Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 49, No 3, Autumn 2018 (755-767)
DOI: 10.22059/ijhs.2017.231417.1230

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۴۹، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۷ (ص ۷۶۷-۷۵۵)

تأثیر نانوکلات روی بر صفات مورفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه دارویی زرین گیاه یا بادرنجبویه دنایی در شرایط تنش خشکی

سودابه مفاخری[1*]، بهور اصغری[1] و محمدجواد نیکجویان[2]
۱ و ۲. استادیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۲۸ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۱۴)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی با نانوکلات، بر روی مقاومت به تنش خشکی و همچنین صفات کمی و کیفی زرین گیاه یا بادرنجبویه دنایی تحت تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی، با ۳ تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل تنش خشکی در سه سطح (آبیاری در حد ظرفیت زراعی و آبیاری به‌میزان ۳۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی) و محلول‌پاشی با نانوکلات‌روی در دو سطح (محلول‌پاشی و عدم محلول‌پاشی) بود. نتایج نشان دادند که با افزایش شدت تنش خشکی، ارتفاع بوته و وزن تر و خشک بوته به‌صورت معنی‌داری کاهش پیدا کرد، و محلول‌پاشی با روی، سبب افزایش این صفات گردید. کاربرد روی، توانسته میزان کلروفیل a را افزایش دهد و بیشترین مقدار کلروفیل کل (۰/۸۵ میلی‌گرم در گرم برگ تازه) از گیاهان رشدکرده در شرایط بدون تنش به‌دست آمد. بیشترین درصد اسانس (۱/۵۳ درصد) نیز از گیاهان تحت تیمار تنش ۶۰ درصد ظرفیت زراعی+ محلول‌پاشی با روی استحصال گردید. چهار ترکیب اصلی اسانس؛ لیمونن، وربنون، نرال و سیترال بود که بیشترین مقدار لیمونن (۳۰/۷۲ درصد)، وربنون (۳۳/۷۲ درصد) و نرال (۷/۳۷ درصد) از گیاهان تحت تأثیر تنش ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه حاصل شد، مقدار سه ترکیب لیمونن، وربنون و نرال، در شرایط کاربرد روی، نسبت به حالت بدون محلول‌پاشی با روی، افزایش معنی‌داری یافتند.

واژه‌های کلیدی: اسانس، کلروفیل، لیمونن، *Dracocephalum kotschyi* Bioss.

Effect of nano zinc chelate on morpho-physiological and phytochemical chracteristics of *Dracocephalum kotschyi* Bioss in drought stress condition

Sudabeh Mafakheri[1*], Behvar Asghari[1] and Mohammad Javad Nikjuyan[2]
1, 2. Assistant Professor and Former M. Sc. Student, College of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
(Received: Apr. 17, 2017 - Accepted: Nov. 5, 2017)

ABSTRACT

For the investigation of effects of nano Zinc chelate foliar application on drought stress resistance of *Dracocephalum kotschyi*, and it's qualitative and quantitative characteristics, a field experiment, was conducted during 2016 growing season at research field of Imam Khomeini International University of Qazvin, Iran. The experiment was laid out in Factorial experiment based on randomized complete block design with 6 treatments and 3 replications. The experimental factors were; drought stress at three levels (100, 60 and 30% of field capacity) and nano zinc chelate at two levels (with and without foliar application). Results showed that with increasing of drought stress intensity, fresh and dry weight of plants as well as plant height were significantly decreased, but foliar application of zinc caused increasing in these traits. The maximum essential oil percentage (1.53%) was observed in plants treated with moderate drought stress and Zn foliar application. Zinc application could increase the amount of chlorophyll a, however the highest chlorophyll content (0.85 mg/gFW) was obtained by 100% FC irrigation. Main constituents of *D.kotschyi* essential oil are limonene, verbenone, neral and citral. The maximum percentage of limonene (30.72%), verbenone (33.72%) and neral (7.37%) were found in plants that treated with medium drought stress (60% FC). However the amounts of limonene, neral and verbenone were increased in presence of zinc foliar application.

Keywords: Chlorophyll content, *Dracocephalum kotschyi* Bioss, essential oil, Limonene.

* Corresponding author E-mail: smafakheri@gmail.com

www.SID.ir

مقدمه

زرین‌گیاه یا بادرنجبویه دنایی با نام علمی *Dracocephalum kotschyi* Boiss از گیاهان دارویی با ارزش و انحصاری کشور ما ایران می‌باشد؛ که متاسفانه در سال‌های اخیر، به دلایل مختلفی از جمله خشکسالی و بهره‌برداری بیش از اندازه توسط دام و انسان، در خطر انقراض قرار گرفته است. این گیاه از خانواده نعناع است و معمولاً در ارتفاعات کوهستانی استان‌های گرگان، مازندران، همدان، کرمانشاه، فارس (کوه دنا)، ارتفاعات تهران (کوه‌های البرز) و ارتفاعات شمال سمنان می‌روید (Mozaffarian, 2013). در فرهنگ‌های مختلف، از این گیاه با نام‌های زرابی، گیاه آهوان و پلنگ‌مشک یاد می‌شود. پیکر رویشی زرین‌گیاه، حاوی اسانس زرد رنگ و بسیار معطر است که ترکیباتی نظیر لیمونین[1]، آلفا ترپینئول[2]، وربنون[3] و و کاریوفیلن[4]، اجزای اصلی آن می‌باشند (Mozaffarian, 2013). لیمونن، به‌عنوان یک مهارکننده آنزیم مبدل آنژیوتانسین[5]، ضد تومور، ضد ویروس، باکتری‌کش و ضد اسپاسم، عمل می‌کند (Jahanian *et al*., 2005).

تنش خشکی، اثرات زیان‌آوری بر رشد و عملکرد گیاهان می‌گذارد و می‌تواند از طریق تحریک یک سری واکنش‌های بیوشیمیایی، سبب بر هم خوردن تعادل بین سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی و رادیکال‌های آزاد شود، که رادیکال‌های آزاد، آسیب سلولی را باعث می‌شوند (JubanyMar *et al*., 2010). روی، به‌عنوان یک عنصر ضروری کم‌مصرف، نقش حیاتی در ایجاد مقاومت به تنش خشکی ایفا می‌کند؛ تأثیر روی، بر تشکیل کلروفیل، توسعه کلروپلاست، افزایش سرعت فتوسنتز، جذب بیشتر عناصر غذایی و در مجموع افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان، ثابت شده است (Satcher, 2011; Tsonev & Lidon, 2012). نتایج حاصل از پژوهش‌ها، نشان داده است که عنصر روی می‌تواند تأثیر منفی تعداد زیادی از تنش‌های غیرزیستی از جمله گرما، شوری، سرما، خشکی، آلودگی با فلزات سنگین و غیره را کاهش دهد (Li & Yu, 2008;Peck & McDonald, 2010;Upadhyaya *et al*., 2013; Thounaojam *et al*., 2014). مکانیسم تأثیر روی بر کاهش تنش خشکی، هنوز کاملا مشخص نشده است؛ اما به‌نظر می‌آید این تأثیر به‌دلیل نقش روی بر افزایش راندمان مصرف آب، پتانسیل اسمزی برگ و تغییر در مقدار تعرق باشد (Karim *et al*., 2012)، کاهش خسارت بیوشیمیایی، از طریق فعال‌سازی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نیز توجیه‌کننده تأثیر روی در کاهش آسیب ناشی از استرس خشکی است (Upadhyaya *et al*., 2013). در تحقیقی که توسط Movahedi-Dehnavi & Modares-Sanavi (2006) انجام گرفت، تأثیر محلول‌پاشی با روی و منگنز بر سه کولتیوار گلرنگ، تحت شرایط تنش خشکی، بررسی شد. آنها به این نتیجه رسیدند که محلول‌پاشی با روی و منگنز، اجزای عملکرد شامل؛ تعداد میوه در گیاه، تعداد بذر در میوه و وزن هزار دانه را در حضور تنش خشکی، بهبود بخشید. مطالعات انجام‌شده در رابطه با تعدادی گیاه از جمله کلم قرمز (Hajiboland, 2010)، گوجه‌فرنگی (Sadoogh, 2014)، آفتابگردان (Eslami & Dehghanzedeh, 2014) و چای (Upadhyana *et al*., 2013)، نشان دادند که روی تأثیر مخرب تنش را به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد؛ با این وجود، در گیاه دارویی زیره سبز، تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار عملکرد کمی و کیفی گیاه شد و محلول‌پاشی با روی نیز اثری بر بهبود عملکرد تحت شرایط تنش خشکی، نداشت (Mazaheri *et al*., 2013). مقدار روی قابل‌جذب در خاک‌های مناطق خشک جهان بین ۰/۱ تا ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است، که با حداقل نیاز گیاه به این عنصر (۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) فاصله بسیار دارد (Gupta, 2005)؛ به‌همین دلیل، استفاده از کودهای حاوی روی، برای رسیدن به عملکرد مطلوب گیاهان، اجتناب‌ناپذیر است. علاوه بر این، در زمین‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، خاک‌های سطحی، تهی از آب بوده و در نتیجه انتشار روی، از محلول خاک به سمت ریشه، به سختی انجام می‌گیرد

1. Limonene
2. Alpha-terpineol
3. Verbenone
4. Caryophyllene
5. Angiotensin

Archive of SID

www.SID.ir

(Baybordi, 2006). متأسفانه بخش وسیعی از کشورمان ایران، در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهانی قرار دارد؛ بنابراین جای تعجب نیست که فقر روی، در بسیاری از مزارع و باغ‌های کشور به چشم می‌خورد و کاهش عملکرد کمی و کیفی محصولات کشاورزی را به‌دنبال دارد. لذا با توجه به اهمیت گیاه دارویی زرین‌گیاه در زیست‌بوم کشور و لزوم توسعه کشت آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک، هدف از اجرای این آزمایش، بررسی تأثیر روی بر مقاومت گیاه به تنش خشکی و همچنین کمیت و کیفیت محصول زرین‌گیاه است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره) واقع در قزوین، انجام گرفت. قزوین با آب و هوای سرد و نیمه‌خشک، در عرض شمالی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه و ۵۰ درجه شرقی و ارتفاع ۱۳۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد. خاک محل آزمایش دارای بافت لومی بود که مشخصات آن در جدول ۱ آمده است. آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل تنش خشکی در سه سطح (T0، T1 و T2 به‌ترتیب آبیاری در حد ۱۰۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) و محلول‌پاشی با نانوکلات روی در دو سطح (Z1 و Z0 به‌ترتیب محلول‌پاشی و عدم محلول‌پاشی) بود. اندازه کرت‌ها برای هر تکرار، ۴×۳ متر در نظر گرفته شد. بذرهای زرین‌گیاه در تابستان ۱۳۹۴ از گیاهان وحشی روییده‌شده در رشته کوه البرز واقع در کوه‌های شمال تهران، برداشت گردید و جنس و گونه آن با کد هرباریومی PMP ۳۰۴ در دانشگاه شهید بهشتی تأیید شد. نانوکلات روی مورد استفاده در این تحقیق، با نام تجاری خضراء و از شرکت صدور احرار شرق، تهیه گردید. بذرها در اسفند ۱۳۹۴ در سینی‌های نشاء در گلخانه، کشت شد و نشاءها در بهار ۱۳۹۵ به کرت‌هاتی آماده‌شده، منتقل گردید و به‌صورت ردیفی و با تراکم ۳۰ بوته در متر مربع کشت شدند. بعد از کشت تا زمان استقرار گیاه، آبیاری منظم صورت گرفت. محلول‌پاشی با نانوکلات روی (با غلظت ۱/۵ در هزار، مطابق با دستورالعمل تولیدکننده) در مراحل ساقه‌دهی و شروع غنچه‌دهی گیاه انجام شد. در طول دوران رشد و نمو گیاهان، هر ۱۰ روز یک‌بار، نمونه‌برداری از رطوبت خاک مزرعه انجام گرفت؛ به‌این ترتیب که ۱۰ نمونه تصادفی خاک از اعماق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری برداشت گردید و میزان رطوبت خاک به‌روش وزنی و با استفاده از اختلاف بین وزن اولیه نمونه‌های خاک و وزن خشک نمونه‌ها پس از قراردادن در آون، تحت دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، به‌مدت ۲۴ ساعت، تعیین شد. روند اعمال تنش‌ها، از اوایل خرداد که احتمال باران بهاری کاهش یافت شروع و تا مرحله گلدهی کامل و برداشت گیاهان، ادامه یافت. در این فاصله نیز، در این منطقه بارندگی رخ نداد. مقدار آب مورد استفاده در هر نوبت آبیاری توسط رابطه زیر محاسبه شد:

$$d = \frac{10 \times (Wfe - Wo) \times S \times D}{E}$$

که در آن، d: مقدار آب آبیاری به میلی‌متر؛ Wfe: درصد وزنی رطوبت خاک در ظرفیت زراعی؛ Wo: درصد رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری؛ S: وزن مخصوص خاک، E: راندمان آبیاری و D: عمق لایه خاک نمونه‌برداری‌شده، می‌باشد.

در مرحله گلدهی، ۷۰ درصد بوته‌ها (شهریور ۹۵)، برای بررسی فاکتورهای مورفولوژیکی، ۱۰ بوته به‌طور تصادفی از هر کرت، انتخاب شده و صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد گل در بوته، وزن تر و خشک بوته اندازه‌گیری شد. پیکر رویشی خشک‌شده زرین‌گیاه، جهت استخراج اسانس به آزمایشگاه منتقل گردید. اسانس‌گیری به‌روش تقطیر با آب و توسط دستگاه کلونجر انجام شد. به‌منظور تجزیه نمونه‌های اسانس و اندازه‌گیری دقیق ترکیبات موجود در آن، از دستگاه کروماتوگرافی گازی و کروماتوگرافی متصل به طیف‌سنج جرمی استفاده شد. آنالیز کمی اسانس به‌دست‌آمده، به‌وسیله دستگاه کروماتوگرافی گازی[1] مدل YL6100 انجام گرفت که مجهز به آشکارساز FID و ستونی به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵

1. GC (Gas Chromatography)

Archive of SID

www.SID.ir

میلی‌متر و ضخامت لایه ۰/۲۵ میکرومتر از نوع DB-5 بود. ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس، توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌نگار جرمی[1] مدل YL6900، شناسایی گردید. شناسایی مواد تشکیل‌دهنده اسانس، به‌وسیله محاسبه اندیس بازداری کواتز برای هر کدام از ترکیبات و مقایسه آن‌ها با مقادیر موجود در منابع و همچنین مقایسه طیف جرمی آن‌ها با اطلاعات موجود در کتابخانه داخلی دستگاه GC-Ms انجام گرفت.

برای اندازه‌گیری رنگدانه‌های فتوسنتزی، ۰/۲۵ گرم از برگ‌های جوان در ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ ٪ قرار داده شد، سپس نمونه‌ها در سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ده دقیقه سانتریفیوژ گردید و مقدار کلروفیل a در طیف جذبی ۶۶۳ نانومتر و مقدار کلروفیل b در ۶۴۶ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر[2] قرائت و به‌کمک فرمول‌های زیر، بر اساس میلی‌گرم کلروفیل در گرم برگ تازه محاسبه شد (Dere *et al*., 1998).

Chlorophyll a =
(19.3 × A663 – 0.86 × A645) V/100W

Chlorophyll b =
(19.3 × A645 – 3.6 × A663) V/100W

V= حجم محلول صاف‌شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)

A= جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۶ نانومتر

W= وزن تر نمونه بر حسب گرم

جهت تجزیه‌وتحلیل داده‌های به‌دست‌آمده از نرم‌افزار آماری SPSS ver22 استفاده شد. مقایسه میانگین‌های به‌دست آمده توسط روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن و در سطح ۵ درصد انجام گردید.

نتایج

ارتفاع بوته

همان‌گونه که در جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) مشاهده می‌شود، تأثیر تنش خشکی در سطح احتمال ۵ درصد و محلول‌پاشی با روی در سطح احتمال ۱ درصد، بر صفت ارتفاع بوته معنی‌دار بود. بررسی مقایسه میانگین داده‌های آزمایش نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته از تیمارهای T0 (بدون تنش) و Z1 (محلول‌پاشی با روی) به‌ترتیب به‌مقدار ۳۱/۵ و ۳۱/۱۶ سانتی‌متر حاصل گردید. ارتفاع بوته در شرایط بدون تنش خشکی بیش از ۱۴ درصد بیشتر از گیاهانی بود که تحت تنش خشکی قرار گرفتند. محلول‌پاشی با روی نیز تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته داشت، به‌طوری که در حالت تیمار با کود روی، ارتفاع بوته‌ها بیش از ۱۷ درصد، بیشتر از تیمار بدون کود بود (جدول ۵).

تعداد شاخه فرعی در بوته

تأثیر تیمارهای آزمایشی بر تعداد شاخه فرعی در بوته، معنی‌دار نگردید (جدول ۲). با این وجود، بررسی مقایسه‌ای میانگین‌ها، نشان داد که بیشترین تعداد شاخه فرعی در بوته، به تعداد ۱۴/۴۹ و ۱۴/۵۹ عدد به‌ترتیب از تیمارهای T2 و Z0 حاصل گردید (جدول ۵). در شکل ۱ تأثیر تیمارهای آزمایشی بر تعداد شاخه فرعی در بوته، قابل مشاهده است.

تعداد گل‌آذین در بوته

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که فقط اثر تیمار تنش خشکی (در سطح احتمال ۱ درصد) بر تعداد گل‌آذین در بوته، معنی‌دار بود و محلول‌پاشی با روی و اثر متقابل تنش و محلول‌پاشی با روی، تأثیر معنی‌داری بر این صفت نشان ندادند (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نیز نشان داد که بالاترین تعداد گل‌آذین در بوته در گیاهان تحت تیمار T1 و T0 به‌ترتیب به تعداد ۸/۱۸ و ۸/۱۱ عدد حاصل گردید. کمترین تعداد گل‌آذین نیز در گیاهان تحت تنش شدید خشکی و به تعداد ۴/۶۸ عدد، تولید شد (جدول ۵). تأثیر متقابل تیمارهای آزمایشی بر این صفت در شکل ۱ مشخص است.

وزن تر بوته

تنش خشکی در سطح احتمال ۵ درصد و محلول‌پاشی با روی در سطح احتمال ۱ درصد بر فاکتور وزن تر بوته تأثیر معنی‌دار داشتند. اثر متقابل این دو فاکتور بر وزن تر بوته معنی‌دار نگردید (جدول ۲). بالاترین

1. GC-Mas (Gas chromatography–mass spectrometry)
2. Spectrophotometer

Archive of SID

www.SID.ir

وزن تر بوته به‌مقدار ۸۵/۵۶ و ۸۲/۳۷ گرم به‌ترتیب از گیاهان تیمارشده با T0 و Z1 حاصل شد. با افزایش تنش خشکی، وزن تر بوته، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت؛ به‌نحوی‌که در شرایط تنش شدید، وزن تر بوته بیش از ۳۶ درصد کمتر از حالت بدون تنش بود. محلول‌پاشی با روی نیز در مقایسه با حالت بدون محلول‌پاشی، سبب افزایش ۲۵ درصدی وزن تر بوته گردید (جدول ۵). همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، استفاده از کود روی، توانست به‌طور قابل‌توجهی تأثیر منفی تنش خشکی بر وزن تر بوته را کاهش دهد؛ به‌نحوی که در تیمارهای Z1T1 و Z1T2 وزن تر بوته، به‌ترتیب ۸۳/۸۹ و ۷۵/۱۲ گرم بوده است که در مقایسه با تیمارهای Z0T1 و Z0T2 (۶۴/۰۳ و ۵۰/۳۴ گرم) به‌ترتیب بیش از ۳۱ و ۴۹ درصد افزایش نشان داد.

وزن خشک بوته

بررسی نتایج حاصل از آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش خشکی در سطح احتمال ۵ درصد و محلول‌پاشی با روی در سطح احتمال ۱ درصد بر وزن خشک بوته، معنی‌دار بودند (جدول ۲). بیشترین وزن خشک بوته، به‌مقدار ۳۴/۰۱ و ۳۴/۲۷ گرم، به‌ترتیب از تیمارهای T0 و Z1 حاصل شدند و کمترین وزن خشک بوته نیز از گیاهان تحت تنش شدید (T2) و به‌مقدار ۲۳/۱۶ گرم حاصل شد. با افزایش شدت تنش، وزن خشک بوته به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد؛ به شکلی که در شرایط تنش شدید، در مقایسه با حالت بدون تنش، وزن خشک بوته بیش از ۴۶ درصد کاهش یافت. گیاهان بهره‌مند از کود روی نیز در مقایسه با گیاهانی که این کود را دریافت نکردند، افزایش وزن خشکی معادل ۴۵ درصد نشان دادند (جدول ۵). کاربرد روی در تیمارهای تحت تنش نیز سبب افزایش قابل‌توجه وزن خشک بوته گشته و تأثیر منفی تنش را تا حدود زیادی کاهش داد (شکل ۱).

درصد اسانس

درصد اسانس زرین‌گیاه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش خشکی (در سطح ۱ درصد) و اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی با روی (در سطح ۵ درصد) قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین درصد اسانس از گیاهان تحت تیمار Z1T1 (۶۰ درصد ظرفیت مزرعه و محلول‌پاشی با روی) و به‌مقدار ۱/۵۳ درصد استحصال گردید (شکل۲). در شرایط تنش خشکی، بیشترین درصد اسانس از تیمار T1 و به‌مقدار ۱/۴۸ درصد به‌دست آمد که در مقایسه با تیمار تنش شدید (T2) و تیمار بدون تنش (T0)، حدود ۴۰ درصد بیشتر بود (جدول ۶). اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی، بر درصد اسانس در شکل ۲ آمده است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایشی

Table 1. Physical and chemical properties of experimental Soil

EC	pH	OM (%)	N (%)	Available Potassium (ppm)	Available Phosphorus (ppm)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Texture
2.37	7.2	0.81	0.09	131	12.7	29	34	37	Loam

جدول ۲. تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی روی بر صفات مورفولوژیکی زرین‌گیاه

Table 2. Analysis of variance for the effect of drought stress and Zn foliar application on morphological traits of *D. kotschyi*

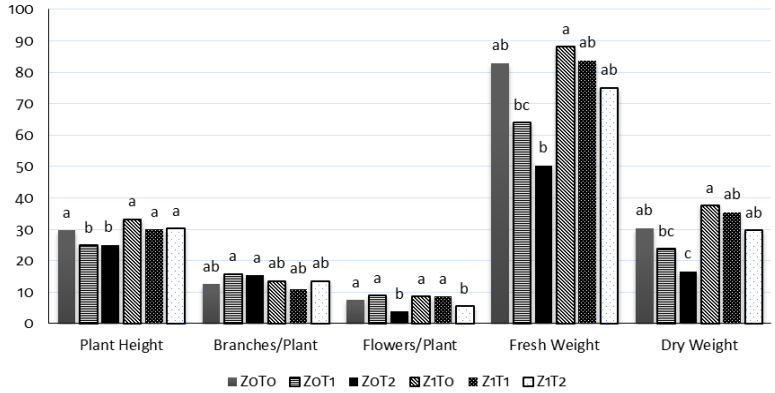
Source of Variance	df	Mean Square				
		Plant Height	Number of Branches	Number of Flowers	Fresh weight	Dry weight
Drought Stress	2	30.957 *	3.529 ns	28.974 **	781.672 *	178.475 *
Zn foliar application	1	93.389 **	16.743 ns	3.075 ns	1237.863 **	515.205 **
Drought Stress×Zn Foliar application	2	1.341 ns	12.952 ns	2.008 ns	155.757 ns	13.959 ns
Error	12	4.819	3.781	1.157	114.076	44.854
C.V. (%)		12.3	17.3	29.9	21.9	31.2

ns، *، **: به‌ترتیب نبود اختلاف معنی‌دار، اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, *, **: non-significantly difference and significantly differences at 5 and 1% of probability levels, respectively.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱. مقایسه میانگین تیمارهای آزمایشی بر صفات کمی زرین‌گیاه

Figure 1. Means comparison of treatments on quantitative traits in *D. kotschyi*

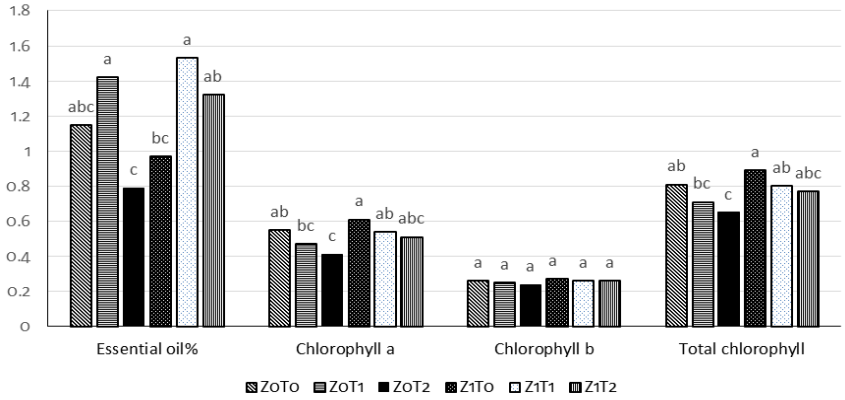
جدول ۳. تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی روی بر رنگدانه‌های فتوسنتزی و درصد اسانس زرین‌گیاه

Table 3. Analysis of variance for the effect of drought stress and Zn application on chlorophyll content and essential oil percentage of *D. kotschyi*

Source of Variance	df	Mean Square			
		Essence%	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total Chlorophyll
Drought Stress	2	0.354 **	0.023 *	0.001 ns	0.031 *
Zn foliar application	1	0.106 ns	0.029 *	0.001 ns	0.039 *
Drought Stress × Zn Foliar application	2	0.192 *	0.001 ns	4.172 ns	0.001 ns
Error	12	0.051	0.004	0.001	0.006
C.V. (%)		27.2	16.4	8.1	12.8

ns، *، **: به‌ترتیب نبود اختلاف معنی‌دار، اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, *, **: non-significantly difference and significantly differences at 5 and 1% of probability levels, respectively.



شکل ۲. مقایسه میانگین تیمارهای آزمایشی بر صفات کیفی زرین‌گیاه

Figure 2. Means comparison of treatments on qualitative traits in *D.kotschyi*

رنگدانه‌های فتوسنتزی

همان‌گونه که در جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) مشاهده می‌شود، تأثیر دو فاکتور تنش خشکی و محلول‌پاشی با روی، بر مقدار کلروفیل a و کلروفیل کل، در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید. ولی اثر هیچ‌یک از فاکتورهای آزمایشی، بر مقدار کلروفیل b معنی‌دار نشد. با وجود معنی‌دار نبودن اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی با روی، بررسی میانگین داده‌ها، نشان داد که در تمامی سطوح تنش، کاربرد روی توانسته میزان کلروفیل a را افزایش دهد (شکل۲). با این وجود، در تیمارهای تنش خشکی، بالاترین مقدار کلروفیل به‌مقدار ۰/۵۸ میلی‌گرم در گرم برگ تازه، از گیاهان تحت تیمار T0 به‌دست آمد که در مقایسه با شرایط تنش شدید (T2)، ۲۶ درصد بیشتر بود. همچنین بیشترین مقدار کلروفیل کل نیز از گیاهان رشدکرده در شرایط بدون تنش (۰/۸۵

www.SID.ir

میلی‌گرم در گرم برگ تازه) به‌دست آمد که در مقایسه با گیاهان تیمارشده با تنش شدید خشکی (۰/۷۱ میلی‌گرم در گرم برگ تازه)، حدود ۲۰ درصد بیشتر بود (جدول ۵). در رابطه با تأثیر تیمارهای آزمایشی بر مقدار کلروفیل کل نیز، همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود؛ محلوپاشی با نانوکلات روی توانسته مقدار این رنگدانه را در گیاهان تحت تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی، افزایش دهد. محلول‌پاشی با روی در مقایسه با عدم محلول‌پاشی، سبب افزایش معنی‌دار کلروفیل a و کلروفیل کل گردید؛ به‌نحوی که در شرایط کاربرد روی در مقایسه با عدم استفاده از این کود، میزان کلروفیل a حدود ۱۷ درصد و میزان کلروفیل کل، بیش از ۱۲ درصد افزایش یافت (جدول۵).

ترکیبات اسانس

دو ترکیب تشکیل‌دهنده اسانس زرین-گیاه پس از استخراج، شناسایی گردید و چهار جزء اصلی آن شامل لیمونن، وربنون، نرال و سیترال به‌ترتیب با شاخص‌های بازداری ۱۰۲۸، ۱۲۰۹، ۱۲۳۱ و ۱۲۴۵، مورد تجزیه آماری قرار گرفتند. همان‌گونه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، تنش خشکی در سطح احتمال ۱ درصد بر مقدار لیمونن، وربنون و نرال و در سطح احتمال ۵ درصد، بر مقدار سیترال تأثیر معنی‌دار داشت. تأثیر روی نیز بر مقدار لیمونن، وربنون و نرال در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید. اثر متقابل تنش خشکی و روی فقط بر مقدار سیترال و در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین داده‌های آزمایش، نشان داد که بیشترین مقدار لیمونن (۳۰/۷۲ درصد)، وربنون (۳۳/۷۲ درصد) و نرال (۷/۳۷ درصد) در گیاهان تحت تنش ۶۰ درصد ظرفیت زراعی (T1) حاصل شد، همچنین بیشترین درصد سیترال از گیاهان تیمارشده با Z0T1 و به‌مقدار ۹/۱۵ درصد به‌دست آمد (جدول۶). مقدار سه ترکیب لیمونن، وربنون و نرال در شرایط کاربرد روی، نسبت به حالت بدون محلول‌پاشی با روی، افزایش معنی‌دار یافتند؛ به‌طوری که مقدار این ترکیب‌ها در گیاهان محلول‌پاشی شده، به‌ترتیب ۶، ۶/۴۸ و ۲۵/۲ درصد بیشتر از گیاهان محلول‌پاشی نشده بود (جدول ۶). در شکل ۳، اثر تیمارهای آزمایشی بر مقدار ترکیبات اصلی تشکیل‌دهنده اسانس زرین‌گیاه، آمده است.

جدول ۴. تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی با روی بر ترکیبات اسانس زرین‌گیاه

Table 4. Analysis of variance for the effect of drought stress and Zn application on essential oil constituents of *D. kotschyi*

Source of Variance	df	Mean Square			
		Limonene	Verbenone	Neral	Citral
Drought Stress	2	39.044 **	44.512 **	15.694 **	2.958 *
Zn foliar application	1	15.792 **	16.666 **	7.605 **	0.497 ns
Drought Stress × Zn Foliar application	2	2.378 ns	0.699 ns	1.036 ns	5.492 **
Error	12	0.892	1.666	0.605	0.484
C.V. (%)		9	8.9	19	14.6

ns، *، **: به‌ترتیب نبود اختلاف معنی‌دار، اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, *, **: non-significantly difference and significantly differences at 5 and 1% of probability levels, respectively.

جدول ۵. مقایسه میانگین تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی با روی بر صفات اندازه‌گیری شده زرین‌گیاه

Table 5. Means comparison of measured traits in *D. kotschyi* under drought stress and Zn application

Treatment	Traits							
	Plant Height (cm)	Number of Branches	Number of Flowers	Fresh weight (gr)	Dry weight (gr)	Chlorophyll a (mg/gFLeaf)	Chlorophyll b (mg/gFLeaf)	Total Chlorophyll (mg/gFLeaf)
Drought Stress								
T0	31.50 a	13.05 a	8.11 a	85.56 a	34.01 a	0.58 a	0.27 a	0.85 a
T1	27.52 b	13.33 a	8.18 a	73.93 ab	29.58 ab	0.50 b	0.25 a	0.76 ab
T2	27.62 b	14.49 a	4.68 b	62.73 b	23.16 b	0.46 b	0.25 a	0.71 b
Zn (Foliar application)								
Z0	26.60 b	14.59 a	6.77 a	65.78 b	23.57b	0.47 b	0.25 a	0.73 b
Z1	31.16 a	12.66 a	7.60 a	82.37 a	34.27a	0.55 a	0.26 a	0.82 a

میانگین‌هایی که در هر ستون با حروف مشابه مشخص شده اند در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means in each column followed by similar letter(s), are not significantly different at 5% probability level.

Archive of SID

www.SID.ir

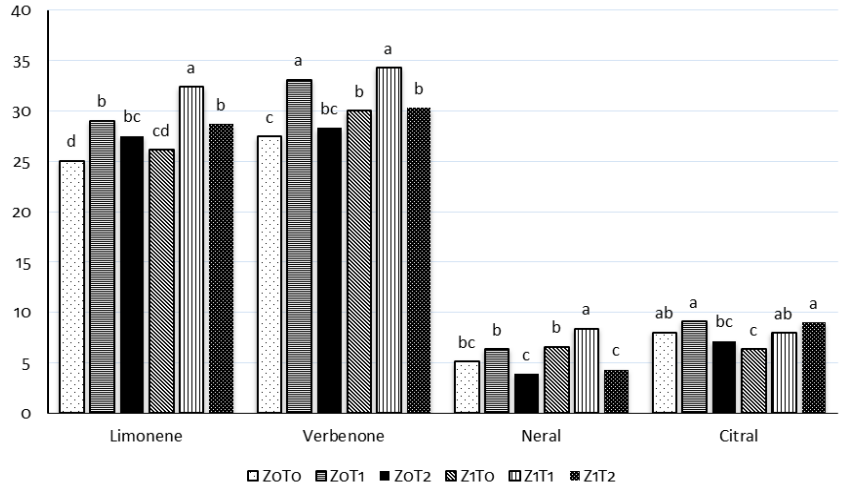
جدول ۶. مقایسه میانگین تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی با روی بر ترکیبات اسانس زرین‌گیاه

Table 6. Means comparison of essential oil constituents in *D. kotschyi* under drought stress and Zn application

Treatment	Traits				
	Essence (%)	Limonene (%)	Verbenone (%)	Neral (%)	Citral (%)
Drought Stress					
T0	1.06 b	25.62 c	28.74 b	5.88 b	7.19 b
T1	1.48 a	30.72 a	33.72 a	7.37 a	8.56 a
T2	1.06 b	28.13 b	29.31 b	4.14 c	8.11 a
Zn (Foliar application)					
Z0	1.21 a	27.22 b	29.63 b	5.15 b	8.12 a
Z1	1.27 a	29.10 a	31.55 a	6.45 a	7.79 a
Zn * Drought Stress					
Z0T0					8.03 b
Z0T1					9.15 a
Z0T2					7.19 c
Z1T0					6.34 d
Z1T1					7.98 bc
Z1T2					9.04 a

میانگین‌هایی که در هر ستون با حروف مشابه مشخص شده‌اند در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means in each column followed by similar letter(s), are not significantly different at 5% probability level.



شکل ۳. مقایسه میانگین تیمارهای آزمایشی بر ترکیبات اسانس زرین‌گیاه

Figure 3. Means comparison of treatments on essential oil constituents in *D. kotschyi*

بحث

همان‌گونه که در بخش نتایج بیان شد، بیشترین ارتفاع بوته، وزن تر و وزن خشک زرین‌گیاه، در تیمارهای بدون تنش و محلول‌پاشی با کود روی حاصل گردید. با افزایش شدت تنش خشکی، ارتفاع بوته‌ها و وزن تر و خشک آنها نیز به‌طور معنی‌داری کاهش یافت که استفاده از روی توانست این کاهش را تا حد زیادی خنثی کند. با وجود اینکه اثر متقابل تیمارهای آزمایشی، بر ارتفاع بوته معنی‌دار نگردید؛ ولی همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، محلول‌پاشی با روی توانسته است تأثیر منفی تنش خشکی بر ارتفاع بوته را تا حد زیادی جبران کند؛ به‌طوری‌که در تیمارهای Z1T1 و Z1T2 ارتفاع بوته به‌ترتیب ۳۰/۳ و ۳۰/۲ سانتی‌متر بود که در مقایسه با تیمارهای Z0T1 و Z0T2 به‌ترتیب ۲۱ و ۲۰ درصد بیشتر بود. عنصر روی احتمالاً به‌دلیل تأثیرش بر فعالیت غشاء سلولی و تحریک طویل‌شدن سلول‌های گیاه، باعث افزایش ارتفاع بوته می‌گردد. همین نقش مهم که در کنترل فعالیت غشای سلولی بازی می‌کند عامل خنثی‌سازی تأثیر منفی تنش خشکی بر رشد گیاه است. از سوی دیگر در حضور روی، بیوسنتز هورمون‌ها، به‌خصوص دو هورمون اکسین و جیبرلیک‌اسید، افزایش می‌یابد که این افزایش در مقدار هورمون‌های رشد، خود سبب تحریک رشد طولی گیاه و در نتیجه افزایش وزن تر و خشک بوته می‌گردد (Cakmak, 2008). محققان دیگر نیز اظهار

www.SID.ir

داشتند که عنصر روی با اثراتی که در ساخته‌شدن هورمون اکسین دارد، باعث افزایش رشد طولی ساقه می‌شود (Castr & Sotomayor, 1997; Malakouti & Tehrani, 2000; Falah & Nazari, 2013). نتایج تحقیق مشابهی که روی گیاه آفتابگردان انجام گرفت، حاکی از آن بود که تنش خشکی، تأثیر منفی بر عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان داشت. ولی کاربرد عنصر روی، به‌صورت محلول‌پاشی با غلظت یک درصد، توانست اثرات سوء ناشی از کم‌آبی را تقلیل دهد. در واقع در مناطق گرم و خشک، کاربرد کود روی به‌صورت محلول‌پاشی، می‌تواند در کاهش اثرات سوء ناشی از کم‌آبی مؤثر باشد (BaniAbbas *et al*., 2012). تأثیر منفی تنش خشکی بر رشد رویشی بسیاری از گیاهان دارویی قبلا بررسی شده است. (Khorasaninejad *et al*., 2011)، سطوح مختلف خشکی را در گیاه نعناع بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش شدت خشکی، وزن تر، وزن خشک و سایر صفات رویشی گیاه، کاهش می‌یابد. خشکی، باعث کاهش آماس و رشد سلولی و در نتیجه کـاهش رشد گیاه، می‌شود. از سوی دیگر، با پیشرفت تنش خشکی، همچنان که فتوسنتز برگ کاهش پیدا می‌کند، احتیاجات قندی برای تنظیم اسمزی در گیاهان افزایش و به‌دنبال آن، رشد ریشه به‌طور اجتناب‌ناپذیری متوقف می‌گردد. یافته‌های به‌دست آمده در این مطالعه، با نتایج بـه‌دست‌آمده در گیاه بادرنجبویه (Ardakani *et al*., 2007)، *Vignsubt erranean* (Vurayai *et al*., 2011)، دو گونه ریحان (Khalid *et al*., 2006) و بادرشبی (Aziz *et al*., 2008) مطابقت دارد.

در تحقیق حاضر، تنش ۶۰ درصد ظرفیت زراعی، توانسته به‌طور معنی‌داری مقدار تولید اسانس در گیاه، را افزایش دهد اما دو سطح آبیاری ۳۰ درصد و ۱۰۰ درصد ظرفیت‌زراعی، تفاوت معنی‌داری با هم نشان ندادند. نتایج پژوهش‌هایی که بر روی گیاهان دارویی بابونه آلمانی (Ahmadian *et al*., 2011)، بادرنجبویه (Ardakani *et al*., 2007) و رازیانه (Ahmadi Khandangholi *et al*., 2016) انجام شده، نشان دادند که مقدار اسانس این گیاهان دارویی، در شرایط تنش ملایم نسبت به تنش شدید و آبیاری کامل، بیشتر بود که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت دارند. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که با تشدید تنش خشکی، درصد اسانس کاهش یافت. کاهش مقدار اسانس، در نتیجه کاهش رطوبت خاک، ممکن است ناشی از اثر زیان‌آور تنش خشکی بر رشد و عملکرد پیکر رویشی گیاه باشد. اثرات نامناسب تنش خشکی شدید در کاهش عملکرد اسانس توسط Hassani (2007) در گیاه بادرشبی، Forouzandeh *et al*. (2011) روی نعناع فلفلی و Pirzad *et al*. (2016) در بابونه نیز گزارش شده اسـت.

بالاترین مقدار اسانس نیز از گیاهانی استحصال گردید که تحت تأثیر تنش ۶۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی با روی، قرار داشتند. بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه، نه تنها به‌صورت ژنتیکی کنترل می‌شود، بلکه به‌شدت می‌تواند تحت تأثیر شرایط محیطی نیز قرار گیرد. روی به‌عنوان جزء فلزی بسیاری از آنزیم‌ها، در متابولیسم ساکاریدها، پروتئین‌ها و فتوسنتز نقش دارد؛ و گلوکز از پیش‌ماده‌های بیوسنتز مونوترپن‌ها هستند و ساکاریدها نیز به‌عنوان منبع تأمین انرژی برای سنتز ترپنوئیدها به‌حساب می‌آیند (Sangwan *et al*., 2001)، لذا با توجه به اینکه روی در امر فتوسنتز و متابولیسم ساکاریدها دخیل می‌باشد و گلوکز نیز از مواد اولیه‌ای هستند که برای بیوسنتز ترپن‌ها لازم هستند؛ بنابراین این عنصر در سنتز و تجمع اسانس‌ها می‌تواند حائز اهمیت باشد (Misra *et al*., 2005; Moradi *et al*., 2016). در بررسی اثر رژیم‌های رطوبتی روی آویشن، بالاترین درصد عملکرد اسانس، در شرایط ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای به‌دست آمد و بین رژیم‌های رطوبتی ۹۰ و ۵۰ درصد ظرفیت‌زراعی، اختلاف معنی‌داری از این نظر وجود نداشت.

در این تحقیق، تنش خشکی بر مقدار کلروفیل برگ زرین‌گیاه، تأثیر منفی داشت و محلول‌پاشی با روی اثر افزاینده بر مقدار کلروفیل نشان داد. روی به‌طور مستقیم بر تشکیل کلروفیل مؤثر نیست، اما می‌تواند بر غلظت عناصر غذایی درگیر در تـشکیل کلروفیل یا عناصری که قسمتی از مولکول کلروفیل

Archive of SID

www.SID.ir

هستند مانند آهن و منیزیم مؤثر باشد (Kaya & Higgs, 2002). در تحقیقی بر روی گلرنگ، محلول‌پاشی روی و منگنز موجب افزایش کلروفیل شد؛ که این امر می‌تواند به‌علت نقش این عناصر در متابولیسم نیتروژن و ساخت کلروفیل باشد (Movahhedi Dehvani, 2004). در کل می‌توان گفت زمانی‌که گیاه در مراحل رویشی و یا زایشی رشد خود، در معرض تنش خشکی قرار گیرد، محلول‌پاشی عناصری از جمله روی می‌تواند موجب افزایش کلروفیل یا جلوگیری از کاهش شدید آن گردد و این امر سبب جلوگیری از کاهش فتوسنتز در اثر کاهش سبزینگی و در نتیجه رشد گیاه می‌شود و به این طریق، بـه گیاه کمک می‌کند تا سعی در حفظ ثبات عملکرد خود داشته باشد. تأثیر قابل‌توجه روی بر مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی توسط Vojudi Mehrabani *et al.* (2016) در گیاه شمعدانی، Song *et al.* (2015) در گیاه انگور، Fahad *et al.* (2014) در گیاه گلایول، Ayad *et al.* (2010) در گیاه شمعدانی و Ali *et al.* (2015) در گیاه سیاه‌دانه گزارش شده است. روی، عنصری ضروری و کم‌مصرف است که در هر ۶ کلاس آنزیم موجود در گیاهان (اکسیدوردوکتازها[1]، ترانسفرازها[2]، لیازها[3]، ایزومرازها[4]، هیدرولازها[5] و لیگازها[6]) شرکت داشته و بنابراین در سنتز پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها، متابولیسم سلول، محافظت غشا از رادیکال‌های آزاد اکسیژن و سایر فرآیندهای مرتبط با امر سازگاری گیاهان به تنش‌ها، نقش مهمی ایفا می‌کند. مکانیسم تأثیر روی بر کاهش تنش خشکی، هنوز کاملاً مشخص نشده است؛ اما به‌نظر می‌رسد این تأثیر به‌دلیل نقش روی بر افزایش جذب آب، پتانسیل اسمزی برگ و تغییر در مقدار تعرق باشد (Karim *et al.*, 2012)، کاهش خسارت بیوشیمیایی از طریق فعال‌سازی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نیز، می‌تواند توجیه‌کننده تأثیر روی در کاهش آسیب ناشی از استرس خشکی باشد (Upadhyaya *et al.*, 2013).

در این آزمایش، بیشترین مقدار لیمونن، وربنون و نرال از گیاهان تحت تأثیر تنش ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه (T1) استخراج شدند. همان‌گونه که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود، کاربرد روی در شرایط تنش متوسط خشکی، توانست سبب افزایش قابل‌توجه درصد این سه ترکیب گردد. اما در رابطه با سیترال، تأثیر روی منفی بوده است. در مطالعاتی که روی بررسی تأثیر خشکی بر ترکیبات اسانس انجام گرفته، معمولاً در سطح تنش ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه، مقدار برخی ترکیبات اصلی گیاه، افزایش نشان داده است. به‌عنوان مثال، بالاترین میزان تیمول در آویشن باغی، در شرایط آبیاری در ۷۰ ظرفیت مزرعه‌ای حاصل شد (Letchamo *et al.*, 1994). در بابونه کبیر، وقتی دور آبیاری از ۳ روز به ۹ روز یک‌بار افزایش یافت، میزان اسانس و به‌ویژه پارتنولید[7] آن افزایش معنی‌داری نشان داد (Saharkhiz *et al.*, 2007). تأثیر روی بر ترکیبات اسانس، توسط بسیاری از محققان، قبلاً گزارش شده است، روی سبب افزایش برخی ترکیبات اسانس و کاهش برخی دیگر می‌گردد؛ Said-Al Ahl & Omer (2009) بیان کردند که استفاده از محلول‌پاشی روی در گیاه گشنیز، سبب افزایش مقدار لینالول اسانس گردید؛ اما مقدار دودکان[8] را کاهش داد. بنابراین محلول‌پاشی با روی، در هر گیاه، اثر متفاوتی بر ترکیبات اسانس خواهد داشت و نیاز به بررسی دارد. به‌طور کلی، روی موجب افزایش محتوای پرولین، پروتئین و کلروفیل برگ در شرایط تنش خشکی می‌شود. کاربرد نانوکلات روی از طریق افزایش میزان جذب عنصر روی، افزایش محتوای پروتئین، حفظ کلروفیل برگ و در نتیجه فتوسنتز مؤثرتر، و همچنین افزایش پرولین در برگ گیاه، استرس اسمزی ناشی از تنش خشکی را کاهش داده و مقاومت زرین‌گیاه در برابر تنش خشکی را بهبود بخشید (Jamali *et al.*, 2012).

1. Oxidoreductases
2. Transferases
3. Lyases
4. Isomerase
5. Hydrolases
6. Ligases

7. Parthenolide
8. Dodecane

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این آزمایش نشان داد که مصرف روی موجب بهبود فاکتورهای مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی زرین‌گیاه شد. همچنین کاربرد روی توانست تأثیر منفی تنش خشکی بر صفات اندازه‌گیری‌شده را تا حد قابل‌توجهی، کاهش دهد. در واقع، در صورت کشت این گیاه در مناطق با محدودیت آب آبیاری، محلول‌پاشی با روی می‌تواند سبب افزایش مقاومت آن به خشکی گشته و میزان محصول را افزایش دهد. با این وجود، عوامل مختلفی در سازگاری و کشت این گیاه مؤثرند که کاربرد نانوکلات روی، فقط یکی از عوامل تسهیل‌کننده کشت این گیاه در مناطق خشک ایران به‌شمار می‌آید.

REFERENCES

1. Ahmadi-Khandangholi, Y., Akbari, Gh. A., Izadi Darbandi, A. & Alah Dadi, H. (2017). Effects of drought stress on performance and yield and other traits of different ecotypes of fennel (*Foeniculum vulgare* L.). *Environmental Stress in Crop Sciences*, 10(1), 173-182. (in Farsi)
2. Ahmadyan, A., Ghanbari, A. & Siahsar, B. (2011). Effects of drought stress and use of organic manure and in organic resid ues on yield, and German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Journal of Agroecology*, 3, (3), 383-395. (in Farsi)
3. Ali, A. K., Rasoul, N. H., Zaino, S. A., Abdulrahman, M. KH. & Hussain, H. (2015). Influence of Foliar Application of Zinc on the Growth, Yield, and Oil Content of Black Cumin (*Nigella sativa* L.). *Zanco Journal of Pure and Applied Sciences*, 27(5), 7-13.
4. Ardakani, M., Abbaszade, B., Sharifi Ashorabadi, A., Lebaschi, M. & Paknejad, F. (2007). Effect of water deficit on quantity and quality of *Melissa officinalis*. *Medicinal and Aromatic Plants Research of the Quarterly Iran*, 23(2), 251-261. (in Farsi)
5. Ayad, H. S., Reda, F. & Abdalla, M. S. (2010). Effect of putrescine and zinc on vegetative growth, photosynthetic pigment, lipid peroxidation and essential oil content of geranium. *World Journal of Agricultural Sciences*, 6(5), 601-610.
6. Aziz, E. A., Hendawi, S. T., Azza, E. E. D. & Omer, E. A. (2008). Effect of Soil Type and Irrigation Intervals on Plant Growth, Essential Oil and Constituents of *Thymus vulgaris* Plant. *American Research*, 4(2), 634-649.
7. Bani-Abbas, Z., Zamani, G. & Syari-Zahan, M.H. (2012). Effect of drought stress and Zn solphate spray on yield of sunflower. *Environmental Stress in Crop Sciences*, 4 (2), 165-172. (in Farsi)
8. Baybordi, A. (2006). *Zinc in Soils and Crop Nutrition*. Parivar Press.
9. Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification. *Plant and Soil*, 30 (2), 1-17.
10. Castr, J. & Sotomayor, C. (1997). The influence of boron and zinc sprays bloom time on almond fruit set. *II International Symposium on Pistachios and Almonds*. *Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science*, 4(4), 443-450.
11. Eslami, M. & Dehghanzadeh, H. (2014). The effect of zinc on yield and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress. *Science Journal Crop Sciences*, 3, 61-65.
12. Fahad, S., Masood Ahmad, K. H., Akbar Anjum, M. & Hussain, S. (2014). The effect of micronutrients (B, Zn and Fe) foliar application on the growth, flowering and corm production of gladiolus (*Gladiolus grandifloras* L.) in calcareous soils. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16, 1671-1682.
13. Fallah, S. & Nazari, M. (2013). Effect of biofertilizers and zinc on growth and yield of Fenugreek under drought stress in Shahrekord. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 5(2), 147-159. (in Farsi)
14. Forouzandeh, M., Sirousmehr, A., Ghanbari, A., Asgharipour, M. & Khomri, I. (2011). The Effect of Drought Stress and Urban Waste Compost on Quantitative and Qualitative Characteristics of Peppermint (*Mentha piperita*). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 9(4), 670-677. (in Farsi)
15. Grewal, H. S. & Williams, R. (2000). Zinc nutrition affects alfalfa response to water stress and excessive moisture. *Journal of Plant Nutrition*, 23, 942-962.
16. Gupta, A. P. (2005). Micronutrient status and fertilizer use scenario in India. *Journal of Trace Elem Med Biology*, 18, 325-331.
17. Hajiboland, R. & Amirazad, F. (2010). Drought tolerance in Zn-deficient red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. c*apitata* and *f. rubra*) plants. *Horticultural Sciences*, 37, 88-98.
18. Hassani, A. (2007). Effect of water deficit stress on growth, yield and essential oil content of Dragonhead (*Dracocephalum moldavica*). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 22 (3), 256-261. (in Farsi)

Archive of SID

www.SID.ir

19. Jahanian, F., Ebrahimi, S.A., Rahbar Roshandel, N. & Mahmoudian, M. (2005). Xanthomicrol is the main cytotoxic component of *Dracocephalum kotschyi* and a potential ant. *Phytochemistry*, 66, 1581-1592.
20. Jamali, J., Enteshari, Sh. & Hosseini, S. (2012). Effect of potassium and zinc on biochemical and physiological changes in maize (single cross 704). *Crop Physiology Journal*, 14, 37-44.
21. Jubany-Mar, T., Munn Bosch, S. & Alegre, L. (2010). Redox regulation of water stress responses in field-grown plants. Role of hydrogen peroxide and ascorbate. *Plant Physiology Biochemistry*, 48, 351-358.
22. Karim, M., Zhang, Y. Q., Zhao, R. R., Chen, X. P., Zhang, F. S. & Zou, C. Q. (2012). Alleviation of drought stress in winter wheat by late foliar application of zinc, boron, and manganese. *Journal of Plant Nutrition Soil Sci*ence, 175, 142-151.
23. Kaya, C. & Higgs, D. (2002). Response of tomato (*Lycopersicom esculentum* L.) cultivars to foliar application of zinc when grown in sand culture at low zinc. *Scientia Horticulturae*, 93, 53-64.
24. Khalid, Kh. A. (2006). Influence of water stress on growth, essential oil, and chemical composition of herbs (*Ocimum* sp.). *International Agrophysics*, 20, 289-296.
25. Letchamo, W., Marquard, R., Holzl, J. & Gosselin, A. (1994). Effect of water supply and light intensity on growth and essential oil of two *Thymus vulgaris* selection. *Angewandte Botanik*, 68(3-4), 83-88.
26. Li, T. &Yu, X. C. (2008). Effects of different concentrations of Cu2+, Zn2+ and Mn2+ in nutrient solution on leaf SOD activity of grafted and own-root cucumber seedlings under low temperature stress. *Agriculture Science China*, 41,772-778.
27. Malakouti, M. J. & Tehrani, M. M. (2000). *Effects of Micronutrients on the Yield and Quality of Agricultural Products, (The Influence of Micro-macro Elements*). Ph.D. thesis. Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University, Iran. (in Farsi)
28. Mazaheri, M., Fakheri, B., Piri, I. & Tavassoli, A. (2013). The Effect of Drought Stress and Micronutrient of Zn and Mn on yield and Essential Oil of *Cuminum cyminum*. *Journal of Novel Applied Sciences*, 2(9), 350-356.
29. Misra, A., Srivastava, A. K., Srivastava, N. K. & Khan, A. (2005). Zn-acquisition and its role in growth, photosynthesis, photosynthetic pigments and biochemical changes in essential monoterpene oil(s) of *Pelargonium graveolens*. *Photosynthetica*, 43(1), 153-155 .
30. Moradi, S., Pouryousef, M. & Andalibi, B. (2016). The effect of foliar application of micronutrients (iron and zinc) on yield and yield components of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 31(5), 753-762. (in Farsi)
31. Movahhedi Dehnavi, M. (2004). *Effect of foliar application of micronutrients (zinc and manganese) on the quantitative and qualitative yield of different autumn safflower cultivars under drought stress in in Isfahan*. Ph. D. thesis. Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University, Iran.
32. Mozaffarian, V. (2013). *Identification of medicinal and aromatic plants of Iran*. Farhang e Moaaser Press. (in Farsi)
33. Peck, A. W. & McDonald, G. K. (2010). Adequate zinc nutrition alleviates the adverse effects of heat stress in bread wheat. *Plant Soil*, 337, 355-374.
34. Pirzad, A., Alyari, H., Shakiba, M., Zehtab-Salmasi, S. & Mohammadi, A. (2006). Essential oil content and composition of german Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) at different irrigation regimes. *Journal of Agronomy*, 5(3), 451-455.
35. Sadoogh, F. S., Shariatmadari, H., Khoshgoftarmanesh, A. H. & Mosaddeghi, M. R. (2014). Adjusted nutrition of tomato with potassium and zinc in drought stress conditions induced by polyethylene glycol 6000 in hydroponic culture. *Journal of Science Technology Greenhouse Culture*, 18, 67-80.
36. Saharkhiz, M. J., Omidbeigi, R. & Sefidkon, F. (2007). The effect of different levels of phosphorus and Irrigation on secondary metabolites of feverfew. *3rd Symposium of Iran's Medicinal Plants*. Shahed university, Tehran, Iran. (in Farsi)
37. Said-Al Ahl, H. A. H. & Omer, E. A. (2009). Effect of spraying with zinc and / or iron on growth and chemical composition of coriander (*Coriandrum sativum* L.) harvested at three stages of development. *Journal of Medicinal Food Plants*, 1(2), 30-46.
38. Sangwan, N. S., Farooqi, A. H. A., Shabih, F. & Sangwan, R. S. (2001). Regulation of essential oil production in plants. *Plant Growth Regulator*, 34, 03-21.
39. Satcher, J. H., Baker, S. E., Kulik, H. J., Valdez, C. A., Krueger, R. L., Lightstone, F. C. & Aines, R. D. (2011). Modeling, synthesis and characterization of zinc containing carbonic anhydrase active site mimics. *Energy Procedia*, 4, 2090-2095.
40. Song, C. Z., Liu, M. Y., Meng, J. F., Xi, Z. M. & Zhang, Z. W. (2015). Promoting effect of foliage aprayed zinc sulfate on accumulation of sugar and phenolics in berries of *Vitis vinifera* cv. Merlot growing on zinc deficient soil. *Molecules*, 20, 2536-2554.
41. Thounaojam, T. C., Panda, P., Choudhury, S., Patra, H. K. & Panda, S. K. (2014). Zinc ameliorates copper-induced oxidative stress in developing rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. *Protoplasma*, 251, 61-69.

Archive of SID

www.SID.ir

42. Tsonev, T. & Lidon, F. J. C. (2012). Zinc in plants-An overview. *Emir J Food Agric*, 24, 322-333.
43. Upadhyaya, H., Dutta, B.K. & Panda, S.K. (2013). Zinc modulates drought induced biochemical damages in tea *(Camellia sinensis* (L) O Kuntze). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61, 6660-6670.
44. Vojodi Mehrabani, L., Hassanpouraghdam, M. B., Ebrahimzade, A. & Valizadeh, R. (2016). Effect of ZnSO4 foliar application on vegetative growth and phenolic and essential oil content on Geranium (*Pelargonium odoratissimum*). *Journal of Ornamental Plants*, 6(3), 193-199.
45. Vurayai, R., Emongor, V. & Moseki, B. (2011). Effect of water stress imposed at different growth and development stages on morphological traits and yield of *Bambara groundnusts* (*Vignsubt erranean* L.Verdc). *American Journal of Plant Physiology*, 6(1), 17-27.

Archive of SID

www.SID.ir