



اثر جداگانه و همزمان کرم خاکی، قارچ میکوریزا و باکتری بر رشد ذرت و اصلاح زیستی سرب از یک خاک آلوده

علی محوچی^۱ و فایز رئیسی^۲

۱ و ۲ - به ترتیب دانشجوی دکتری و استاد گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

چکیده

به منظور بررسی اثر موجودات زنده بر رشد گیاه، قابلیت دسترسی سرب، غلظت سرب در گیاه و تجمع زیستی و فاکتور انتقال سرب از ریشه به اندام هوایی در خاک های آلوده به سرب، تیمارهای جداگانه و همزمان کرم خاکی، قارچ میکوریزا و باکتری‌ها در کشت ذرت در شرایط گلخانه اجرا شد. به طور کلی تلقیح گیاه با این موجودات، وزن خشک ریشه و اندام هوایی، سرب قابل دسترس و تجمع زیستی سرب را افزایش داد. اگرچه فاکتور انتقال سرب برای گیاه ذرت کمتر از یک بود، اما تنها تیمار همزمان کرم خاکی و باکتری، این نسبت را به بیش از یک افزایش داد. این درحالی است که قارچ میکوریزا فاکتور انتقال را نسبت به تیمار شاهد کاهش داد. به نظر می‌رسد که حضور قارچ میکوریزا موجب رشد بهتر گیاه در تیمارهای کرم خاکی و باکتری می‌شود، حضور هر سه موجود زنده به ویژه در شرایط طبیعی که دور از انتظار نمی‌باشد، می‌تواند نقش بسزایی در کاهش سمیت و بهبود رشد این گیاه در مناطق آلوده داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: کرم خاکی، آربوسکولار میکوریزا، باکتری، فاکتور تجمع زیستی و انتقال، آلودگی سرب

مقدمه

سمیت فلزات سنگین و تجمع آن‌ها در زنجیره غذایی یکی از بارزترین معضلات زیست محیطی و بهداشتی جوامع مدرن امروزی است (کاباتا-پندیاس و موخرجی، ۲۰۰۷). زدودن فلزات سنگین از خاک‌های آلوده با روش‌های سنتی فیزیکی و شیمیایی، ناکارآمد و بسیار هزینه‌بر است. بنابراین تلاش‌هایی برای ایجاد فن‌آوری‌های مؤثر و ارزان قیمت برای پالایش خاک-های آلوده به فلزات سنگین صورت گرفته است (علی و همکاران، ۲۰۱۳). گیاه‌بهبودی (Phytoremediation) یا پالایش سبز یکی از فن‌آوری‌های نویدبخش است که در آن از توانایی گیاهان یا هم‌زیستی گیاهان و میکروب‌ها در جذب، ترابری و انباشت آلاینده‌های خاک استفاده می‌شود (علی و همکاران، ۲۰۱۳؛ ندیم و همکاران، ۲۰۱۴). مزیت‌هایی که این روش نسبت به سایر روش‌ها دارد عبارتند از سادگی، ارزان بودن و امکان بهره‌گیری در سطح وسیع (علی و همکاران، ۲۰۱۳). استخراج گیاهی، یکی از روش‌های گیاه‌پالایی فلزات سنگین است که در آن جذب و جمع‌آوری آلاینده‌ها در بافت‌های قابل برداشت گیاهی مدنظر می‌باشد و با برداشت گیاهان، آلاینده‌ها از خاک زدوده می‌شوند (علی و همکاران، ۲۰۱۳). برخی از موجودات زنده مانند قارچ میکوریزا، باکتری‌های ریزوسفری و کرم‌های خاکی نه تنها در رشد بلکه به‌طور مستقیم و غیرمستقیم در تغییر و تحولات فلزات سنگین در محیط‌های آلوده نیز مؤثر هستند (راج کومار و همکاران، ۲۰۱۲؛ علی و همکاران، ۲۰۱۳). اگرچه نتایج آزمایش‌های انجام یافته در زمینه قارچ‌های میکوریزا و فلزات سنگین متنوع و وابسته به شرایط آزمایش از جمله ویژگی‌های بستر رشد، نوع گیاه و گونه قارچ همزیست می‌باشد، ولی به‌طور کلی به نظر می‌رسد که قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار قادر به تعدیل سمیت

ایجاد شده توسط فلز سنگین برای گیاه و افزایش مقاومت آن می‌باشند (چن و همکاران، ۲۰۰۵). باکتری‌های ریزوسفری افزایش‌دهنده رشد گیاه (PGPR's) (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria)، گروهی از باکتری‌های مفید خاک هستند که در شرایط مختلف از جمله آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین می‌توانند از طریق راه‌کارهای گوناگون باعث تحریک و بهبود رشد گیاهان شوند (ما و همکاران، ۲۰۱۱). PGPRها همچنین می‌توانند با افزایش مقاومت گیاهان به تنش فلزات سنگین و افزایش ریشه‌زایی و زیست‌توده گیاهان و نیز افزایش جذب فلزات سنگین توسط گیاهان، کارآیی گیاه‌بهبودی را بالا ببرند (ما و همکاران، ۲۰۱۱). کرم‌های خاکی نیز ممکن است زیست‌فراهمی فلزات سنگین را به صورت مستقیم یا غیرمستقیم از طریق تغذیه، حفر کانال، تولید فضولات و یا سایر فعالیت‌های متابولیک بر وضعیت شیمیایی فلزات سنگین در خاک تحت تأثیر قرار دهند (سیزمور و هودسون، ۲۰۱۱). رویز و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که فعالیت کرم‌های خاکی، زیست‌فراهمی فلزات سنگین را در خاک افزایش می‌دهد. نتایج برخی مطالعات نشان می‌دهد که کرم‌های خاکی (رویز و همکاران، ۲۰۰۹)، قارچ‌های میکوریزا (هوانگ و همکاران، ۲۰۰۵) و باکتری‌های PGPR (لی و وانگ، ۲۰۱۰) قادر هستند که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم و با سازوکارهای گوناگون زیست‌فراهمی فلزات سمی را برای گیاه تغییر دهند. بنابراین، چنانچه این سه موجود زنده خاک، افزایش زیست‌فراهمی فلزات را به همراه داشته باشند، می‌توانند به ارتقاء گیاه‌بهبودی خاک‌های آلوده کمک نمایند، اما در صورتی که زیست‌فراهمی را کاهش دهند، سمیت فلز برای گیاه کاهش یافته و مقاومت گیاه را در برابر فلز سمی بهبود می‌بخشند. هدف این پژوهش بررسی پیامد مایه‌زنی جداگانه و هم‌زمان کرم خاکی، قارچ و باکتری بر قابلیت دسترسی و استخراج و یا تثبیت عنصر سرب توسط گیاه ذرت در خاک آلوده به سرب، با اندازه‌گیری غلظت و جذب فلزات در اندام هوایی و زیرزمینی گیاهان بود.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری خاک از منطقه دارای پوشش گیاهی در معدن سرب باما (غرب شهر اصفهان) از عمق ۰-۱۵ سانتی‌متری سطح خاک انجام و پس از انتقال به آزمایشگاه، هوا خشک و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل (۲×۲×۲) در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط گلخانه اجرا شد. فاکتورها شامل ۱) کرم خاکی (بدون کرم و با کرم خاکی)، ۲) قارچ میکوریزا (بدون قارچ و با قارچ میکوریزا) و ۳) باکتری (بدون باکتری و با باکتری) که در مجموع ۸ تیمار شاهد (C)، کرم خاکی (E)، قارچ میکوریزا (M)، باکتری (B)، کرم خاکی و قارچ میکوریزا (EM)، کرم خاکی و باکتری (EB)، قارچ و باکتری (MB) و کرم خاکی، قارچ میکوریزا و باکتری (EMB) هر کدام در چهار تکرار می‌باشد. خاک آلوده به فلزات سنگین از منطقه مورد مطالعه پس از استریل شدن در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به مدت دو ساعت در اتوکلاو، در شرایط استریل به گلدان‌هایی با ظرفیت تقریبی ۴ کیلوگرم منتقل شدند. تعداد شش بذر از ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ در هر گلدان پس از استریل سطحی در محلول هیپوکلریت سدیم ۵ درصد و شستشو توسط آب مقطر استریل، در کاغذ صافی مرطوب درون پتری‌دیش جوانه زده و جوانه‌های همسان در گلدان کشت شده و پس از رشد، دو گیاهچه سالم حفظ و مانده آن‌ها حذف شدند. برای اعمال تیمارهای میکروبی، در تیمارهای مربوط به قارچ گلوبوس قبل از انتقال گلدان‌ها، ریشه‌چه‌ها با اسپورهای جداسازی شده از ۱۰۰ گرم مایه تلقیح قارچ میکوریزا شامل ترکیبی از مایه تلقیح قارچ‌های جنس گلوبوس گونه-های گلوبوس موسه^آ و گلوبوس کانستریکتوم که توسط الک ۴۰۰ مش و محلول شکر جداسازی شده و به مدت ۱۰ دقیقه توسط کلرامین T ۰.۲٪، استریل‌توماسین ۰.۲٪ و جنتامایسین ۰.۱٪ استریل سطحی شده، مایه زنی شدند. تعداد ۴ عدد کرم خاکی بالغ، با طول و وزن یکسان که به مدت ۲۴ ساعت در محلول مشابه بالا جهت استریل سطحی و به حداقل رساندن اسپور و باکتری‌های دستگاه گوارش کرم نیمه شناور شده، به گلدان‌های تیمار کرم خاکی و تیمارهای هم‌زمان کرم-باکتری،



کرم- قارچ میکوریزا و همچنین کرم- قارچ میکوریزا- باکتری، دو هفته پس از استقرار گیاهان اضافه شدند. در تمامی واحدهای آزمایشی برای تغذیه کرم‌های خاکی ۲ درصد ماده آلی استریل به شکل بقایای آسیاب شده یونجه با اندازه یک میلی‌متر در تیمارهای کرم خاکی به سطح خاک اضافه و در تیمارهای دیگر به‌طور کامل مخلوط شد. برای تیمار باکتریایی مقدار ۱۵ میلی-لیتر از محیط کشت مایع (Nutrient Broth, NB) حاوی باکتری‌های *باسیلوس* و *کورینه‌باکتریوم* به گلدان‌ها پس از انتقال جوانه‌ها مایه‌زنی شد. آبیاری گلدان‌ها به وسیله آب مقطر استریل، بر اساس نیاز گیاه و نگهداری گلدان‌ها در شرایط گلخانه دانشگاه انجام شد. پس از گذشت حدود ۳ ماه از دوره رشد، شاخساره‌های گیاهان از سطح خاک قطع شدند. بخش‌های زیرزمینی و هوایی به‌طور جداگانه هواخشک و توزین شدند. نمونه‌های گیاهی پس از شستشوی کامل با آب مقطر و خشک شدن به مدت ۷۲ ساعت در آون و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و توزین ماده خشک با استفاده از آسیاب برقی با محافظه تمام استیل آسیاب شدند. غلظت سرب نمونه‌های گیاهی (اندام هوایی و ریشه)، با استفاده از روش خاکستر به روش کمپبل و پلنک (۱۹۹۸) تعیین شد. غلظت فلزات قابل جذب خاک به روش DTPA-TEA (لیندسی و نورول، ۱۹۷۸) و غلظت سرب با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. فاکتور تجمع زیستی (*Bioaccumulation factor*) و انتقال (*Translocation Factor*) به منظور ارزیابی پتانسیل گیاهان در استخراج فلزات سنگین در خاک آلوده استفاده شد (علی و همکاران، ۲۰۱۳). پیش از انجام تجزیه‌های آماری، ابتدا پیش‌فرض‌های تجزیه واریانس از قبیل یکنواختی خطای آزمایش و توزیع نرمال داده‌ها یا باقی‌مانده‌ها بررسی شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از مدل خطی جامع (General Linear Model) توسط نرم‌افزار SAS از طریق آنالیز واریانس فاکتوریل انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

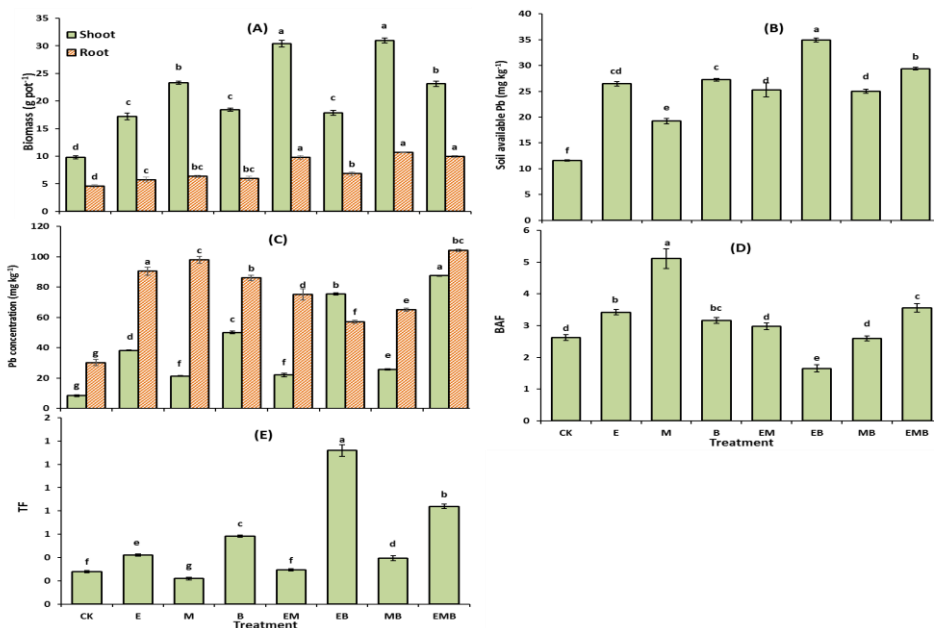
نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که مایه زنی جداگانه و همزمان (دوگانه و سه‌گانه) خاک با کرم خاکی، میکوریزا و باکتری به‌طور قابل توجهی رشد گیاه، قابلیت دسترسی سرب، غلظت سرب در گیاه و همچنین فاکتور تجمع زیستی و فاکتور انتقال را در سطح یک‌دهم درصد تحت تاثیر قرار داد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد تلقیح گیاه ذرت با کرم، قارچ و باکتری، وزن خشک ریشه و اندام هوایی را نسبت به شاهد (عدم تلقیح) افزایش داد. به‌طوری‌که در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا، این افزایش ۲/۳ تا ۳ برابر نسبت به شاهد بیشتر بود (شکل A۱). به نظر می‌رسد که قرچ‌های میکوریزا از طریق بهبود تغذیه معدنی و یا افزایش بردباری به تنش‌های محیطی رشد گیاه را بهبود می‌بخشند (کلارک و زیتو، ۲۰۰۰). اما تفاوت معناداری بین تیمارهای باکتری، کرم خاکی و تلقیح همزمان آن‌ها مشاهده نشد ($P > 0.05$) که احتمالاً ناشی از سمیت سرب در این تیمارها باشد. داری و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند مایه زنی PGPRها به گیاه لوبیا، سبب افزایش زیست‌توده این گیاه در خاک‌های آلوده به سرب می‌شود. همچنین کرم‌های خاکی می‌توانند موجب بهبود رشد و تولید گیاه از طریق افزایش تجزیه مواد آلی و معدنی شدن عناصر که موجب افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی (سولبر و همکاران، ۱۹۹۷) و تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه از طریق تحریک فعالیت میکروبی (ناردی و همکاران، ۲۰۰۲) می‌شود، گردند. حضور همزمان سه موجود زنده مورد آزمایش موجب کاهش رشد گیاه نسبت به تیمار میکوریزا به تنهایی شد که ناشی از افزایش سمیت سرب در مقایسه با تیمار میکوریزا به تنهایی می‌باشد. برخلاف رشد گیاه، بیشترین غلظت سرب قابل دسترسی در تیمارهای جداگانه کرم و باکتری و کمترین آن، در تیمار میکوریزا به تنهایی مشاهده شد (شکل B۱). افزایش تحرک و زیست‌فراهمی سرب توسط کرم‌های خاکی و باکتری توسط دیگر محققان (سیزمور و هودسون، ۲۰۰۹) نیز گزارش شده است. حضور میکوریزا همراه با کرم خاکی و یا باکتری موجب کاهش قابلیت دسترسی سرب خاک گردید. ترکیبات دیواره سلولی

قارچ‌های خاک مانند گروه‌های آزاد آمینو، هیدروکسیل، کربوکسیل و سایر گروه‌ها می‌توانند به فلزات متصل شده و آن‌ها را بی-تحرك نمایند (گونزالزگورنو و همکاران، ۲۰۰۵). به‌طور کلی غلظت سرب در ریشه گیاه (شکل C) بیشتر از اندام هوایی (به جز تیمار همزمان کرم و باکتری) بود. حضور قارچ میکوریزا به تنهایی و یا همراه با کرم یا باکتری کمترین غلظت سرب در اندام هوایی را نشان داد. این درحالی است که کرم و باکتری و تیمار همزمان آن‌ها و به ویژه تیمار سه‌گانه؛ تاثیر قابل توجهی در افزایش غلظت سرب در اندام هوایی داشتند. این بدان معنی است که حضور همزمان کرم و باکتری از اثر قارچ میکوریزا در جلوگیری از انتقال سرب به اندام هوایی کاسته است.

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس (آماره F اثر کرم خاکی (E)، قارچ میکوریزا (M) و باکتری (B) بر رشد گیاه، قابلیت دسترسی سرب، غلظت سرب ریشه و اندام هوایی، فاکتور انتقال، تجمع زیستی و جذب اندام هوایی و ریشه در کشت ذرت.

R ²	C.V. (%)	MSe	برهم‌کنش‌ها				اثرات اصلی			منبع تغییر
			E×M×B	M×B	E×B	E×M	B	M	E	
-	-	۲۴	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	درجه آزادی
۰/۹۸۶	۴/۳۱	۰/۸۴۹	۲۸***	۴۷***	۳۱۲***	۳۴***	۵۶***	۱۱۶۶***	۲۲***	Shoot D.W.
۰/۹۴۳	۸/۱۴	۰/۳۷۱	۲۰***	۵/۵۳*	۲۶***	ns	۶۴***	۲۵۰***	۳۰***	Root D.W.
۰/۹۸۶	۳/۰۸	۰/۴۵۸	۱۹۰***	۴۹***	۱۱۲۷***	۲۳***	۱۲۳***	۴۳***	۱۰۳***	Pb _{Av}
۰/۹۹۸	۳/۲۳	۱/۷۶	۱۲۲۷***	۲۵***	۹۱۶***	۱۶***	۶۲۶۸***	۶۹***	۳۹۲۹***	Pb _{Shoot}
۰/۹۷۶	۵/۹۵	۲۳	۸۰۶***	۱۲**	۱۰۵***	۶/۷۹*	۵/۲۸*	۲۷***	۵۶***	Pb _{Root}
۰/۹۹۰	۷/۹۳	۰/۰۰۴	۱۶***	۷/۶۰***	۱۹۲***	ns	۱۴۲۳***	۱۱۷***	۵۸۳***	#TF
۰/۹۳۴	۷/۸۷	۰/۰۸۳	۲۹۳***	ns	۱۹***	ns	ns	۱۹**	ns	BAF

ns: غیر معنی‌دار در سطح پنج درصد ($P < 0.05$)، * معنی‌دار در سطح پنج درصد ($P < 0.05$)، ** معنی‌دار در سطح یک درصد ($P < 0.01$) و *** معنی‌دار در سطح یک‌دهم درصد ($P < 0.001$). Shoot D.W.: وزن خشک اندام هوایی، Root D.W.: وزن خشک اندام زیرزمینی، Pb_{Av}: سرب قابل دسترس، Pb_{Shoot}: غلظت سرب اندام هوایی، Pb_{Root}: غلظت سرب اندام زیرزمینی، TF: فاکتور ترابری، BAF: فاکتور تجمع زیستی، #: تبدیل شده به روش Box-Cox.



شکل ۱. برهم‌کنش بین تلفیح کرم خاکی (E)، قارچ میکوریزا (M) و باکتری (B) بر رشد گیاه، قابلیت دسترسی سرب، غلظت سرب ریشه و اندام هوایی، فاکتور انتقال، تجمع زیستی و جذب اندام هوایی و ریشه در کشت ذرت، Shoot D.W.: وزن خشک اندام هوایی،



Root D.W.: وزن خشک اندام زیرزمینی، Pb_{Av}: سرب قابل دسترس، Pb_{Shoot}: غلظت سرب اندام هوایی، Pb_{Root}: غلظت سرب اندام زیرزمینی، TF: فاکتور انتقال، BAF: فاکتور تجمع زیستی

نتایج این مطالعه نشان داد که غلظت سرب ریشه، افزایش قابل توجهی در مقایسه با تیمار شاهد، به ویژه در تیمارهای جداگانه داشتند. تجمع زیستی سرب بر اساس سرب قابل دسترس مقادیر بالاتر از یک را نشان داد که بیانگر تجمع این فلز در ریشه است. بر این اساس بیشترین تجمع زیستی در تیمارهای جداگانه و همچنین تیمار سه‌گانه کرم، قارچ و باکتری و کمترین آن در تیمار دوگانه کرم-باکتری مشاهده شد (شکل D). یکی از راه‌های افزایش تحمل سمیت سرب در گیاهان از طریق تجمع سرب در ریشه و ذخیره آن در واکوئل‌ها، به منظور ممانعت از سمیت آن فلز است (سکارا، ۲۰۰۵) که در گیاه ذرت مشاهده شد. نتایج این آزمایش همچنین نشان می‌دهد که تیمار کرم و باکتری و به ویژه تیمار همزمان آن‌ها و همچنین تیمار سه‌گانه به طور قابل توجهی موجب افزایش فاکتور انتقال سرب شد، به طوری که در تیمار همزمان کرم و باکتری این فاکتور بیشتر از یک شد که با نتایج چن و همکاران (۲۰۰۵) ولی و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت دارد. تاثیر قارچ میکوریزا در ممانعت از انتقال سرب به اندام هوایی در تیمار جداگانه و همچنین در حضور کرم یا باکتری مشهود بود (شکل E). این نشان می‌دهد که میکوریزا از طریق کمک به تجمع سرب در ریشه و همچنین دیواره‌های سلولی هیف‌های خود و ممانعت از انتقال سرب به اندام هوایی، به ویژه در شرایط طبیعی که حضور هر سه موجود زنده کرم، قارچ و باکتری محتمل‌تر است، نقش بسزایی در کاهش سمیت و بهبود رشد گیاهان در مناطق آلوده دارد (آزکن و همکاران، ۲۰۰۹). به طور کلی تلقیح گیاه با کرم، قارچ و باکتری؛ وزن خشک گیاه، سرب قابل دسترس و تجمع زیستی سرب را از طریق تاثیر بر فراهمی عناصر غذایی خاک در ریزوسفر گیاه ذرت افزایش می‌دهد. حضور قارچ میکوریزا موجب رشد بهتر گیاه در تیمارهای کرم خاکی و باکتری شد که این اثر را می‌توان به ظرفیت قارچ میکوریزا در ممانعت از انتقال سرب به اندام هوایی و کاهش سمیت سرب برای گیاه دانست. به ویژه در شرایط طبیعی که حضور هر سه موجود زنده کرم، قارچ و باکتری محتمل‌تر است، نقش بسزایی در کاهش سمیت و بهبود رشد گیاهان در خاک‌های مناطق آلوده به سرب دارد.

منابع

- Ali H. Khan E. and Sajad M.A. 2013. Phytoremediation of heavy metals- Concepts and applications. *Chemosphere*. 91: 869-881.
- Azcón R., Perálvarez M.D., Biró B., Roldán A. and Ruíz-Lozano J.M. 2009. Antioxidant activities and metal acquisition in mycorrhizal plants growing in a heavy-metal multi contaminated soil amended with treated lignocellulosic agrowaste. *Applied Soil Ecology*. 41: 168-177.
- Campbell C.R. and Plank C.O. 1998. Preparation of plant tissue for laboratory analysis. In: Kalra Y.P. (ed) *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis*. CRC Press, Taylor & Francis Group. PP. 37-50.
- Chen X., Wu C., Tang J. and Hu S. 2005. Arbuscular mycorrhizae enhance metal lead uptake and growth of host plants under sand culture experiment. *Chemosphere*. 60: 665-671.
- Clark R.B. and Zeto S.K. 2000. Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. *Journal of Plant Nutrition*. 23: 867-902.
- Dai J., Becquer T., Rouiller J.H. and Reversat G. 2004. Heavy metal accumulation by two earthworm species and its relationship to total and DTPA-extractable metals in soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 36: 91-98.
- Gonzalez-Guerrero M., Azcon-Aguilar C., Mooney M., Valderas A., MacDiarmid C.W., Eide D.J. and Ferrol N. 2005. Characterization of a *Glomus intraradices* gene encoding a putative Zn transporter of the cation diffusion facilitator family. *Fungal Genetics and Biology*. 42: 130-140.
- Huang Y., Tao S. and Chen Y. 2005. The role of arbuscular mycorrhiza on change of heavy metal speciation in rhizosphere of maize in waste water irrigated agriculture soil. *Journal of Environmental Science*. 17: 276-280
- Kabata-Pendias A., and Mukherjee, A.B. 2007. Trace elements from soil to human. Springer-Verlag, Berlin, New York.



- Li M.S., Luo, Y. P., and Su Z.Y. 2007. Heavy metal concentrations in soils and plant accumulation in a restored manganese mine land in Guangxi, South China. *Environmental Pollution*. 147: 168-175.
- Li W.C. and Wong M.H. 2010. Effects of bacteria on metal bioavailability, speciation, and mobility in different metal mine soils: a column study. *Soils and Sediments*. 10: 313-325.
- Lindsay W.L. and Norvell W.A. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*. 42: 421-428.
- Ma Y., Dickinson N.M. and Wong M.H. 2006. Beneficial effects of earthworms and arbuscular mycorrhizal fungi on establishment of leguminous trees on Pb/Zn mine tailings. *Soil Biology and Biochemistry*. 38: 1403-1412.
- Ma Y., Prasad M.N.V., Rajkumar M. and Freitas H. 2011. Plant growth promoting rhizobacteria and endophytes accelerate phytoremediation of metalliferous soils. *Biotechnology Advances*. 29: 248-258.
- Nadeem S.M. Ahmad M., Zahir Z.A., Javaid A. and Ashraf M. 2014. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnology Advances*. 32: 429-448.
- Nardi S. Pizzeghello D. Muscolo A. and Vianello A. 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*. 34: 1527-1536.
- Rajkumar M., Sandhya S., Prasad M.N.V. and Freitas H. 2012. Perspectives of plant-associated microbes in heavy metal phytoremediation. *Biotechnology Advances*. 30: 1562-1573.
- Ruiz E., Alonso-Azcarate J. and Rodríguez L. 2011. *Lumbricus terrestris* L. activity increases the availability of metals and their accumulation in maize and barley. *Environmental Pollution*. 159: 722-728.
- Ruiz E., Rodríguez L. and Alonso-Azcarate J. 2009. Effects of earthworms on metal uptake of heavy metals from polluted mine soils by different crop plants. *Chemosphere*. 75: 1035-1041.
- Sękara A., Poniedziałek M., Ciura J. and Jędrszczyk E. 2005. Cadmium and lead accumulation and distribution in the organs of nine crops: Implications for phytoremediation. *Polish Journal of Environmental Studies*. 14(4): 506-516.
- Sizmur T. and Hodson M.E. 2009. Do earthworms impact metal mobility and availability in soil? A review. *Environmental Pollution*. 157: 1981-1989.
- Sizmur T., Palumbo-Roe B., Watts M.J. and Hodson M.E. 2011. Impact of the earthworm *Lumbricus terrestris* (L.) on As, Cu, Pb and Zn mobility and speciation in contaminated soils. *Environmental Pollution*. 159: 742-748.
- Subler S. Baranski C.M. and Edwards C.A. 1997. Earthworm additions increased short-term nitrogen availability and leaching in two grain crop agroecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*. 29: 413-421.

Individual and combined effects of earthworms, arbuscular mycorrhizal fungi and bacteria on maize growth and Pb phytoremediation from a contaminated soil

A. mahohi¹, F. raiesi²

1, 2- PhD Student and Professors of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran, Respectively

Abstract

In order to examine the effects of earthworms, arbuscular mycorrhizal (AM) fungi and bacteria on plant growth, soil lead (Pb) availability, plant Pb concentration and bioaccumulation (BF) and translocation (TF) factors in contaminated soils, the individual and combined treatments of earthworms, AM fungi and bacteria were carried out in soil planted with *Zea mays* under greenhouse condition. In general, inoculation of these organisms increased plant growth, soil Pb availability, plant Pb concentration and BF. Although the TF for maize was lower than 1, it was increased above 1 in polluted soil co-inoculated with earthworm and bacteria. However, AM fungi tended to decrease the TF compared with the un-inoculated maize. It appears that the presence of AM fungi could result in a better plant growth when soil is co-inoculated with earthworm and/or bacteria, especially under natural conditions that the presence of these organisms' together, could reduce Pb toxicity and improve maize.

Key words: Earthworms, AM fungi, bacteria, bioaccumulation and translocation factor, lead pollution