تأثیر محلول‌پاشی نانو ذرات اکسید آهن و روی بر رشد و محتوای یونی دو رقم گندم تحت تنش شوری

علیرضا فتحی*و مرتضی زاهدی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۸/۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۲/۱۴)

چکیده

این آزمایش به منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی اکسید آهن و روی به فرم معمول و نانو ذرات بر واکنش ارقام کویر و تجن گندم به سطوح مختلف شوری (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در مرکز پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان در سال ۹۰ انجام شد. در اثر شوری سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، راندمان فتوشیمیایی، غلظت پتاسیم، آهن و روی در اندام هوایی کاهش و غلظت سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم افزایش یافت. در اثر محلول‌پاشی سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، راندمان فتوشیمیایی و غلظت آهن و روی افزایش ولی غلظت سدیم کاهش یافت. محلول‌پاشی نانو ذرات اکسید آهن و روی سبب افزایش بیشتر غلظت این عناصر در گیاه نسبت به فرم معمول آنها شد. افزایش نسبت سدیم به پتاسیم در شرایط شور در رقم حساس تجن بیشتر از رقم مقاوم کویر بود. تأثیر مثبت محلول‌پاشی در شرایط شور نسبت به شرایط غیرشور بارزتر بود. غلظت آهن در اندام هوایی در تیمار محلول‌پاشی اکسید آهن به فرم نانو ذرات نسبت به فرم معمول آن به طور معنی‌داری بیشتر بود. واکنش مثبت رقم کویر به کاربرد نانو ذرات اکسید آهن از نظر غلظت آهن در اندام هوایی بیشتر از رقم تجن بود. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی اکسید آهن و روی به فرم نانو ذرات در مقایسه با فرم معمول آن تأثیر مثبت بیشتری بر رشد گندم دارد، با این حال کاربرد آهن و روی به فرم نانو ذرات نسبت به کاربرد آنها به فرم معمول از نظر تعدیل اثرات شوری مزیتی نداشت.

واژه‌های کلیدی: شوری، گندم، محلول‌پاشی، نانو ذرات

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: alireza_fathi87@yahoo.com

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

شور شدن زمین‌های کشاورزی به علت روش‌های فشرده خاک ورزی و آبیاری یکی از عوامل مهم در کاهش تولید محصولات زراعی به ویژه در نواحی خشک و نیمه خشک می‌باشد. در این مناطق مشکل شوری به علت کمبود بارندگی، درجه حرارت بالا و میزان تبخیر زیاد تشدید می‌شود(۱۰). در شرایط شور پتانسیل آب محلول خاک از پتانسیل آب گیاه منفی‌تر است، لذا توانایی گیاه برای جذب آب کاهش می یابد. از طرف دیگر، در شرایط شور یون های سمی سدیم و کلر در سطوح بالا وارد جریان تعرقی گیاه شده و به سلول‌های برگ‌های در حال تعرق خسارت وارد می نمایند و از این طریق نیز موجب کاهش رشد گیاه می شوند(۳).

گندم از جمله گیاهان زراعی به نسبتاً مقاوم به شوری است که آستانه کاهش عملکرد آن در اثر شوری حدود ۶ دسی زیمنس بر متر برآورد شده است (۱). در مطالعه قربانی و همکاران (۷) سطوح شوری معادل ۸/۷ و ۱۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش سطح برگ، وزن خشک برگ، ساقه و اندام هوایی، تعداد سنبله در واحد سطح و عملکرد دانه گندم گردید. ماس و همکاران (۱۴) نشان دادند، هرگاه شوری آب در خاک از ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر بیشتر شود تعداد پنجه‌های اولیه و ثانویه در گندم به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. مظفر و گودین (۱۷) با بررسی اثرات نمک‌های مختلف بر رشد دو رقم حساس و متحمل به شوری گندم، دریافتند که نه تنها حساسیت ارقام به نمک‌های مختلف متفاوت است، بلکه مراحل رشدی نیز واکنش‌های مختلفی به نوع نمک نشان می‌دهند.

تغییر محتوا و نسبت یون‌ها در گیاهان تحت تنش شوری در مطالعات متعددی مورد بررسی قرار گرفته است (۱۵). تنش شوری باعث افزایش غلظت سدیم و کاهش غلظت پتاسیم و در نتیجه کاهش نسبت پتاسیم به سدیم در گیاه می‌شود. بر این اساس، یکی از مکانیسم‌های مقاومت گیاهان به شوری حفظ نسبت بالای پتاسیم به سدیم می‌باشد که از طریق توانایی گیاه در جذب فعال پتاسیم و جلوگیری از ورود سدیم به ریشه حاصل می‌شود. سریواستاوا (۲۳) در مطالعه‌ای بر روی گندم، تریتیکاله و جو گزارش کردند که شوری تجمع سدیم در گیاهچه همه ژنوتیپ‌ها را به بیش از دو برابر افزایش داد، از طرفی جذب سایر عناصر مثل کلسیم و منیزیم کاهش یافت. فلاورز و همکاران (۶) گزارش کردند که مقادیر بالای یون پتاسیم در غلظت‌های بالای نمک برای گیاه یک مزیت است و می‌تواند به عنوان معیار مناسبی برای انتخاب گیاهان از نظر تحمل به شوری به‌کار رود.

حلالیت عناصر کم نیاز نظیر آهن، منگنز، مس، روی و مولیبدن در خاک‌های شور پایین بوده و گیاهان اغلب از نظر عناصر فوق دچار کمبود می‌باشند. کاکماک و همکاران (۵) گزارش نمودند کمبود روی در گیاهان مناطق خشک و نیمه خشک به ویژه خاک سطحی که معمولاً شور و دارای کمبود آب هستند، اتفاق می‌افتد. تغذیه برگی یکی از راه‌های مؤثر در رفع نیاز غذایی گیاهان به عناصر کم مصرف است (۹). خوشگفتارمنش و همکاران (۱۳) طی بررسی روی-کارایی ۵ رقم گندم در خاک آهکی گزارش نمودند که کوددهی روی، تولید دانه را در تمامی ارقام گندم مورد مطالعه افزایش داد. در مطالعه صدری و ملکوتی (۲۰) با مصرف سولفات روی، سوکسترین آهن و سولفات مس علاوه بر افزایش ۲۰ درصدی عملکرد، غلظت آهن، روی و مس نیز در دانه گندم افزایش یافت. در آزمایش همانتارنجان و گری (۹) کاربرد عناصر آهن و روی در زراعت گندم، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله، طول سنبله و تعداد سنبله در واحد سطح را افزایش داد.

نتایج مطالعات بسیاری حاکی از آن است که مصرف عناصر غذایی کم مصرف می‌تواند مقاومت گیاهان به تنش های محیطی همچون خشکی و شوری را افزایش دهد(۱۸). هیو و اشمیت هاتر (۱۱) گزارش نمودند که با مصرف عناصر کم مصرف میزان تحمل گندم به شرایط شور افزایش می‌یابد. همچنین در مطالعه بای بوردی (۴) نیز کاربرد عناصر آهن، منگنز، روی و مس در کاهش اثرات تنش شوری بر گندم

Archive of SID

www.SID.ir

به‌طور معنی‌داری مؤثر بود.

امروزه فناوری نانو در کلیه عرصه‌ها از جمله کشاورزی در حال گسترش می‌باشد. نانو ذرات دارای ابعادی بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند که ویژگی‌های متفاوتی نسبت به فرم اولیه خود دارند (۱۶). به تازگی مطالعه تأثیر تغذیه عناصر مورد نیاز به فرم نانو ذرات بر رشد و نمو گیاهان مورد توجه قرار گرفته و نتایج مثبتی نیز در این رابطه بدست آمده است. برای مثال، پیوندی و همکاران (۱۹) با بررسی تأثیر نانو کلات آهن بر گیاه ریحان دریافتند که نانو کلات آهن در مقایسه با کلات آهن معمول تأثیر مثبت بیشتری بر رشد کمی و کیفی این گیاه دارد. در رابطه با تأثیر اکسید آهن و روی به فرم نانو ذرات بر رشد و واکنش گندم به تنش شوری اطلاعات قابل دسترسی وجود ندارد. لذا، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر محلول‌پاشی اکسید آهن و روی به دو فرم معمول و نانو ذرات بر خصوصیات رشدی و محتوای یونی دو رقم گندم تحت تنش شوری انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در فضای باز مرکز پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان با استفاده از دو رقم گندم متحمل (کویر) و حساس به شوری (تجن) به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در بهار و تابستان سال ۱۳۹۰ انجام شد. در این آزمایش تأثیر شش تیمار محلول‌پاشی (اکسیدآهن، اکسیدروی، نانو اکسیدآهن، نانواکسید روی، مخلوط نانو اکسید آهن و نانو اکسید روی و شاهد بدون محلول‌پاشی) و سه سطح شوری (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم) بر ارقام گندم مورد مطالعه قرار گرفت. مشخصات خاک مورد استفاده در جدول ۱ ثبت شده است.

کاشت گیاهان در تاریخ اول اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۰ در گلدان‌های ۱۰ لیتری و در داخل خاک به عمق ۳ سانتی‌متر انجام شد. 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. آبیاری گلدان‌ها به منظور حفظ رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی هر روز یکبار انجام شد. محلول غذایی نیترات پتاسیم در غلظت ۲ در هزار در مرحله ۲ برگی و به میزان ۵۰۰ سی‌سی به هر گلدان اضافه شد. پودر حاوی نانو ذرات اکسید روی و اکسید آهن با میانگین قطر ذرات ۱۰ تا ۳۰ نانومتر (US-Nano) مورد استفاده قرار گرفت. تیمارهای شوری دو هفته پس از سبز شدن گیاهان (مرحله ۴ برگ حقیقی) اعمال شدند. برای جلوگیری از شوک اسمزی اعمال تیمارهای شوری به تدریج و طی چهار مرحله انجام شد. محلول‌پاشی اکسید آهن و اکسید روی با غلظت ۲ در هزار در سه مرحله، یک هفته، دو هفته و سه هفته پس از اعمال تنش شوری انجام شد. جهت جلوگیری از سوختگی برگ‌ها، محلول‌پاشی هنگام غروب آفتاب انجام شد. گیاهان دو هفته پس از مرحله سوم محلول‌پاشی برداشت شدند.

در این آزمایش صفات 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. سطح برگ توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (مدل LI-3000A, USA)، کارایی فتوشیمیایی توسط دستگاه فلورومتر (مدل OS-30p)، غلظت عناصر سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه شعله‌سنج (مدل 410-Corning)و غلظت آهن و روی با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل Perkin-Elmer 3030) اندازه‌گیری شدند. داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزار SAS مورد تجزیه آماری قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

تأثیر شوری بر سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، راندمان فتوشیمیایی، غلظت سدیم، پتاسیم، آهن و روی و نسبت سدیم به پتاسیم در اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). به طوری که سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، راندمان

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱. مشخصات خاک مورد استفاده

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

فتوشیمیایی و غلظت پتاسیم، آهن و روی در سطح شوری ۷۵ میلی‌مولار به ترتیب ۱۷، ۳۵، ۳۲، ۷، ۳۰، ۴۳ و ۳۶ درصد و در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به ترتیب ۳۰، ۴۸، ۵۳، ۱۵، ۴۶، ۶۴ و ۵۷ درصد نسبت به تیمار غیرشور کاهش یافتند (جدول ۳). غلظت سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم در اندام هوایی در سطح شوری ۷۵ میلی‌مولار به ترتیب ۰/۹۲ و ۲/۵۸ برابر و در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار ۲/۰۱ و ۶/۴۱ برابر افزایش یافت. در مطالعه کافی (۱۲) در رابطه با بررسی تنش شوری بر ده رقم گندم نیز سطح برگ مؤثر و وزن خشک اندام هوایی همراه با افزایش سطح شوری کاهش یافت. در مطالعه عزیزپور و همکاران (۲) راندمان فتوشیمیایی در ژنوتیپ‌های گندم بهاره در اثر تنش شوری بطور متوسط حدود ۷ درصد کاهش یافت.افزایش محتوای سدیم در اندام های هوایی و ریشه گندم با افزایش شوری توسط حمداء (۸)و نیز سایرام و همکاران (۲۱)گزارش شده است. در مطالعه هو و اشمید هاتر(۱۱) و خوشگفتارمنش و همکاران (۱۳)غلظت آهن و روی در اندام هوایی گندم در اثر شوری کاهش یافت.

تأثیر محلول‌پاشی عناصر آهن و روی بر کارآیی فتوشیمیایی، غلظت آهن و غلظت روی در اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد و بر سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و غلظت سدیم در اندام هوایی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). به‌طور کلی سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و راندمان فتوشیمیایی در تیمارهای محلول‌پاشی شده نسبت به تیمار شاهد محلول‌پاشی نشده به ترتیب ۹، ۱۳ و ۱۸ درصد افزایش و غلظت سدیم در اندام هوایی ۱۹ درصد کاهش یافت (جدول ۳). محلول‌پاشی اکسید آهن به هر دو فرم معمول و نانو ذرات موجب افزایش معنی‌دار غلظت آهن و محلول‌پاشی اکسید روی به هر دو فرم موجب افزایش معنی‌دار غلظت روی در اندام هوایی گردید. با این حال، تأثیر محلول‌پاشی اکسید آهن بر غلظت روی در اندام هوایی و تأثیر محلول‌پاشی اکسید روی بر غلظت آهن در اندام هوایی معنی دار نبود. غلظت آهن در اندام هوایی در تیمار محلول‌پاشی اکسید آهن به فرم نانو ذرات نسبت به فرم معمول آن به طور معنی‌داری بیشتر بود. غلظت روی در اندام هوایی نیز در اثر محلول‌پاشی اکسید روی به فرم نانو ذرات نسبت به فرم معمول آن بیشتر بود، ولیکن اختلاف این دو فرم عنصر از نظر آماری معنی‌داری نشد. این نتایج نشان می دهد که از نظر تجمع آهن و روی در گیاه در این آزمایش واکنش مثبت گندم به فرم نانو ذرات اکسید آهن بیشتر از واکنش آن به نانو ذرات اکسید روی بوده است.

اختلاف ارقام از نظر سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، غلظت پتاسیم و آهن در اندام هوایی و نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). میانگین سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، غلظت پتاسیم در اندام هوایی، نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی و غلظت آهن در اندام هوایی رقم کویر به ترتیب ۱۱/۲۸ سانتی‌متر مربع، ۳/۱۲ گرم، ۱۶/۹۸ میلی‌گرم در گرم ماده خشک گیاه، ۰/۳۱ و ۷۳۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم ماده خشک گیاه و در رقم تجن به ترتیب ۹/۰۵، ۳/۳۷، ۱۱/۱۸، ۰/۶۶ و ۴۲۵ بود (جدول ۳).

اثر متقابل شوری و رقم بر سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد و بر وزن خشک ریشه و غلظت پتاسیم در اندام هوایی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). میانگین کاهش سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و غلظت پتاسیم در شرایط شور برای رقم تجن

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲. تجزیه واریانس میانگین مربعات سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، راندمان فتوشیمیایی، غلظت سدیم، پتاسیم، نسبت سدیم به پتاسیم، آهن و روی در اندام هوایی ارقام گندم

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	۲۲/۰۹**	۵/۶۲**	۰/۳۳**	۰/۷۱**	۶۳/۳۸**	۷۳۲**	۰/۳۲**	۱۴۱۸۱۰۷**	۲۴۶۱۲**
رقم	۱	۱۷۸/۰۵**	۲۲/۲۰*	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۲**	۱/۰۹^{ns}	۱۲۱۳**	۴/۴۰**	۳۳۶۶۰۰۱^{ns}	۷۱۱^{ns}
شوری	۲	۱۶۹/۴۶**	۶۵/۷۴**	۲/۳۵**	۰/۱۵**	۲۷۱/۸۰**	۹۶۰**	۷/۰۸**	۴۲۲۶۶۰۵**	۴۴۸۱۵**
محلول‌پاشی	۵	۶/۵۴*	۱/۱۹*	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۵**	۴/۵۶*	۰/۹۳^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۵۸۷۷۹۸۲**	۹۰۶۸۰**
رقم×شوری	۲	۹۰/۶۱**	۱۳/۵۷**	۰/۰۵*	۰/۰۱^{ns}	۲/۰۷^{ns}	۶۲/۵۳*	۱/۸۶**	۸۱۱۸۲^{ns}	۶۵/۷۷^{ns}
رقم× محلول‌پاشی	۵	۱/۲۲^{ns}	۰/۹۴*	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۶۳^{ns}	۰/۴۰^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۴۳۲۷۶۳**	۵۹/۷۱^{ns}
شوری× محلول‌پاشی	۱۰	۴/۰۷^{ns}	۱/۱۵**	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۱/۸۸^{ns}	۳/۱۹^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۴۶۵۵۸۳**	۵۱۶۹**
رقم×شوری× محلول‌پاشی	۱۰	۰/۹۳^{ns}	۰/۶۴^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۵۶^{ns}	۲/۱۳^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۱۵۹۵۶^{ns}	۱۰۸^{ns}
خطا	۱۰۵	۲/۶۹	۰/۴۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۱/۷۹	۱۴/۷۲	۰/۰۵	۵۳۰۸۴	۱۰۶۴

*و**: به‌ترتیب بیانگر معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns: بیانگر معنی‌دار نبودن

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳. مقایسه میانگین‌های سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، غلظت سدیم، پتاسیم، نسبت سدیم به پتاسیم، آهن و روی در اندام هوایی ارقام گندم

عوامل آزمایشی	سطح برگ	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	راندمان فتوشیمیایی	سدیم	پتاسیم	نسبت سدیم به پتاسیم	آهن	روی
	cm^2	g	g		$mg\ g^{-1}$ DW			$mg\ kg^{-1}$ DW	
رقم									
تجن	۹/۰۵^{b}	۰/۵۸^{a}	۳/۳۷^{a}	۰/۶۶^{a}	۴/۷۷^{a}	۱۱/۱۸^{b}	۰/۶۶^{a}	۴۲۵^{a}	۷۱/۹۱^{a}
کویر	۱۱/۲۸^{a}	۰/۵۹^{a}	۳/۱۲^{b}	۰/۶۷^{a}	۴/۵۹^{a}	۱۶/۹۸^{a}	۰/۳۱^{b}	۷۳۰^{b}	۷۶/۳۶^{a}
شوری (میلی‌مولار)									
۰	۱۲/۱۶^{a}	۰/۸۲^{a}	۴/۵۳^{a}	۰/۷۲^{a}	۲/۳۶^{c}	۱۸/۹۴^{a}	۰/۱۲^{c}	۹۰۲^{a}	۱۰۷^{a}
۷۵	۹/۹۱^{b}	۰/۵۶^{b}	۲/۹۶^{b}	۰/۶۷^{b}	۴/۵۵^{b}	۱۳/۱۷^{b}	۰/۴۳^{b}	۵۱۰^{b}	۶۸/۸۳^{b}
۱۵۰	۸/۴۳^{c}	۰/۳۸^{c}	۲/۲۵^{c}	۰/۶۱^{c}	۷/۱۲^{a}	۱۰/۱۴^{c}	۰/۸۹^{a}	۳۲۰^{c}	۴۶/۵۸^{c}
محلول‌پاشی									
شاهد	۹/۳۷^{b}	۰/۵۴^{b}	۲/۹۲^{b}	۰/۵۸^{c}	۵/۵۴^{a}	۱۳/۸۴^{a}	۰/۵۵^{a}	۱۳۷^{c}	۱۷/۵۰^{c}
اکسید آهن	۱۰/۰۹^{ab}	۰/۵۷^{ab}	۳/۵۰^{a}	۰/۶۶^{b}	۴/۴۱^{b}	۱۴/۳۲^{a}	۰/۴۶^{ab}	۹۸۵^{b}	۱۹/۵۰^{c}
اکسید روی	۹/۹۴^{ab}	/۵۹^{ab}	۳/۱۷^{ab}	۰/۶۸^{a}	۴/۳۷^{b}	۱۴/۱۷^{a}	۰/۴۷^{a}	۱۱۹^{c}	۱۲۹^{ab}
نانو اکسید آهن	۱۰/۱۲^{ab}	۰/۵۹^{ab}	۳/۵۰^{a}	۰/۷۰^{a}	۴/۵۴^{b}	۱۳/۹۳^{a}	۰/۴۵^{a}	۱۱۶۰^{a}	۱۸/۳۳^{c}
نانو اکسید روی	۱۰/۶۱^{a}	۰/۵۹^{ab}	۳/۱۵^{ab}	۰/۶۹^{a}	۴/۶۷^{b}	۱۳/۹۷^{a}	۰/۴۹^{a}	۱۳۸^{c}	۱۴۱^{a}
مخلوط نانو اکسید آهن و روی	۱۰/۸۵^{a}	۰/۶۳^{a}	۳/۲۵^{ab}	۰/۷۰^{a}	۴/۵۵^{b}	۱۴/۲۶^{a}	۰/۴۷^{a}	۹۲۶^{b}	۱۱۸^{b}

در هر ستون و برای هر صفت تفاوت میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل شوری و رقم بر سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، غلظت پتاسیم و نسبت سدیم به پتاسیم ارقام گندم

شوری	رقم	سطح برگ (cm^2)	وزن خشک اندام هوایی (g)	وزن خشک ریشه (g)	پتاسیم (mg g^{-1} DW)	نسبت سدیم به پتاسیم
صفر	تجن	۱۲/۴۶^{a}	۵/۲۴^{a}	۰/۴۴^{a}	۱۷/۱۸^{ab}	۰/۱۳^{c}
	کویر	۱۱/۸۶^{a}	۳/۸۳^{b}	۰/۴۱^{a}	۲۰/۷۰^{a}	۰/۱۲^{c}
۷۵	تجن	۸/۷۲^{b}	۲/۹۶^{c}	۰/۲۹^{b}	۱۰/۲۷^{cd}	۰/۵۶^{b}
	کویر	۱۱/۱۰^{a}	۲/۹۶^{c}	۰/۲۹^{b}	۱۶/۰۷^{b}	۰/۳۱^{bc}
۱۵۰	تجن	۵/۹۸^{c}	۱/۹۱^{d}	۰/۱۷^{c}	۶/۰۹^{d}	۱/۲۸^{a}
	کویر	۱۰/۸۷^{a}	۲/۵۸^{cd}	۰/۲۲^{c}	۱۴/۱۸^{bc}	۰/۴۹^{b}

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ است.

جدول ۵. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل رقم و محلول‌پاشی بر وزن خشک اندام هوایی و غلظت آهن ارقام گندم

رقم	محلول‌پاشی	وزن خشک اندام هوایی (g)	آهن (mg kg^{-1} DW)
تجن	عدم محلول‌پاشی	۲/۶۹^{e}	۱۰۶^{d}
	اکسید آهن معمولی	۳/۷^{e}	۷۵۷^{c}
	اکسید روی معمولی	۳/۲۸^{de}	۹۱/۶۶^{d}
	اکسید آهن نانو	۳/۸۷^{de}	۸۴۰^{c}
	اکسید روی نانو	۳/۳^{cde}	۹۷/۳۳^{d}
	مخلوط نانو اکسید آهن و روی	۳/۴۰^{de}	۶۵۷^{c}
کویر	عدم محلول‌پاشی	۳/۱۶^{a}	۱۶۹^{d}
	اکسید آهن معمول	۳/۳^{ab}	۱۲۱۴^{b}
	اکسید روی معمولی	۳/۰۶^{ab}	۱۴۶^{d}
	اکسید آهن نانو	۳/۱۳^{a}	۱۴۸۰^{a}
	اکسید روی نانو	۳^{bc}	۱۷۹^{d}
	مخلوط نانو اکسید آهن و روی	۳/۰۹^{a}	۱۱۹۵^{b}

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۶. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل شوری و محلول‌پاشی بر وزن خشک اندام هوایی، غلظت آهن و روی ارقام گندم

شوری	محلول‌پاشی	وزن خشک اندام هوایی (g)	آهن (mg kg^{-1} DW)	روی (mg kg^{-1} DW)
صفر	عدم محلول‌پاشی	۳/۵۷^{d}	۲۴۶^{g}	۲۷/۵^{e}
	اکسید آهن معمول	۵^{ab}	۱۵۱۹^{b}	۲۷/۵^{e}
	اکسید روی معمولی	۴/۳۷^{c}	۱۷۶^{gh}	۱۸۶^{ab}
	اکسید آهن نانو	۵/۲۹^{a}	۱۷۹۴^{a}	۲۴^{e}
	اکسید روی نانو	۴/۴۱^{c}	۲۳۶^{g}	۲۰۶^{a}
	مخلوط نانو اکسید آهن و روی	۴/۵۷^{bc}	۱۴۴۴^{gh}	۱۷۱^{b}
۷۵	عدم محلول‌پاشی	۲/۷۰^{efg}	۱۱۰^{cd}	۱۵^{e}
	اکسید آهن معمول	۲/۸۸^{efg}	۸۹۴^{gh}	۱۸/۵^{e}
	اکسید روی معمولی	۳/۰۱^{ef}	۱۱۳^{c}	۱۱۶^{c}
	اکسید آهن نانو	۳/۰۱^{ef}	۱۰۴۴^{gh}	۲۰/۵^{e}
	اکسید روی نانو	۳/۰۶^{e}	۱۲۱^{de}	۱۳۰^{c}
	مخلوط نانو اکسید آهن و روی	۳/۱۰^{e}	۷۸۱^{h}	۱۱۲^{c}
۱۵۰	عدم محلول‌پاشی	۲/۵۰^{ghi}	۵۶/۵^{f}	۱۰^{e}
	اکسید آهن معمول	۲/۶۱^{fgh}	۵۴۴^{h}	۱۲/۵^{e}
	اکسید روی معمولی	۲/۱۱^{ij}	۶۸/۵^{ef}	۸۵/۲۵^{d}
	اکسید آهن نانو	۲/۲۰^{hij}	۶۴۴^{h}	۱۰/۵^{e}
	اکسید روی نانو	۱/۹۸^{j}	۵۷/۵^{f}	۸۹/۲۵^{d}
	مخلوط نانو اکسید آهن و روی	۲/۰۷^{ij}	۵۵۴^{gh}	۷۲^{d}

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ است.

به ترتیب ۴۲، ۵۴، ۴۸ و ۵۲ و برای رقم کویر به ترتیب ۸، ۲۷، ۳۸ و ۲۵ درصد بود. نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوائی در شرایط شور در رقم تجن ۶ برابر و در رقم کویر ۲/۳ برابر افزایش یافت (جدول ۴). این نتایج بیانگر حساسیت بیشتر رقم تجن به شوری می باشد. در آزمایش تری وی دی و همکاران (۲۴) تنش شوری سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی گندم گردید و واکنش ارقام مختلف از این نظر متفاوت بود. در مطالعه شیرازی و همکاران(۲۲) حفظ پتاسیم در برگ‌های گندم تحت تأثیر شوری موجب القای تحمل به شوری شد. در این مطالعه نیز غلظت پتاسیم در رقم مقاوم‌تر (کویر) به نسبت کمتری در اثر شوری کاهش یافت.

اثر متقابل محلول‌پاشی و رقم بر وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال ۵ درصد و بر غلظت آهن در اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد و معنی‌دار بود (جدول ۲). به طور کلی وزن خشک اندام هوایی در تیمارهای محلول‌پاشی شده نسبت به تیمار محلول‌پاشی نشده افزایش یافت (جدول ۵). میزان این افزایش در رقم تجن ۲۹ درصد ولیکن این مقدار برای رقم کویر ناچیز بود. در هیچ‌یک از دو رقم تفاوت بین دو فرم محلول‌پاشی از این نظر معنی دار نبود. از نظر غلظت آهن در اندام هوایی تأثیر مثبت محلول‌پاشی نانو ذرات اکسید آهن

Archive of SID

www.SID.ir

نسبت به فرم معمول آن در رقم کویر بارزتر بود. در حالی‌که در رقم تجن تفاوت بین فرم نانو ذرات و فرم معمول اکسید آهن از این نظر معنی دار نشد. به عبارت دیگر، واکنش مثبت رقم کویر به کاربرد نانو ذرات اکسید آهن بیشتر از رقم تجن بود.

اثر متقابل شوری و محلول‌پاشی بر وزن خشک اندام هوایی، غلظت آهن و روی در اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). محلول‌پاشی عناصر آهن و روی به دو فرم نانو ذرات و معمول در محیط غیرشور سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی شد، ولی با افزایش سطح شوری میزان تأثیر مثبت محلول‌پاشی کاهش یافت. در شرایط غیرشور غلظت آهن در اندام هوایی در اثر محلول‌پاشی اکسید آهن به فرم معمول و نانو ذرات به ترتیب ۶/۲ و ۷/۵ برابر ولی در سطح شوری ۷۵ میلی‌مولار ۸/۱ و ۹/۵ برابر و در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار ۹/۷ و ۱۱/۵ برابر نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی افزایش یافت. این مقادیر افزایشی برای غلظت روی در اندام هوایی در تیمار شاهد غیرشور به ترتیب ۷ و ۷/۵ برابر، در سطح شوری ۷۵ میلی‌مولار ۸/۱ و ۹/۵ برابر و در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار ۸/۵ و ۸/۹ برابر بود (جدول ۶). محلول‌پاشی نانو ذرات اکسید آهن و روی در مقایسه با فرم معمول آن تأثیر بیشتری بر غلظت این عناصر در گیاه داشت. از طرف دیگر، با افزایش سطح شوری تأثیر مثبت محلول‌پاشی بر غلظت آهن و روی افزایش یافت.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه تنش شوری از طریق تأثیر منفی بر سطح برگ، غلظت پتاسیم، غلظت آهن و روی در گیاه موجب کاهش تجمع ماده خشک در گندم گردید. میزان کاهش وزن خشک گیاه در اثر شوری در رقم کویر کمتر از رقم تجن بود. افزایش نسبت سدیم به پتاسیم در شرایط شور در رقم حساس تجن بیشتر از رقم مقاوم کویر بود. تأثیر مثبت محلول‌پاشی اکسید آهن و روی بر سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و کاهش غلظت سدیم تحت تنش شوری بارزتر بود. غلظت آهن در اندام هوایی در تیمار محلول‌پاشی اکسید آهن به فرم نانو ذرات نسبت به فرم معمول آن به طور معنی‌داری بیشتر بود. از نظر تجمع آهن و روی در گیاه واکنش مثبت گندم به فرم نانو ذرات اکسید آهن بیشتر از واکنش آن به نانو ذرات اکسید روی بود. واکنش مثبت رقم کویر به کاربرد نانو ذرات اکسید آهن از نظر غلظت آهن در اندام هوایی بیشتر از رقم تجن بود. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی اکسید آهن و روی به فرم نانو ذرات تأثیر مثبت بیشتری بر رشد گندم دارد، با این حال کاربرد فرم نانو از نظر تعدیل اثرات شوری مزیتی نداشت. در نهایت به سبب فعالیت بیش از اندازهٔ ذرات در مقیاس نانو و وجود دغدغه‌های زیست محیطی در استفاده ی از این ذرات بایستی پس از بررسی ابعاد زیست محیطی موضوع در آزمایشاتی دیگر، جهت استفاده در کشاورزی به سبب افزایش عملکرد لحاظ شوند.

منابع مورد استفاده

1. Arkava, K., K. Mizuno, T. Takaba and K. Murata. 1994. Immunological studies of betaine aldehyde dehydrogenase in barley. *Photosynthesis Research* 4: 243-246.
2. Azizpour, K., M.R. Shakiba, N.A. KhoshkholgSima, H. Alyari, M. Moghadda, E. Esfandiari and M. Pessarakli. 2010. Physiological response of spring durum wheat genotypes to salinity. *Journal of Plant Nutrition* 36: 859-873
3. Bagheri, A., GH. Sarmadniya and SH. Hajrasoliha.1997. Investigation of different French grass responses to drought and salinity stress in germination stage..*Journal of Agriculture Sciences and Industries*2:41-56.
4. Baybordi, A. 2004. Effect of Fe, Mn, Zn and Cu on the quality and quantity of wheat under salinity stress.*Journal of Water and Soil Science* 17: 140-150.
5. Cakmak, I., A. Yilmaz, H. Ekiz, B. Erenoglu and H. J. Braun 1996. Zinc deficiency as a critical nutritional problem in wheat production in centeralanatolia. *Plant and Soil* 180: 165-172.
6. Flowers, T. J., P. F. Troke and A. R. Yeo. 1997. The mechanism of salt tolerance in halophytes.*Journal of Plant Physiology* 28: 89-121.

Archive of SID

www.SID.ir

7. Ghorbani, M. and A. Haghighat. 2000. An attitude on exploitation method on untraditional waters in agriculture. The first national conference on approaches to compete with water critic, university of zabol, volume2.pp 265-278.
8. Hamada, A. M. 1996. Effect of NaCl, water stress or both on gass exchange and growth of wheat. *BiologiaPlanta* 38: 405-412.
9. Hemantaranjan, A. and O. K. Gray. 1988. Iron and zinc fertilization with reference to the grain quality of *triticum aestivum*. L. *Journal of Plant Nutrition* 11: 1439-1450.
10. Hoffiman, G. J., E.V. Mass, T. L. Prichard and J. L. Meyer. 1983. Salt tolerance of corn in the Sacramento-San Joaquin Delta of California.*Journal of Irrigation Science* 4: 31-44.
11. Hu, Y. and U. Schmidhalter. 2001. Effects of salinity and macronutrient levels on micronutrients in wheat. *Journal of Plant Nutrition* 24: 273-281.
12. Kafi, M. 1996. Effort's of salinity on aspects of the physiology of wheat (*Triticum aestivum*). PhD. Thesis. University of new castle.
13. Khoshgoftarmanesh, A. H., H. Shariatmadari, N. Karimian, M. Kalbasi and M. R. Khajehpour 2004. Zinc efficiency of wheat cultivars grown on a saline calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition* 27: 1953-1962.
14. Mass, E. V. 1986. Crop tolerance to saline soil and water. Proe. Us Pak Biosaline Res. Workshop, Karachi, Pakistan pp:205-219.
15. Maxwell, K. and G. N. Johnson. 2000. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. *Journal of Experimental Botany* 51: 569-668.
16. Monica, R. C. & R. Cremonini. 2009. Nanoparticles and higher plants.*Caryologia* 62:161-165.
17. Mozafar, A. and J. R. Goodin. 1986. Salt tolerance of two drought tolerance wheat genotypes during germination and early seedling growth. *Plant and Soil* 96: 303-316.
18. Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environment* 25: 239–250.
19. Peyvandi, M., H. Parande and M. Mirza. 2011. The comparison of iron Nano chelates effect on growth parameters and antioxidant enzymes activity of OcimumBasilicum. *Journal of molecular cellular biotechnology* 4:19-31.
20. Sadri, M and J. Malakoti. 1996. Investigation of iron, zinc and copper application effect on improving wheat quantitative and qualitative traits. Journal of water and soil. *Water and Soil Investigation Institutes Scientific Magazine*12:19-31.
21. Sairam, R. K., K. V. Rao. and G.C. Srivastava. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science* 163: 1037-1046.
22. Shirazi, M. U., M. Y.Ashraf, M. A. Khan and M. H. Nagvi. 2005. Potassium induced salinity tolerance in wheat. *International Journal of Environment Science Technology* 3: 233-236.
23. Srivastava, J. P. 1998. Advances in Plant Physiology. A. Hemat, (Eds.), Rahigan Published by Pawan Kumar Scientific Pub.
24. Trivedi, S., G. Galiba, N. Sankhla and L. Erdei. 1991. Responses to osmotic and sodium chloride stress of wheat varieties differing in drought and salt tolerance in callus cultures. *Plant Science* 73(2):227-232.

Archive of SID

www.SID.ir