

محور مقاله: آلودگی خاک و آب و سلامت محصولات کشاورزی

اثر میکوریزا، ریزوباکترها و کرم خاکی بر بخش‌بندی سرب در یک خاک آلوده

علی محوچی* و فایز رئیسی

گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

چکیده

درشت‌ریزجانداران خاک در ارتقای رشد گیاه و تغییر قابلیت دسترسی و جذب فلزهای سنگین در گیاه و همچنین گیاه بهسازی خاک‌های آلوده مشارکت دارند. هدف اصلی این پژوهش بررسی اثر همزمان این جانداران (شامل قارچ‌های میکوریزا، ریزوباکترها و کرم خاکی) بر برخی ویژگی‌های میکروبی و بخش‌بندی سرب خاک، پیرامون معدن باما (ایرانکوه- اصفهان) در کشت گیاه ذرت (*Zea mays L.*) بود. مایه‌زنی گونه‌های مقاوم به فلزهای سنگین درشت‌ریزجانداران شامل کرم خاکی (*Eisenia fetida*)، دو گونه قارچی (*Funneliformis mosseae* و *Septoglo mus constrictum*) و دو گونه باکتری گرم مثبت (*Bacillus sp.* و *B. licheniformis*) به تنهایی یا همراه با هم در یک آزمایش فاکتوریل گلدانی تحت شرایط گلخانه به مدت سه ماه انجام گرفت. قارچ‌های میکوریزا، باکتری‌ها و کرم خاکی کربن آلی محلول (به ترتیب ۱/۳۷، ۱/۳۲ و ۱/۲۵ درصد) را افزایش، ولی pH خاک را کاهش دادند و از این‌رو تحرک و انحلال‌پذیری سرب افزایش محسوس یافت. بخش قابل توجهی از سرب باقی‌مانده خاک در حضور جداگانه و هم‌زمان کرم خاکی، میکوریزا و باکتری کاهش و به بخش‌های محلول و قابل تبادل انتقال یافت.

کلمات کلیدی: اثر متقابل میکروبی، کربن آلی محلول، کربن بیومس میکروبی، تنفس میکروبی، بخش‌بندی سرب، تحرک سرب

مقدمه

سمیت عناصر آلاینده برای جانداران از جمله گیاه به تحرک و زیست‌فراهمی آن بستگی دارد و غلظت کل فلز همیشه تعیین کننده میزان سمیت نیست (کاباتا پندیاس، ۲۰۱۱). تحرک و زیست‌فراهمی هر عنصر نیز تابع شکل یا گونه‌های شیمیایی آن می‌باشد (اسپوزیتو و همکاران، ۱۹۸۲). بخش‌بندی فلزهای سنگین، قابلیت دسترسی و تحرک آنها و چشم‌انداز حذف آنها از خاک‌های آلوده تحت تأثیر ویژگی‌های خاک همچون بافت، مقدار ماده آلی و مقدار و نوع کانی‌های رسی، اکسیدهای آهن، آلومینیوم و منگنز و شرایط غالب فیزیکوشیمیایی در خاک (اشباع، هوادهی، pH و پتانسیل ردوکس) است (شهید و همکاران، ۲۰۱۱). pH خاک ارتباط مستقیم با تحرک فلزها داشته و حلالیت و توانایی آنها در تشکیل کلات با خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (هوانگ و همکاران، ۲۰۰۲). برخی از جانداران خاکزی مانند قارچ میکوریزا، باکتری‌ها و کرم خاکی نیز با تغییر شرایط شیمیایی خاک، ممکن است تحرک فلزهای سنگین را افزایش یا کاهش دهند (ون و همکاران، ۲۰۰۴؛ جانوسکوا و همکاران، ۲۰۰۵؛ گامالرو و گلیک، ۲۰۱۱). ثابت شده است تحرک و قابلیت دسترسی فلزهای سنگین در خاک بستگی به توزیع شیمیایی آنها بین فاز جامد و محلول دارد (شهید و همکاران، ۲۰۱۱). ریزوسفر خاک دارای ویژگی‌های شیمیایی بسیار ناهمبندی در مقایسه با توده خاک است که می‌تواند اثر بسیار زیادی بر سرنوشت و جذب فلز داشته باشد که غالباً به دلیل رهاسازی ترشحات ریشه‌ای و ریزجانداران می‌باشد (شهید و همکاران، ۲۰۱۱). بررسی ارتباط جانداران و بخش‌بندی و توزیع سرب بین اجزاء گوناگون شیمیایی در خاک‌های آلوده شده به سرب و سازوکارهای آنها در شناسایی راه‌کارهای توسعه گیاه بهسازی فلزها سنگین کمک می‌کند. یافته‌های برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که ریزوباکتری‌ها (گامالرو و گلیک، ۲۰۱۱)، کرم‌های خاکی (ون و همکاران، ۲۰۰۴) و قارچ‌های میکوریزا (جانوسکوا و همکاران، ۲۰۰۵) قادرند با تغییر شرایط شیمیایی خاک توزیع گونه‌های شیمیایی فلزها و در پی آن زیست‌فراهمی آنها را دست‌خوش تغییر نمایند. از این‌رو، شناخت اثر این جانداران در تثبیت یا افزایش قابلیت دسترسی فلزهای سمی در خاک و در گزینش روش مناسب برای اصلاح خاک توسط گیاهان گوناگون از جمله اهداف این پژوهش بود. هدف این مطالعه بررسی نحوه توزیع سرب در بخش‌های گوناگون جامد خاک شامل محلول و تبادل، ماده آلی، غیر آلی (کربناتی و اکسیدهای آهن و منگنز) و باقی‌مانده بر اثر فعالیت قارچ میکوریزا، کرم خاکی و باکتری پرداخته و تأثیر جداگانه و هم‌زمان هر یک از این موجودات بر مقدار هر بخش در کشت گیاه زراعی ذرت بود.

مواد و روش‌ها

نمونه برداری خاک از منطقه دارای پوشش گیاهی در معدن سرب باما (جنوب غربی 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. خاک مورد مطالعه یک خاک آهکی با بافت لومی است که غلظت سرب کل و قابل دسترس آن به ترتیب ۳۸۷ و 17 mg kg^{-1} بود. این آزمایش به صورت فاکتوریل ($2 \times 2 \times 2$) در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط گلخانه اجرا شد. در مجموع ۸ تیمار شامل شاهد (CK)، کرم خاکی (E)، قارچ میکوریزا (M)، باکتری (B)، کرم خاکی و قارچ میکوریزا (ME)، کرم خاکی و باکتری (BE)، قارچ و باکتری (MB) و کرم خاکی، قارچ میکوریزا و باکتری (MBE) هر کدام در چهار تکرار وجود داشت. خاک آلوده به فلزهای سنگین نمونه‌برداری شده (از عمق ۰-۱۵ سانتی‌متری سطح خاک آلوده دارای پوشش گیاهی) پس از الک (۲ میلی‌متر) و استریل شدن در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به مدت دو ساعت در اتوکلاو، در شرایط استریل به گلدان‌هایی با گنجایش ۴ کیلوگرم منتقل شد. بذره‌های جوانه‌زده (دو گیاه در هر گلدان) ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ (به عنوان شاخصی از یک گیاه زراعی با سرعت رشد و تولید زیست‌توده بالا)، پس از استریل سطحی در محلول هیپوکلریت سدیم پنج درصد در گلدان‌ها کاشته شد. خاک نیمی گلدان‌ها برای اعمال تیمار میکوریزا با ۱۰۰ گرم مایه تلقیح قارچ میکوریزا (آمیزه‌ای از هیف‌ها، اسپورها و ریشه‌های میکوریزی همراه خاک) شامل آمیزه برابر از مایه تلقیح قارچ‌های میکوریزا شامل فونلی فورمیس موسه‌آ و سپتوگلوبوس کانستریکتوم (به ترتیب استخراج شده از خاک معدن سرب انگوران زنجان و آهنگران همدان، بر پایه تحمل به سمیت فلزات سنگین و قابلیت افزایش گیاه‌پالایی آنها) در زیر ریشه جاسازی و مایه‌زنی شدند. در سایر تیمارها نیز ۱۰۰ گرم از همان خاک مایه تلقیح قارچی استریل شده به منظور فراهم کردن شرایط یکسان افزوده شد. تعداد ۴ عدد کرم خاکی بالغ با طول ($4 \pm 0.5 \text{ cm}$) و وزن تر ($0.4 \pm 0.1 \text{ g}$) یکسان 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 شد. در تمامی واحدهای آزمایشی برای تغذیه کرم‌های خاکی ۲ درصد ماده آلی استریل به شکل بقایای پودر شده یونجه با اندازه یک میلی‌متر طی دو مرحله در تیمارهای کرم خاکی به سطح خاک اضافه و در سایر تیمارها به‌طور کامل آمیخته شد. برای تیمار باکتریایی مقدار ۱۵ میلی‌لیتر از محیط کشت مایع (Nutrient Broth, NB) دارای باکتری‌ها شامل آمیزه برابر از باسیلوس و باسیلوس لیجینی فورمیس (استخراج شده از خاک اطراف معدن سرب باما اصفهان بر پایه افزایش قابلیت دسترسی فلزات سنگین) به گلدان‌ها پیش از انتقال جوانه‌ها مایه‌زنی گردید. در سایر تیمارها نیز ۱۵ میلی‌لیتر از همان مایه تلقیح باکتریایی استریل شده به منظور فراهم کردن شرایط یکسان افزوده شد. تیمار باکتریایی شامل ترکیبی از باکتری‌های باسیلوس و باسیلوس لیجینی فورمیس می‌باشد که به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد در انکوباتور در محیط رشد کرده‌اند. جمعیت این باکتری‌ها بر اساس فراوانی کلی باکتری‌ها در خاک آلوده نمونه‌برداری شده از منطقه بررسی شده، حدود $2/6 \times 10^8 \text{ (CFU ml}^{-1}\text{)}$ تنظیم گردید. آبیاری گلدان‌ها به وسیله آب مقطر استریل، بر اساس نیاز گیاه و نگهداری گلدان‌ها در شرایط گلخانه (دمای روز $25 \pm 5^\circ \text{C}$ و شب $18 \pm 2^\circ \text{C}$) انجام گردید. پس از گذشت سه ماه رشد ذرت، اندام‌های رویشی گیاه جداسازی و خاک گلدان جهت آزمایش‌های شیمیایی (خاک هوا خشک) و بیوشیمیایی (خاک تازه) استفاده گردید. تنفس میکروبی در خاک تازه به روش آندرسون، (۱۹۹۳)، کربن زیست‌توده میکروبی خاک به روش جنکینسون و پاولسون (۱۹۷۶) و کربن آلی محلول (DOC) خاک به روش جونز و همکاران (۲۰۰۶) عصاره‌گیری و با روش اکسایش تر تعیین گردید (نلسون و سامرز، ۱۹۹۶). pH خاک در سوسپانسیون دو به یک (v/w) آب به خاک، به کمک دستگاه pH متر اندازه‌گیری شد. غلظت کل سرب بر اساس روش گزارش شده توسط اسپوزیتو و همکاران (۱۹۸۲) اندازه‌گیری شد. روش استخراج پی‌درپی تسبییر و همکاران (۱۹۷۹) با تغییراتی که توسط لستان و همکاران (۲۰۰۳) صورت گرفته است، برای اندازه‌گیری بخش‌بندی سرب استفاده شد و غلظت سرب با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. پیش از انجام تجزیه‌های آماری، ابتدا پیش‌فرض‌های تجزیه واریانس از قبیل همگنی واریانس و توزیع نرمال داده‌های خام بررسی شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از مدل خطی جامع توسط نرم‌افزار SAS از راه تجزیه واریانس فاکتوریل انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد pH، کربن آلی محلول و کربن زیست‌توده میکروبی در سطح یک درصد و تنفس میکروبی در سطح پنج درصد تحت تأثیر تیمارهای هم‌زمان درشت/ریزجانداران قرار گرفت. pH خاک در تمام تیمارهای جداگانه و هم‌زمان نسبت به شاهد کاهش

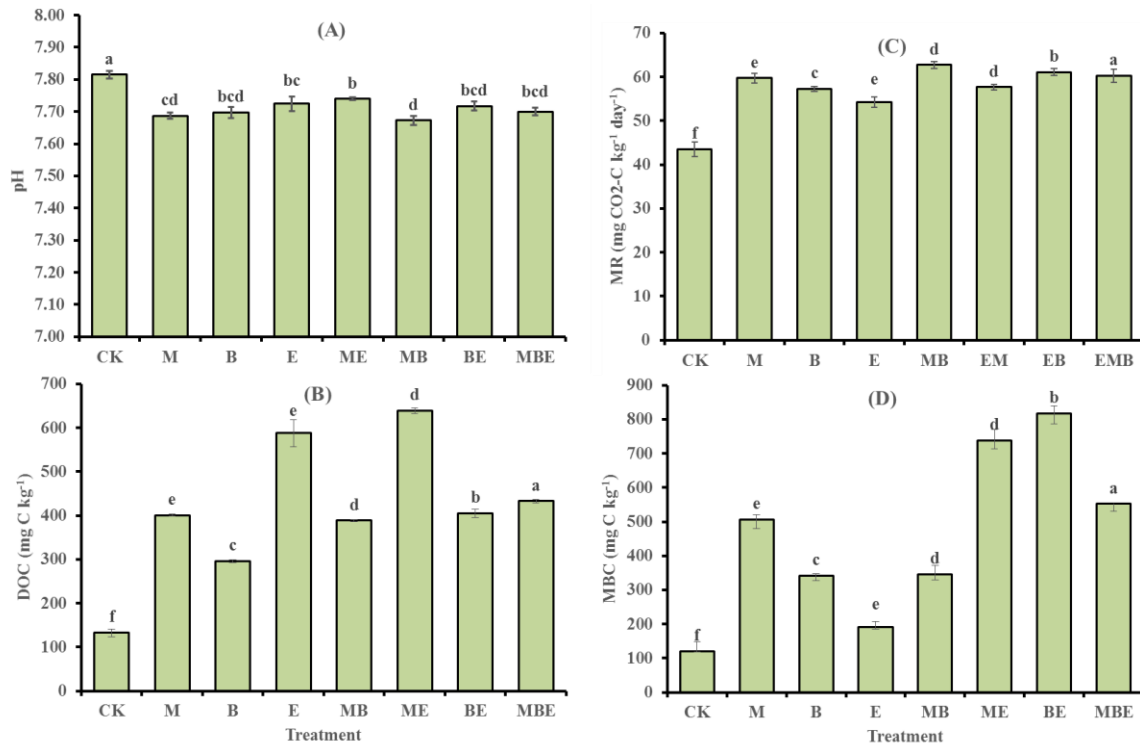
نشان داد. در تیمار شاهد، با وجود عدم مایه‌زنی ریز/درشت جانداران و آبیاری با آب مقطر استریل، فعالیت میکروبی مشاهده شد که احتمالاً به دلیل آلودگی محیطی طی دوره رشد گیاه باشد. با این وجود، تیمار خاک با جانداران مورد آزمایش موجب افزایش ۲۳ تا ۴۳ درصدی سرعت تنفس میکروبی نسبت به شاهد شد. افزون بر این، تیمار هم‌زمان جانداران، سرعت تنفس بیشتری نسبت به تیمارهای جداگانه داشت. کربن آلی محلول خاک در تیمارهای جداگانه کرم خاکی (۴/۴۳ برابر)، میکوریزا (۳/۰۲ برابر) و باکتری‌ها (۲/۲۳ برابر) نسبت به شاهد افزایش یافت، اما در حضور هم‌زمان کرم خاکی و میکوریزا کربن آلی محلول خاک نسبت به تیمارهای جداگانه آنها بیشتر بود (شکل ۱).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس (آماره F) اثر کرم خاکی (E)، قارچ میکوریزا (M) و باکتری (B) بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک و بخش‌بندی سرب خاک در ذرت

C.V. (%)	MSe	اثرهای متقابل				اثرهای اصلی			منبع تغییر ویژگی
		M×B×E	B×E	M×E	M×B	E	B	M	
-	۲۴	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	درجه آزادی
۰/۳۶۳	۰/۰۰۱	۱۲**	۴/۵۹*	۱۴***	ns	ns	۲۱***	۱۵***	pH
۵/۸۹	۵۸۳	۲۰***	۲۴۹***	۶۸***	۳۴***	۶۱۴***	۴۹***	۱۶۵***	DOC
۹/۰۸	۱۶۸۳	۵۵**	۴۳***	ns	۴۲۴***	۲۸۷***	۷۵**	۱۳۵***	MBC
۳/۹۰	۴/۹۵	۴/۴۴*	۵/۶۷*	۳۳***	۲۳***	۹/۱۰**	۷۱***	۵۸***	MR
۴/۰۳	۰/۰۰۲	۴۴***	ns	۱۱۹***	۱۰۰۱***	۷۹۱***	ns	۲۰۷***	Pb _s
۲/۲۵	۰/۰۳۲	۸۸***	۸۵***	ns	۹۹***	۲۴۱***	۱۶۳***	ns	Pb _{Ex}
۲/۰۴	۷/۶۷	۶/۳۵*	۶/۲۹*	۳۹***	ns	ns	۱۶۳***	۱۲۰***	Pb _{Ca}
۸/۹۸	۲۰	۲۳***	۹۱***	۱۷***	ns	ns	ns	ns	Pb _{Ox}
۴/۲۴	۱۲	ns	۷۶***	۲۱***	۷۰***	۱۳۵***	۱۷۹***	ns	Pb _O
۵/۸۷	۷۵	ns	ns	۴۳***	ns	۹۹***	۱۴۹***	ns	Pb _{Resi}

ns: نامعنی‌دار در سطح پنج درصد ($P > 0.05$); * : معنی‌دار در سطح پنج درصد ($P \leq 0.05$); ** : معنی‌دار در سطح یک درصد ($P \leq 0.01$) و *** : معنی‌دار در سطح یک‌دهم درصد ($P \leq 0.001$). C.V. : ضریب تغییر، MSe : میانگین مربع‌های خطا. MR: تنفس میکروبی، DOC: کربن آلی محلول، MBC: کربن زیست‌توده میکروبی، Pb_s: سرب محلول، Pb_{Ex}: سرب قابل تبادل، Pb_{Ca}: سرب پیوند یافته با بخش کربناتی خاک، Pb_{Ox}: سرب پیوند یافته با اکسیدهای آهن و منگنز، Pb_O: سرب پیوند یافته با مواد آلی خاک، Pb_{Resi}: سرب باقی‌مانده، Pb_{Av}: سرب قابل دسترس خاک

بخش‌های گوناگون سرب محلول، قابل تبادل و پیوند یافته با اکسیدهای آهن و منگنز در سطح یک درصد و پیوند یافته با کربنات‌ها در سطح پنج درصد تحت تأثیر تیمارهای هم‌زمان درشت/ریزجانداران قرار گرفت، اما اثر هم‌زمان هر سه جاندار بر سرب پیوند یافته با مواد آلی و باقی‌مانده معنی‌دار نبود (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد سرب محلول در تیمارهای کرم خاکی، میکوریزا و باکتری به ترتیب ۲/۰۴، ۲/۵۹ و ۱/۷۶ برابر نسبت به شاهد بیشتر بود (جدول ۲). لی و همکاران (۲۰۱۱) نیز بیان کردند قارچ‌ها می‌توانند غلظت فلزهای محلول در آب خاک را بالا ببرند، در حالی که ما و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند در سطوح بالای آلودگی فلزهای سنگین قارچ‌های میکوریزا جذب فلز توسط ریشه گیاه را کاهش می‌دهند. غلظت سرب قابل تبادل در تمام تیمارهای جداگانه و هم‌زمان افزایش یافت. تیمار باکتری و میکوریزا سرب قابل تبادل را نسبت به شاهد افزایش دادند. فعالیت میکروبی با افزایش کربن آلی محلول و کاهش pH خاک از راه تولید اسیدهای آلی بیشتر، اثر مثبت در افزایش سرب قابل تبادل داشته است (جدول ۳). سرب محلول و قابل تبادل همبستگی مثبت و معنی‌دار با کربن آلی محلول، تنفس میکروبی و زیست‌توده میکروبی داشت (جدول ۳). به عبارت دیگر، افزایش زیست‌توده میکروبی در اثر مایه‌زنی جانداران به افزایش تنفس میکروبی و کربن آلی محلول و در نتیجه افزایش سرب محلول منجر شده است. تیمارهای جداگانه کرم خاکی و باکتری سرب پیوند یافته به کربنات‌ها را ۷/۵ درصد افزایش دادند (جدول ۲). سرب پیوند یافته با اکسیدهای آهن و منگنز در تمام تیمارهای جداگانه و هم‌زمان کرم خاکی، میکوریزا و باکتری در مقایسه با شاهد کاهش یافت. این کاهش از راه همبستگی مثبت با pH و منفی با کربن آلی محلول تأیید می‌شود (جدول ۳). به عبارت دیگر، افزایش فعالیت میکروبی همراه با افزایش کربن آلی محلول و به تبع آن کاهش pH خاک منجر به کاهش سرب پیوند یافته با اکسیدهای آهن و منگنز شده است (جدول ۳).

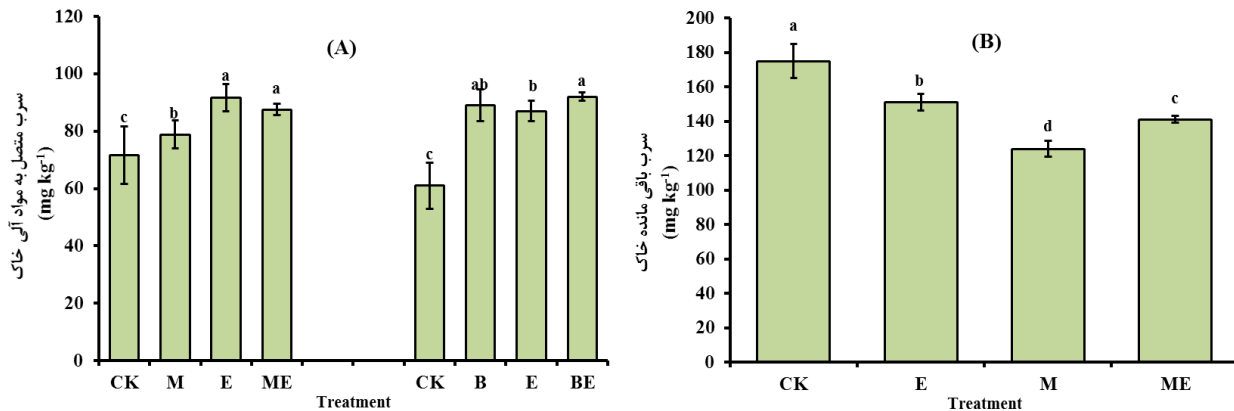


شکل ۱- اثر متقابل بین مایه‌زنی کرم خاکی (E)، قارچ میکوریزا (M) و باکتری (B) بر کربن آلی محلول (DOC) (A)، pH (B)، سرب قابل دسترس خاک (C) و کربن بیومس میکروبی (D) در کشت ذرت. حروف ناهم‌نامند بالای هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارهاست (آزمون دانکن، $P \leq 0.05$). اعداد میانگین و خطوط عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد هستند (n=4). CK: تیمار شاهد.

جدول ۲- اثر متقابل بین مایه‌زنی کرم خاکی (E)، قارچ میکوریزا (M) و باکتری (B) بر بخش‌های گوناگون سرب خاک (mg kg⁻¹) در کشت ذرت

+E		-E		تیمار
Pb _{Ex}		Pb _S		
۸/۲۰±۰/۱۰ c	۶/۱۱±۰/۱۰ e	۱/۰۳±۰/۰۱ d	۰/۵۰±۰/۰۱ f	CK
۸/۳۶±۰/۱۰ bc	۷/۳۲±۰/۱۰ d	۱/۷۰±۰/۰۱ a	۱/۳۱±۰/۰۳ c	M
۸/۴۶±۰/۱۰ abc	۸/۷۱±۰/۱۰ a	۱/۶۲±۰/۰۲ b	۰/۸۹۰±۰/۰۲ e	B
۸/۵۴±۰/۱۰ ab	۷/۴۹±۰/۱۰ d	۱/۰۶±۰/۰۳ d	۰/۸۹۵±۰/۰۳ e	MB
Pb _{Ox}		Pb _{Ca}		
۳۴/۸۱±۰/۰۳ d	۶۳/۷±۱/۴ a	۱۴۳±۱/۰ a	۱۳۳±۲/۰ b	CK
۵۱/۸±۱/۱ b	۵۲/۸±۱/۵ b	۱۲۵±۱/۰ c	۱۳۳±۱/۰ b	M
۵۷/۶±۱/۱ ab	۴۱/۷±۰/۴ c	۱۴۳±۳/۰ a	۱۴۳±۲/۰ a	B
۵۴/۶±۰/۸ b	۴۰/۶±۰/۶ cd	۱۲۶±۱/۰ c	۱۳۵±۱/۰ b	MB

برای هر ویژگی میانگین‌ها با حروف مشابه بین تیمارها بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند. CK: تیمار شاهد. Pb_S: سرب محلول، Pb_{Ex}: سرب قابل تبادل، Pb_{Ca}: سرب پیوند یافته با بخش کربناتی خاک و Pb_{Ox}: سرب پیوند یافته به اکسیدهای آهن و منگنز، اعداد میانگین ± خطای استاندارد هستند (n=4).



شکل ۶-۱ اثر متقابل بین مایه‌زنی کرم خاکی (E)، قارچ میکوریزا (M) و باکتری (B) بر سرب پیوند یافته با مواد آلی (A)، سرب باقی‌مانده (B) در کشت ذرت. تیمار شاهد: CK. حروف ناهم‌اند بالای هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارهاست (آزمون دانکن $P \leq 0.05$). اعداد میانگین و خطوط عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد هستند ($n=8$).

جدول ۳- ضریب همبستگی پیرسون (r) بین برخی ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک و بخش‌های گوناگون سرب خاک در کشت ذرت ($n=32$)

MR	MBC	DOC	pH	
۰/۵۶***	۰/۸۹***	۰/۷۰***	ns	Pb _S
۰/۶۰***	۰/۵۴**	۰/۵۹***	-۰/۴۴*	Pb _{Ex}
ns	ns	ns	ns	Pb _{Ca}
-۰/۳۸*	ns	-۰/۴۲*	۰/۵۰**	Pb _{Ox}
۰/۷۱***	۰/۶۲***	۰/۵۶**	-۰/۵۴**	Pb _O
-۰/۶۶***	-۰/۵۱**	-۰/۳۸*	۰/۴۴*	Pb _{Resi}

ns: نامعنی‌دار در سطح پنج درصد ($P > 0.05$); * معنی‌دار در سطح پنج درصد ($P \leq 0.05$); ** معنی‌دار در سطح یک درصد ($P \leq 0.01$) و *** معنی‌دار در سطح یک دهم درصد ($P \leq 0.001$). MR: تنفس میکروبی، DOC: کربن آلی محلول، MBC: کربن زیست‌توده میکروبی، Pb_S: سرب محلول، Pb_{Ex}: سرب قابل تبادل، Pb_{Ca}: سرب پیوند یافته با بخش کربناتی خاک، Pb_{Ox}: سرب پیوند یافته با اکسیدهای آهن و منگنز، Pb_O: سرب پیوند یافته با مواد آلی خاک، Pb_{Resi}: سرب باقی‌مانده

غلظت سرب پیوند یافته با مواد آلی در تیمارهای جداگانه و هم‌زمان دوگانه کرم خاکی، میکوریزا و باکتری در مقایسه با شاهد افزایش یافت (شکل ۲). به‌طور کلی، در کشت ذرت فراوانی بخش‌های گوناگون سرب خاک به ترتیب زیر است: $Pb_{Resi} \geq Pb_{carb} > Pb_{O} > Pb_{Ox} > Pb_{Ex} > Pb_{S}$. هم‌چنین تیمارهای موجود موجب کاهش سرب بخش‌های پیوند یافته با اکسیدهای آهن و منگنز و به‌ویژه بخش باقی‌مانده و افزایش سرب محلول، قابل تبادل، پیوند یافته با کربنات‌ها و مواد آلی شده است. به عبارت دیگر، حضور هم‌زمان آنها اثر پادکرداری در مقایسه با حضور جداگانه آنها داشت. پژوهش وان و ونگ (۲۰۰۴) نیز نشان داد که فعالیت کرم خاکی ایزنیا فتیدا قابلیت دسترسی فلزهای سنگین را در خاک غیر آهکی افزایش می‌دهد، چرا که غلظت فلزها در بخش‌ها محلول، تبادلی و پیوند یافته با کربنات‌ها افزایش می‌یابد و موجب افزایش تحرک و قابلیت دسترسی آنها می‌شود.

نتیجه‌گیری

به طور کلی، یافته‌های این پژوهش نشان داد تیمارهای جداگانه و هم‌زمان کرم خاکی، میکوریزا و باکتری اثر قابل توجه بر توزیع سرب خاک دارند. کرم خاکی از سرب باقی‌مانده و پیونده یافته با اکسیدها کاسته و بخش‌های محلول، قابل تبادل، کربناتی و آلی را افزایش داد. میکوریزا نیز سرب



باقی مانده را کاهش و به بخش‌های محلول، قابل تبادل و به‌ویژه آلی انتقال داد، اما تغییری در بخش کربناتی ایجاد نکرد. به هر ترتیب، این افزایش در بخش‌های محلول و قابل تبادل در مقایسه با باکتری و کرم خاکی کمتر بود. در تیمارهای هم‌زمان کرم خاکی و باکتری اثرهای آنها هم‌کرداری بود، اما در تیمارهای هم‌زمان در حضور میکوریزا (بر خلاف کرم خاکی و باکتری) توزیع سرب کمتر به سمت بخش قابل تبادل و بیشتر به سمت بخش آلی گرایش داشته است. اثر متقابل سه گانه جانداران، در کاهش سرب باقی‌مانده و پیوند یافته با اکسیدها و ترابری آن به بخش‌های محلول، کربناتی و آلی مشهودتر بود. فلز سرب در حضور میکوریزا تمایل کمتری به بخش کربناتی داشت. در هر حال با توجه به اثر میکوریزا به تنهایی در کاهش قابلیت دسترسی سرب، میکوریزا در حضور هم‌زمان کرم خاکی یا باکتری می‌تواند اثرهای جداگانه کرم خاکی یا باکتری در افزایش قابلیت دسترسی سرب را تعدیل نماید.

منابع

- Anderson, J.M. and Ingram, J.S.I. 1993. Tropical Soil Biology and Fertility. A Handbook of Methods. 2nd (eds.). CAB. International Oxfordshire Wallingford, UK. 221p.
- Gamalero, E. and Glick, B.R. 2011. Mechanisms Used by Plant Growth Promoting Bacteria (Chapter 2) In: Maheshwari, D.K. (ed.) Bacteria in Agrobiolgy, Plant Nutrient Management. Springer- Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 17-46.
- Huang, Q.Y., Chen, W.L. and Guo, X.J. 2002. Sequential fractionation of Cu Zn and Cd in soils in the absence and presence of rhizobia. In: Proceedings of 17th WCSS August 14- 21, Thailand, 1453p.
- Janouskova, M., Pavlikova, D., Macek, T. and Vosgtka, M. 2005. Influence of arbuscular mycorrhiza on the growth and cadmium uptake of tobacco with inserted metallothionein gene. Applied Soil Ecology, 29, 209-214.
- Jenkinson, D.S. and Powelson, D.S. 1976. The effect of biocidal treatments of metabolism in soil-V: A method for measuring soil biomass. Soil Biology and Biochemistry, 8, 209-213.
- Jones, D.L. and Willett, V.B. 2006. Experimental evaluation of methods to quantify dissolved organic nitrogen (DON) and dissolved organic carbon (DOC) in soil. Soil Biology and Biochemistry, 38, 991-999.
- Kabata-Pendias, A. 2011. Trace elements in soils and plants, 4th ed. Taylor and Francis Group, Boca Raton London New York. 505p.
- Lestan, D., Grcman, H., Zupan, M. and Bacac, N. 2003. Relationship of soil properties to fractionation of Pb and Zn in soil and their uptake into *Plantago lanceolata*. Soil and Sediment Contamination, 12, 507-522.
- Li, H. Ye, Z.H., Chan, W.F., Chen, X.W., Wu, F.Y., Wu, S.C. and Wong, M.H. 2011. Can arbuscular mycorrhizal fungi improve grain yield As uptake and tolerance of rice grown under aerobic conditions? Environmental Pollution, 159, 2537-2545.
- 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.
- Nelson, D.W. and Sommers, L.E. 1996. Total carbon organic carbon and organic matter. In: Sparks, D.L. (ed.). Methods of Soil Analysis part 3 Chemical Methods. Soil Science Society of America: Madison WI SSSA Book Serie, pp. 153-188.
- Shahid, M., Pinelli, E., Pourrut, B., Silvestre, J. and Dumat, C. 2011. Lead-induced genotoxicity to *Vicia faba* L. roots in relation with metal cell uptake and initial speciation. Ecotoxicology and Environmental Safety, 74, 78-84.
- Sposito, G. Lund, L.J. and Chang, A. 1982. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge. I. Fractionation of Ni Cu Zn Cd and Pb in solid phases. Soil Science Society of America Journal, 46, 260-264.
- Tessier, A., Campbell, P.G. and Bisson, M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. Analytical Chemistry, 51, 844-851.
- Wan, J.H.C. and Wong, M.H. 2004. Effects of earthworm activity and P-solubilizing bacteria on phosphorus transformation in soil. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 167, 209-213.



16th Iranian Soil Science Congress

University of Zanjan, Iran, August 27-29, 2019



Topic for submission: Soil and Water Pollution and Crop Health

The effects of mycorrhizal fungal, bacterial and earthworm incubation on Pb speciation in the soil polluted

Mahohi*, A., Raiesi, F.

Soil Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Iran

Abstract

Micro- and macro-organisms are involved in plant growth promotion and may be change heavy metals availability and plant uptake with a great contribution to the phytoremediation of metal-contaminated soils. The main objective of this study was to examine the combined influences of these organisms (including mycorrhizal fungi, rhizobacteria and earthworm) on some soil microbial properties, metal fractionation and availability in maize (*Zea mays* L.) planting under a soil highly polluted with Pb mining activities, in Bama (Irakouh-Isfahan). Metal tolerant AMF (*Funneliformis mosseae* and *Septoglomus constrictum*), PGPR (*Bacillus sp.* and *B. licheniformis*) and earthworms (*Eisenia fetida*) were used either alone or in combination in a factorial pot experiment under greenhouse conditions for 3 months. Inoculation of AMF, PGPR and earthworm led to an increase in dissolved organic carbon (3.02, 2.23 and 4.43 times, respectively), microbial biomass carbon (4.21, 2.83 and 1.59 times, respectively) and microbial respiration (1.37, 1.32 and 1.25 times, respectively), a decrease in soil pH and subsequently an increase of soil Pb mobility and availability. Soil residual Pb was reduced considerably by the individual and combined inoculations of earthworms, mycorrhiza and PGPR and transformed to the soluble, exchangeable and organically bound Pb fractions.

Keywords: Microbial interactions, Dissolved organic carbon, Microbial biomass carbon, Microbial respiration, Pb fractionation, Pb mobility

* Corresponding author, Email: alimahohi@yahoo.com