مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۱۷ شماره ۳ صفحه‌های ۲۸۵ تا ۲۹۸ (۱۳۹۵)

اثر محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید بر تحمل به تنش خشکی در گل جعفری[1]

Effects of Foliar Application of Sodium Nitroprusside on Drought Tolerance of Marigold

حبیب حسینی* و عبدالحسین رضایی‌نژاد[2]

چکیده

کم‌آبی یکی از شاخص‌های مهم محیطی است که رشد و نمو و تولید گیاهان را محدود می‌کند. این تنش با ایجاد اختلال در تعادل بین تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و فعالیت‌های دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه، ایجاد تنش اکسیداتیو می‌کند. نیتروپروساید سدیم (SNP)، به‌طور معمول به عنوان ترکیب رها کننده اکسید نیتریک در گیاهان استفاده می‌شود. به منظور بررسی اثر محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف SNP، بر افزایش تحمل به تنش خشکی گل جعفری، آزمایشی گلدانی در گلخانه به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کامل تصادفی با ۹ تیمار و ۶ تکرار اجرا شد. تیمارها شامل SNP در غلظت‌های صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار و تنش خشکی در سه سطح شاهد (ظرفیت زراعی)، تنش متوسط (۸۰٪ ظرفیت زراعی) و تنش شدید (۶۰٪ ظرفیت زراعی) بود. نتیجه‌ها مربوط به ویژگی‌های ریخت‌شناسی، فیزیولوژیکی و زیست شیمیایی نشان داد که محلول‌پاشی گل جعفری با غلظت ۱۰۰ میکرومولار SNP با تأثیر بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و زیست شیمیایی و بهبود فعالیت آنزیم کاتالاز سبب افزایش تحمل گل جعفری به تنش خشکی شد. بیشترین مقدار طول ساقه (۴۰/۰۱ سانتیمتر)، تعداد گل (۸/۸۳)، عمر گل (۲۹ روز)، محتوای نسبی آب برگ (۶۶/۳۴٪)، وزن تر کل (۶۶/۰۹ گرم) و کمترین نشت یونی (۲۸/۱۲٪) مربوط به تیمار ۱۰۰ میکرومولار SNP بود. همچنین ویژگی‌هایی مانند متوسط تعداد شاخه جانبی، شاخص کلروفیل، وزن تر و خشک گل، وزن تر و خشک ساقه و ریشه توسط تیمار SNP با غلظت ۱۰۰ میکرومولار افزایش قابل توجهی داشت. بنابراین محلول‌پاشی با غلظت ۱۰۰ میکرومولار SNP می‌تواند در افزایش تحمل گل جعفری به تنش خشکی مؤثر باشد.

واژه های کلیدی: تنش خشکی، گل جعفری، نیتروپروساید سدیم.

مقدمه

گل جعفری (*Tagetes* spp.) از تیره میناسانان[3] و خاستگاه آن مکزیک و آمریکای جنوبی است. رقم‌های مختلف این گیاه از سه گونه *T. erecta*، *T. tenuifolia* و *T. patula* مشتق شده است. این گیاه بیشتر به عنوان گیاه بستر ساز[4] و همچنین به عنوان گل شاخه بریدنی و گلدانی استفاده می‌شود. دوره گلدهی از بهار آغاز می‌شود و تا پاییز ادامه می‌یابد (۱۳). لوتئین[5] که جزو اصلی گزانتوفیل‌ها است و برای استفاده در ترکیب‌های رنگ کننده ماده‌های غذایی استفاده می‌شود، در گل این گیاه وجود دارد (۷). برگ‌های گل جعفری روغن‌های معطر ویژه‌ای دارد که افزون بر کاربردهای درمانی، دفع کننده حشره‌ها نیز است (۳). جعفری در کاهش جمعیت نماتدها در خاک مفید است، و در تناوب کشت می‌تواند جایگزینی برای نماتدکش‌ها در کاهش جمعیت نماتد عامل گال

۱- تاریخ دریافت: ۹۴/۸/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۶/۳/۲۰

۲- به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (h_hosseini211@yahoo.com)

۳- Asteraceae ۴- Bedding plants ۵- Lutein

ریشه[1] باشد (۲۲). مطالعه‌های درون شیشه‌ای روی گونه جعفری مکزیکی[2] نشان داد که این گونه مقاومت خوبی نسبت به خشکی دارد (۳۸).

تنش خشکی یکی از تنش‌های محیطی مهم مؤثر بر تولیدهای کشاورزی در سراسر جهان است که به‌طور قابل توجهی منجر به کاهش عملکرد می‌شود (۱۷) و بر استقرار، بقا، رشد و عملکرد گیاهان مؤثر است (۱۹). زمانی‌که گیاهان در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرند، کلیه فرایندهای فیزیولوژیکی و زیست شیمیایی گیاه از آن اثر می‌گیرد که سبب کاهش شاخص‌های رشدی، عملکرد و کیفیت محصول و در صورت تداوم تنش، مرگ گیاه می‌شود (۴). در طول دهه گذشته، محلول‌پاشی تنظیم کننده‌های رشد گیاهی و مولکول‌های زیستی، به یک روش در افزایش عملکرد و کیفیت محصول در شرایط تنش غیر زنده تبدیل شده است. اکسید نیتریک (NO) به عنوان یک ترکیب گازی نقش مهمی در فرایندهای فیزیولوژیک مختلف بازی می‌کند. NO می‌تواند به عنوان واسطه در عمل تنظیم کننده‌های رشد گیاهی و سوخت و ساز گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) شرکت کند. در بسیاری از مطالعه‌ها نشان داده شده است که این ماده در انتقال پیام و پاسخ به تنش زیستی و غیر زیستی مانند خشکسالی، دمای کم و زیاد، در معرض UV قرار گرفتن، فلزهای سنگین، علف‌کش‌ها، سرما و تنش شوری نیز دخالت دارد (۴۱). کاربرد نیتروپروساید سدیم (SNP) روی گیاهان باعث افزایش تحمل آنها نسبت به تنش‌های خاص شد (۱۴). به عنوان مثال، ۰/۱ میلی‌مولار SNP پیری برگ گندم را با جلوگیری از تخریب کلروفیل و پروتئین‌های محلول به تأخیر می‌اندازد (۴۷). ثابت شده است که NO می‌تواند خسارت ناشی از تنش خشکی را با کاهش پراکسید هیدروژن، نشت یونی و افزایش فعالیت آنزیم‌ها کاهش دهد (۱۸). پژوهش انجام شده روی گیاه توتون نشان داد که کاربرد SNP در شرایط تنش خشکی سبب افزایش عملکرد شد (۳۶). SNP در غلظت ۶۰ میکرومولار به طور معنی‌داری سبب کاهش زردی برگ و پیری گل رز شد (۴۵). همچنین، کاربرد SNP در ریزنمونه گل جعفری در شرایط تنش خشکی باعث افزایش ریشه و مقدار کلروفیل a و b شد (۴۸). پیش از این هم تأثیر مثبت SNP در بسته شدن روزنه‌ها و بهبود محتوای نسبی آب در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (۲۰). پژوهش‌های انجام شده روی گل شاخه بریده (گل میخک و گل مریم) حاکی از این است که کاربرد SNP باعث بهبود عمر گلجایی می‌شود (۵). پژوهش انجام شده روی گیاه آفتابگردان نشان داد که محلول‌پاشی برگی SNP در غلظت ۱۰۰ میکرومولار باعث افزایش ارتفاع ساقه، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل و کارتنوئید در شرایط تنش خشکی شد (۱۰). از آنجایی که اطلاع محدودی در مورد اثر SNP بر ویژگی‌های رشدی گیاهان بستری مانند گل جعفری موجود می‌باشد و با توجه به بررسی‌هایی که انجام شده است، امکان افزایش تحمل به خشکی وجود دارد، در رابطه با گیاهان بسترساز، چنانچه در مدتی که این گیاهان به صورت فصلی استفاده می‌شوند، رشد و نمو افزایش یابد چشم انداز زیباتری ایجاد خواهد شد. این موضوع به ویژه در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک اهمیت بیشتری دارد. بنابراین، هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف SNP به منظور انگیزش مقاومت گل جعفری در سطح‌های مختلف تنش خشکی بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت گلدانی در بهار و تابستان ۱۳۹۴ در گلخانه پژوهشی دانشگاه لرستان، به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کامل تصادفی با ۹ تیمار و ۶ تکرار اجرا شد. محیط کشت در این آزمایش مخلوط ماسه + خاک + کود دامی به نسبت ۱:۱:۲ بود و گلدان‌های با قطر ۲۲ سانتیمتر استفاده شد. در ابتدا برای خروج آب اضافی از ته گلدان‌ها، سوراخ زهکش آن‌ها کنترل و سپس لایه‌ای از سنگریزه برای خروج آب اضافی در کف گلدان‌ها ریخته شد. در این آزمایش تنش خشکی در سه سطح شاهد (ظرفیت زراعی)، تنش متوسط (۸۰٪ ظرفیت

۱- *Meloidogyne* spp.

۲- *Tagetes minuta*

زراعی) و تنش شدید (۶۰٪ ظرفیت زراعی) و محلول‌پاشی با SNP که از شرکت MERCK خریداری شده بود در ۳ غلظت (۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) اعمال شد و در کل ۵۴ گیاه گل جعفری (*T. erecta* L.) بررسی شد. محلول‌پاشی SNP در ۴ مرحله صورت گرفت و اعمال تنش‌ها پس از رسیدن گیاه به مرحله ۴ برگی آغاز شد و اعمال تیمارهای تنش خشکی به روش وزنی و پس از اندازه‌گیری ظرفیت زراعی خاک انجام شد.

ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی

ارتفاع گیاه بر حسب سانتیمتر با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد. همچنین قطر گل و ساقه در طول آزمایش با کولیس دیجیتالی اندازه‌گیری و تعداد گل و شاخه جانبی در طول دوره رشد محاسبه شد. وزن تر شاخساره و ریشه گیاهان در تیماری مختلف اندازه‌گیری و بر حسب گرم گزارش شد. وزن خشک، پس از قرار دادن به مدت ۴۸ ساعت در خشک‌کن با دمای ۷۰ درجه سلسیوس ترازوی دیجیتالی وزن و بر حسب گرم گزارش شد.

محتوای نسبی آب برگ (RWC)[۱]

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ‌ها، از هر برگ ۱۰ دیسک مشابه با قطر ۱ سانتیمتر تهیه شد و با ترازوی دقیق آزمایشگاهی (METTLER TOLEDO مدل AX204) با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم وزن شد تا وزن تر (FW) به‌دست آید. سپس دیسک‌ها در ظرف‌های پتری دارای آب مقطر برای مدت ۵-۴ ساعت غوطه‌ور شدند. در طول این مدت ظرف‌های پتری در تاریکی کامل قرار گرفتند. دیسک‌ها پس از این مدت از پتری خارج شده و با استفاده از کاغذ صافی خشک و دوباره اندازه‌گیری شدند تا وزن حالت آماس کامل (TW) به‌دست آید. برای محاسبه وزن خشک (DW) دیسک‌ها درون فویل آلومینیوم پیچیده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک‌کن قرار گرفتند و سپس اندازه‌گیری شدند. محتوای نسبی آب برگ از رابطه زیر محاسبه شد:

$$RWC = \frac{FW-DW}{TW-DW} \times 100$$

نشت یونی

برای سنجش مقدار نشت یونی غشا، ۰/۱ گرم از بافت برگی تازه گیاه پس از شستشو (برای حذف یون‌های احتمالی از سطح برگ) درون لوله‌های آزمایش در پیچ‌دار قرار داده و ۱۵ میلی لیتر آب مقطر به آن‌ها اضافه شد. بعد از ۲۴ ساعت مقدار هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC_1) با استفاده از EC متر (مدل Metrhom ساخت کشور سوئیس) خوانده شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در فریزر (دمای ۲۰- درجه سلسیوس) و بعد از آن در دمای معمولی آزمایشگاه قرار داده شدند. مقدار هدایت الکتریکی (EC_2) دوباره اندازه‌گیری و درصد نشت یونی از رابطه زیر محاسبه شد (۱۵).

EC= 1-EC1/EC2*100

شاخص کلروفیل

برای سنجش شاخص کلروفیل از دستگاه کلروفیل سنج (SPAD)، استفاده شد که این دستگاه امکان اندازه-گیری کلروفیل بدون تخریب برگ را میسر می‌کند.

ویژگی‌های زیست شیمیایی

غلظت کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید

در این آزمایش، برای اندازه‌گیری کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید ۰/۲ گرم از برگ‌های فریز شده با ۱۵ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ ساییده شده و سپس عصاره حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در سانتریفوژ با دور ۲۷۰۰ قرار داده شد. سپس ۳ میلی‌لیتر از عصاره بالایی برداشته و جذب آنها در طول موج ۴۷۰، ۶۶۳ و ۶۴۷ نانومتر به کمک اسپکتروفتومتری (UV-VIS مدل Cary-50 ساخت کشور آمریکا) خوانده و با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد.

۱- Leaf Relative Water Content

$Chl.a\ (mg.\ ml^{-1}) = (12.25\ A_{663.2} - 2.79\ A_{646.8})$
$Chl.b\ (mg.\ ml^{-1}) = (21.50\ A_{646.8} - 5.10\ A_{663.2})$
$Car\ (mg.\ ml^{-1}) = (1000\ A_{470} – 1.82\ Chl.a - 85.02\ Chl.b)/198$
$Chl.T\ (mg.\ ml^{-1}) = (Chl.a + Chlb)$

در این فرمول Chl.a، Chl.b، Car و Chl.T به ترتیب غلظت کلروفیل a، کلروفیل b، کارتنوئیدها و کلروفیل کل می‌باشد. نتیجه‌های به‌دست آمده از اندازه‌گیری مقدار رنگدانه‌ها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه بیان شد (۳۵).

اندازه‌گیری پراکسید هیدروژن (H_2O_2)

مقدار پراکسید هیدروژن بر اساس واکنش H_2O_2 با یدید پتاسیم (KI) و با روش آلکسیوا انجام شد (۶).

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT)

فعالیت کاتالاز با روش اسپکتروفتومتری و بر اساس کاهش جذب پراکسیداسیون در مدت ۳۰ ثانیه در طول موج ۲۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. مخلوط واکنش دارای بافر پتاسیم ۵۰ میلی مولار با اسیدیته ۷، آب اکسیژنه ۱۵ میلی‌مولار و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. واکنش با اضافه کردن H_2O_2 آغاز شد و کاهش جذب در مدت ۳۰ ثانیه اندازه‌گیری شد. مقدار پراکسیدهیدروژن تجزیه شده با مقایسه منحنی استاندار محاسبه شد (۱۶).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از رویه GLM نرم‌افزار SAS انجام گرفت و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های ریخت‌شناسی شاخساره و ریشه

نتیجه‌های حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به ویژگی‌های ریخت‌شناسی، فیزیولوژیکی، زیست شیمیایی و آنزیم‌های آنتی اکسیدانی گل جعفری نشان داد علاوه بر تأثیر هر یک از فاکتورهای اصلی تنش خشکی و SNP، برهمکنش این دو فاکتور نیز برای همه ویژگی‌های اندازه‌گیری شده معنادار شد (جدول نشان داده نشده است). بنابراین، مقایسه میانگین برهمکنش‌های این دو فاکتور برای ویژگی‌های مورد نظر در نتیجه‌ها آمده است.

نتیجه‌های این پژوهش نشان داد که ویژگی‌های ریخت‌شناسی شاخساره و ریشه از سطح‌های متفاوت تنش و SNP اثر گرفتند. در هر سه سطح تنش، تیمار SNP در غلظت ۱۰۰ میکرومولار سبب بیشترین مقدار ارتفاع ساقه، قطر ساقه، تعداد شاخه جانبی و طول ریشه شد. همچنین نتیجه‌ها نشان داد با افزایش سطح تنش خشکی تعداد گل و قطر گل کاهش یافت. این شاخص‌های رشدی در گیاهان تیمار شده با غلطت ۱۰۰ میکرومولار SNP افزایش پیدا کرد. بر اساس نتیجه‌ها، ظهور اولین جوانه گل با افزایش سطح تنش خشکی افزایش یافت که کاربرد SNP سبب کاهش ویژگی‌های بالا شد (جدول ۱). به طور کلی، تنش خشکی سبب کاهش شاخص‌های رشدی گل جعفری شد که پیش از این در برخی آزمایش‌های انجام شده روی گل جعفری نیز گزارش شده بود (۸)، در حالی که محلول پاشی با غلظت ۱۰۰ میکرومولار SNP در دو سطح تنش متوسط و شدید به طور قابل توجهی سبب بهبود و افزایش شاخص‌های رشدی شد. این نتیجه‌ها با گزارش زمانی و همکاران، که نشان دادند ویژگی‌های رشدی کاج تهران یا کاج الدرا[۱] مانند وزن تر و خشک ریشه و ساقه، ارتفاع ریشه در شرایط تنش با SNP بهبود می‌یابد، همخوانی دارد (۵۰). تأثیر مثبت SNP به احتمال مربوط به کاهش از دست رفتن آب و مقدار نشت یونی است که موجب حفظ تعادل آبی در گیاه تیمار شده با SNP می‌شود و سبب بهبود رشد گل جعفری شد. لشم و ویلز، گزارش کردند که NO به عنوان تنظیم کننده رشد و نمو گیاهی با کاهش تولید اتیلن می‌تواند فرایند پیری را به

۱- *Pinus eldarica*

تأخیر بیاندازد (۳۳). یافته‌های گزارش شده روی گیاه آفتابگردان و توتون نشان داد که SNP سبب بهبود شاخص‌های رشدی می‌شود و با نتیجه‌های پژوهش حاضر همسو می‌باشد. تقسیم یاخته‌ای و بلند شدن از وضعیت آب برگ و آماس یاخته اثر می‌گیرد. از این رو بلند شدن ساقه گل جعفری به این پدیده نسبت داده شده است (۲۴). ریشه به عنوان جزو اصلی گیاه در استقرار و پایداری آن اهمیت ویژه‌ای دارد. اثرهای نامطلوب خشکی بر رشد گیاهان می‌تواند با توسعه ریشه جبران و باعث افزایش جذب آب توسط گیاه شود. این فرایند با عمیق‌تر شدن ریشه‌ها، تغییر توزیع سیستم ریشه و یا تغییر اندازه آوندهای ریشه صورت می‌گیرد. این نتیجه‌ها با نتیجه‌های راد و همکاران (۱)، روی گیاه تاغ مطابقت داشت، اما علی آبادی و همکاران (۲)، نشان دادند که طول ریشه گیاه گشنیز در تنش خشکی کاهش می‌یابد. بیشترین عملکرد گل در کاربرد ۱۰۰ میکرومولار SNP حاصل شد و با افزایش تنش خشکی عملکرد گل کاهش یافت. به نظر می‌رسد که کاهش ماده‌های فتوسنتزی به علت کاهش سطح برگ و انتقال ماده‌های آسیمیلاسیونی به سمت گل‌ها سبب کاهش وزن و عملکرد آنها شده است و این نتیجه‌ها با نتیجه‌های شاوبهرا و همکاران، مطابقت دارد (۴۶). به تازگی گزارش شده است کنترل زمان گلدهی گیاه ممکن است به‌وسیله NO انجام شود؛ چون با استفاده از SNP به عنوان ترکیب رها کننده NO تأخیر در گلدهی گیاه آرابیدوپسیس مشاهده و گزارش شده است که NO این کار را با اختلال در ساعت زیستی انجام نمی‌دهند بلکه بر بیان ژن‌های تنظیمی در مسیر گلدهی اثر می‌گذارد (۲۳) که با نتیجه‌های پژوهش حاضر در تضاد است. نیتریک اکسید یک مولکول گازی شکل است که در سال‌های اخیر به عنوان یک مولکول آنتی‌اکسیدان در گیاه شناخته شده است (۵). البته این اثر نیتریک اکسید وابسته به غلظت است و در غلظت‌های بالاتر NO، تنش نیتروزاتیو می‌تواند به صورت همکاری با تنش اکسیداتیو خسارت‌های بیشتری را ایجاد نماید (۵). به احتمال تأثیر SNP به دلیل کاهش خسارت ROS که سبب تخریب پروتئین‌ها و غیرفعال شدن آنزیم‌ها، آسیب به غشاها و پلی-ساکاریدها می‌شود، می‌باشد.

وزن تر و خشک اندام‌ها

نتیجه‌های این پژوهش نشان داد که با افزایش سطح تنش، وزن تر و خشک گیاه کاهش یافت که با نتیجه‌های برخی آزمایش‌ها بر روی کاج تهران هم‌راستاست (۵۵)، اما در هر سه سطح تنش، شاخص‌های وزنی گیاه محلول پاشی شده با SNP ۱۰۰ میکرومولار به مقدار کمتری از تنش گرفت (جدول ۲). در پژوهش‌های انجام شده روی انواع گیاهان روند نزولی وزن تر و خشک شاخساره طی تنش‌های خشکی گزارش شده است (۴۴). از آنجایی‌که در شرایط تنش خشکی، شاخص‌های رشدی گیاه کاهش می‌یابد، به دنبال آن وزن تر و خشک شاخساره کم می-شود. از این رو افزایش وزن تر و خشک در گیاهان تیمار شده با SNP ۱۰۰ میکرومولار را می‌توان به تأثیر SNP در بهبود شاخص‌های رشدی مرتبط دانست. کاهش وزن خشک به دلیل حساسیت بالای برگ‌های جوان به تغییر در تأمین آب می‌باشد (۱۱).

جدول ۱- اثر محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید (SNP) بر شاخص‌های ریخت‌شناسی گل جعفری در شرایط تنش خشکی.

Table 1. Effect of foliar application of sodium nitroprusside (SNP) on morphological parameters of marigold under drought stress.

تیمارها treatments		ارتفاع ساقه Stem length (cm)	قطرساقه Stem diameter (mm)	تعداد شاخه جانبی Number of lateral shoot	ارتفاع شاخه جانبی Lateral shoot length (cm)	ظهور اولین جوانه گل The emergence of first flower buds	تعداد گل Flower number	قطر گل Flower diameter (cm)	عمر متوسط گل The average life of flowers	طول ریشه Root Length (cm)
شاهد Control	0	36.56 b†	8.55 b	30.50 c	18.90 a	72.66 c	5.83 d	6.13 e	23.66 d	54.50 c
	100 µM	40.01 a	9.06 a	32.66 a	17.90 a	55.83 h	8.83 a	7.24 a	29.00 a	61.66 a
	200 µM	39.50 a	8.14 c	31.83 b	16.78 b	61.83 g	7.16 b	6.79 c	26.33 b	57.83 b
تنش متوسط Medium stress %80 F.C.	0	26.01 f	5.63 g	16.50 h	13.03 d	79.50 c	3.66 f	4.31 g	13.33 h	32.50 f
	100 µM	30.01 c	7.39 d	27.00 d	14.90 c	65.16 f	7.50 b	7.03 b	24.50 c	46.16 d
	200 µM	28.23 d	6.55 e	24.50 e	12.64 d	75.66 d	6.50 c	6.32 d	20.16 e	39.33 e
تنش شدید Severe stress %60 F.C.	0	18.41 h	4.34 h	13.50 i	9.94 e	0	0	0	0	22.55 h
	100 µM	27.56 e	6.20 f	23.50 f	12.04 d	82.66 b	5.16 c	5.07 f	18.33 f	38.00 e
	200 µM	23.08 g	5.56 g	19.16 g	9.98 e	93.66 a	4.16 f	3.47 h	14.33 g	29.50 g

† Means with the same letters are not significantly different at 5% level probability according to LSD test.

† میانگین‌هایی که حرف مشترک دارند، در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارد.

جدول ۲- اثر محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید (SNP) بر وزن تر و خشک شاخساره و ریشه گل جعفری در شرایط تنش خشکی.

Table 2. Effect of foliar application of sodium nitroprusside (SNP) on shoot and root dry weight of marigold flower under drought stress.

تیمارها Treatments		وزن‌ترگل Flower fresh weight (g)	وزن خشک گل Flower dry weight (g)	وزن‌تر گل Total fresh weight (g)	وزن‌تر ساقه Stem fresh weight (g)	وزن تررریشه Root fresh weight (g)	وزن خشک کل Total dry weight (g)	وزن خشک ساقه Stem dry weight (g)	وزن خشک ریشه Root dry weight (g)
شاهد Control	0	6.04 c†	0.98 c	61.17 b	55.04 b	6.13 c	8.50 c	6.18 c	2.26 d
	100 µM	7.66 a	1.26 a	66.09 a	58.66 a	7.42 a	11.48 a	7.51 a	3.97 a
	200 µM	6.36 b	1.05 b	60.07 c	53.36 c	6.71 b	10.34 b	7.05 b	3.29 b
تنش متوسط Medium stress %80 F.C.	0	4.13 g	0.60 f	42.64 f	39.13 f	3.51 h	7.05 e	4.96 f	2.08 f
	100 µM	5.74 d	0.75 d	50.26 d	44.74 d	5.51 d	8.81 c	5.78 d	3.02 c
	200 µM	5.20 e	0.69 e	45.87 e	41.20 e	4.66 f	7.94 d	5.44 e	2.50 e
تنش شدید Severe stress %60 F.C.	0	0	0	19.28 i	17.34 i	1.94 i	3.55 h	2.63 i	0.92 h
	100 µM	4.94 f	0.68 e	39.88 g	34.94 g	4.94 e	6.63 f	4.70 g	1.93 g
	200 µM	2.94 h	0.53 g	34.85 h	30.94 h	3.91 g	4.01 g	3.58 h	0.43 i

† Means with the same letters are not significantly level probability according to different at 5% LSD test.

† میانگین‌هایی که حرف مشترک دارند، در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارد.

ویژگی‌های فیزیولوژیکی

نتیجه‌های مقایسه میانگین‌های پژوهش حاضر نشان داد که مقدار محتوای نسبی آب برگ به دنبال تنش خشکی کاهش یافت و در هر سه سطح تنش بیشترین مقدار محتوای نسبی آب برگ مربوط به گیاهان تیمار شده با غلظت ۱۰۰ میکرومولار SNP بود (جدول ۳). این نتیجه‌ها با گزارش مطالعه‌هایی که بر روی کاج تهران و گل مریم انجام شده است (۵، ۱۰)، همخوانی دارد.

کاهش در محتوای آب برگ را می‌توان یکی از ویژگی‌های اندازه‌گیری تنش خشکی در نظر گرفت. گزارش شده است که وقتی برگ‌ها کم‌آبی را حس کنند، روزنه‌هایشان بسته می‌شود، بنابراین گیاهانی که توانا به بستن روزنه خود باشند می‌توانند محتوای آب برگ خود را در مقدارهای بالاتری حفظ کنند (۳۷). NO توانست با بستن روزنه-ها تطابق گیاهچه گندم را به تنش خشکی افزایش دهد (۳۷). نشان داده شده است که NO توانست غلظت Ca^{2+} داخل یاخته‌ای را از مسیر وابسته به cGMP افزایش دهد. به این دلیل که وقتی کلاتور کلسیم (EGTA) استفاده شد، اثر NO به طور کامل ازبین رفت و این نشان دهنده این است که NO می‌تواند بالا دست Ca^{2+} عمل کند. این یافته‌ها به‌وسیله نیل و همکارانش، در گیاه آرابیدوبسیس تأیید شد (۴۳). پژوهشگرها مشاهده نمودند که اگر از cPT1O (ترکیب خورنده NO) استفاده شود، درصد روزنه‌های باز در گیاه آرابیدوبسیس افزایش یابد و این بیانگر نقش NO در بستن روزنه‌ها بود (۴۲) که با نتیجه‌های این پژوهش همسو می‌باشد. نتیجه‌ها نشان داد که بیشترین مقدار نشت یونی مربوط به تیمارهای تنش متوسط و شدید با محلول‌پاشی صفر و ۲۰۰ میکرومولار SNP و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد با محلول‌پاشی غلظت ۱۰۰ میکرومولار SNP بود (جدول ۳). می‌توان گفت یکی از آسیب‌های جدی گزارش شده در تنش خشکی، خسارت به غشا و رهاسازی یون‌ها از یاخته به فضای بین یاخته‌ای است. این پدیده نتیجه تجمع ROS است که منجر به پراکسیداسیون چربی، نفوذپذیری غشا و خسارت به یاخته می‌شود. نتیجه‌های به دست آمده با نتیجه‌های دیگر پژوهش‌ها که دو سازوکار احتمالی برای نقش NO در مقابله با تنش‌ها پیشنهاد کرده‌اند، همخوانی دارد: ۱) NO ممکن است با ربایش مستقیم ROS مثل رادیکال سوپراکسید، به عنوان یک آنتی‌اکسیدان عمل کرده و با تولید رادیکال پروکسی نیتریت که سمیت بسیار کمتری نسبت به ROS دارد آسیب وارده به یاخته را کاهش دهد ۲) NO می‌تواند به عنوان یک مولکول پیام-رسان[۱] باعث تغییر در بیان برخی ژن‌های دفاعی شد (۳۱).

جدول ۳- اثر محلول پاشی سدیم نیتروپروساید (SNP) بر شاخص‌های فیزیولوژیکی گل جعفری در شرایط تنش خشکی.

Table 3. Effect of foliar application of sodium nitroprusside (SNP) on physiological parameters of Marigold flower under drought stress.

تیمارها Treatments		شاخص کلروفیل Chlorophyll index	محتوای نسبی آب برگ RWC (%)	نشت یونی EC (٪)
شاهد Control	0	35.20 b	52.07 d	38.12 d
	100 µM	41.00 a	66.34 a	28.12 f
	200 µM	33.10 c	59.34 b	34.12 e
تنش متوسط Medium stress %80 F.C.	0	20.85 g	42.07 g	57.95 b
	100 µM	30.51 d	56.10 c	44.04 c
	200 µM	25.75 f	49.66e	45.12 c
تنش شدید Severe stress %60 F.C.	0	11.85 i	32.34 i	75.01 a
	100 µM	27.46 e	46.34 f	43.08 c
	200 µM	18.35 h	36.34 h	57.08 b

† Means with the same letters are not significantly different at 5% LSD test.

† میانگین‌هایی که حرف مشترک دارند، در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارد.

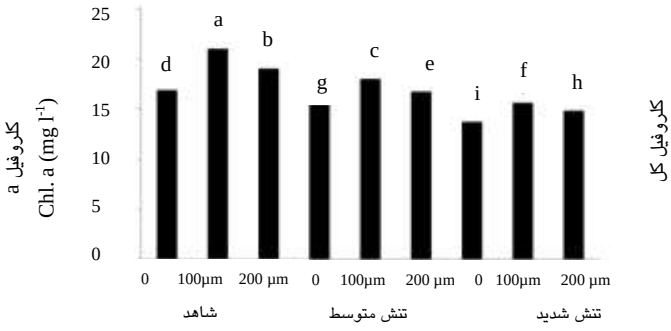
۱- Signalling molecule

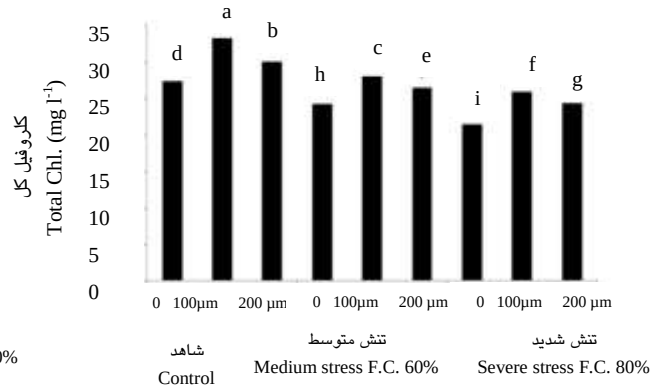
شاخص کلروفیل

نتیجه‌های پژوهش حاضر نشان داد که با افزایش تنش خشکی مقدار شاخص کلروفیل کاهش یافت، در حالی که SNP با غلظت ۱۰۰ میکرومولار سبب افزایش مقدار آن شد (جدول ۳). محدودیت در انجام فتوسنتز توسط تنش کم‌آبی را می‌توان در قالب دو اثر کاهش هدایت روزنه‌ای و کاهش ظرفیت زیست شیمیایی برگ‌ها برای فتوسنتز بیان کرد. وقتی گیاهان کم‌آبی را تجربه می‌کنند، روزنه‌های خود را می‌بندند (۳۴)، این فرایند به مقدار زیادی توسط پتانسیل آب برگ تنظیم می‌شود، اما می‌تواند با واسطه ABA هم انجام شود. بسته شدن روزنه‌ها باعث کاهش از دست رفتن آب شود اما انتشار دی اکسید کربن (CO_2) به داخل یاخته‌های گیاهی را محدود می‌کند و سوخت و ساز CO_2 را تغییر می‌دهد (۱۲). از دلیل‌های مهم دیگری که تنش کم‌آبی ظرفیت زیست شیمیایی گیاه برای فتوسنتز را کاهش می‌دهد می‌توان به کاهش محتوای کلروفیل، خسارت به دستگاه فتوسنتزی (۲۴)، جلوگیری از واکنش‌های فتوشیمیایی و کاهش فعالیت آنزیم‌های چرخه کلوین اشاره نمود (۳۹) که نتیجه‌های پژوهش حاضر را تأیید می کنند.

رنگدانه‌های گیاهی

در این پژوهش کاهش محتوای کلروفیل (a، b و کل) برگ‌های گیاه گل جعفری در شرایط تنش خشکی مشاهده شد و این اثر وقتی گیاهان با ۱۰۰ میکرومولار SNP محلول‌پاشی شدند، به طور کامل برطرف شد (شکل ۱). پیش از این هم گزارش شده که غلظت‌های بالای کادمیوم (Cd) نیز باعث کاهش محتوای کلروفیل در برگ‌های برنج شده است و وقتی که برگ‌ها با ترکیب رها کننده NO پیش تیمار شدند (۲۵)، این اثر برطرف شد، که تأیید این نتیجه‌ها است. در این مورد نیز به نظر می‌رسد که اثر NO به واکنش آن با گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) برمی-گردد، زیرا ROSها اصلی‌ترین عاملی هستند که در شرایط تنش باعث خسارت و شکستن رنگدانه‌های فتوسنتزی و پروتئین‌های ساختاری دستگاه فتوسنتزی می‌شوند. این اثر ROSها در فتوسیستم ۲ و به ویژه بر پروتئین D1 ثابت شده است (۳۰). علاوه بر این، پروتئین‌هایی که در سوخت و ساز کلروفیل شرکت می‌کنند، می‌توانند هدف ROSها قرار گرفته و تخریب شوند (۹). همچنین در برخی بررسی‌ها گزارش شده است که در حضور NO دسترسی گیاه به آهن بیشتر است و این نیز می‌تواند یکی از نقش‌های NO در حفظ محتوای کلروفیل گیاه باشد (۴۲). کاهش کلروفیل در شرایط تنش خشکی توسط ROSها به دلیل تجزیه غشا و آسیب به کلروفیل می‌باشد (۲۷).





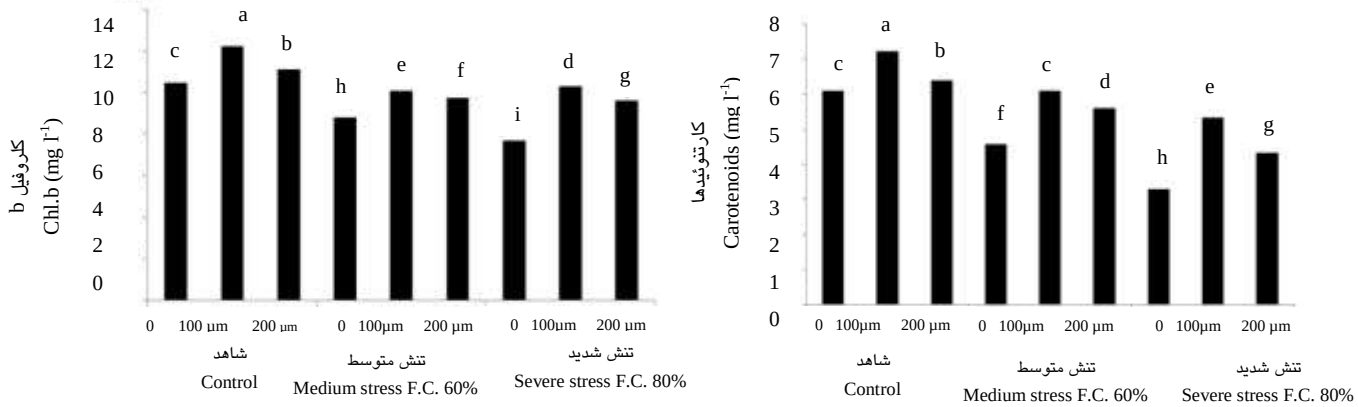


Fig. 1. The effect of foliar application of sodium nitroprusside (SNP) on the amount of chlorophyll and carotenoid of marigold flower under drought stress. Means with the same letters are not significantly different at 5% LSD test.

شکل ۱- اثر محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید (SNP) بر مقدار کلروفیل‌ها و کارتنوئید گل جعفری در شرایط تنش خشکی. میانگین‌هایی که حرف مشترک دارند، در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارد.

نتیجه‌های پژوهش حاضر نشان داد که با افزایش سطح تنش مقدار پراکسیدهیدروژن افزایش یافت. کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولارSNP سبب کاهش مقدار پرکسیدهیدروژن شد که کمترین مقدار آن متعلق به تیمار شاهد بود (شکل ۲). در شرایط عادی رشد، بسیاری از فرایندهای سوخت و سازی در گیاهان باعث تولید ROS می-شوند، اما گیاهان سازوکارهای آنتی‌اکسیدانی کارامدی برای از بین بردن ROSها دارند (۲۶). در شرایط تنش این تعادل به هم خورده و مقدار ROSها افزایش می‌یابند. حضور این گونه‌های فعال برای گیاه مضر بوده و موجب آسیب به ساختارهای یاخته‌ای مثل غشا، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌شوند (۳۲). افزایش مقدار پراکسید هیدروژن در شرایط تنش خشکی در این مطالعه نیز به احتمال در نتیجه اختلال در این تعادل است. گزارش‌های پیشین مبنی بر تأثیر NO بر بهبود مقاومت گیاهان به تنش خشکی از راه کاهش پراکسیدهیدروژن می‌باشد (۱۸).

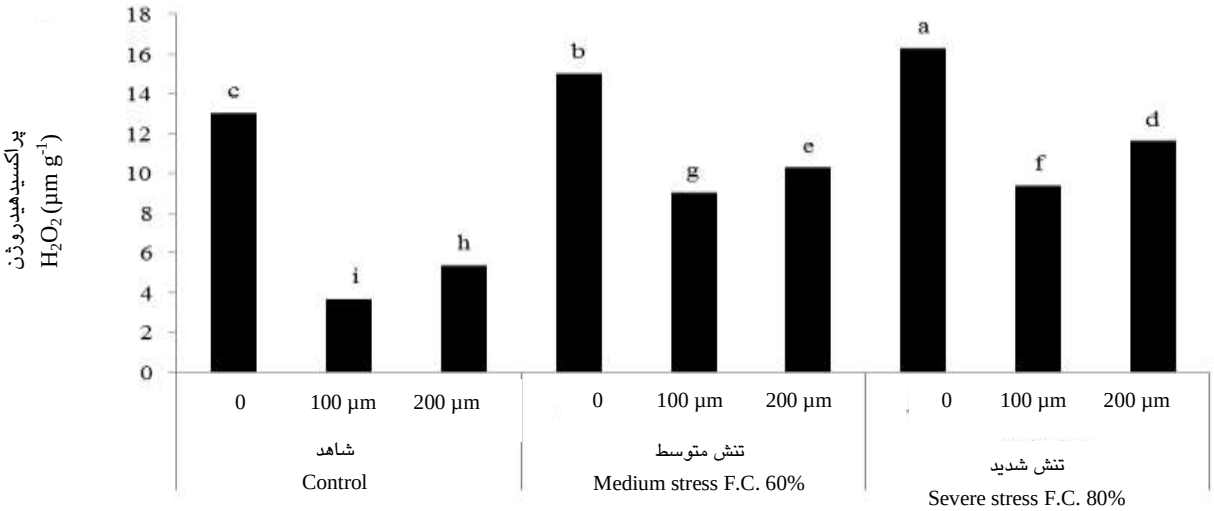


Fig. 2. Effect of foliar application of sodium nitroprusside (SNP) on the amount of hydrogen peroxide of Marigold flower under drought stress. Means with the same letters are not significantly different 5% LSD test.

شکل ۲- اثر محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید (SNP) بر مقدار پراکسید هیدروژن گل جعفری در شرایط تنش خشکی. میانگین‌هایی که حرف مشترک دارند، در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارد.

فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان

نتیجه‌های حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در شرایط تنش، مقدار کاتالاز کاهش یافت و محلول-پاشی 100 میکرومولار SNP باعث افزایش کاتالاز شد (شکل ۳). همچنین پیش از این هم گزارش شده است که اثر تنش خشکی روی فعالیت کاتالاز متفاوت است و ممکن است سبب افزایش یا کاهش آن شود (۳۶). حذف پراکسیدهیدروژن به وسیله کاتالاز از راه شکستن آن به آب و اکسیژن می‌باشد (۲۱). همچنین افزایش فعالیت کاتالاز در شرایط تنش خشکی توسط دیگر پژوهشگرها نیز گزارش شده است. گزارش شده است که در شرایط تنش‌های مختلف محیطی آنزیم آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسیددسموتاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و کاتالاز افزایش پیدا می‌کند (۴۰) که با نتیجه‌های پژوهش حاضر همخوانی دارد. نتیجه‌های این پژوهش با نتیجه‌های پژوهش‌های قبلی که ثابت کردند کاربرد NO فعالیت‌های جاروب‌گرهای فعال اکسیژنی[1] را در شرایط تنش تحریک می‌کند، همسو می‌باشد (۴۹).

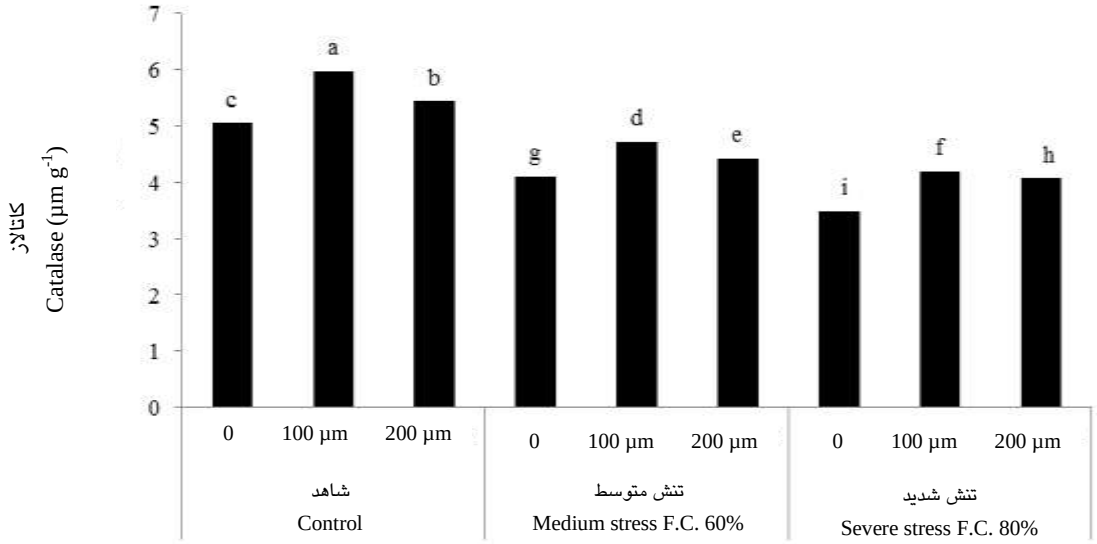


Fig. 3. Effect of foliar application of sodium nitroprusside (SNP) on the amount catalase enzyme of Marigold flower. Means with the same letters are not significantly different at 5% LSD test.

شکل ۳- اثر محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید (SNP) بر مقدار آنزیم کاتالاز گل جعفری. میانگین‌هایی که حرف مشترک دارند، در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارد.

نتیجه گیری

بنابراین به نظر می‌رسد در مطالعه حاضر ماده رها کننده اکسید نیتریک در غلظت‌های پایین (۱۰۰ میکرومولار) مانع عملکرد ROS می‌شود و خسارت‌های ناشی از این رادیکال‌های اکسیژن کاهش می‌یابد. البته، اثر غلظت بالای SNP در گیاهان مختلف متفاوت است، که با انجام آزمایش‌ها بر روی آن‌ها می‌توان سطح این غلظت را تخمین زد. همچنین به نظر می‌رسد که NO در گیاهان به عنوان یک پیام‌رسان دومین، باعث افزایش فعالیت و یا انگیزش بیان برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود و این به گیاه کمک می‌کند تا بهتر بتواند شرایط تنش را تحمل کند.

۱- Active Oxygen Scavenging

References

منابع

۱. راد، م.ه.، ر. میرحسینی، م.ع. مشکوه و م. سلطانی. ۱۳۸۷. بررسی تأثیر رطوبت خاک بر چگونگی توسعه ریشه گیاه تاغ (*Haloxylon spp.*). تحقیقات جنگل و صنوبر ایران. ۱۱۲-۱۲۳: ۱۶.

۲. علی آبادی فراهانی، ح.، ع. ارباب و ب. عباس‌زاده. ۱۳۸۷. تأثیر سوپر فسفات تریپل، تنش کم آبی و کود بیولوژیک *Glomus hoi* بر تعدادی از صفات کمی و کیفی گیاه دارویی *Coriandrum sativum L.*. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران.۱۸-۳۰: ۲۴.

۳. قاسمی قهساره، م. و م. کافی. ۱۳۹۰. گلکاری علمی وعملی. جلد اول. انتشارات گلبن. ۳۱۳ ص.

۴. کافی، م.، ا. برزوئی، م. صالحی، ع. کمندی، ع. معصومی و ج. نباتی. ۱۳۸۹. فیزیولوژی تنش های محیطی در گیاهان. انتشارات جهاد دانشگاهی. مشهد. ۵۰۲ ص.

۵. علیپور، س.، ف. نصیبی و ه. فرهمند. ۱۳۹۳. بررسی اثر غلظت های متفاوت سدیم نیتروپروساید (SNP) بر صفات فیزیولوژیکی و افزایش عمر گلجایی گل شاخه بریده مریم (*Polianthes tuberosa* L.). مجله پژوهشهای گیاهی (مجله زیست شناسی ایران). ۹۱۴-۹۰۴: ۲۷.

6. Alexieva, V., I. Sergiev, S. Mapelli and E. Karanov. 2001. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. Plant Cell Environ. 24:1337-1344.
7. Annonymous. 2011. Scientific opinion on the re-evaluation of lutein preparations other than lutein with high concentrations of total saponified carotenoids at levels of at least 80%. EFSA J. 5:1-25.
8. Atif, R., Y. Adnan, R.T. Asif, K. Asmat, T. Usman, M. Shoaib and R. Sitwat. 2013. Effect of drought stress on growth and flowering of marigold (*Tagetes Erecta* L.). Pak. J. Bot. 45:123-131.
9. Beligni, M.V. and L. Lamattina. 1999. Is nitric oxide toxic or protective? Trends Plant Sci. 4:299-300.
10. Cechin, I., S.C. Guilherme, D.F.F. Terezinha and C. Natalia. 2015. Nitric oxide reduces oxidative damage induced by water stress in sunflower plants. Bragantia. Campinas. 74:200-206.
11. Cechin, I., S.C. Rossi, V.C. Oliveira and T.F. Fumis. 2006. Photosynthetic responses and proline content of mature and young leaves of sunflower plants under water deficit. Photsynthetica 44:143-146.
12. Chaves M.M. 1991. Effects of water deficit on carbon assimilation. J. Exp. Bot. 42:1-16.
13. Deineka, V.I., V.N. Sorokopudov, L.A. Deineka and M.Y. Tretyakov. 2007. Flowers of marigold (*Tagetes*) species as a source of xanthophylls. Pharm. Chem. J. 41:540-542.
14. Delledonne, M., Y. Xia, R.A. Dixon, C. Lamb and M.L. Sharma. 1999. Polyamine metabolism under 1998. Nitric oxide functions as a signal in plant disease resistance. Nature 394:585-588.
15. Deshmukh, P.S., R.K. Sairam and D.S. Shukla. 1991. Measurement of ion leakage as a screening technique for drought resistance in wheat genotypes. Indian J. Plant Physi. 34:89-91.
16. Dhindsa, R.S., P. Dhindsa and T. Thorpe. 1981. Leaf senescence correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation and decrease levels of superoxide dismutase and catalase. J. Exp. Bot. 32:93-101.
17. Farahani, H., A. Valadabadi, J. Daneshian and M. Khalvati. 2009. Medicinal and aromatic plants farming under drought conditions. J. Hortic. Forest. 1:86-92.
18. Felicitas, G., J. Durner and F. Gaupels. 2013. Nitric oxide, antioxidants and prooxidants in plant defence responses. Fron. Plant Sci. 4:1-15.

19. Fernandez, J.A., L. Balenzategui, S. Bann and J.A. Franco. 2006. Induction of drought tolerance by paclobutrazol and irrigation deficit in (*Phillyrea angustifolia*) during the nursery period. Sci. Hortic. 107:277-283.
20. Garcia-Mata, C. and L. Lamattina. 2001. Nitric oxide induces stomatal closure and enhances the adaptive plant responses against drought stress. Plant Physiol. 126:1196-1204.
21. Gong, H., X. Zhu, K. Chen, S. Wang and C. Zhang. 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. Plant Sci. 169:313-321.
22. Hamida, A.O., A.Y. El-Gindi, H.S. Taha, A.A. El-Kazzaz, M.M.A. Youssef, H. Ameen and A.M. Lashein. 2008. Biological control of root-knot nematode *Meloidogyne incognita*: 2-evaluation of the nematicidal effects of *Tagetes erecta* tissue culture under laboratory and greenhouse conditions Egypt J. Phytopathol 36:33- 44.
23. He, Y., R.H. Tang, Y. Hao, R.D Stevens, C.W. Cook, L. Jing and Z. Yang. 2004. Nitric oxide represses the *Arabidopsis* flower transition. Science 305:1968-1970.
24. Heckenberger, U., U. Roggatz and U. Schurr. 1998. Effect of drought stress on the cytological status in Ricinus communis. J. Exp. Bot. 49:181-189.
25. Hsu, Y.T. and C.H. Kao. 2004. Cd toxicity is reduced by nitric oxide in rice leaves. Plant Growth Regul. 42:227-238.
26. Iturbe-ormaetxe, I., P.R. Escuredo, C. Arrese-Igor and M. Becana. 1998. Oxidative damage in pea plant exposed to water deficit or paraquat. Plant. Physiol. 116:173-181.
27. Jung, S. 2004. Variation in antioxidant metabolism of young and mature leaves of Arabidopsis thaliana subjected to drought. Plant Sci. 166:459-466.
28. Kalantari. KH. 1989. Studies on the Role of Ethylene in Water-Stressed Tomato Plant. Ph.D. thesis. Department of Biological Sciences. The University of Wales. Aberystwyth. UK. 110 p.
29. Khanna-Chopra, R. and D.S. Selote. 2007. Acclimation to drought stress generates oxidative stress tolerance in drought-resistant than - susceptible wheat cultivar under field conditions. Environ. Exp. Bot. 60:276-283.
30. Kim, J.H. and C.H. Lee. 2005. In vivo deleterious effects specific to reactive oxygen species on photosystem II after photooxidative treatment of rice leaves. Plant Sci. 168:1115-1125.
31. Lamattina, L., C. Garcia-Mata, M. Graziano and G. Pagnussat. 2003. Nitric oxide: the versatility of an extensive signal molecule .Ann. Rev. Plant. Biol. 54:109-136.
32. Laspina, N.V., M.D. Groppa, M.L. Tomaro and M.P. Benavides. 2005. Nitric oxide protects sunflower leaves against Cd-induced oxidative stress. Plant Sci. 169:323-330.
33. Leshem, Y.Y. and R. Wills. 1998. Harnessing senescence delaying gases nitric oxide and nitrous oxide: a novel approach to postharvest control of fresh horticultural produce. Biol. Plant. 41:1-10.
34. Lawlor, D. and G. Cornic. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant Cell Environ. 25:275-294.
35. Lichtenthder, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids pigments of photosynthetic biomemberanes. Method. Enzymol. 148:350-382.
36. Magdy, A., H. Shallan, M.M. Hassan, A.M. Alia and A.A. Ibrahim. 2012. Effect of Sodium Nitroprusside, Putrescine and Glycine Betaine on Alleviation of Drought Stress in Cotton Plant. American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci. 12:1252-1265.
37. Mata, C. and L. Lamattina. 2001. Nitric oxide induces stomatal closure and enhances the e plant adaptive responses against drought stress. Plant Physiol. 126:1196-1204.
38. Mohamed, M.A.H., P.J.C. Harris and J. Henderson. 2000. In vitro selection and characterisation of a drought tolerant clone of *Tagetes minuta.* Plant Sci. 159:213-222.

39. Monakhova, O.F. and V. Chernyad. 2002. Protective role of kartolin-4 in wheat plants exposed to soil drought. Biochem. Microbiol. 38:373-380.
40. Morteza, S., R. Haddad and J. Behboud. 2012. Effects of soil water shortages on the activity of antioxidant enzymes and the contents of chlorophylls and proteins in barley. American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci. 12:57-63.
41. Nasrin, F., F. Nasibi and R. Rezazadeh. 2012. Comparison the effects of nitric oxide and spermidin pretreatment on alleviation of salt stress in chamomile plant (*Matricaria recutita* L.). J. Stress Physiol. Biochem. 8:214-223.
42. Neill, J., D. Radhika and J. Hancock. 2003. Nitric oxide signaling in plant. New Phytologists 159:11-35.
43. Neill, S., R. Desikan and J. Hancock. 2003. Nitric oxide as a mediator of ABA signaling in stomatal guard cells. Bul. J. Plant Physiol. Special Issue. 2:124-132.
44. Sadrzadeh, M. and N. Moalemi. 2006. Effects of drought stress and potassium in vegetative intimacy olive seedling cultivars ‘Zard’ and ‘Baghmalek’. Plant Soil Water Agriculture res. 6:139-148.
45. Seyyedeh-Farahnaz, T., S.N. Mortazavi, R. Naderi and Y. Sharafi. 2013. Role of nitric oxide and Thidiazuron on changes of pigments during postharvest in Rosa (*Cv. ‘Sensiro’*). Int. j. Agron. Plant Prod. 4:121-126.
46. Shubhra, K., J. Dayal, C.L. Goswami and R. Munjal. 2004. Effects of water-deficit on oil of *Calendula* aerial parts. Biol. Plantarum 48:445-448.
47. Tu, J., W.B. Shen and L.L. Xu. 2003. Regulation of nitric acid on the aging process of wheat leaves. Acta Botanica Sinica. 45:1055-1062.
48. Wei-Biao, L., H. Gao-Bao, Y. Ji-Hua and Z. Mei-Ling. 2012. Nitric oxide and hydrogen peroxide alleviate drought stress in marigold explants and promote its adventitious root development. Plant Physiol. Biochem. 58:6-15.
49. Yuqi, G., T. Zengyuan, Y. Daoliang, Z. Jie and Q. Pei. 2009. Effects of nitric oxide on salt stress tolerance in Kosteletzkya virginica. Life Sci. J. 6:67-75.
50. Zamani, M., M.H. Hakimi, A. Mosleh, A.B. Kiani and A. Rashtian. 2014. The effects of Salicylic Acid (SA) and Sodium Nitroprusside (SNP) on physical and growth characteristics of *Pinus eldarica*. Bull. Enviro. Pharmacol. Life Sci. 3:31-35.

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 17 (3): 285-298 (2016)

Effects of Foliar Application of Sodium Nitroprusside on Drought Tolerance of Marigold

H. Hosseini[*] and A. Rezaei Nejad[1]

Water deficit is one of the most important environmental factors that affects plant growth and development, and limits plant production. Water deficit negatively changes the balance between the production of reactive oxygen species (ROS) and antioxidant activity, producing oxidative stress. Sodium nitroprusside (SNP) commonly used as nitric oxide (NO) donor in plants. In orther to study the effects of different concentrations of Sodium nitroprusside (SNP), on drought tolerance of Marigold, this experiment has been carried out as factorial based on a completely randomized design in a greenhouse with 9 treatments and 6 replications. Treatments including 0, 100 and 200 µM SNP and three levels of drought stress, control (FC), moderate stress (80% FC) and severe (60% F.C.). The results of morphological, physiological and biochemical parameters showed that spraying Marigold flower with a concentration of 100 µM SNP increased tolerance of Marigold flower to drought stress through the effect on physiological and biochemical parameters and improved antioxidant enzyme activity (increased catalase). The highest stem length (40.01 cm), number of flower per plant (8.83), flower longevity (29 days), leaf relative water content (66.34%) and total fresh weight (66.09 g), and the lowest ion leakage (28.12%) was found in plants treated with 100 µM SNP. Further, 100 µM SNP significantly increased average number of branches, leaf chlorophyll, dry and fresh weight of flower, stem and root dry and fresh weight compared with those in control. It was found that spraying with a concentration of 100 µM SNP could be effective in increasing tolerance of Marigold flower to drought stress.

Key Words: Drought stress, Marigold, Sodium nitroprusside.

1. Ph.D. Student and Associate Professor of Horticulture, College of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, I.R.Iran, respectively.
* Corresponding author, Email: (h_hosseini211@yahoo.com)