محور مقاله: آلودگی زیست‌بوم، سلامت انسان و زیست‌پالایی

تأثیر باکتری ریزوبیوم تریفولی و قارچ میکوریز آربسکولار بر عملکرد و غلظت کادمیوم در گیاه شبدر برسیم تحت تنش کادمیوم

لیلا قاسمی‌فر[1*]، احمد گلچین [2]، فاطمه رخش [3]

[1] دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه زنجان

[2] استاد گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه زنجان

[3] دکتری گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه زنجان

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر مایه زنی با باکتری ریزوبیوم تریفولی و قارچ میکوریز آربسکولار بر عملکرد و غلظت کادمیوم در گیاه شبدر برسیم تحت تنش کادمیوم به صورت یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی اجرا گردید. سطوح کادمیوم خاک شامل صفر، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و مایه زنی با ریزجانداران شـامل تیمارهای بدون مایه زنی (WI)، مایه زنی با قارچ گلوموس موسهآ (M)، مایه زنی با قارچ گلوموس اینترادیس (I)، قارچ گلوموس موسهآ + باکتری ریزوبیوم تریفولی (MT)، قارچ گلوموس اینترادیس + باکتری ریزوبیوم تریفولی (IT)، مایه زنی با باکتری ریزوبیوم تریفولی (T)، مایه زنی با قارچ‌های گلوموس موسهآ + گلوموس اینترادیس (MI) و مایه زنی با قارچ‌های گلوموس موسهآ + گلوموس اینترادیس + باکتری ریزوبیوم تریفولی (MIT) بود. نتایج نشان داد با افزایش سطوح کادمیوم عملکرد گیاه شبدر کاهش یافت. به‌طوری‌که در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک وزن تر بخش هوایی ۴۸/۰۲ درصد و وزن تر ریشه ۵۰/۳۲ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافتند. به‌طورکلی این پژوهش نشان می‌دهد که اثر باکتری ریزوبیوم تریفولی و قارچ میکوریز آربسکولار عملکرد گیاه شبدر برسیم تحت تنش کادمیوم را افزایش می‌دهد.

کلمات کلیدی: آلودگی خاک، گلوموس موسهآ، گلوموس اینترادیس، فلزات سنگین

مقدمه

فلزات سنگین آن دسته از فلزاتی را گویند که چگالی آن‌ها در حدود ۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد و در گروه عناصر واسطه قرار دارند و این فلزات سنگین به لایه‌های زیرین خاک انتقال نمی‌یابند؛ بنابراین با افزایش غلظت این عناصر در خاک، آن‌ها در لایه سطحی خاک و عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک تجمع می‌یابند و بنابراین بیشتر در معرض جذب و انتقال به گیاه، قرار می‌گیرند (شیرانی، ۱۳۸۷). غلظت فلزات سنگین در خاک در درجه اول به نوع و ترکیب شیمیایی ماده مادری که از آن به وجود می‌آید بستگی دارد؛ اما سایر منابع ورودی از قبیل فعالیت‌های انسانی نیز منجر به افزایش غلظت این عناصر در خاک می‌شود (Mirsal, 2008). گیاه‌پالایی فناوری مبتنی بر تلفیق فعالیت گیاهان برای تجزیه، انتقال، غیرفعال کردن و ساکن‌سازی ترکیبات آلاینده خاک و آب‌های زیرزمینی است. گیاه‌پالایی یک روش زیستی است که در آن از گیاهان مختلف برای کاهش آلودگی‌های محیطی ازجمله آلودگی ناشی از تجمع فلزات سمی مانند کادمیوم، مس، سرب، روی، کروم و غیره در خاک استفاده می‌شود. گیاهانی که توان بالایی در جذب فلزات سنگین و آلاینده‌ها دارند مشخص و معرفی می‌گردند. شناسایی گیاهانی که مصرف خوراکی ندارند در گیاه‌پالایی از اهمیت بیش‌تری برخوردار است. گیاه‌پالایی یکی از روش‌های ارزان قیمت و با حداقل خسارت به طبیعت محسوب می‌شود (مقیمی و همکاران، ۱۳۹۰). در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، حضور ریز جاندارانی مانند قارچ میکوریز آربسکولار در ریزوسفر، می‌تواند فراهمی و سمیت فلزات سنگین را برای گیاه تغییر دهد و از این طریق نقش مهمی در گیاه‌پالایی داشته باشد (Biro and Takacs, 2007). گیاه‌پالایی یکی از روش‌های ارزان قیمت و با حداقل خسارت به طبیعت محسوب می‌شود (مقیمی و همکاران، ۱۳۹۰). در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، حضور ریز جاندارانی مانند قارچ میکوریز آربسکولار در ریزوسفر، می‌تواند فراهمی و سمیت فلزات سنگین را برای گیاه تغییر دهد و از این طریق نقش مهمی در گیاه‌پالایی داشته باشد (Biro and Takacs, 2007). به‌منظور کاهش واردات کودهای شیمیایی و اثرات زیان‌بار زیست‌محیطی آن‌ها، در این تحقیق صرفاً از ریز جانداران استفاده شد. با توجه به نقش سودمند ریز جانداران در رشد و نمو گیاه و کاهش تنش‌های محیطی و نیز اهمیت اقتصادی گیاه شبدر، این تحقیق به‌منظور بررسی تأثیر قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری ریزوبیوم *تریفولی* بر عملکرد گیاه شبدر برسیم تحت تنش کادمیوم صورت گرفت.

* qasmyfrleila@gmail.com

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف کادمیوم خاک و مایه زنی با قارچ‌های میکوریز آربسکولار و باکتری ریزوبیوم *تریفولی* بر عملکرد گیاه شبدر برسیم یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی اجرا گردید. سطوح کادمیوم خاک شامل صفر، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود که از منبع سولفات کادمیوم ($Cd_3O_{12}S_3.8H_2O$) تأمین و مصرف شدند. میکروارگانیسم‌های مورد استفاده در خاک شامل قارچ میکوریز *گلوموس موسه‌آ*، *گلوموس اینترادیس* و باکتری ریزوبیوم *تریفولی* بودند که هم به‌صورت جداگانه و هم به‌صورت مخلوط با یکدیگر مورد استفاده قرار گرفتند. بنابراین تیمارها شامل بدون مایه زنی (WI)، مایه زنی با قارچ *گلوموس موسه‌آ* (M)، مایه زنی با قارچ *گلوموس اینترادیس* (I)، قارچ *گلوموس موسه‌آ* + باکتری ریزوبیوم *تریفولی* (MT)، قارچ *گلوموس اینترادیس* + باکتری ریزوبیوم *تریفولی* (IT)، مایه زنی با باکتری ریزوبیوم *تریفولی* (T)، مایه زنی با قارچ‌های *گلوموس موسه‌آ* + *گلوموس اینترادیس* (MI) و مایه زنی با قارچ‌های *گلوموس موسه‌آ* + *گلوموس اینترادیس* + باکتری ریزوبیوم *تریفولی* (MIT) بودند، بنابراین تعداد تیمارهای آزمایشی ۴۰ عدد بود که با لحاظ کردن ۳ تکرار در مجموع ۱۲۰ واحد آزمایشی وجود داشت. برای کاشت شبدر از جعبه‌های کوچک حاوی ۵ کیلوگرم خاک استفاده شد. مقدار مصرف کود جامد قارچی ۵۰ گرم در هر جعبه و بذر شبدر برسیم قبل از کاشت با باکتری ریزوبیوم *تریفولی* آغشته گردید. در هر جعبه به‌طور یکسان ۲ گرم بذر شبدر برسیم کشت شد. بافت خاک مورد استفاده در آزمایش بافت لوم بود و خاک بعد از آلوده شدن به کادمیوم، قبل از کاشت برای رسیدن به تعادل به مدت ۱ ماه در رطوبت ظرفیت مزرعه نگهداری گردید. قبل از کاشت آزمایش‌های اولیه برای اندازه‌گیری عناصر کم‌مصرف و پرمصرف و کادمیوم قابل‌جذب انجام و در صورت وجود کمبود در خاک، قبل از کاشت اقدام به رفع کمبودهای عناصر غذایی شد (جدول ۱). عملیات داشت به مدت سه ماه انجام و در پایان دوره رشد وزن تر بخش هوایی و ریشه گیاه شبدر اندازه‌گیری گردید. سپس نمونه‌های گیاهی ابتدا با آب مقطر شسته و در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد در آون به مدت ۷۲ ساعت خشک شدند؛ و وزن خشک بخش هوایی و ریشه گیاه شبدر توزین گردید. همچنین برای اندازه‌گیری غلظت کادمیوم از روش هضم سه اسید استفاده شده و غلظت کادمیوم در بخش هوایی و ریشه با استفاده از دستگاه جذب اتمیک اندازه‌گیری گردید (Estefan, 2017). داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.4 مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند. در ضمن مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

شن	سیلت	رس	بافت خاک	pH	EC	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن	روی	مس	منگنز	کادمیوم	سرب
درصد			-	-	µS/cm	درصد	میلی‌گرم بر کیلوگرم							
۳۸/۲	۴۲/۳	۱۹/۵	لوم	۷/۶۰	۱۵۰	۰/۰۱۴	۱۰	۲۵۰	۳/۵	۰/۰۲۶	۰/۸۴	۳/۱۵	۰/۰۶	۰/۲۴

نتایج و بحث

تأثیر سطوح مختلف کادمیوم بر وزن تر و غلظت کادمیوم بخش هوایی و ریشه گیاه شبدر برسیم

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، نشان داد که افزایش غلظت کادمیوم خاک، اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر وزن تر و غلظت کادمیوم بخش هوایی و ریشه گیاه شبدر داشت (جدول ۲). با افزایش غلظت کادمیوم، وزن تر بخش هوایی و ریشه گیاه کاهش یافت. به‌طوری‌که در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک وزن تر بخش هوایی ۴۸/۰۲ درصد و وزن تر ریشه ۵۰/۳۲ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافتند (شکل ۱ و ۲). همچنین با افزایش غلظت کادمیوم خاک، غلظت کادمیوم ریشه و بخش هوایی افزایش یافت. بیشترین غلظت کادمیوم بخش هوایی و ریشه مربوط به تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک به ترتیب به میزان ۹/۳۹ و ۱۵/۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کم‌ترین غلظت کادمیوم بخش هوایی و ریشه از تیمار شاهد به ترتیب به میزان ۰/۰۰۱۷ و ۰/۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمدند (شکل ۳ و ۴). غلظت بالای کادمیوم علاوه بر ایجاد مسمومیت با ایجاد رقابت باعث کاهش جذب عناصر کم‌مصرف شده و با ایجاد ترکیبات فسفات کادمیوم و نیترات کادمیوم جذب عناصر پرمصرف را نیز کاهش می‌دهد که این امر کاهش شاخص‌های رشد و به دنبال آن کاهش عملکرد گیاه را در پی خواهد داشت (Benavides et al., 2005). زیمداح[1] و همکاران (۱۹۷۶) نشان دادند که افزایش محتوای کادمیوم خاک، باعث افزایش محتوای این عنصر در ریشه شد.

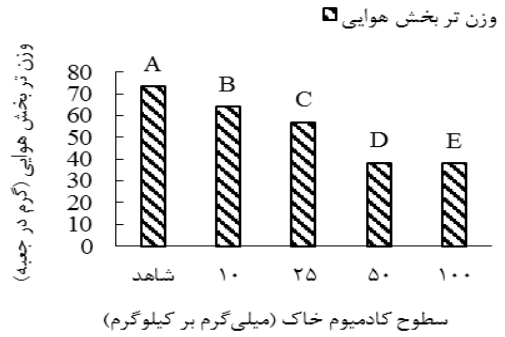
[1]-Zimdahl,

موبین و خان[1](۲۰۰۷) نشان دادند که با افزایش سطوح کادمیوم خاک، مقدار کادمیوم میوه گوجه‌فرنگی افزایش یافت. کلارک[2](۱۹۹۶) بیان کرد گیاه ذرت ازجمله گیاهانی است که محتوای کادمیوم بیشتری در ریشه نسبت به بخش هوایی دارد.

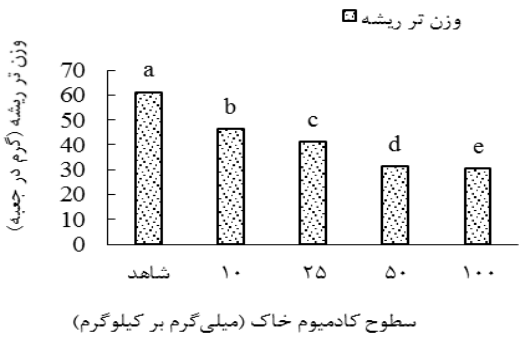
جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر وزن تر و غلظت کادمیوم بخش هوایی و ریشه گیاه شبدر برسیم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		وزن تر بخش هوایی	وزن تر ریشه	کادمیوم بخش هوایی	کادمیوم ریشه
		گرم در جعبه			
سطوح کادمیوم	۲	۹۶۰/۲۰**	۱۵۹۵/۰۴۲**	۳۵۱/۱۹**	۹۰۸/۷۲**
نوع مایه زنی	۳	۲۴۶۱/۱۶**	۱۵۵۲/۰۲**	۵/۰۸**	۱۳/۳۶**
سطوح کادمیوم × نوع مایه زنی	۶	۲۷۹/۸۱**	۲۸۴/۴۹ **	۰/۵۵**	۱/۳٤**
خطا	۲۲	۱۱/۲۹	۵۷/۴۲	۰/۰۷	۰/۳۸
درصد ضریب تغییرات	-	۵/۲۹	۱۵/۰۳	۶/۹۳	۹/۱٦

** و * به ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد معنی‌دار و ns اختلاف معنی‌دار نیست.

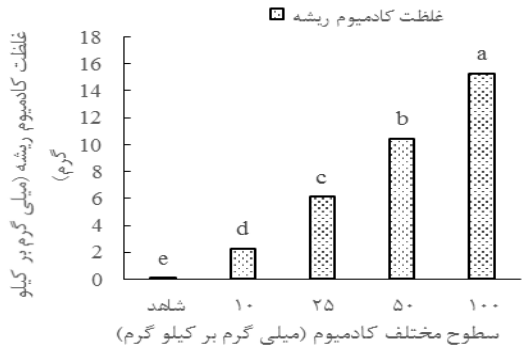


شکل ۱. تأثیر سطوح مختلف کادمیوم بر وزن تر بخش هوایی گیاه



شکل ۲. تأثیر سطوح مختلف کادمیوم بر وزن تر ریشه گیاه

شکل ۳: تأثیر سطوح مختلف کادمیوم بر غلظت کادمیوم بخش هوایی گیاه

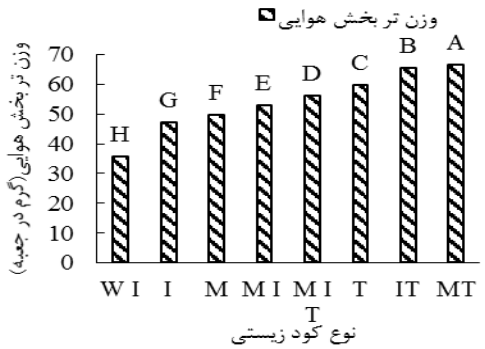


شکل ۴: تأثیر سطوح مختلف کادمیوم بر غلظت کادمیوم ریشه گیاه

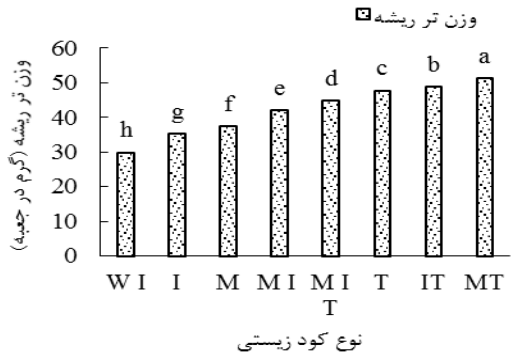
[1]-Mobin and Khan
[2]-Clarke

تأثیر نوع مایه زنی بر وزن تر و غلظت کادمیوم بخش هوایی و ریشه گیاه شبدر برسیم

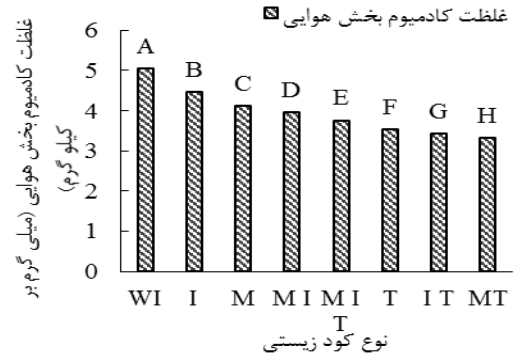
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، نشان داد که کاربرد کود زیستی بر وزن تر و غلظت کادمیوم بخش هوایی و ریشه گیاه شبدر برسیم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مایه زنی تأثیر مثبتی بر وزن تر بخش هوایی و ریشه گیاه شبدر داشت. بیش‌ترین وزن تر بخش هوایی در اثر مایه زنی مشترک قارچ گلوموس موسهآ و باکتری ریزوبیوم تریفولی (MT) به میزان ۶۶/۶۲ گرم در جعبه به دست آمد. همچنین کمترین وزن تر بخش هوایی در تیمار شاهد (بدون مایه زنی یا WI) به میزان ۳۵/۷۳ گرم در جعبه اندازه‌گیری گردید. همچنین بیشترین وزن تر ریشه در اثر مایه زنی مشترک قارچ گلوموس موسهآ و باکتری ریزوبیوم تریفولی به میزان ۵۱/۲۵ گرم در جعبه و کمترین وزن تر ریشه در تیمار شاهد (بدون مایه زنی) به میزان ۲۹/۸۰ گرم در جعبه به دست آمد (شکل ۵ و ۶). همچنین نتایج نشان داد که مایه زنی با قارچ میکوریز و باکتری ریزوبیوم تریفولی باعث کاهش غلظت کادمیوم بخش هوایی و ریشه گیاه شبدر گردید. کمترین غلظت کادمیوم بخش هوایی و ریشه در اثر مایه زنی با قارچ میکوریز گلوموس موسهآ و باکتری ریزوبیوم تریفولی (MT) به ترتیب به میزان ۳/۳۱ و ۵/۶۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد و همچنین بیشترین غلظت کادمیوم بخش هوایی و ریشه در تیمار بدون مایه زنی (WI) به ترتیب به میزان ۵/۰۴ و ۸/۳۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شدند (شکل ۷ و ۸). بریسیل[1] و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که غلظت کادمیوم بخش هوایی گیاه لوبیا در حضور قارچ میکوریز افزایش یافت ولی غلظت کادمیوم در بذر لوبیا در حضور قارچ‌های میکوریز نسبت به تیمار بدون قارچ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در آزمایشی که توسط سانهیتا-گوپتا[2] و همکاران (۱۹۹۵) انجام گرفت مایه زنی بذر گوجه‌فرنگی با سه نوع باکتری آزوسپریلوم، ازتوباکتر و سودوموناس سبب افزایش رشد رویشی گیاه و درنهایت عملکرد گیاه شد.



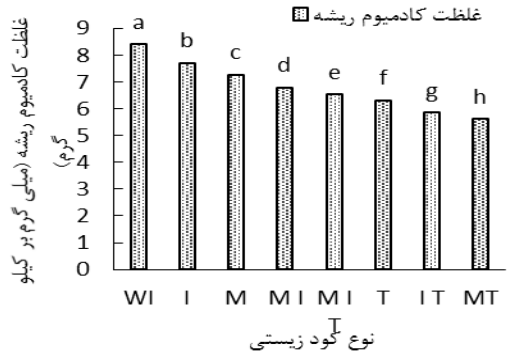
شکل ۵: تأثیر نوع مایه زنی بر وزن تر بخش هوایی گیاه



شکل ۶: تأثیر نوع مایه زنی بر وزن تر ریشه گیاه



شکل ۷: تأثیر نوع مایه زنی بر غلظت کادمیوم بخش هوایی گیاه



شکل ۸: تأثیر نوع مایه زنی بر غلظت کادمیوم ریشه گیاه

[1]-Becerril
[2]-Sanhita-Gupta

اثر متقابل کادمیوم و نوع مایه زنی بر وزن تر و غلظت بخش هوایی و ریشه گیاه شبدر برسیم

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، نشان داد که اثر متقابل کادمیوم و نوع مایه زنی بر وزن تر و غلظت کادمیوم بخش هوایی و ریشه گیاه شبدر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین وزن تر بخش هوایی و ریشه گیاه شبدر برسیم در اثر مایه زنی با قارچ *گلوموس موسه‌آ* + ریزوبیوم *تریفولی* و بدون مصرف کادمیوم به ترتیب به میزان ۹۰/۰۷ و ۷۷/۳۰ گرم در جعبه به دست آمد. همچنین کمترین وزن تر بخش هوایی و ریشه گیاه شبدر برسیم در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک و عدم مایه زنی به ترتیب به میزان ۲۶/۳۷ و ۲۵/۵۵ گرم در جعبه اندازه‌گیری شدند. (جدول ۳). همچنین نتایج نشان داد که کمترین غلظت کادمیوم بخش هوایی و ریشه در اثر مایه زنی با قارچ *گلوموس موسه‌آ* + ریزوبیوم *تریفولی* و بدون مصرف کادمیوم به ترتیب میزان ۰/۰۰۱۲ و ۰/۰۰۴۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمدند. بیشترین غلظت کادمیوم بخش هوایی و ریشه در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک و بدون مایه زنی به ترتیب به میزان ۱۱/۲۵ و ۱۷/۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شدند (جدول ۳). ادول[1] و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی اثرات قارچ‌های میکوریزی بر توانایی گیاه‌پالایی محصول آفتاب‌گردان در خاک‌های آلوده به عناصر سنگین سرب و کادمیوم نشان دادند که میکوریز میزان جذب عناصر کادمیوم و سرب را در ریشه‌های خشک آفتاب‌گردان به‌طور معنی‌داری کاهش داد و باعث مقاومت گیاه آفتاب‌گردان به آلودگی گردید و میزان عملکرد این گیاه افزایش یافت.

جدول ۳: مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سطوح کادمیوم و مایه زنی با کود زیستی بر وزن تر بخش هوایی و غلظت کادمیوم گیاه شبدر برسیم

سطوح کادمیوم	نوع مایه‌زنی	وزن تر بخش هوایی	وزن تر ریشه	کادمیوم بخش هوایی	کادمیوم ریشه
میلی‌گرم بر کیلوگرم		گرم در جعبه		میلی‌گرم بر کیلوگرم	
صفر	WI	۳۴/۸۴۳l	۲۸/۷۶۳m-o	۰/۰۰۲۲t	۰/۰۳۴۷q
	I	۶۲/۴۴۳e-g	۴۲/۹۲۷c-i	۰/۰۰۲۰t	۰/۰۰۹۸q
	M	۶۹/۹۱۰ed	۵۱/۰۲۷b-e	۰/۰۰۱۹t	۰/۰۰۷۹q
	T	۸۲/۴۰۰bc	۷۴/۵۳۳a	۰/۰۰۱۵t	۰/۰۰۵۶q
	MI	۷۹/۲۹۰c	۶۸/۲۷۰a	۰/۰۰۱۸t	۰/۰۰۷۸q
	IT	۸۸/۵۹۰ab	۷۵/۲۶۳a	۰/۰۰۱۴t	۰/۰۰۴۹q
	MT	۹۰/۰۷۳a	۷۷/۳۰۰a	۰/۰۰۱۲t	۰/۰۰۴۶q
	MIT	۷۹/۸۸۰c	۷۱/۷۲۳a	۰/۰۰۱۶t	۰/۰۰۶۱q
۱۰	WI	۵۵/۷۳۳f-i	۴۰/۰۱۳f-l	۱/۸q	۴/۲۴mn
	I	۵۶/۲۹۳f-g	۴۰/۴۸۰e-k	۱/۴qr	۳/۵۵n
	M	۵۶/۸۸۰f-i	۴۱/۰۷۰d-j	۱/۱rs	۲/۳۴o
	T	۷۰/۶۸۰de	۵۱/۵۷۰b-d	۰/۸۸s	۱/۶op
	MI	۵۸/۹۱۰f-h	۴۲/۷۶۷c-i	۰/۹۶rs	۱/۹po
	IT	۷۵/۰۶۰cd	۵۲/۵۰۰bc	۰/۸۶s	۱/۵۶po
	MT	۷۵/۴۱۰cd	۵۷/۸۳۰b	۰/۸۲s	۱/۰۲qp
	MIT	۶۳/۶۵۷ef	۴۵/۷۷۷c-g	۰/۹۱s	۱/۸۹po
۲۵	WI	۳۰/۴۱۰lm	۲۷/۰۲۳no	۴/۶l	۷/۳gi
	I	۵۳/۴۶۷h-k	۳۷/۱۰۳g-n	۳/۸m	۶/۶jk
	M	۵۳/۷۵۷h-j	۳۷/۳۷۳f-n	۳/۳۳n	۶/۵jk
	T	۶۳/۹۷ef	۴۶/۱۹۰c-g	۲/۷op	۵/۸lk
	MI	۵۴/۴۵۷g-j	۳۸/۶۵۰f-m	۳/۱۳no	۶/۲ljk
	IT	۶۷/۷۹۷de	۴۷/۹۷۳b-f	۲/۶p	۵/۴۶lk
	MT	۶۸/۰۲۷de	۵۰/۸۹۷b-e	۲/۵p	۵/۱lm
	MIT	۶۳/۵۷۰ef	۴۴/۱۶۷c-h	۲/۷۷op	۵/۸۹lk

[1]-Adewole

۵۰	WI	۳۱/۲۸۳lm	۲۷/۶۷۷m-o	۷/۵۶۳۳g	۱۲/۶f
	I	۳۱/۶۵۷lm	۲۷/۷۵۰m-o	۶/۹h	۱۱/۸f
	M	۳۲/۵۳۳lm	۲۸/۴۶۳m-o	۶/۵۱۳۳hi	۱۱/۶۶۶۷f
	T	۳۶/۶۶۰l	۳۲/۶۴۳i-o	۵/۲j	۹/۸g
	MI	۳۵/۸۳۳l	۲۹/۹۳۳k-o	۶/۴i	۱۰/۵۶g
	IT	۴۹/۴۷۰i-k	۳۴/۹۱۷h-o	۵/۱۸۶۷k	۸/۴h
	MT	۵۲/۸۶۳h-k	۳۶/۶۸۷g-n	۵/۱۲k	۸/۲hi
	MIT	۳۶/۵۲۰l	۳۱/۴۳۲j-o	۵/۹j	۱۰/۲۴g
۱۰۰	WI	۲۶/۳۷۳m	۲۵/۵۵۰o	۱۱/۲۵a	۱۷/۸a
	I	۳۳/۹۶۰lm	۲۷/۷۷۰m-o	۱۰/۲b	۱۶/۶b
	M	۳۵//۷۸۷l	۲۹/۱۸۰l-o	۹/۶۶c	۱۵/۸bc
	T	۴۵/۴۷۰k	۳۳/۲۱۰i-o	۸/۸۸ed	۱۴/۳ed
	MI	۳۶/۲۶۷l	۳۰-۲۶۰j-o	۹/۲۸۶۷cd	۱۵/۳dc
	IT	۴۶/۲۴۷jk	۳۳/۲۷۳i-o	۸/۵ed	۱۳/۸e
	MT	۴۶/۷۳۷jk	۳۳/۵۳۷h-o	۸/۱۲f	۱۳/۷۳۳۳e
	MIT	۳۶/۴۵۷l	۳۰/۶۱۳j-o	۹/۲cd	۱۴/۶ed

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال درصد ندارند

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق، با افزایش سطوح آلودگی خاک به کادمیوم وزن تر بخش هوایی و ریشه گیاه شبدر برسیم کاهش یافت ولی مایه زنی خاک با ریزجانداران اثر سو آلودگی خاک به کادمیوم را کاهش داد. مایه‌زنی جداگانه قارچ‌های میکوریز نیز نسبت به تیمار بدون مایه‌زنی باعث کاهش غلظت کادمیوم در بخش هوایی و ریشه شد ولی استفاده هم‌زمان از قارچ‌های میکوریز و باکتری ریزوبیوم تأثیر بیشتری در کاهش غلظت کادمیوم بخش هوایی و ریشه گیاه داشت. با توجه به تأثیر بهتر مایه زنی مشترک باکتری ریزوبیوم تریفولی و قارچ میکوریز این تیمار برای کاهش اثر سو کادمیوم در خاک‌های آلوده پیشنهاد می‌شود.

منابع

شیرانی، م. ۱۳۸۷. تغییرات مکانی کادمیوم و نیکل در برخی خاک‌های کشاورزی، شهری و صنعتی مشهد و اطراف آن. دومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست مشهد.

مقیمی، م.، یوسفی راد، م.، ارادتمند اصلی، د. و عسکری قاهانی، م. ۱۳۹۰. اثر اسید هیومیک بر گیاه‌پالایی کادمیوم توسط گیاه شبدر. ششمین همایش ملی ایده‌های نو در کشاورزی. دانشگاه آزاد اسلامی خوراسگان.

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 Science. 55: 17-28.

Becerril, F. R., Calantzis, C. Turnau, K. Caussanel, J. P. Belimov, A. A. Gianinazzi, S. Strasser, R. J. and Pearson, V. G. 2002. Cadmium accumulation and buffering of cadmium industed stress by arbuscular mycorrhiza in three Pisum sativum L.genotypes. Journal of Experimental Botany. 53 (371): 1177-1185.

Biro, I. and Takacs, T. 2007. Effects of Glomus mosseae strains of different origin on plant macro-and micronutrient uptake in Cd-polluted and unpolluted soils. Acta Agronomica Hungarica. 55(2): 183-192.

Clark, R. B and Zeto, S. K. 1996. Mineral acquisition by mycorrhizal maize grown on acid and alkaline Soil. Soil Biology and Biochemistry. 28: 1495-1503.

Estefan, G. 2017. Methods of Soil, Plant, and Water Analysis: A Manual for the West Asia and North Africa Region.

Mirsal, I. A. 2008. Soil Pollution. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Germany: pp 115-172.

Sanhita-Gupta, D., Dilp, K., Arora, K. D. and Srivastava, K. 1995. Growth promotion of tomato plants by rhizobacteria and imposition of energy stress on rhizoctonia solani. Soil Biology Biochemistry. 27: 1051-1058.

Zimdahl, R. L. (1976). Entry and movement in vegetation of lead derived from air and soil sources. Journal of the Air Pollution Control Association. 26 (7): 655-660.

Topic for submission: Ecosystem Pollution, Human Health and Bioremediation

Effect of Inoculation with Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Rhizobium trifolii on Yield and Concentration of Cadmium in Berseem Clover Under Cadmium Stress

Laila Qasemi Far*[1], Ahmad Golchin[2], Fatemeh rakhsh[3]

[1]M.Sc. Graduate, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Zanjan, Iran

[2]Professor, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Zanjan, Iran

[3] Ph.D. Graduate, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Zanjan, Iran

Abstract

Cadmium is a very mobile element in soil that is absorbed by plant roots and translocation of cadmium from root to shoot deteriorates crop quality. Therefore, this study was carried out with the aim of investigating the effects of arbuscular mycorrhizal fungi and Rhizobium *trifolii* on the growth and Cd Concentrations of berseem clover under cadmium stress. A factorial experiment was conducted in the greenhouse of Faculty of Agriculture, the University of Zanjan, using a completely randomized design and three replications. In this experiment, the effects of different levels of soil cadmium (0, 5, 10, 25 and 50 mg/kg) and soil inoculation (without inoculation and inoculation with *Glomus mosseae*, *Glomus intraradices*, *Glomus mosseae* + Rhizobium *trifolii*, *Glomus intraradices* + Rhizobium *trifolii*, Rhizobium *trifolii*, *Glomus mosseae* + *Glomus intraradices* and *Glomus mosseae* + *Glomus intraradices* + Rhizobium *trifolii*) on growth of berseem clover were assessed. The results of this study showed a significant effect (1% and 5% probability level) due to soil Cd levels on fresh weights and Cd concentrations of aerial parts and roots of berseem clover. The fresh weights of aerial parts and roots of berseem clover decreased as the levels of soil cadmium increased. Also, The results of this experiment showed that soil inoculation with mycorrhizal fungi and Rihzobium *trifolii* had a significant effect (at 1% and 5% probability level) on fresh weights of aerial parts and roots of berseem clover. The highest fresh weights of aerial parts and roots of berseem clover were measured in treatments co-inoculated with *Glomus mosseae* and Rhizobium *trifolii*. The highest Cd concentrations in aerial parts and roots were measured 11.25 and 17.80 mg/kg in treatment 100 mg Cd/kg and without inoculation and the lowest Cd concentrations in aerial parts and roots were 0.0012 and 0.0046 mg/kg in treatment co-inoculated with *Glomus mosseae* and Rhizobium *trifolii* and without Cd.

Keywords: Heavy metals, Glomus intraradices, Glomus mosseae, Rhizobium trifolii, Soil Pollution.

* Corresponding author, Email: qasmyfrleila@gmail.com