نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۲، شماره ۱، بهار ۱۳۹۳، ص. ۱۱۷-۱۱۰

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 12, No. 1, Spring. 2014, p. 110-117

تاثیر محلول‌پاشی نانو ذرات اکسید آهن و روی بر رشد و محتوای یونی دو ژنوتیپ ذرت (*Zea mays*) در شوری های متفاوت خاک

علی رضا فتحی [۱*]- مرتضی زاهدی [۲]

تاریخ دریافت:۱۳۹۱/۹/۱۸
تاریخ پذیرش:۱۳۹۲/۱۱/۱۳

چکیده

در این پژوهش تأثیر محلول‌پاشی اکسید آهن و روی به دو شکل معمول و نانو ذرات بر واکنش دو ژنوتیپ (سینگل کراس۷۰۴ وتوده بذری) ذرت در شوری های متفاوت خاک (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در شرایط گلدانی انجام شد. نتایج بدست آمده نشان داد شوری باعث کاهش سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، راندمان فتوشیمیایی، غلظت پتاسیم، آهن و روی در اندام هوایی و افزایش غلظت سدیم و نسبت غلظت سدیم به پتاسیم می‌شود. اثر متقابل شوری و رقم بر سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، راندمان فتوشیمیایی و نسبت سدیم به پتاسیم معنی‌دار بود. محلول‌پاشی آهن و روی به شکل نانو ذرات وزن خشک اندام هوایی را به نسبت بیشتری در مقایسه بامحلول پاشی آهن و روی به شکل معمول آنها افزایش داد. کاربرد آهن به شکل نانو ذرات در شرایط غیرشور درجذب این عنصر توسط گیاه موثرتر بود ولی با افزایش شوری برتری شکل نانو کاهش یافت. تاثیر کاربرد نانو ذرات آهن و روی از نظر کاهش اثرات شوری بر غلظت روی در اندام هوایی نسبت به شکل معمول آنها بیشتر بود، ولیکن شکل نانو از نظر کاهش اثرات شوری بر غلظت آهن در اندام هوایی برتری نداشت. نتایج این آزمایش نشان داد که محلول پاشی آهن و روی به شکل نانو ذرات نسبت به شکل معمول آنها تاثیر بیشتری بر رشد گیاهان ذرت دارد. با این حال، شکل نانو از نظر تعدیل اثرات شوری بر رشد گیاه برتری نداشت.

واژه‌های کلیدی: اکسید آهن، اکسید روی، تغذیه برگی، تنش غیر زنده، نانو ذرات

مقدمه

تنش خشکی و شوری از عوامل مهم در کاهش عملکرد گیاهان زراعی در مناطق خشک به شمار می‌آیند. در حال حاضر حدود ۲۰ درصد از اراضی جهان با مشکل شوری مواجه هستند که پیش بینی می‌شود سطح زمین‌های شور در آینده افزایش یابد (۲۷). شور شدن خاک در مناطق خشک بطور گسترده‌تری به وقوع می پیوندد، زیرا در این نواحی میزان بارش جهت شستشو و انتقال نمک از ناحیه ریشه کافی نیست (۷). شوری ناشی از کلرید سدیم با کاهش پتانسیل آب در محیط ریشه، کاهش فشار تورژسانس سلول‌ها، ایجاد سمیت توسط یون‌های Na^+ و Cl^-، به هم زدن تعادل عناصر غذایی در خاک و اندام‌های گیاه باعث کاهش رشد گیاه می‌شود (۲۶). میزان تأثیر شوری بر گیاهان به عوامل مختلفی از جمله غلظت، نوع نمک، مرحله رشد گیاه، نوع گونه و ژنوتیپ گیاهی بستگی دارد (۷).

کاهش رشد در اثر تنش شوری برای گیاهان مختلف از جمله ذرت (*Zea mays*) گزارش شده است (۱۱، ۱۳ و ۲۱). شروع کاهش محصول ذرت در شوری ۱/۷ دسی زیمنس بر متر گزارش شده است (۱و۱۴). هوفمن و همکاران (۲۱) گزارش نمودند که شوری ۳/۷ دسی زیمنس بر متر باعث کاهش عملکرد ذرت نشد، اما به ازای هر واحد افزایش شوری از این سطح عملکرد دانه حدود ۱۴درصد کاهش یافت. در مطالعه ای که توسط کافی و استوارت (۱۰) بر روی گیاه گندم انجام شد مشاهده گردید شوری باعث کاهش سطح فتوسنتز کننده و در نتیجه افت عملکرد این گیاه میشود. همچنین منجلویس (۲۵) گزارش کرد که شوری سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه، ارتفاع، تعداد و سطح برگ گیاهان ذرت میشود.

تغییر غلظت و نسبت یون‌ها در گیاهان تحت تنش شوری به طور گسترده ای توسط پژوهشگران مختلف مورد بررسی قرار گرفته است

۱ و ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
(* - نویسنده مسئول: (Email: Alireza.fathi@ag.iut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

(۶، ۱۵ و ۲۰). تنش شوری باعث افزایش غلظت سدیم، کاهش غلظت پتاسیم و در نتیجه کاهش نسبت پتاسیم به سدیم در گیاه می‌شود (۱۵). بر این اساس، یکی از مکانیسم‌های مقاومت گیاه به شوری بالا بردن نسبت پتاسیم به سدیم در شرایط تنش می‌باشد که از طریق توانایی گیاه در جذب فعال پتاسیم و جلوگیری از ورود سدیم به ریشه حاصل می‌شود (۲۰). نتایج مطالعات متعددی نشان داده است که نسبت پتاسیم به سدیم در ارقام مقاوم به شوری در مقایسه با ارقام حساس بالاتر است (۲۴، ۱۶و ۳۰). در مطالعه سریواستاوا و همکاران (۳۱) بر روی گندم و ذرت مشاهده شد جذب سدیم در گیاهچه همه ژنوتیپ‌ها در اثر شوری به بیش از دو برابر افزایش ولی جذب عناصر پتاسیم، کلسیم و منیزیم کاهش یافت. فلاورز و همکاران (۱۷) گزارش کردند که وجود مقادیر بالای یون پتاسیم در گیاهان در غلظت‌های بالای نمک می‌تواند به عنوان معیار مناسبی برای انتخاب گیاهان مقاوم به شوری بکار رود.

حلالیت عناصر کم مصرف نظیر آهن، منگنز، مس، روی و مولیبدن در خاک‌های شور پایین بوده و گیاهان اغلب از نظر عناصر فوق دچار کمبود می‌باشند. محلول‌پاشی یا تغذیه برگی یکی از راه‌های موثر در رفع نیاز غذایی گیاهان به عناصر کم مصرف می‌باشد (۴). درآزمایش گانگلف و همکاران (۱۸) محلولپاشی روی بر گیاه ذرت باعث افزایش وزن خشک، افزایش غلظت روی در دانه‌ها و برگ‌های این گیاه شد. گزارش‌های متعددی مبنی بر تأثیر مثبت عناصر کم مصرف در تعدیل اثرات تنش وجود دارد (۹، ۸ و ۱۲). مصرف برگی عناصر کم مصرف در شرایط تنش خشکی عملکرد ذرت را از طریق بهبود راندمان فتوشیمیایی، افزایش غلظت کلروفیل و کاروتن افزایش میدهد (۹). هیو و اشمیدهالتر (۲۳) با مصرف عناصر کم نیاز قدرت تحمل گندم به شرایط شور افزایش می‌یابد.

امروزه فناوری نانو در کلیه عرصه‌های علمی از جمله بخش های مختلف کشاورزی در حال گسترش می‌باشد. نانو ذرات که ابعادی بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر دارند، دارای ویژگی‌های متفاوتی نسبت به فرم اولیه خود هستند که این خصوصیات می تواند بر نحوه عملکرد آنها موثر باشد (۲). در سال‌های اخیر نحوه تاثیر تغذیه عناصر مورد نیاز به شکل نانو ذرات بر رشد و نمو گیاهان مورد توجه قرار گرفته و نتایج مثبتی در این رابطه گزارش شده است. در مطالعه پیوندی و همکاران (۳) نانو کلات آهن در مقایسه با شکل معمول آن تاثیر بیشتری بر رشد گیاه ریحان[1] نشان داد. همچنین پندی (۲۸) در آزمایشی بر روی نخود[2] گزارش کرد که کاربرد اکسید روی به شکل نانو ذرات تاثیر بیشتری در افزایش رشد گیاه نسبت به شکل معمول آن داشت.

تاکنون در رابطه با تاثیر تغذیه نانو ذرات اکسید آهن و روی بر رشد گیاه ذرت و واکنش آن به تنش شوری مطالعه جامعی صورت نگرفته و اطلاعات قابل دسترسی وجود ندارد. لذا، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر محلول‌پاشی اکسید آهن و روی به دو شکل معمول و نانو ذرات بر خصوصیات رشدی و محتوای یونی دو رقم ذرت در شوری‌های متفاوت خاک انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در فضای باز در مرکز تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان با استفاده از دو رقم ذرت متحمل (توده بذری معرفی شده توسط مرکز اصلاح بذر و نهال کرج) و حساس به شوری (سینگل کراس۷۰۴) به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار انجام شد. در این آزمایش تاثیر شش تیمار محلول‌پاشی (اکسید آهن، اکسید روی، نانو اکسید آهن، نانو اکسید روی، مخلوط نانو اکسید آهن و روی و تیمار شاهد بدون محلول‌پاشی) و سه سطح شوری (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم) بر رشد رویشی ارقام ذرت مورد مطالعه قرار گرفت. مشخصات خاک مورد استفاده در جدول ۱ ثبت شده است.

بذرهای ذرت در اول اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۰ در گلدان‌های ۱۰ لیتری، در عمق ۳ سانتی‌متری خاک کاشته شدند (کل مدت زمان رشد گیاه از کاشت تا برداشت ۱۰ هفته به طول انجامید). ابتدا تعداد ۱۰ بذر در هر گلدان کشت گردید و در مرحله ۲ برگ حقیقی، بوته‌های اضافی حذف و در هر گلدان ۵ بوته نگهداری شد. به منظور حفظ رطوبت خاک آبیاری گلدان‌ها در حد ظرفیت زراعی هر روز یکبار انجام شد. در مرحله ۲ برگ حقیقی یک لیتر محلول غذایی نیترات پتاسیم با غلظت ۲ در هزار به هر گلدان اضافه شد. نانو ذرات اکسید روی و آهن با میانگین قطر ذرات ۱۰ تا ۳۰ نانومتر (US-Nano) مورد استفاده قرار گرفت (اطلاعات مربوط به نانو ذرات به کار رفته در جدول۲ آورده شده است).

تصاویر گرفته شده توسط دستگاه SEM (میکروسکوپ الکترونی روبشی) از نمونه پودر نانو ذرات آهن و روی در شکل ۱ ارائه شده است. تیمارهای شوری دو هفته پس از سبز شدن گیاهان (مرحله ۴ برگ حقیقی) به صورت محلول کلرید سدیم به خاک گلدانها اضافه شد. برای جلوگیری از شوک اسمزی اعمال تیمارهای شوری به تدریج و طی چهار مرحله انجام گرفت. محلول‌پاشی تیمارهای اکسید آهن و اکسید روی با غلظت ۲ در هزار (به دلیل عدم حلالیت کامل اکسید عناصر در آب اندکی pH محلول کاهش داده شد) در سه مرحله (یک هفته، دو هفته و سه هفته) پس از اعمال تنش شوری صورت گرفت. جهت جلوگیری از سوختگی برگ‌ها، محلول‌پاشی هنگام غروب آفتاب انجام شد. گیاهان دو هفته پس از مرحله سوم محلول‌پاشی برداشت شدند.

1- *Ocimum basilicum*
2- *Pisum sativum*

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- خصوصیات خاک مورد استفاده

بافت خاک	اسیدیته	هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	نیتروژن کل (٪)	غلظت فسفر (ppm)	غلظت پتاسیم (ppm)	غلظت آهن کل (ppm)	غلظت روی کل (ppm)
لومی	۷/۸	۲/۱	۰/۱۵	۱۵/۶	۱۱۰	۰/۱۸	ناچیز

در این آزمایش سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، کارایی فتوشیمیایی (Fv/Fm) و غلظت عناصر سدیم، پتاسیم، روی و آهن در اندام هوایی اندازه‌گیری شدند. برای اندازه گیری سطح برگ از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (مدل LI-3000A, USA)، کارایی فتوشیمیایی از دستگاه فلورومتر (مدل OS-30p)، غلظت عناصر سدیم و پتاسیم از دستگاه شعله‌سنج (مدل 410-Corning) و غلظت آهن و روی از دستگاه جذب اتمی (مدل Perkin-Elmer 3030) استفاده شد. داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزار SAS مورد تجزیه آماری قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSDدر سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

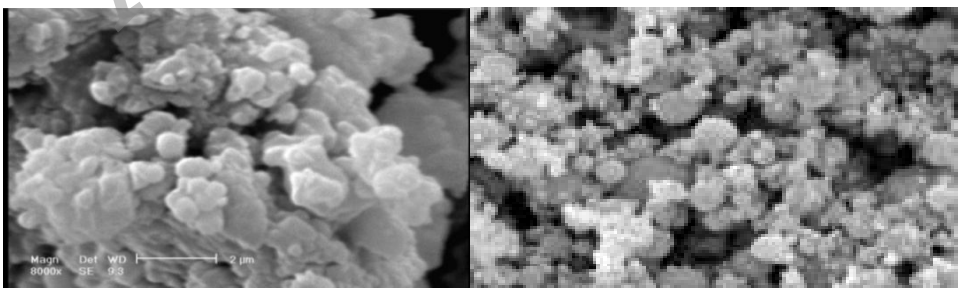
نتایج و بحث

نتایج آزمایش نشان داد که تأثیر شوری بر سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، راندمان فتوشیمیایی، غلظت سدیم، پتاسیم، آهن و روی و نسبت سدیم به پتاسیم ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). به طوری که سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، راندمان فتوشیمیایی، غلظت پتاسیم، آهن و روی در سطح شوری ۷۵ میلی‌مولار به ترتیب ۱۳، ۱۳، ۱۹، ۱۰، ۳۲، ۳۸ و ۳۴ درصد و در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۲، ۲۶، ۳۲، ۲۱، ۵۰، ۵۷ و ۵۳ درصد نسبت به تیمار غیرشور کاهش یافت (جدول ۴). در حالیکه غلظت سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم در اندام هوایی در سطح شوری ۷۵ میلی‌مولار به ترتیب ۱/۳۹ و ۳ برابر و در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار ۲/۶۹ و ۷ برابر افزایش یافت. در آزمایش سیسک و کاکیرلار (۱۶) شوری سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی، ریشه و سطح برگ در ذرت شد.

تأثیر محلول‌پاشی بر غلظت آهن و روی در اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد و بر وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول۳). بطور کلی صرف نظر از اندازه‌ی ذرات کود به کار برده شده، وزن خشک اندام هوایی در اثر محلول‌پاشی اکسید آهن و اکسید روی نسبت به تیمار محلول‌پاشی نشده به ترتیب ۱۴ و ۱۵ درصد افزایش یافت (جدول ۴). این مقادیر افزایشی برای غلظت آهن در اندام هوایی به ترتیب ۴/۷۴ و ۱/۳۹ برای غلظت روی در اندام هوایی به ترتیب ۲/۷۲ و ۸/۵۱ بود. غلظت آهن در اندام هوایی در تیمار محلول‌پاشی اکسید آهن به شکل نانو ذرات در مقایسه با شکل معمول آن به طور معنی‌داری بیشتر بود.

جدول ۲- خصوصیات نانو ذرات مورد استفاده

نوع نانو ذره	اندازه نانو ذره nm	سطح ویژه $m2/g$	درصد خلوص	ساختار	چگالی ظاهری $g/m3$
Fe_2O_3	۴۰(۵۰-۴۰)	۶۰	۹۹+	کروی	۰/۷۸
ZnO	۲۰	۹۰	۹۹+	کروی	۰/۶۵



شکل ۱- تصاویر نانوذرات آهن (راست) و نانو ذرات روی (چپ) توسط دستگاه SEM

Archive of SID

www.SID.ir

در حالیکه بین شکل نانو ذرات و شکل معمول تیمارهای محلول‌پاشی اکسید روی و اکسید آهن از نظر وزن خشک و غلظت روی در اندام هوایی اختلاف معنی داری مشاهده نشد. با این حال، میزان افزایش وزن خشک اندام هوایی در اثر محلول پاشی اکسید آهن، اکسید روی، نانو ذرات اکسید آهن، نانو ذرات اکسید روی و مخلوط نانو ذرات اکسید آهن و روی نسبت به شاهد به ترتیب برابر ۸/۹ ، ۹/۳، ۱۳/۷، ۱۵/۴ و ۲۲/۶ بود. این نتایج نشان می دهد که محلول پاشی اکسید آهن و روی به شکل نانو ذرات در مقایسه با شکل معمول آنها تاثیر مثبت بیشتری بر تجمع ماده خشک در گیاه داشته است. در مطالعه‌ی پی‌اسلی و همکاران (۲۹) محلول‌پاشی روی باعث افزایش وزن خشک ذرت شد. در آزمایش هانگ و جی یان (۲۲) کاربرد روی باعث افزایش غلظت رویو در آزمایش گودسی و همکاران (۱۹) کاربرد آهن عملکرد دانه ذرت را افزایش داد. در پژوهشی که توسط ترابیان (۵) صورت گرفت مشاهده شد که محلول‌پاشی اکسید روی به دو شکل معمول و نانو ذرات، تاثیر مثبتی بر فاکتورهای رشدی آفتابگردان داشت، ولی اختلاف بین دو شکل مورد استفاده معنی دار نبود.

اختلاف ارقام از نظر سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، غلظت پتاسیم، آهن و روی در اندام هوایی و نسبت سدیم به پتاسیم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). رقم سینگل کراس از نظر سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و ریشه نسبت به توده بذری برتری داشت، در حالی که غلظت سدیم، پتاسیم و آهن در توده بذری بیشتر از رقم سینگل کراس بود (جدول ۴). در مطالعه راگهار و پال (۳۰) نیز وزن خشک تولیدی توسط ارقام مختلف ذرت متفاوت بود.

اثر متقابل شوری و رقم بر سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، راندمان فتوشیمیایی و نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). میزان کاهش سطح برگ، راندمان فتوشیمیایی، وزن خشک اندام هوایی و ریشه در شرایط شور نسبت به شاهد برای رقم توده بذری به ترتیب ۴، ۱۴، ۱و ۱۱ درصد، در حالی که این مقادیر کاهشی برای رقم سینگل کراس به ترتیب ۲۷، ۱۶، ۲۸و ۳۸ درصد بود (جدول ۵). این نتایج تایید کننده تحمل بیشتر رقم توده بذری در مقایسه با رقم سینگل کراس نسبت به شوری می‌باشد. در هر دو رقم نسبت سدیم به پتاسیم در اندام هوایی گیاه ذرت افزایش یافت،با این حال میزان افزایش در رقم سینگل کراس ۶ برابر ولی در توده بذری ۴ برابر بود. این نتایج نشان میدهد که پایین‌تر بودن نسبت سدیم به پتاسیم در شرایط شور در توده بذری موجب افزایش تحمل این رقم به شوری شده است. در آزمایشات دیگر نیز اثر متقابل معنی‌دار بین شوری و رقم بر صفات مختلف رشدی ذرت گزارش شده است.

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات اندازه گیری شده دو رقم ذرت در سطوح مختلف شوری و محلول پاشی آهن

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		سطح برگ	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	راندمان فتوشیمیایی	سدیم	پتاسیم	نسبت سدیم به پتاسیم	آهن	روی
بلوک	۳	۸۹۱**	۵۶۹**	۲۹/۱۱**	۰/۷۳**	۲۰۴**	۹۹۶**	۰/۰۸^{ns}	۱۴۱۸۱۰۷**	۲۳۸۹۸**
رقم	۱	۳۸۸*	۱۲۹**	۱۹/۲۹**	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۳۳^{ns}	۱۰/۸۳**	۰/۴۱**	۱۳۸۸۴۶۹**	۶۷۷۸**
شوری	۲	۴۱۶۵**	۱۸۳**	۲۴/۸۸**	۰/۳۲**	۴۵۹**	۱۳۲۴**	۷/۱**	۴۵۸۱۵۲۵**	۶۴۴۶۱**
محلول‌پاشی	۵	۱۸/۰۲^{ns}	۱۹/۶۰*	۲/۰۹^{ns}	۰/۰۰۷^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۰/۸۳^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۷۶۷۹۶۱۹**	۱۶۸۵۲۳**
رقم×شوری	۲	۲۴۲۷**	۴۳/۳۷**	۸/۳۵**	۰/۰۲**	۰/۰۱^{ns}	۵/۷۸^{ns}	۰/۴۴**	۴۲۲۰۳^{ns}	۱۵۸۱^{ns}
رقم× محلول‌پاشی	۵	۹/۳۳^{ns}	۰/۲۸^{ns}	۰/۱۵^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۲۹^{ns}	۰/۳۶^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۱۰۵۵۶۵^{ns}	۶۲۲^{ns}
شوری× محلول‌پاشی	۱۰	۴/۱۴^{ns}	۱/۳۶^{ns}	۰/۲۷^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۲۳^{ns}	۱/۴۴^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۴۱۶۲۵۹**	۷۴۷۲**
رقم×شوری× محلول‌پاشی	۱۰	۱/۷۵^{ns}	۰/۶۶^{ns}	۰/۱۴^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۴۰^{ns}	۰/۷۰^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۱۹۰۶۳^{ns}	۱۲۸^{ns}
خطا	۱۰۵	۶۲/۴۲	۸/۶۲	۰/۴۵	۰/۰۰۷	۱/۹۶	۱۶/۷۹	۰/۰۴	۵۳۰۸۴	۱۱۹۹

ns، *و**- به ترتیب بیانگر معنی‌دار نبودن، معنی‌دار بودن در سطح ۵ درصد و ۱ درصد

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات اصلی شوری، محلول پاشی و رقم بر صفات اندازه گیری شده ذرت

عوامل آزمایشی	سطح برگ	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	رانداندمان فتوشیمیایی	سدیم	پتاسیم	نسبت سدیم به پتاسیم	آهن	روی
	cm^2	g	g		mg g^{-1} DW			mg kg^{-1} DW	
شوری (میلی‌مولار)									
۰	۸۵/۱۶^{a}	۱۵/۳۳^{a}	۴/۵۸^{a}	۰/۷۷^{a}	۲/۳۶^{c}	۲۰/۶۸^{a}	۰/۱۱^{c}	۱۰۵۷/۵۰^{a}	۱۳۵/۲۵^{a}
۷۵	۷۴/۷۷^{b}	۱۳/۲۱^{b}	۳/۷۷^{b}	۰/۶۹^{b}	۵/۵۲^{b}	۱۴/۰۴^{b}	۰/۴۴^{b}	۶۴۶/۲۵^{b}	۸۸/۰۸^{b}
۱۵۰	۶۶/۵۷^{c}	۱۱/۴۲^{c}	۳/۱۴^{c}	۰/۶۱^{c}	۸/۵۵^{a}	۱۰/۳۱^{c}	۰/۸۸^{a}	۴۵۲/۵۰^{c}	۶۳/۰۸^{c}
محلول‌پاشی									
شاهد	۷۴/۴۰^{a}	۱۱/۹۳^{b}	۳/۳۵^{c}	۰/۷۰^{a}	۵/۵۴^{a}	۱۴/۹۵^{a}	۰/۴۶^{a}	۲۱۴/۱۷^{c}	۱۸/۳۳^{c}
اکسید آهن	۷۴/۴۱^{a}	۱۲/۹۹^{ab}	۳/۸۱^{ab}	۰/۶۶^{a}	۵/۴۵^{a}	۱۵/۳۴^{a}	۰/۵۱^{a}	۱۱۹۱/۶۷^{b}	۲۰/۳۳^{c}
اکسید روی	۷۶/۱۵^{a}	۱۳/۰۴^{ab}	۳/۶۸^{ab}	۰/۶۹^{a}	۵/۴۹^{a}	۱۴/۹۳^{a}	۰/۴۴^{a}	۱۹۳/۰۰^{c}	۱۶۸/۳۳^{ab}
نانو ذرات اکسید آهن	۷۵/۷۶^{a}	۱۳/۵۶^{ab}	۳/۸۸^{ab}	۰/۶۹^{a}	۵/۴۳^{a}	۱۴/۸۱^{a}	۰/۴۸^{a}	۱۳۶۶/۶۷^{a}	۱۹/۱۶۷^{c}
نانو ذرات اکسید روی	۷۶/۲۹^{a}	۱۲/۷۷^{a}	۴/۰۶^{ba}	۰/۶۹^{a}	۵/۴۹^{a}	۱۴/۹۳^{a}	۰/۴۷^{a}	۲۱۴/۵۰^{c}	۱۸۴/۶۶^{a}
مخلوط نانو ذرات‌اکسیدآهن‌و روی	۷۵/۹۹^{a}	۱۴/۶۳^{a}	۴/۱۹^{a}	۰/۷۱^{a}	۵/۴۸^{a}	۱۵/۰۹^{a}	۰/۴۸^{a}	۱۱۳۲/۵۰^{b}	۱۶۲/۰۰^{b}
رقم									
سینگل کراس	۷۷/۱۴^{a}	۱۴/۲۷^{a}	۳/۳۶^{a}	۰/۷۰^{a}	۵/۵۳^{a}	۱۳/۸۸^{b}	۰/۵۳^{b}	۶۲۰/۵۶^{b}	۸۸/۶۱^{b}
توده بذری	۷۳/۸۶^{b}	۱۲/۳۷^{b}	۴/۲۰^{b}	۰/۶۸^{a}	۵/۴۳^{a}	۱۶/۱۳^{a}	۰/۴۳^{a}	۸۱۶/۹۴^{a}	۱۰۲/۳۳^{a}

میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون LSD اختلاف معنی داری ندارند.

چنانچه در آزمایش سیسک و کاکیرلار (۱۶) شوری موجب کاهش سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و ریشه در ارقام ذرت شد و میزان کاهش مقادیر مربوط به این صفات در رقم متحمل تر کمتر بود. همچنین در آزمایش مقصود (۲۴) شوری سبب افزایش نسبت سدیم به پتاسیم در ارقام ذرت شد و میزان این افزایش بین ارقام مختلف متفاوت بود.

اثر متقابل شوری و محلول‌پاشی بر غلظت آهن و روی در اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در کلیه

Archive of SID

www.SID.ir

سطوح شوری غلظت آهن اندام هوایی در تیمار محلول پاشی آهن به شکل نانو ذرات نسبت به تیمار محلول پاشی آهن به شکل معمول آن بیشتر بود (جدول ۶). با این حال، فقط در شرایط غیرشور تفاوت تیمار محلول پاشی آهن به شکل نانو ذرات باشکل معمول آن از نظر آماری معنی داری شد. به عبارت دیگر این نتایج نشان می‌دهد که در شرایط غیرشور کاربرد آهن به شکل نانو ذرات در جذب این عنصر توسط گیاه نسبت به شکل معمول آن موثرتر بوده ولی با افزایش سطح شوری برتری شکل نانو کاهش یافته است.

میزان کاهش غلظت آهن در شرایط شور در اثر محلول پاشی آهن به هر دو شکل معمول و نانو ذرات مشابه (۴۸ درصد) بود. این نتایج نشان میدهد که در این آزمایش کاربرد شکل نانو ذرات آهن مزیتی از نظر تعدیل اثرات شوری بر غلظت آهن در اندام هوایی نسبت به شکل معمول آن نداشته است. میزان کاهش غلظت آهن در اندام هوایی در شرایط شوردر اثر محلول پاشی روی به شکل نانو ذرات (۵۵ درصد) نسبت به شکل معمول آن (۴۶ درصد) بیشتر بود، که بیانگر تشدید اثرات شوری بر غلظت آهن در اثر کاربرد روی به شکل نانو ذرات نسبت به شکل معمول آن می‌باشد.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل شوری و رقم بر سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، راندمان فتوشیمیایی و نسبت سدیم به پتاسیم در دو رقم ذرت

شوری	رقم	سطح برگ (cm^2)	وزن خشک اندام هوایی (g)	وزن خشک ریشه (g)	راندمان فتوشیمیایی	نسبت سدیم به پتاسیم
صفر	سینگل	۹۴/۵۴^{a}	۱۵/۳۷^{a}	۴/۶۲^{a}	۰/۷۸^{a}	۰/۱۲^{d}
	توده	۷۵/۷۸^{b}	۱۵/۲۷^{a}	۴/۵۴^{a}	۰/۷۶^{ab}	۰/۱۱^{d}
۷۵	سینگل	۷۴/۹۲^{b}	۱۲/۳۵^{ab}	۳/۴۲^{b}	۰/۷۲^{abc}	۰/۴۳^{c}
	توده	۷۴/۶۱^{b}	۱۴/۰۶^{a}	۴/۱۱^{ab}	۰/۶۷^{bcd}	۰/۴۵^{c}
۱۵۰	سینگل	۶۱/۹۶^{c}	۹/۴۸^{b}	۲/۳۵^{c}	۰/۵۹^{d}	۱/۰۴^{a}
	توده	۷۱/۱۸^{b}	۱۳/۳۷^{a}	۳/۹۳^{ab}	۰/۶۳^{cd}	۰/۷۱^{b}

میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون LSD اختلاف معنی داری ندارند.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثرات متقابل شوری و محلول‌پاشی بر غلظت آهن و روی دو رقم ذرت

شوری	محلول‌پاشی	آهن ($mg\ kg^{-1}\ DW$)	روی ($mg\ kg^{-1}\ DW$)
صفر	عدم محلول‌پاشی	۳۵۰^{g}	۳۰^{e}
	اکسید آهن معمولی	۱۷۲۵^{b}	۳۰^{h}
	اکسید روی معمولی	۲۸۰^{ghi}	۲۴۰^{b}
	نانو ذرات اکسید آهن	۲۰۰۰^{a}	۲۶/۵^{ab}
	نانو ذرات اکسید روی	۳۴۰^{gh}	۲۶۰^{b}
	مخلوط نانو ذرات اکسید آهن و روی	۱۶۵۰^{b}	۲۲۵^{b}
۷۵	عدم محلول‌پاشی	۱۷۵^{ij}	۱۵^{de}
	اکسید آهن معمولی	۱۱۰۰^{cd}	۱۸/۵^{def}
	اکسید روی معمولی	۱۷۵^{ij}	۱۵۵^{cd}
	نانو ذرات اکسید آهن	۱۲۵۰^{c}	۲۰/۵^{de}
	نانو ذرات اکسید روی	۱۹۰^{hij}	۱۶۹^{def}
	مخلوط نانو ذرات اکسید آهن و روی	۹۸۷^{de}	۱۵۰^{de}
۱۵۰	عدم محلول‌پاشی	۱۱۷/۵۰^{j}	۱۰^{g}
	اکسید آهن معمولی	۷۵۰^{f}	۱۲/۵^{fg}
	اکسید روی معمولی	۱۲۴^{ij}	۱۱۰^{efg}
	نانو ذرات اکسید آهن	۸۵۰^{ef}	۱۰/۵^{defg}
	نانو ذرات اکسید روی	۱۱۳/۵۰^{j}	۱۲۵^{fg}
	مخلوط نانو ذرات اکسید آهن و روی	۷۶۰^{f}	۱۱۰/۵۰^{fg}

میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون LSD اختلاف معنی داری ندارند.

Archive of SID

www.SID.ir

از نظر غلظت روی در اندام هوایی تفاوت معنی داری بین محلول پاشی نانو ذرات اکسید روی با محلول پاشی شکل معمول مشاهده نشد (جدول ۶). میزان کاهش غلظت روی در اندام هوایی در شرایط شور در اثر محلول پاشی آهن به شکل نانو ذرات و شکل معمول آن به ترتیب ۴۰ و ۴۷ درصد و در اثر محلول پاشی روی ۴۳ و ۵۳ درصد بود. این نتایج نشان می‌دهد که کاربرد شکل نانو ذرات آهن و روی از نظر تعدیل اثرات شوری بر غلظت روی در اندام هوایی نسبت به شکل معمول آنها مزیت بیشتری داشته است. بایبوردی (۱۲) گزارش کرد کاربرد کود کم مصرف آهن سبب مقاومت گیاه به تنش شوری می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه تنش شوری از طریق تاثیر منفی بر سطح برگ، غلظت پتاسیم، غلظت آهن و روی در گیاه موجب کاهش ماده خشک در ذرت گردید. میزان این کاهش در رقم توده بذری نسبت به رقم سینگل کراس کمتر بود، که تائید کننده تحمل بالاتر توده بذری به تنش شوری می‌باشد. وزن خشک اندام هوایی، غلظت آهن و روی در اندام هوایی در اثر محلول‌پاشی آهن و روی نسبت به تیمار محلول - پاشی نشده افزایش یافت. غلظت آهن در اندام هوایی در تیمار محلول‌پاشی اکسید آهن به شکل نانو ذرات در مقایسه با شکل معمول آن به طور معنی‌داری بیشتر بود. این نتایج نشان میدهد که محلول پاشی اکسید آهن و روی به شکل نانو ذرات در مقایسه با شکل معمول آنها تاثیر مثبت بیشتری بر تجمع ماده خشک ذرت داشت. کاربرد شکل نانو ذرات این عناصر از نظر تعدیل اثرات شوری بر غلظت روی در اندام هوایی نسبت به شکل معمول آنها مزیت بیشتری داشت، ولیکن کاربرد نانو ذرات آهن و روی از نظر تعدیل اثرات شوری بر غلظت آهن در اندام هوایی در مقایسه با شکل معمول آنها برتری نداشت. بر اساس نتایج بدست آمده از این آزمایش محلول پاشی اکسید آهن و روی به شکل نانو ذرات در مقایسه با شکل معمول آنها دارای تاثیر مثبت بر برخی از خصوصیات رشدی ذرت بود، با این حال به نظر می رسد که در شرایط این آزمایش کاربرد شکل نانو ذرات این عناصر مزیتی از نظر تعدیل اثرات شوری نسبت به شکل معمول آنها نداشت. کاربرد شکل نانو ذرات آهن و روی مزیتی از نظر تعدیل اثرات شوری بر غلظت آهن در اندام هوایی نسبت به شکل معمول آنها نداشت. در حالی‌که کاربرد شکل نانو ذرات آهن و روی از نظر تعدیل اثرات شوری بر غلظت روی در اندام هوایی نسبت به شکل معمول آنها برتری داشت.

منابع

۱- امام، ی. ۱۳۸۶. زراعت غلات، انتشارات دانشگاه شیراز.

۲- باشگاه نانو تکنولوژی ایران. ۱۳۹۰. قابل دسترس در سایت][www.nano.ir

۳- پیوندی، م.، ه. پرنده، و م. میرزا. ۱۳۹۱. مقایسه تاثیر نانو کلات آهن با کلات آهن بر پارامترهای رشد و فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی ریحان *Ocimum basilicum*. مجله تازه های بیوتکنولوژی سلولی-مولکولی، شماره۴(الف)، صص۸۹-۹۹.

۴- تدین، م. ر. و ی. رتباامام. ۱۳۸۶. واکنش های فیزیولوژیک و مورفولوژیک دو رقم جو به تنش شوری و ارتباط آن با عملکرد دانه. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۱(الف)، صص ۲۵۳-۲۶۲.

۵- ترابیان، ش. ۱۳۹۰. تاثیر تغذیه برگی نانو ذرات آهن و روی بر پاسخ ارقام آفتابگردان به تنش شوری. پایان نامه کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۶- دهقان، ا. و ا. نادری. ۱۳۸۶. ارزیابی تحمل به شوری در سه رقم ذرت دانه ای. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۱۱، شماره ۴۱ (ب): ۲۷۵-۲۸۳.

۷- رامشت، م. ج. ۱۳۷۲. جغرافیای خاک‌ها. انتشارات دانشگاه اصفهان.

۸- عابدی باباعربی، س.، م. موحدی دهنوی، ع. ر. یدوی، ا. ادهو ه. قراخانی بنی. ۱۳۸۸. تأثیر محلول‌پاشی روی و پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ در شرایط تنش خشکی. خلاصه مقالات همایش ملی گیاهان دانه روغنی.

۹- فیضی، م. ۱۳۸۳. تأثیر شوری آب آبیاری بر عملکرد محصول آفتابگردان. مجله علوم خاک و آب. ۱۸: ۱۸۴-۱۹۳.

۱۰- کافی، م.، و. دابلیو، و اس. استوارت. ۱۳۷۷. اثرات شوری در رشد و عملکرد نه رقم گندم، مجله علوم و صنایع کشاورزی، جلد ۱، شماره ۱۲.

11- Ashraf, M. and A. Khanum. 1997. Relationship between ion accumulation and growth in two spring wheat lines differing in salt tolerance at different growth stages. Agronomy. Journal. 178: 39-51.

12- Baybordi, A. 2004. Effect of Fe, Mn, Zn and Cu on the quality and quantity of wheat under salinity stress. J. Water Soil Science. 17: 140-150.

Archive of SID

www.SID.ir

13- Beck, E., G.W. Netondo, and J.C. Onyango. 2004. Sorghum and salinity: II. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. Crop Science. 44: 806-811.
14- Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification. Journal of Plant and Soil. 302: 1-17.
15- Cheeseman, J.M. and L.K. Wickens. 1986. Control of Na+ and K+ transport in Speragulariamorina. III. Relationship between ion uptake and growth at moderate salinity. Physiology. Plant. 67: 15-22.
16- Cicek, N., and Cakirlar, H. 2002. The effect of salinity on some physiological parameters in two maize cultivar. Journal of plant physiology. 28: 66-74.
17- Flowers, T.J., P.F. Troke, and A.R. Yeo. 1997. The mechanism of salt tolerance in halophytes. Annual Review of Plant Physiol. 28: 89-121.
18- Gangloff, W. J., D. G. Westfall, G. A. Peterson, and J. J. Mortvedt 2002. Relative availability coefficients of organic and inorganic zn fertilizers. Journal of plant nutration. 25: 259-273.
19- Godsey, C.B. J.P. Schmidt, A.J. Schlegel, R.K. Taylor, C.R. Thompson, and R.J. Gehl. 2003. Correcting irondeficiency in corn with seed row-applied iron sulfate. Agronomy Journal. 95: 160-166.
20- Greenway, H. 1962. Plant response to saline substrats. I:Growth and ion uptake of several varienties of horidium during and after NaCl treatment. Australian Journal of Biology Science. 5: 16-36.
21- Hoffiman, G. J., E. V., Mass, Prichard, T. L., and J. L. Meyer. 1983. Salt tolerance of corn in the Sacramento-San Joaquin Delta of California. Irrigation Science. 4: 31-44.
22- Hong, W. and J. Ji-Yun. 2007.Effects of zinc deficiency and drought on plant growth and metabolism of reactive oxygen species in maize. Agricultur scienceChina. 6: 988-995.
23- Hu, Y. and U. Schmidhalter. 2001. Effects of salinity and macronutrient levels on micronutrients in wheat. J. Plant Nut. 24: 273-281.
24- Maqsood, T. 2009. Response of maize to salinity and potassium supply, Department of soil science, university of Faisalabad Pakistan, phd thesis.
25- Manojlovis, S. 1983. Possiblities of incresing the production of corn in the chernozem zone of yogoslavia by zinc. Journal of plant physiology. 27: 66-71.
26- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic press, Boston, USA.
27- Owens, S. 2001. Salt of the earth. genetic engineering may help to reclaim agriculture land use to stalinization. EMBO Reports, 2: 877-879.
28- Pandey, A. C., S. S. Sanjay, and R. S. Yadav. 2010.Application of ZnO nanoparticlesin influencing the growth rate of *Cicer arietinum*.Journal of .Experience Nanoscience. 5: 488-497.
29- Peaslee, D. E., K. Isarang, and J. E. Leggeha. 1981.Accumulation and translocation of zinc by two corn cultivars. Agronomy Journal. 73: 729-732.
30- Raghar, C. S., and B. Pal. 1994.Effect of saline water in growth, yield and contributory characters if various corn cultivars .Agricultural Reserch, 15: 351-356.
31- Srivastava, J. P. 1998. Advances in Plant Physiology. A. Hemat (Eds). Rahiganpublished by Pawan Kumar Scientific Publishers. pp 381-394.

Archive of SID

www.SID.ir