Arch

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و پنجم، شماره چهارم، ۱۳۹۷
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2018.14361.2910

تأثیر قارچ‌های میکوریزا بر گیاه‌پالایی سرب و کادمیم توسط گیاه دارویی آویشن دنایی (*Thymus daenensis* Celak.)

*زینب محکمی[۱]، فاطمه بیدرنامنی[۱]، زهرا غفاری‌مقدم[۱] و محمد فروزنده[۱]
[۱]مربی پژوهشی گروه زراعت و اصلاح نباتات، پژوهشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

تاریخ دریافت: ۹۵/۹/۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۲/۱۹

چکیده

سابقه و هدف: آلودگی خاک با فلزهای سنگین یکی از مشکلات زیست‌محیطی عمده در جوامع بشری است و با انتقال این عناصر سمی از طریق تولیدات گیاهی به انسان، سلامتی افراد جامعه به خطر می‌افتد. یکی از روش‌های کارآمد پالایش خاک‌های آلوده، استفاده از گیاهان می‌باشد. گیاه‌پالایی یک فن‌آوری است که با بهره‌گیری از گیاهان و سپس ریزجانداران موجود در ریزوسفر برای حذف کردن، تغییر دادن یا محدود کردن مواد شیمیایی سمی در خاک، رسوبات، آب‌های زیرزمینی، آب‌های سطحی و حتی اتمسفر استفاده می‌شود. هدف از این پژوهش بررسی توانایی پالایش خاک از عناصر سرب و کادمیم توسط گیاه دارویی آویشن دنایی در حضور قارچ‌های میکوریزا بود.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در شرایط گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل با دو فاکتور، فاکتور اول: فلز سنگین شامل چهار سطح: سرب (۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، کادمیم (۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)، کاربرد هم‌زمان کادمیم + سرب و شاهد (صفر) و فاکتور دوم قارچ‌های میکوریزا (در پنج سطح: *G. intraradices*، *G. Mosseae*، *G. fassiculatum*، کاربرد هم‌زمان هر سه گونه و شاهد- عدم تلقیح) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و در ۳ تکرار اجرا شد.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد قارچ‌های میکوریزا اثر معناداری بر غلظت سرب و کادمیم در شاخساره و ریشه گیاه آویشن دنایی داشتند. طبق نتایج این پژوهش در خاک آلوده به کادمیم (سطح ۱۵ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک)، بیش‌ترین غلظت کادمیم در شاخساره گیاه (۱/٦ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه) در بستر آلوده به کادمیم و همزیست با *G. mosseae* و در ریشه (۱/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه) در تیمار *G. fassiculatum* به‌دست آمد. در خاک آلوده به سرب (سطح ۱۰۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک)، بیش‌ترین غلظت سرب در ریشه گیاه (۹/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک گیاه) و در شاخساره (٦/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک گیاه)، در تیمار *G. fassiculatum* حاصل شد.

* مسئول مکاتبه: zaynabmohkami@uoz.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری: نتایج نشان‌دهنده توانایی گیاه‌پالایی آویشن دنایی برای جذب فلزهای سنگین از خاک‌های آلوده است. غلظت سرب در ریشه و غلظت کادمیم در شاخساره آویشن دنایی بیش‌تر بود. در شرایط همزیستی با قارچ میکوریز *G. intraradices* فاکتور انتقال سرب دارای بیش‌ترین مقدار بود در حالی‌که فاکتور انتقال کادمیم در خاک آلوده، در شرایط همزیست با هر سه گونه قارچ افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: سرب، قارچ میکوریزا، کادمیم، گیاه‌پالایی

مقدمه

افزایش روزافزون استفاده از فلزهای سنگین در فرآیندهای صنعتی منجر به ورود آن‌ها به محیط خاکی شده است (۱۱). از میان ۹۳ عنصر موجود در طبیعت، ۵۳ عنصر فلز سنگین هستند. کادمیم، سرب، روی و نیکل از مهم‌ترین فلزهای سنگین شناسایی شده در نواحی شهری و اطراف بزرگراه‌ها هستند (٤٦). جذب فلزهای سنگین توسط گیاه و ورود آن‌ها به زنجیره غذایی انسان و حیوان باعث به خطر افتادن سلامت جامعه بشری می‌گردد. برای مثال، آبیاری گیاه برنج با فاضلاب و تجمع مقادیر بالای کادمیم در آن، سبب ابتلا به بیماری‌های متعددی در کشاورزان ژاپنی گردیده است (٣٤). این مواد، عناصر کم مقداری هستند با چگالی در نهایت پنج برابر آب، که پایداری بسیار بالایی دارند و بدن قادر به تجزیه آن‌ها نمی‌باشد (٤٠). ذوب و گداخت فلزها، کارخانه تولید سیمان، دفع مواد زاید در رودخانه و دریاچه‌ها، دستگاه‌ها و وسایل پزشکی و دندان پزشکی، تولید قارچ‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها، داروسازی، ساخت مواد محترقه، فاضلاب آزمایشگاه‌ها، نیروگاه‌ها، صنایع تولید کاتالیست، صنایع شیمیایی، پتروشیمی، آبکاری، استیل ضدزنگ، رنگ، سرامیک و عکاسی، مهم‌ترین منابع آلودگی فلزهای سنگین با منشاء انسان‌ساز[1] هستند (٤). غنای برخی از عناصر سنگین در بعضی مناطق، وجود کانی‌های آرسناتی و تصعید گاز از پوسته زمین مهم‌ترین منابع آلودگی فلزهای سنگین با منشاء خاک‌زا[2] هستند (۳۹ و ٤٠). متداول‌ترین فلزها در کمپوست کشاورزی شامل کادمیم، کروم، مس، روی و سرب است که غلظتشان از چند میکروگرم تا چند میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر است (۳۳).

در بین فلزهای سنگین سرب دارای اهمیت ویژه‌ای است زیرا به راحتی توسط سیستم ریشه‌ای گیاه جذب شده و سمیت آن برای گیاه بین ۲ تا ۲۰ برابر سایر فلزهای سنگین می‌باشد (۲۹). سرب یکی از ماندگارترین فلزها است که می‌تواند ۵۰ تا ۱۵۰ سال در خاک باقی بماند. این عنصر با ورود به زنجیره غذایی، در بدن انسان و حیوانات تجمع یافته و به‌وسیله ایجاد جهش اثرات سرطان‌زایی ایجاد می‌کند (۲۹). این عناصر سنگین در غلظت‌های بالا وارد ریشه گیاهان می‌شوند و منجر به تخریب غشاء پلاسمایی سلول‌های گیاهی، اختلال در فعالیت آنزیم‌های سازنده پروتئین‌های ساختمانی، جایگزین شدن در ساختمان مواد حیاتی و در نتیجه مختل شدن فعالیت آن‌ها می‌شوند (۲۲). همچنین این فلزهای سنگین باعث تولید انواع اکسیژن‌های فعال می‌شوند که خطر اکسید شدن بافت‌های گیاهی را در پی دارند؛ در نتیجه نشانه‌های مسمومیت مثل عدم رشد، زردی، پوسیده شدن ریشه‌ها، کاهش فتوسنتز و توقف چرخه تنفس سلولی گیاه می‌شوند (۳۸). مقدار عناصر سنگین جا به جا شده در محیط خاک تابعی از pH، مقدار رس،

1- Anthropogenic

2- Pedogenic

www.SID.ir

Archive of SID

مواد آلی و گنجایش تبادل کاتیونی است که با افزایش pH، کربنات و مواد آلی خاک، تحرک عناصر سنگین کاهش می‌یابد (٤١).

زدودن فلزهای سنگین از خاک‌های آلوده با روش‌های متداول فیزیکی و شیمیایی مانند ترسیب شیمیایی، تعویض یونی، جذب سطحی، فرآیند غشایی و نیز فرآیندهای اکسایش- کاهش ناکارآمد یا با کارایی کم‌تر و بسیار هزینه‌بر هستند (٣). بنابراین، تلاش‌هایی برای ایجاد فن‌آوری‌های مؤثر و ارزان برای پالایش خاک‌های آلوده به فلزها سنگین انجام شده است (١٤). پالایش سبز[1] یکی از فن‌آوری‌های نویدبخش است که در آن از توانایی گیاهان یا همزیستی گیاهان و میکروب‌ها در جذب، انتقال و اندوزش آلاینده‌های خاک استفاده می‌شود (١٤). گیاه‌پالایی فن‌آوری استفاده از گیاهان برای حذف، تجزیه یا کم‌خطر کردن مواد سمی موجود در خاک است (٣٨). پژوهش‌های متعدد نشان داده که همزیستی با قارچ میکوریزا قدرت گیاه‌پالایی را در خاک‌های آلوده به فلزهای سنگین افزایش می‌دهد (٦، ١٣ و ١٧). قارچ‌های ویزیکولار- آرباسکولار می‌توانند با افزایش گستردگی ریشه‌ها و افزایش تحرک فلزهای سنگین، زیست‌فراهمی آن‌ها را برای گیاهان افزایش دهند (٢٦). گنزالز و همکاران (٢٠٠٤) گزارش نمودند که گلومالین[2]، که یک نوع گلیکوپروتئین است؛ توسط میکوریزا تولید شده و با فلزها سنگین موجود در خاک تشکیل پیوندهایی می‌دهد که در نهایت منجر به استخراج آن‌ها می‌شود (١٩). نتایج مطالعه وایتفیلد و همکاران (٢٠٠٣) نشان داد که ریشه‌های آویشن وحشی[3] رشد یافته در خاک‌های آلوده به فلزهای سنگین در امتداد رودخانه تین جنوبی در شمال انگلستان، عموماً دارای روابط همزیستی با قارچ‌های میکوریزا ویزیکولار آرباسکولار[4] (AM) هستند که خود بیانگر فواید رابطه همزیستی گیاه- میکوریزا در مقاومت به فلزهای سنگین است. این رابطه همزیستی منجر به افزایش جذب روی در این منطقه شده است (٤٤). ساز و کارهای متفاوتی در رابطه همزیستی گیاه با قارچ میکوریزا و تجمع فلزهای سنگین وجود دارد (١٢ و ٤٧). از آن جمله می‌توان به تجمع فلز سنگین درون آپوپلاست، برقراری ارتباط یونی با ترکیبات موجود در دیواره سلولی، تجمع فیتوکلات‌ها[5] در سیتوپلاسم و استری شدن و در نهایت از طریق فرآیندهای متابولیکی انتقال یون‌ها در واکوئل‌ها اشاره نمود (٩ و ١٥). افزون بر این غیرمتحرک ساختن فلزها درون میسیلیوم قارچ می‌تواند به‌عنوان یک فیلتر در طول مسیر جذب فلز عمل نماید (٢٣). مهم‌ترین سازوکار قارچ‌های اکتومیکوریزا در تحمل گیاهان به فلزهای سنگین، بازدارندگی از ورود فلز به داخل ریشه گیاه میزبان، از طریق جذب فلز توسط پوشش ریسه‌ای قارچ و کاهش دستیابی آپوپلاست به فلز، کلاته شدن توسط ترشحات قارچ و جذب آن‌ها در داخل میسیلیوم خارجی قارچ است (١٩).

همزیستی با قارچ‌های میکوریزا نواحی سطحی برای تجمع عناصر را فراهم می‌سازد. هیف‌های خارجی قارچ میکوریزا قادر است چندین سانتی‌متر درون خاک نفوذ کند و مقادیر بالایی از عناصر را جذب نماید. قارچ‌های میکوریزا ارتباط مستقیمی بین خاک و ریشه‌های گیاه برقرار می‌کنند؛ به این ترتیب کارایی گیاه‌پالایی را از طریق تأثیر بر قابلیت دسترسی فلزهای سنگین و افزایش تحمل گیاه بهبود می‌بخشند

1- Phytoremediation
2- Glomalin
3- Wild thyme [*Thymus polytrichus* A. Kerner ex Borbas subsp. britannicus (Ronn.) Kerguelen (Lamiaceae)].
4- Arbuscular mycorrhizal (AM) fungi
5- Phytochelatins

www.SID.ir

Archive of SID

(۱۵). از این‌رو مطالعه حاضر با هدف تعیین قدرت گیاه‌پالایی آویشن دنایی در شرایط همزیستی با قارچ‌های میکوریزا، جنس *Glomus*، در خاک آلوده به فلزها سنگین سرب و کادمیم اجرا شد.

مواد و روش‌ها

شرایط و محل اجرای آزمایش: این طرح پژوهشی در گلخانه تحقیقاتی پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد؛ فاکتور اول: فلزهای سنگین شامل چهار سطح: سرب (۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، کادمیم (کادمیم ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)، کاربرد همزمان کادمیم + سرب و شاهد (صفر) و فاکتور دوم: قارچ میکوریزا جنس *Glomus* (در پنج سطح: شاهد- عدم تلقیح- *G. fasciculatum* ،*G. Mosseae* ،*G. intraradices* و کاربرد هم‌زمان هر سه گونه) بود. این آزمایش با ۲۰ تیمار در ۳ تکرار و در مجموع با ٦۰ واحد آزمایشی انجام شد. خاک مورد استفاده از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زابل و از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه و پس از هوا خشک نمودن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن تعیین شد (جدول ۱). بر اساس نتایج آزمایش خاک، بافت خاک مورد آزمایش شنی لومی، با هدایت الکتریکی ۳/۲ دسی‌زیمنس بر متر، مقدار کادمیم خاک ۰/۰۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (حد مطلوب ۲-۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و مقدار سرب ۰/۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (حد مطلوب ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) بود (جدول ۱) (۲ و ۳۰).

سنجش ویژگی‌های خاک مورد آزمایش: بافت خاک به روش هیدرومتری (۷)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک با هدایت‌سنج الکتریکی و pH در خاک در عصاره اشباع خاک با الکترود شیشه‌ای، نیتروژن کل به روش کجلدال (۳٦)، فسفر قابل‌جذب با عصاره‌گیر بی‌کربنات سدیم به روش اولسن (۳۵) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV-2100) و پتاسیم قابل‌جذب با استفاده از روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم (۲۳) و قرائت با دستگاه فلیم‌فتومتر اندازه‌گیری شد. مقدار کادمیم و سرب قابل‌جذب خاک توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (۳۰).

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک مورد مطالعه.

Table 1. Some physical and chemical characteristics of the soil.

شن sand	رس clay	سیلت silt	سرب Pb	کادمیم Cd	پتاسیم قابل‌جذب K	فسفر قابل‌جذب P	نیتروژن N	pH	EC
(%)	(%)	(%)	($mg.kg^{-1}$)	($mg.kg^{-1}$)	($mg.kg^{-1}$)	($mg.kg^{-1}$)	(%)	-	($dS.m^{-1}$)
77	8	15	0.25	0.05	538	10	0.17	7.5	3.2

کاشت گیاه و اعمال تیمارها: به‌منظور آلوده‌سازی خاک از نیترات سرب با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و کلرید کادمیم با غلظت ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، به‌ترتیب دو و سه برابر حد مطلوب عنصر در خاک (۲ و ۳۰) استفاده شد. این نمک‌ها به‌صورت محلول در آب به خاک اضافه شدند؛ انتخاب این غلظت‌ها بر اساس میزان افزایش سالانه این عناصر به خاک است. به‌طوری‌که محلول فلزها سنگین بر سطح خاک اسپری شد و به‌مدت دو هفته در دمای معمولی اتاق و رطوبت نسبی ۵۰ درصد

www.SID.ir

Archive of SID

نگهداری گردید تا برهمکنش آلاینده و خاک تکوین یافته و شرایط آلودگی طبیعی‌تر باشد. سپس خاک آماده شده به گلدان‌های ۳ کیلوگرمی اضافه شد. ده بذر آویشن دنایی درون گلدان‌ها کشت شد و پس از دو مرحله تنک، تعداد سه بوته در هر گلدان تا پایان فصل رشد در شرایط گلخانه- دمای ۲±۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۷۰ درصد و نور معمولی- نگهداری شد.

سنجش غلظت فلزها سنگین در اندام‌های گیاهی: دو ماه بعد از کشت، شاخساره گیاهان از سطح طوقه برداشت و پس از شستشو با آب مقطر هوا خشک شدند. ریشه‌ها نیز به‌وسیله شستشو با آب مقطر و به آرامی از خاک جدا شده و داخل آون ۵۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۲ روز خشک شدند. نمونه‌ها جهت انجام تجزیه گیاه آسیاب و عصاره گیاهی به روش خاکسترسازی خشک آماده شد (۲۲). برای تعیین غلظت عنصر سرب و کادمیم در شاخساره و ریشه آویشن دنایی از روش هضم با HNO_3 غلیظ و آب اکسیژنه ۳۰ درصد استفاده شد (۵ و ۲۱). غلظت سرب و کادمیم در عصاره گیاه به‌وسیله دستگاه جذب اتمی شیاتزو مدل UNICAM919AA تعیین گردید.

فاکتور انتقال (TF): با استفاده از این فاکتور میزان توانایی گیاه در انتقال عناصر از ریشه به اندام هوایی محاسبه می‌شود. برای اندازه‌گیری فاکتور انتقال از فرمول ذیل استفاده شد:

$$TF=\frac{element\ in\ shoot}{element\ in\ root} \qquad (۱)$$

که در آن، TF فاکتور انتقال، element in shoot غلظت عنصر در شاخساره، element in root غلظت عنصر در ریشه.

روش آماری تجزیه و تحلیل داده‌ها: تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده ازآزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ($P\leq ۰/۰۵$) انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده قارچ‌های میکوریزا ($P<۰/۰۱$)، فلزهای سنگین ($P<۰/۰۵$) و اثر متقابل آن‌ها ($P<۰/۰۱$) بر غلظت کادمیم و سرب در شاخساره و ریشه گیاه دارویی آویشن دنایی و همچنین فاکتور انتقال (TF) این دو فلز سنگین معنادار می‌باشد (جدول ۲).

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد با افزایش سطوح سرب و کادمیم در خاک، غلظت آن در اندام‌های مختلف گیاه آویشن دنایی افزایش یافته است؛ در واقع غلظت این عناصر سنگین در گیاه تابعی از غلظت آن‌ها در خاک می‌باشد. غلظت سرب در ریشه بیش‌تر از اندام هوایی است (شکل ۱). میزان کادمیم در بافت‌های گیاهی نیز تابعی از غلظت آن در خاک است (شکل ۲). آویشن دنایی مقادیر قابل‌توجهی از کادمیم را توسط ریشه جذب نموده و به شاخساره انتقال می‌دهد (شکل ۲) و غلظت کادمیم در شاخساره بیش‌تر از ریشه است (شکل ۲) نتایج مشابهی در این زمینه توسط سایر پژوهشگران گزارش شده است (۳٤). در خاک آلوده به کادمیم (سطح ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم) نسبت به خاک غیرآلوده (سطح صفر میلی‌گرم کادمیم)، کادمیم بیش‌تری در ریشه و شاخساره گیاه آویشن دنایی تجمع یافته است (شکل ۲).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر قارچ‌های میکوریزا و فلزهای سنگین بر غلظت کادمیم و سرب در ریشه و شاخساره گیاه.

Table 2. Analysis of variance effect of AMF fungi and heavy metals on cadmium and Lead concentrations in root and shoot.

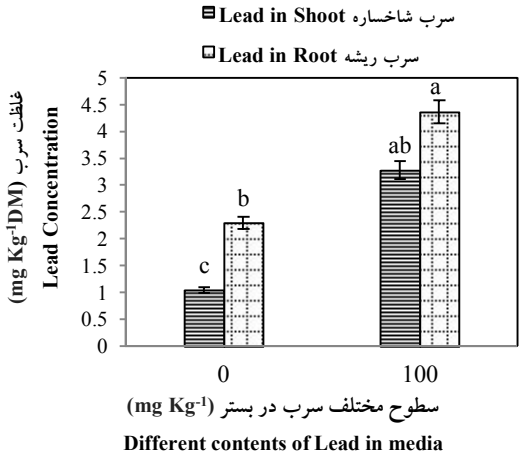
		میانگین مربعات Mean Square					
منابع تغییرات Sources of variations	درجه آزادی DF	غلظت کادمیم در شاخساره Cadmium concentration in shoot	غلظت کادمیم در ریشه Cadmium concentration in root	غلظت سرب در شاخساره Lead concentration in shoot	غلظت سرب در ریشه Lead concentration in root	فاکتور انتقال کادمیم Translocation Factor of Cadmium	فاکتور انتقال سرب Translocation Factor of Lead
قارچ‌های میکوریزا AMF Fungi	4	0.1**	0.4*	24.6**	19.8**	8.96**	9.6**
فلزهای سنگین Heavy metals	3	0.03*	0.5**	22.2**	6.4*	4.9**	34.8**
قارچ‌های میکوریزا × فلزهای سنگین AMF Fungi × Heavy metals	12	0.05**	0.1**	26.5**	9.0**	5.8**	5.007**
خطا Error	-	0.009	0.1	1.8	1.5	0.005	0.19
ضریب تغییرات Coefficient Variance	-	7.8	33.3	29.0	42.3	2.5	17.2

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns غیرمعنی‌دار.

** Significant at the 0.01 probability level, * Significant at the 0.05 probability level and ns Not significant.

www.SID.ir

Archive of SID

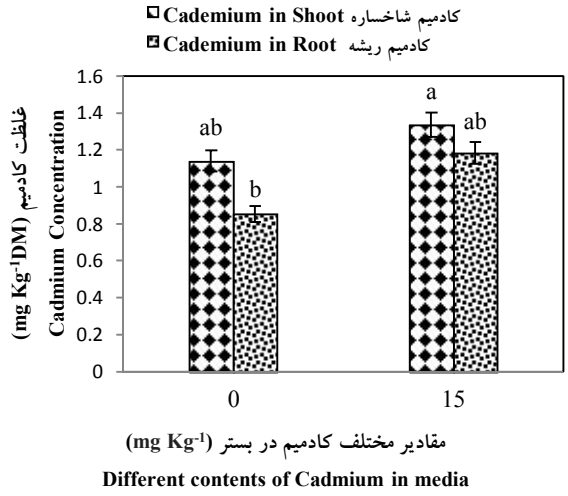


شکل ۱- غلظت سرب در شاخساره و ریشه.

Figure 1. Lead Concentration in shoot and root.

میانگین‌های با حروف غیرمشابه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد هستند (آزمون دانکن). انحراف معیار با خطوط عمودی روی ستون‌ها نشان داده شده است.

Means with dissimilar letters are significantly different at P<0.01, respectively (Duncan's multiple range test). Error bars indicate standard deviation.



شکل ۲- غلظت کادمیم در شاخساره و ریشه.

Figure 2. Cadmium Concentration in shoot and root.

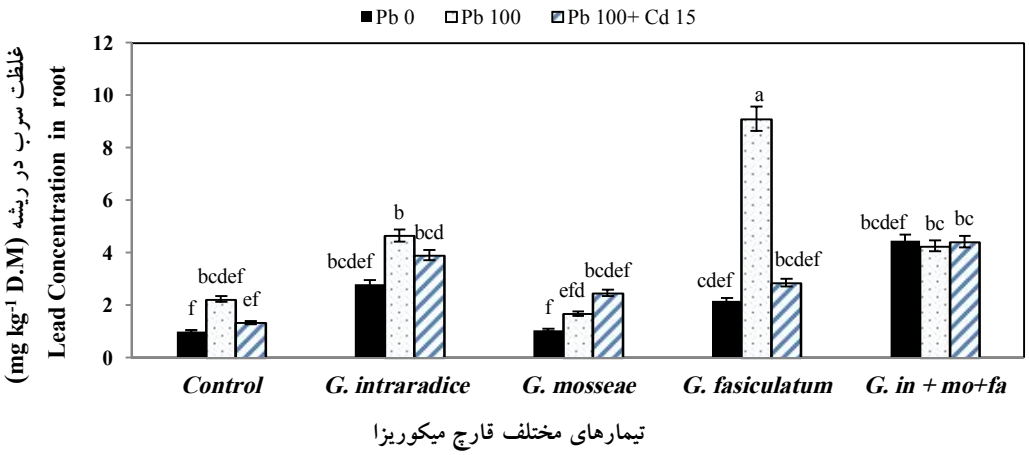
میانگین‌های با حروف غیرمشابه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد هستند (آزمون دانکن). انحراف معیار با خطوط عمودی روی ستون‌ها نشان داده شده است.

Means with dissimilar letters are significantly different at P<0.01, respectively (Duncan's multiple range test). Error bars indicate standard deviation.

www.SID.ir

Archive of SID

همان‌طور که در نتایج پژوهش به وضوح مشاهده می‌شود؛ گیاهان تلقیح‌شده نسبت به گیاهان تلقیح‌نشده غلظت بالاتری از سرب را در اندام‌های مختلف خود نشان دادند (شکل‌های ۳ و ٤). قارچ میکوریزا با ایجاد شبکه گسترده هیف و نفوذ به خلل و فرج خاک قدرت جذب و انتقال مواد از خاک به ریشه و سایر اندام‌های گیاه را افزایش داده است و نتایج این پژوهش با نتایج گیبادین و همکاران (۲۰۰۳) و همچنین ویسن هورن و لیوال (۱۹۹۵) مبنی بر افزایش قدرت گیاه‌پالایی ذرت در شرایط همزیست با قارچ میکوریزا مطابقت داشت (۱۷ و ٤٥) به‌طوری‌که بالاترین غلظت سرب در وزن خشک ریشه (۹/۰ $mg.Kg^{-1}DM$) و شاخساره (٦/۳ $mg.Kg^{-1}DM$) آویشن دنایی در تیمار همزیست با *G. fasiculatum* مشاهده شد. همچنین نتایج پژوهش‌های مشابه روی خردل هندی (٦) و گندم دوروم (۸) نشان داد که میکوریزا و گیاه در اثر همزیستی می‌توانند عمل پاکسازی خاک از عناصر سنگین را بهتر انجام دهند. پونامیا و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند مایه‌زنی با *G. mosseae* سبب افزایش رشد و عملکرد گیاهان علفی در خاک‌های آلوده به سرب می‌شود (۳۷). از مقایسه غلظت سرب در ریشه و شاخساره آویشن دنایی می‌توان دریافت که این گیاه بیش‌تر ویژگی ریشه تثبیتی فلز سنگین سرب را دارد و مقادیر کم‌تری از آن‌ها را به شاخساره انتقال می‌دهد (شکل‌های ۳ و ٤). افزایش جذب سرب در قسمت‌های مختلف گیاه می‌تواند به‌علت رقابت مستقیم بین سرب و عناصر غذایی دیگر برای نقاط یکسان جذب، روی ریشه باشد.



شکل ۳- تأثیر بر همکنش قارچ‌های میکوریزا و فلزهای سنگین بر غلظت سرب ریشه.

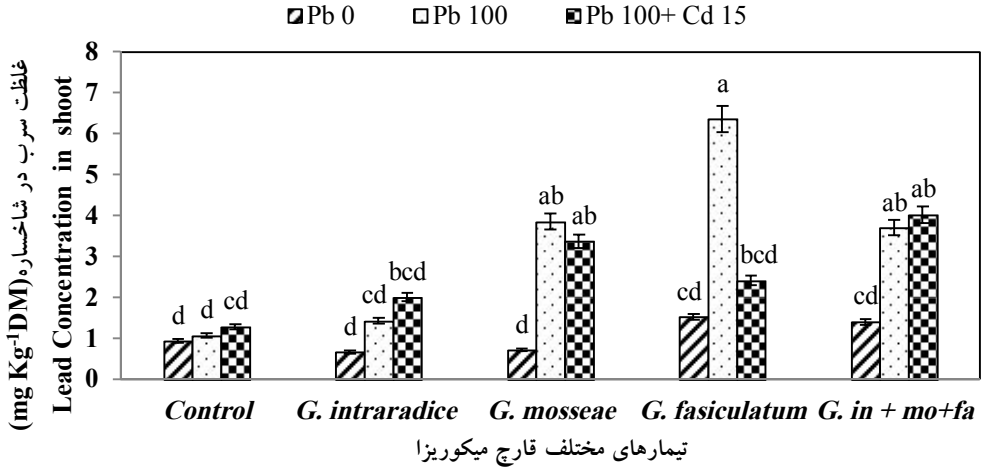
Figure 3. The interaction of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and heavy metals on lead concentration in root.

میانگین‌های با حروف غیرمشابه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد هستند (آزمون دانکن). انحراف معیار با خطوط عمودی روی ستون‌ها نشان داده شده است.

Means with dissimilar letters are significantly different at P<0.01, respectively (Duncan's multiple range test). Error bars indicate standard deviation.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٤- تأثیر بر همکنش قارچ‌های میکوریزا و فلزهای سنگین بر غلظت سرب شاخساره.

Figure 4. The interaction of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and heavy metals on lead concentration in shoot.

میانگین‌های با حروف غیرمشابه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد هستند (آزمون دانکن). انحراف معیار با خطوط عمودی روی ستون‌ها نشان داده شده است.

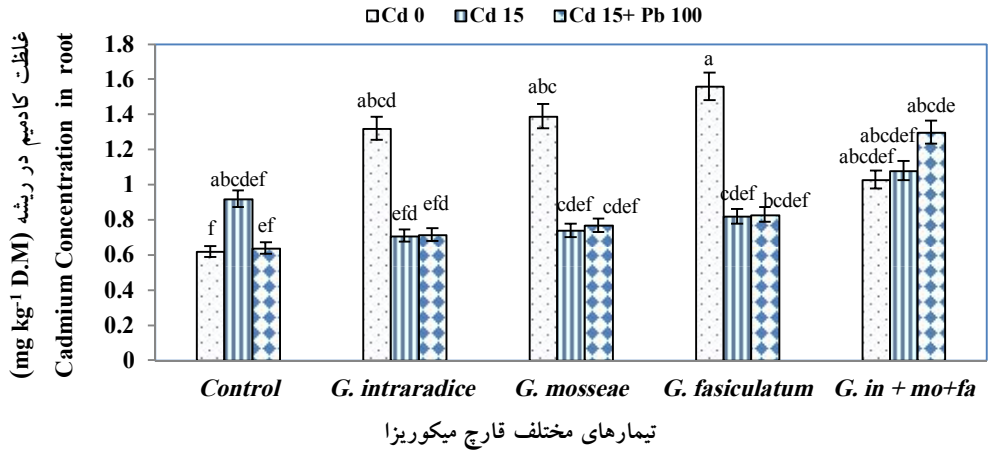
Means with dissimilar letters are significantly different at P<0.01, respectively (Duncan's multiple range test). Error bars indicate standard deviation.

غلظت کادمیم ریشه در خاک آلوده به سرب و کادمیم (Cd15+Pb100) در شرایط همزیست با هر سه گونه قارچ به‌دست آمد که نسبت به سطح شاهد (بدون تلقیح قارچ میکوریزا) ۵۰/۷ درصد افزایش نشان داد (شکل ۵). همچنین مشاهده می‌شود که در تیمارهای *G. fasiculatum* و *G. mosseae* غلظت کادمیم ریشه به‌ترتیب ۲۲/۸ و ۱٦/۸ درصد نسبت به سطح شاهد افزایش داشته است (شکل ۵). در خاک غیر آلوده- بدون اعمال تیمار فلزهای سنگین به بستر- بیش‌ترین تجمع کادمیم به‌ترتیب ذیل: *G. fasiculatum* > *G. mosseae* > *G. intraradices* > *G.f+m+I* > *Control* مشاهده شد.

همزیستی قارچ میکوریزا بر غلظت کادمیم در شاخساره آویشن دنایی (P<۰/۰۱) معنادار بود (جدول ۲)، به‌طوری‌که بالاترین میزان کادمیم در شاخساره آویشن دنایی (۱/٦ $mg.Kg^{-1}DM$) در تیمار *G. mosseae* و کم‌ترین میزان در تیمار شاهد (۱/۰ $mg.Kg^{-1}DM$) مشاهده شد (شکل ٦). همچنین غلظت کادمیم شاخساره در خاک آلوده به کادمیم و تلقیح‌یافته با *G. mosseae* (۱/٦ $mg.Kg^{-1}DM$) نسبت به تیمار شاهد ۲۸ درصد افزایش داشته است (شکل ٦) که با نتایج ژانگ و همکاران (۲۰۱٤) و محمدی و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد. جونر و همکاران (۱۹۹۷) نیز گزارش نمودند که هیف‌های رادیکالی خارجی *G. mosseae* قادرند کادمیم را از خاک گلدان به پیکره گیاه *Trifolium pretense* انتقال دهند (۲٤).

www.SID.ir

Archive of SID

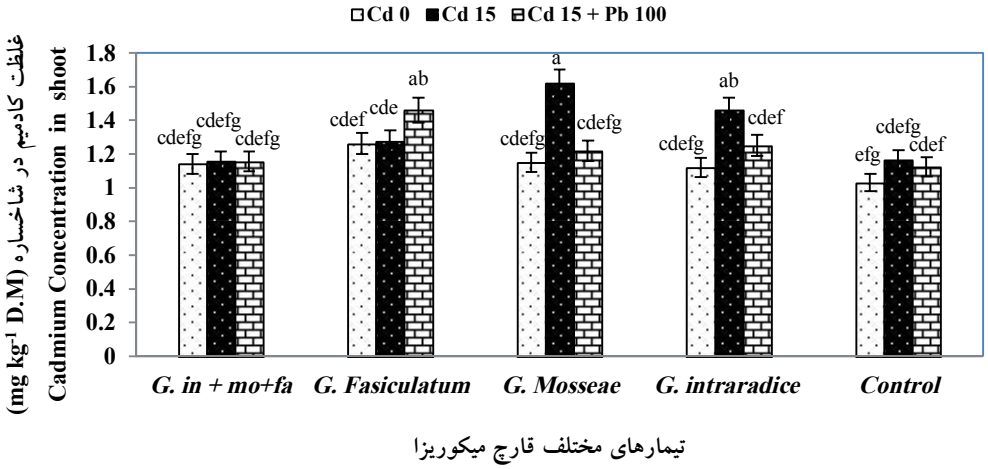


شکل ۵- تأثیر بر همکنش قارچ‌های میکوریزا و فلزهای سنگین بر غلظت کادمیم ریشه.

Figure 5. The interaction of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and heavy metals on cadmium concentration in root.

میانگین‌های با حروف غیرمشابه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد هستند (آزمون دانکن). انحراف معیار با خطوط عمودی روی ستون‌ها نشان داده شده است.

Means with dissimilar letters are significantly different at P<0.01, respectively (Duncan's multiple range test). Error bars indicate standard deviation.



شکل ٦- تأثیر بر همکنش قارچ‌های میکوریزا و فلزهای سنگین بر غلظت کادمیم شاخساره.

Figure 6. The interaction of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and heavy metals on cadmium concentration in shoot.

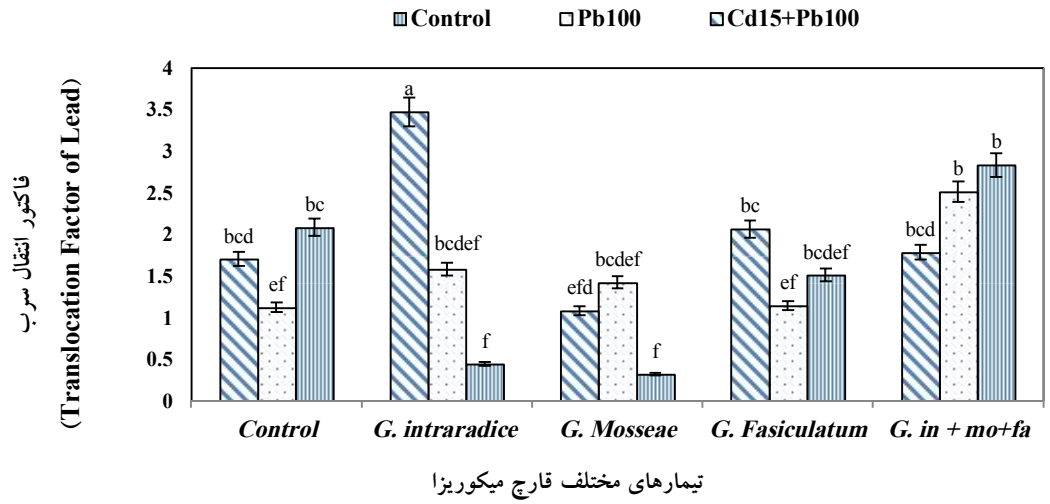
میانگین‌های با حروف غیرمشابه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد هستند (آزمون دانکن). انحراف معیار با خطوط عمودی روی ستون‌ها نشان داده شده است.

Means with dissimilar letters are significantly different at P<0.01, respectively (Duncan's multiple range test). Error bars indicate standard deviation.

www.SID.ir

Archive of SID

ارقام گیاهی از نظر توانایی در جذب، تجمع و مقاومت به فلزهای سنگین متفاوت می‌باشند. قرینه و همکاران (۲۰۱۲) گزارش نمودند که غلظت بالاتری از عناصر روی و مس در شاخساره زعفران تلقیح یافته با میکوریزا نسبت به شاهد مشاهده شد؛ در عوض غلظت کادمیم و منگنز شاخساره کم‌تر بود و همچنین غلظت آهن در هر دو تیمار مشابه گزارش شد (۱۶). شکل‌های ۷ و ۸ به‌ترتیب نشان‌دهنده اثرات متقابل فاکتورهای آزمایش بر فاکتور انتقال (TF) سرب و کادمیم در گیاه آویشن دنایی می‌باشند. بالاترین فاکتور انتقال سرب در خاک آلوده به سرب و کادمیم (Cd15+Pb100) در شرایط همزیستی با قارچ *G. intraradices* مشاهده شد (شکل ۷).



شکل ۷- تأثیر بر همکنش قارچ‌های میکوریزا و فلزهای سنگین بر فاکتور انتقال سرب.

Figure 7. The interaction of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and heavy metals on Translocation Factor of Lead.

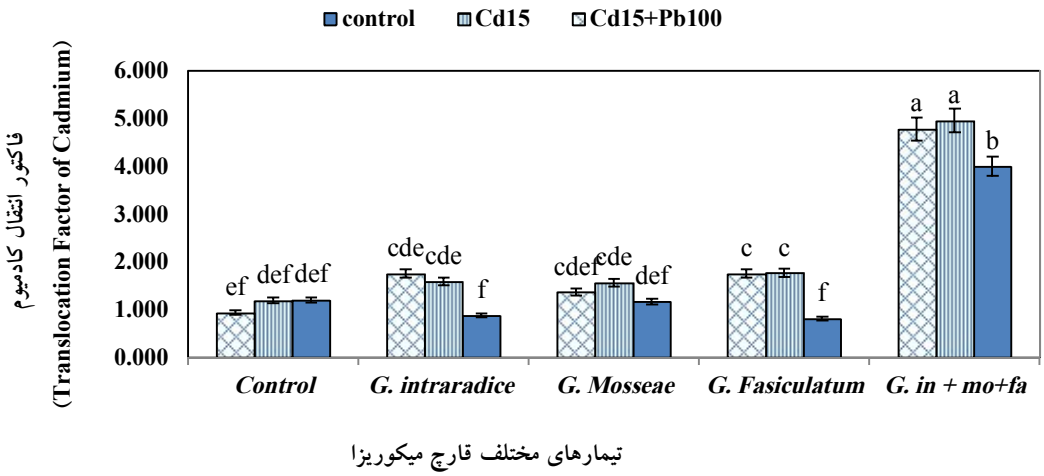
میانگین‌های با حروف غیرمشابه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد هستند (آزمون دانکن). انحراف معیار با خطوط عمودی روی ستون‌ها نشان داده شده است.

Means with dissimilar letters are significantly different at P<0.01, respectively (Duncan's multiple range test). Error bars indicate standard deviation.

زلجازکو و همکاران (۲۰۰۶) اثرات کادمیم، سرب و مس را بر رشد و مقدار اسانس موجود در شوید، ریحان و نعناع مورد بررسی قرار دادند و نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که در جایی که غلظت کادمیم در محیط رشد زیاد است در مقایسه با عناصر دیگر کادمیم بیش‌تر از ریشه‌ها به شاخساره انتقال داده می‌شود (۴۸) که با نتایج ما مطابقت دارد (شکل‌های ۵ و ۶). همان‌طور که در نتایج پژوهش حاضر مشاهده می‌شود؛ در خاک آلوده به کادمیم (Cd 15) بیش‌ترین میزان ضریب فاکتور انتقال به تیمار همزیست با هر سه گونه قارچ تعلق دارد (شکل ۸).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸- تأثیر بر همکنش قارچ‌های میکوریزا و فلزهای سنگین بر فاکتور انتقال کادمیم.

Figure 8. The interaction of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and heavy metals on Translocation Factor of Cadmium.

میانگین‌های با حروف غیرمشابه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد هستند (آزمون دانکن). انحراف معیار با خطوط عمودی روی ستون‌ها نشان داده شده است.

Means with dissimilar letters are significantly different at P<0.01, respectively (Duncan's multiple range test). Error bars indicate standard deviation.

مطابق با نتایج ما، محمدی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش نمودند که مصرف کودهای زیستی، اسید هیومیک و پلیمر سوپرجاذب، باعث افزایش فاکتور انتقال[1] (TF) کادمیم از ریشه به اندام هوایی و همچنین باعث افزایش فاکتور تجمع[2] (AF) و ضریب غنی‌سازی[3] (EC) در یونجه شد (۳۲). این نکته دارای اهمیت است که تجمع یک عنصر در بخش خاص گیاه مانند شاخساره یا ریشه همیشه یک اصل ثابت برای همه گیاهان به‌شمار نمی‌آید (۱۰). آندرد و همکاران (۲۰۰۸) بیان نمودند که گیاه آفتاب‌گردان همزیست شده با *G. intraradices* تنها ۲۲٪ از کادمیم جذب‌شده را به شاخساره انتقال می‌دهد که معادل ۲۲۸ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم بود. اگرچه نسبت کادمیم شاخه به ریشه در هر دو گروه گیاهان تلقیح‌شده و شاهد مشابه بود اما مقدار کل کادمیم جذب‌شده در گیاهان تلقیح‌شده ۲۳٪ بیش‌تر از گیاهان شاهد بود. در پژوهش آن‌ها غلظت بالاتری از کادمیم در ریشه نسبت به شاخساره آفتاب‌گردان مشاهده شد (۱).

AMF می‌تواند میزان جذب فلزها را بسته به گونه گیاهی، گونه همراه میکوریزا، غلظت فلز و شرایط رشد کاهش یا افزایش دهد (٤٥). گیاهان تلقیح‌شده با میکوریزا تنش کم‌تری را نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی تحمل می‌کنند (۱). زیمر و همکاران (۲۰۰۹) گزارش نمودند که تجمع کادمیم و روی در شاخساره بید سبدی[4] در اثر همزیستی با قارچ *Hebeloma crustuliniforme* و باکتری *Micrococcus luteus* ٥۳٪ و با باکتری *Sphingomonas sp.* به بیش از ٦۲٪ افزایش یافت. این باکتری‌ها زیست‌توده ساقه، برگ و ریشه را به‌طور معناداری افزایش دادند. در واقع نتایج آن‌ها بیانگر آن

1- Translocation Factor
2- Accumulation Factor
3- Enrichment Coefficient
4- Willow (*Salix viminalis* x caprea)

www.SID.ir

Archive of SID

بود که این باکتری‌های محرک رشد روابط همزیست با قارچ اکتومیکوریزا را بهبود می‌بخشند و به‌عنوان ابزاری برای گیاه‌پالایی در خاک‌های آلوده مطرح هستند (۵۰). طبق نظر دن و همکاران (۲۰۰۹) گیاهان علفی مانند *Veteiveria zizanioides* که توانایی تولید زیست‌توده بالا، مقاومت بالا به شرایط زیست‌محیطی، اسیدیته یا قلیایت بالای خاک و قدرت تجمع سطوح بالای فلزها را دارا هستند؛ بهترین گزینه برای گیاه‌پالایی محسوب می‌شوند (۱۱). زلجازکو و همکاران (۲۰۰۸) مشاهده کردند که عملکرد پنج گیاه دارویی مریم‌گلی، شوید، ریحان، بادرنجبویه و زوفا رشدیافته در خاک‌های آلوده به سرب، کادمیم، مس و روی کاهش پیدا کرد (٤۹). گلچین و همکاران (۲۰۰٦) در بررسی نحوه توزیع سرب در اندام‌های مختلف آفتاب‌گردان و کلزا گزارش دادند که میزان سرب موجود در اندام‌های گیاهی از غلظت قابل‌جذب این عناصر در خاک پیروی می‌کند و با افزایش غلظت سرب قابل‌جذب در خاک، غلظت آن در گیاه نیز افزایش می‌یابد (۱۸). تبریزی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش نمودند که با افزایش غلظت سرب و کادمیم در خاک، رشد و عملکرد گیاه همیشه بهار به‌طور معنادری کاهش یافت و فلز سنگین کادمیم اثرات منفی شدیدتری نسبت به سرب داشت. گیاه همیشه بهار تلقیح‌یافته با قارچ میکوریزا مقادیر بالاتری از این فلزها سنگین را در ریشه و شاخساره تجمع داد (٤۲). ژانگ و همکاران (۲۰۰۵) گزارش نمودند که همزیستی با قارچ‌های میکوریزا در دو کولتیوار برنج از انتقال فلزها سنگین مس، روی، سرب و کادمیم از ریشه به شاخساره می‌کاهد (تنها همزیستی با قارچ‌های میکوریزا ضریب انتقال مس را در کولتیوار ۲۷۷ افزایش داده است) (٤۷). نکته مهم در اصلاح خاک‌های آلوده به فلزهای سنگین، پویایی و حلالیت کم این ترکیبات و همچنین تمایل اندک گیاهان برای جذب سرب و انتقال آن از ریشه به اندام هوایی است (٤۷). در تأیید نتایج حاصله در این پژوهش می‌توان به گزارش لیو و همکاران (۲۰۰۳) اشاره کرد که با مصرف سرب و ایجاد آلودگی در خاک، میزان جذب و انتقال سرب به دانه در ارقام مختلف برنج بسیار اندک می‌باشد و عمدتاً در ریشه تجمع پیدا می‌کند (۳۱). کیم و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند در برنج سرب با کاتیون‌های دوظرفیتی برای انتقال به ریشه رقابت می‌کند (۲۸). پژوهشگران در بررسی امکان پالایش خاک‌های آلوده به سرب توسط گیاه ترتیزک آبی نشان دادند که مقدار سرب جذب‌شده از خاک توسط این گیاه با افزایش آلودگی خاک تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش یافت. ولی از ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، مقدار سرب جذب‌شده از خاک رو به کاهش گذاشت (۲۷). غلظت سرب در ریشه آویشن دنایی در خاک آلوده به سرب نسبت به خاک غیرآلوده به‌طور معناداری افزایش نشان داد. در خاک آلوده به سرب، بیش‌ترین غلظت سرب در ریشه (۹/۱ mg kg^{-1} DM) در تیمار *G. fassiculatum* حاصل شد و کم‌ترین غلظت سرب (۱ mg kg^{-1} DM) در تیمار شاهد و در خاک غیرآلوده مشاهده شد. غلظت‌های سرب در این سطوح نسبت به سطح شاهد (بدون تلقیح با قارچ میکوریزا) ۸۹/۲ درصد افزایش داشت (شکل ۳). همچنین در خاک آلوده به سرب، بیش‌ترین غلظت سرب در شاخساره تحت تیمار *G. fassiculatum* (٦/۰۳ mg.Kg^{-1}DM) مشاهده شد؛ اگرچه میان دو تیمار *G. mosseae* و کاربرد هم‌زمان هر سه سویه قارچ در بستر اختلاف معناداری از نظر آماری وجود نداشت (شکل ٤). سازوکارهایی که این قارچ‌ها برای کاهش تنش فلزهای سنگین برای گیاهان به‌کار می‌برند؛ شامل کلات شدن و غیرپویایی فلز سنگین در ریسه‌های برون‌ریشه‌ای، بهبود تغذیه معدنی به‌ویژه فسفر برای گیاه که باعث تسریع رشد

www.SID.ir

Archive of SID

آن می‌گردد؛ تغییر pH فراریشه و تنظیم بیان ژن ناقل‌های فلزی می‌باشند (۲۰). مواد دیواره سلولی قارچ‌های آرباسکولار حاوی ترکیباتی مانند آمینواسیدهای آزاد و گروه‌های هیدروکسیل و کربوکسیل است که قادر هستند به فلزهای سنگین سمی متصل و آن‌ها را به حالت غیرمتحرک درآورند (۲۵). پروتئین‌های دیواره سلولی قارچ‌های آرباسکولار نیز توانایی ترکیب شدن با فلزهای سنگین را از خود نشان می‌دهند که گلومالین (گلیکوپروتئین نامحلول) تولید شده توسط ریسه‌های برون‌ریشه‌ای این قارچ‌ها از جمله آن‌ها است (۱۹). قارچ‌های آرباسکولار با ترکیب مواد موجود در دیواره سلولی مانند کیتین، با فلزها موجود در خاک، مانند روی، کادمیم و سرب باعث تثبیت و بی‌اثر شدن این عناصر در خاک می‌گردد (٤۳).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این بررسی نشان داد که قارچ‌های میکوریزا می‌تواند در افزایش کارآیی گیاه‌پالایی خاک آلوده به کادمیم و سرب مؤثر باشد. قارچ‌های میکوریزا، قادر هستند که رشد گیاه و جذب عناصر ضروری را بهبود بخشند. افزون بر این قارچ‌های میکوریزا، تجمع کادمیم و سرب ریشه و شاخساره را افزایش می‌دهند. از آن‌جا که میزان جذب فلزهای سنگین سرب و کادمیم در شرایط همزیست با قارچ‌های میکوریزا افزایش یافته است؛ به‌خصوص در مورد کادمیم که غلظت بالاتری از آن در شاخساره نسبت به ریشه تجمع می‌یابد؛ توصیه می‌شود از قارچ‌های همزیست با ریشه جهت افزایش کارایی گیاه‌پالایی اراضی استفاده گردد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی با عنوان "بررسی اثر همزیستی قارچ‌های ویزیکولار- آرباسکولار بر مقاومت گیاه آویشن دنایی (*Thymus daenensis* Celak.) نسبت به فلزهای سنگین" بوده که با دریافت گرنت پژوهشی از دانشگاه زابل، در پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل به اجرا در آمده است.

منابع

1. Andrade, S.A.D., Silveira, A.P.D., Jorge, R.A., and Abreu, M.F.D. 2008. Cadmium Accumulation in Sunflower Plants Influenced by Arbuscular Mycorrhiza. Inter. J. Phytoremed. 10: 1-13.
2. Amini, M., Afyuni, M., Khademi, H., Abbaspour, K.C., and Schulin, R. 2005. Mapping risk of cadmium and lead contamination to human health in soils of central Iran. Science of the Total Environment. 347: 64-77.
3. Bagheri, H., and Mirbagheri, S.A. 2012. Removal of heavy metals from industrial wastewater by biosorption. P 1-4, In: 9th International Conference on Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan. (In Persian)
4. Bazrafshan, E., and Mahvi, A.H. 2007. The use of electrocoagulation process by using aluminum electrodes in the removal of cadmium heavy metal from aqueous solutions. Zahedan J. Res. Med. Sci. 9: 1. 61-70. (In Persian)
5. Benton, J., and Case, V.W. 1990. Sampling, handling and analyzing plant tissue samples. P 389-428, In: R.L. Western man (Ed.), Soil testing and plant analysis. 3rd ed. Book series No. 3. Soil Science Society of America, Inc. Madison, WI., USA.
6. Blaylock, M.J., Salt, D.E., Dushenkov, S., Zakharova, O., Gussman, C., Kapulnik, Y., Ensley, B.D., and Raskin, I. 1997. Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soil-applied chelating agents. Environmental Science and Technology. 31: 860-865.

www.SID.ir

Archive of SID

7.Bouyoucos, C.J.X. 1997. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. Agron. J. 54: 464-465.
8.Choudhary, M., Bailey, L.D., and Grant. C.A. 1994. Effect of zinc on cadmium concentration in the tissue of durum wheat. Can. J. Plant Sci. 74: 3. 549-552.
9.Cohen, C.K., Fox, T.C., Garvin, D.F., and Kochian, L.V. 1998. The role of iron-deficiency stress responses in stimulating heavy-metal transport in plants. Plant Physiology. 116: 1063-1072.
10.Das, P., Samantaray, S., and Rout, G.R. 1997. Studies of cadmium toxicity in plants review. Environmental Pollution. 98: 20-36.
11.Danh, L.T., Troung, P., Mammucari, T.T., and Foster, N. 2009. Vetiver grass, *Vetiveria zizaniodes*: a choice plant for phytoremediation of heavy metals and organic wastes. Inter. J. Phytoremed. 11: 664-691.
12.Dehn, B., and Schuepp, H. 1989. Influence of VA Mycorrhize on the uptake and distribution of heavy metals in plants. Agriculture, Ecosystems and Environment. 29: 79-83.
13.Dueck, T.H.A., Visser, P., Ernest W.H.O., and Schat, H. 1986. Vesicular Arbuscular Mycorrhizae decrease zinc toxicity to grasses growing in zinc-polluted soil. Soil Biology and Biochemistry. 18: 3. 331- 333.
14.Gadd, G.M. 2004. Microbial influence on metal mobility and application to bioremediation. Geoderma. 122: 109-119.
15.Gaur, A., and Adholeya, A. 2004. Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi in Phytoremediation of heavy metal contaminated soils. Current Sciences. 86: 528-534.
16.Gharineh, M.H., Haydari, M., Nadian, H., and Daneshvar, M.H. 2013. The effects of different levels of sodium chloride and mycorrhizal colonization on growth, P, K and Na uptake by saffron (*Crocus sativus* L.). Plant production. 36: 2. 49-59. (In Persian)
17.Gibadin, D., Tiller, R., Merry, R., and Schultz, J. 2003. The effect of crop rotations and tillage practices on cadmium concentration in corn grain. Austr. J. Agric. Res. 171: 1221-1234.
18.Golchin, A., Atashnama, K., and Takasi, M. 2006. Study of the distribution of Lead in different parts of Sunflower and Rapeseed as an oil producer. P 305-306, In: International Conference on Soil, Environment and Sustainable Development, Karaj. (In Persian)
19.Gonzalez-Chavez, M.C., Carrillo-Gonzalez, R., Wright, S.F., and Nichols, K. 2004. The role of Glomalin, a protein produced by arbuscular mycorrhizal fungi in sequestering potentially toxic elements. Environmental pollution. 130: 317-323.
20.Gonzalez-chavez, M., Azcon-Aguilar, C., Mooney, M., Valderas, A., McDiarmid, C.W., and Ferrol, N. 2005. Characterization of *Glomus intraradices* gene encoding a putative Zn transporter of the action diffusion facilitator family. Fungal Genetic and Biology. 42: 2. 130-140.
21.Gupta, P.K. 2009. Soil plant water and fertilizer Analysis. Agrobios pub, New dehli, Pp: 40-88.
22.Hall, J.L. 2002. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. J. Exp. Bot. 53: 1-11.
23.Helmke, P.A., and Sparks, D.L. 1996. Lithium, sodium, potassium, cesium, and rubidium. P 551-574, In: D.L. Sparks (Ed.), Methods of soil analysis: Part 3. Chemical methods and processes. Madison: Soil Science. Soc.
24.Joner, E.J., Briones, R., and Leyval, C. 2000. Metal-binding capacity of arbuscular mycorrhizal mycelium. Plant Soil. 226: 227-234.
25.Kapoor, A., and Viraraghavan, T. 1999. Fungal biosorption an alternative treatment option for heavy metal bearing wastewater. Bioresource Technology. 53: 195-206.
26.Karimi, A., Khodaverdiloo, H., and Rasouli Sadaghiani, M.H. 2013. Enhanced soil Pb extraction by Acroptilon (*Acroptilon repens*) through inoculation with some arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria. J. Water Soil Cons. 20: 3. 193-210.

www.SID.ir

Archive of SID

27. Khodaverdilo, H., Homaee, M., Liyaghat, A., and Mirniya, Kh. 2007. Assessment Quantitative Phytoremediation of Lead Polluted soils by *Barbarea verna*. Special Agricultural Sciences. 13: 357-370. (In Persian)
28. Kim, Y.Y., Yang, Y.Y., and Lee, Y. 2002. Pb and Cd uptake in Rice roots. Physiology Plant. 116: 368-372.
29. Knasmuller, W., Blum, W., Jakwer, F., Roth, K., and Vladeva, I. 1996. Effects of soil properties and cultivar on heavy metals accumulation in wheat grain. ZP flanzenernahr Bodenk. 159: 609-614.
30. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1987. Development of DTPA Soil test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. Soil Sci. Soc. Amer. J. 42: 421-428.
31. 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.
32. Mohammadi, M., Habibi, D., Ardakani, M.R., and Asgharzadeh, A. 2011. Effect of biologic fertilyzers, Humic Acid and Super Absorbance Polymer by annual Alfaalfa (*Medicago scutella* L.). New finding in Agriculture. 6: 2. 173-190. (In Persian)
33. Mohammadi, M.J., and Athamneh, B.M. 2004. Changes in soil fertility and plant uptake of nutrients and heavy metals in response to sewage sludge application to calcareous soils. J. Agron. 3: 3. 229-236.
34. Muchuweti, M., Birkett, J.W., Chinyanga, E., Zvauya, R., Scrimshaw, M.D. and Lester, J.N. 2006. Heavy metal content of vegetables irrigated with mixtures of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: Implications for human health. Agriculture, Ecosystems and Environment. 1: 41-48.
35. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circular 939, US Gov. Printing Office, Washington, Pp: 18-19.
36. Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1982. Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. ASA and SSSSA. Madison, WI.
37. Punamiya, P., Datta, R., Sarkar, D., Barber, S., Patel, M., and Da, P. 2010. Symbiotic role of *Glomus mosseae* in phytoextraction of lead in vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides*). J. Hazard. Mater. 177: 465-474.
38. Sadravi, M., and Gharcheh, N. 2013. The Role of Mycorrhizal Fungi in Restoring Lands Contaminated with Toxic Substances. Plant Pathology Science. 2: 2. 45-60. (In Persian)
39. Sayyareh, A.R., Fenoudi, M. and Dadsetan, A. 2007. Environmental geology of the area Qorveh- Bijar. Preliminary Report. Environmental Geology. 1: 1-17. (In Persian)
40. Shokri, K., Khorami Vafa, M., Sayadian, K., and Rejali, F. 2009. Phytoremediation efficiency of mycorrhizal Peppermint in polluted soil with Lead. MSc Thesis. Razi University. Department of Agriculture. Agriculture Faculity. (In Persian)
41. Singh, R.P., and Agrawal, M. 2007. Effects of sewage sludge amendment on heavy metal accumulation and consequent responses of *Beta vulgaris* plants. Chemosphere. 67: 2229-2240.
42. Tabrizi, L., Mohammadi, S., Delshad, M., and Moteshare Zadeh, B. 2015. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on yield and Phytoremediation performance of Pot Marigold (*Calendula officinalis* L.) under heavy metals stress. Inter. J. Phytoremediation. 17: 1244-1252.
43. Vogel-Mikus, K., Pongrac, P., Necemer, M., and Regvar, M. 2006. Colonization of Zn, Cd and Pb hyper accumulator Thlaspi praecox indigenous arbuscular mycorrhizal fungal mixture induces changes in heavy metal and nutrient uptake. Environmental Pollution. 139: 362-371.
44. Whitfield, L., Richards A.J., and Rimmer D.L. 2004. Effects of mycorrhizal colonization on *Thymus polytrichus* from heavy metal contaminated sites in northern England. Mycorrhiza. 14: 47-54.
45. Weissenhorn, I., and Leyval, C. 1995. Root colonization of maize by a Cd-sensitive and a Cd-tolerant *Glomus mosseae* and cadmium uptake in sand culture. Plant Soil. 175: 233-238.

www.SID.ir

Archive of SID

46. Zaidi, M.I., Asrar, A., Mansoor, A., and Farooqu, M.A. 2005. The heavy metal concentration along road side trees of Quetta and its effects on public health. J. Appl. Sci. 4: 708-711.
47. Zhang, X.H., Zhu, Y.G., Chen, B.D., Lin, A.J., and Smith, F.A. 2005. Arbuscular mycorrhizal fungi contribute to resistance of upland Rice to combined metal contamination of soil. J. Plant Nutr. 28: 2065-2077.
48. Zheljazkov, V.D., Craker, L.E., and Xing, B. 2006. Effects of Cd, Pb and Cu on growth and essential oil contents in Dill, Peppermint and Basil. Environmental and Experimental Botany. 58: 9-16.
49. Zheljakov, V.D., Jeliazkova, E.A., Kovacheva, N., and Dzhurmanski, A. 2008. Metal uptake by medicinal plant species grown in soils contaminated by smelter. Environmental and Experimental Botany. 64: 207-216.
50. Zimmer, D., Baum, C., Leinweber, P., Hrynkiewicz, K., and Meissner, R. 2009. Associated bacteria increase the phytoextraction of Cadmium and Zink from a metal contaminated soil by mycorrhizal Willows. Inter. J. Phytoremediation. 11: 200-213.

www.SID.ir

Archive of SID

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(4), 2018
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2018.14361.2910

The effect of AFM fungi on lead and cadmium phytoremediation by Thyme (*Thymus daenensis* Celak.)

***Z. Mohkami[1], F. Bidarnamani[1], Z. Ghafari Moghadam[1] and M. Frozandeh[1]**
[1]Research Instructor, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Institute of Agriculture, University of Zabol
Received: 11.28.2016; Accepted: 05.09.2018

Abstract

Background and Objectives: The use of medicinal plants for remediation of heavy metals from contaminated soils is an economical, cheap and effective strategy. The widespread transfer of natural materials and pollutants to different parts of the environment (soil, water and atmosphere) has imposed great pressure on the self-purification ability of the soil. Accumulation of pollutants is a concern regarding both humans and ecosystems. Among pollutants, heavy metals are particularly important because they are not degradable and also have harmful physiological effects on organisms even at low concentrations. Soil pollution with heavy metals in human societies is one of the major environmental problems and the transfer of these elements via crop production affecting human population health. One of the modern and low cost methods for remediation of contaminated soils is the use of plants. Phytoremediation is an emerging technology which utilizes plants and microorganisms in the rhizosphere to delete, modify or limit the toxic chemicals in soil, sediment, groundwater, surface water and even atmosphere. The aim of this study was to evaluate the phytoremediation ability of *Thymus daenensis* Celak. with mycorrhizal fungi in polluted soils with lead and cadmium.

Materials and Methods: This study was conducted as a factorial exam in the greenhouse conditions. The first factor was four levels of heavy metals: lead (100 $mg.kg^{-1}$ soil), cadmium (15 $mg.Kg^{-1}$ soil), concurrent use of lead and cadmium and control (zero) and the second factor was fungal treatments (at five levels: *G. intraradices*, *G. Mosseae*, *G. fasciculatum*, the simultaneous use of all three species and control-non inoculated) in a randomized complete block design in three replications.

Results: Analysis of variance showed a significant effect of mycorrhizal fungi on Pb and Cd concentration in shoots and roots of thymus. The highest cadmium concentration in polluted soil was observed in Shoot (62.1 $mg.Kg^{-1}$ DW) inoculated with *G. mosseae* and root (56.1 $mg.kg^{-1}$ dry weight) inoculated with *G. fassiculatum* respectively.

Conclusion: The results showed a high ability of *Thymus daenensis* Celak. to absorb heavy metals from contaminated soils. Other findings of this study were more accumulation of lead in root than shoot of *Thymus daenensis*. Based on the results, Mycorrhizal fungi can improve the phytoremediation of contaminated soils with Cd and Pb.

Keywords: Cadmium, Lead, Mycorrhizal fungi, Phytoremediation

* Corresponding Author; Email: zaynabmohkami@uoz.ac.ir

www.SID.ir