تأثیر متیل جاسمونات بر رشد و مقدار اسانس مرزنجوش (*Origanum majorana* L.) در شرایط تنش خشکی

مرضیه فارسی[۱]، فرزین عبدالهی[۱*]، امین صالحی[۲] و شیوا قاسمی[۳]

[۱] ایران، بندرعباس، دانشگاه هرمزگان، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه باغبانی

[۲] ایران، یاسوج، دانشگاه یاسوج، دانشکده کشاورزی، گروه زراعت و اصلاح نباتات

[۳] ایران، قزوین، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین، بخش تحقیقات علوم زراعی- باغی

تاریخ دریافت: ۹۷/۵/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۲۸

چکیده

مرزنجوش (*Origanum majorana* L) از خانواده نعناییان می‌باشد. تنش خشکی باعث محدود شدن رشد گیاهان دارویی ازجمله مرزنجوش می‌شود. دراین بررسی، واکنش مرزنجوش به متیل جاسمونات (غلظت‌های ۰ و ۱۰۰ میکرومولار) در شرایط تنش خشکی (رطوبت خاک معادل ۵۰ درصد (تنش متوسط)، ۷۵ درصد (تنش ملایم) و ۱۰۰ درصد (بدون تنش) ظرفیت زراعی) مورد ارزیابی قرار گرفت. براساس نتایج بدست آمده، تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی بر وزن‌تر و خشک، ارتفاع بوته، میزان کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید، فعالیت آنزیم کاتالاز و قند محلول معنی‌دار گردید. تنش متوسط موجب کاهش کلروفیل کل و افزایش میزان کاروتنوئید، آنزیم کاتالاز و قند محلول به ترتیب به میزان ۱۵/۵۲، ۳۸/۲۵، ۷۹/۶۳ و ۴۲/۸۶ درصد در مقایسه با شاهد گردید. افزایش درصد اسانس حاصل از برگ گیاه در شرایط تنش خشکی معنی‌دار نبود. محلول‌پاشی متیل جاسمونات موجب افزایش کلرفیل a، b، کلروفیل کل، فعالیت آنزیم کاتالاز و قندمحلول به‌ویژه در شرایط بدون تنش و تنش متوسط گردید. نتایج نشان داد که متیل –جاسمونات ضمن افزایش میزان فعالیت آنزیم کاتالاز و مقدار قند محلول گیاه به نحوی از فعالیت رادیکال‌های آزاد تحت تنش متوسط جلوگیری کرده و به‌این‌ترتیب بقای بیشتر گیاه را تضمین می‌نماید. بطورکلی نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که استفاده از متیل جاسمونات می‌تواند راهکاری مناسب برای مقابله با شرایط تنش خشکی در گیاه مرزنجوش باشد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، اسید جاسمونیک، کاتالاز، کمبود آب

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۷۱۵۸۳۴۰۳، پست الکترونیکی: fabdollahi@hormozgan.ac.ir

مقدمه

مرزنجوش بانام علمی (*Origanum majorana* L.) از خانواده نعناییان Labiatae می‌باشد. این گیاه بومی جنوب شرقی ناحیه مدیترانه بوده، در کشورهای مختلف ازجمله نواحی شمالی ایران کشت می‌شود. این گیاه از اهمیت اقتصادی و صنعتی زیادی شامل تهیه عطر و داروی سـرماخوردگی برخـوردار است و از دوران باستان خواص درمانی آن شناخته شده است (۳و ۲۱).

نقش مرزنجوش در درمان بیماری‌هایی نظیر سوءهاضمه، سردرد، رماتیسم، آب مروارید، سمیت کبدی حاد، بیماری‌های قلبی عروقی، ورم کلیه، فرایندهای التهابی، اسهال، سرماخوردگی، آسیب‌های DNA اثبات شده است (۱۸و ۲۷). این خواص به محتوای بالای اسانس و تولید

برخی متابولیت‌های ثانویه آن شامل کارواکرول و تیمول نسبت داده شده است (۴۶). همچنین بدلیل وجود ترکیبات خاص و روغن‌های فرار ازجمله منوترپن‌های حلقوی و فنلی و سسکوئی‌ترپن‌ها در برگ‌های گیاه مرزنجوش، این گیاه به‌صورت گسترده در صنایع غذایی و دارویی مورداستفاده قرار می‌گیرد (۴۵).

تنش‌های محیطی از فاکتورهای مهم کاهش تولید محصولات کشاورزی در دنیا هستند. خشکی، دماهای بالا و پایین و شوری خاک همانند آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز به‌طور نامطلوبی جوانه‌زنی، رشد گیاه و درنهایت تولید محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۵۲). گیاهان تحت شرایط طبیعی و زراعی به‌طور پیوسته در معرض تنش‌های گوناگون قراردارند و در این میان کمبود آب مهم‌ترین عامل محدودکننده عملکرد محصولات زراعی در اکثر نقاط جهان و ایران می‌باشد (۳۹).

کمبود آب یا تنش خشکی می‌تواند باعث تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان مختلف ازجمله گیاهان دارویی شود (۷). در شرایط خشکی ترکیبات شیمیایی گیاهان ازجمله قند، پروتئین و میزان کلروفیل می‌توانند در راستای افزایش مقاومت به خشکی تغییر کنند. گیاهان دارویی برخلاف محصولات زراعی که در شرایط تنش ازنظر مقدار عملکرد صدمه می‌بینند، ممکن است در چنین وضعیتی با تولید مواد شیمیایی بیشتر، ازنظر اقتصادی، بازدهی بالاتری پیدا کند (۳).

برای فهم و درک موجودیت و ادامه حیات گیاهان دارویی در نواحی خشک و نیمه‌خشک، که بخش وسیعی از کشور ما را نیز در برگرفته است، تحقیقات گسترده بر روی گیاهان باارزش دارویی و اعمال تیمارهای مختلف نیاز می‌باشد (۱۵). مطالعات مختلفی در رابطه با تأثیر تنش‌های محیطی بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاهان دارویی انجام‌شده است. در مطالعه‌ای که برای بررسی تأثیر تنش خشکی بر ویژگی‌های کمی و کیفی مرزنجوش انجام شد تنش خشکی متوسط و شدید باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک این گیاه شد (۳۸). رضایی و قربانلی(۱۳۹۱) (۹) اظهار داشتند که با افزایش تنش خشکی در گیاه دارویی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) مقدار کلروفیل a و b کاهش یافت. در گیاه بابونه (*Matrcaria chamomilla*) نیز کمبود آب از میزان کلروفیل کاسته ولی بر مقدار کاروتنوئیدهای برگ افزوده شد (۱). برخی مطالعات نشان داده‌اند که میزان قند محلول برگ گیاهان دارویی تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد. صفی خانی و همکاران (۱۳۸۶) (۱۰) در تحقیقات خود با کاهش مقدار آب در حد ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی بر روی گیاه دارویی بادرشبو نتیجه گرفتند که بیشترین قند محلول در گیاهان رشد یافته در تیمار۴۰ درصد ظرفیت زراعی بود. بررسی اثر کمبود آب در گیاه کتان (*Linum usitatissimum* L.) نشان‌دهنده افزایش مقدار قندهای محلول و فعالیت آنزیم کاتالاز تحت شرایط تنش کم‌آبی بود (۱۳). مطالعات نشان داده است که ویژگی‌های بیوشیمیایی و میزان اسانس گیاهان دارویی تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد. به‌طوری که تنش خشکی اثر معنی‌دار بر میزان اسانس مرزنجوش داشت (۳۸). از طرف دیگر مقدار آب خاک اثر معنی‌داری بر درصد اسانس گیاه دارویی بادرشبو نداشت (۶).

افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی از راه‌های مختلف ازجمله به نژادی و استفاده از تنظیم کننده‌های رشد گیاهی امکان‌پذیر است (۴۲). در مقایسه با روش‌های به نژادی، که اغلب بلندمدت و هزینه‌بر هستند، استفاده از مواد شیمیایی نظیر اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک آسان‌تر و ارزان‌تر است (۴۲). اسید جاسمونیک و مشتقات آن ازجمله متیل جاسمونات، تنظیم کننده‌های رشد گیاهی هستند که به‌عنوان ترکیبات پیام‌رسان نقش کلیدی در رشد، نمو و پاسخ به تنش‌های محیطی نقش ایفا می‌کنند (۲۷). از طرف دیگر اثرات فیزیولوژیکی اسید جاسمونیک در

گیاهان بسته به گونه گیاهی، مرحله نموی، نوع مشتقات جاسمونات و غلظت به‌کاررفته متفاوت است (۲۵و ۳۴). مطالعات کمی در خصوص محلول‌پاشی اسید جاسمونیک و ارزیابی اثر آن بر خصوصیات کمی و کیفی گیاهان دارویی و معطر انجام‌شده است. نشان داده شده است که کاربرد خارجی اسید جاسمونیک باعث افزایش میزان اسانس، متابولیت‌های ثانویه و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) می‌شود (۳۳و ۵۲). همچنین گزارش شده است که محلول‌پاشی اسید جاسمونیک باعث افزایش میزان اسانس گیاه ریحان در شرایط تنش خشکی می‌شود (۳۱). در گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus*) نیز متیل جاسمونات باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند گایاکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز شد (۴۰).

از آنجا که تنش آبی از بزرگترین مشکلات تولید محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ازجمله ایران به شمار می‌رود، شناخت واکنش‌های گیاهان بویژه گیاهان دارویی به کمبود آب اهمیت ویژه‌ای دارد. باوجود رشد دو گونه مرزنجوش *Oreganum vulgare* و *Oreganum majorana* در ایران و خواص دارویی و زیستی این گیاه و باتوجه به اینکه در ایران مطالعات اندکی در رابطه با واکنش این گیاه دارویی به هورمون‌ها در شرایط تنش خشکی انجام‌شده است، لذا این پژوهش باهدف ارزیابی اثر کاربرد متیل جاسمونات بر ویژگی‌های رویشی، فعالیت آنزیمی و مقدار اسانس گیاه دارویی مرزنجوش در شرایط تنش خشکی انجام شد.

مواد و روشها

محل انجام آزمایش: به‌منظور بررسی تأثیر متیل جاسمونات بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و مقدار اسانس گیاه مرزنجوش در شرایط تنش خشکی، پژوهشی به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه و آزمایشگاه تحقیقاتی دانشگاه هرمزگان در سال ۱۳۹۳ انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل سه سطح تنش خشکی (۵۰ (تنش متوسط)، ۷۵ (تنش ملایم) و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و دو سطح متیل جاسمونات (۰، ۱۰۰ میکرومولار) بود. غلظت متیل جاسمونات براساس نتایج بدست آمده در آزمایش قبلی، در نظر گرفته شد (۵۳).

اعمال تیمارها: تیمارهای خشکی به روش وزنی اعمال شد. به‌طوری که ابتدا وزن گلدان و شن ریزه کاملاً شسته و خشک شده‌ای که به‌عنوان زهکش ته گلدان استفاده می‌شد، مشخص گردید. سپس به هر گلدان ۴/۴ کیلوگرم از خاک (مجموع وزن گلدان و خاک معادل ۵/۳ کیلوگرم) که یکنواخت تهیه‌شده بود، اضافه شد. خاک گلدان‌ها از نسبت مساوی خاک زراعی، ماسه و خاک‌برگ تشکیل شد و درصد رطوبت وزنی آن در حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم به ترتیب معادل ۱۹ و ۵ درصد (با استفاده از دستگاه سلول فشار مدل Abzar Tosseh Sahand ساخت ایران) تعیین شد.

پس از آماده کردن گلدان‌ها، اقدام به کاشت بذر در گلدان گردید. بذور اصلاح‌شده مرزنجوش با درصد جوانه‌زنی ۹۵ درصد از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. تعداد ۲۵ بذر در داخل هرکدام از گلدان‌ها کاشته شد و گلدان‌ها در دمای روزانه ۲۵ تا ۲۷ و شبانه ۱۸ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد با طول روز ۱۲ تا ۱۴ساعت و رطوبت نسبی ۴۰ درصد نگهداری شدند. پس از سبز شدن، بوته‌ها در طی چند مرحله تنک گردیده و درنهایت در داخل هر گلدان ۷ بوته نگهداری شد. تا مرحله ۸ تا ۱۰ برگی شدن بوته‌ها، گلدان‌ها به مقدار مساوی آبیاری گردیدند و از این مرحله به بعد، اقدام به اعمال تیمارهای تنش گردید. برای این منظور کلیه گلدان‌ها در هرروز یک نوبت و در ساعت ۸ صبح، با ترازوی مناسب توزین گردید و در صورت نیاز به آبیاری براساس تنش در نظر گرفته شده، میزان آب مورد نیاز به گلدان اضافه گردید. بدین‌صورت که در طول آزمایش میزان

رطوبت خاک در تیمار شاهد در حد ظرفیت زراعی نگه‌داشته شد. ازآنجا که رطوبت وزنی خاک در نقطه ظرفیت زراعی ۱۹ درصد و وزن گلدان حاوی خاک ۵/۳ کیلوگرم بود بنابراین وزن گلدان + خاک + رطوبت در طول آزمایش ۶/۱۳۶ کیلوگرم در نظر گرفته شد. بدین‌صورت که با افزودن ۸۳۶ گرم آب (۰/۱۹ × ۴/۴) به هریک از گلدان‌های تیمار شاهد، رطوبت در حد ظرفیت زراعی نگه‌داشته شد. در طول آزمایش با وزن کردن گلدان‌ها، کاهش وزن ایجادشده در اثر مصرف رطوبت خاک، محاسبه و معادل آن آب به گلدان اضافه گردید. برای تعیین نیاز آبیاری در تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب آب مورد نیاز ۶۲۷ و ۴۱۸ گرم برای هر گلدان محاسبه شد.

محلول‌پاشی برگی متیل جاسمونات (تهیه‌شده از شرکت سیگما-آلدریچ) نیز ۲۰ روز پس از شروع اعمال تنش و ۴ مرتبه (قبل از گلدهی) در فواصل ده روز صورت گرفت (۵۲). بدین‌صورت که در هر مرحله یک‌چهارم حجم محلول تهیه‌شده به گلدان‌ها داده شد.

سنجش صفات فیزیولوژیکی و تجزیه‌وتحلیل آماری: ده روز پس از چهارمین محلول‌پاشی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مانند مقدار کلروفیل، کاروتنوئید، قندهای محلول و میزان فعالیت آنزیم کاتالاز اندازه‌گیری شد. سپس گیاهان به‌منظور استخراج و اندازه‌گیری اسانس در پایان مرحله گلدهی کامل، برداشت شدند. اندازه‌گیری کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئیدهای برگ با استفاده از روش آرنون (۲۰) و با حلال استن انجام گرفت. مطابق این روش ۰/۵ گرم برگ تازه در داخل هاون چینی با ۱۰میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد سائیده گردید. عصاره حاصل برای ۱۰ دقیقه در دستگاه سانتریفوژ با دور ۶۰۰۰ دور در دقیقه قرار داده شد. از محلول رویی مقدار سه میلی‌لیتر به داخل کووت اسپکتروفتومتر ریخته شد و مقدار جذب در طول‌موج‌های ۴۷۰، ۶۴۷ و ۶۶۳ خوانده و بر اساس روابط ۱ تا ۴ محاسبه شد.

رابطه (۱) $Chl\ a = (۱۲/۲۵\times A\ ۶۶۳) - (۲/۷۹\times A۶۴۷)$

رابطه (۲) $Chl\ b = (۲۱/۵۰\times A\ ۶۴۷) - (\ ۵/۱۰\times A۶۶۳)$

رابطه (۳) $Chlt = (15/7\times A663) + (71/18\times A647)$

رابطه (۴) $C = (۱۰۰۰A\ ۴۷۰ - ۱/۸۲Chl\ a - ۸۵/۰۲Chl\ b)$

که در آن Chl a، Chl b، Chltو C به ترتیب محتوی کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید و A میزان جذب نوری عصاره‌ها در طول‌موج‌های مربوطه است. قندهای محلول با تهیه عصاره از ۰/۵ گرم نمونه برگ خشک با حلال اتانول۷۰ درصد و محلول فنل ۵ درصد و براساس روش اسیدسولفوریک و قرائت جذب در طول‌موج ۴۹۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد. مقادیر قند نمونه با استفاده از منحنی استاندارد براساس میلی‌گرم برگرم وزن خشک ارزیابی شد (۳۶).

برای سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز از روش بافر فسفات پتاسیم و براساس کاهش جذب آب‌اکسیژنه در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر استفاده شد. مخلوط واکنش (۳ میلی‌لیتر) شامل بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار، آب اکسیژنه ۱۵ میلی‌مولار و ۱۰۰ میکرو لیتر عصاره آنزیمی بود. با افزودن آب اکسیژنه به مخلوط، واکنش شروع و کاهش در جذب آب اکسیژنه در مدت ۳۰ ثانیه در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (۲۶).

استخراج اسانس برگ، به روش تقطیر با آب و توسط دستگاه کلونجر (مدل Schott Duran آلمان) انجام گرفت. به این منظور، ۲۰ گرم نمونه برگ خشک وزن شد و پس از آسیاب مختصر، درون بالن ۵۰۰ سی‌سی در داخل دستگاه کلونجر به مدت ۲ ساعت جوشانده شد. پس از خاتمه کار شیر خروجی کلونجر باز شده و اسانس استخراج گردید. درنهایت با در نظر گرفتن وزن خشک برگ و وزن اسانس، از طریق تناسب درصد اسانس تعیین شد. تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها با استفاده از برنامه آماری

SAS (نسخه ۹/۱) انجام و میانگین‌ها از طریق آزمون LSD در سطح آماری ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج

ویـژگی‌های رویشی: اثر تنش خشکی و اثر متقابل تنش و متیل جاسمونات بر ویژگی‌های رویشی وزن‌تر، وزن خشک و ارتفاع بوته مرزنجوش به ترتیب در سطوح ۵ و ۱ درصد معنی‌دار بود. در حالی‌که متیل جاسمونات بر این صفات اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس (درجه آزادی و میانگین مربعات) واکنش فیزیولوژیکی گیاه دارویی مرزنجوش به متیل‌جاسمونات در شرایط تنش خشکی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		وزن تر بوته	وزن خشک بوته	ارتفاع بوته	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید
تنش خشکی	۲	۳۳۸/۰۳**	۲۵/۲۶**	۷۸/۳۵**	۲۱/۸۳^{ns}	۴۳/۵۱**	۱۰۶/۱۹*	۴۳/۵۱**
متیل جاسمونات	۱	۲۴/۶۳^{ns}	۰/۵۶^{ns}	۲/۵۸^{ns}	۱۸/۰۲^{ns}	۸۸/۱۷**	۱۸۵/۹۲*	۹/۳۰**
متیل جاسمونات × تنش خشکی	۱	۵۰/۸۴*	۳/۷۸*	۱۲/۹۹*	۷/۰۸^{ns}	۲۵/۰۴^{ns}	۵۷/۲۴^{ns}	۷/۶۹**
خطا	۱۳	۱۴/۶۰	۰/۸۵	۲/۶۵	۸/۷۸	۷/۴۵	۲۹/۱۳	۰/۴۹
ضریب تغییرات		۷/۳۲	۷/۴۴	۴/۵۴	۱۲/۵۵	۲۱/۲۴	۱۴/۸۰	۹/۷۳

ns ، *، ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد می‌باشد

ادامه جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس (درجه آزادی و میانگین مربعات) واکنش فیزیولوژیکی گیاه دارویی مرزنجوش به متیل‌جاسمونات در شرایط تنش خشکی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		قند محلول	آنزیم کاتالاز	درصد اسانس
تنش خشکی	۲	۰/۰۰۰۰۱۳*	۷۴/۲۳**	۰/۰۸^{ns}
متیل جاسمونات	۱	۰/۰۰۰۰۱۵*	۷/۱۶^{ns}	۰/۰۱^{ns}
متیل جاسمونات × تنش خشکی	۱	۰/۰۰۰۰۰۱۰^{ns}	۶/۱۹^{ns}	۰/۰۶^{ns}
خطا	۱۳	۰/۰۰۰۰۰۲۷	۸/۴۶	۰/۰۸
ضریب تغییرات		۱۹/۰۸	۲۴/۳۸	۲۷/۸۴

ns، *، ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد می‌باشد

افزایش شدت تنش باعث کاهش وزن‌تر و خشک و ارتفاع بوته مرزنجوش شد. به‌طوری که در شرایط تنش متوسط (آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه) وزن‌تر و خشک گیاه به‌طور معنی‌دار و به ترتیب به میزان ۱۴/۳، ۱۴/۶ و ۱۰/۳ درصد در مقایسه با شاهد کاهش یافت. اما کاربرد متیل جاسمونات نتوانست در ویژگی‌های رویشی مرزنجوش تغییر معنی‌داری ایجاد کند (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر اصلی تنش خشکی و متیل جاسمونات بر واکنش فیزیولوژیکی گیاه دارویی مرزنجوش

تیمارها		وزن تر بوته (گرم در گلدان)	وزن خشک بوته (گرم در گلدان)	ارتفاع بوته (سانتیمتر)	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید
					میلی‌گرم بر گرم وزن تر			
تنش خشکی	۱۰۰ (شاهد)	۵۵/۱۰a	۱۲/۹۹a	۳۷/۳۲a	۲۲/۸۳a	۱۴/۳۲a	۳۷/۱۶ab	۶/۳۰b
(درصد ظرفیت	۷۵ (ملایم)	۵۴/۲۷a	۱۳/۲۷a	۳۶/۷۸a	۲۵/۷۷a	۱۴/۴۸a	۴۰/۲۵a	۶/۵۶b
زراعی)	۵۰ (متوسط)	۴۷/۲۱b	۱۱/۰۹b	۳۳/۴۷a	۲۲/۱۹a	۹/۷۴b	۳۱/۳۹b	۸/۷۱a
متیل جاسمونات	۰	۵۲/۸۷a	۱۶/۸۰a	۳۶/۰۸a	۲۲/۶۰a	۱۰/۶۳b	۳۳/۲۳b	۷/۹۴a
(میکرومولار)	۱۰۰	۵۱/۵۲a	۱۵/۸۷a	۳۵/۶۴a	۲۴/۶۰a	۱۵/۰۶a	۳۹/۶۶a	۶/۵۰b

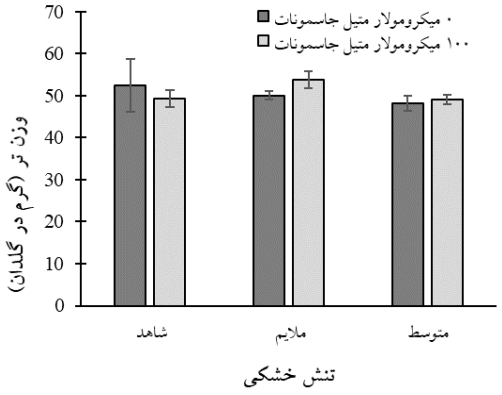
میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

ادامه جدول ۲- مقایسه میانگین اثر اصلی تنش خشکی و متیل جاسمونات بر واکنش فیزیولوژیکی گیاه دارویی مرزنجوش

تیمارها		قند محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)	کاتالاز (واحد بر گرم وزن‌تر)	درصد اسانس
تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی)	۱۰۰ (شاهد)	۰/۰۰۷b	۸/۷۴b	۰/۹۲a
	۷۵ (ملایم)	۰/۰۰۸b	۱۱/۳۴b	۱/۰۸a
	۵۰ (متوسط)	۰/۰۱۰a	۱۵/۷۰a	۱/۱۳a
متیل جاسمونات (میکرومولار)	۰	۰/۰۰۸b	۱۱/۳۰a	۱/۰۶a
	۱۰۰	۰/۰۱۰a	۱۲/۵۶a	۱/۰۱a

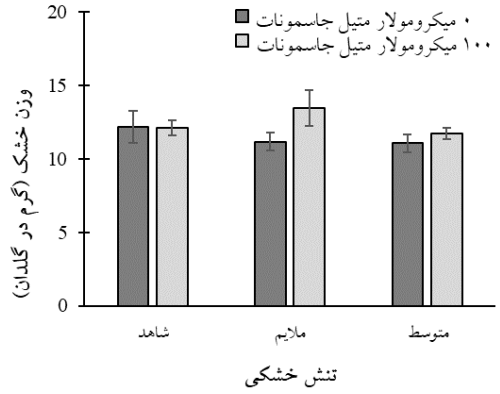
میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

محلول‌پاشی متیل جاسمونات باعث کاهش معنی‌دار رشد گیاه مرزنجوش در شرایط آبیاری کامل (شاهد) شد. به‌طوری که با محلول‌پاشی ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات وزن‌تر، وزن خشک و ارتفاع بوته بطور معنی‌دار و به ترتیب به میزان ۶/۹، ۸/۱ و ۶/۶ درصد کاهش یافت. درحالی‌که در شرایط تنش ملایم و متوسط، محلول‌پاشی متیل جاسمونات به ترتیب باعث افزایش و کاهش جزئی و غیر معنی‌دار صفات رویشی در مقایسه با عدم محلول‌پاشی گردید (شکل‌های ۱ تا ۳).

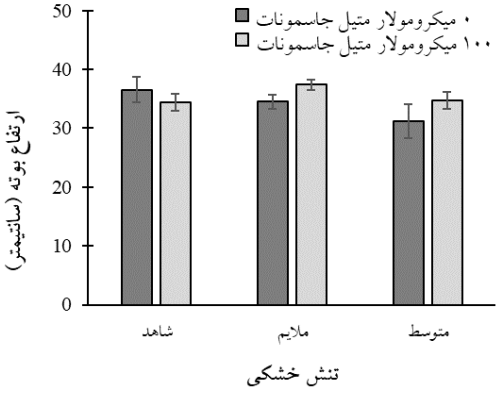


شکل ۱- اثر متیل جاسمونات بر وزن تر مرزنجوش در شرایط تنش خشکی

رنگیزه‌های فتوسنتزی: نتایج نشان داد که اثر تیمار خشکی بر مقدار کلروفیل a معنی‌دار نبود. در حالی‌که اثر این تنش بر میزان کلروفیل b و کاروتنوئید در سطح یک درصد و بر محتوای کلروفیل کل در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. اثر متیل جاسمونات بر کلروفیل b و کاروتنوئید در سطح یک درصد و بر کلروفیل a در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. در حالی‌که اثر متقابل تنش و متیل جاسمونات تنها بر میزان کاروتنوئید و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۱).



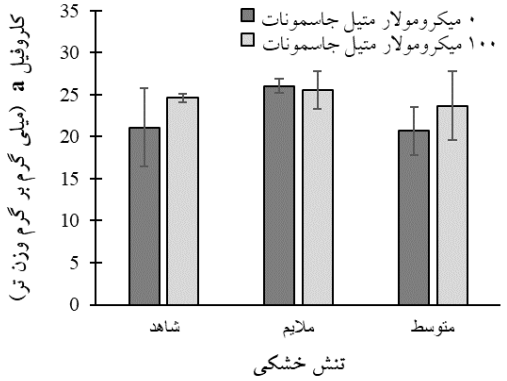
شکل ۲- اثر متیل جاسمونات بر وزن خشک مرزنجوش در شرایط تنش خشکی



شکل۳- اثر متیل جاسمونات بر ارتفاع بوته مرزنجوش در شرایط تنش خشکی

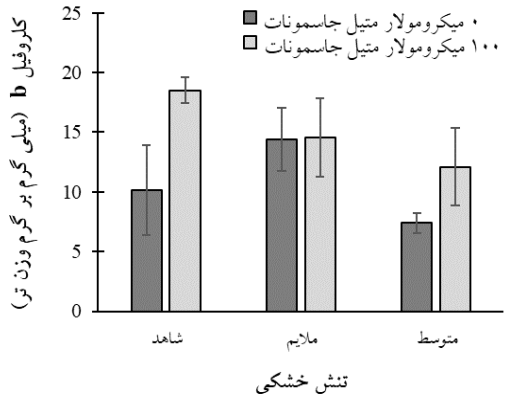
اگرچه تنش ملایم خشکی (آبیاری در رطوبت خاک معادل ۷۵ درصد ظرفیت زراعی) باعث افزایش جزئی کلروفیل a در مقایسه با دو سطح دیگر آبیاری شد، ولی درمجموع مقدار کلروفیل a در برگ تغییر معنی‌داری در تیمارهای موردبررسی نداشت (جدول ۲). مقدار کلروفیل b و کلروفیل کل در گیاهان رشد یافته در شرایط تنش ملایم در مقایسه با شاهد (آبیاری در رطوبت خاک معادل ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، به ترتیب به میزان ۱/۱ و ۸/۳ درصد افزایش ولی در شرایط تنش متوسط (آبیاری در رطوبت خاک معادل ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) به ترتیب به میزان ۳۲/۰ و ۱۵/۵ درصد کاهش یافت. این موضوع نشان می‌دهد که در شرایط تنش متوسط نسبت کلروفیل b به a کاهش می‌یابد.

متیل جاسمونات اگرچه تأثیر معنی‌داری بر مقدار کلروفیل a نداشت، ولی باعث افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل b و کل گردید. از طرف دیگر متیل جاسمونات منجر به کاهش معنی‌دار محتوای کاروتنوئید در مقایسه با شاهد شد (جدول ۲). در هر سطح تنش خشکی با کاربرد متیل جاسمونات میزان کلروفیل a تفاوت معنی‌داری نکرد، اما بااین‌وجود در سطوح تنش خشکی متوسط (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و شاهد (بدون تنش) با محلول‌پاشی متیل جاسمونات میزان کلروفیل a بطور جزئی افزایش یافت (شکل ۴).

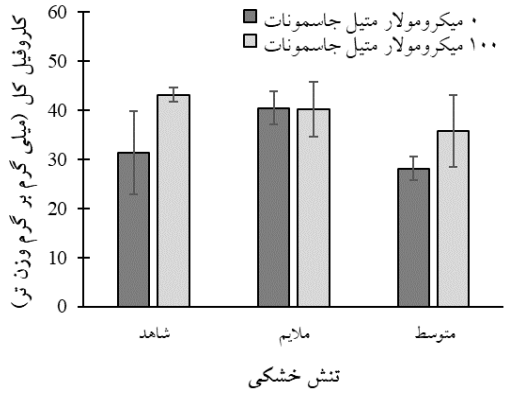


شکل ۴- اثر متیل جاسمونات بر میزان کلروفیل a برگ مرزنجوش در شرایط تنش خشکی

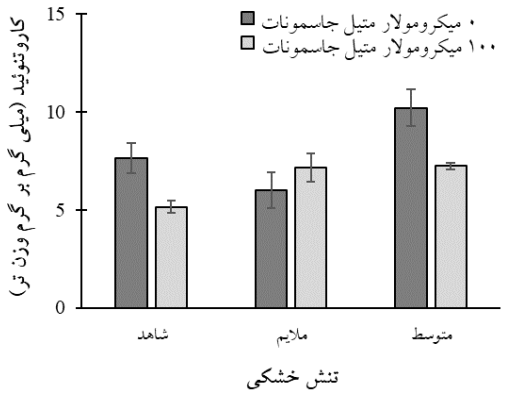
متیل جاسمونات باعث افزایش میزان کلروفیل b و کلروفیل کل در تمام سطوح تنش شد، ولی در شرایط عدم تنش (آبیاری در زمان ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) این افزایش معنی‌دار بود (شکل‌های ۵و ۶). کاربرد متیل جاسمونات در شرایط تنش متوسط و شرایط کنترل باعث کاهش معنی‌دار کاروتنوئید شد، در حالی که در شرایط متوسط این امر باعث افزایش کاروتنوئید شد. درمجموع کمترین میزان کاروتنوئید (۵/۱۴ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) در شرایط آبیاری در ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی ۱۰۰ میکرومول متیل جاسمونات بدست آمد (شکل ۷).



شکل ۵- اثر متیل جاسمونات بر میزان کلروفیل b برگ مرزنجوش در شرایط تنش خشکی

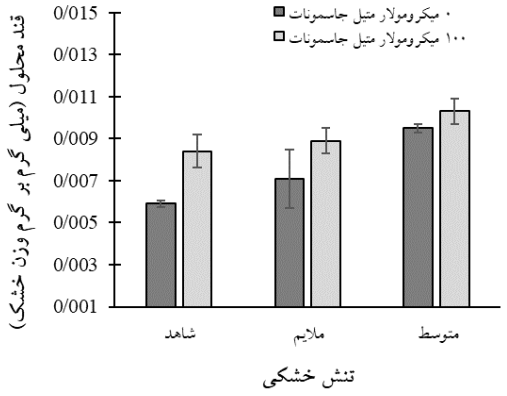


شکل ۶- اثر متیل جاسمونات بر میزان کلروفیل کل برگ مرزنجوش در شرایط تنش خشکی



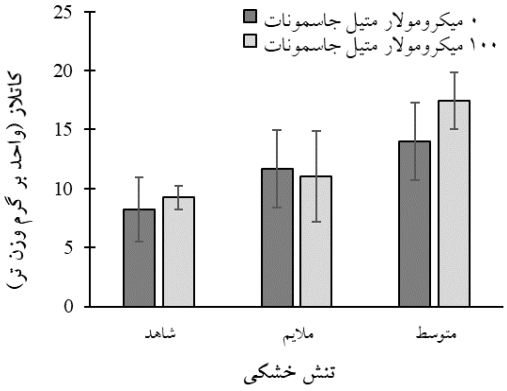
شکل ۷- اثر متیل جاسمونات بر میزان کاروتنوئید برگ مرزنجوش در شرایط تنش خشکی

قند محلول: براساس نتایج جدول ۱، اثر ساده تنش و متیل جاسمونات بر میزان قندمحلول معنی‌دار گردید و اثر متقابل این دو فاکتور بر میزان قند محلول معنی‌دار نشد (جدول ۱). با افزایش تنش خشکی، محتوای قند محلول افزایش یافت بطوری که بیشترین مقدار آن (۰/۰۱۰ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در تیمار تنش متوسط به دست آمد. از طرف دیگر کاربرد متیل جاسمونات باعث افزایش معنی‌دار قند محلول شد، بطوری که میزان قند محلول از ۰/۰۰۸ به ۰/۰۱۰ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک رسید (جدول ۲). در تمام سطوح تنش خشکی، کاربرد متیل جاسمونات نتوانست باعث افزایش معنی‌دار میزان قند محلول گردد (شکل ۸).



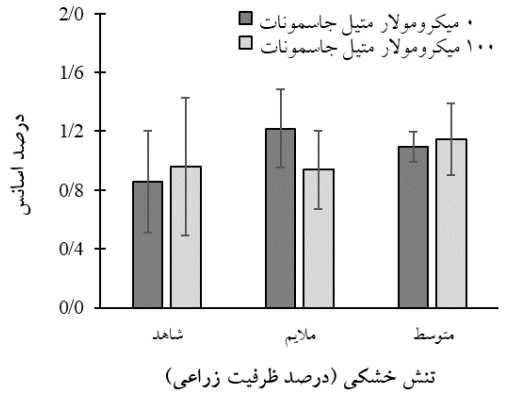
شکل ۸- اثر متیل جاسمونات بر میزان قند محلول برگ مرزنجوش در شرایط تنش خشکی

آنزیم کاتالاز: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تنش خشکی بر آنزیم کاتالاز معنی‌دار شد، درحالی‌که اثر ساده متیل جاسمونات و اثر متقابل تنش و متیل جاسمونات بر میزان این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۱). با افزایش تنش خشکی بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز افزوده شد، بطوری که بیشترین میزان این صفت (۱۵/۷ واحد بر گرم وزن‌تر) در تیمار تنش متوسط بدست آمد که با شاهد تفاوت معنی‌دار داشت. افزایش اندک فعالیت آنزیم کاتالاز پس از محلول‌پاشی متیل جاسمونات ازنظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۲). بیشترین میزان آنزیم کاتالاز (۱۷/۴۱ واحد بر گرم وزن‌تر) در تیمار تنش متوسط و همراه با کاربرد متیل جاسمونات بدست آمد (شکل ۹).



شکل ۹- اثر متیل جاسمونات بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز مرزنجوش در شرایط تنش خشکی

درصد اسانس: تنش خشکی و استفاده از متیل جاسمونات اثر معنی‌داری بر مقدار اسانس حاصل از برگ گیاه مرزنجوش در شرایط مورد بررسی نداشت. اگرچه افزایش اندکی در مقدار اسانس گیاهان رشد یافته در شرایط تنش خشکی با کاربرد متیل جاسمونات مشاهده شد (جداول ۱و ۲، شکل ۱۰).



شکل ۱۰- اثر متیل جاسمونات بر درصد اسانس مرزنجوش در شرایط تنش خشکی

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش شدت تنش باعث کاهش رشد رویشی مرزنجوش گردید. بطوری که تنش متوسط باعث کاهش وزن تر و خشک گیاه در مقایسه با شاهد شد. مشابه این نتایج گزارش شده است که تنش خشکی از طریق کاهش کلروفیل و درنتیجه میزان فتوسنتز باعث کاهش رشد رویشی و وزن خشک مرزنجوش می‌شود (۳۸). از طرف دیگر اگرچه محلول‌پاشی متیل جاسمونات در شرایط تنش ملایم و متوسط به ترتیب باعث افزایش و کاهش جزئی رشد گردید اما در شرایط آبیاری کامل این موضوع کاهش معنی‌دار رشد گیاه را به دنبال داشت. برخی مطالعات نشان داده‌اند که کاربرد هورمون‌های گیاهی ازجمله اسید جاسمونیک و متیل جاسمونات در شرایط عدم تنش‌های محیطی اثر بازدارنده بر رشد گیاه دارند (۴۲، ۴۹و ۵۲).

تنش خشکی و متیل جاسمونات باعث تغییر معنی‌دار میزان کلروفیل (b و کل) و کاروتنوئید مرزنجوش گردید. میزان کلروفیل برگ بطور معنی‌دار تحت تأثیر تیمارهای آبیاری قرارنگرفت با این وجود آبیاری در رطوبت خاک معادل ۷۵ درصد ظرفیت زراعی باعث افزایش جزئی و غیرمعنی‌دار کلروفیل a و کل شد. تنش خشکی متوسط اثر معنی‌داری بر کلروفیل a نداشت ولی میزان کلروفیل b را بطور معنی‌دار کاهش داد. این موضوع نشان می‌دهد که در شرایط تنش متوسط نسبت کلروفیل b به a کاهش می‌یابد. گزارش شده است که تنش خشکی موجب کاهش میزان کلروفیل a و b در گیاه دارویی ریحان می‌شود (۳۲). از طرف دیگر برخلاف کلروفیل، میزان کاروتنوئید در شرایط تنش متوسط در مقایسه با شاهد و تنش ملایم بطور معنی‌دار افزایش یافت. مشابه این نتایج، گزارش شده است که با افزایش تنش خشکی در گیاهان دارویی نظیر بادرشبو (۹و ۱۰)، بادرنجبویه (۱۱) و بابونه (۱، ۲۱) از مقدار کلروفیل کاسته و در مقابل بر میزان کاروتنوئید افزوده می‌شود. کاهش میزان کلروفیل و افزایش میزان کاروتنوئید در شرایط تنش خشکی در گیاه دارویی رزماری (*Rosmarinus officinalis*) (۴۸) و ذرت (*Zea mays* L.) (۳۷) نیز گزارش شده است. به نظر می‌رسد افزایش غلظت کاروتنوئید همراه با حفظ غلظت کلروفیل در گیاهان در شرایط تنش کمبود آب یکی از شاخص‌های فیزیولوژیکی مهم تحمل خشکی است (۱۶، ۲۳و ۳۵). برخلاف این نتایج، در برخی گیاهان جهت افزایش سازگاری به شرایط تنش خشکی، بخشی از کاروتنوئید تجزیه و به هورمون آبسیزیک اسید تبدیل می‌شود. که این موضوع موجب کاهش غلظت کاروتنوئید گیاه می‌شود (۵۱).

در پژوهش حاضر، میزان کلروفیل a تحت تأثیر کاربرد متیل جاسمونات قرارنگرفت، در حالی که محلول‌پاشی متیل جاسمونات باعث افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل b و کل در شرایط تنش متوسط گردید. از طرف دیگر در شرایط تنش متوسط متیل جاسمونات منجر به کاهش معنی‌دار کاروتنوئید گردید. درمجموع کاربرد متیل جاسمونات در شرایط عدم تنش خشکی باعث افزایش رنگیزه‌های گیاهی شد، بطوری که بیشترین میزان کاروتنوئید در تیمار اثر متقابل آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات بدست آمد. برخلاف این نتایج، در گیاه آرابیدوپسیس (*Arabidopsis thaliana* L.) گزارش شده است که هفت

روز پس از تیمار با متیل جاسمونات در غلظت ۱۰۰ میکرومولار، محتوای کلروفیل a و b کاهش یافته و میزان انتقال الکترون در فتوسیستم II و درنتیجه میزان فتوسنتز تحت تأثیر قرارگرفته است (۲۹). همچنین کاهش محتوای کلروفیل و کاهش مقدار روبیسکو در برگ گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) تحت تیمار با متیل جاسمونات گزارش شده است (۵۰). اما برخی محققین نشان داده‌اند که در گیاه لاله (*Tulipa gesneriana* L.)، در حضور نور و با استفاده از متیل جاسمونات سنتز کلروفیل a و b تحریک شده است و متیل جاسمونات در بیان تعدادی از ژن‌های آنزیم‌های کلیدی در بیوسنتز کلروفیل، از طریق تشکیل آمینولوولینیک اسید دخالت دارد. البته این امر در غلظت‌های پایین متیل جاسمونات مشاهده شده است (۴۹). همچنین ممکن است متیل جاسمونات به‌عنوان یک الیسیتور موجب تحریک سنتز آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در شرایط تنش خشکی گردد که این موضوع می‌تواند از تخریب رنگیزه‌های گیاهی در اثر تنش اکسیداتیو جلوگیری کند (۵۲). در تحقیقی دیگر گزارش شده است که جاسمونات باعث ترمیم رنگیزه‌های فتوسنتزی ازجمله کلروفیل a و کاروتنوئیدها در نوعی عدسک آبی (*Wolffia arrhiza* L.) گردیده است (۴۳).

قندهای محلول یکی از اسمولیت‌های سازگار می‌باشند که در شرایط تنش خشکی تجمع یافته و به‌عنوان عوامل حفاظتی در گیاهان عمل می‌کنند. در شرایط تنش، قندها با تنظیم اسمزی و حفظ آماس و همچنین پایداری غشاها و پروتئین‌ها از سلول‌ها محافظت می‌کنند. قندها در طول پسابیدگی سلول‌ها با شیشه‌ای شدن سیتوپلاسم سبب تحمل گیاهان به خشکی می‌شود (۲۴). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تنش خشکی باعث افزایش قندهای محلول در گیاه مرزنجوش می‌شود. تجمع قند در شرایط تنش خشکی در گیاهان دیگر مانند نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) (۴)، بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) (۱۱) گزارش شده است. از طرف دیگر نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد متیل جاسمونات در شرایط تنش خشکی باعث افزایش جزئی قند محلول در مرزنجوش می‌گردد. مشابه این پژوهش در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) نیز نشان داده شده است که ۰/۵ میلی‌مولار متیل جاسمونات قند برگ را افزایش داد (۵). به نظر می‌رسد چون جاسمونات سنتز اتیلن را تحریک کرده و در نتیجه منجر به کاهش سنتز کربوهیدرات می‌گردد، این امر منجر به تجزیه کربوهیدرات‌های ذخیره‌شده در گیاه گشته که درنهایت میزان قند محلول برگ را در شرایط تنش افزایش می‌دهد (۴۷).

تنش خشکی و محلول‌پاشی متیل جاسمونات هر دو باعث افزایش آنزیم کاتالاز شدند. تحقیقات نشان داده است گیاهان با فعال نمودن سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی به تنش پاسخ می‌دهند. دراین راستا افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی جهت مقابله با استرس اکسیداتیو ناشی از تنش‌های محیطی در گیاهان مختلف گزارش شده است (۳۰). همچنین افزایش فعالیت این آنزیم‌ها در برگ همراه با افزایش تنش آبی، نشان دهنده این است که رقم موردمطالعه از مکانیسم دفاعی آنتی‌اکسیدانی به مقاومت در برابر تنش ناشی از کمبود آب سود برده است (۱۷). برخی مطالعات نشان داده است که متیل جاسمونات و جاسمونیک اسید به‌عنوان یک الیسیتور باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در کشت سلول *Scrophularia straita* Boiss (۸) و گیاه ترتیزک (*Lepidium sativum*) (۲) می‌گردد. افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از متیل جاسمونات در سایر گونه‌های گیاهی نظیر بادام زمینی(*Arachis hypogaea* L.) (۳۲)، ذرت (۱۹) و سویا (*Glycine max* L.) (۱۴) نیز گزارش شده است.

بنابر نظر برخی محققین، تشکیل و تجمع اسانس در گیاهان در شرایط کم آبی افزایش می‌یابد (۴۱). در حالی که نتایج حاضر نشان داد که افزایش اندک مقدار اسانس برگ گیاه

مرزنجوش با اعمال تنش متوسط و شدید خشکی معنی‌دار نبود. بطور کلی گزارش‌های موجود در زمینه اثر تنش آبی (خشکی) بر میزان اسانس، در گونه‌های گیاهی مختلف تا حدودی متفاوت است. برای مثال تنش رطوبتی بر میزان و ترکیبات روغن گیاه بابونه تأثیر معنی‌دار نداشته است (۲۲). در حالی که تنش خشکی موجب کاهش مقدار اسانس در رزماری شده است (۴۸). بااین‌حال برخی مطالعات دلالت برافزایش درصد اسانس تحت شرایط خشکی دارند. برای مثال تنش خشکی سبب افزایش میزان اسانس در ریحان می‌شود (۴۴). از نتایج تحقیقات گذشته که در مورد گونه‌های معطر انجام‌شده است چنین نتیجه‌گیری می‌شود که تغییرات میزان اسانس در شرایط تنش خشکی بسیار متفاوت و کاملاً به نوع گونه مورد تنش بستگی دارد، لذا چنین استنباط می‌شود که ژنوتیپ گیاهان مورد تنش نقش بسیار مهمی را در عکس‌العمل گیاه به شرایط تنش دارد (۱۲).

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که در شرایط تنش خشکی اگرچه کاربرد متیل جاسمونات تأثیر معنی‌داری بر میزان اسانس مرزنجوش نداشت، اما این امر باعث افزایش جزئی اسانس در مقایسه با شاهد گردید. برخی مطالعات حاکی از افزایش میزان اسانس تحت تأثیر اسید جاسمونیک باعث در برخی گیاهان دارویی ازجمله ریحان است (۳۲و ۵۳). اسید جاسمونیک در شرایط تنش از طریق تحریک سنتز متابولیت‌های ثانویه باعث افزایش میزان اسانس در شرایط تنش خشکی می‌شود (۳۱) که این امر می‌تواند در بهبود تحمل گیاه به شرایط تنش خشکی نقش داشته باشد (۲۸).

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق دال بر واکنش فیزیولوژیک گیاه مرزنجوش به تنش خشکی بود. بطوری که با افزایش تنش از وزن‌تر و خشک، ارتفاع بوته و میزان کلروفیل برگ آن کاسته شد. در حالی که میزان قند محلول، کاروتنوئید و آنزیم کاتالاز افزایش یافت، که این تغییرات درواقع نوعی سازگاری گیاه به شرایط تنش محسوب می‌شود. از طرف دیگر نتایج این پژوهش بیانگر این موضوع است که محلول‌پاشی متیل جاسمونات موجب افزایش کلروفیل کل، قند محلول، و آنزیم کاتالاز در شرایط تنش خشکی گردید. از آنجایی که افزایش آنزیم کاتالاز باعث افزایش سازگاری گیاه به شرایط تنش می‌گردد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط تنش خشکی محلول‌پاشی متیل جاسمونات احتمالاً از طریق افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز اثرات منفی تنش خشکی را تعدیل می‌کند.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از کلیه کارشناسان آزمایشگاه و گلخانه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان کمال تشکر و قدردانی دارند.

منابع

۱- آرزمجو، ا.، حیدری، م.، و قنبری، ا.، ۱۳۸۸. بررسی تنش خشکی و سه نوع کود بر عملکرد گل، پارامترهای فیزیولوژی و جذب عناصر غذایی در گیاه دارویی بابونه (Matrcaria chamomilla)، تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۵(۴)، صفحات ۴۹۴-۴۸۲.

۲- اسدی، ا.، اسرار، ز.، و کرامت، ب.، ۱۳۹۴. تأثیر جاسمونیک اسید بر کاهش القاء تنش اکسیداتیو در گیاه ترتیزک (Lepidium sativum) تحت تنش مس، مجله پژوهش‌های گیاهی، ۲۸ (۴)، صفحات ۶۹۴-۶۸۴.

۳- امید بیگی، ر.، ۱۳۸۸. تولید و فرآوری گیاهان دارویی، جلد اول، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد، ۳۴۷ صفحه.

۴- ایزدی، ز.، اثنی عشری، م.، و احمدوند، گ.، ۱۳۸۸. تأثیر تنش خشکی بر عملکرد، میزان پرولین، قندهای محلول، کلروفیل، محتوای نسبی آب و میزان اسانس در نعناع فلفل (Mentha piperita L.)، مجله علوم و فنون باغبانی ایران، ۱۰(۳)، صفحات ۲۲۳- ۲۳۴.

۵- چاوشی، م.، آروین، م. ج.، و منوچهری¬کلانتری، خ.، ۱۳۸۷. اثر متقابل شوری و متیل جاسمونات بر قند، آنتوسیانین،

پراکسیداسیون لیپید و برخی پارامترهای رشد در گیاه گلرنگ (Carthamus tinctorius)، مجله علمی ¬پژوهشی (دانشگاه اصفهان) علوم پایه، ۳۵(۶)، صفحات ۱۵۵-۱۸۰.

۶- حسنی، ع.، ۱۳۸۵. بررسی تأثیر تنش کم‌آبی بر رشد، عملکرد و میزان اسانس گیاه دارویی بادرشبو (Dracocephalum moldavica)، فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۲(۳)، ۲۶۱-۲۵۶.

۷- حسنی، ع.، و امید بیگی، ر.، ۱۳۸۱. اثرات تنش آبی بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و متابولیکی گیاه ریحان، مجله دانش کشاورزی، ۱۲(۳)، صفحات ۴۷-۵۹.

۸- خان‌پور اردستانی، ن.، شریفی، م.، و بهمنش، م.، اثر متیل جاسمونات بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی در کشت سلول Scrophularia straita Boiss. 27 مجله پژوهش‌های گیاهی، (۵)، صفحات ۸۴۰-۸۵۳.

۹- رضایی، ح.، و قربانلی، م.، ۱۳۹۱. بررسی اثر تنش خشکی و برهمکنش آن با اسید آسکوربیک بر میزان رنگیزه-های فتوسنتزی در گیاه بادرشبو(Dracocephalum moldavica L.)، همایش ملی فرآورده¬های طبیعی و گیاهان دارویی، دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی.

۱۰- صفی خانی، ف.، حیدری شریف‌آباد، ح.، سیادت، ع.، عاشوری آبادی، ا.، سید نژاد، م.، و عباس‌زاده، ب.، ۱۳۸۶. تأثیر تنش خشکی بر درصد و عملکرد اسانس و ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه دارویی بادرشبو (Dracocephalum moldavica L.)، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۳(۱)، صفحات ۸۶-۹۹.

۱۱- عباس‌زاده، ب.، شریفی عاشورآبادی، ا.، لباسچی، م.، نادری، ح.، حاجی باقر کندی، م.، و مقدمی، ف.، ۱۳۸۶. اثر تنش خشکی بر میزان پرولین، قندهای محلول، کلروفیل و آب نسبی(RWC) بادرنجبویه (Melissa officinalis L.)، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۳(۴)، صفحات ۵۰۴-۵۱۳.

۱۲- قانی دهکردی، ف.، قاسمی پیربلوطی، ق.، حامدی، ب.، و ملک پور، ف.، ۱۳۹۰. بررسی اثر سطوح مختلف آب و نیتروژن بر صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه دارویی بابونه اوراً (Matricaria aurea L)، فصلنامه داروهای گیاهی، سال دوم، ۲، صفحات ۱۰۱-۱۱۱.

۱۳- قربانلی، م.، بخشی خانیکی، ق.، و ذاکری، آ.، ۱۳۹۰. بررسی اثر تنش خشکی بر ترکیب‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه دارویی کتان (Linum usitatissimum L.)، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۷(۴)، صفحات ۶۴۷-۶۵۸.

۱۴- ۱۴- کرامت، ب. و دانشمند، ف.۱۳۹۱. نقش دوگانه متیل جاسمونات بر عملکردهای فیزیولوزیک در گیاه سویا (*Glycine max* L.). فرایند و کارکرد گیاهی، ۱ (۱)، صفحات ۲۶-۳۸.

۱۵- لباسچی، م. ح.، و شریفی عاشورآبادی، ا.، ۱۳۸۳. شاخص‌های رشد برخی گونه‌های گیاهان دارویی در شرایط مختلف تنش خشکی، فصلنامه پژوهشی تحقیقاتی گیاهان دارویی و معطر ایران، ۳، صفحات ۲۶۱ – ۲۴۹.

16- Abdalla, M. M., and El-Khoshiban, N. H., 2007. The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two Triticum aestivum cultivars, Journal of Applied Science, 3, PP: 2062-2074.

17- Ajay, A., Sairam, R. K., and Srivasta, G. C., 2001. Oxidative stress and antioxidative system in plants. Current Science, 82, PP: 1227-1238.

18- Alma, M. H., Mavi, A., Yildirim, A., Digrak, M., and Hirata, T., 2003. Screening chemical composition and in vitro antioxidant and antimicrobial activities of the essential oils from Origanum syriacum L., growing in Turkey. Biological and Pharmaceutical Bulletin, 26, PP: 1725 - 1729.

19- Anjum, S. A., Wang, L. C., Hussain, M., Xue M., and Zou, C. M., 2011. Brassinolide application improves the drought tolerance in maiz through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange, Journal of Agronomy Crop Science, 197, PP: 177-185.

20- Arnon, D. T., 1949. Copper enzymes in isolation chloroplast phenoloxidase in Beta vulgaris. Plant Physiology, 24, PP: 1-15.

21- Baatour, O., Kaddour, R., Mahmoudi, H., Tarchoun, I., Bettaieb, I., Nasri, N., Mrah, S., Hamdaoui, G., Lachaâl, M., and Marzouk, B., 2011. Salt effects on Origanum majorana fatty acids and essential oils composition. Journal of the Science of Food and Agriculture, 10, PP: 1002-4495.

22- Baghalian, K., Abdoshah, S., Khalighi-Sigaroodi, F., and Paknejad, F., 2011. Physiological and phytochemical response to drought stress of German chamomile (Matricaria recutita L.), Plant Physiology and Biochemistry. 49, PP: 201-207.

23- Bhattacharjee, S., and Saha, A. K., 2014. Plant water-stress response mechanisms. In: Approaches to plant stress and their management, R. K., Gaur and P., Sharma (Eds). Springer New Delhi, India. PP: 149-172.

24- Bohnert, K. H., Nelson, D. E., and Jensen, R. G., 1995. Adaptations to environment stresses. The Plant Cell, 7, PP: 1099-1111.

25- Czerpak, R., Piotrowska, A., and Szulecka, K., 2006. Jasmonic acid affects changes in the growth and some components content in alga Chlorella vulgaris. Acta Physiologia Plantarum. 28, PP: 195-203.

26- Dazy, M., Jung, V., Ferard, J., and Masfaraud, J., 2008. Ecological recovery of vegetation on a coke-factory soil: Role of plant antioxidant enzymes and possible implication in site restoration. Chemosphere, 74, PP: 57-63.

27- Heo, H. J., Cho, H. Y., Hong, B., Kim, H. K., Heo, T. R., Kim, E. K., Kim., S. K., Kim, C. J., and Shin, D. H., 2002. Ursolic acid of Origanum majorana L. reduces Abeta-induced oxidative injury. Molecules and Cells, 13, PP: 5-11.

28- Hildmann, T., Ebneth, M., Pena-Cortes, H., Sanchez - Serrano, J. J., Willmitzer, L., and Prat, S., 1992. General roles of abscisic acid and jasmonic acid in gene activation as a result of mechanical damage. Plant Cell, 4, PP: 1157-1170.

29- Jung, S., 2004. Effect of chlorophyll reduction in Arabidopsis thaliana by methyl jasmonate or norflurazon on antioxidant systems. Journal of Plant physiology and Biochemistry, 42, PP: 231-255.

30- Kleff, S., Trelease, R. N., and Eising, R., 1994. Nucleotide and deduced amino acid sequence of a putative higher molecular weight precursor for catalase in sunflower cotyledons. Biochemical and Biophysical Acta, 1224, PP: 463-466.

31- Kumari, G. J., Reddy, A. M., Naik, S. T., Kumar, S. G., Prasanthi, J., Sriranganayakulu, G., Reddy, P. C., and Sudhakar, C., 2006. Jasmonic acid induced changes in protein pattern, antioxidative enzyme activities and peroxidase isozymes in peanut seedlings. Biologia Plantarum, 50, PP: 219-226.

32- Malekpoor, F., Salimi, A., and Ghasemi Pirbalouti, A., 2015. Effects of Jasmonic acid on essential oil yield and chemical compositions of two Iranian landraces of basil (Ocimum basilicum) under reduced irrigation. Journal of Herbal Drug, 6, PP: 13-22.

33- Manivannan, P., Jaleel, C. A., Sankar, B., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., Lakshmanan, G. M. A., and Panneerselvam, R., 2007. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in Helianthus annuus L. as induced by drought stress, Colloid Surf B Biointerfaces, 59, PP: 141–149.

34- Martin, D., Tholl, D., Gershenzon, J., and Bohlmann, J., 2002. Methyl jasmonate induces traumatic resin ducts, terpenoid resin biosynthesis, and terpenoid accumulation in developing xylem of Norway spruce stems, Plant Physiology, 129, PP: 1003-1018.

35- Meiri, D., Tazat, K., Cohen-Peer, R., Farchi-Pisanty, O., Aviezer-Hagai, K., Avni, A., and Breiman, A., 2010. Involvement of Arabidopsis ROF2 (FKBP65) in thermotolerance. Plant Molecular Biology, 72, PP: 191–203.

36- Mihalovic, N., Lazarevic, M., Dzeletoric, Z., Vuckoric, M., Durde, Vic. M., 1997. Chlorophyllase activity in Wheat leaves during drought and its dependence on the nitrogen ion form applied. Plant Science, 129, PP: 141- 146.

37- Mohammadkhani, N., and Heidari, R., 2007. Effects of water stress on respiration, photosynthetic pigments and water content in tow Maize cultivar, Pakistan Journal of Biological Science, 10, PP: 4022- 4028.

38- Morshedloo, M. R., Craker, L. E., Salami, A., Nazeri, V., Sang, H., and Maggi, F., 2017. Effect of prolonged water stress on essential oil content, compositions and gene expression patterns of mono- and sesquiterpene synthesis in two oregano (Origanum vulgare L) subspecies, Plant Physiology and Biochemistry, 111, PP: 119-128.

39- Munns, R., 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell and Environment, 25, PP: 239-250.

40- Parra-Lobato, M. C., Fernandez-Garcia, N., Olmos, E., Alvares-Tinaut, M., and Gomez-Jimenez, C., 2009. Methyl jasmonate-induced antioxidant defense in root apoplast from sunflower seedlings, Environmental and Experimental Botany, 66, PP: 9-17.

41- Penka, M., 1978. Influence of irrigation on the contents of effective substances in officinal plants. Acta Horticulture, 73, PP: 181-198.

42- Pessarkli, M., 1999. Hand Book of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker Inc, 697 p.

43- Piotrowska, A., Bajguz, A., Godlewska-Zylkiewicz, B., and Czerpak, R., 2009. Jasmonic acid modulator of lead toxicity in aquatic plant Wolffia arrhiza (Lemnaceae), Environmental and Experimental Botany, 66, PP: 507-513.

44- Refaat, A. M., and Saleh, M. M., 1997. The combined effect of irrigation internal and foliar nutrition on sweet basil plants. Bulletin of faculty of Agricultural University of Cairo, 48, PP: 515-527.

45- Said-Al Ahl, H. A. H., and Hussein, M. S., 2010. Effect of water stress and potassium humate on the productivity of oregano plant using saline and fresh water irrigation, Ozean Journal of Applied Sciences, 3, PP: 125-141.

46- Shan, B., Cai, Y. Z., Sun, M., and Corke, H., 2005. Antioxidant capacity of 26 spice extracts and characterization of their phenolic constituents. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53, PP: 7749 - 7759.

47- Sekozawa, Y., Sugaya, S., Gemma, H., and Iwahori, S., 2003. Cold tolerance in "Kousui" Japanese pear and possibility for avoiding frost injury by treatment with n-propyl dihydrojasmonate, Horticulture Science, 38, PP: 288-292.

48- Solinas, V., Deiana, S., Gessa, C., Bazzoni, A., Loddo, M. A., and Satta, D., 1996. Effects of water and nutritional conditions on the Rosmarinus officinalis L. phenolic fraction and essential oil yields. Rivista Italiana EPPOS, 19, PP: 189-198.

49- Ueda, J., and Saniewski, M., 2006. Methyl jasmonate–induced stimulation of chlorophyll formation in the basal part of tulip bulbs kept under natural light conditions, Journal of Fruit and Ornamental Plant Research, 14, PP: 199-21.

50- Weidhase, R., Kramell, H. M., Lehmann, J., Liebisch, H. W., Lerbs, W., and Parthier, B., 1987. Methyl jasmonate-induced changes in the polypeptide pattern of senescing barley leaf segments, Plant Science, 51, PP: 177-186.

51- Zhang, Y., Tan, J., Guo, Z., Lu, S., He, S., Shu, W., and Zhou, B., 2009. Increased abscisic acid levels in transgenic tobacco over-expressing 9 cis-epoxycarotenoid dioxygenase influence H_2O_2 and NO production and antioxidant defenses. Plant, Cell and Environment, 32, PP: 509–519.

52- Zhao, T. J., Liua, Y., Yan, Y. B., Feng, F., Liu, W. Q., and Zhou, H. M., 2007. Identification of the amino acids crucial for the activities of drought responsive element binding factors (DREBs) of Brassica napus. Federation of European Biochemical Societies, 581, PP: 3044-3050.

53- Zlotek, U., Michalak-Majewska, M., and Szymanowska, U., 2016. Effect of jasmonic acid elicitation on the yield, chemical composition, and antioxidant and anti-inflammatory properties of essential oil of lettuce leaf basil (Ocimum basilicum L), Food Chemistry, 213, PP: 1-7.

Effect of methyl jasmonate on growth and essential oil content of marjoram (*Origanum majorana* L.) under drought stress conditions

Farsi M.,[1] Abdollahi F.,[1] Salehi A.[2] and Ghasemi S.[3]

[1] Dept. of Horticulture Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, I.R. of Iran.

[2] Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, I.R. of Iran.

[3] Horticulture Crops Research Dept., Qazvin Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Qazvin, I.R. of Iran.

Abstract

Marjoram (Origanum majorana L.) is one of the plants of Labiatae family. Drought stress limits the growth of medicinal plants, including marjoram. In this study, response of marjoram to foliar methyl jasmonate application (with concentrations 0, 100 µM) under drought stress (soil moisture equivalent to 50 (moderate stress), 75 (mild stress) and 100% of field capacity (without stress)) was evaluated. Based on the results obtained in this study the effect of different levels of drought stress on plant fresh and dry weight, plant height, chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoids content, catalase activity and soluble sugar content was significant. When compared to control, moderate stress reduced chlorophyll and increased carotenoids, catalase activity and soluble sugar content 15.52, 38.25, 79.63 and 42.86% respectively. Essential oil percentage, which obtained from plant leaves under drought stress, did not change significantly. Application of methyl jasmonate increased chlorophyll a, b and total, catalase activity and soluble sugar, particularly in non- stress and severe stress conditions. These results showed that methyl jasmonate could increase catalase activity and soluble sugar content while under drought stress condition inhibit the activity of free radicals and thus ensures survival of the marjoram plants. In general, the results of this experiment showed that the use of mthyl jasmonate could appropriate way to cope with drought in marjoram.

Key words: catalase, essential oils, jasmonic acid, water deficit.