روابط خاک و گیاه / سال سیزدهم / شماره دوم / تابستان ۱۴۰۱ / صفحات ۳۴-۱۹ مقاله پژوهشی

اثر برهمکنش سطوح مختلف روی و متیل جاسمونات بر ویژگی‌های مورفولوژیک و رنگیزه‌های فتوسنتزی نعناع فلفلی در شرایط کشت بدون خاک

لیلا مهدی‌زاده[۱]، محمد مقدم[۱]* و علی گنجعلی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۷)

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی متیل جاسمونات [آب مقطر (شاهد)، اتانول ۱ درصد (حلال متیل جاسمونات و شاهد)، ۱ و ۲ میلی‌مولار متیل جاسمونات] و کاربرد عنصر روی (۰، ۰/۰۲۵، ۰/۰۵ و ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر) در محلول غذایی هوگلند بر ویژگی‌های رشدی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و تولید اسانس نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) آزمایشی گلدانی در شرایط کشت بدون خاک و به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. براساس نتایج بیش‌ترین میزان صفات رشدی مورد بررسی در کاربرد ۰/۰۲۵ میلی‌گرم بر لیتر روی و محلول‌پاشی ۱ و ۲ میلی‌مولار متیل جاسمونات حاصل شد. بیش‌ترین میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a و کلروفیل کل مربوط به کاربرد ۰/۰۲۵ میلی‌گرم بر لیتر روی و محلول‌پاشی ۲ میلی‌مولار متیل جاسمونات بود. بیش‌ترین وزن تازه و خشک ریشه، میزان کلروفیل b و کاروتنوئید به‌ترتیب در تیمار ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر روی و محلول‌پاشی ۲ میلی‌مولار متیل جاسمونات و همچنین تیمار بدون روی و محلول‌پاشی با آب مقطر مشاهده شد. علاوه بر این بیش‌ترین میزان تولید اسانس در تیمار ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر روی و محلول‌پاشی با غلظت ۱ میلی‌مولار متیل جاسمونات حاصل شد. به‌طور کلی کاربرد ۰/۰۲۵ میلی‌گرم بر لیتر روی و محلول‌پاشی ۲ میلی‌مولار متیل جاسمونات در اکثر صفات مورد بررسی به‌عنوان بهترین ترکیب تیماری شناخته شد. نتایج این پژوهش نشان داد که روی در غلظت‌های کم موجب تحریک رشد گیاه نعناع فلفلی شد؛ درحالی که حذف روی و یا کاربرد غلظت‌های زیاد آن موجب بروز برخی آثار تنش‌زا در این گیاه و افزایش تولید اسانس شد. بنابراین استفاده از غلظت‌های مناسب روی و متیل جاسمونات می‌تواند راهکار مناسبی برای افزایش رشد و تولید اسانس نعناع فلفلی باشد.

واژه‌های کلیدی: تنظیم‌کننده‌های رشد، عناصر کم‌مصرف، کلروفیل، محلول غذایی، رشد.

مقدمه

عنصر روی (Zn) یکی از عناصر معدنی کم‌مصرف و ضروری در تغذیه گیاهی است که در غلظت‌های مناسب رشد و نمو گیاهان را افزایش می‌دهد (۲۳ و ۴۷). روی در زایش گیاهان، بهبود تحمل به تنش خشکی، محافظت در برابر سمیّت ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن نقش مهمی ایفا می‌کند (۴۱). روی

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- گروه علوم زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m.moghadam@um.ac.ir

از عناصری است که به‌عنوان یک جزء فلزی در ساختمان آنزیم‌های مختلف و یا به‌عنوان کوفاکتور ساختاری یا تنظیمی عمل می‌کند. روی در متابولیسم ساکاریدها، فتوسنتز و ساخت پروتئین‌ها دخالت دارد (۱۵). کمبود روی به‌صورت کلروز بین-رگبرگی در برگ‌های جوان دیده می‌شود و بر رشد رویشی گیاهان آثار متضادی دارد (۳). روی در مقادیر بیش‌تر از نیاز تغذیه‌ای به سادگی، جذب گیاهان و سپس ماده‌سازی[1] می‌شود. گیاهانی که در معرض غلظت‌های زیاد روی قرار می‌گیرند، علائم سمیّت نشان می‌دهند. این علایم شامل کلروز برگ‌ها، کاهش رشد، کاهش تعداد و سطح برگ، کاهش عملکرد و کاهش تولید گل است. علاوه بر این در اثر افزایش بیش از اندازه روی، کاهش فتوسنتز، کاهش عملکرد آنزیم‌ها، اختلال در جذب عناصر غذایی، پژمردگی و تغییر در روابط آبی گیاه نیز مشاهده شده است (۱۰). کاربرد بیش از اندازه روی، در بیوسنتز کلروفیل اختلال ایجاد می‌کند که ممکن است با تشکیل رادیکال‌های آزاد اکسیژن مرتبط باشد و بر فعالیت فتوسنتزی و همچنین رشد گیاه اثر بگذارد (۱۰ و ۳۲). در یک بررسی روی بومادران[2]، حذف عنصر روی سبب کاهش چشم‌گیری در ماده خشک کل، محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید شد (۴). در پژوهش‌های پیشین تأثیر محلول‌پاشی با کودهای حاوی روی بر افزایش رشد نعناع فلفلی[3] (۲)، گز روغنی[4] (۴۶) و آنیسون[5] (۴۸) گزارش شده است. همچنین کاربرد کود روی سبب افزایش معنی‌دار اسانس ریحان[6] (۲۰)، نعناع فلفلی (۲، ۵۳) و بادرنجبویه[7] (۲۱) شد. جاسمونیک اسید و متیل استر آن (متیل‌جاسمونات) ترکیباتی سیکلوپنتانی[8] از مشتقات اسید لینولنیک[9] و از تنظیم‌کننده‌های رشد درونی گیاه هستند که از طریق مسیر اکتادکانوئید[10] ساخته می‌شوند. این ترکیبات در گیاهان عالی توزیع وسیعی داشته و نقش کلیدی در رشد و نمو گیاه ایفا می‌کنند. اکنون مشخص شده است که جاسموناتها به‌عنوان یک خانواده جدید از هورمون‌های گیاهی نقش مهمی در تنظیم فرآیند رشد و نمو گیاه دارند (۲۵). در پژوهشی روی بابونه آلمانی[11] مشخص شد که محلول‌پاشی با متیل جاسمونات آثار مثبتی بر صفات مورفولوژیک و عملکرد گل داشت (۴۳). در پژوهش دیگری تأثیر غلظت‌های مختلف جاسمونیک اسید بر صفات مختلف گل همیشه‌بهار[12] مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که غلظت‌های مختلف جاسمونیک اسید به‌طور معنی‌داری سبب افزایش وزن خشک، ارتفاع بوته و غلظت کاروتنوئید این گیاه شد (۶). در یک پژوهش روی آویشن دنایی[13]، کاربرد غلظت‌های مختلف جاسمونیک اسید بر میزان اسانس این گیاه اثر معنی‌داری داشت (۵). نتایج پژوهش‌های پیشین نشان دادند که محلول‌پاشی با متیل جاسمونات سبب افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی در سرخارگل[14] (۱۳) و مرزنجوش[15] (۱۷) شد. متیل جاسمونات به‌عنوان یک محرک موجب افزایش ارتفاع، وزن تازه و خشک اندام گیاهی می‌شود (۱۳ و ۵۴). با توجه به غلظت استفاده شده، گونه گیاهی و مرحله رشد، متیل جاسمونات آثار متفاوتی بر رشد و نمو گیاهان دارد و در استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، مقدار، نوع ترکیب، زمان کاربرد و نوع گیاه بر چگونگی پاسخ گیاه به آن اثرگذار است (۴۵ و ۴۳).

نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) گیاه علفی و چندساله که هیبریدی از *M. aquatica* × *M. spicata* است (۳۴). اندام هوایی نعناع فلفلی دارای اسانس، ترکیبات فنلی، فلاونوئیدها، اسیدهای چرب، ویتامین‌ها، عناصر معدنی و اسید سالسیلیک است (۴۰). رطوبت خاک، نور کافی و مواد غذایی مناسب برای کشت نعناع ضروری است و سبب افزایش عملکرد آن می‌شود

1. Assimilation
2. *Achillea millefolium*
3. *Mentha piperita*
4. *Moringa peregrina*
5. *Pimpinella anisum*
6. *Ocimum basilicum*
7. *Melissa officinalis*
8. Cyclopentanone compounds
9. Linolenic acid
10. Pathway octadecanoid
11. *Matricaria chamomilla*
12. *Calendula officinalis*
13. *Thymus daenesis*
14. *Echinacea purpurea*
15. *Origanum majorana*

(۳۴). خاک‌های ایران در کمربند کمبود روی در جهان واقع شده است؛ بنابراین استفاده از کودهای حاوی روی ضروری است (۲۸). به‌منظور بررسی تأثیر عناصر غذایی ضروری بر رشد و نمو گیاهان، کشت آن‌ها در محیط بدون خاک و در شرایط کنترل شده توصیه می‌شود. زیرا در این شرایط میزان عناصر دیگر در سطح بهینه فراهم شده و تأثیر کمبود یا بیشبود یک عنصر مورد بررسی قرار می‌گیرد (۲۳ و ۴۱). بنابراین برای تولید محصول با کیفیت و سیستم مدیریتی مناسب به‌ویژه در زمینه تغذیه و کنترل دقیق عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، در سال‌های اخیر تولید محصولات کشاورزی در محیطهای کنترل شده به‌ویژه روش‌های کشت بدون خاک مورد توجه قرار گرفته است (۲۷). نعناع فلفلی یک گیاه دارویی ارزشمند در صنایع غذایی و دارویی است. استفاده از روش‌های مختلف به‌منظور افزایش رشد و عملکرد این گیاه از اهمیت زیادی برخوردار است. بررسی منابع نشان می‌دهد که اغلب پژوهش‌های انجام شده در مورد تنظیم‌کننده‌های رشد مانند متیل جاسمونات بر ویژگی‌های گوناگون گونه‌های مختلف گیاه در شرایط تنش‌های محیطی و یا کشت بافت انجام شده است (۶، ۱۷، ۴۳، ۴۴ و ۴۵). علاوه بر این اغلب پژوهش‌های پیشین اثر سطوح مختلف عنصر روی بر گیاهان مختلف خانواده نعناعیان را به‌صورت محلول‌پاشی بررسی کرده‌اند (۲۱، ۳۶ و ۴۲) و اثر حذف عنصر روی به‌عنوان یک عامل مهم در رشد و نمو گیاه مورد بررسی قرار نگرفته است. باتوجه به بررسی‌های انجام شده تاکنون پژوهشی درباره اثر برهمکنش عنصر روی و متیل جاسمونات بر نعناع فلفلی انجام نشده است. تصور می‌شود تغییر در میزان غلظت و یا حذف عنصر روی از محلول غذایی هوگلند و محلول‌پاشی با متیل جاسمونات بر صفات رشدی، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و تولید اسانس نعناع فلفلی تأثیرگذار باشد. بنابراین در این پژوهش تاثیر سطوح مختلف روی و متیل جاسمونات بر ویژگی‌های مورفولوژیک، رنگیزه‌های فتوسنتزی و میزان تولید اسانس گیاه نعناع فلفلی در شرایط کشت بدون خاک مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی برهمکنش عنصر روی و متیل جاسمونات بر ویژگی‌های رشدی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و تولید اسانس نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) پژوهشی براساس آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۲ فاکتور و در ۴ تکرار (هر تکرار شامل یک گلدان که سه گیاه در آن کاشته شده بود) در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل کاربرد سطوح مختلف عنصر روی در محلول‌غذایی هوگلند (۰: حذف عنصر، ۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر) و محلول-پاشی متیل جاسمونات (آب مقطر: شاهد)، اتانول ۱ درصد (حلال متیل جاسمونات و شاهد)، ۱ و ۲ میلی‌مولار متیل جاسمونات بود. چون برای حل کردن متیل جاسمونات از اتانول ۱ درصد استفاده شد، یک تیمار شاهد محلول‌پاشی با اتانول ۱٪ نیز افزوده شد.

ریزوم‌های نعناع فلفلی از مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه شدند. ریزوم‌های جوان به طول ۵ سانتی‌متر در عمق ۵ سانتی‌متری بستر گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع ۴۰ و قطر دهانه ۳۰ سانتی‌متر و حاوی بستر ماسه شسته شده کشت شدند به‌طوری که ۴ ریزم در ۴ نقطه هر گلدان کاشته شدند. ریزوم‌ها تا مرحله ۶-۴ برگی و استقرار کامل گیاهان، با آب مقطر آبیاری شدند. در ادامه برای تغذیه گیاهان از محلول غذایی هوگلند استفاده شد (۲۲) و نمک‌های مورد نظر مبتنی بر غلظت عناصر در فرمول غذایی ترکیب شد و پس از تنظیم pH (۶-۵/۵) و EC (۱/۳-۱ دسی زیمنس بر متر) در اختیار گیاهان قرار گرفت. محلول‌دهی گیاهان به‌صورت دستی و با توجه به مرحله رشدی و فصل رشد گیاه انجام شد. محلول‌پاشی با متیل جاسمونات (تهیه شده از شرکت سیگما آلدریچ) پس از استقرار کامل گیاهان و دو هفته پس از شروع اعمال تیمارهای سطوح مختلف عنصر روی اعمال شد. تیمارهای محلول‌پاشی هر ۱۰ روز یک بار تا یک هفته پیش از برداشت اعمال شد (۳۱). در طول دوره آزمایش،

گلدان‌ها در گلخانه با دمای ۲۵–۱۸ درجه سلسیوس (روز–شب) و میانگین رطوبت نسبی گلخانه ۷۰–۶۵ درصد نگهداری شدند. EC زه‌آب خروجی گلدان‌ها هفته‌ای دوبار اندازه‌گیری شد و در صورت لزوم آبشویی گلدان‌ها به‌منظور جلوگیری از تجمع نمک با آب مقطر انجام شد.

گیاهان در مرحله گلدهی برداشت شده و ویژگی‌های رشدی آنها بررسی شدند. پارامترهای رشدی شامل ارتفاع گیاه، تعداد شاخه فرعی، طول و عرض برگ، سطح برگ، وزن تازه و خشک برگ، وزن تازه و خشک ریشه با استفاده از روش‌های رایج اندازه‌گیری شدند. برای تعیین وزن خشک برگ و ساقه، نمونه‌ها در آون در دمای ۷۲ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شده و سپس توزین شدند. ارتفاع بوته با خط‌کش و سطح برگ با دستگاه سطح برگ‌سنج (مدل LI-3100c) اندازه‌گیری شد و در هر صفت میانگین چهار بوته محاسبه شده و در هر تکرار ثبت شد. اندازه‌گیری میزان کلروفیل a، b، کارتنوئید و کلروفیل کل با روش درز و همکاران (۱۴) انجام شد. بدین صورت که ۰/۵ گرم از نمونه تازه گیاهی با ۵ میلی‌لیتر متانول عصاره‌گیری شده و سپس به‌منظور اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی عصاره تهیه شده در دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UK Bio Quest C250) ریخته شد و مقدار جذب در طول موج‌های ۶۵۳، ۶۶۶ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شد و میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی محاسبه شدند. برای اندازه‌گیری میزان تولید اسانس، اسانس پیکر رویشی خشک گیاه در هر گلدان به روش تقطیر با آب به وسیله کلونجر به‌مدت ۳ ساعت استخراج شد. داده‌ها پس از نرمال کردن، توسط نرم‌افزار Minitab 17 تجزیه آماری شدند و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون Tukey در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

ویژگی‌های رشدی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهم‌کنش کاربرد عنصر روی و محلول‌پاشی متیل جاسمونات بر ویژگی‌های رشدی نعناع فلفلی شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، عرض و سطح برگ، وزن تازه و خشک برگ، و وزن تازه و خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد و طول برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین برهم‌کنش عنصر روی و متیل جاسمونات نشان داد بیش‌ترین ارتفاع گیاه، تعداد شاخه فرعی و سطح برگ در تیمار ۰/۰۲۵ میلی‌گرم بر لیتر روی و محلول‌پاشی متیل جاسمونات با غلظت ۲ میلی‌مولار حاصل شد، هرچند از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با برخی تیمارهای دیگر نداشتند (جدول ۲). کاربرد روی در کم‌ترین سطح (۰/۰۲۵ میلی‌گرم بر لیتر) و محلول‌پاشی با غلظت ۲ میلی‌مولار متیل جاسمونات ارتفاع گیاه و تعداد شاخه‌فرعی را به‌ترتیب ۲۶/۵ و ۱۱۸/۶ درصد نسبت به شاهد (بدون عنصر روی و محلول‌پاشی با آب مقطر) افزایش داد و همچنین سطح برگ را ۳/۴ برابر افزایش داد (جدول ۲). بیش‌ترین طول و عرض برگ در تیمار ۰/۰۲۵ میلی‌گرم بر لیتر روی و محلول‌پاشی با غلظت ۱ میلی‌مولار متیل جاسمونات مشاهده شد، هر چند که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با برخی از تیمارهای دیگر به ویژه غلظت ۱ میلی‌مولار متیل جاسمونات در این سطح روی نداشت (جدول ۲). کاربرد ۰/۰۲۵ میلی‌گرم بر لیتر روی و محلول‌پاشی با غلظت ۱ میلی‌مولار متیل جاسمونات طول برگ را ۲۷/۱ درصد نسبت به شاهد (بدون عنصر روی و محلول‌پاشی با آب مقطر) افزایش داد (جدول ۲). بیش‌ترین وزن تازه و خشک برگ به‌ترتیب در تیمار ۰/۰۲۵ میلی‌گرم بر لیتر روی و محلول‌پاشی ۱ میلی‌مولار متیل جاسمونات مشاهده شد. وزن تازه و خشک برگ با استفاده از عنصر روی (۰/۰۲۵ میلی‌گرم بر لیتر) و محلول‌پاشی ۱ میلی‌مولار متیل جاسمونات نسبت به شاهد (بدون عنصر روی و محلول‌پاشی با آب مقطر) به‌ترتیب ۴/۱۱ و ۵/۱۶ برابر افزایش یافتند (جدول ۲). بیش‌ترین وزن تازه و خشک ریشه به‌ترتیب در تیمار ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر روی و محلول‌پاشی ۲ میلی‌مولار متیل جاسمونات مشاهده شد. محلول‌پاشی میلی‌مولار متیل جاسمونات در غلظت ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر روی سبب شد وزن تازه و خشک

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف روی (Zn) و محلول‌پاشی متیل جاسمونات بر ویژگی‌های رشدی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و تولید اسانس گیاه نعناع فلفلی.

Table 1. Variance analysis of the effect of different levels of zinc (Zn) and foliar application of methyl jasmonate on growth characteristics, photosynthetic pigments and essential oil production of peppermint.

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares												
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه فرعی Branch number	طول برگ Leaf length	عرض برگ Leaf width	سطح برگ Leaf area	وزن تازه برگ Leaf fresh weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن تازه ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoide	تولید اسانس Essential oil production
بلوک Block	2	44.40^{ns}	52.35**	0.01^{ns}	0.22**	318700*	15.37**	0.35**	36.75**	1.42**	0.23**	0.30^{ns}	0.04**	0.45**	0.014^{ns}
روی (Zn) Zinc	3	214.711**	181.59**	1.66**	0.33**	556643**	162.05**	30.07**	3801.07*	129.28**	89.11**	62.28**	297.35**	2.56**	1.04**
متیل جاسمونات Methyl jasmonate	2	65.85**	30.89**	0.19^{ns}	0.20**	644127**	32.89**	2.82**	2126.19**	146.09**	85.41**	61.41**	287.11**	0.35**	2.52**
روی × متیل جاسمونات Zinc × Methyl jasmonate	9	59.72**	20.72**	0.38*	0.11**	814651**	47.09**	15.97**	1092.70**	111.89**	46.15**	10.03**	59.22**	1.54**	6.42**
خطا Error	30	14.62	2.59	0.15	0.03	80101	2.01	0.04	1.45	0.14	0.04	0.16	0.17	0.05	0.09

ns، * و**به‌ترتیب بیان‌گر اثر غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

ns, * and ** stand for non-significant and significant effects at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش کاربرد عنصر روی (Zn) و محلول‌پاشی متیل جاسمونات بر ویژگی‌های رشدی نعناع فلفلی.

Table 2. Mean comparisons of the interaction effect of zinc element (Zn) application and foliar spyring of methyl jasmonate on growth characteristics of peppermint.

وزن خشک ریشه (گرم در بوته) Leaf dry weight (g/plant)	وز ن تازه ریشه (گرم در بوته) Root fresh weight (g/plant)	وزن خشک برگ (گرم در بوته) Leaf dry weight (g/plant)	وزن تازه برگ (گرم در بوته) Leaf fresh weight (g/plant)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع در بوته) Leaf area (cm²/plant)	عرض برگ (سانتی‌متر) Leaf width (cm)	طول برگ (سانتی‌متر) Leaf length (cm)	تعداد شاخه‌فرعی Branch number	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) Plant height (cm)	متیل جاسمونات (میلی‌مولار) Methyl jasmonate (mM)	روی (میلی‌گرم در لیتر) Zinc (mg/L)
1.32^{j}	12.88^{i}	2.11^{i}	6.75^{f}	808.20^{e}	3.42^{a-c}	5.50^{b}	12.83^{g}	*71.83^{e}	آب مقطر Distilled water	
4.37^{i}	20.43^{h}	2.56^{g-i}	8.21^{ef}	1689.46^{d}	3.42^{a-c}	5.83^{ab}	14.50^{fg}	86.00^{a-d}	اتانول ۱٪ Ethanol 1%	
13.94^{c}	37.22^{f}	2.56^{g-i}	10.47^{d-f}	1768.29^{cd}	3.68^{ab}	6.42^{ab}	14.83^{fg}	74.38^{de}	1	0
4.76^{i}	21.77^{h}	2.97^{fg}	11.55^{de}	1796.43^{b-d}	3.24^{b-d}	6.17^{ab}	16.67^{e-g}	84.58^{a-d}	2	
4.66^{i}	23.17^{gh}	4.72^{c}	14.71^{cd}	2345.52^{a-d}	3.33^{a-d}	6.25^{ab}	22.68^{b-d}	85.77^{a-d}	آب مقطر Distilled water	
10.93^{de}	25.78^{g}	3.00^{fg}	12.91^{cd}	2610.57^{a-e}	3.42^{a-c}	6.50^{ab}	25.38^{a-c}	83.52^{a-d}		
6.74^{h}	38.31^{f}	10.89^{a}	27.79^{a}	2654.31^{ab}	3.88^{a}	6.99^{a}	25.75^{ab}	87.86^{ab}	1	0.025
12.11^{d}	51.62^{c}	3.72^{dc}	16.49^{bc}	2710.44^{a}	3.85^{a}	6.97^{a}	28.04^{a}	90.83^{a}	2	
7.97^{g}	52.75^{e}	4.15^{cd}	14.67^{cd}	1917.99$^{a\ d}$	3.33$^{a\ d}$	6.25^{ab}	19.33$^{d\ f}$	78.17$^{b\ e}$	آب مقطر Distilled water	
5.00^{i}	58.48^{d}	6.57^{b}	12.58^{cd}	2412.17^{a-d}	3.08^{cd}	6.25^{ab}	17.97^{d-f}	82.75^{a-e}	اتانول ۱٪ Ethanol 1%	
10.82^{ef}	83.81^{b}	^{fg} 2.97	^{cd} 14.55	2494.87^{a-d}	3.25^{b-d}	6.08^{ab}	20.67^{c-e}	86.5^{a-c}	1	0.05
24.84^{a}	105.79^{a}	6.75^{b}	19.15^{b}	1938.95$^{a\ d}$	3.17$^{b\ d}$	5.75^{b}	17.50$^{e\ g}$	78.00^{b}-^{e}	2	
10.32^{f}	51.45^{e}	3.26^{ef}	12.72^{cd}	1846.79^{b}_^{d}	2.33^{d}	5.58^{b}	18.00^{d-f}	77.00^{b-e}	آب مقطر Distilled water	
22.59^{b}	55.12^{e}	2.84$^{f\ h}$	13.92^{cd}	2421.61$^{a\ d}$	3.17$^{b\ d}$	5.67^{b}	20.44^{de}	77.52$^{b\ e}$	اتانول ۱٪ Ethanol 1%	0.1
7.88^{gh}	55.02^{de}	2.55^{g-i}	13.95^{cd}	2009.73^{a-d}	3.08^{cd}	5.92^{ab}	22.50^{b-d}	77.62^{b-e}	1	
11.89^{de}	67.11^{c}	2.31^{hi}	12.39^{c-e}	1742.23^{d}	3.17^{b-d}	5.75^{b}	20.38^{de}	74.92^{c-e}	2	

حروف مشابه در هر ستون به مفهوم عدم وجود تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون Tukey است.

In each column, means with similar letters are not significantly different (Tukey, $p < 0.05$).

ریشه نسبت به شاهد (بدون عنصر روی و محلول‌پاشی با آب مقطر) به‌ترتیب ۸/۲۱ و ۱۸/۸۲ برابر افزایش یابد (جدول ۲). کم‌ترین ارتفاع گیاه، تعداد شاخه فرعی، طول و سطح برگ، وزن تازه و خشک برگ، وزن تازه و خشک ریشه مربوط به شاهد (بدون عنصر روی و محلول‌پاشی با آب مقطر) بود، هرچند در مورد برخی صفات بین این تیمار با برخی از تیمارهای دیگر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲). کم ترین عرض برگ در تیمار بیش‌ترین سطح روی (۱ میلی‌گرم بر لیتر) و محلول‌پاشی با آب مقطر مشاهده شد هر چند که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با برخی از تیمارهای دیگر نداشت (جدول ۲).

نتایج پژوهش‌های مختلف نشان داد عنصر روی در غلظت-های کم سبب تحریک رشد در گیاهان نعناع سبز[1] (۵۲)، آنیسون (۳۶)، ریحان (۷) و گیاهان بامیه[2] و گوآر[3] (۳۰) شد. ارتباط میان افزایش در شاخص‌های رشد گیاه با میزان عنصر روی را از یک سو می‌توان به نقش این عنصر در بیوسنتز اکسین به‌عنوان یک هورمون محرک رشد در گیاه نسبت داد. روی به-عنوان کوفاکتور بسیاری از آنزیم‌ها در بیوسنتز اسید آمینه تریپتوفان به ایندول استیک اسید نقش دارد (۱۹). اکسین محرک طویل شدن ساقه و کولئوپتیل است. براساس نظریه رشد اسیدی، این هورمون از طریق انتقال پروتئین‌ها به دیواره، کاهش pH در غشای سلول‌ها و تغییر در کلسیم سیتوزولی سبب افزایش انعطاف‌پذیری دیواره سلول‌ها و تحریک رشد می‌شود (۲۳). از طرفی اکسین ممکن است ساختن و رسوب مواد پلی-ساکاریدی و پروتئینی مورد نیاز برای ظرفیت نرم‌شوندگی دیواره را افزایش دهد. بنابراین افزایش روی در حد مناسب سبب افزایش اکسین در گیاه و در نتیجه تحریک رشد گیاه می-شود. علاوه بر این روی در غلظت‌های کم از طریق فعال‌سازی آنزیم‌های مربوط به فرآیند تکثیر و طویل شدگی سلول‌ها می-تواند سبب تحریک رشد در گیاه شود (۳۹). روی همچنین از طریق دخالت در متابولیسم نیتروژن، نشاسته و چربی‌ها در گیاه و تأمین بیشتر نیتروژن به‌عنوان یک عنصر ضروری برای رشد و نمو گیاهان، فرایند رشد را در آن ها تسریع می‌بخشد (۲۶). بررسی تأثیر عنصر روی بر رشد گیاهان لوبیا (۴۳)، بامیه و گوآر (۳۰) نشان داد عنصر روی در غلظت‌های کم به‌صورت ماده غذایی عمل کرده و رشد را تحریک می‌کند؛ ولی در غلظت‌های بیش‌تر ویژگی‌های رشدی را کاهش می‌دهد (۳۰). کاهش رشد بخش‌های مختلف گیاه در غلظت‌های زیاد ناشی از سمّی بودن روی در گیاهان مختلف گزارش شده است (۷، ۳۰، ۵۰ و ۵۲) که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

در این آزمایش حذف عنصر روی در بیش‌ترین غلظت آن سبب کاهش ویژگی‌های رشدی گیاه نسبت به سایر تیمارها (۰/۲۵ و ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر) شد. این کاهش رشد در نتیجه غلظت‌های زیاد روی ممکن است از تأثیر روی اضافی بر فتوسنتز و همچنین تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن ناشی شود (۸). در گیاه ریحان کاهش رشد در بسیاری از شاخص‌ها در مقایسه با شاهد بسیار کم‌تر گزارش شده است که نشان‌دهنده مقاومت بسیار زیاد گیاه در برابر تنش ناشی از عنصر روی است (۷) که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد و نشان‌دهنده مقاومت زیاد نعناع فلفلی به غلظت‌های زیاد روی است. استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به گیاه کمک می‌کنند تا بر عوامل بازدارنده رشدی غلبه کنند (۱۶). نتایج پژوهشی روی گیاه سرخارگل نشان داد که تیمار متیل جاسمونات توانست سبب افزایش ارتفاع گیاه، سطح برگ و وزن خشک بوته نسبت به شاهد شود (۱۴) که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. همچنین افزایش وزن خشک اندام هوایی در بابونه آلمانی و سویا تیمار شده با متیل جاسمونات گزارش شده است (۲۵ و ۴۳). در بررسی اثر متیل جاسمونات در گیاه کنگرفرنگی[4] گزارش شد که متیل جاسمونات به‌طور قابل توجهی ارتفاع گیاه، سطح برگ، وزن و طول برگ تازه، وزن تازه و خشک سیستم ریشه‌ای را افزایش داد (۱۳) که با نتایج پژوهش حاضر

1. *Mentha spicata*
2. *Abelmoschus esculentus*
3. *Cyamopsis tetragonolobus*
4. *Cynara scolymus*

هم‌خوانی دارد. چنین به نظر می‌رسد که متیل جاسمونات بر مریستم انتهایی اثر گذاشته و سبب افزایش ارتفاع گیاه می‌شود. متیل جاسمونات از طریق مشارکت در تقسیم سلولی در بافت‌های در حال رشد و فعال شده و این امر منجر به افزایش تعداد سلول‌ها شده و به این صورت موجب افزایش ارتفاع، طول گیاه، وزن تازه و خشک اندام گیاهی می‌شود (۱۳). متیل جاسمونات با توجه به غلظت کاربردی، گونه گیاهی و مرحله رشد، آثار متفاوتی بر رشد و نمو گیاهان دارد. گزارش شده است که محلول‌پاشی برگی با متیل جاسمونات در غلظت‌های کم دارای اثر تحریک‌کنندگی در رشد گیاهان بوده و به‌طور قابل توجهی رشد گیاه را افزایش می‌دهند و در غلظت‌های زیاد تنش‌زا بوده و سبب کاهش صفات مذکور می‌شوند (۴۳ و ۴۵) که تاحدودی با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد. این نتایج بیان می‌کند که فیتوهورمون‌ها از جمله متیل جاسمونات در غلظت‌های مختلف دارای آثار متفاوتی هستند. به‌نظر می‌رسد متیل جاسمونات در غلظت‌های کم‌تر دارای اثر تحریک‌کنندگی در رشد گیاه است. در استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، عواملی مانند مقدار، نوع ترکیب، زمان کاربرد، نوع گیاه و مرحله فنولوژیک در نوع پاسخی که گیاه بروز می‌دهد تأثیرگذار است (۴۵). متیل جاسمونات با افزایش رشد وزنی ریشه و توسعه آن، گیاه را در جذب آب بیش‌تر کمک می‌کند (۴۴). به‌نظر می‌رسد که جاسمونات‌ها با تسریع رشد ریشه در جذب آب موجب افزایش شاخص‌های رشدی گیاه مانند سطح برگ و وزن تازه و خشک گیاه می‌شود (۲۹).

رنگیزه‌های فتوسنتزی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر برهم‌کنش عنصر روی و متیل جاسمونات بر رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). براساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیش‌ترین میزان کلروفیل a و کلروفیل کل در تیمار ۰/۰۲۵ میلی‌گرم بر لیتر روی و محلول‌پاشی با غلظت ۲ میلی‌مولار متیل جاسمونات مشاهده شد که نسبت به شاهد (بدون روی و محلول‌پاشی با آب مقطر) به‌ترتیب ۲۴/۵۵ و ۱۶/۲۵ برابر افزایش نشان دادند. ولی در مورد میزان کلروفیل کل از نظر آماری بین غلظت‌های ۰/۰۲۵ و ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر روی و محلول‌پاشی با غلظت ۲ میلی‌مولار متیل جاسمونات تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). بیش‌ترین میزان کلروفیل b در غلظت ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر روی و محلول‌پاشی با غلظت ۲ میلی‌مولار متیل جاسمونات مشاهده شد، هر چند از نظر آماری با غلظت ۰/۰۲۵ میلی‌گرم بر لیتر روی و محلول‌پاشی با غلظت ۲ میلی‌مولار متیل جاسمونات تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). کلروفیل b به مقدار ۱۷/۰۵ برابر نسبت به شاهد (بدون روی و محلول‌پاشی با آب مقطر) افزایش یافت. کم ترین میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در شاهد (بدون روی و محلول‌پاشی با آب مقطر) مشاهده شد (جدول ۳). بیش‌ترین میزان کاروتنوئید در شاهد (بدون روی و محلول‌پاشی با آب مقطر) مشاهده شد و کم‌ترین میزان آن در غلظت ۰/۰۲۵ میلی‌گرم بر لیتر روی و محلول‌پاشی با غلظت ۲ میلی‌مولار متیل جاسمونات حاصل شد، هر چند از نظر آماری با برخی از تیمارهای دیگر تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). کاربرد سطوح ۰/۰۲۵ و ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر روی در مقایسه با تیمار بدون روی سبب افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی شد، ولی در سطح ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر موجب کاهش این رنگیزه‌ها شد که این کاهش به‌ویژه نسبت به تیمار ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر روی معنی‌دار بود (جدول ۳).

در گیاهان میزان رنگیزه‌ها یکی از مشخصه‌های هر گونه است. یافته‌های پژوهش‌های پیشین نشان دادند که در گیاهان نعناع سبز (۵۲)، آنیسون (۳۶) و ریحان (۷) تیمار شده با غلظت‌های مختلف روی، میزان بیش‌تری از کلروفیل‌ها در مقایسه با تیمار بدون روی حاصل شد که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد. این افزایش می‌تواند حاکی از نقش کارکردی این عنصر در فعال‌سازی پروتئین سنتتازهای مسیر بیوسنتز کلروفیل و نیز برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند پراکسیداز

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش کاربرد روی (Zn) و محلول‌پاشی متیل جاسمونات بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و تولید اسانس نعناع فلفلی.

Table 3. Mean comparisons of interaction effect of zinc (Zn) application and foliar spyring of methyl jasmonate on photosynthetic pigments and essential oil production of peppermint.

روی (میلی‌گرم در لیتر) Zinc (mg/L)	متیل جاسمونات (میلی‌مولار) Methyl jasmonate (mM)	کلروفیل a (میلی‌گرم در گرم وزن تازه) Chlorophyll b (mg/g FW)	کلروفیل b (میلی‌گرم در گرم وزن تازه) Chlorophyll b (mg/g FW)	کلروفیل کل (میلی‌گرم در گرم وزن تازه) Total chlorophyll (mg/g FW)	کاروتنوئید (میلی‌گرم در گرم وزن تازه) Carotenoide (mg/g FW)	تولید اسانس (گرم در گلدان) Essential oil production (g/pot)
0	آب مقطر (Distilled water)	*0.53^{h}	0.58^{f}	1.34^{g}	2.73^{a}	4.18^{fg}
	اتانول ۱٪ (Ethanol 1%)	0.57^{h}	0.80^{f}	2.04^{fg}	1.99^{b}	4.53^{e-g}
	1	1.74^{g}	1.26^{f}	2.35^{fg}	1.88^{b}	7.39^{ab}
	2	0.91^{h}	1.43^{f}	2.86^{f}	1.88^{b}	3.80^{g}
0.025	آب مقطر (Distilled water)	1.10^{h}	1.68^{f}	2.05^{fg}	0.56^{c}	4.16^{fg}
	اتانول ۱٪ (Ethanol 1%)	2.06^{g}	1.12^{f}	2.25^{fg}	0.51^{c}	4.27^{fg}
	1	6.90^{d}	1.62^{f}	4.78^{e}	0.51^{c}	6.55^{bc}
	2	13.01^{a}	8.77^{ab}	21.78^{a}	0.41^{c}	4.54^{e-g}
0.05	آب مقطر (Distilled water)	2.15^{g}	3.17^{e}	5.32^{e}	0.71^{c}	4.37^{fg}
	اتانول ۱٪ (Ethanol 1%)	3.16^{f}	5.66^{d}	12.57^{c}	0.65^{c}	5.07^{d-f}
	1	8.23^{c}	7.59^{bc}	15.82^{b}	0.66^{c}	5.35^{de}
	2	11.79^{b}	9.89^{a}	21.67^{a}	0.60^{c}	3.99^{g}
0.1	آب مقطر (Distilled water)	0.78^{h}	0.94^{f}	2.71^{f}	0.44^{c}	3.70^{g}
	اتانول ۱٪ (Ethanol 1%)	0.86^{h}	1.19^{f}	2.71^{f}	0.59^{c}	4.46^{e-g}
	1	3.87^{e}	1.61^{f}	2.64^{f}	0.97^{c}	7.60^{a}
	2	6.87^{b}	6.81^{cd}	10.69^{d}	1.02^{bc}	5.79^{cd}

*: حروف مشابه در هر ستون به مفهوم عدم وجود تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون Tukey است.

In each column, means with similar letters are not significantly different (Tukey, $P<0.05$).

در مسیر حفاظت از تخریب کلروفیل توسط رادیکال‌های فعال اکسیژن باشد (۱۹). برخی پژوهش‌ها نیز چنین پیشنهاد کرده‌اند که روی در راه اندازی برخی آنزیم‌های مسیر بیوسنتز کلروفیل نقش اساسی دارد (۱۹).

میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی بازتابی از حساسیت گیاه به شرایط تنشی مانند فلزات سنگین است (۱۰). تجمع کلروفیل در گیاهانی که با روی تیمار شدند به تحمل آن گیاهان نسبت به اثر سمّیت روی بستگی دارد. افزایش میزان کلروفیل‌ها سازوکاری دفاعی در برابر سمّیت ناشی از این عنصر تلقی می‌شود. بنابراین متابولیسم اولیه بر اثر سمّی بودن روی دستخوش تغییر نمی‌شود بلکه احتمالاً سمّی بودن این عنصر با سازوکارهای منتج به تجمع کلات‌های فلزی در واکوئل برطرف می‌شود (۱۰). علاوه بر این کلروفیل b بیان یک سری از پروتئین‌های ویژه غشای تیلاکوئیدی را تنظیم می‌کند و بدین ترتیب افزایش اندازه کمپلکس‌های آنتنی و در نتیجه افزایش میزان انتقال الکترون را سبب می‌شود (۹). علاوه بر این، بررسی تغییرات محتوای

کلروفیل a، b و کل برگ نعناع فلفلی نشان داد کـه میـزان آن‌هـا در غلظت کم روی افـزایش یافـت و در غلظـت‌هـای بـیش‌تـر کاهش نشان داد که با نتایج پژوهش حاضر و سایر پژوهشـگران هم‌خوانی دارد. کاهش میـزان کلروفیـل در گونـه‌هـای مختلـف گیاهی در معرض تنش فلزات سنگین مشاهده شده اسـت (۱، ۷ و ۵۲). این کاهش به‌علت تداخل یـون‌هـای فلـزات سـنگین بـا بیوسنتز کلروفیل یا جانشینی آن ها بـا یـون منیـزیم یـا ممانعـت مستقیم مراحل آنزیمی دخیل در بیوسنتز کلروفیل رخ مـی‌دهـد (۱۲ و ۳۷). همچنین در این آزمایش میزان کلروفیل‌هـای نعنـاع فلفلی با افزودن روی در تمام غلظت‌ها در مقایسه با تیمار بدون روی به‌طور معنی‌داری افزایش یافـت؛ ولـی میـزان کاروتنوئیـد کاهش یافت. کاهش تجمع کاروتنوئیدها در پاسخ به غلظت‌های زیاد روی در گذشته گزارش شده است (۳۰). در ایـن پـژوهش حذف روی سبب افزایش میـزان کاروتنوئیـد شـد. همچنـین در بیش‌ترین غلظت روی نیز میزان کاروتنوئیدها افزایش یافت کـه با گزارش پیشین در مورد سبزیجات هم‌خوانی دارد (۳۰). تـأثیر غلظت‌های مختلف روی بر میـزان کاروتنوئیـدهای کـل نشـان-دهنده محافظت سلول‌ها در برابر تغییرات اکسیداتیو است (۱۰). کاروتنوئیدها از جمله ترکیبات آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی هسـتند که می‌توانند در کاهش غلظت یون سوپراکسـید نقـش داشـته و تشکیل رادیکـال‌هـای هیدروکسـید را نیـز کـاهش دهنـد (۱۸). علاوه بر این کاروتنوئیدها در بسیاری از مراحل فتوسنتز دخیـل هستند. این رنگیزه‌ها علاوه بر کارکردشان به‌صورت رنگیزه‌های کمکی در جذب نور، کارکرد آنتی‌اکسیدانی نیز دارند و بـا مهـار کردن کلروفیل برانگیخته از تشکیل رادیکال‌های آزاد اکسـیژن و پراکسیداسیون لیپیدها در شرایط تنش جلوگیری نموده و به این ترتیب ساختارهای فتوسنتزی در برابر آسیب‌هـای اکسیداسـیون نوری محافظت می‌کنند (۱۸).

در مـورد نقـش متیـل جاسـمونات بـر مقـدار رنگیـزه‌هـای فتوسنتزی نتایج متفاوتی توسط پژوهشگران گزارش شده اسـت. بر اساس نتایج پژوهش‌های پیشـین، کـاربرد متیـل جاسـمونات سـبب افـزایش رنگیـزه‌هـای فتوسـنتزی در سـرخارگل (۱۳)، عدسک آبی[1] (۳۵) و مرزنجوش (۱۷) شد. پژوهشـگران نشـان دادند که در گیاه لاله[2] استفاده از متیل جاسمونات سنتز کلروفیل a و b را تحریک کرده و متیل جاسـمونات در بیـان تعـدادی از ژن‌های آنزیم‌های کلیدی در بیوسنتز کلروفیل، از طریق تشـکیل آمینولوولینیک اسید دخالت دارند. همچنین متیل جاسمونات بـا فعال کردن آنزیم روبیسکوکربوکسیلاز سبب افزایش فتوسـنتز و محتوای کلروفیل بـرگ مـی‌شـود (۴۹). احتمـال مـی‌رود متیـل جاسمونات به‌عنوان یـک محـرک غیرزیسـتی موجـب تحریـک سنتز و فعـال کـردن یکسـری از آنـزیم‌هـای آنتـی‌اکسـیدان در کلروپلاست می‌شود که مانع از تخریب کلروفیل شـده و از ایـن طریق از کاهش فتوسنتز جلـوگیری مـی‌کنـد و بـه ایـن ترتیـب موجب بهبود رشد و فعالیت گیاه می‌شود. همچنین این امر می-تواند از تخریـب رنگیـزه‌هـای گیـاهی در اثـر تـنش اکسـیداتیو جلوگیری کند (۵۴).

تولید اسانس

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر برهم‌کنش عنصر روی و متیل جاسمونات بر میزان تولید اسانس نعناع فلفلی در سـطح احتمال یک درصد معنـی‌دار شـد (جـدول ۱). براسـاس نتـایج مقایسه میانگین، بیش‌ترین میـزان تولیـد اسـانس (۷/۶ گـرم در گلدان) در تیمار ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتـر روی و محلـول‌پاشـی بـا غلظت ۱ میلی‌مولار متیل جاسمونات حاصل شد که نسـبت بـه شاهد (بدون روی و محلول‌پاشـی بـا آب مقطـر) ۸۱/۸ درصـد افزایش نشان داد، هر چند از نظر آماری این تیمار با تیمار بدون عنصر روی و محلـول‌پاشـی ۲ میلـی‌مـولار تفـاوت معنـی‌داری نداشت (جدول ۳). کاربرد سطوح ۰/۰۲۵ و ۰/۰۵ میلی‌گـرم بـر لیتر روی در مقایسه با تیمار بـدون روی سـبب افـزایش میـزان تولید اسانس شد، ولی در سطح ۰/۱ میلی‌گـرم بـر لیتـر کـاهش نشان داد، هر چند از نظر آماری تفاوت معنی‌داری بـین سـطوح مختلف روی وجود نداشت (جدول ۳). محلول‌پاشی با غلظـت ۱ میلی‌مولار متیل جاسمونات سبب افزایش میزان تولید اسـانس

1. *Wolffia arrhiza*
2. *Tulipa gesneriana*

در مقایسه با محلول‌پاشی با آب مقطر شد؛ ولی غلظت ۲ میلی‌مولار آن سبب کاهش میزان تولید اسانس نسبت به ۱ میلی‌مولار متیل جاسمونات شد (جدول ۳). میزان اسانس در گیاهان معطر تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند عمر گیاه، ژنتیک گیاه، عمر برگ، تغذیه و زمان برداشت قرار می‌گیرد (۳۸). در پژوهش‌های گوناگون نتایج متفاوتی از تأثیر روی بر میزان اسانس گیاهان معطر گزارش شده است. نتایج پژوهش‌های پیشین نشان داد که کاربرد کود حاوی روی سبب افزایش معنی‌دار اسانس ریحان (۲۰)، نعناع فلفلی (۲ و ۵۳) و بادرنجبویه [1] (۲۱) شد که با نتایج پژوهش حاضر همسو هستند. از سوی دیگر، نتایج این آزمایش نشان داد که میزان تولید اسانس به‌طور مستقیم با صفات رشدی مورد بررسی مرتبط نیست که با نتایج پژوهش‌های پیشین در مورد ریحان (۲۰)، گشنیز [2] (۴۲) و مریم‌گلی [3] (۳۳) هم‌خوانی داشت. روی در سنتز تریپتوفان که پیش ماده اکسین است دخالت دارد و تأمین این عنصر غذایی می‌تواند موجب توازن عناصر غذایی در گیاه و در نهایت افزایش عملکرد کمّی و کیفی محصول شود (۲۴). همچنین عنصر روی در فتوسنتز و متابولیسم ساکاریدها نقش دارد و از آنجا که CO_2 و گلوکز از منابع احتمالی کربن مورد استفاده در بیوسنتز ترپن‌ها هستند، بنابراین نقش روی در ساخت و تجمع اسانس بسیار مهم و مؤثر است و از این طریق سبب افزایش میزان اسانس می‌شود. بنابراین به‌نظر می‌رسد با توجه به اثر عنصر روی در رشد و نمو گیاه، یکی از دلایل افزایش میزان اسانس افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه و نقش این عنصر در فعالیت ساختمان کلروپلاست است که این افزایش می‌تواند منجر به تولید بیش تر غدد ترشح‌کننده اسانس در برگ شود (۲۱). علاوه‌براین، یکی از جنبه‌های افزایش مواد مؤثره گیاهان دارویی کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد است. مشابه یافته‌های این پژوهش، پژوهش پیشین در مورد آویشن دنایی نشان داد که کاربرد اسید جاسمونیک بر میزان اسانس آن اثرگذار بود و غلظت‌های مختلف آن میزان اسانس را افزایش یا کاهش داد (۵).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی اثر کاربرد سطوح مختلف روی و متیل جاسمونات بر ویژگی‌های رشدی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و تولید اسانس گیاه نعناع فلفلی پرداخته شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع گیاه، تعداد شاخه فرعی و سطح برگ، کلروفیل a و کلروفیل کل در غلظت ۰/۰۲۵ میلی‌گرم بر لیتر روی و محلول‌پاشی با غلظت ۲ میلی‌مولار متیل جاسمونات، بیش‌ترین طول و عرض برگ، وزن تازه و خشک برگ در تیمار ۰/۰۲۵ میلی‌گرم بر لیتر روی و محلول‌پاشی با غلظت ۱ میلی‌مولار متیل جاسمونات، بیش‌ترین وزن تازه و خشک ریشه و کلروفیل b در تیمار ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر روی و ۲ میلی‌مولار متیل جاسمونات مشاهده شدند. با توجه به نتایج به دست آمده، عنصر روی در غلظت‌های کم به صورت ماده غذایی عمل کرده و رشد نعناع فلفلی را تحریک کرد؛ ولی در غلظت‌های بیش‌تر به‌صورت معکوس عمل کرده و ویژگی‌های رشدی را کاهش داد. همچنین محلول‌پاشی برگی با متیل جاسمونات در غلظت‌های کم در سطوح بیش‌تر روی (Zn) دارای اثر تحریک‌کنندگی در رشد گیاهان بوده و ویژگی‌های رشدی گیاه را افزایش داد. به‌نظر می‌رسد هنگامی که غلظت روی افزایش می‌یابد، با کاربرد غلظت زیاد متیل جاسمونات آثار ممانعت‌کننده این هورمون نیز بروز می‌کند. بنابراین پیشنهاد می‌شود به‌منظور افزایش رشد رویشی و رنگیزه‌های فتوسنتزی نعناع فلفلی می‌توان از سطوح با غلظت کم روی (۰/۰۲۵ میلی‌گرم در لیتر) همراه با محلول‌پاشی با غلظت زیاد متیل جاسمونات (۲ میلی‌مولار) و از سطوح بالاتر روی (۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر) همراه با غلظت کم متیل جاسمونات (۱ میلی‌مولار) استفاده کرد. همچنین بیش‌ترین سطح روی (۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر) و محلول‌پاشی با غلظت کم متیل جاسمونات (۱ میلی‌مولار) و حذف عنصر روی و محلول‌پاشی ۲ میلی‌مولار متیل جاسمونات سبب افزایش میزان تولید اسانس نعناع فلفلی شد. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده نقش مهم

1. *Melissa officinalis*
2. *Coriandrum sativum*
3. *Salvia farinacea*

روی و متیل جاسمونات در افزایش رشد و بهبود کیفیت گیاه با افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی و میزان تولید اسانس است. با توجه به اهمیت نعناع فلفلی در صنایع مختلف غذایی، دارویی و آرایشی-بهداشتی استفاده از روش‌های مختلف به‌منظور افزایش رشد گیاه و کیفیت محصول مانند بهبود رنگیزه‌های فتوسنتزی و میزان تولید اسانس، انتخاب غلظت مناسب روی و محلول‌پاشی با متیل جاسمونات پیشنهاد می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Aggarwal, A., Sharma, I., Tripathi, B.N., Munjal, A.K., Baunthiyal, M., Sharma, V., 2012. Metal toxicity and photosynthesis. In: Itoh, S., Mohanty, P. and Guruprasad, K.N. (Eds.), Photosynthesis: Overviews on Recent Progress and Future Perspectives. IK International Publishing House (Pvt) Limited, New Delhi, pp. 229–236.
2. Akhtar, N., Sarker, M.A.M., Akhter, H., Nada, M.K., 2009. Effect of planting time and micronutrient as zinc chloride on the growth, yield and oil content of *Mentha piperita*. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research* 44: 125–130.
3. Ali, S., Khan, A.R., Mairaj, G., Arif, M., Fida, M., Bibi, S., 2008. Assessment of different crop nutrient management practices for yield improvement. *Australian Journal of Crop Science* 2: 150–157.
4. Alvarenga, I.C.A., Boldrin, P.F., Pacheco, F.V., Silva, S.T., Bertolucci, S.K.V., Pinto, J.E.B.P., 2015. Effects on growth, essential oil content and composition of the volatile fraction of *Achillea millefolium* L. cultivated in hydroponic systems deficient in macro-and microelements. *Scientia Horticulturae* 197: 329–338.
5. Ashrafi, M., Ghasemi Pirbalouti, A., Rahimmalek, M., Hamedi, B., 2012. Effect of foliar application of jasmonic acid (ja) on essential oil yield and its compositions of *Thymus daenensis* celak. *Journal of Herbal Drugs* 3(2): 75–80.
6. Ataei, N., Moradi, H., Akbarpour, V., 2013. Growth parameters and photosynthetic pigments of marigold under stress induced by jasmonic acid. *Notulae Scientia Biologicae* 5: 513–517.
7. Azizian Sharma, O., Ain Ali, A.R., Valizadeh, J., 2018. Physiological and biochemical responses of basil (*Ocimum basilicum*) due to different concentrations of zinc. *Plant Biology* 10(36): 35–56.
8. Bert, V., MacNair, M.R., De Laguerie, P., Saumitou-laprade, P., Petit, D., 2000. Zinc tolerance and accumulation in metallicolous and nonmetallicolous populations of *Arabidopsis halleri* (Brassicaceae). *New Phytologist* 146: 225–233.
9. Biswal, A.K., Pattanayak, G.K., Leelavathi, S., Reddy, V.S., Tripathy, B.C., 2013. Modulation of chlorophyll b biosynthesis and photosynthesis by overexpression of chlorophyllide an oxygenase (CAO) in Tobacco. *Plant Physiology* 159(1): 433–449.
10. Borowiak, K., Gasecka, M., Mleczek, M., Dabrowski, J., Chadzinikolau, T., Magdziak, Z., Golinski, P., Rutkowski, P., Kozubik, T., 2015. Photosynthetic activity in relation to chlorophylls, carbohydrates, phenolics and growth of a hybrid *Salix purpurea* × *triandra* × *viminalis* 2 at various Zn concentrations. *Acta Physiologiae Plantarum* 37: 155.
11. Cenkci, S., Cigerci, I.H., Yildiz, M., Ozay, C., Bozdag, A., Terzi, H., 2010. Lead contamination reduces chlorophyll biosynthesis and genome template stability in *Brassica rapa* L. *Environmental and Experimental Botany* 67: 467–473.
12. Closas, L.M., Toro, F.J., Calvo. G., Pelacho, A.M., 1999. Effect of methyl jasmonate on the first developmental stages of globe artichoke. *Acta Horticulturae* 660: 185–190.
13. Dastyari, Y., Alaaii, M., Khairi, A., 2020. The effect of salicylic acid and methyl jasmonate on morphological characteristics, antioxidant enzyme activity and percentage of *Echinacea purpurea* L. in Zanjan climatic conditions. *Iranian Journal of Horticultural Sciences* 50(1): 91–103.
14. Deres, S., Gunes, T., Sivaci, R., 1998. Spectrophotometric determination of chlorophyll a, b and total carotenoid content of some algae species using different solvents. *Turkish Journal of Botany* 22: 13–17.
15. El-Fouly, M.M., Mobarak, Z.M., Salama, Z.A., 2011. Micronutrients (Fe, Mn, Zn) foliar spray for increasing salinity tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *African Journal of Plant Science* 5: 314–322.
16. Emongor, V., 2007. Gibberellic acid (GAs) influence on vegetative growth, nodulation and yield. *Journal of Agronomy* 6: 509–517.
17. Farsi, M., Abdollahi, F., Salehi, A., Ghasemi, Sh., 2021**.** The effect of methyl jasmonate on the growth and amount of marjoram essential oil (*Origanum majorana* L.) under drought stress conditions. *Journal of Plant Research* 33(3): 674–688.
18. Ghasemi Pirbalouti, A., Rahimmalek, M., Hamedi, B., 2012. Effect of foliar application of jasmonic acid (JA) on essential oil yield and its compositions of *Thymus daenensis* Celak. *Journal of Herbal Drugs (An International Journal on Medicinal Herbs)* 3: 75–80.
19. Ghorbanli, M., Babalar, M. 2003. Mineral Nutrition of Plants. Tarbiat Moalem, Tehran University Press.
20. Hanif, M.A., Nawaz, H., Ayub, M.A., Tabassum, N., Kanwal, N., Rashid, N., Saleem, M., Ahmad, M., 2017.

Evaluation of the effects of Zinc on the chemical composition and biological activity of basil essential oil by using Raman spectroscopy. *Industrial Crops and Products* 96: 91–101.
21. Hassani Moghadam, E., Dolatsha, M., Shaaban, M., Yarahmadi, R., 2020. Effect of spraying iron and zinc sulfate fertilizer on essential oil component of medicinal plant, lemon balm (*Melisa officinalis* L.). *Journal of Plant Ecophysiology* 12: 116–130.
22. Hoagland, D.R., Arnon, D.I., 1950. The Water-Culture Method for Growing Plants without Soil. College of Agriculture, University of California, Berkeley, CA, USA.
23. Kafi, M., Kamkar, B., Mahdavi Damghani, A.M., Jami Al-Ahmadi, M., 2020. Plant Physiology and Development. Second ed., Jihad Daneshgahi Ferdowsi University of Mashhad.
24. Karami-chameh, S., Behamin, S., Fathi A.A., 2013. Evaluation of iron foliar application, reduction of salinity on crop damage. National Conference on Sustainable Agriculture Development and Healthy Environment.
25. Keramat, B., Daneshmand, F., 2012. Dual role of methyl jasmonate on physiological yields in soybean (*Glycine max* L.). *Journal of Plant Process and Plant Function* 1(1): 37–26.
26. Khan, M.U., Qasim, M., Jamil, M., 2002. Effect of different levels of zinc on the extractable zinc content of soil and chemical composition of rice. *Asian Journal of Plant Science* 1: 20–21
27. Malakouti, M.J., BaniGheibi, M., 2000**.** Determining the critical limit of effective nutrients in soil, plants and fruits in order to increase quantitative and qualitative yield. Second ed., Agricultural Education Publisher, Karaj.
28. Malakouti, M.J., Keshavarz, P., Karimian, N.A., 2005. Comprehensive Method of Optimal Fertilizer Detection and Recommendation for Sustainable Agriculture. Tarbiat Modares University Press.
29. Mandhanis, S., Madan, S., Whney, V., 2006. Antioxidant defense mechanism under salt stress in wheat seedling. *Journal of Biological Plantarum* 52: 22–27.
30. Mangal, M., Agarwal, M., Bhargava, D., 2013. Effect of cadmium and zinc on growth and biochemical parameters of selected vegetables. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 2: 106–114.
31. Mirzajani, Z., Hadavi, E., Kashi, A. 2015. Changes in the essential oil content and selected traits of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) as induced by foliar sprays of citric acid and salicylic acid. *Industrial Crops and Products* 76: 269–274.
32. Mukhopadhyay, M.S., Das, A., Subba, P., Bantawa, P., Sarkar, B., Ghosh, P., Mondal, T.K., 2013. Structural, physiological, and biochemical profiling of tea plants under zinc stress. *Biologia Plantarum* 57: 474–480.
33. Nahed, G., Balbaa, L., 2007. Influence of tyrosine and zinc on growth flowering and chemical constituents of *Salvia Farinacea* plants. *Journal of Applied Sciences Research* 3(11): 1479–1489.
34. Omidbeigi, R., 1995. Production and Processing of Medicinal Plants (Volume 1 and 2). Forth ed., Astan Quds Razavi Publication, Mashhad.
35. Piotrowska, A., Bajguz, A., Godlewska Zylkiewicz, B., Czerpak, R., 2009. Jasmonic acid modulator of lead toxicity in aquatic plant *Wolffia arrhizal* (Lemnaceae). *Environmental and Experimental Botany* 66: 507–513.
36. Pirzad, A., Tusi, P.I., Darvishzadeh, R., 2013. The effect of foliar application of iron and zinc on plant traits and anise essential oil. *Iranian Journal of Field Crop Science* 15(57): 12–23.
37. Pourraut, B., Shahid, M., Dumat, C., Winterton, P., Pinelli, E., 2011. Lead uptake, toxicity and detoxification in plants. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 213: 113–136.
38. Rouphael, Y.M. , Cardarelli, Rea, E., Colla, G., 2008. The influence of irrigation system and nutrient solution concentration on potted geranium production under various conditions of radiation and temperature. *Scientia Horticulturae* 118: 328–337.
39. Rion, B., Alloway, J., 2004. Fundamental aspects of Zinc in soils and plants. *International Zinc Association Annual Report* 1–128.
40. Rita, P., Animesh, D.K., 2011. An updated overview on peppermint (*Mentha piperita* L.). *International Research Journal of Pharmacy* 2(8): 1–10.
41. Roosta, H.M., 2017. Plant Nutrition Hydroponics. Vali-e-Asr University of Rafsanjan.
42. Said-Al Ahl, H.A.H., Mahmoud, A.A., 2010. Effect of zinc and/or iron foliar application on growth and essential oil of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) under salt stress. *Ozean Journal of Applied Science* 3(1): 97–111.
43. Salimi, F., Shakari, F., Azimi, M.R., Zangani, A., 2011. The role of methyl jasmonate in improving salinity resistance through effect on some physiological characteristics of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Research on Medicinal and Aromatic Plants of Iran* 27: 711–700.
44. Salimi, F., Shekari, F., 2012. The effects of methyl jasmonate and salinity on some morphological characters and flower yield of german chamomile (*Matricaria Chamomilia* L.). *Iranian Journal of Plant Biology* 4(11): 27–37.
45. Salimi, F., Shekari, F., Azimi, M.R., Zangani, A., 2014. Evaluation the effect of methyl jasmonate application in salinity resistant improvement via changing some morphological traits in German Chamomile (*Matricaria Chamomilia* L.). *Journal of Crop production and Processing* 4(11):123–130.
46. Soliman, A.S., El-feky, S.A., Darwish, E., 2015. Alleviation of salt stress on *Moringa peregrina* using foliar

application of nano fertilizers. *Journal of Horticultural Forestry* 7: 36–47.
47. Tabatabaei, J., 2014. Principles of Mineral Nutrition of Plants. Tabriz University Press.
48. Tavallali, V., Rowshan, V., Bahmanzadegan, A., 2018. Variations in sweet basil in response to green synthesized zinc-amino nano complexes. *Journal of Cleaner Production* 196: 452–459.
49. Ueda, J., 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: 199210.
50. Vassilev, A., Nikolova, A., Koleva, L., Lidon, F., 2011. Effect of excess zinc on growth and photosynthetic performance of young bean plants. *Journal of Physiology* 3: 58–62.
51. Westfall, C.S., Muehler, A.M., Jez, J.M., 2013. Enzyme action in the regulation of plant hormone responses. *Journal of Biological Chemistry* 288: 19304–19311.
52. Zare Dehabadi, S., Asrar, Z., 2009. Study on the effects of zinc stress on induction of oxidative stress and concentration of mineral element in spearmint (*Mentha spicata* L.). *Iranian Journal of Biology* 22(2): 218–228.
53. Zehtab-Salmasi, S., Heidari, F.F., Alyari, H., 2008. Effect of microelements and plant density on biomass and essential oil production of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Plant Science Research* 1: 24–28.
54. Zhao, T.J., Liua, Y., Yan, Y.B., Feng, F., Liu, W.Q., 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: 30443050.
55. Zolfagharifar, N., Rezvan beidokhti, Sh., Abaspour, H., Negarchi, N., 2015. Effect of different methyl jasmonate concentrations on thymol content of separate-cultured of Taleshian thyme in tissue culture. In: The First National Conference on Modern Sciences and Technologies in Iran, Tehran. 2015-12-07.

J. Soil and Plant Interactions, Vol. 13, No. 2, Summer 2022, Isfahan Univ. Technol., Isf., Iran.

Interaction Effect of Different Levels of Zinc and Methyl Jasmonate on Morphological Characteristics and Photosynthetic Pigments of Peppermint in Soilless Culture Conditions

L. Mehdizadeh[1], M. Moghaddam[1*] and A. Ganjeali[2]

(Received: 11 April 2022; Accepted: 29 July 2022)

Abstract

A pot experiment in soilless culture was performed as a factorial experiment based on the randomized block complete design with four replications in the research greenhouse of Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. The effect of foliar application of methyl jasmonate (MeJA) [distilled water (control), ethanol 1% (as solvent of MeJA and control), 1 and 2 mM MeJA] and Zn application (0, 0.025, 0.05 and 0.1 mgL^{-1}) in Hoagland nutrient solution on the growth characteristics, photosynthetic pigments, and essential oil production of *Mentha piperita* L. was evaluated. According to the results, the highest growth was observed in 0.025 mg L^{-1} Zn and foliar application of 1 and 2 mM MeJA. The highest photosynthetic pigments of chlorophyll a and total chlorophyll were obtained in 0.025 mg L^{-1} Zn and foliar application of 2 mM MeJA. The highest root fresh and dry weights, chlorophyll b and carotenoid were observed in 0.05 mg L^{-1} Zn and foliar application of 2 mM MeJA and the treatment without Zn and foliar application with distilled water. In addition, the highest amount of essential oil production was observed in 0.1 mg L^{-1} Zn and foliar application with 1 mM MeJA. In general, 0.025 mg L^{-1} Zn and foliar application of 2 mM MeJA was the best treatment and improved most studied traits. The results of this experiment showed that Zn in low concentrations stimulate the peppermint growth; whereas Zn omission or application of high concentrations created some stressful effects in this plant increasing its essential oil production. Therefore, application of proper concentrations of Zn and MeJA can be a suitable way to improve the growth and essential oil production of peppermint.

Key words: Growth regulator, Micronutrient, Chlorophyll, Nutrient solution, Growth.

Background and Objective: Zinc (Zn) is an essential micronutrient in plant nutrition, growth and development (1). Methyl jasmonate (MeJA) is one of the plant growth regulators which affects plant growth and biochemical processes (3). The genus *Mentha* (Lamiaceae family) consists of about 25 species of perennial herbaceous plants. Peppermint (*Mentha piperita* L.) belongs to mint (Lamiaceae) family and is considered as a medicinal and aromatic plant species (2). The purpose of this study was to determine the effect of zinc application and foliar spraying of methyl jasmonate on growth characteristics, photosynthetic pigments and essential oil production of peppermint.

1- Department of Horticultural Science and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2- Department of Biology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad.
*: Corresponding author, Email: m.moghadam@um.ac.ir

Methods: This research was performed as a factorial based on a completely randomized block design with four replications in the research greenhouse of Ferdowsi University of Mashhad, Iran. The main factors included Zn (0, 0.025, 0.05 and 0.1 mg L^{-1}) and foliar application [distilled water (control), ethanol 1% (as solvent of MeJA and control), 1 and 2 mM MeJA]. All traits were measured at the flowering stage. The studied traits included plant height, branch number, leaf length and width, leaf area, leaf fresh and dry weights, root fresh and dry weights, chlorophyll a, b, total chlorophyll, carotenoid, and essential oil production**.** Minitab17 software was used to analyze the data. The mean comparison was performed based on Tukey test.

Results: According to the results, the highest growth was observed in 0.025 mg L^{-1} Zn and foliar application of 1 and 2 mM MeJA. Also the highest photosynthetic pigments including chlorophyll a and total chlorophyll were observed in 0.025 mg L^{-1} Zn and foliar application of 2 mM MeJA. The highest root fresh and dry weights, chlorophyll b and carotenoid were observed in 0.05 mg L^{-1} Zn and foliar application of 2 mM MeJA and the treatment without Zn and foliar application with distilled water. In addition, the highest amount of essential oil production was observed in 0.1 mg L^{-1} Zn and foliar application with 1 mM MeJA.

Conclusions: The results showed that all the studied traits were affected by zinc application and foliar spraying of methyl jasmonate. The application of Zn and MeJA can improve the growth characteristics and photosynthetic pigments of peppermint. In total, 0.025 mg L^{-1} Zn and foliar application of 2 mM MeJA was the best treatment for most studied traits. However, the highest Zn level or Zn omission and foliar spraying of 1 mM MeJA resulted in the highest essential oil production. Finally, it is suggested that the effect of application of different levels of other micronutrients and growth regulators on peppermint be investigated.

References:

1. Borowiak, K., Gasecka, M., Mleczek, M., Dabrowski, J., Chadzinikolau, T., Magdziak, Z., Golinski, P., Rutkowski, P., Kozubik, T., 2015. Photosynthetic activity in relation to chlorophylls, carbohydrates, phenolics and growth of a hybrid *Salix purpurea* × *triandra* × *viminalis* 2 at various Zn concentrations. *Acta Physiologiae Plantarum* 37: 155–165.
2. Rita, P., Animesh, D.K., 2011. An updated overview on peppermint (*Mentha piperita* L.). *International Research Journal of Pharmacy* 2(8): 1–10.
3. Westfall, C.S., Muehler, A.M., Jez, J.M., 2013. Enzyme action in the regulation of plant hormone responses. *Journal of Biological Chemistry* 288: 19304–19311.