Archive of SID

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد هشتم، شماره اول، ۱۳۹۷
http://ejsms.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejsms.2017.12547.1709

کارایی نانوذرات اکسید روی (ZnO NPs) سنتزشده بر جذب روی و برخی شاخص‌های رشدی گندم

علی عبدالهی[۱]، *مجتبی نوروزی مصیر[۲]، مهدی تقوی زاهدکلائی[۳] و عبدالامیر معزی[۴]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز، [۲]استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز، [۳]استادیار گروه شیمی، دانشگاه شهید چمران اهواز، [۴]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۶/۹/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۲۸

چکیده

سابقه و هدف: کمبود عناصر غذایی کم‌مصرف کاتیونی مانند روی یکی از مشکلات رایج در خاک‌های سراسر دنیا به‌ویژه خاک‌های آهکی است. نانوذرات اکسید روی برای بهبود وضعیت تغذیه‌ای این عنصر در محصولات زراعی و افزایش عملکرد رو به افزایش است. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات نانوذرات اکسید روی بر عملکرد، غلظت و جذب روی در ریشه و اندام هوایی گندم تحت کشت گلخانه‌ای در یک خاک آهکی انجام شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در شرایط گلخانه‌ای و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل نانوذرات اکسید روی (ZnO NPs) به مقدار ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، کود شیمیایی سولفات روی ($ZnSO_4$) به مقدار ۴۰ کیلوگرم در هکتار و تیمار شاهد بودند. طی دوره آزمایش ویژگی‌هایی مانند ارتفاع گیاه و شاخص کلروفیل اندازه‌گیری شد. در پایان دوره کشت، وزن خشک و غلظت روی ریشه، اندام هوایی و دانه با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. همچنین پ.هاش و مقدار روی قابل دسترس خاک نیز به‌ترتیب با استفاده از پ.هاش‌متر و عصاره‌گیر DTPA اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: مقدار روی قابل دسترس خاک در هر یک از سطوح نانوذرات اکسید روی نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌داری در سطح یک درصد نشان داد. بیش‌ترین مقدار روی قابل دسترس خاک در سطح ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذرات اکسید روی با افزایش ٪۵۲/۷۳ نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. تأثیر تیمارهای نانوذرات اکسید روی و سولفات روی بر وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع بوته و کلروفیل در سطح ۱ درصد و بر وزن خشک ریشه در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. ترتیب عملکرد اندام هوایی و ریشه، غلظت و جذب روی در تیمارها به‌صورت ZnSO4 < ZnO NPs100 < ZnO NPs200 < ZnO NPs300 بود. بیش‌ترین مقدار عملکرد ریشه، ساقه و دانه در سطح ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذرات اکسید روی به‌ترتیب با افزایش ۴۳/۰۲، ۲۴/۹۱ و ٪۳۷/۰۸ نسبت به تیمار شاهد به‌دست آمد. بیش‌ترین مقدار غلظت روی در ریشه و اندام هوایی به‌ترتیب با افزایش ۶۲/۱۱ و ٪۱۱۱/۱۹ در سطح ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذرات اکسید روی نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. نانوذرات اکسید روی به مقدار ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و کود شیمیایی سولفات روی به‌ترتیب، بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر را بر افزایش جذب روی ساقه و دانه داشتند. بیش‌ترین مقدار غلظت و جذب روی دانه نیز در سطح ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده شد.

* مسئول مکاتبه: m.norouzi@scu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که استفاده از نانوذرات اکسید روی موجب افزایش عملکرد، غلظت و جذب عنصر روی ریشه و اندام هوایی گندم شد. بنابراین می‌توان کاربرد نانوذرات را به‌عنوان یکی از روش‌های نوین جهت بهبود عملکرد و کیفیت محصولات زراعی و کاهش استفاده از کودهای شیمیایی در نظر گرفت.

واژه‌های کلیدی: کود شیمیایی، جذب روی، گندم، نانوذرات اکسید روی

مقدمه

بیش از ۸۰ درصد از زمین‌های کشاورزی از کمبود روی رنج می‌برند و گیاهان رشدیافته در این زمین‌ها ممکن است دچار کمبود روی باشند که در نتیجه عملکرد آن‌ها کاهش می‌یابد (۲۶). کمبود روی در خاک‌های آهکی سراسر دنیا از جمله ایران وجود دارد. از دلایل عمده کمبود روی در خاک‌های ایران می‌توان به پ.هاش بالای خاک، آهکی بودن خاک، مصرف بیش از حد از کودهای فسفاته، غلظت بالای بیکربنات در آب‌های آبیاری و عدم استفاده از کودهای حاوی روی در خاک اشاره نمود (۱۰ و ۱٤). روی یکی از عناصر ضروری گیاه است که نقش‌های متابولیکی زیادی در گیاه دارد. از مهم‌ترین آن‌ها حضور در ساختمان بسیاری از آنزیم‌ها مانند هیدروژنازها، پروتئازها، پپتیدازها و فسفوهیدرلازها است (۲۸) همچنین این عنصر در قسمت‌های فعال گیاه مانند برگ‌ها، شاخه‌های جوان، جوانه‌های برگ، گل و گیاه تجمع می‌یابد. این عنصر بیش‌تر به‌صورت Zn^{2+} جذب شده و در پ.هاش بالا به‌صورت هیدروکسید روی ($Zn(OH)_2$) نیز توسط گیاه جذب شود (۲۷). یکی از بهترین روش‌ها برای برطرف نمودن کمبود روی، غنی‌سازی زیستی- زراعی محصولات کشاورزی است (۲٦). بنابراین با توجه به موارد گفته شده می‌توان گفت که گیاهان رشدیافته در خاک‌های آهکی در معرض کمبود عناصر غذایی کم‌مصرف کاتیونی مانند روی قرار دارند. مصرف محصولات زراعی مبتلا به کمبود روی اثرات منفی بر روی رشد و سلامت انسان داشته و یک‌سوم مردم دنیا را تحت‌تأثیر قرار داده است (۲، ٦ و ٤۷). حد بحرانی روی در خاک‌ها، ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم (۳٦) و در بافت‌های گیاهی بین ۱۵ تا ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است (۲۸).

رویکردهای مدیریتی غلط در راستای برطرف نمودن کمبود عناصر غذایی در محصولات کشاورزی و استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی موجب ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی شده و به دنبال آن سلامت انسان و سایر موجودات را به خطر انداخته است. بنابراین استفاده از روش‌های نوین در جهت توسعه پایدار و افزایش عملکرد باید در نظر گرفته شود. برای کاهش تخریب منابع آب، خاک و هوا در اثر مصرف مواد شیمیایی مختلف و برای افزایش کارایی مصرف نهاده‌های تولید و سلامت غذا و محیط جایگزینی کودها و مکمل‌های شیمیایی با روش‌های جدیدی مانند تیمارهای فیزیکی و استفاده از ترکیبات نانو، پیشنهاد شده است (۱). پیشرفت در فناوری نانو ابزاری کارآمد جهت استفاده از ترکیبات شیمیایی در کشاورزی فراهم کرده و در نتیجه باعث کاهش مصرف مواد شیمیایی می‌شود (۵۳). نانوذرات ممکن است در بخش‌های مختلف کشاورزی مانند مصرف کود و مدیریت آبیاری کاربرد داشته باشد. بنابراین، کشاورزی مبتنی بر فناوری نانو می‌تواند تولید مواد غذایی با کیفیت را افزایش دهد (٤۵). کاربرد و ترویج

www.SID.ir

Archive of SID

فناوری نانو برای افزایش عملکرد و کارایی مصرف کود ضروری به‌نظر می‌رسد (٤٨).

اگرچه در رابطه با اثر کودها در ابعاد نانو بر رشد گیاه مطالعات بسیار محدودی انجام شده است (١٩)، اما در سال‌های اخیر، نحوه تأثیر عناصر مورد نیاز به شکل نانوذرات بر رشد و نمو گیاهان مورد توجه قرار گرفته و نتایج مثبتی در این رابطه گزارش شده است (٨، ٣٤، ٣٩، ٤٥ و ٤٩). تبدیل مواد به مقیاس نانو، ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، زیستی و فعالیت‌های کاتالیزوری آن‌ها را تغییر می‌دهد و سبب افزایش فعالیت‌های شیمیایی و نفوذپذیری این ذرات به غشای سلولی می‌شود (٣٠). نانوذرات به‌دلیل انحلال‌پذیری بیش‌تر، وارد غشای سلولی شده و فعالیت‌های شیمیایی را افزایش می‌دهد.

تأثیر نانوذرات بر گیاهان به ویژگی‌های نانوذرات، غلظت مورد استفاده، شیوه کاربرد آن‌ها و گونه گیاهی بستگی دارد (٢٠، ٥١ و ٥٦). حلالیت، تراکم و تغییر ویژگی‌های سطحی نانوذرات اکسید روی ممکن است قابلیت دسترسی زیستی این ذرات را تغییر دهد (٣٣). به‌نظر می‌رسد واکنش‌های اصلی نانوذرات در سیستم‌های خاک و گیاه، شامل تجمع و انحلال نانوذرات در خاک، برهمکنش با ترشحات ریشه‌ای و جذب روی سطح ریشه باشد (٣٥). علاوه بر نوع و غلظت نانوذرات، ویژگی‌های مختلف خاک مثل پ.هاش، مقدار ماده آلی و هدایت الکتریکی، قابلیت دسترسی نانوذرات را در خاک تحت‌تأثیر قرار می‌دهند (٣٢). از جمله نانوذرات مورد استفاده در پژوهش‌های کشاورزی می‌توان به نانوذرات اکسید روی (ZnO NPs) اشاره کرد که دارای سطح ویژه بسیار بالایی می‌باشد. تاکنون اغلب مطالعات در زمینه تأثیر نانوذرات اکسید روی بر رشد گیاه در محیط کشت هیدروپونیک بوده است (٩، ٢٣ و ٢٤). پراساد و همکاران (٢٠١٢) نشان دادند که نانوذرات روی توسط ریشه‌های جوانه ماش و نخود، را جذب شد و طول ریشه، بخش هوایی و زیست‌توده ریشه و بخش هوایی افزایش یافت (٢٥ و ٤٢). رالیا و طرفدار (٢٠١٣) گزارش کردند که نانوذرات روی موجب افزایش رشد ریشه و عملکرد اندام هوایی گیاه گوآر[1] شده است (٤٤).

در آزمایشی که بر روی گیاه نخودفرنگی صورت گرفت، مشاهده شده که نانوذرات اکسید روی با قطر ٣٠-٢٠ نانومتر موجب افزایش سطوح هورمون ایندول استیک‌اسید در ریشه‌ها شد. همچنین با افزایش هورمون اکسین، درصد جوانه‌زنی و رشد ریشه نخودفرنگی افزایش یافت (٤).

تیمار دانه‌های بادام‌زمینی با نانوذرات اکسید روی، ویژگی‌های عملکردی را در مقایسه با کود شیمیایی سولفات روی افزایش داد (٤٢). امیرجانی و همکاران (٢٠١٦) گزارش نمودند که نانوذرات اکسید روی سبب افزایش معنی‌دار شاخص‌های رشدی درصد جوانه‌زنی، وزن تر و خشک بخش هوایی، سطح برگ و طول ریشه گیاه گندم شدند ولی با افزایش غلظت نانو ذرات (٣، ٦، ٩ و ١٢ میکرومولار)، این شاخص‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، آن‌ها دلیل این کاهش را تنش عناصر سنگین از جمله روی دانستند (٣). این یافته‌ها نشان می‌دهد که با وجود تأثیر مثبت نانوذرات بر رشد گیاه، باید جهت جلوگیری از خطر ایجاد سمیت برای گیاه، مقادیر مناسب نانوذرات اکسید روی به خاک افزوده شود. گیاهانی که در حضور نانوذرات اکسید روی رشد می‌کنند به نانوذرات و یون روی آزاد شده از آن‌ها پاسخ نشان می‌دهند، بنابراین فاکتورهایی که حلالیت روی از نانوذرات را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد در پاسخ گیاه دارای اهمیت می‌باشد (٥٥). با این وجود تاکنون در زمینه تأثیر کاربرد نانوذرات اکسید روی در خاک و ارزیابی کارایی این ترکیبات بر عملکرد، غلظت و جذب روی

1- *Cyamopsis tetragonoloba* L.

www.SID.ir

Archive of SID

در گیاه گندم مطالعه‌ای صورت نگرفته است. بنابراین هدف از این مطالعه بررسی تأثیر نانوذرات اکسید روی و کود شیمیایی سولفات روی بر برخی ویژگی‌های رشدی، غلظت و جذب روی در گندم می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، در قالب طرح کامل تصادفی و در سه تکرار انجام شد. در این آزمایش تأثیر نانوذرات به‌صورت جامد و ترکیب شده با خاک بر روی گندم (*Triticum aestivum* L.) رقم چمران مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای آزمایش شامل نانوذرات اکسید روی به مقدار ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، کود شیمیایی سولفات روی به مقدار ٤٠ کیلوگرم در هکتار و تیمار شاهد بود. مقدار کود شیمیایی سولفات روی نیز بر اساس مقدار رایج مصرفی در اراضی کشاورزی می‌باشد.

سنتز نانوذرات اکسید روی توسط روش هم‌رسوبی: سنتز نانوذرات به روش هم‌رسوبی (Co- precipitation) انجام شد (۱۳). یک میلی‌مول از استات روی ۲ آبه در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب عاری از یون (دیونیزه) حل و با استفاده از کاغذ صافی، محلول صاف گردید تا ناخالصی‌های موجود در آن حذف شد. ۳ میلی‌مول تری اتیل آمین و ۲ میلی‌مول ۱- آمینو پروپیل به یک بالن ته گرد حاوی ۵۰۰ میلی‌لیتر اتانول مطلق (درجه خلوص ٪۹۹/۸) اضافه شد و محلول با استفاده از مگنت با یک دور ثابت همزده شد تا یک محلول همگن حاصل شود. سپس محلول آبی حاوی نمک روی به محلول اتانول مطلق تحت چرخش ثابت اضافه شد. بالن حاوی محلول به‌مدت ۲ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد و برای این‌که غلظت محلول اولیه حفظ شود، در روی بالن ته‌گرد یک مبرد نصب شد تا آبی که تبخیر می‌شود به مایع تبدیل شود. بعد از ۲ ساعت، حرارت دادن متوقف شد تا محلول با همزدن سرد شود. بعد از سرد شدن، محلول با استفاده از یک فیلتر آب‌گریز پلی‌تترا فلوئورو اتیلن (PTFE) با سایز ۰/۱ میکرومتر صاف شد. محصول با استفاده از اتانول سه بار شسته شد تا مواد آلی آن حذف شود. پودر در محلول اتانول با استفاده از حمام فراصوت[1] پراکنده شد و در یک آون با دمای ٦٠ درجه سانتی‌گراد خشک شد.

نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز به‌صورت مرکب انتخاب و بعد از هوا خشک شدن برخی ویژگی‌های اولیه آن شامل بافت خاک به روش هیدرومتری (٤٦)، هدایت الکتریکی و پ.هاش خاک در عصاره ۱:۱ خاک به آب، مواد آلی به روش والکی و بلک، آهک به روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک و تیتراسیون برگشتی با هیدروکسید سدیم (۵)، فسفر قابل‌دسترس به روش اولسن (٤٠)، پتاسیم قابل‌دسترس با استفاده از استات آمونیوم و نیتروژن به روش کجلدال تعیین گردیدند (۱۲). برای اندازه‌گیری روی قابل‌دسترس خاک از عصاره‌گیر DTPA استفاده شد و غلظت روی در عصاره به‌وسیله دستگاه جذب اتمی (مدل پرکین المر آ-آنالیست ۲۰۰) قرائت شد (۲۲). خاک مورد آزمایش بر اساس حد بحرانی کمبود روی در خاک (۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) (۳٦)، دچار کمبود شدید روی قابل عصاره‌گیری با DTPA (روی قابل‌دسترس) بود (جدول ۱). برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. مدیریت کودی بر اساس آزمون خاک و توصیه کودی مؤسسه تحقیقات خاک و آب انجام شد (۳۱). بذر گندم پس از ضدعفونی کردن با

1- Ultrasonic

www.SID.ir

Archive of SID

هیپوکلریت سدیم یک درصد و چندبار شست و شو با آب مقطر کشت شد (٥٤). رطوبت خاک گلدان‌ها طی دوره آزمایش از طریق وزنی تقریباً در حد ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) نگه داشته شد.

در طی دوره آزمایش، میزان کلروفیل گیاه با استفاده از دستگاه SPAD-502 اندازه‌گیری شد. در انتهای دوره کشت ارتفاع گیاه با استفاده از خط‌کش میلی‌متری اندازه‌گیری شد. وزن خشک ریشه، ساقه (پس از ۷۲ ساعت قرار گرفتن در دمای ۷۰ درجه سلسیوس آون) و دانه نیز بر حسب گرم در گلدان با ترازوی دو رقم اعشار اندازه‌گیری شدند. برای تعیین غلظت روی در هر یک از اجزای گندم از روش هضم خشک (هضم با اسید هیدروکلریک ۲ نرمال) و دستگاه جذب اتمی استفاده شد. برای این منظور، ابتدا محلول‌های استاندارد مورد نظر به دستگاه داده شد و سپس محتوای عنصر روی در نمونه‌ها با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. میزان جذب روی نیز از حاصل‌ضرب وزن خشک (عملکرد) در غلظت روی به‌دست آمد.

پس از برداشت گندم، پ.هاش و روی قابل‌دسترس خاک نیز به‌ترتیب با استفاده از پ.هاش متر و عصاره‌گیر DTPA اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار رایانه‌ای SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون Tukey در سطح احتمال ۵٪ انجام شد. رسم نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک.

Table 1. Some chemical and physical properties of soil.

ویژگی (Properties)	مقدار (Value)
پ.هاش pH	7.8
هدایت الکتریکی Electrical Conductivity ($dS.m^{-1}$)	3.5
نیتروژن (٪) (Nitrogen) (%)	0.07
فسفر قابل‌جذب ($mg.kg^{-1}$) (Available Phosphorus) ($mg.\ kg^{-1}$)	7.1
روی قابل‌دسترس ($mg.kg^{-1}$) (Available Zinc) ($mg.kg^{-1}$)	0.55
ماده آلی (٪) (Organic Matter) (%)	0.71
پتاسیم قابل‌تبادل ($mg.kg^{-1}$) (Exchangeable Potassium)($mg.kg^{-1}$)	290
بافت خاک (Soil Texture)	Clay Loamy

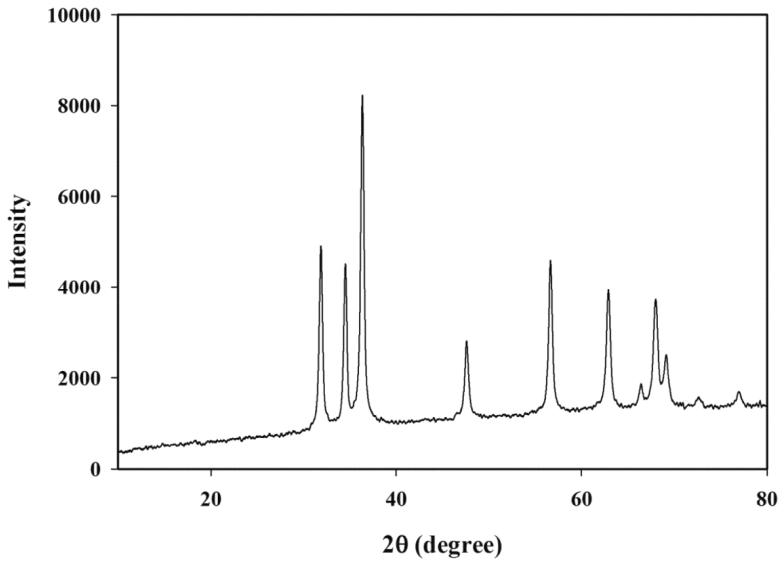
www.SID.ir

Archive of SID

نتایج و بحث

تعیین مورفولوژی نانوذرات اکسید روی

روش تفرق اشعه ایکس (XRD): یکی از مهم‌ترین روش‌های مطالعه میزان بلورینگی مواد، استفاده از روش تفرق اشعه ایکس ((X-ray diffraction (XRD می‌باشد. نانوذرات به‌صورت ترکیبی از حالت آمورف و بلوری می‌باشند. در یک الگوی XRD، حوزه‌های آمورف قله‌های پهن و حوزه‌های بلوری قله‌های تیز تشکیل می‌دهند. از نسبت شدت این قله‌ها می‌توان برای تعیین بلورینگی استفاده کرد. الگوی پراش پرتو ایکس پودر نانوذرات اکسید روی سنتزشده در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، همه پیک‌ها به خوبی با الگوی پراش پرتو ایکس نانوذرات ذکر شده توسط پژوهشگران دیگر تطابق دارند (۱۳ و ۱۸). پیک‌های اضافی و همچنین ناخالصی در طیف پراش پرتو ایکس این ترکیب مشاهده نشد که تأیید می‌کند نانوذرات سنتز شده به‌صورت خالص می‌باشند. همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است پیک‌ها با شدت زیاد و باریک می‌باشند که این موضوع بیانگر ویژگی کریستالی نانوذرات اکسید روی می‌باشد.



شکل ۱- الگوی XRD نانوذرات اکسید روی.

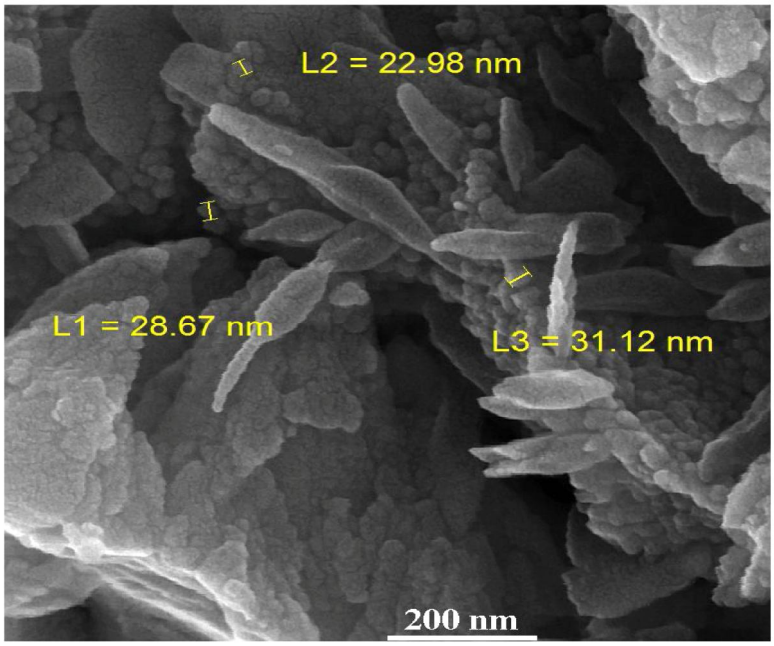
Figure 1. XRD pattern of zinc oxide nanoparticles.

آنالیز SEM: برای مطالعه نحوه پراکندگی نانوذرات اکسید روی از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی ((Field Emission (FESEM Scanning Electron Microscopy) استفاده شد. شکل ۲ تصویر FE-SEM مربوط به نانوذرات اکسید روی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، میانگین قطر ذرات نانوذرات اکسید روی در محدوده ۳۰-۲۰ نانومتر بوده و شکل ذرات نیز تقریباً کروی می‌باشد.

پ.هاش و روی قابل دسترس خاک: تأثیر تیمارها بر پ.هاش و روی قابل دسترس خاک در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- تصویر FESEM نانوذرات اکسید روی.

Figure 2. FESEM image of zinc oxide nanoparticles.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر پ.هاش و روی قابل دسترس خاک.

Table 2. Variance Analysis of the treatments effect on pH and soil available zinc.

منبع تغییرات (Source of Variation)	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square	
		پ.هاش pH	روی قابل‌دسترس خاک Soil Available Zinc
تیمار Treatment	4	0.01**	0.04**
خطا Error	10	0.0001	0.0001
ضریب تغییرات C.V	-	0.13	1.4

** معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد.

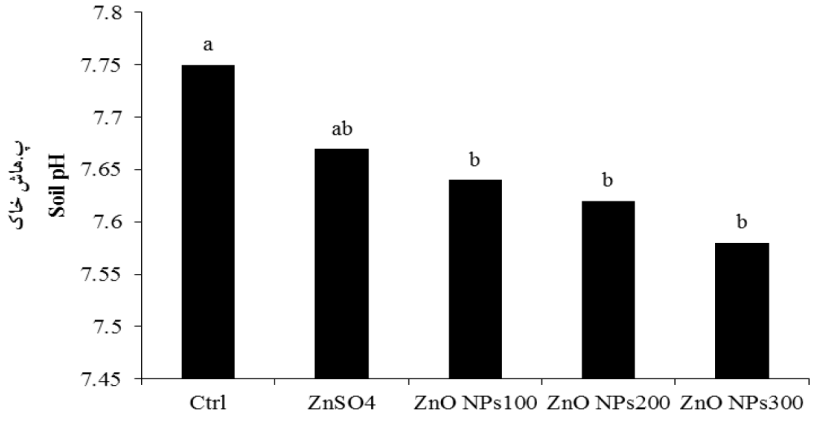
** is significant at 1%.

نانوذرات اکسید روی، پ.هاش خاک را در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش دادند (شکل ۳). تیمار نانوذرات اکسید روی به مقدار ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بیش‌ترین تأثیر را بر کاهش پ.هاش داشت (شکل ۳). تمامی تیمارها سبب افزایش مقدار روی قابل‌دسترس خاک (۲۰ تا ۵۲/۷۳٪) در مقایسه با تیمار شاهد شدند (شکل ٤). بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت روی قابل‌دسترس خاک به‌ترتیب در تیمار نانوذرات اکسید روی در سطح ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و شاهد مشاهده شد (شکل ٤). کاهش پ.هاش می‌تواند به‌دلیل سرعت حلالیت زیاد نانوذرات اکسید روی (۱۱) باشد که به سرعت با

www.SID.ir

Archive of SID

خاک وارد واکنش شده و در نتیجه با ایجاد شرایط مناسب، قابلیت دسترسی گیاه به عنصر روی را افزایش می‌دهد. به‌عبارتی با هیدرولیز نانوذرات اکسید روی، پروتون (H^+) از گروه هیدروکسیل نانوذرات جدا شده و وارد محیط خاک می‌شود و باعث کاهش پ.هاش می‌شود.

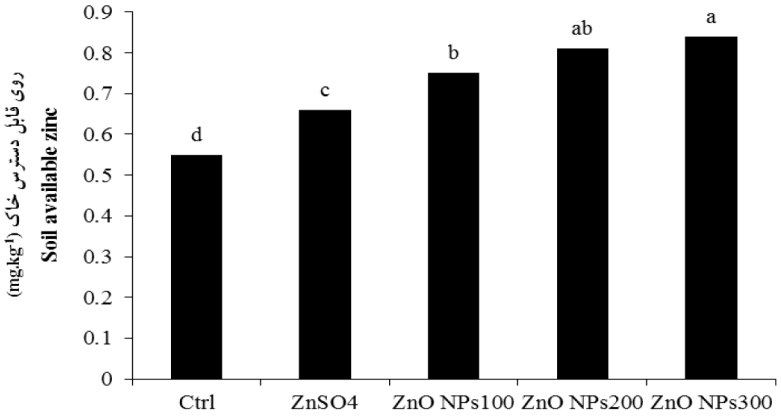


شکل ۳- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر پ.هاش خاک.

Figure 3. Compare the average effect of treatments on soil pH.

حروف مشترک بیانگر عدم معنی‌داری بین تیمارها بر اساس آزمون توکی در سطح ۵٪ می‌باشند.

Same letters mean no statistical difference between treatments at Tukey's test ($P \leq 0.05$).



شکل ٤- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر روی قابل دسترس خاک.

Figure 4. Compare the average effect of treatments on soil available Zn.

حروف مشترک بیانگر عدم معنی‌داری بین تیمارها بر اساس آزمون توکی در سطح ۵٪ می‌باشند.

Same letters mean no statistical difference between treatments at Tukey's test ($P \leq 0.05$).

www.SID.ir

Archive of SID

عملکرد، کلروفیل و ارتفاع گیاه گندم: تأثیر تیمارها بر عملکرد ساقه، دانه، ارتفاع و محتوای کلروفیل در سطح ۱ درصد و بر عملکرد ریشه در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر برخی ویژگی‌های گندم.

Table 3. Variance Analysis of the treatments effect on some characteristics of wheat.

منبع تغییرات (Source of Variation)	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square				
		عملکرد ریشه Root Yield	عملکرد ساقه Shoot Yield	عملکرد دانه Grain Yield	ارتفاع گیاه Plant height	کلروفیل Chlorophyll
تیمار Treatment	4	0.05*	1.61**	5.96**	100.41**	9.19**
خطا Error	10	0.01	0.13	0.08	0.09	0.19
ضریب تغییرات C.V	-	11.39	3.62	2.62	0.41	0.97

** و * به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد.

** and * are respectively significant at 1% and 5%.

در میان تیمارها، نانوذرات اکسید روی به مقدار ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم عملکرد ریشه را در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری (٪۴۳/۰۲) افزایش داد (جدول ٤). عملکرد ساقه به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر نانوذرات اکسید روی قرار گرفت (جدول ٤). نانوذرات اکسید روی عملکرد ساقه را به‌طور معنی‌داری (۱۷/۳۸ تا ٪۲٤/۹۱) در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند (جدول ٤). نانوذرات اکسید روی و کود شیمیایی سولفات روی، عملکرد دانه را به‌طور معنی‌داری (۱۰/٦۹ تا ٪۳۷/۰۸) در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند (جدول ٤). نانوذرات اکسید روی به مقدار ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و سولفات روی به‌ترتیب، بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر را بر افزایش عملکرد دانه گندم داشتند (جدول ٤).

ارتفاع ساقه به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر نانوذرات اکسید روی و کود شیمیایی قرار گرفت (جدول ٤). نانوذرات اکسید روی و کود شیمیایی سولفات روی، ارتفاع ساقه را به‌طور معنی‌داری (۲/۳۸ تا ٪۱٦/۹٥) در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند (جدول ٤). نانوذرات اکسید روی مقدار کلروفیل را به‌طور معنی‌داری (٤/۲۸ تا ٪۹/۸۹) در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند (جدول ٤). بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار کلروفیل به‌ترتیب در تیمارهای نانوذرات اکسید روی به مقدار ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد.

روی در تولید اکسین نقش دارد بنابراین افزایش رشد گیاه به‌دلیل گسترش طول گره‌های داخلی به‌دنبال افزایش اکسین می‌باشد (٤۲). از آن‌جایی‌که روی در ساختار و همچنین فعالسازی بسیاری از آنزیم‌های گیاهی وجود دارد و عنصری ضروری برای ساخت این آنزیم‌ها به‌شمار می‌رود، کمبود این عنصر منجر به کاهش فتوسنتز و تولید پروتئین شده و از طرف دیگر با کاهش تولید کربوهیدرات، عملکرد نیز کاهش می‌یابد. بنابراین با افزایش میزان روی در گیاه فعالیت‌های آنزیم‌هایی مانند RNA و DNA پلی‌مراز،

www.SID.ir

Archive of SID

هورمون ایندول استیک اسید (IAA) و جیبرلین افزایش یافته و در نهایت موجب افزایش عملکرد می‌شود (۲۸). پراساد و همکاران (۲۰۱۲) در آزمایشی که بر روی بادام‌زمینی انجام دادند، افزایش عملکرد غلاف خشک بادام‌زمینی در هنگام استفاده از نانوذرات را گزارش کردند (٤۲). در آزمایشی که بر روی گیاه سویا انجام شد، دریافتند که حجم زیست‌توده غلاف و دانه گیاهان سویا رشد کرده در مخلوط خاک و اکسید نانوذرات روی نسبت به تیمار شاهد و نانوذرات اکسید سریم[1] به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (٤۳). بورمن و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که نانوذرات اکسید روی عملکرد را در گیاه نخودفرنگی افزایش داد (۷). نانوذرات اکسید روی رشد ریشه، طول اندام هوایی و زیست‌توده را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد (۸). اثر مثبت عنصر روی در افزایش ویژگی‌های رشدی گیاه به این دلیل است که روی در متابولیسم نیتروژن نقش حیاتی دارد (۲۹) و با توجه به این‌که نیتروژن یک بخش ضروری از کلروفیل است می‌توان گفت که عنصر روی به‌طور غیرمستقیم در محتوای کلروفیل گیاه مؤثر است (۱۷ و ۳۷). کاربرد نانوذرات اکسید روی در بررسی‌های دیگر پژوهشگران منجر به افزایش محتوای کلروفیل گیاهانی مانند بادام‌زمینی، لوبیا، ارزن، نخود سبز و پنبه شد (۳۸، ٤۲، ٤٤، ۵۰ و ۵۲).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر برخی ویژگی‌های گندم.

Table 4. Compare the average effect of treatments on some characteristics of wheat.

شاخص Spad Spad index	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) Plant height (cm)	عملکرد دانه (گرم بر گلدان) Grain Yield (g/pot)	عملکرد ساقه (گرم بر گلدان) Shoot Yield (g/pot)	عملکرد ریشه (گرم بر گلدان) Root Yield (g/pot)	تیمار Treatment
42.73^{c}	68.66^{d}	8.98^{c}	8.96^{c}	0.86^{b}	Ctrl
46.03^{a}	70.3^{c}	9.94^{b}	9.48^{bc}	0.98^{ab}	$ZnSO_4$
44.56^{b}	80.3^{a}	10.55^{b}	10.13^{ab}	1.04^{ab}	ZnO NPs_{100}
46.66^{a}	80.3^{a}	12.05^{a}	10.43^{ab}	1.09^{ab}	ZnO NPs_{200}
46.96^{a}	79.3^{b}	12.31^{a}	10.78^{a}	1.23^{a}	ZnO NPs_{300}

حروف مشترک بیانگر عدم معنی‌داری بین تیمارها بر اساس آزمون توکی در سطح ۵٪ می‌باشد.

Same letters mean no statistical difference between treatments at Tukey's test ($P \leq 0.05$).

Ctrl، $ZnSO_4$، ZnO NPs_{100}، ZnO NPs_{200} و ZnO NPs_{300} به‌ترتیب شامل تیمارهای شاهد، کود شیمیایی سولفات روی، نانوذرات اکسید روی به مقدار ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک هستند.

Ctrl, $ZnSO_4$, ZnO NPs_{100}, ZnO NPs_{200}, ZnO NPs_{300} include control, chemical fertilizer of zinc sulfate, ZnO nanoparticles treatments at level of 100, 200 and 300 $mg.kg^{-1}$ of soil, respectively.

غلظت و جذب روی گیاه گندم: نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر غلظت و میزان جذب روی در ریشه، ساقه و دانه گندم در جدول ۵ ارائه شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، تیمارهای مورد مطالعه تأثیر معنی‌داری در سطح ۱٪ بر غلظت و جذب روی در ریشه، ساقه و دانه گندم داشته است (جدول ۵).

1- Cerium oxide nanoparticles (CeO NPs)

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر غلظت و جذب روی در گندم.

Table 5. Variance Analysis of the treatments effect on concentration and uptake of zinc in wheat.

منبع تغییرات (Source of Variation)	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean Square					
		غلظت روی در ریشه Zn Concentration in Root	غلظت روی در ساقه Zn Concentration in Shoot	غلظت روی در دانه Zn Concentration in Grain	جذب ریشه Root Uptake	جذب ساقه Shoot Uptake	جذب دانه Grain Uptake
تیمار Treatment	4	41.27**	159.24**	43.99**	0.0001**	0.024**	0.049**
خطا Error	10	0.16	0.17	0.26	0.000007	0.0007	0.0003
ضریب تغییرات C.V	-	2.05	1.68	0.80	13.11	3.37	2.63

** معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد.

** is significant at 1%.

غلظت روی ریشه، ساقه و دانه به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر تیمارهای مورد مطالعه قرار گرفت (جدول ٦). تیمارها غلظت روی ریشه (۱۳/۱٦ تا ٦۲/۱۱٪)، غلظت روی ساقه (۱۷/۸۱ تا ۱۱۱/۱۹٪) و غلظت روی دانه (۱۵/۰۹ تا ٦۰/۳۷٪) را به‌طور معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند (جدول ٦). نانوذرات اکسید روی به مقدار ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و کود شیمیایی سولفات روی به‌ترتیب، بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر را بر افزایش غلظت روی ریشه، ساقه و دانه داشتند (جدول ٦). در میان تیمارها، نانوذرات اکسید روی به مقدار ۳۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، جذب روی ریشه را در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داد (جدول ٦). جذب روی ساقه و دانه به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر نانوذرات و کود شیمیایی قرار گرفت. نانوذرات اکسید روی و کود شیمیایی سولفات روی جذب روی ساقه (۲٦/٦٦ تا ۱۵۳/۳۳٪) و جذب روی دانه (۱۵/۰۹ تا ٦۰/۳۷٪) را به‌طور معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند (جدول ٦).

نانوذرات اکسید روی به مقدار ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و کود شیمیایی سولفات روی به‌ترتیب، بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر را بر افزایش جذب روی ساقه و دانه داشتند (جدول ٦).

با توجه به بحث کاهش پ.هاش خاک تحت‌تأثیر نانوذرات اکسید روی و کود شیمیایی سولفات روی (شکل ۳)، حلالیت روی در خاک افزایش یافت و در نتیجه شرایط برای جذب روی توسط گیاه فراهم شد. به‌عبارتی دیگر با کاهش هر واحد پ.هاش میزان حلالیت روی ۱۰۰ برابر افزایش می‌یابد (۲۱)، در نتیجه روی قابل دسترس خاک تحت‌تأثیر نانوذرات اکسید روی و کود شیمیایی سولفات روی افزایش یافت. همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد، نانوذرات به‌واسطه داشتن ویژگی‌های منحصر به فردی مانند سطح ویژه، بار سطحی و حلالیت بسیار بالا و همچنین اندازه کوچک قادرند به راحتی به بافت‌های گیاهی نفوذ کنند و در بین اندام‌های مختلف گیاه جابه‌جا شوند. همچنین می‌توان گفت که این افزایش غلظت ممکن است در نتیجه تحویل آنی روی آزاد

www.SID.ir

Archive of SID

شده از نانوذرات به سطح ریشه و یا به‌علت نفوذ نانوذرات اکسید روی به درون سلول گیاهی باشد (۵۵). با این وجود، شواهد مستقیم مبنی بر فرآیندهای جذب نانوذرات و پراکندگی آن‌ها در گیاه و در سطح سلولی نادر است (۱۶).

لوپز- مورنو و همکاران (۲۰۱۰) در آزمایشی که بر روی سویا انجام دادند دریافتند که جذب و تجمع روی در غلظت پایین نانوذرات اکسید روی نسبت به غلظت بالای آن، بیش‌تر بود (۲۳). دو و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که نانوذرات اکسید روی در بافت‌های گندم تجمع یافتند و به‌دلیل سرعت حلالیت زیاد نانوذرات اکسید روی در خاک، تجمع روی در مقایسه با شاهد معنی‌دار بود (۱۱). ماهاجان و همکاران (۲۰۱۱) مشاهده کردند که با افزایش مقدار نانوذرات اکسید روی افزایش معنی‌داری در غلظت روی در ریشه جوانه‌های ماش و نخودفرنگی به وجود آمد که بیانگر جذب و جابجایی نانوذرات در جوانه‌ها می‌باشد (۲۵). پراساد و همکاران (۲۰۱۲) افزایش معنی‌داری در محتوای روی برگ‌ها و دانه‌ها به واسطه تیمار با نانوذرات اکسید روی نسبت به تیمارهای کلات سولفات روی مشاهده کردند، آن‌ها همچنین اثرات زیان‌آوری را در غلظت‌های بالای نانوذرات اکسید روی گزارش کردند (۴۲). پریستر و همکاران (۲۰۱۲) بیان نمود که مخلوط خاک و نانوذرات اکسید روی، سبب افزایش معنی‌دار روی در گیاه سویا شد (۴۳). دوک و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که محلول نانوذرات اکسید روی باعث افزایش غلظت روی در گیاه ماش نسبت به تیمار شاهد شد (۸). در آزمایشی که بر روی گندم صورت گرفت، نانوذرات اکسید روی موجب افزایش غلظت روی در گیاه شد (۵۵).

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر غلظت و جذب روی در گندم.

Table 6. Compare the average effect of treatments on concentration and uptake of zinc in wheat.

تیمار Treatment	غلظت روی در ریشه (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Zn Concentration in Root (mg/kg)	غلظت روی در ساقه (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Zn Concentration in Shoot (mg/kg)	غلظت روی در دانه (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Zn Concentration in Grain (mg/kg)	جذب ریشه (میلی‌گرم بر گلدان) Root Uptake (mg/pot)	جذب ساقه (میلی‌گرم بر گلدان) Shoot Uptake (mg/pot)	جذب دانه (میلی‌گرم بر گلدان) Grain Uptake (mg/pot)
Ctrl	15.73^{e}	17.06^{e}	59.43^{d}	0.013^{c}	0.15^{e}	0.53^{e}
$ZnSO_4$	17.8^{d}	20.1^{d}	61.93^{c}	0.017^{bc}	0.19^{d}	0.61^{d}
ZnO NPs_{100}	19.63^{c}	23.33^{c}	63.6^{b}	0.02^{bc}	0.23^{c}	0.67^{c}
ZnO NPs_{200}	21.26^{b}	26.33^{b}	64.63^{b}	0.023^{b}	0.27^{b}	0.77^{b}
ZnO NPs_{300}	25.5^{a}	36.03^{a}	69.70^{a}	0.03^{a}	0.38^{a}	0.85^{a}

حروف مشترک بیانگر عدم معنی‌داری بین تیمارها بر اساس آزمون توکی در سطح ۵٪ می‌باشد.

Same letters mean no statistical difference between treatments at Tukey's test ($P \leq 0.05$).

Ctrl، $ZnSO_4$، ZnO NPs_{100}، ZnO NPs_{200} و ZnO NPs_{300} به‌ترتیب شامل تیمارهای شاهد، کود شیمیایی سولفات روی، نانوذرات اکسید روی به مقدار ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک هستند.

Ctrl, $ZnSO_4$, ZnO NPs_{100}, ZnO NPs_{200}, ZnO NPs_{300} include control, chemical fertilizer of zinc sulfate, ZnO nanoparticles treatments at level of 100, 200 and 300 $mg.kg^{-1}$ of soil, respectively.

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

نانوذرات با وجود حلالیت کم، به واسطه داشتن ویژگی‌های منحصر به فرد خود و توانایی آن‌ها در رهاسازی آرام عناصر، از هدررفت و کاربرد چندباره کودها جلوگیری می‌کند. در مقابل با وجود حلالیت بیش‌تر کود شیمیایی سولفات روی، در خاک‌های آهکی و با پ‌هاش بالا که بیش‌تر خاک‌های ایران را تشکیل می‌دهد، در طی مدت کوتاهی به‌صورت غیرقابل‌جذب در خواهند آمد. بنابراین نیاز به افزودن مجدد این عنصر در خاک به وجود می‌آید که خود باعث انباشتگی مقادیر بالای عنصر به‌صورت غیرقابل‌جذب می‌گردد و سبب آلودگی محیط زیست می‌شود. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که استفاده از نانوذرات، می‌تواند موجب افزایش عملکرد و ویژگی‌های کیفی گیاه گندم شود. با این وجود تجاری‌سازی و عرضه نانوذرات به‌عنوان کود به بازار نیازمند انجام پژوهش‌های گلخانه‌ای و مزرعه‌ای بیش‌تری بوده و مسائل آلودگی محیط زیست و سلامت انسان باید در نظر گرفته شود. بنابراین انجام پژوهش‌های جدید در زمینه اصلاح شیمیایی و پوشش‌دار کردن نانوذرات به‌منظور افزایش حلالیت و کارایی، پیشنهاد می‌گردد.

منابع

1.Aladjadjiyan, A. 2007. The use of physical methods for plant growing stimulation in Bulgaria. J. Central Europ. Agric. 8: 3. 369-380.

2.Alloway, B.J. 2009. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. Environmental Geochemistry and Health. 31: 5. 537-548.

3.Amirjani, M.R., Askary Mehrabadi, M., and Azizmohamadi, F. 2016. Effect of ZnO nanoparticles on vegetative factors, elements content and photosynthetic pigments of wheat (*Triticum aestivum*). Plant Biol. J. 27: 8. 34-48. (In Persian)

4.Avinash, C.P., Sharda, S.S., and Raghavendra, S.Y. 2010. Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of Cicer arietinum. J. Exp. Nanosci. 5: 6. 488-497.

5.Black, C.A., Evans, D.D., White, J.L., Ensminger, L.E., and Clark, F.E. 1965. Methods of soil analysis: Part 2. Agronomy Monogr, ASA, Madison, WI.

6.Borrill, P., Connorton, J.M., Balk, J., Miller, A.J., Sanders, D., and Uauy, C. 2014. Biofortification of wheat grain with iron and zinc: integrating novel genomic resources and knowledge from model crops. Frontiers in plant science. 21: 5. 53.

7.Burman, U., Mahesh, S., and Praveen, K. 2013. Effect of zinc oxide nanoparticles on growth and antioxidant system of chickpea seedlings. Toxicological & Environmental Chemistry. 95: 4. 605-612.

8.Dhoke, S.K., Mahajan, P., Kamble, R., and Khanna, A. 2013. Effect of nanoparticles suspensions on the growth of mung (*Vigna radiata*) seedlings by foliar spray method. Nanotechnology Development. 3: 1. 1-5.

9.Dimkpa, C.O., Calder, A., Britt, D.W., McLean, J.E., and Anderson, A.J. 2011. Responses of a soil bacterium, Pseudomonas chlororaphis O6 to commercial metal oxide nanoparticles compared with responses to metal ions. Environmental Pollution. 159: 7. 1749-1756.

10.Dorostkar, V., Afyuni, M., and Khoshgoftarmanesh, A. 2013. Effects of proceeding crop residues on total and bio-available zinc concentration and phytica concentration in wheat grain. J. Water Soil Sci. (J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour.). 17: 64. 81-93. (In Persian)

11.Du, W., Sun, Y., Ji, R., Zhu, J., Wu, J., and Guo, H. 2011. TiO_2 and ZnO nanoparticles negatively affect wheat growth and soil enzyme activities in agricultural soil. J. Environ. Monitor. 13: 4. 822-828.

www.SID.ir

Archive of SID

12.Gupta, P.K. 2004. Soil, Plant, Water and Fertilizer Analysis. Agrobios (India), 438p.
13.Hsieh, C.H. 2007. Spherical zinc oxide nano particles from zinc acetate in the precipitation method. J. Chine. Chem. Soc. 54: 1. 31-34.
14.Kadkhodaie, A., Kalbasi, M., Solhi, M., Nadian, H., and Gholami, A. 2014. Effect of applying plant residues and zinc sulfate on chemical forms of zinc in rhizosphere and bulk soil and its relationship to wheat grain. J. Appl. Sci. Agric. 9: 3. 942-947.
15.Klute, A. 1986. Methods of soil analysis, Part 1: physical and mineralogical methods. Soil Science Society of America, Madison, WI.
16.Kole, C., Kumar, D.S., and Khodakovskaya, M.V. 2016. Plant Nanotechnology: Principles and Practices. Springer.
17.Kumar, P., and Arora, J.S. 2000. Effect of micronutrients on gladiolus. J. Ornam. Hort. New Ser. 3: 2. 91-93.
18.Lanje, A.S., Sharma, S.J., Ningthoujam, R.S., Ahn, J.S., and Pode, R.B. 2013. Low temperature dielectric studies of zinc oxide (ZnO) nanoparticles prepared by precipitation method. Adv. Powder Technol. 24: 331-335.
19.Lin, D.H., and Xing, B. 2008. Root uptake and Phytotosicity of ZnO nanoparticles. Environmental Science and Technology. 42: 5580-5585.
20.Lin, D.H., and Xing, B.S. 2007. Phytotoxicity of nanoparticles: inhibition of seed germination and root elongation. Environ. Pollut. 150: 243-250.
21.Lindsay, W.L. 1979. Chemical equilibria in soils. John Wiley and Sons Ltd.
22.Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 43: 421-428.
23.López-Moreno, M.L., de la Rosa, G., Hernández-Viezcas, J.Á., Castillo-Michel, H., Botez, C.E., Peralta-Videa, J.R., and Gardea-Torresdey, J.L. 2010. Evidence of the differential biotransformation and genotoxicity of ZnO and CeO_2 nanoparticles on soybean (*Glycine max*) plants. Environmental science and technology. 44: 19. 7315-7320.
24.Ma, X., Geiser-Lee, J., Deng, Y., and Kolmakov, A. 2010. Interactions between engineered nanoparticles (ENPs) and plants: phytotoxicity, uptake and accumulation. Science of the total environment. 408: 16. 3053-3061.
25.Mahajan, P., Dhoke, S.K., and Khanna, A.S. 2011. Effect of nano-ZnO particle suspension on growth of mung (*Vigna radiata*) and gram (*Cicer arietinum*) seedlings using plant agar method. J. Nanotechnol. 1: 1-7.
26.Malakouti, M.J. 2005. Important role of zinc in enhancing crop yield and improving human health. General Meeting of Third world Academey of Science. TWAS 16th. Alexandria, Egypt.
27.Malakouti, M.J., and Homaee, M. 2004. Fertility of arid and semi-arid soils: Problems and solutions. Tarbiat Modares University. 482p. (In Persian)
28.Marschner, H. 2012. Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic press. pp. 214-225.
29.Maurya, R., and Kumar, A. 2014. Effect of micronutrients on growth and corm yield of gladiolus. Plant Arch. 14: 1. 529-533.
30.Mazaherinia, S., Astaraei, A.R., Fotovat, A., and Monshi, A. 2010. Nano iron oxide particles efficiency on Fe, Mn, Zn and Cu concentrations in wheat plant. World Appl. Sci. J. 7: 1. 36-40.
31.Milani, P., Malakouti, M.J., Khademi, Z., Balali, M., and Mashayekhi, M. 1998. A fertilizer recommendation model for the wheat field of Iran. Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran. (In Persian)
32.Moghaddasi, S., Fotovat, A., Khoshgoftarmanesh, A.H., Karimzadeh, F., Khazaei, H.R., and Khorassani, R. 2017. Bioavailability of coated and uncoated ZnO nanoparticles to cucumber in soil with or without organic matter. Ecotoxicology and environmental safety. 144: 543-551.
33.Moghaddasi, S., Khoshgoftarmanesh, A.H., Karimzadeh, F., and Chaney, R.L. 2015. Fate and effect of tire rubber ash nano-particles (RANPs) incucumber. Ecotox Environ. Safe. 115: 137-143.

www.SID.ir

Archive of SID

34. Moghaddasi, S., Khoshgoftarmanesh, A.H., Karimzadeh, F., and Chaney, R.L. 2013. Preparation of nano-particles from waste tire rubber and evaluation of their effectiveness as zinc source for cucumber in nutrient solution culture. Sci. Hortic. 160: 398-403.
35. Monreal, C.M., Derosa, M., Mallubhotla, S.C., Bindeaban, P.S., and Dimkpa, C. 2015. Nanotechnologies for increasing the crop use efficiency of fertilizer-micronutrients. Boil Fertile Soils. 52: 423-437.
36. Mortvedt, J.J. 1985. Plant uptake of heavy metals in zinc fertilizers made from industrial by-products. J. Environ. Qual. 14: 424-427.
37. Mousavi, S.R., Galavi, M., and Rezaei, M. 2013. Zinc (Zn) importance for crop production, A review. Inter. J. Agron. Plant Prod. 4: 1. 64-68.
38. Mukherjee, A., Sun, Y., Morelius, E., Tamez, C., Bandyopadhyay, S., Niu, G., White, J.C., Peralta-Videa, J.R., and Gardea-Torresdey, J.L. 2016. Differential toxicity of bare and hybrid ZnO nanoparticles in green pea (*Pisum sativum* L.): A life cycle study. Front. Plant Sci.
39. Naderi, M., and Abedi, A. 2012. Application of nanotechnology in agriculture and refinement of environmental pollutant. J. Nanotechnol. 11: 1. 18-26.
40. Olsen, S.R., and Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, (methods of soil an2), Pp: 403-430.
41. Pandey, A., Sanjay, S.S., and Yadav, R.S. 2010. Application of ZnO nanoparticlesin influencing the growth rate of Cicer arietinum. J. Experiencement. Nanosci. 5: 6. 488-497.
42. Prasad, T.N.V.K.V., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Raja Reddy, K., Sreeprasad, T.S., and Sajanlal, P.R., and Pradeep, T. 2012. Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of Peanut. J. Plant Nutr. 35: 6. 905-927.
43. Priester, J.H., Ge, Y., Mielke, R.E., Horst, A.M., Moritz, S.C., Espinosa, K., Gelb, J., Walker, S.L., Nisbet, R.M., An, Y.J., Schimel, J.P., Palmer, R.G., Viezcas, J.A.H., Zhao, L., Torresdey, J.L.G., and Holden, P.A. 2012. Soybean susceptibility to manufactured nanomaterials with evidence for food quality and soil fertility interruption. Proceedings of the National Academy of Sciences. 109: 2451-2456.
44. Raliya, R., and Tarafdar, J.C. 2013. ZnO nanoparticle biosynthesis and its effect on phosphorous-mobilizing enzyme secretion and gum contents in cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). Agric Res. 2: 48-57.
45. Razzaq, A., Ammara, R., Jhanzab, H.M., Mahmood, T., Hafeez, A., and Hussain, S. 2015. A novel nanomaterial to enhance growth and yield of wheat. J. Nanosci. Technol. 2: 1. 55-58.
46. Rhoades, J.D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. Methods of Soil Analysis, Pp: 417-435.
47. Roy, R.N., Finck, A., Blair, G.J., and Tandon, H.L.S. 2006. Plant nutrition for food security. A guide for integrated nutrient management. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin. 16: 207-208.
48. Shankramma, K., Yallappa, S., Shivanna, M.B., and Manjanna, J. 2015. Fe_2O_3 magnetic nanoparticles to enhance *S. lycopersicum* (tomato) plant growth and their biomineralization. Applied Nanoscience. 6: 983-990.
49. Suriyaprabha, R., Karunakaran, G., Yuvakkumar, R., Prabu, P., Rajendran, V., and Kannan, N. 2012. Growth and physiological responses of maize (*Zea mays* L.) to porous silica nanoparticles in soil. J. Nanopart. Res. 14: 12. 1-14.
50. Tarafdar, J.C., Raliya, R., Mahawar, H., and Rathore, I. 2014. Development of zinc nanofertilizer to enhance crop production in pearl millet (*Pennisetum americanum*). Agric. Res. 3: 257-262.
51. Torney, F., Trewyn, G.B., Lin, V.S.Y., and Wang, K. 2007. Mesoporous silica nanoparticlesdeliver DNA and chemicals into plants. Nanotechnol. 2: 295-300.
52. Venkatachalam, P., Priyanka, N., Manikandan, K., Ganeshbabu, I., Indiraarulselvi, P., Geetha, N., and Sahi, S.V. 2017. Enhanced plant growth promoting role of phycomolecules coated zinc oxide nanoparticles with P supplementation in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Plant Physiology and Biochemistry. 110: 118-127.

www.SID.ir

Archive of SID

53. Walker, L. 2005. Nanotechnology for agriculture, food and the environment Presentation at Nanotechnology Biology Interface: Exploring models for oversight, University of Minnesota, USA.
54. Wang, Y.X.A., and Oyaizu, H. 2009. Evaluation of the phytoremediation potential of four plant species for dibenzofu-ran-contaminated soil. J. Hazard. Mater. 168: 760-764.
55. Watson, J.L., Fang, T., Dimkpa, C.O., Britt, D.W., McLean, J.E., Jacobson, A., and Anderson, A.J. 2015. The phytotoxicity of ZnO nanoparticles on wheat varies with soil properties. Biometals. 28: 1. 101-112.
56. Zhang, L., Su, M., Liu, C., Chen, L., Huang, H., Wu, X., Liu, X., Yang, F., Gao, F., and Hong, F. 2007. Antioxidant stress is promoted by nano-anatase in spinach chloroplasts Under UV-B radiation. Biol. Trace Elem. Res. 121: 1. 69-79.

www.SID.ir

Archive of SID

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 8(1), 2018
http://ejsms.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejsms.2017.12547.1709

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

The effectiveness of synthesized ZnO nanoparticles on Zn uptake and some growth indices of wheat

A. Abdollahi[1], *M. Norouzi Masir[2], M. Taghavi Zahedkolaei[3] and A.A. Moezzi[4]

[1]M.Sc. Student, Dept. of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran,
[2]Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran,
[3]Assistant Prof., Dept. of Chemistry, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran,
[4]Associate Prof., Dept. of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

Received: 12/15/2017; Accepted: 02/17/2018

Abstract

Background and Objectives: Micronutrient deficiency like Zinc is one of the common problems in worldwide soils especially calcareous soils. Therefore, application of new methods including Zinc Oxide Nanoparticles is increasing to improve nutritional status of this element in crops. Many studies showed that ZnO Nanoparticles application lead to increase of plant yield. Thus, present study was conducted to investigate ZnO Nanoparticles effects on yield, concentration and uptake of Zn in root, shoot and grain of wheat under greenhouse cultivation in a calcareous soil.

Materials and Methods: This study was conducted in greenhouse condition as a completely randomized design with three replications. Treatment consisted of three levels of Zinc Nanoparticles (100, 200 and 300 $mg.kg^{-1}$), $ZnSO_4$ (40 $kg.ha^{-1}$) and Control. During the experiment, some parameters such as plant height and chlorophyll index were measured. At the end of cultivation period, dry weight and Zn concentration of root, shoot and grain was determined using Atomic Absorption Spectroscopy. Moreover, pH and soil available zinc was measured using pH meter and DTPA.

Results: The amount of soil available Zinc in all levels of ZnO Nanoparticles was significantly ($P<0.01$) increased compared to control. The maximum amount of soil available Zn was observed in level of 300 $mg.kg^{-1}$ ZnO Nanoparticles with 52.73% increment compared to control. The sequence of shoot and root yield, concentration and uptake of Zn in treatments was as follow: $ZnSO_4$ < ZnO NPs_{100} < ZnO NPs_{200} < ZnO NPs_{300}. The maximum yield of root, shoot and grain was obtained in level of 300 $mg.kg^{-1}$ of ZnO Nanoparticles with 43.02, 24.91 and 37.08% increment compared to control, respectively. The maximum concentration of Zn was observed in root and shoot in level of 300 $mg.kg^{-1}$ of ZnO Nanoparticles with 62.11 and 111.19% increment compared to control, respectively., maximum concentration and uptake of Zn of grain was observed in level of 300 $mg.kg^{-1}$ of ZnO Nanoparticles.

Conclusions: The results showed that application of ZnO Nanoparticles increased yield, concentration and uptake of Zn in root and shoot of Wheat. Therefore, application of nanoparticles can be considered as one of the new methods for improving yield and quality of crops and reducing the use of chemical fertilizers.

Keywords: Chemical Fertilizer, Zn Uptake, Wheat, ZnO Nanoparticles

* Corresponding Author; Email: m.norouzi@scu.ac.ir

www.SID.ir

www.SID.ir