Archive of SID

تأثیر نانو ذرات اکسید روی و سولفات روی بر گونه‌های شیمیایی روی در فاز محلول خاک و همبستگی آن با غلظت و جذب روی در گندم

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

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۸)

چکیده

استفاده از نانو ذرات متفاوت در صنایع مختلف از جمله کشاورزی در حال افزایش است. از این رو ارزیابی ارتباط بین نانو ذرات فلزی و گونه‌های شیمیایی غالب عناصر فلزی در خاک نیازمند تحقیقات گسترده‌ای است. به این منظور پژوهشی جهت بررسی تأثیر نانو ذرات اکسید روی و کود شیمیایی سولفات روی بر گونه‌بندی روی (Zn) در فاز محلول خاک و همبستگی آن با غلظت و جذب روی در گیاه گندم، انجام گرفت. این پژوهش در شرایط گلخانه‌ای و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل نانو ذرات اکسید روی (ZnO NPs) به مقدار ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، کود شیمیایی سولفات روی (ZnSO4) به مقدار ۴۰ کیلوگرم در هکتار و تیمار شاهد بودند. در انتهای دوره کشت برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک، غلظت و جذب روی در گیاه اندازه‌گیری شد. به منظور پیش‌بینی گونه‌های شیمیایی غالب روی در فاز محلول خاک، بعد از استخراج عناصر محلول خاک، از برنامه گونه‌بندی ژئوشیمیایی visual MINTEQ استفاده شد. نتایج نشان داد که pH محلول خاک، روی قابل دسترس خاک و کربن آلی محلول خاک تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار گرفتند. نانو ذرات اکسید روی به طور معنی‌داری pH خاک را کاهش دادند. همچنین، این نانو ذرات موجب افزایش کربن آلی محلول و روی قابل دسترس خاک شدند. بیشترین مقدار گونه آزاد روی (Zn^{2+}) در تیمار نانو ذرات اکسید روی به مقدار ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بدست آمد. نانو ذرات اکسید روی و کود شیمیایی سولفات روی، غلظت گونه روی پیوند یافته با ماده آلی محلول (Zn-DM) را به‌طور معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند. همچنین نتایج نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین گونه‌های Zn^{2+} و Zn-DOM با غلظت و جذب روی در بخش‌های مختلف گندم وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: نانوذرات، کود شیمیایی، گونه‌بندی، گندم

عبدالهی ع.، نوروزی مصیر م.، تقوی م.، عبدالامیر معزی ع. ۱۳۹۸. تأثیر نانو ذرات اکسید روی و سولفات روی بر گونه‌های شیمیایی روی در فاز محلول خاک و همبستگی آن با غلظت و جذب روی در گندم. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۷، شماره ۴.صفحه :۳۵-۴۶.

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲-استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز (مکاتبه کننده)
۳-استادیار گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز
۴-دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
* پست الکترونیک: m.norouzi@scu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

سو تغذیه ناشی از عناصر کم مصرف در کشورهای در حال توسعه به یک نگرانی تبدیل شده است. این موضوع مسائلی از جمله مشکلات سلامتی و اجتماعی مانند عقب ماندگی ذهنی، اختلالات سیستم ایمنی بدن و سلامت عمومی را به دنبال دارد. از این رو در سال‌های اخیر، کمبود عناصر غذایی کم مصرف نظیر روی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. کمبود روی (Zn) جدی‌ترین کمبود عناصر غذایی کم مصرف به شمار می‌رود که با کاهش ویتامین آ (A) همراه است. کمبود این عنصر در بین کودکان بسیار زیاد بوده و یکی از عوامل عمده مرگ و میر آنها در نظر گرفته می‌شود (Graham, 2008; Das & Green, 2016). در کشورهایی که کمبود روی به عنوان یک مشکل مهم در زمینه سلامت مطرح است، غذاهای مبتنی بر غلات منبع اصلی و غالب کالری روزانه و مصرف پروتئین به حساب می‌آیند. از آنجایی که غلظت روی در غلات ذاتاً پایین است، رشد آنها در خاک‌هایی که میزان روی کمی دارند موجب کاهش بیشتر روی در دانه می‌شود. بروز کمبود روی در انسان‌های ساکن این مناطق از جمله کشورهای جنوب شرقی آسیا امری طبیعی است. این مسئله بیانگر نیاز فوری به افزایش غلظت روی در غلات می‌باشد (Das & Green, 2016). کمبود روی در مناطق زیر کشت گندم در سطح جهان، به ویژه در خاک‌های آهکی ایران رایج است. بیش از ۸۰ درصد خاک‌های قابل کشت در ایران کمتر از ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم (۰/۷ تا ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) روی قابل عصاره‌گیری با دی‌تی‌پی‌ای دارند (Saffari *et al.*, 2009). همچنین گندم نان به‌عنوان منبع غذایی اصلی حدود ۴۰ درصد از جمعیت جهان می‌باشد که حدود ۲۰ درصد کالری و ۶۰ تا ۶۵ درصد از پروتئین غذایی جهان را تأمین می‌کند (Karov *et al.*, 2008). روی به‌عنوان یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاه معرفی می‌شود که نقش‌های متابولیکی زیادی در گیاه ایفا می‌کند، که از مهم‌ترین آنها می‌توان به نقش این عنصر در ساختمان بسیاری از آنزیم‌ها مانند هیدروژنازها، پروتئینازها، پپتیدازها و فسفوهیدرولازها اشاره کرد، از این رو کمبود آن در گیاه کاهش عملکرد و کیفیت را به‌دنبال دارد (Marschner, 2012). pH بالا، وجود کربنات کلسیم زیاد، اکسیدهای آهن، تثبیت روی بر سطوح ذرات رس و اکسیدهای آهن، بافت سنگین خاک به همراه مقدار کم مواد آلی و رطوبت خاک از جمله عوامل کاهش قابلیت استفاده روی برای گیاهان محسوب می‌شود (Alloway, 2009). استفاده از کودهای شیمیایی رایج نظیر سولفات روی علاوه بر اینکه درصد بازیابی پایینی در خاک‌های آهکی دارند به صورت غیر قابل جذب در خواهند آمد، و به دلیل داشتن ناخالصی کادمیم، با گذشت زمان موجب انباشت این عنصر سنگین در خاک‌ها می‌شوند (Maftoun & Karimian, 1989 ;Afyuni *et al.*., 2007). بنابراین نیاز به استفاده مجدد از این کودها احساس می‌شود که خود موجب تشدید آلودگی‌های زیست محیطی خواهد شد. پیشرفت در فناوری کشاورزی، پایه و اساس کشاورزی نوین بوده و موجب بهبود آن می‌شود. در میان فناوری‌های رایج، فناوری نانو می‌تواند نقش مهمی در ارتقاء کشاورزی پایدار داشته باشد (Shalaby *et al.*, 2016). این فناوری، نانو ذراتی را به کار می‌گیرد که دارای ابعاد یک تا ۱۰۰ نانومتر است (Lövestam *et al.*., 2010). نانو ذرات به دلیل داشتن ویژگی‌هایی مانند سرعت حلالیت زیاد، قدرت اثرگذاری بالا و کاهش آلودگی، منجر به کاهش دفعات استفاده از آنها می‌شود (Green & Beestman, 2007). اگرچه، با وجود اینکه هر فناوری جدیدی به واسطه داشتن خطرات غیر منتظره خود ممکن است مضراتی داشته باشد اما فناوری نانو پتانسیل زیادی در ارائه راه‌حل‌های فنی برای رفع چالش‌های ایجاد شده در بخش کشاورزی دارد (Shankramma *et al.*, 2016)؛ به گونه‌ای که می‌توان گفت که گسترش و پیشرفت مواد نانو، راه‌حلی قابل توجه برای رفع مشکلات کشاورزی است (Baruah & Dutta, 2009). در سال‌های اخیر مطالعاتی در زمینه استفاده از نانو ذرات فلزی بر قابلیت جذب عناصر توسط گیاهان انجام شده است (Peralta-Videa *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2015). پرالتاویدا و همکاران (Peralta-Videa *et al.*, 2014) بیان کردند که اگرچه نانو ذرات از عوامل اصلی و تعیین کننده رشد نیستند اما به‌واسطه داشتن ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ویژه، قادر به تغییر قابلیت دسترسی عناصر غذایی برای گیاه هستند. همچنین ترشحات ریشه‌ای تراوش شده در پاسخ به جذب نانو ذرات فلزی توسط گیاه از دیگر فرآیندهای

www.SID.ir

Archive of SID

احتمالی در تغییر قابلیت دسترسی غذایی در خاک می‌باشد (Kurepa *et al.*, 2010; Peralta-Videa *et al.*, 2014). جذب فلزات از خاک توسط گیاه به گونه کل و محلول فلز و همچنین توانایی بخش جامد خاک برای آزادسازی فلزات به درون محلول خاک بستگی دارد (Backes *et al.*, 1995). قابلیت دسترسی فلز برای گیاه به‌طور قابل توجهی توسط ویژگی‌های خاک به ویژه پراکندگی عنصر فلزی در میان گونه‌های مختلف آن تحت تأثیر قرار می‌گیرد. همه شکل‌های روی موجود در خاک از قابلیت دسترسی و پویایی مشابهی برخوردار نیستند. بنابراین، تعیین گونه‌های شیمیایی روی در خاک به منظور تخمین گونه‌هایی از روی که برای گیاه قابل دسترس‌تر می‌باشند، حائز اهمیت است. از این رو بایستی به‌منظور درک بهتر چگونگی اثرگذاری نانو ذرات فلزی بر قابلیت دسترسی روی در خاک و افزایش جذب آن به‌وسیله گندم، توزیع گونه‌های شیمیایی روی در خاک مورد بررسی قرار گیرد. با وجود تحقیقات فراوان صورت گرفته پیرامون شکل‌های شیمیایی مختلف روی در خاک، تاکنون مطالعه‌ای در زمینه تأثیر نانو ذرات بر توزیع گونه‌بندی روی در فاز محلول خاک انجام نشده است. بنابراین این مطالعه با هدف بررسی تغییر شکل-های شیمیایی روی در فاز محلول خاک و ارتباط آنها با غلظت و جذب روی در گندم تحت تأثیر نانو ذرات اکسید روی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در قالب طرح کامل تصادفی و در سه تکرار در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز صورت گرفت. در این آزمایش تأثیر نانو ذرات اکسید روی به صورت جامد و ترکیب شده با خاک بر روی گندم (*Triticum aestivum L.*) رقم چمران مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای آزمایش شامل نانو ذرات اکسید روی (ZnO NPs) به مقدار ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، کود شیمیایی سولفات روی ($ZnSO_4$) به مقدار ۴۰ کیلوگرم در هکتار و تیمار شاهد بود. مقدار کود شیمیایی سولفات روی نیز بر اساس مقدار رایج مصرفی در اراضی کشاورزی می‌باشد.

سنتز نانو ذرات اکسید روی توسط روش هم رسوبی

سنتز نانو ذرات به روش هم‌رسوبی (Co-precipitation) انجام شد (Hsieh, 2007). یک میلی مول از استات روی ۲ آبه[1] در ۱۰۰ میلی لیتر آب عاری از یون (دیونیزه) حل و با استفاده از کاغذ صافی، محلول فیلتر شد تا ناخالصی های موجود در آن حذف شد. ۳ میلی مول تری اتیل آمین[2] و ۲ میلی مول ۱-آمینو پروپیل[3] به یک بالن ته گرد حاوی ۵۰۰ میلی لیتر 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 صورت قطره قطره به محلول اتانول مطلق تحت چرخش ثابت اضافه شد. بالن حاوی محلول به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد حرارت داده شد و به منظور حفظ غلظت محلول اولیه، روی بالن ته گرد 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 آب گریز پلی تترا 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 پراکنده شد و در یک آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد.

نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری مزرعه عملیاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز به صورت مرکب انتخاب و جهت اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شدند. برخی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک مورد مطالعه شامل بافت خاک به روش هیدرومتری (Rhoades, 1996)، هدایت الکتریکی و pH خاک در عصاره ۱:۱ خاک به آب، مواد آلی به روش اکسیداسیون تر (Black *et al.*, 1965)، آهک به روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک و تیتراسیون برگشتی با هیدروکسید سدیم، پتاسیم قابل دسترس با استفاده از استات آمونیوم و نیتروژن به روش کجلدال (Gupta, 2004)، فسفر قابل دسترس به روش اولسن (Olsen, 1982) تعیین شدند. برای اندازه‌گیری روی قابل دسترس خاک از عصاره‌گیر DTPA استفاده شد و

1. $Zn(CH_3COOH)_2$
2. $C_6H_{15}N$
3. C_6H_9N

www.SID.ir

Archive of SID

غلظت روی در عصاره به وسیله دستگاه جذب اتمی (مدل پرکین المر آ-آنالیست ۲۰۰) قرائت شد (Lindsay & Norvell, 1978). برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. مدیریت کودی بر اساس آزمون خاک و توصیه کودی موسسه تحقیقات خاک و آب انجام شد (Malakouti & Gheibi, 2000). بذر گندم پس از ضد عفونی کردن با هیپوکلریت سدیم یک درصد و چندبار شست و شو با آب مقطر کشت شد (Wang & Oyaizu, 2009). رطوبت خاک گلدان‌ها طی دوره آزمایش از طریق وزنی تقریباً در حد ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) نگه داشته شد. پس از برداشت محصول، pH و روی قابل دسترس خاک به ترتیب با استفاده از pH متر و عصاره‌گیر DTPA اندازه‌گیری شد. 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 (Campbell & Plank, 1998). میزان جذب روی نیز از حاصل‌ضرب وزن خشک (عملکرد) در غلظت روی بدست آمد.

تعیین کربن آلی محلول خاک (Dissolved Organic Carbon)

کربن آلی محلول خاک در سوسپانسیون ۱ به ۴ خاک و آب مقطر اندازه‌گیری شد؛ به این ترتیب که ۲۰ میلی لیتر آب مقطر به ۵ گرم خاک اضافه شد و به مدت ۱۶ ساعت در دمای اتاق تکان داده شد. سپس عصاره‌ها با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شده و کربن آلی محلول عصاره‌ها با استفاده از دستگاه کربن آنالایزر اندازه‌گیری شد (Jones, 1998).

استخراج عناصر محلول خاک و تعیین گونه‌های روی در محلول خاک

مقدار ۶۰۰ گرم از هر نمونه خاک پس از کشت با آب مقطر به حالت اشباع در آمد و با استفاده از پمپ خلأ و قیف بوخنر عصاره گیری شد. عصاره‌ها از کاغذ صافی عبور و به مدت ۸ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس مقادیر pH، هدایت الکتریکی و کربن آلی محلول در عصاره اشباع خاک اندازه‌گیری شد. کلسیم و منیزیم با استفاده از تیتراسیون با EDTA ۰/۰۱ مولار، سدیم و پتاسیم محلول با استفاده از دستگاه شعله‌سنج کلر با استفاده از تیتراسیون با نیترات نقره ۰/۰۱ نرمال، سولفات به روش کدورت سنجی و به وسیله دستگاه طیف‌سنج، بی‌کربنات به روش خنثی‌سازی ۰/۰۱ نرمال و روی محلول با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از نرم افزار Visual MINTEQ گونه‌های روی در محلول خاک پیش‌بینی شد (Parker *et al.*, 1995). ورودی این مدل شامل pH، غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در محلول خاک و مقدار کربن آلی محلول خاک می‌باشد. خروجی این مدل نیز شامل برآورد تمام گونه‌های آزاد و کمپلکس بافته معدنی و آلی است.تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از این پژوهش با استفاده از نرم افزار رایانه‌ای SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون Tukey در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. رسم نمودارها نیز با استفاده از نرم افزار Excel صورت گرفت.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 1. Some chemical and physical properties of studied soil

Parameter	Unit	Value
EC	dS m^{-1}	3.5
pH		7.8
Available phosphorus	mg kg^{-1}	7.1
Exchangeable Potassium		290
Available zinc		0.55
Total Zinc		32
Organic matter	%	0.71
Nitrogen		0.07
$CaCO_3$		38
Clay		35
Sand		28
Silt		37
Soil Texture		Clay Loamy

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج و بحث

pH خاک

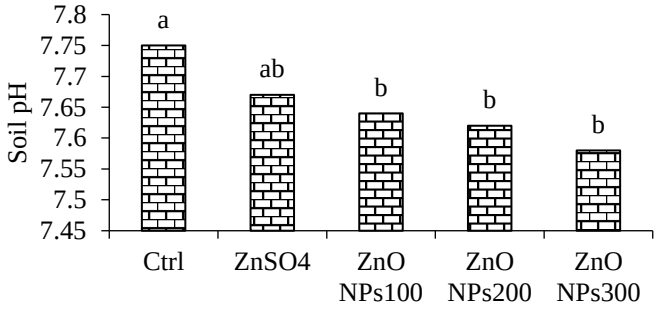
نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر نانو ذرات اکسید روی و کود شیمیایی بر pH خاک در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نانو ذرات اکسید روی، pH خاک را در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش دادند (شکل ۱). تیمار نانو ذرات اکسید روی به مقدار ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بیشترین تأثیر را بر کاهش pH خاک داشت (شکل ۱).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر pH، کربن آلی محلول و روی قابل دسترس خاک

Table 2. Variance analysis of the effect of treatments on pH, DOC and soil available zinc

Sources of variation	Degree of freedoms	Mean squares		
		Soil pH	DOC	Soil available zinc
Treatment	4	0.01**	201.58**	0.04**
Error	10	0.0001	0.19	0.0001
C.V	-	0.13	2.04	1.42

** is significant at 1% probability level ** معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد



شکل ۱- مقایسه میانگین تأثیر تیمارها بر pH خاک

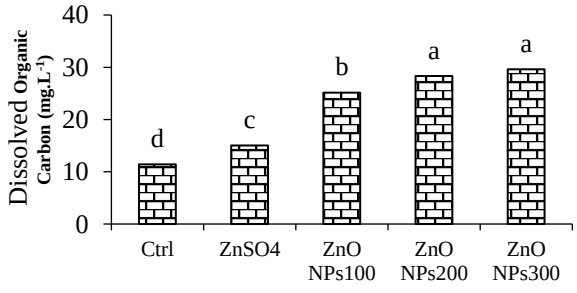
Figure 1. Mean comparisons of the effect of treatments on soil pH

حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت آماری بین تیمارها براساس آزمون توکی در سطح ۵ درصد می‌باشند.

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

کربن آلی محلول خاک (DOC)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر نانو ذرات اکسید روی و کود شیمیایی بر کربن آلی محلول خاک در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). تمامی تیمارها سبب افزایش مقدار کربن آلی محلول (۳۱/۶٪ تا بیش از ۱/۵ برابر) در مقایسه با تیمار شاهد شدند (شکل ۲). تیمارهای نانو ذرات اکسید روی به مقدار ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و کود شیمیایی سولفات روی به‌ترتیب بیشترین و کمترین تاثیر را بر غلظت کربن آلی محلول داشتند (شکل ۲).



شکل ۲- مقایسه میانگین تأثیر تیمارها بر کربن آلی خاک

Figure 2. Mean comparisons of the effect of treatments on DOC

حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت آماری بین تیمارها براساس آزمون توکی در سطح ۵٪ می‌باشند.

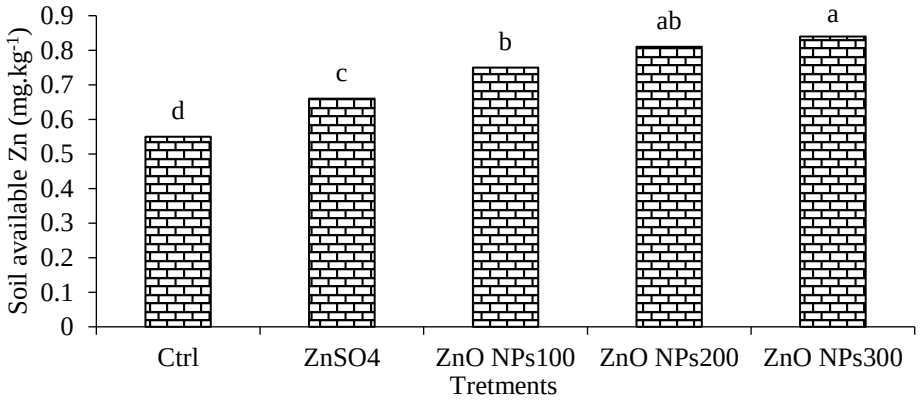
Same letters mean no statistical difference between treatments at Tukey's test ($p \leq 0.05$).

www.SID.ir

Archive of SID

روی قابل دسترس خاک

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر نانو ذرات اکسید روی و کود شیمیایی بر روی قابل دسترس خاک در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). تمامی تیمارها سبب افزایش مقدار روی قابل دسترس خاک (۲۰ تا ۵۲/۷٪) در مقایسه با تیمار شاهد شدند (شکل ۳). نانو ذرات اکسید روی به مقدار ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و کود شیمیایی سولفات روی به‌ترتیب بیشترین و کمترین تاثیر را بر غلظت روی قابل دسترس خاک داشتند (شکل ۳).



شکل ۳- مقایسه میانگین تأثیر تیمارها بر روی قابل دسترس خاک

Figure 3. Mean comparisons of the effect of treatments on Soil available zinc

حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت آماری بین تیمارها براساس آزمون توکی در سطح ۵٪ می‌باشند.

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

انحلال نانو ذرات اکسید روی می‌تواند باعث کاهش pH خاک شود، به این صورت که این نانو ذرات به سرعت با خاک وارد واکنش شده و در نتیجه با ایجاد شرایط اسیدی، pH خاک را کاهش می‌دهند. درواقع نانو ذرات اکسید روی به دلیل داشتن گروه‌های عاملی هیدروکسیل و آزادسازی هیدروژن آنها در محیط خاک می‌توانند pH خاک را کاهش دهند. از سوی دیگر جذب و تجمع نانو ذرات اکسید روی بر ریشه گیاهان، موجب تحریک ریشه‌های گندم و افزایش ترشحات ریشه‌ای از جمله اسیدهای آلی در ناحیه ریزوسفر شده و به اسیدی شدن این محیط کمک می‌کند (Kurepa *et al.*, 2010; Peralta-Videa *et al.*, 2014). علاوه بر ترشحات ریشه‌ای که بر pH خاک تأثیرگذار است، تعادل بارهای الکتریکی نیز در ساختار گیاه حفظ می‌شود. ریشه‌ها، عناصر موردنیاز خود را به صورت کاتیون و آنیون از محلول خاک جذب می‌کنند و برای حفظ تعادل الکتروشیمیاییِ درون سلول‌های خود، به ازای جذب کاتیون و آنیون به‌ترتیب از خود یون H^+ و OH^- آزاد می‌کنند. بنابراین با افزایش جذب کاتیون توسط گیاه، ریزوسفر اسیدی می‌شود (Séguin *et al.*, 2004). به نظر می‌رسد که با توجه به عامل محدود کننده روی قابل جذب در این مطالعه، گندم کشت شده در خاک تیمار شده با نانو ذرات و کود شیمیایی به ازای جذب عنصر روی کاتیون H^+ به محیط خاک آزاد کرده و سبب کاهش pH خاک می‌شود (شکل ۱). با توجه به تحریک ریشه توسط فلزات سنگین و افزایش ترشحات ریشه‌ای و تولید مواد آلی ریز مولکولی (مانند فنول، آلدئید، آمینواسید و اسیدهای آلی) و پکتین مولکولی بزرگ (مانند پلی‌ساکارید و اسیدهای چرب) (Bais *et al.*, 2006) میزان کربن آلی خاک افزایش یافت. خاک مورد آزمایش بر اساس حد بحرانی کمبود روی در خاک (۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) (Mortvedt, 1985)، دچار کمبود شدید روی قابل عصاره‌گیری با DTPA (روی قابل دسترس) بود (جدول ۱). با انحلال نانو ذرات اکسید روی، عنصر روی موجود در نانو ذرات آزاد شده و با قرار گرفتن بر مکان‌های تبادلی ذرات خاک موجب افزایش روی قابل دسترس خاک می‌شود. از طرفی با کاهش هر واحد pH میزان حلالیت روی خاک ۱۰۰ برابر افزایش می‌یابد (Lindsay, 1979) و منجر به افزایش مقدار روی قابل دسترس خاک می‌شود. علاوه بر pH خاک، برهمکنش‌های بین خاک و ریشه نیز اثرات معنی‌داری بر قابلیت دسترسی روی در منطقه ریزوسفر دارد (Rengel, 2015)، به گونه‌ای که به علت ترشحات ریشه‌ای فراوان و فعالیت‌های میکروبی بیشتر، قابلیت دسترسی روی در

www.SID.ir

Archive of SID

ریزوسفر اغلب بالاتر از توده خاک است (Dotaniya & Meena, 2015). از این رو با تغییر pH و کربن آلی محلول در منطقه ریزوسفر گیاه، فراهمی زیستی عناصر در خاک تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Bais *et al.*, 2006; Li *et al.*, 2008). در واقع ترشحات ریشه‌ای به‌واسطه کلات کردن و اکسیداسون و احیاء می‌توانند حلالیت، جذب، واجذب، جزءبندی و انتقال فلزات سنگین در خاک را تغییر دهند (Kuang *et al.*, 2003).

تأثیر نانو ذرات اکسید روی و کود شیمیایی سولفات روی بر غلظت گونه‌های شیمیایی غالب روی در فاز محلول خاک با استفاده از مدل ژئوشیمیایی Visual MINTEQ

در این مطالعه تأثیر تیمارها بر غلظت گونه‌های غالب روی در خاک (Zn^{2+}، ZnSO4 و Zn-DOM) مورد بررسی قرار گرفت. این سه گونه بیش از ۶۲ درصد کل روی محلول را تشکیل دادند و غلظت سایر گونه‌ها ناچیز بود.

گونه Zn^{2+}

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تیمارها بر غلظت گونه Zn^{2+} در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نانو ذرات اکسید روی و کود شیمیایی سولفات روی، غلظت گونه Zn^{2+} را به‌طور معنی‌داری (۵۴/۳ تا ۹۸/۶٪) در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند (جدول ۴).

گونه $ZnSO_4$

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تیمارها بر غلظت گونه $ZnSO_4$ در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نانو ذرات اکسید روی و کود شیمیایی سولفات روی، غلظت گونه $ZnSO_4$ را به‌طور معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند (جدول ۴).

گونه Zn-DOM

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارها تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر غلظت گونه Zn-DOM داشتند (جدول ۳). نانو ذرات اکسید روی و کود شیمیایی سولفات روی، غلظت گونه Zn-DOM را به‌طور معنی‌داری (۹۴/۳٪ تا بیش از ۴ برابر) در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند (جدول ۴). براساس نتایج این مطالعه، نانو ذرات اکسید روی باعث افزایش غلظت تمامی گونه‌های روی در محلول خاک گردیده است اما مقدار این تغییرات بسته به مقدار نانو ذرات اکسید روی متفاوت بود. غلظت گونه‌های روی در محلول خاک در تیمارهای نانو ذرات اکسید روی و کود شیمیایی نیز بیشتر از شاهد بود (جدول ۴). سایر محققان نیز گزارش نمودند که روی عمدتاً به شکل گونه آزاد در محلول خاک وجود دارد (Holm *et al.*, 1995; Khoshgoftarmanesh *et al.*, 2006).

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر غلظت گونه‌های شیمیایی غالب روی در فاز محلول خاک

Table 3. Variance analysis of the effect of treatments on Concentration of zinc dominant chemical species in soil solution

Sources of variation	Degree of freedoms	Mean squares		
		Zn^{2+}	$ZnSO_4$	Zn-DOM
Treatment	4	6.7×10^{-15}**	5.6×10^{-16}**	2×10^{-16}**
Error	10	1.2×10^{-16}	8.7×10^{-16}	8.5×10^{-19}
C.V	-	5.53	5.85	5.86

** is significant at 1% probability level

** معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیر تیمارها بر غلظت گونه‌های شیمیایی غالب روی در فاز محلول خاک

Table 4. Mean comparisons of the effect of treatments on Concentration of zinc dominant chemical species in soil solution

Treatment	Zn^{2+}	$ZnSO_4$	Zn-DOM
Ctrl	1.2×10^{-7d}	2.9×10^{-8d}	4.9×10^{-9e}
$ZnSO_4$	1.8×10^{-7c}	4.6×10^{-8c}	9.5×10^{-9d}
ZnO NPs_{100}	2×10^{-7bc}	5.2×10^{-8bc}	1.7×10^{-8c}
ZnO NPs_{200}	2.3×10^{-7ab}	5.9×10^{-8ab}	2.1×10^{-8b}
ZnO NPs_{300}	2.4×10^{-7a}	6.5×10^{-8a}	2.4×10^{-8a}

حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت آماری بین تیمارها براساس 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

در مطالعه حاضر، مقدار pH خاک در تیمارهای نانو ذرات اکسید روی و کود شیمیایی در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت (شکل ۱). تائو و همکاران (Tao *et al.*, 2003) نیز دریافتند که گیاهان با ترشح اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم باعث کاهش pH شده و در نتیجه بر گونه‌بندی و قابلیت دسترسی فلزات تأثیر می‌گذارند. همچنین با کاهش pH، بارهای منفی وابسته به pH سطوح اکسیدها و مواد آلی کاهش یافته و فلزات به داخل محلول خاک آزاد می‌شوند (Alloway, 1995). بنابراین، به نظر می‌رسد به دنبال کاهش pH خاک (شکل ۱) و افزایش آزادسازی روی از فاز جامد خاک سبب افزایش درصد گونه روی آزاد و Zn-DOM در محلول خاک شده است. با توجه به افزایش گونه روی کمپلکس شده با ترکیبات آلی، به نظر می‌رسد که علاوه بر pH، ترشحات ریشه‌ای گندم (از طریق افزایش ذخیره کربن آلی خاک) سبب شده تا فلز روی با ترکیبات آلی موجود در خاک کمپلکس تشکیل دهد. در واقع با اعمال تیمارهای نانو ذرات اکسید روی و کود شیمیایی، به دنبال تحریک ریشه و تولید ترشحات ریشه‌ای، کربن آلی محلول خاک افزایش یافته و این ترکیبات با تشکیل کمپلکس با روی، موجب افزایش این گونه شدند. چنانچه غلظت کربن آلی محلول خاک نیز در تیمارهای نانو ذرات اکسید روی و کود شیمیایی به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود (شکل ۲). از سوی دیگر روند تغییرات کربن آلی محلول خاک تقریباً شبیه روند تغییرات گونه روی کمپلکس شده با ترکیبات آلی در محلول خاک بود. هارتر و نادو (Harter & Naidu, 1995) عنوان نمودند که pH محلول خاک و غلظت کربن آلی محلول خاک، دو فاکتور مهمی هستند که گونه‌بندی فلزات در محلول خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند. نانو ذرات اکسید روی و کود شیمیایی اثر متفاوتی بر درصد گونه Zn-DOM در خاک داشت. وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 2002) گزارش نمودند که کربن آلی محلول در افزایش حلالیت فلزات در محلول به واسطه تشکیل کمپلکس‌های فلز- کربن آلی نقش دارد. بیشترین مقدار کربن آلی محلول خاک در نانو ذرات اکسید روی به مقدار ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بدست آمد (شکل ۲) که این موضوع سبب افزایش احتمال تشکیل کمپلکس روی-کربن آلی می‌شود. در همین زمینه هینسینگر (Hinsinger, 2001) دریافت که تشکیل کمپلکس‌های فلزات با فیتوسیدروفور و اسیدهای آلی ترشح شده از ریشه گیاهان بر گونه‌بندی عناصر در محلول خاک اثر دارد. از این رو تاثیر مقدار نانو ذرات اکسید روی و کود شیمیایی بر توزیع و غلظت روی در محلول خاک که در نهایت تعیین کننده قابلیت دسترسی آن در خاک نیز است، متفاوت بود.

همبستگی بین گونه‌های شیمیایی روی در بخش محلول خاک با روی قابل دسترس خاک، غلظت و جذب روی توسط گندم تحت تأثیر نانو ذرات اکسید روی و کود شیمیایی سولفات روی

نتایج همبستگی بین گونه‌های شیمیایی غالب روی در فاز محلول خاک با روی قابل دسترس، غلظت و جذب آن در بخش‌های مختلف گندم در جدول ۵ نشان داده شده است. غلظت روی قابل دسترس خاک در تیمارهای نانو ذرات اکسید روی و کود شیمیایی سولفات روی همبستگی مثبت و معنی‌داری با غلظت گونه‌های غالب روی در محلول خاک داشت. غلظت و جذب روی در گندم همبستگی مثبت و معنی‌داری با غلظت گونه‌های روی آزاد و کمپلکس شده با ترکیبات آلی داشت، در حالی که بین غلظت و جذب روی در گندم و غلظت گونه سولفات روی همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد. به‌طور کلی در این مطالعه با توجه به ضرایب همبستگی نسبتاً بالا، مثبت و معنی‌دار بین جذب روی توسط گندم با گونه‌های روی آزاد و کمپلکس شده با ترکیبات آلی در محلول خاک، می‌توان این گونه‌ها را به عنوان گونه‌های قابل دسترس روی در محلول خاک در نظر گرفت. از این رو، جذب فلزات سنگین به وسیله گیاه نه تنها به مقدار کل غلظت فلزات در خاک، بلکه به گونه‌های حاضر در محلول خاک نیز بستگی دارد، زیرا گونه‌های مختلف نظیر فلزات هیدراته آزاد و کمپلکس‌های لیگاند- فلز می‌توانند به مقادیر متفاوت به وسیله گیاه جذب شوند. هامون و همکاران نیز (Hamon *et al.*, 1995) عنوان نمودند که گیاهان غالباً یون آزاد روی را از محلول خاک جذب می‌کنند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین غلظت گونه‌های غالب روی در فاز محلول خاک با روی قابل دسترس خاک، غلظت و جذب روی در گندم

Table 5. Correlation factors between concentration of zinc dominant chemical species in soil solution phase with soil available zinc, concentration and uptake of zinc in wheat

	Soil Available Zinc	Zn Concentration in Root	Zn Concentration in Shoot	Zn Concentration in grain	Zn Uptake in Root	Zn Uptake in Shoot	Zn Uptake in grain
Zn^{2+}	0.95^{**}	0.87^{**}	0.82^{**}	0.85^{**}	0.82^{**}	0.77^{**}	0.79^{**}
Zn-DOM	0.91^{**}	0.83^{**}	0.81^{**}	0.8^{**}	0.77^{**}	0.79^{**}	0.76^{**}
$ZnSO_4$	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

**و ns به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد و عدم معنی‌داری می‌باشد.

** and ns is significant at 1% probability level and non-significant, respectively.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که نانو ذرات اکسید روی به واسطه داشتن گروه‌های عاملی و تحریک ریشه به شکل معنی‌داری بر pH خاک تأثیر گذاشت. به دنبال این تغییر، مقدار کربن آلی محلول و روی قابل دسترس خاک نیز افزایش یافت. با افزایش کربن آلی محلول و روی قابل دسترس خاک، گونه‌های شیمیایی غالب روی در فاز محلول خاک به شکل معنی‌داری افزایش یافت. همچنین نتایج نشان داد که بین گونه‌های روی آزاد و پیوند یافته با ماده آلی با روی قابل دسترس و غلظت و جذب روی در بخش‌های مختلف گندم همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. ویژگی‌های منحصر به فرد نانو ذرات نظیر کندرها بودن و داشتن سطح ویژه بالا، سبب افزایش کارایی این ذرات در مقایسه با کودهای شیمیایی شده است. امروزه با مطرح شدن آلودگی‌های زیست محیطی کانون توجهات به سمت صنایع شیمیایی و حتی صنعت کشاورزی کشیده شده است. از این رو به کارگیری روش‌های جایگزین و کارآمد نظیر کاربرد نانو ذرات هم به صورت خاکی و هم به صورت محلول‌پاشی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. با وجود تأثیر مثبت نانو ذرات در این پژوهش و سایر مطالعات صورت گرفته توسط محققان، عرضه جهانی نانو ذرات به عنوان کود با در نظر گرفتن مسائل زیست محیطی، نیازمند تحقیقات وسیع چه در سطح گلخانه‌ای و چه در سطح مزرعه می‌باشد. بنابراین پژوهش‌های جدیدی در زمینه به کارگیری نانو ذرات سنتز شده به روش زیستی و یا افزایش حلالیت نانو ذرات در ترکیب با کمپلکس‌های آلی پیشنهاد می‌گردد.

References

Afyuni M., Khoshgoftarmanesh A.H., Dorostkar V., and Moshiri R. 2007. Zinc and Cadmium content in fertilizers commonly used in Iran. *International Conference of Zinc-Crops*, May: 24-28, Istanbul, Turkey.

Alloway B.J. 1995. Heavy Metals in Soils. 2nd Ed. Blackie, Glasgow, 368p.

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

Backes C.A., McLaren R.G., Rate A.W., and Swift R.S. 1995. Kinetics of cadmium and cobalt desorption from iron and manganese oxides. *Soil Science Society of America Journal*, 59(3): 778-785.

Bais H.P., Weir T.L., Perry L.G., Gilroy S., and Vivanco J.M. 2006. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annual Review of Plant Biology*, 57: 233-266.

Baruah S., and Dutta J. 2009. Nanotechnology applications in pollution sensing and degradation in agriculture: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 7(3): 191-204.

Black C.A., Evans D.D., White J.L., Ensminger L.E., and Clark F.E. 1965. Methods of Soil Analysis: Part 2, First Edition, *American Society of Agronomy*, pp: 1372-1376.

Campbell C.R., and Plank C.O. 1998. Preparation of Plant Tissue for Laboratory Analysis. In: Kalra, Y.P.(Ed.), Handbook of Reference Methods for Plant Analysis, *CRC Press, Taylor and Francis Group*, pp. 37-50.

www.SID.ir

Archive of SID

Das S., and Green A. 2016. Zinc in Crops and Human Health. *In*: Singh U., Praharaj C.S., Singh S.S., and Singh N.P. (Ed.), Biofortification of Food Crops. *New Delhi, India: Springer*, pp: 31-40.

Dotaniya M.L., and Meena V.D. 2015. Rhizosphere effect on nutrient availability in soil and its uptake by plants: a review. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 85(1): 1-12.

Graham R.D. 2008. Micronutrient deficiencies in crops and their global significance. In *Micronutrient deficiencies in global crop production. Springer, Dordrecht*: 41-61.

Green J.M. and Beestman G.B. 2007. Recently patented and commercialized formulation and adjuvant technology. *Crop Protection*, 26 (3): 320-327.

Gupta P.K, 2004. Soil, Plant, Water and Fertilizer Analysis. 1st Edition, Agrobios (India), pp: 366.

Hamon R.E., Lorenz S.E., Holm P.E., Christensen T.H., and McGrath S.P. 1995. Changes in trace metal species and other components of the rhizosphere during growth of radish. *Plant, Cell and Environment*, 18(7): 749-756.

Harter R.D., and R Naidu. 1995. Role of metal-organic complexation in metal sorption by soils. *Advances in Agronomy*, 55: 219-263.

Hinsinger P. 2001. Bioavailability of trace elements as related to root-induced chemical changes in the rhizosphere. *In*: Hooda P.S. (Ed.), Trace Elements in Soils. A John Wiley and Sons, Publication, pp: 25-41.

Holm P.E., Christensen T.H., Tjell J.C., and McGrath S. 1995. Speciation of cadmium and zinc with application to soil solutions. *Journal of Environmental Quality*, 24: 183-190.

Hsieh C.H. 2007. Spherical Zinc Oxide Nano Particles from Zinc Acetate in the Precipitation Method. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 54(1): 31-34.

Jones D.L. 1998. Organic acids in the rhizosphere. A critical review. *Plant Soil*, 205: 25-44.

Karov I., Mitrev S., Kovacevik, B., and Kostadinovska E. 2008. Diversity of fungal pathogens infecting Hordeum L. in Macedonia. symptoms and morphology. *International Conference on Plants and Environmental Pollution*, Juli: 1-13.

Khoshgoftarmanesh A.H., Shariatmadari H., Karimian N., Kalbasi M., and Van der Zee S.E.A.T.M. 2006. Cadmium and zinc in saline soil solutions and their concentrations in wheat. *Soil Science Society of America Journal*, 70(2): 582-589.

Kuang Y., Wen D., Zhong C., and Zhou G. 2003. Root exudates and their roles in phytoremediation. *Acta Phytoecological Sinica*, 27(5): 709-717.

Kurepa J., Paunesku T., Vogt S., Arora H., Rabatic B.M., Lu J., and Smalle J.A. 2010. Uptake and distribution of ultrasmall anatase TiO2 Alizarin Red S nanoconjugates in *Arabidopsis thaliana*. *Nano Letters*, 10(7): 2296-2302.

Li H., Shen J., Zhang F., Clairotte M., Drevon J.J., Le Cadre, E., and Hinsinger P. 2008. Dynamics of phosphorus fractions in the rhizosphere of common bean (Phaseolus vulgaris L.) and durum wheat (*Triticum turgidum* durum L.) grown in monocropping and intercropping systems. *Plant and Soil*, 312(1-2): 139-150.

Lindsay W.L. 1979. Chemical Equilibria in Soils. 1st Ed. John Wiley and Sons Limited, 449p.

Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper1. *Soil Science Society of America Journal*, 42(3): 421-428.

Lövestam G., Rauscher H., Roebben G., Klüttgen B.S., Gibson N., Putaud J.P., and Stamm H. 2010. Considerations on a definition of nanomaterial for regulatory purposes. *Joint Research Centre (JRC) Reference Reports*: 6-9.

Maftoun M., and Karimian N. 1989. Relative efficiency of two zinc sources for maize (*Zea mays* L.) in two calcareous soils from an arid area of Iran. *Agronomie*, 9(8): 771-775.

Malakouti M.J., and Gheibi M.N. 2000. Determination of critical levels of nutrients in soil, plant and fruit for the quality and yield improvements in strategic crops of Iran. High Concoil for Appropriate Use of Pesticides and Chemical Fertilizers, *Ministry of Agriculture*, 92p. (In Persian)

Marschner, H. 2012. Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd Edition, Academic Press, 672p.

Mortvedt J.J. 1985. Plant uptake of heavy metals in zinc fertilizers made from industrial by-products. *Journal of Environmental Quality*, 14(3): 424-427.

www.SID.ir

Archive of SID

Olsen S.R., Sommers L.E., and Page A.L. 1982. Methods of Soil Analysis. Part 2, First edition, Chemical and Microbiological Properties. Association of Social Anthropologists Monograph, pp: 403-430.

Parker D.R., Norvell W.A., and Chaney R.L. 1995. GEOCHEM-PC—a chemical speciation program for IBM and compatible personal computers. *Chemical Equilibrium and Reaction Models*, 42: 253-269.

Peralta-Videa J.R., Hernandez-Viezcas J.A., Zhao L., Diaz B.C., Ge Y., Priester J.H., Ann Holden P., and Gardea-Torresdey J.L. 2014. Cerium dioxide and zinc oxide nanoparticles alter the nutritional value of soil cultivated soybean plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 80: 128-135.

Rengel Z. 2015. Availability of Mn, Zn and Fe in the rhizosphere. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 15(2): 397-409.

Rhoades J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. Vol. 3, First Edition, Methods of Soil Analysis, pp: 417-435.

Saffari M., Yasrebi J., Karimian N., and Shan X. 2009. Evaluation of three sequential extraction methods for fractionation of zinc in calcareous and acidic soils. *Research Journal of Biological Sciences*, 4(7): 848-857.

Séguin V., Gagnon C., and Courchesne F. 2004. Changes in water extractable metals, pH and organic carbon concentrations at the soil-root interface of forested soils. *Plant and Soil*, 260(1-2): 1-17.

Shalaby T.A., Bayoumi Y., Abdalla N., Taha H., Alshaal T., Shehata S., and El-Ramady H. 2016. Nanoparticles, Soils, Plants and Sustainable Agriculture. In: Ranjan, S., Dasgupta N. and Lichtfouse E. (Eds.). Nanoscience in Food and Agriculture 1. Cham: Springer International Publishing, pp: 283-312.

Shankramma K., Yallappa S., Shivanna M.B., and Manjanna J. 2016. Fe_2O_3 magnetic nanoparticles to enhance *S. lycopersicum* (tomato) plant growth and their biomineralization, *Applied Nanoscience*, 6(7): 983-990.

Tao S., Chen Y.J., Xu F.L., Cao J., and Li B.G. 2003. Changes of copper speciation in maize rhizosphere soil. *Environmental Pollution*, 122(3): 447-454.

Wang Y.X.A., and Oyaizu, H. 2009. Evaluation of the phytoremediation potential of four plant species for dibenzofu-ran-contaminated soil. *Journal of Hazardous Materials*, 168: 760-764.

Wang Z., Shan X.Q., and Zhang S. 2002. Comparison between fractionation and bioavailability of trace elements in rhizosphere and bulk soils. *Chemosphere*, 46: 1163-1171.

Zhang P., Ma Y., and Zhang, Z. 2015. Interactions between engineered nanomaterials and plants: phytotoxicity, uptake, translocation, and biotransformation. *In*: Siddiqui M.H., Al-Whaibi M.H., and Mohammad F (Ed.). Nanotechnology and Plant Sciences. Springer International Publishing, pp: 77-99.

www.SID.ir

Archive of SID

Effect of Zinc Oxide Nanoparticles on Zinc Chemical Forms Species in Soil Solution Phase and its Correlation with Concentration and Uptake of Zinc in Wheat

Ali Abdollahi [1], Mojtaba Norouzi masir [2*], Mehdi Taghavi [3], Abdolamir Moezzi[4]

(Received: June 2018 Accepted: October 2018)

Abstract

Application of various nanoparticles is increasing in different industries, including agriculture. Hence, extensive researches requires is needed to assessment of the relationship between metallic nanoparticles and dominant chemical species of the metals elements in the soil. For this purpose, a research was carried out to investigation investigate of the effects of zinc oxide nanoparticles and zinc sulfate fertilizer on zinc chemical species in the soil solution and also its correlation with concentration and uptake of zinc in wheat plant. This study was conducted in greenhouse conditions as a completely randomized design with three replications. The experiment treatments include ZnO Nanoparticles nanoparticles at three levels (100, 200 and 300 $mg.kg^{-1}$), $ZnSO_4$ fertilizer (40 kg ha^{-1}) and Control. Some chemical properties of the soil, concentration and uptake of zinc were measured at the end of the cultivation season. Geo-Cchemical model of visual MINTEQ was used after the extraction of soil solution elements, in order to estimation of the dominant chemical species of zinc in the soil solution. The results indicated that soil solution pH, soil available zinc and DOC were influenced by the treatments. The ZnO nanoparticles significantly were decreased the soil pH. Also, these nanoparticles significantly were increased the DOC and soil available zinc. The highest amount of zinc free species (Zn^{2+}) was obtained in treatment of zinc oxide nanoparticles at level of 300 mg.kg-1. ZnO nanoparticles and $ZnSO_4$ fertilizer significantly were increased the Zn-DOM specie compared to control. The results also showed that a positive correlation between Zn^{2+} and Zn-DOM species with concentration and uptake of zinc in various parts of wheat.

Keywords: Chemical fertilizer, Nanoparticles, Speciation, Wheat, Zinc Oxide

Abdollahi A., Norouzi masir M., Taghavi M., and Moezzi A. 2019. Effect of zinc oxide nanoparticles on zinc chemical forms in soil solution phase and its correlation with concentration and uptake of zinc in wheat. *Applied Soil Research*. 7(4):35-46.

1- MSc. Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2- Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
3- Assistant Professor, Department of Chemistry, Faculty of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
4- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
* Corresponding Author Email: m.norouzi@scu.ac.ir

www.SID.ir