نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد ششم، شماره سوم، پاییز ۹۲
۳۳-۴۹
http://ejcp.gau.ac.ir

اثر ورمی‌کمپوست حاوی نانوذرات اکسید مس و اکسید روی بر برخی ویژگی‌های زراعی لوبیاچیتی

***فریده بهبودی[۱]، ایرج‌اله دادی[۲] و ابراهیم محمدی گل‌تپه[۳]**

[۱]فارغ‌التحصیل کارشناسی‌ارشد گروه زراعت، دانشگاه تهران، [۲]دانشیار گروه زراعت، دانشگاه تهران،
[۳]استاد گروه بیماری‌شناسی گیاهی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران،

تاریخ دریافت: ۹۱/۸/۲۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۶/۱۰

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر ورمی‌کمپوست حاوی نانوذرات اکسید مس و اکسید روی بر لوبیاچیتی، آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل نانوذرات در ۴ سطح (صفر، ۰/۴۰، ۰/۸۰ و ۱/۲۰ گرم بر کیلوگرم وزن بستر)، ورمی‌کمپوست در ۳ سطح (۲/۵، ۵ و ۷/۵ درصد وزنی بستر) و نوع نانوذرات در دو سطح (اکسید مس و اکسید روی) بودند. پس از آماده‌سازی بسترها، به هر یک تعدادی کرم بالغ گونه *Eisenia fetida* اضافه و پس از یک هفته نانوذرات به‌صورت محلول به بسترها اضافه گردیدند. پس از سه ماه ورمی‌کمپوست آماده شده با توجه به وزن بسترهای کشت با خاک مخلوط و لوبیاچیتی به‌صورت هیرم‌کاری کشت گردید. نتایج نشان داد با افزایش میزان نانوذرات اکسید مس و اکسید روی، طول غلاف، تعداد غلاف در بوته، عملکرد زیست توده، عملکرد دانه، شاخص برداشت و پروتئین دانه کاهش و غلظت مس و روی در دانه افزایش یافت. در سطوح یکسان نانوذرات (به‌جزء سطح اول) طول غلاف، تعداد غلاف در بوته، عملکرد دانه، وزن صد دانه، طول ساقه و شاخص برداشت در نانوذرات اکسید روی بیشتر از نانوذرات اکسید مس بود. کمترین طول غلاف، تعداد غلاف در بوته، وزن غلاف، عملکرد دانه و شاخص برداشت در سطح چهارم نانوذرات اکسید مس حاصل گشت. همچنین جذب و تجمع نانوذرات اکسید روی در دانه بیشتر از نانوذرات مس بود.

واژه‌های کلیدی: اکسید روی، اکسید مس، لوبیاچیتی، ورمی‌کمپوست، نانوذرات،

* مسئول مکاتبه: behboudi.e@gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

جذب نانو مواد کربنی و فلزی توسط گیاهان زمینه تحقیقاتی جدیدی می‌باشد. جذب، جابجایی و تجمع نانوذرات بسته به گونه‌های گیاهی و نوع، اندازه، ترکیب شیمیایی، ساختمان و استحکام نانوذرات متفاوت می‌باشد (ریکو و همکاران، ۲۰۱۱). تاکنون بیشتر مطالعات روی نانوذرات اکسید روی، اکسید آهن، دی‌اکسید سلنیوم و دی‌اکسید تیتانیوم انجام شده است و بیشتر این مطالعات فقط تا مرحله جوانه‌زنی می‌باشند که سبب محدودیت اطلاعات در این زمینه شده است چون در این مرحله از رشد، ریشه و سیستم آوندی گیاه به خوبی توسعه پیدا نکرده است (ایسلا و آراگوس، ۲۰۱۰؛ کینرسلی و اسکات، ۲۰۰۱؛ تایز و زایگر، ۱۹۹۸). بنابراین نیاز فوری به بررسی سمیت اکولوژیکی نانوذرات و ارزیابی ریسک محیطی آن‌ها برای موجودات زنده در سطوح غذایی متفاوت و قابلیت دسترسی زیستی و تجمع زیستی این مواد از طریق زنجیره‌های غذایی احساس می‌گردد (لین و زینگ، ۲۰۰۸).

مس و روی دو عنصر اساسی برای رشد گیاه می‌باشند اما در غلظت‌های بالا برای گیاهان سمی می‌باشند (آن، ۲۰۰۴). عنصر مس در بسیاری از آنزیم‌های اکسید و احیا کننده و فرایندهای فتوسنتز و تبادل هیدروکربن‌ها و پروتئین‌ها شرکت دارد و همچنین بخشی از چندین آنزیم اکسیدکننده، نظیر آنزیم آسکوربیک‌اسید اکسیداز و پلی‌فنول اکسیداز می‌باشد (منجل و کرکبای، ۱۹۸۲) و عنصر روی برای سنتز آنزیم‌هایی که در سنتز تریپتوفان، که پیش‌نیاز تولید ایندول استیک اسید می‌باشد، ضروری است (لیندسی، ۱۹۷۲). روی همچنین یک جزء تشکیل دهنده‌ی کربنیک آنهیدراز است (سرمدنیا و کوچکی، ۱۹۹۶). این عنصر در فعالیت اکسین‌ها و ساخت پروتئین، تولید دانه و سرعت تکامل دانه ضروری است (ملکوتی و لطف الهی، ۱۹۹۸).

ون آسک و همکاران (۱۹۸۸) اثرات سمیت فلزات سنگین روی و کادمیوم را بر لوبیا در محلول غذایی بررسی کردند و نتایج نشان داد با افزایش مقدار روی و کادمیوم مقدار این عناصر در برگ‌ها افزایش و طول ساقه کاهش یافت. لوپزمورنو و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی جذب و تجمع نانوذرات اکسیدروی توسط دانه‌های سویا مشاهده نمودند عنصر روی جذب شده توسط جوانه‌ها به‌طور معنی‌داری در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بیشتر بود و در غلظت‌های بالاتر، تجمع نانوذرات باعث کاهش جذب و تجمع گردید. همچنین با افزایش غلظت نانوذرات، طول ریشه‌ی سویا کاهش یافت. لی و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی اثر نانوذرات مس، بر لوبیا و گندم در محیط کشت تهیه شده از آگار

Archive of SID

www.SID.ir

مشاهده نمودند نانوذرات مس می‌توانند از غشاء سلول عبور کرده و در سلول‌ها تجمع یابند. همچنین این نانوذرات سبب کاهش رشد ریشه و جوانه‌ها در غلظت‌های بالاتر شدند.

دمتریوس و همکاران (۲۰۰۹) اثرات ۵ نانو ذره (نانو تیوپ کربن چند جداره، نقره، مس، دی اکسید روی، سیلسیوم) را بر جوانه‌زنی، طول ریشه و ماده خشک کدو ارزیابی کردند و مشاهده نمودند نانوذرات مس سبب کاهش طول ریشه نسبت به شاهد شد و بیوماس گیاه تحت تأثیر نانوذرات مس، نقره و نانو تیوپ کربن کاهش یافت. لین و زینگ (۲۰۰۷) سمیت گیاهی نانوذرات روی، اکسید روی، آلومینیوم، آلومینا و نانو لوله‌های کربنی چند جداره را در سطوح جوانه‌زنی و رشد ریشه‌ی در شش گونه گیاه آلی (تربچه، کلزا، چچم، کاهو، ذرت و کدو) بررسی کردند. نتایج نشان داد نانوذرات تأثیری در جوانه‌زنی ندارند فقط نانوذرات روی در گیاه چچم و نانوذرات اکسیدروی در ذرت تأثیر داشتند. بازدارندگی رشد ریشه عموما بین نانوذرات و گیاهان نتایج متفاوتی داشت و تحت تأثیر غلظت نانوذرات واقع شد.

یورکلی و پورگالی (۲۰۰۶) در بررسی سمیت مس بر لوبیا مشاهده نمودند در غلظت بالا میزان مس در بافت‌های ریشه، ساقه و برگ افزایش ولی مقدار کلروفیل (a و b) کاهش یافت. کوپیک و منیس (۲۰۰۶) در بررسی اثر سمیت مس بر لوبیا چشم بلبلی مشاهده نمودند در غلظت‌های بالای مس، رشد ریشه‌ها و ساقه‌ها کاهش یافت. همچنین در غلظت‌های بالای این عنصر ریشه‌ها قهوه‌ای، کوتاه و لاغر گردیدند. کاوندر و همکاران (۲۰۰۳) در بررسی اثرات تغذیه‌ای و زیستی ورمی‌کمپوست بر سورگوم مشاهده نمودند ورمی‌کمپوست سبب افزایش قابلیت دسترسی پتاسیم، فسفر و نیتروژن به‌خصوص فسفر در خاک گردید. همچنین وزن خشک ریشه و ساقه افزایش یافت.

هدف از این تحقیق با توجه به نوظهوری نسبی فناوری نانو و مطالعات کم اثرات مضر آن روی سیستم‌های زیستی به‌خصوص گیاهان، فراهم نمودن اطلاعاتی در مورد سمیت گیاهی نانوذرات با بررسی دو نوع نانوذرات بر رشد گیاه لوبیاچیتی و تجمع زیستی این نانوذرات در دانه گیاه بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه عامل میزان نانوذرات در چهار سطح (صفر–۰/۴۰–۰/۸۰–۱/۲۰ گرم بر کیلوگرم وزن تر بستر با رطوبت ۳۵ درصد)، ورمی‌کمپوست در سه سطح (۲/۵۰، ۵ و ۷/۵۰ درصد وزنی بستر) و نوع نانوذرات در دو

Archive of SID

www.SID.ir

سطح (اکسید مس و اکسید روی) در ۳ تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در سال ۱۳۹۰ انجام شد. کرم خاکی گونه‌ی *Eisenia fetida*، SMC[1] و خاک از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه، نانوذرات اکسید مس از شرکت نوترینو و نانوذرات اکسید روی از پژوهشگاه صنعت نفت تهیه گردیدند. در جداول ۱ و ۲ به برخی از ویژگی‌های مواد مصرفی اشاره شده است.

جدول ۱- برخی از خصوصیات SMC مصرفی

هدایت الکتریکی	اسیدیته	سدیم	پتاسیم	کلسیم	مس	روی	کربن آلی
دسی زیمنس بر متر				پی پی ام			درصد
۱۲/۳۷	۷/۶۰	۳۹۲	۲۵۰۰	۳۶	۱۸	۱۹۲	۱۶/۶۱

جدول ۲- برخی از خصوصیات نانوذرات مصرفی

ویژگی	اکسید روی	اکسید مس
خلوص (٪)	۹۹	۹۸
اندازه ذرات (نانومتر)	<۵۰	<۶۰
سطح ویژه (مترمربع بر گرم)	>۸۰	>۸۰
رنگ	سفید	سیاه

خاک مصرفی دارای بافت لومی، اسیدیته ۷/۲۰، هدایت الکتریکی ۱/۶۳ دسی زیمینس بر متر، میزان مس و روی به‌ترتیب ۲/۸۰، ۱/۰۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. گیاه مورد نظر برای کشت، لوبیاچیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) رقم صدری انتخاب و از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه گردید. این رقم دارای تیپ رونده، با میانگین عملکرد ۲۴۶۴ کیلوگرم در هکتار، متوسط ارتفاع بوته ۱۱۸ سانتی‌متر، متوسط دوره رشد و نمو ۱۰۸ روز، متوسط وزن ۱۰۰ دانه ۴۵ گرم، پروتئین دانه ۲۲ درصد، مقاوم به ریزش دانه و متحمل به بیماری ویروس موزائیک می‌باشد. برای شروع آزمایش نیاز به آماده‌سازی بسترها بود. بنابراین، ابتدا SMC به‌مدت ۱۰ روز هوادهی و آبدهی گردید تا از طریق گاز آمونیاک و نمک‌های آن کاهش یافته و سبب مرگ و میرکرم‌ها نشود. سپس بسترهای آماده شده داخل گلدان‌های ۱۷ کیلویی ریخته شدند. پس از این مراحل، تعداد ۳۰ عدد کرم

1- SMC: Spent mushroom compost

Archive of SID

www.SID.ir

بالغ انتخاب و به بسترها اضافه شدند. به‌مدت یک هفته کرم‌ها در این شرایط، با دمای ۲۰ الی ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد (محیط) و رطوبت بسترها حدود ۶۰ تا ۸۰ درصد که محدوده‌ی مناسبی را جهت زیست کرم‌های خاکی تشکیل می‌دهد، نگهداری شدند تا به شرایط جدید عادت کنند (ادوارد، ۱۹۹۸). در این مدت هر روز رطوبت بستر با اسپری آب روی بسترها تحت کنترل بود. بعد از یک هفته، نانوذرات اکسید مس و اکسید روی به‌میزان (صفر، ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۲ گرم بر کیلوگرم وزن بستر) در ۴۰ سی‌سی آب حل شده و به هر یک از بسترها اضافه گردید. طی دو هفته متوالی تعداد ۲۰ کرم از هر بستر به‌منظور آزمون‌های زیست‌محیطی (اثر این نانوذرات بر کرم خاکی) خارج گردیدند. در نهایت در هر بستر تعداد ۱۰ کرم باقی ماند و برای تولید ورمی‌کمپوست در شرایط رطوبتی و دمایی اشاره شده در بالا به‌مدت سه ماه پرورش یافتند.

بعد از سه ماه با توجه به تغییر شکل و رنگ مواد بستری، ورمی‌کمپوست آماده شده به نسبت‌های (۲/۵۰، ۵ و ۷/۵۰ درصد وزنی بستر کشت) با خاک کاملا مخلوط شده و در گلدان‌ها ریخته شدند. به منظور کشت لوبیا، در هر گلدان تعداد ۶ عدد بذر که قبلا با قارچ‌کش مانکوزب به نسبت دو در هزار ضد عفونی شده بودند به‌صورت هیرم‌کاری کشت گردیدند. پس از جوانه‌زنی بذرها و در مرحله‌ی چند برگی که خطر از بین رفتن بوته حداقل بود عمل تنک انجام و در هر گلدان سه گیاهچه نگه داشته شد. در طی رشد و نمو گیاه کلیه‌ی مراقبت‌های زراعی نظیر وجین دستی علف‌های هرز، مبارزه با آفات و بیماری‌ها و آبیاری انجام گردید. برای سنجش میزان سبزینگی برگ‌ها در مرحله‌ی قبل از گلدهی، از هر گلدان و از هر بوته سه برگ به‌صورت تصادفی از وسط بوته انتخاب و میزان سبزینگی آن‌ها توسط دستگاه اسپد مدل ۵۰۲[1] اندازه‌گیری گردید. پس از قهوه‌ای شدن حدود $\frac{۲}{۳}$ تعداد غلاف‌ها، آبیاری قطع گردید و غلاف‌ها به‌علت غیر یکنواختی در رسیدگی، در چندین مرحله برداشت و تعداد، طول و وزن غلاف‌ها و تعداد دانه در غلاف برای هر بوته شمارش و برای تک بوته میانگین‌گیری شد. متوسط وزن ۱۰۰ دانه بر اساس ۱۴ درصد رطوبت اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری عملکرد تک بوته از فرمول زیر استفاده شد:

عملکرد = متوسط وزن هر دانه × تعداد دانه در هر غلاف × تعداد غلاف در بوته

1- Spad 502

Archive of SID

www.SID.ir

پس از برداشت غلاف‌ها، طول ساقه محاسبه و برای تک بوته میانگین‌گیری شد. برای اندازه‌گیری عملکرد زیست توده در مرحله‌ی رسیدگی کلیه‌ی بوته‌ها از محل طوقه قطع و سپس خشک و توزین گردیدند. شاخص برداشت از نسبت عملکرد اقتصادی یا عملکرد دانه به عملکرد زیست توده به شرح فرمول مقابل به‌دست آمد:

$$\text{شاخص برداشت} = \frac{\text{عملکرد دانه}}{\text{عمکرد زیست توده}} \times ۱۰۰$$

برای اندازه‌گیری پروتئین دانه، مقدار یک گرم از هر نمونه آسیاب شده و در ۱۵ سی‌سی اسید سولفوریک حل شده و با ۵ گرم کاتالیزور به حجم رسانیده شد و سپس با استفاده از دستگاه کجلدال مدل Analyzer 1030 پروتئین آن‌ها تعیین گردید (بردفورد، ۱۹۷۶). همچنین برای اندازه‌گیری غلظت عناصر مس و روی در دانه‌ها مقدار یک گرم از دانه‌های به‌دست آمده آسیاب و توسط یک گرم اسید نیتریک هضم شده و سپس مقدار غلظت روی و مس آن‌ها توسط دستگاه فلئم فتومتر جذب اتمی مدل AA670 اندازه‌گیری گردید (وینید دوناند، ۲۰۰۲).

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS به روش GLM انجام شد و مقایسه میانگین آن‌ها به روش LSD (α=٪۵) تعیین گردید.

نتایج و بحث

سبزینگی برگ: برهمکنش مقدار نانوذرات، نوع نانوذرات و مقدار ورمی‌کمپوست معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد مقدار سبزینگی برگ‌ها در سطوح یکسان ورمی‌کمپوست با افزایش نانوذرات اکسید مس و اکسید روی کاهش یافت. در سطوح شاهد و ۰/۴۰ گرم بر کیلوگرم نانوذرات اکسید مس و اکسید روی با افزایش ورمی‌کمپوست، سبزینگی برگ‌ها در ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت به‌طوری‌که بیشترین مقدار سبزینگی در سطح ۵ درصد وزنی ورمی‌کمپوست حاصل گشت و در سطوح ۰/۸۰ و ۱/۲۰ گرم بر کیلوگرم (به جزء سطح ۱/۲۰ گرم بر کیلوگرم نانوذرات اکسید مس) این نانوذرات با افزایش ورمی‌کمپوست سبزینگی برگ‌ها کاهش یافت. بیشترین سبزینگی در سطح شاهد نانوذرات در سطح ۵ درصد وزنی ورمی‌کمپوست بدست آمد (جدول ۴).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر نانوذرات، ورمی‌کمپوست و نوع نانوذرات بر برخی ویژگی‌های لوبیاچیتی

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		سبزینگی	طول غلاف	تعداد غلاف در بوته	وزن غلاف	تعداد دانه در غلاف	وزن صد دانه	عملکرد دانه
تکرار	۲	۷/۸۷**	۰/۰۶^{ns}	۰/۳۲^{ns}	۰/۰۰۰۵^{ns}	۰/۰۸^{ns}	۴/۹۵^{ns}	۱/۲۳^{ns}
عامل A (نانوذرات)	۳	۳۶۷/۸۸**	۱۹/۲۵**	۱۱/۸۱**	۰/۱۹۳۶**	۲/۷۷**	۱۷۵۰/۴۰**	۱۰۸/۹۵**
عامل B (نوع نانوذرات)	۱	۳۵/۵۶**	۶/۸۳**	۱۶/۷۲**	۰/۰۲۰۳**	۰/۴۰^{ns}	۶۸۲/۹۵**	۲۷/۳۷**
عامل C (ورمی‌کمپوست)	۲	۱۴۷/۰۶**	۰/۵۴^{ns}	۰/۸۱^{ns}	۰/۰۳۵۷**	۰/۷۶*	۴۵/۶۳**	۰/۸۹^{ns}
اثر متقابل A×B	۳	۲۹/۴۶**	۲/۵۱**	۲/۴۳**	۰/۰۰۹۳**	۰/۲۵^{ns}	۷۶/۲۴**	۳/۹۴**
اثر متقابل A×C	۶	۲۴/۲۱**	۰/۵۴^{ns}	۰/۰۸^{ns}	۰/۰۱۲۸**	۰/۱۵^{ns}	۱۲/۴۴*	۰/۲۱^{ns}
اثر متقابل B×C	۲	۷/۰۴**	۰/۱۸^{ns}	۰/۲۴^{ns}	۰/۰۰۰۳^{ns}	۰/۰۴^{ns}	۲/۲۰^{ns}	۰/۰۴^{ns}
اثر متقابل A×B×C	۶	۴/۸۶**	۰/۱۲^{ns}	۰/۱۷^{ns}	۰/۰۰۱۸*	۰/۰۳^{ns}	۱۸/۴۲**	۰/۱۸^{ns}
اشتباه آزمایشی	۴۶	۱/۳۶	۰/۴۲	۰/۳۴	۰/۰۰۰۷	۰/۱۸	۴/۲۰	۰/۵۶
ضریب تغییرات (درصد)	–	۲/۹۷	۶/۵۲	۱۱/۳۸	۱۱/۰۰۱۶	۱۷/۳۵	۷/۳۳	۱۸/۹۶

**، * و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪، ۵٪ و غیر معنی‌دار

ادامه جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر نانوذرات، ورمی‌کمپوست و نوع نانوذرات بر برخی ویژگی‌های لوبیاچیتی

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		عملکرد زیست توده	شاخص برداشت	طول ساقه	پروتئین دانه	غلظت مس و روی
تکرار	۲	۲/۴۰^{ns}	۶/۷۳^{ns}	۸/۸۸^{ns}	۰/۰۰۶^{ns}	۰/۰۰۰۳^{ns}
عامل A (نانوذرات)	۳	۳۴۷/۵۷**	۱۴۷۳/۹۱**	۲۴۳/۶۵**	۳/۶۱۴**	۱۷۹/۶۹۴**
عامل B (نوع نانوذرات)	۱	۶۵/۵۱**	۱۰۲۲/۲۷**	۵۶۶/۱۶**	۲/۵۲۳**	۴۱۶۹/۵۱۹**
عامل C (ورمی‌کمپوست)	۲	۲/۲۴^{ns}	۲۲/۵۱^{ns}	۳۸/۰۴**	۰/۵۵۹**	۳۶/۸۰۰**
اثر متقابل A×B	۳	۱۹/۲۵**	۱۵۴/۱۰**	۳۳/۰۲**	۰/۰۶۸**	۱۷/۸۲۹**
اثر متقابل A×C	۶	۱۲/۸۷**	۲۷/۳۹^{ns}	۱۶/۵۷*	۰/۷۲۲**	۳/۳۱۸**
اثر متقابل B×C	۲	۱/۹۸^{ns}	۰/۸۰^{ns}	۲۲/۱۱*	۰/۰۶۷**	۱۱/۷۵۱**
اثر متقابل A×B×C	۶	۱/۵۲^{ns}	۱۱/۹۴^{ns}	۷/۰۲^{ns}	۰/۰۴۱**	۱/۷۵۷**
اشتباه آزمایشی	۴۶	۱/۷۶	۱۳/۹۶	۶/۰۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳
ضریب تغییرات (cv٪)	–	۹/۶۰	۱۴/۲۰	۲/۳۷	۰/۳۶	۰/۱۹۵

**، * و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪، ۵٪ و غیر معنی‌دار

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل نانوذرات، ورمی‌کمپوست و نوع نانوذرات بر برخی ویژگی‌های لوبیاچیتی

سطوح ورمی‌کمپوست (درصد وزنی بستر)	(٪/۲/۵)	(٪۵)	(٪/۷/۵)	(٪/۲/۵)	(٪۵)	(٪/۷/۵)
نوع نانوذرات						
نانوذرات (گرم بر کیلو گرم)	اکسید مس			اکسید روی		
	سبزینگی (اسپد)					
۰	۴۵/۸۶^{b}	۵۰^{a}	۴۲/۳۶^{de}	۴۰/۷۶^{efg}	۵۰/۰۶^{a}	۴۲/۰۳^{def}
۰/۴	۴۰/۴۰^{fg}	۴۲/۹۶^{cd}	۳۶/۴۰^{jkl}	۴۰/۱۳^{fgh}	۴۴/۶۳^{cb}	۳۷/۸۶^{ji}
۰/۸	۳۸/۴۳^{hi}	۳۷/۳۰^{kji}	۳۲^{m}	۳۸/۹۳^{ghi}	۳۹/۱۶^{ghi}	۳۵/۹۰^{kl}
۱/۲	۳۲/۸۶^{m}	۳۲/۵۰^{m}	۳۲/۵۶^{m}	۳۸/۳۶^{hi}	۳۷/۳۶^{jki}	۳۵/۳۰^{l}
	وزن غلاف (گرم)					
۰	۰/۳۰^{c}	۰/۳۵^{b}	۰/۵۱^{a}	۰/۳۰^{bc}	۰/۳۱^{bc}	۰/۴۷^{a}
۰/۴	۰/۲۰^{fgh}	۰/۲۲^{efg}	۰/۲۹^{c}	۰/۲۴^{ef}	۰/۲۶^{cd}	۰/۳۰^{c}
۰/۸	۰/۱۳^{jki}	۰/۱۶^{hi}	۰/۱۶^{hi}	۰/۲۴^{ef}	۰/۲۳^{efd}	۰/۲۴^{efd}
۱/۲	۰/۱۲^{jki}	۰/۱۱^{jk}	۰/۰۹^{k}	۰/۱۳^{jki}	۰/۱۴^{ji}	۰/۱۹^{gh}
	وزن صد دانه (گرم)					
۰	۳۹/۶۶^{b}	۴۲/۷۲^{ba}	۴۱/۲۲^{ab}	۳۹/۵۶^{b}	۴۳/۱۴^{a}	۴۱/۷۲^{ab}
۰/۴	۲۵/۷۶^{fg}	۲۵/۶۷^{fg}	۲۲/۲۰^{h}	۳۳/۴۰^{c}	۳۲/۴۶^{cd}	۳۰/۹۳^{cd}
۰/۸	۲۲/۴۰^{gh}	۲۲/۱۳^{h}	۱۷/۳۵^{i}	۲۹/۲۰^{de}	۲۶/۷۱^{ef}	۲۶/۴۶^{ef}
۱/۲	۱۴/۳۸^{ij}	۱۱/۶۳^{j}	۱۳/۵۷^{j}	۲۴/۲۳^{fgh}	۲۷/۰۹^{ef}	۱۷/۶۹^{i}
	پروتئین دانه (درصد)					
۰	۲۲/۳۶^{e}	۲۲/۷۹^{d}	۲۳/۳۹^{b}	۲۲/۳۸^{e}	۲۳/۱۴^{c}	۲۳/۸۱^{a}
۰/۴	۲۱/۹۵^{hi}	۲۲/۱۵^{gf}	۲۲/۱۰^{fgh}	۲۲/۱۹^{fg}	۲۲/۸۱^{d}	۲۲/۸۵^{d}
۰/۸	۲۱/۹۵^{hi}	۲۱/۸۲^{ji}	۲۱/۷۷^{j}	۲۲/۳۴^{e}	۲۲/۱۱^{fg}	۲۲/۰۷^{fgh}
۱/۲	۲۱/۹۷^{ghi}	۲۱/۸۳^{ji}	۲۱/۸۰^{j}	۲۲/۳۴^{e}	۲۲/۲۰^{f}	۲۲/۱۴^{fg}
	غلظت مس و روی در دانه (پی پی ام)					
۰	۱۷/۲۰^{u}	۱۷/۲۱^{u}	۱۷/۳۰^{t}	۲۹/۱۶^{l}	۲۹/۵۴^{k}	۲۹/۸۷^{j}
۰/۴	۱۹/۱۵^{s}	۲۰/۲۸^{r}	۲۱/۴۰^{q}	۳۴/۳۵^{i}	۳۶/۷۷^{f}	۳۸/۳۷^{c}
۰/۸	۲۱/۴۵^{pq}	۲۱/۸۳^{o}	۲۲/۴۲^{m}	۳۵/۴۶^{h}	۳۷/۲۱^{e}	۴۰/۳۰^{b}
۱/۲	۲۱/۵۱^{p}	۲۱/۹۴^{n}	۲۲/۵۱^{m}	۳۶/۳۰^{g}	۳۷/۴۸^{d}	۴۲/۰۶^{a}

در هر ستون و ردیف اعداد دارای حداقل یک حرف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح ۵٪ فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

Archive of SID

www.SID.ir

مقدار سبزینگی برگ‌ها در صورت مصرف نانوذرات اکسید مس نسبت به عدم مصرف آن‌ها در سطوح ۲/۵، ۵ و ۷/۵ درصد وزنی ورمی‌کمپوست به‌ترتیب ۱۸، ۲۴ و ۲۰ درصد کاهش و در صورت مصرف نانوذرات اکسید روی نسبت به عدم مصرف آن‌ها در سطوح ۲/۵۰، ۵ و ۷/۵۰ درصد وزنی ورمی‌کمپوست به‌ترتیب ۳/۹۷، ۱۹ و ۱۳ درصد کاهش یافت (جدول ۴). لاسپینا و همکاران (۲۰۰۵) اظهار داشتند عوامل ایجاد کننده تنش اکسیداتیو مانند تنش فلزات سنگین ممکن است محتوی کلروفیل را به وسیله برهم زدن تعادل در بازگشت پروتئین‌های کمپلکس سیستم نوری ۲ کاهش دهند. همچنین تنش طولانی مدت مس موجب تخریب کلروفیل در گیاه چاودار شده است (علی و الکورانی، ۲۰۰۴). بنابراین به‌نظر می‌رسد کاهش معنی‌دار رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاهان تحت تنش مس و روی عموما به‌علت تجزیه فزاینده کلروفیل آن‌ها باشد (واسیل و همکاران، ۲۰۰۳). نتایج مشابهی در آزمایش یورکلی و پورگالی (۲۰۰۶) در بررسی اثرات سمیت مس بر لوبیا مشاهده گردید.

وزن غلاف، طول غلاف و تعداد غلاف در بوته: نتایج وزن غلاف‌ها نشان داد کلیه اثرات به غیر از (برهمکنش نوع نانوذرات و ورمی‌کمپوست) معنی‌دار شد و در نتایج طول غلاف و تعداد غلاف در بوته برهمکنش نانوذرات و نوع نانوذرات معنی‌دار شد (جدول ۳). در سطوح یکسان ورمی‌کمپوست با افزایش هر دو نانوذرات، وزن غلاف‌ها کاهش یافت. با افزایش ورمی‌کمپوست در سطوح شاهد و ۰/۴۰ گرم بر کیلوگرم نانوذرات وزن غلاف‌ها افزایش یافت و در سطوح ۰/۸۰ و ۱/۲۰ گرم بر کیلوگرم هر دو نانوذرات و نیز سطح ۱/۲۰ گرم بر کیلوگرم نانوذرات اکسید روی، تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف ورمی‌کمپوست مشاهده نگردید. بیشترین وزن غلاف در سطح شاهد نانوذرات در سطح ۷/۵۰ درصد وزنی ورمی‌کمپوست حاصل گردید (جدول ۴).

با افزایش میزان نانوذرات اکسید مس و اکسید روی طول غلاف و تعداد غلاف در بوته کاهش یافت. بیشترین اندازه غلاف در سطح شاهد هر دو نانوذرات و کمترین در سطح ۱/۲ گرم بر کیلوگرم نانوذرات اکسید مس و کمترین تعداد غلاف در بوته در سطح ۱/۲۰ گرم بر کیلوگرم نانوذرات اکسید مس حاصل گشت. همچنین در سطوح یکسان نانوذرات (به جزء سطح شاهد) طول غلاف و تعداد غلاف در بوته در نانوذرات اکسید روی بیشتر از نانوذرات اکسید مس بود (جدول ۵).

با توجه به نتایج تحقیقات لی و همکاران (۲۰۰۸) و ون و همکاران (۱۹۹۸) مس و روی در غلظت‌های بالا می‌توانند سبب کاهش رشد ریشه، جذب مواد غذایی و کلروفیل در گیاه شوند و همچنین با توجه به کاهش میزان سبزینگی برگ‌ها در این آزمایش احتمالا به‌علت کاهش جذب مواد

Archive of SID

www.SID.ir

غذایی توسط ریشه‌ها و کاهش فتوسنتز گیاه، مقدار رشد گیاه کاهش یافته است. همچنین نانوذرات اکسید مس تأثیر منفی بیشتری برای گیاه به همراه داشت که احتمالا به‌دلیل سمیت بیشتر این نانوذرات برای گیاه بود.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل نانوذرات و نوع نانوذرات بر برخی ویژگی‌های لوبیاچیتی

صفات	نوع نانوذرات						
	اکسید مس				اکسید روی		
	نانوذرات (گرم بر کیلوگرم)						
	۰	۰/۴	۰/۸	۱/۲	۰	۰/۴	۰/۸	۱/۲
طول غلاف (سانتی‌متر)	۱۱/۵۵^{a}	۹/۹۷^{c}	۹/۱۷^{d}	۸/۲۵^{e}	۱۱/۱۳^{ab}	۱۰/۶۶^{b}	۱۰/۰۳^{c}	۹/۶۰^{cd}
تعدا غلاف در بوته	۶/۰۲^{a}	۵/۱۷^{b}	۴/۲۵^{c}	۳/۳۶^{d}	۶/۱۳^{a}	۵/۷۶^{a}	۵/۸۴^{a}	۴/۹۳^{b}
عملکرد دانه (گرم)	۷/۴۰^{a}	۳/۳۶^{c}	۱/۸۲^{e}	۰/۸۰^{f}	۷/۲۴^{a}	۴/۹۳^{b}	۳/۶۳^{c}	۲/۵۲^{d}
عملکرد زیست توده (گرم)	۱۹/۸۱^{a}	۱۳/۴۵^{bc}	۱۰/۸۴^{d}	۷/۳۵^{e}	۱۹/۹۵^{a}	۱۴/۵۴^{b}	۱۲/۳۴^{cd}	۱۲/۲۴^{cd}
شاخص برداشت (درصد)	۱/۲۴^{a}	۰/۸۳^{d}	۰/۵۶^{f}	۰/۳۵^{g}	۱/۲۱^{ab}	۱/۱۲^{b}	۰/۹۸^{c}	۰/۶۸^{e}
طول ساقه (سانتی‌متر)	۱۰۷/۰۴^{ab}	۱۰۱/۷۸^{d}	۹۸/۱۸^{e}	۹۵/۴۶^{e}	۱۰۹/۳۰^{a}	۱۰۶/۳۶^{b}	۱۰۵/۷۵^{bc}	۱۰۳/۵۰^{cd}

در هر ردیف اعداد دارای حداقل یک حرف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح ۵٪ فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

وزن صددانه، عملکرد دانه و تعداد دانه در غلاف: نتایج وزن صد دانه نشان داد کلیه اثرات به غیر از (برهمکنش نوع نانوذرات و ورمی‌کمپوست) معنی‌دار و در عملکرد دانه اثر اصلی نانوذرات، نوع نانوذرات و برهمکنش نانوذرات و نوع نانوذرات معنی‌دار شد. نتایج تعداد دانه در غلاف نشان داد بین اثر اصلی نانوذرات و ورمی‌کمپوست تفاوت معنی‌دار وجود داشت (جدول ۳). وزن صد دانه در سطوح یکسان ورمی‌کمپوست با افزایش نانوذرات اکسید مس و اکسید روی کاهش یافت. در سطح شاهد نانوذرات اکسید مس تفاوت معنی‌داری از نظر وزن صد دانه بین سطوح مختلف ورمی‌کمپوست مشاهده نگردید و در سطح شاهد نانوذرات اکسید روی با افزایش ورمی‌کمپوست وزن صد دانه افزایش یافت. در سطوح یکسان نانوذرات و ورمی‌کمپوست (به جزء سطح شاهد) وزن صد داته در نانوذرات اکسید روی بیشتر از نانوذرات اکسید مس بود. کمترین وزن صد دانه در سطح ۱/۴۰ گرم بر کیلوگرم نانوذرات اکسید مس حاصل گشت (جدول ۴).

Archive of SID

www.SID.ir

با افزایش میزان هر دو نانوذرات عملکرد دانه کاهش یافت. در سطوح یکسان نانوذرات (به جزء سطح شاهد) عملکرد دانه در نانوذرات اکسید روی بیشتر از نانوذرات اکسید مس بود. بیشترین عملکرد دانه در سطح شاهد نانوذرات و کمترین در سطح ۱/۲ گرم بر کیلوگرم نانوذرات اکسید مس بدست آمد. عملکرد دانه در صورت مصرف نانوذرات اکسید مس نسبت به عدم مصرف این نانوذرات ۷۳ درصد کاهش و در صورت مصرف نانوذرات اکسید روی نسبت به عدم مصرف آن‌ها ۴۸ درصد کاهش یافت (جدول ۵). با افزایش نانوذرات، تعداد دانه در غلاف کاهش یافت (جدول ۶) و با افزایش ورمی‌کمپوست تعداد دانه در غلاف در افزایش یافت (جدول ۷).

با توجه به این‌که تحت شرایط ویژه‌ی رشد، گیاهان می‌توانند عناصر ضروری و غیر ضروری را بالاتر از نیازشان جذب کنند و در نتیجه سبب سمیت در گیاه شوند (کی و همکاران، ۲۰۰۷) و نتایج آزمایشات لوپز مورنو و همکاران (۲۰۱۰) و دمتریوس و همکاران (۲۰۰۹) که نشان داد نانوذرات اکسید روی و اکسید مس در غلظت‌های بالا سبب کاهش رشد، کوتاه، باریک و قهوه‌ای شدن ریشه‌ها می‌گردند بنابراین وقتی رشد ریشه‌ها کاهش یابد جذب مواد غذایی و در نتیجه رشد گیاه کاهش می‌یابد و همچنین با توجه به کاهش میزان سبزینگی برگ‌ها مقدار فتوسنتز کاهش یافته و در مجموع این عوامل می‌تواند سبب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد شوند.

جدول ۶- مقایسه میانگین تأثیر نانوذرات بر تعداد دانه در غلاف لوبیاچیتی

نانوذرات (گرم بر کیلوگرم)	تعداد دانه در غلاف
۰	۲/۹۱[a]
۰/۴	۲/۶۱[b]
۰/۸	۲/۲۰[c]
۱/۲	۲/۰۵[c]

در هر ستون اعداد دارای حداقل یک حرف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح ۵٪ فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

جدول ۷- مقایسه میانگین تأثیر میزان ورمی‌کمپوست بر تعداد دانه در غلاف لوبیاچیتی

ورمی‌کمپوست (درصد وزنی بستر)	تعداد دانه در غلاف
۲/۵	۲/۳۶[b]
۵	۲/۳۲[b]
۷/۵	۲/۶۵[a]

Archive of SID

www.SID.ir

در هر ستون اعداد دارای حداقل یک حرف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح ۵٪ فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

عملکرد زیست توده، شاخص برداشت و طول ساقه: نتایج عملکرد زیست توده نشان داد برهمکنش نانوذرات و نوع نانوذرات و برهمکنش نانوذرات و ورمی‌کمپوست معنی‌داری شد. نتایج شاخص برداشت نشان داد برهمکنش میزان نانوذرات در نوع نانوذرات معنی‌دار و در نتایج طول ساقه کلیه برهمکنش‌های دوگانه معنی‌دار شد (جدول ۳). با افزایش میزان هر دو نانوذرات عملکرد زیست توده کاهش یافت. در سطوح یکسان نانوذرات (به‌جزء ۱/۲۰ گرم بر کیلوگرم) تفاوت معنی‌داری بین نانوذرات اکسید مس و اکسید روی مشاهده نگردید و در سطح ۱/۲۰ گرم بر کیلوگرم نانوذرات عملکرد زیست توده در نانوذرات اکسید روی بیشتر از نانوذرات اکسید مس بود (جدول ۵). عملکرد زیست توده با افزایش نانوذرات در سطوح مختلف ورمی‌کمپوست کاهش یافت. در سطوح یکسان نانوذرات (به جزء سطح شاهد) تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف ورمی‌کمپوست مشاهده نگردید و در سطح شاهد نانوذرات با افزایش ورمی‌کمپوست عملکرد زیست توده افزایش یافت (جدول ۸). کاهش عملکرد زیست توده گیاهی در پاسخ به تنش فلزات سنگین مختلف توسط گروهی از محققین نیز گزارش شده است (ماشوری و دوبی، ۲۰۰۸؛ ال کورنی، ۲۰۰۹؛ لو، ۲۰۱۰)

با افزایش میزان هر دو نانوذرات شاخص برداشت و طول ساقه کاهش یافت. در سطوح یکسان نانوذرات (به جزء سطح شاهد) شاخص برداشت و طول ساقه در نانوذرات اکسید روی بیشتر از نانو ذره دیگر بود (جدول ۵). با توجه به معنی‌دار بودن برهمکنش نانوذرات در ورمی‌کمپوست مشاهده گردید با افزایش نانوذرات در کلیه سطوح ورمی‌کمپوست طول ساقه کاهش یافت. در سطوح یکسان نانوذرات از نظر این صفت تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف ورمی‌کمپوست مشاهده نگردید (جدول ۸). همچنین طول ساقه در نانوذرات اکسید مس با افزایش ورمی‌کمپوست کاهش یافت و در نانوذرات اکسید روی تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف ورمی‌کمپوست مشاهده نگردید و در سطوح یکسان ورمی‌کمپوست طول ساقه در نانوذرات اکسید روی بیشتر از نانوذرات اکسید مس بود (جدول ۹). بنابراین احتمالا نانوذرات قادر به افزایش نفوذپذیری دیواره سلول گیاهی بوده و با ایجاد منافذ در دیواره به سلول‌ها نفوذ می‌کنند بعد از ورود به سلول نانوذرات ممکن است از بین سلول‌ها از طریق پلاسمودسماتا انتقال یابند و به سلول‌های ساقه برسند و سبب کاهش رشد ساقه گردند. نتایج مشابهی در آزمایش ون و همکاران (۱۹۸۸) و کوپیک و منیس (۲۰۰۶) گزارش گردیده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل نانوذرات و ورمی‌کمپوست بر عملکرد زیست توده و طول ساقه لوبیا چیتی

نانوذرات (گرم بر کیلوگرم)	عملکرد زیست توده (گرم)			طول ساقه (سانتی متر)		
	میزان ورمی‌کمپوست (درصد وزنی بستر)					
	۲/۵	۵	۷/۵	۲/۵	۵	۷/۵
۰	۱۷/۱۹^{b}	۲۱/۵۵^{a}	۲۰/۹۰^{a}	۱۰۷/۰۱^{ab}	۱۰۸/۱۰^{ab}	۱۰۹/۴۰^{a}
۰/۴	۱۴/۸۶^{c}	۱۳/۸۴^{cd}	۱۳/۲۹^{cde}	۱۰۶/۳۶^{abc}	۱۰۳/۷۳^{bcd}	۱۰۲/۱۳^{cd}
۰/۸	۱۱/۵۹^{ef}	۱۱/۷۴^{def}	۱۱/۴۳^{ef}	۱۰۳/۶۸^{bcd}	۱۰۲/۰۶^{cd}	۱۰۰/۱۶^{de}
۱/۲	۱۰/۲۱^{fg}	۸/۸۷^{g}	۱۰/۳۱^{fg}	۱۰۱/۷۶^{cde}	۹۹/۶۱^{de}	۹۷/۰۶^{e}

در هر ستون و ردیف اعداد دارای حداقل یک حرف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح ۵٪ فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع نانوذرات و ورمی‌کمپوست بر طول ساقه لوبیا چیتی

نوع نانوذرات	اکسید مس			اکسید روی		
	میزان ورمی‌کمپوست (٪ وزنی بستر)					
طول ساقه (سانتی‌متر)	۲/۵	۵	۷/۵	۲/۵	۵	۷/۵
	۱۰۲/۶۳^{bc}	۱۰۰/۹۳^{cd}	۹۸/۳۰^{d}	۱۰۶/۷۸^{a}	۱۰۵/۸۲^{ab}	۱۰۶/۰۸^{ab}

در هر ردیف اعداد دارای حداقل یک حرف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح ۵٪ فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

تجمع مس و روی در دانه و پروتئین دانه: نتایج پروتئین دانه و غلظت مس و روی در دانه نشان داد برهمکنش نانوذرات، نوع نانوذرات و ورمی‌کمپوست معنی‌دار شد (جدول ۳).

مقدار پروتئین دانه در کلیه سطوح ورمی‌کمپوست با افزایش نانوذرات اکسید مس و اکسید روی کاهش یافت. پروتئین دانه با افزایش ورمی‌کمپوست در سطوح شاهد و ۰/۴۰ گرم بر کیلوگرم نانوذرات افزایش و در سطوح ۰/۸۰ و ۱/۲۰ کاهش یافت. در سطوح یکسان نانوذرات و ورمی‌کمپوست (به‌جزء سطح شاهد نانوذرات در سطح ۲/۵۰ درصد وزنی ورمی‌کمپوست) میزان پروتئین دانه در نانوذرات اکسید روی بیشتر از نانوذرات اکسید مس بود. بیشترین مقدار در سطح شاهد نانوذرات اکسید روی در سطح ۷/۵۰ درصد وزنی ورمی‌کمپوست حاصل گشت (جدول ۴). در صورت مصرف نانوذرات اکسید مس، پروتئین دانه در سطوح ۲/۵۰، ۵ و ۷/۵۰ درصد وزنی ورمی‌کمپوست به‌ترتیب ۱/۸۰، ۳/۷۵ و ۶/۴۱ درصد کاهش و در صورت مصرف نانوذرات اکسید

Archive of SID

www.SID.ir

روی در سطوح ۲/۵، ۵ و ۷/۵ درصد وزنی ورمی‌کمپوست به‌ترتیب ۰/۴، ۳/۳۱ و ۶/۱۱ درصد کاهش یافت (جدول ۴).

در سطوح یکسان نانوذرات اکسید مس و اکسید روی (به‌جزء سطح شاهد) با افزایش ورمی‌کمپوست غلظت مس و روی در دانه افزایش یافت (جدول ۴). طبق نتایج حاصل از آزمایشی در ترکیه، با کاربرد ورمی‌کمپوست در خاک، غلظت روی و مس قابل جذب خاک نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری پیدا کرد (ردوان، ۲۰۰۴). در کلیه سطوح ورمی‌کمپوست با افزایش نانوذرات اکسید مس و اکسید روی غلظت مس و روی در دانه افزایش یافت. در سطوح یکسان نانوذرات و ورمی‌کمپوست غلظت روی در دانه بیشتر از مس بود (جدول ۴). نتایج مشابهی در آزمایش ون و همکاران (۱۹۸۸)، یورکلی و پورگالی (۲۰۰۶) و لین و زینگ (۲۰۰۷) مشاهده گردید. جذب مس کمتر از روی بود که نشان دهنده حساسیت بیشتر گیاهان به این نانو ذره بود. با توجه به این‌که سلول‌های گیاهی دارای دیواره سلولی نیمه نفوذپذیرند، بنابراین مولکول‌های با اندازه کمتر از چند نانومتر می‌توانند از دیواره سلولی عبور کنند (استومن و همکاران، ۲۰۰۲) بنابراین با عبور نانوذرات از سلول‌های گیاهی احتمالا این نانوذرات از طریق آوندها و همراه مواد غذایی به دانه‌ها رسیده و در آن‌ها تجمع یافته‌اند. همچنین احتمالا به‌دلیل اندازه کوچک‌تر نانوذرات اکسید روی نسبت به نانوذرات اکسید مس میزان جذب و تجمع آن در دانه از نانو ذره دیگر بیشتر بود.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد با افزایش میزان نانوذرات اکسید مس و اکسید روی رشد و عملکرد گیاه کاهش یافت و همچنین این نانوذرات توسط گیاه جذب گردیده و در دانه‌ها تجمع یافتند. بنابراین لازم است در مورد سمیت، نحوه مصرف و ورود نانوذرات به محیط‌زیست و اثرات زیست‌محیطی آن‌ها بر رشد و عملکرد گیاهان تحقیقات کافی به عمل آید.

منابع

1.Ali, A., and Alqurainy, F. 2004. Activities of antioxidants in plants under environmental stress. Dep. Of Botany, Faculty of Science, Zagazig University, Zagazig, Egypt. Pp: 1-50.
2.Al-Qurainy, F. 2009. Toxicity of heavy metals and their molecular detection on *Phasolus vulgaris* (L.). Aust. J. Basic. Appl. Sci. 3: 3025-3035.

Archive of SID

www.SID.ir

3.An, Y.J. 2004. Soil ecotoxicity assessment using Cadmium sensitive plants. Environ. Pollut. 127: 21-26.
4.Bradford. M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical. Biochemistry 72: 248–254.
5.Cavender, N.D., Atiye, R.M., and Knee, M. 2003. Vermicompost stimulates mycorrhizal colonization of roots of *Sorghum bicolor* at the expense of plant growth. Pedobiol. 47: 85-89.
6.Dimitrioss, T., Saionk, S. and Jason C.W. 2009. Assay-dependent phytotoxicity of nanoparticles to plants. Environ. Sci. Technol. 43: 9473–9479.
7.Edwards, C.A. 1998. The use of earthworms in the breakdown and management of organic wastes. In C.A. Edwards, ed. Earthworm Ecology. St. Lucie Press, Boca Raton, FL, USA. P.327-354
8.Isla, R., and Aragues, R. 2010. Yield and plant ion concentrations in maize (*Zea mays* L.) subject to diurnal and nocturnal saline sprinkler irrigations. Field Crops Res. 116: 175–183.
9.Ke, W.S., Xiong, Z.T., Chen, S., and Chen, J. 2007. Effects of copper and mineral nutrition on growth, copper accumulation and mineral element uptake in two *Rumex japonicas* populations from a copper mine and an uncontaminated field sites. Environ. Exp. Bot. 59: 59-67.
10.Kinnersley, R.P., and Scott, L.K. 2001. Aerial contamination of fruit through wet deposition and particulate dry deposition. J. Environ. Radioact. 52: 191-213.
11.Kopittke, P.M., and Menzies, N.W. 2006. Effect of Cu toxicity on growth of cowpea (*Vigna unguiculata*). Plant and Soil. 279: 287-296.
12.Laspina, N.V., Groppa, M.D., Tomaro, M.L., and Benavides, M.P. 2005. Nitric oxide protects sunflower leaves against Cd-induced oxidative stress. Plant Sci. 169: 323-330.
13.Lee, W.M., An, Y.J., Yoon, H., and Kweon, H.S. 2008. Toxicity and bioavailability of copper nanoparticles to the terrestrial plants mung bean (*Phaseolus radiatus*) and wheat (*Triticum aestivum*): plant agar test for water-insoluble nanoparticles. Environ. Toxic. Chem. 27: 1915-1921.
14.Lindsay, W.L. 1972. In Micronutrients in Agriculture. Madison, Wis.: Soil Science Society of America. Adv. Agron. 24: 147-86.
15.Lin, D.H., and Xing, B.S. 2007. Phytotoxicity of nanoparticles: inhibition of seed germination and root growth. Environ. Pollution. 150: 243-250.
16.Lin, D.H, and Xing, B.S. 2008. Root uptake and phytotoxicity of ZnO nanoparticles. Environ. Sci. Technol. 42: 5580–5585.
17.Lopez-Moreno, M.L., De La Rosa, G., Hernandez-Viezcas, J.A., 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

Archive of SID

www.SID.ir

CeO_2 nanoparticles on soybean *(Glycine max)* plants. Environ. Sci. Technol. 44: 7315–7320.
18. Luo, Z.B., He, X.J., Chen, L., Tang, L., Gao, S. and Chen, F. 2010. Effects of zinc on growth and antioxidant responses in *Jatropha curcas* seedlings. Int. J. Agri. Biol. 12: 119-124.
19. Malakoti, M.J., and Lotfollahi, M.A. 1998. The role of zinc in increasing quantitative and qualitative of agriculture crops and inproving society health (zinc forgotten elemental). Politics of High council decrease of using poisones and the best use of chemical manures, agriculture ministry, Keshavarzi Amozesh press. 193 p.
20. Maheshwari, R. and Dubey, R.S. 2008. Inhibition of ribonuclease and protease activities in germinating rice seeds exposed to nickel. Acta. Physiol. Plant. 30: 863-872.
21. Mengel, K., and Kirkby, E.A. 1982. Principles of Plant Nutrition. 3d ed. Bern: International Potash Institute.
22. Rico, C.M., Majumdar, S., Duarte-Gardea M., Peralta-Videa, J.R., and Gardea-Torresdey, J.L. 2011. Interaction of Nanoparticles with Edible Plants and Their Possible Implications in the Food Chain. J. Agri. Food. Chem. 59: 3485–3498.
23. Ridvan, K. 2004. Cu and Zn accumulation in earth worm *Lumbricus terrestrist* in sewag sludge amended soil and fraction of Cu and Zn casts and surrounding. Soil. Sci. 22: 141-145.
24. Sarmadnia, Gh., and Koocheki, A. 1996. Crops Physiology. Mashhad jehad. Daneshgahi Press. Sixth Edition. 467 p.
25. Stoimenov, P.K., Klinger, R.L., Marchin, G.L., and Klabunde, K.Y. 2002. Metal oxide nanoparticles as bactericidal agents. Langmuir. 18: 6679-6686.
26. Taiz, L., and Zeiger, E. 1998. Plant Physiology, 2nd ed.; Sinauer: Sunderland, M.A.
27. Van Assche, F., Cardinaels, C., and Clijsters, H. 1988. Induction of enzyme capacity in plants as a result of heavy metal toxicity: Dose-Response relations in *Phaseolus vulgaris* L., treated with zinc and cadmium. Environ. Pollution. 52: 103-115.
28. Vassilev, A., Lidon, F., Ramalho, J.C., Doceumatos, M., and Graca, M. 2003. Effects of excess Cu on growth and photosynthesis of Na^+/H^+ ant port in the tonoplast. Planta. 224: 545-555.
29. Vinit-Dunand. F, Epron, D., Alaoui-Sosse, B., and Badot, P.M. 2002. Effects of copper on growth and on photosynthesis of mature and expanding leaves in cucumber plants. Plant Sci. 163: 53–58.
30. Yurekli, F., and Porgali, Z.B. 2006. The effect of excessive exposure to copper in bean plants. Acta Biol. Cracov. Bot. 48: 7-13.

Archive of SID

www.SID.ir

EJCP., Vol. 6 (2): 33-49
http://ejcp.gau.ac.ir

The effect of vermicompost containing copper oxide (CuO) and zinc oxide (ZnO) nanoparticles on some characteristics of the wax bean

***F. Behboudi[1], E. Allahdadi[2] and E. Mohamadi Goltape[3]**
[1] M.Sc., Department of Agronomy, Tehran University, Tehran, Iran [2]Associate Professor, Agronomy Department, Tehran University, Tehran, Iran [3]Professor in Plant Pathology, Agronomy Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
Received: 11/11/2012 ; Accepted: 09/01/2013

Abstract

In order to study the effect of vermicompost containing copper oxide and zinc oxide nanoparticles on wax beans, an experiment with factorial arrangement were conducted based on a randomized complete block design in three replications. The treatments were as follows: nanoparticles in 4 levels (0, 0.4, 0.8 and 1.2 g/kg weight of substrate), vermicompost in 3 levels (2.5, 5 and 7.5 g/kg^{-1} weight of substrate) and kind of nanoparticles in 2 levels (copper oxide and zinc oxide). After preparation of substrates, adult worm of *Eisenia fetida* species was added and after a week nanoparticles solution were added to substrate. After three months, vermicompost prepared according to the weight of cultivation substrate and was mixed with soil; then, wax bean seeds were sowed as a wet planting. Results showed, with increasing copper oxide and zinc oxide nano particles; pod length, number of pod in bush, biological yield, grain yield, harvest index and grain protein decreased and copper and zinc concentration in grain increased. In similar level nanoparticles (except first level), pod length, number of pod in bush, grain yield, weight of hundred grains, stem length and harvest index in zinc oxide nanoparticles were more than copper oxide nanoparticles. The least pod length, number of pod in plant, weight of pod, grain yield and harvest index obtained from the forth level of copper oxide nanoparticle. Also absorption and accumulation of zinc oxide nanoparticles in grain was more than copper oxide nanoparticles.

Keywords: Nanoparticles, Zinc oxide, Copper oxide, Vermicompost, Wax bean

*Corresponding author; Behboudi.e@gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir