Archive of SID

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد نهم، شماره چهارم، ۱۳۹۸
۱۰۹-۱۲۶
http://ejsms.gau.ac.ir

# پیامد مایه‌زنی قارچ‌های مایکوریز و باکتری رایزوبیوم *لگومینوزاروم تریفولی* بر عملکرد شبدر برسیم تحت تنش کادمیوم

**لیلا قاسمی‌فر[۱]، *احمد گلچین[۲] و فاطمه رخش[۳]**

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان، [۲]استاد گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان،
[۳]دانش‌آموخته دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۰۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰٤/۳۰

## چکیده

**سابقه و هدف:** کادمیوم یک فلز سنگین است که اثر مخرب زیادی بر کیفیت محصول دارد. افزون بر آن‌یک فلز بسیار متحرک در خاک و محیط‌زیست می‌باشد و گیاهان می‌توانند به آسانی کادمیوم را جذب و آن را به بخش‌های هوایی خود منتقل کنند. با توجه به افزایش مناطق آلوده در کشور و وجود زمین‌های کشاورزی زیر کشت گیاهان علوفه‌ای مختلف و مصرف این محصولات علوفه‌ای در بخش دام موجب شد تا این پژوهش با هدف بررسی تأثیر مایه‌زنی قارچ‌های مایکوریز و باکتری رایزوبیوم *لگومینوزاروم تریفولی* بر عملکرد و غلظت عناصر غذایی پرمصرف و کادمیوم در گیاه شبدر برسیم تحت تنش کادمیوم اجرا گردد.

**مواد و روش‌ها:** به‌منظور بررسی تأثیر مایه‌زنی قارچ‌های مایکوریز و رایزوبیوم *لگومینوزاروم تریفولی* بر عملکرد و غلظت عناصر غذایی پرمصرف و کادمیوم در گیاه شبدر برسیم تحت تنش کادمیوم یک آزمایش با ٤۰ تیمار و در ۳ تکرار به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل ۵ سطح مختلف آلودگی خاک به کادمیوم (صفر، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و ۸ سطح مایه‌زنی (مایه‌زنی جدا و مشترک با *فانلی‌فورمیس موسه‌آ*، *ریزوفاگوس ایریگولاریس* و رایزوبیوم *لگومینوزاروم تریفولی*) بودند.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که تأثیر کادمیوم بر وزن خشک، غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کادمیوم بخش هوایی و ریشه گیاه معنی‌دار (سطح احتمال ۵ و ۱ درصد) بود. با افزایش غلظت کادمیوم در خاک، وزن خشک بخش هوایی و ریشه و هم‌چنین غلظت عناصر غذایی پرمصرف گیاه نسبت به تیمار شاهد (تیمار صفر کادمیوم) کاهش یافتند. بیش‌ترین وزن خشک بخش هوایی و ریشه و غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در اثر مایه‌زنی مشترک با *فانلی‌فورمیس موسه‌آ* + رایزوبیوم *لگومینوزاروم تریفولی* (MT) و تیمار صفر کادمیوم (Cd0) به‌دست آمدند. هم‌چنین کم‌ترین وزن خشک بخش هوایی و ریشه و غلظت عناصر غذایی پرمصرف در تیمار Cd100 و بدون مایه‌زنی (WI) اندازه‌گیری شدند. آلودگی خاک به کادمیوم موجب کاهش ٦٦/۹٤ و ۷۱/۱۱ درصدی وزن خشک بخش هوایی و ریشه گردید. کم‌ترین غلظت کادمیوم بخش هوایی و ریشه در اثر مایه‌زنی مشترک با *فانلی‌فورمیس موسه‌آ* + رایزوبیوم

* مسئول مکاتبه: agolchin2011@yahoo.com



www.SID.ir

Archive of SID



*لگومینوزاروم تریفولی* و تیمار صفر کادمیوم (Cd0) به‌ترتیب میزان ۰/۰۰۱۲ و ۰/۰۰٤٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمدند. هم‌چنین بیش‌ترین غلظت کادمیوم بخش هوایی و ریشه در تیمار Cd100 و بدون مایه‌زنی به‌ترتیب به‌میزان ۱۱/۲۵ و ۱۷/۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شدند. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که غلظت کادمیوم در ریشه بالاتر از بخش هوایی است و غلظت کادمیوم ریشه در تیمار Cd100 و بدون مایه‌زنی ۳٦/۸۰ درصد بیش‌تر از غلظت کادمیوم بخش هوایی بود.

**نتیجه‌گیری:** بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش مشاهده گردید که با افزایش سطح آلودگی در خاک از رشد گیاه کاسته شده و غلظت عناصر غذایی پرمصرف در بخش هوایی و ریشه نیز کاهش یافت. مایه‌زنی خاک با مخلوط قارچ‌ها و باکتری توانست اثر سوء آلودگی خاک به کادمیوم را بر رشد گیاه شبدر کاهش دهد. هم‌چنین مایه‌زنی جداگانه قارچ‌های مایکوریز نیز نسبت به تیمار بدون مایه‌زنی باعث کاهش غلظت کادمیوم در بخش هوایی و ریشه شد ولی استفاده هم‌زمان از قارچ‌های مایکوریز و باکتری رایزوبیوم تأثیر بیش‌تری در کاهش غلظت کادمیوم بخش هوایی و ریشه گیاه داشت. با توجه به نتایج این مطالعه می‌توان در خاک‌های آلوده برای کاهش اثر سوء کادمیوم و افزایش عملکرد گیاه شبدر از مایه‌زنی مشترک فانلی‌فورمیس موسهآ + رایزوبیوم لگومینوزاروم تریفولی استفاده نمود.

***واژه‌های کلیدی:*** آلودگی خاک، رایزوبیوم *لگومینوزاروم تریفولی*، *فانلی‌فورمیس موسهآ*، *ریزوفاگوس ایریگولاریس*، فلز سنگین

## مقدمه

آلودگی خاک به فلزهای سنگین به‌دلیل سمیت و پایداری آن‌ها در محیط‌زیست از یک‌سو و نگرانی از نظر سلامت عمومی انسان و موجودات زنده از سوی دیگر دارای اهمیت است (۲۷). در بین آلاینده‌های خاک و محیط‌زیست مطالعه بر روی عناصر سنگین از چند دهه گذشته مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است (۲۰). امروزه با پیشرفت صنعت، احتمال آلوده شدن خاک در حال افزایش می‌باشد. از میان مواد آلاینده خاک، فلزهای سنگین به‌دلیل غیرقابل تجزیه بودن و پیامد فیزیولوژیک بر موجودات زنده حتی در غلظت کم، سهم مهمی در آلودگی خاک دارند (۵۵). غلظت طبیعی فلزهای سنگین در خاک در درجه اول به نوع و ترکیب شیمیایی ماده مادری خاک بستگی دارد؛ اما سایر منابع ورودی مانند فعالیت انسانی نیز منجر به افزایش غلظت این عناصر می‌شود (٤٧) پیشرفت تکنولوژی، نوسازی صنعت و فعالیت شدید انسان در مناطق شهری، مشکل آلودگی فلزهای سنگین در خاک را افزایش می‌دهد. آلاینده‌ها از روش‌های گوناگون از جمله حمل‌ونقل وسایل نقلیه جاده‌ای، زباله‌های صنعتی، رسوب گردوغبار مواد معلق در اتمسفر، سوختن زغال‌سنگ، سوزاندن پسماندها، استفاده از کودها و سموم در کشاورزی و دوده‌های ناشی از فعالیت کارخانه‌ها مختلف صنعتی وارد خاک می‌شوند (٥٦).

عناصر سنگین مانند روی، سرب و کادمیوم به‌دلیل توانایی بالقوه در آسیب‌رسانی بر سلامت انسان و موجودات زنده در چند دهه اخیر از نظر مسائل و خطرات زیست‌محیطی آن‌ها بسیار موردتوجه قرار گرفته و تلاش بر آن بوده که از ورود آن‌ها به چرخه طبیعت تا حد امکان جلوگیری شود (۲۰). درعین‌حال، کاربرد و البته تولید آن‌ها در صنایع اجتناب‌ناپذیر است



www.SID.ir

Archive of SID



(٤). کادمیوم یک فلز سنگین است که اثرات مخرب زیادی بر کیفیت محصولات کشاورزی دارد (٥٩). افزون بر آن‌یک عنصر بسیار متحرک در محیط‌زیست می‌باشد که به‌آسانی توسط گیاه جذب می‌گردد (٣٢). میانگین غلظت کادمیوم در پوسته جامد زمین ٠/١ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد و غلظت معمولی آن در خاک ٠/٢-٠/١ و حد مسمومیت این عنصر ٨-٣ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک است (١٢). این فلز با کاهش سطح و توسعه ریشه و مختل کردن متابولیسم گیاه، باعث کمبود عناصر غذایی در گیاه می‌شود (٥٨).

استفاده از قارچ‌های مایکوریز آربسکولار (AM[1]) یکی از روش‌های زیستی پالایش خاک‌های آلوده به فلزهای سنگین هستند (٢). قارچ‌های مایکوریز باعث افزایش رشد گیاه و تغییر در جذب فلزهای سنگین در خاک‌های آلوده به این فلزها، توسط گیاه می‌گردند. در واقع این قارچ‌ها به‌دلیل انباشت فلزها سنگین در هیف‌ها و مایسلیوم‌های برون‌ریشه‌ای خود باعث کاهش فرم قابل‌جذب این عناصر در ریزوسفر گیاه می‌شوند که این امر منجر به کاهش جذب فلزها سنگین توسط گیاه می‌شود (٢٤). قارچ‌های مایکوریز تحمل گیاهان را به آلودگی عناصر سنگین افزایش می‌دهند و مکانیسم اصلی افزایش تحمل جذب فلزهای سنگین توسط هیف قارچ و یا رایزوسفر گیاه می‌باشد (٦٣). در برخی پژوهش‌ها مشاهده شده است که فلز سنگین در داخل یا نزدیک ریشه گیاه غیرمتحرک شده و انتقال آن‌ها به ساقه کاهش می‌یابد (٦٠).

یکی از مهم‌ترین چرخه‌های بیوشیمیایی خاک، همزیستی باکتری‌های ریزوبیوم با گیاهان خانواده لگومینوزها است که در اکوسیستم‌های کشاورزی و طبیعی دارای اهمیت زیادی می‌باشد. امروزه توجه پژوهشگران به استفاده از گیاهان خانواده لگومینوزها و ریزجانداران همزیست آن‌ها برای اصلاح زیستی زمین‌های آلوده به فلزها سنگین و هم‌چنین دیگر آلاینده‌های آلی معطوف شده است (١٤). ازآن‌جایی‌که همزیستی گیاهان خانواده لگومینوزها با باکتری‌های رایزوبیوم امکان رشد گیاهان را بدون عرضه کودهای نیتروژن‌دار فراهم می‌کند بنابراین رابطه همزیستی از نظر اصلاح اراضی آلوده دارای چند مزیت است. نخست این‌که ریزجانداران می‌توانند بر روی حلالیت و زیست‌فراهمی فلزها و جابجایی آن‌ها در خاک بسیار تأثیرگذار باشند. دوم این‌که گیاهان خانواده لگومینوزها به آسانی در زمین‌های غیرحاصلخیز مستقر می‌شوند. باکتری‌های افزاینده رشد گیاه جذب عناصر غذایی و رشد گیاه را با سازوکارهای متعدد مانند تثبیت زیستی نیتروژن، تولید هورمون‌های گیاهی، ویتامین‌ها، آنزیم‌ها، سیدروفورها، آنتی‌بیوتیک‌ها، تولید آنزیم ACC-دآمیناز و جلوگیری از تولید اتیلن تنشی و انحلال فسفات‌های آلی و معدنی افزایش می‌دهند (٣٨)؛ بنابراین ریزجانداران رایزوسفری از طریق مکانیسم‌های مستقیم و غیرمستقیم می‌توانند زیست‌توده گیاه و تحمل گیاهان را به فلزها سنگین افزایش دهند (٢٥). مایه‌زنی هم‌زمان باکتری‌های افزاینده رشد گیاه با قارچ مایکوریز روش مناسبی برای افزایش کارایی زیست پالایی است (١٦، ٢١، ٥١ و ٥٢).

مکانیسم‌هایی که قارچ مایکوریز به‌وسیله آن‌ها منجر به کاهش تنش فلزهای سنگین در گیاهان می‌شود شامل جذب و نا پویا شدن فلزهای سنگین در مایسلیوم‌های خارجی قارچ، دسترسی بیش‌تر به عناصر غذایی به‌ویژه فسفر و تغییر pH رایزوسفر می‌باشد (٢٤، ٢٧ و ٦٠). هدف کشاورزی ارگانیک افزایش تنوع زیستی و ایجاد چرخه‌های زیستی در سیستم‌های کشاورزی است به‌صورتی‌که از دید

1- Arbuscular mycorrhiza



www.SID.ir

Archive of SID



اکولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی پایدار باشد. در همین راستا و با توجه به نقش سودمند قارچ و باکتری در رشد و نمو گیاه و کاهش اثرات سوء آلودگی در گیاه (۲۱ و ۵۱)، هم‌چنین رشد روزافزون مناطق آلوده در کشور و وجود زمین‌های کشاورزی زیر کشت گیاهان علوفه‌ای در مناطق آلوده که علوفه برداشت‌شده از این زمین‌ها در بخش دام مورد مصرف قرار می‌گیرد، این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر قارچ‌های مایکوریز و باکتری رایزوبیوم *لگومینوزاروم تریفولی* بر عملکرد، غلظت عناصر غذایی پرمصرف و کادمیوم گیاه شبدر برسیم تحت تنش کادمیوم صورت گرفت.

## مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر مایه‌زنی جدا و مشترک قارچ‌های AM گونه *فانلی‌فورمیس موسه‌آ*[1]، *ریزوفاگوس ایریگولاریس*[2] و باکتری رایزوبیوم *لگومینوزاروم تریفولی*[3] بر عملکرد و غلظت عناصر غذایی پرمصرف (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و کادمیوم در گیاه شبدر برسیم (*Trifolium alexandrium*) تحت تنش کادمیوم، یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی و با سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان اجرا شد. با توجه به افزایش مناطق آلوده در کشور و وجود زمین‌های کشاورزی زیر کشت گیاهان لگوم علوفه‌ای مختلف موجب شد تا در این آزمایش گیاه شبدر برسیم مورد پژوهش قرار گیرد تا راهکاری برای افزایش سلامتی محصولات کشت شده در خاک‌های آلوده پیشنهاد شود.

فاکتورهای مورد بررسی شامل ۵ سطح آلودگی خاک به کادمیوم (صفر (Cd0)، ۱۰ (Cd10)، ۲۵ (Cd25)، ۵۰ (Cd50) و ۱۰۰ (Cd100) میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک) بود که از منبع سولفات کادمیوم ($Cd_3O_{12}S_3.8H_2O$) تأمین و مصرف شدند (لازم به ذکر است سطوح کادمیوم خاک بر اساس پژوهش‌های قبلی انتخاب شدند) (۱، ٤٨، ۵۳ و ٥٤). فاکتور دوم شامل ۸ سطح مختلف بدون مایه‌زنی و مایه‌زنی جدا و مشترک گونه‌های *فانلی‌فورمیس موسه‌آ*، *ریزوفاگوس ایریگولاریس* و باکتری رایزوبیوم *لگومینوزاروم تریفولی* بودند. بنابراین آزمایش شامل تیمار بدون مایه‌زنی (WI)، مایه‌زنی با قارچ *فانلی‌فورمیس موسه‌آ* (M)، مایه‌زنی با قارچ *ریزوفاگوس ایریگولاریس* (I)، مایه‌زنی با قارچ *فانلی‌فورمیس موسه‌آ* + باکتری رایزوبیوم *لگومینوزاروم تریفولی* (MT)، مایه‌زنی با قارچ *ریزوفاگوس ایریگولاریس* + باکتری رایزوبیوم *لگومینوزاروم تریفولی* (IT)، مایه‌زنی با باکتری رایزوبیوم *لگومینوزاروم تریفولی* (T)، مایه‌زنی با قارچ‌های *فانلی‌فورمیس موسه‌آ* + *ریزوفاگوس ایریگولاریس* (MI) و مایه‌زنی با قارچ‌های *فانلی‌فورمیس موسه‌آ* + *ریزوفاگوس ایریگولاریس* + باکتری رایزوبیوم *لگومینوزاروم تریفولی* (MIT) می‌باشد، تعداد تیمارهای آزمایشی ٤٠ عدد بود که با لحاظ کردن ۳ تکرار در مجموع ۱۲۰ واحد آزمایشی وجود داشت.

خاک مورد استفاده در آزمایش از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان و از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه گردید. قبل از کاشت آزمایش‌های اولیه برای اندازه‌گیری عناصر کم‌مصرف و پرمصرف و کادمیوم قابل‌جذب انجام (۱۹) و قبل از کاشت اقدام به رفع کمبود عناصر غذایی شد (مقدار آهن و روی در خاک با مصرف سولفات آهن ($FeSO_4.7H_2O$) و سولفات روی ($ZnSO_4$) به‌ترتیب به ٦ و ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک رسید) (۸). بعد از تجزیه کامل و مشخص شدن خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (جدول ۱) به‌میزان ۵ کیلوگرم خاک برای هر جعبه توزین و با توجه به نوع تیمار موردنظر اقدام به آلوده

1- *Funneliformis mosseae*
2- *Rhizophagus irregularis*
3- *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii*



www.SID.ir

Archive of SID



کردن با سطوح مختلف کادمیوم گردید. در این مرحله نمک سولفات کادمیوم در آب مقطر حل (مقدار آب مقطر کم‌تر از مقدار آب لازم برای رسیدن به ظرفیت زراعی بود) و به خاک اسپری گردید. بعد از خشک شدن نمونه‌ها، خاک هر تیمار جداگانه همگن و در جعبه چوبی ریخته شد. خاک‌ها به‌مدت ۱ ماه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و در رطوبت ظرفیت زراعی خوابانیده شدند تا به تعادل برسند (۱).

بذر گیاه از شرکت پاکان بذر اصفهان، زاد مایه باکتری رایزوبیوم *لگومینوزاروم تریفولی* از مرکز تحقیقات خاک و آب تهران و گونه‌های *فانلی‌فورمیس موسه‌آ* و *ریزوفاگوس ایریگولاریس* نیز از شرکت زیست فناور توران شاهرود تهیه گردید. مقدار مصرف زادمایه قارچی ۵۰ گرم در هر جعبه بود که به‌طور یکنواخت در عمق ۵ سانتی‌متری از سطح خاک پخش گردید و روی آن مقدار کافی خاک ریخته شد، به‌طوری‌که زادمایه قارچی در عمق ۱ سانتی‌متری زیر بذرها قرار گرفت. برای تیمارهای داری مایه‌زنی مشترک هر دو گونه قارچی از مقدار ۲۵ گرم از هر گونه استفاده شد (۷ و ۱۷) لازم به ذکر است که برای تیمارهای شاهد به‌منظور یکسان کردن شرایط کشت به‌میزان ۵۰ گرم زادمایه قارچی استریل شده استفاده گردید. برای استریل کردن قارچ، نمونه قارچ موردنظر به‌مدت ٤٠ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد در اتوکلاو مرطوب (مدل Zirbus LTA400) برای از بین بردن ریزجانداران قرار گرفت (۱). بذر شبدر برسیم قبل از کاشت با باکتری رایزوبیوم *لگومینوزاروم تریفولی* آغشته گردید. برای این منظور بذرها به‌مدت ۱۰ دقیقه در محلول هیپوکلرید سدیم ۵ درصد قرار گرفتند و بلافاصله چندین بار با آب مقطر شسته شدند (٦١). سپس بذر مورد نیاز هر تیمار در پتری‌دیش ریخته شده و ۱۰ میلی‌لیتر زاد مایه باکتری رایزوبیوم *لگومینوزاروم تریفولی* به هر نمونه اضافه شد و به‌منظور تکمیل مایه‌زنی باکتریایی بذرها به‌مدت ۳۰ دقیقه در زاد مایه باقی ماندند. در هر میلی‌لیتر جمعیت باکتری رایزوبیوم *لگومینوزاروم تریفولی* (cfu/ml[1]) $10^{8}$-$10^{7}$ بود (٦١). در هر جعبه به‌طور یکسان ۲ گرم بذر کشت شد. گیاهان در دمای ۱۲-۲۵ درجه سانتی‌گراد و طول روشنایی ١٤- ۱۲ ساعت در روز رشد کردند. در طی دوره رشد، آبیاری جعبه‌ها با آب مقطر در حد رطوبت ظرفیت مزرعه انجام شد. برای این منظور جعبه‌ها در فاصله زمانی هر دو روز یک‌بار توزین شده و آب از دست رفته تا رسیدن جعبه‌ها به وزن نهایی (وزن خاک در ظرفیت مزرعه+ وزن جعبه) اضافه گردید.

عملیات داشت به‌مدت سه ماه انجام و در پایان دوره رشد بخش هوایی و ریشه گیاه برداشت شدند. سپس نمونه‌های گیاهی ابتدا با آب مقطر شسته و در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد در آون به‌مدت ۷۲ ساعت خشک گردید و وزن خشک بخش هوایی و ریشه گیاه به‌وسیله ترازوی دیجیتالی تعیین شدند. غلظت نیتروژن گیاه به روش کجلدال (۱۹)، غلظت پتاسیم به‌وسیله فیلم‌فتومتر مدل PFP7 (۱۹) و غلظت فسفر به روش رنگ‌سنجی و به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Cecil serier 2 (۱۹) اندازه‌گیری شدند. 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. داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.4 مورد تجزیه‌وتحلیل آماری قرار گرفتند. در ضمن مقایسه میانگین تیمارهای مختلف با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد صورت گرفت.

1- Colony forming unit



www.SID.ir

Archive of SID



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

**Table 1. The physical and chemical propertises of soil used in this study.**

| Pb | Cd | Mn | Cu | Zn | Fe | K | P | N | EC | pH | texture | Clay | Silt | Sand |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | (mg/kg) | | | | (mg/kg) | | (%) | (µS/cm) | - | - | | (%) | |
| 0.24 | 0.06 | 3.15 | 0.84 | 0.026 | 3.5 | 250 | 10 | 0.014 | 150 | 7.60 | loam | 19.5 | 42.3 | 38.2 |

## نتایج و بحث

**اثر متقابل سطوح مختلف کادمیوم و نوع مایه‌زنی بر وزن خشک بخش هوایی و ریشه گیاه:** نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل سطوح مختلف کادمیوم و نوع مایه‌زنی بر وزن خشک بخش هوایی و ریشه گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیش‌ترین وزن خشک بخش هوایی و ریشه در اثر مایه‌زنی مشترک با *فانلی‌فورمیس موسه‌آ* + رایزوبیوم *لگومینوزاروم تریفولی* (MT) و تیمار صفر کادمیوم (Cd0) به‌ترتیب به‌میزان ۷۷/۳۰ و ۱۰/٦٦ گرم در جعبه به‌دست آمدند (جدول ۳). هم‌چنین کم‌ترین وزن خشک بخش هوایی و ریشه در تیمار Cd100 و بدون مایه‌زنی (WI) اندازه‌گیری شدند (جدول ۳).

نتایج نشان داد که بیش‌ترین وزن خشک بخش هوایی و ریشه به‌میزان ۳/۰۲ و ۳/٤٦ برابر نسبت به تیمار Cd100 و بدون مایه‌زنی (WI) کاهش یافتند. با افزایش غلظت کادمیوم خاک از وزن خشک بخش هوایی و ریشه کاسته شد. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در تیمار Cd0 و Cd100 تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مایه‌زنی مشترک *فانلی‌فورمیس موسه‌آ* + رایزوبیوم *لگومینوزاروم تریفولی* (MT)، مایه‌زنی مشترک *ریزوفاگوس ایریگولاریس* + رایزوبیوم *لگومینوزاروم تریفولی* (IT) و مایه‌زنی مشترک هر سه گونه ریزجانداران (MIT) نبود ولی در سطح یکسان از آلودگی خاک به کادمیوم، تأثیر مایه‌زنی مشترک *فانلی‌فورمیس موسه‌آ* + رایزوبیوم *لگومینوزاروم تریفولی* (MT) در کاهش تأثیر سوء کادمیوم بیش‌تر بود. این نتایج نشان داد که مایه‌زنی مشترک قارچ و باکتری تأثیر بیش‌تری از مایه‌زنی جداگانه آن‌ها در کاهش اثر سوء آلودگی گیاه به کادمیوم دارد.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر وزن خشک و غلظت کادمیوم بخش هوایی و ریشه گیاه.

**Table 2. The analysis of variance of data showing the effects of treatments on dry weights and cadmium concentrations in aerial parts and roots of plant.**

| منابع تغییرات Source of variation | درجه آزادی df | میانگین مربعات MS | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | وزن خشک بخش هوایی Dry weight of aerial part | وزن خشک ریشه Dry weight of root | کادمیوم بخش هوایی Cd in aerial part | کادمیوم ریشه Cd in root |
| سطوح کادمیوم Cadmium levels | 4 | 395.92** | 58.30** | 351.19** | 908.72** |
| نوع مایه‌زنی Inoculation type | 7 | 117.12** | 18.73** | 5.08** | 13.36** |
| سطوح کادمیوم × نوع مایه‌زنی Cadmium levels× Inoculation type | 28 | 10.34** | 1.47** | 0.55** | 1.34** |
| خطا Error | 80 | 2.12 | 0.42 | 0.07 | 0.38 |
| درصد ضریب تغییرات Coefficient of Variations (%) | - | 11.71 | 11.04 | 6.93 | 9.16 |

** و * به‌ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار و ns اختلاف معنی‌دار نیست.

** and * significant at 1% and 5% and ns not significant respectively.



www.SID.ir

Archive of SID



تبریزی و همکاران (۲۰۱٤) نشان دادند که با افزایش غلظت فلز سنگین سرب و کادمیوم در خاک میزان رشد و عملکرد گیاه رزماری کاهش یافت؛ اما مایه‌زنی گیاه با قارچ مایکوریز باعث افزایش عملکرد در شرایط تنش فلزات سنگین شد و میزان رشد و عملکرد را در چنین شرایطی بهبود بخشید (۵۷). آدیول و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی اثرات قارچ‌های مایکوریزی بر توانایی گیاه‌پالایی آفتابگردان در خاک‌های آلوده به عناصر سنگین سرب و کادمیوم نشان دادند که قارچ مایکوریز با کم کردن معنی‌دار میزان جذب عناصر کادمیوم و سرب در ریشه‌های خشک آفتابگردان مقاومت گیاه آفتابگردان به آلودگی را افزایش داده و میزان عملکرد این گیاه را افزایش داد (۲).

زالوسکا (۲۰۱۰) تأثیر تلقیح گیاه یولاف با قارچ مایکوریزی (*Glomus* spp) را بر عملکرد گیاه در خاک آلوده به سرب، نیکل و کادمیوم مورد بررسی قرار داد. نتایج او نشان داد که وزن ریشه گیاهان رشد کرده در خاک آلوده به فلزات سنگین به‌طور متوسط ٦٤ درصد و طول ریشه به‌طور متوسط ٤٧ درصد نسبت به ریشه گیاهان شاهد (بدون آلودگی) کاهش یافت؛ اما تلقیح گیاه با قارچ مایکوریزی تا حدودی شرایط تنش فلزات سنگین را تعدیل و رشد گیاه را بهبود بخشید (٦٢).

لیائولین و همکاران (۲۰۰۳) نشان دادن که مایه‌زنی خاک با قارچ مایکوریز و افزایش سطح کادمیوم خاک سبب افزایش میزان ماده خشک ریشه گیاه در مقایسه با تیمار شاهد شد. هم‌چنین افزایش غلظت مس و کادمیوم خاک موجب افزایش جذب آن‌ها در بخش هوایی و ریشه گیاه نسبت به تیمار شاهد گردید (٤٢).

جوانسکو و همکاران (۲۰۰۷) اثر مایه‌زنی مایکوریز بر انباشت کادمیوم در سه واریته تنباکو را بررسی و گزارش کردند که مایه‌زنی مایکوریز میزان ماده خشک بخش هوایی و غلظت عناصر پرمصرف را در گیاه تنباکو افزایش داد و موجب کاهش جذب کادمیوم در شرایط آلودگی ناشی از این فلز گردید (۲۸). سمیت کادمیوم باعث اختلال در فعالیت آنزیم‌ها شده و کادمیوم از تشکیل آنتوسیانین و رنگ‌دانه‌های کلروفیل ممانعت می‌کند درنتیجه رشد و نمو گیاه را کاهش می‌دهد (۳۰). پژوهشگران مشاهده کردند که غلظت بالای کادمیوم با ایجاد برهمکنش باعث کاهش جذب عناصر غذایی شده و با ایجاد ترکیبات فسفات و نیترات کادمیوم جذب عناصر پرمصرف را نیز کاهش داده و کاهش شاخص‌های رشد و به دنبال آن کاهش عملکرد گیاه را موجب می‌شود (۱۰ و ۲۳). کاهش عملکرد در اثر سمیت کادمیوم در ارقام گندم گزارش شده که دلیل آن تأثیر کادمیوم بر کم شدن فتوسنتز بوده است (۳۷).

**اثر متقابل سطوح مختلف کادمیوم و نوع مایه‌زنی بر غلظت کادمیوم بخش هوایی و ریشه گیاه:** نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثر متقابل کادمیوم و نوع مایه‌زنی بر غلظت کادمیوم بخش هوایی و ریشه گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. کم‌ترین غلظت کادمیوم بخش هوایی و ریشه در اثر مایه‌زنی با *فانلی‌فورمیس موسه‌آ* + رایزوبیوم *لگومینوزاروم تریفولی* و تیمار صفر کادمیوم (Cd0) به‌ترتیب میزان ۰/۰۰۱۲ و ۰/۰۰٤٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمدند. هم‌چنین بیش‌ترین غلظت کادمیوم بخش هوایی و ریشه در تیمار Cd100 و بدون مایه‌زنی به‌ترتیب به‌میزان ۱۱/۲۵ و ۱۷/۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شدند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که غلظت کادمیوم در ریشه بیش‌تر از بخش هوایی است و غلظت کادمیوم ریشه در تیمار Cd100 و بدون



www.SID.ir

Archive of SID



مایه‌زنی تقریباً ۱/٦ برابر غلظت کادمیوم بخش هوایی است. هم‌چنین در یک غلظت یکسان از کادمیوم، مایه‌زنی ریزجانداران مختلف موجب کاهش غلظت کادمیوم در بخش هوایی و ریشه نسبت به تیمار بدون مایه‌زنی شد ولی مایه‌زنی مشترک با *فانلی‌فورمیس موسه‌آ* + رایزوبیوم *لگومینوزاروم تریفولی* تأثیر بیش‌تری در کاهش غلظت کادمیوم بخش هوایی و ریشه داشت. در تیمار Cd100، مایه‌زنی مشترک با *فانلی‌فورمیس موسه‌آ* + رایزوبیوم *لگومینوزاروم تریفولی* موجب کاهش ۲۷/۸۲ و ۲۲/۸٦ درصدی غلظت کادمیوم بخش هوایی و ریشه نسبت به تیمار بدون مایه‌زنی شد. هم‌چنین در تیمار Cd50، مایه‌زنی مشترک با *فانلی‌فورمیس موسه‌آ* + رایزوبیوم *لگومینوزاروم تریفولی* موجب کاهش ۳۲/۲۷ و ۳٤/۹۲ درصدی غلظت کادمیوم بخش هوایی و ریشه نسبت به تیمار بدون مایه‌زنی گردید.

لاگروف و همکاران (۱۹۷۰)، اثر متقابل بین میزان کادمیوم کل خاک و محتوای کادمیوم در گیاه را برای گیاه نخود و کلم بررسی کردند و بیان نمودند که با افزایش میزان کادمیوم خاک بر غلظت کادمیوم در گیاهان فوق افزوده شد (٤۰). جانسکوا و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که مایه‌زنی با قارچ‌های مایکوریزی در خاک آلوده به کادمیوم، غلظت این عنصر را در ساقه گیاه توتون کاهش داد (۲۸). بریسیل و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که غلظت کادمیوم بخش هوایی گیاه لوبیا در حضور قارچ مایکوریز افزایش یافت ولی غلظت کادمیوم در بذر لوبیا در حضور قارچ‌های مایکوریز نسبت به تیمار بدون قارچ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (۹). آندراده و همکاران (۲۰۰٤) نشان دادند در خاک‌های آلوده به عناصر سنگین، مایه‌زنی با قارچ‌های مایکوریزی جذب این عناصر را در گیاه سویا افزایش دادند و این عناصر در ریشه‌ها تجمع یافتند و کم‌تر به بخش هوایی و بذرها انتقال یافتند (۵). جونر و لیوال (۱۹۹۷) نیز گزارش کردند که همزیستی قارچ‌های مایکوریز با ریشه گیاه شبدر سبب افزایش جذب کادمیوم در ریشه و کاهش انتقال آن از ریشه به بخش هوایی شد که دلیل آن را به فعال شدن موانع بیولوژیکی در مقابل اثرات سمی کادمیوم نسبت دادند (۳۱).

آدیول و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی تأثیر قارچ مایکوریزی بر توان گیاه‌پالایی آفتابگردان در خاک آلوده به عناصر سنگین سرب و کادمیوم نشان دادند که این قارچ‌ها غلظت این عناصر را در گیاه آفتابگردان به‌طور معنی‌داری کاهش و تحمل این گیاه به آلودگی را افزایش دادند (۲). اگرچه نتایج آزمایش‌های انجام یافته در زمینه قارچ‌های مایکوریزی و فلزات سنگین، متنوع و وابسته به شرایط آزمایش ازجمله ویژگی‌های بستر رشد، نوع گیاه و گونه قارچ همزیست می‌باشد ولی به‌طورکلی به‌نظر می‌رسد قارچ مایکوریز قادر به تعدیل سمیت ایجاد شده توسط فلز سنگین برای گیاه باشند (۱۱). سازوکار دیگر گیاه برای تحمل فلزات سنگین ممکن است، شامل رقیق‌شدگی از طریق افزایش رشد ساقه یا ریشه، دفع و ترسیب به داخل گرانول‌های پلی‌فسفات و قسمت‌بندی آن‌ها در داخل پلاستیدها و دیگر ارگان‌های غشادار باشد (۲۲). ریسه‌های قارچ‌های مایکوریز، فلزات سنگین را درون خود نگه‌داشته و باعث کاهش غلظت آن‌ها در داخل گیاه میزبان و مسمومیت کم‌تر آن می‌شود و از این طریق به تحمل تنش توسط گیاه کمک می‌کنند (۱۸).



www.SID.ir

Archive of SID



**جدول ۳- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سطوح کادمیوم و نوع مایه‌زنی بر وزن خشک بخش هوایی و ریشه و غلظت کادمیوم گیاه.**

**Table 3. Comparison of interactions between cadmium levels and inoculation type on dry weights of aerial parts and roots and Cd concentrations in plant.**

| کادمیوم ریشه Cd in root | کادمیوم بخش هوایی Cd in aerial part | وزن خشک ریشه Dry weight of root | وزن خشک بخش هوایی Dry weight of aerial part | نوع مایه‌زنی Inoculation type | سطوح کادمیوم Cadmium levels |
|---|---|---|---|---|---|
| (mg/kg) | | (g/pot) | | | (mg/kg) |
| $0.035^{q}$ | $0.0022^{t}$ | $4.09^{m-q}$ | $28.76^{mno}$ | WI | Control (0) |
| $0.0098^{q}$ | $0.0020^{t}$ | $6.06^{f-i}$ | $42.92^{c-i}$ | I | |
| $0.0079^{q}$ | $0.0019^{t}$ | $7.34^{cde}$ | $51.02^{b-e}$ | M | |
| $0.0056^{q}$ | $0.0015^{t}$ | $8.61^{b}$ | $74.53^{a}$ | T | |
| $0.0078^{q}$ | $0.0018^{t}$ | $8.48^{bc}$ | $68.27^{a}$ | MI | |
| $0.0049^{q}$ | $0.0014^{t}$ | $10.21^{a}$ | $75.26^{a}$ | IT | |
| $0.0046^{q}$ | $0.0012^{t}$ | $10.66^{a}$ | $77.3^{a}$ | MT | |
| $0.0061^{q}$ | $0.0016^{t}$ | $8.52^{bc}$ | $71.72^{a}$ | MIT | |
| $4.24^{mn}$ | $1.8^{q}$ | $5.78^{h-l}$ | $40.01^{f-l}$ | WI | 10 |
| $3.55^{n}$ | $1.4^{qr}$ | $5.83^{g-k}$ | $40.48^{e-k}$ | I | |
| $2.34^{o}$ | $1.1^{rs}$ | $5.87^{g-k}$ | $41.07^{d-j}$ | M | |
| $1.60^{op}$ | $0.88^{s}$ | $7.35^{cde}$ | $51.57^{bcd}$ | T | |
| $1.90^{op}$ | $0.96^{rs}$ | $5.99^{g-j}$ | $42.76^{c-i}$ | MI | |
| $1.56^{op}$ | $0.86^{rs}$ | $7.49^{b-e}$ | $52.5^{bc}$ | IT | |
| $1.02^{qp}$ | $0.82^{s}$ | $8.36^{bcd}$ | $57.83^{b}$ | MT | |
| $1.89^{op}$ | $0.91^{s}$ | $6.51^{e-h}$ | $45.77^{c-g}$ | MIT | |
| $7.3^{gi}$ | $4.6^{l}$ | $3.38^{pq}$ | $27.02^{no}$ | WI | 25 |
| $6.6^{jk}$ | $3.8^{m}$ | $5.6^{h-l}$ | $37.1^{g-n}$ | I | |
| $6.5^{jk}$ | $3.32^{n}$ | $5.6^{h-l}$ | $37.37^{fn}$ | M | |
| $5.8^{lk}$ | $2.7^{op}$ | $7.04^{e-g}$ | $46.19^{c-g}$ | T | |
| $6.2^{ljk}$ | $3.13^{no}$ | $5.67^{h-l}$ | $38.65^{f-m}$ | MI | |
| $5.46^{lk}$ | $2.6^{p}$ | $7.2^{def}$ | $47.97^{b-f}$ | IT | |
| $5^{lm}$ | $2.5^{p}$ | $7.24^{def}$ | $50.89^{b-e}$ | MT | |
| $5.89^{lk}$ | $2.77^{op}$ | $6.47^{e-h}$ | $44.16^{c-h}$ | MIT | |
| $12.6^{f}$ | $7.56^{g}$ | $3.5^{o-q}$ | $26.67^{mno}$ | WI | 50 |
| $11.8^{f}$ | $6.9^{h}$ | $3.55^{o-q}$ | $27.75^{mno}$ | I | |
| $11.67^{f}$ | $6.51^{hi}$ | $4.00^{n-q}$ | $28.46^{mno}$ | M | |
| $9.8^{g}$ | $5.2^{j}$ | $4.64^{k-o}$ | $32.64^{i-o}$ | T | |
| $10.56^{g}$ | $6.4^{i}$ | $4.23^{m-q}$ | $29.93^{k-o}$ | MI | |
| $8.4^{h}$ | $5.19^{k}$ | $5.3^{h-m}$ | $34.91^{h-o}$ | IT | |
| $8.2^{hi}$ | $5.12^{k}$ | $5.35^{h-m}$ | $36.68^{g-n}$ | MT | |
| $10.24^{g}$ | $5.9^{j}$ | $4.36^{k-p}$ | $31.43^{j-o}$ | MIT | |
| $17.8^{a}$ | $11.25^{a}$ | $3.08^{q}$ | $25.55^{o}$ | WI | 100 |
| $16.60^{b}$ | $10.20^{b}$ | $3.65^{o-q}$ | $27.77^{mno}$ | I | |
| $15.80^{bc}$ | $9.66^{c}$ | $4.13^{m-q}$ | $29.18^{l-o}$ | M | |
| $14.30^{de}$ | $8.88^{ed}$ | $4.75^{j-o}$ | $32.21^{i-o}$ | T | |
| $15.30^{cd}$ | $9.29^{cd}$ | $4.29^{m-q}$ | $30.26^{j-o}$ | MI | |
| $13.8^{e}$ | $8.5^{ed}$ | $4.95^{i-n}$ | $33.27^{i-o}$ | IT | |
| $13.73^{e}$ | $8.12^{f}$ | $5.16^{i-n}$ | $33.53^{h-o}$ | MT | |
| $14.60^{de}$ | $9.2^{cd}$ | $4.56^{l-p}$ | $30.61^{j-o}$ | MIT | |

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون چنددامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

In each column, means with similar letters don't have significantly different in probability level of 5%, from the view point of Duncan's multiple range tests.



www.SID.ir

Archive of SID



**اثر متقابل سطوح مختلف کادمیوم و نوع مایه‌زنی بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم بخش هوایی و ریشه گیاه:** نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ٤) نشان داد که اثر متقابل سطوح مختلف کادمیوم و نوع مایه‌زنی بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم بخش هوایی و ریشه گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند. بیش‌ترین غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم بخش هوایی و ریشه در اثر مایه‌زنی مشترک *فالی‌فورمیس موسه‌آ* + رایزوبیوم *لگومینوزاروم تریفولی* (MT) و تیمار صفر کادمیوم (Cd0) به‌دست آمدند. هم‌چنین کم‌ترین غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم بخش هوایی و ریشه در تیمار Cd100 و بدون مایه‌زنی (WI) اندازه‌گیری شدند (جدول ٥). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در ریشه گیاه بیش‌تر از بخش هوایی بود. با افزایش غلظت کادمیوم خاک از غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم بخش هوایی و ریشه کاسته شد. همچنین مایه‌زنی با قارچ و باکتری موجب کاهش اثر سوء کادمیوم در جذب عناصر غذایی توسط گیاه نسبت به تیمار بدون مایه‌زنی شد. در تیمار مایه‌زنی مشترک *فالی‌فورمیس موسه‌آ* + رایزوبیوم *لگومینوزاروم تریفولی* (MT) و تیمار صفر کادمیوم (Cd0)، غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم ریشه به‌ترتیب ۱۷/۷۷، ۷۲/۵۸ و ۸٦/۳٤ درصد بیش‌تر از غلظت این عناصر در بخش هوایی بود.

**جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم بخش هوایی و ریشه گیاه.**

**Table 4. The analysis of variance of data showing the effects of treatments on N, P and K in aerial parts and roots of plant.**

| منابع تغییرات Source of variation | درجه آزادی df | میانگین مربعات MS | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | نیتروژن بخش هوایی N in aerial part | نیتروژن ریشه N in root | فسفر بخش هوایی P in aerial part | فسفر ریشه P in root | پتاسیم بخش هوایی K in aerial part | پتاسیم ریشه K in root |
| سطوح کادمیوم Cadmium levels | 4 | 10.306** | 9.53** | 0.2** | 1.14** | 9.86** | 9.76** |
| نوع مایه‌زنی Inoculation type | 7 | 5.20** | 4.51** | 0.06** | 0.24** | 3.78** | 4.26** |
| سطوح کادمیوم × نوع مایه‌زنی Cadmium levels× Inoculation type | 28 | 0.39** | 0.32** | 0.004** | 0.03** | 0.23** | 1.18** |
| خطا Error | 80 | 0.052 | 0.08 | 0.001 | 0.0008 | 0.025 | 0.022 |
| درصد ضریب تغییرات Coefficient of Variations (%) | - | 6.07 | 5.8 | 8.92 | 6.11 | 8.12 | 6.73 |

** و * به‌ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار و ns اختلاف معنی‌دار نیست.

** and * significant at 1% and 5% and ns not significant respectively.



www.SID.ir

Archive of SID



**جدول ۵- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سطوح کادمیوم و نوع مایه‌زنی بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم بخش هوایی و ریشه گیاه.**

**Table 5. Comparison of interactions between cadmium levels and inoculation type on N, P and K concentrations in aerial parts and roots of plant.**

| پتاسیم ریشه K in root | پتاسیم بخش هوایی K in aerial part | فسفر ریشه P in root | فسفر بخش هوایی P in aerial part | نیتروژن ریشه N in root | نیتروژن بخش هوایی N in aerial part | نوع مایه‌زنی Inoculation type | سطوح کادمیوم Cadmium levels |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| % | | | | | | | mg/kg |
| 1.51$^{n-p}$ | 1.22$^{klm}$ | 0.26 $^{klm}$ | 0.29 $^{ij}$ | 4.20 $^{k-n}$ | 2.91$^{mno}$ | WI | Control (0) |
| 2.27$^{f-h}$ | 2.00$^{efg}$ | 0.55 $^{h}$ | 0.47 $^{c-g}$ | 5.03 $^{f-h}$ | 4.1 $^{e-h}$ | I | |
| 2.56$^{def}$ | 2.57$^{bcd}$ | 0.73$^{f}$ | 0.5 $^{b-f}$ | 5.26 $^{def}$ | 4.32 $^{def}$ | M | |
| 2.82$^{cd}$ | 3.66$^{a}$ | 0.93$^{b}$ | 0.55 $^{a-c}$ | 5.96 $^{bc}$ | 4.88 $^{c}$ | T | |
| 2.77$^{de}$ | 2.85$^{b}$ | 0.85 $^{bc}$ | 0.52 $^{bcd}$ | 5.88 $^{bc}$ | 4.59 $^{cd}$ | MI | |
| 3.68$^{b}$ | 3.66$^{a}$ | 0.93$^{b}$ | 0.57 $^{ab}$ | 6.36 $^{b}$ | 5.33 $^{b}$ | IT | |
| 6.82$^{a}$ | 3.66$^{a}$ | 1.07$^{a}$ | 0.62 $^{a}$ | 7.29 $^{a}$ | 6.19 $^{a}$ | MT | |
| 2.82$^{cd}$ | 2.87$^{b}$ | 0.86$^{c}$ | 0.54 $^{abc}$ | 5.89 $^{bc}$ | 4.85 $^{c}$ | MIT | |
| 2.1$^{h-l}$ | 1.94$^{e-h}$ | 0.41$^{i}$ | 0.46 $^{c-g}$ | 4.9 $^{f-i}$ | 3.93 $^{f-i}$ | WI | 10 |
| 2.12$^{h-l}$ | 1.97$^{efg}$ | 0.52$^{h}$ | 0.46 $^{c-g}$ | 4.98 $^{f-h}$ | 3.96 $^{f-i}$ | I | |
| 2.15$^{g-k}$ | 1.97$^{efg}$ | 0.54$^{h}$ | 0.46 $^{c-g}$ | 5.00 $^{f-h}$ | 3.96 $^{f-i}$ | M | |
| 2.56$^{def}$ | 2.72$^{bc}$ | 0.77$^{fe}$ | 0.51 $^{b-e}$ | 5.66 $^{cde}$ | 4.33 $^{def}$ | T | |
| 2.25$^{f-j}$ | 1.98$^{efg}$ | 0.54$^{h}$ | 0.46 $^{c-g}$ | 5.02 $^{f-h}$ | 3.97 $^{f-i}$ | MI | |
| 2.59$^{def}$ | 2.79$^{bc}$ | 0.78$^{def}$ | 0.51 $^{bcd}$ | 5.72 $^{cd}$ | 4.33 $^{def}$ | IT | |
| 2.74$^{de}$ | 2.8$^{b}$ | 0.83$^{cde}$ | 0.51 $^{bcd}$ | 5.72 $^{cd}$ | 4.54 $^{cde}$ | MT | |
| 2.48$^{d-g}$ | 2.3$^{de}$ | 0.56$^{h}$ | 0.49 $^{b-f}$ | 5.16 $^{efg}$ | 4.13 $^{e-h}$ | MIT | |
| 1.15$^{qr}$ | 0.61$^{o}$ | 0.17$^{no}$ | 0.22 $^{jk}$ | 3.12 $^{o}$ | 1.96 $^{q}$ | WI | 25 |
| 2.02$^{i-l}$ | 1.74$^{f-i}$ | 0.33$^{ijk}$ | 0.42 $^{e-h}$ | 4.79 $^{f-j}$ | 3.85 $^{g-j}$ | I | |
| 2.06$^{i-l}$ | 1.91$^{f-h}$ | 0.35$^{ij}$ | 0.43 $^{d-g}$ | 4.85 $^{f-i}$ | 3.91 $^{f-i}$ | M | |
| 2.5$^{d-g}$ | 2.41$^{cd}$ | 0.57$^{h}$ | 0.5 $^{b-f}$ | 5.18 $^{efg}$ | 4.16 $^{d-g}$ | T | |
| 2.09$^{h-l}$ | 1.94$^{e-h}$ | 0.35$^{ij}$ | 0.44 $^{d-g}$ | 4.88 $^{f-i}$ | 3.93 $^{f-i}$ | MI | |
| 2.51$^{d-g}$ | 2.41$^{cd}$ | 0.64$^{g}$ | 0.5 $^{b-f}$ | 5.21 $^{def}$ | 4.17 $^{d-g}$ | IT | |
| 2.53$^{def}$ | 2.49$^{bcd}$ | 0.66$^{g}$ | 0.5 $^{b-f}$ | 5.24 $^{def}$ | 4.19 $^{d-g}$ | MT | |
| 2.42$^{e-h}$ | 0.02$^{ef}$ | 0.55$^{h}$ | 0.48 $^{c-g}$ | 5.15 $^{efg}$ | 4.13 $^{e-h}$ | MIT | |
| 1.26$^{pq}$ | 0.85$^{no}$ | 0.23$^{nm}$ | 0.25 $^{i-k}$ | 3.7 $^{n}$ | 2.48 $^{p}$ | WI | 50 |
| 1.39$^{o-q}$ | 1.02$^{mn}$ | 0.24$^{m}$ | 0.27 $^{i-k}$ | 4.08 $^{mn}$ | 2.7 $^{op}$ | I | |
| 1.51$^{n-q}$ | 1.93$^{k-n}$ | 0.25$^{lm}$ | 0.29 $^{ij}$ | 4.18 $^{ln}$ | 2.9 $^{mno}$ | M | |
| 1.87$^{j-m}$ | 1.55$^{h-k}$ | 0.3$^{j-m}$ | 0.33 $^{hi}$ | 4.56 $^{h-m}$ | 3.48 $^{jk}$ | T | |
| 1.6$^{m-p}$ | 1.36$^{i-m}$ | 0.$^{28}$$^{j-m}$ | 0.3 $^{ij}$ | 4.24 $^{j-m}$ | 3.02 $^{mno}$ | MI | |
| 1.94$^{i-m}$ | 1.69$^{f-i}$ | 0.32$^{jkl}$ | 0.41 $^{f-h}$ | 4.74 $^{f-k}$ | 3.83 $^{g-j}$ | IT | |
| 2.02$^{i-l}$ | 1.69$^{f-i}$ | 0.32$^{jkl}$ | 0.42 $^{e-h}$ | 4.77 $^{f-j}$ | 3.84 $^{g-j}$ | MT | |
| 18.2$^{k-n}$ | 1.5$^{i-l}$ | 0.29$^{j-m}$ | 0.33 $^{hi}$ | 4.56 $^{h-m}$ | 3.29 $^{klm}$ | MIT | |
| 0.92$^{r}$ | 0.25$^{p}$ | 0.16$^{o}$ | 0.2 $^{k}$ | 2.9 $^{o}$ | 1.58 $^{r}$ | WI | 100 |
| 1.64$^{n-q}$ | 0.14$^{l-n}$ | 0.26$^{k-m}$ | 0.27 $^{i-k}$ | 4.1 $^{lmn}$ | 2.83 $^{np}$ | I | |
| 1.58$^{m-p}$ | 0.27$^{j-m}$ | 0.27$^{k-m}$ | 0.3 $^{ij}$ | 4.22 $^{klm}$ | 3.03$^{m-o}$ | M | |
| 1.88$^{j-m}$ | 1.55$^{h-k}$ | 0.3$^{j-m}$ | 0.33 $^{hi}$ | 4.59 $^{h-m}$ | 3.64 $^{ijk}$ | T | |
| 1.64$^{mno}$ | 1.46$^{i-l}$ | 0.28$^{j-m}$ | 0.3 $^{ij}$ | 4.35 $^{i-m}$ | 3.06 $^{mno}$ | MI | |
| 1.88$^{j-m}$ | 1.61$^{g-j}$ | 0.3$^{j-m}$ | 0.34 $^{hi}$ | 4.63 $^{g-m}$ | 3.65 $^{ijk}$ | IT | |
| 1.89$^{j-m}$ | 1.66$^{f-i}$ | 0.31$^{j-m}$ | 0.4 $^{gh}$ | 4.65 $^{g-l}$ | 3.69 $^{h-k}$ | MT | |
| 1.75$^{l-o}$ | 1.47$^{i-l}$ | 0.28$^{j-m}$ | 0.31 $^{ij}$ | 4.38 $^{i-m}$ | 3.16 $^{lmn}$ | MIT | |

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون چنددامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

In each column, means with similar letters don't have significantly different in probability level of 5%, from the view point of Duncan's multiple range tests.



www.SID.ir

Archive of SID



نتایج بیش‌تر پژوهش‌ها نشان داده است که همزیستی مایکوریزی باعث افزایش جذب عناصر غذایی غیرمتحرک مانند فسفر و روی در گیاهان می‌شود (۳). بررسی محدوده تخلیه فسفر در خاک‌های آهکی توسط شبدر سفید نشان داد که به‌دلیل رشد سریع هیف‌ها در گیاهان همزیست با قارچ مایکوریزی فاصله منبع فسفر جذب شده از مرکز ریشه گیاه ۱۱/۷ سانتی‌متر است درحالی‌که در گیاهان شاهد این فاصله ۱ سانتی‌متر می‌باشد (٤۱). در حقیقت هیف‌های مایکوریز در پیرامون ریشه گیاه گسترش یافته و فسفر را از نقاطی که دورتر از ریشه قرار دارند، جذب می‌کنند. وجود قارچ مایکوریز در محیط رشد گیاه ذرت موجب افزایش ۱۱۵ درصدی جذب فسفر شد (۳۹). پژوهشگران دلیل این امر را افزایش سطح جذب ریشه گیاه به‌دلیل توسعه مایسلیوم‌های خارجی قارچ مایکوریز در خاک و هم‌چنین افزایش جذب فسفر به‌وسیله هیف قارچ‌های مایکوریزی بیان کردند. آزمون مزرعه‌ای صورت گرفته بر روی گیاه ذرت نشان داده است که در تیمار مایه‌زنی شده با گونه‌های بومی مایکوریز، جذب پتاسیم در گیاه میزبان بیش‌تر از گیاه شاهد بوده است (٤٤). جیانگ و همکاران (۲۰۰٤) نشان دادند که با افزایش سطوح کادمیوم خاک، غلظت فسفر در شاخساره گیاه اسفناج افزایش یافت. آن‌ها بیان کردند که غشای پلاسمایی سلول‌های ریشه تحت‌تأثیر غلظت‌های سمی کادمیوم آسیب‌دیده و نفوذپذیری آن تغییر پیدا می‌کند (۲۹). مک‌لاگین و همکاران (۱۹۹۹) و حقیری (۱۹۷٤) بیان کردند که سمیت کادمیوم ممکن است باعث کمبود فسفر یا بروز مشکلات مربوط به انتقال فسفر در گیاه گردد (۲٦ و ٤٥).

نتایج لورنز و همکاران (۲۰۰٦) نشان داد که عناصر سمی مانند کادمیوم بر فعالیت‌های میکروبی خاک تأثیر منفی داشته، سبب غیرفعال شدن آن‌ها و در نهایت منجر به مختل شدن چرخه عناصر غذایی می‌شوند (٤۳) ولی بروون و دیتز (۱۹۹۵) در آزمایشی تغییر در غلظت فسفر و پتاسیم گیاه جو تحت تنش کادمیوم را مشاهده نکردند (۱۳). کاشم و کاوایی (۲۰۰۷) بیان کردند که کادمیوم و فسفر با یکدیگر برهمکنش منفی داشته و سمیت کادمیوم سبب کاهش غلظت فسفر در شاخساره و تجمع آن در ریشه گیاه شد (۳٦). ناروال و همکاران (۱۹۹۳) کاهش جذب عناصر نیتروژن و فسفر در ریشه ذرت را در حضور کادمیوم گزارش نمودند (٤۹). نوسیتو و همکاران (۲۰۰۲) بیان کردند که کادمیوم جذب پتاسیم توسط ریشه را کاهش داد اما بر جذب فسفر تأثیری نداشت (۵۰). سیکو و همکاران (۲۰۰٤) بیان نمودند که کادمیوم مقدار پتاسیم بخش هوایی و ریشه ذرت و جو را افزایش داد ولی مقدار پتاسیم ریشه کم‌تر از بخش هوایی بود (۱۵). مینگی و همکاران (۱۹۹۸) بیان کردند افزودن کادمیوم به محیط رشد کلم، چاودار، ذرت و شبدر سفید، کاهش عملکرد و افزایش تجمع فسفر در ریشه را به دنبال داشته است (٤٦).

آرام و گلچین (۲۰۱۳) تأثیر قارچ *فانلی‌فورمیس موسه‌آ* بر غلظت نیتروژن در گیاه شبدر را در خاک آلوده به کادمیوم مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که سطوح کادمیوم و قارچ *فانلی‌فورمیس موسه‌آ* تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر غلظت نیتروژن گیاه داشته‌اند. تلقیح گیاه با قارچ *فانلی‌فورمیس موسه‌آ* غلظت نیتروژن در ریشه و بخش هوایی گیاه را به‌ترتیب ۳۰ و ٤۰/۳۰ درصد نسبت به تیمار شاهد (بدون تلقیح با قارچ) افزایش داد (٦). کانوال و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که تلقیح گیاه یونجه با قارچ مایکوریزی در خاک‌های تحت تنش فلزات سنگین روی و کادمیوم غلظت عناصر غذایی نیتروژن، پتاسیم، فسفر، کلسیم، منیزیم و آهن را در



www.SID.ir

Archive of SID



قسمت شاخه گیاه نسبت به تیمارهای شاهد (بدون تلقیح با قارچ) افزایش و در قسمت ریشه گیاه کاهش داد (۳٤). در مطالعه دیگری کانوال و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که تلقیح گیاه گندم با قارچ مایکوریزی باعث افزایش جذب عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم)، کلروفیل، کاروتن، پروتئین و قند در مقایسه با گیاهان شاهد (بدون تلقیح) شد (۳۵).

## نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش مشاهده گردید که با افزایش سطح آلودگی در خاک از رشد گیاه کاسته شده و غلظت عناصر غذایی پرمصرف در بخش هوایی و ریشه نیز کاهش یافت. مایه‌زنی خاک با مخلوط قارچ‌های AM و باکتری توانست اثر سوء آلودگی خاک به کادمیوم را بر رشد گیاه شبدر کاهش دهد. هم‌چنین مایه‌زنی جداگانه قارچ‌های AM نیز نسبت به تیمار بدون مایه‌زنی باعث کاهش غلظت کادمیوم در بخش هوایی و ریشه شد ولی استفاده هم‌زمان از قارچ‌های AM و باکتری رایزوبیوم تأثیر بیش‌تری در کاهش غلظت کادمیوم بخش هوایی و ریشه گیاه داشت. با توجه به نتایج این مطالعه در تأثیر مایه‌زنی قارچ و باکتری در کاهش اثر سوء کادمیوم در سطوح بالا (Cd100) می‌توان در خاک‌های آلوده به کادمیوم برای کاهش اثر سوء این فلز سنگین و افزایش عملکرد گیاه شبدر از مایه‌زنی مشترک *فانلی‌فورمیس موسه‌آ* + رایزوبیوم *لگومینوزاروم تریفولی* استفاده نمود.

## منابع


1. Abdollahi, S., and Golchin, A. 2018. Biomass Production and Cadmium Accumulation and Translocation in Three Varieties of Cabbage. Iran. J. Soil Water Res. 49: 2. 243-259. (In Persian)
2. 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. J. Agric. Sci. 55: 1. 17-28.
3. Al-Karaki, G.N. 2000. Growth of mycorrhizal tomato and mineral acquisition under salt stress. Mycorrhiza. 10: 2. 51-54.
4. Amini, M., Abbaspour, K.C., Khademi, H., Fathianpour, N., Afyuni, M., and Schulin, R. 2005. Neural network models to predict cation exchange capacity in arid regions of Iran. Europ. J. Soil Sci. 56: 4. 551-559.
5. Andrade, S.A.L., Abreu, C.A., de-Abreu, M.F., and Silveria, A.P.D. 2004. Influence of lead analysis of the Foregs Geochemical database. Geoderma. 148: 184-199.
6. Aram, H., and Golchin, A. 2013. The effects of arbuscular mycorrhizal fungi on nitrogen concentration of berseem clover in contaminated soil with cadmium. J. Chem. Health Risk. 3: 2. 35-38.
7. Ashraf, H., Zakizadeh, H., Ehtesham, M.R., and Biglouei, M.H. 2018. Effect of mycorrhiza fungi on morphological, physiological and biochemical characteristics of four cool Season grass genera under drought stress conditions. Iran. J. Hort. Sci. 48: 4. 855-873. (In Persian)
8. Barker, A.V., and Pilbeam, D.J. 2015. Handbook of Plant Nutrition. CRC press. 773p.
9. 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. J. Exp. Bot. 53: 371. 1177-1185.




www.SID.ir

Archive of SID



10. Benavides, M.P., Gallego, S.M., and Tomaro, M.L. 2005. Cadmium toxicity in plants. Brazil. J. Plant Physiol. 17: 1. 21-34.
11. Biro, I., and Takács, 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.
12. Bolan, N.S., Adriano, D.C., Mani, P.A., and Duraisamy, A. 2003. Immobilization and phytoavailability of cadmium in variable charge soils. II. Effect of lime addition. Plant and Soil. 251: 2. 187-198.
13. Brune, A., and Dietz, K.J. 1995. A comparative analysis of element composition of roots and leaves of barley seedlings grown in the presence of toxic cadmium, molybdenum, nickel, and zinc concentrations. J. Plant Nutr. 18: 4. 853-868.
14. Carrasco, J.A., Armario, P., Pajuelo, E., Burgos, A., Caviedes, M.A., López, R., and Palomares, A.J. 2005. Isolation and characterisation of symbiotically effective Rhizobium resistant to arsenic and heavy metals after the toxic spill at the Aznalcollar pyrite mine. Soil Biology and Biochemistry. 37: 6. 1131-1140.
15. Ciećko, Z., Kalembasa, S., Wyszkowski, M., and Rolka, E. 2004. Effect of soil contamination by cadmium on potassium uptake by plants. J. Environ. Stud. 13: 3. 333-337.
16. Damodaran, D., Suresh, G., and Mohan, R. 2011. Bioremediation of soil by removing heavy metals using Saccharomyces cerevisiae. In 2nd International Conference on Environmental Science and Technology. Singapore.
17. Dehghanian, H., Halajnia, A., Lakzian, A., and Astaraei, A.R. 2017. Uptake of Micronutrients Affected by Earthworms (*Eisenia fetida*) and Arbuscular Mycorrhizal Fungi (*Funneliformis mosseae*) Interaction by Corn. Applied Soil Research. 6: 2. 70-83.
18. Entry, J.A., Cromack Jr, K., Stafford, S.G., and Castellano, M.A. 1987. The effect of pH and aluminum concentration on ectomycorrhizal formation in Abies balsamea. Can. J. For. Res. 17: 8. 865-871.
19. Estefan, G. 2017. Methods of Soil, Plant, and Water Analysis: A Manual for the West Asia and North Africa Region. 244p.
20. Facchinelli, A., Sacchi, E., and Mallen, L. 2001. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. J. Environ. Poll. 114: 3. 313-324.
21. Gadd, G.M. 2000. Bioremedial potential of microbial mechanisms of metal mobilization and immobilization. Current Opinion in Biotechnology. 11: 271-279.
22. Galli, U., Schüepp, H., and Brunold, C. 1994. Heavy metal binding by mycorrhizal fungi. Physiologia Plantarum. 92: 2. 364-368.
23. Ghasemi, Z., and Shahabi, A.A. 2010. The effect of cadmium on physiological indices, growth parameters and nutrient concentration in tomato in soilless culture. J. Sci. Technol. Greenhouse Cul. 1: 2. 55-66. (In Persian)
24. Gildon, A.A., and Tinker, P.B. 1983. Interactions of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection and heavy metals in plants. New Phytologist. 95: 2. 247-261.
25. Glick, B.R. 2003. Phytoremediation: synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment. Biotechnology Advances. 21: 5. 383-393.
26. Haghiri, F. 1974. Plant uptake of cadmium as influenced by cation exchange capacity, organic matter, zinc, and soil temperature. J. Environ. Qual. 3: 2. 180-183.
27. Hamurcu, M., Özcan, M.M., Dursun, N., and Gezgin, S. 2010. Mineral and heavy metal levels of some fruits grown at the roadsides. Food and Chemical Toxicology. 48: 6. 1767-1770.
28. Janoušková, M., Vosátka, M., Rossi, L., and Lugon-Moulin, N. 2007. Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on cadmium accumulation by different tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) types. Applied Soil Ecology. 35: 3. 502-510.



www.SID.ir

Archive of SID



29.Jiang, X.J., Luo, Y.M., Liu, Q., Liu, S.L., and Zhao, Q.G. 2004. Effects of cadmium on nutrient uptake and translocation by Indian mustard. Environmental Geochemistry and Health. 26: 2. 319-324.
30.Johansen, A., Jakobsen, I., and Jensen, E.S. 1994. Hyphal N transport by a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus associated with cucumber grown at three nitrogen levels. Plant and Soil. 160: 1. 1-9.
31.Joner, E.J., and Leyval, C. 1997. Uptake of $^{109}$Cd by roots and hyphae of a *Glomus mosseae*/*Trifolium subterraneum* mycorrhiza from soil amended with high and low concentrations of cadmium. The New Phytologist. 135: 2. 353-360.
32.Kabata-Pendias, A. 2001. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press Inc. Boca Raton. 548p.
33.Kang, C.H., Kwon, Y.J., and So, J.S. 2016. Bioremediation of heavy metals by using bacterial mixtures. Ecological Engineering. 89: 64-69.
34.Kanwal, S., Bano, A., and Malik, R.N. 2015a. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on metals uptake, physiological and biochemical response of *Medicago sativa* L. with increasing Zn and Cd concentrations in soil. Amer. J. Plant Sci. 6: 18. 2906-2923.
35.Kanwal, S., Bano, A., and Malik, R.N. 2015b. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on wheat growth, physiology, nutrition and cadmium uptake under increasing cadmium stress. Inter. J. Agron. Agric. Res. 7: 5. 30-42.
36.Kashem, M.A., and Kawai, S. 2007. Alleviation of cadmium phytotoxicity by magnesium in Japanese mustard spinach. Soil Science and Plant Nutrition. 53: 3. 246-251.
37.Khan, A.G. 2005. Role of soil microbes in the rhizospheres of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation. J. Trace Elem. Med. Biol. 18: 4. 355-364.
38.Khan, A.G. 2006. Mycorrhizo remediation an enhanced form of phytoremediation. J. Zhejiang Univ. Sci. 7: 7. 503-514. (With English abstract)
39.Kothari, S.K., Marschner, H., and Römheld, V. 1991. Contribution of the VA mycorrhizal hyphae in acquisition of phosphorus and zinc by maize grown in a calcareous soil. Plant and Soil. 131: 2. 177-185.
40.Lagerwerff, J.V., and Specht, A.W. 1970. Contamination of roadside soil and vegetation with cadmium, nickel, lead, and zinc. Environmental Science and Technology. 4: 7. 583-586.
41.Li, X.L., George, E., and Marschner, H. 1991. Extension of the phosphorus depletion zone in VA-mycorrhizal white clover in a calcareous soil. Plant and Soil. 136: 1. 41-48.
42.Liao Lin, X.G., Cao, Z.H., Shi, Y.Q., and Wong, M.H. 2003. Interactions between arbuscular mycorrhizae and heavy metals under sand culture experiment. Chemosphere. 509: 6. 847-853.
43.Lorenz, N., Hintemann, T., Kramarewa, T., Katayama, A., Yasuta, T., Marschner, P., and Kandeler, E. 2006. Response of microbial activity and microbial community composition in soils to long-term arsenic and cadmium exposure. Soil Biology and Biochemistry. 38: 6. 1430-1437.
44.Lu, S., and Miller, M.H. 1989. The role of VA mycorrhizae in the absorption of P and Zn by maize in field and growth chamber experiments. Can. J. Soil Sci. 69: 1. 97-109.
45.McLaughlin, M.J., Parker, D.R., and Clarke, J.M. 1999. Metals and micronutrients food safety issues. Field Crops Research. 60: 1-2. 143-163.
46.Mingjie, Y., Xianyong, L., and Xiaoer, Y. 1998. Impact of Cd on growth and nutrient accumulation of different plant species. Yingyong Shengtai Xuebao. 9: 1. 89-94. (With English abstract)
47.Mirsal, I.A. 2008. Planning and Realisation of Soil Remediation. In: I.A. Mirsal. Soil Pollution, Pp: 220-239. Springer, Berlin, Heidelberg.
48.Mottaghi1, D., Homaee, M., and Rahnemaie, R. 2014. Applying Multicropping System to Phytoremediate Cadmium Contaminated Soils by Using Natural and Synthetic Chelates. Environmental Sciences. 13: 2. 75-88.



www.SID.ir

Archive of SID



49. Narwal, R.P., Singh, M., and Singh, M. 1993. Effect of cadmium and zinc application on quality of maize. Ind. J. Plant Physiol. 36: 170-170.
50. Nocito, F.F., Pirovano, L., Cocucci, M., and Sacchi, G.A. 2002. Cadmium-induced sulfate uptake in maize roots. Plant Physiology. 129: 4. 1872-1879.
51. Pajuelo, E., Rodríguez-Llorente, I.D., Lafuente, A., and Caviedes, M.A. 2011. Legume–rhizobium symbioses as a tool for bioremediation of heavy metal polluted soils. In Biomanagement of metal-contaminated soils. Springer Netherlands. Pp: 95-123.
52. Reichman, S.M. 2007. The potential use of the legume-rhizobium symbiosis for the remediation of arsenic contaminated sites. Soil Biology and Biochemistry. 39: 2587-2593.
53. Rezakhani, L., Golchin, A., and Shafiei, S. 2012. Effect of different rates of Cd and Cu on growth and chemical composition of spinach. J. Agron. Plant Breed. 8: 7. 1-14.
54. Sadeghi, S., Ostan, S., Najafi, N., Valizadeh, M., and Monirifar, H. 2017. Effects of Cadmium and Zinc Interactions on Growth and Chemical Composition of Corn (*Zea mays* cv. single cross). J. Water Soil. 31: 2. 460-477.
55. Salardeni, A. 1993. Principles of Plant Nutrition. Fundamental Aspects, Second Edition, Tehran University Press. 344p.
56. Sun, Y., Zhou, Q., Xie, X., and Liu, R. 2010. Spatial, sources and risk assessment of heavy metal contamination of urban soils in typical regions of Shenyang, China. J. Hazard. Mater. 174: 1-3. 455-462.
57. Tabrizi, L., Mohammadi, S., Delshad, M., Moteshare Zadeh, B. 2014. The Effect of *Arbuscular mycorrhizal* fungi on growth and yield of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) under lead and cadmium stress. Environmental Sciences. 13: 2. 37-48.
58. Vassilev, A., Vangronsveld, J., and Yordanov, I. 2003. Cadmium phytoextraction: present state, biological interactions and research needs. Bulgarian Academy of Sciences. 28: 3-4. 68-95.
59. Verma, P., George, K.V., Singh, H.V., and Singh, R.N. 2007. Modeling cadmium accumulation in radish, carrot, spinach and cabbage. Applied Mathematical Modelling. 31: 8. 1652-1661.
60. Weissenhorn, I., Mench, M., and Leyval, C. 1995. Bioavailability of heavy metals and arbuscular mycorrhiza in a sewage-sludge-amended sandy soil. Soil Biology and Biochemistry. 27: 3. 287-296.
61. Younesi, O., Poustini, K., Chaichi, M.R., and Pourbabaie, A.A. 2012. Effect of growth promoting Rhizobacteria on germination and early growth of two alfalfa cultivars under salinity stress condition. J. Crop Improv. 14: 2. 83-97.
62. Zalewska, M. 2010. Effect of soil contamination by lead, nickel and cadmium and VA-Mycorrhizal fungi on yield and heavy metal concentration in roots and aboveground biomass of oat. Ecological Chemistry and Engineering. A. 17: 4-5. 541-548.
63. Zhu, Y., Christie, P., and Laidlaw, A.S. 2001. Uptake of Zn by arbuscular mycorrhizal white clover from Zn-contaminated soil. Chemosphere. 42: 2. 193-199.



www.SID.ir

Archive of SID

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 9(4), 2020
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

# Effect of inoculation with Arbuscular Mycorrhizal Fungi and *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii* on yield of Berseem Clover (*Trifolium alexandrium*) under cadmium stress

**L. Qasemifar[1], *A. Golchin[2] and F. Rakhsh[3]**
[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, University of Zanjan, [2]Professor, Dept. of Soil Science, University of Zanjan, [3]Ph.D. Graduate, Dept. of Soil Science, University of Zanjan
Received: 02.28.2019; Accepted: 07.21.2019

**Abstract**

**Background and Objectives:** 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. It enters the food chains of humans and animals easily and is a potential threat to human health. The increase of contaminated areas in the country and the existence of farms under cultivation of various forages and the use of these forage products in the animal feed led to this study was carried out with the aim of investigating the effects of arbuscular mycorrhizal fungi and *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii* on the yield of berseem clover (*Trifolium alexandrium*) under cadmium stress.

**Materials and Methods:** A factorial experiment was conducted in the greenhouse of Faculty of Agriculture, University of Zanjan, using a completely randomized design with 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 *Funneliformis mosseae*, *Rhizophagus irregularis*, *Funneliformis mosseae* + *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii*, *Rhizophagus irregularis* + *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii*, *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii*, *Funneliformis mosseae* + *Rhizophagus irregularis* and *Funneliformis mosseae* + *Rhizophagus irregularis* + *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii*) on growth of berseem clover (*Trifolium alexandrium*) were assessed.

**Results:** The results of this study showed a significant effect (1% and 5% probability level) due to soil cadmium levels on dry weights and N, P, K and Cd concentrations of aerial parts and roots of berseem clover. The dry weights and N, P and K concentrations of aerial parts and roots of berseem clover decreased as the levels of soil Cd increased. The highest dry weights of aerial parts and roots, N, P and K concentrations were measured in treatment co-inoculated with *Funneliformis mosseae* and *Rhizobium leguminosarum* bv. *Trifolii* and without Cadmium. Also, the lowest dry weights of aerial parts and roots and macronutrient concentrations were observed in treatment 100 mg Cd/kg and without inoculation with microorganism. Soil contamination with Cd decreased the dry weight of aerial parts and roots by 66.49 and 71.11%, respectively. 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 with microorganism and the lowest Cd concentrations in aerial parts and roots were 0.0012 and 0.0046 mg/kg in treatment co-inoculated with *Funneliformis mosseae* and *Rhizobium leguminosarum* bv. *Trifolii* and without Cadmium. The results of the mean comparison of data showed that the Cd concentration in the roots was higher than the aerial parts, and in treatment 100 mg Cd/kg without inoculation with microorganism, Cd concentration of roots was 36.8% higher than the Cd concentration in aerial parts.

* Corresponding Author; Email: agolchin2011@yahoo.com



www.SID.ir

Archive of SID

**Conclusion:** Based on the results obtained from this study with the increase in Cd levels of soil, the dry weights and N, P and K concentrations of aerial parts and roots of berseem clover decreased. Soil inoculation with mixture of fungi and bacteria reduced the effect of Cd stress on the growth of clover. Also, the separate inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi also reduced the concentration of Cd in the aerial parts and roots. According to the results of this study, in contaminated soils can be used co-inoculated with *Funneliformis mosseae* and *Rhizobium leguminosarum* bv. *Trifolii* to reduce the Cd concentration and increase the yield of plants.

***Keywords:*** *Funneliformis mosseae*, Heavy metal, *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii*, *Rhizophagus irregularis*, Soil Pollution



www.SID.ir