تاثیر محلول‌پاشی نانوکلات آهن بر ویژگی‌های رشد و فیزیولوژیک ریحان (*Ocimum basilicum L.*) تحت تنش شوری

آتنا غلامی[۱]، حسین عباسپور[۲]، مهیار گرامی[۳] و ابوذر قربانی[٤]

۱.دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان

۲.دانشیار گروه زیست شناسی دانشکده علوم زیستی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان

۳. هیئت علمی موسسه غیرانتفاعی سنا–ساری

٤. دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهی محقق اردبیلی

گیاه ریحان یکی از مهمترین گیاهان متعلق به خانواده نعناع است که به دلیل خواص دارویی و وجود ترکیبات معطر، در طب سنتی ایران مورد استفاده قرار گرفته است. هدف از این آزمایش بررسی تاثیر استفاده از نانوکلات آهن در سطوح مختلف شوری بر روی صفات مورفولوژی و فیزیولوژی گیاه ریحان می‌باشد. در این آزمایش اثر نانوکلات آهن و تنش شوری بر پارامترهای رشدی، رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ، مالون‌دی آلدهید، پرولین و فعالیت برخی از آنزیم‌های آنتی اکسیدان در برگ بررسی شد. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با پنج سطح شوری (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl) و چهار سطح نانوکلات آهن (۰، ۲، ۵ و ۱۰ گرم در لیتر) با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی موسسه سنا ساری در بهار ۱۳۹٤ به اجرا در آمد. نتایج نشان داد پارامترهای رشدی و رنگیزه های فتوسنتزی تحت تنش شوری نسبت به گیاه شاهد با کاهش معنی‌داری همراه بودند که کاربرد نانوکلات آهن در سطوح مختلف شوری باعث بهبود و افزایش عملکرد گیاه ریحان نسبت به شاهد و تنش شوری بدون کود آهن شده بود. همچنین بررسی صفات فیزیولوژیکی نشان داد شوری باعث افزایش میزان مالون‌دی آلدهید، پرولین و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز شده بود که کاربرد نانوکلات آهن باعث کاهش میزان مالون‌دی آلدهید و افزایش پرولین و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز نسبت به تیمار شاهد و تیمار شوری بدون کود آهن شد. نتایج کلی بدست آمده نشان داد استفاده از کود آهن با فناوری نانو باعث بهبود و افزایش رشد گیاه ریحان تحت تنش شوری می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ریحان، نانوکلات آهن، تنش شوری، رنگیزه‌های فتوسنتزی، آنزیم‌های آنتی اکسیدان

مقدمه:

امروزه به دلیل کمبود منابع آب و یا وجود منابع آب با کیفیت نامطلوب (آب‌های شور) در تمامی دنیا، مدیریت تولید گیاهان در شرایط شور بسیار مورد توجه قرار گرفته است. تنش شوری زمانی شروع می‌شود که میزان انباشتگی نمک‌ها، به خصوص کلرید سدیم، در ناحیه ریشه بیش از حد تحمل گیاه شده و در نتیجه باعث بروز اختلالاتی در فرایندهای حیاتی گیاه مثل جذب و انتقال مواد غذایی، تعرق و فتوسنتز می‌شود. همچنین تنش شوری فرایندهای بیوشیمیایی، فیزیولوژیک و بیوسنتز متابولیت‌های اولیه و ثانویه را تحت تاثیر قرار می‌دهد (El-Sherif et al., ۱۹۹۰; Hebbara et al., ۲۰۰۳). Abou El-Fadl و همکاران گزارش کردند که در گیاه فلفل، با افزایش شوری، رشد رویشی گیاه کاهش اما میزان اسانس و ترکیبات آن افزایش یافت. El-Shafy و همکاران نیز کاهش معنی‌داری را در رشد رویشی ریحان، با افزایش شوری مشاهده نمودند. با افزایش شوری، میزان رشد رویشی و جذب مواد غذایی در گیاه سیاه دانه (*Nigella sativa L.*) کاهش و در مقابل اسانس، پرولین و کربوهیدرات کل افزایش یافت (۱٤).

آهن یکی از عناصر ضروری اما کم‌مصرف و کم‌تحرک برای گیاهان است. گیاهان در بین همه ریزمغذی‌ها، بیشترین نیاز را به آهن دارند. آهن بخشی از گروه کاتالیزوری بسیاری از آنزیم‌های اکسیداسیون و احیا می‌باشد و برای سنتز کلروفیل موردنیاز است (تایز و زایگر، ۲۰۰۲). نقش این عنصر در تثبیت ازت و فعالیت برخی آنزیم‌ها نظیر کاتالاز، پراکسیداز و سیتوکروم اکسیداز به خوبی مورد بررسی قرار گرفته است (Blakrishman, ۲۰۰۰; Ruiz et al., ۲۰۰۰). قابل توجه است که افزودن آهن در فرم-های غیرکلات به خاک‌ها مخصوصا در خاک‌های آهکی ایران تاثیر زیادی در فراهم آوردن آهن برای گیاه و میکروارگانیسم‌های خاک ندارد. چرا که آهن آزاد به سرعت هیدراته شده و به صورت هیدروکسیدهای آهن رسوب می‌کند و قابل استفاده نیست (Banaei et al., ۲۰۰۵). ترکیبات کلاته آهن بهترین راه حل برای بر طرف کردن کلروز آهن در همه خاک‌ها و علی الخصوص خاک‌های قلیایی بوده و می‌توانند شدیدترین مشکلات تغذیه‌ای گیاهان را برطرف کنند. نانوکود کلات آهن دارای کمپلکس منحصربفردی می‌باشد و این نانو کمپلکس دارای ۹ درصد آهن محلول در آب در ۳<pH>۱۱ می‌باشد (پرداختی و همکاران، ۱۳۸۵). به طور کلی فناوری نانو در زمره فناوری‌های جدید است که هنوز در مرحله آغازین رشد خود قرار دارد. علم نانو، همه

عرصه‌های دانش را تحت تاثیر قرار داده و علوم کشاورزی نیز از این قاعده مستثنا نیست (Das et al., ۲۰۰٤). در عرصه کشاورزی، فناوری نانو منجر به تغییرات شگرفی در استفاده از منابع طبیعی، انرژی و آب، امکان بازیافت مواد و استفاده مجدد از آنها می‌شود. یکی از مهمترین کاربردهای فناوری نانو در زمینه‌ها و گرایش‌های مختلف کشاورزی در بخش آب و خاک، استفاده از نانوکودها (nanofertilizers) برای تغذیه گیاهان می‌باشد (رضایی و همکاران، ۱۳۸۸). نسل جدیدی از نانوذرات به منظور حذف هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ایی که به سختی از آب یا خاک آلوده حذف می‌شوند، طراحی شده است. نانو ذرات آهن به عنوان کاتالیزور باعث تسریع فرایند اکسیداسیون گردیده و آلاینده‌های آلی موجود در محیط مانند تری کلرواتان، تتراکلرید کربن، دی اکسین‌ها به ترکیبات کربنی ساده‌تر با سمیت کمتر تبدیل می‌نماید و یا نانوذرات آهن با ترکیبات آرسنیکی مخلوط شده و باعث حذف ترکیبات آرسنیکی از آب‌های زیرزمینی می‌شوند (Warheit et al., ۲۰۰۵).

ریحان (*Ocimum basilicum L.*) گیاهی یکساله، علفی و متعلق به خانواده نعناع و از معروفترین گیاهان دارویی می‌باشد. منشا این گیاه هند، ایران و افغانستان گزارش شده است. ریحان به عنوان گیاه دارویی، ادویه ای و همچنین به عنوان سبزی تازه مورد استفاده قرار می‌گیرد. مواد موثره پیکره رویشی این گیاه برای معالجه نفخ شکم و بی اشتهایی، کمک به هضم غذا و همچنین برای درمان برخی ناراحتیهای قلبی استفاده می‌شود. اسانس ریحان خاصیت ضدقارچی و ضد باکتریایی داشته و کنترل‌کننده حشرات می‌باشد. همچنین این اسانس در صنایع غذایی، آرایشی و بهداشتی و عطرسازی کاربردهای فراوانی دارد (امیدبیگی، ۱۳۷۹; Pintilei et al., ۲۰۰٦).

در چندین سال اخیر ویژگی‌های منحصربفرد نانوذرات حاوی آهن به طور گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. اندازه کوچیک این ذرات (۱ تا ۱۰۰ نانومتر) و نسبت سطح به حجم بالای آنها باعث ایجاد ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی منحصربفرد نانوذرات شده است که از فرم ماکروسکوپی آنها متفاوت است (Zhu et al., ۲۰۰۸). نانوذرات می-توانند از طریق منافذ دیواره سلولی (۵ تا ۲۰ نانومتر) به داخل سلول وارد می‌شوند. همچنین این ذرات از طریق پدیده اندوسیتوز، پروتئین‌های ترانسپورتر و کانال‌های یونی نیز می‌توانند وارد سلول شوند. بعد از ورود به سیتوپلاسم، می‌توانند با اتصال به اندامک‌های مختلف، باعث تغییر عملکرد فیزیولوژیکی سلول‌ها شوند. بعضی از محققان بیان داشتند که نانوذرات آهن تاثیر مثبت

و تحریکی بر روی میزان کلروفیل و رشد گیاه دارد (Pintilei et al., ۲۰۰٦; Voica et al., ۲۰۰۳). همچنین محققان دیگر دریافتند که مگنتیت[۱] باعث بی‌نظمی کروموزومی در گیاهان جوان می‌شود و در غلظت‌های پایین باعث افزایش میزان میزان کلروفیل و در غلظت بالا باعث کاهش محتوای کلروفیلی گیاه می‌شود (Rácuciu and Creangá., ۲۰۰۷; Rácuciu et al., ۲۰۰۹). Rácuciu و همکاران (۲۰۰۹) دریافتند نانوذرات مگنتیت در غلظت بالا در بافت‌های گیاهی زنده باعث ایجاد استرس اکسیداتیو و ممانعت از فتوسنتز می‌شود. Wu و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی تاثیر نانوذرات اکسید مس، اکسید نیکل، دی اکسید تیتانیوم، مگنتیت و Co_3O_4 بر روی جوانه‌زنی گیاهان کاهو، تربچه و خیار پرداختند و بیان داشتند که نانوذرات اکسید مس و اکسید نیکل بر روی جوانه‌زنی این گیاهان تاثیر منفی داشتند.

با توجه به اهمیت گیاه ریحان به عنوان سبزی و استفاده ویژه آن در صنایع دارویی، محدودیت تولید مزرعه‌ای این گیاه به واسطه شوری خاک و آب‌های کشاورزی و با عنایت به این امر که تولید گیاهان دارویی در شرایط گلخانه‌ای استفاده بهینه از آب و مواد مغذی را میسر می‌سازد، در این آزمایش سعی شد اثرهای متقابل تنش شوری و محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف نانوکلات آهن بر گیاه ریحان مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها:

این آزمایش بصورت فاکتوریل در غالب طرح کاملا تصادفی با دو تیمار شوری (پنج سطح) و نانوکلات آهن (چهار سطح) در گلخانه تحقیقاتی موسسه سنا ساری در بهار ۱۳۹٤ انجام گردید. تعداد ۱۰ عدد بذر ریجان بومی مازندران در گلدان‌های ۵ لیتری حاوی پرلیت دانه متوسط، کشت گردید. در دو هفته بعد از کشت بذرها، فقط از آب خالص جهت آبیاری گیاهچه‌های جوان استفاده شد. سپس، به منظور ایجاد تراکم مناسب در هر گلدان ۵ گیاه نگه‌داری شد. در ادامه به مدت دو هفته از محلول یک چهارم هوگلند و سپس تا انتها از محلول یک دوم هوگلند جهت تغذیه و آبیاری استفاده شد. آزمایش با پنج سطح شوری شامل ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی مولار NaCl و چهار سطح نانوکلات آهن شامل ۰، ۲، ۵ و ۱۰ گرم در لیتر با سه تکرار به اجرا در آمد.

[۱] .Fe_3O_4

به منظور اعمال تنش شوری، یک ماه بعد از کشت بذرها، مقدار موردنظر از نمک NaCl برای هر تیمار به محلول غذایی هوگلند اضافه گردید. همچنین جهت محلول پاشی، نانوکلات آهن که از شرکت خضرا خریداری شد به غلظت‌های موردنظر رسانده و در دو نوبت (روز اول و دهم بعد از شروع تنش شوری) اسپری شد. دمای گلخانه ۲۲–۲۸ درجه سانتیگراد و نور ۶۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه و رطوبت نسبی در حدود ٤٥ تا ٦٠ درصد بود. نمونه‌برداری ۲۰ روز بعد از اعمال تنش شوری انجام گردید. اندازه‌گیری سطح برگ توسط دستگاه سطح برگ سنج (Li-Cor, Model Li-۱۳۰۰, USA) انجام گردید. وزن‌تر ریشه و اندام هوایی به طور جداگانه ثبت شده و به منظور اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌های فوق به مدت ۷۲ ساعت در خشک کن با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. همچنین صفت‌های میزان کلروفیل a و b (Arnon, ۱۹٤۹)، کارتنوئیدها (Krik and Allen, ۱۹٥٦)، پرولین (Bates et al., ۱۹۷۳)، مالون دی آلدهید (Heath and Packer, ۱۹٦۸)، کاتالاز (Pereira et al., ۲۰۰۲) و پراکسیداز (Koroi, ۱۹۸۹) اندازه‌گیری شدند. تجزیه واریانس داده‌ها با آزمون ANOVA و مقایسه میانگین‌ها بر مبنای آزمون دانکن با استفاده از نرم افزارهای SAS و MSTATC صورت گرفت.

نتایج:

نتایج بدست آمده از این آزمایش نشان داد تیمارهای شوری و نانوکلات آهن در سطح ۱ درصد و اثر متقابل تیمارها در سطح ۵ درصد بر روی سطح برگ تاثیر معنی‌داری داشته است. افزایش میزان شوری باعث کاهش سطح برگ شده بود که در سطوح مختلف شوری کاربرد نانوکلات آهن باعث بهبود و افزایش سطح برگ گیاه شد. همانطور که در جدول ۱ نشان داده شد تیمارهای شوری، نانوکلات آهن و اثر متقابل آنها بر روی وزن خشک ریشه و وزن تر اندام اندام هوایی در سطح ۱ درصد اثر معنی‌داری داشته است اما اثر متقابل تیمار شوری و نانوکلات آهن بر روی صفات وزن خشک اندام هوایی، وزن تر ریشه و ارتفاع گیاه تاثیر معنی‌داری نداشته است. در واقع شوری باعث کاهش در این صفات شده بود که هرچه شوری افزایش می‌یافت میزان کاهش در این صفات بیشتر بود طوریکه بیشترین کاهش را در شوری ۱۰۰میلی‌مولار NaCl مشاهده کردیم اما کاربرد نانوکلات آهن بصورت محلول‌پاشی باعث بهبود عملکرد گیاه شده بود و بهترین عملکرد در این صفات در غلظت‌های ۵ و ۱۰ گرم در لیتر نانوکلات آهن در سطوح مختلف شوری مشاهده شد (جدول ۱).

بررسی نتایج بدست آمده از تاثیر شوری و نانوکلات آهن بر صفات میزان کلروفیل a وb و کاروتنوئید نشان داد اثر تنش شوری بر هر سه صفت در سطح ۱ درصد معنی‌دار، اثر نانوکلات آهن در سطح ۱ درصد بر روی کلروفیل b و کاروتنوئید معنی‌دار بود اما تیمار نانوکلات آهن بر کلروفیل a و اثر متقابل تیمار شوری و نانوکلات آهن بر هر سه صفت در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبود. با افزایش تنش شوری، میزان هر سه صفت با کاهش همراه بود بیشترین میزان کاهش در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد. استفاده از نانوکلات آهن به صورت محلول پاشی تا اندازه‌ای باعث بهبود تحمل گیاه در سطوح شوری شده بود و بهترین غلظت محلول پاشی مربوط به غلظت‌های ۵ و ۱۰ گرم در لیتر بود (جدول ۲). نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری میزان MDA و پرولین نشان داد تیمار شوری و نانوکلات آهن بر روی این صفات در سطح ۱ معنی‌دار بوده اما اثر متقابل تیمارها اثر معنی‌داری نداشته است. میزان هر دو صفت با افزایش شوری با افزایش همراه بود که بیشترین میزان MDA و پرولین به ترتیب در تیمارهای ۱۰۰ میلی‌مولار شوری به همراه ۲ گرم بر لیتر نانوکلات آهن و ۱۰۰ میلی‌مولار شوری به همراه ۱۰ گرم بر لیتر نانوکلات آهن مشاهده شد (جدول ۲ و ۳).

نتایج حاصل از اندازه‌گیری میزان فعالیت دو آنزیم کاتالاز و پراکسیداز نشان داد اثر تیمار شوری و نانوکلات آهن و اثر متقابل آنها بر روی دو آنزیم در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود و با افزایش میزان شوری و غلظت نانوکلات آهن فعالیت هر دو آنزیم با افزایش همراه بود که بیشترین میزان فعالیت دو آنزیم کاتالاز و پراکسیداز به ترتیب در تیمارهای ۷۵ میلی‌مولار شوری به همراه ۱۰ گرم‌برلیتر نانوکلات آهن و ۷۵ میلی‌مولار شوری به همراه ۱۰ گرم بر لیتر نانوکلات آهن مشاهده شد (جدول ۲ و نمودار ۱ و ۲).

بحث:

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد استفاده از نانوکلات آهن بر روی گیاه ریحان تحت تنش تا اندازه‌ای باعث افزایش تحمل گیاه نسبت به تنش شوری شد. تحت تنش شوری صفات ارتفاع، سطح برگ، وزن‌تر و خشک ریشه و اندام هوایی، میزان کلروفیل a و b و کاروتنوئید گیاه ریحان کاهش یافته بود که استفاده از نانوکلات آهن به صورت محلول‌پاشی با افزایش معنی‌داری در سطوح مختلف شوری در این صفات همراه بود. تجمع نمک در محلول خاک، پتانسیل اسمزی محلول خاک را کاهش داده و گیاه

در جذب آب با مشکل مواجه شده و دچار نوعی خشکی فیزیولوژیکی حاصل از تنش اسمزی می‌شود. از سوی دیگر به دلیل وجود یون‌های سمی در محلول خاک، گیاه با سمیت این گونه یون‌ها مواجه می‌گردد. این اثرات می‌توانند موجب کاهش آماس سلولی، کاهش فتوسنتز و فعالیت آنزیم‌ها، بهم خوردن تعادل یونی در اثر انتقال ناکافی یون‌ها یا مکانیسم‌های انتخابی آنها و افزایش استفاده از انرژی متابولیکی در فرآیندهای غیررشدی مرتبط با مکانیسم تحمل گیاه گردند (Munns, ۲۰۰۵). Jabeen و Ahmad (۲۰۱۱) با محلول‌پاشی عناصر پتاسیم، آهن و بور باعث افزایش ارتفاع، وزن خشک اندام هوایی و غلظت آهن در اندام هوایی گیاه آفتابگردان تحت تنش شوری شدند. همین‌طور در آزمایش دیگری Zayed و همکارانش (۲۰۱۱) با محلول پاشی عناصر آهن، روی و منگنز سبب افزایش ارتفاع، وزن خشک اندام هوایی و محتوای کلروفیلی گیاه برنج تحت تنش شوری شدند. El-Fouly و همکارانش (۲۰۱۰) با محلول‌پاشی آهن و منگنز دریافتند غلظت پتاسیم، آهن و منگنز و نسبت پتاسیم به سدیم در اندام هوایی گیاه گندم تحت تنش شوری افزایش یافته بود. با توجه به نقش ساختاری عناصر ریزمغذی از جمله آهن در برخی از آنزیم‌ها و همچنین نقش موثر آنها در سنتز پروتئین‌ها، با مصرف این عناصر علاوه بر افزایش عملکرد، افزایش مقاومت گیاهان تحت تنش‌های محیطی مورد انتظار است. در آزمایش دیگری پیوندی و همکارانش (۱۳۹۰) بیان داشتند استفاده نانوکلات آهن در مقایسه به شکل معمول و غیر نانو کلات آهن باعث افزایش بیشتری در وزن خشک اندام هوایی، ریشه، برگ و طول ریشه گیاه ریحان می‌شود. در آزمایش آنها مصرف کود آهن باعث افزایش محتوای کلروفیلی شده بود اما اختلاف معنی‌داری بین شکل نانو و معمول کود مشاهده نشد. با توجه به قطر نانو ذرات انتظار می‌رود سرعت جذب، انتقال و تجمع ذرات نانو بسیار بشتر از ذرات معمول باشد. بالا بودن کارایی جذب و سطح مخصوص نانو ذرات در مقایسه با ذرات معمول، اثرگذاری بیشتر این ذرات را می‌تواند توجیه کند (Monica and Cremonini, ۲۰۰۹).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات پرولین، MDA، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز نشان داد تیمارهای شوری و نانوکلات آهن تاثیر معنی‌داری بر روی این صفات در سطح ۱ درصد داشته و اثر متقابل تیمارها بر روی پرولین و MDA اثر معنی‌داری نداشته اما بر روی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در سطح ۱ درصد تاثیر معنی‌داری داشته است. در واقع با افزایش میزان شوری با افزایش در میزان پرولین، MDA و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز همراه بود که با کاربرد نانوکلات

آهن در سطوح مختلف شوری باعث کاهش میزان MDA و افزایش میزان پرولین و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز شده بود. مالون‌دی آلدهید نشان دهنده آسیب وارده به غشای سلولی می‌باشد که بخاطر تولید انواع اکسیژن فعال حاصل از غلظت سمی یون‌های حاصل از تنش شوری می‌باشد. میزان مالون‌دی آلدهید با افزایش شوری افزایش یافته بود که نانوکلات آهن باعث کاهش آسیب وارده به غشا و کاهش میزان MDA شده بود. بیشترین میزان MDA در تیمار شوری ۱۰۰ میکرومولار با غلظت نانوکلات آهن ۲ گرم بر لیتر مشاهده شد. یکی از اثرات تنش‌های محیطی مانند شوری، افزایش تولید انواع اکسیژن‌های فعال (ROS) و القای تنش اکسیداتیو است. نشت اکترون‌ها از زنجیره انتقال الکترون به O_2 در طول متابولیسم هوازی طبیعی به تولید انواع ROS مانند سوپراکسید منجر می‌شود. نتایج بدست آمده از تاثیر نانوکلات آهن بر روی میزان پرولین نشان داد تاثیر چندانی بر روی میزان پرولین گیاه ریحان تحت شرایط بدون شوری نداشته است اما تحت تنش شوری و افزایش میزان شوری با افزایش میزان پرولین همراه بود که در سطوح مختلف شوری اعمال تیمار نانوکلات آهن باعث افزایش معنی‌دار میزان پرولین شده بود که این افزایش می‌تواند از طریق افزایش سنتز یا کاهش تجزیه پرولین باشد. کاتالازها و پراکسیدازها از جمله آنزیم‌هایی به شمار می‌آیند که نقش بسیار مهمی در پاسخ به تنش‌های غیرزیستی دارند. تنش شوری در گیاهان باعث تولید انواع اکسیژن‌های فعال می‌شود که تنش اکسیداتیو را در گیاه القا می‌کند. هرچند در شرایط متداول سوپراکسید دسموتاز رادیکال‌های آزاد را از بین می‌برد و کاتالاز و اسکوربات پراکسیداز به سادگی H_2O_2 را تجزیه می‌کنند، اما در شرایط تنش شوری، عدم خنثی شدن رادیکال‌های اکسیژن و باقیماندن پراکسید هیدروژن در گیاه منجر به واکنش فنتون و هابروایس می‌گردد که در ازای آن رادیکال خطرناک هیدروکسیل تولید می‌شود که می‌تواند به صورت پی‌درپی انواع ماکرومولکول‌های زیستی از جمله لیپیدها و پروتئین‌ها را ناپایدار کند (Hebbara et al., ۲۰۰۳; Pereira et al., ۲۰۰۲). نتیجه تنش اکسیداتیوی ناشی از سمیت یونی حاصل از تنش شوری در گیاهان کاهش میزان پروتئین‌ها، کلروفیل و صدمات برگشت ناپذیر به غشای زیستی و اسدهای نوکلئیک است که توسط بسیاری از محققان گزارش شده است. این پژوهش نشان داد که تنش شوری باعث افزایش میزان فعالیت دو آنزیم کاتالاز و پراکسیداز شده بود که تیمار نانوکلات آهن در سطوح مختلف شوری باعث افزایش میزان فعالیت دو آنزیم در سطوح شوری شده بود. Sinha و Saxena (۲۰۰۶) در آزمایشی نشان دادند استفاده از آهن سبب افزایش فعالیت پراکسیداز در ریشه و کاهش فعالیت آن در برگ

گیاه *Bacops monnieril* شده بود همچنین محتوی آسکوربات هم در ریشه و هم در برگ در مقایسه با شاهد افزایش نشان داده است (۲۹).

نتیجه‌گیری

نتایج کلی بدست آمده نشان داد که کود نانوکلات آهن تهیه شده با فناوری نانو حتی در غلظت کم هم می‌تواند سبب افزایش رشد و افزایش تحمل گیاه ریحان به تنش شوری شود و هیچ یک از غلظت‌های بکار رفته در این تحقیق برای گیاه ریحان سمی نبوده است.

منابع:

۱- امید بیگی، ر. ۱۳۷۹. تولید و فرآوری گیاهان دارویی. جلد سوم، انتشارات استان قدس رضوی. ص ۳۷۹

۲- پرداختی ع ر، نظران م ح، حکم آبادی ح و آشتیانی م. ۱۳۸۵. نقش فضای سبز در کاهش آلودگی هوا و اثر کود جدید کلات آهن خضرا در افزایش کارائی گیاهان و تلطیف هوا، اولین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست.

۳- پیوندی م، پرنده ه، میرزا م. ۱۳۹۰. مقایسه تاثیر نانوکلات آهن با کلات آهن بر پارامترهای رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان ریحان ***Ocimum Basilicum***. تازه های بیوتکنولوژی سلولی مولکولی. دوره اول ش ٤ ص ۸۹-۱۰۲

٤- تایز ل، زایگر ا. ۲۰۰۲. فیزیولوژی گیاهی، خانه زیست شناسی (ویرایش سوم)، تهران، صفحه ۷۸۰.

۵- رضایی ر، حسینی س م، شعبانعلی فمی ح و صفا ل. ۱۳۸۸. شناسایی و تحلیل موانع توسعه فناوری نانو در بخش کشاورزی ایران از دیدگاه محققان. فصلنامه علمی-پژوهشی سیاست علم و فناوری، ۲(۱):۱۷-۲٦

٦- Abou El-Fadl, I.A., M.K. Abd-Ella and E.H. Hussein. ۱۹۹۰. Effect of irrigation by saline water on the growth and some principal compounds of peppermint and spearmint in two types of soil. J. Agric. Res .۱٦: ۲۷٦-۲۹۵.

۷- Arnon, D. I. ۱۹٤۹. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in beta vulgaris. Plant Physiol .۲٤, ۱-۱٤.

۸- Banaei M H, Moameni A, Baybordi M and Malakouti MJ. ۲۰۰۵. The soils of Iran , new achievements in perception. Managements and use. Sana publication, Tehran. Iran.

۹- Bates, L. S., Waldron, R. P. and Teare, I. D. ۱۹۷۳. Rapid determination of free proline for water stress studied. Plant .Soil. ۳۹: ۲۰۵-۲۰۷.

۱۰- Blakrishman K. ۲۰۰۰. Peroxidase activity as an indicator of the iron deficiency banana. Ind J Plant Physiol. ۵: ۳۸۹-۳۹۱.

۱۱- Cakmak, I. ۲۰۰۰. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. New Phytol. ۱٤٦, ۱۸۵-۲۰۵.

۱۲- Das R, Kiley P, Segal M, Norville J, Yu AA, Wang L, Trammell SA, Reddick L.E, Kumar R, Stellacci F, Lebedev N, Schnur J, Bruce BD, Zhang S, Baldo M. ۲۰۰٤. Integration of Photosynthetic Protein Molecular Complexes in Solid-State Electronic Devices. Nano Letters. ٤(٦): ۱۰۷۹ -۱۰۸۳.

۱۳- El-Fouly, M. M., Mobarak, Z. M. & Salama, Z. A. ۲۰۱۱. Micronutrients (Fe, Mn, Zn) foliar spray for increasing salinity tolerance in wheat *Triticum aestivum* L. Afr. J. Plant Sci. ۵, ۳۱٤-۳۲۲.

۱٤- El-Shafy, S., A. Meawad, A. Awad and M. Shaer. ۱۹۹۱. Effect of combination treatment between salinity, gamma irradiation as well as cycocyl on: II Leaf pigment and chemical constituents of sweet basil plants. Zagazig J. Agric. Res. ۱۸: ۲۲٤۷-۲۲۹۳.

۱۵- El-Sherif, A.F., S.M. Shehata and R.M. Youssif. ۱۹۹۰. Response of tomato seedlings to zinc application under different salinity levels. Egypt. J. Hort. ۱۷: ۱۳۱-۱٤۲.

۱۶- Heath, R. L. and Packer, L .۱۹۶۹. Photo peroxidation in isolated chloroplast. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Arch Biochem Biophys. ۱۲۵: ۱۸۹-۱۹۸.

۱۷- Hebbara, M., G.R. Rajakumari, G. Ravishankari and C.V. Raghaviah. ۲۰۰۳. Effect of salinity stress on seed yield through physiological parameters in sunflower genotypes. Helia. ۲۶(۳۹): ۱۵۵-۱۶۰.

۱۸- Jabeen, N. & Ahmad, R. ۲۰۱۱. Effect of foliar-application boron and manganese on growth and biochemical activities in sunflower under saline conditions. Pak. J. Bot. ٤۳, ۱۲۷۱-۱۲۸۲.

۱۹- Koroi SAA. ۱۹۸۹. Gelekektrophers tische and spectral photometrischoe under uchungen zomeinfiuss der temperature auf straktur and aktritat der amylase and peroxidase isoenzyme. Physiol. ۲۰: ۱۵-۲۳.

۲۰- Krik JT O and Allen, RL.۱۹۵٦ . Dependence of chloroplast pigment synthesis on protein synthesis; effect of actidione. Biochem Biophys Res Commun. ۲۱; ٥۲٥-٥۳۰.

۲۱- Monica, R. C. & Cremonini, R. ۲۰۰۹. Nanoparticles and higher plants. Caryologia. ٦۲, ۱٦۱-۱٦٥.

۲۲- Munns, R. ۲۰۰٥. Genes and salt tolerance: Bringing them together. New Phytol. ۱٦۷, ٦٤٥-٦٦۳.

۲۳- Pereira GJG, Molina SMG, Lea PJ Azevedo RA. ۲۰۰۲. Activity of antioxidant enzyme in response to cadmium in Cro talaria juncea. Plant and Soil. ۲۳۹: ۳۷۹-۳۸۹.

۲٤- Pintilei, M., Oprica, L., Surleac, M., Dragut, I.C., Creanga, D.E., and Artenie, V. ۲۰۰٦. Enzyme activity in plants treated with magnetic liquid, Rom. J. Phys. vol. ٥۱, pp. ۲۲۱–۲۲٦.

۲٥- Rácuciu, M. and Creangá, D. ۲۰۰۷. Cytogenetic changes induced by aqueous ferrofluids in agricultural plants, J. Magn. Magn. Mater. ۳۱۱: ۲۸۸–۲۹۰.

۲٦- Rácuciu, M., Micláus, S., and Creangá, D. ۲۰۰۹. The response of plant tissues to magnetic fluid and electromagnetic exposure, Rom. J. Biophys. ۱۹: ۷۳–۸۲.

۲۷- Ruiz JM, Baghour M, Romers L. ۲۰۰۰. Efficiency of the different genotypes of tomato in relation to foliar content of Fe and the reponse of some bioindicators. J Plant Nutr. ۲۳: ۱۷۷۷-۱۷۸٦.

۲۸- Sajjadi, S.E. ۲۰۰٦. Analysis of the essential oils of two cultivated basil (*Ocimum basilicum L.*) from Iran. Daru. ۱٤(۳): ۱۲۸-۱۳۰.

۲۹- Sinha S and Saxena R. ۲۰۰٦. Effect of iron on lipid peroxidation, and enzymatic and non-enzymatic antioxidant and bacoside A content in medicinal plant *Bacopa monnieril*. Chemosphere. ٦۲(۸): ۱۳٤-۱۳٥

۳۰- Voica, C., Polescu, L., and Lazar, D.A. ۲۰۰۳. The influence of the magnetic fluids on some physiological processes in Phaseolus vulgaris, Rev. Roum. Biol. ٤۸: ۹–۱٥.

۳۱- Warheit DB, Brock WJ, Lee KP, Webb TR, Reed KL. ۲۰۰٥. Comparative pulmonary toxicity inhalation and instillation studies with different $TiO_۲$ particle formulations: impact of surface treatments on particle toxicity. Toxicol Sci. ۸۸(۲):٥۱٤–٥۲٤.

۳۲- Wu, S.G, Huang, L., Head, J., Chen, D-R., Kong, I-C., Tang, Y.J. ۲۰۱۲. Phytotoxicity of metal oxide nanoparticles is related to both dissolved metals ions and adsorption of particles on seed surfaces. J. Pet. Environ. Biotechnol. ۳, ۱۰۰۰۱۲٦

۳۳- Zayed, B. A., Salem, A. K. M. & El Sharkawy, H. M. ۲۰۱۱. Effect of Different Micronutrient Treatments on Rice (*Oriza sativa L.*) Growth and Yield under Saline Soil Conditions. World J of Agri Sci. ۷: ۱۷۹-۱۸٤.

۳٤- Zhu, H., Han, J., Xiao, J.Q., and Jin, Y. ۲۰۰۸. Uptake, translocation, and accumulation of manufactured iron oxide nanoparticles by pumpkin plants. J. Environ. Monit. ۱۰: ۷۱۳–۷۱۷.

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر تنش شوری و محلول پاشی نانوکلات آهن بر صفات رویشی گیاه ریحان

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		سطح برگ	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن تر اندام هوایی	ارتفاع گیاه
شوری	٤	٧٣٩٦١**	٠/٠٦٧**	٣/١٢٦**	٤/٤١٢**	٢٠/٨٩**	٥٣٦**
نانوکلات آهن	٣	٢٦٧٢**	٠/٠١٣٦**	٠/٣٥٨**	٠/٤٥٥**	١/١٣١**	٧٩/٨**
شوری * نانوکلات آهن	١٢	٣٤٧*	٠/٠٠١٢**	٠/٠٣٧ns	٠/٠٣١ns	٠/٠٥٢١**	١/١١٣ns
خطا	٤٠	١٦٧/٥	٠/٠٠٠٣	٠/٠١٩٨	٠/٠١٨٨	٠/٠١٣	١
ضریب تغییرات	----	٣/٢٧	٢/٨٨	٢/٧٣	٤/٣٤	٠/٦٢	٢/٧

**:معنی‌داری در سطح ۱درصد *:معنی‌داری در سطح ۵ درصد ns:معنی‌دار نیست

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر تنش شوری و محلول پاشی نانوکلات آهن بر صفات فیزیولوژیک گیاه ریحان

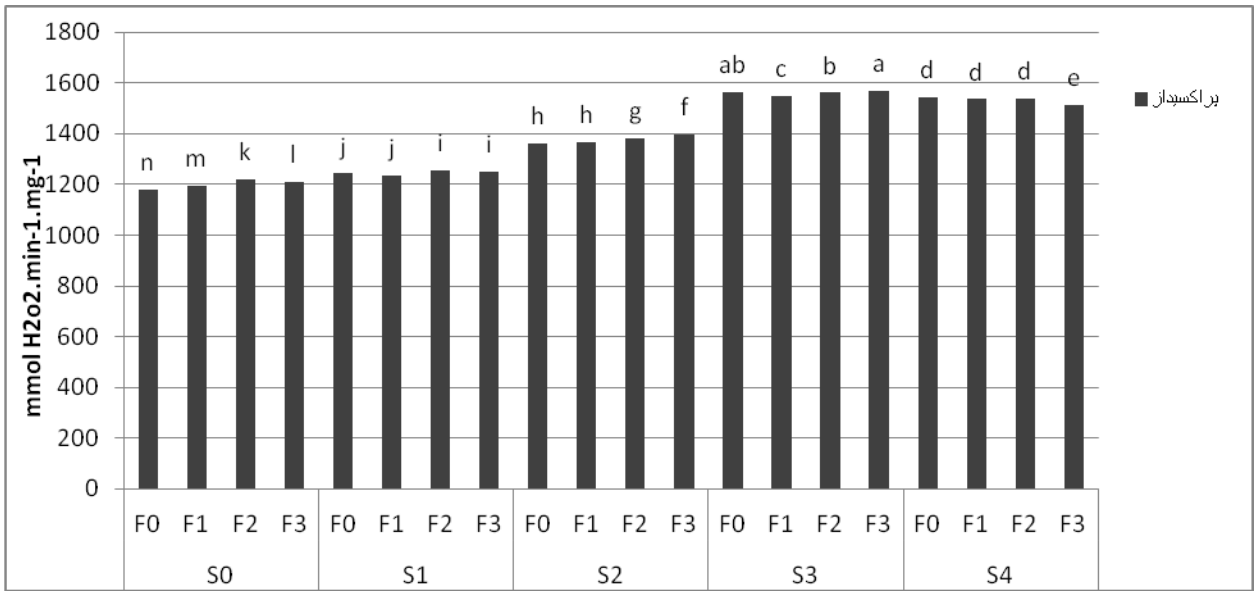
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید	پرولین	MDA	پراکسیداز	کاتالاز
شوری	٤	٠/٠٦٩**	٠/٠١٤٧**	٠/٠٠٠٥٨**	١٩٥/٨**	١/١٨١٧**	٣١٨٠٥٩**	٩٧٨٢٢**
نانوکلات آهن	٣	٠/٠٠٣٤ns	٠/٠٠٠٤٧**	٠/٠٠٠٠٤**	٠/٣٤٥**	٠/٠٠٦٧**	٨٠٢**	٧٠٦**
شوری * نانوکلات آهن	١٢	٠/٠٠١٧ns	٠/٠٠٠١٢ns	٠/٠٠٠٠٠٤ns	٠/٠٦٩ns	٠/٠٠٠٤ns	٤٨٥**	١٤٣**
خطا	٤٠	٠/٠٠٢	٠/٠٠٠١	٠/٠٠٠٠٠٢٦	٠/٠٣٤٨	٠/٠٠٠١٧*	٢٠/٧	١٤/١٨
ضریب تغییرات	----	٧/٧٨	٥/٨٥	٣/٥٨	٢/٩٥	١/٧	٣/٣	٢/٨

**:معنی‌داری در سطح ۱درصد *:معنی‌داری در سطح ۵ درصد ns:معنی‌دار نیست

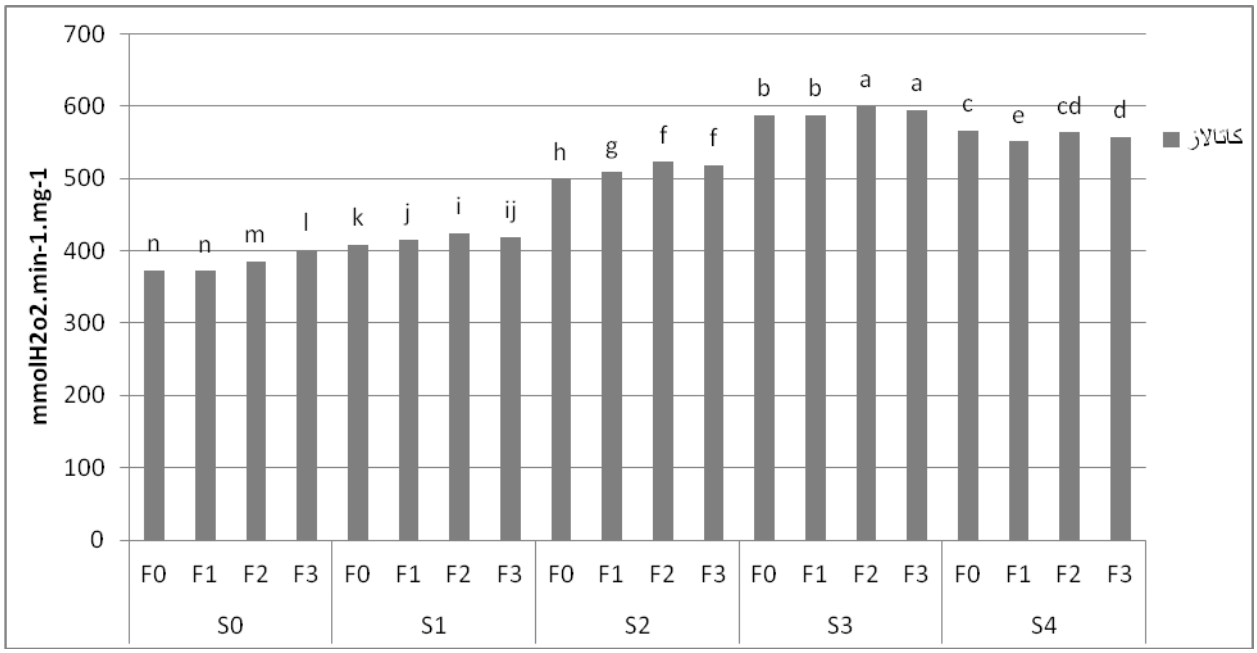
جدول ۳. مقایسه میانگین اثر تنش شوری و محلول پاشی نانوکلات آهن بر صفات رویشی و فیزیولوژیکی گیاه ریحان

تیمار		میانگین صفات										
غلظت شوری (میلی‌مولار)	غلظت نانوکلات آهن(gr/lit)	سطح برگ	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن تر اندام هوایی	ارتفاع گیاه	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید	مالون دی الدهید	پرولین
۰	۰	٤٧٩b	۰/٦٧٧ b	٥/٥ bc	۳/۷ c	۱۹/٦۷ de	٤۳c	۰/٦۲۷abcd	۰/۲۱bc	۰/۰٥۳۷b	۰/٤۸۳l	۲/۱۳h
۰	۲	٤۹٤ b	۰/٦٦ b	٥/٥۳ bc	۳/٦cd	۱۹/۹c	٤٥b	۰/٦٤۳abc	۰/۲۱۷b	۰/۰٥۱۳ cd	۰/٤٥۷m	۲/۱h
۰	٥	٥۳۱ a	۰/۷٥۷ a	٥/۹۳a	۳/۹۳ ab	۲۰/۳۳b	٤۸/۳۳a	۰/٦۹ab	۰/۲۳۷a	۰/۰٥۸ a	۰/٤٥۳m	۲/۲h
۰	۱۰	٥۳۱ a	۰/۷۷ a	٦/۱a	٤ a	۲۰/۷a	٤۹/٦۷a	۰/٦۹۷a	۰/۲۳۷a	۰/۰٥٦۷ a	۰/٤٤۷m	۲/۲h
۲٥	۰	٤۳۷ c	۰/٦۱۷ cd	٥/٤ cd	۳/٤۳de	۱۹/٤ f	۳۹/٦۷d	۰/٥۹cdef	۰/۱۹de	۰/۰٤۸۳e	۰/٥۹۷i	۳/٦۷f
۲٥	۲	٤٤۱ c	۰/٦۰۷ cde	٥/٥۳ bc	۳/٤ cde	۱۹/٥۷ ef	٤۰/۳۳d	۰/٦۸۳ab	۰/۱۸۷def	۰/۰٤۹۳ de	۰/٥۸ij	۳/۲g
۲٥	٥	٤٥٦ c	۰/٦٥۷b	٥/٦۷ b	۳/۷۷bc	۱۹/۷de	٤۳/۳۳c	۰/٦۲bcde	۰/۱۹۷cd	۰/۰٤۹۳ de	۰/٥٦۳j	۳/۷f
۲٥	۱۰	٤٤۸c	۰/٦٦۷b	٥/٦bc	۳/۷۷bc	۱۹/۸۳cd	٤۳/٦۷bc	۰/٦۲Bcde	۰/۱۹de	۰/۰٥۲۷bc	۰/٥۳k	۳/۸۳f
٥۰	۰	۳٥٦de	۰/٥۷f	٤/۹۳fgh	۳gh	۱۸/٥hi	۳٥/۳۳ef	۰/٥٤fg	۰/۱۷۳fgh	۰/۰٤۲gh	۰/۷۷۳f	٥/٤e
٥۰	۲	۳٥۰de	۰/٥۳۷h	٤/۷۳hi	۲/۹h	۱۸/٦۷h	۳٦/۳۳e	۰/٥٥ef	۰/۱۷۱Fgh	۰/۰٤۳۲fgh	۰/۷٤۷g	٥/٦de
٥۰	٥	۳٦٥d	۰/٦۱۳cde	٥/۱۳ef	۳/۲۷ef	۱۹g	٤۰d	۰/٥۷۳cdef	۰/۱۷۷efg	۰/۰٤٤٥f	۰/۷۲۷g	٥/۸۷d
٥۰	۱۰	۳٦۹d	۰/٦۰۷cde	٥/۱۷de	۳/٤۳de	۱۹/۱g	٤۰/٦۷d	۰/٥۹cdef	۰/۱۸۹۷de	۰/۰٤۳۹fg	۰/۷h	٥/۹d
۷٥	۰	۳۳٥ef	۰/٥٦۷fg	٤/۸۷gh	۲/۸h	۱۷/۹k	۳۰/۳۳g	۰/٥۳۷fg	۰/۱٥۸۷h	۰/۰۳۹ij	۰/۹۳c	۷/۷۳c
۷٥	۲	۳۳۹ef	۰/٥۸۷ef	٤/۹fgh	۲/۹h	۱۷/۹k	۳۱/٦۷g	۰/٥۳fgh	۰/۱٦h	۰/۰٤۱hi	۰/۹۱۷cd	۷/۷۷c
۷٥	٥	۳٤۸de	۰/٦۲۷c	٥Efg	۳/۱۳fg	۱۸/۳J	۳٤/٦۷f	۰/٥٤۷ef	۰/۱٥۷h	۰/۰٤۳fgh	۰/۹d	۷/۸c
۷٥	۱۰	۳٤۹de	۰/٥۹def	٥efg	۳/۲۳ef	۱۸/٤ij	۳٥ef	۰/٥٦۳def	۰/۱٦۷gh	۰/۰٤۳fgh	۰/۸۷۷e	۷/۹c
۱۰۰	۰	۳۰۷g	۰/٥i	٤/۳۳j	۲/۳۷i	۱٦/٦۷m	۲۸/۳۳h	۰/٤۷gh	۰/۱۲٥i	۰/۰۳٥۹l	۱/۲٥۷ab	۱۲/۳b
۱۰۰	۲	۳۰۹ g	۰/٥i	٤/٤۳ j	۲/۰۷ j	۱٦/٥m	۲۸/٦۷h	۰/٤٦۳h	۰/۱۳۲i	۰/۰۳٦۳kl	۱/۲۷۷a	۱۲/۳۷b
۱۰۰	٥	۳۲۳fg	۰/٥٤ij	٤/٥ij	۲/۲۳ij	۱۷l	۳۱g	۰/٤۷gh	۰/۱۳۲۷i	۰/۰۳۸۸ij	۱/۲٦ab	۱۲/٤b
۱۰۰	۱۰	۳٥٤de	۰/٥۰۷i	٤/۷hi	۲/۳i	۱٦/۹۷l	۳۱/۳۳g	۰/٤۷gh	۰/۱۳۳i	۰/۰۳۸۳jk	۱/۲٤b	۱۲/۸۷a

حروف مختلف در ستون‌ها نشان دهنده اختلاف معنی‌داری بین تیمارها بر مبنای آزمون دانکن می‌باشند.



نمودار ۱. تاثیر سطوح مختلف شوری و محلول‌پاشی نانوکلات آهن بر روی فعالیت آنزیم پراکسیداز گیاه ریحان



نمودار ۲. تاثیر سطوح مختلف شوری و محلول‌پاشی نانوکلات آهن بر روی فعالیت آنزیم کاتالاز گیاه ریحان

The effect of Nano Fe-chelate foliar application on growth and physiological characteristics in basil (*Ocimum basilicum* L.) under salt stress

Atena Gholami[۱], Hosein Abaspour[۲], Mahyar Gerami[۳], Abouzar Ghorbani[٤]

۱. Ph.D. Student of Islamic Azad University, Damghan
۲. Department of Biology, Faculty of Biology, Islamic Azad University, Damghan
۳. Faculty Member of Sana-Sari University
٤. Ph.D. Dept. of Biology, Mohaghegh Ardabili University

Abstract

Basil (*Ocimum basilicum* L.) belongs to the Lamiaceae family as a medicinal plant used in traditional medicine in Iran. The purpose of this test is to evaluate the effect of nano Fe-chelate under salinity levels on the plant physiology and morphology characteristics. in this experiment investigated the effect of nano Fe-chelate and salinity stress on growth parameters, photosynthetic leaves rate, the amount of malondialdehyde (MDA) and proline , also the changes enzymes activity in some of antioxidant enzymes in leaves. In order to investigate the interaction of salinity and nano Fe-chelate spraying on basil, an experiment as a factorial in completely randomized block design with five levels of salinity (۰, ۲۵, ۵۰, ۷۵ and ۱۰۰ Mm NaCl) and four level of nano Fe-chelate (۰, ۲, ۵ and ۱۰ grams per liter) with three replications was conducted. Results indicated that photosynthetic pigments and growth parameters significantly decreased under salt stress compared with the control, but the use of nano Fe-chelate in different levels of salinity improve and enhance the performance of basil compared to control and salt stress without iron. In addition, study of physiological characteristic showed salinity due to increase of MDA, proline and enzymatic activity of catalase and peroxidase, that using of nano Fe-chellat made decreasing in MDA content and increasing of proline and enzymatic activity of catalase and peroxidase in comparison to control sample and sample without Fe. The results showed that the use of nano Fe_chellat improves and enhances basil plant growth under salt stress.

Keywords: Basil, Nano Fe-chellat, Salt stress, Photosynthetic pigments, Antioxidant enzymes