کاهش سمیت تنش شوری در گل نرگس (*Narcissus tazetta*) با کاربرد برگی متیل‌جاسمونات

رها تبریزی دوز[۱]، داود نادری[۲*]، سپیده کلاته جاری[۳]، حسینعلی اسدی قارنه[۴] و مرضیه قنبری جهرمی[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۸/۱۹)

چکیده

در مطالعه حاضر، اثر محلول پاشی متیل‌جاسمونات (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) بر بهبود تحمل به تنش شوری (۲ (عدم تنش)، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر) در گل نرگس طی سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان (خوراسگان) مورد مطالعه قرار گرفت. در این پژوهش، آزمایشی گلدانی به‌صورت فاکتوریل بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد که همزمان با افزایش شوری، محتوای کلروفیل، شاخص پایداری غشا، سطح برگ، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه و غلظت پتاسیم کاهش و غلظت سدیم و کلر برگ و سوخ افزایش یافتند. با این حال، محلول پاشی متیل‌جاسمونات با کاهش غلظت سدیم و کلر و همچنین افزایش غلظت پتاسیم در گیاه باعث بهبود شرایط رشد و درنتیجه افزایش بیوماس گیاه در شرایط تنش شوری شد. برهم-کنش شوری و متیل‌جاسمونات نشان داد که تحت شرایط شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، کاربرد ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات به‌ترتیب باعث کاهش ۵، ۱۴ و ۷٪ سدیم برگ، ۴، ۱۷ و ۳٪ سدیم سوخ و ۱۱، ۱۳ و ۷٪ کلر برگ گل نرگس نسبت به عدم کاربرد متیل‌جاسمونات شد. کاربرد ۱۰۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات باعث افزایش ۱۲٪ پتاسیم برگ شد. بنابراین کاربرد ۱۰۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات بهتر از سایر سطوح مورد استفاده در این مطالعه، باعث افزایش تحمل گل نرگس در برابر شوری شد.

واژه‌های کلیدی: سطح برگ، شاخص پایداری غشا، محلول‌پاشی، نسبت سدیم به پتاسیم، وزن خشک اندام هوایی و ریشه

۱ و ۳. به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
۲ و ۴. به‌ترتیب دانشیار و عضو باشگاه پژوهشگران جوان و دانشیارگروه علوم باغبانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: davidnaderi@gmail.com

مقدمه

شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی است که به‌طور قابل توجهی رشد و عملکرد گیاهان را در بسیاری از مناطق جهان محدود می‌کند. شور شدن خاک یک مشکل رایج در جهان است، و یکی از عوامل تنش‌زایی است که تولید جهانی کشاورزی را به‌طور جدی محدود می‌کند، تخمین زده می‌شود که حدود ۷٪ از کل سطح زمین در جهان و حداقل ۲۰٪ از زمین‌های تحت کشت در حال حاضر شور بوده که منجر به کاهش رشد و بهره‌وری محصولات زراعی و باغی می‌شود (۲). تنش شوری با سرعت نگران کننده‌ای در سراسر جهان در حال افزایش است، که منجر به کاهش حاصلخیزی خاک، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود. فعالیت‌های کشاورزی، مانند استفاده بیش از حد از آب شور برای آبیاری، این مسئله را حتی بیشتر کرده و در نتیجه زمین‌های قابل کشت به زمین بایر آسیب دیده از نمک تبدیل شده است (۳۵). گیاهان از سه طریق تحت تأثیر غلظت بالای کلرید سدیم قرار می‌گیرند: (الف) اثر اسمزی نمک در خاک که میزان دسترسی به آب را کاهش می‌دهد، (ب) اثر فتوتوکسیک یون‌هایی مانند Na^+ و Cl^- و (ج) عدم تعادل مواد مغذی و عدم جذب مواد مغذی ضروری، به‌عنوان مثال رقابت بین Na^+ و K^+ (۲۹). شوری زیاد می‌تواند موجب سمیت یونی، تنش اسمزی و تنش اکسیداتیو شود که منجر به پراکسیداسیون تدریجی لیپیدها، اکسیداسیون پروتئین‌ها و غیر فعال‌سازی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود (۴۱). شوری باعث تغییرات مختلف فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و زراعی، مانند تنش اکسیداتیو (۳۴)، عدم تعادل مواد مغذی داخلی (۲۴)، تغییر وضعیت آب، کاهش محتوای رنگدانه‌ها، تبادل گاز و فتوسنتز (۵۰)، کاهش رشد و افت در بهره‌وری (۴۲) می‌شود. یکی از مشخصه‌های تحمل به شوری در گیاهان، توانایی در حفظ نسبت ثابتی از سدیم و پتاسیم درون سلولی است (۴۳). به‌طور کلی، در شرایط تنش‌زا مانند تنش شوری، گیاهان از مکانیسم‌های متعددی برای افزایش تحمل به تنش استفاده می‌کنند (۲). برای ایجاد این پاسخ فیزیولوژیکی و بهبود تحمل گیاه، کاربرد خارجی مولکول‌های پیام‌رسان مانند تنظیم کننده‌های رشد یک استراتژی شناخته شده است. اسید جاسمونیک (JA) و متیل‌جاسمونات (MeJA)، که در مجموع به‌عنوان جاسمونات‌ها نامیده می‌شوند، به‌طور گسترده در گیاهان توزیع می‌شوند و بر جنبه‌های مختلف رشد گیاه و پاسخ به تنش‌های محیطی نقش دارند (۹). متیل‌جاسمونات‌ها تنظیم کننده‌های درونی رشد گیاه هستند که نقش کلیدی در فرآیند رشد و نمو در پاسخ به تنش‌های محیطی دارند. این مولکول‌های پیام‌رسان نیز زمانی که به‌صورت خارجی به‌کار برده شوند در پیکره گیاه حرکت می‌کنند و می‌توانند از طریق تنظیم بیان ژن‌های دفاعی، تنظیم برخی از پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی و تولید سایر فیتوهورمون‌ها در سلول‌ها، گیاهان را در برابر اثرات مخرب تنش‌های محیطی محافظت کنند (۹). به‌علاوه، گزارش شده است که MeJA واسطه تحریک پروتئین‌های پاسخ به تنش است (۳۳). فرهنگی‌آبریز و قاسمی‌گلزنی (۱۳) گزارش کردند که کاربرد JA می‌تواند اثرات بازدارنده تنش نمک را بر میزان فتوسنتز کاهش داده و در نتیجه رشد و نمو گیاهان را افزایش دهد. در حقیقت، این پژوهشگران نشان دادند که کاربرد JA با تحریک فعالیت H^+-ATPase در تونوپلاست سلول‌های ریشه در گیاه سویا، جذب سدیم در برگ و ریشه را کاهش می‌دهد (۱۳). شتاوی (۳۹) بیان کرد که کاربرد اسید جاسمونیک بر گیاه سویا (*Glycine max*) تحت تنش شوری، منجر به کاهش اثرات مخرب شوری و افزایش فتوسنتز و عملکرد شد.

نرگس شیراز، با اسم علمی *Narcissus tazetta* L. یک گیاه سوخ‌دار و چند ساله از خانواده نرگسیان (Amaryllidaceae) است که به‌عنوان گل بریدنی، گیاه گلدانی و یا زینتی در هوای آزاد کاربرد دارد. گونه *N. tazetta* با پوشش گل مسطح و تاج گل نیمه کروی از مهم‌ترین گونه‌های نرگس است. گلدهی این گونه نرگس از اواسط پاییز تا اواسط زمستان انجام می‌شود (۴۹ و ۵۱). شور شدن خاک اثرات نامطلوبی بر رشد و ارزش زینتی *N. tazetta* دارد. بنابراین نمک یک عامل محدود کننده غیر بیولوژیکی مهم برای بهبود رشد این گیاه است (۸). بیان و پان (۸) در مطالعه خود نشان دادند که افزایش شوری، غلظت سدیم

و کلر را در برگ‌های *N. tazetta* افزایش و غلظت پتاسیم را کاهش داد که در نهایت باعث محدود شدن رشد این گیاه شد، درحالی‌که عناصر دیگر از جمله منیزیم، کروم و کلسیم به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار نگرفتند. همچنین در آزمایشی که بر ارقام گل نرگس (*Narcissus spp.*) تحت سطوح شوری صورت گرفت نشان داده شد که افزایش سطح شوری نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی را افزایش داد و در نهایت بیوماس گیاه کاهش یافت (۴۸). در واقع یکی از مشخصه‌های تحمل به شوری در گیاهان، توانایی در حفظ نسبت ثابتی از پتاسیم و سدیم درون سلولی می‌باشد (۱۶).

با توجه به افزایش رو به رشد تولید گل نرگس و مشکل شوری آب و خاک در بسیاری از مناطق قابل کشت، تاکنون گزارشی در زمینه مکانیزم تاثیر شوری با کاربرد متیل‌جاسمونات در گیاه نرگس شیراز منتشر نشده است. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی میزان تحمل گل نرگس به تنش شوری و اثر متیل‌جاسمونات در کاهش اثرات مهاری تنش شوری و تولید بهینه محصول است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر متیل‌جاسمونات بر کاهش صدمات ناشی از شرایط شوری در گیاه نرگس شیراز، آزمایشی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان (خوراسگان) با دمای ماکزیمم، مینیمم و لحظه‌ای به ترتیب ۳۸/۸، ۰/۳ و ۳۲ درجه سلسیوس، رطوبت ماکزیمم، مینیمم و لحظه‌ای به‌ترتیب ۹۹/۹، ۴۱/۲ و ۷۱/۸ درصد و شدت نور ۱۱۶۳۰ لوکس طی دو فصل رشد ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ طراحی و اجرا شد. سوخ‌های درشت و سالم نرگس (که از مرکز تحقیقات گل و گیاه محلات تهیه شد) در اواخر مهر ماه در گلدان‌های پلاستیکی به قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر و حجم سه لیتر حاوی ۷۰٪ کوکوپیت و ۳۰٪ پرلیت کاشته شدند. پس از کاشت، گلدان‌ها بلافاصله آبیاری شدند و به صورت منظم و هر ۱۵–۱۰ روز یکبار به صورت یکسان و دستی آبیاری صورت گرفت، به‌گونه‌ای که آب کل حجم گلدان را در بر گرفت و حدود ۱۰ تا ۲۰٪ آب مورد استفاده از گلدان خارج شد. سوخ‌ها به مدت ۳–۲ هفته آبیاری شدند و از هفته چهارم از محلول غذایی هوگلند استفاده شد. پس از سبز شدن و استقرار کامل گیاهان در مرحله دو برگی، ابتدا تیمار متیل‌جاسمونات (Sigma Company, USA) به‌صورت محلول‌پاشی با حفظ غلظت مورد نظر برای هر تیمار در دو مرحله و در فواصل ۱۵ روز، روی شاخساره گل نرگس اعمال شد. محلول‌پاشی به میزانی انجام گرفت که برگ‌ها کاملاً خیس شده و قطرات محلول از برگ بریزد (حدود ۲۰–۲۵ میلی‌لیتر برای هر گلدان) و جهت سهولت جذب محلول متیل‌جاسمونات، به همراه آن یک مایع مویان به نام توئین ۲۰ (Tween 20) مخلوط شد. سپس تیمار شوری یک هفته بعد از محلول‌پاشی مرحله اول صورت گرفت. تیمارهای آزمایشی شامل متیل‌جاسمونات در چهار سطح با غلظت‌های صفر (محلول‌پاشی با آب مقطر)، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار و تیمار شوری در سه سطح با غلظت‌های ۲ (عدم تنش)، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر همراه با آب آبیاری به‌کاربرده شد. جهت اعمال تیمار شوری از نمک (Nacl) برند Merc به میزان ۲۵۰ سی‌سی برای هر گلدان استفاده شد. پس از هر ۳–۲ بار اعمال تیمار شوری جهت حفظ و تثبیت شوری به‌صورت تصادفی EC زه آب خروجی تعدادی از گلدان‌ها اندازه‌گیری شد، و اگر از دو برابر EC اعمال شده بیشتر بود در دور بعدی، آبیاری بدون تیمار شوری انجام گرفت. اعمال تیمار شوری تا زمان پایان گلدهی ادامه داشت. نمونه‌برداری جهت اندازه‌گیری صفات محتوای کلروفیل، شاخص پایداری غشا و غلظت عناصر در مرحله گلدهی صورت گرفت.

برای اندازه‌گیری محتوای رنگدانه‌ها به روش لیچتنهالر (۲۵)، ابتدا ۰/۱ گرم برگ تازه توزین شد و با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ درون هاون چینی ساییده شد. نمونه‌ها کاملاً له شده تا رنگ سبز آنها از بین برود و هر بار عصاره حاصل داخل لوله آزمایش ریخته شد. سپس عصاره‌های حاصل به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. در ادامه، فاز محلول رویی به‌عنوان نمونه برداشته شد و با دستگاه اسپکتروفتومتر (U-1800 Hitachi,

Japan) در طول‌موج‌های ۶۴۴/۸ و ۶۶۱/۶ نانومتر قرائت شد (۱۴).

برای تعیین پایداری غشای سیتوپلاسمی از روش اندازه‌گیری نشت الکترولیتی (Electrolyte leakage) استفاده شد (۴۶). به این منظور، ۲۰۰ میلی‌گرم برگ از هر گلدان انتخاب و در ویال های حاوی آب دو بار تقطیر شده قرار داده شدند. بعد از ۲۴ ساعت، نشت الکترولیت ها توسط دستگاه هدایت سنج (EC متر) (مدل Cyberscan Singapore) اندازه‌گیری شد (EC_1). به‌منظور اندازه‌گیری میزان کل نشت الکترولیت‌ها در اثر مرگ سلول، ویال‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس در اتوکلاو قرار داده شدند. سپس نمونه‌ها را به محیط آزمایشگاه انتقال داده و بعد از رسیدن به دمای محیط، دوباره نشت الکترولیت‌های نمونه‌ها اندازه‌گیری شدند (EC_2). در نهایت میزان نشت یونی از رابطه زیر به‌دست آمد:

شاخص پایداری غشا = $[1 - (EC_1 / EC_2)] \times 100$

در پایان آزمایش فاکتورهای رویشی شامل ارتفاع بوته، تعداد گل، قطر گل، سطح برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر و خشک ریشه اندازه‌گیری شدند. به‌منظور تعیین وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، گیاهان با دقت از خاک خارج و برای حذف بقایای خاک شسته شدند و از اندام هوایی جدا شدند. تمام اندازه‌گیری‌های وزن به‌وسیله‌ی ترازوی دیجیتال صورت گرفت. اندام هوایی و ریشه به مدت ۷۲ ساعت درون آون ۸۰ درجه سلسیوس (۲۷) قرار گرفتند و سپس وزن خشک نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. سطح برگ به وسیله دستگاه سطح‌سنج برگ (Leaf area meter, SE203C) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری غلظت عناصر در اندام هوایی و سوخ با استفاده از روش خاکسترگیری خشک انجام شد (۳۲). برای این کار مقدار ۰/۵ گرم از نمونه‌های گیاهی خشک پودر شده را داخل بوته‌های چینی ریخته و درون کوره با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۸ ساعت قرار داده شدند. سپس به هریک از نمونه‌ها ده میلی‌لیتر HCl دو نرمال اضافه، و در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا خاکستر به‌طور کامل هضم شود. محتویات داخل بوته چینی از کاغذ صافی عبور داده شدند و درنهایت، به حجم رسانده شدند. اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم به روش شعله سنجی و با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر و اندازه‌گیری کلر با استفاده از روش موهر انجام گرفت (۲۱).

در نهایت تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام گرفتند، همچنین مقایسه میانگین داده‌ها با روش آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ ($P<0.05$) صورت گرفت.

نتایج و بحث

محتوای کلروفیل و شاخص پایداری غشا

محتوای کلروفیل a و b و شاخص پایداری غشا به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی شوری، متیل‌جاسمونات و برهم‌کنش آنها قرار گرفتند (جدول ۱). تنش شوری باعث کاهش این رنگدانه‌های فتوسنتزی شد (جدول ۱). با این وجود محتوای کلروفیل b تحت تنش شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر افزایش یافت و در سطح تنش شوری بالا (۸ دسی‌زیمنس بر متر) به شدت کاهش یافت (جدول ۱). کاربرد متیل‌جاسمونات باعث افزایش محتوای کلروفیل a و b در تمام سطوح شوری شد (جدول ۱). بالاترین محتوای کلروفیل a و b مربوط به تیمار ۱۰۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات به‌ترتیب تحت شرایط عدم تنش (۲ دسی‌زیمنس بر متر) و ۴ دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم با ۱/۲۵ و ۰/۶۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بود (جدول ۱). کاهش محتوای کلروفیل برگ تحت تنش شوری بالا به جلوگیری از سنتز رنگدانه و پروتئین‌ها، تخریب مجموعه پروتئین‌های رنگدانه و افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز نسبت داده شده است (۳۵). با این وجود، کاربرد خارجی متیل‌جاسمونات می‌تواند بیان ژن‌های مرتبط با فتوسنتز را افزایش دهد، به عنوان مثال زیر واحد کوچک ریبولوز ۱، ۵- بی فسفات کربوکسیلات / اکسیژناز (روبیسکو) و همچنین ترجمه آنها را افزایش می‌دهد که منجر به افزایش محتوای روبیسکو و کلروفیل می‌شود (۹). متیل‌جاسمونات از طریق خنثی‌سازی اثرات کلریدسدیم در تخریب رنگدانه‌ها که

جدول ۱. اثرات سطوح شوری و کاربرد متیل‌جاسمونات (MeJA) بر محتوای کلروفیل، شاخص پایداری غشا، سطح برگ، وزن تر اندام هوایی و ریشه گل نرگس طی سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹

تیمارها	کلروفیل a	کلروفیل b	شاخص پایداری غشا	سطح برگ	وزن تر اندام هوایی	وزن تر ریشه
	(میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)		(درصد)	(میلی‌متر مربع)	(گرم در بوته)	
عدم تنش (۲ دسی‌زیمنس بر متر)						
عدم متیل جاسمونات	۱/۰۰^{c}	۰/۵۲^{d}	۹۳/۳۰^{a}	۳۷۶^{c}	۳۴/۴۹^{c}	۲۲/۲۶^{b}
µM MeJA۵۰	۱/۱۳^{b}	۰/۵۸^{bc}	۹۳/۵۸^{a}	۴۰۴^{a}	۴۱/۶۲^{a}	۲۴/۱۳^{a}
µM MeJA۱۰۰	۱/۲۵^{a}	۰/۶۰^{ab}	۹۳/۷۰^{a}	۴۰۱^{ab}	۳۹/۷۸^{a}	۲۴/۷۰^{a}
µM MeJA۲۰۰	۱/۰۳^{c}	۰/۵۵^{cd}	۹۳/۴۶^{a}	۳۹۰^{b}	۳۷/۰۱^{b}	۲۲/۷۰^{b}
تنش ملایم (۴ دسی‌زیمنس بر متر)						
عدم متیل جاسمونات	۰/۷۶^{fg}	۰/۴۴^{e}	۸۵/۰۷^{e}	۳۰۷^{e}	۳۳/۵۱^{c}	۱۷/۷۹^{d}
µM MeJA۵۰	۰/۸۴^{de}	۰/۶۱^{ab}	۸۹/۶۰^{c}	۳۲۵^{d}	۳۴/۴۰^{c}	۱۸/۰۶^{d}
µM MeJA۱۰۰	۰/۸۹^{d}	۰/۶۴^{a}	۹۱/۱۳^{b}	۳۲۸^{d}	۳۴/۳۳^{c}	۱۹/۹۹^{c}
µM MeJA۲۰۰	۰/۸۱^{ef}	۰/۶۰^{ab}	۸۷/۱۳^{d}	۳۰۶^{e}	۳۴/۱۴^{c}	۱۷/۹۹^{d}
تنش شدید (۸ دسی‌زیمنس بر متر)						
عدم متیل جاسمونات	۰/۵۸^{i}	۰/۲۲^{h}	۶۹/۶۳^{h}	۲۷۰^{g}	۲۷/۴۶^{e}	۱۴/۳۷^{f}
µM MeJA۵۰	۰/۶۲^{hi}	۰/۳۱^{g}	۷۲/۲۸^{g}	۲۸۳^{fg}	۳۰/۴۶^{d}	۱۷/۲۴^{d}
µM MeJA۱۰۰	۰/۷۱^{g}	۰/۳۸^{f}	۷۵/۱۹^{f}	۲۹۰^{f}	۳۲/۷۵^{c}	۱۷/۵۱^{d}
µM MeJA۲۰۰	۰/۶۵^{h}	۰/۳۰^{g}	۷۲/۵۰^{g}	۲۹۲^{f}	۲۹/۵۲^{d}	۱۵/۷۹^{e}
منابع تغییرات						
سال (Y)	ns	ns	ns	ns	ns	ns
شوری (S)	**	**	**	**	**	**
متیل جاسمونات (MeJA)	**	**	**	**	**	**
Y×S	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Y×MeJA	ns	ns	ns	ns	ns	ns
S×MeJA	**	**	**	*	*	**
Y×S×MeJA	ns	ns	ns	ns	ns	ns

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. ns، ** و * به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد.

ممکن است به افزایش میزان فتوسنتز خالص کمک کرده باشد، سطح کلروفیل را افزایش داد (۹).

با افزایش سطح تنش، شاخص پایداری غشا کاهش یافت، اما کاربرد متیل‌جاسمونات باعث بهبود این صفت در شرایط تنش شد (جدول ۱). بین سطوح متیل جاسمونات در شرایط عدم تنش تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، اما کاربرد ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات با بالاترین تاثیر باعث افزایش ۷٪ شاخص پایداری غشا در هر دو سطح تنش (۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر) نسبت به تیمار عدم کاربرد متیل‌جاسمونات در همان سطوح شد (جدول ۱). اختلال عملکرد غشای سلولی ناشی از تنش شوری،

به نفوذپذیری بالای یون‌ها و الکترولیت‌ها منجر می‌شود. با توجه به اینکه پیری برگ ناشی از تنش، سبب تغییرپذیری غشا می‌شود، شاخص پایداری غشا به‌عنوان عامل مهم پیش‌بینی کننده صدمه وارده بر غشا مورد مطالعه قرار می‌گیرد (۱۲). حفظ یکپارچگی غشای سلولی تحت تنش شوری به‌عنوان بخشی جدایی ناپذیر از مکانیسم تحمل شوری در نظر گرفته می‌شود (۱۲). سلیمی و همکاران (۳۶) گزارش کردند که سطح کم متیل جاسمونات (۷۵ میکرومولار) تا حد زیادی باعث کاهش نشت غشا در سطح شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر گیاه بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) شد و بیشترین درصد آسیب به غشا نیز مربوط به سطوح شوری بدون کاربرد متیل‌جاسمونات بود. همچنین این محققان بیان کردند که سطوح بالای متیل‌جاسمونات (۳۰۰-۱۵۰ میکرومولار) تاثیر مثبتی بر این صفت نداشت. اثر محافظتی متیل‌جاسمونات بر نفوذپذیری غشا ممکن است تا حدی ناشی از فعال‌سازی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان باشد، که به نوبه خود از گیاهان در برابر تولید گونه‌های فعال اکسیژن و آسیب به غشا محافظت می‌کنند و یا ممکن است منجر به سنتز مواد دیگری شود که اثرات محافظتی روی گیاهانی که تحت تنش رشد می‌کنند، داشته باشد (۱۲).

صفات مورفولوژیکی

نتایج تجزیه واریانس داده‌های سطح برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه نشان داد که صفات سطح برگ، وزن تر اندام هوایی و ریشه تحت تیمارهای شوری، متیل‌جاسمونات و برهم‌کنش آنها معنی‌دار بودند (جدول ۱). صفات وزن خشک ریشه و نسبت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه تنها تحت تیمار شوری معنی‌دار بودند (جدول ۲) و همچنین وزن خشک اندام هوایی تحت تیمارهای شوری و متیل‌جاسمونات معنی‌دار شد (جدول ۳). برهم‌کنش تنش شوری و متیل‌جاسمونات بر سطح برگ، وزن تر اندام هوایی و ریشه نشان داد که کاربرد متیل‌جاسمونات با بهبود شرایط رشد مانع کاهش این صفات تحت شرایط تنش شوری می‌شود (جدول ۱). بالاترین سطح برگ، وزن تر اندام هوایی و ریشه مربوط به هر دو سطح ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات تحت شرایط عدم تنش بود و سطح ۲۰۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات در تمام سطوح تنش تاثیر کمتری داشت (جدول ۱). همچنین وزن خشک ریشه و نسبت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه نیز در سطح شوری بالا (۸ دسی‌زیمنس بر متر) به‌ترتیب کاهش ۲۰ و ۲۳٪ را نسبت به شرایط عدم تنش داشتند (جدول ۲). سطوح ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر شوری به‌ترتیب باعث کاهش ۱۵ و ۳۸٪ وزن خشک اندام هوایی نسبت به شرایط عدم تنش شدند (جدول ۳). به‌علاوه، کاربرد متیل‌جاسمونات به‌ویژه سطح ۱۰۰ میکرومولار باعث افزایش ۱۳٪ وزن خشک اندام هوایی نسبت به تیمار عدم کاربرد متیل‌جاسمونات شد (جدول ۳).

صفات تعداد گل و ارتفاع بوته تحت تاثیر تیمارهای شوری و متیل‌جاسمونات قرار گرفتند (جدول ۳) و قطر گل تنها تحت تاثیر تیمار شوری قرار گرفت (جدول ۲). سطح شوری بالا (۸ دسی‌زیمنس بر متر) کاهش ۹٪ قطر گل را نسبت به شرایط عدم تنش داشت (جدول ۲). همچنین، سطوح ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر شوری به‌ترتیب باعث کاهش ۲۰ و ۴۲٪ تعداد گل و ۶ و ۱۱٪ ارتفاع بوته نسبت به شرایط عدم تنش شدند (جدول ۳). با این وجود، کاربرد متیل‌جاسمونات به‌ویژه سطح ۱۰۰ میکرومولار باعث افزایش ۱۰ و ۶٪ به‌ترتیب در تعداد گل و ارتفاع بوته نسبت به عدم کاربرد متیل‌جاسمونات شد (جدول ۳).

در مطالعه حاضر، تنش شوری به‌طور محسوسی صفات رشدی گل نرگس مانند وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه و سطح برگ را کاهش داد، که با برخی گزارش‌های قبلی در مورد بسیاری از محصولات مطابقت دارد (۱ و ۲۴). کاهش طول شاخه، تعداد برگ، ارتفاع بوته و وزن اندام هوایی و ریشه به‌دلیل تنش شوری را می‌توان ناشی از کاهش فشار اسمزی، عدم تعادل در تغذیه (کاهش غلظت K^+، Ca^{2+} و Mg^{2+})، سمیت یون، کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی و همچنین تنش اکسیداتیو دانست، که در نهایت بهره‌وری محصول را کاهش می‌دهد (۳۷ و ۴۰). فشار اسمزی کاهش یافته باعث کاهش فشار تورگور به‌عنوان یک

جدول ۲. اثر سطوح شوری بر وزن خشک ریشه، نسبت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه و قطر گل نرگس طی سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹

تیمار	وزن خشک ریشه (گرم در بوته)	نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه	قطر گل (سانتی‌متر)
سطوح شوری (دسی‌زیمنس بر متر)			
۲ (عدم تنش)	۳/۴۲^{a}	۲/۱۳^{a}	۳/۴۴^{a}
۴	۳/۰۲^{b}	۲/۰۲^{b}	۳/۲۴^{b}
۸	۲/۶۸^{c}	۱/۶۵^{c}	۳/۱۲^{b}
منابع تغییرات			
سال (Y)	ns	ns	ns
شوری (S)	**	**	**
متیل جاسمونات (MeJA)	ns	ns	ns
Y×S	ns	ns	ns
Y×MeJA	ns	ns	ns
S×MeJA	ns	ns	ns
Y×S×MeJA	ns	ns	ns

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. ns، ** و * به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد.

جدول ۳. اثرات سطوح شوری و کاربرد متیل‌جاسمونات بر وزن خشک اندام هوایی، تعداد گل، ارتفاع بوته، کلر سوخ، پتاسیم برگ و سوخ گل نرگس طی سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹

تیمارها	وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته)	تعداد گل	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	کلر سوخ (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ)	پتاسیم برگ	پتاسیم سوخ
سطوح شوری (دسی‌زیمنس بر متر)						
۲ (عدم تنش)	۷/۱۰^{a}	۶/۵۰^{a}	۲۶/۸۳^{a}	۳/۲۶^{c}	۶/۰۳^{a}	۱/۴۲^{a}
۴	۶/۰۵^{b}	۵/۲۱^{b}	۲۵/۱۴^{b}	۳/۷۹^{b}	۴/۶۵^{b}	۱/۳۲^{b}
۸	۴/۴۳^{c}	۳/۷۵^{c}	۲۳/۸۶^{c}	۴/۶۱^{a}	۳/۴۰^{c}	۱/۲۰^{c}
متیل جاسمونات (میکرومولار)						
عدم کاربرد	۵/۴۹^{b}	۴/۸۳^{b}	۲۴/۳۸^{b}	۴/۰۵^{a}	۴/۴۲^{c}	
۵۰	۶/۰۹^{a}	۵/۲۸^{ab}	۲۶/۰۳^{a}	۳/۸۰^{bc}	۴/۷۴^{b}	
۱۰۰	۶/۲۳^{a}	۵/۳۳^{a}	۲۵/۷۵^{a}	۳/۷۴^{c}	۴/۹۳^{a}	
۲۰۰	۵/۶۳^{b}	۵/۱۷^{ab}	۲۴/۹۶^{b}	۳/۹۶^{ab}	۴/۶۸^{b}	
منابع تغییرات						
سال (Y)	ns	ns	ns	ns	ns	ns
شوری (S)	**	**	**	**	**	**
متیل جاسمونات (MeJA)	**	**	**	**	**	ns
Y×S	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Y×MeJA	ns	ns	ns	ns	ns	ns
S×MeJA	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Y×S×MeJA	ns	ns	ns	ns	ns	ns

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. ns، ** و * به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد.

عامل مهم در تقسیم و طویل شدن سلول‌ها می‌شود (۲۳). همچنین پژوهش‌ها نشان می‌دهد تنش شوری از طریق کاهش فتوسنتز، تخریب غشاهای سلولی، کاهش آب قابل دسترس برای گیاه و تجمع یون سدیم سبب کاهش وزن اندام هوایی گیاه می‌شود (۳۸). افزایش غلظت نمک در محیط ریشه منجر به کاهش تعداد تارهای کشنده و چروکیدگی سطح آنها می‌شود که در نهایت منجر به کاهش طول و وزن ریشه می‌شود (۱۰). از سوی دیگر، فرهنگی‌ابریز و قاسمی‌گلذانی (۱۳) نشان دادند که محلول پاشی اسید جاسمونات باعث تحریک فعالیت H^+-ATPase در تونوپلاست ریشه و کاهش جذب سدیم توسط گیاهان سویا می‌شود که باعث افزایش تحمل گیاه در برابر تنش و بهبود پارامترهای رشد می‌شود. به‌علاوه، متیل‌جاسمونات از طریق کاهش هدایت روزنه‌ای و کاهش میزان تعرق موجب ذخیره آب و افزایش فشار تورژسانس در بافت‌ها و بهبود وزن تر و خشک گیاه می‌شود (۲۶).

در مطالعات دیگر، تنش شوری باعث کاهش قطر ساقه گل-دهنده و قطر گل مریم (۶) و گل نرگس (۳۰) شد، که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد. در واقع، شوری از طریق تاثیر منفی بر جذب عناصر غذایی به‌ویژه کلسیم که در افزایش دیواره سلولی و افزایش قطر گل نقش دارد، سبب کاهش قطر گل‌های باز شده می‌شود (۲۸). جهانبازی و همکاران (۱۹) گزارش کردند که تیمار اسید جاسمونیک قادر به افزایش قابل توجه تعداد گل، قطر گل و طول ساقه در گل رز شد. اعتزاض و همکاران (۱۱) در خربزه (*Cucumis melo* L.) و جبارزاده و همکاران (۱۸) در مورد بنفشه آفریقایی (*Saintpaulia ionantha*) متوجه شدند که متیل‌جاسمونات به‌عنوان یک ماده شیمیایی باعث گلدهی می‌شود. جاسمونات‌ها همچنین با تنظیم انتقال سیگنال داخلی در شرایط محیطی تنش‌زا، سنتز تنظیم کننده‌های رشد دیگر مانند اسید آبسیزیک و اتیلن را تغییر می‌دهند. هر دوی این هورمون‌ها در افزایش تحمل تنش در گیاهان نقش دارند (۱۳).

غلظت عناصر در برگ و سوخ

تیمارهای آزمایشی شوری، متیل‌جاسمونات و برهم‌کنش آنها تأثیر معنی‌داری بر غلظت سدیم برگ و سوخ، کلر برگ و نسبت سدیم به پتاسیم در برگ و سوخ داشتند (جدول ۴)، پتاسیم و کلر برگ تحت تیمارهای شوری و متیل‌جاسمونات معنی‌دار شدند و صفت پتاسیم سوخ تنها تحت تاثیر تیمار شوری قرار گرفت (جدول ۳). افزایش محتوای سدیم و کلر همراه با افزایش غلظت نمک در برگ و سوخ گل نرگس مشاهده شد (جدول ۳ و ۴). با این حال، کاربرد متیل‌جاسمونات باعث کاهش غلظت این عناصر در هر دو اندام در تمام سطوح تنش شوری شد (جدول ۳ و ۴) به‌طوری که، تحت شرایط شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، کاربرد ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات به‌ترتیب باعث کاهش ۵، ۱۴ و ۷٪ سدیم برگ، ۴، ۱۷ و ۳٪ سدیم سوخ و ۱۱، ۱۳ و ۷٪ کلر برگ گل نرگس نسبت به تیمار عدم کاربرد متیل‌جاسمونات در همین سطح شوری شد (جدول ۴). در واقع، نتایج نشان داد که غلظت بالاتر متیل‌جاسمونات تأثیر کمتری بر کاهش این عناصر داشت (جدول ۴). غلظت کلر سوخ تحت شوری ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب افزایش ۱۶ و ۴۱٪ نسبت به شرایط عدم تنش را نشان داد. کاربرد ۱۰۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات بیشترین تأثیر را در کاهش غلظت کلر سوخ داشت (جدول ۳). پتاسیم برگ با افزایش غلظت نمک خاک کاهش یافت، با این وجود کاربرد ۵۰، ۱۰۰و۲۰۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات به‌ترتیب باعث افزایش ۷، ۱۲ و ۶٪ پتاسیم برگ نسبت به عدم کاربرد متیل‌جاسمونات شدند (جدول ۳). تیمار شوری ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب کاهش ۷ و ۱۵٪ پتاسیم سوخ را نسبت به شرایط عدم تنش نشان دادند (جدول ۳). از سوی دیگر با افزایش سطح شوری، نسبت سدیم به پتاسیم در هر دو اندام برگ و سوخ افزایش یافت و کاربرد متیل‌جاسمونات باعث کاهش این نسبت شد (جدول ۴). تفاوت چشمگیری بین تیمارهای محلول‌پاشی در شرایط عدم تنش برای این صفات وجود نداشت، در حالی که نسبت سدیم به پتاسیم در برگ و سوخ تحت کاربرد ۱۰۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات با بیشترین تأثیر به‌ترتیب باعث کاهش ۲۳ و ۱۳٪ این صفات در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر و کاهش ۲۸ و ۲۲٪ این صفات در

جدول ۴. اثرات سطوح شوری و کاربرد متیل‌جاسمونات (MeJA) بر غلظت سدیم برگ و سوخ، کلر برگ و نسبت سدیم به پتاسیم برگ و سوخ گل نرگس طی سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹

تیمارها	سدیم برگ	سدیم سوخ	کلر برگ	نسبت سدیم به پتاسیم برگ	نسبت سدیم به پتاسیم سوخ
	(میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ)				
عدم تنش (۲ دسی‌زیمنس بر متر)					
عدم متیل جاسمونات	۲/۶۹^{f}	۲/۲۲^{e}	۴/۱۷^{f}	۰/۴۷^{f}	۱/۵۷^{f}
µM MeJA۵۰	۲/۵۱^{g}	۲/۱۹^{e}	۴/۰۹^{f}	۰/۴۱^{g}	۱/۵۲^{f}
µM MeJA۱۰۰	۲/۵۸^{fg}	۲/۱۷^{e}	۴/۱۲^{f}	۰/۴۲^{g}	۱/۵۱^{f}
µM MeJA۲۰۰	۲/۵۶^{fg}	۲/۲۲^{e}	۴/۲۰^{f}	۰/۴۲^{g}	۱/۵۹^{f}
تنش ملایم (۴ دسی‌زیمنس بر متر)					
عدم متیل جاسمونات	۳/۳۲^{d}	۲/۸۸^{bc}	۴/۸۲^{d}	۰/۷۵^{d}	۲/۲۲^{d}
µM MeJA۵۰	۲/۶۶^{fg}	۲/۶۹^{cd}	۴/۵۷^{de}	۰/۵۸^{e}	۲/۰۴^{de}
µM MeJA۱۰۰	۲/۸۶^{e}	۲/۵۶^{d}	۴/۵۱^{e}	۰/۵۸^{e}	۱/۹۳^{e}
µM MeJA۲۰۰	۲/۶۳^{fg}	۲/۷۸^{cd}	۴/۷۱^{de}	۰/۵۶^{e}	۲/۱۲^{de}
تنش شدید (۸ دسی‌زیمنس بر متر)					
عدم متیل جاسمونات	۴/۶۲^{a}	۳/۶۶^{a}	۵/۹۰^{a}	۱/۴۸^{a}	۳/۱۶^{a}
µM MeJA۵۰	۴/۳۷^{b}	۳/۵۳^{a}	۵/۲۸^{bc}	۱/۲۷^{b}	۲/۹۲^{b}
µM MeJA۱۰۰	۳/۹۷^{c}	۳/۰۵^{b}	۵/۱۵^{c}	۱/۰۷^{c}	۲/۴۸^{c}
µM MeJA۲۰۰	۴/۳۰^{b}	۳/۵۶^{a}	۵/۴۷^{b}	۱/۳۱^{b}	۲/۹۹^{ab}
منابع تغییرات					
سال (Y)	ns	ns	ns	ns	ns
شوری (S)	**	**	**	**	**
متیل جاسمونات (MeJA)	**	**	**	**	**
Y×S	ns	ns	ns	ns	ns
Y×MeJA	ns	ns	ns	ns	ns
S×MeJA	**	*	*	**	*
Y×S×MeJA	ns	ns	ns	ns	ns

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. ns، ** و * به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد.

شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به عدم کاربرد متیل‌جاسمونات در همان سطوح تنش شد (جدول ۴).

طبق نظر هنیلیکوا و همکاران (۱۶)، مکانیسم اصلی تحمل شوری، توانایی گیاهان در تنظیم جذب یون سدیم از خاک است. نوس و همکاران (۳۱) اظهار داشتند که شوری ناشی از غلظت بالای نمک می‌تواند با تجمع غلظت‌های بالای یون‌های سدیم و کلر به‌طور همزمان، رشد را کاهش دهد، اما اثرات این دو یون ممکن است متفاوت باشد. غلظت بالای کلر به‌دلیل تخریب کلروفیل و فتوسنتز عملکرد کوانتومی را کاهش می‌دهد. همچنین کمبود آب القا شده با شوری منجر به کاهش توسعه سلول برگی می‌شود و افزایش سریع تجمع سدیم در نتیجه کاهش حجم سلولی را در بر دارد (۱۵). افزایش محتوای سدیم همراه با

افزایش غلظت نمک برای کاهو (۴۵) ، اسفناج نیوزیلندی (۵۲) و خرفه (۴۴) گزارش شده است.

محتوای بالای سدیم باعث جلوگیری از جذب یون‌های پتاسیم می‌شود که عنصری اساسی برای رشد و نمو است (۲۰). بنابراین در این مطالعه نیز تجمع پتاسیم در برگ و سوخ گل نرگس با افزایش شوری به تدریج کاهش یافت. در مورد خرفه (*Portulaca oleracea*)، محتوای پتاسیم با افزایش غلظت کلرید سدیم به تدریج کاهش یافت (۱۶). پتاسیم یون اصلی مربوط به تحمل در برابر تنش شوری است (۲۰). همچنین، آلام و همکاران (۳) اظهار داشتند که پتاسیم در میان سایر مواد معدنی بعد از نیتروژن، فراوان‌ترین عنصر موجود در پیکره گیاه است. این عنصر به‌عنوان یک اسمولیت معدنی، نقش مهمی در عملکردهای فیزیولوژیکی مانند تنظیم اسمزی و حفظ فشار تورژسانس دارد که منجر به توسعه سلولی، عمل سلول‌های روزنه، حرکات برگ و همچنین فعال‌سازی برخی از آنزیم‌های فتوسنتز، سنتز پروتئین‌ها و تعادل بار الکتریکی غشاهای سلولی می‌شود (۳۰). تحت تیمارهای شوری، غلظت سدیم و کلر در نهال نرگس به‌طور قابل توجهی افزایش یافت (۸). سدیم بالا در جذب پتاسیم و کلسیم تداخل ایجاد می‌کند و تنظیمات کارآمد روزنه را مختل می‌کند، که منجر به کاهش فتوسنتز و رشد می‌شود (۱۶). نتایج بسیاری از مطالعات نشان می‌دهد که گیاهانی که در معرض تنش شوری هستند، به‌طور حتم مقدار زیادی سدیم را جذب می‌کنند، که متعاقباً باعث کاهش محتوای پتاسیم می‌شود (۵). در حقیقت، غلظت بالای سدیم و همچنین یون‌های کلر در محیط ریشه، سرکوب جذب مواد مغذی ضروری مانند پتاسیم را به دنبال دارد که منجر به بهره‌وری کمتر محصول می‌شود و حتی ممکن است منجر به مرگ گیاه شود (۲۰). تنظیم تعادل یون‌ها در گیاه برای تحمل به تنش شوری ضروری است، یون‌های سدیم برای جذب از طریق سیستم‌های انتقال مشترک با پتاسیم رقابت می‌کنند و این رقابت معمولاً به نفع سدیم است، زیرا این عنصر معمولاً به میزان قابل توجهی بیشتر از پتاسیم در محیط‌های شور وجود دارد (۷). در مقابل نتایج ما، گزارش شده است که محتوای پتاسیم در دو رقم توت فرنگی 'Korona' و 'Elsanta' تحت غلظت‌های شوری بالا افزایش یافته است (۱۲). این نویسندگان وجود سیستم جذب پتاسیم کارآمدتر در توت فرنگی را در مقایسه با سایر گیاهان پیشنهاد کردند. علاوه‌براین، آنها گزارش دادند که 'Korona' توانایی جذب مقدار قابل توجهی پتاسیم در برگ‌ها را دارد. درحالی‌که، 'Elsanta' افزایش بالاتر پتاسیم در میوه‌ها و دمبرگ‌ها را نشان داد. بنابراین، احتمال دارد که ارقام توت فرنگی در پاسخ به جذب پتاسیم تحت تنش شوری متفاوت باشند (۱۲).

حذف یا نگهداری غلظت‌های پایین یون‌های سمی سدیم در اندام‌های مختلف به‌عنوان مکانیزم فیتوفیزیولوژیکی ضروری برای تحمل شوری در نظر گرفته می‌شود (۱۷). اگرچه تجمع یون‌های سدیم در برگ‌ها ممکن است باعث حفظ فشار تورژسانس شود، اما قادر نخواهد بود جانشین کارکردهای ویژه پتاسیم و کلسیم شود (۴). در مطالعه حاضر، غلظت پتاسیم گیاهان تیمار شده با متیل‌جاسمونات در هر دو اندام هوایی و سوخ در مقایسه با گیاهان شاهد افزایش یافت ولی غلظت سدیم و کلر کاهش یافتند. نسبت Na^+/ K^+ با افزایش غلظت شوری در برگ و سوخ گل نرگس افزایش یافت. حفظ نسبت پایین Na^+/ K^+ به‌عنوان یک ویژگی تعیین کننده در تحمل نمک تعریف می‌شود (۱۶). در این مطالعه نیز کاربرد متیل‌جاسمونات با حفظ غلظت پتاسیم بالا و کاهش سدیم باعث کاهش این نسبت شد که می‌توان به‌عنوان شاخصی مهم در افزایش مقاومت این گیاه به شوری تحت کاربرد این تیمار در نظر گرفت. به‌علاوه، اثرات مثبت اسیدجاسمونیک بر تجمع یون‌های پتاسیم و فسفر قبلاً توسط فقیه و همکاران (۱۲) گزارش شده است. کانگ و همکاران (۲۲) گزارش کردند که غلظت سدیم با کاربرد خارجی اسید جاسمونات، در گیاهان برنج به‌طور چشمگیری کاهش یافت. ثابت شده است که متیل‌جاسمونات با مهار بازشدن روزنه‌ای، میزان تعرق را کاهش می‌دهد، بنابراین کاهش تعرق احتمالاً منجر به انتقال و جذب محدود سدیم و کلر توسط ریشه می‌شود (۴۷). جاسمونات‌ها همچنین با تنظیم انتقال سیگنال داخلی در شرایط محیطی تنش‌زا، سنتز تنظیم کننده‌های رشد دیگر مانند اسید آبسیزیک و اتیلن را

تغییر می‌دهند. هر دوی این هورمون‌ها در افزایش تحمل تنش در گیاهان نقش دارند (۱۳).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تنش شوری تأثیر مخربی بر صفات رشدی، محتوای کلروفیل و شاخص پایداری غشا برگ گل نرگس داشت. از طرف دیگر، کاربرد متیل‌جاسمونات تأثیر مثبتی بر وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه داشته و با کاهش سمیت شوری از طریق کاهش سدیم و کلر و افزایش پتاسیم در هر دو اندام برگ و سوخ باعث افزایش محتوای کلروفیل و بیوماس گیاه و همچنین بهبود شاخص پایداری غشا گل نرگس شد. در بین سطوح متیل‌جاسمونات، کاربرد ۱۰۰ میکرومولار بهترین تأثیر را بر بهبود شرایط رشدی گیاه داشته و اثرات مخرب شوری را تا حدی کاهش داده است، درحالی‌که غلظت بالاتر این ترکیب علاوه‌بر هزینه اضافی باعث کاهش رشد گیاه در شرایط تنش شوری شد.

منابع مورد استفاده

1. Abd-Allah, E. F., H. Abeer, A. A. Alqarawi and S. Alwhibi Mona. 2015. Alleviation of adverse impact of salt in *Phaseolus vulgaris* L. by *Arbuscular mycorrhizal* fungi. *Pakistan Journal of Botany* 47: 1167-1176.
2. Ahmadi, F. I., K. Karimi and P. C. Struik. 2018. Effect of exogenous application of methyl jasmonate on physiological and biochemical characteristics of *Brassica napus* L. cv. Talaye under salinity stress. *South African Journal of Botany* 115: 5-11.
3. Alam, A., A. S. Juraimi, M. R. Yusop, A. A. Hamid and A. Hakim. 2014. Morpho-physiological and mineral nutrient characterization of 45 collected Purslane (*Portulaca oleracea* L.) accessions. *Bragantia* 73: 426-437.
4. Amini, F. and A. A. Ehsanpour. 2005. Soluble proteins, proline, carbohydrates and Na^+/K^+ changes in two tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars under in vitro salt stress. *American Journal of Biochemistry* 1(4): 204-208.
5. Asgari, H. R., W. Cornelis and P. V. Damme. 2012. Salt stress effect on wheat (*Triticum aestivum* L.) growth and leaf ion concentrations. *International Journal of Plant Production* 6(2): 195-208.
6. Bahadoran, M. and H. Salehi. 2015. Growth and flowering of two tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) cultivars under deficit irrigation by saline water. *Journal of Agricultural Science and Technology* 17(2): 415-426.
7. Baninasab, B. and M. R. Baghbanha. 2013. Influence of salicylic acid pre-treatment on emergence and early seedling growth of cucumber (*Cucumis sativus*) under salt stress. *International Journal of Plant Production* 7(2): 187-220.
8. Bian, A. and D. Pan. 2018. Effects of salt stress on growth and inorganic ion distribution in *Narcissus tazetta* L. var. chinensis Roem. Seedlings. *HortScience* 53(8): 1152-1156.
9. Chavoushi, M., K. Manoochehri Kalantari and M. J. Arvin. 2019. Effect of salinity stress and exogenously applied methyl jasmonate on growth and physiological traits of two *Carthamus tinctorius* varieties. *International Journal of Horticultural Science and Technology* 6(1): 39-49.
10. Dadras, N., H. Besharati and S. Ketabchi. 2012. Effects of salt stress induced by sodium chloride on growth and biological nitrogen fixation in soybean cultivars. *Journal of Soil* 26: 141-137. (In Farsi).
11. Eetezaz, N., T. Hathout, S. Al and M. Al. 2011. Jasmonic acid elicits oxidative defense and detoxification systems in *Cucumis melo* L. cells. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 23: 161-174.
12. Faghih, S., C. Ghobadi and A. Zarei. 2018. Response of strawberry plant cv. 'Camarosa' to salicylic acid and methyl jasmonate application under salt stress condition. *Plant Growth Regulation* 36(3): 651-659.
13. Farhangi-Abriz, S. and K. Ghassemi-Golezani. 2019. Jasmonates: Mechanisms and functions in abiotic stress tolerance of plants. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 20: 101210.
14. Ghaffari, H., M. R. Tadayon, M. Nadeem, M. Cheema and J. Razmjoo. 2019. Proline mediated changes in antioxidant enzymatic activities and physiology of sugar beet under drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum* 41(2): 23.
15. Hasegawa, P. M. 2013. Sodium (Na^+) homeostasis and salt tolerance of plants. *Environmental and Experimental Botany* 92: 19-31.
16. Hniličková, H., F. Hnilička, M. Orsák and V. Hejnák. 2019. Effect of salt stress on growth, electrolyte leakage, Na^+ and K^+ content in selected plant species. *Plant, Soil and Environment* 65 (2): 90-96.
17. Houmani, H. and F. J. Corpas. 2016. Differential responses to salt-induced oxidative stress in three phylogenetically related plant species: *Arabidopsis thaliana* (glycophyte), *Thellungiella salsuginea* and *Cakile maritima* (halophytes).

Involvement of ROS and NO in the control of K^+/Na^+ homeostasis. *AIMS Biophysics* 3(3): 380-397.
18. Jabbarzadeh, Z., M. Khosh-Khui and H. Salehi. 2009. The Effect of foliar-applied salicylic acid on flowering of african violet. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 3: 4693-4696.
19. Jahanbazi, T., F. Mortezaienejad and M. Jafararpoor M. 2014. Impact of salicylic acid and jasmonic acid on keeping quality of rose (cv. 'Angelina') flowers. *Journal of Novel Applied Sciences* 3(11): 1328-1335.
20. James, R. A., C. Blake, C. S. Byrt and R. Munns. 2011. Major genes for Na^+ exclusion, Nax1 and Nax2 (wheat HKT1;4 and HKT1;5), decrease Na^+ accumulation in bread wheat leaves under saline and waterlogged conditions. *Journal of Experimental Botany* 62: 2939-2947.
21. Johnson, C. M. and A. Ulrich. 1959. California Agriculture. II. Analytical methods for use in plant analysis. *California Journal of Agriculture Experiment Station Bulletin* 766: 26-27.
22. Kang, D. J., Y. J. Seo, J. D. Lee, R. Ishii, K. U. Kim, D. H. Shin, S. K. Park, S. W. Jang and I. J. Lee. 2005. Jasmonic acid differentially affects growth, ion uptake and abscisic acid concentration in salt-tolerant and salt-sensitive rice cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science* 191(4): 273-282.
23. Khulenjani, M. B. and M. S. Salamati. 2018. The effects of salinity and methyl jasmonate on some morphological traits of chamomile (*Matricaria chamomilla*). *Iranian Society of Plant Physiology* 7: 233-248.
24. Li, H., Y. Zhu, Y. Hu, W. Han and H. Gong. 2015. Beneficial effects of silicon in alleviating salinity stress of tomato seedlings grown under sand culture. *Acta Physiologiae Plantarum* 37: 71.
25. Lichtenhaler, H. K. 1987. Chlorophylls and carotenoids the pigmants of photosynthetic biomembranes. pp. 350-382, In: R. Douce and L. Pacher (eds.), Methods Enzymol. Academic press, New York.
26. Ma, C., Z. Q. Wang, L. T. Zhang, M. M. Sun and T. B. Lin. 2014. Photosynthetic responses of wheat (*Triticum aestivum* L.) to combined effects of drought and exogenous methyl jasmonate. *Photosynthetica* 52: 377-385.
27. Maren, E., B. Veatch, M. R. Bernadette and T. Sweeney. 2019. The effect of bulb weight on salinity tolerance of three common Narcissus cultivars. *Scientia Horticulturae* 248: 62-69.
28. Mohammadi Torkashvand, A. and T. Toofighi Alikhani. 2015. The impact of drought stress of the cultivation medium on the growth and postharvest life of lilium and chlorophyll in different potassium concentrations of nutrient solution. *Journal of Ornamental Plants* 5(2): 123-130.
29. Munns, R. and M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59: 651-681.
30. Naseri Moghadam, A., H. Bayat, M. H. Aminifard and F. Moradinezhad. 2020. Effect of drought and salinity stress on flower quality, biochemical changes and ions concentration of *Narcissus tazetta* cv. 'Shahla'. *Journal of Plant Production Research* 27(1): 207-221. (In Farsi).
31. Neves, M. A., M. G. Miguel, C. Marques, T. Panagopoulos and J. Beltrão. 2008. The combined effects of salts and calcium on growth and mineral accumulation on *Tetragonia tetragonioides*. *WSEAS Transactions on Environment and Development* 4: 1-5.
32. Page, A. L., R. H. Miller. and D. R. Keeney. 1982. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
33. Rakwl, R. and S. Komatsu. 2001. Jasmonic acid-induced necrosis drastic decreases in ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase in rice seedlings under light involves reactive oxygen species. *Plant Physiology* 158: 679-688.
34. Sadak, M. S. and M. T. Abdelhamid. 2015. Influence of amino acids mixture application on some biochemical aspects, antioxidant enzymes and endogenous polyamines of *Vicia faba* plant grown under seawater salinity stress. *Gesunde Pflanze* 67: 119-129.
35. Sadeghipour, O. 2017. Amelioration of salinity tolerance in cowpea plants by seed treatment with methyl jasmonate. *Legume Researcch* 40(6): 1100-1106.
36. Salimi, F., F. Shekari, M. R. Azimi and E. Zangani. 2012. Role of methyl jasmonate on improving salt resistance through some physiological characters in German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 27(4): 700-711. (In Farsi).
37. Shaki, F., H. Ebrahimzadeh Maboud and V. Niknam. 2018. Growth enhancement and salt tolerance of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) by salicylic acid. *Current Plant Biology* 13: 16-22.
38. Sharifi, M., M. Ghorbanli and H. Ebrahimzadeh. 2006. Improved growth of salinity-stressed soybean after inoculation with salt pre-treated mycorrhizal fungi. *Journal of Plant Physiology* 164(9): 1144-1151.
39. Sheteawi, S. A. 2007. Improving growth and yield of salt stressed soybean by exogenous application of jasmonic acid and ascorbin. *International Journal of Agricultural and Biological* 9(3): 473-478.
40. Siddiqi, K. S. and A. Husen. 2019. Plant response to jasmonates: current developments and their role in changing environment. *Bulletin of the National Research Centre* 43: 153.
41. Tanou, G., A. Molassiotis and G. Diamantidis. 2009. Induction of reactive oxygen species and necrotic death-like destruction in strawberry leaves by salinity. *Environmental and Experimental Botany* 65: 270-281.

42. Tartoura, K. A. H., S. A. Youssef and E. A. A. Tartoura. 2014. Compost alleviates the negative effects of salinity via up-regulation of antioxidants in *Solanum lycopersicum* L. plants. *Journal of Plant Growth Regulation* 74: 299-310.
43. Tester, M. and R. Davenport. 2003. Na^+ tolerance Na^+ transport in higher plants. *Annals of Botany* 91: 503-527.
44. Uddin, M. K., A. S. Juraimi, F. Anwar, M. A. Hossain and M. A. Alam. 2012. Effect of salinity on proximate mineral composition of purslane (*Portulaca oleracea* L.). *Australian Journal of Crop Science* 12: 1732-1736.
45. Ünlükara, A., B. Cemek, S. Karaman and S. Ersahin. 2008. Response of lettuce (*Lactuca sativa* var. crispa) to salinity of irrigation water. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 36: 263-271.
46. Valentovic, P., M. Luxova, L. Kolarovic and O. Gasparikova. 2006. Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relations in two maize cultivars. *Plant Soil and Environment* 52(4): 186-191.
47. Vatankhah, E., B. Kalantari and B. Andalibi. 2017. Effects of methyl jasmonate and salt stress on physiological and phytochemical characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 33(3): 449-465. (In Farsi).
48. Veatch-Blohm, M. E., D. Chen and M. Hassett. 2013. Narcissus cultivar differences in response to saline irrigation when application began either pre- or post-emergence. *Horticultural Science* 48: 322-329.
49. Veatch-Blohm, M. E., D. Sawch, N. Elia and D. Pinciotti. 2014. Salinity tolerance of three commonly planted narcissus cultivars. *HortScience* 49(9): 1158-1164.
50. Wang, S., P. Liu, D. Chen, L. Yin, H. Li and X. Deng. 2015. Silicon enhanced salt tolerance by improving the root water uptake and decreasing the ion toxicity in cucumber. *Frontiers in Plant Science* 6: 759.
51. Wang, J., Q. Qiao and J. Tao. 2019. The physiological response of three narcissus pseudonarcissus under NaCl stress. *American Journal of Plant Sciences* 10: 447-461.
52. Yousif, B. S., N. T. Nguyen, Y. Fukuda, H. Hakata, Y. Okamoto, Y. Masaoka and H. Saneoka. 2010. Effect of salinity on growth, mineral composition, photosynthesis and water relations of two vegetable crops; New Zealand spinach (*Tetragonia tetragonioides*) and water spinach (*Ipomoea aquatica*). *International Journal of Agriculture and Biology* 12: 211-216.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 12, No. 1, Spring 2022, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Mitigation of Salt Stress Toxicity in *Narcissus tazetta* L. by Foliar Application of Methyl Jasmonate

R. Tabrizi Dooz[1], D. Naderi[2*], S. Kalateh Jari[3], H. A. Asadi Gharneh[4] and M. Ghanbari Jahromi[3]

(Received: August 25-2021; Accepted: November 10-2021)

Abstract

In the present study, the effect of foliar application of methyl jasmonate (MeJA) (0, 50, 100, and 200 µM) and salt stress (2 (non-stress), 4 and 8 dS m^{-1}) on the improvement of salinity stress tolerance in narcissus was studied in the Research Greenhouse, Islamic Azad University of Isfahan (Khorasgan) during 2019-2020. In this research, a pot experiment was conducted, as factorial based on randomized complete block design with three replications. With increase in salinity, chlorophyll content, membrane stability index, leaf area, fresh and dry weight of shoots and roots and K concentration of narcissus decreased but Na and Cl concentrations increased in the leaves and bulbs. However, foliar-applied MeJA led to decreases in the concentration of Na and Cl and increase in the concentration of K in the plant tissue, resulting in improvement of the growth and plant biomass of the salt-stressed plants. Application of 50, 100 and 200 µM MeJA led to 5%, 14%, 7% reductions in leaf Na, 4%, 17%, 3% reductions in bulb Na, and 11%, 13%, 7% reductions in leaf Cl concentrations, respectively, of narcissus subjected to 8 dS m^{-1} salinity, compared to the absence of MeJA treatment. Moreover, application of 100 µM MeJA increased leaf K by 12%. Therefore, application of 100 µM MeJA was proven to be superior to other levels used in this study in increasing the tolerance of narcissus to saline conditions.

Keywords: Leaf area, Membrane stability index, Foliar application, Sodium to potassium ratio, Shoot and root dry weight

1, 3. Ph.D. student and Assistant Professor, Respectively, Department of Horticultural Science, College of Agricultural Science and Natural Resources, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2, 4. Associate Professor, Young Researchers and Elite Club member and Associate Professor, Respectively, Department of Horticultural Sciences, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: davidnaderi@gmail.com