

تأثیر نانوذرات روی بر رشد، برخی صفات فیزیولوژیک و عملکرد اسانس *Dracocephalum moldavica* L. در شرایط تنش شوری

بهروز اسماعیل پور^{۱*}، مرتضی شیخعلی پور^۲ و موسی ترابی گیکلو^۳

۱- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، پست الکترونیک: behsmaiel@yahoo.com

۲- دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳- استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: خرداد ۱۳۹۹

تاریخ اصلاح نهایی: مرداد ۱۳۹۹

تاریخ پذیرش: شهریور ۱۳۹۹

چکیده

شوری خاک در مناطق خشک و نیمه خشک یکی از مهمترین تنش‌های غیرزیستی محسوب می‌شود که بر رشد و عملکرد گیاهان دارویی اثر منفی دارد. به منظور مطالعه اثر محلول پاشی سطوح مختلف نانوذرات روی بر خصوصیات رشد، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و عملکرد اسانس بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) در شرایط تنش شوری، یک آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۷ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل تنش شوری با غلظت‌های ۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و محلول پاشی با نانوذرات روی (۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بودند. شاخص‌هایی مانند ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک بخش هوایی، کلروفیل، نشت غشاء، محتوای آب نسبی، پرولین، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، درصد و عملکرد اسانس در این آزمایش اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که شوری شاخص‌های ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک اندام هوایی، کلروفیل و محتوای آب نسبی و عملکرد اسانس را به طور معنی داری کاهش داد و باعث افزایش میزان نشت غشاء و مقدار پرولین گردید. در حالی که محلول پاشی نانو روی از طریق افزایش رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از قبیل آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دسموتاز موجب کاهش آثار منفی تنش شوری گردید. بهترین اثر بهبوددهندگی نانو روی در شاخص‌های ارتفاع، وزن خشک ساقه، کلروفیل، نشت یونی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و عملکرد اسانس متعلق به تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو روی بود. بنابراین استفاده از غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو روی به عنوان کاهش دهنده آثار منفی تنش شوری در بادرشبو پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم، پرولین، سوپراکسید دسموتاز، کاتالاز، کلروفیل.

مقدمه

بادرشبو با نام علمی (*Dracocephalum moldavica*) L. گیاهی علفی از تیره Lamiaceae است (Mozaffarian, 2007). این گیاه بومی آسیای مرکزی می‌باشد (Dastmalchi et al., 2007) و بیشتر در شمال غرب ایران رشد می‌کند (Said-Alahl & Abdou, 2009). از عصاره بادرشبو برای رفع سردرد، سرماخوردگی، ضعف عمومی بدن، شستشوی دهان و تسکین دردهای عصبی، دندان درد و اسپاسم‌های معده و کلیه استفاده می‌شود (Hussein et al., 2006).

شوری یکی از مهمترین فاکتورهای محدودکننده رشد و عملکرد در گیاهان می‌باشد. خاک‌های شور تقریباً ۱۰٪ از کل زمین‌های جهان (در حدود یک بیلیون هکتار) را به خود اختصاص داده‌اند (Shahid et al., 2013). واکنش گیاهان به تنش شوری بسیار پیچیده بوده و با تغییر در رشد، متابولیسم و فیزیولوژی همراه است (Parida & Das, 2005). اثر زیان‌بار شوری روی رشد گیاه به قابلیت اسمزی پایین در خاک، تغذیه غیرمتعادل، اثرهای یونی خاص و یا ترکیبی از این عوامل بستگی دارد (Shrivastava & Kumar, 2015). املاح زیاد در خاک موجب کاهش قابلیت اسمزی آن شده و به دنبال آن جذب آب کاهش یافته و این امر باعث اختلال در تقسیم و رشد سلول‌ها می‌گردد (Hasanuzzaman et al., 2013). از سوی دیگر غلظت بالای نمک‌های محلول در خاک باعث می‌شود که این نمک‌ها با جذب و متابولیسم مواد معدنی ضروری مورد نیاز گیاه رقابت کنند و در پی آن رشد گیاه کاهش یابد (Siringam et al., 2011). تنش شوری با ایجاد گونه‌های اکسیژن واکنشگر و تنش اکسایشی سبب تخریب غشاء، چربی‌ها، پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و مولکول کلروفیل می‌گردد (Yasar et al., 2006).

روی یکی از عناصر ریزمغذی می‌باشد که نقش‌های بیولوژیکی زیادی از قبیل پایداری غشاهای سلولی، تشکیل کلروفیل، سیتوکروم، سنتز پروتئین، فعال‌سازی آنزیم، تنظیم

اکسین و غیره را در گیاهان دارد (Habibi, 2017). کاهش فتوسنتز در شرایط کمبود روی ناشی از کاهش فعالیت کربنیک آنهیدراز و بی‌نظمی تیلاکوئیدهای کلروپلاست است (Henriques, 2001). عنصر روی تأثیر مستقیمی بر فعالیت تعدادی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله سوپراکسید دسموتاز دارد و در کاهش خسارت ناشی از گونه‌های اکسیژن فعال به غشای سلولی، پروتئین‌ها، کلروفیل و اسید نوکلئیک دارای اهمیت است (Mirzapour & Khoshgoftar, 2006). این عنصر به‌عنوان کوفاکتور در ساختمان بسیاری از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مشارکت دارد، از این رو در شرایط تنش، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در اثر کمبود عناصر ریزمغذی کاهش یافته، در نتیجه آن حساسیت گیاهان به تنش‌های محیطی افزایش می‌یابد (Cakmak, 2000). محققان گزارش کردند که مصرف روی می‌تواند مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی به‌ویژه شوری را افزایش دهد (Baybordi, 2004). مطالعات نشان داده است که بسیاری از اراضی شور به کمبود عنصر روی دچارند (Khoshgoftarmanesh et al., 2004). محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف از جمله روی، از ساده‌ترین و سریع‌ترین راه‌های رفع کمبود این عناصر است (Brennan, 1991).

اخیراً فناوری نانو در سطح گسترده مورد توجه بیشتر پژوهشگران علوم مختلف قرار گرفته است (El-Ramady et al., 2017). نانوکودها موادی هستند که دارای ذراتی با قطر کمتر از ۱۰۰ نانومتر می‌باشند (Monica & Cremonini, 2009). نانوذرات اکسید روی یکی از پرکاربردترین نانوذرات اکسید فلزی است که چندین دهه است در صنعت استفاده می‌شود (Liu & Lal, 2015). نانوذرات اکسید روی موجب افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز در کهور مخملی می‌شود (Hernandez-Viezcas et al., 2011). Zhao و همکاران (۲۰۱۳) در یک بررسی گلخانه‌ای گزارش کردند که کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نانوذرات اکسید روی در خاک رشد خیار را

از شرکت نانوسانی تهیه شد که خصوصیات آن در جدول ۱ آمده است. تصاویر SEM و TEM از نانوذرات روی مورد استفاده در این مطالعه نیز در شکل ۱ آمده است. در این مطالعه از Zinc Oxide (ZnO) برای سنتز نانوذرات روی استفاده گردید. این آزمایش به صورت هیدروپونیک اجرا شد و بستر کشت شامل سه قسمت کوکویت و یک قسمت پرلایت بود و تغذیه با محلول هوگلند انجام شد.

برای انجام این آزمایش ابتدا بذره‌های بادرشبو در سینی کشت حاوی کوکویت کشت شده و بعد گیاهان در مرحله دو تا سه برگ حقیقی به گلدان اصلی با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و قطر دهانه ۲۵ سانتی‌متر منتقل شدند. تغذیه گیاهان توسط محلول هوگلند انجام شد که در مراحل اولیه رشد نصف غلظت این محلول برای تغذیه استفاده شد و بعد از مرحله ۸-۶ برگی شدن، گیاهان با غلظت کامل از این محلول دو بار در روز محلول‌دهی شدند. در هر بار محلول‌دهی، گیاهان ۳۰۰ میلی‌لیتر محلول غذایی دریافت کردند. به منظور اعمال تنش، گلدان‌ها هفته‌ای دو بار و در ساعات اولیه روز با محلول غذایی حاوی غلظت‌های ۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم محلول‌دهی شدند و این کار تا رسیدن به مرحله گلدهی کامل ادامه یافت. محلول‌پاشی با نانوذرات روی در غلظت‌های صفر، ۱۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیز هفته‌ای یک‌بار بعد از اعمال تنش شوری انجام شد.

گیاهان از کاشت تا مرحله گلدهی به مدت ۳ ماه نگهداری و بعد از آن خصوصیات مورفولوژیک (ارتفاع بوته، وزن تر و خشک اندام هوایی) اندازه‌گیری شد. برای این منظور پس از برداشت بوته‌ها، ریشه و ساقه جدا گردید. سپس ریشه و ساقه هر گلدان درون پاکت‌هایی به طور جداگانه در داخل آون در دمای ۷۸ درجه سانتی‌گراد به ترتیب به مدت ۴۸ و ۲۴ ساعت خشک شدند. توزین قسمت‌های خشک شده با ترازویی با دقت ۰/۰۰۱ گرم انجام شد. شاخص سبزی‌نگی توسط دستگاه کلروفیل‌سنج اسپد (Spad) و از ۵ برگ در قسمت پایین، وسط و بالای ساقه گیاه در هر گلدان اندازه‌گیری شد.

افزایش داده و وزن خشک ریشه گیاه را ۱۱۰٪ و ۱۶۰٪ نسبت به شاهد افزایش می‌دهد. Mahmoud و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که کاربرد نانوکلیرد روی در سیب‌زمینی در شرایط شوری باعث افزایش میزان ارتفاع، وزن تر، وزن خشک، محتوای آب نسبی، کلروفیل، فتوسنتز، پرولین و فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز دیسماتاز و پلی‌فنل اکسیداز گردید. Fathi و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که کاربرد نانواکسید روی در شرایط شوری باعث افزایش میزان ارتفاع، وزن خشک شاخه و ریشه، کلروفیل کل و میران پتاسیم و کاهش میزان سدیم در گیاه ذرت شد. Hassanpouraghdam و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که کاربرد نانو روی در رزماری در شرایط تنش شوری باعث افزایش میزان وزن تر و خشک ریشه، کلروفیل a و b، کلروفیل کل، فنل و فلاونوئید کل و کاهش میزان H_2O_2 و مالون‌دی‌آلدید گردید.

تنش شوری یکی از جدی‌ترین عوامل محدودکننده رشد و تولید محصول است. بهره‌وری بهینه از خاک‌های شور، اهمیت زیادی در حفاظت از منابع آب و خاک دارد. بنابراین یافتن روش‌هایی که از این طریق بتوان در زمین‌های شور و نیمه‌شور میزان محصول قابل قبول را بدست آورد، بسیار بارز به نظر می‌رسد. از این رو این آزمایش به منظور بررسی تأثیر نانوذرات روی بر کاهش تنش شوری در گیاه دارویی بادرشبو انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه آموزشی و پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۷ اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل تنش شوری در چهار سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و محلول‌پاشی نانوذرات روی در غلظت‌های صفر، ۱۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود. بذر بادرشبو از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه گردید. نانوذرات مورد مطالعه

پرولین

اندازه‌گیری پرولین از جوان‌ترین برگها انجام شد. بدین‌منظور مقدار ۰/۵ گرم بافت برگ تازه را به قطعات کوچکتر از ۵ میلی‌لیتر بریده و همراه با ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالسیلیک اسید ۳٪ در یک هاون چینی به مدت ۳ دقیقه ساییده و محلول هموژنیزه شده توسط کاغذ صافی واتمن شماره ۲ صاف شده و با ۲ میلی‌لیتر از محلول صاف شده با ۲ میلی‌لیتر نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال خالص در یک لوله آزمایش ریخته شد و لوله‌ها به مدت یک ساعت در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد بن‌ماری قرار گرفتند. سپس به محلول واکنش در لوله آزمایش پس از سرد شدن ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه گردید. هر یک از لوله‌ها به مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه ورتکس شد. پس از تشکیل دو فاز جداگانه، فاز رنگی بالایی با دقت جدا و مقدار جذب در دستگاه اسپکتوفتومتر با طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد و مقدار پرولین با استفاده از منحنی استاندارد آن بدست آمد (Bates et al., 1973).

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

برای این منظور، ابتدا عصاره پروتئینی استخراج شد، بدین‌ترتیب که ۰/۲ گرم از بافت تازه گیاهی را در هاون چینی ساییده و بعد یک میلی‌لیتر بافر تریس-اسیدکلریدریک، ۰/۰۵ مولار با pH=۷/۵ افزوده شده و همگنای حاصل را به مدت ۲۰ دقیقه در ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ کرده و محلول رویی برای اندازه‌گیری آنزیم مورد استفاده قرار گرفت (Mac-Adam et al., 1992). فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از روش Mahely و Chanes (۱۹۵۵) اندازه‌گیری شد، به این ترتیب که ۶۰ میکرولیتر از عصاره پروتئینی را در ۲/۵ میلی‌لیتر بافر تریس ۵۰ میلی‌مولار با pH=۷ و ۰/۳ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۵ میلی‌مولار در حمام یخ اضافه نموده و منحنی تغییرات جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر قرائت شد. فعالیت آنزیم به‌ازای هر میکروگرم بر میلی‌گرم پروتئین بافت تازه گیاهی بدست آمد. فعالیت آنزیم

برای اندازه‌گیری شاخص ثبات غشاء از برگ کاملاً توسعه‌یافته دیسک‌هایی تهیه و سه بار با آب دیونیزه شستشو شد. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در ظرف دربسته حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه قرار گرفته و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد روی شیکر تکان داده شد. پس از پایان زمان مورد نظر EC نمونه‌ها مورد سنجش قرار گرفت (Lt). سپس نمونه و محلول در اتوکلاو قرار داده شد و دوباره EC اندازه‌گیری شد (LO). برای محاسبه از فرمول زیر استفاده شد (Redmann et al., 1986).

$$\% \text{ نشت مواد محلول} = \frac{Lt}{Lo} \times 100$$

محتوای نسبی آب

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب ۰/۵ گرم از جوان‌ترین برگ توسعه‌یافته هر گیاه (FW) را جدا کرده و بعد نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر شناور گردید. پس از گذشت این مدت وزن اشباع برگ اندازه‌گیری شد (TW). سپس برگها به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و بعد از گذشت این مدت وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد (Ritchie et al., 1990).

$$\%RWC = \frac{FW - DW}{TW - DW}$$

غلظت مالون دی‌آلدئید برگ

به‌منظور تعیین غلظت مالون دی‌آلدئید در برگ، ابتدا ۰/۵ گرم برگ تازه را در محلول ۲۰٪ تیوکلوواسستیک اسید (TCA) که حاوی ۰/۵٪ تیواربیتوریک اسید ۴ بود کاملاً پودر کرده و آنگاه این مخلوط به مدت ۲۵ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد در حمام بن‌ماری حرارت داده شد. سپس این مخلوط را در حمام یخ سرد کرده و غلظت مالون دی‌آلدئید در طول موج ۵۳۲ نانومتر اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 تجزیه و تحلیل شد و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ استفاده گردید.

نتایج

ارتفاع بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثر تنش شوری و محلول پاشی نانوذرات روی بر ارتفاع بوته بادرشبو در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بود ولی اثر متقابل این دو فاکتور روی این صفت معنی دار نبود. مقایسه میانگین اثرهای تنش شوری بر ارتفاع بوته بادرشبو نشان داد که با افزایش شدت تنش شوری از ارتفاع بوته کاسته شده و بیشترین میزان ارتفاع (۵۱/۲۵ سانتی متر) در گیاهانی که در شرایط بدون تنش قرار داشتند، حاصل شد و کمترین میزان ارتفاع بوته (۳۷/۰۴ سانتی متر) نیز در گیاهانی که در شرایط تنش ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم قرار داشتند، بدست آمد. گیاهان محلول پاشی شده با غلظت ۵۰۰ میلی گرم در لیتر از نانوذرات روی بیشترین ارتفاع بوته (۴۶ سانتی متر) و گیاهان محلول پاشی نشده کمترین ارتفاع (۴۲ سانتی متر) را داشتند (جدول ۴).

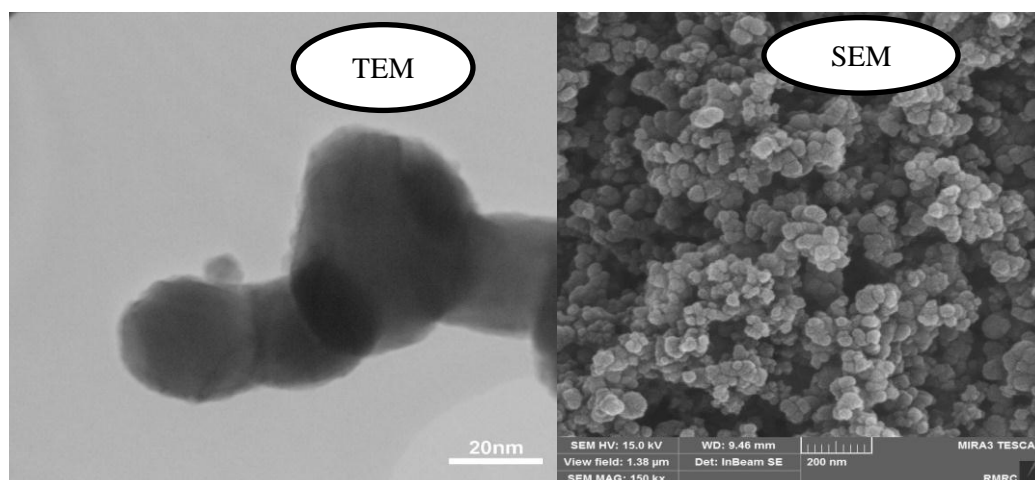
سوپراکسید دسموتاز بر اساس روش Ries و Giannopolitis (۱۹۹۷) تعیین شد. بر اساس این روش ۳ میلی لیتر مخلوط واکنش حاوی بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی مولار (pH=۷/۸)، متیونین ۱۳ میلی مولار، نیتروبلوتترازولیوم ۷۵ میکرومولار، ریوفلاوین ۲۰ میکرومولار، EDTA ۰/۱ میکرومولار و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. نمونه‌های آنزیمی به مدت ۱۵ دقیقه در مقابل نور ۵۰۰۰ لوکس قرار داده شد و بلافاصله پس از آن جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۶۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل جنوای ۶۷۰۵ قرائت گردید. فعالیت آنزیمی با استفاده از فرمول قانون بیر لامبرت ضریب خاموشی $1000 \text{ cm}^{-1} \text{ mM}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}$ محاسبه شد.

نحوه استخراج اسانس

از نمونه‌های خشک شده در هوای آزاد و سایه ۵۰ گرم توزین و در بالن ۵۰۰ میلی لیتری توسط آب مقطر به حجم رسانده شد (۱:۱۰). استفاده از آب مقطر به این منظور است که ترکیب‌ها و مواد مؤثر موجود در اسانس از ناخالصی‌های موجود در آب متأثر نشود. عمل اسانس‌گیری با دستگاه کلونجر با حرارت دادن به مدت ۲ ساعت به طول انجامید. جمع‌آوری اسانس تا نیم ساعت بعد از خنک شدن دستگاه ادامه یافت و بعد توزین و یادداشت شد و در ادامه درصد هر نمونه محاسبه گردید (Clevenger, 1928).

جدول ۱- خصوصیات ساختاری نانوذرات روی

نانوذرات روی	خصوصیات ساختاری
۰/۰۵±۳	Thermogravimetric analysis (TGA)
۰/۰۱±۲/۹	Inductively coupled plasma (ICP)
۱۵-۳۰	اندازه
۹۹	درصد خلوص
۴۰-۱۵۰	سطح فعال (g/m^2)



شکل ۱- تصاویر SEM و TEM از نانوذرات روی مورد استفاده در مطالعه

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر نانوروی بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک بادرشبو در شرایط تنش شوری

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییرات
محتوای آب نسبی	پرولین	مالون دی آلدئید	نشست یونی	وزن خشک ساقه شاخص سبزی‌نگی	ارتفاع	وزن خشک ساقه		
۱۴۵۵/۸۵**	۰/۰۰۷۴**	۲۳۱/۵۹**	۱۰۱۷/۸۳**	۱۵۴/۱۵**	۳۸۲/۰۲**	۷۸/۸۲**	۳	تنش شوری
۱۱/۹۱ ns	۰/۰۰۰۴۲**	۸/۹۳**	۵۴/۳۵*	۲۸/۷۶**	۳۸/۸۶**	۴/۳۴*	۲	نانوروی
۹/۷۶ ns	۰/۰۰۰۱۹**	۲/۲۴**	۱۶/۱۷ns	۰/۸۹ ns	۶/۰۵ns	۰/۳۸ ns	۶	تنش × نانوروی
۸/۴۵	۰/۰۰۰۰۱۵	۰/۵۶	۶/۵۲	۱/۴۳	۲/۵۴	۰/۳۶	۲۴	اشتباه آزمایشی
۳/۰۷	۲/۲۳	۵/۵۳	۳/۴۷	۱۰/۸۸	۳/۶۲	۷/۶۱		ضریب تغییرات (%)

*, **, ns: به ترتیب معنی دار بودن در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و عدم تفاوت معنی دار

وزن خشک ساقه

۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم بدست آمد. محلول پاشی نانوذرات روی باعث افزایش وزن تر و خشک ساقه شد، به طوری که بیشترین وزن خشک ساقه (۸/۵۴ گرم) در محلول پاشی گیاهان بادرشبو با غلظت ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر از نانوذرات روی و کمترین مقدار وزن خشک ساقه (۷/۳۳ گرم) در گیاهان محلول پاشی نشده بدست آمد (جدول ۴).

شاخص سبزی‌نگی

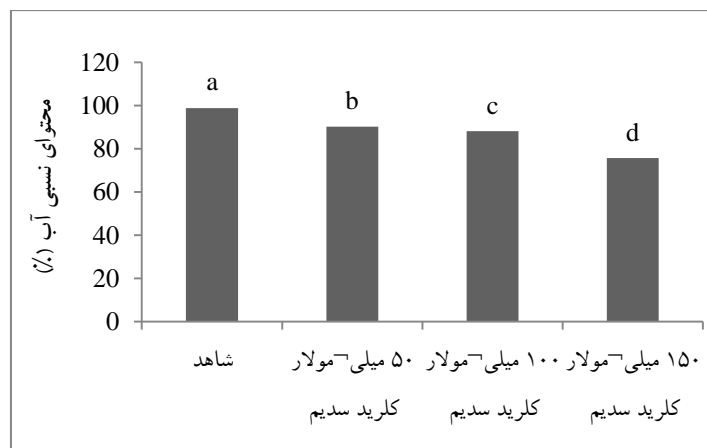
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که تنش شوری و محلول پاشی با نانوذرات روی شاخص

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که تنش شوری و محلول پاشی نانوذرات روی وزن خشک گیاه را در سطح احتمال ۱٪ تحت تأثیر قرار داد اما اثر متقابل شوری و محلول پاشی نانوذرات روی تأثیر معنی داری بر وزن خشک گیاه نداشت. نتایج مقایسه میانگین در جدول ۴ نشان داد که تنش شوری وزن خشک ساقه را در گیاهان بادرشبو کاهش داد، به طوری که بیشترین وزن تر ساقه (۱۵/۴۳ گرم) در گیاهان بدون تنش شوری و کمترین مقدار آن (۵/۱۹ گرم) در گیاهان تحت تنش شوری

محتوای نسبی آب برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تنها تنش شوری در سطح احتمال ۱٪ محتوای نسبی آب برگ را تحت تأثیر قرار داد و محلول‌پاشی نانوذرات روی و اثر متقابل تنش شوری و محلول‌پاشی نانوذرات روی تأثیر معنی‌داری بر محتوای نسبی آب برگ نداشت (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرهای شوری نشان داد که با افزایش میزان تنش شوری از محتوای آب برگ کاسته شده و بیشترین محتوای نسبی آب برگ (۹۸/۳٪) در گیاه بادرشبو در شرایط بدون تنش و کمترین محتوای نسبی آب برگ (۷۵٪) در گیاهان تحت تیمار تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم حاصل شد (شکل ۲).

سبزی‌نگی را در سطح احتمال ۱٪ تحت تأثیر قرار داد، ولی اثر متقابل آنها تأثیر معنی‌داری بر میزان شاخص سبزی‌نگی نداشت. با افزایش تنش شوری شاخص سبزی‌نگی گیاه بادرشبو کاهش یافت، به طوری که بیشترین شاخص سبزی‌نگی (۱۵/۴۳ واحد اسپد) در گیاهان شاهد و کمترین مقدار آن (۶/۳۹ واحد اسپد) در گیاهان قرار گرفته تحت تنش شوری ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر کلرید سدیم تولید شد (جدول ۴). محلول‌پاشی نانوذرات روی نیز باعث افزایش شاخص سبزی‌نگی برگ شد، به طوری که بیشترین میزان سبزی‌نگی (۱۲/۸۰ واحد اسپد) در محلول‌پاشی گیاه بادرشبو با غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از نانوذرات روی و کمترین مقدار برای این شاخص (۶/۴۱ واحد اسپد) در گیاهان محلول‌پاشی نشده بدست آمد (جدول ۴).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر تنش شوری بر محتوای نسبی آب برگ بادرشبو

شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و کمترین درصد اسانس (۳۷٪) در تیمار بدون تنش حاصل شد (جدول ۴). محلول‌پاشی گیاهان با غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از نانوذرات روی بیشترین درصد اسانس (۴۸٪) را در گیاه بادرشبو تولید کرد و گیاهان محلول‌پاشی نشده کمترین میزان اسانس (۴۲٪) را تولید نمودند (جدول ۴).

درصد اسانس

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که اثر تنش شوری و محلول‌پاشی با نانوذرات روی بر میزان درصد اسانس معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین اثرهای تنش شوری و محلول‌پاشی نانوذرات بر درصد اسانس بادرشبو نشان داد که بیشترین درصد اسانس (۵۳٪) در تیمار تنش

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر نانو روی بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک بادرشبو در شرایط تنش شوری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		کاتالاز	سوپراکسید دسموتاز	درصد اسانس
تنش شوری	۳	۰/۰۰۸۸**	۸۷/۱۲**	۰/۰۴۷**
نانو روی	۲	۰/۰۰۰۱۰*	۳/۱۴*	۰/۰۳۱**
تنش شوری × نانو روی	۶	۰/۰۰۰۰۱۵ns	۰/۹۷**	۰/۰۰۸۸**
اشتباه آزمایشی	۲۴	۰/۰۰۰۰۱۱	۰/۲۷	۰/۰۰۰۰۷
ضریب تغییرات (%)		۵/۶۱	۸/۶۴	۸/۱۷
عملکرد اسانس				۵/۷۱

*، ** و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و عدم تفاوت معنی دار

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرهای شوری و نانوذرات روی بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک بادرشبو

تیمار	ارتفاع (سانتی متر)	وزن خشک ساقه (گرم)	شاخص سبزینگی	نشت یونی (%)	درصد اسانس	کاتالاز میکرومول بر دقیقه بر میلی گرم پروتئین	تیمار
۵۰ میلی مولار کلرید سدیم	۴۵/۷۲ b	۸/۳۹ b	۱۳/۴۱ b	۵۰/۳۴ b	۰/۴۱ b	۰/۰۲۱ c	
۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم	۴۰/۵۲ c	۶/۲۷ c	۸/۸۳ c	۷۷/۶۰ c	۰/۴۷ c	۰/۰۷ b	
۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم	۳۷/۶۰ d	۵/۱۹ d	۶/۳۹ d	۸۵/۶ d	۰/۵۳ d	۰/۰۹ a	
شاهد	۴۲ c	۷/۳۳ c	۹/۳۹ c	۷۵/۹۲ a	۰/۴۲ b	۰/۰۵۷ b	
نانوسیلیسیم ۱۰۰ میلی گرم	۴۴ b	۷/۹۴ b	۱۰/۲۶ b	۵۲/۳۸ b	۰/۴۵ b	۰/۰۶۳ ab	
نانوسیلیسیم ۵۰۰ میلی گرم	۴۶ a	۸/۵۴ a	۱۲/۸۰ a	۲۵/۲۸ c	۰/۴۸ a	۰/۰۶۴ a	

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون از لحاظ آماری اختلاف معنی داری با هم ندارند.

عملکرد اسانس

اسانس (۰/۳۵۷ میلی لیتر در گلدان) در تیمار محلول پاشی گیاه بادرشبو با غلظت ۵۰۰ میلی گرم در لیتر نانوذرات روی در شرایط بدون تنش شوری کلرید سدیم و کمترین مقدار آن (۰/۰۸۲ میلی لیتر در گلدان) در تیمار گیاهان محلول پاشی نشده در تیمار شوری ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم بدست آمد (جدول ۵).

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که اثر تنش شوری و محلول پاشی با نانوذرات روی و اثر متقابل دو فاکتور بر میزان عملکرد اسانس در سطح احتمال ۱٪ معنی دار می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین داده‌های مربوط به عملکرد اسانس بادرشبو نشان داد که بیشترین عملکرد

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرمتقابل شوری و نانوذرات روی بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد بادرشبو

ترکیب تیماری	عملکرد اسانس میلی لیتر در گلدان	پروئین میکروگرم بر گرم وزن تر	مالون دی آلدئید میکروگرم بر گرم وزن تر	سوپراکسیداز دسموتاز میکرومول بر دقیقه بر میلی گرم پروتئین
شاهد	۰/۰۹۴ f	۰/۱۴۰ h	۶/۸ f	۱/۸۹ e
شاهد	۰/۲۵۷ b	۰/۱۴۸ g	۶/۸ f	۲/۰۲ e
نانوذرات روی ۱۰۰ میلی گرم	۰/۳۵۷ a	۰/۱۵۲ g	۶/۸۳ f	۲/۲۳ e
شاهد	۰/۰۹۳ f	۰/۱۷۳ e	۱۳/۴۶ cde	۴/۲۶ d
شوری	۰/۱۴۲ d	۰/۱۶۲ f	۱۳/۴۶ cde	۵/۱ c
۵۰ میلی مولار	۰/۱۸۰ c	۰/۱۵۹ f	۱۲/۵۶ e	۶/۱۴ d
شاهد	۰/۰۸۳ f	۰/۲۰۱ b	۱۶/۴ b	۷/۵۹ b
شوری	۰/۱۲۶ e	۰/۱۸۸ c	۱۴/۴۹ cd	۸/۴۱ ab
۱۰۰ میلی مولار	۰/۱۷۴ c	۰/۱۸۱ d	۱۵/۱۳ c	۸/۹۵ a
شاهد	۰/۰۸۲ f	۰/۲۲۶ a	۲۱/۱۳ a	۷/۸۱ b
شوری	۰/۰۸۵ f	۰/۲۰۵ b	۱۷/۷ b	۹/۰۴ a
۱۵۰ میلی مولار	۰/۱۲۷ e	۰/۲۰۶ b	۱۷/۸ b	۹/۳۰ a

پرولین

(۲۵/۴۰٪) در گیاهان تیمار بدون شوری حاصل شد. محلول پاشی نانوذرات روی سبب کاهش میزان نشت از غشاء سلولی در برگ بوته‌های بادرشبو شد و گیاهان محلول پاشی شده با غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر از نانوروی کمترین میزان نشت یونی (۲۵٪) را داشتند. گیاهان تیمار نشده با نانوذرات روی دارای بیشترین میزان نشت از غشاء سلولی (۷۵٪) بودند (جدول ۴).

مالون دی‌آلدهید (MDA)

نتایج تجزیه واریانس در جدول ۲ نشان می‌دهد که اثر تنش شوری و محلول پاشی نانوذرات روی و اثر متقابل تنش شوری و محلول پاشی برای میزان مالون دی‌آلدهید در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثرهای متقابل (جدول ۵) نشان داد که با افزایش تنش شوری میزان مالون دی‌آلدهید برگ افزایش یافته و بیشترین میزان مالون دی‌آلدهید (۲۱/۱۳ میکروگرم بر گرم وزن تر) در گیاه بادرشبو بدون محلول پاشی نانوذرات در شرایط تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و کمترین محتوای مالون دی‌آلدهید برگ (۶/۸ میکروگرم بر گرم وزن تر) در گیاهان محلول پاشی نشده و در تیمار بدون شوری حاصل شد.

آنزیم کاتالاز

محلول پاشی نانوذرات روی بر فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان کاتالاز برگ بادرشبو در شرایط تنش شوری در جدول ۳ نشان می‌دهد که اثر تنش شوری و محلول پاشی نانوذرات روی برای آنزیم کاتالاز معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثرهای تنش شوری و محلول پاشی نانوذرات روی (جدول ۴) نشان داد که با افزایش میزان تنش شوری میزان فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان کاتالاز افزایش یافته و بیشترین فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان کاتالاز (۰/۰۹ میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین) در شرایط تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم حاصل شد و کمترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/۰۲۱ میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین) در تیمار

با توجه به تجزیه واریانس جدول ۲ می‌توان مشاهده نمود که اثر تنش شوری و محلول پاشی نانوذرات روی و اثر متقابل تنش شوری و محلول پاشی بر محتوای پرولین برگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثرهای متقابل نشان داد که با افزایش میزان تنش شوری میزان پرولین برگ افزایش یافته و بیشترین محتوای پرولین برگ (۰/۲۲۶ میکروگرم بر گرم وزن تر) در گیاه بادرشبو بدون محلول پاشی نانوذرات و در شرایط تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و کمترین محتوای پرولین برگ (۰/۱۴۰ میکروگرم بر گرم وزن تر) در گیاهان محلول پاشی نشده در تیمار بدون شوری حاصل شد (جدول ۵). در شرایط تنش شوری ۵۰ میلی‌مولار نیز بیشترین محتوای پرولین برگ (۰/۱۷۳ میکروگرم بر گرم وزن تر) در گیاهان محلول پاشی نشده با نانوذرات روی حاصل شد و کمترین میزان پرولین (۰/۱۵۹ میکروگرم بر گرم وزن تر) نیز در گیاهان محلول پاشی شده با غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر از نانوذرات روی بدست آمد. در تیمار تنش شوری ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیز گیاهان تیمار نشده با نانوذرات روی دارای بیشترین میزان پرولین (۰/۲۰۱ میکروگرم بر گرم وزن تر) بودند و کمترین مقدار برای این صفت نیز در گیاهان محلول پاشی شده با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر از نانوذرات روی مشاهده گردید.

نشت یونی

نتایج تجزیه واریانس در جدول ۲ حکایت از آن دارد که اثر تنش شوری و محلول پاشی نانوذرات روی برای نشت یونی از غشاء در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثر تنش شوری و محلول پاشی نانوذرات روی (جدول ۴) نشان داد که با افزایش میزان تنش شوری نشت یونی از غشاء افزایش یافته و بیشترین میزان نشت غشاء (۸۵٪) در گیاه بادرشبو در شرایط تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و کمترین میزان برای این صفت

اسمزی به تنش شوری پاسخ می‌دهند که این امر سرعت رشد آنها را به شدت کاهش می‌دهد (Banerjee & Roychoudhury, 2017). از سوی دیگر تنش شوری باعث افزایش انرژی لازم برای متابولیسم گیاه و کاهش میزان فتوسنتز خالص در واحد سطح برگ می‌گردد (Sattar et al., 2017). علاوه بر این کاهش میزان فتوسنتز در شرایط شوری سبب افت شدید رشد طبیعی گیاهان و پیری و ریزش زودرس در برگ‌های بالغ می‌شود (Nahar et al., 2016). بسیاری از اثرهای تنش شوری می‌تواند منتهی به تنش اکسیداتیو شود که پراکسیداسیون لیپید و افزایش تجمع گونه‌های اکسیژن فعال مانند هیدروژن پراکسید و یون‌های سوپراکسید را در پی داشته و منجر به ایجاد آسیب پروتئین‌ها و لیپید و اسید نوکلئوتیک می‌شود (Soundararajan et al., 2017). به‌طور کلی شاخص پایداری غشاء سلولی با افزایش شوری کاهش پیدا می‌کند (Haghighi & Pessaraki, 2013). این حالت در گیاهانی مانند برنج، توت‌فرنگی و گندم گزارش شده است (Kaya et al., 2013; Levent Tuna et al., 2008). با افزایش شوری محتوی کلروفیل برگ‌های گیاه کاهش می‌یابد که نشانگر اصلی برای قرار گرفتن گیاه در شرایط تنش در سطح سلولی است (Chutipaijit et al., 2011). کاهش میزان محتوای کلروفیل به‌طور مستقیم با فتوسنتز همراه است (Zhang et al., 2005). میزان کلروفیل برگ معمولاً به‌عنوان شاخصی برای تحمل گیاه به شوری در نظر گرفته می‌شود (Chutipaijit et al., 2011). شوری خاک از طریق افزایش فعالیت کلروفیل‌لاز، سبب کاهش میزان کلروفیل برگ می‌شود. ضمناً کاهش غلظت آهن قابل استخراج خاک و در نتیجه کاهش جذب و تجمع این عنصر در گیاه نیز می‌تواند ساخت کلروفیل را مختل نماید (Marschner & Römheld, 1994). علاوه بر این کاهش در محتوای کلروفیل می‌تواند به دلیل کاهش در محتوای پتاسیم باشد (Munns, 2002). از سوی دیگر زوال غشاء در اثر شوری نیز در تخریب کلروفیل دخیل است (Mane et al., 2010). Mittal و همکاران (۲۰۱۲) در خانواده شب‌بو و López-Climent و

بدون شوری بدست آمد. محلول‌پاشی گیاهان با غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر از نانوروی بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/۰۶۴ میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین) را در بوته‌های بادرشبو تولید کرد و گیاهان محلول‌پاشی نشده کمترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/۰۵۷ میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین) را در این سطح از شوری داشتند

آنزیم سوپراکسید دسموتاز

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر تنش شوری و محلول‌پاشی نانوذرات روی و اثر متقابل تنش شوری و محلول‌پاشی برای سوپراکسید دسموتاز در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرهای متقابل (جدول ۵) نشان داد که با افزایش میزان تنش شوری میزان فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان آسکوربات پراکسیداز افزایش یافته و بیشترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دسموتاز (۹/۳۰ میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین) در گیاه بادرشبو محلول‌پاشی شده با غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات روی در شرایط تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم حاصل شد که با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر از نانوذرات روی در شرایط شوری ۱۰۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دسموتاز (۱/۸۹ میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین) در گیاهان محلول‌پاشی نشده در تیمار بدون شوری بدست آمد (جدول ۵).

بحث

در این پژوهش افزایش شوری باعث کاهش رشد بادرشبو شد، به‌طوری‌که گیاهان با سازوکارهای ویژه‌ای از قبیل کاهش تقسیم و انبساط سلولی (Tavakkoli et al., 2011)، بستن روزنه‌ها، کاهش سطح برگ و تعرق و تنظیم

نتایج این پژوهش نشان داد که محلول پاشی نانوروی سبب کاهش اثرهای تنش شوری به ویژه در سطوح بالای شوری شد و با افزایش سنتز پرولین و آنزیمهای آنتی اکسیدان و جلوگیری از تخریب غشاهای سلولی سبب افزایش مقاومت به شوری در گیاه بادرشبو شد. نقش روی در سازوکار تحمل در برابر تنش‌ها چندگانه است. تغذیه روی (Zn) با تحریک ماشین‌های آنتی اکسیدانی باعث تحریک گیاه به مقاومت در برابر تنش می‌شود. روی باعث افزایش تولید اسیدآسکوربیک و توکوفرول در فلفل سبز شد تا گونه‌های رادیکال آزاد را از بین ببرد (Manas *et al.*, 2014). روی از گروه‌های SH- پروتئین‌های غشاء پلاسما در برابر آسیب اکسیداتیو محافظت می‌کند (Beak *et al.*, 2015). مطالعات نشان داده است که غلظت‌های متوسط روی یک میلی‌مول بر لیتر و ۱٪ کلرید سدیم به صورت همسو برای تولید زیست‌توده نهایی در گیاه *Spartina densiflora* عمل می‌کند (Redondo-Gomez *et al.*, 2011). مکمل‌های روی باعث تحریک تحمل شوری در نهال‌های برنج شده و گیاهان تیمار شده تحت تنش ۷۰ میلی‌مولار کلرید سدیم ارتفاع پنجه، وزن خشک و وزن تر بیشتری داشتند (Iqbal & Aslam, 1999). بررسی‌ها نشان داد که تیمار بذرهای بادام‌زمینی با تیمارهای مختلف نانوذرات روی (با قطر ۲۵ نانومتر و غلظت ۱۰۰۰ ppm) سبب افزایش رشد طول ساقه و عملکرد در گیاه پیاز شد (Raskar & Laware, 2014). Rostami و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که کاربرد نانوذرات روی در شرایط شوری در نعنای فلفلی موجب افزایش ارتفاع، وزن خشک برگ و ساقه، کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید گردید. کاربرد روی با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث افزایش وزن تر و خشک برگ و نیز ارتفاع گیاهان مریم‌گلی در شرایط تنش شوری گردید (Abd El-Aziz & Laila, 2007). همچنین در آزمایشی در تنش شوری ۷۵ میلی‌مولار، محلول پاشی کود کلات روی به ویژه به صورت نانو باعث افزایش معنی‌دار کلروفیل در نخود فرنگی شد (Yadghari *et al.*, 2014).

همکاران (۲۰۰۸) در مرکبات مشاهده کردند که تحت شرایط تنش شوری فتوسنتز، سیستم تولید اکسیژن، هدایت روزنه‌ای، کارآیی فتوسنتزی و کلروفیل فلئوئورسانس کاهش می‌یابد که در نهایت باعث کاهش رشد و عملکرد محصول می‌شود. تنش‌های اسمزی از قبیل شوری سبب تجمع غیرکنترل شده گونه‌های اکسیژن فعال مانند رادیکال‌های سوپراکسید، هیدروژن پراکسید، رادیکال‌های هیدرکسیل و غیره شده که باعث آسیب به کلروپلاست‌ها (Hernandez *et al.*, 2000)، برهم خوردن آرایش در غشاء و اختلال در دیگر فرایندهای فیزیولوژیکی، آسیب به DNA، غیرفعال‌سازی آنزیم‌ها و واسرشته شدن پروتئین‌ها در سلول‌های گیاهی می‌شود (Hasanuzzaman *et al.*, 2013). (Hasanuzzaman *et al.*, 2014).

گیاهان برای مقابله با شوری و به منظور کاهش غلظت یون‌های سمی، سازوکارهای مختلف بیوشیمیایی و فیزیولوژیک مانند تولید محلول‌های سازگاری اسمولیت‌ها و پروتئین‌های آب‌دوست مانند پرولین، پلی‌آمین و گلیسین بتاین را ایجاد کرده‌اند (Roychoudhury *et al.*, 2015). (García-Caparrós *et al.*, 2017). در شرایط تنش شوری، گیاه نمک بیشتری جذب می‌کند که قابلیت اسمزی آن را کاهش می‌دهد (Roychoudhury *et al.*, 2015). در وارسته‌های گیاهی متحمل به شوری سیستم آنتی اکسیدانی فعال به صورت فعالانه با سنتز آسکوربیک اسید (AsA)، گلوتاتیون (GSH)، فنول‌ها، آلکالوئیدها، توکوفرول و اسیدهای آمینه آزاد که بخش غیرآنزیمی این سیستم را تشکیل می‌دهند اکسیژن‌های سمی را از بین می‌برد (Roychoudhury *et al.*, 2015). بخش آنزیمی این سیستم شامل: سوپراکسید دسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گلوتاتیون رداکتاز، مونودی‌هیدروآسکوربات رداکتاز، دی‌هیدروآسکوربات رداکتاز، گلوتاتیون پراکسیداز، گلوتاتیون S ترانسفراز می‌باشد (Hasanuzzaman *et al.*, 2012). سوپراکسید دسموتاز، پراکسیداز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز آنزیم‌های آنتی اکسیدان اصلی برای حذف کردن رادیکال‌های آزاد هستند.

دسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز سبب افزایش تحمل به تنش می‌شود (Hellal *et al.*, 2012). روی به‌عنوان یک کوفاکتور نقش مهمی در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت مانند سوپراکسید دسموتاز و پراکسیداز دارد که افزایش بقاء و عملکرد گیاه را به‌دنبال دارد (Najami *et al.*, 2008). از این رو به نظر می‌رسد در آنزیم سوپراکسید دسموتاز Cu/Zn SOD، روی نقش مهمی در سمیت‌زدایی رادیکال اکسیژن (O_2^-) و تبدیل آن به H_2O_2 داشته که در نهایت تحت تأثیر آنزیم کاتالاز به آب و اکسیژن تجزیه می‌شود و به این ترتیب از پراکسید کردن لیپیدهای غشاء جلوگیری و پایداری غشاء حفظ می‌گردد (Ghanepour *et al.*, 2015). بنابراین به نظر می‌رسد در شرایط تنش، نانوآکسید روی با تحریک قدرت دفاعی از طریق فعال‌سازی برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت شرایط را برای رشد گیاه فراهم کرده و تأمین مقدار کافی روی به‌طور مستقیم در بسیاری از اعمال فیزیولوژیکی مانند سنتزیروتین، کلروفیل و افزایش محتوای کلروفیل گیاه تأثیر دارد. به‌طوری که کمبود آن سبب آسیب لیپیدهای غشاء و کاهش رشد می‌شود (Cakmak, 2008). Raliya و Tarafdar (۲۰۱۳) گزارش کردند که استفاده از نانوذرات روی سبب بهبود محلول کلروفیل و رشد در گیاه *Cyamopsis tetragonoloba* می‌شود. روی از طریق تغییر نفوذپذیری غشاء و افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از آثار مخرب رادیکال‌های آزاد و مواد اکسیدکننده جلوگیری می‌کند و می‌تواند به‌عنوان تثبیت‌کننده و محافظ غشاهای حیاتی در برابر تنش اکسیداتیو عمل کند (Tavallali *et al.*, 2010). نقش روی در دفاع آنتی‌اکسیدانتی نه تنها به افزایش حذف این رادیکال‌ها از طریق شرکت در ساختمان آنزیم سوپراکسید دسموتاز مربوط است، بلکه به کنترل تشکیل رادیکال‌های آزاد نیز برمی‌گردد (Cakmak, 2000).

افزایش سطوح شوری منجر به افزایش عملکرد اسانس گیاه مریم‌گلی طی دو فصل رشد گردید (Hendawy & Khalid, 2005). اما نتایج بدست‌آمده از این آزمایش نشان داد که افزایش سطوح شوری تأثیر بر عملکرد اسانس بادرشو نداشت و موجب کاهش عملکرد اسانس این گیاه

روی نقش مهمی در تنظیم میزان باز بودن روزنه‌ها به‌دلیل نگهداری عنصر پتاسیم در سلول‌های محافظ روزنه دارد و کاهش فعالیت آنزیم کربنیک آنهیدرنازی از کمبود روی نیز می‌تواند منجر به بسته شدن روزنه‌ها و کاهش میزان فتوسنتز خالص شود (Welch, 1995). همچنین روی یکی از عوامل مهم تأثیرگذار در فعالیت آنزیم تریپتوفان سنتتاز است و با توجه به اینکه اسیدآمینو تریپتوفان به‌عنوان پیش‌ماده تولید اکسین عمل می‌کند، از این رو با افزایش تولید اکسین، تشدید چیرگی رأسی و متعاقب آن افزایش رشد طولی شاخساره‌ها را خواهد داشت (Misra *et al.*, 2005). به‌علت نقش روی در تولید اکسین و آثار مثبت آن بر تقسیم میتوز، با افزودن روی در شرایط شوری فتوسنتز و شاخص‌های رشدی افزایش می‌یابد (Weisany *et al.*, 2012). بنابراین به‌نظر می‌رسد که محتمل‌ترین علت تأثیر نانوکودها نسبت به شکل معمول آن (سولفات)، کوچک بودن قطر ذرات نانو و سرعت جذب انتقال باشد که تجمع ذرات نانو بسیار بیشتر از ذرات معمول می‌باشد. به این صورت که بالا بودن کارایی جذب در مقایسه با ذرات معمول، اثرگذاری بیشتر این ذرات را توجیه می‌کند (Jayarambabu & Kumari, 2015). Torney و همکاران (۲۰۰۷) نیز بیان کردند که نانوذرات قادرند به داخل سلول‌های گیاه نفوذ نموده و همچنین در انتقال مواد شیمیایی و DNA سلول نقش ایفاء کنند. Torabian و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که استفاده از نانوذرات اکسید روی در شرایط تنش شوری سبب بهبود شاخص‌های مورفولوژیکی (سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی) و خصوصیات فیزیولوژیکی شامل مقدار کلروفیل، غلظت کربن دی‌اکسید در اتاقک زیرروزنه، افزایش عملکرد کوانتومی و کاهش سدیم در برگها در پنج وارسته آفتابگردان شد. نانوآکسید روی ضمن افزایش دفاع آنتی‌اکسیدانتی سلول در ایجاد تعادل یونی واکوئل و در سنتز برخی پروتئین‌ها به‌منظور کاهش قابلیت اسمزی و حفاظت از یکپارچگی ساختار غشاء سلول نقش دارد (Upadhyaya *et al.*, 2017). به‌طور کلی استفاده از نانوآکسید روی در شرایط تنش از طریق فعال کردن سنتز آنزیم‌های سوپراکسید

- Baybordi, A., 2004. Effect of Fe, Mn, Zn and Cu on the quality and quantity of wheat under salinity stress. *Journal Water and Soil Science*, 17: 140-150.
 - Beak, D., Cha, J.Y., Kang, S., Park, B., Lee, H.J. and Hong, H., 2015. The Arabidopsis a zinc finger domain protein *ARS1* is essential for seed germination and ROS homeostasis in response to ABA and oxidative stress. *Frontiers in Plant Science*, 6: 963.
 - Brennan, R.F., 1991. Effectiveness of zinc sulphate and zinc chelate as foliar spray in alleviating zinc deficiency of wheat grown on zinc-deficient soils in Wewstern Australia. *Australian Experiment Agriculture*, 31: 831-834.
 - Cakmak, I., 2000. Possible roles of zinc in protecting plant cell from damage by reactive oxygen species. *New Phytology*, 146: 185-205.
 - Cakmak, I., 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant. Soil*, 302: 1-17.
 - Chanes, B. and Mahely, A.C., 1955. Assay of catalase and peroxidase. *Methods in Enzymology*, 2: 764-791.
 - Chutipaijit, S., Chaum, S. and Sompornpailin, K., 2011. High contents of proline and anthocyanin increase protective response to salinity in *Oryza sativa* L. spp. indica. *Australian Journal of Crop Science*, 5: 1191-1198.
 - Clevenger, J.F., 1928. Apparatus for determination of essential oil. *Journal of the American Pharmacists Association*, 17: 346-349.
 - Dastmalchi, K., Dorman, H.G., Kosar, M. and Hiltunen, R., 2007. Chemical composition and in vitro antioxidant evaluation of a water soluble Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) extract. *Journal of Food Science and Technology*, 40(2): 239-248.
 - El-Ramady, H., Alshaal, T., Abowaly, M., Abdalla, N., Taha, H.S., Al-Saedi, A.H., Shalaby, T., Amer, M., Fári, M., Domokos-Szabolcsy, É., Sztrik, A., Prokisch, J., Selmar, D., Pilon-Smits, E.A.H. and Pilon, M., 2017. Nanoremediation for sustainable crop production: 335-363. In: Ranjan, S., Dasgupta, N. and Lichtfouse, E., (Eds.). *Nanoscience in Food and Agriculture 5*. Springer International Publishing, Cham, 366p.
 - El-Tohamy, W.A., Khalid, A.Kh., El-Abagy, H.M. and Abou-Hussein, S.D., 2009. Essential oil, growth and yield of onion (*Allium cepa* L.) in response to foliar application of some micronutrients. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(1): 201-205.
 - Fathi, A., Zahedi, M. and Torabian, S., 2017. Effect of interaction between salinity and nanoparticles (Fe_2O_3 and ZnO) on physiological parameters of
- نیز گردید. در همین زمینه Gohari و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که افزایش سطوح شوری باعث کاهش محتوا و عملکرد اسانس گیاه ریحان شد. شاید علت این کاهش به این دلیل است که سطوح شوری ذکر شده بالاتر از آستانه تحمل گیاه می باشد. اما در حالت کنترل و تنش محلول پاشی گیاهان با نانوروی منجر به افزایش عملکرد اسانس گیاهان گردید. مطابق با نتایج این آزمایش El-Tohamy و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که محلول پاشی پیاز با نانوذرات روی منجر به افزایش درصد اسانس گردید. همچنین محلول پاشی ریحان با غلظت ۲۵۰ میلی گرم بر لیتر روی در شرایط تنش شوری منجر به افزایش محتوا و عملکرد اسانس گردید (Said-Al Ahl & Mahmoud, 2010). در موارد بسیاری گزارش شده است که محلول پاشی گیاهان با کودهای حاوی روی (سولفات یا کلاته) می تواند منجر به افزایش خصوصیات کمی گیاهان دارویی مانند نعناع فلفلی، رزماری و مریم گلی آبی شود (Nahed & Balbaa, 2007). با افزایش سطوح شوری ارتفاع، وزن تر و خشک، کلروفیل، محتوای آب نسبی و عملکرد اسانس کاهش یافته و میزان نشت یونی و مالون دی آلدئید افزایش یافت. محلول پاشی با نانواکسید روی از طریق افزایش میزان کلروفیل و فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی منجر به افزایش خصوصیات رشدی و کاهش میزان نشت یونی و مالون دی آلدئید گردید. همچنین محلول پاشی با نانواکسید روی منجر به افزایش عملکرد اسانس نیز شد.

منابع مورد استفاده

- Abd El-Aziz, N.G. and Laila, B.K., 2007. Influence of tyrosine and zinc on growth, flowering and chemical constituents of *Salvia farinacea* plants. *Journal of Applied Sciences Research*, 3: 1479-1485.
- Banerjee, A. and Roychoudhury, A., 2017. Epigenetic regulation during salinity and drought stress in plants. *Plant Gene*, 11: 199-204.
- Bates, L.S., Waldern, R.P. and Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-207.

- depression. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-11.
- Hellal, FA., Abdelhameid, M., Abo-Basha, DM. and Zewainy, RM., 2012. Alleviation of the adverse effects of soil salinity stress by foliar application of silicon on faba bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Applied Sciences Research*, 8: 4428-4433.
 - Hendawy, S.F. and Khalid, K.A., 2005. Response of sage *Salvia officinalis* L. plants to zinc application under different salinity levels. *Journal of Applied Sciences Research*, 1(2): 147-155.
 - Henriques, F.S., 2001. Loss of blade photosynthetic area and of chloroplast photochemical capacity account for reduced CO₂ assimilation rates in zinc-deficient sugar beet leaves. *Journal of Plant Physiology*, 158(7): 915-919.
 - Hernandez Viezcas, J.A., Jimenez, A., Mullineaux, P. and Sevilla, F., 2000. Tolerance of pea (*Pisum sativum* L.) to long-term salt stress is associated with induction of antioxidant defences. *Plant, Cell & Environment*. 23: 853-862.
 - Hernandez-Viezcas, J.A., Castillo-Michel, H., Servin, A.D., Peralta-Videa, J.R. and Gardea-Torresdey J.L., 2011. Spectroscopic verification of zinc absorption and distribution in the desert plant *Prosopis juliflora-velutina* (velvet mesquite) treated with nanoparticles. *Chemical Engineering Journal*, 170(2-3): 346-352.
 - Hussein, M.S., El-Sherbeny, S.E., Khalil, M.Y., Naguib, N.Y. and Aly, S.M., 2006. Growth characters and chemical constituents of *Dracocephalum moldavica* L. plants in relation to compost fertilizer and planting distance. *Scientia Horticulturae*. 108: 322-331.
 - Iqbal, M. and Aslam, M., 1999. Effect of Zn application on rice growth under saline condition. *International Journal of Agriculture and Biology*, 1: 362-365.
 - Jayarambabu, N. and Kumari, B., 2015. Beneficial role of zinc oxide nanoparticles on green crop production. *International Journal of Advanced Multidisciplinary Research*, 2(1): 273-182.
 - Khoshgoftarmansh, A.H., Shariatmadari, H., Karimian, N., Kalbasi, M. and Khajepour, M.R., 2004. Zinc efficiency of wheat cultivars grown on a saline calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition*, 27: 1953-1962.
 - Levent Tuna, A., Kaya, D., Higgs, B., Murillo-Amador, S.A. and Gergon, A.R., 2008. Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. *Environmental and Experimental*, 62: 10-16.
 - Liu, R. and Lal, R., 2015. Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Science of the Total Environment*, 514: 131-139.
 - *Zea mays* L. *Journal of Plant Nutrition*, 40(19): 2745-2755.
 - García-Caparrós, P., Llanderal, A., Pestana, M., Correia, P.J. and Lao, M.T., 2017. *Lavandula multifida* response to salinity: growth, nutrient uptake and physiological changes. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 180: 96-104.
 - Ghanepour, S., Shakiba, M.R., Toorchi, M. and Oustan, S., 2015. Role of Zn nutrition in membrane stability, leaf hydration status, and growth of common bean grown under soil moisture stress. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 6: 9-20.
 - Giannopolitis, C.N. and Ries, S.K., 1997. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*, 59: 309-314.
 - Gohari, G., Hassanpouraghdam, M.B., Dadpour, M.R. and Shirdel, M., 2013. Influence of Zn foliar application on growth characteristics and essential oil yield of basil (*Ocimum basilicum* L.) under salinity stress. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 4(3): 15-24.
 - Habibi, G., 2017. Selenium ameliorates salinity stress in *Petroselinum crispum* by modulation of photosynthesis and by reducing shoot Na accumulation. *Russian Journal of Plant Physiology*, 64: 368-374.
 - Haghighi, M. and Pessaraki, M., 2013. Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage. *Scientia Horticulturae*, 161: 111-117.
 - Hasanuzzaman, M., Hossain, M.A., Teixeira da Silva, J.A. and Fujita, M., 2012. Plant responses and tolerance to abiotic oxidative stress: antioxidant defense is a key factor: 261-316. In: Bandi, V., Shanker, A.K., Shanker, C. and Mandapaka, M., (Eds.). *Crop stress and Its Management: Perspectives and Strategies*. Springer, Berlin, 605p.
 - Hasanuzzaman, M., Nahar, K. and Fujita, M., 2013. Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages: 25-87. In: Ahmed, P., Azooz, M.M. and Prasad, M.N.V., (Eds.). *Ecophysiology and Responses of Plants Under Salt Stress*. Springer, New York, 494p.
 - Hasanuzzaman, M., Alam, M.M., Nahar, K., Jubayer-Al-Mahmud Ahamed, K.U. and Fujita, M., 2014. Exogenous salicylic acid alleviates salt stress-induced oxidative damage in *Brassica napus* by enhancing the antioxidant defense and glyoxalase systems. *Australian Journal of Crop Science*, 8: 631-639.
 - Hassanpouraghdam, M.B., Mehrabani, L.V. and Tzortzakis, N., 2019. Foliar application of nano-zinc and iron affects physiological attributes of *Rosmarinus officinalis* and quietens NaCl salinity

- Nahed, G. and Balbaa, L.K., 2007. Influence of tyrosine and zinc on growth, flowering and chemical constituents of *Salvia farinacea* plants. *Journal Application Science*, 3(11): 1479-1489.
- Najami, N., Tibor, J., Barriah, W., Kayam, G., Moshe, T., Guy, M. and Volokita, M., 2008. Ascorbate peroxidase gene family in tomato: its identification and characterization. *Molecular Genetics & Genomic*, 279(2): 171-182.
- Parida, A.K. and Das, A.B., 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60(3): 324-349.
- Raliya, R. and Tarafdar, J. C., 2013. ZnO nanoparticle biosynthesis and its effect on phosphorous-mobilizing enzyme secretion and gum contents in clusterbean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). *Agricultural Research*, 2: 48-57.
- Raskar, S.V. and Laware, S.L., 2014. Effect of zinc oxide nanoparticles on cytology and seed germination in onion. *International Journal Current Microbiology and Applied Science*, 3(2): 467-473.
- Redmann, R., Haraldson, J. and Gusta, L., 1986. Leakage of UV absorbing substances as a measure of salt injury in leaf tissue of woody species. *Physiologia Plantarum*, 67: 87-91.
- Redondo-Gomez, S., Andrades-Moreno, L., Mateos-Naranjo, E. and Parra, R., 2011. Synergic effect of salinity and zinc stress on growth and photosynthetic responses of the cordgrass, *Spartina densiflora*. *Journal of Experimental Botany*, 62: 5521-5530.
- Ritchie, S.W., Nguyen, H.T. and Holaday, A.S., 1990. Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30: 105-111.
- Rostami, Gh., Ghasemi Pirbalouti, A. and Tehranifar, A., 2020. The effect of sulfate and nano particles of iron and zinc on biomass, content and compositions of peppermint (*Mentha piperita* L.) essential oil under salt stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 33(3): 505-515.
- Roychoudhury, A., Banerjee, A. and Lahiri, V., 2015. Metabolic and molecular-genetic regulation of proline signaling and its cross-talk with major effectors mediates abiotic stress tolerance in plants. *Turkish Journal of Botany*, 39: 887-910.
- Said-Al Ahl, H.A.H. and 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 Sciences*, 3(1): 97-111.
- Said-Alahl, H.A.H. and Abdou, M.A.A., 2009. Impact of water stress and phosphorus fertilizer on fresh herb and essential oil content of dragonhead. *International Agrophysics*, 23: 403-407.
- Sattar, A., Cheema, M.A., Abbas, T., Sher, A., Ijaz, M. and Hussain, M., 2017. Separate and combined
- López-Climent, M.F., Arbona, V., Pérez-Clemente, R.M. and Gómez-Cadenas, A., 2008. Relationship between salt tolerance and photosynthetic machinery performance in citrus. *Environmental and Experimental Botany*, 62: 176-184.
- Mac-Adam, J.W., Nelson, C.J. and Sharp, R.E., 1992. Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue. *Plant Physiology*, 99: 872-878.
- Mahmoud, A.W.M., Abdeldaym, E.A., Abdelaziz, S.M., El-Sawy, M.B. and Mottaleb, S.A., 2020. Synergetic effects of zinc, boron, silicon, and zeolite nanoparticles on confer tolerance in potato plants subjected to salinity. *Agronomy*, 10(19): 1-23.
- Manas, D., Chakravarty, A., Pal, S. and Bhattacharya, A., 2014. Influence of foliar applications of chelator and micronutrients on antioxidants in green chilli. *International Journal of Nutrition and Metabolism*, 6: 18-27.
- Mane, A.V., Karadge, B.A. and Samant, J.S., 2010. Salinity induced changes in photosynthetic pigments and polyphenols of *Cymbopogon nardus* (L.) Rendle. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 2: 338-347.
- Marschner, H. and Römheld, V., 1994. Strategies of plants for acquisition of iron. *Plant Soil*, 165: 261-274.
- Mirzapour, M.H. and Khoshgoftar, A.H., 2006. Zinc application effects on yield and seed oil content of sunflower grown on a saline calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition*, 29: 1719-1727.
- Misra, A., Srivastava, A., Srivastava, N. and 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: 153-155.
- Mittal, S., Kumari, N. and Sharma, V., 2012. Differential response of salt stress on *Brassica juncea*: photosynthetic performance, pigment, proline, D1 and antioxidant enzymes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 54: 17-26.
- Monica, R.C. and Cremonini, R., 2009. Nanoparticles and higher plants. *Caryologia*, 62: 161-165.
- Mozaffarian, V., 2007. *A Dictionary of Iranian Plant Names, Latin-English-Persian*. Tehran, Iran, Farhang Mo'aser, 740p.
- Munns, R., 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell & Environment*, 25: 239-250.
- Nahar, K., Hasanuzzaman, M. and Fujita, M., 2016. Roles of osmolytes in plant adaptation to drought and salinity: 37-58. In: Iqbal, N., Nazar, R. and Khan, N.A., (Eds.). *Osmolytes and Plants Acclimation to Changing Environment: Emerging Omics Technologies*. Springer, New Delhi, 170p.

- Torney, F., Trewyn, B.G., Lin, V.S.Y. and Wang, K., 2007. Mesoporous silica nanoparticles deliver DNA and chemicals into plants. *Nature Nanotechnology*, 2: 295-300.
- Upadhyaya, H., Roy, H., Shome, S., Tewari, S., Bhattacharya, M.K. and Panda, S.K., 2017. Physiological impact of zinc nanoparticle germination of rice (*Oryza sativa* L.) seed. *Journal of Plant Science and Phytopathology*, 1: 62-70.
- Weisany, W., Sohrabi, Y., Heidari, G.H., Siosemardeh, A. and Ghassemi-Golezani, K., 2012. Changes in antioxidant enzymes activity and plant performance by salinity stress and zinc application in soybean (*Glycine max* L.). *Plant Omics*, 5(2): 60-67.
- Welch, R.M., 1995. Micronutrient Nutrition of Plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 14: 49-82.
- Yadghari, R., Nyakan, M. and Mosavat, A., 2014. The effect of nano and non-nano forms chelate zinc on growth, chlorophyll content and soluble sugar pea plants (*Cicer arietinum* L.) in different levels of salinity. *Iranian Journal of Plant Chemistry and Ecophysiology*, 9: 137-150.
- Yasar, F., Kusvuran, S. and Ellialtıođlu, S., 2006. Determination of anti-oxidant activities in some melon (*Cucumis melo* L.) varieties and cultivars under salt stress. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 81(4): 627-630.
- Zhang, M.H., Qin, Z.H. and Liu, X., 2005. Remote sensed spectral imagery to detect late blight in field tomatoes. *Precision Agriculture*, 6: 489-508.
- Zhao, L., Sun, Y., Hernandez-Viezcas, J.A., Servin, A.D., Hong, J., Niu, G., Peralta-Videa, J.R., Duarte-Gardea, M. and Gardea-Torresdey, J.L., 2013. Influence of CeO₂ and ZnO nanoparticles on cucumber physiological markers and bioaccumulation of Ce and Zn: a life cycle study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(49): 11945-11951.
- effects of silicon and selenium on salt tolerance of wheat plants. *Russian Journal of Plant Physiology*. 64: 341-348.
- Shahid, S.A., Abdelfattah, M.A. and Taha, F.K., 2013. Developments in Soil Salinity Assessment and Reclamation: Innovative Thinking and Use of Marginal Soil and Water Resources in Irrigated Agriculture. Springer, 808p.
- Shrivastava, P. and Kumar, R., 2015. Soil salinity: a serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22: 123-131.
- Siringam, K., Juntawong, N., Cha-um, S. and Kirdmanee, C., 2011. Salt stress induced ion accumulation, ion homeostasis, membrane injury and sugar contents in salt-sensitive rice (*Oryza sativa* L. spp. *indica*) roots under isoosmotic conditions. *African Journal of Biotechnology*, 10(8): 1340-1346.
- Soundararajan, P., Manivannan, A., Ko, C.H. and Jeong, B.R., 2017. Silicon enhanced redox homeostasis and protein expression to mitigate the salinity stress in *Rosa hybrida* 'Rock Fire'. *Journal of Plant Growth Regulation*, 37(1): 16-34.
- Tavakkoli, E., Fatehi, F., Coventry, S., Rengasamy, P. and McDonald, G.K., 2011. Additive effects of Na⁺ and Cl⁻ ions on barley growth under salinity stress. *Journal of Experimental Botany*, 62: 2189-2203.
- Tavallali, V., Rahemi, M., Eshghi, S., Kholdbarin, B. and Ramezani, A., 2010. Zinc alleviates salt stress and increases antioxidant enzyme activity in the leaves of pistachio (*Pistacia vera* L. 'Badami') seedlings. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 34: 349-359.
- Torabian, S., Zahedi, M. and Khoshdoftar, A.H., 2015. Effects of foliar spray of two kinds of zinc oxide on the growth and ion concentration of sunflower cultivars under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 39(2): 172-180.

Effects of zinc nanoparticles on growth, some physiological characteristics, and essential oil yield of *Dracocephalum moldavica* L. under salinity stress conditions

B. Esmaielpour^{1*}, M. Shiekhalipour² and M. Torabi-Giglo³

1*- Corresponding author, Horticultural Science Department, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran
E-mail: behsmaiel@yahoo.com

2- Ph.D. student, Department of Horticultural Science Department, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

3- Department of Horticultural Science Department, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

Received: June 2020

Revised: August 2020

Accepted: August 2020

Abstract

Soil salinity in arid and semi-arid regions is one of the most important abiotic stresses causing negative effects on the growth and yield of medicinal plants. To investigate the effect of Zn nanoparticles foliar spray at different levels on growth characteristic, antioxidant enzymes, and essential oil yield of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) under salinity stress conditions, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications in the greenhouse of Mohaghegh Ardabili University during 2018-2019. Experimental treatments included salinity stress at four levels (0, 50, 100, and 150 mM of NaCl) and foliar spray with Zn nanoparticles at three levels (0, 100, and 500 mg.l⁻¹). Traits including plant height, aerial parts fresh and dry weight, chlorophyll, cell membrane electrolyte leakage, relative water content, proline, antioxidant enzymes, and percentage and yield of essential oil were measured. Results showed that salinity significantly decreased plant height, shoot fresh and dry weight, chlorophyll, the relative water content of leaves, and essential oil yield, and increased electrolyte leakage from cell membranes and proline content of the leaves. While nano-Zn foliar spray reduced the negative effects of salinity stress by increasing the growth and activity of antioxidant enzymes such as ascorbate peroxidase and superoxide dismutase. Treatment of 500 mg.l⁻¹ nano-Zn caused the best-improving effect on traits including plant height, stem dry weight, chlorophyll, electrolyte leakage, antioxidant enzymes, and essential oil yield under salinity stress conditions. Therefore, the use of 500 mg.l⁻¹ nano-Zn is recommended as a reduction of the negative effects of salinity stress in dragonhead.

Keywords: Anzyme, proline, superoxide dismutase, catalase, chlorophyll.