نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۸، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۳، ص. ۱۶۵-۱۵۷

Journal of Water and Soil
Vol. 28, No. 1, Mar.-Apr. 2014, p. 157-165

نقش قارچ *Trichoderma harzianum* در جذب زیستی کادمیوم توسط گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) در یک خاک آلوده

فاطمه تقوی قاسم خیلی[۱]- همت اله پیردشتی[۲*]- محمدعلی تاجیک قنبری[۳]- محمدعلی بهمنیار[۴]

تاریخ دریافت:۱۳۹۲/۴/۲
تاریخ پذیرش:۱۳۹۲/۱۱/۱۶

چکیده

آلودگی خاک با عناصر سنگین حاصل از فعالیت‌های صنعتی، کارخانجات، کودها و آفت‌کش‌ها یکی از معضلات زیست‌محیطی و بهداشتی جوامع بشری است. بنابراین یافتن راهکارهایی جدید به منظور کاهش فلزات سنگین در خاک امری ضروری می‌باشد. پژوهش حاضر با هدف نقش قارچ تریکودرما *Trichoderma harzianum* به‌عنوان جاذب زیستی بر میزان جذب کادمیوم در گیاه جو (رقم صحرا) به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در شرایط گلخانه انجام گرفت. فاکتورهای آزمایش شامل قارچ *T. harzianum* در دو سطح تلقیح و عدم تلقیح و سطوح مختلف نیترات کادمیوم (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) بودند. نتایج نشان داد تلقیح تریکودرما نسبت به عدم تلقیح باعث افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک (۳۶ درصد) شد. میزان کادمیوم تجمع یافته در خاک و فاکتور تجمع زیستی با افزایش سطح آلودگی نیترات کادمیوم به‌طور چشمگیری افزایش یافت. همچنین در برهمکنش قارچ و کادمیوم، میزان تجمع کادمیوم در ریشه در حضور قارچ تریکودرما از ۰/۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار بدون آلودگی به کادمیوم تا ۶۸۸/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در سطح ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر افزایش یافت. بالاترین تأثیر قارچ در سطح متوسط تا بالای کادمیوم مربوط به میزان جذب کادمیوم در ریشه بود که توانست نسبت به تیمار عدم تلیقح این صفت را از ۵۳ تا ۹۶ درصد افزایش دهد. بیشترین پتانسیل استخراج گیاهی (۵/۲۶۰ میلی‌گرم در گلدان) در حضور تریکودرما و سطح ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم بدست آمد که نسبت به عدم حضور تریکودرما از افزایش ۱۰۰ درصدی برخوردار بود. در مجموع به نظر می‌رسد، قارچ تریکودرما به‌همراه گیاه جو می‌تواند گزینه مناسبی جهت بهبود پالایش و استخراج کادمیوم از خاک‌های آلوده باشد.

واژه‌های کلیدی: استخراج گیاهی، جذب کادمیوم، تجمع زیستی، قارچ تریکودرما

مقدمه

در سال‌های اخیر به منظور کاهش یا برداشت فلزات سنگین موجود در محیط آلوده، مطالعه بیولوژی ریزوسفر از جمله میکروارگانیسم‌های مفید خاکزی بسیار مورد توجه قرار گرفته است (۳۳ و ۴۰). مطالعه‌ای در این زمینه نشان داده که حضور میکروارگانیسم‌ها، نقش مهمی در افزایش قابلیت دسترسی و جذب عناصر سنگین توسط گیاه دارد (۲۰). لذا زیست‌پالایی از جمله تکنیک‌هایی است که از اوایل دهه ۸۰ میلادی مورد مطالعه قرار گرفته (۱۷) و در آن از پتانسیل ریزموجوداتی همچون جلبک‌ها، قارچ‌ها، مخمرها و باکتری‌ها به‌عنوان جاذب‌های زیستی برای حذف و جذب فلزات سنگین استفاده می‌شود (۳۳، ۳۴ و ۳۶) در طول این فرآیند، میکروارگانیسم‌ها از طریق ایجاد پیوند فلزات با دیواره سلولی‌شان آن‌ها را غیرمتحرک می‌کنند (۱۷، ۱۹، ۲۷ و ۳۴). در این میان انتخاب زیست‌توده قارچی از جهت فراوانی در محیط و کم‌هزینه بودن از اهمیت بالایی برخوردار است (۱۰). به‌طوری که می‌تواند به‌طور گسترده در این‌گونه مطالعات مورد استفاده قرار گیرد (۲۷). لذا در سال‌های اخیر استفاده از قارچ‌های رشته‌ای به‌دلیل کشت آسان و عدم بیماری‌زایی برای انسان و حیوانات گسترش یافته است (۲۳). در این بین گونه‌های تریکودرما (*Trichoderma* spp.) که به‌طور معمول در همه خاک‌ها حضور دارند و جزء متداول‌ترین قارچ‌های قابل

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری
۲- دانشیار گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(*- نویسنده مسئول: Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir)
۳- استادیار گروه گیاهپزشکی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

Archive of SID
www.SID.ir

کشت هستند و به آسانی تکثیر می‌شوند از اهمیت خاصی برخوردارند (۱۹، ۲۲ و ۳۶). در این زمینه لوینس کایت (۲۷) بیان داشته که تریکودرما از مقاوم‌ترین قارچ‌ها در برابر عناصر سنگین بویژه کادمیوم بوده و دارای ظرفیت بالایی در جذب این عنصر در مقادیر بالا می‌باشد. بنابراین بعضی از گونه‌های تریکودرما توانایی پاک‌سازی محیط آلوده را داشته و می‌توانند به‌عنوان یکی از منابع میکروارگانیسمی برای تجریه زیستی فلزات سنگین موجود در محیط به‌کار روند (۳۷). در این میان گونه *harzianum* بدلیل رشد سریع، قدرت تکثیر بالا، قدرت زنده‌مانی تحت شرایط نامطلوب، توانایی رشد، کلنیزاسیون و القای رشد گیاه به‌طور گسترده مورد توجه قرار گرفته است (۲۲). تلقیح گیاه با تریکودرما می‌تواند شرایط را برای پالایش خاک‌هایی با آلودگی‌های متعدد فراهم آورد (۱۸ و ۲۰). پالایش خاک‌های آلوده به عناصر سنگین امری ضروری جهت تولید پایدار، سلامت و امنیت غذایی به‌شمار می‌رود. با توجه به اینکه فن‌آوری استخراج گیاهی جهت حذف عناصر سنگین همچون کادمیوم هنوز در مرحله اولیه توسعه می‌باشد لذا می‌توان با بکارگیری کارآمد از ریزموجودات خاک‌زی و گیاهان، راه حل مناسبی جهت رشد و ترقی در این زمینه در آینده ارائه نمود. بنابراین با توجه به گسترش آلودگی‌های زیست‌محیطی در کشور، استفاده از عوامل قارچی و گیاهی برای پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین از جمله کادمیوم امری ضروری و اجتناب ناپذیر می‌باشد (۵ و ۱۴). از سوی دیگر نکته مهم برای موفقیت در پالایش خاک‌های آلوده، انتخاب گیاهان مناسب با قابلیت رشد و سازگار با محیط آلوده است. در سال‌های اخیر کاربرد بعضی از گیاهان مانند ذرت، نخود، آفتابگردان، جو و خردل که دارای تولید زیست تودهٔ بالا هستند به همراه اقداماتی در جهت افزایش مقدار جذب فلزات توسط گیاهان پیشنهاد شده است (۷). بنابراین با توجه به سطح زیرکشت گیاه جو در کشور و توانایی بالای آن در تحمل به شرایط نامساعد، همچنین توانایی ریزموجوداتی همچون قارچ تریکودرما به‌عنوان عوامل زیستی در جذب عناصر سنگین از خاک، این پژوهش با هدف ارزیابی قارچ تریکودرما در پالایش خاک‌های آلوده، تعیین برهمکنش بین قارچ و سطوح مختلف نیترات کادمیوم در جذب و انتقال کادمیوم توسط گیاه جو طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در پاییز سال ۱۳۸۹ به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه انجام شد. فاکتورها شامل چهار سطح نیترات کادمیوم (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) و تریکودرما با دو سطح (کاربرد یا عدم کاربرد) بودند. جدایه *T. harzianum* از مجموعه قارچ‌های زنده آزمایشگاه قارچ‌شناسی گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری تهیه گردید. برای شروع آزمایش جهت تکثیر جدایه‌های مزبور ابتدا این جدایه‌ها در محیط کشت PDA[1] (عصاره سیب‌زمینی، دکستروز و آگار) به مدت یک هفته در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تکثیر و پس از پنج روز اسپورزایی به محیط کشت سبوس گندم استریل شده (به مدت ۳۰ دقیقه در اتوکلاو) منتقل گردید. قبل از انجام آزمایش، خاک مورد استفاده با فرمالین ۵ درصد ضدعفونی و به مدت ۱۰ روز هوادهی شد. سپس مقدار ۵۰ گرم از محیط کشت سبوس و اسپورهای تریکودرما (به تعداد 10^8 واحد کلونی‌ساز در هر گرم) به خاک هر گلدان ده کیلوگرمی (به ارتفاع ۳۰ با قطر دهانه ۲۵ سانتی‌متر) افزوده و کاملاً با آن مخلوط گردید (۱۶). قبل از انجام آزمایش، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی از جمله میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم نمونه خاک مورد استفاده تعیین شد (جدول ۱). در هر گلدان ۲۰ عدد بذر جو (رقم صحرا) کشت گردید و پس از جوانه‌زنی به شش بوته تقلیل یافت. بر اساس نتایج تجزیه خاک معادل ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در سه نوبت (کاشت، اوایل پنجه‌زنی و اوایل ساقه‌دهی) و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و سوپر فسفات تریپل (در مرحله کاشت) استفاده شد. محلول نیترات کادمیوم همراه آب آبیاری در اوایل دوره رشد به خاک اضافه گردید. در طول دوره رشد رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه (۳۱/۶ درصد) به روش توزین حفظ شد. بوته‌های گیاه جو پس از رسیدگی فیزیولوژیکی، برداشت و سپس ریشه از سایر قسمت‌های گیاه تفکیک شد. اندازه‌گیری غلظت کادمیوم موجود در ریشه گیاه به روش هضم مرطوب[2] (۳۰) و غلظت کادمیوم قابل جذب خاک نیز با استفاده از روش لیندسی و نورول (۲۸) توسط دستگاه جذب اتمی (مدل Varian Spectra AA-10) قرائت و فرم قابل جذب آن محاسبه شد. همچنین میزان جذب توسط ریشه (۵)، فاکتور تجمع زیستی[3] و استخراج گیاهی[4] در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت. فاکتور تجمع زیستی نسبت غلظت عنصر سنگین در گیاه (اندام هوایی یا ریشه) به غلظت آن در خاک تعریف می‌شود (۳۵). همچنین پتانسیل استخراج گیاهی نیز براساس غلظت کادمیوم موجود در گیاه و عملکرد بیولوژیک محاسبه شد و به‌عنوان کل عنصر استخراج شده از هر مترمربع خاک می‌باشد (۲۴).

آزمون نرمال بودن داده‌ها به روش کولموگروف – اسمیرنوف (۱۳) با استفاده از نرم افزار SPSS انجام گرفت (جدول ۲). تجزیه واریانس استاندارد داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۸ (۶) و

1- Potato Dextrose Agar
2- Wet digesting
3- Bioaccumulation factor
4- Phytoextraction potential

Archive of SID

www.SID.ir

مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵ درصد انجام شد.

جدول ۱- نتایج تجزیه نمونه خاک اولیه قبل از اجرای آزمایش

خصوصیات	واحد	مقدار
هدایت الکتریکی	دسی‌زیمنس‌برمتر	۲/۴۸
ماده آلی	درصد	۱/۳۰
نیتروژن	درصد	۰/۰۷
کادمیوم	قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۰/۲۲
اسیدیته (pH)	--	۷/۶۵
پتاسیم	قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱۳۰
فسفر	قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۵/۹۶
ظرفیت تبادل کاتیونی	میلی‌اکی‌والان بر ۱۰۰ گرم	۲۴/۳
شن	درصد	۹/۶
رس	درصد	۴۷/۴
سیلت	درصد	۴۳
بافت خاک	--	رسی– سیلتی

جدول ۲- آزمون نرمال بودن صفات مورد مطالعه با استفاده از آزمون کولموگروف ـ اسمیرنوف

صفات	آماره	معنی‌داری
تجمع کادمیوم در خاک	۰/۷۸	۰/۵۶
تجمع کادمیوم در ریشه	۰/۶۵	۰/۷۸
میزان جذب در ریشه	۰/۶۹	۰/۷۲
فاکتور تج/مع زیستی	۱/۰۰	۰/۲۶
پتانسیل استخراج گیاهی	۰/۷۳	۰/۶۴
غلظت کادمیوم در زیست‌توده	۰/۷۹	۰/۵۴
عملکرد بیولوژیک	۰/۶۳	۰/۸۱

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد سطوح مختلف نیترات کادمیوم بر تمامی صفات مورد مطالعه و کاربرد تریکودرما بر غلظت کادمیوم در ریشه، پتانسیل استخراج گیاهی و عملکرد بیولوژیک اثر معنی‌داری داشتند. همچنین بین تلقیح تریکودرما و سطوح مختلف نیترات کادمیوم در صفات میزان جذب و غلظت کادمیوم در ریشه و پتانسیل استخراج گیاهی برهمکنش معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۳).

بررسی میزان تجمع کادمیوم در خاک نشان می‌دهد که کمترین میزان تجمع کادمیوم در خاک، مربوط به تیمار عدم آلودگی می‌باشد و با افزایش سطح آلودگی، تجمع کادمیوم در خاک یک سیر صعودی را بدنبال داشت (شکل ۱). در این راستا محمدی و همکاران (۱۱) در آزمایش خود در گیاه یونجه گزارش کردند با افزایش غلظت کادمیوم (صفر تا ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، میزان آن در خاک حدود ۲۰ برابر نسبت به شاهد افزایش یافت.

با توجه به نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرات متقابل کاربرد تریکودرما و سطوح مختلف نیترات کادمیوم (شکل ۲)، کمترین میزان تجمع کادمیوم در ریشه، مربوط به تیمار حضور تریکودرما و عدم آلودگی در محیط رشد گیاه است که با تیمار عدم حضور تریکودرما در یک گروه آماری قرار دارد. نتایج نشان داد که با افزایش میزان آلودگی در خاک، چه در کاربرد تریکودرما و چه در تیمار عدم کاربرد، میزان تجمع کادمیوم در ریشه به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت. به‌طوری که بالاترین میزان تجمع مربوط به تیمار تلقیح تریکودرما و غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم بود که نسبت به عدم تلقیح تریکودرما از افزایش حدود ۴۵ درصدی برخوردار بود.

در این راستا ونگ و همکاران (۳۸) بیان داشتند حضور *T. atroviride* در خاک آلوده به کادمیوم باعث افزایش تجمع این عنصر در گیاه خردل می‌شود. همچنین عشقی ملایری (۹) بیان داشت که تراکم کادمیوم در ریشه گوجه‌فرنگی نسبت به اندام هوایی بیشتر بود و علت آن را جذب و ذخیره‌سازی بیشتر این عنصر توسط ریشه در شرایط آلودگی به نیترات کادمیوم گزارش نمود. نتایج مشابهی توسط نیکولیچ و همکاران (۲۹) در درخت سپیدار، کورتیکا و همکاران (۲۵) در گیاه ذرت، ابوموریفا (۱۶) در گیاه خیار، محمدی و همکاران (۱۱) در گیاه یونجه و بهمنیار (۴) در گیاه برنج به‌دست آمد.

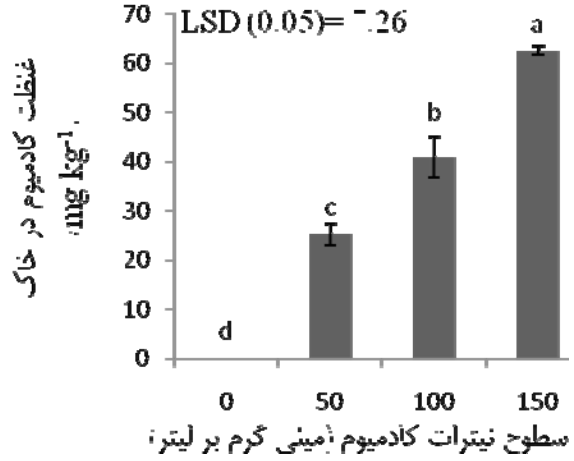
جدول ۳- تجزیه واریانس اثر نیترات کادمیوم و تریکودرما بر صفات مرتبط با جذب کادمیوم در گیاه جو

منبع تغییرات	تریکودرما (A)	نیترات کادمیوم (B)	A×B	خطای آزمایش	ضریب تغییرات (درصد)
درجه آزادی	۱	۳	۳	۱۶	
غلظت کادمیوم در خاک	۶۰/۸۴۲^{ns}	۴۱۳۳/۰۰**	۱۶/۵۳۹^{ns}	۳۵/۲۲۷۳	۱۸/۴۷
غلظت کادمیوم در ریشه	۲۷۲۹۳/۱*	۳۸۶۵۵۵**	۱۶۰۰۴/۶*	۴۹۲۳/۵۱	۲۴/۴۸
میزان جذب در ریشه	۰/۴۳۶۹۲^{ns}	۵/۶۶۹۱۲**	۱/۲۶۵۱۶**	۰/۱۰۲۴۳	۲۵/۸۸
فاکتور تجمع زیستی	۵/۴۵۰۲^{ns}	۸۲/۲۴۳۰**	۳/۱۲۷۲^{ns}	۰/۶۵۷۹	۱۴/۳۱
پتانسیل استخراج گیاهی	۲/۹۵۹۱*	۱۹/۳۰۲۷**	۲/۶۲۱۵**	۰/۴۳۶۸۱	۲۸/۲۹
غلظت کادمیوم در زیست‌توده	۷۸/۵۲۷^{ns}	۲۱۶۱۵/۱**	۲۳/۸۸۴^{ns}	۳۲۹/۹۴۷	۲۴/۱۸
عملکرد بیولوژیک	۰/۰۰۰۴**	۰/۰۰۰۲*	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۵	۲۴/۰۰

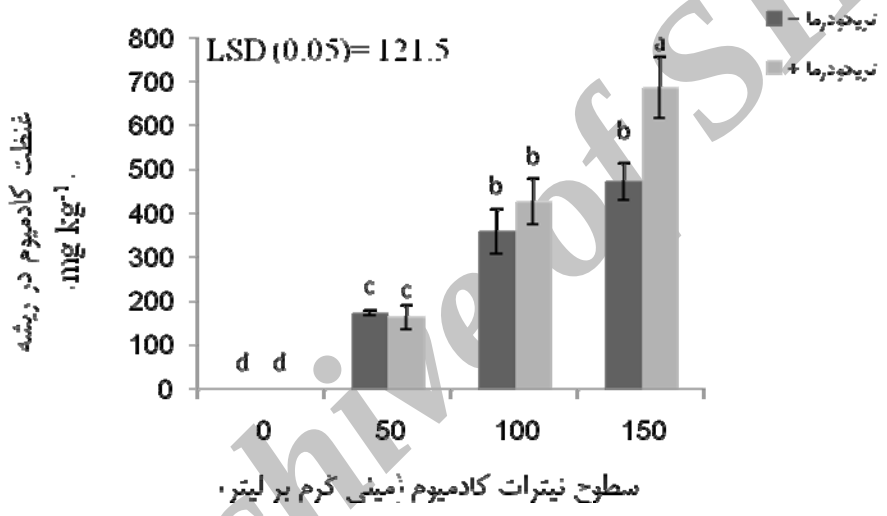
*، ** و ns – به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج، یک درصد و عدم‌معنی‌داری براساس آزمون LSD

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱- اثر ساده سطوح مختلف نیترات کادمیوم بر میزان تجمع کادمیوم در خاک



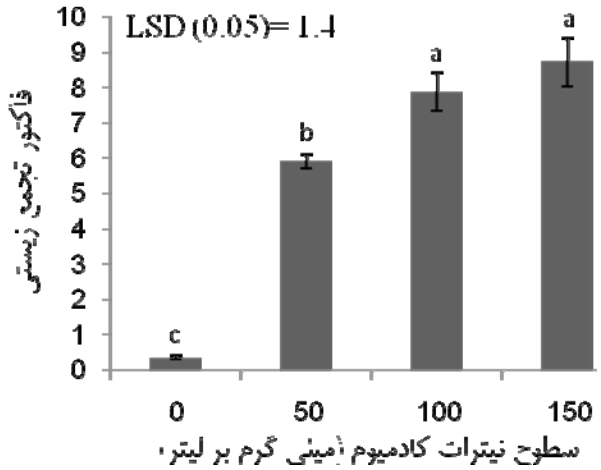
شکل ۲- اثر متقابل کاربرد تریکودرما و سطوح مختلف نیترات کادمیوم بر میزان تجمع کادمیوم در ریشه

با توجه به شکل ۳ با افزایش سطوح نیترات کادمیوم، فاکتور تجمع زیستی یک روند افزایشی داشته به‌طوری که در سطوح بالا (۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) نسبت به سطح ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به‌ترتیب از افزایش حدود ۳۴ و ۴۸ درصدی برخوردار بود. به‌طور کلی فاکتور تجمع زیستی به میزان جذب عنصر، تحرک آن و ذخیره در ریشه گیاه بستگی دارد (۴۱). به‌نظر می‌رسد مقدار جذب کادمیوم از خاک به ریشه به توانایی گیاه در انتقال فلز در سطح بین خاک و ریشه و مقدار کل کادمیوم موجود در خاک بستگی دارد (۱۱ و ۲۶).

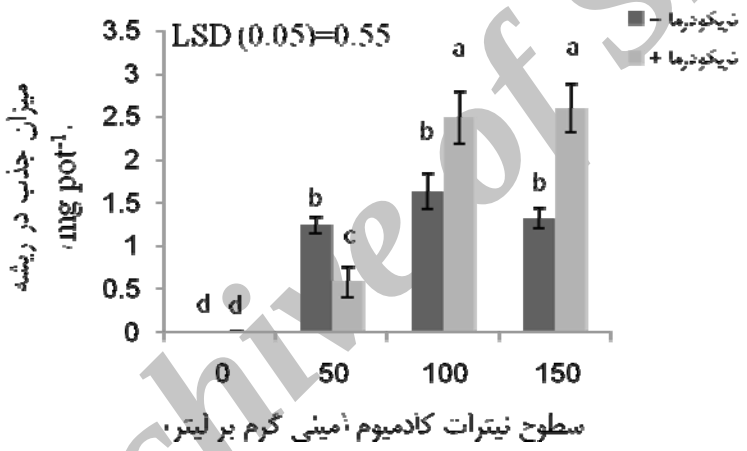
اثر متقابل تریکودرما و سطوح مختلف نیترات کادمیوم بر میزان جذب کادمیوم در ریشه گیاه جو در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود کاربرد تریکودرما در سطوح متوسط تا بالای نیترات کادمیوم نسبت به تیمار عدم کاربرد قارچ، جذب کادمیوم در ریشه را از ۵۳ تا ۹۶ درصد افزایش داد. محمدی و همکاران (۱۱) نیز بیان داشتند که بین جذب کادمیوم و غلظت آن در خاک ارتباط مثبتی وجود دارد بدین معنی که جذب کادمیوم توسط ریشه گیاه یونجه با افزایش غلظت آن در خاک (از صفر تا غلظت ۸۰ میلی‌گرم در لیتر) افزایش یافت. با توجه به نتایج پژوهش حاضر، تلقیح گیاه با تریکودرما در سطوح ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث بهبود رشد ریشه شده است (داده‌ها نشان داده نشده است) که می‌تواند دلیلی بر کاهش اثرات منفی کادمیوم بر رشد و در نتیجه افزایش میزان جذب در ریشه باشد (شکل ۴). در پژوهشی مشابه کوا و همکاران (۲۰) گزارش کردند کاربرد *T. atroviride* تأثیری در رشد گیاه کلزا در خاک شاهد (بدون آلودگی) نداشته درحالی‌که در خاک‌های آلوده موجب بهبود رشد شده است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳- اثر ساده سطوح مختلف نیترات کادمیوم بر تجمع زیستی کادمیوم



شکل ٤- اثر متقابل کاربرد تریکودرما و سطوح مختلف نیترات کادمیوم بر میزان جذب کادمیوم در ریشه

فرآیند استخراج گیاهی در خاک‌های آلوده به کادمیوم یکی از حالات گیاه‌پالایی است و باعث انتقال کادمیوم از خاک به ریشه و اندام هوایی می‌شود و به‌عنوان کارآمدترین و مناسب‌ترین روش در آلودگی‌زدایی فلزات سنگین از خاک شناخته شده است (۲، ۱۱، ۲۴ و ۴۱). به‌طوری که ژوانگ و همکاران (۴۱) هدف از استخراج گیاهی را کاهش غلظت عنصر در خاک و رسیدن به حد مطلوب آن بیان داشتند. در این پژوهش با توجه به میزان زیست‌توده تولیدی (در گستره‌ی ۰/۰۱۷ تا ۰/۰۴۲ کیلوگرم در گلدان) و غلظت کادمیوم موجود در زیست‌توده گیاه (در گستره‌ی ۴/۳۵ تا ۱۴۹/۳۲ میلی‌گرم در کیلوگرم)، با افزایش سطح نیترات کادمیوم در خاک، پتانسیل استخراج گیاهی کادمیوم از یک روند افزایشی برخوردار بود (جدول ۴). در این زمینه مطالعات نشان داد کارآیی استخراج گیاهی در جذب عناصر سنگین بستگی به دو عامل زیست‌توده و غلظت فلز در زیست‌توده دارد (۲، ۲۴، ۲۶ و ۴۱). بابایان و همکاران (۲) نیز گزارش کردند با افزایش غلظت سرب در خاک پتانسیل استخراج گیاهی سرب در گیاه هویج افزایش یافت. در این راستا محمدی و همکاران (۱۱) بیان داشتند با افزایش غلظت کادمیوم در خاک میزان استخراج گیاهی نیز افزایش یافت که علت آن را افزایش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک با زیاد شدن غلظت آن دانستند. با توجه به نتایج حاصل از جدول مقایسه میانگین (جدول ۴) و مقایسه‌ی افت عملکرد بیولوژیک در زمان عدم تلقیح با تریکودرما و کاهش غلظت کادمیوم در زیست‌توده نسبت به زمان تلقیح می‌توان چنین نتیجه گرفت که حضور تریکودرما سبب افزایش پتانسیل استخراج گیاهی کادمیوم می‌شود. بر این اساس بیشترین استخراج گیاهی در تیمار ۱۵۰

Archive of SID

www.SID.ir

میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم در زمان تلقیح قارچ تریکودرما مشاهده شد که نسبت به تیمار عدم تلقیح از افزایش حدود ۱۰۰ درصدی برخوردار بود. بنابراین می‌توان با اعمال تیمارهای مناسب جهت تولید زیست‌توده و زیست فراهمی فلز در خاک، جذب آن توسط گیاه را افزایش داد. در همین زمینه لاسات (۲۶) بیان داشته که حضور ریز-موجودات در ریزوسفر می‌تواند به جذب عناصر توسط گیاه کمک نموده و سبب افزایش پتانسیل استخراج گیاهی شود. همچنین این موجودات با ترشح مواد آلی، ضمن افزایش توانایی و سهولت در جذب عناصر ضروری و غیرضروری مثل کادمیوم به‌طور مستقیم در حلالیت عناصر و افزایش جذب آن توسط گیاه نقش دارند. در این راستا نتایج مشابهی توسط کوا و همکاران (۲۰) مبنی بر بهبود استخراج گیاهی کادمیوم در گیاه کلزا در زمان تلقیح با *T. atroviride* و افزایش غلظت کادمیوم گزارش شده است.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج پژوهش حاضر به‌نظر می‌رسد قارچ تریکودرما از نقش مهمی در افزایش جذب کادمیوم از خاک و استخراج گیاهی کادمیوم در گیاه جو برخوردار است. از سوی دیگر افزایش آلودگی به نیترات کادمیوم به‌طور قابل ملاحظه‌ای تجمع کادمیوم در ریشه گیاه را افزایش داد و تلقیح گیاه با تریکودرما در بالاترین سطح آلودگی به نیترات کادمیوم موجب افزایش تجمع ۴۵ درصدی کادمیوم در ریشه شد. علاوه بر این با توجه به نقش مثبت تریکودرما در بهبود عملکرد بیولوژیک و تجمع کادمیوم در زیست‌توده گیاه جو، حضور تریکودرما باعث افزایش چشمگیری در پتانسیل استخراج گیاهی کادمیوم شد. بنابراین استفاده از ریزموجوداتی همانند قارچ تریکودرما به‌عنوان جاذب‌های زیستی جهت رفع آلودگی خاک از عناصر سنگینی همچون کادمیوم می‌تواند مورد توجه و بررسی بیشتر قرار گیرد.

سپاسگزاری

از مساعدت و راهنمایی جناب آقای مهندس یاسر یعقوبیان در اجرای این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد تریکودرما و سطوح مختلف نیترات کادمیوم بر پتانسیل استخراج گیاهی

تریکودرما	سطوح نیترات کادمیوم ($mg\ L^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک ($kg\ pot^{-1}$)	غلظت کادمیوم در زیست‌توده ($mg\ kg^{-1}$)	پتانسیل استخراج گیاهی ($mg\ pot^{-1}$)
عدم کاربرد (-)	صفر	۰/۰۱۷	۰/۰۶۴	۰/۰۰۱^{d}
	۵۰	۰/۰۲۶	۶۵/۲۷۶	۱/۷۱۴^{c}
	۱۰۰	۰/۰۴۲	۸۷/۳۲۴	۳/۶۶۰^{b}
	۱۵۰	۰/۰۱۷	۱۴۰/۵۶	۲/۶۰۵^{bc}
کاربرد (+)	صفر	۰/۰۳۴	۰/۰۸۱	۰/۰۰۲^{d}
	۵۰	۰/۰۳۲	۶۶/۲۳۵	۲/۰۲۵^{c}
	۱۰۰	۰/۰۳۷	۹۲/۰۵۳	۳/۴۰۸^{b}
	۱۵۰	۰/۰۳۵	۱۴۹/۳۲	۵/۲۶۰^{a}

میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون LSD ندارند.

منابع

۱- آقابراتی ا.، حسینی م.، اسماعیلی ع.، بهرامی‌فر ن. و مارالیان ح. ۱۳۸۷. تأثیر کاربرد فاضلاب شهری بر تجمع عناصر سنگین (کروم و نیکل) در درخت زیتون (*Olea europaea* L.) و خاک. فصلنامهٔ علمی پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران. ۱۶(۲): ۳۱۳-۳۰۴.

۲- بابائیان ا.، همایی م. و راهنمایی ر. ۱۳۹۱. افزایش کارایی استخراج گیاهی سرب از خاک بوسیله هویج با کاربرد کی‌لیت‌های طبیعی و صنعتی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۶ (۳): ۶۰۷-۶۱۸.

۳- بهتاش ف.، طباطبایی س.ج.، ملکوتی م.ج.، سرورالدین م.ح. و اوستان ش. ۱۳۸۹. اثر روی و کادمیم بر رشد، مقدار کلروفیل، فتوسنتز و غلظت کادمیم در چغندر لبویی. مجله پژوهشهای خاک (علوم خاک و آب). ۲۴ (۱): ۴۱-۳۱.

۴- بهمنیار م.ع. ۱۳۸۶. تأثیرمصرف فاضلاب درآبیاری گیاهان زراعی برمیزان برخی از عناصر سنگین خاک و گیاهان. محیط‌شناسی. ۳۳ (۴۴): ۲۶-۱۹.

۵- خسروی ف.، ثواقبی فیروز آبادی غ.ر. و فرحبخش ح. ۱۳۸۸. اثر کلرید پتاسیم بر جذب کادمیوم توسط کلزا و آفتابگردان در یک خاک آلوده.

Archive of SID

www.SID.ir

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۳ (۳): ۳۵-۲۸.
۶- سلطانی ا. ۱۳۸۷. کاربرد نرم افزار SAS در تجزیه‌های آماری. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
۷- شیرانی ب. و رنجبر ا. ۱۳۹۰. بررسی توانایی گیاه پالایی عنصر سرب توسط گیاهان در جهت کشاورزی پایدار. اولین همایش ملی راهبردهای دستیابی به کشاورزی پایدار دانشگاه پیام‌نور استان خوزستان. ۵-۱.
۸- صابری م.، طویلی ع.، جعفری م. و حیدری م. ۱۳۸۹. تأثیر سطوح مختلف عناصر سنگین بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های *Atriplex lentiformis* . مجله علمی پژوهشی مرتع. ۴ (۱): ۱۲۰-۱۱۲.
۹- عشقی ملایری ب. ۱۳۸۳. بررسی اثر تفاوت نیترات و کلرور کادمیوم بر رشد بوته‌ها و جذب و ذخیره‌سازی کادمیوم در ریشه و اندام هوایی گوجه‌فرنگی در محیط هیدروپونیک. مجله محیط‌شناسی. ۳۵: ۸۸-۸۵.
۱۰- کشتکار ع.ر.، منتظر رحمتی م.م. و خداپناه ن. ۱۳۸۸. کاربرد ایزوترم های جذب دو و س هپارامتری در جذب زیستی اورانیم توسط مخمرنان. مجله علوم و فنون هسته ای. ۵۰: ۸-۱.
۱۱- محمدی م.، حبیبی د.، اردکانی م.ر. و اصغرزاده ا. ۱۳۸۹. ارزیابی قدرت جذب و اندوزش گیاه یونجه یکساله (*Medicago scutellata*) در خاکهای آلوده به کادمیوم. فصلنامه علمی‌پژوهشی اکو فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۲ (۳): ۲۴۷-۲۶۰.
۱۲- ملک زاده ا.، علیخانی ح.، ثواقبی فیروزآبادی غ. و زارعی م. ۱۳۹۰. برهم کنش قارچ های میکوریز آربوسکولار و باکتری هایPGPR مقاوم به کادمیوم در گیاه پالایی کادمیوم. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۵ (۲): ۲۶۶-۲۷۴.
۱۳- نصیری و. ۱۳۸۷. آمار کاربردی با کامپیوتر – رویکرد ناپارامتری-. انتشارات مرکز آموزش و تحقیقات صنعتی ایران.
۱۴- وفادار م.، زارع مایوان ح. ۱۳۸۵. مقایسه نقش برخی گیاهان علفی در جذب برخی عناصر سنگین: مطالعه موردی در منطقه جنگلی رامسر. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۳ (۴): ۹-۱.
۱۵- یزدانی م.، پیردشتی ه.، تاجیک م ع. و بهمنیار م ع. ۱۳۸۷. تأثیر تریکودرما (*Trichoderma* spp.) و انواع مختلف کودهای آلی بر رشد و نمو سویا [*Glycine max* (L). Merril]. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. ۱ (۳): ۸۲-۶۵.
16- Abu Murefah S.S. 2008. Growth Parameters and elemental status of cucumber (*Cucumus sativus*) seedlings in response to cadmium accumulation. International Journal of Agriculture and Biology, 10 (3): 261-266.
17- Akhtar K., Akhtar M.W., and Khalid A.M. 2007. Removal and recovery of uranium from aqueous solutions by *Trichoderma harzianum*. Water Research, 41: 1366-1378.
18- Anand P., Isar J., Saran S., and Saxena R.K. 2006. Bioaccumulation of copper by *Trichoderma viride*. Bioresource Technology, 97: 1018-1025.
19- Anonymous. 2010. *Trichoderma* spp and its potential in soil bioremediation. European commision Publish.
20- Coa L., Jiang M., Zeng Z., Du A., Tan H., and Liu Y. 2008. *Trichoderma atroviride* F6 improve phytoextraction efficiency of mustard [*Brassica juncea* (L.) Coss. var. *foliosa Bailey*] in Cd, Ni contaminated soils. Chemosphere, 71: 1769-1773.
21- Izadiyar M.H., and Yargholi B. 2010. Study of cadmium absorption and accumulation in different parts of four forages. Journal of Agriculture and Environmental Science, 9 (3): 231-238.
22- Kaewchai S., Soytong K., and Hyde K.D. 2009. Mycofungicides and fungal biofertilizers. Fungal Diversity, 38: 25-50.
23- Kavamura N.V., and Esposito E. 2010. Biotechnological strategies applied to the decontamination of soils polluted with heavy metals. Biotechnology Advances, 28: 61-69.
24- Kos B., Grcman H., and Lestan D. 2003. Phytoextraction of lead, zinc and cadmium from soil by selected plants. Plant Soil Environmental, 49 (12): 548–553.
25- Kurtyka R., Małkowski E., Kita A., and Karcz W. 2008. Effect of calcium and cadmium on growth and accumulation of cadmium, calcium, potassium and sodium in maize seedlings. Polish Journal of Environmental Studies, 17 (1): 51-56.
26- Lasat M.M. 2000. Phytoextraction of metals from contaminated soil. A review of plant/soil/metal internaction and assessment of pertinent agronomic issues. Journal of Hazardous Substance Research, 2 (5): 1-25.
27- Levinskaite L. 2001. Simultaneous effect of nickel, cadmium and chromium (VI) on soil micromycetes. Biologia, 4: 13-15.
28- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and

Archive of SID

www.SID.ir

copper. Soil Science Society of American Journal, 42: 421-428.
29- Nikolic N., Kogic D., Pilipovic A., Pajivic S., Krstic B., Borisev M., and Orlovic S. 2008. Responses of hybrid poplar to cadmium stress photosynthetic characteristics, cadmium and proline accumulation and antioxidant enzyme activity. Acta Biological Cracoviensla Series Botanical, 50(2): 95–103.
30- Page A.L., Miller R.H and Keeney D.R. 1982. Methods of Soil Analysis. Part 2, 2nd ed., F.N., 1972. The chemistry of submerged soils. Advances in Agronomy, 24: 26-92.
31- Rehman F., Khan F.A., Varshney D., Naushin F., and Rastogi J. 2011. Effect of cadmium on the growth of tomato. Journal of Biology and Medicine, 3(2): 187-190.
32- Saheed Bada B., and Adekunle Raji K. 2010. Phytoremediation potential of kenaf (*Hibiscus cannabinus L.)* grown in different soil textures and cadmium concentrations. African Journal of Environmental Science and Technology, 4 (5): 250-255.
33- Sarkar S., Satheshkumar A., Jayanthi R., and Premkumar R. 2010. Biosorption of nickel by live biomass of *Trichoderma harzianum*. Research Journal of Agricultural Sciences, 1 (2): 69-74.
34- Sivasamy A., and Sundarabal N. 2010. Biosorption of an Azo Dye by *Aspergillus niger* and *Trichoderma* sp. Fungal Biomasses Current Microbiology, 62: 351–357.
35- Sun Y., Qixing Z., and Chunyan D. 2008. Effects of cadmium and arsenic on growth and metal accumulation of Cd-hyperaccumulator *Solanum nigrum* L. Bioresource Technology, 99: 1103–1110.
36- Sun Y.M., Horng C.Y., Chang F.L., Cheng L.C., and Tian W.X. 2010. Biosorption of lead, mercury and cadmium ions by *Aspergillus tereuss* immobilized in a natural matrix. Polish Journal of Microbiology, 59(1): 37-44.
37- Wang M., and Zhou Q. 2005. Single and joint toxicity of chlorimuron-ethyl, cadmium, and copper acting on wheat *Triticum aestivum*. Ecotoxicology and Environmental Safety, 60: 169–175.
38- Wang B., Liu L., Gao Y., and Chen J. 2009. Improved phytoremediation of oilseed rape (*Brassica napus*) by Trichoderma mutant constructed by restriction enzyme-mediated integration (REMI) in cadmium polluted soil. Chemosphere, 74: 1400–1403.
39- Yargholi B., Azimi A.A., Baghvand A.M., Liaghat A.M., and Fardi G.A. 2008. Investigation of cadmium absorption and accumulation in different parts of some vegetables. Journal of Agricultural and Environmental Science, 3 (3): 357-364.
40- Zafar S., Aqil F., and Ahmad E. 2007. Metal tolerance and biosorption potential of filamentous fungi isolated from metal contaminated agricultural soil. Bioresource Technology, 98: 2557-2561.
41- Zhuang P., Yang Q.W., Wang H.B., and Shu W.S. 2007. Phytoextraction of heavy metals by eight plant species in the field. Water Air Soil Pollution, 184: 235–242.

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of Water and Soil
Vol. 28, No. 1, Mar.-Apr. 2014, p. 157-165

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۸، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۳، ص. ۱۶۵-۱۵۷

The Role of *Trichoderma harzianum* in Cadmium Biosorption of Barley *(Hordeum vulgare* L.) in a Contaminated Soil

F. Taghavi Ghasemkheyli[1]- H. Pirdashti[2*]- M.A. Tajick Ghanbary[3]- M.A. Bahmanyar[4]

Received: 23-06-2013
Accepted: 06-01-2014

Abstract

Soil pollution by heavy metals due to industrial activities, factories, fertilizers and pesticides is an environmental problem which threatens public health. Therefore, it is necessary to find some solutions to ameliorate the negative effects of heavy metals in soil. Accordingly, an experiment was designed to evaluate the effect of *Trichoderma harzianum* fungi as a cadmium (Cd) biosorbent in barley (cv. Sahra) cultivated on a Cd contaminated soil. Treatments were arranged in factorial experiment based a completely randomized design and were replicated three times. Experimental factors consisted of *T. harzianum* fungi at two levels (inoculated and non-inoculated control) and four levels of cadmium nitrate (0, 50, 100 and 150 mg L^{-1}). Results indicated that Trichoderma inoculation increased barley biological yield (by 36%) as compared to those in non-inoculated plants. Where Cd was added, both Cd amount in soil and Cd bioaccumulation in plants markedly increased. The Cd content in barley root varied from 0.02 mg kg^{-1} in non-contaminated soil to 688.2 mg kg^{-1} in 150 mg L^{-1} contaminated soil. Furthermore, the presence of the Trichoderma significantly increased the Cd uptake in plant roots (from 53 to 96%) in moderate to high levels of cadmium contamination when compared to those in non-inoculated plants. The maximum Cd phytoextraction (5.260 mg per pot) resulted in Trichoderma inoculated plants and at maximum rate of Cd which was 100% greater than untreated plants. In conclusion, it seems that inoculation of Trichoderma with barley plants could be an optimum option to remediate the Cd contaminated soils.

Keywords: Phytoextraction, Cadmium uptake, Bioaccumulation, Trichoderma fungi

Archive of SID

1- M.Sc. Student of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Member of Young Researchers Club of Islamic Azad University, Sari Branch
2- Associate Professor of Agronomy Department, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
(*- Corresponding Auther Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir)
3- Assistant Professor, Department of Plant Pratection, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
4- Associate Professor, Department of Soil Sciene, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

www.SID.ir