مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران | شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijmapr.2020.342028.2727

جلد ۳۶، شماره ۵، صفحه ۷۴۷-۷۳۴ (۱۳۹۹) | شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0905.1399.36.734.103.5.1608.1603

ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک، کمّیت و کیفیت اسانس گیاه بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) تحت تأثیر اسید سیلیسیک در کشت بدون خاک

شیوا احمدی[۱]، محمد جواد نظری دلجو[۲*] و عباس حسنی[۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی باغبانی، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران

۲*- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران

پست الکترونیک: nazarideljou@yahoo.com

۳- استاد، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۸ | تاریخ اصلاح نهایی: تیر ۱۳۹۹ | تاریخ پذیرش: تیر ۱۳۹۹

چکیده

مطالعات بسیاری در مورد نقش عناصر معدنی ضروری در جنبه‌های مختلف تولید گیاهان دارویی انجام شده است، اما نقش سیلیسیم به‌عنوان عنصر شبه‌ضروری و مفید در رشد و نمو، کمّیت و کیفیت اسانس بسیاری از گیاهان دارویی ناشناخته است. در همین راستا غلظت‌های مختلف اسید سیلیسیک شامل صفر (شاهد)، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ میلی‌گرم بر لیتر سیلیسیم به محلول غذایی استاندارد هوگلند و آرنون اضافه شد و واکنش‌های مورفوفیزیولوژیک و تولید متابولیت‌های ثانویه گیاه دارویی بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) در کشت بدون خاک (سیستم هیدروپونیک) بررسی شد. وزن تر و خشک برگ و ریشه با افزودن عنصر سیلیسیم به محلول غذایی در مقایسه با شاهد افزایش یافت. درصد تغییرات زیست‌توده با توجه به غلظت سیلیسیم متفاوت بود، به‌طوری که وزن تر برگ در غلظت ۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم افزایش ۴۱ درصدی در مقایسه با شاهد داشت. همچنین درصد اسانس (استخراج‌شده از اندام تر) در گیاهان تغذیه شده با سیلیسیم افزایش معنی‌داری در مقایسه با شاهد داشت. بر همین اساس درصد اسانس در غلظت‌های مختلف سیلیسیم شامل تیمار شاهد (۰)، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ میلی‌گرم بر لیتر به‌ترتیب برابر ۰/۱۶، ۰/۲۱، ۰/۳۱، ۰/۳۳، ۰/۳۴ و ۰/۳۴ درصد بود. واکنش ترکیب‌های اسانس بادرنجبویه به سیلیسیم نیز بیانگر نقش مهم این عنصر در کیفیت اسانس تولیدی است. بیشترین مقادیر نرال (۲۱/۲ درصد) و ژرانیال (۵۸/۷ درصد) به‌ترتیب در غلظت‌های ۵۰ و ۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم حاصل گردید. همچنین مهمترین ترکیب‌های شاخص در غلظت‌های مختلف سیلیسیم ($mg\ l^{-1}$) شامل ژرانیال و ژرانیول (غلظت ۰)، ژرانیال و نریل استات (غلظت ۲۵)، ژرانیال و نرال (غلظت ۵۰)، ژرانیال و کاریوفیلن اکساید (غلظت ۷۵)، ژرانیال و ژرانیل استات (غلظت ۱۰۰) و ژرانیال و نرال (غلظت ۱۲۵) بودند. بر اساس نتایج آزمایش عنصر شبه‌ضروری و مفید سیلیسیم اثر معنی‌داری بر پارامترهای رشد، عملکرد و کیفیت اسانس بادرنجبویه دارد.

واژه‌های کلیدی: سیلیسیم، گیاهان دارویی، هیدروپونیک، تغذیه معدنی، عناصر مفید، گلخانه.

مقدمه

کشت‌های گلخانه‌ای و کنترل شده مبتنی بر سیستم‌های بدون خاک به‌دلیل کنترل دقیق شرایط محیطی و به‌ویژه محیط رشد ریشه نقش به‌سزایی در افزایش تولید در مقایسه با کشت‌های خاکی (Pardossi *et al*., 2004) و همچنین جنبه‌های مطالعاتی در حوزه عناصر معدنی و تغذیه گیاهی دارند. کشت‌های بدون خاک مشکلات ناشی از کشت‌های خاکی و کشاورزی سنتی از قبیل حاصلخیزی کم خاک، بیماری‌ها و آفات خاک‌زی، علف‌های هرز، شوری، اسیدیته نامناسب، فشردگی خاک و زهکشی ضعیف تولید سنتی را ندارند (Surendran *et al*., 2017). بر همین اساس برای حصول نتایج دقیق و قابل اعتماد به‌ویژه مطالعات دقیق تغذیه‌ای، انتخاب کشت‌های بدون خاک همواره گزینه مناسبی خواهد بود.

سیلیسیم پس از اکسیژن، فراوان‌ترین عنصر پوسته زمین است که با توجه به نوع گیاه ۰/۱٪ تا ۱۰٪ وزن خشک آن را تشکیل می‌دهد (Khan *et al*., 2019). تحقیقات اولیه در مورد نقش سیلیسیم در کشاورزی، تغذیه گیاهی و محصولات زراعی و باغی از سال ۱۹۶۲ با چاپ کمتر از ۱۰ مقاله آغاز و به بیش از ۹۲۴ فقره مقاله در سال ۲۰۱۹ و در مجموع به ۱۲۸۲۲ سند علمی رسیده است (www-scopus-com.ezproxy.library.wur.nl). عمده تحقیقات مرتبط با سیلیسیم در زمینه نقش این عنصر در افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های زیستی و غیرزیستی است (Etesami & Jeong, 2018؛ Khan *et al*., 2019؛ Parveen *et al*., 2019). همچنین بیشتر تحقیقات منتشر شده در مورد نقش مؤثر این عنصر شبه‌ضروری و مفید، در مورد محصولات زراعی بوده است. اولین تحقیقات در مورد نقش سیلیسیم در محصولات باغبانی در مورد برخی گلها (رز، ژربرا و میخک)، میوه‌ها (توت‌فرنگی) و سبزی‌ها (لوبیا، کاهو، خیار، بادمجان، کدو، گوجه‌فرنگی و فلفل) نشان داد که رز، خیار، طالبی، توت‌فرنگی، بادمجان و لوبیا واکنش مثبتی به افزودن سیلیسیم به محلول غذایی نشان می‌دهند، اما میخک، ژربرا، کاهو و گوجه‌فرنگی سیلیسیم زیادی جذب نکردند (Voogt & Sonneveld, 2001). در ادامه برخی محققان تأثیر مثبت سیلیسیم در کشت‌های بدون خاک رز، آفتابگردان زینتی (Kamenidou *et al*., 2008) و ژربرا (Kamenidou *et al*., 2010) را تأیید نمودند. در بین محصولات باغبانی کمترین مطالعه در مورد تأثیر سیلیسیم بر گیاهان دارویی بوده است. همچنین گزارش‌های اندک منتشر شده در این مورد هم عمدتاً در ارتباط با نقش سیلیسیم بر گیاهان دارویی در شرایط تنش بوده است (Kolesnikov & Gins, 2001).

تأثیر سیلیسیم بر گیاهان دارویی می‌تواند از جنبه‌های مختلفی برای محققان مورد توجه قرار گیرد. بهبود رشد و نمو و فعالیت آنزیمی (Kim *et al*., 2017)، بیوسنتز مواد تنظیم‌کننده رشد یا هورمون‌های گیاهی (Markovich *et al*., 2017)، تنظیم هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز (Manivannan & Ahn, 2017) و جذب عناصر معدنی (Eneji *et al*., 2008) از مهمترین آثار سیلیسیم بر گیاهان است. همچنین سیلیسیم اثرهای نامطلوب تنش‌ها را تعدیل و منجر به افزایش توان گیاه در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌شود (Deshmukh *et al*., 2017؛ Etesami & Jeong, 2018؛ Khan *et al*., 2019؛ Parveen *et al*., 2019). با توجه به مطالب مذکور و تحقیقات اندک در مورد تأثیر عنصر سیلیسیم بر گیاهان دارویی، مهمترین هدف این آزمایش بررسی تأثیر این عنصر بر گیاه دارویی بادرنجبویه در کشت بدون خاک است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌صورت یک آزمایش گلدانی در گلخانه تحصیلات تکمیلی گروه علوم و مهندسی باغبانی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد در سیستم کشت بدون خاک، در قالب طرح کاملاً تصادفی با شش غلظت سیلیسیم و سه تکرار روی گیاه دارویی بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) انجام شد. قلمه‌های ریشه‌دار شده بادرنجبویه به گلدان‌های

کشت با ابعاد ۲۵ در ۶۰ سانتی‌متر (۶ گیاه در هر گلدان) حاوی بستر فیبرنارگیل و پرلیت با نسبت حجمی برابر منتقل و تا استقرار نشاها با آب معمولی آبیاری شدند. آب مورد استفاده در آزمایش توسط آزمایشگاه آب، خاک و گیاه آجودانی واقع در شهرستان ارومیه آنالیز شد (جدول ۱). یک هفته پس از انتقال و استقرار نشاها از محلول غذایی استاندارد Hoagland و Arnon (۱۹۵۰) حاوی غلظت‌های مختلف سیلیسیم (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵میلی‌گرم در لیتر) با منبع اسید سیلیسیک ($Si(OH)_4$) برای محلول‌دهی گلدان‌ها استفاده گردید. اسیدیته محلول‌ها برابر ۶ تنظیم و روزانه سیستم محلول‌دهی، هدایت الکتریکی و اسیدیته محلول‌های غذایی کنترل شد. در طول مدت آزمایش دمای روزانه و شبانه گلخانه با پوشش پلی‌اتیلن به‌ترتیب برابر ۲۶ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۶۰٪ و روشنایی مورد نیاز گلخانه با نور طبیعی تأمین گردید. اعمال تیمارها تا پایان آزمایش (۵۰٪ گلدهی) ادامه یافت و اندازه‌گیری صفات با توجه به صفت مورد بررسی در طول و پایان آزمایش انجام شد.

جدول ۱- نتایج تجزیه آب مورد استفاده در آزمایش

مشخصه	نتیجه	مشخصه	نتیجه
اسیدیته	۷/۶	سختی کل ($CaCO_3$) ($mg\ l^{-1}$)	۱۳۵
هدایت الکتریکی (EC) ($\mu S/cm$)	۳۲۰	فلوئور ($mg\ l^{-1}$)	۰/۴
کل مواد جامد محلول (TDS) ($mg\ l^{-1}$)	۲۰۱	قلیائیت کل ($CaCO_3$) ($mg\ l^{-1}$)	۱۰۰
بی‌کربنات ($CaCO_3$) ($mg\ l^{-1}$)	۱۰۰	–	–
عناصر پرمصرف ($mg\ l^{-1}$)			
نیترات	۰/۱۲	پتاسیم	۳/۵
نیتریت	۰/۰۶	منیزیم	۵۰
فسفات	۰/۱	سولفات	۳۸/۴
کلسیم	۸۵	–	–
عناصر کم مصرف ($\mu g\ l^{-1}$)			
منگنز	۱۷۰	مس	۸
روی	۱۲	بر	۳۰۰
آهن	۳۰	کلر ($mg\ l^{-1}$)	۲۱/۳
عناصر مفید ($mg\ l^{-1}$)			
سیلیسیم	۵	سدیم	۲/۳

صفات رشدی

به‌منظور بررسی واکنش‌های رشدی بادرنجبویه به کاربرد سیلیسیم، برخی صفات مهم رویشی شامل وزن تر برگ، وزن تر و خشک ریشه و سطح برگ در گیاه در پایان دوره رشد یعنی در زمان گلدهی (پس از ۵۰٪ گلدهی بوته‌ها) مورد ارزیابی قرار گرفت.

صفات فیزیولوژیک

رنگیزه‌های فتوسنتزی: محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل برگ‌های بالغ توسعه یافته قبل از گلدهی، براساس هضم نمونه‌های برگ با استون، سانتریفیوژ نمونه‌ها (۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۱۵ دقیقه) و برآورد

جذب آنها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر (Sunkar, 2010) ارزیابی شد.

جذب سیلیسیم: برای سنجش جذب سیلیسیم، برگ‌های بالغ کاملاً توسعه یافته بادرنجبویه قبل از گلدهی برداشت و به‌ترتیب با اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال و آب مقطر (برای حذف آلودگی‌های احتمالی سیلیسیم روی برگ‌ها) شستشو و در نهایت در آون (دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۳ روز) خشک گردیدند. سپس ۰/۱ گرم نمونه خشک همراه با ۵ میلی‌لیتر محلول هیدروکسید سدیم به فالکون ۲۵ میلی‌لیتری منتقل شد و به‌مدت ۳۰ دقیقه اتوکلاو شدند. بعد از سرد شدن نمونه‌ها در دمای اتاق ۲ میلی‌لیتر آب اکسیژنه به هر نمونه اضافه شد و به‌مدت ۳۰ دقیقه دیگر اتوکلاو گردیدند. در مرحله بعدی، ۴۳ میلی لیتر آب‌مقطر، ۰/۲۵ میلی لیتر مخلوط اسید هیدروکلریک و آب (۱:۱) و در نهایت ۰/۵ میلی‌لیتر مولیبدات آمونیوم اضافه شد و به‌مدت ۳ دقیقه روی شیکر قرار گرفتند. در پایان پس از اضافه نمودن ۰/۷ میلی‌لیتر از بیوسولفات سدیم به هر نمونه جذب آنها در طول موج ۶۵۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید (Elliott & Snyder, 1991).

محتوای فنول کل برگ: محتوای فنول کل برگ با استفاده از شناساگر Folin-Ciocalteu اندازه‌گیری شد. جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۷۶۰ نانومتر قرائت گردید. همچنین از منحنی استاندارد اسید گالیک برای اندازه‌گیری محتوای فنول کل استفاده شد (Ainsworth & Gillespie, 2007).

استخراج و شناسایی ترکیب‌های اسانس: استخراج اسانس بادرنجبویه در مرحله ۵۰٪ گلدهی به روش تقطیر با آب و با استفاده از دستگاه کلونجر از برگ‌ها و سرشاخه‌های گل‌دار گیاه به‌مدت ۳/۵ ساعت (از زمان شروع فرایند اسانس‌گیری) انجام گردید. درصد اسانس براساس حجم اسانس در هر تیمار بر مبنای وزن تر برگ و سرشاخه‌های گل‌دار بوته محاسبه شد.

برای شناسایی ترکیب‌های اسانس، از کروماتوگرافی گازی (GC) و کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی (GC/MS) (واریان ۳۴۰۰ Agilent, USA) با دتکتور ion trap دارای ستون DB5 به‌طول ۳۰ متر، قطر درونی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت لایه فاز ساکن آن ۰/۲۵ میکرومتر استفاده گردید. برنامه‌ریزی حرارتی ستون از دمای اولیه ۶۰ درجه سانتی‌گراد شروع و به‌تدریج با سرعت ۳ درجه سانتی‌گراد در دقیقه تا رسیدن به ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. دمای محفظه تزریق و آشکارساز به‌ترتیب بر روی ۲۸۰ و ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم گردید. دمای محفظه تزریق ۱۰ درجه سانتی‌گراد بالاتر از دمای نهایی ستون (۲۷۰ درجه سانتی‌گراد) تنظیم شد. سرعت گاز حامل (هلیوم، خلوص ۹۹/۹۹٪) برابر ۳۱/۵ سانتی‌متر بر ثانیه، زمان اسکن برابر یک ثانیه، انرژی یونیزاسیون ۷۰ الکترون ولت و ناحیه جرمی از ۴۰ تا ۳۴۰ بود (WHO, 1998).

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS ver.2.9 و مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج

صفات رشدی

نتایج تجزیه واریانس تغذیه گیاه دارویی بادرنجبویه با عنصر سیلیسیم نشان‌دهنده واکنش رشد این گیاه به سطوح مختلف سیلیسیم بود (جدول ۲). بر همین اساس وزن تر و خشک ریشه در بوته در تمام گیاهانی که به‌طور روزانه و از طریق محلول غذایی سیلیسیم دریافت کرده بودند بیشتر از شاهد (بدون تغذیه سیلیسیم) بود. بیشترین وزن تر و خشک ریشه در تیمار سیلیسیم با غلظت ۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر مشاهده گردید (شکل ۱- الف و ب).

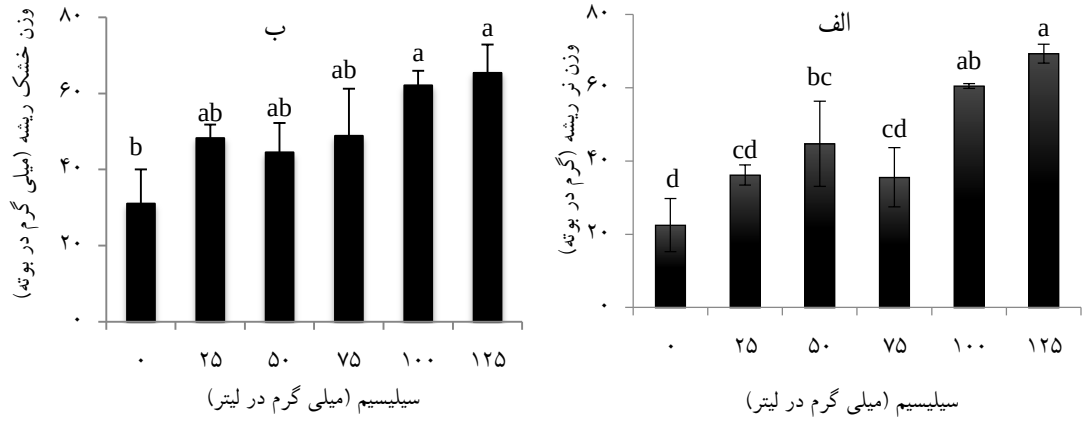
نتایج بیانگر تأثیر مثبت سیلیسیم در غلظت های بیش از ۷۵ میلی گرم در لیتر بر وزن تر برگ در بوته بود (شکل ۲- الف). با افزایش غلظت از ۷۵ تا ۱۲۵ میلی گرم در لیتر، وزن تر برگ

به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد و سطوح کمتر از ۷۵ میلی گرم در لیتر افزایش یافت. سطح برگ در بوته با افزایش سیلیسیم محلول غذایی از غلظت ۲۵ تا ۱۲۵ میلی گرم در لیتر روند صعودی داشت. به‌عبارت دیگر با افزایش غلظت سیلیسیم از ۲۵ تا ۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر به‌ترتیب افزایش ۱۴، ۲۵، ۴۴، ۶۹/۵ و ۹۱ درصدی سطح برگ در مقایسه با تیمار شاهد مشاهده گردید (شکل ۲- ب).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر سیلیسیم بر صفات رشدی *Melissa officinalis* در کشت بدون خاک

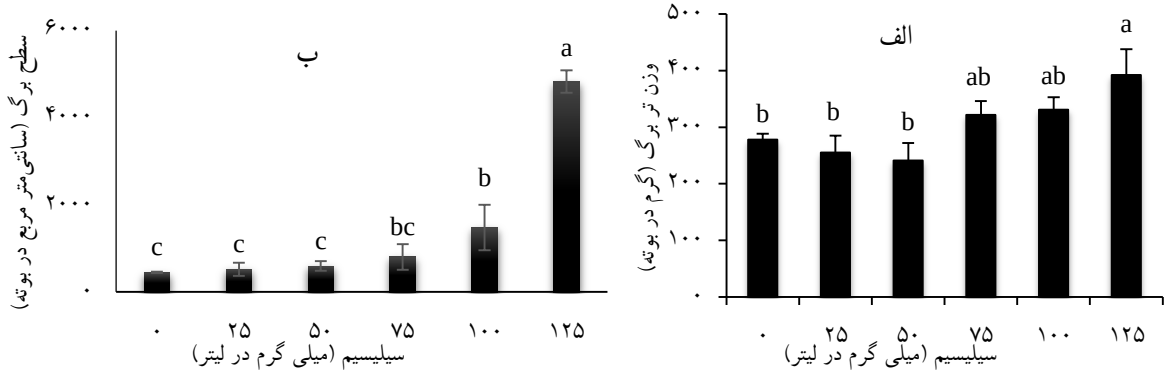
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		وزن تر برگ	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	سطح برگ در گیاه
سیلیسیم	۵	۹۵۰۲/۲۶*ˣ	۹۰۳/۲۴**	۴۶۶/۷۳*	۲۹۷۵۵۹۰۵/۰**
خطای آزمایشی	۱۲	۲۵۶۴/۶۷	۱۳۳/۹۹	۱۸۷/۱۸	۲۱۹۲۸۱/۳
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۶/۷۰	۲۵/۸۴	۲۷/۳۳	۲۲/۸۶

* و **: به‌ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ می‌باشند.



شکل ۱- وزن تر (الف) و وزن خشک ریشه (ب) گیاه بادرنجبویه تحت تأثیر سیلیسیم محلول غذایی در کشت بدون خاک

حروف غیرمشابه و میله‌های روی هر ستون به‌ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن و خطای استاندارد (Mean±SE) می‌باشد.



شکل ۲- تغییرات وزن تر برگ (الف) و سطح برگ (ب) در بوته بادرنجبویه به غلظت‌های مختلف سیلیسیم محلول غذایی در کشت بدون خاک

حروف غیرمشابه و میله‌های روی هر ستون به‌ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن و خطای استاندارد (Mean±SE) می‌باشد.

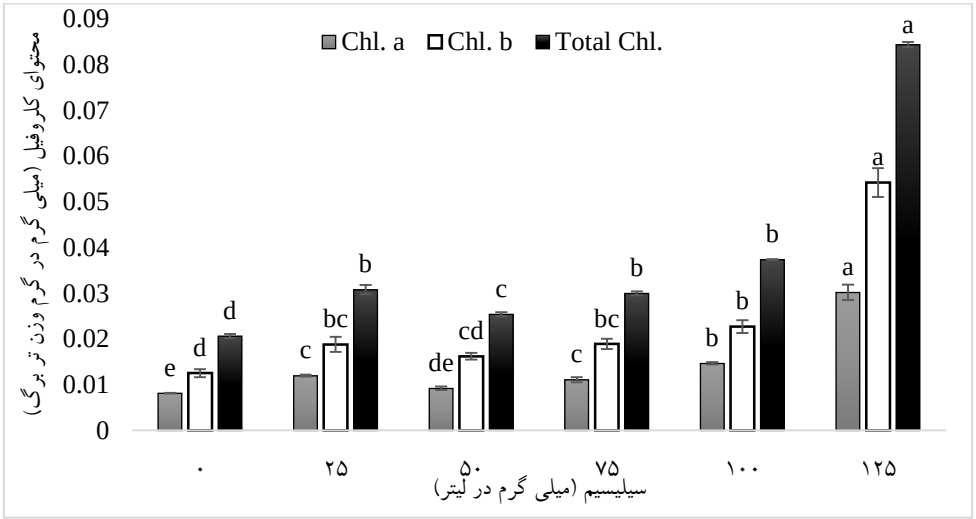
رنگیزه‌های فتوسنتزی

نتایج تجزیه واریانس بیانگر تأثیر معنی‌دار سیلیسیم بر رنگیزه‌های فتوسنتزی بود (جدول ۳). واکنش رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، b و محتوای کلروفیل کل نسبت به سیلیسیم از غلظت ۵۰ تا ۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر روندی مشابه سطح برگ در بوته نشان داد. به‌طور کلی تمامی تیمارها نسبت به شاهد دارای محتوای کلروفیل بیشتری بودند (شکل ۳).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر سیلیسیم بر رنگیزه‌های فتوسنتزی *Melissa officinalis* در کشت بدون خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		رنگیزه‌های فتوسنتزی		
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل
سیلیسیم	۵	۰/۰۰۱۹۹** [x]	۰/۰۰۰۰۸۵**	۰/۰۰۰۰۰۹۷**
خطای آزمایشی	۱۲	۰/۰۰۰۰۰۱۷	۰/۰۰۰۶۹۵۸	۰/۰۰۰۴۱۷۸
ضریب تغییرات (٪)	-	۹/۲۵	۱۲/۲۳	۷/۳۰

**: بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ است.



شکل ۳- واکنش رنگیزه‌های فتوسنتزی بادرنجبویه به سطوح مختلف سیلیسیم محلول غذایی در کشت بدون خاک

حروف غیر مشابه و میله‌های روی هر ستون به‌ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن و خطای استاندارد (Mean±SE) می‌باشد.

جذب سیلیسیم ریشه و برگ

مقادیر سیلیسیم ریشه و برگ بادرنجبویه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تغذیه سیلیسیمی در سیستم بدون خاک قرار گرفت (جدول ۴). همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌گردد همزمان با افزایش غلظت سیلیسیم محلول غذایی در محدوده غلظتی ۰ تا ۵۰ و ۷۵ تا ۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر، درصد سیلیسیم ریشه از غلظت ۰ تا ۵۰ و از ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر درصد سیلیسیم برگ افزایش یافت. براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها درصد سیلیسم ریشه در تمامی تیمارها بیشتر از برگ بود. بیشترین درصد سیلیسیم در ریشه و برگ به‌ترتیب در غلظت‌های ۱۲۵ و

۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر محلول غذایی حاصل شد که در مقایسه با شاهد به‌ترتیب افزایش ۶۴ و ۵۰ درصدی داشتند.

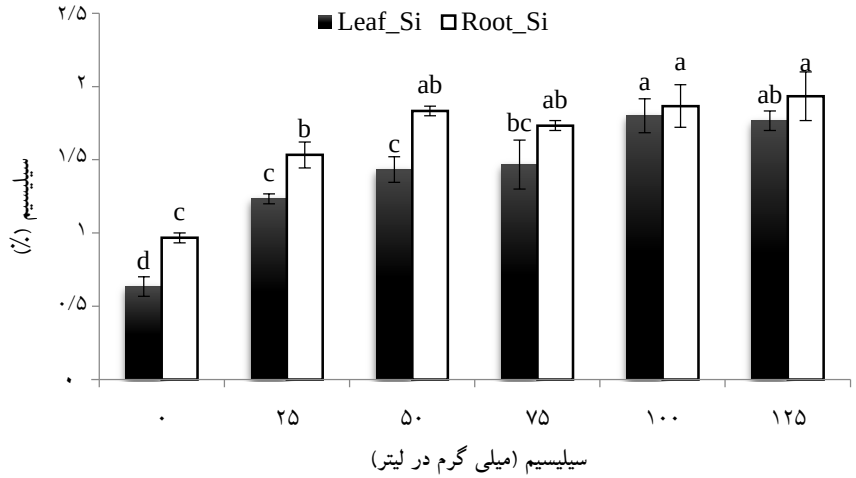
محتوای فنول کل برگ

براساس نتایج تجزیه واریانس آزمایش محتوای فنول کل برگ تحت تأثیر سیلیسیم محلول غذایی قرار نگرفت (جدول ۴). مقادیر فنول کل برگ به‌ترتیب در تیمارهای ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر برابر ۲، ۱/۹، ۱/۶۹، ۲، ۲، ۱/۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس تأثیر سیلیسیم بر جذب سیلیسیم، فنول کل، درصد و عملکرد اسانس *Melissa officinalis* در کشت بدون خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		جذب سیلیسیم		فنول کل	اسانس	
		ریشه	برگ		درصد	عملکرد
سیلیسیم	۵	۰/۳۸** x	۰/۵۴**	۰/۰۹۱ns	۰/۰۱۷**	۱۲۵۹/۸۹**
خطای آزمایشی	۱۲	۰/۰۳	۰/۰۲۹	۰/۲۵۱۱	۰/۰۰۳۷	۲۴۳/۵۹
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۰/۵۳	۱۲/۳۵	۲۶/۱۱	۲۱/۶۸	۲۷/۲۱

ns و **: به‌ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ است.



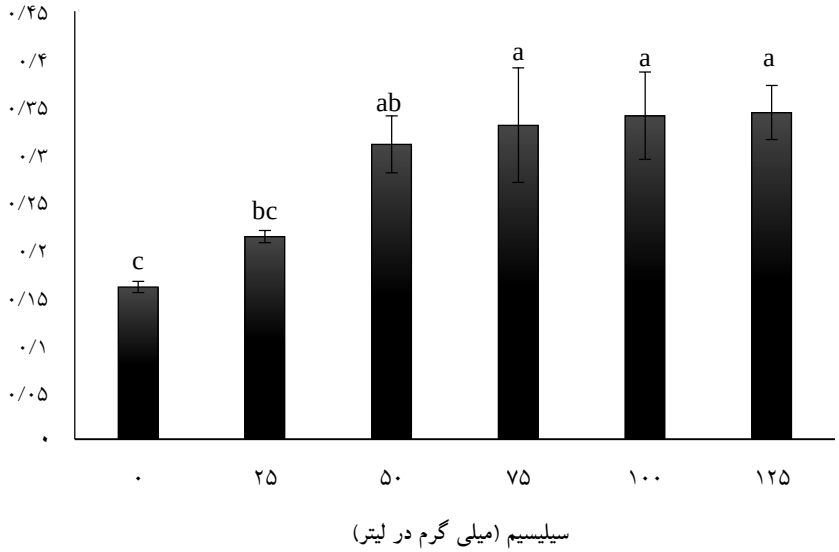
شکل ۴- مقادیر سیلیسیم برگ و ریشه بادرنجبویه تحت تأثیر سطوح مختلف سیلیسیم محلول غذایی در کشت بدون خاک

حروف غیر مشابه و میله‌های روی هر ستون به‌ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن و خطای استاندارد (Mean±SE) می‌باشد.

اسانس و ترکیب‌های آن

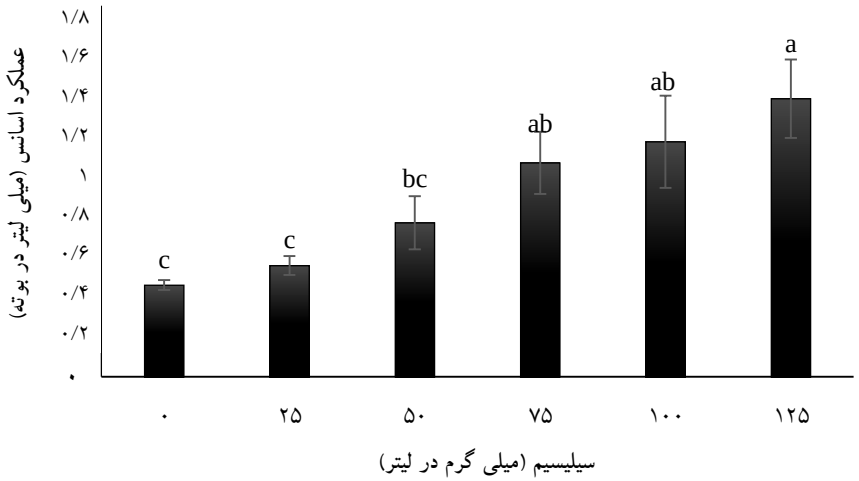
همان‌طور که در جدول ۴ ملاحظه می‌گردد سیلیسیم تأثیر معنی‌داری بر درصد و عملکرد اسانس بادرنجبویه دارد. نتایج مقایسه میانگین‌های اسانس گیاه دارویی بادرنجبویه بیانگر افزایش معنی‌دار درصد اسانس تحت تأثیر افزودن سیلیسیم به محلول غذایی است ($P<0.01$)

(شکل ۵). همزمان با افزایش غلظت سیلیسیم از ۲۵ تا ۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر درصد اسانس افزایش یافت، اما افزایش اسانس تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری با غلظت‌های بالاتر از ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نداشت. افزودن ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم به محلول غذایی برای افزایش درصد اسانس گیاه دارویی بادرنجبویه کفایت نموده و منجر به افزایش ۴۸ درصدی اسانس در مقایسه با شاهد می‌گردد.



شکل ۵- تغییرات درصد اسانس (نمونه تر) بادرنجبویه تحت تأثیر سیلیسیم محلول غذایی در کشت بدون خاک

حروف غیرمشابه و میله‌های روی هر ستون به‌ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن و خطای استاندارد (Mean±SE) می‌باشد.



شکل ۶- عملکرد اسانس تولیدی (نمونه تر) بادرنجبویه تحت تأثیر سطوح مختلف سیلیسیم در کشت بدون خاک

حروف غیر مشابه و میله‌های روی هر ستون به‌ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن و خطای استاندارد (Mean±SE) می‌باشد.

نتایج آزمایش بیانگر پاسخ مثبت عملکرد اسانس نسبت به افزایش سیلیسیم محلول غذایی است. براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها با توجه به اختلاف معنی‌دار تیمارها با یکدیگر و شاهد، بیشترین عملکرد تولیدی در غلظت ۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم مشاهده گردید (شکل ۶). غلظت ۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم منجر به افزایش ۶۷ درصدی عملکرد اسانس در مقایسه با شاهد گردید.

جدول ۵- مهمترین ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس *Melissa officinalis* تحت تأثیر سیلیسیم محلول غذایی در کشت بدون خاک

ترکیب‌های اسانس	درصد ترکیبات در تیمارهای مختلف سیلیسیم (میلی‌گرم درلیتر)					
	۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۱۲۵
pentanoic acid	۰/۱	۷/۸	–	–	–	–
limonene	–	۰/۲	۰/۴	–	–	–
1,8-cineole	-	–	۰/۱	–	–	–
camphene	–	–	–	–	–	۰/۱
linalool	۰/۶	۲/۵	۱/۴	۰/۶	۱/۰	۱/۳
octanoic acid	۱/۶	–	–	–	۰/۸	–
citronellal	۱/۸	۰/۴	۰/۳	۱/۸	۱/۴	۰/۹
neral (Citral b)	۰/۴	۱/۴	۲۱/۲	۵/۲	۱/۲	۱۲/۱
nerol	۱/۱	۱/۹	–	۰/۵	–	–
geranyl acetate	–	۱۲/۷	–	–	۸/۷	–
geraniol	۸/۶	۲/۸	–	۰/۹	–	۰/۳
geranic-acid	-	۲/۱	۲/۳	۴/۳	۴/۶	۶/۲
geranial (Citral a)	۳۰/۸	۱۵/۰	۲۶/۰	۱۴/۲	۲۱/۰	۵۸/۷
neryl acetate	۱	۱۳/۲	–	۰/۹	–	–
isocaryophyllen	۰/۷	–	–	–	–	–
trans caryophyllene	-	۰/۲	۰/۴	–	–	–
germacrene D	۳/۸	–	–	–	–	–
nerolidol	۰/۲	–	–	–	–	–
caryophyllene oxide	۳/۱	–	۰/۹	۷/۴	۶/۱	۱/۸
α-cadinol	۳/۸	۰/۱	۰/۹	–	۰/۵	–
valerenal	۰/۴	–	–	–	–	–
campherenone	-	۰/۹	۰/۹	–	–	–
Total	۵۸/۰	۶۱/۲	۵۴/۸	۳۵/۸	۴۵/۳	۸۱/۴

ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس

تجزیه و شناسایی اجزای اسانس گیاه دارویی بادرنجبویه نشان‌دهنده تغییر ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس تحت تأثیر کاربرد سیلیسیم است. همان‌طوری که در جدول ۵ مشاهده می‌گردد مهمترین ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس در کشت بدون خاک بادرنجبویه نرال، سیترونلال، لینالول، ژرانیک اسید، ژرانیول، نرول، نریل استات، ژرانیال، کاریوفیلن اکسید، آلفا کادینول، ژرانیل استات و ژرماکرن D بود. بیشترین درصد ژرانیال به‌عنوان یکی از ترکیب‌های شاخص به‌ترتیب در غلظت‌های ۱۲۵، ۰، ۱۰۰، ۲۵، ۷۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم مشاهده گردید. درصد ژرانیال علی‌رغم عدم وجود روندی مشخص تحت تأثیر تیمارهای سیلیسیمی، در تمامی غلظت‌ها به‌جز غلظت ۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر کمتر از تیمار شاهد بود. همچنین بیشترین ترکیب‌های شناسایی شده اسانس در بین تیمارهای مورد بررسی به‌ترتیب در تیمار ۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم (۸۱/۴ درصد) و شاهد (۵۸ درصد) مشاهده گردید. ژرانیال، نرال، سیترونلال و لینالول ترکیب‌هایی بودند که در تمامی تیمارها از جمله شاهد و محلول‌های حاوی سیلیسیم، و همچنین کاریوفیلن اکسید (به‌جز تیمار ۲۵ میلی‌گرم در لیتر) در تمامی غلظت‌های سیلیسیم و شاهد مشاهده شدند؛ در حالی که ژرانیک اسید و ژرانیول تنها در تیمارهای حاوی سیلیسیم شناسایی شدند. سایر ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس بسته به‌وجود سیلسیم و غلظت آن در محلول غذایی واکنش متفاوتی داشتند.

بحث

واکنش مثبت بادرنجبویه به سیلیسیم بیانگر اهمیت این عنصر شبه‌ضروری و مفید در رشد این گیاه است. رشد ریشه و اندام‌های هوایی بادرنجبویه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سیلیسیم قرارگرفت. بررسی روند تغییرات رشد ریشه شامل وزن تر و خشک ریشه تحت تأثیر سطوح مختلف سیلیسیم بیانگر بیشترین رشد ریشه در غلظت ۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم در مقایسه با سایر غلظت‌ها و شاهد است. همچنین وزن تر برگ به‌عنوان مهمترین اندام رویشی و حاوی متابولیت‌های ثانویه یا اسانس نیز روند مشابهی نسبت به افزودن سیلیسیم به محلول غذایی داشت. به‌عبارتی بین غلظت‌های ۲۵ تا ۷۵ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، اما با افزایش غلظت به ۱۰۰ و به‌ویژه ۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر بیشترین زیست‌توده گیاه دارویی بادرنجبویه شامل اندام‌های هوایی و ریشه در غلظت ۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر مشاهده گردید.

دلیل افزایش زیست‌توده بادرنجبویه می‌تواند ناشی از بهبود ظرفیت فتوسنتزی این گیاه یعنی افزایش سطح برگ و رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل‌های a و b تحت تأثیر سیلیسیم باشد. بررسی نتایج ظرفیت فتوسنتزی نشان داد که با افزایش غلظت سیلیسیم تا ۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر، سطح برگ و همچنین رنگیزه‌های فتوسنتزی افزایش می‌یابد. به‌عبارتی با افزودن عنصر سیلیسیم به محلول غذایی، سطح برگ و محتوای کلروفیل برگ افزایش و در نتیجه فرایند نورگیری یا فتوسنتز که مهمترین عامل در بیوسنتز کربوهیدرات‌ها و افزایش زیست‌توده گیاه است تحت تأثیر قرار گرفته و منجر به افزایش رشد و نمو بادرنجبویه می‌گردد. نقش مثبت سیلیسیم بر رشد و نمو و عملکرد محصولات زراعی و باغی توسط مطالعات متعددی بررسی شده است. نتایج این آزمایش با نتایج تحقیقات Gengmao و همکاران (۲۰۱۵) مبنی بر نقش مثبت سیلیسیم بر ظرفیت فتوسنتزی و رشد و نمو گیاه دارویی پیچ‌امین‌الدوله مطابقت دارد.

سیلیسیم علاوه‌بر تأثیر مستقیم بر فتوسنتز و در نتیجه رشد و نمو، به‌دلیل تعدیل تنش‌های محیطی پیرامون گیاه منجر به ثبات غشای سلولی و ماکرومولکول‌ها (پروتئین، اسیدهای نوکلئیک و غیره) در سلول (Etesami & Jeong, 2018) می‌شود، در نتیجه به‌طور غیرمستقیم نیز منجر به بهبود رشد گیاه می‌گردد. در ارتباط با نتایج این تحقیق با وجود کشت گیاه بادرنجبویه در گلخانه و کنترل شرایط محیطی، احتمالاً هدایت الکتریکی محلول غذایی Hoagland

و Arnon (۱۹۵۰) (EC=2.5 dS/m) عامل تنش محیطی یا اسمزی برای گیاهان بوده است. با توجه به حساسیت بادرنجبویه به تنش شوری، احتمالاً سیلیسیم با تعدیل اثرهای نامطلوب قابلیت اسمزی به‌طور غیرمستقیم منجر به افزایش رشد ریشه، سطح برگ و وزن تر برگ بادرنجبویه گردیده است. همچنین نقش مثبت سیلیسیم بر بهبود روابط آبی گیاه و در نتیجه افزایش حجم سلول نیز می‌تواند دلیل افزایش رشد ریشه و برگ تحت تأثیر سیلیسیم باشد. در تحقیقی که توسط Chen و همکاران (۲۰۱۸) انجام گردید نشان داده شد که تأمین سیلیسیم منجر به افزایش جذب آب و بهبود وضعیت آبی گیاه و همچنین توسعه اندام‌های رویشی در گیاه می‌گردد.

همان‌طوری که اشاره گردید گیاهان تغذیه شده با سیلیسیم دارای محتوای کلروفیل بیشتری در مقایسه با شاهد (بدون سیلیسیم) بودند. نقش عنصر سیلیسیم در کاهش تخریب رنگیزه‌های فتوسنتزی توسط محققان متعددی بیان شده است (Manivannan & Ahn, 2017؛ Deshmukh *et al*., 2017). به بیان دیگر اساساً عنصر سیلیسیم منجر به افزایش توان آنتی‌اکسیدانی گیاه و در نتیجه مانع تخریب کلروفیل توسط رادیکال‌های آزاد می‌گردد (Al-Aghabary *et al*., 2005). همچنین نقش سیلیسیم در افزایش محتوای کلروفیل را می‌توان به افزایش بیوسنتز سایتوکنین و در نتیجه تأخیر در پیری و حفظ ثبات سلولی و سبزینگی گیاه مرتبط دانست (Markovich *et al*., 2017). نتایج تحقیقات مذکور با نتایج این تحقیق مبنی بر نقش مفید سیلیسیم بر محتوای کلروفیل همخوانی دارد.

البته عوامل متعددی بر جذب عناصر معدنی توسط گیاه از قبیل ژنوتیپ، شرایط محیطی و غلظت عنصر در محیط ریشه تأثیر دارد (Marschner, 2011). در بررسی جذب سیلیسیم در کشت بدون خاک محصولات باغبانی مشاهده گردید که جذب سیلیسیم با توجه به گیاه متفاوت بوده و بر همین اساس حداکثر جذب این عنصر در کاهو برابر ۵ و در خیار برابر ۱۲۷ میلی‌مول در کیلوگرم وزن خشک متفاوت بوده است (Voogt & Sonneveld, 2001). براساس نتایج این آزمایش، همزمان با افزایش غلظت سیلیسیم محلول غذایی درصد سیلیسیم اندام‌های ریشه و برگ روند صعودی نشان داد. به‌عبارتی افزودن سیلیسیم به محلول غذایی منجر به افزایش دسترسی گیاه به سیلیسیم و در نتیجه افزایش جذب عنصر در ریشه و برگ گردیده است. Kamenidou و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی تأثیر منابع و سطوح مختلف سیلیسیم در آفتابگردان زینتی نشان دادند که همزمان با افزایش غلظت سیلیسیم قابل دسترس، درصد این عنصر در اندام‌های مختلف گیاه شامل برگ، ساقه و گل افزایش می‌یابد که با نتایج این تحقیق مطابقت و همخوانی دارد.

افزایش سیلیسیم محلول غذایی تا غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر منجر به افزایش معنی‌دار اسانس در برگ و سرشاخه‌های گلدار گیاه گردید، اما با افزایش بیشتر سیلیسیم (۱۲۵–۷۵ میلی‌گرم در لیتر) با وجود بهبود اندک درصد اسانس، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. بر همین اساس بهترین تیمار یا غلظت سیلیسیم بر مبنای درصد اسانس ۵۰ میلی‌گرم در لیتر است. با توجه به تحقیقات اندک در مورد نقش سیلیسیم بر گیاهان دارویی، اطلاعات بسیار اندکی در مورد نقش این عنصر مفید و شبه‌ضروری بر تولید متابولیت‌های ثانویه وجود دارد. با توجه به هدایت‌الکتریکی بالا و درنتیجه تنش اسمزی ناشی از فرمولاسیون Hoagland و Arnon (۱۹۵۰) و حساسیت بادرنجبویه به شوری (Ozturk *et al*., 2004)، کاهش درصد اسانس در تیمار شاهد (بدون سیلیسیم) می‌تواند به‌دلیل حساسیت این گیاه به شوری ناشی از قابلیت اسمزی محلول غذایی باشد. لازم به‌ذکر است به‌دلیل عدم تولید این گیاه دارویی در کشت‌های بدون خاک، فرمولاسیون کودی مختص این گیاه در دسترس نبوده و فرمولاسیون استاندارد Hoagland و Arnon (۱۹۵۰) مورد استفاده قرار گرفت. Ozturk و همکاران (۲۰۰۴) در بررسی تأثیر شوری آب آبیاری بر بادرنجبویه بیان نمودند که افزایش تنش شوری منجر به کاهش تولید اسانس در این گیاه گردید. بنابراین همان‌طوری که ذکر گردید احتمالاً شوری محلول غذایی ناشی از افزودن عناصر معدنی منجر به ایجاد تنش اسمزی برای گیاه و در

نتیجه کاهش متابولیت‌های ثانویه در گیاه گردیده است، اما افزودن سیلیسیم به محلول غذایی ضمن بهبود شرایط و تعدیل اثرهای نامطلوب تنش اسمزی، منجر به افزایش تولید اسانس شده است. بدیهی است انجام آزمایش‌های تکمیلی برای بررسی برهم‌کنش شوری و سیلیسیم و بیوسنتز ترکیب‌های بیوشیمیایی و متابولیت‌های ثانویه در این گیاه حائز اهمیت است.

عملکرد اسانس که تابعی از زیست‌توده و وزن تر بوته و درصد اسانس است نسبت به افزایش سیلیسیم واکنش مثبت و روندی صعودی داشت. دلیل افزایش عملکرد اسانس ناشی از افزایش جذب سیلیسیم و در نتیجه تأثیر مثبت این عنصر بر بهبود رشد و نمو و زیست‌توده تولیدی است. همچنین درصد اسانس تولیدی نیز با افزایش تأمین و جذب سیلیسیم روندی صعودی داشت.

براساس نتایج آزمایش، روند مشخصی در مورد برهم‌کنش ترکیب‌های اسانس بادرنجبویه و سیلیسیم در سیستم کشت بدون خاک وجود ندارد. برخی ترکیب‌ها مانند سیترونلال، ژرانیول، آلفا-کادینول و جرماکرن D در گیاهان شاهد (بدون تغذیه سیلیسیمی) نسبت به تیمارهای حاوی سیلیسیم بیشتر بود، اما ترکیب‌هایی مانند ژرانیک اسید، ژرانیل و لینالول در گیاهان تغذیه شده با سیلیسیم در مقایسه با شاهد بیشتر بود. افزایش ترکیب‌های اصلی یعنی سیترونلال، ژرانیول، آلفا-کادینول و جرماکرن D در تیمار شاهد می‌تواند به‌دلیل تنش اسمزی محلول غذایی ناشی از افزودن عناصر معدنی و درنتیجه تحریک گیاه بادرنجبویه به تولید متابولیت‌های ثانویه باشد که با نتایج تحقیقات Gengmao و همکاران (۲۰۱۵) مبنی بر افزایش ترکیب‌های معطر پیچ‌امین‌الدوله تحت تنش اسمزی مطابقت دارد. براساس نتایج آزمایش، افزایش نریل و کاهش ژرانیول در برخی تیمارهای سیلیسیمی در مقایسه با شاهد می‌تواند ناشی از برهم‌کنش محیط رشد یعنی محیط کنترل شده گلخانه و سیستم بدون خاک و قابلیت دسترسی گیاه بادرنجبویه به عناصر معدنی (تغییر تبادل یونی) در غلظت مشخصی از سیلیسیم باشد. در همین ارتباط Surendran و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی تولید گونه‌ای نعناع (*Mentha spicata*) در کشت بدون خاک گزارش نمودند که اسانس گیاهان پرورش یافته در کشت بدون خاک فاقد ترکیب‌های استروئیدی و ساپونینی بود. به‌طور کلی واکنش ترکیب‌های اسانس علاوه‌بر ژنتیک، به‌شدت تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد. بر همین اساس بررسی عمیق‌تر مسیر پیچیده بیوسنتزی متابولیت‌های ثانویه با توجه به اطلاعات اندک در مورد نقش عناصر معدنی به‌ویژه عنصر سیلیسیم در تولید متابولیت‌های ثانویه طی تحقیقات تکمیلی ضروریست.

به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی باید گفت که بیوماس، غلظت، عملکرد و کیفیت اسانس گیاه دارویی بادرنجبویه تحت تأثیر سیلیسیم محلول غذایی قرار گرفت. بر مبنای عملکرد اسانس غلظت ۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم غلظت قابل توصیه است. با توجه به تحقیقات پیشین و نتایج این آزمایش بادرنجبویه گیاهی حساس به تنش و شرایط نامطلوب محیطی است. بر همین اساس عنصری همانند سیلیسیم که منجر به تعدیل اثرهای نامطلوب تنش می‌گردد می‌تواند نقش به‌سزایی در افزایش زیست‌توده و عملکرد اسانس داشته باشد. بدیهی است آزمایش‌های تکمیلی به‌منظور بررسی برهم‌کنش تنش و سیلیسیم و همچنین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه بادرنجبویه به‌ویژه سازوکار تأثیر سیلیسیم بر ترکیب‌های اسانس اجتناب‌ناپذیر است.

منابع مورد استفاده

- Ainsworth, E.A. and Gillespie, K.M., 2007. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using folin-ciocalteu reagent. Nature Protocols, 2(4): 875-877.
- Al-aghabary, K., Zhu, Z. and Shi, Q., 2005. Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. Journal of Plant Nutrition, 27(12): 2101-2115.
- Chen, D., Wang, S., Yin, L. and Deng, X., 2018. How does silicon mediate plant water uptake and loss under water deficiency? Frontiers in Plant Science, 9(281): 1-7.

under abiotic-induced oxidative stress: a review. Frontiers in Plant Science, 8(510): 1-7.
- Kolesnikov, M.P. and Gins, V.K., 2001. Forms of silicon in medicinal plants. Applied Biochemistry and Microbiology, 37(5): 524-527.
- Manivannan, A. and Ahn, Y.K., 2017. Silicon regulates potential genes involved in major physiological processes in plants to combat stress. Frontiers in Plant Science, 8(1346): 1-13.
- Markovich, O., Steiner, E., Kouřil, Š., Tarkowski, P., Aharoni, A. and Elbaum, R., 2017. Silicon promotes cytokinin biosynthesis and delays senescence in Arabidopsis and Sorghum. Plant, Cell & Environment, 40(7): 1189-1196.
- Marschner, H., 2011. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, 672p.
- Ozturk, A.H.M.E.T., Unlukara, A., Ipek, A.R.İ.F. and Gurbuz, B.İ.L.A.L., 2004. Effects of salt stress and water deficit on plant growth and essential oil content of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). Pakistan Journal of Botany, 36(4): 787-792.
- Pardossi, A., Tognoni, F. and Incrocci, L., 2004. Mediterranean greenhouse technology. Chronica horticulturae, 44(2): 28-34.
- Parveen, A., Liu, W., Hussain, S., Asghar, J., Perveen, S. and Xiong, Y., 2019. Silicon priming regulates morpho-physiological growth and oxidative metabolism in maize under drought stress. Plants, 8(10): 431.
- Sunkar, R., 2010. Plant Stress Tolerance: Methods in Molecular Biology, 639. Humana Press, 401p.
- Surendran, U., Chandran, C. and Joseph, E.J., 2017. Hydroponic cultivation of *Mentha spicata* and comparison of biochemical and antioxidant activities with soil-grown plants. Acta Physiologiae Plantarum, 39(1): 26.
- Voogt, W. and Sonneveld, C., 2001. Silicon in horticultural crops grown in soilless culture. In Studies in Plant Science, 8: 115-131.
- WHO (World Health Organization), 1998. Quality control methods for medicinal plant.
- Deshmukh, R.K., Ma, J.F. and Bélanger, R.R., 2017. Role of silicon in plants. Frontiers in Plant Science, 8(1858): 1-3.
- Elliott, C.L. and Snyder, G.H., 1991. Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 39(6): 1118-1119.
- Eneji, A.E., Inanaga, S., Muranaka, S., Li, J., Hattori, T., An, P. and Tsuji, W., 2008. Growth and nutrient use in four grasses under drought stress as mediated by silicon fertilizers. Journal of Plant Nutrition, 31(2): 355-365.
- Etesami, H. and Jeong, B.R., 2018. Silicon (Si): Review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants. Ecotoxicology and Environmental Safety, 147: 881-896.
- Gengmao, Z., Shihui, L., Xing, S., Yizhou, W. and Zipan, C., 2015. The role of silicon in physiology of the medicinal plant (*Lonicera japonica* L.) under salt stress. Scientific Reports, 5(12696): 1-11.
- Hoagland, D.R. and Arnon, D.I., 1950. The water-culture method for growing plants without soil. Circular. California Agricultural Experiment Station (Vol. 347), 32p.
- Kamenidou, S., Cavins, T.J. and Marek, S., 2008. Silicon supplements affect horticultural traits of greenhouse-produced ornamental sunflowers. HortScience, 43(1): 236-239.
- Kamenidou, S., Cavins, T.J. and Marek, S., 2010. Silicon supplements affect floricultural quality traits and elemental nutrient concentrations of greenhouse produced gerbera. Scientia Horticulturae, 123(3): 390-394.
- Khan, A., Khan, A.L., Muneer, S., Kim, Y.H., Al-Rawahi, A. and Al-Harrasi, A., 2019. Silicon and salinity: cross-talk in crop mediated stress tolerance mechanisms. Frontiers in Plant Science, 10(1429): 1-21.
- Kim, Y.H., Khan, A.L., Waqas, M. and Lee, I.J., 2017. Silicon regulates antioxidant activities of crop plants

Morphophysiological characteristics, quantity and quality of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) essential oil under the influence of silicic acid in soilless cultivation

S. Ahmadi[1], M.J. Nazarideljou[2*] and A. Hasani[3]

1- M.Sc. graduated, Department of Horticultural Science, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran
2*- Corresponding author, Department of Horticultural Science, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran
E-mail: nazarideljou@yahoo.com
3- Department of Horticultural Science, Urmia University, Urmia, Iran

Received: February 2020 Revised: July 2020 Accepted: July 2020

Abstract

Many studies have been conducted on the role of essential elements in various aspects of medicinal plant production. However, the role of silicon (Si) as a quasi-essential or beneficial element in the growth and development, quantity and quality of essential oil of many medicinal plants is unknown. In this regard, different concentrations of silicic acid including 0 (control), 25, 50, 75, 100, and 125 mg l^{-1} were added to the standard Hoagland and Arnone nutrient solution, and morphophysiological reactions and secondary metabolites production of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) were evaluated in soilless cultivation (hydroponic system). The fresh and dry weight of leaves and roots increased with the addition of Si to the nutrient solution compared to the control. The percentage of biomass changes varied depending on the concentration of Si, so that the plant fresh weight at 125 mg l^{-1} of Si increased by 41% compared to the control (without Si). However, the percentage of essential oil (fresh materials) in plants fed with Si increased significantly compared to control. Accordingly, the percentage of essential oil in different Si concentrations including 0, 25, 50, 75, 100 and 125 mg l^{-1} were 0.16, 0.21, 0.31, 0.33, 0.34 and 0.34(%), respectively. The reaction of lemon balm essential oil compounds to Si also indicated the important role of this element in the quality of the essential oil produced. The highest amounts of geraniol (21.27%) and citral (58.71%) were obtained in concentrations of 50 and 125 mg l^{-1} of Si, respectively. Also, the most important main compounds in various concentrations of Si (mg l^{-1}) included citral+geraniol (Conc.0), citral+neryl (Conc.25), citral+linalool (Conc.50), citral+caryophyllene oxide (Conc.75), citral+geranyl acetate (Conc.100) and citral+geranyl (Conc.125). Based on the results of the experiment, Si as a beneficial element has a significant effect on the growth and development parameters, yield, and quality of essential oil of lemon balm.

Keywords: Silicon, medicinal plants, hydroponics, mineral nutrition, beneficial elements, greenhouse.