تأثیر بسترهای مختلف آلی بر رشد و اجزای عملکرد لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت تنش فلزات سنگین

حمیدرضا بلوچی[1*]، فاطمه امینی [2]، محسن موحدی دهنوی[1]، محمود عطارزاده [4]

تاریخ دریافت: ۹٤/۹/۱   تاریخ پذیرش: ۹٤/۱۲/۲۲

۱- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

۳- دانشجوی دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

*مسئول مکاتبه: balouchi@yu.ac.ir

چکیده

فلزات سنگین از مهم‌ترین آلاینده‌ها در محیط زیست به شمار می‌روند. یک رویکرد برای کاهش تجمع فلزات سنگین در گیاهان استفاده از بسترهای مختلف کاشت است. به منظور بررسی تأثیر فلزات سنگین بر رشد و اجزا عملکرد لوبیا چیتی (رقم صدری) آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشگاه یاسوج در سال ۱۳۹۲ اجرا گردید. عامل اول شامل پنج سطح فلزات سنگین (شاهد بدون فلز سنگین، نیترات کادمیوم، نیترات سرب، نیترات نیکل و سولفات مس) و عامل دوم شامل بسترهای مختلف کاشت در چهار سطح عدم کاربرد ترکیبات آلی، کمپوست، ورمی‌کمپوست و خاکاره سپیدار بود. نتایج نشان داد که افزودن ورمی‌کمپوست میزان ارتفاع بوته و طول ریشه را به ترتیب در شرایط بدون فلزات سنگین ۵۳ و ۸۸٪، نیترات نیکل ٦۱ و ۳۵٪، نیترات سرب ٦۳ و ۱۷٪ و سولفات مس ۲۵ و ۸۵٪ نسبت به عدم کاربرد ترکیبات آلی افزایش داد. همچنین کاربرد ورمی‌کمپوست سبب افزایش ۸۷ درصدی تعداد غلاف در بوته و دانه در غلاف در تنش نیترات کادمیوم گردید. از سوی دیگر استفاده از ورمی‌کمپوست، کمپوست و خاکاره سپیدار نتوانستند اثرات نامطلوب فلزات سنگین بر وزن دانه در بوته را محدود نمایند. ورمی‌کمپوست سبب افزایش ۱۱ درصدی وزن صد دانه و ۹ درصدی پروتئین لوبیا نسبت به شرایط بدون مواد آلی گردید. در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد ورمی‌کمپوست در خاک‌های آلوده به عناصر سنگین، تا حدودی می‌تواند این خسارات را جبران کند و اثرات نامطلوب تنش فلزات سنگین را بهبود بخشد.

واژه های کلیدی: خاکاره سپیدار، سرب، کادمیوم، کمپوست، ورمی‌کمپوست

Effect of Different Growing Organic Substrates on Growth and Yield Components of Pinto Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under Heavy Metals Stress

Hamidreza Balouchi[1*], Fatemeh Amini[2], Mohsen Movahhedi Dehnavi[1], Mahmood Attarzadeh[3]

Received: November 22, 2015 Accepted: March 15, 2016
1- Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Yasouj University, Iran.
2- MSc Student of Agronomy, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Yasouj University, Iran.
3- PhD. Student of Agronomy, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Yasouj University, Iran.
* Corresponding Author: balouchi@yu.ac.ir

Abstract

Heavy metals are the most important pollutants in the environment. One approach to reduce the accumulation of heavy metals in plants is usage of different growing substrates. In order to investigate of heavy metals effect on growth and yield components of pinto bean (cv. Sadri), a greenhouse experiment was conducted as a factorial based on completely randomized design with three replications in Yasouj university, in 2013. The first factor included of five levels of heavy metals (control without heavy metals, $Cd(NO_3)_2$, $Pb(NO_3)_2$, $Ni(NO_3)_2$ and $CuSO_4$) and the second factor included of four levels of different growing substrates (compost, vermicompost, Populus sawdust and non-application of organic compounds). The results showed that the addition of vermicompost respectively increased plant height and root length in conditions of without heavy metals 53, 88%, nickel nitrate 61, 35%, lead nitrate 63, 17% and copper sulfate 25, 85% compared to non-application of organic compounds. Vermicompost application also increased 87% the number of pods per plant and seed per pod in cadmium nitrate stress. On the other side, use of vermicompost, compost and Populus sawdust could not limit the adverse effects of heavy metals on seed weight per plant. Vermicompost increased hundred grain weights (11%) and protein content of bean (9%) compared to non-organic material conditions. In general, the results of this study showed that application of vermicompost on soil contaminated with heavy metals, to some extent, can improve undesirable effects of heavy metals stress.

Keywords: Cadmium, Compost, Lead, Populus Sawdust, Vermicompost.

مقدمه

سطح فلزات سنگین بیوسفر به طور فزاینده‌ای از زمان شروع انقلاب صنعتی در حال افزایش است و سمیت فلزات سنگین و آلودگی‌های محیطی ناشی از آن‌ها باعث تخریب زمین‌های زراعی و اختلال در فرایندهای رشد و نمو گیاهان می‌گردد (زنگین و مانزگرلو ۲۰۰۵). مطابق تعریف فلزات سنگین عناصری هستند که وزن مولکولی آن‌ها از عنصر آهن سنگین‌تر و وزن مخصوص آن‌ها بیشتر از ٤/٥ گرم بر سانتی متر مکعب می‌باشد. فلزات سنگینی مانند مس، نیکل و کبالت میل ترکیبی شدید با گروه‌های آهن سولفیدریل (SH) دارند و آنزیم‌ها را متلاشی کرده و قدرت آنزیمی آن‌ها را از بین می‌برند. این فلزات قابلیت تجمع در بافت‌های حیوانی و گیاهی را دارند. فلزات سنگین شامل عناصر

نیکل (وزن مولکولی ۵۸/٦۹)، سرب (وزن مولکولی ۲۰۷/۲)، جیوه (وزن مولکولی ۲۰۰/۵۹)، مس (وزن مولکولی ٦۳/۵۵)، کروم (وزن مولکولی ۵۱/۹۹) و کادمیوم (وزن مولکولی ۱۱۲/٤۱) هستند. منابع طبیعی و انسانی بسیاری وجود دارند که می‌توانند باعث تجمع غلظت‌های بالایی از فلزات شوند، که می‌توان آن‌ها را به منابع طبیعی، کشاورزی، صنعتی، شهری و حمل و نقل تقسیم کرد (کافی و همکاران ۱۳۸۸). فلزات سنگین با تجمع در دیواره سلول، ورود به سیتوپلاسم و ایجاد اختلال در متابولیسم طبیعی سلول منجر به کاهش رشد می‌شوند (یاداو ۲۰۱۰). انباشته شدن فلزات سنگین در محیط ریشه سبب کاهش جذب آب و عناصر غذایی، مهار فعالیت آنزیم‌ها، کاهش متابولیسم سلولی، کاهش فتوسنتز، کاهش جذب و در نتیجه مهار رشد، تسریع پیری و حتی مرگ گیاه می‌شود (کانتری ۲۰۰٦). میزان سمیت هر عنصر در گیاهان مختلف متفاوت و بسیار پیچیده می‌باشد که بستگی به گونه گیاهی، نوع عنصر، غلظت آن، اسیدیته خاک و نوع ترکیبات خاک دارد. بسیاری از عناصر برای رشد گیاه ضروری هستند. با این وجود، مقدار بیش از حد یک عنصر ضروری یا غیر ضروری می‌تواند اثر مخربی بر رشد و نمو گیاه داشته باشد. بنابراین گیاهان باید عناصر ضروری را تا حد پایین‌تر از آستانه سمیت جذب و از جذب عناصر غیرضروری اجتناب ورزند (کافی و همکاران ۱۳۸۸).

کاهش رشد رویشی گیاه در اثر کاربرد فلزات سنگین همانند کادمیوم و مس در لوبیا (هاولادر ۲۰۱٤)، نخود (فیاضان و همکاران ۲۰۱۱) و ذرت (پوراکبر و ابراهیم‌زاده ۱۳۹۲) گزارش شده است. همچنین کاهش عملکرد گیاهان یونجه، ذرت و نخود ایرانی در شرایط تنش فلزات سنگین گزارش شده است (ایرفان و همکاران ۲۰۱۳).

اضافه کردن مواد آلی به خاک جهت رفع سمیت فلزات سنگین یکی از روش‌های اصولی و مطمئن است. ترکیبات آلی خاک می‌تواند کربن محلول در خاک را افزایش دهد (هانس و همکاران ۲۰۰۹). این امر به این علت است که خود مواد آلی به عنوان منبع کربن عمل می‌کنند. کربن آلی محلول با فلزات کمپلکس فلز-کربن را تشکیل می‌دهد که از قابلیت جذب این عناصر توسط گیاهان و حتی ریز جانداران می‌کاهد (هان و لی ۱۹۹٦). عموماً یکی از علل افزایش رشد و فعالیت‌های گیاهان در خاک آلوده به عناصر سنگین بر اثر افزودن مواد آلی، افزایش کربن آلی کل و کربن آلی محلول است که سبب ایجاد محیطی مناسب جهت رشد گیاه می‌شوند (هانس و همکاران ۲۰۰۹). از سوی دیگر محصولات جانبی کشاورزی از جمله ورمی‌کمپوست به دلیل هزینه کم و فراوانی زیاد آن‌ها و به علت دارا بودن گروه‌های عامل از قبیل هیدروکسیل، کربوکسیل و فنل و میل ترکیبی قوی با فلزات سنگین، از بین جاذب‌های مختلف برای حذف فلزات سنگین مناسب‌تر می‌باشند (جادیا و فولکار ۲۰۰۸).

نتایج بدست آمده توسط محققان نشان می‌دهد که ورمی‌کمپوست در خاک حاوی نیترات سرب، سبب کاهش جذب سرب در برگ‌ها و ساقه لوبیا چشم بلبلی گردید و چنین به نظر می‌رسد که وجود ورمی‌کمپوست در خاک، انتقال سرب توسط گیاه را محدود کرده است (کارسکوورو دوران و همکاران ۲۰۰٦). در تحقیقی دیگر پارک و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که کاربرد کمپوست، کادمیوم قابل تبادل را حدود ۷۰٪ کاهش داد و بر کاهش مسمومیت گیاهی نیز مؤثر بود. از آنجایی که تنش فلزات سنگین عامل محدودکننده‌ای برای رشد و عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی محسوب می‌شود و از سوی دیگر با توجه به گزارش‌هایی مبنی بر اثرات مثبت کودهای آلی در تحمل گیاهان به تنش فلزات سنگین، هدف از پژوهش حاضر بررسی خصوصیات رویشی و اجزای عملکرد لوبیا در شرایط تنش فلزات سنگین کادمیوم، سرب، نیکل و مس همراه با بستر کمپوست، ورمی‌کمپوست و خاکاره سپیدار می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور بررسی تأثیر فلزات سنگین و ترکیبات مختلف بستر کاشت بر تغییر خصوصیات رویشی و اجزای عملکرد گیاه لوبیا چیتی رقم صدری در سال ۱۳۹۲ در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج اجرا گردید. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملا تصادفی با سه تکرار و بر روی گیاه لوبیا چیتی (با حفظ دو بوته در هر گلدان) اجرا گردید. فاکتور اول شامل چهار نوع از فلزات سنگین (نیترات کادمیوم، نیترات سرب، نیترات نیکل و سولفات مس هر یک با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و شاهد بدون کاربرد فلز سنگین) و فاکتور دوم شامل ترکیب‌های مختلف بستر کاشت با چهار ترکیب (عدم کاربرد ترکیبات آلی، کمپوست، ورمی‌کمپوست و خاکاره سپیدار) بود. غلظت فلزات سنگین در خاک و ترکیبات آلی قبل از اعمال تیمارهای فلزات سنگین در آزمایشگاه آب و خاک فارس اندازه‌گیری شد که در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- غلظت فلزات سنگین در خاک و ترکیبات بستر کاشت مورد آزمایش

ترکیبات بستر کاشت	کادمیوم	سرب	نیکل	مس
	(میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک خاک)			
خاک	۲/۱۸	۲۹/۷٤	۷۰/۳۰	۱/۹۷
ورمی‌کمپوست	۸/۸۳	۳۱/٦۸	۳۸/۳۷	۳/۰۰
کمپوست	٦/۹۰	۳٤/٥۱	۲۲/٦۰	۱۰/۰۰
خاکاره سپیدار	۲/۱۰	۲/٤۰	۱/۲۰	۱/٦۰

ابتدا خاک و شن را از الک یک سانتی‌متری عبور داده و آن‌ها را به ترتیب به نسبت چهار به یک مخلوط کرده و سپس ترکیب‌های آلی خاک با نسبت پنج درصد وزنی (بر مبنای وزن پایه خشک) به طور دستی با خاک هر گلدان مخلوط شد (آنجلوا و همکاران ۲۰۱۰). در مرحله‌ی بعد فلزات سنگین نیترات کادمیوم، نیترات سرب، نیترات نیکل و سولفات مس با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک توسط افشانه به خاک‌های تقویت شده (با کودها و خاکاره سپیدار) اضافه شد (جادیا و فولیکر ۲۰۰۸). سپس گلدان‌های کشت با هفت کیلوگرم از خاک فوق پر گردید. بعد از گذشت یک ماه (به دلیل یکنواخت شدن فلز سنگین با خاک) کاشت صورت گرفت. لازم به ذکر است که قبل از کاشت ۰/۳ گرم کود فسفات آمونیوم در لایه‌ی یک سانتی‌متری زیر بذر قرار داده شد (معادل ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و ۰/۵ گرم کود اوره (معادل ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) همراه با اولین آب آبیاری به هر گلدان داده شد، ۰/۵ گرم دیگر کود اوره (معادل ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) نیز به صورت سرک طی مرحله گلدهی همراه با آب آبیاری اضافه گردید. طی دوره رشد، آبیاری گلدان‌ها به فراخور نیاز آبی گیاه انجام شد و نمونه‌برداری (در مرحله ۵۰٪ گلدهی) انجام گرفت. جهت اندازه‌گیری صفات رویشی در مرحله‌ی رسیدگی فیزیولوژیکی، ارتفاع بوته با استفاده از متر و وزن خشک شاخساره و ریشه نیز پس از شست‌و شو با آب مقطر و خشک شدن در آون در دمای ۷۵ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۲٤ ساعت با ترازویی با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن گردید. عملکرد (وزن دانه در بوته) و اجزای عملکرد (تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه و درصد پروتئین دانه) در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی از کل بوته‌های یک گلدان اندازه‌گیری گردید و سپس

میانگین‌گیری شد. میزان پروتئین بذر به روش کجلدال و با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه شد (امامی ۱۳۷۵).

رابطه [۱] $((V)/P \times 0/0014 \times N) \times 100)$ = درصد نیتروژن

P وزن نمونه بر حسب گرم، V حجم اسید سولفوریک مصرفی در مرحله تیتراسیون بر حسب میلی‌لیتر و N نرمالیته اسید سولفوریک

رابطه [۲] ۶/۲۵ × درصد نیتروژن = درصد پروتئین دانه

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS صورت پذیرفت و مقایسات میانگین با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای صفاتی که اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار گردید، برش‌دهی نیز انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون L.S.Means در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ترکیبات آلی خاک، فلزات سنگین و برهمکنش بین آن‌ها بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۲). نتایج برش‌دهی ترکیبات آلی خاک برای فلزات سنگین نشان داد که ارتفاع بوته در سطح شاهد (فاقد فلز)، نیترات سرب، نیترات نیکل و سولفات مس در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۳).

مقایسه میانگین نشان داد که در سطح شاهد (بدون تنش فلزات سنگین) بیشترین ارتفاع بوته در کمپوست به میزان ۱۸۰/۶۷ سانتی‌متر و کم‌ترین آن در کاربرد خاکاره سپیدار با میانگین ۱۰۰/۳۳ سانتی‌متر بدست آمد. همچنین کاربرد کمپوست با ورمی‌کمپوست و کاربرد خاکاره سپیدار با عدم کاربرد ترکیبات آلی نیز با یکدیگر فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بودند (جدول ٤). در نیترات کادمیوم تمامی سطوح ترکیبات آلی خاک با یکدیگر فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بودند. در نیترات سرب، بیشترین میزان ارتفاع بوته مربوط به کاربرد ورمی‌کمپوست با میانگین ۱٦٦ سانتی‌متر و کم‌ترین آن مربوط به کاربرد کمپوست با میانگین ۸۹/۳۳ سانتی‌متر بود. همچنین عدم کاربرد ترکیبات آلی با کاربرد کمپوست و خاک اره سپیدار تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ٤). در نیترات نیکل، بیشترین میزان ارتفاع بوته به میزان ۱۸۵/٦٦ سانتی‌متر مربوط به کاربرد ورمی‌کمپوست و کم‌ترین مقدار این صفت مربوط به کاربرد خاکاره سپیدار (۱۰۲ سانتی‌متر) بود که با سطح عدم کاربرد ترکیبات آلی و کمپوست اختلاف معنی‌داری نشان نداد. در سولفات مس نیز بیشترین میزان ارتفاع بوته مربوط به کاربرد ورمی‌کمپوست با میانگین ۱۷۷ سانتی‌متر و کم‌ترین مقدار این صفت مربوط به کاربرد خاکاره سپیدار با میانگین ۱۲۲/۳۰ سانتی‌متر مشاهده شد. نتایج بدست آمده در این تحقیق نشان می‌دهد که فلزات سنگین به غیر از سولفات مس، ارتفاع بوته را نسبت به سطح شاهد (بدون فلزات سنگین) کاهش دادند. بیشترین میزان ارتفاع بوته در سطح سولفات مس و کم‌ترین مقدار این صفت در سطح نیترات کادمیوم مشاهده شد.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات ارتفاع بوته، طول ریشه، وزن خشک شاخساره و ریشه در لوبیا تحت تأثیر تنش فلزات سنگین و ترکیبات آلی خاک

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		ارتفاع بوته	طول ریشه	وزن خشک شاخساره	وزن خشک ریشه
ترکیبات آلی خاک	۳	۹۷٦٦/٤٦**	٥١٨/٥٧ **	٤٣/٥٢ **	٣/٥٢**
فلزات سنگین	٤	٤٨١١/٥٥ **	٦٨/٦٦**	١٦/٥٧ **	٠/٨٢ **
فلزات سنگین× ترکیبات آلی	١٢	٢٤/٤١**	٩٤/٨٧ **	٤/٣١ **	٠/٢٣**
اشتباه آزمایشی	٤٠	١٠/٩٥	٥/٦٠	٠/٨٦	٠/٠٢
ضریب تغییرات (٪)	-	١٥/٧٩	٨/٢٣	١٢/٢٢	١٤/٦٨

** نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد میباشد.

جدول ۳-نتایج تجزیه واریانس برش‌دهی اثر ترکیبات آلی خاک در سطوح مختلف فلزات سنگین برای ارتفاع بوته، طول ریشه، وزن خشک شاخساره و ریشه در لوبیا

انواع فلزات سنگین	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		ارتفاع بوته	طول ریشه	وزن خشک شاخساره	وزن خشک ریشه
شاهد (فاقد فلز)	٣	٤٩٤٨/٩٧ **	١٩٦/٩٣ **	٤/٢٣ **	٠/٥٤ **
نیترات کادمیوم	٣	٣٢٥/٨٨ n.s	٤٤/١٩ **	٣/٨٤ **	٠/١١ **
نیترات سرب	٣	٣٨٥٣/٤١ **	٣١٢/٣٣ **	١٤/٥٤ **	٠/٧٩ **
نیترات نیکل	٣	٤٢٦١/٨٦ **	١٤١/٧٥ **	٢٨/٥٥ **	١/٦٦ **
سولفات مس	٣	١٥٩٣/٢٢ **	٢٠٢/٨٥ **	٩/٦١ **	١/٣١ **

ns و ** بیانگر به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد.

کاهش ارتفاع بوته با کاربرد غلظت بالای کادمیوم در لوبیا (هاولادر ٢٠١٤) و نخود (فیاضان و همکاران ٢٠١١) با نتایج مطالعه‌ی حاضر مطابقت دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که این فلز بر تقسیم و رشد سلول‌ها، تقسیم سلولی منطقه مریستمی و تنظیم رشد و نمو گیاهان اثر می‌گذارد و باعث کاهش تعداد گره‌ها و فاصله بین آن‌ها می‌شود و به دنبال آن ارتفاع گیاه کاهش می‌یابد (داس و همکاران ٢٠٠٢). پوراکبر و ابراهیم‌زاده (١٣٩٢) گزارش کردند که با افزودن سولفات مس طول اندام هوایی در گیاه ذرت افزایش یافت که با نتایج مطالعه‌ی حاضر هم‌خوانی دارد. نتایج بدست آمده در این تحقیق نشان می‌دهد که افزودن ورمی‌کمپوست میزان ارتفاع بوته را در شرایط بدون فلزات سنگین، نیترات نیکل، نیترات سرب و سولفات مس به طور معنی‌داری نسبت به شرایط بدون ترکیبات آلی (شاهد) افزایش داد. از جمله دلایل تأثیر ورمی‌کمپوست بر افزایش ارتفاع را می‌توان تأثیر مثبت کاربرد این ماده بر خواص فیزیکی خاک دانست که موجب بهبود ساختمان خاک، افزایش خلل و فرج و بهبود تهویه خاک می‌شود. از سوی دیگر ورمی‌کمپوست دارای مقادیری مواد غذایی بوده که قابلیت جذب توسط گیاهان را افزایش می‌دهد (بارتال و همکاران ٢٠٠٤).

جدول ۴- مقایسه میانگین ترکیبات آلی بستر کاشت در سطوح مختلف فلزات سنگین برای ارتفاع بوته، طول ریشه، وزن خشک شاخساره و ریشه در لوبیا

فلزات سنگین	ترکیبات آلی خاک	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	طول ریشه (سانتی‌متر)	وزن خشک شاخساره (گرم بر بوته)	وزن خشک ریشه (گرم بر بوته)
شاهد (فاقد فلز)	عدم کاربرد ترکیبات آلی	۱۱۰/۰۰ b	۲۱/۳٦ c	٦/۸۱ ab	۰/٦٤ c
	کمپوست	۱۸۰/٦۷ a	۳۱/٦۱ b	۸/۹۲ a	۱/۱٦ b
	ورمی‌کمپوست	۱٦۸/٦۷ a	٤۰/۱٦ a	۸/۰٦ ab	۱/۵۷ a
	خاکاره سپیدار	۱۰۰/۳۳ b	۲۵/۹۱ c	٦/۳۰ b	۰/۷٤ c
	میانگین	۱۳۹/۹۱	۲۹/۷٦	۷/۵۲	۱/۰۲
نیترات کادمیوم	عدم کاربرد ترکیبات آلی	۱۰۰/٦٦ a	۲۱/۳۳ c	۵/۲۷ b	۰/۵٦ bc
	کمپوست	۸٤/۰۰ a	۳۰/۲۵ a	۵/۸۳ ab	۰/٦۸ b
	ورمی‌کمپوست	۱۰۸/۳۳ a	۲٤/۲۱ bc	۷/٦۰ a	۰/۸٦ a
	خاکاره سپیدار	۹۳/۰۰ a	۲۷/۱٦ ab	۵/۱٤ b	۰/٤۰ c
	میانگین	۹٦/٤۹	۲۵/۷۳	۵/۹٦	۰/٦۲
نیترات سرب	عدم کاربرد ترکیبات آلی	۱۰۱/۳۳ b	۳۱/۵۰ b	٦/٦۲ b	۰/۸٦ b
	کمپوست	۸۹/۳۳ b	۲۸/٤۲ b	٦/٤۹ b	۰/۷۲ b
	ورمی‌کمپوست	۱٦٦/۰۰ a	۳۷/۱٦ a	۱۰/٦٤ a	۱/۵۷ a
	خاکاره سپیدار	۹٤/۳۳ b	۱۳/۲۸ c	۵/۷۹ b	۰/۳٤ c
	میانگین	۱۱۲/۷٤	۲۷/۵۹	۷/۳۸	۰/۸۷
نیترات نیکل	عدم کاربرد ترکیبات آلی	۱۱٤/٦٦ b	۲۵/۵۸ c	۷/۵۱ c	۰/۹۰b
	کمپوست	۱۸۰/۰۰ b	٤۰/٦٦ a	۹/۸۹ b	۱/۸۰ a
	ورمی‌کمپوست	۱۸۵/٦٦ a	۳٤/٦۰ b	۱۳/۲٤ a	۲/۱۰ a
	خاکاره سپیدار	۱۰۲/۰۰ b	۲۷/٦٦ c	٦/۲۲ c	۰/۵۱ c
	میانگین	۱۳۰/۰۰	۳۲/۱۲	۹/۲۱	۱/۳۲
سولفات مس	عدم کاربرد ترکیبات آلی	۱٤۱/٦۷ b	۲۰/۱۰ b	۸/۷۹ ab	۰/۹٦ b
	کمپوست	۱۳۸/۳۳ b	۳۳/۷۷ a	۷/۲۷ bc	۰/۹٦ b
	ورمی‌کمپوست	۱۷۷/۰۰ a	۳۷/۱٦ a	۱۰/۰٤ a	۲/۰۱ a
	خاکاره سپیدار	۱۲۲/۳۰ b	۲۳/۰۸ b	۵/۹۳ c	۰/٤۲ c
	میانگین	۱٤٤/۸۲	۲۸/۵۲	۸/۰۰	۱/۰۸

در هر ستون و هر سطح از فلزات سنگین وجود حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده‌ی عدم تفاوت آماری معنی‌دار بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

طول ریشه

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها ترکیبات آلی خاک، فلزات سنگین و برهمکنش آن‌ها بر صفت طول ریشه در سطح احتمال یک درصد اختلاف آماری معنی‌داری داشت (جدول ۲). نتایج برش‌دهی ترکیبات آلی خاک برای فلزات سنگین نشان داد که طول ریشه در شاهد (فاقد فلز) و فلزات سنگین در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف آماری معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در سطح شاهد (بدون تنش فلزات سنگین)، بیشترین میزان طول ریشه در کاربرد ورمی‌کمپوست با میانگین ٤۰/۱٦ سانتی‌متر و کم‌ترین مقدار آن در سطح عدم کاربرد ترکیبات آلی (۲۱/۳٦ سانتی‌متر) حاصل گردید. همچنین عدم کاربرد ترکیبات آلی و خاکاره سپیدار با یکدیگر فاقد اختلاف

آماری معنی‌دار بودند (جدول ٤). در نیترات کادمیوم بیشترین میزان طول ریشه به کاربرد کمپوست با میانگین ۳۰/۲۵ سانتی‌متر مربوط بود و کم‌ترین مقدار این صفت در سطح عدم کاربرد ترکیبات آلی (۲۱/۳۳ سانتی‌متر) به دست آمد. در شرایط نیترات سرب و بستر ورمی‌کمپوست میزان طول ریشه ۳۷/۱٦ سانتی‌متر بود که نسبت به سطوح دیگر ترکیبات بستر کاشت افزاش معنی‌داری نشان داد (جدول ٤). در نیترات نیکل نیز بیشترین میزان طول ریشه به کاربرد کمپوست با میانگین ٤٠/٦٦ سانتی‌متر مربوط بود و کم‌ترین مقدار این صفت در سطح عدم کاربرد ترکیبات آلی (۲٥/٥٨ سانتی‌متر) بدست آمد. در سولفات مس و کاربرد ورمی‌کمپوست میزان طول ریشه ۳۷/۱٦ سانتی‌متر بود که نسبت به کاربرد کمپوست (۳۳/۷۷ سانتی‌متر) اختلاف معنی‌داری نشان نداد، ولی با سایر ترکیبات آلی خاک از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ٤).

چون ریشه‌های گیاهان اولین نقطه‌ی تماس با فاکتورهای سمی فلزات می‌باشند، کاهش طول ریشه در گیاهان در مقایسه با رشد شاخساره‌ها هنگامی که در معرض تیمارهای مختلف کادمیوم و سرب قرار می‌گیرند چشم‌گیر است (کبیر و همکاران ۲۰۰۸). کوپیک و منزیس (۲۰۰٦) نیز در بررسی اثر سمیت مس بر لوبیا چشم بلبلی مشاهده نمودند که در غلظت‌های بالای مس رشد ریشه‌ها کاهش یافت. محققان کاهش طول ریشه در لوبیا در حضور کادمیوم (هاولادر ۲۰۱٤) و کاهش طول ریشه گندم را در حضور فلزات کادمیوم و مس (گاجسکا و اسکیودوسکا ۲۰۱۰) گزارش نمودند. در این پژوهش افزودن ورمی‌کمپوست میزان صفت طول ریشه را در سطح‌های شاهد، نیترات سرب، نیترات نیکل و سولفات مس و افزودن کمپوست آن را در سطح‌های شاهد، نیترات کادمیوم، نیترات نیکل و سولفات مس به طور معنی‌داری نسبت به شرایط بدون ترکیبات آلی (شاهد) افزایش دادند. ساهنی و همکاران (۲۰۰۸) اظهار داشتند که طول ریشه گیاه نخود فرنگی در گلدان‌های تیمار شده با ٥۰ درصد وزنی ورمی‌کمپوست موجب بهبود طول ریشه نسبت به شاهد شدند. آتیه و همکاران (۲۰۰۲) نیز بیان داشتند که ورمی‌کمپوست دارای هومات می‌باشد که از نوع مواد هومیکی است که از مدفوع کرم خاکی در حال تجزیه شدن ناشی می‌شود، این مواد دارای اثرات مشابه تنظیم کننده‌های رشد و هورمون‌ها می‌باشند. وجود مواد هومیکی و مواد آلی در ورمی‌کمپوست، رشد گیاه را تحریک می‌کند.

وزن خشک شاخساره

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد ترکیبات آلی خاک، فلزات سنگین و برهمکنش آن‌ها بر وزن خشک شاخساره در سطح احتمال یک درصد اختلاف آماری معنی‌داری داشت (جدول ۲). نتایج برش‌دهی ترکیبات آلی خاک (جدول ۳) نشان داد که وزن خشک شاخساره در سطوح شاهد (فاقد فلز) و فلزات سنگین در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف آماری معنی‌دار بود. مقایسه میانگین نشان داد که در سطح شاهد (بدون تنش فلزات سنگین)، بیشترین مقدار صفت وزن خشک شاخساره مربوط به کاربرد کمپوست با میانگین ۸/۹۲ گرم بود و کم‌ترین مقدار آن در خاکاره سپیدار (٦/۳۰ گرم) بدست آمد. همچنین کاربرد کمپوست با سطح‌های عدم کاربرد ترکیبات آلی و ورمی‌کمپوست فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بود، ولی با کاربرد خاکاره سپیدار اختلاف آماری معنی‌داری داشت. در سطح نیترات کادمیوم و کاربرد ورمی‌کمپوست، میزان وزن خشک شاخساره ۷/٦۰ گرم بود که نسبت به کاربرد خاکاره سپیدار و شاهد افزایش معنی‌داری (به ترتیب ٥/۱٤ و ٥/۲۷ گرم) نشان داد، اما با کمپوست اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ٤). در شرایط نیترات سرب و نیترات نیکل، بیشترین میزان وزن خشک شاخساره نیز مربوط به کاربرد ورمی‌کمپوست (به ترتیب ۱۰/٦٤ و ۱۳/۲٤

گرم) و کم‌ترین مقدار آن در خاکاره سپیدار بدست آمد. در سطح سولفات مس نیز بیشترین میزان وزن خشک شاخساره به کاربرد ورمی‌کمپوست با میانگین ۱۰/۰٤ گرم مربوط بود و کم‌ترین مقدار این صفت در کاربرد خاکاره سپیدار با میانگین ۵/۹۳ گرم بدست آمد. همچنین کاربرد ورمی‌کمپوست با سطح عدم کاربرد ترکیبات آلی فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بود، ولی با سایر ترکیبات ترکیبات آلی خاک از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ٤). به‌طور کلی در استفاده از ترکیبات آلی در خاک تحت تنش فلزات سنگین بیشترین میزان وزن خشک شاخساره در سطح نیترات نیکل و کم‌ترین مقدار این صفت در سطح نیترات کادمیوم مشاهده شد.

کاهش وزن خشک شاخساره تحت سمیت کلرید کادمیوم توسط هاولادر (۲۰۱٤) در گیاه لوبیا، گیاه نخود (فیاضان و همکاران ۲۰۱۱) و در گیاه گلرنگ (نورانی‌آزاد و کفیل‌زاده ۱۳۹۰) گزارش گردید که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. براساس نظر یاداو (۲۰۱۰) فلزات سنگین با تجمع در دیواره سلول، ورود به سیتوپلاسم و ایجاد اختلال در متابولیسم طبیعی سلول منجر به کاهش رشد می‌شوند. البته فلزات سنگین با کاهش تورژسانس سلول موجبات کاهش تقسیم سلولی و مهار رشد سلول‌ها را فراهم می‌آورند. سومار و همکاران (۲۰۰۳) بیان داشتند احتمالا مقادیر بالای کمپوست سبب افزایش جمعیت میکروبی خاک شده و به تبع آن عناصر غذایی مورد استفاده گیاه کاهش می‌یابد. کاوندر و همکاران (۲۰۰۳) در بررسی اثرات تغذیه‌ای و زیستی ورمی‌کمپوست بر سورگوم مشاهده نمودند که ورمی‌کمپوست سبب افزایش قابلیت دسترسی فسفر، پتاسیم و نیتروژن و به خصوص فسفر در خاک گردید و وزن خشک ساقه افزایش یافت. تولید ماده‌ی خشک بیشتر در سطح ورمی‌کمپوست در مقایسه با سطح شاهد را می‌توان به عرضه‌ی مواد غذایی بیشتر توسط ورمی‌کمپوست مصرف شده و هم‌چنین بهبود شرایط فیزیکی خاک گلدان‌ها در اثر کاربرد آن دانست.

وزن خشک ریشه

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، ترکیبات آلی خاک، فلزات سنگین و برهمکنش آن‌ها بر وزن خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد اختلاف آماری معنی‌داری داشت (جدول ۲). نتایج برش‌دهی ترکیبات آلی خاک نشان داد که در شاهد (فاقد فلز) و فلزات سنگین، وزن خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف آماری معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در سطح شاهد (بدون تنش فلزات سنگین) بیشترین میزان وزن خشک ریشه به کاربرد ورمی‌کمپوست با میانگین ۱/۵۷ گرم مربوط بود و کم‌ترین مقدار این صفت در سطح عدم کابرد ترکیبات آلی (۰/٦٤ گرم) بدست آمد (جدول ٤). در شرایط نیترات کادمیوم، نیترات سرب و سولفات مس نیز بیشترین میزان وزن خشک ریشه مربوط به کاربرد ورمی‌کمپوست و کم‌ترین مقدار این صفت مربوط به کاربرد خاکاره سپیدار بود، همچنین هر دو سطح کمپوست و شاهد با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند. در نیترات نیکل و کاربرد ورمی‌کمپوست، وزن خشک ریشه ۲/۱۰ گرم بود که نسبت به شاهد و خاکاره سپیدار افزایش معنی‌داری را نشان داد، اما با کمپوست (۱/۸۰ گرم) اختلاف معنی‌داری را نشان نداد (جدول ٤). در این پژوهش ترکیبات فلزات سنگین نیترات کادمیوم و نیترات سرب وزن خشک ریشه را نسبت به شاهد (بدون فلزات سنگین) کاهش دادند. نورانی‌آزاد و کفیل‌زاده (۱۳۹۰) گزارش کردند وزن خشک ریشه‌ی گلرنگ همراه با افزایش مقادیر کادمیوم به محیط کشت به صورت معنی‌داری کاهش یافت که با نتایج این مطالعه هم‌خوانی دارد. همچنین ورمی‌کمپوست سبب افزایش وزن خشک ریشه گردید. کاوندر و همکاران (۲۰۰۳) در بررسی اثرات تغذیه‌ای و زیستی

ورمی‌کمپوست بر سورگوم گزارش کردند که ورمی‌کمپوست سبب افزایش قابلیت دسترسی فسفر، پتاسیم و نیتروژن به خصوص فسفر در خاک گردید و وزن خشک ریشه را افزایش داد.

تعداد غلاف در بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ترکیبات آلی خاک، فلزات سنگین و برهمکنش آن‌ها، تعداد غلاف در بوته را به طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر قرار داد (جدول ٥). نتایج برش‌دهی ترکیبات آلی خاک (جدول ٦) نشان داد که تعداد غلاف در بوته در سطح‌های شاهد، نیترات کادمیوم و نیترات سرب در سطح احتمال یک درصد و نیترات نیکل در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف آماری معنی‌دار بود؛ ولی در سطح سولفات مس اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد.

مقایسه میانگین نشان داد که در سطح شاهد (بدون تنش فلزات سنگین) بیشترین تعداد غلاف در بوته مربوط به کاربرد کمپوست با میانگین ٥/٥٠ عدد بود که با سطح عدم کاربرد ترکیبات آلی دارای اختلاف آماری معنی‌دار بود. همچنین مقدار این صفت در شرایط عدم کابرد ترکیبات آلی (شاهد) با خاکاره سپیدار و کمپوست از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۷). در نیترات کادمیوم بیشترین تعداد غلاف در بوته مربوط به کاربرد ورمی‌کمپوست با میانگین ۳ عدد و کم‌ترین مقدار این صفت مربوط به عدم کابرد ترکیبات آلی با میانگین ١/٦٠ عدد بود، همچنین کمپوست، ورمی‌کمپوست و خاکاره سپیدار با سطح عدم کابرد ترکیبات آلی از نظر آماری اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۷).

در شرایط نیترات سرب بیشترین تعداد غلاف در بوته به کاربرد کمپوست (٤ عدد) و کم‌ترین مقدار این صفت در سطح عدم کابرد ترکیبات آلی مربوط بود که با تیمار ورمی‌کمپوست و خاک اره سپیدار نیز اختلاف معنی‌داری نداشت. در شرایط نیترات نیکل بیشترین تعداد غلاف در بوته به عدم کاربرد ترکیبات آلی (٢/٦٦ عدد) و کم‌ترین مقدار این صفت به کاربرد خاک اره سپیدار مربوط بود که با تیمار ورمی‌کمپوست و کمپوست نیز اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین در سولفات مس ترکیبات مختلف بستر کاشت فاقد اختلاف آماری معنی‌دار با همدیگر بودند (جدول ۷). هاولادر (٢٠١٤) در گیاه لوبیا کاهش تعداد غلاف در گلدان را در در حضور کلرید کادمیوم گزارش کرد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. ورمی‌کمپوست علاوه بر افزایش جمعیت و فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک در جهت فراهم کردن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانند نیتروژن و فسفر عمل نموده و سبب بهبود رشد و عملکرد گیاه زراعی و در نتیجه منجر به افزایش تعداد غلاف در بوته و وزن دانه در بوته می‌شود (آرانکون و همکاران ٢٠٠٤). نتایج مطالعات اله‌دادی و همکاران (١٣٩٢) مبنی بر افزایش تعداد غلاف در بوته گیاه ماش با کاربرد کمپوست زباله‌ی شهری و تدین و قربانی‌نژاد (١٣٩١) در گیاه نخود با کاربرد ١٠ و ١٥ تن کمپوست در هکتار با نتیجه‌ی این مطالعه در سطح‌های شاهد، نیترات کادمیوم و نیترات سرب هم‌خوانی دارد.

تعداد دانه در غلاف

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر ترکیبات آلی خاک، فلزات سنگین و برهمکنش آن‌ها برای صفت تعداد دانه در غلاف از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ٥). نتایج برش‌دهی ترکیبات آلی خاک (جدول ٦) نشان داد در سطح شاهد (فاقد فلز) و نیترات نیکل صفت تعداد دانه در غلاف در سطح احتمال پنج درصد و در سطوح کاربرد نیترات سرب و کادمیوم در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف آماری معنی‌دار بود، ولی در سطح کاربرد سولفات مس اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد. مقایسه میانگین نشان داد که در سطح

جدول ۵- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس صفات تعداد غلاف در بوته، دانه در غلاف، وزن دانه در بوته، وزن صد دانه و درصد پروتئین دانه در لوبیا تحت تأثیر تنش فلزات سنگین و ترکیبات آلی خاک

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد غلاف در بوته	دانه در غلاف	وزن دانه در بوته	وزن صد دانه	درصد پروتئین دانه
ترکیبات آلی خاک	۳	۱/۳۹ **	۰/۸۷ **	۱/۹۱ *	۸۸۸/۲۸ **	۳٤/۳۱ **
فلزات سنگین	٤	۳/٦۷ **	۱/۰۰ **	۱۰/۹٤ **	۲۲۷/۳۷ **	۱۲/۲۱ *
فلزات سنگین× ترکیبات آلی	۱۲	۱/٥۲ **	۰/٤٤ **	۲/۷۹ **	۲٦/٤۹ n.s	٥/۹٥ n.s
اشتباه آزمایشی	٤۰	۰/۲٥	۰/۱٤	۰/٤۷	۲۰/٦٥	٤/۰٤
ضریب تغییرات (٪)	-	۱٦/٦٥	۱٦/۱۳	۱۸/۷۳	۸/۸۸	۹/۳۲

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ٥ درصد و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۶- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس برش‌دهی اثر ترکیبات آلی خاک در سطوح مختلف فلزات سنگین برای تعداد غلاف در بوته، دانه در غلاف و وزن دانه در لوبیا

انواع فلزات سنگین	درجه آزادی	تعداد غلاف در بوته	دانه در غلاف	وزن دانه در بوته
شاهد (فاقد فلز)	۳	۳/۹٤ **	۰/٤۰ *	۲/٥٤ **
نیترات کادمیوم	۳	۱/۱۸ **	۰/۹۳ **	۳/٦٦ **
نیترات سرب	۳	۱/۱۲ **	۰/٦۷ **	٤/٥۱ **
نیترات نیکل	۳	۰/۸۹ *	۰/٤۰ *	۲/۰۸ **
سولفات مس	۳	۰/۳٥ n.s	۰/۲٥ n.s	۰/۲۹ n.s

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ٥ درصد و ۱ درصد می‌باشد.

شاهد (بدون تنش فلزات سنگین) بیشترین تعداد دانه در غلاف مربوط به کاربرد خاکاره سپیدار با میانگین ۲/۷۳ عدد بود که با کاربرد کمپوست (۱/۹٦ عدد) دارای اختلاف آماری معنی‌دار بود، اما با سطوح عدم کاربرد ترکیبات آلی و کاربرد ورمی‌کمپوست اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۷).

در سطح نیترات کادمیوم بیشترین تعداد دانه در غلاف مربوط به کاربرد ورمی‌کمپوست (۲/۸۰ عدد) بود که با عدم کاربرد ترکیبات آلی و کاربرد کمپوست و خاکاره سپیدار دارای اختلاف آماری معنی‌دار بود. در نیترات سرب تعداد دانه در غلاف در سطح عدم کاربرد ترکیبات آلی ۳/۰۳ عدد بود که نسبت به کاربرد کمپوست (۱/۹ عدد) دارای اختلاف آماری معنی‌دار بود (جدول ۷). در نیترات نیکل، و کاربرد خاکاره سپیدار تعداد دانه در غلاف ۲/٦۰ عدد بود که نسبت به عدم کاربرد ترکیبات آلی (۱/۸۰ عدد) افزایش معنی‌داری نشان داد. همچنین در سولفات مس بین ترکیبات مختلف بستر کاشت اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده نگردید (جدول ۷). نتایج بدست آمده در این تحقیق نشان می دهد که نیترات کادمیوم و نیکل تعداد دانه در غلاف را نسبت به سطح شاهد (بدون فلزات سنگین) کاهش دادند. همچنین نتایج بیانگر آن است که بیشترین تعداد دانه در غلاف در سطح سولفات مس و کم‌ترین مقدار این صفت در سطح نیترات کادمیوم مشاهده شد. همچنین ورمی‌کمپوست سبب افزایش تعداد دانه در غلاف در تنش نیترات کادمیوم و خاکاره سپیدار تعداد دانه در غلاف را در سطح نیترات نیکل به‌طور معنی‌داری نسبت به عدم کاربرد ترکیبات آلی افزایش داد. فضولات کرم‌های خاکی حاوی عناصر معدنی پرمصرف و کم‌مصرف قابل استفاده فراوانی بوده که موجب تغذیه

مستقیم گیاهان شده و از طریق بهبود رشد و نمو و عرضه مداوم و پایدار عناصر معدنی به گیاه، سبب افزایش عملکرد دانه می‌گردد (خشنود و همکاران ۱۳۹۱).

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر ترکیبات آلی خاک در هر سطح از فلزات سنگین برای صفات تعداد غلاف در بوته، دانه در غلاف و وزن دانه در بوته لوبیا

فلزات سنگین	ترکیبات آلی خاک	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	وزن دانه در بوته (گرم)
شاهد (فاقد فلز)	عدم کاربرد ترکیبات آلی	۳/۰۰ b	۲/۵۰ a	٤/٤٧ ab
	کمپوست	٥/٥٠ a	۱/۹٦ b	٥/٥٦ a
	ورمی‌کمپوست	۳/٦٦ b	۲/۰۳ a	۳/٤۲ b
	خاکاره سپیدار	۳/۱٦ b	۲/۷۳ a	۳/۹۰ b
	میانگین	۳/۳۸	۲/۳۰	٤/۳۳
نیترات کادمیوم	عدم کاربرد ترکیبات آلی	۱/٦۰ c	۱/٥۰ b	۳/۱٥ a
	کمپوست	۲/۳۳ b	۱/۸۰ b	۱/٥۷ b
	ورمی‌کمپوست	۳/۰۰ a	۲/۸۰ a	۳/۸۸ a
	خاکاره سپیدار	۲/۸۳ ab	۱/۹٦ b	۱/۸۰ b
	میانگین	۲/٤٤	۲/۰۰	۲/٦۰
نیترات سرب	عدم کاربرد ترکیبات آلی	۲/٥۰ b	۳/۰۳ a	٥/٦٦ a
	کمپوست	٤/۰۰ a	۱/۹۰ b	۳/٦۷ b
	ورمی‌کمپوست	۳/۳۳ ab	۲/٦٦ a	۳/۳۰ b
	خاکاره سپیدار	۳/۲٦ ab	۲/٦۰ ab	٥/٥۱ a
	میانگین	۳/۰۲	۲/٥٤	٤/٥۳
نیترات نیکل	عدم کاربرد ترکیبات آلی	۳/۳۳ a	۱/۸۰ b	۳/٤۳ a
	کمپوست	۲/٦٦ ab	۱/۹۰ ab	۳/٤۲ a
	ورمی‌کمپوست	۲/٥٦ ab	۱/۹۳ ab	۱/۹٦ b
	خاکاره سپیدار	۲/۰۰ b	۲/٦۰a	۲/۰۱ b
	میانگین	۲/٦۳	۲/۰٥	۲/۷۰
سولفات مس	عدم کاربرد ترکیبات آلی	۳/۱٦ a	۲/٤۳ a	٤/۱۱ a
	کمپوست	۲/٦٦ a	۲/٤٦ a	٤/٦٦ a
	ورمی‌کمپوست	۲/٥۰ a	۳/۰٦ a	٤/٤۳ a
	خاکاره سپیدار	۳/۱٦ a	۲/۷۰ a	۳/۹۷ a
	میانگین	۲/۸۷	۲/٦٦	٤/۲۹

در هر ستون و هر سطح از فلزات سنگین وجود حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده‌ی عدم تفاوت آماری معنی‌دار بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

وزن دانه در بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ترکیبات آلی خاک در سطح احتمال پنج درصد و فلزات سنگین و برهمکنش ترکیبات آلی خاک و فلزات سنگین در سطح احتمال یک درصد بر وزن دانه در بوته اثرات معنی‌داری داشتند (جدول ٥). نتایج برش‌دهی ترکیبات

آلی خاک نشان داد که بین مقادیر وزن دانه در بوته در سطوح شاهد، نیترات کادمیوم، نیترات سرب و نیترات نیکل اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده گردید، ولی در شرایط وجود سولفات مس اختلاف آماری معنی‌داری بین سطوح کاربرد ترکیبات آلی وجود نداشت (جدول ٦). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در سطح شاهد (بدون تنش فلزات سنگین) بیشترین میزان وزن دانه در بوته در کمپوست با میانگین ٥/٥٦ گرم بود که با سطح عدم کاربرد ترکیبات آلی (٤/٤٧) اختلاف آماری معنی‌داری نداشت (جدول ۷). در نیترات کادمیوم بیشترین میزان وزن دانه در بوته در کاربرد ورمی‌کمپوست با میانگین ۳/۸۸ گرم بود که با سطح شاهد از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشت، اما کم‌ترین مقدار این صفت در کاربرد کمپوست با میانگین ۱/۵۷ گرم مشاهده شد. در سطح نیترات سرب و نیترات نیکل نیز وزن دانه در بوته در ورمی کمپوست به ترتیب ۳/۳۰ و ۱/۹٦ گرم بود، که نسبت به عدم کاربرد ترکیبات آلی (٥/٦٦ و ۳/٤۳ گرم) کاهش معنی‌داری داشت. در شرایط حضور سولفات مس بین سطوح کاربرد ترکیبات آلی اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۷). به‌طور کلی بیشترین میزان وزن دانه در بوته در سطح نیترات سرب و کم‌ترین مقدار این صفت در سطح نیترات کادمیوم مشاهده شد. عرفان و همکاران (۲۰۱۳) گزارش نمودند که کادمیوم عملکرد گیاهان یونجه، ذرت و نخود ایرانی را کاهش داد که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. اما در این پژوهش استفاده از ترکیبات آلی ورمی‌کمپوست، کمپوست و خاکاره سپیدار نتوانستند اثرات نامطلوب فلزات سنگین بر وزن دانه در بوته را محدود نمایند. کورتنی و مولن (۲۰۰۸) در مطالعه خود روی تأثیر کاربرد دو نوع کمپوست بر رشد گیاه جو بیان کردند عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت که با نتایج مطالعه‌ی حاضر در سطح‌های شاهد و سولفات مس مطابقت دارد؛ هرچند که در این سطح‌ها تفاوت با شاهد فاقد اختلاف آماری معنی‌داری بود.

وزن صد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین سطوح کاربرد ترکیبات آلی خاک و همچنین سطوح فلزات سنگین به لحاظ صفت وزن صد دانه اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت، ولی اثر برهمکنش آن‌ها بر این صفت معنی دار نگردید (جدول ٥). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین وزن صد دانه به نیترات نیکل با میانگین ٥٤/۳۳ گرم تعلق داشت و با شاهد فاقد تفاوت معنی‌دار بود. کم‌ترین میزان وزن صد دانه مربوط به نیترات کادمیوم با میانگین ٤٤/۰۸ بود و با شاهد تفاوت معنی‌دار نشان داد (جدول ۸). نتایج مقایسه میانگین ترکیبات آلی خاک برای وزن صد دانه نشان داد که بیشترین وزن صد دانه در ورمی‌کمپوست با میانگین ٥۸/٥۳ گرم بود که با شاهد و کاربرد کمپوست تفاوت معنی‌دار داشت. کم‌ترین میزان وزن صد دانه مربوط به کاربرد خاکاره سپیدار با میانگین ٤۰/۳۳ گرم بود که با شاهد اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۹). افزایش وزن هزار دانه در گیاه ماش با کاربرد کمپوست (اله‌دادی و همکاران ۱۳۹۲) و در نخود با کاربرد ۱٥ تن کمپوست در هکتار (تدین و قربانی‌نژاد، ۱۳۹۱) با نتیجه این مطالعه هم‌خوانی دارد. بالا بودن میزان عناصر غذایی مثل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در مقایسه با سایر کودهای آلی و دارا بودن عناصر میکرو مانند آهن، روی، مس و منگنز از مزایای ورمی‌کمپوست می‌باشد. همچنین ورمی‌کمپوست دارای هومات و تنظیم کننده‌های رشد می‌باشد (آتیه و همکاران ۲۰۰۲). بنابراین با توجه به دلایل اشاره شده کاربرد مواد آلی مثل ورمی‌کمپوست می‌تواند دلیل افزایش وزن صد دانه لوبیا چیتی باشد.

جدول ۸- مقایسه میانگین وزن صد دانه و درصد پروتئین دانه لوبیا تحت اثر انواع فلزات سنگین

انواع فلزات سنگین	وزن صد دانه (گرم)	درصد پروتئین دانه
شاهد (فاقد فلز)	۵۳/۶۶ a	۲۱/۷۵ ab
نیترات کادمیوم	۴۴/۰۸ c	۲۰/۶۷ b
نیترات سرب	۴۹/۸۳ b	۲۱/۰۴ b
نیترات نیکل	۵۴/۳۳ a	۲۳/۲۳ a
سولفات مس	۵۳/۹۱ a	۲۱/۱۱ b

در هر ستون وجود حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده‌ی عدم تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

جدول ۹- مقایسه میانگین وزن صد دانه و درصد پروتئین دانه لوبیا تحت اثر ترکیبات آلی خاک

ترکیبات آلی خاک	وزن صد دانه (گرم)	درصد پروتئین دانه
شاهد (بدون ترکیبات آلی)	۵۲/۰۰ b	۲۰/۴۶ b
کمپوست	۵۳/۰۰ b	۲۲/۰۹ a
ورمی‌کمپوست	۵۸/۵۳ a	۲۳/۴۶ a
خاکاره سپیدار	۴۰/۳۳ c	۲۰/۲۰ b

در هر ستون وجود حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده‌ی عدم تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

درصد پروتئین دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ترکیبات آلی خاک به لحاظ درصد پروتئین دانه در سطح احتمال یک درصد و فلزات سنگین در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف آماری معنی‌دار بودند، ولی برهمکنش آن‌ها فاقد اثر معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین داده ها نشان داد که بیشترین درصد پروتئین دانه در شرایط وجود نیترات نیکل (با میانگین ۲۳/۲۳٪) حاصل گردید که با شاهد فاقد تفاوت معنی‌دار بود، اما کم‌ترین میزان درصد پروتئین دانه در نیترات کادمیوم با میانگین ۲۰/۶۷٪ بدست آمد (جدول ۸). نتایج مقایسه میانگین ترکیبات آلی خاک برای صفت درصد پروتئین دانه نشان داد که بیشترین درصد پروتئین دانه به کاربرد ورمی‌کمپوست با میانگین ۲۳/۴۶٪ متعلق بود که با شاهد تفاوت معنی‌دار نشان داد، اما با کمپوست فاقد اختلاف معنی‌دار بود. همچنین کم‌ترین میزان درصد پروتئین دانه در خاکاره سپیدار با میانگین ۲۰/۲۰٪ بدست آمد (جدول ۹). استفاده از بستر کاشت کمپوست و ورمی‌کمپوست سبب افزایش میزان پروتئین لوبیا نسبت به شرایط بدون ترکیبات آلی (شاهد) گردید. بنابراین علت افزایش درصد پروتئین دانه و سایر اجزای عملکرد از قبیل وزن صد دانه و تعداد غلاف در بوته را می‌توان در سطح‌های کمپوست و ورمی‌کمپوست به دلیل بهبود وضعیت خاک و کاهش جذب فلزات سنگین در حضور این مواد آلی دانست.

نتیجه‌گیری

در مجموع، نتایج نشان داد که افزودن ورمی کمپوست میزان ارتفاع بوته و طول ریشه را به ترتیب در شرایط بدون فلزات سنگین ۵۳ و ۸۸٪، نیترات نیکل ۶۱ و ۳۵٪، نیترات سرب ۶۳ و ۱۷٪ و سولفات مس ۲۵ و ۸۵٪ نسبت به عدم کاربرد ترکیبات آلی افزایش داد. همچنین کاربرد ورمی‌کمپوست سبب افزایش ۸۷ درصدی تعداد غلاف در بوته و دانه در غلاف در تنش نیترات کادمیوم گردید. از سوی دیگر استفاده از ورمی‌کمپوست، کمپوست و خاکاره سپیدار نتوانستند

اثرات نامطلوب فلزات سنگین بر وزن دانه در بوته را محدود نمایند. ورمی‌کمپوست سبب افزایش ۱۱ درصدی وزن صد دانه و ۹ درصدی پروتئین لوبیا نسبت به شرایط بدون مواد آلی گردید. لذا با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان گفت که استفاده از کمپوست و ورمی‌کمپوست با بهبود ساختمان خاک و تأمین عناصر غذایی احتمالا موجب افزایش رشد و عملکرد لوبیا می گردد. همچنین این ترکیبات با افزایش کربن آلی محلول با فلزات، کمپلکس فلز- کربن را تشکیل می‌دهد که سبب کاهش سمیت می‌شود. براساس نتایج این پژوهش، کاربرد ورمی‌کمپوست بهترین شرایط را برای رشد لوبیا تحت تنش فلزات سنگین فراهم می‌کند.

منابع مورد استفاده

امامی ع، ۱۳۷۵. روش‌های تجزیه گیاه. نشریه سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ۱ (۹۸۲): ۱۲۶.

پوراکبر ل و ابراهیم‌زاده ن، ۱۳۹۲. اثر نیکل و مس بر بیومس، محتوای رنگیزه‌ای و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در ریشه‌ها و اندام‌های هوایی گیاه ذرت. نشریه علوم دانشگاه خوارزمی، ۱۳ (۱): ۷۱۲-۷۰۱.

تدین م و قربانی‌نژاد ع ج، ۱۳۹۱. اثر آبیاری محدود و مقادیر کمپوست بر خصوصیات مورفولوژیک و عملکرد دو رقم زراعی نخود (*Cicer arietinum*). نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران، ۳ (۲): ٤٤-۳۱.

خشنود ا، رفیعی م، خورگامی ع و پزشک‌پور پ، ۱۳۹۱. بررسی تأثیر کاربرد کود ازته و کود زیستی ورمی‌کمپوست در کشت پاییزه عدس. نشریه کشاورزی و دامپروری برزگر، ۱۰۷: ٤۷-٤۵.

کافی م، برزویی ا، صالحی م، معصومی ع و نباتی ج، ۱۳۸۸. فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

نورانی‌آزاد ح و کفیل‌زاده ف، ۱۳۹۰. تأثیر سمیت کادمیوم بر رشد، قندهای محلول، رنگیزه‌های فتوسنتزی و برخی آنزیم‌ها در گلرنگ. مجله زیست‌شناسی ایران، ۲٤ (٦): ۸٦۷-۸۵۸.

اله‌دادی ا، معماری ع، اکبری ع، لطفی‌فر ا و شمس ع، ۱۳۹۲. تأثیرکاربرد مقادیر متفاوت کمپوست زباله شهری بر رشد و عملکرد گیاه زراعی ماش. مجله پژوهش‌های تولید گیاهی، ۲۰ (۲):۱٦۰-۱٤۵.

Angelova V, Ivanova R, Pevicharova G and Ivanov K, 2010. Effect of organic amendments on heavy metals uptake by potato plants. World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, 1-6 August, Brisbane, Australia, 84-87.

Arancon N, Edwards QCA, Bierman P, Welch C and Metzger JD, 2004. Influences of vermicomposts on field strawberries: Effects on growth and yields. Bioresource Technology, 93: 145-153.

Atiyeh RM, Arancon N, Edwardsand CA, Metzger JD, 2002. The influence of humic acids derived from earthworm processed organic wastes on plant growth. Bioresourc Technology, 84: 7-14.

Bartal A, Yermiyahu U, Beraud J, Keinan M, Rosenberg R, Zohar, Rosen DV and Fine P, 2004. Nitrogen, phosphorus, and potassium uptake by wheat and their distribution in soil following successive, annual compost applications. Environmental Quality, 33: 1855-1865.

Carrasquero Duran A, Flores I, Perozo C and Pernalete Z, 2006. Immubilization of lead by a vermicompost and its effect on white bean (*Vigna sinenis* var. Apure) uptake. Environmentally Sciences Technology, 3: 203-212.

Cavender ND, Atiye RM and Knee M, 2003. Vermicompost stimulates mycorrhizal colonization of roots of *Sorghum bicolor* at the expense of plant growth. Pedobiologia, 47: 85-89.

Countrey N, 2006. Influence of cadmium on growth of root vegetable and accumulation of cadmium in the edible root. International Journal Applied Science and Engineering, 3: 243-252.

Courtney RG and Mullen GJ, 2008. Soil quality and barley growth as influenced by the land application of two compost types. Bioresource Technology, 99: 2913–2918.

Das PK, Sarangi D, Jena MK and Mohanty S, 2002. Response of greengram (*Vigna radiata* L.) to integrated application of vermicompost and chemical fertilizer in acid lateritic soil. Indian Agriculture, 46 (1): 79-87.

Faiazan S, Kausar S and Perveen R, 2011. Varietal differences for cadmium-induced seedling mortality, foliar toxicity symptoms, plant growth, proline and nitrate reductase activity in chickpea (*Cicer arietinum* L.). Biology and Medicine, 3: 196-206.

Gajewska E and Skłodowska M, 2010. Differential effect of equal copper, cadmium and nickel concentration on biochemical reactions in wheat seedlings. Ecotoxicology and Environmental Safety, 73: 996-1003.

Han DH and Lee JH, 1996. Effects of liming on uptake of lead and cadmium by *Raphanus sativa*. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 31: 488-493.

Hanc AP, Tlustos J and Szakova J, 2009. Changes in cadmium mobility during composting and after soil application. Waste Management, 29: 2282–2288.

Howladar SM, 2014. A novel moringa oleifera leaf extract can mitigate the stress effects of salinity and cadmium in bean (*Phaseoulus vulgaris* L.) plants. Ecotoxicology and Environmental Safety, 100: 69-75.

Irfan M, Hayat Sh, Ahmad A and Alyemeni MN, 2013. Soil cadmium enrichment: Allocation and plant physiological manifestations. Saudi Journal of Biological Sciences, 20: 1-10.

Jadia CD, Fulekar MH, 2008. Phytoremediation: The application of vermin-compost to remove zinc, cadmium, copper, nickel and lead by sunflower plant. Journal of Environmental Engineering and Management, 7(5): 547-558.

Kabir M, Zafar Iqbal M, Shafiq M and Farooqi ZR, 2008. Reduction in germination and seedlikg growth of *Thespesia populnea* L. caused by lead and cadmium treatments. Pakistanian Botany, 40: 2419-2426.

Kopittke PM and Menzies NW, 2006. Effect of Cu toxicity on growth of cowpea (*Vigna unguiculata*). Plant and Soil, 279: 287-296.

Molassiotis A, Satipoulos T, Tanou G, Diamantidis G and Therios I, 2006. Boron-induced oxidative damage and antioxidant and nucleolytic responses in shoot tips culture of apple rootstock EM9 (*Malus domestica* Borkh). Environmental and Experimental Botany, 56(1): 54-62.

Park JH, Lamb D, Paneerselvam P, Choppala G, Bolan N and Chung JW, 2011. Role of organic amendments on enhanced bioremediation of heavy metal (loid) contaminated soils. Hazardous Materials, 185: 549–574.

Sahni S, Sarma BK and SinghSingh KP, 2008. Vermicompost enhances performance of plant growth promoting rhizobacteria in *Cicer arietium* rhizosphere against *Sclerotium rolfsii*. Crop Protection, 27: 369–379.

Soumare MF, Tack MG and Verloo MG, 2003. Effect of a municipal solid waste compost and mineral fertilization on plant growth in two tropical agricultural soils of Mali. Bioresource Technology, 86: 15-20.

Yadav SK, 2010. Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metals stress tolerance of plants. South African Journal of Botany, 76: 167-179.

Zengin FK and Munzuroglu O, 2005. Effects of some heavy metaleson chlorophyll, proline and som antioxidant and chemicals in Bean (*Phaseolus vulgaris* L) seedlings. Acta Biologica Cracoviensla Series Botanica, 47(2): 157–164.