به‌زراعی کشاورزی
دوره ۲۰ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۳۹۷
صفحه‌های ۶۷۸-۶۶۷

مطالعه واکنش‌های مورفوفیزیولوژیکی گیاه خرفه (*Portulaca oleracea* L.) به متیل‌جاسمونات تحت تنش شوری

داریوش طالعی[1*]، رضا شریفی[2]، سید مهدی پیرصالحی[3]

۱. استادیار، مرکز تحقیقات گیاهان دارویی دانشگاه شاهد، تهران، ایران.
۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، فضای سبز شهرداری تهران، تهران، ایران.
۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مرکز تحقیقات گیاهان دارویی دانشگاه شاهد، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۲۰

چکیده

به‌منظور بررسی واکنش‌های مورفوفیزیولوژیکی گیاه خرفه (*Portulaca oleracea* L.) به متیل‌جاسمونات تحت تنش شوری با کلریدسدیم آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده با دو فاکتور بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در مرکز تحقیقات گیاهان دارویی دانشگاه شاهد واقع در جنوب تهران در سال ۱۳۹۶ انجام شد که در آن غلظت‌های شوری با ٤ سطح (۰، ۳، ٦، ۹ دسی‌زیمنس) به‌عنوان فاکتور اصلی و غلظت‌های متیل‌جاسمونات با ٤ سطح (۰، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ میلی‌مولار) به‌عنوان فاکتور فرعی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت شوری شاخص‌های رشد از قبیل طول ریشه، وزن‌تر ریشه، کلروفیل b، کلروفیل کل و میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز کاهش پیدا کرد، در حالی‌که با افزایش غلظت شوری مقدار پرولین برگ، میزان فعالیت مالون دآلدئید و کاتالاز افزایش یافت. با اعمال تیمار متیل‌جاسمونات تحت تنش شوری میزان کاهش شاخص‌های رشد و رنگیزه‌های فتوسنتزی تعدیل پیدا کرد. بیشترین ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ، وزن‌تر و خشک اندام هوایی و پرولین در غلظت شش دسی‌زیمنس بر متر شوری و ۰/۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات بدست آمد، همچنین با افزایش سطح متیل‌جاسمونات میزان پرولین و میزان فعالیت کاتالاز افزایش یافت ولی با افزایش غلظت متیل‌جاسمونات میزان فعالیت مالون دآلدئید و سوپراکسیددیسموتاز در برگ کاهش یافت. بنابراین، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تحمل گیاه خرفه به شوری حداکثر شش دسی‌زیمنس بر متر شوری می‌باشد و مصرف مقدار پایین متیل‌جاسمونات (۰/۵ میلی‌مولار) منجر به افزایش حدود ۳۰/۷ درصد در عملکرد و بهبود شاخص‌های فیزیولوژیک خرفه می‌شود.

کلیدواژه‌ها: سوپراکسیددیسموتاز، صفات فیزیولوژیکی، صفات موفولوژیکی، کاتالاز، مالون دآلدئید.

* نویسنده مسئول
Email: d.talei1348@gmail.com

۱. مقدمه

خرفه[1] گیاه دارویی از تیره پرتولاکاسه[2] است که ساقه‌های بدون کرک، گوشتی، برگ‌ها بدون کرک، گوشتی، قاشقی‌شکل با حواشی صاف و بدون دمبرگ، گل‌ها با دو کاسبرگ گوشتی ارغوانی مایل به سبز و گلبرگ زرد رنگ و میوه از نوع کپسول است که دارای تعداد زیادی بذر براق سیاه رنگ مایل به قهوه‌ای می‌باشد. گیاهی یک‌ساله است که ارتفاع آن تا حدود ٤٠ سانتی‌متر در مراحل بذردهی می‌رسد. خرفه در سرتاسر نواحی معتدل و گرمسیر دنیا انتشار یافته است (Holm *et al*., 1977). این گیاه غنی از اسیدهای چرب، پروتئین و ویتامین C، A و E می‌باشد که حدود ۷۰ درصد اسیدهای چرب تشکیل‌دهنده روغن آن غیراشباع بوده و حدود ۵۰ درصد آن را تنها اسید چرب امگا۳ تشکیل می‌دهد (Masoodi *et al*., 2011). بر اساس منابع طب سنتی ایران خرفه یک گیاه ضددرد، تب‌بر، ضدعفونی‌کننده، ضداسکوربوت، ضدسرفه، ضدالتهاب، تصفیه‌کننده‌خون، ضدسوختگی پوست و کاهش تورم و آبسه‌ها، گزیدگی نیش حشرات و عقرب گزیدگی می‌باشد (Zargari, 1997).

تنش‌های محیطی، به‌ویژه شوری معمولاً به‌دلیل کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک، اثرات یونی خاص، عدم تعادل تغذیه‌ای گیاه و یا ترکیبی از این عوامل، به‌عنوان یکی از مهمترین عوامل محدودکننده رشد و توسعه گیاه در دنیا است. در ایران از مجموع کل مساحت کشور حدود ۲۵ میلیون هکتار که معادل ۱۵ درصد کل مساحت کشور است را خاک‌های شور تشکیل می‌دهند و از مجموع ٦۵/ ۱۵ میلیون هکتار زمین‌های کشاورزی سالیانه و دائمی کشور، حدود ۷/۳۳ میلیون هکتار شور می‌باشد که این معادل ۵۰ درصد از زمین‌های تحت کشت کشور است و متأسفانه به علت عدم مدیریت صحیح، سالیانه بر شدت اثرات سوء آن افزوده می‌شود (Qureshi *et al*., 2007).

محرک‌ها، ترکیباتی با منشأ زیستی (پلی‌ساکاریدها و گلیکوپروتئین‌ها) و غیرزیستی (سالیسیلیک‌اسید و متیل‌جاسمونات) هستند که از طریق القای پاسخ‌های دفاعی باعث بیوسنتز و انباشت متابولیت‌های ثانویه می‌شوند (Santos-Soares *et al*., 2010). اسیدجاسمونیک و مشتقات آن یعنی متیل‌جاسمونات تنظیم‌کننده‌های رشد درونی گیاه هستند که نقش کلیدی در رشد، نمو و تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در پاسخ به تنش‌های محیطی ایفا می‌کنند (Hildmann *et al*., 1992). در بررسی اثرات شوری بر برخی پارامترهای فیزیولوژی گیاه رزماری[3] مشخص که تنش شوری باعث تجمع پرولین و آنتی‌اکسیدان‌ها در گیاه می‌شود (Kiarostami *et al*., 2010). در بررسی اثر تنش شوری بر واکنش‌های فیزیولوژیک شنبلیله[4] نشان دادند که شوری باعث کاهش محتوای کلروفیل a، b و کارتنوئید و افزایش میزان مالون دآلدئید و فعالیت کاتالاز گردید (Pasandi-Pour *et al*., 2013).

تنش‌های محیطی با تولید گونه‌های فعال اکسیژن[5] از قبیل اکسیژن یکتایی، رادیکال‌های سوپراکسید، پراکسیدهیدروژن و رادیکال‌های هیدروکسیل باعث ایجاد تنش اکسیدانی می‌شود. کاربرد متیل‌جاسمونات بصورت اسپری در غلظت مناسب باعث افزایش کارایی ارگانیسم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود (Hayat *et al*., 2010). در بررسی تأثیر متیل‌جاسمونات روی بابونه آلمانی[6] تحت تنش شوری گزارش شد که مصرف مقدار کم متیل‌جاسمونات (۷۵ میکرومولار) به‌طور قابل‌توجهی سرعت فتوسنتزی، هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق، کارایی

1. *Portulaca oleracea*
2. Portulacaceae

3. *Rosemarinus officinalis* L.
4. *Trigonella foenum-graecum* L.
5. Reactive oxygen species
6. *Matricaria chamomilla* L.

کربوکسیلاسیون و وزن خشک گل را افزایش داد و بالاترین غلظت متیل‌جاسمونات (۳۰۰ میکرومولار) سرعت فتوسنتزی، هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق، کارایی کربوکسیلاسیون و وزن خشک گل را کاهش داد (Salimi *et al.*, 2014). همچنین گزارش شده است که مصرف متیل‌جاسمونات با غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میکرومول در مقایسه با شاهد و تیمار ۲۰۰ میکرومول اثرات مثبتی بر میزان ایزوفلاونوئیدها در کشت بافت گیاه کودزو[1] داشته است (Thiem & Krawczyk, 2010). محققین در مطالعه اثر متیل‌جاسمونات بر روی ترکیبات فنولی گیاه ریحان[2] گزارش دادند که افزایش متیل‌جاسمونات از ۰/۱ به ۰/۵ میلی‌مولار سبب افزایش میزان فنل کل در گیاه ریحان شده است (Kim *et al.*, 2006). در مطالعه دیگری اسپری متیل‌جاسمونات باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از قبیل کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در گیاه ریحان گردید (Brouki-Milan *et al.*, 2016). با توجه به اهمیت و ارزش اقتصادی گیاه خرفه در صنایع دارویی و از آنجایی‌که تحقیقات قابل‌توجهی در رابطه با نقش متیل‌جاسمونات به‌عنوان القاکننده مقاومت و فعال‌سازی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت تحت تنش شوری در گیاه خرفه انجام نشده است، هدف از این تحقیق بررسی واکنش‌های مورفوفیزیولوژیکی گیاه خرفه به تیمار متیل‌جاسمونات تحت تنش شوری و تعیین آستانه تحمل این گیاه به شوری بود.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. ماده گیاهی و شرایط جوانه زنی

بذر خرفه از مرکز تحقیقات گیاهان دارویی دانشگاه شاهد تهیه شد. بذور به‌مدت دو دقیقه در اتانول ۷۰ درصد قرار داده شده و سپس به‌مدت سه دقیقه در هیپوکلریت‌سدیم ۰/۱۲۵ درصد ضدعفونی و سپس سه بار با آب مقطر شستشو شدند. سپس بذور با ماسه مخلوط شدند و در گلدان‌های ۱۰ کیلویی حاوی ماسه و پرلیت به نسبت مساوی در عمق دو تا سه سانتی‌متری کشت شدند و پس از جوانه‌دار شدن بذور تعداد ۲۰ گیاه در هر گلدان نگهداشته و بقیه تنک شدند.

۲.۲. طرح آزمایشی

آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده با دو فاکتور بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی مرکز تحقیقات گیاهان دارویی دانشگاه شاهد در سال ۱۳۹۶ انجام شد، که در آن غلظت‌های شوری با چهار سطح (۰، ۳، ۶، ۹ دسی‌زیمنس) به‌عنوان فاکتور اصلی و غلظت‌های متیل‌جاسمونات با چهار سطح (۰، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ میلی‌مولار) به‌عنوان فاکتور فرعی مورد بررسی قرار گرفتند. گیاهان تا مرحله چهار برگی تنها با آب مقطر آبیاری شدند و بعد از این مرحله ابتدا به‌مدت یک هفته محلول‌پاشی با متیل‌جاسمونات، سپس سه هفته تنش شوری با غلظت‌های مختلف کلریدسدیم (۲۰۰ میلی‌لیتر در هر مرحله برای هر گلدان) به‌صورت متوالی با فاصله زمانی یک روز در میان اعمال شد. در این مدت گیاهان هر سه روز در میان با محلول غذایی هوگلند آبیاری شدند و در پایان دوره تیماردهی صفات مورفولوژیکی و محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، پرولین، مالون دآلدئید برگ آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از قبیل کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز اندازه‌گیری شدند.

۳.۲. اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی

بعد از پایان دوره تیمار متیل‌جاسمونات و تنش شوری (چهار هفته) در مرحله رشد کامل گیاه (قبل از گلدهی)

1. *Pueraria lobata* L.
2. *Ocimum basilicum* L.

صفات مورفولوژیکی گیاه از قبیل طول اندام هوایی، تعداد شاخه جانبی در ساقه اصلی، تعداد برگ، طول ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه اندازه‌گیری شد. وزن خشک اندام هوایی و ریشه ۷۲ ساعت پس از قرار دادن اندام هوایی و ریشه در دمای ٦٣ درجه سانتی‌گراد در آون اندازه‌گیری شد.

٤.٢. سنجش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی

برای اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی، مقدار ۰/۳ گرم برگ تازه توزین و در هاون با سه میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به‌خوبی ساییده و مقدار کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید در طول موج های ٤٧٠، ٦٤٥ و ٦٦٣ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Perkin Elmer Lambda25; UV/VS, USA) اندازه‌گیری و مقدار رنگیزه‌ها برحسب میلی‌گرم بر گرم بافت تر محاسبه گردید (Lichtenthaler, 1987).

٥.٢. سنجش محتوای پرولین

مقدار ۰/۲۵ گرم برگ تر با پنج میلی‌لیتر محلول سولفوسالیسیلیک‌اسید سه درصد در هاون به‌خوبی ساییده و از کاغذ صافی واتمن شماره یک عبور داده شدند و سپس دو میلی‌لیتر از عصاره فیلترشده با دو میلی‌لیتر محلول نین هیدرین (۱/۲۵ گرم نین هیدرین ۹۹ درصد در ۳۰ میلی‌لیتر اسیتیک اسید و ۲۰ میلی‌لیتر فسفریک‌اسید شش مولار) و دو میلی‌لیتر اسیتیک اسید مخلوط شد و به‌مدت یک ساعت در حمام آبی در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از اضافه نمودن چهار میلی‌لیتر تولوئن جذب آن با دستگاه طیف‌سنج نوری در طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری و در نهایت مقدار پرولین به صورت میکروگرم بر گرم وزن‌تر در نمونه‌ها محاسبه گردید (Bates *et al*., 1973)[۲].

٦.٢. سنجش محتوای مالون دآلدئید برگ

در این روش مقدار ۰/۹ گرم از بافت تر گیاهی با ۵ میلی‌لیتر تری‌کلرواستیک‌اسید ۲۰ درصد در هاون ساییده شد و عصاره حاصل به‌مدت ۵ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ (مدل بکمن کولتر، ساخت آلمان) گردید. سپس یک میلی‌لیتر از عصاره با چهار میلی‌لیتر تری‌کلرواستیک‌اسید ۲۰ درصد حاوی ۰/۵ درصد تیوباربیتوریک‌اسید مخلوط و به‌مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد و سپس بلافاصله در یخ، سرد و به‌مدت ۱۰ دقیقه در دمای محیط قرار داده شد و در نهایت برای رسوب دادن پروتئین نمونه با تری‌کلرواستیک‌اسید، نمونه با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. جذب محلول رویی که کمپلکس قرمز MDA-TBA بود، در طول موج ۵۳۰ نانومتر قرائت شد. مقدار جذب رنگیزه‌های غیراختصاصی در ٦٠٠ نانومتر تعیین شد و از مقدار جذب در ۵۳۰ نانومتر کسر شد. برای محاسبه غلظت مالون‌دآلدئید از ضریب خاموشی $\varepsilon = 155\mu\ mol^{-1}\ cm^{-1}$ استفاده شد و در نهایت مقدار مالون دآلدئید برحسب میکرومول بر گرم وزن‌تر محاسبه گردید (Heath & Packer, 1968).

۷.۲. سنجش محتوای کاتالاز

برای سنجش آنزیم کاتالاز ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۰۵ مولار (pH 7) با ۲۰ میکرولیتر آب اکسیژنه سه درصد در حمام یخ با هم مخلوط کرده و بلافاصله ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی ۱۰ برابر رقیق‌شده (جهت تهیه عصاره آنزیمی مقدار ۰/۲ گرم برگ سبز در ۲ میلی‌لیتر بافر استخراج پروتئین در هاون چینی سرد کاملاً ساییده و بصورت همگن درآورده شد.) به مخلوط اضافه شد و تغییرات جذب آن در طول موج ۲٤٠ نانومتر توسط

دستگاه طیف‌سنج نوری به‌مدت پنج دقیقه خوانده شد. میزان فعالیت آنزیم بر حسب تغییرات واحد جذب در دقیقه به‌ازای هر میلی‌گرم پروتئین با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید (Aebi, 1984).

$$CAT\ (mmol_{H2O2}\ min^{-1}mg_{protein}^{-1}) = \frac{(\Delta A_{240}/\Delta t)V_{mix}}{\varepsilon d P V_{extr}}$$

ΔA: میزان جذب، Δt: زمان واکنش (دقیقه)، V_{mix}: حجم نهایی واکنش (لیتر)، ε: ضریب خاموشی H_2O_2 (مولار) در ۲۴۰ نانومتر که برابر است با $40 mM^{-1}cm^{-1}$، d: پهنای کوت (سانتی‌متر)، V_{exter}: حجم نمونه به‌کار رفته در آزمایش (میلی‌لیتر)، P: غلظت پروتئین در نمونه ($mgml^{-1}$).

۸.۲. سنجش محتوای سوپراکسیددیسموتاز

برای سنجش میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز ۵۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی به ۲/۵ میلی‌لیتر محیط واکنش شامل ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات‌سدیم (pH 7.8)، ۱۳ میلی‌مولار متیونین، ۷۵ میکرومولار نیتروبلو تترازولیوم[1]، ۰/۱ میلی‌مولار EDTA و ۵۰ میکرومولار ریبوفلاوین را در لوله آزمایشی که با فویل آلومینیومی تاریک شده بود ریخته و به‌مدت ۱۵ دقیقه در فاصله ۱۵ سانتی‌متری منبع نور قرار داده شد و بلافاصله جذب آنها در ۵۶۰ نانومتر خوانده شد. مقدار جذب یک محیط واکنش برابر با تفاضل مقدار جذب محیطی که در تاریکی برای یک دوره زمانی مشابه به‌عنوان کنترل نگهداری شد و مقدار جذب نمونه‌ای که در معرض نور بود. یک واحد فعالیت آنزیمی مقداری از آنزیم است که موجب ۵۰ درصد ممانعت احیای NBT در ۵۶۰ نانومتر می‌باشد. میزان فعالیت آنزیم بر حسب یک واحد در دقیقه به‌ازای میلی‌گرم پروتئین محاسبه گردید (Beauchamp & Fridovich, 1971).

برای سنجش میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز ۵۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی به ۲/۵ میلی‌لیتر محیط واکنش شامل ۵۰ میلی‌مولار (pH 7.8) بافر فسفات‌سدیم، ۱۳ میلی‌مولار متیونین، ۷۵ میکرومولار نیتروبلو تترا زولیوم (NBT)، ۰/۱ میلی‌مولار EDTA و ۵۰ میکرومولار ریبوفلاوین را در لوله آزمایشی که با فویل آلومینیومی تاریک شده بود ریخته و به‌مدت ۱۵ دقیقه در فاصله ۱۵ سانتی‌متری منبع نور قرار داده شد و سپس بلافاصله جذب آنها در ۵۶۰ نانومتر خوانده شد. میزان فعالیت آنزیم بر اساس یک واحد در دقیقه به‌ازای میلی‌گرم پروتئین محاسبه گردید (Beauchamp & Fridovich, 1971).

تجزیه‌وتحلیل داده‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۴) انجام شد و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح یک درصد استفاده شد. برای رسم نمودارها و گراف‌ها از اکسل استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که غلظت‌های مختلف شوری و متیل‌جاسمونات روی طول ریشه، کلروفیل b، کلروفیل کل، پرولین، مالون دآلدئید، سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز اثر معنی‌داری داشته است، درحالی‌که غلظت‌های مختلف شوری روی طول اندام هوایی، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ، طول و عرض برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه، کلروفیل a و کاروتنوئید اثر معنی‌داری نداشت. همچنین اثرات متقابل شوری و متیل‌جاسمونات بر طول اندام هوایی، طول ریشه، وزن‌تر ریشه، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید اثر معنی‌داری داشت، درحالی‌که اثرات متقابل شوری و متیل‌جاسمونات بر صفات پرولین، مالون دآلدئید، سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز اثر معنی‌داری نداشته است (جدول‌های ۱ و ۲).

مقایسه میانگین اثرات متقابل غلظت‌های مختلف

1. Nitro Blue Tetrazolium (NBT)

شوری و متیل‌جاسمونات روی طول اندام هوایی تفاوت معنی‌داری نشان داد به‌طوری‌که بیشترین طول اندام هوایی (۳۲/۳±۰/۳۳cm) در غلظت صفر دسی‌زیمنس بر متر شوری و غلظت ۰/۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات و کمترین طول اندام هوایی (۲۳/۰±٤/۰cm) در غلظت صفر شوری و صفر متیل‌جاسمونات مشاهده شد (شکل ۱).

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف شوری و متیل‌جاسمونات روی صفات مورفولوژیکی خرفه

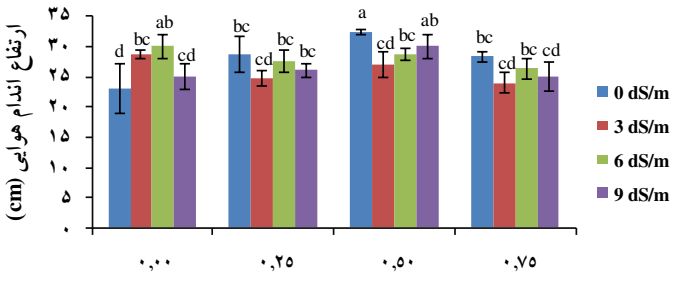
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		ارتفاع بوته	تعداد شاخه جانبی	تعداد برگ	طول ریشه	وزن‌تر اندام هوایی	وزن‌تر ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	وزن خشک کل
شوری (S)	۳	۱۲/۸٦*	۱٤/۲۲*	۲۸۷۲/۸۱*	۱٤/٤۲**	۱۵۹/۹۳*	۱/۷۷*	۲/۹۱*	۰/۲۵*	٤/۷۱*
خطای اصلی	۸	۱۱/۳۹	۳/۲۱	۱۱۱٦/۳۵	۱۰/۳۹	۱۰٦۰/۱۰	۰/۵۲	۲/۳۱	۰/۰۹	۲/۷۱
متیل‌جاسمونات (M)	۳	۹/۵۲*	۳/۱۹*	۱۱٤٤/۱۹*	۱٦/۷۱**	۸۲۱/۱۷*	۲/۵۷*	۱/۲۸*	۰/۲۲*	۲/۳۸*
S×M	۸	۲۵/٤۷**	۲/۳۸*	۲٤۸۱/۰۲*	۹/۲۹**	٤۰۲/۹٦*	۳/۲۵***	۱/۹۲*	۰/۳۵*	۳/۵۸*
خطای فرعی	۲۲	۹/۸۹	٦/۵۰	۱۳٦٦/۲۳	٤/۰۱	۵۱۱/۲۷	۰/۹٤	۱/۸۱	۰/۱٦	۲/٦۲
ضریب تغییرات (درصد)		۱۱/۵	۱۷/۳	۱۹/۹	۲۳/۵	۲۳/۰	۲۰/۸	۲۵/۷	۲۳/٦	۲۷/۳

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

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف شوری و متیل‌جاسمونات روی صفات فیزیولوژیکی خرفه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	پرولین	مالون‌دآلدئید	سوپراکسیددیسموتاز	کاتالاز
شوری	۳	۰/۰۰*	۰/۰۰**	۰/۰۰**	۰/۵۸*	۲۸٦۵۲۹/۲۸***	۰/۰۰***	۲۲۵۹/٤۳***	۲/۸۵***
خطای اصلی	۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/٤٦	۱٦۳٦۸/۲۱	۰/۰۰	۲۲/۱٤	۰/۷۷
متیل‌جاسمونات	۳	۰/۰۰*	۰/۰۰**	۰/۰۰**	۰/۱۹*	٤/۹۷***	۰/۰۰***	۷/٦۸***	۰/۰۰***
اثرات متقابل	۸	۰/۰۰***	۰/۰۰**	۰/۰۰**	۱/۱۹***	۰/۰۳*	۰/۰۰*	۰/۰۱*	۰/۰۰*
خطای فرعی	۲۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲٤	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۰
ضریب تغییرات (درصد)		۲٦/۸	۱٦/۱	۱۵/٤	۲٦/۳	۱۲/۱	۷/۱	۵/٤	۸/۲

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

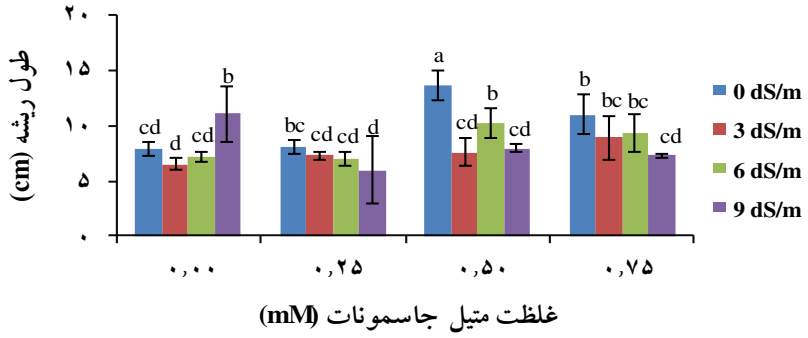


شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح شوری و متیل‌جاسمونات (Mean+SE) روی طول اندام هوایی خرفه

مقایسه میانگین غلظت‌های مختلف شوری روی طول ریشه تفاوت معنی‌داری نشان داد به‌طوری‌که بیشترین مقدار طول ریشه (۱۰/۲±۰/۸۸cm) در غلظت صفر دسی‌زیمنس بر متر شوری به‌دست آمد. بین غلظت‌های شوری سه، شش و نه دسی‌زیمنس بر متر براساس طول ریشه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، درحالی‌که بین کنترل و غلظت‌های شوری اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. همچنین، غلظت‌های مختلف متیل‌جاسمونات روی طول ریشه تفاوت معنی‌داری نشان داد به‌طوری‌که بیشترین مقدار طول ریشه (۹/۹±۰/۸۷cm) در غلظت ۰/۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات و کمترین آن (۷/۱±۰/۷۲cm) در غلظت ۰/۲۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات به‌دست آمد. مقایسه میانگین اثرات متقابل غلظت‌های مختلف شوری و متیل‌جاسمونات روی طول ریشه تفاوت معنی‌داری نشان داد و بیشترین مقدار طول ریشه (۱۳/۷±۱/۳۳cm) در غلظت صفر دسی‌زیمنس بر متر شوری و غلظت ۰/۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات و کمترین مقدار طول ریشه (٦/۰±٤/۰cm) در غلظت نه دسی‌زیمنس بر متر شوری و ۰/۲۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات مشاهده شد (شکل ۲). مقایسه میانگین اثرات متقابل غلظت‌های مختلف شوری و متیل‌جاسمونات روی وزن تر ریشه تفاوت معنی‌داری نشان داد به‌طوری‌که بیشترین وزن‌تر ریشه (٤/۷±۱/۳۷g) در غلظت صفر دسی‌زیمنس بر متر شوری و غلظت ۰/۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات و کمترین وزن تر ریشه (۰/۷۷±۰/۲۰g) در غلظت شش دسی‌زیمنس بر متر شوری و ۰/۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات مشاهده شد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با افزایش سطح شوری از سه به شش دسی‌زیمنس بر متر طول اندام هوایی، تعداد برگ و تعداد شاخه جانبی گیاه به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. افزایش غلظت متیل‌جاسمونات منجر به افزایش طول اندام هوایی، تعداد برگ و تعداد شاخه جانبی گیاه گردید. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که افزایش غلظت متیل‌جاسمونات می‌تواند میزان تنش گیاه را به شوری تعدیل کند. درحالی‌که در نه دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش طول اندام هوایی، تعداد شاخه جانبی و تعداد برگ شد و در نها یت منجر به مرگ گیاه گردید.

تنش شوری رشد گیاه و بهره‌وری گیاه را با تأثیر بر صفات مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی و فرآیندها و عملکردها کاهش می‌دهد. اختلال در جذب آب و مواد مغذی توسط گیاهان ممکن است باعث کاهش عملکرد محصول در خاک شور شود. کاهش تعداد برگ، ارتفاع گیاه و تعداد شاخه جانبی گیاه از صفات مورفولوژیکی اولین اثرات آشکار تنش شوری بر گیاهان تحت تنش می‌باشد (Muhammad & Hussain, 2010).



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح شوری و متیل‌جاسمونات (Mean+SE) روی طول ریشه خرفه

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با افزایش سطح شوری تا شش دسی‌زیمنس بر متر تعداد برگ، ارتفاع گیاه و تعداد شاخه جانبی گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. درحالی‌که با افزایش غلظت متیل‌جاسمونات تعداد برگ، ارتفاع گیاه و تعداد شاخه جانبی گیاه افزایش پیدا می‌کند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که افزایش غلظت متیل‌جاسمونات تا غلظت معینی می‌تواند میزان تنش گیاه را به شوری تعدیل کند. مطالعات انجام‌گرفته در گیاه گل ساعتی[1] نشان داد که تعداد برگ و طول برگ گیاه تحت تیمار شوری کاهش می‌یابد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (Zahir & Farrukh, 2010). گزارش شده است که اندام هوایی گیاهان مختلف از جمله گندم، جو، ذرت، آفتابگردان، لوبیا و توت‌فرنگی تحت تیمار متیل‌جاسمونات در شرایط تنش شوری افزایش می‌یابد (Rajeshwari & Bhuvaneshwari, 2017).

مقایسه میانگین غلظت‌های مختلف شوری و متیل‌جاسمونات روی وزن‌خشک کل اختلاف معنی‌داری نشان داد، اما با افزایش سطح شوری مقدار وزن‌خشک کل کاهش و با افزایش غلظت متیل‌جاسمونات مقدار وزن خشک کل افزایش یافت. مقایسه میانگین اثرات متقابل غلظت‌های مختلف شوری و متیل‌جاسمونات روی کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید تفاوت معنی‌داری نشان داد. به‌طوری‌که بیشترین مقدار کلروفیل کل ($\mu g.g^{-1}$ FW ۰/۰۹±۰/۰۱) در غلظت شش دسی‌زیمنس بر متر شوری و غلظت ۰/۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات و کمترین مقدار آن ($\mu g.g^{-1}$ FW ۰/۰٤±۰/۰۱) در غلظت نه دسی‌زیمنس بر متر شوری و صفر میلی‌مولار متیل‌جاسمونات مشاهده شد (شکل ۳). همچنین، نتایج نشان داد که بیشترین مقدار کاروتنوئید ($\mu g.g^{-1}$ FW ۲/۷۵±۰/۳) در غلظت شش دسی‌زیمنس بر متر شوری و غلظت ۰/۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات و کمترین مقدار آن ($\mu g.g^{-1}$ FW ۱/۰۹±۰/۱) در غلظت نه دسی‌زیمنس بر متر شوری و صفر میلی‌مولار متیل‌جاسمونات مشاهده شد (شکل ٤).

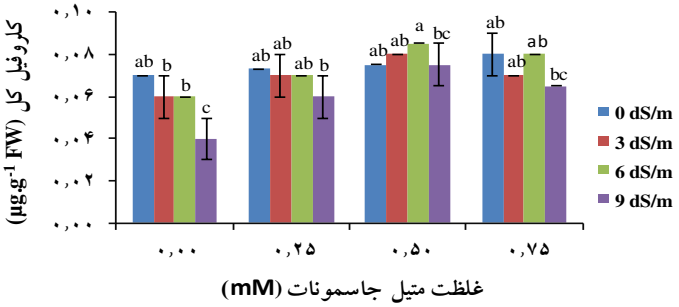
تأثیر متیل‌جاسمونات به عواملی نظیر گونه، مرحله نموی گیاه، نحوه اعمال تیمار و غلظت آن وابسته است، متیل‌جاسمونات در غلظت‌های بالاتر وضعیت اکسایشی گیاه را بیش از حد توان گیاه تحت تأثیر قرار می‌دهد و در نهایت منجر به مرگ گیاه می‌شود (Kovacik *et al*., 2009). در گیاه پوئراریا[2] غلظت ٤۰ میکرومول متیل‌جاسمونات باعث افزایش تولید ایزوفلاونوئیدها شده، درحالی‌که غلظت‌های بالاتر متیل‌جاسمونات باعث کاهش تولید ایزوفلاونوئیدها شده است (Goyal & Ramawat, 2008). گزارش شده است که متیل‌جاسمونات از مؤثرترین محرک‌های شیمیایی است که با طریق فعال کردن بیان ژن‌های مسیر بیوسنتزی متابولیت‌های ثانویه باعث افزایش تولید آن‌ها در گیاهان مختلف می‌شوند (Zhao *et al*., 2005). در تحقیق حاضر همسو با نتایج تحقیقی که نشان داد متیل‌جاسمونات سبب افزایش شاخص‌های رشدی و محتوای کلروفیل گیاهچه‌های گل اطلسی می‌شود (Zarghami-Moghaddam *et al*., 2014)، شاخص‌های رشدی و محتوای کلروفیل تحت تیمار متیل‌جاسمونات افزایش یافت که ممکن است به‌دلیل جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های کلروفیل اکسیداز مرتبط باشد که مانع تجزیه کلروفیل شده و از این طریق سبب افزایش فتوسنتز می‌شوند.

مقایسه میانگین غلظت‌های مختلف شوری روی پرولین، مالون دالدئید، سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز نشان داد با افزایش سطح شوری مقدار پرولین و میزان فعالیت آنزیم

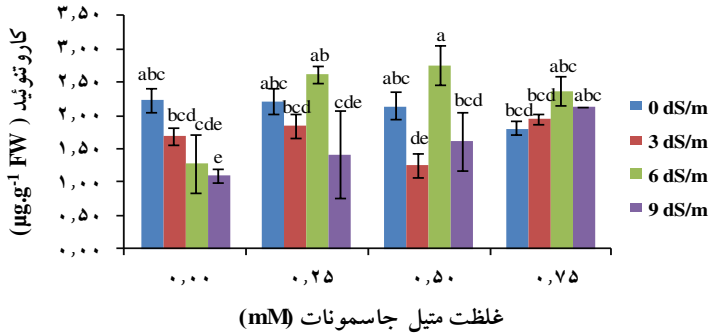
1. *Passiflora edulis* L.

2. *Pueraria tuberosa* L.

مالون دآلدئید و کاتالاز افزایش می‌یابد و میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز کاهش می‌یابد. بیشترین مقدار پرولین و میزان فعالیت آنزیم مالون دآلدئید و کاتالاز در غلظت نه دسی‌زیمنس بر متر شوری و کمترین مقدار پرولین و میزان فعالیت آنزیم مالون دآلدئید و کاتالاز در غلظت صفر دسی‌زیمنس بر متر شوری مشاهده شد. همچنین، نتایج نشان داد که با افزایش غلظت متیل‌جاسمونات مقدار پرولین برگ و میزان فعالیت سوپراکسیددیسموتاز افزایش می‌یابد، درحالی‌که میزان فعالیت آنزیم مالون دآلدئید و کاتالاز کاهش می‌یابد (جدول۳).



شکل ۳ . مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح شوری و متیل‌جاسمونات (Mean+SE) روی مقدار کلروفیل کل خرفه



شکل ٤ . مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح شوری و متیل‌جاسمونات (Mean+SE) روی مقدار کاروتنوئید خرفه

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیکی گیاه خرفه تحت تنش شوری و تیمار متیل‌جاسمونات

تیمار	سطوح	پرولین (µg/g FW)	مالون دالدئید (µmol/g)	سوپراکسیددیسموتاز (mmol H_2O_2 $mg_{protein}^{-1}$)	فعالیت کاتالاز (mmol H_2O_2 $min^{-1}mgprotein^{-1}$)
شوری (dS/m)	۰	٦٥/٤٤±٢/٩d	۰/۰۳۰±۰/۰۰d	٦١/٥٢±۰/۳۰a	۰/۷٤±۰/۱۸d
	۳	۱۰٥/٥۰±۸/۳c	۰/۰۳۲±۰/۰۰c	۳۷/٤٤±۰/۳۸b	۰/۹۱±۰/۱۰c
	٦	۲۹٥/۱۸±۱۱/۰b	۰/۰۳٥±۰/۰۰b	۳۳/۹٦±۰/٥٦c	۱/٦۳±۰/۰۸b
	۹	٤۰۳/۹۱±۲۹/٥a	۰/۰۳۹±۰/۰۰a	۳۱/۰۷±۱/۳٥d	۱/۷۰±۰/۱٤a
متیل‌جاسمونات (mM)	۰	۲۰۳/۳۸±٤٥/۷c	۰/۰۳۰±۰/۰۰a	٤۳/۸۸±۳/۹۲a	۱/۱۷±۰/۱۷d
	۰/۲٥	۱۹۳/٥۰±۳۹/٥d	۰/۰۳۰±۰/۰۰b	٤۲/٥۲±۳/۸۱b	۱/۲۲±۰/۲۰c
	۰/٥۰	۲۱۹/۹٤±٤٥/۳b	۰/۰۲۸±۰/۰۰c	٤۰/٦۱±۳/۷۲c	۱/۲٥±۰/۱۸b
	۰/۷٥	٤۰۳/۹۱±٤٥/۳a	۰/۰۲۷±۰/۰۰d	۳۸/۹۲±۳/۷۳d	۱/۲٤±۰/۱۸a

حروف غیریکسان نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد.

یکی از سازوکارهای مهم گیاهان عالی تحت تیمار تنش شوری انباشت ترکیبات سازگار مانند پرولین است که به‌عنوان یک ماده محافظت‌کننده غیر سمی، برای تنظیم اسمزی در شرایط شوری و سایر تنش‌های محیطی مطرح است (Cayley *et al*., 1992). چندین گزارش نقش مهم پرولین را در تنظیم فشار اسمزی، حفاظت از ساختار سلول و عملکرد آن را در ارقام متحمل به شوری و حساس نشان داده است (Koca *et al*., 2007; Turan *et al*., 2007). در پژوهش حاضر با افزایش سطح شوری میزان پرولین برگ به‌صورت بسیار معنی‌داری افزایش یافت. به‌طوری‌که مقدار پرولین از ٦٥/٤٤ میکرو گرم بر گرم وزن تر در تیمار شاهد به مقدار ٤٠٣/٩١ میکرو گرم بر گرم وزن تر در غلظت نه دسی‌زیمنس بر متر شوری افزایش یافت. بنابراین، تجمع پرولین می‌تواند به‌عنوان سازوکاری مؤثر جهت کاهش فعالیت رادیکال‌های آزاد اکسیژن و حفظ محتوای آب یاخته‌ای گیاه، تحت شرایط شوری مطرح باشد. کاربرد متیل‌جاسمونات منجر به افزایش مقدار پرولین گردید. بنابراین، محلول‌پاشی گیاه با متیل‌جاسمونات در شرایط تنش شوری می‌تواند باعث بهبود رشد گیاه شده و در نتیجه مقاومت به تنش شوری را افزایش دهد.

مالون دآلدئید یک محصول پراکسیداسیون اسیدهای چرب اشباع‌نشده در فسفولیپیدها است. از سطح پراکسیداسیون لیپیدها به‌عنوان یک نشانه رادیکال آزاد مضر برای غشای سلولی تحت شرایط تنش استفاده شده است. بنابراین، مالون دآلدئید به‌عنوان یک معرف برای بررسی میزان صدمات غشا در شرایط تنش مورد استفاده قرار می‌گیرد (Jaleel *et al*., 2007; Katsuhara *et al*., 2005). در پژوهش حاضر افزایش مقدار مالون دآلدئید احتمالاً به‌دلیل اثرات بازدارندگی شوری در غلظت‌های بالا می‌باشد که با ایجاد رادیکال‌های آزاد واکنش‌پذیر، باعث پراکسیداسیون اسیدهای چرب شده و مالون دآلدئید افزایش می‌یابد. درحالی‌که کاربرد متیل‌جاسمونات منجر به کاهش مقدار مالون دآلدئید گردید که حاکی از این است که اثرات مخرب تنش شوری در گیاه توسط تیمار با متیل‌جاسمونات تا حدی بهبود یافته است. همسو با نتایج تحقیق حاضر، در مطالعه‌ای روی گیاه گندم گزارش داد که با افزایش سطح شوری، مقدار مالون دآلدئید برگ کاهش می‌یابد (Rahimi-Tashi & Niknam, 2015). کاهش آسیب غشای سلولی در پاسخ به تیمار متیل‌جاسمونات که با افزایش وزن خشک گیاه تحت تنش همراه است، می‌تواند بیانگر مسئله القای سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی توسط متیل‌جاسمونات، با از بین بردن رادیکال‌های آزاد به‌طور مستقیم و یا توسط آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی باشد که خسارت ناشی از این انواع فعال را کاهش دهد و در نتیجه از اکسایش چربی‌ها جلوگیری نموده و مانع افزایش مالون دآلدئید شود (Noctor & Foyer, 1998).

در این مطالعه میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز برگ با افزایش سطح شوری کاهش یافت و بیشترین میزان کاهش در سطح شوری نه دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شاهد مشاهده شد. یکی از تغییرات بیوشیمیایی که در تنش‌های محیطی از جمله تنش اکسیداتیو رخ می‌دهد تولید انواع اکسیژن‌های فعال می‌باشد که می‌تواند باعث تخریب عمده غشای چربی‌ها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک شوند (Garratt *et al*., 2002). بنابراین، هنگامی‌که در شرایط تنشی، تولید گونه‌های فعال اکسیژن افزایش می‌یابد، برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گیاهی مثل کاتالازها فعال می‌شوند که نقش بسیار مهمی در پاسخ به تنش غیرزیستی از جمله تنش شوری دارند (Molassiotis *et al*., 2006). در پژوهش حاضر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز برگ با افزایش سطح شوری افزایش یافت.

نتایج همبستگی بین صفات به روش ضریب همبستگی پیرسون نشان داد که بین اکثر صفات همبستگی وجود دارد. به‌طوری‌که بین برخی از صفات همبستگی مثبت و برخی صفات همبستگی از نوع منفی است. بیشترین مقدار همبستگی مثبت معنی‌داری بین مقدار پرولین و مالون دآلدئید (r=۱) و بیشترین مقدار همبستگی منفی معنی داری بین کاتالاز و کلروفیل a (r=-۰/۳۳) مشاهده شد. برخی از صفات مثل تعداد برگ با هیچکدام از صفات همبستگی معنی‌داری نداشت.

٤. نتیجه‌گیری

تنش شوری باعث کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود، تیمار گیاه با متیل‌جاسمونات به‌عنوان یکی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی می‌تواند تحمل گیاه را برای مقابله با تنش شوری و آسیب‌های ناشی از آن بالا ببرد. نتایج کلی نشان داد که تیمار متیل‌جاسمونات سبب بالا بردن توان آنتی‌اکسیدانی گیاه در مقابله با تنش شوری می‌شود. با این‌حال، برای نتیجه‌گیری بهتر در مورد تأثیر تیمار این ماده استفاده از این ترکیب در دامنه وسیع‌تری مورد نیاز باشد. به‌طورکلی، کاربرد متیل‌جاسمونات منجر به بهبود پارامترهای بیوشیمیایی و افزایش تحمل گیاه در برابر تنش شوری گردید. بنابراین، می‌توان گفت که تیمار این ماده می‌تواند راهکار مناسبی برای کاهش اثرات مضر ناشی از تنش شوری در خرفه باشد. از بررسی کلیه صفات اندازه‌گیری‌شده می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که آستانه تحمل این گیاه به شوری حداکثر شش دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد و در بین غلظت‌های متیل‌جاسمونات به‌کاررفته، غلظت ۰/۵ میلی‌مولار بیشترین تأثیر را در کاهش اثرات ناشی از تنش شوری بر گیاه و بهبود شاخص‌های فیزیولوژیک و عملکرد خرفه را داشتند، به‌طوری‌که مصرف ۰/۵ میلی‌مولار متیل‌جاسمونات منجر به افزایش حدود ۳۰/۷ درصد در عملکرد گیاه خرفه گردید.

منابع

1. Aebi, H.E. (1984). Catalase. In Method of Enzymatic analysis, VCH, Weinheim, Germany-Deerfield, FL. 3: 273-286.
2. Bates, L.S. Waldren, R.P. & Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*. 39(1): 205-207.
3. Beauchamp, C. & Fridovich, I. (1971). Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry*. 44: 276-287.
4. Brouki-Milan, E. Hassni, L. Abdollahi-Mandoulakani, B. Darvishzadeh, R. Kheradmand, F. & Hassani, A. (2016). The effect of different concentrations of methyl jasmonate on the activity of antioxidant enzymes and total protein in basil. *Journal of Crop Improvement*. 18(1): 103-115
5. Cayley, S. Lewis, B.A. & Record, M.T. (1992). Origins of the osmoprotective properties of betaine and proline in *Esherichia coli* K-12. *Journal of Bacteriology*. 174: 1586-1595.
6. Garratt, L.C. Janagoudar, B.S. Lowe, K.C. Anthony, P. Power, J.B. & Davey, M.R. (2002). Salinity tolerance and antioxidant status in cotton cultures. *Free Radical Biology and Medicine*. 33(4): 502-511.
7. Goyal, S.H. & Ramawat, K.G. (2008). Ethrel treatment enhanced isoflavonoids accumulation in cell suspension cultures of *Pueraria tuberosa*, a woody legume. *Acta Physiologiae Plantarum*. 30(6): 849-853.
8. Hayat, Q. Hayat, S. Irfan, M. & Ahmad, A. (2010). Effect of exogenous methyl jasmonate under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany*. 68: 14-25.
9. Heath, R.L. & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of biochemistry and biophysics*. 125(1): 189-198.
10. Hildmann, T. Ebneth, M. Peña-Cortés, H. Sánchez-Serrano, J.J. Willmitzer, L. & Prat, S. (1992). General roles of abscisic acid and jasmonic acid in gene activation as a result of mechanical damage. *Plant Cell*. 4: 1157-1170.
11. Holm, L.G. Plunkett, D.L. Pancho, J.V. & Herberger, J.P. (1977). The world's worst weeds - distribution and biology. University Press of Hawaii, Honolulu. 609 pp.
12. Jaleel, C.A., Gopi, B., Sankor, P., Manivannaon, A., Kishorekumar, R.S. & Panneers, L. (2007). Studies on germination, seedling vigner, lipid peroxidatoin and proline metabolism in *Catharathus roseus* seedling under salt stress. *South African Jolurnal of Botany*. 73 (2): 190-195.

13. Katsuhara, M. Otsuka, T. & Ezaki, B. (2005). Salt stress induced lipid peroxidation is reduced by glurathione S and Tran frease, But this reduction of lipid proxides is not enough for a recovery of root growth in *Arabidopsis*. *Plant Sciences*. 169(2): 369-373.
14. Kiarostami, K.H. Mohseni, R. & Saboora, A. (2010). Biochemical changes of *Rosmarinus officinalis* under salt stress. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*. 6(3): 114-122
15. Kim, H.J. Chen, F. Wang, X. & Rajapakse, N.C. (2006). Effect of on secondary metabolites of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 54(6): 2327-2332.
16. Koca, H. Bor, M. Ozdemir, F. & Turkan, I. (2007). The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes and proline content of sesame cultivars. *Environmental and Experimental Botany*. 60(3): 344-351
17. Kovacik, J. Backor, M. Strnad, M. & Repcak, M. (2009). Methyl jasmonate-induced changes to growth and phenolic metabolism in *Matricaria chamomilla* plants. *Plant Cell Reports*. 28: 135-143.
18. Lichtenthaler, H.K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in enzymology*. 148: 350-382.
19. Masoodi, M.H. Ahmad, B. Mir, S.R. Zargar, B.A. & Tabasum, N. (2011). *Portulaca oleracea* L. A review. *Journal of Pharmacy Research*. 4(9): 3044-8.
20. Molassiotis, A. Sotiropoulos, T. Tanou, G. Diamantidis, G. & Therios, I. (2006). Boron-induced oxidative damage and antioxidant and nucleolytic responses in shoot tips culture of the apple rootstock EM 9 (*Malus domestica* Borkh). *Environmental and Experimental Botany*. 56(1): 54-62.
21. Muhammad, Z. & Hussain, F. (2010). Vegetative growth performance of five medicinal plants under NaCl salt stress. *Pakistan Journal of Botany*. 42(1): 303-316.
22. Noctor, G. & Foyer, C.H. (1998). Ascorbate and glutathione: Keeping active oxygen under control. *Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology*. 49: 249-279.
23. Pasandi-Pour, A., Farahbakhsh, H., Saffari, M. & Karamat, B. (2013). The effect of salicylic acid on some physiological reactions of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) under salinity stress. *Journal of Crop Ecophysiology*. 7-2(26): 215-228.
24. Qureshi, A.S. Qadir, M. Heydari, N. Turral, H. & Javadi, A. (2007) A review of management strategies for salt-prone land and water resources in Iran. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. 30p.
25. Rahimi-Tashi, T. & Niknam, V. (2015). Evaluation of methyl jasmonate pretreatment and salinity stress on some physiological and biochemical parameters in *Triticum aestivum* L. *Iranian Journal of Plant Biology*. 28(2): 297-306.
26. Rajeshwari, V. & Bhuvaneshwari, V. (2017). Methyl jasmonate Induced Salt Stress Tolerance in Plants. *International Journal of Plant Biology and Research*. 5(3): 1-6.
27. Salimi, F. Shekari, F. & Hamzei, J. (2014). Effect of Salinity Stress and Foliar Application of Methyl Jasmonate on Photosynthetic Rate, Stomatal Conductance, Water Use Efficiency and Yield of German Chamomile. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 12(2): 328-334.
28. Santos-Soares, A.M.A. Souza, T.F. Jacinto, T. & Machado, O.L.T. (2010). Effect of Methyl Jasmonate on antioxidative enzyme activities and on the contents of ROS and H_2O_2 in *Ricinus communis* leaves. *Brazilian Society of Plant Physiology*. 22(3): 151-158.
29. Thiem, B. & Krawczyk, A. (2010). Enhanced isoflavones accumulation in treated in vitro cultures of kudzu (*Pueraria lobata Ohwi*). *Herba Polonica*. 56(1): 48-56.
30. Turan, M.A. Turkmen, N. & Taban, N. (2007). Effect of NaCl on stomatal resistance and proline, chlorophyll, Na, Cl and K concentrations of lentil plants. *Journal of Agronomy*. 6(2): 378-381.
31. Zahir, M. & Farrukh, H. (2010). Effect of NaCl salinity on the germination and seedling growth of some medicinal plants. *Pakistan Journal of Botany*. 42(2): 889-897
32. Zargari, A. (1997). Medicinal Plants. University Press of Tehran, Tehran. 1010pp
33. Zarghami-Moghaddam, M. Shoor, M. Ganjeali, A. Moshtaghi, N. & Tehranifar, A. (2014). Effect of methyl jasmonate on morphological and Ornamental characteristics of *Petunia hybrida* at drought stress. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*. 4 (3): 523-532.
34. Zhao, J. Davis, L. & Verpoorte, R. (2005). Elicitor signal transduction leading to production of plant secondary metabolites. *Biotechnology Advances*. 23(4): 283-333.

Crops Improvement
(Journal of Agricultural Crops Production)

Vol. 20 ■ No. 3 ■ Autumn 2018

Study of Morpho-Physiological Responses of Purslane to Methyl Jasmonate under Salinity Stress Conditions

Daryush Talei[1*], Reza Sharifi[2], Seyed Mehdi Pirsalehi[3]

1. Assistant Professor, Medicinal Plants Research Center, Shahed University, Tehran, Iran.
2. Former M.Sc. Student, Green Space of Tehran Municipality, Tehran, Iran.
3. Former M.Sc. Student, Medicinal Plants Research Center, Shahed University, Tehran, Iran.

Received: July 1, 2018 Accepted: September 11, 2018

Abstract

The present study aims at investigating the morpho-physiological responses of purslane plant to methyl jasmonate under salinity stress. As such it has conducted a split plot experiment, based on a completely-randomized design with two factors and three replications, in Medicinal Plants Research Center, Shahed University, Tehran, in 2017. The factors include salinity with four levels (0, 3, 6, and 9 dS/m) as main factors and methyl jasmonate with four levels (0, 0.25, 0.5, and 0.75 mM), the latter regarded as a sub-factor. Results show that by increasing salinity levels, the growth indices such as root length, fresh weight of root, chlorophyll b, total chlorophyll, and the amount of superoxide dismutase decline, while by increasing the salinity levels, the proline content and the activity of catalase and MDA in the leaf rise. Applying methyl jasmonate under salinity stress reduces not only the growth indices but also the photosynthetic pigments. The highest number of branches, number of leaves, and chlorophyll b have been obtained at a salinity of 6 dS/m with 0.5 mM methyl jasmonate. By raising methyl jasmonate level, the proline content and the activity of CAT increases, while the amount of MDA and SOD enzymes decreases. Therefore, it can be concluded that the tolerance of *Portulaca oleracea* plant to salinity is up to 6 dS/m, and that the consumption of low amounts of methyl jasmonate can improve yield and physiological indices in purslane.

Keywords: Catalase, malondialdehyde, morphological traits, physiological traits, superoxide dismutase.

Corresponding author: d.talei1348@gmail.com