نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۵، شماره ۵، آذر - دی ۱۳۹۰، ص. ۱۰۷۹-۱۰۶۹

Journal of Water and Soil
Vol. 25, No. 5, Nov-Des 2011, p. 1069-1079

بررسی پاسخ‌های آفتابگردان به سمیت کادمیوم و سرب با کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه در یک خاک آهکی

بابک متشرع زاده [۱*]- غلامرضا ثواقبی [۲]

تاریخ دریافت:۸۹/۵/۱۷
تاریخ پذیرش:۹۰/۴/۸

چکیده

امروزه آلودگی فلزات سنگین در خاک به مشکل بزرگی تبدیل شده که تجمع آن در گیاهان می‌تواند به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر زندگی حیوانات و انسان اثر گذار باشد. سرب و کادمیوم فلزات سمی هستند که با افزایش آلودگی‌های زیست محیطی، ورود آنها به زنجیره غذایی به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. در این تحقیق سه سطح کادمیوم (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)، سه سطح سرب (صفر، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)، و سه سطح زادمایه باکتری‌های محرک رشد (B_0: Control , B_1: *Bacillus mycoides*, B_2: *Bacillus circulans*) در قالب آزمایش فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. سپس پاسخ‌های گیاهی آفتابگردان به سمیت فلزات کادمیوم و سرب شامل غلظت و جذب عناصر سنگین سمی و کم‌مصرف و وزن ماده خشک در شرایط گلخانه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصله نشان داد که با افزایش سطوح کادمیوم و سرب در خاک، غلظت این عناصر سمی در اندام‌های گیاهی (ریشه و اندام هوایی) به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($P<0.05$). بر این اساس کادمیوم توانایی قابل ملاحظه‌ای در انتقال از ریشه به اندام هوایی نشان داد. بیشترین میزان فاکتور انتقال کادمیوم در شش تیمار مختلف و به میزان ۱/۰۰ و بیشترین فاکتور انتقال سرب نیز در تیمار $Cd_{200}Pb_{400}B_2$ و به میزان ۰/۷۱۶ گزارش گردید. بیشترین جذب کادمیوم و سرب در ریشه به‌ترتیب در تیمارهای $Cd_{100}Pb_{400}B_1$ و $Cd_0Pb_{400}B_1$ با مقادیر ۲۶۰ و ۴۸۱ g/Pot μ با مصرف زادمایه باکتری مقاوم و در اندام هوایی به‌ترتیب در تیمارهای $Cd_{200}Pb_{200}B_0$ و $Cd_0Pb_{400}B_1$ با مقادیر ۳۷۷ و ۳۸۹ g/Pot μ مشاهده گردید. کاربرد زادمایه باکتری‌های بومی مقاوم به فلزات سنگین، ضمن بهبود شرایط جذب عناصر غذایی گیاه، به افزایش مقاومت گیاه در شرایط تنش کمک می‌کند.

واژه‌های کلیدی: آفتابگردان، آلودگی خاک، زادمایه باکتری، فلزات سنگین

مقدمه

آلودگی‌های حاصل از فلزات سنگین از جمله کادمیوم، سرب، آرسنیک و جیوه، در محیط زیست به شدت در حال گسترش می باشد و زندگی موجودات را تحت تاثیر قرار می‌دهد (۱۱). بیشترین مقدار فلزات سنگین از طریق استفاده از لجن فاضلاب و مواد زائد در خاک‌های کشاورزی و نیز در نتیجه فعالیت‌های صنعتی انسان نظیر رنگ‌سازی، کارخانجات سیمان، لاستیک‌سازی، تولید کودها از خاک فسفات، سوخت خودرو و صنایع ذوب فلز وارد خاک می‌شود (۲۳). سرب به‌طور طبیعی در نهشته‌های معدنی و نیز در رسوبات به همراه نقره وجود دارد. این فلز شایع‌ترین و فراوان‌ترین آلاینده محیط زیست و انسان به‌شمار می‌رود. با افزایش سطوح جذب این فلز، برآورد شده که بدن انسان می‌تواند روزانه ۲-۱ mg سرب را تا غلظت کل ۲۰۰- ۱۲۵ جذب کند که این مقدار ۱۰۰۰-۵۰۰ برابر بیشتر از میزان آن در استخوان افراد سال‌خورده است (۱۳). کادمیوم یکی از اجزاء نهشته‌های روی به‌شمار می‌آید. اگر چه فراوانی کادمیوم کمتر از سرب است اما به‌واسطه امکان ورود آن به هوا، غذا و آب، یک معضل عمده زیست محیطی به‌شمار می‌رود ضمن آنکه سمیت کادمیوم برای انسان بسیار شدیدتر از سرب بوده و می‌تواند سبب بروز مشکل در عملکردهای آنزیمی وی گردد (۱۳).

محققین با بررسی تاثیر سرب بر عملکرد ۲۰ رقم برنج دریافتند آلودگی خاک به این فلز در حد ۸۰۰ mg عملکرد گیاه را تحت تاثیر قرار داد و بین ارقام مختلف تفاوت معنی‌داری در جذب و انتقال سرب

۱و۲- استادیار و دانشیار گروه مهندسی علوم خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی (کرج)، دانشگاه تهران
(*- نویسنده مسئول: Email: moteshare@ut.ac.ir)

مشاهده گردید (۱۶). غلظت و میزان انتقال سرب از ریشه به دانه نسبت به سایر اندام هوایی بسیار اندک گزارش گردید ضمن آنکه سرب دانه به‌طور معنی‌داری با وزن دانه‌ها همبستگی داشت اما سرب ساقه با وزن دانه و غلظت سرب دانه همبستگی منفی نشان داد. لوپز- میلان و همکاران (۱۸) با بررسی سمیت کادمیوم در گوجه‌فرنگی گزارش دادند با ایجاد آلودگی در حد ۱۰ و ۱۰۰ میکرومولار، رشد ریشه و اندام هوایی گوجه فرنگی در محیط آبکشت کاهش یافت و علائم سمیت و زردی برگ‌ها در اندام هوایی در غلظت ۱۰ میکرومول و نقاط نکروزه در غلظت ۱۰۰ میکرومول و قهوه‌ای شدن ریشه‌ها در هر دو غلظت مشاهده گردید. محققین در بررسی جذب کادمیوم در کاهو اعلام کردند کادمیوم عمدتاً در برگ‌ها تجمع یافت (۲۷). شنگ و زیا (۳۱) با استفاده از زادمایه باکتری‌های مقاوم به کادمیوم، رشد گیاه کلزا و جذب کادمیوم را بررسی نمودند. نتایج حاصله نشان داد کاربرد زادمایه سبب افزایش رشد کلزا و بالا رفتن جذب کادمیوم گردید. در این تحقیق ضمن جداسازی باکتری‌های مقاوم از اراضی آلوده، باکتری‌هایی که دارای توان حل‌کنندگی کربنات کادمیوم در محیط بودند شناسایی گردید. نتایج تجزیه نشان داد که این باکتری‌ها دارای توان حل‌کنندگی کادمیوم بالایی (بین ۲۴ تا $mg\ L^{-1}$ ۱۱۷) دارند لذا به عنوان جدایه‌های مقاوم به کادمیوم شناسایی شدند. این جدایه‌ها سبب تحریک رشد ریشه و افزایش ریشه‌زایی تا ۳۱ درصد بیشتر نسبت به تیمار شاهد شدند. بر اساس این نتایج محققین سه جدایه برتر که حاوی خصوصیات محرک رشد گیاه نیز بودند انتخاب و در آزمایش گلدانی مورد استفاده قرار دادند. نتایج حاصله نشان داد کاربرد زادمایه سبب افزایش وزن خشک ریشه (از ۸ تا ۲۰ درصد) و افزایش ماده خشک اندام هوایی (از ۶ تا ۲۵ درصد) گردید. همچنین غلظت کادمیوم در گیاه بین ۱۶ تا ۷۴ درصد نسبت به تیمار شاهد (بدون باکتری) در خاک‌های آلوده به کادمیوم ($mgkg^{-1}$ ۱۰۰) افزایش یافت. این باکتری‌ها دارای برخی خصوصیات محرک رشد از جمله توان تولید ایندول استیک اسید و تحریک ریشه‌زایی و از جنس‌های سودوموناس، باسیلوس و زانتوموناس بودند. گلچین و همکاران (۲) در بررسی نحوه توزیع سرب در اندام‌های مختلف آفتابگردان و کلزا گزارش دادند میزان سرب موجود در اندام‌های گیاهی از غلظت قابل جذب این عناصر در خاک تبعیت می‌کرد و با افزایش غلظت سرب قابل جذب در خاک، غلظت آن در گیاه نیز افزایش یافت. حداکثر میزان تجمع در ریشه و اندام هوایی کلزا به‌ترتیب به میزان ۷۰۴/۲ و ۵۵۹/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم و حداکثر تجمع در دانه آفتابگردان به میزان ۳/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شد. متشرع زاده و همکاران (۴) ضمن شناسایی گیاهان بومی اطراف معدن سرب و روی عمارت اراک، غلظت عناصر سنگین و فاکتور انتقال را در گیاهان گزارش دادند. در این تحقیق ۷ جدایه باکتری محرک رشد گیاه از خاک‌های مورد مطالعه جداسازی و شناسایی گردید. خسروی و همکاران (۱) در بررسی تاثیر کلرید پتاسیم بر جذب کادمیوم و ارتقای گیاه‌پالایی آن توسط کلزا و آفتابگردان در یک خاک آلوده به کادمیوم منطقه انگوران زنجان گزارش دادند که بیشترین مقدار جذب کادمیوم توسط آفتابگردان (۸۴/۵۷ میکروگرم در گلدان) و کلزا (۶۴/۱ میکروگرم در گلدان) با مصرف ۲۰۰ میلی‌گرم K_2O در کیلوگرم خاک بدست آمد. فاکتور انتقال کادمیوم در کلزا (۲/۵) بزرگتر از آفتابگردان (۱/۶) بود. فتاحی کیاسری و همکاران (۳) در بررسی امکان گیاه پالایی خاک آلوده به سرب در سطح ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم با استفاده از آفتابگردان، ذرت و پنبه گزارش دادند ذرت در بین سه گیاه دارای توان بالاتری در جذب و انتقال سرب بود. این پژوهش با هدف: ۱- بررسی پاسخ‌های گیاهی آفتابگردان به سطوح مختلف کادمیوم و سرب، ۲- بررسی تاثیر باکتری‌های محرک رشد بر جذب و انتقال فلزات سنگین و عناصر غذایی کم‌مصرف و رشد گیاه در پائیز سال ۱۳۸۸ در گلخانه گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه تهران اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده‌سازی خاک: خاک مورد استفاده در کشت گلخانه‌ای، از مزرعه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران با نام علمی Xeric Haplocambids, Fine Loamy, Mixed, Super Active thermic واقع در کرج تهیه گردید. پس از هواخشک کردن خاک، خاک مورد نظر از الک ۲ mm عبور داده شد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن بر اساس روش‌های استاندارد آزمایشگاهی تعیین گردید (جدول ۱). برای تعیین بافت خاک از روش هیدرومتری (۸)، نیتروژن کل خاک به روش کجلدال (۹)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (۱۵)، پتاسیم قابل جذب به روش استات آمونیوم نرمال (۱۴)، pH در عصاره اشباع (۳۵)، قابلیت هدایت الکتریکی با دستگاه هدایت‌سنج (۲۹)، کربنات کلسیم (۸)، درصد ماده آلی به روش والکلی و بلاک (۲۲)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش باور (۳۴)، غلظت فلزات سنگین به روش عصاره‌گیری با DTPA (۱۶) و با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری و برای قرائت کلروفیل از دستگاه کلروفیل‌متر استفاده گردید. در آزمایش گلخانه‌ای سه سطح کادمیوم از منبع نیترات کادمیوم $Cd(NO_3)_2.4H_2O$ شامل تیمارهای شاهد (Cd_0)، Cd_{100} و Cd_{200} میلی‌گرم در کیلوگرم و سه سطح سرب از منبع نیترات سرب $Pb(NO_3)_2$ شامل تیمارهای شاهد (Pb_0) ، Pb_{200} و Pb_{400} میلی‌گرم در کیلوگرم به همراه اثرات متقابل سرب و کادمیوم و سه سطح زادمایه شامل تیمارهای شاهد (B_0)، M_1 *Bacillus mycoides* (B_1)، M_3 *Bacillus circulans* (B_2)، در قالب یک آزمایش فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در یک خاک آهکی و در شرایط گلخانه، اجرا گردد. دو

زادمایه مصرفی دارای مقاومت به کادمیوم و سرب بوده و همچنین دارای برخی خصوصیات محرک رشد گیاه از جمله توان تولید سیدروفور میکروبی، توان تولید فیتوهورمون اکسین، توان تولید آنزیم ACC دآمیناز و مقاوم به شوری بودند (۴).

کشت گلخانه‌ای: بذر آفتابگردان رقم SHF 81-85 از موسسه تحقیقات تهیه بذر و نهال کرج تهیه گردید. برای ایجاد آلودگی فلزات سنگین در خاک، عناصر کادمیوم و سرب به صورت نمک‌های مورد نظر در مقدار مشخصی آب مقطر حل شده و به‌طور یکنواخت و به صورت لایه‌لایه به سطح خاک اسپری شد تا مخلوط یکنواخت و یک‌دستی حاصل شود و در هر مرحله خاک هر گلدان جداگانه و به‌طور یکنواخت مخلوط و یکنواخت گردید. پس از اعمال تیمارهای فلزات سنگین در گلدان‌ها (وزن خاک خالص در هر گلدان ۳۵۰۰ گرم بود) و رساندن رطوبت آن به حد FC به‌منظور حصول تعادل فلزات سنگین با خاک گلدان‌ها، به‌مدت یک ماه در حالت انکوباسیون نگهداری گردید. عناصر غذایی مورد نیاز گیاه بر اساس نتایج آزمون خاک، قبل از کشت به گلدان ها اضافه گردید تا شرایط آرمانی برای رشد گیاه و تولید زیست‌توده مناسب فراهم گردد. پس از آن بذرهای ضدعفونی شده و جوانه‌دار، از پتری، به گلدان‌ها منتقل و به تعداد چهار بذر در هر گلدان کشت گردید که در مرحله چهار برگی تنک و در هر گلدان دو گیاهچه نگهداری شد. در تیمارهای زادمایه، میزان ۱ ml زادمایه باکتری با جمعیت ۵×۱۰^{۸} cfuml به روش تیمار با بذر استفاده گردید. برای این منظور کشت تازه باکتری‌ها تهیه و پس از شمارش جمعیت باکتری، با پیپت استریل ۱ میلی‌لیتر به هر یک از بذرها در هنگام کشت، به‌صورت تلقیح با بذر، تیمارهای مایه‌کوبی و تلقیح، اعمال گردید. آبیاری گلدان‌ها در طول دوره رشد، با آب مقطر و به روش وزنی در حد ۸۰-۷۰ درصد ظرفیت زراعی تامین گردید. پس از گذشت ۷۰ روز از دوره رویشی و در ابتدای دوره زایشی، گیاهان از محل طوقه بریده شده و پس از یادداشت وزن تر، به‌مدت ۴۸ ساعت در آون ۷۰ درجه سلیسیوس قرار گرفته و وزن خشک آنها یادداشت گردید. سپس نمونه‌ها توسط آسیاب با تیغه استیل آسیاب و آزمایش‌های مورد نظر بر روی آنها صورت گرفت. برای محاسبه فاکتور انتقال (Translocation Factor) از تقسیم غلظت عنصر در اندام هوایی به غلظت عنصر در ریشه استفاده گردید (۲۰). داده‌های حاصل در قالب آزمایش فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار با نرم‌افزار SAS 9.1 تجزیه واریانس شده و مقایسه میانگین ها با آزمون LSD در سطح پنج درصد و رسم نمودارها با نرم‌افزار Sigma Plat 11.0 انجام خواهد گرفت.

نتایج و بحث

در جدول شماره ۱، نتایج تجزیه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در کشت گلخانه‌ای ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود بافت خاک دارای ترکیب مناسبی از اجزاء تشکیل‌دهنده خاک بوده و برای رشد گیاه محدودیت خاصی ندارد ضمناً کمبود برخی عناصر نظیر نیتروژن، پتاسیم و عناصر کم‌مصرف به‌صورت خاکی قبل از کشت و در مورد آهن و روی و نیز تقسیط نیتروژن، در طول دوره رشد گیاه همراه با آب آبیاری تامین گردید تا بدین صورت محدودیتی برای رشد گیاه ایجاد نگردد. در جداول ۲ و ۳ نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها در تیمارهای مختلف در اندام‌های مختلف گیاه (ریشه و اندام هوایی) ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در کشت گلخانه‌ای

مشخصه	مقدار	مشخصه	مقدار
کلاس بافت خاک	Loam	$CEC(cmol_{(c)}\ kg^{-1})$	۱۱/۷۰
درصد رس	۲۶/۰۰	نیتروژن کل (درصد)	۰/۰۸۲
درصد سیلت	۳۵/۰۰	فسفر قابل جذب ($mgkg^{-1}$)	۱۷/۳۰
درصد شن	۳۹/۰۰	پتاسیم قابل جذب ($mgkg^{-1}$)	۱۶۷/۰۰
pH	۸/۲۰	Fe ($mgkg^{-1}$) *	۴/۸۱
$EC\ (dSm^{-1})$	۱/۴۵	Cu ($mgkg^{-1}$)*	۱/۴۳
%T.N.V	۷/۹۰	Mn ($mgkg^{-1}$)*	۱۲/۲۲
%OC	۰/۷۳	Zn ($mgkg^{-1}$)*	۱/۱۴
محلول$Na^{+}(meql^{-1})$	۲/۴۸	Pb ($mgkg^{-1}$)*	۱/۱۲
$Cl^{-}\ (meql^{-1})$	۵/۵۰	Cd ($mgkg^{-1}$)*	۰/۱۲
$Ca^{2+}(meql^{-1})$	۹/۸۰	SP	۳۷/۵۰
$Mg^{2+}(meql^{-1})$	۱/۴۰	$HCO_3^{-}\ (meql^{-1})$	۵/۸۰

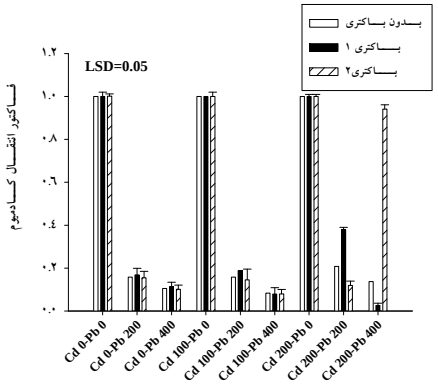
* DTPA-Extractable

جدول ۲- خلاصه جدول تجزیه واریانس اثرات مقادیر کادمیوم و سرب در حضور باکتری‌های مختلف بر پارامترهای اندازه‌گیری شده در ریشه آفتابگردان

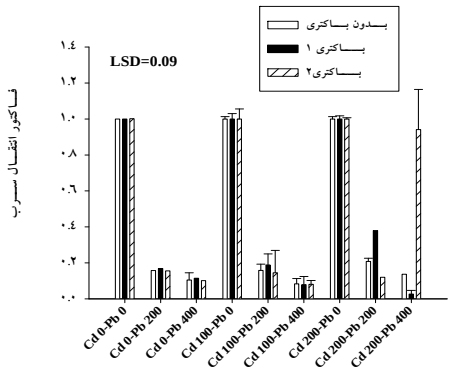
منابع تغییر	وزن‌تر F	وزن خشک F	غلظتCu F	غلظتCd F	غلظتFe F	غلظتPb F	جذبCd F	جذبPb F
کادمیوم	145.65**	163.5**	1.12^{ns}	567.14**	6.33**	0.52^{ns}	403.83**	36.99**
سرب	1.27^{ns}	1.94^{ns}	2.75^{ns}	0.31^{ns}	4.42**	299.51**	1.99^{ns}	143.03**
باکتری	0.25^{ns}	3.41*	1.12^{ns}	0.51^{ns}	0.66^{ns}	33**	0.06^{ns}	5.06**
کادمیوم× سرب	1.94^{ns}	1.46^{ns}	4.64**	0.8^{ns}	0.45^{ns}	1.53^{ns}	1.53^{ns}	12.49**
کادمیوم× باکتری	0.27^{ns}	1.45^{ns}	0.82^{ns}	0.78^{ns}	9.68**	12.47**	3.17*	0.99^{ns}
سرب× باکتری	1.06^{ns}	2.61*	1.03^{ns}	2.22^{ns}	6.2**	39.09**	0.55^{ns}	10.25*
کادمیوم×سرب×باکتری	1.63^{ns}	2.63*	1.26^{ns}	3.2*	1.41^{ns}	14.35**	0.81^{ns}	0.42^{ns}
خطا	1.174	0.022	75.33	4202.90	183762.34	4660.82	1083.90	3393.08
(CV)ضریب تغییرات	22.90	22.10	22.31	19.39	24.76	31.87	22.37	47.17

** و *: به‌ترتیب در سطح ۰/۰۱ و ۰/۰۵ معنی‌دار و ns غیر معنی‌دار می‌باشد.

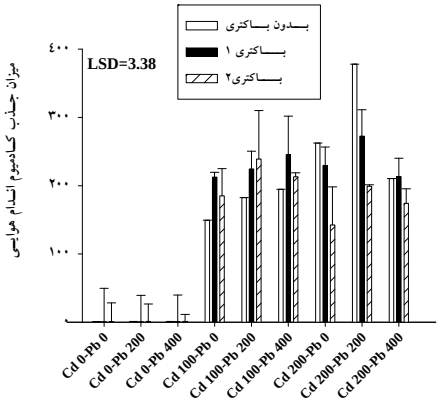
بر اساس نتایج ارائه شده در جدول شماره ۲، آلودگی خاک به سرب و کادمیوم و کاربرد باکتری، بر میزان وزن خشک، غلظت کادمیوم و سرب ریشه تاثیر معنی‌داری داشته است ($P<0.05$). از سوی دیگر تاثیر این سه عامل (کادمیوم، سرب و باکتری) بر غلظت سرب، جذب سرب اندام هوایی و فاکتور انتقال سرب و فاکتور انتقال کادمیوم در سطح پنج درصد تاثیر معنی‌داری داشته است (جدول ۳). در شکل‌های ۱ الی ۱۰ برهمکنش اثرات اصلی (سه گانه) بر فاکتورهای مورد اندازه‌گیری، ارائه شده است:



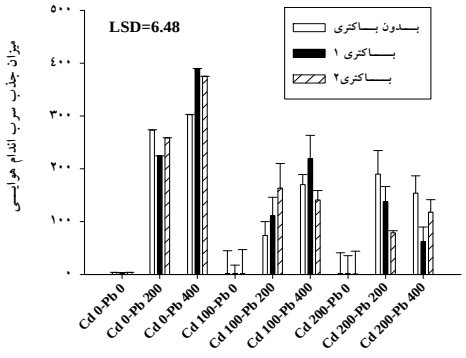
شکل۱- فاکتور انتقال کادمیوم در آفتابگردان در تیمارها



شکل ۲- فاکتور انتقال سرب در آفتابگردان در تیمارها



شکل ۳- میزان جذب کادمیوم (میکروگرم در گلدان) در تیمارها

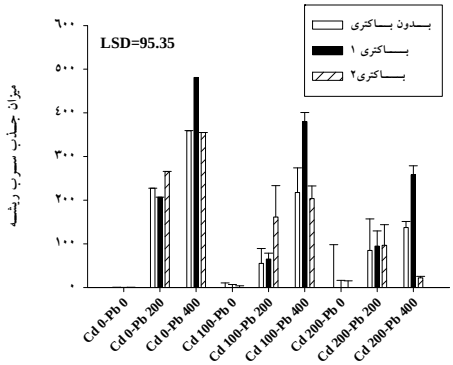


شکل ٤- میزان جذب سرب (میکروگرم در گلدان) در تیمارها

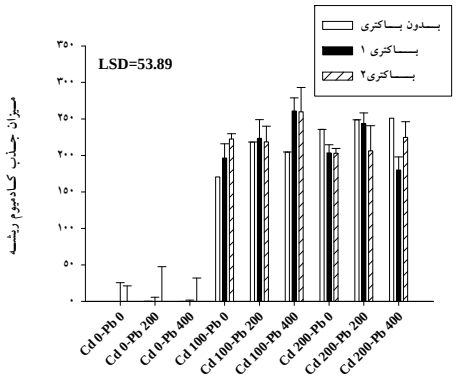
جدول ۳- خلاصه جدول تجزیه واریانس اثرات مقادیر مختلف کادمیوم و سرب در حضور باکتری‌های مختلف بر پارامترهای اندازه‌گیری شده در اندام هوایی آفتابگردان

منابع تغییر	وزن تر	وزن خشک	غلظتCu	غلظتFe	ارتفاع بوته	کلروفیل	سربTF	کادمیومTF	غلظتCd	غلظتPb	Cdجذب	Pbجذب
	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
کادمیوم	234.16**	189.37**	63.87**	3.79*	223.6**	16.95**	16.95**	6564.54**	212.35**	2.96 ns	212.35**	2.96 ns
سرب	0.99 ns	2.76 ns	1.13 ns	0.53 ns	0.58 ns	2.11 ns	2.11 ns	0.51 ns	0.26 ns	156.89**	0.26 ns	156.89**
باکتری	0.94 ns	4.68*	2.14 ns	2.22 ns	0.7 ns	0.56 ns	0.56 ns	2.2 ns	2.41 ns	1.25 ns	2.41 ns	1.25 ns
کادمیوم× سرب	4.12**	2.59*	6.03**	0.21 ns	4.4**	0.27 ns	0.27 ns	0.46 ns	0.38 ns	1.08 ns	0.38 ns	1.08 ns
کادمیوم× باکتری	1.98 ns	7.91**	0.09 ns	1.37 ns	0.75 ns	2.32 ns	2.32 ns	0.63 ns	0.78 ns	1.25 ns	0.78 ns	1.25 ns
سرب× باکتری	0.91 ns	1.53 ns	0.68 ns	0.76 ns	1.06 ns	2.76*	2.76*	0.2 ns	1.29 ns	0.36 ns	1.29 ns	0.36 ns
کادمیوم×سرب×باکتری	0.81 ns	1.6 ns	0.66 ns	1.45 ns	1.66 ns	0.56 ns	0.56 ns	0.32 ns	1.14 ns	2.72*	1.14 ns	2.72*
خطا	43.531	0.83	18.798	2839.5	23.198	6.275	0.003	0.001	176.62	73.518	4.266	15.705
(CV)ضریب تغییرات	16.82	17.51	16.20	47.17	9.24	6.05	13.05	7.86	33.09	36.11	6.07	9.95

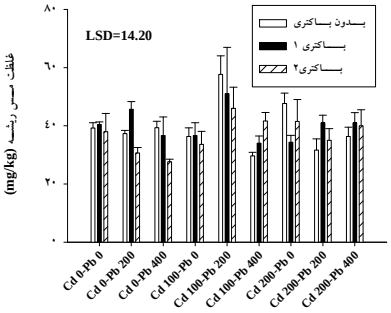
** و *: به ترتیب در سطح ۰.۰۱ و ۰.۰۵ معنی‌دار و ns غیر معنی‌دار می‌باشد.



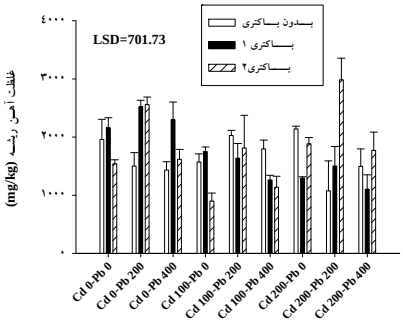
شکل ۵- میزان جذب کادمیوم ریشه(میکروگرم در گلدان) در تیمارها



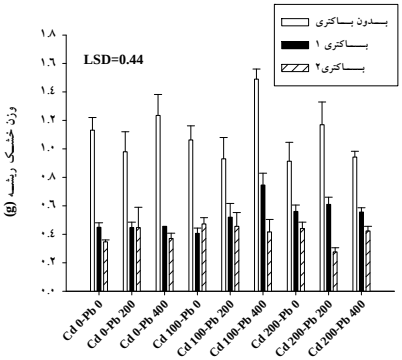
شکل ٦- میزان جذب سرب ریشه(میکروگرم در گلدان) در تیمارها



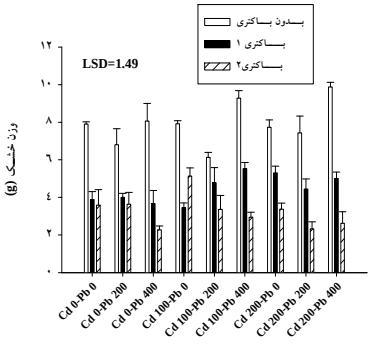
شکل ۷- غلظت آهن در ریشه آفتابگردان در تیمارها



شکل ۸- غلظت مس در ریشه آفتابگردان در تیمارها



شکل ۹- وزن خشک ریشه آفتابگردان در تیمارها



شکل ۱۰- وزن خشک اندام هوایی آفتابگردان در تیمارها

بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۱، بیشترین میزان فاکتور انتقال کادمیوم در چهار تیمار ($Cd_{200}Pb_{400}B_2$ ، $Cd_{100}Pb_{200}B_1$، $Cd_{100}Pb_{400}B_1$ و $Cd_{200}Pb_{400}B_2$) علاوه بر تیمارهای شاهد، به میزان ۱/۰۰ مشاهده گردید. البته چنانچه بالاترین غلظت کادمیوم در اندام هوایی صرفاً در نظر گرفته شود وضعیت متفاوت خواهد بود و از این نظر بیشترین غلظت کادمیوم اندام هوایی در تیمار $Cd_{200}Pb_{400}B_1$ و به میزان $mgkg^{-1}$ ۹۶ ثبت گردید. بیشترین فاکتور انتقال سرب نیز در تیمار $Cd_{200}Pb_{400}B_2$ و به میزان ۰/۷۱۶ گزارش گردید (شکل ۲). فاکتور انتقال یعنی غلظت فلز مورد نظر در اندام هوایی (شاخساره) به غلظت در ریشه. گیاه به‌طور طبیعی و ناخواسته

فلزات آلاینده و غیرضروری (نظیر سرب و کادمیوم) را از محیط اطراف خود جذب می‌کند. طبیعتاً با اعمال تیمارهای فلزات سنگین، غلظت و جذب فلز در اندام‌های مختلف گیاه تحت تاثیر قرار گرفت (شکل‌های ۱ تا ۴)، زیرا با حضور کادمیوم و سرب در محیط ریشه، گیاه به جذب آن اقدام نموده است. بر این اساس فاکتور جذب در تیمارهای با مصرف فلزات سنگین در بررسی تغییرات کلی روندی مشابه داشتند. اما این به این مفهوم نیست که الگوی جذب و انباشت و یا انتقال یکسانی دارند. بلکه صرفاً توجه به موضوع انباشت از منظر فاکتور انتقال به تنهایی کفایت نمی‌کند و اینجاست که حضور شاخصی نظیر جذب می‌تواند با اعمال هر دو فاکتور غلظت و نیز عملکرد ماده خشک تصویر روشن‌تری ارائه نماید. بر اساس این شاخص علی‌رغم اینکه روند فاکتور انتقال در تیمارها ممکن است روندی با تغییرات کم داشته باشد اما تفاوت بسیاری از نظر جذب کادمیوم و سرب در شاخ‌ساره و ریشه از نظر کمی، مشاهده گردید (شکل های ۳ تا ۶). در کنار تاثیر فلزات و جذب آنها توسط گیاه، تاثیر باکتری‌های محرک رشد نیز قابل بحث می‌باشد که در ادامه به آن پرداخته می‌شود. بر اساس گزارش آن و همکاران آلودگی‌های شیمیایی غالباً به‌صورت ترکیب و مخلوط چند آلاینده در محیط یافت می‌شوند و در این میان آلودگی خاک به وسیله فلزات سنگین یک مشکل چندعنصری در بسیاری از مناطق به‌شمار می‌آید (۷). محققین با مطالعه اثرات ریزوسفر و عوامل گیاهی در ارتباط با جذب کادمیوم، غلظت کادمیوم در اندام‌های مختلف گیاه ذرت، سن گیاه، زمان جذب و رقابت با عناصر غذایی کم‌مصرف را بررسی نمودند (۲۶). نتایج حاصله نشان داد که با افزایش غلظت کادمیوم در محیط از 10^{-2} تا 10^{5} $nmolL^{-1}$ غلظت کادمیوم در ریشه و اندام هوایی از کمتر از ۱ mg به‌ترتیب به بیش از ۱۰۰۰ و ۱۰۰ $mgkg^{-1}$ افزایش یافت که این امر حاکی از توانایی جذب و انتقال کادمیوم در گیاه می‌باشد. در تحقیق دیگری پژوهشگران با اعمال تیمارهای صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ $mgkg^{-1}$ کادمیوم در گیاهان شاهدانه، کتان، کرچک و بادام زمینی، گزارش دادند که بیشترین غلظت کادمیوم در ریشه شاهدانه و بادام زمینی و بیشترین غلظت آن نیز در حدود ۱۰۰ $mgkg^{-1}$ در اندام هوایی کتان مشاهده گردید (۳۲). همچنین در بررسی گیاه جذبی کادمیوم در سه گیاه مختلف زراعی و غیرزراعی (یونجه، آفتابگردان و تاج خروس) گزارش گردید با افزایش غلظت کادمیوم در خاک غلظت این عنصر در ریشه و اندام هوایی گیاهان نیز افزایش یافت (۲۱). بیشترین غلظت کادمیوم در اندام هوایی در بین سه گیاه در آفتابگردان و بیشترین میزان فاکتور انتقال نیز در تاج خروس گزارش گردید. همچنین بیشترین میزان جذب کادمیوم نیز در تاج خروس و آفتابگردان گزارش گردید. پری گویی و همکاران با بررسی تاثیر ریزوسفر و عوامل گیاهی بر جذب کادمیوم در ذرت گزارش دادند که انتقال کادمیوم از ریشه به اندام هوایی بستگی به غلظت کادمیوم ریشه و شرایط ریزوسفری موثر در جذب کادمیوم دارد (۲۶). محققین با بررسی تاثیر کادمیوم بر رشد و فعالیت زیستی گیاه دارویی و بومی *Merwilla plumbea* دریافتند که غلظت‌های کم کادمیوم (mgl^{-1} ۲) نیز به‌طور معنی‌داری سبب کاهش وزن تر برگ‌ها، غده و ریشه‌ها در مقایسه با تیمار شاهد گردید (۳۳). بیشتر کادمیوم در ریشه و پیازچه گیاه که مصارف دارویی دارد تجمع یافت. با اعمال تیمارهای ۲، ۵ و ۱۰ mgl^{-1} غلظت کادمیوم به‌ترتیب ۷/۱، ۹.۵ و ۱۱/۶ $mgkg^{-1}$ گزارش گردید. با مصرف آب آبیاری محتوی ۲ $mgkg^{-1}$ کادمیوم، غلظت آن در غده گیاه ۲۴ برابر بیشتر از استاندارد سازمان بهداشت جهانی مشاهده گردید (۳۳).

بر اساس نتایج ارائه شده در شکل‌های ۳ و ۴، بیشترین میزان جذب کادمیوم و سرب به‌ترتیب در تیمارهای $Cd_{200}Pb_{200}B_0$ و $Cd_0Pb_{400}B_1$ مشاهده گردید. بر این اساس، بیشترین جذب کادمیوم در ریشه (شکل ۵) و اندام هوایی (شکل ۳) با کاربرد توأم سرب و کادمیوم مشاهده گردید ضمن آنکه استفاده از زادمایه باکتری‌های مقاوم به فلزات سنگین بر جذب و تجمع کادمیوم ریشه، تاثیر معنی‌داری نشان داد. در مورد فلز سرب، بیشترین میزان جذب آن در ریشه با کاربرد زادمایه B_1 و در تیمار $Cd_0Pb_{400}B_1$ مشاهده گردید (شکل ۶).

نکته مهم در اصلاح خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، تحرک و حلالیت کم این ترکیبات و همچنین تمایل اندک گیاهان بر جذب سرب و انتقال آن از ریشه به اندام هوایی است. در تائید نتایج حاصله می‌توان به گزارش لیا و همکاران اشاره کرد که با مصرف سرب و ایجاد آلودگی در خاک مشاهده کردند میزان جذب و انتقال سرب به دانه در ارقام مختلف برنج بسیار اندک می‌باشد و عمدتاً در ریشه تجمع پیدا می‌کند (۱۷). در تحقیق دیگری با بررسی جذب سرب و روی در گیاهان وحشی رشد کرده در خاک‌های آلوده جنوب اسپانیا ضمن شناسایی گیاهان دارای توانایی انباشت این فلزات، غلظت‌های بالای سرب و روی در اندام هوایی گزارش گردید (۳۰). بر اساس این تحقیق آزمایش گلخانه‌ای با غلظت ۵۰۰ $mgkg^{-1}$ سرب و ۱۳۰ $mgkg^{-1}$ روی انجام و بیشترین غلظت سرب و روی در اندام هوایی گیاهان تاج خروس، مرغ، کاسنی تلخ و *Sylibum marianum* گزارش گردید. انتقال سرب از ریشه به اندام هوایی در سلمه تره نیز بسیار کم بود و عمدتاً در ریشه تجمع یافت.

بر اساس نتایج ارائه شده در شکل‌های ۷ و ۸ کاربرد زادمایه باکتری‌های مقاوم به فلزات سنگین سبب افزایش غلظت برخی عناصر کم‌مصرف گردید. بر این اساس، زادمایه B_1 تاثیر بهتری بر جذب مس و آهن در ریشه آفتابگردان در تیمارهای حاوی سرب داشته و هر دو زادمایه بر جذب مس و آهن در تیمارهای کادمیومی موثر بوده‌اند. باکتری‌های مورد استفاده در این پژوهش دارای برخی خصوصیات محرک رشد نظیر توان تولید سیدروفور، توان تولید آنزیم

ACC –دآمیناز و فیتورهورمون اکسین بودند که از خاک‌های آلوده به فلزات سنگین جداسازی، خالص‌سازی و شناسایی شده‌اند (۴). تحقیقات پژوهشگران حاکی از آن است که کارایی جذب و انحلال فلزات در خاک تحت تأثیر زیست فراهمی فلزات سنگین در خاک قرار دارد و باکتری‌ها می‌توانند فلزات سنگین را به صورت قابل جذب در اختیار ریشه قرار دهند (۳۶). پژوهش‌ها نشان داد که برخی از باکتری‌های مفید و محرک رشد، با اعمال مکانیسم‌هایی می‌توانند جذب فلز را در گیاه افزایش دهند. جذب فلز ممکن است توسط باکتری‌ها با تولید سیدروفور افزایش یابد که آهن را آزاد و تحرک سایر فلزات سنگین را در خاک میسر می‌سازد (۳۶). همچنین برخی از باکتری‌ها با تولید آنزیم ACC- دآمیناز که از تنش اتیلن جلوگیری می‌کند، اثرات فلزات سنگین را در بافت‌های گیاهی کاهش می‌دهند. لذا همیاری گیاه و باکتری می‌تواند کارایی استفاده از فناوری گیاه‌پالایی را افزایش دهد (۱۲). ابو شنب و همکاران(۶) در بررسی تاثیر باکتری‌های فرا ریشه‌ای بر جذب نیکل در سه نوع خاک دارای نیکل کم، متوسط و زیاد، ضمن جداسازی جدایه‌های باکتری از ریزوسفر *Alyssum murale* اعلام کردند برخی باکتری‌های ریزوسفری توانایی افزایش زیست فراهمی نیکل را برای گیاه در این خاک‌ها داشتند. در این تحقیق نه جدایه باکتری‌های ریزوسفری در سه نوع خاک مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصله نشان داد که جدایه‌ها به‌طور معنی‌داری جذب نیکل از خاک را افزایش دادند. این نتایج، نقش مهم باکتری‌ها را در بیش اندوزی نیکل و پتانسیل بالای استفاده اقتصادی از آنها را در گیاه‌پالایی یا گیاه معدنی بخوبی نشان داد. همچنین محققین با موفقیت ضمن جداسازی باکتری‌های مقاوم به کادمیوم از سه جدایه برتر دارای خصوصیات محرک رشد گیاه نظیر توان تولید اکسین و تحریک ریشه‌دهی برای افزایش رشد کلزا و رشد در اراضی آلوده به کادمیوم استفاده نمودند (۳۱). کاربرد زادمایه این جدایه‌ها سبب افزایش وزن خشک ریشه (بین ۸ تا ۲۰ درصد) و افزایش ماده خشک گیاهی (بین ۶ تا ۲۵ درصد) و همچنین افزایش جذب کادمیوم بین ۱۶ تا ۷۴ درصد بیشتر از تیمار شاهد در خاک‌های آلوده گردید. این جدایه‌ها (*Pseudomonas sp.* RJ10، *Bacillus sp.* RJ16 و *Xanthomonas sp.* RJ3) دارای توانایی کلنی‌زایی با ریشه و توان تولید ایندول استیک اسید بودند. گلچین و همکاران (۲) در تحقیقی نحوه توزیع سرب در اندام‌های مختلف آفتابگردان و کلزا به عنوان گیاهان تولید کننده روغن را بررسی و دریافتند که بیشترین میزان سرب در ریشه و اندام هوایی آفتابگردان (به‌ترتیب به میزان ۴۳۱/۸ و ۱۰۵/۲ $mgkg^{-1}$) و در کلزا (به‌ترتیب به میزان ۷۰۴/۲ و ۵۵۹/۷ $mgkg^{-1}$) و در خاک مورد آزمایش ۲۴۰ $mgkg^{-1}$ بود. لذا توصیه کردند با توجه به استعداد ذاتی گیاهان مذکور در جذب و نگهداری فلزات سنگین حتی در بخش‌های خوراکی، در هنگام برداشت از میزان فلزات سنگین در محیط ریشه، اطمینان حاصل شود. محمدی و همکاران (۵) نیز جذب روی و کادمیوم را در تربچه و شاهی بررسی و مشاهده کردند با افزایش سطوح کادمیوم در خاک، مقدار کادمیوم در غده تربچه نیز افزایش معنی‌دار نشان داد اما این افزایش سطح، در مورد روی معنی‌دار نبود. غلظت‌های به‌کار رفته در این آزمایش در مورد روی صفر، ۲۰و ۵۰ $mgkg^{-1}$ و در مورد کادمیوم، صفر، ۱۰ و ۲۰ $mgkg^{-1}$ بود.

نتیجه‌گیری

در مجموع با توجه به سمیت فلزات کادمیوم و سرب حتی در غلظت‌های کم، باید توجه کافی به منابع ورودی این آلاینده به محیط زیست معطوف گردد. از سوی دیگر شناسایی، جداسازی و کاربرد باکتری‌های بومی محرک رشد گیاه و مقاوم به تنش‌ها نیز به‌واسطه تاثیر بر رشد گیاه، تنش وارده را کاسته و به بهبود رشد گیاه کمک می‌کنند. بر اساس نتایج تحقیق، کادمیوم دارای توانایی بالایی در انتقال از ریشه به اندام هوایی و تجمع در گیاه در خاک‌های آهکی بوده لذا با توجه به سمیت بالای این فلز برای گیاه و خطر ورود به زنجیره غذایی لازم است به‌منظور اطمینان از سلامت محصول، دقت و نظارت کافی در مراحل مختلف تولید تا مصرف محصولات کشاورزی به‌عمل آید.

سپاسگزاری

انجام این تحقیق از محل طرح شماره ۷۳۱۴۹۲۹۷/۱/۰۱ با حمایت مالی معاونت محترم پژوهشی و فناوری پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران امکان‌پذیر شده که بدین‌وسیله قدردانی می‌گردد.

منابع

۱- خسروی ف.، ثواقبی ق.ر. و فرحبخش م. ۱۳۸۸. اثر کلرید پتاسیم بر جذب کادمیوم توسط کلزا و آفتابگردان در یک خاک آلوده. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۳، شماره ۳، صفحات ۳۵-۲۸.

۲- گلچین ا.، آتش نما ک. و تکاسی م. ۱۳۸۵. بررسی نحوه توزیع سرب در اندام‌های مختلف آفتابگردان و کلزا به عنوان تولید کننده روغن. صفحات ۳۰۶-۳۰۵. مجموعه مقالات همایش خاک، محیط زیست و توسعه پایدار، انتشارات پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران،

کرج، ایران.

۳- فتاحی کیاسری ا، فتوت ا.، آستارایی ع.ر. و حق نیا غ. ۱۳۸۹. اثر اسید سولفوریک و EDTA بر گیاه پالایی سرب در خاک توسط سه گیاه آفتابگردان، ذرت و پنبه. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال ۱۴، شماره ۵۱، صفحات ۶۸-۵۷.

۴- متشرع زاده ب.، ثواقبی غ.ر.، علیخانی ح.ع. و میرسیدحسینی ح. ۱۳۸۷. شناسایی گیاهان بومی و باکتری‌های مقاوم به فلزات سنگین در اراضی اطراف معدن سرب و روی عمارت شازند اراک به منظور استفاده در گیاه پالایی، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۳۹، شماره ۱، صفحات ۱۷۴-۱۶۳.

۵- محمدی م.، شیروانی س.، فتوت ا. و حق نیا غ.ح. ۱۳۸۵. مقایسه جذب روی و کادمیوم در تربچه و شاهی و بررسی اثرات متقابل آنها. ۱۳۸۵. صفحات ۳۱۸-۳۱۷. مجموعه مقالات همایش خاک، محیط زیست و توسعه پایدار، انتشارات پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

6- Abou-Shanab R.A.I., Angle J.S., and Chaney R.L. 2006. Bacterial inoculants affecting nickel uptake by Alyssum murale from low, moderate and high Ni soils. Soil Biology & Biochemistry, 38: 2882–2889.

7- An Y.J., Kim Y.M., Kwon T.I., and Jeong S.W. 2004. Combined effect of copper, cadmium, and lead upon *Cucumis sativus* growth and bioaccumulation, Science of the Total Environment, 326: 85–93.

8- Bouyoucos C.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. Agron. J., 54: 464-465.

9- Bremner J.M. 1996. Nitrogen-total. P. 1085-1122. In Sparks, D.L. *et al*., Method of soil analysis. Published by: Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.

10- Burd G.I., Dixon D.G., Glick B.R. 2000. Plant growth-promoting bacteria that decrease heavy metal toxicity in plants. Canadian Journal of Microbiology, 46: 237–245.

11- Dinakar N., Nagajyothi P.C., Suresh S., Udaykiran Y., and Damodharam T. 2008. Phytotoxicity of cadmium on protein, praline and antioxidant enzyme activities in growing *Arachis hypogaea* L. seedling. Journal of Environmental Science, 20: 199-206.

12- Glick B.R. 2003. Phytoremediation: Synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment. Biotechnology Advances, 21: 383-393.

13- Haas E.M. 2003. Staying healthy with nutrition. The complete guide to diet and nutritional medicine.

14- Helmke P.H., and Spark D.L. 1996. Potassium. 551-574. In Sparks, D.L. *et al.*, Method of soil analysis. Published by: Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.

15- Kuo S. 1996. Phosphorus. P. 869-920. In Sparks, D.L. *et al*., Method of soil analysis. Published by: Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.

16- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J., 42: 421-428.

17- Liu J., Li K., Xu J., Zhang Z., Mac T., Lu Z., Yang J., and Zhu Q. 2003. Lead toxicity, uptake, and translocation in different rice cultivars, Plant Science, 165: 793- 802.

18- López-Millán A.F., Sagardoy R., Solanas M., Abadía A., and Abadía J. 2009. Cadmium toxicity in tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants grown in Hydroponics, Environmental and Experimental Botany, 65: 376–385.

19- Luo Y., and Rimmer D.L. 1995. Zine –copper interaction affecting plant growth on a metal-contaminated soil. Environ. Pollut., 88: 79 –83.

20- Marchiol L., Assolari S., Sacco P., and Zerbi G. 2004. Phytoextraction of heavy metals by canola and radish grown on multicontaminated soil. *Environ. Pollut*., 132: 21-27.

21- Motesharezadeh B., Savaghebi-Firoozabadi Gh.R., Mirseyed Hosseini H., and Alikhani H.A. 2010. Study of the enhanced phytoextraction of cadmium in a calcareous soil. Int. J. Environ. Res., 4(3): 525-532.

22- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic mater.p. 539-580.In A. L. Page(ed), methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. Chemical and microbiological properties. Agronomy monograph no.9. SSSA and ASA, Madison,WI.

23- Pal M., Horvath E., Janda T., Paldi E., and Szalai G. 2006. Physiological changes and defense mechanisms induced by cadmium stress in maize, J. Plant Nutr. Soil Sci., 169: 239-246.

24- Pendergrass A., and Butcher D.J. 2006. Uptake of lead and arsenic in food plants grown in contaminated soil from Barber Orchard, NC , Microchemical Journal, 83: 14–16.

25- Peralta-Videa J.R., Torresdey G., Gomez E., Tiermann K.J., Parsons J.G., and Carrillo G. 2002. Effect of mixed cadmium, copper, nickel and zine at different pHs upon alfafa growth and heavy metal uptake.Environ Pollut.,119: 291 –301.

26- Perriguey J., Sterckeman T., and Morel J.L. 2008. Effect of rhizosphere and plant-related factors on the cadmium uptake by maize (*Zea mays* L.), Environmental and Experimental Botany, 63: 333–341.

27- Ramos I., Esteban E., Jose´ Lucena J., and Ga´rate A. 2002. Cadmium uptake and subcellular distribution in plants of *Lactuca sp*. Cd- Mn interaction, Plant Science, 162: 761- 767.

28- Raskin I., Nanda P.B.A., Dushenkoy S.K., and Salt D.E. 1994. Bioconcentration of heavy metals by plants. Curr. Opin. Biotech., 5: 285–290.
29- Rhoades J.D. 1996. Electrical conductivity and total dissolved solids. P. 417-436. In Sparks, D. L. *et al*., Method of soil analysis. Published by: Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
30- R´ıo-Celestino M.D., Font R., Moreno-Rojas R., and Haro-Bailon A.D. 2006. Uptake of lead and zinc by wild plants growing on contaminated soils, Industrial Crops and Products, 24: 230–237.
31- Sheng X.F., and Xia J.J. 2006. Improvement of rape (*Brassica napus*) plant growth and cadmium uptake by cadmium-resistant bacteria, Chemosphere, 64: 1036–1042
32- Shi G., and Cai O. 2009. Cadmium tolerance and accumulation in eight potential energy crops, Biotechnology Advances, 27: 555–561.
33- Street R.A., Kulkarni M.J., Stirk W.A., Southway C., Abdillahi H.S., Chinsamy M., and Van Staden J. 2009. Effect of cadmium uptake and accumulation on growth and antibacterial activity of *Merwilla plumbea* — An extensively used medicinal plant in South Africa, South African Journal of Botany, 75: 611–616.
34- Sumner M.E., and Milker W.P. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. P. 1201-1230. In Sparks, D.L. *et al*., Method of soil analysis. Published by: Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
35- Thomas G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. P. 475-490. In Sparks, D.L. *et al*., Method of soil analysis. Published by: Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
36- Yan-de, J., Zhen-li, H. and Xiao, Y. 2007. Role of soil rhizobacteria in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. J. Zhejiang Univ. Sci., 8(3): 197-207.

Journal of Water and Soil
Vol. 25, No. 5, Nov-Des 2011, p. 1069-1079

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۵، شماره ۵، آذر - دی ۱۳۹۰، ص. ۱۰۷۹-۱۰۶۹

Study of Sunflower Plant Response to Cadmium and Lead Toxicity by Usage of PGPR in a Calcareous Soil

B. Motesharezadeh[1]*- Gh. Savaghebi[2]
Received: 8-8-2010
Accepted: 29-6-2011

Abstract

Nowadays, soil pollution with heavy metals has become a major problem which their accumulation in plants can directly or indirectly influence on animals and humans life. Lead and cadmium are poisonous metals, with increasing the amount of these metals in environmental pollution; they will be increased in food chain significantly. In this research, three levels of cadmium (0, 100 and 200 mg/kg), three levels of lead (0, 200 and 400 mg/kg) and three levels of native resistance bacteria inoculants (B_0: Control, B_1: *Bacillus mycoides* and B_2: *Bacillus circulans*) were examined as a factorial experiment with randomized complete block design (RCBD) in three replications. Then sunflower responses to cadmium and lead toxicity including: heavy metal and micronutrients concentration and their uptakes and finally dry matter weight of sunflower were evaluated in greenhouse condition. Results showed that with increasing cadmium and lead concentration in soil, concentration of these elements in plant root and shoot increased significantly ($P<0.05$). Therefore, cadmium showed a high ability of translocation from root to shoot. The highest translocation factor (TF) for cadmium which was equal to one occurred in all six treatments and for lead which was 0.716 observed in $Cd_{200}Pb_{400}B_2$. The highest rate of uptake for cadmium and lead in root with use of native bacterial inoculants in $Cd_{100}Pb_{400}B_1$ and $Cd_0Pb_{400}B_1$with 260 and 481 μ g/Pot and in shoot in $Cd_{200}Pb_{200}B_0$ and $Cd_0Pb_{400}B_1$ with 377 and 389 μ g/Pot respectively. Application of resistance and native PGPR improves uptaking rate of nutrient elements and it also helps to increase plant resistance in stress conditions.

Keywords: Heavy metal, Soil pollution, Sunflower, Bacterial inoculant's

1,2- Assistant Professor and Associate Professor, Department of Soil Science, Agriculture and Natural Resources (Karaj), University of Tehran
(*- Corresponding Author Email: moteshare@ut.ac.ir)