



دانشگاه گورنری و منابع طبیعی گنا

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و یکم، شماره ششم، ۱۳۹۳
<http://jwsc.gau.ac.ir>

تأثیر مدت زمان تماس، سطوح مختلف آرسنیک و ماده آلی بر صفات رشد کرم‌های خاکی

* زهرا جمشیدی اردکانی^۱، احمد گلچین^۲، عبدالحسین پری‌زنگنه^۳ و عباسعلی زمانی^۴

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم محیط زیست، دانشگاه زنجان، استاد گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان،

^۲ دانشیار گروه علوم محیط زیست، دانشگاه زنجان، ^۳ استادیار گروه علوم محیط زیست، دانشگاه زنجان

تاریخ دریافت: ۹۱/۹/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۵

چکیده

کرم‌های خاکی بخشی از زنجیره غذایی و چرخه تجزیه در خاک هستند که ویژگی‌های رشد آن‌ها به‌طور نامطلوبی تحت تأثیر آلودگی‌های خاک قرار می‌گیرد. با توجه به حساسیت کرم‌های خاکی به آلودگی، از آن‌ها می‌توان به‌عنوان شاخص زیستی خاک‌های آلوده استفاده نمود. به‌منظور بررسی تأثیر مدت زمان تماس و سطوح مختلف ماده آلی خاک بر صفات رشد کرم‌های خاکی در خاک‌های آلوده به سطوح مختلف آرسنیک، یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. سطوح مختلف آلودگی خاک به آرسنیک عبارت بودند از صفر، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰، ۱۶۰ و ۳۲۰ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک و سطوح ماده آلی که به‌صورت کود دامی به نمونه‌های خاک آلوده اضافه گردید معادل صفر، ۵ و ۱۰ درصد وزنی بودند. کرم‌ها در چهار بازه زمانی مختلف شامل ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ روز در معرض آلودگی خاک قرار گرفتند و زنده‌مانی، وزن و تولید کوکون توسط آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در پایان آزمایش نیز میزان تجمع آرسنیک در بدن کرم‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که با افزایش سطح آلودگی خاک به آرسنیک، زنده‌مانی، وزن و توانایی تولید کوکون کرم‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ولی میزان تجمع آرسنیک در بدن آن‌ها افزایش یافت. اثر گذشت زمان و سطوح مختلف ماده آلی نیز بر این صفات معنی‌دار بود و به‌ترتیب آن‌ها را کاهش و افزایش دادند.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، آرسنیک، کرم خاکی، فلزات سنگین، *Eisenia fetida*

* مسئول مکاتبه: za_jamshidi@ymail.com

مقدمه

فلزات سنگین اجزای طبیعی پوسته زمین هستند، ولی فعالیت‌های انسان سیکل ژئوشیمی، بیوشیمیایی و تعادل این عناصر را در محیط به هم زده و باعث انتشار آن‌ها در محیط زیست می‌گردد. آلودگی خاک به فلزات سنگین، پدیده‌ای نامطلوب است و موجب به خطر افتادن سلامتی انسان و سایر موجودات زنده می‌شود (بون و سلطانی‌پور، ۱۹۹۲). از جمله فلزات سنگینی که وجود آن در محیط زیست خطرناک است و اثرات سوء زیادی بر موجودات زنده دارد، آرسنیک می‌باشد. آرسنیک سمیت بالایی دارد به طوری که در غلظت‌های بسیار پایین نیز می‌تواند موجب به خطر افتادن سلامت موجودات زنده شود. آرسنیک یک شبه‌فلز و متعلق به گروه ۱۵ جدول تناوبی است. آرسنیک بیستیمین عنصر فراوان در پوسته زمین، چهاردهمین عنصر فراوان در آب دریا و دوازدهمین عنصر فراوان در بدن انسان است (بهومبلا و کیفر، ۱۹۹۴). ترکیبات آرسنیک‌دار بیش‌تر در صنایع رنگرزی، سموم کشاورزی، فلزکاری، داروسازی و به‌عنوان مواد محافظ چوب استفاده می‌شود (برد، ۱۹۹۹). همچنین آرسنیک به‌عنوان محصول جانبی معادن سرب، طلا، روی، کبالت و نیکل وارد محیط زیست می‌شود. آرسنیک به اشکال شیمیایی مختلفی یافت می‌شود. اما اشکال غیرآلی آن مثل آرسنیت‌ها و آرسنات‌ها سمی‌ترین اشکال شیمیایی آرسنیک هستند (پانگرتز، ۱۹۹۸). مقدار طبیعی آرسنیک در خاک‌ها از ۴۰-۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک متغیر است؛ اما این مقدار در خاک‌های اطراف معادن و کارخانجات ذوب فلزات می‌تواند به ۱۰۰ گرم در کیلوگرم نیز برسد (شولتز و همکاران، ۲۰۰۴).

کرم‌های خاکی از جمله مهم‌ترین ارگانیسم‌های مؤثر در شکستن بقایای گیاهی، توسعه ساختمان خاک، چرخش مواد غذایی و ارتقاء حاصلخیزی خاک به حساب می‌آیند. به همین دلیل آن‌ها را به نام روده‌های خاک می‌نامند. کرم‌های خاکی بخشی از چرخه تجزیه زنجیره غذایی بوده که مقدار زیادی از پسماندهای گیاهی و خاک را مصرف می‌کنند و در نتیجه موجب بهبود ساختمان و پویایی مواد آلی خاک می‌شوند. این موجودات در بسیاری از انواع خاک‌ها وجود دارند و در حدود ۷۰-۵۰ درصد زیست‌توده خاک را تشکیل می‌دهند. کرم‌های خاکی در تماس دائم با خاک هستند و نقش اساسی در چرخش عناصر غذایی، بهبود تهویه و زهکشی خاک‌ها دارند (آلن، ۲۰۰۲). کرم‌های خاکی از طریق جذب عناصر سنگین در بدن خود یا کمک به جذب آن‌ها توسط گیاه، باعث کاهش و یا رفع آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌گردند (سالت و همکاران، ۱۹۹۸). با توجه به واکنش سریع کرم‌های خاکی به تغییرات محیطی استفاده از این بی‌مهرگان خاکزی در ارزیابی مخاطرات اکولوژیکی در اکوسیستم‌های خاکی رو به افزایش است. به همین دلیل این پژوهش به مطالعه تأثیر سطوح مختلف

آرسنیک و زمان تماس با آرسنیک بر چرخه زندگی کرم‌های خاکی، مطالعه تأثیر سطوح مختلف ماده آلی بر صفات رشد کرم‌های خاکی در خاک‌های آلوده به آرسنیک و بررسی میزان تجمع زیستی آرسنیک در بدن کرم‌های خاکی در خاک‌های آلوده به سطوح مختلف آرسنیک می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

به منظور مطالعه تأثیر زمان تماس و سطوح مختلف ماده آلی و آرسنیک بر چرخه زندگی کرم‌های خاکی، آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای مورد مطالعه عبارت بودند از سطوح مختلف آرسنیک، زمان تماس کرم‌های خاکی با آرسنیک و سطوح مختلف ماده آلی خاک که تأثیر آن‌ها بر زنده‌مانی، رشد و تولیدمثل کرم‌های خاکی مورد بررسی قرار گرفت. غلظت‌های آرسنیک در نمونه‌های خاک عبارت بودند از: صفر، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰، ۱۶۰ و ۳۲۰ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک و برای هر سطح آلودگی خاک، سه سطح ماده آلی شامل صفر، ۵ و ۱۰ درصد وزنی در نظر گرفته شد. ماده آلی مورد استفاده در این آزمایش، کود گاوی شسته شده و کاملاً خشک بود که به خاک‌های آلوده به آرسنیک اضافه گردید. جدول ۱ تجزیه کود گاوی مورد استفاده را نشان می‌دهد. کرم‌ها در چهار بازه زمانی مختلف در معرض آلودگی با آرسنیک قرار گرفتند و نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری صفات رشد کرم‌های خاکی در زمان صفر (زمان شروع آزمایش)، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ روز پس از افزودن کرم‌ها به نمونه‌های خاک آلوده صورت پذیرفت. برای اجرای آزمایش ابتدا یک نمونه مرکب خاک از لایه سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متری) یک زمین زراعی تهیه و پس از تجزیه آن در آزمایشگاه برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن تعیین گردید که در جدول ۲ نشان داده شده است. سپس نمونه خاک مورد نظر به ۷۲ نمونه فرعی ۶ کیلوگرمی تقسیم و با سطوح مختلف آرسنیک آلوده گردیدند. برای تهیه خاک آلوده به آرسنیک از نمک سدیم آرسنات استفاده شد. پس از تهیه کرم‌های خاکی گونه *Eisenia fetida*، برای سازگار کردن آن‌ها با محیط جدید و جلوگیری از ایجاد تنش در آن‌ها، قبل از شروع آزمایش، مقداری از خاک مورد استفاده در آزمایش که بدون آلودگی بود، در تعدادی جعبه چوبی ریخته شد و کرم‌ها به مدت ۱۰ روز در این خاک نگهداری شدند. سپس برای هر جعبه ۲۰ عدد کرم جدا و توزین گردید و سپس به بستر نهایی، که همان خاک‌های آلوده به آرسنیک بودند، انتقال داده شدند. بعد از گذشت ۱۵ روز از شروع آزمایش، کرم‌های هر جعبه به وسیله الک از خاک جدا شدند و در آب غوطه‌ور گردیدند و سپس به مدت ۸ ساعت در پتری‌دیش‌های دارای کاغذ صافی مرطوب قرار داده شدند تا محتویات روده آن‌ها تخلیه شود. بعد از

آن، کرم‌ها روی کاغذ صافی خشک قرار داده شدند تا آب اضافی بدن آن‌ها گرفته شود. سپس توزین شدند. خاک جعبه‌ها برای مشاهده کوکون به دقت بررسی و هر گونه علائم مشخصه دیگر کرم‌ها مثل ظهور اندام‌های جنسی نیز بررسی و ثبت شد. اندازه‌گیری میزان تلفات کرم‌ها، توزین و شمارش آن‌ها و همچنین بررسی و شمارش کوکون‌های تولید شده تا ۶۰ روز بعد از شروع آزمایش ادامه یافت (جنابی حق پرست و همکاران، ۲۰۱۳). در پایان آزمایش، پس از خشک شدن کرم‌ها، برای اندازه‌گیری عناصر در بدن آن‌ها، از روش هضم با اسید استفاده شد (کیتز و جنیس، ۱۹۸۳). سپس مقدار آرسنیک موجود در محلول‌ها توسط دستگاه ICP-OES اندازه‌گیری و فاکتور تجمع زیستی (غلظت آرسنیک در خاک / مقدار آرسنیک در بدن کرم‌ها) محاسبه شد.

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵ و ۱ درصد انجام شد. برای ایجاد رگرسیون بین نتایج و رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel Microsoft Office 2010 استفاده شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کود گاوی مورد استفاده.

pH	نیترژن	فسفر	پتاسیم	EC	مس	منگنز	آهن	روی	آرسنیک
	درصد	دسی‌زیمنس بر متر	میلی‌گرم بر کیلوگرم						
۸	۱/۶	۰/۵	۰/۶۵	۳/۶	۳۰	۸۰	۶۱۴	۵۴	۰/۳

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش.

عمق خاک (سانتی‌متر)	EC (دسی‌زیمنس بر متر)	pH	بافت خاک	درصد فسفر	پتاسیم	روی	آهن	منگنز	کادمیم	آرسنیک	ماده آلی
			ازت	درصد							درصد
۰-۲۰	۲/۳	۷/۲۷	لوم شنی	۰/۱۹	۲۱	۲۲	۲/۵	۰/۴	۰/۴	۱/۲	۰/۱۸
											میلی‌گرم بر کیلوگرم

نتایج

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی نشان داد که اثرات ساده سطوح مختلف آرسنیک، ماده آلی و زمان تماس و همچنین اثرات متقابل آن‌ها بر درصد زنده‌مانی کرم‌های خاکی، وزن آن‌ها و تولید کوکون توسط آن‌ها، در سطح آماری ۱ درصد، معنی‌دار بود (جدول ۲).

زهرا جمشیدی اردکانی و همکاران

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر صفات مورد مطالعه در کرم‌های خاکی.

مجموع مربعات				منبع تغییر
تجمع آرسنیک در بدن کرم‌ها	تعداد کوکون تولیدی	وزن	درصد زنده‌مانی	
۳۰۶۴۴۵/۳۸۱۵**	۷۲/۰۸۹۷۶۳۷۸**	۱/۷۳۸۳۲۶۸۶**	۹۵۹۸۵/۴۷۷۹**	سطح آرسنیک
-----	۶۸۷۴۴۸۵۵۹۷**	۰/۲۵۷۸۱۱۲۹**	۱۲۵۵۷۱/۷۶۰۲**	زمان
۱۸۸۵۶/۸۳۴۹**	۲۰/۷۷۹۴۳۴۱۱**	۰/۱۴۷۳۲۸۴۸**	۲۶۶۸۵/۹۹۳۹**	ماده آلی
۳۰۷۹۹/۷۶۳۱**	۱۹/۵۱۳۴۱۳۰۶**	۰/۰۸۲۶۷۹۵۴**	۵۶۰۳/۳۷۵۹**	آرسنیک × ماده آلی
-----	۵۶۷۹۷۲۸۳۱۸**	۰/۵۳۴۶۱۹۲۰**	۴۶۷۹۴/۹۳۵۷**	آرسنیک × زمان
-----	۹/۵۶۶۸۴۲۲۷**	۰/۰۴۸۴۲۳۶۹**	۱۲۷۷۲/۴۳۵۷**	زمان × ماده آلی
-----	۴۱/۷۸۳۴۹۴۹۲**	۰/۱۰۳۵۸۱۸۳**	۷۵۶۷/۵۵۷۵**	آرسنیک × زمان × ماده آلی
۱۰۲۶۰/۳۲۲۸	۰/۶۶۶۶۶۶۷	۰/۲۷۵۶۹۸۷۶	۱۲۵۴۵/۸۳۳۳	خطا
۳۶۶۳۶۲/۳۰۲۳	۲۸۹/۹۴۱۷۵۳۹۹	۳/۱۸۸۴۶۹۶۵	۳۳۳۵۲۷/۳۷۰۱	کل

زنده‌مانی کرم‌های خاکی: بیش‌ترین درصد زنده‌مانی مربوط به تیمار شاهد، به‌میزان ۹۹/۷۸ درصد، بود و با افزایش سطح آلودگی خاک به آرسنیک تعداد کرم‌های خاکی زنده کاهش یافت. به‌طوری‌که، کم‌ترین درصد زنده‌مانی به سطوح آلودگی ۱۶۰ و ۳۲۰ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک، تعلق داشت که به‌ترتیب ۵۲/۵۶ و ۵۰/۱۱ درصد، بود. (شکل ۱). با گذشت زمان، درصد زنده‌مانی کرم‌های خاکی در خاک‌های آلوده به آرسنیک کاهش یافت. بیش‌ترین درصد زنده‌مانی کرم‌های خاکی مربوط به ۱۵ روز اول آزمایش بود. در روز ۱۵ نسبت به شروع آزمایش، تعداد کرم‌های خاکی زنده، ۱۰/۵۶ درصد کاهش یافت. (شکل ۲). با افزایش درصد ماده آلی خاک، درصد زنده‌مانی کرم‌های خاکی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بیش‌ترین درصد زنده‌مانی کرم‌های خاکی مربوط به تیمار دارای ۱۰ درصد ماده آلی، به‌میزان ۸۵/۵۴ درصد، بود و با کاهش میزان ماده آلی خاک به ۵ درصد، زنده‌مانی کرم‌های خاکی ۹/۸۳ درصد کاهش یافت (شکل ۳). جدول ۳ نشان داد که بیش‌ترین درصد زنده‌مانی کرم‌های خاکی، مربوط به تیمار بدون آلودگی و دارای ۱۰ درصد ماده آلی، به‌میزان ۱۰۴/۳۳ درصد بود. زنده‌مانی بیش‌تر از ۱۰۰ درصد نشان‌دهنده افزایش جمعیت کرم‌های خاکی طی مرحله‌های پژوهش، به‌دلیل کاهش مرگ و میر و افزایش تولیدمثل کرم‌ها، می‌باشد. بیش‌ترین درصد زنده‌مانی کرم‌های خاکی، پس از آغاز آزمایش، مربوط به تیمار شاهد در ۱۵ روز پایانی آزمایش و کم‌ترین زنده‌مانی

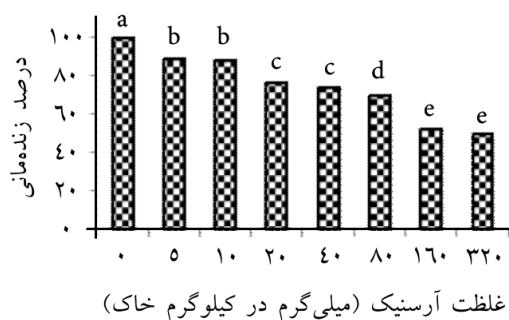
مربوط به سطح آلودگی ۳۲۰ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک در ۱۵ روز پایانی آزمایش بود (جدول ۴). بیش‌ترین درصد زنده‌مانی کرم‌های خاکی، پس از آغاز آزمایش، مربوط به ۱۵ روز اول آزمایش در تیمار دارای بیش‌ترین سطح ماده آلی و کم‌ترین درصد زنده‌مانی نیز مربوط به تیمار بدون ماده آلی در پایان آزمایش بود (جدول ۵). کم‌ترین درصد زنده‌مانی مربوط به سطح‌های آلودگی ۱۶۰ و ۳۲۰ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک بدون ماده آلی در ۱۵ روز پایانی آزمایش بود (جدول ۶). در این تیمارها به‌دلیل بالا بودن غلظت آرسنیک و نبود ماده آلی در خاک و زمان زیاد در معرض قرارگیری، کرم خاکی زنده‌ای یافت نشد.

وزن کرم‌های خاکی: بیش‌ترین میانگین وزن کرم‌های خاکی مربوط به سطوح آلودگی ۵ و ۱۰ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک، به‌میزان ۰/۳۱ گرم، بود که نسبت به تیمار شاهد، به‌ترتیب ۴۰/۹۱ و ۴۰/۴۵ درصد افزایش داشت. (شکل ۴). با گذشت زمان، میانگین وزن کرم‌های خاکی در خاک‌های آلوده به آرسنیک به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بیش‌ترین میانگین وزن کرم‌های خاکی مربوط به روز ۱۵، به‌میزان ۰/۲۴ گرم، بود که نسبت به شروع آزمایش، ۷/۶۹ درصد کاهش داشت (شکل ۵). با افزایش سطح ماده آلی خاک، میانگین وزن کرم‌های خاکی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. میانگین‌های وزن کرم‌ها در تیمارهای ۵ و ۱۰ درصد ماده آلی، نسبت به تیمار بدون ماده آلی به‌ترتیب ۲۳/۱۶ و ۲۴/۷۴ درصد افزایش داشتند و به ۰/۲۳۴ و ۰/۲۳۷ گرم رسیدند (شکل ۶). نتایج اثرهای متقابل سطح‌های مختلف آرسنیک و ماده آلی بر وزن کرم‌های خاکی نشان داد که بیش‌ترین میانگین وزن کرم‌های خاکی مربوط به تیمار دارای سطح آلودگی ۱۰ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک و ماده آلی ۵ درصد، به‌میزان ۰/۳۳۱ گرم و کم‌ترین میانگین وزن کرم‌ها مربوط به تیمار دارای سطح آلودگی ۳۲۰ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک بدون ماده آلی، به‌میزان ۰/۰۷۳ گرم بود (جدول ۳). جدول ۴ نشان داد که بیش‌ترین میانگین وزن کرم‌های خاکی مربوط به تیمار دارای سطح آلودگی ۵ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک در پایان آزمایش، با میانگین ۰/۳۲۲ گرم بود که نسبت به تیمار بدون آلودگی در همان زمان، ۴۰ درصد افزایش داشت. کم‌ترین میانگین وزن در این جدول مربوط به تیمار دارای سطح آلودگی ۱۶۰ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک در پایان آزمایش، به‌میزان ۰/۰۱ گرم بود. جدول مقایسه میانگین‌های اثرهای متقابل سطح‌های مختلف ماده آلی و زمان تماس بر وزن کرم‌های خاکی، نشان داد که بیش‌ترین میانگین وزن کرم‌های خاکی مربوط به تیمار دارای ماده آلی در ۱۵ روز اول آزمایش بود (جدول ۵). بیش‌ترین میانگین وزن کرم‌های خاکی مربوط به ۱۵ روز پایانی آزمایش در تیمار دارای سطح آلودگی ۱۰ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک با میزان ماده آلی ۵ درصد بود (جدول ۶).

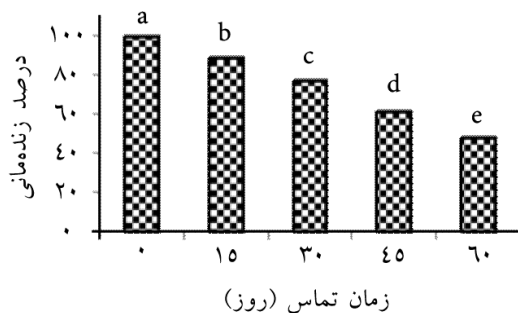
تعداد کوکون تولید شده توسط کرم‌های خاکی: بیش‌ترین میانگین کوکون تولیدی مربوط به سطح آلودگی ۵ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک، به‌میزان ۱/۲۴ عدد، بود. بعد از سطح آلودگی ۵ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک، میانگین تعداد کوکون تولید شده توسط کرم‌های خاکی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در سطوح آلودگی ۱۶۰ و ۳۲۰ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک، هیچ کوکونی در نمونه‌های خاک مورد آزمایش مشاهده نشد (شکل ۷). با گذشت زمان میانگین تعداد کوکون تولیدی توسط کرم‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بیش‌ترین تعداد کوکون تولیدی در ۱۵ روز پایانی آزمایش، به‌میزان ۱/۰۴ عدد، مشاهده شد (شکل ۸). با افزایش سطح ماده آلی خاک تعداد کوکون تولیدی توسط کرم‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بیش‌ترین تعداد کوکون تولیدی مربوط به سطح ماده آلی ۱۰ درصد، به‌میزان ۰/۹۲ عدد بود. تعداد کوکون تولیدی در تیمار دارای ۱۰ درصد ماده آلی نسبت به تیمار بدون ماده آلی، ۲/۸۸ برابر شد (شکل ۹). نتایج اثرهای متقابل سطح‌های مختلف آرسنیک و ماده آلی بر تولید کوکون توسط کرم‌های خاکی، نشان داد که بیش‌ترین تعداد کوکون تولیدی مربوط به تیمار دارای سطح آلودگی ۵ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک دارای ۱۰ درصد ماده آلی، به‌میزان ۱/۷۳ عدد، بود. (جدول ۳). در جدول نتایج اثرهای متقابل سطح‌های مختلف آرسنیک و زمان تماس بر تولید کوکون توسط کرم‌های خاکی، دیده می‌شود که در تیمار دارای سطح آلودگی ۵ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک در پایان آزمایش بیش‌ترین میانگین تعداد کوکون تولیدی مشاهده شده است (جدول ۴). جدول ۵ نشان داد که بیش‌ترین تعداد کوکون تولیدی توسط کرم‌های خاکی در تیمار دارای ۱۰ درصد ماده آلی و در پایان آزمایش مشاهده شد. تیمار بدون آلودگی به آرسنیک با سطح ماده آلی ۱۰ درصد در ۱۵ روز پایانی آزمایش و تیمار دارای سطح آلودگی ۵ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک با ۱۰ درصد ماده آلی در روزهای ۳۰ و ۶۰ آزمایش و همچنین تیمار دارای سطح آلودگی ۱۰ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک با ۱۰ درصد ماده آلی در روزهای ۳۰، ۴۵ و ۶۰ آزمایش دارای بیش‌ترین میانگین کوکون تولیدی، به‌میزان ۳ عدد، بودند (جدول ۶).

تجمع آرسنیک در بدن کرم‌های خاکی: نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر مقدار تجمع آرسنیک در بدن کرم‌های خاکی نشان داد که اثرات ساده سطوح مختلف آرسنیک و ماده آلی و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر مقدار تجمع آرسنیک در بدن کرم‌های خاکی، در سطح آماری ۱ درصد، معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش غلظت آرسنیک در خاک، مقدار تجمع آن در بدن کرم‌های خاکی نیز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. کم‌ترین میزان تجمع آرسنیک در بدن کرم‌های خاکی مربوط به

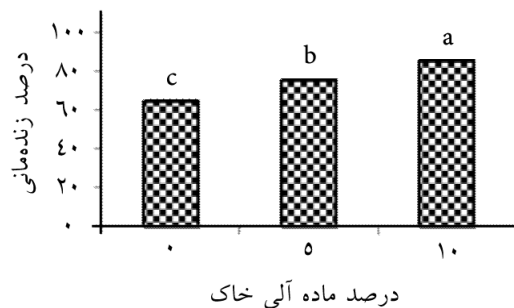
تیمارهای شاهد و سطوح آلودگی ۵ و ۱۰ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک بود که با یکدیگر تفاوت معنی‌دار آماری نداشتند (شکل ۱۰). با افزایش سطح ماده آلی خاک، مقدار تجمع آرسنیک در بدن کرم‌های خاکی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. مقدار تجمع آرسنیک در بدن کرم‌های خاکی در خاک‌های دارای ۵ و ۱۰ درصد ماده آلی به‌ترتیب ۲۹/۴۱ و ۵۵/۲۱ درصد نسبت به خاک‌های بدون ماده آلی کاهش داشت (شکل ۱۱). بیش‌ترین فاکتور تجمع زیستی آرسنیک در بدن کرم‌های خاکی مربوط به سطح آلودگی ۵ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک، به‌میزان ۰/۹۸ بود (جدول ۷). جدول ۳ نشان داد که بیش‌ترین میزان تجمع آرسنیک در بدن کرم‌های خاکی مربوط به تیمار دارای سطح آلودگی ۳۲۰ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک بدون ماده آلی، به‌میزان ۲۸۳/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم کرم خشک بود.



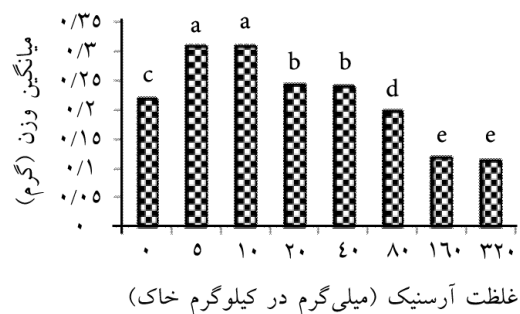
شکل ۱- اثر سطوح مختلف آلودگی خاک به آرسنیک بر درصد زنده‌مانی کرم‌های خاکی.



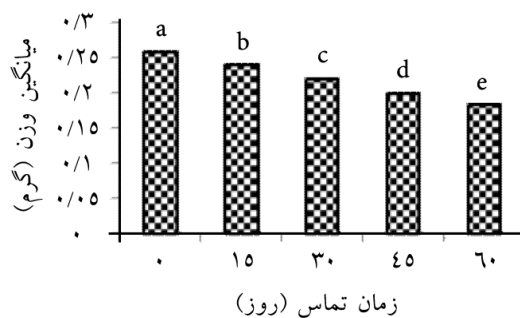
شکل ۲- اثر زمان تماس بر درصد زنده‌مانی کرم‌های خاکی در خاک‌های آلوده به آرسنیک.



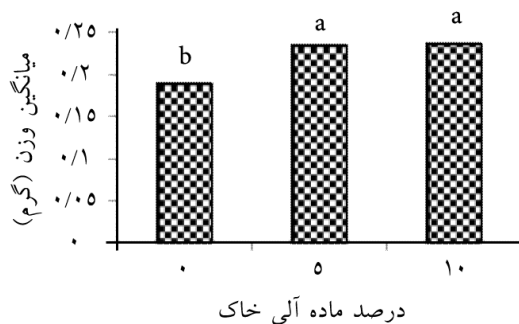
شکل ۳- اثر سطوح مختلف ماده آلی بر درصد زنده‌مانی کرم‌های خاکی در خاک‌های آلوده به آرسنیک.



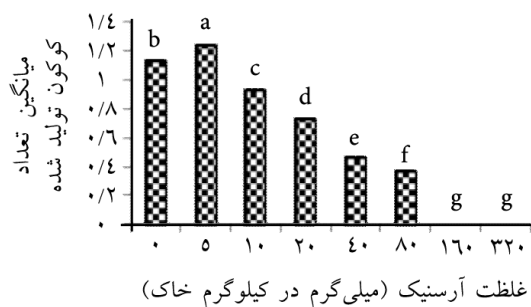
شکل ۴- اثر سطوح مختلف آلودگی خاک به آرسنیک بر وزن کرم‌های خاکی.



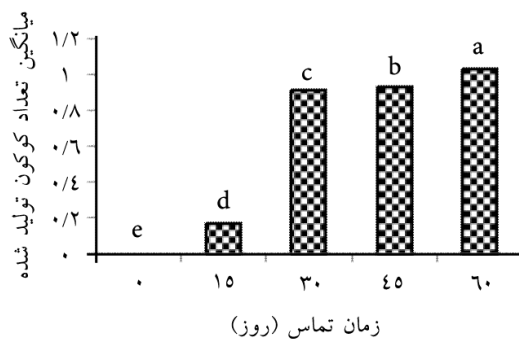
شکل ۵- اثر زمان تماس بر وزن کرم‌های خاکی در خاک‌های آلوده به آرسنیک.



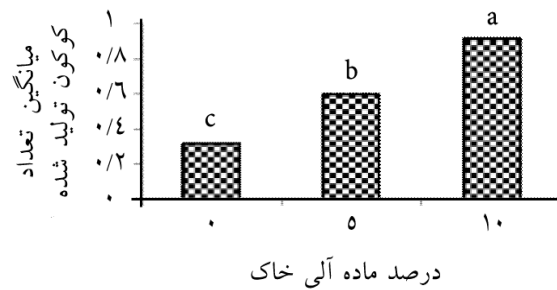
شکل ۶- اثر سطوح مختلف ماده آلی بر وزن کرم‌های خاکی در خاک‌های آلوده به آرسنیک.



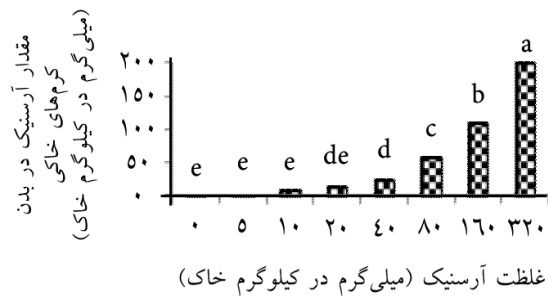
شکل ۷- اثر سطوح مختلف آلودگی خاک به آرسنیک بر تولید کوکون توسط کرم‌های خاکی.



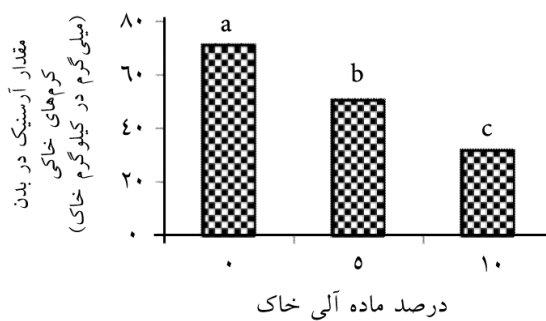
شکل ۸- اثر زمان تماس بر تولید کوکون توسط کرم‌های خاکی در خاک‌های آلوده به آرسنیک.



شکل ۹- اثر سطوح مختلف ماده آلی بر تولید کورکون توسط کرم‌های خاکی در خاک‌های آلوده به آرسنیک.

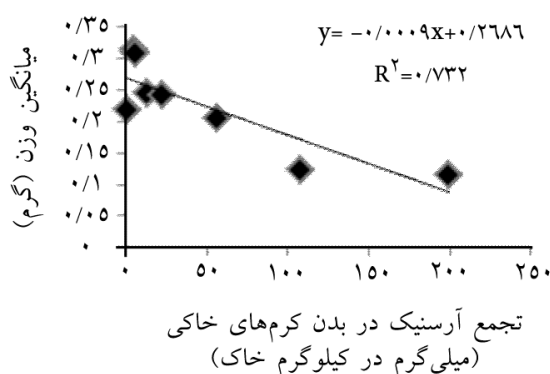


شکل ۱۰- اثر سطوح مختلف آلودگی خاک به آرسنیک بر میزان تجمع آرسنیک در بدن کرم‌های خاکی.

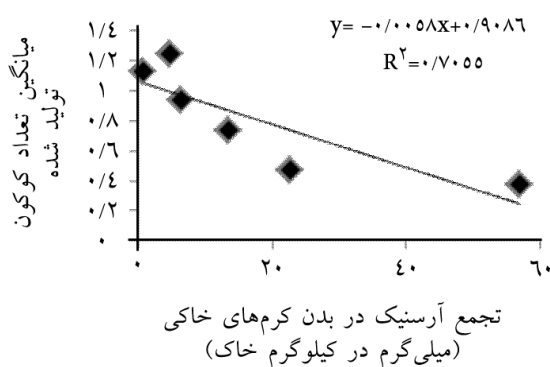


شکل ۱۱- اثر سطوح مختلف ماده آلی بر میزان تجمع آرسنیک در بدن کرم‌های خاکی در خاک‌های آلوده به آرسنیک.

تجمع زیستی آرسنیک در بدن کرم‌های خاکی بر وزن و توانایی تولید کوکون توسط آن‌ها مؤثر بود. با برقراری یک رابطه رگرسیونی بین میزان تجمع آرسنیک در بدن کرم‌های خاکی و میانگین وزن کرم‌ها و توانایی تولید کوکون توسط آن‌ها مشخص شد که با افزایش میزان تجمع آرسنیک در بدن کرم‌های خاکی، میانگین وزن و توانایی تولید کوکون توسط آن‌ها کاهش یافت (شکل‌های ۱۲ و ۱۳).



شکل ۱۲- ارتباط بین میزان تجمع آرسنیک در بدن کرم‌های خاکی و میانگین وزن آن‌ها.



شکل ۱۳- ارتباط بین میزان تجمع آرسنیک در بدن کرم‌های خاکی و میانگین تعداد کوکون تولیدی توسط آن‌ها.

زهرا جمشیدی اردکانی و همکاران

جدول ۴- نتایج اثر متقابل غلظت آرسنیک و سطح ماده آلی بر صفات مورد مطالعه در کرم‌های خاکی.

میانگین			سطح ماده آلی (درصد)	غلظت آرسنیک (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)
مقدار تجمع As در بدن کرم‌ها (میلی‌گرم در کیلوگرم کرم خشک)	تعداد کوکون تولیدی	وزن (گرم)		
۱/۱۲ ^f	۰/۸ ^f	۰/۱۸۷ ⁱ	۹۱/۳۳ ^b	۰
۰/۸۱ ^f	۱ ^e	۰/۲۵۶ ^{de}	۱۰۳/۶۷ ^a	۵
۰/۱۵ ^f	۱/۶ ^c	۰/۲۱۴ ^h	۱۰۴/۳۳ ^a	۱۰
۶/۶۴ ^f	۰/۸ ^f	۰/۳۰۷ ^{ab}	۷۹ ^c	۰
۴/۶۸ ^f	۱/۲ ^d	۰/۳۲۵ ^a	۹۱/۳۳ ^b	۵
۳/۳۸ ^f	۱/۷ ^b	۰/۳۰۹ ^{ab}	۹۸ ^{ab}	۱۰
۸/۳۱ ^f	.j	۰/۲۸۹ ^{bc}	۷۵ ^{cd}	۰
۶/۵۱ ^f	۱ ^e	۰/۳۳۱ ^a	۹۲/۶۷ ^b	۱۰
۴/۲۶ ^f	۱/۸ ^a	۰/۳۰۹ ^{ab}	۹۸ ^{ab}	۱۰
۱۷/۲ ^f	۰/۴ ^h	۰/۲۳۰ ^{fgh}	۶۱/۳۳ ^g	۰
۱۴/۲۶ ^f	۰/۸ ^f	۰/۲۵۴ ^{def}	۶۶/۶۷ ^{efg}	۵
۸/۸۶ ^f	۱ ^e	۰/۲۵۴ ^{def}	۹۴ ^b	۱۰
۳۸/۴۲ ^{def}	۰/۴ ^h	۰/۲۱۰ ^h	۶۳/۳۳ ^g	۰
۱۹/۸۶ ^f	۰/۴ ^h	۰/۲۴۱ ^{efg}	۷۴ ^{cde}	۵
۱۰/۱۲ ^f	۰/۶ ^g	۰/۲۷۷ ^{cd}	۹۳/۶۷ ^b	۱۰
۷۴/۷۶ ^d	۰/۱۴ ⁱ	۰/۱۶۲ ^j	۶۵ ^{fg}	۰
۶۱/۰۱ ^{de}	۰/۳۶ ^h	۰/۲۳۱ ^{efgh}	۷۱/۳۳ ^{def}	۵
۳۴/۶ ^{ef}	۰/۶ ^g	۰/۲۲۱ ^{gh}	۷۴ ^{cde}	۱۰
۱۴۴/۱۸ ^c	.j	۰/۰۸۷ ^{lm}	۴۱/۶۷ ⁱ	۰
۱۱۵/۳۱ ^c	.j	۰/۱۳۴ ^k	۵۲/۵ ^h	۵
۶۵ ^{de}	.j	۰/۱۴۸ ^{jk}	۶۲/۱۴ ^g	۱۰
۲۸۳/۴ ^a	.j	۰/۰۷۳ ^m	۳۸/۳۳ ⁱ	۰
۱۸۲/۷۶ ^b	.j	۰/۱۰۶ ^l	۵۲ ^h	۵
۱۳۰/۷۶ ^c	.j	۰/۱۶۶ ^{ij}	۶۰ ^g	۱۰

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک جلد (۲۱)، شماره (۶) ۱۳۹۳

جدول ۵- نتایج اثر متقابل غلظت آرسنیک و زمان بر صفات مورد مطالعه در کرم‌های خاکی.

تعداد کوکون تولیدی	میانگین		زمان (روز)	غلظت آرسنیک (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)
	وزن (گرم)	درصد زنده‌مانی		
.i	۰/۲۰۷ ^{ijkl}	۱۰۰ ^a	۰	
.i	۰/۲۱۳ ^{hijk}	۹۸/۸۹ ^a	۱۵	
۱/۶۷ ^d	۰/۲۱۹ ^{ghij}	۹۹/۴۴ ^a	۳۰	۰
۲ ^b	۰/۲۲۴ ^{efghij}	۱۰۰/۵۶ ^a	۴۵	
۲ ^b	۰/۲۳۰ ^{efghij}	۱۰۰ ^a	۶۰	
.i	۰/۲۹۶ ^{ab}	۱۰۰ ^a	۰	
۰/۳۳ ^h	۰/۳۱۷ ^a	۹۹/۴۴ ^a	۱۵	
۱/۶۷ ^d	۰/۳۱۵ ^a	۹۲/۲۲ ^{abc}	۳۰	۵
۱/۸۹ ^c	۰/۳۱۸ ^a	۸۳/۸۹ ^{cd}	۴۵	
۲/۳۳ ^a	۰/۳۲۲ ^a	۷۱/۶۷ ^{fg}	۶۰	
.i	۰/۳۹۱ ^{abc}	۱۰۰ ^a	۰	
.i	۰/۳۱۲ ^a	۹۶/۱۱ ^{ab}	۱۵	
۱/۶۷ ^d	۰/۳۱۳ ^a	۹۰/۵۶ ^{abc}	۳۰	۱۰
۱/۳۳ ^e	۰/۳۱۴ ^a	۸۲/۷۸ ^{cde}	۴۵	
۱/۶۷ ^d	۰/۳۱۹ ^a	۷۳/۳۳ ^{efg}	۶۰	
.i	۰/۲۵۹ ^{cdef}	۱۰۰ ^a	۰	
۰/۳۳ ^h	۰/۲۵۹ ^{cdef}	۹۰ ^{abc}	۱۵	
۱/۳۳ ^e	۰/۲۵۹ ^{cdef}	۷۸/۳۳ ^{def}	۳۰	۲۰
۱ ^f	۰/۲۶۰ ^{cde}	۶۱/۱۱ ^{hi}	۴۵	
۱ ^f	۰/۲۹۳ ^{ijkl}	۴۰/۵۶ ^k	۶۰	
.i	۰/۲۷۱ ^{bcd}	۱۰۰ ^a	۰	
۰/۶۷ ^g	۰/۲۴۴ ^{defgh}	۹۱/۶۷ ^{abc}	۱۵	
۰/۳۳ ^h	۰/۲۴۸ ^{defgh}	۷۷/۷۸ ^{def}	۳۰	۴۰
۱ ^f	۰/۲۳۲ ^{efghi}	۶۴/۴۴ ^{gh}	۴۵	
۰/۳۳ ^h	۰/۲۱۷ ^{hijk}	۵۱/۱۱ ^j	۶۰	
.i	۰/۲۵۲ ^{defg}	۱۰۰ ^a	۰	
.i	۰/۲۲۵ ^{efghij}	۸۸/۸۹ ^{bc}	۱۵	
۰/۶۷ ^g	۰/۲۰۹ ^{ijkl}	۷۲/۲۲ ^{fg}	۳۰	۸۰
۰/۳۳ ^h	۰/۱۸۳ ^{klm}	۵۴/۴۴ ^{ij}	۴۵	
۱ ^f	۰/۱۵۴ ^m	۳۵ ^k	۶۰	

زهرا جمشیدی اردکانی و همکاران

ادامه جدول ۵-

تعداد کوکون تولیدی	میانگین		زمان (روز)	غلظت آرسنیک (میلی گرم در کیلوگرم خاک)
	وزن (گرم)	درصد زنده‌مانی		
.i	۰/۲۵۳ ^{defg}	۱۰۰ ^a	۰	
.i	۰/۱۷۶ ^{lm}	۷۴/۴۴ ^{def}	۱۵	
.i	۰/۱۱۹ ⁿ	۵۰/۷۱ ^{ij}	۳۰	۱۶۰
.i	۰/۰۵۸ ^{op}	۲۵ ^l	۴۵	
.i	۰/۰۱۰ ^q	۸/۸۹ ^m	۶۰	
.i	۰/۲۶۸ ^{bcd}	۱۰۰ ^a	۰	
.i	۰/۱۵۹ ^m	۷۶/۱۱ ^{def}	۱۵	
.i	۰/۰۷۸ ^o	۵۰ ^j	۳۰	۳۲۰
.i	۰/۰۳۳ ^{pq}	۲۱/۱۱ ^l	۴۵	
.i	۰/۰۳۸ ^{pq}	۳/۳۳ ^m	۶۰	

جدول ۶- نتایج اثر متقابل زمان و سطح ماده آلی بر صفات مورد مطالعه در کرم‌های خاکی.

تعداد کوکون تولیدی	میانگین		سطح ماده آلی (درصد)	زمان (روز)
	وزن (گرم)	درصد زنده‌مانی		
.i	۰/۲۵۳ ^b	۱۰۰ ^a	۰	
.i	۰/۲۷۳ ^a	۱۰۰ ^a	۵	
.i	۰/۲۶۰ ^{ab}	۱۰۰ ^a	۱۰	
.i	۰/۲۲۱ ^{efgh}	۸۴/۳۸ ^c	۰	
۰/۲۵ ^h	۰/۲۵۱ ^{bc}	۸۹/۵۸ ^{bc}	۵	۱۵
۰/۲۵ ^h	۰/۲۴۶ ^{bcd}	۹۴/۳۸ ^{ab}	۱۰	
۰/۵ ^g	۰/۱۸۸ ^{ij}	۶۵/۲۱ ^e	۰	
۰/۸۸ ^e	۰/۲۳۳ ^{cdef}	۷۷/۸۳ ^d	۵	۳۰
۱/۳۸ ^c	۰/۲۴۰ ^{bcd}	۸۸/۹۱ ^c	۱۰	
۰/۵ ^g	۰/۱۷۰ ^j	۴۴/۱۷ ^f	۰	
۰/۸۸ ^e	۰/۲۱۳ ^{gh}	۶۲/۷۱ ^e	۵	۴۵
۱/۴۶ ^b	۰/۲۲۶ ^{befg}	۷۸/۱۳ ^d	۱۰	
۰/۶۱ ^f	۰/۱۳۳ ^k	۲۸/۱۳ ^g	۰	
۱ ^d	۰/۲۰۴ ^{hi}	۴۸/۵۴ ^f	۵	۶۰
۱/۵ ^a	۰/۲۱۸ ^{efgh}	۶۷/۲۹ ^e	۱۰	

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک جلد (۲۱)، شماره (۶) ۱۳۹۳

جدول ۷- نتایج اثر متقابل غلظت، زمان و سطح ماده آلی بر صفات مورد مطالعه در کرم‌های خاکی.

غلظت آرسنیک (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	زمان (روز)	سطح ماده آلی (درصد)	درصد زنده‌مانی	میانگین وزن (گرم)	تعداد کوکون تولیدی
			۱۰۰.abcd	۰/۱۹۴ ^{opqr}	.e
	۰	۵	۱۰۰.abcd	۰/۲۳۶ ^{efg}	.e
	۱۰	۱۰	۱۰۰.abcd	۰/۱۹۲ ^{qrs}	.e
			۹۶/۶۷ ^{abcde}	۰/۱۹۳ ^{pqrs}	.e
	۱۵	۵	۱۰۰.abcd	۰/۲۴۷ ^{cdef}	.e
			۱۰۰.abcd	۰/۱۹۹ ^{mnp}	.e
			۹۳/۳۳ ^{abcdef}	۰/۱۸۹ ^{qrs}	۲ ^c
	۳۰	۵	۱۰۱/۶۷ ^{abcd}	۰/۲۵۵ ^{abcde}	۱ ^d
			۱۰۳/۳۳ ^{abcd}	۰/۲۱۵ ^{klmn}	۲ ^c
			۸۶/۶۷ ^{defg}	۰/۱۸۱ ^{rstu}	۱ ^d
	۴۵	۵	۱۰۶/۶۷ ^{abc}	۰/۲۶۱ ^{abcde}	۲ ^c
			۱۰۸/۳۳ ^{ab}	۰/۲۳۰ ^{fghi}	۳ ^a
			۸۰ ^{ghij}	۰/۱۷۵ ^{stuv}	۱ ^d
	۶۰	۵	۱۱۰ ^a	۰/۲۷۹ ^{abcd}	۲ ^c
			۱۱۰ ^a	۰/۲۳۶ ^{efgh}	۳ ^a
			۱۰۰.abcd	۰/۳۰۶ ^{abc}	.e
	۰	۵	۱۰۰.abcd	۰/۳۰۵ ^{abc}	.e
	۱۰	۱۰	۱۰۰.abcd	۰/۲۸۱ ^{abcd}	.e
			۹۸/۳۳ ^{abcde}	۰/۳۱۰ ^{abc}	.e
	۱۵	۵	۱۰۰.abcd	۰/۳۲۶ ^{ab}	۱ ^d
			۱۰۰.abcd	۰/۳۱۴ ^{abc}	.e
			۸۳/۳۳ ^{fghij}	۰/۳۰۵ ^{abc}	۱ ^d
	۳۰	۵	۹۶/۶۷ ^{abcde}	۰/۳۲۸ ^{ab}	۱ ^d
			۹۶/۶۷ ^{abcde}	۰/۳۱۲ ^{abc}	۳ ^a
			۶۶/۶۷ ^{opqr}	۰/۳۰۷ ^{abcd}	۱ ^d
	۴۵	۵	۸۶/۶۷ ^{defg}	۰/۳۳۱ ^{ab}	۲ ^c
			۹۸/۳۳ ^{abcde}	۰/۳۱۶ ^{abc}	۲/۶۷ ^b
			۴۶/۶۷ ^{stuv}	۰/۳۱۲ ^{abc}	۲ ^c
	۶۰	۵	۷۳/۳۳ ^{klmn}	۰/۳۳۶ ^{ab}	۲ ^c
			۹۵ ^{abcde}	۰/۳۱۸ ^{abc}	۳ ^a

زهرا جمشیدی اردکانی و همکاران

ادامه جدول ۷-

تعداد کوکون تولیدی	میانگین		سطح ماده آلی (درصد)	زمان (روز)	غلظت آرسنیک (میلی گرم در کیلوگرم خاک)
	وزن (گرم)	درصد زنده مانی			
.e	۰/۲۷۸ ^{abcd}	۱۰۰ ^{abcd}	۰		
.e	۰/۳۱۲ ^{abc}	۱۰۰ ^{abcd}	۵	۰	
.e	۰/۲۸۱ ^{abcd}	۱۰۰ ^{abcd}	۱۰		
.e	۰/۲۸۸ ^{abcd}	۹۰ ^{cdef}	۰		
.e	۰/۳۳۳ ^{ab}	۹۸/۳۳ ^{abcde}	۵	۱۵	
.e	۰/۳۱۵ ^{abc}	۱۰۰ ^{abcd}	۱۰		
.e	۰/۲۸۹ ^{abcd}	۷۸/۳۳ ^{ijklm}	۰		
۲ ^c	۰/۳۳۶ ^{ab}	۹۵ ^{abcdef}	۵	۳۰	۱۰
۳ ^a	۰/۳۱۶ ^{abcd}	۹۸/۳۳ ^{abcde}	۱۰		
.e	۰/۲۹۰ ^{abcd}	۶۳/۳۳ ^{pqrs}	۰		
۱ ^d	۰/۳۳۷ ^{ab}	۸۳/۳۳ ^{ghij}	۵	۴۵	
۳ ^a	۰/۳۱۶ ^{abcd}	۹۶/۶۷ ^{abcde}	۱۰		
.e	۰/۳۰۶ ^{abcd}	۴۳/۳۳ ^{tuv}	۰		
۲ ^c	۰/۳۳۹ ^{ab}	۸۱/۶۷ ^{ghij}	۵	۶۰	
۳ ^a	۰/۳۱۷ ^{abcd}	۹۵ ^{abcdef}	۱۰		
.e	۰/۲۷۴ ^{abcd}	۱۰۰ ^{abcd}	۰		
.e	۰/۲۵۳ ^{abcde}	۱۰۰ ^{abcd}	۵	۰	
.e	۰/۲۵۱ ^{abcde}	۱۰۰ ^{abcd}	۱۰		
.e	۰/۲۷۱ ^{abcd}	۸۶/۶۷ ^{defg}	۰		
.e	۰/۲۵۳ ^{abcde}	۸۵ ^{fghi}	۵	۱۵	
۱ ^d	۰/۲۵۲ ^{abcde}	۹۸/۳۳ ^{abcde}	۱۰		
.e	۰/۲۷۰ ^{abcd}	۶۸/۳۳ ^{nopqr}	۰		
۲ ^c	۰/۲۵۴ ^{abcde}	۷۰ ^{nopqr}	۵	۳۰	۲۰
۲ ^c	۰/۲۵۲ ^{abcde}	۹۶/۶۷ ^{abcde}	۱۰		
۱ ^d	۰/۲۷۰ ^{abcd}	۴۳/۳۳ ^{tuvw}	۰		
۱ ^d	۰/۲۵۵ ^{abcde}	۴۸/۳۳ ^{tuv}	۵	۴۵	
۱ ^d	۰/۲۵۶ ^{abcde}	۹۱/۶۷ ^{defgh}	۱۰		
۱ ^d	۰/۰۶۳ ^z	۸/۳۳ ^z	۰		
۱ ^d	۰/۲۵۷ ^{abcde}	۳۰ ^{wxy}	۵	۶۰	
۱ ^d	۰/۲۵۷ ^{abcde}	۸۳/۳۳ ^{ghij}	۱۰		

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک جلد (۲۱)، شماره (۶) ۱۳۹۳

ادامه جدول ۷-

تعداد کوکون تولیدی	میانگین		سطح ماده آلی (درصد)	زمان (روز)	غلظت آرسنیک (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)
	وزن (گرم)	درصد زنده‌مانی			
.e	۰/۲۶۰ ^{abcde}	۱۰۰ ^{abcd}	۰		
.e	۰/۲۶۱ ^{abcde}	۱۰۰ ^{abcd}	۵	۰	
.e	۰/۲۹۳ ^{abcd}	۱۰۰ ^{abcd}	۱۰		
.e	۰/۲۳۴ ^{efg}	۸۳/۳۳ ^{fghij}	۰		
۱d	۰/۲۴۹ ^{abcde}	۹۱/۶۷ ^{defgh}	۵	۱۵	
۱d	۰/۲۵۰ ^{abcde}	۱۰۰ ^{abcd}	۱۰		
۱d	۰/۲۲۰ ^{ijkl}	۶۳/۳۳ ^{pqrst}	۰		
.e	۰/۲۴۱ ^{abcde}	۷۵ ^{ijklm}	۵	۳۰	۴۰
.e	۰/۲۸۱ ^{abcd}	۹۵ ^{abcdef}	۱۰		
۱d	۰/۱۸۳ ^{rstu}	۴۳/۳۳ ^{tuvw}	۰		
۱d	۰/۲۳۳ ^{cdef}	۶۰ ^{qrst}	۵	۴۵	
۱d	۰/۲۷۹ ^{abcd}	۹۰ ^{defgh}	۱۰		
.e	۰/۱۵۲ ^{vwxy}	۲۶/۶۷ ^{xy}	۰		
.e	۰/۲۱۸ ^{ijklm}	۴۳/۳۳ ^{tuvw}	۵	۶۰	
۱d	۰/۲۷۹ ^{abcd}	۸۳/۳۳ ^{fghij}	۱۰		
.e	۰/۲۳۷ ^{efgh}	۱۰۰ ^{abcd}	۰		
.e	۰/۲۷۰ ^{abcd}	۱۰۰ ^{abcd}	۵	۰	
.e	۰/۲۴۸ ^{cdef}	۱۰۰ ^{abcd}	۱۰		
.e	۰/۲۰۹ ^{klmno}	۸۸/۳۳ ^{fghi}	۰		
.e	۰/۲۴۰ ^{efgh}	۸۸/۳۳ ^{fghi}	۵	۱۵	
.e	۰/۲۲۵ ^{hijk}	۹۰ ^{defgh}	۱۰		
.e	۰/۱۷۵ ^{stu}	۷۰ ^{nopqr}	۰		
۱d	۰/۲۲۸ ^{ghi}	۷۰ ^{nopqr}	۵	۳۰	۸۰
۱d	۰/۲۲۵ ^{ghi}	۷۶/۶۷ ^{ijklm}	۱۰		
.e	۰/۱۲۸ ^{yz}	۴۶/۶۷ ^{stuv}	۰		
.e	۰/۲۱۳ ^{klmn}	۵۶/۶۷ ^{rstu}	۵	۴۵	
۱d	۰/۲۰۸ ^{klmn}	۶۰ ^{qrst}	۱۰		
۱d	۰/۰۶۱ ^z	۲۰ ^{yz}	۰		
۱d	۰/۲۰۶ ^{lmno}	۴۱/۶۷ ^{uvwxy}	۵	۶۰	
۱d	۰/۱۹۷ ^{nopq}	۴۳/۳۳ ^{tuvw}	۱۰		

زهرا جمشیدی اردکانی و همکاران

ادامه جدول ۷-

تعداد کوکون تولیدی	میانگین		سطح ماده آلی (درصد)	زمان (روز)	غلظت آرسنیک (میلی گرم در کیلوگرم خاک)
	وزن (گرم)	درصد زنده‌مانی			
.e	۰/۲۳۵ ^{efgh}	۱۰۰ ^{abcd}	۰		
.e	۰/۲۸۵ ^{abcd}	۱۰۰ ^{abcd}	۵	۰	
.e	۰/۲۳۹ ^{efgh}	۱۰۰ ^{abcd}	۱۰		
.e	۰/۱۴۸ ^{wxy}	۶۸/۳۳ ^{nopqr}	۰		
.e	۰/۱۹۶ ^{opqrs}	۷۱/۶۷ ^{mnpqrs}	۵	۱۵	
.e	۰/۱۸۴ ^{rstu}	۸۳/۳۳ ^{efghij}	۱۰		
.e	۰/۰۵۴ ^z	۳۶/۶۷ ^{wxy}	۰		
.e	۰/۱۴۴ ^{xyz}	۶۰ ^{rstu}	۵	۳۰	۱۶۰
.e	۰/۱۶۰ ^{tuvw}	۶۲/۵ ^{pqrs}	۱۰		
.e	.z	۳/۳۳ ^z	۰		
.e	۰/۰۴۸ ^z	۲۸/۳۳ ^{xy}	۵	۴۵	
.e	۰/۱۲۵ ^{yz}	۴۳/۳۳ ^{tuvw}	۱۰		
.e	.z	.z	۰		
.e	.z	۵ ^z	۵	۶۰	
.e	۰/۰۳۰ ^z	۲۱/۶۷ ^{yz}	۱۰		
.e	۰/۲۴۸ ^{cdef}	۱۰۰ ^{abcd}	۰		
.e	۰/۲۶۶ ^{abcde}	۱۰۰ ^{abcd}	۵	۰	
.e	۰/۲۸۹ ^{abcd}	۱۰۰ ^{abcd}	۱۰		
.e	۰/۱۱۸ ^{yz}	۶۳/۳۳ ^{pqrs}	۰		
.e	۰/۱۶۲ ^{xyz}	۸۱/۶۷ ^{ghij}	۵	۱۵	
.e	۰/۱۹۶ ^{nopq}	۸۳/۳۳ ^{efghij}	۱۰		
.e	.z	۲۸/۳۳ ^{xy}	۰		
.e	۰/۰۷۸ ^z	۴۸/۳۳ ^{stuv}	۵	۳۰	۳۲۰
.e	۰/۱۵۷ ^{uvwx}	۷۳/۳۳ ^{klmn}	۱۰		
.e	.z	.z	۰		
.e	۰/۰۲۵ ^z	۲۶/۶۷ ^{xy}	۵	۴۵	
.e	۰/۰۷۴ ^z	۳۶/۶۷ ^{wxy}	۱۰		
.e	.z	.z	۰		
.e	.z	۳/۳۳ ^z	۵	۶۰	
.e	۰/۱۱۳ ^{yz}	۶/۶۷ ^z	۱۰		

جدول ۸- فاکتور تجمع زیستی آرسنیک در بدن کرم‌های خاکی در سطوح مختلف آلودگی خاک به آرسنیک.

فاکتور تجمع زیستی	مقدار آرسنیک در بدن کرم‌های خاکی (میلی‌گرم در کیلوگرم کرم خشک)	غلظت آرسنیک در خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم)
-----	۰/۷	۰
۰/۹۸	۴/۹	۵
۰/۶۴	۶۳۶	۱۰
۰/۶۷	۱۳/۴۴	۲۰
۰/۵۷	۲۲/۸	۴۰
۰/۷۱	۵۶/۷۹	۸۰
۰/۶۸	۱۰۸/۱۷	۱۶۰
۰/۶۲	۱۹۸/۹۷	۳۲۰

بحث

از منابع مهم آرسنیک در خاک سموم کشاورزی هستند که به‌عنوان حشره‌کش و علف‌کش استفاده وسیعی دارند. این ترکیبات در صنایع چوب و کاغذ به‌عنوان مواد محافظ چوب استفاده می‌شوند. از جمله این ترکیبات می‌توان CCA (مس- کروم آرسنات) و آرسنیک اسید را نام برد (لدوک و همکاران، ۲۰۰۸). این ترکیبات به راحتی در اثر آبیاری و باران از سطح چوب و گیاهان شسته شده و وارد خاک می‌شوند و با توجه به شکل شیمیایی که دارند دسترسی زیستی و سمیت متفاوتی خواهند داشت. دسترسی زیستی فلزات سنگین برای موجودات خاکزی فرآیندی پیچیده است که نه تنها به غلظت عنصر در خاک بلکه به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، سرعت تجمع زیستی، ذخیره و دفع آن توسط موجودات خاکزی و میزان تحمل این موجودات بستگی دارد (شولتز و همکاران، ۲۰۰۴). نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش غلظت آرسنیک در خاک، به دلیل اشباع شدن محیط خاک از آرسنیک، میزان آرسنیک قابل دسترس افزایش یافت و با افزایش قابلیت دسترسی زیستی آرسنیک، اثرات سوء آن بر صفات رشد کرم‌های خاکی افزایش یافت و ماده آلی با کاهش دسترسی زیستی آرسنیک اثرات سوء آرسنیک بر صفات رشد کرم‌ها را کاهش داد. در این پژوهش در سطح آلودگی ۸۰ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک، حدود ۷۰ درصد از کرم‌های خاکی زنده ماندند و تا غلظت ۳۲۰ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک ۵۰/۱۱ درصد از کرم‌های خاکی قادر به زنده ماندن بودند، اما قادر به تولید کوکون نبودند. پژوهش‌های لانگدون و همکاران (۱۹۹۹) نشان داد که کرم‌های

خاکی نسبت به سمیت آرسنیک از خود مقاومت نشان می‌دهند. بیتز و همکاران (۱۹۹۴) گزارش کردند که در خاک‌های آلوده به آرسنیک، در غلظت‌های ۸۰۰-۴۰۰ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک، هیچ کرم خاکی قادر به زنده ماندن و تولید کوکون نبود و در سطوح آلودگی کم‌تر از ۱۰۰ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک، فقط تعداد بسیار اندکی کرم خاکی قادر به زنده ماندن بودند. علت تفاوت نتایج این پژوهش با پژوهش‌های بیتز و همکاران (۱۹۹۴) می‌تواند تفاوت در ترکیب شیمیایی خاک مورد آزمایش باشد. خاک مورد استفاده بیتز و همکاران (۱۹۹۴) علاوه بر آرسنیک، آلاینده‌های دیگری مثل کروم و مس نیز داشت که باعث کاهش زنده‌مانی و تولید کوکون توسط کرم‌های خاکی در غلظت‌های پایین شد. همچنین علت تفاوت نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش‌های لانگدون و همکاران (۱۹۹۹) تفاوت در گونه کرم خاکی مورد استفاده در آزمایش است. طبق نظر مورگان و مورگان (۱۹۹۲) عوامل متعددی بر جذب فلزات سنگین توسط کرم‌های خاکی اثر می‌گذارد. از جمله این عوامل می‌توان به شکل شیمیایی و غلظت فلزات سنگین ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک و خصوصیات اکولوژیکی گونه کرم خاکی اشاره کرد. گونه کرم خاکی مورد استفاده لانگدون و همکاران (۱۹۹۹) *Lumbricus rubellus* بود و گونه کرم خاکی مورد استفاده در این پژوهش *Eisenia fetida* بود. گونه کرم خاکی در پژوهش‌های لانگدون و همکاران (۱۹۹۹)، بومی خاک مورد آزمایش بوده و بنابراین سازگاری بیشتری با آن خاک داشته و در نتیجه مقاومت بیشتری نیز از خود نشان داده است. مورگان و همکاران (۱۹۹۴) علت مقاومت برخی از گونه‌های کرم خاکی به فلزات سنگین را این گونه بیان کردند که فلزات سنگین در بدن کرم‌های خاکی به آنزیم‌های گوگرددار متصل می‌شوند و متالوتیونین^۱ یکی از این نوع آنزیم‌ها است که به فلزات سنگین متصل می‌شود و اثرات سمی آن‌ها را در بدن کرم‌های خاکی کاهش می‌دهد. علت دیگر تفاوت نتایج این پژوهش با پژوهش‌های لانگدون و همکاران (۱۹۹۹)، زمان کوتاه آزمایش در پژوهش‌های آن‌ها می‌باشد. زمان آزمایشات آن‌ها حداکثر ۲۸ روز بود اما در این پژوهش مدت زمان آزمایش ۶۰ روز بود. چون مدت زمان در معرض قرارگیری کرم‌های خاکی در پژوهش‌های لانگدون و همکاران (۱۹۹۹) کوتاه بود، تلفات کرم‌ها نیز کم‌تر بود. در تیمار بدون آرسنیک دارای ۱۰ درصد ماده آلی، جمعیت کرم‌های خاکی نسبت به شروع آزمایش افزایش یافت که نشان‌دهنده شرایط مناسب برای زیست و تولیدمثل کرم‌ها در این تیمارها بود. در خاک‌های آلوده به آرسنیک در سطوح آلودگی ۱۶۰ و ۳۲۰ میلی‌گرم آرسنیک در

1- Metallothionein (MT)

کیلوگرم خاک، هیچ کوکونی مشاهده نشد که نشان‌دهنده اثر سوء آرسنیک بر بلوغ، رشد و ظهور اندام‌های جنسی در کرم‌های خاکی است. با افزایش سطح آلودگی خاک به آرسنیک، میزان تجمع این عنصر در بدن کرم‌های خاکی افزایش یافت. اما با افزایش درصد ماده آلی، میزان تجمع این عنصر در بدن کرم‌های خاکی کاهش یافت. لدوک و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که بیش‌ترین میزان تجمع آرسنیک در بدن کرم‌های خاکی، ۸۰ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم کرم خشک بود که به‌نظر می‌رسد برای گونه *E. fetida* سمی نیست. در این پژوهش میزان تجمع آرسنیک در بدن کرم‌های خاکی، در هر سطح آلودگی متفاوت بود و بیش‌ترین میزان تجمع، ۱۹۸/۹۷ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم کرم خشک، در سطح آلودگی ۳۲۰ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک بود. در سطوح مختلف ماده آلی میزان تجمع آرسنیک در بدن کرم‌های خاکی نیز اندازه‌گیری شد که بیش‌ترین میزان تجمع مربوط به تیمار بدون ماده آلی، به‌میزان ۷۱/۷۵ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم کرم خشک بود. علت این تفاوت با نتایج پژوهش‌های لدوک و همکاران (۲۰۰۸) احتمالاً مربوط به نوع آلاینده‌های مورد استفاده توسط آن‌ها می‌باشد. آلاینده‌های مورد استفاده در پژوهش‌های آن‌ها انواع مختلفی از مواد محافظ چوب بودند که مقادیر متفاوتی از انواع عناصر و فلزات سنگین را دارا بودند و یکی از دلایل تفاوت نتایج این پژوهش با پژوهش‌های آن‌ها به همین دلیل است که سطح آلودگی که آن مواد ایجاد کردند، با سطوح آلودگی در این پژوهش متفاوت بود.

نتیجه‌گیری

با افزایش غلظت آرسنیک در خاک، جمعیت، میانگین وزن و توانایی تولید کوکون توسط کرم‌های خاکی کاهش یافت و هرچه کرم‌های خاکی مدت زمان طولانی‌تری در تماس با این عنصر قرار گرفتند، کاهش جمعیت، وزن و تولید کوکون آن‌ها شدیدتر بود. اما زمانی که در خاک‌های آلوده به آرسنیک میزان ماده آلی افزایش یافت، کاهش جمعیت، وزن و تعداد کوکون تولیدی، از سرعت کم‌تری برخوردار گردید. البته غلظت‌های کم آرسنیک تا حدی برای کرم‌های خاکی مفید بود و موجب افزایش رشد، وزن و تولید کوکون در آن‌ها شد. با افزایش غلظت آرسنیک در خاک، میزان انباشت این عنصر در بدن کرم‌های خاکی افزایش یافت. اما با افزایش میزان ماده آلی در خاک‌های آلوده به آرسنیک، از انباشت این عنصر در بدن کرم‌های خاکی کاسته شد. با افزایش انباشت آرسنیک در بدن کرم‌های خاکی، میانگین وزن کرم‌ها و توانایی تولید کوکون توسط آن‌ها کاهش یافت. نتایج این پژوهش نشان

داد که جمعیت کرم‌ها و توانایی تولید کوکون توسط آن‌ها پارامترهای حساسی برای تشخیص و ارزیابی آلودگی خاک هستند و با تجزیه بدن آن‌ها می‌توان میزان و نوع آلودگی خاک را تعیین کرد. استفاده از مواد آلی از شدت تأثیر آرسنیک بر کرم‌های خاکی کاست و اثر سوء آن را کاهش داد ولی مکانیزم این عمل به خوبی مشخص نیست و لازم است در پژوهش‌های بعدی مشخص گردد.

منابع

1. Allen, H.E. (ed.) 2002. Bioavailability of Metals in Terrestrial Ecosystems; Importance of Partitioning for Bioavailability to Invertebrates, Microbes and Plants, Society for Environmental Toxicology and Chemistry, SETAC Press, New York.
2. Baird, C. 1999. Conclusion about heavy metals, P 381-418. In: Baird, C., and Cann, M. (eds.), Environmental Chemistry, 2rd edition, W.H. Freeman and Co., New York.
3. Bhumbla, D.K., and Keefer, R.F. 1994. Arsenic mobilization and bioavailability in soils, P 51-82. In: Nriagu, J.O. (ed.), Arsenic in the Environment: Part I, Cycling and Characterization, John Wiley and Sons, New York.
4. Boon, D.Y., and Soltanpour, P.N. 1992. Lead, cadmium and zinc contamination of Aspen garden soils. J. Environ. Qual. 21: 82-86.
5. Jenabihaghparsat, R., Golchin, A., and Kohneh, E. 2013. The effects of different levels of cadmium on growth of the earthworm *Eisenia fetida* in a calcareous soil. Mashhad, J. Water Soil. 27: 1. 24-35. (In Persian)
6. Katz, S.A., and Jennis, S.W. 1983. Regulatory compliance monitoring by atomic absorption spectroscopy. VCH, Weinheim, New York.
7. Langdon, C.J., Pearce, T.G., Black, S., and Semple, K.T. 1999. Resistance to arsenic-toxicity in a population of the earthworm *Lumbricus rubellus*. Soil Biology and Biochemistry. 31: 1963-1967.
8. Leduc, F., Whalen, J.K., and Sunahara, G.I. 2008. Growth and reproduction of the earthworm *Eisenia fetida* after exposure to leachate from wood preservatives. Ecotoxicology and Environmental Safety. 69: 219-226.
9. Morgan, A.J., Winters, C., and Yarwood, A. 1994. Speed-mapping of arsenic distribution in the tissues of earthworms inhabiting arsenious soil. Cell Biology International. 18: 911-914.
10. Morgan, J.E., and Morgan, A.J. 1992. Seasonal changes in the tissue metal (Cd, Zn and Pb) concentrations in two ecophysiologicaly similar earthworm species: pollution monitoring implications. Environmental Pollution. 82: 1-7.
11. Pongratz, R. 1998. Arsenic speciation in environmental samples of contaminated soil. The Science of the Total Environment. 224: 133-141.

12. Salt, D.E., Smith, R.D., and Raskin, I. 1998. Phytoremediation. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. 49: 643-668.
13. Schultz, E., Joutti, A., Räsänen, M.L., Lintinen, P., Martikainen, E., and Lehto, O. 2004. Extractability of metals and ecotoxicity of soils from two old wood impregnation sites in Finland. Sci. Tot. Env. 326: 71-84.
14. Yeates, C.W., Orchard, V.A., Speir, T.W., Hunt, J.L., and Hermans, M.C.C. 1994. Impact of pasture contamination by copper, chromium, arsenic timber preservative on soil biological activity. Biology and Fertility of Soils. 18: 200-208.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 21(6), 2015
<http://jwsc.gau.ac.ir>

The effects of exposure time, different levels of arsenic and organic matter on earthworms' growth

***Z. Jamshidi Ardakani¹, A. Golchin², A.H. Pari Zanganeh³
and A.A. Zamani⁴**

¹M.Sc.Graduate, Dept. of Environmental Science, University of Zanjan, ²Professor, Dept. of Soil Science, University of Zanjan, ³Associate Prof., Dept. of Environmental Science, University of Zanjan, ⁴Assistant Prof., Dept. of Environmental Science, University of Zanjan
Received: 12/12/2012; Accepted: 04/25/2014

Abstract

In polluted soils, heavy metals are consumed by earthworms and transferred to other organisms through food chains. Due to the sensitivity of earthworms to pollution, they can be used as bio-indicators for soil pollution evaluation. To determine the effects of organic matter on sensitivity of earthworms to different soil arsenic levels, a factorial experiment with completely randomized design and three replications was performed. The levels of soil arsenic were 0, 5, 10, 20, 40, 80, 160 and 320 mg kg⁻¹ and the rates of added organic matter were 0, 5 and 10% w/w. The earthworms were exposed to soil pollution for different time periods (0, 15, 30, 45 and 60 days) and after that the number of alive earthworms, their weights, the number of produced cocoons and the concentrations of arsenic in tissues of earthworms were determined. Anova results showed that the number of alive earthworms, their weights, the number of produced cocoons decreased as the exposure time and level of soil pollution by arsenic increased. The concentrations of arsenic in tissues of earthworms increased as the exposure time and levels of arsenic in polluted soils increased. The number of alive earthworms, their weights and the number of produced cocoons increased as the level of soil organic matter increased. But the concentrations of arsenic in earthworm tissues decreased as the level of soil organic matter increased. As the concentrations of arsenic in earthworm tissues increased, the weights of earthworms and the number produced cocoons by them decreased.

Keywords: Soil contamination, Heavy metals, Arsenic, Earthworm, *Eisenia fetida*

* Corresponding Author; Email: za_jamshidi@ymail.com

