مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و چهارم، شماره یازده، بهمن ماه ۱۴۰۱(۱۰۶ -۹۷)

تاثیر قارچ آربوسکولار میکوریز بر پتانسیل گیاه‌پالایی تاج خروس، رزماری و کلم زینتی در خاک آلوده به سرب

کریم نصیری[۱]

تیمور بابایی نژاد[۲*]

timoorba@yahoo.com

نوید قنواتی[۲]

کامران محسنی فر[۲]

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۰/۱۸ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۱۱**

چکیده

زمینه و هدف: یکی از روش های کاهش آلودگی خاک استفاده ازگیاهان می باشد که به دلیل سادگی، ارزان بودن و سازگاری با محیط زیست نسبت به سایر روش ها موثرتراست. قارچ‌های میکوریزی همزیست با گیاهان از طریق تغییر و تعدیل فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه می‌توانند باعث کاهش بیشتر آلودگی شوند

روش بررسی: به منظور بررسی تاثیر قارچ آربوسکولار میکوریز (گونه گلوموس موسیه) بر پتانسیل گیاه‌پالایی تاج خروس، رزماری و کلم زینتی در خاک‌های آلوده به سرب، آزمایشی در قالب طرح کاملا تصادفی و به صورت فاکتوریل با ۳ نوع گیاه (تاج خروس، کلم زینتی و رزماری)، ۶ سطح سرب (۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و دو سطح قارچ آربوسکولار میکوریز (تلقیح و عدم تلقیح) و در ۳ تکرار در سال ۱۳۹۷ در یکی از گلخانه های آبدانان انجام شد.

یافته ها: نتایج نشان داد که با افزایش غلظت سرب خاک، غلظت سرب ریشه و اندام‌های هوایی گیاهان افزایش می یابد. قارچ آربوسکولار میکوریز غلظت سرب ریشه و اندام‌های هوایی گیاه رزماری را افزایش داد. همچنین قارچ میکوریز غلظت سرب را در اندام‌های هوایی کلم زینتی افزایش اما غلظت سرب ریشه را کاهش داد. بیشترین غلظت سرب اندام هوایی از گیاه رزماری و تلقیح شده با قارچ میکوریز و کمترین غلظت سرب اندام هوایی نیز از گیاه تاج خروس و تلقیح نشده با میکوریز مشاهده گردید. بیشترین فاکتور انتقال سرب به میزان۵/۸ از گیاه کلم زینتی و تلقیح شده با قارچ میکوریز و کمترین فاکتور انتقال سرب نیز از گیاه تاج خروس تلقیح نشده با میکوریز و به میزان ۰/ ۷ مشاهده گردید.

بحث و نتیجه گیری: استفاده از قارچ آربوسکولار میکوریز سبب افزایش غلظت سرب اندام هوایی در کلم زینتی شد که این امر در گیاه پالایی خاکهای آلوده موثر می باشد

واژه های کلیدی: قارچ، همزیست، آلودگی، خاک، فلزات سنگین.

۱- دانشجوی دکتری گروه خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۲- عضو هیات علمی گروه خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.*(مسوول مکاتبات)

J. Env. Sci. Tech., Vol 24, No. 11, February, 2023

The effect of mycorrhizal arbuscular fungus on phytoremediation potential of coriander, rosemary and ornamental cabbage in lead-contaminated soil

Karim Nasiri[1]
Teimour Babaeinejad [2*]
timoorba@yahoo.com
Navid Ghanavati[2]
Kamran Mohsenifar[2]

Admission Date:November 2, 2022 Date Received: January 7, 2021

Abstract

Background and Objective: One of the ways to reduce soil pollution is the use of plants, which is more effective than other methods due to its simplicity, cheapness and compatibility with the environment. Mycorrhizal fungi symbiotic with plants can further reduce pollution by changing and modifying plant physiological processes.

Material and Methodology: In order to investigate the effect of arbuscular mycorrhizal fungus (Glomus muse species) on the phytoremediation potential of coriander, rosemary and ornamental cabbage in soils contaminated with lead, a completely randomized and factorial experiment with 3 types of plants (coriander, ornamental cabbage) And rosemary) had 6 levels of lead (0, 25, 50, 100, 200 and 400 mg of lead per kg of soil) and two levels of mycorrhizal arbuscular fungus (inoculation and non-inoculation) in 2017 in one of Abdanan greenhouses were done.

Findings: The results showed that with increasing soil lead levels, the concentration of lead in the roots and shoots of the plant increased. Arbuscular mycorrhiza increased the concentration of lead in the roots and shoots of rosemary. Mycorrhizal fungi also increased the concentration of lead in the aerial parts of ornamental cabbage but decreased the concentration of root lead. The highest concentration of shoot shoot was observed from rosemary plant and inoculated with mycorrhizal fungus and the lowest concentration of shoot shoot was observed from rosemary plant and not inoculated with mycorrhiza. The highest lead transfer factor was 5.8 from ornamental cabbage plant inoculated with mycorrhizal fungus and the lowest lead transfer factor was 0.7 from mycorrhizal plant inoculated with mycorrhiza.

Discussion and Conclusion: The use of mycorrhizal arbuscular fungus increased the concentration of lead in the ornamental cabbage, which is used in phytoremediation of contaminated soils.

Keywords: fungus, symbiosis, pollution, soil, heavy metals.

1- Ph.D. Student, Department of Soil Science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
2- Department of Soil Science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran. * *(Corresponding Author)*

مقدمه

سرب از جمله فلزات سنگینی است که دارای کارکرد زیستی مشخص نمی‌باشد و قادر است در گیاهان و سایر موجودات زنده ایجاد مسمومیت نماید(۱). سرب از تقسیم سلول‌های مریستمی و رشد سلول‌های ریشه جلوگیری کرده و عملکرد ریشه گیاهان را کاهش می‌دهد. هم‌چنین این فلز قابلیت ارتجاع دیواره سلولی ریشه را کاهش داده و موجب کاهش رشد ریشه گیاهان می‌شود (۲). دانشمندان در مطالعه‌ای تحت عنوان سمیت سرب در گیاه مقدار تجمع سرب در اندام‌های مختلف گیاه را به صورت زیر گزارش دادند: بذر< گل آذین < ساقه < برگ < ریشه (۳). با بررسی میزان غلظت کادمیم و سرب در برخی از محصولات کشاورزی استان زنجان مانند کاهو، کلم، پیاز و چغندر قند نشان دادند که در اغلب محصولات غلظت سرب و کادمیم بیش از حد مجاز و استاندارد بود(۴). پژوهشگران با بررسی اثرات قارچ‌های میکوریزی بر توانایی گیاه‌پالایی و محصول گیاه آفتاب گردان در خاک‌های آلوده به عناصر سنگین سرب و کادمیم نشان دادند که میکوریز میزان جذب عناصر کادمیم و سرب را در ریشه‌های خشک آفتاب گردان به طور معنی‌داری کاهش داد و باعث مقاومت گیاه آفتاب گردان به آلودگی گردید و میزان عملکرد این گیاه را افزایش داد (۵). محققان مختلفی نشان دادند که در غلظت های بالای فلزات سنگین خاک، قارچ‌های آربوسکولار میکوریز غلظت فلزات سنگین کادمیم، روی، و منگنز را در برگ گیاهان کاهش داده است(۶). برخی از گزارش‌ها نشان می‌دهد که قارچ های آربوسکولار میکوریز تحمل گیاهان را در خاک‌های آلوده به عناصر سنگین افزایش می‌دهند و مکانیسم اصلی افزایش تحمل گیاه اتصال هیف‌های قارچ به فلزات سنگین در ریزوسفر گیاه می باشد(۷). فلزات سنگین در داخل یا نزدیک ریشه گیاه غیر متحرک شده و انتقال آنها به ساقه کاهش می‌یابد (۸). قارچ‌های میکوریزی نه تنها برای جذب مواد مغذی به میزبان کمک می‌کنند بلکه تحمل گیاه به فاکتورهای محیطی غیر زیستی مانند تنش فلزات سنگین را بهبود می‌بخشند(۹). این قارچ‌ها از طریق اتصال فلز سنگین به کیتین دیواره سلولی و ترشح گلومالین، غلظت فلزات سنگین را در محل کاهش می‌دهند، و از طریق هم‌زیستی با گیاهان برای انباشت فلزات سنگین در ریشه گیاهان به شکل غیرسمی شرکت می‌کنند(۱۰). روش‌های فیزیکی و شیمیایی متفاوتی برای پاک‌سازی خاک‌ها از فلزات سنگین به کار رفته است که اغلب آن‌ها علاوه بر هزینه گزاف، باعث تخریب ساختار فیزیکی و شیمیایی و فعالیت‌های حیاتی خاک شده‌اند. به همین علت بهتر است از روش‌های بیولوژیکی و سازگار با محیط زیست برای کاهش تنش حاصل از فلزات سنگین بر گیاهان استفاده شود(۱۱). این پژوهش با هدف تاثیر قارچ آربوسکولار میکوریز بر پتانسیل گیاهپالایی تاج خروس، رزماری و کلم زینتی در خاک آلوده به سرب انجام گرفته است.

مواد و روش ها

خاک مورد نظر از عمق ۲۰- ۰ سانتی متری و از زمین‌های کشاورزی شهر دهلران تهیه گردید و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. بعد از تجزیه کامل خاک و مشخص شدن خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن (جدول ۱)، به میزان ۴ کیلوگرم خاک برای هر گلدان توزین شد.

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک مورد استفاده در این آزمایش

Table 1. The results of soil decomposition used in this experiment.

عمق خاک	هدایت الکتریکی	pH	بافت خاک	ازت	فسفر	پتاسیم	روی	آهن	منگنز	سرب	کادمیم
(Cm)	(dSm^{-1})			درصد	(mg/kg)						
۰ ۲۰	۴/۸	۷/۸	لوم رسی	۰/۲۱	۱۷	۲۸۶	۱	۰/۶	/۸	۲	۱/۸

آزمایش در قالب طرح کاملا تصادفی و به صورت فاکتوریل با ۳ نوع گیاه (تاج خروس، کلم زینتی و رزماری)، ۶ سطح سرب (۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و دو سطح قارچ آربوسکولار میکوریز (تلقیح و عدم تلقیح) و در سه تکرار در سال ۱۳۹۷ در یکی از گلخانه های آبدانان انجام شد. مجموع تیمار و تکرارها ۱۰۸ گلدان بود. برای آلوده کردن نمونه‌های چهار کیلویی خاک با سرب، از نمک نیترات سرب که محلول در آب می باشد استفاده گردید. مقادیر مختلفی از این نمک توزین و در حدود ۴۰۰ میلی لیتر آب حل و به نمونه خاک اسپری شد. به طوری که غلظت مورد نظر سرب در خاک ایجاد شود. از آنجاکه نیترات همراه با سرب ماده غذایی برای گیاهان می‌باشد و میتواند روی رشد آنها تأثیر بگذارد، بنابراین مقدار نیتروژن کلیه تیمارها با استفاده از نیترات آمونیوم تنظیم گردید به - طوری که کلیه تیمارها و ازجمله نمونه شاهد دارای مقدار ثابتی از نیتروژن باشند. نمونه‌های آلوده به سرب در گلدان‌ها ریخته شده و با افزودن رطوبت تا حد نقطه ظرفیت مزرعه به مدت ۳ ماه خوابانده شد تا به تعادل برسند. پس از اعمال تیمارها و آماده کردن گلدان‌ها، به میزان ۱۰۰ گرم از قارچ آربوسکولار میکوریز (گلوموس موسیه) در تیمارهای مورد نظر اضافه شده و سپس گیاهان زینتی در آنها کاشته شدند. در طول مدت اجرای طرح از آب مقطر برای آبیاری استفاده گردید. پس از برداشت گیاهان، غلظت عناصر سنگین در ریشه و اندام‌هوایی گیاهان با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل ۱۲۰۰ ساخت شرکت Aurora اندازه گیری شد. فاکتور انتقال عناصر سنگین طبق فرمول زیر به دست آمد(۱۲)

(غلظت عنصر در ریشه)/ (غلظت عنصر در بخش هوایی) = فاکتور انتقال

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱)و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ استفاده گردید. نمودارها با استفاده از نرم افزار اکسل (۲۰۱۳) ترسیم گردید.

نتایج و بحث

غلظت سرب در ریشه

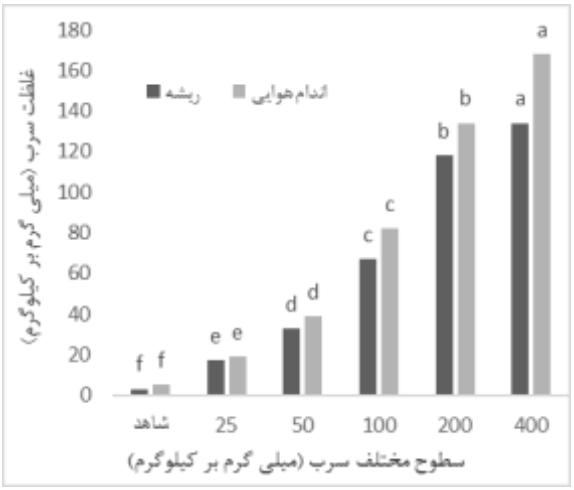
نتایج تجزیه واریانس داده ها (جدول ۲)، نشان داد که اثرات اصلی سطوح سرب، گیاه و میکوریز و همچنین اثر متقابل سرب در گیاه، همگی سطح احتمال یک درصد بر غلظت سرب ریشه معنی‌دار شد. با افزایش سطوح سرب خاک، غلظت سرب ریشه افزایش یافت. به طوری که تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم، غلظت سرب را در ریشه گیاه رزماری ۴۳ برابر (شکل۱)، در ریشه گیاه تاج خروس ۲۴ برابر (شکل۲) و در ریشه گیاه کلم زینتی ۴۲/۶برابر (شکل ۳) نسبت به تیمار شاهد افزایش داد.

جدول۲- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر صفت های مورد مطالعه

Table 2. The results of analysis of variance of the effect of experimental treatments on the studied traits.

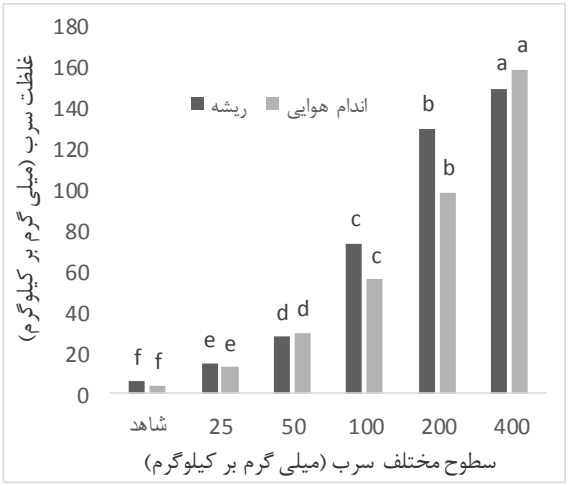
منابع تغییرات	درجه آزادی	غلظت سرب ریشه	غلظت سرب اندام هوایی	فاکتور انتقال
سرب	۵	/۲۱۱**	/۳۷۱**	۲/۳**
گیاه	۲	/۱۲۴**	/۲۱۴**	۱/۵**
میکوریز	۱	/۱۲۹**	/۱۰۱**	۳/۷*
سرب×گیاه	۱۰	/۰۳۳**	/۰۲۳**	۱/۸۶۲n.s
سرب×میکوریز	۵	/۰۳۱n.s	/۰۲۰۱n.s	۱/۴۴۳n.s
گیاه×میکوریز	۲	/۰۰۲n.s	/۰۱۲n.s	۱/۵۲*
سرب×گیاه×میکوریز	۱۰	/۰۰۱ n.s	/۰۱۱ n.s	۰/۰۱۴n.s
اشتباه	۷۲	/۰۰۱	/۰۰۱	/۰۰۷۱
ضریب تغییرات (درصد)	-	۸/۰۸	۷/۶	۱۰/۱۸

** در سطح یک درصد و * در سطح پنج درصد معنی دار است. n.s معنی دار نیست.



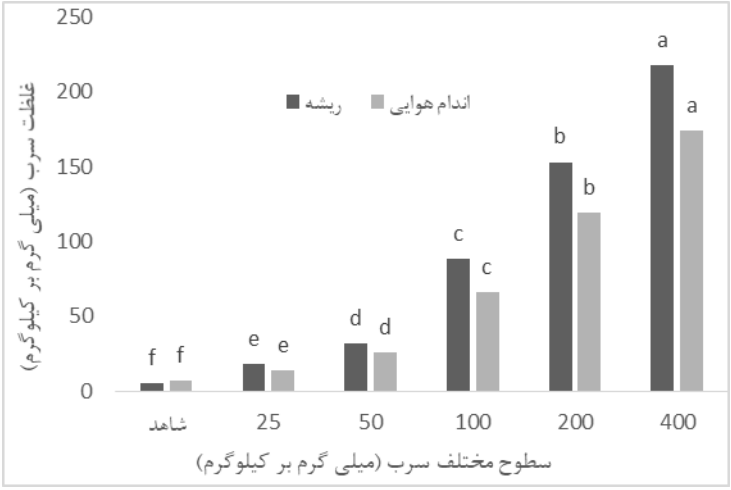
شکل ۱-تاثیر سطوح مختلف سرب بر غلظت سرب ریشه و اندام هوایی رزماری

Figure1.The effect of different levels of lead on the concentration of lead in the roots and shoots of rosemary.



شکل۲- تاثیر سطوح مختلف سرب بر غلظت سرب ریشه و اندام هوایی تاج خروس

Figure 2. The effect of different levels of lead on the concentration of lead in the roots and aerial yield of coriander.



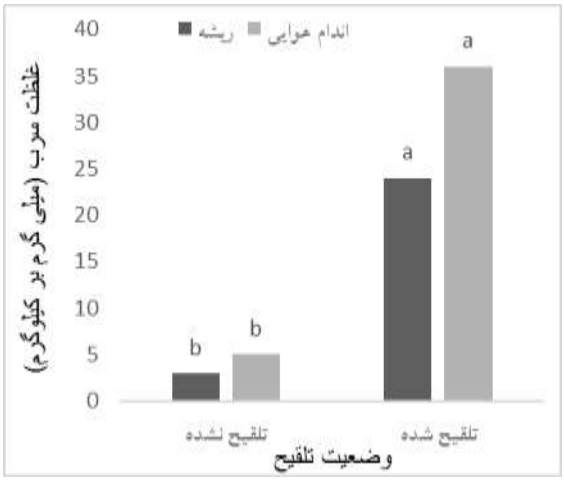
شکل ۳- تاثیر سطوح مختلف سرب بر غلظت سرب ریشه و اندام هوایی کلم زینتی

Figure 3. The effect of different levels of lead on the concentration of lead and shoots of ornamental cabbage in lead

غلظت سرب در اندام هوایی

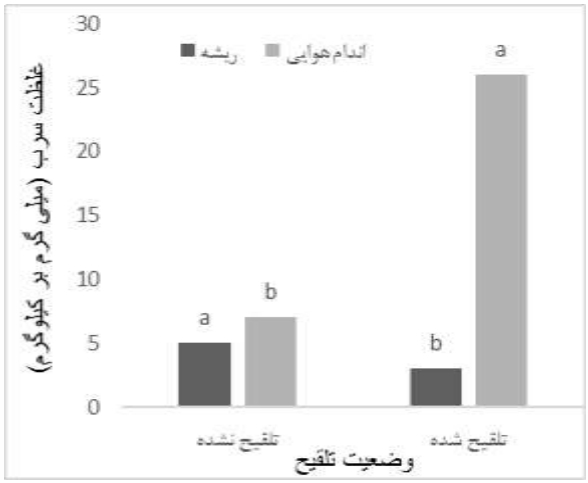
نتایج تجزیه واریانس داده ها (جدول ۲)، نشان داد که اثرات اصلی سطوح سرب، گیاه و میکوریز و همچنین اثر متقابل سرب در گیاه، همگی سطح احتمال یک درصد بر غلظت سرب اندام هوایی معنی‌دار شد. با افزایش سطوح سرب خاک، غلظت سرب اندام هوایی افزایش یافت. به طوری که تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک، غلظت سرب را در اندام‌هوایی گیاه رزماری ۳۲ برابر (شکل۱)، در اندام هوایی گیاه تاج خروس ۳۸ برابر (شکل۲) و در ریشه گیاه کلم زینتی ۲۳/۸ برابر (شکل ۳) نسبت به تیمار شاهد افزایش داد.

در بررسی نحوه‌ی توزیع سرب موجود در اندام‌های مختلف آفتابگردان و کلزا گزارش نمودند، میزان سرب موجود در اندام-های گیاهی از غلظت قابل جذب این عناصر در خاک تبعیت نمود و با افزایش غلظت سرب قابل جذب در خاک غلظت آن نیز در گیاهان افزایش یافت(۴). بسیاری از محققان نشان داده اند که جذب فلزات از خاک توسط گیاهان تحت تأثیر فاکتورهایی از قبیل اسیدیته، دما، حضور سایر یون‌های خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، مقدار مواد آلی خاک، نوع و غلظت فلز و گونه گیاهی قرار می گیرد (۱۳). با بررسی میزان جذب فلزات سنگین توسط گیاهان قدومه کوهی (*Alyssum*)، تاج خروس وحشی (*Amaranthus retroflexus*) و گیاه مرغ (*Cynodon dactylon*) گزارش دادند که غلظت کادمیم و سرب در ریشه این گیاهان بیشتر از بخش‌های هوایی (ساقه و برگ) بود(۱۴). براساس نتایج به‌دست‌آمده، بالاترین غلظت روی (۲۶۲/۶۵ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) در اندام هوایی گیاه مرغ و بیشترین غلظت سرب (۷۱/۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) در اندام زیرزمینی گیاه تاج خروس وحشی اندازه‌گیری شد. نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت سرب در اندام‌هوایی گیاهان رزماری و تاج خروس بیشتر از ریشه بود اما در گیاه کلم زینتی غلظت سرب ریشه بیشتر از اندام‌هوایی بود. قارچ میکوریز تاثیری بر غلظت سرب ریشه و اندام هوایی تاج خروس نداشت. همچین قارچ آربوسکولار میکوریز غلظت سرب ریشه و اندام‌های هوایی گیاه رزماری را افزایش داد. بطوریکه تیمارهای تلقیح شده با این قارچ غلظت سرب را در اندام‌های هوایی و ریشه گیاه رزماری به ترتیب ۶۲٪ و ۷۰٪ نسبت به تیمار تلقیح نشده افزایش داد (شکل۴). همچنین تیمار تلقیح شده با قارچ میکوریز، غلظت سرب را در اندام‌های هوایی کلم زینتی ۲۷۱٪ افزایش داد اما غلظت سرب ریشه را به میزان ۴۰٪ نسبت به تیمار تلقیح نشده کاهش داد (شکل ۵).



شکل ۴-تاثیر قارچ میکوریز بر غلظت سرب ریشه و اندام هوایی رزماری

Figure 4. The effect of mycorrhizal fungus on the concentration of lead in the roots and shoots of rosemary



شکل۵-تاثیر قارچ بر غلظت سرب ریشه و میکوریز اندام هوایی کلم زینتی

Figure 5.The effect of mycorrhizal fungus on the concentration of lead in the roots and shoots of ornamental cabbage

مکانیسم‌هایی که قارچ آربوسکولار میکوریز برای کاهش تنش فلزات سنگین برای گیاهان اعمال می‌کند شامل کلات و غیرپویایی شدن فلزات سنگین در میسیلیوم‌های خارجی، بهبود تغذیه‌ی معدنی به‌ویژه فسفر، تغییر pH ریزوسفر، تنظیم بیان ژن‌های ناقل فلزی و غیره می‌باشد(۱۵). علاوه بر این، قارچ‌های آربوسکولار میکوریز جذب فلزات توسط گیاهان را از خاک و انتقال آن به ریشه و اندام هوایی را تحت تاثیر قرار می‌دهند که به نوع فلز، گیاه و گونه قارچ بستگی دارد. قارچ‌های میکوریزی همزیست شده با گیاهان از طریق تغییر و تعدیل فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه از قبیل افزایش فعالیت فتوسنتزی می‌توانند موجب کاهش سمیت فلز سنگین در گیاه شوند(۱۶). در پژوهشی با عنوان تاثیر همزیستی میکوریزی بر رشد، برخی صفات فیزیولوژیکی و تجمع کادمیم در گیاه سیاهدانه نشان دادند که گیاهان میکوریزی مقدار بیشتری از کادمیم را نسبت به گیاهان غیر میکوریزی در ریشه و اندام‌هوایی خود تجمع می دهند و میزان غلظت کادمیم در ریشه بیشتر از اندام‌هوایی بود(۱۷). عوامل متعددی می توانند عملکرد قارچ میکوریز را در جذب فلزات سنگین توسط گیاهان تحت تاثیر قرار دهند که از این جمله می‌توان به نوع فلز سنگین و مقدار آن، ویژگی های فیزیکو شیمیایی بستر کشت، رابطه بین قارچ و گیاه، مرحله رشد و نموی گیاه، گونه گیاه و گونه قارچ موجود در بستر اشاره نمود(۱۸). فلزات سنگین توسط هیف‌های قارچی جذب می شوند و می توانند به گیاه انتقال پیدا کنند. گیاهان میکوریزی سبب افزایش جذب و انتقال فلزات سنگین از ریشه به اندام هوایی گیاه شده و در برخی موارد نیز میکوریزا به تثبیت فلزات سنگین در درون خاک کمک می کنند(۱۹). نتیجه کلنیزاسیون میکوریزایی در خاکهای آلوده بستگی به ترکیب قارچ – فلز سنگین – گیاه دارد و تحت تاثیر شرایط خاک قرار می گیرد(۲۰) . مطالعات زیادی در خصوص همزیستی میکوریزایی با گیاهان مختلف برای افزایش جذب مواد مغذی و فلزات سنگین به وسیله محققین مختلف صورت گرفته است، هر کدام از این عناصر ویژگی های فیزیکو شیمیایی مختلفی داشته و رفتار آنها در محیط خاک متفاوت بوده است و از طرفی نوع قارچ همزیست شده و نوع گیاه میزبان به لحاظ فیزیولوژی گیاهی، سیستم ریشه‌ای و در نهایت پاسخ گیاه به این همزیستی متفاوت است(۲۱). در تحقیقی با عنوان بررسی تأثیر قارچ ریشه‌های آربوسکولار همزیست با گونه درختی محلب(.Mill. CerasusmahalebL) بر زیست‌پالایی سرب بیان نمودند که با افزایش آلودگی خاک به سرب درصد کلنیزاسیون قارچ‌های میکوریزی کاهش یافت. همچنین در

بالاترین سطح آلودگی خاک تیمار ترکیبی قارچ میکوریزی بیشترین درصد همزیستی با ریشه گیاه محلب را به خود اختصاص داد(۲۲).

فاکتور انتقال سرب در گیاهان

بیشترین فاکتور انتقال سرب به میزان۵/۸ از گیاه کلم زینتی و تلقیح شده با قارچ میکوریز و کمترین فاکتور انتقال سرب نیز از گیاه تاج خروس تلقیح نشده با میکوریز و به میزان ۰/۷مشاهده گردید (جدول ۳)

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل نوع گیاه و قارچ میکوریز بر فاکتور انتقال سرب

Table 3. Comparison of the means of interaction between plant type and mycorrhiza fungus on lead transfer factor

نوع گیاه	میکوریز	فاکتور انتقال
رزماری	تلقیح نشده	۱/۴۶c
	تلقیح شده	۴b
تاج خروس	تلقیح نشده	/۷۱d
	تلقیح شده	/ ۷۰ d
کلم زینتی	تلقیح نشده	۱/۵c
	تلقیح شده	۵/۸a

میانگین هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون دانکن در سطح یک درصد فاقد اختلاف معنی‌دار می باشند.

در تحقیقی با عنوان تغییرات سرب و کادمیوم خاک و گیاه کلزا در حاشیه جاده ساوه- همدان بیان نمودند که فاکتور انتقال سرب و کادمیوم از ریشه به اندام هوایی بالاتر از یک و از اندام هوایی به دانه کلزا کمتر از یک بود(۱۳). فاکتور انتقال بیشتر از یک، گونه‌های تجمع دهنده‌ی فلزات و فاکتور انتقال کوچکتر از یک، گونه‌های دفع کننده فلزات را نشان میدهد(۲۳). محققان نشان دادند که نوع گونه گیاهی و مدت زمان قرارگیری گیاه در معرض فلزات سنگین بر غلظت آلاینده‌ها در گیاه اثرگذار بوده و در نتیجه بر شاخص انتقال گیاهی این فلزات اثر می گذارد (۲۴).

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که قارچ آربوسکولار میکوریز غلظت سرب ریشه و اندام‌های هوایی گیاه رزماری را افزایش داده است. بیشترین غلظت سرب اندام‌هوایی از گیاه رزماری و تلقیح شده با قارچ میکوریز و کمترین غلظت سرب اندام هوایی نیز از گیاه تاج خروس و تلقیح نشده با میکوریز مشاهده گردید. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین فاکتور انتقال سرب از گیاه کلم زینتی و تلقیح شده با قارچ میکوریز و کمترین فاکتور انتقال سرب نیز از گیاه تاج خروس تلقیح نشده با میکوریز مشاهده گردید. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که قارچ میکوریز می-تواند در گیاه‌پالایی فلزات سنگین خاک موثر باشد.

References

1. Mejare, M. and Bulow, L. 2001. Metal-binding proteins and peptides in bioremediation and phytoremediation of heavy metals. TRENDS in Biotechnology. 19 (2): 67-73.
2. 2. Abbaspour, A., Kalbasi M., Haj Rasooliha SH., and A., Golchin, 2006. Investigation of Cadmium and Lead

Contamination of Some Agricultural Soils in Iran. 9th Congress of Soil Science, Tehran - Soil Conservation and Watershed Management Research Center. (In Persian).

3. 3. Sharman, P. and Dubey, Sh. 2005. Lead toxicity in plant. Toxic metals in plants.17 (1): 35-52
4. Golchin, A., Safavi, A. s., and k., Atashnema, 2006. Native plant species of lead and zinc superabsorbents in Markazi province. Proceedings of the Conference on Soil, Environment and Sustainable Development. Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran. (In Persian)
5. Adewole, M.B., Awotoye, O.O., Ohiembor, M.O. and Salami, A.O. 2010. Influence of mycorrhizal fungi on phytoremediating potential and yield of sunflower in cd and Pb Polluted Soils. Journal of Agricultural Sciences, 55: 17-28.
6. Hetrick, B.A.D., Wilson, G.W.T. and Figge, D.A.H. 1994. The influence of mycorrhizal symbiosis and fertilizer amendments on establishment of vegetation in heavy-metal mine spoil. Environ Pollution, 86: 171-179.
7. Zhu.Y.G. Christie, P. and Laidlaw, A.S. 2001. Uptake of Zn by arbuscular mycorrhizal white clover from Zn-contaminated soil, Chemosphere, 42: 193- 199.
8. Weissenhorn, I. Leyval, C. Belgy, G. Berthelin, J. 1995. Arbuscular mycorrhizal contribution to heavy metal uptake by maize (Zea mays L.) in pot culture with contaminated soil. Mycorrhiza.5 (4): 245 – 311.
9. Jakobsen, I., Abbott, L. K. and Robson, A. D. 1992. External hyphae of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Trifolium Subterraneum* L I. spread of hyphae and phosphorus in flow in to roots. New Phytol. 120: 371-380.
10. Gonzalez-Chavez MC, Carrillo-Gonzalez R, Wright SF and Nichols K, 2004. The role of glomalin, a protein produced by arbuscular mycorrhizal fungi, in sequestering potentially toxic elements. Environ Pollut 130: 317-323.
11. Cho U. H. and Seo N. H. 2005. “Oxidative stress in Arabidopsis thaliana exposed to cadmium is due to hydrogen peroxide accumulation. Plant Science. 168:113-120.
12. Fitz, W. J. and Wenzel, W. W. 2002. Arsenic transformations in the soil rhizosphere plant system: fundamentals and potential application to phytoremediation. Journal of Biotechnology. 99 (3): 259-278.
13. Salimi, M., Bahmanyar M.A., Ghajar Sepanlo M., and A., Mohammadi, 2013. Lead and Cadmium Changes in Soil and Canola at Saveh-Hamedan Roadside. The Journal of Water and Soil Science, 52(2): 193-205. (In Persian)
14. Akbarpour Saraskanroud F., Sadri F., and D., Golalizadeh, 2012. Phytoremediation of heavy metal (Lead, Zinc and Cadmium) from polluted soils by Arasbaran protected area native plants. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 4(1): 53-66. (In Persian)
15. Joner, E.J. and Leyval, C. 1997. Uptake of 109 Cd by roots and hyphae of a Glomus mossea/Trifolium subterraneum mycorrhiza from soil amended with high and low

concentrations of cadmium. New Phytologist, 135: 353-360.

16. Han, Y., Dong, F., ling, Q., Chen, Y., and S., Sajd, 2021. Unraveling the effects of arbuscular mycorrhizal fungi on cadmium uptake and detoxification mechanisms in perennial ryegrass (Lolium perenne). Science of the Total Environment, 798.
17. 17. Shamshirgaran, Z.S., Saeid Nematpour S.,and A., Safipour Afshar, 2015. Effect of mycorrhiza symbiosis on growth, some physiological parameters and cadmium accumulation in black seed (Nigella sativa L.*). Plant Process and Function*, 5(17): 134-144
18. Sousa, N. R., Ramos, M. A., Marques, A. P. and Castro, P. M. 2012. The effect of ectomycorrhizal fungi forming symbiosis with *Pinus pinaster* seedlings exposed to cadmium. Science of the Total Environment 414: 63-67.
19. Hassan S. E., Hijri, M. and St-Arnaud, M. 2013. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on trace metal uptake by sunflower plants grown on cadmium contaminated soil. New Biotechnology 30: 780-787.
20. Haghiri, F., 1974. Cadmium uptake by plants. Journal of Environmental Quality. 2: 93-96.
21. Mani, D., Kumar, C. and Patel, N. K. 2015. Integrated micro-biochemical approach for phytoremediation of cadmium and zinc contaminated soils. Ecotoxicology and Environmental Safety 111: 86-95.
22. Zamani Kebrabadi, B., Rejali F., Hodjati S. M., Esmaeili Sharif M. and H. Rahmani, 2019. Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Lead Bioremediation by Cerasusmahaleb L. Mill. *Journal of Soil Biology*, 8(1):90-105. (In Persian)
23. Zu YQ, Li Y, Chen JJ, Chen HY, Qin L and Schvartz C, 2015. Hyperaccumulation of Pb, Zn and Cd in herbaceous grown on lead-zinc mining area in Yunnan. China. Environmental International 31: 755–762.
24. Allen HE, Huang CP, Bailey GW and Bowers AR, 1995. Metal Speciation and Contamination of Soil. Lewis Publishers, USA.