



نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد چهارم، شماره سوم، ۱۳۹۳
<http://ejms.gau.ac.ir>



تأثیر ترکیب کودهای شیمیایی و زیستی بر میزان کادمیوم و پارامترهای رشدی گیاه دارویی شنبلیله در یک خاک آلوده به کادمیوم

منیر نظری^۱، * سیف‌اله فلاح^۲، شهرام کیانی^۳ و جلال جلیلیان^۴

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه زراعت، دانشگاه شهرکرد، دانشجویار گروه زراعت، دانشگاه شهرکرد،

^۲استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهرکرد، ^۳استادیار گروه زراعت، دانشگاه ارومیه

تاریخ دریافت: ۹۲/۳/۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۱

چکیده

گیاهان مهم‌ترین منبع ورود کادمیوم به زنجیره غذایی انسان هستند و این عنصر در رژیم غذایی ممکن است تهدیدی جدی برای سلامت انسان باشد. از این رو، تأثیر مایه تلقیح باکتری ازتوباکتر (*Azotobacter chroococcum*)، قارچ همزیست میکوریزا (*Glomus intraradices*) و سولفات روی بر غلظت کادمیوم و پارامترهای رشدی گیاه دارویی شنبلیله (*Trigonella foenum gracum* L.) در یک خاک آلوده به کادمیوم مورد ارزیابی قرار گرفت. این آزمایش در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. ۸ تیمار کودی شامل شاهد (مصرف نکردن کود)؛ اوره؛ اوره + سولفات روی؛ اوره + ازتوباکتر؛ اوره + میکوریزا؛ اوره + سولفات روی + ازتوباکتر؛ اوره + سولفات روی + میکوریزا؛ اوره + سولفات روی + میکوریزا + ازتوباکتر بودند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین مقدار ارتفاع بوته، وزن تر برگ، وزن تر ساقه و وزن تر اندام هوایی با کاربرد ازتوباکتر + اوره حاصل شد ولی با تیمار میکوریزا + سولفات روی + اوره تفاوت معنی‌داری نداشت. کم‌ترین غلظت کادمیوم (۰/۰۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نیز در تیمارهای ازتوباکتر + اوره و سولفات روی + میکوریزا + اوره حاصل شد ($P \leq 0/05$). کاربرد هم‌زمان دو منبع بیولوژیک به همراه سولفات روی در مقایسه با تیمارهای فقط دارای کودهای شیمیایی از رشد رویشی مناسب و غلظت کادمیوم به‌نسبت پایینی برخوردار بود. به‌طور کلی کاربرد ازتوباکتر در تولید شنبلیله علاوه بر افزایش عملکرد می‌تواند در جلوگیری از انتقال کادمیوم به رژیم غذایی انسان نیز مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: ازتوباکتر، زنجیره غذایی، فلز سنگین، محصول سالم، میکوریزا

* مسئول مکاتبه: falah1357@yahoo.com

مقدمه

در بین فلزات سنگین، کادمیوم به دلیل تحرک و پویایی زیاد در خاک و جذب توسط گیاه، دارای سمیت قابل توجه و نیمه عمر زیستی حدود ۲۰ سال می باشد و ورود آن به زنجیره غذایی ممکن است تهدیدی جدی برای سلامت انسان باشد (هال، ۲۰۰۲؛ جیل و همکاران، ۲۰۱۱). این عنصر نه تنها برای گیاه ضروری نیست بلکه هیچ گونه عملکرد بیولوژیک شناخته شده ای هم ندارد (کلمنس، ۲۰۰۱؛ موسکار، ۲۰۰۷) و حتی در غلظت های خیلی کم برای سلول های گیاهی سمی می باشد. این عنصر در غلظت های بیش تر از ۱۰-۵ میکروگرم بر گرم ماده خشک گیاه برای بسیاری از گیاهان سمی می باشد (وایت و برون، ۲۰۱۰). عنصر کادمیوم برای کلروپلاست و میتوکندری بسیار سمی بوده و باعث کاهش رشد گیاه از طریق کاهش شدت فتوسنتز و افزایش تنفس نوری می گردد (لمریوکس و چنی، ۱۹۷۸).

استفاده طولانی مدت و بیش از حد کودهای فسفاته در زمین های کشاورزی همراه با کاربرد مکرر علف کش ها و آفت کش ها (سولیتو و همکاران، ۲۰۱۰) و همچنین استفاده از فاضلاب در منطقی مختلف برای آبیاری مزارع و نشت های کارخانه ها باعث آلوده شدن زمین های زراعی با کادمیوم شده است (جهادی خانکی و اسلامی، ۲۰۰۷) و این آلودگی از طریق گیاهان که مهم ترین منبع ورود کادمیوم به زنجیره غذایی انسان هستند می تواند بر سلامت جامعه تأثیر زیادی داشته باشد (ساتاریوگ و همکاران، ۲۰۰۲). طبق گزارش سازمان بهداشت جهانی مقدار مجاز کادمیوم در رژیم غذایی هفتگی انسان ۷ میکروگرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن و حداکثر مقدار مجاز این عنصر در رژیم غذایی روزانه انسان ۰/۱ میلی گرم در لیتر است. همچنین این سازمان حد مجاز کادمیوم برای حیوانات را ۲۰-۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم گزارش کرده است (آنونیم، ۱۹۹۲؛ کاباتا و پن دیاس، ۲۰۰۱). گزارش شده است که اسفناج، سویا، شاهی، کاهو، ذرت، هویج، شلغم، لوبیا، گندم، تربچه، گوجه فرنگی، کدو، کلم و برنج به ترتیب حساس ترین گیاهان به سمیت کادمیوم می باشند (داویس و کالتون-اسمیت، ۱۹۸۰).

امروزه مصرف بیش تر گیاهان دارویی به شکل های مختلف مورد توجه قرار گرفته و مصرف آن ها به شدت در حال افزایش است (ارنست، ۲۰۰۲). شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) گیاهی علفی یک ساله متعلق به خانواده لگوم ها و یکی از این گیاهان دارویی ارزشمند است که دانه و قسمت های هوایی آن قرن ها به عنوان منبع ارزشمندی از پروتئین در تغذیه انسان و دام و در طب سنتی برای درمان سل مورد مصرف بوده است. اثرات درمانی زیادی از جمله اثر ضد درد، ضد التهاب،

منبر نظری و همکاران

ضدنفخ، ضدسرطان، پایین آورنده قند خون، افزایش دهنده میل جنسی، قابض، مقوی قلب، صفرا آور، ملین، خلط آور، کاهش دهنده کلسترول خون، کاهش دهنده چربی خون، کاهش دهنده پرفشاری خون، کاهش دهنده تری گلیسرید خون، شیرافزایی، مسهل، مقوی رحم از این گیاه گزارش شده است (آلتونس و همکاران، ۲۰۰۵؛ ماندگاری و همکاران، ۲۰۱۲).

متأسفانه در اذهان عمومی و گاهی حتی افراد آشنا با گیاهان این باور وجود دارد که گیاهان دارویی به صرف طبیعی بودن عاری از هر گونه عوارض جانبی هستند (دی سمت و همکاران، ۱۹۹۲). این در حالی است که جذب بیش از حد کادمیوم توسط گیاهان دارویی که بیش تر به صورت مستقیم مورد استفاده انسان قرار می گیرند از نظر مخاطرات سلامتی برای انسان اهمیت به سزایی دارد (هایون و همکاران، ۱۹۹۸). زیرا کادمیوم در بدن انسان باعث تخریب کلیه ها و بافت های کبد و سرطان زایی می شود (سرمدی و همکاران، ۲۰۱۱).

مصرف بخش های رویشی گیاه شنبلیله در رژیم غذایی مردم کشور رایج می باشد. این در حالی است که تولید این محصول در شرایط خاک های کشور که سطوح بالایی از آلودگی کادمیوم در آن ها گزارش شده است (یارقلی و همکاران، ۲۰۰۹)، انجام می گیرد و از طرفی، کادمیوم موجود در خاک می تواند توسط گیاه جذب و علاوه بر ریشه در برگ ها نیز تجمع یابد (داویس و کالتون - اسمیت، ۱۹۸۰؛ لارسون و همکاران، ۱۹۹۸). بنابراین بررسی واکنش رشد گیاه شنبلیله و میزان کادمیوم آن در چنین شرایطی بسیار ضروری می باشد. از این رو، در این مطالعه اثر ترکیب کودهای بیولوژیک و شیمیایی بر میزان کادمیوم و پارامترهای رشدی گیاه دارویی شنبلیله در یک خاک آلوده به کادمیوم مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش ها

این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ انجام گردید. ۸ تیمار کودی شامل شاهد (مصرف نکردن کود)؛ اوره؛ اوره + سولفات روی؛ اوره + ازتوباکتر؛ اوره + میکوریزا؛ اوره + سولفات روی + ازتوباکتر؛ اوره + سولفات روی + میکوریزا؛ اوره + سولفات روی + میکوریزا + ازتوباکتر بودند. قبل از انجام آزمایش، ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایشگاه تعیین شد (جدول ۱).

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد (۴)، شماره (۳) ۱۳۹۳

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده.

بافت	قابلیت هدایت الکتریکی	اسیدیته	نیترژن کل	فسفر قابل دسترس	پتاسیم قابل دسترس	روی قابل دسترس	کادمیوم قابل دسترس
-	دسی زیمنس بر متر	-	درصد	میلی گرم بر کیلوگرم	میلی گرم بر کیلوگرم	میلی گرم بر کیلوگرم	میلی گرم بر کیلوگرم
لوم رسی	۰/۶۴۶	۸/۱۵	۰/۰۵۹	۶۳	۳۱۸	۰/۴۸	۰/۷۳

۱۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک گلدان به عنوان غلظت نهایی کادمیوم در نظر گرفته شد. برای این منظور با توجه به موجودی خاک (جدول ۱)، تیمار کادمیوم به میزان ۲۷/۹ میلی گرم در کیلوگرم خاک از منبع کلرید کادمیوم ($CdCl_2 \cdot H_2O$) از طریق اسپری کردن به طور کامل با خاک هر گلدان مخلوط گردید.

در تیمارهای دارای اوره، با توجه به نتایج آزمون خاک ۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم از منبع اوره به صورت پیش کاشت و سرک یکنواخت به خاک اضافه شد. در تیمارهای دارای سولفات روی، با هدف امکان کاهش انتقال کادمیوم خاک به گیاه مقدار ۱۵ میلی گرم روی بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات روی به صورت پیش کاشت یکنواخت با خاک مخلوط و اضافه شد. قارچ میکوریزا آربوسکولار (*Glomus intraradices*) و باکتری ازتوباکتر کروکوکوم (*Azotobacter chroococcum*) مورد استفاده به ترتیب از شرکت زیست فناوران توران و شرکت مهر آسیا تهیه شدند. برای تلقیح بذرها ابتدا مایه تلقیح باکتری (با میزان 10^8 تعداد سلول زنده در هر میلی لیتر)، تهیه نموده سپس در شرایط سایه این مایه تلقیح به بذرها اضافه و به خوبی مخلوط شد. سپس بذرها درون پاکت‌های کاغذی جداگانه منتقل شد و برای خشک شدن به مدت ۲ ساعت در همان محل (سایه) قرار گرفتند (رضوانی مقدم و مرادی، ۲۰۱۲). در تیمارهای دارای میکوریزا، مقدار ۱۵۰-۱۰۰ گرم مایه تلقیح از قارچ مورد نظر به هر گلدان اضافه و سپس با خاک سطحی مخلوط گردید.

در نیمه اردیبهشت بذرهای شنبلیله با تراکم بالا (۵۰ بذر در گلدان) در عمق ۳-۵ کشت شدند و سپس در مرحله ۶-۴ برگی به ۴۰ بوته در گلدان کاهش یافتند. اولین آبیاری پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی به فاصله هر ۳-۴ روز یکبار تا آخر دوره رشد انجام شد. آفت و بیماری خاصی در طول دوره رشد مشاهده نشد. ۲ ماه پس از کاشت که هم‌زمان با مرحله برداشت گیاه شنبلیله برای

منبر نظری و همکاران

مصارف سبزی (اوایل گلدهی) تمام گیاهان موجود در گلدان‌ها برداشت شد و سپس میانگین ارتفاع بوته، وزن تر برگ، وزن تر ساقه، وزن تر اندام‌های هوایی، غلظت روی و غلظت کادمیوم اندازه‌گیری شد. برای تعیین غلظت روی و کادمیوم در اندام هوایی گیاه (امامی، ۱۹۹۶). غلظت روی و کادمیوم در عصاره تهیه شده توسط اسید کلریدریک ۲ نرمال به وسیله دستگاه جذب اتمی مدل 932 plus GBC اندازه‌گیری گردید (امامی، ۱۹۹۶).

تجزیه واریانس داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS به صورت طرح کاملاً تصادفی انجام شد (سس، ۲۰۰۴). مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت. ضرایب همبستگی بین صفات نیز محاسبه گردید.

نتایج

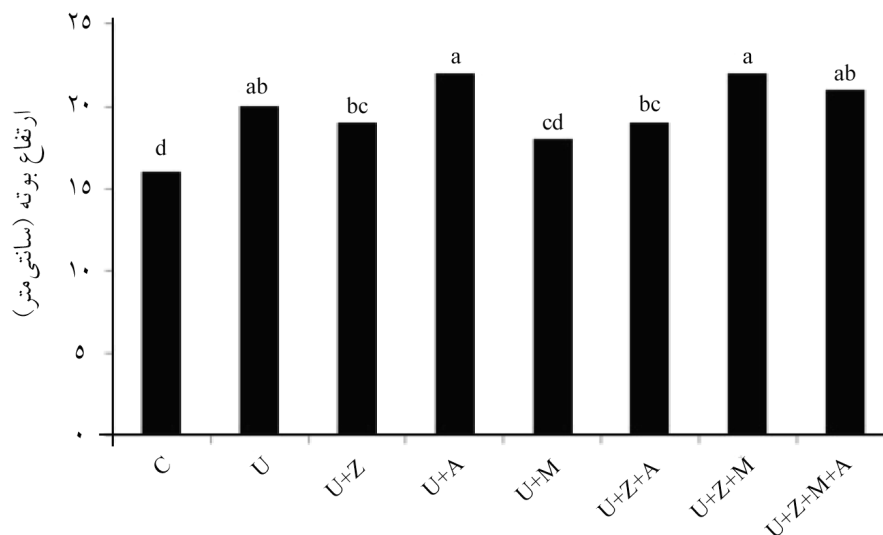
ارتفاع بوته: همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود ارتفاع بوته در خاک‌های آلوده به کادمیوم بوته تحت تأثیر کوددهی قرار گرفت ($P \leq 0/05$). در تیمارهای کودی به استثنای اوره + میکوریزا ارتفاع بوته در مقایسه با شاهد بیش تر بود و به‌طور کلی تیمار اوره جداگانه و یا تیمارهای دارای ازتوباکتر برتری معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها داشتند (شکل ۱).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات کودهای بیولوژیک و شیمیایی بر ارتفاع بوته، وزن تر برگ و وزن تر ساقه گیاه شنبلیله.

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	وزن تر برگ	وزن تر ساقه
کوددهی	۷	۱۸**	۴۴۱۵۶**	۳۵۲۶۸*
خطای آزمایشی	۱۶	۲	۵۵۶۲	۱۱۰۱۹
ضریب تغییرات (درصد)	۷	۷	۱۰	۲۰

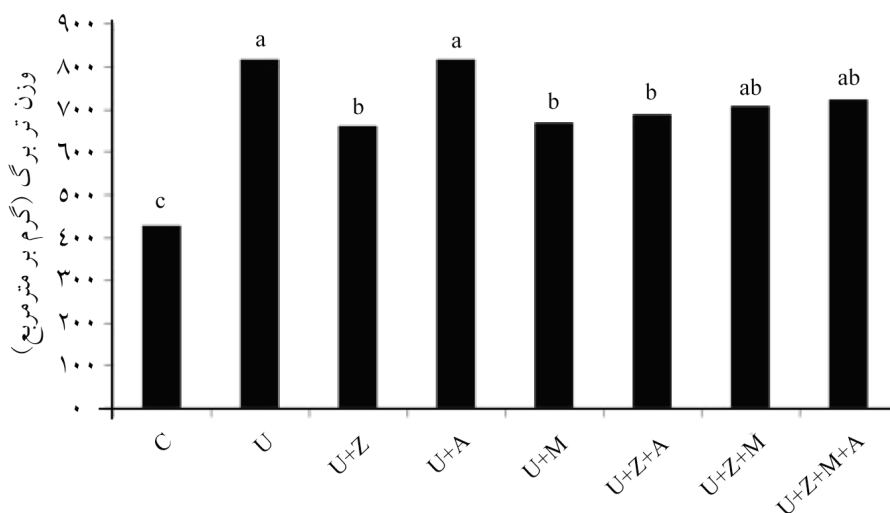
* معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، ** معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد و ^{ns} غیرمعنی‌دار براساس آزمون LSD.

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد (۴)، شماره (۳) ۱۳۹۳



شکل ۱- اثر کودهای بیولوژیک و شیمیایی بر ارتفاع بوته شنبلله. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند. C, U, Z, A و M به ترتیب نشان‌دهنده مصرف نکردن کود، کود اوره، کود سولفات روی، ازتوباکتر و میکوریزا.

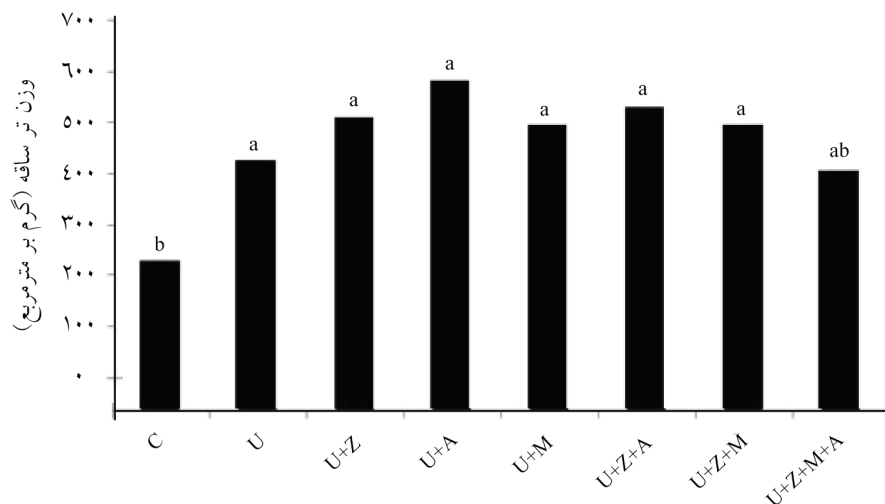
وزن تر برگ: اثر کوددهی در شرایط وجود کادمیوم بر وزن تر برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). همان‌طور که در شکل ۲ نیز مشاهده می‌شود اضافه نمودن کود به خاک توانست وزن تر برگ را به‌طور معنی‌دار تحت‌تأثیر قرار دهد. بیش‌ترین وزن تر برگ در شرایط کاربرد اوره و یا اوره به‌علاوه ازتوباکتر اوره به‌دست آمد ولی اختلاف معنی‌داری با تیمارهای اوره + سولفات روی + میکوریزا و اوره + سولفات روی + ازتوباکتر + میکوریزا نداشتند. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین ارتفاع بوته با وزن تر برگ ($r=0/67^{**}$) نشان‌دهنده آن است که به‌طور کلی، با افزایش ارتفاع بوته به وزن تر برگ افزوده شده است.



شکل ۲- اثر کودهای بیولوژیک و شیمیایی بر وزن تر برگ سنبليله. حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی دار میانگین‌ها براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند. C، U، Z، A و M به ترتیب نشان دهنده مصرف نکردن کود، کود اوره، کود سولفات روی، ازتوباکتر و میکوریزا.

وزن تر ساقه: در جدول تجزیه واریانس مشاهده می‌شود که در خاک‌های آلوده به کادمیوم وزن تر ساقه به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر کوددهی قرار گرفت (جدول ۳). هر چند که وزن تر ساقه در شرایط اضافه کردن کود به خاک نسبت به شاهد برتری معنی‌داری داشت ولی از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بین کودهای مختلف مشاهده نشد (شکل ۳). همبستگی وزن تر ساقه با ارتفاع بوته و وزن تر برگ به ترتیب $0/45^*$ و $0/51^*$ بود. در ظاهر فراهمی شرایط برای افزایش ارتفاع بوته در افزایش وزن تر ساقه نیز مؤثر بوده است.

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد (۴)، شماره (۳) ۱۳۹۳



شکل ۳- اثر کودهای بیولوژیک و شیمیایی بر وزن تر ساقه شنبلله. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند. C، U، Z، A و M به ترتیب نشان‌دهنده مصرف نکردن کود، کود اوره، کود سولفات روی، ازتوباکتر و میکوریزا.

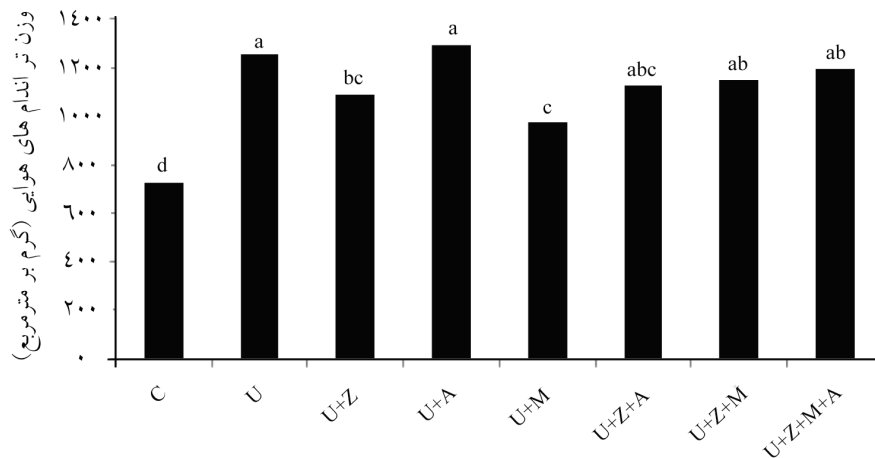
وزن تر اندام‌های هوایی: نتایج جدول ۳ بیانگر آن است که وزن تر اندام هوایی در خاک آلوده به کادمیوم تحت تأثیر کوددهی قرار گرفت ($P \leq 0/01$). اضافه کردن هر نوع کودی به صورت جداگانه و یا تلفیقی موجب افزایش معنی‌دار وزن تر اندام هوایی گردید و در بین تیمارهای کود میزان اثربخشی اوره + سولفات روی و اوره + میکوریزا کم‌تر از سایر کودها بود (شکل ۴). کاهش معنی‌دار وزن تر اندام هوایی در این دو تیمار به‌طور عمده به دلیل کاهش وزن تر برگ آن‌ها بوده است (شکل ۲). بین وزن تر اندام هوایی با ارتفاع بوته ($r=0/7^{**}$)، وزن تر برگ ($r=0/92^{**}$) و وزن تر ساقه ($r=0/43^{**}$) همبستگی مثبت و معنی‌دار مشاهده شد. این نوع همبستگی‌ها می‌تواند ناشی از تأثیر مستقیم و زیاد افزایش ارتفاع بوته و برگ‌های تشکیل شده در این گیاه بر وزن تر اندام‌های هوای آن باشد.

منبر نظری و همکاران

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات کودهای بیولوژیک و شیمیایی بر وزن تر اندام هوایی و غلظت روی و کادمیوم آن در یک خاک آلوده به کادمیوم.

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن تر اندام هوایی	غلظت روی	غلظت کادمیوم
کوددهی	۷	۹۸۷۴۸**	۲۱۹۴**	۰/۰۰۰۴۸*
خطای آزمایشی	۱۶	۹۰۴۷	۱۹	۰/۰۰۰۱۸
ضریب تغییرات (درصد)		۸	۷	۱۱

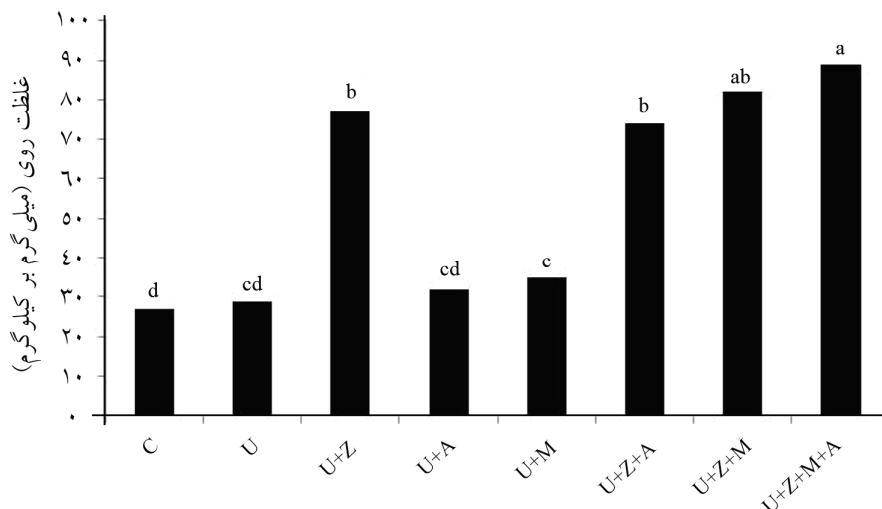
* معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد، ** معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد و ^{ns} غیر معنی دار براساس آزمون LSD.



شکل ۴- اثر کودهای بیولوژیک و شیمیایی بر وزن تر اندام‌های هوایی شنبليله. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی دار میانگین‌ها براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند. C, U, Z, A و M به ترتیب نشان‌دهنده مصرف نکردن کود، کود اوره، کود سولفات روی، ازتوباکتر و میکوریزا.

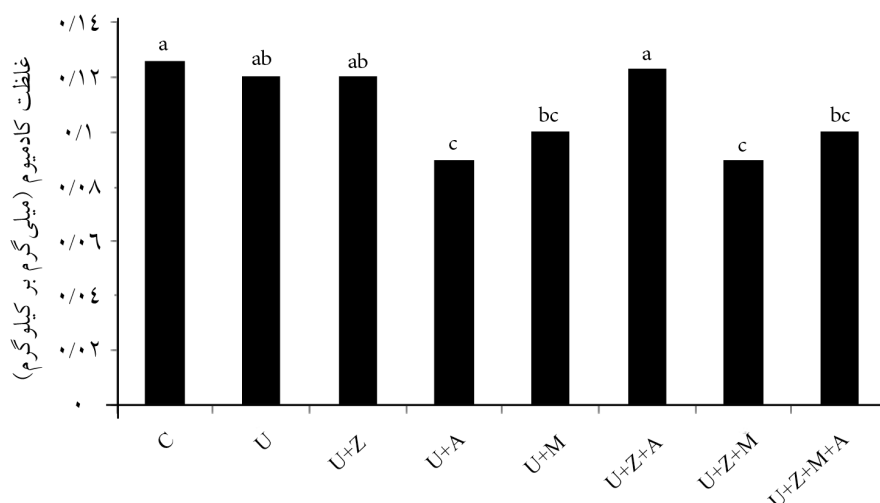
غلظت روی: نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس غلظت روی در اندام هوایی شنبليله بیانگر اختلاف معنی داری تیمارهای مختلف در سطح احتمال ۱ درصد بود (جدول ۳). کاربرد سولفات روی به همراه اوره و یا کودهای بیولوژیک باعث افزایش معنی دار غلظت روی نسبت به شاهد شده است ($P \leq 0/05$). این میزان افزایش در تیمارهای دارای میکوریزا + سولفات روی به طور معنی داری بیش تر از شرایط حضور نداشتن میکوریزا بود (شکل ۵). مشاهده میانگین‌ها در شکل ۵ بیانگر آن است که ازتوباکتر نقش چندانی بر غلظت روی گیاه نداشته است. بین غلظت روی و همه صفات به استثنای غلظت کادمیوم ($r = -0/18$) همبستگی مثبت وجود داشت که معنی دار نبودند.

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد (۴)، شماره (۳) ۱۳۹۳



شکل ۵- اثر کودهای بیولوژیک و شیمیایی بر غلظت روی اندام‌های هوایی شنبلیله. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند. C، U، Z، A و M به ترتیب نشان‌دهنده مصرف نکردن کود، کود اوره، کود سولفات روی، ازتوباکتر و میکوریزا.

غلظت کادمیوم: اثر کودهای بیولوژیک و شیمیایی بر غلظت کادمیوم در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود غلظت کادمیوم در اندام هوایی شنبلیله در شرایط استفاده از کود اوره و یا اوره به‌علاوه سولفات روی نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری نداشتند. این در حالی است که کاربرد ازتوباکتر به همراه اوره به‌طور معنی‌داری غلظت کادمیوم اندام‌های هوایی را کاهش داد و این ترکیب کودی در حضور سولفات روی نتوانست غلظت کادمیوم را کاهش دهد. کاربرد میکوریزا به همراه سولفات روی غلظت کادمیوم اندام هوایی شنبلیله را مشابه ازتوباکتر به‌علاوه اوره کاهش داد ($P \leq 0/05$). همبستگی منفی بین غلظت کادمیوم و ارتفاع بوته ($r = -0/48^*$) بیانگر این امر می‌باشد که تیمارهای دارای غلظت کادمیوم بیش‌تر احتمالاً به‌دلیل اثر سمیت این عنصر از رشد کم‌تری برخوردار بوده‌اند، همچنین بین کادمیوم و وزن تر برگ ($r = -0/27$)، وزن تر ساقه ($r = -0/09$)، وزن تر اندام هوایی ($r = -0/24$) و غلظت روی اندام هوایی ($r = -0/18$) همبستگی منفی وجود داشت که هیچ‌کدام معنی‌دار نبودند.



شکل ۶- اثر کودهای بیولوژیک و شیمیایی بر غلظت کادمیوم شنبلیله. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند. C، U، Z، A و M به ترتیب نشان‌دهنده مصرف نکردن کود، کود اوره، کود سولفات روی، ازتوباکتر و میکوریزا.

بحث

رشد بخش‌های رویشی گیاه به عواملی که برای رشد سریع گیاه مناسب هستند، به‌خصوص عناصر غذایی وابسته است (قاسمی و همکاران، ۲۰۱۲). با اعمال تیمارهای کودی شاخص‌های رشدی حتی در شرایط وجود کادمیوم به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافتند، دلیل این افزایش را می‌توان به منابع کودی مختلف به‌ویژه اوره و کودهای بیولوژیک نسبت داد (شکل‌های ۱ تا ۴). هر چند که وزن تر ساقه در بین تیمارهای کودی تفاوت معنی‌داری نداشت ولی بیش‌ترین میزان ارتفاع بوته و وزن تر برگ‌ها در تیمارهای اوره، اوره + ازتوباکتر، اوره + ازتوباکتر + میکوریزا، اوره + ازتوباکتر + میکوریزا + سولفات روی مشاهده شد، بنابراین معنی‌دار بودن ضرایب همبستگی نیز بیانگر است که افزایش ارتفاع بوته و رشد برگ موجب گردید که بیش‌ترین وزن تر اندام هوایی نیز به‌طور عمده در تیمارهای نام‌برده در بالا به‌دست آید. به‌طور معمول باکتری‌های ازتوباکتر از طریق سنتز هورمون‌های محرک رشد مثل ایندول استیک اسید، جیبرلین‌ها و سیتوکنین‌ها باعث افزایش رشد گیاه، می‌گردند (کارلتی، ۲۰۰۲). همچنین ازتوباکتر، از جمله باکتری هوازی میله‌ای شکل می‌باشد که در منطقه

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد (۴)، شماره (۳) ۱۳۹۳

ریزوسفر ریشه به وفور یافت می‌شود و یکی از نقش‌های اصلی آن تثبیت نیتروژن است. پژوهش‌های وسیعی که در زمینه تعیین سودمندی این باکتری‌ها انجام شده است نشان از این امر دارد که این باکتری‌ها می‌توانند تا ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن تثبیت کنند (هاردی و اسمیت، ۲۰۰۰) ممکن است بخشی از افزایش رشد حاصله در نتیجه تثبیت نیتروژن باشد.

در شرایط وجود کادمیوم نیز حضور هم‌زمان باکتری‌های محرک رشد و میکوریزا علاوه بر جذب بهتر عنصر فسفر از طریق تولید، ترشحات حل‌کننده و در نتیجه کاهش pH باعث افزایش جذب آهن موجب تقویت سیستم فتوسنتزی و در نتیجه افزایش رشد برگ‌ها شده است (ملکزاده و همکاران، ۲۰۱۱). قارچ میکوریزا به‌وسیله افزایش جذب آب، مواد معدنی و تولید هورمون‌های رشد مانند اکسین، سیتوکینین و جیبرلین باعث افزایش بیوماس در گیاه می‌شود (سویفیت، ۲۰۰۴). همزیستی میکوریزایی سبب افزایش پتانسیل جذب ریشه می‌شود و جذب عناصر غذایی از جمله یون‌های فلزی مانند روی و آهن را به‌وسیله گیاه شده و در نتیجه باعث افزایش رشد گیاه می‌شود (کلیرونوموس، ۲۰۰۳). این در حالی است که در شرایط فراهمی روی احتمالاً بخش زیادی از توان این باکتری‌ها صرف جذب عنصر روی شده (رحیمی و همکاران، ۲۰۱۱)، بنابراین در این شرایط باکتری‌ها نتوانسته سمیت کادمیوم را کاهش دهند و در نتیجه کادمیوم رشد گیاه را کاهش داده است (سلطانی‌نژاد و همکاران، ۲۰۱۰). نتایج دیگر آزمایش‌ها بیانگر آن است که قارچ میکوریزا با ایجاد همزیستی با ریشه گیاهان باعث بهبود جذب مواد مغذی به‌خصوص عناصر کم‌حرکی مانند فسفر، روی و مس می‌شود (اورتاس و همکاران، ۲۰۱۱؛ سایا و همکاران، ۲۰۱۲)، بنابراین این مکانیسم احتمالاً در تیمارهای دارای دو کود بیولوژیک در افزایش اجزای رویشی گیاه شنلبله مؤثر بوده است.

بررسی روند غلظت روی در اندام‌های هوایی شنلبله تحت تیمارهای مختلف کودی بیانگر آن است که غلظت‌های بالای عنصر روی تنها با کاربرد کود سولفات روی حاصل شده است و کودهای بیولوژیک در شرایط کاربرد روی میزان جذب این عنصر را افزایش داده‌اند (شکل ۵). کاربرد کودهای بیولوژیک سبب افزایش پتانسیل جذب ریشه می‌شود و جذب عناصر غذایی از جمله یون‌های فلزی مانند روی و آهن را به‌وسیله گیاه افزایش می‌دهد (ملکزاده و همکاران، ۲۰۱۱؛ کلیرونوموس، ۲۰۰۳). با توجه به این‌که غلظت روی در تیمار اوره + سولفات روی تفاوت معنی‌داری با اوره + ازتوباکتر + سولفات روی نداشت به‌نظر می‌رسد که ازتوباکتر بر میزان جذب روی مؤثر نبوده است (امیرآبادی و همکاران، ۲۰۱۱)، اما میکوریزا به‌ویژه در ترکیب با سولفات روی و یا ترکیب دو منبع بیولوژیک +

سولفات روی موجب افزایش میزان روی اندام‌های هوایی شده است. مشاهده نتایج غلظت کادمیوم در شکل ۶ بیانگر آن است که کاربرد هر یک از کودهای بیولوژیک به همراه اوره و یا ترکیب هر دو کود بیولوژیک با اوره + سولفات روی موجب کاهش معنی‌دار غلظت کادمیوم در اندام‌های هوایی شده است. باکتری‌ها برای رشد به مقادیر کمی از فلزات سمی احتیاج دارند (کانواس و همکاران، ۲۰۰۳) علاوه بر این برخی از آن‌ها پلیمرهای خارج سلولی نیز ترشح می‌کنند که تمایل زیادی برای اتصال به یون‌های فلزی از جمله کادمیوم دارند (جونگ و همکاران، ۲۰۰۵؛ یتیس و همکاران، ۲۰۰۰). بنابراین از توپاکترها با تولید اگزوپلی ساکاریدها سبب اتصال به کادمیوم شده و با نگهداری میزان قابل توجهی از این عنصر موجب کاهش جذب آن در گیاه شده است (دپنوسیس و پلنچت، ۲۰۰۳) اما در شرایط فراهمی روی در ظاهر به جای کادمیوم میزان قابل توجهی روی را در خود ذخیره نموده است (شکل ۵) و در نتیجه در کاهش غلظت کادمیوم اثری معنی‌دار نداشته است (شکل ۶).

نتیجه گیری

اگرچه کاربرد میکوریزا به همراه اوره و یا دیگر کودها در کاهش غلظت کادمیوم اندام‌های هوایی شنبلیله در خاک‌های آلوده به کادمیوم مؤثر بود ولی رشد مطلوب گیاه و پایین‌ترین غلظت کادمیوم در شرایط استفاده از توپاکتر به علاوه اوره حاصل شد. بنابراین کاربرد از توپاکتر در تولید شنبلیله علاوه بر افزایش سلامت محصول و جامعه می‌تواند در جلوگیری از انتقال کادمیوم به زنجیره غذایی مؤثر باشد و از این طریق نقش مهمی در سلامت جامعه ایفا نماید.

سپاسگزاری

به این وسیله از حمایت‌های مالی دانشگاه شهرکرد در اجرای این پژوهش سپاسگزاری می‌نمایم.

منابع

1. Altuntas, E., Engin, O., Zgo, Z.E., and Taser, F. 2005. Some physical properties of fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) seeds. J. Food Eng. 71: 37-43.
2. Anonymous. 1992. Cadmium environmental aspects. Geneva, World Health Organization, International Programme on Chemical Safety (Environ. Health Criteria 135). Available at: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc135.htm>.

3. Carletti, S. 2002. Use of plant growth-promoting rhizobacteria in plant micropropagation. Available at: www.ag.AuburnEdu/argentina/pdfmanuscripts/carletti.Pdf.
4. Clemens, S. 2001. Molecular mechanisms of plant metal homeostasis and tolerance. *Planta*. 212: 475-486.
5. Davis, R.D., and Calton-Smith, C. 1980. Crops as Indicators of the significance of contamination of soil by heavy metals. WRC, Stevenage. TR 140.
6. De Smet, P.A.G., Hansel, R., and Chandler, R.F. 1992. Adverse effects of herbal drugs, Heidelberg: Springer-Verlag. 1: 1-72.
7. Duponnois, R., and Plenchette, C. 2003. A mycorrhiza helper bacterium enhances extomycorrhizal and endomycorrhizal symbiosis of Australian *Acacia species*. *Mycorrhiza*. 13: 85-91.
8. Emami, A. 1996. Methods of plant analysis. J. Tech. 982, published by Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran, 202p. (In Persian)
9. Ernst, E. 2002. Heavy metals in traditional Indian remedies. *J. Clin. Pharmacol.* 57: 12. 891-896.
10. Ghasemi, A., Tavakolo, R.D., and Zabihi, H.R. 2012. Effect of nitrogen, potassium and humic acid on vegetative growth, nitrogen and potassium uptake of potato minituber in greenhouse condition. *J. Agric. Plant Breed.* 8: 1. 39-56. (In Persian)
11. Gill, S.S., Khana, N.A., and Tutejab, N. 2011. Cadmium at high dose perturbs growth, photosynthesis and nitrogen metabolism while at low dose it up regulates sulfur assimilation and antioxidant machinery in garden cress (*Lepidium sativum* L.). *Plant Sci.* 182: 112-120.
12. Gong, R., Ding, Y., Liu, H., Chen, Q., and Liu, Z. 2005. Lead biosorption and desorption by intact and pretreated *Spirulina maxima* biomass. *Chemosphere.* 58: 1. 125-130.
13. Hall, J.L. 2002. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. *J. Ann. Bot.* 105: 1073-1080.
14. Hyan, H., Chang, A.C., Parker, D.R., and Page, A.L. 1998. Cadmium solubility and phytoavailability in sludge treated soils effect of soil organic carbon. *J. Environ. Qual.* 27: 329-334.
15. Jahehed Khaniki, Gh., and Eslami, A. 2007. Heavy metals in edible green vegetables grown along the sites of the Zanjanrood River Zanjan. *J. Biol. Sci.* 7: 943-948. (In Persian)
16. Kabata-Pendias, A., and Pendias, H. 2001. Trace Elements in Soils and Plants (3rd Ed.), CRC Press, Boca Raton, FL.
17. Khasseh Sirjani, A.S., Refreshing, C., Ravari, S.A., Pasandi Pour, N., and Carami, A.S. 2012. Effect of biological fertilizer, zinc sulphate and nitrogen yield quality and quantity in wheat. *J. Soil Sci. (Soil and Water).* 25: 2. 126-35. (In Persian)

18. Laomreaux, J.R., and Chaney, W. 1978. The effect of cadmium on net photosynthesis, transpiration, and dark respiration of excised silver maple leaves. *Physiol. Plantarum*. 43: 231-236.
19. Larsson, E.H., Bornman, F.J., and Asp, H. 1998. Influence of UV-B radiation and Cd²⁺ on chlorophyll fluorescence, growth and nutrient content in *Brassica napus*. *J. Exp. Bot.* 49: 1031-1039.
20. Malekzadeh, E., Alikhani, H.A., Savaghebi Firoozabadi, Gh.R., and Zarei, M. 2011. Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and Cd-resistant PGPR in phytoremediation of cadmium. *J. Water Soil*. 25: 2. 266-274. (In Persian)
21. Mandegary, A., Pournamdari, M., Sharififar, F., Pournourmohammadi, Sh., Fardiar, R., and Shooli, S. 2012. Alkaloid and flavonoid rich fractions of fenugreek seeds (*Trigonella foenum-graecum* L.) with antinociceptive and anti-inflammatory effects. *Food Chem. Toxicol.* 50: 2503-2507.
22. Mauskar, J.M. 2007. Cadmium-an environment toxicant central pollution control board ministry of environment and forests Govt of India parivesh Bhawan East Arjur Nagar. Delhi-110032.NC, USA.
23. Ortasa, I., Sari, N., Akpinara, C., and Yetisir, H. 2011. Screening mycorrhizae species for plant growth, P and Zn uptake in pepper seedling grown under greenhouse conditions. *Sci. Hortic.* 128: 92-98.
24. Rahimi, L., Aliasghar zad, N., Oustan, S., and Farajzadeh, D. 2011. Effects of microbial siderophores produced by native *Azotobacter chroococcum* strains on micronutrients uptake by wheat plant. *J. Soil Water Sci.* 22: 2. 27-39. (In Persian)
25. Rezvani Moghadam, P., and Moradi, R. 2012. Assessment of planting date, biological fertilizer and intercropping on yield and essential oil of cumin and fenugreek. *Iran. J. Field Crop Sci.* 43: 217-230. (In Persian)
26. Saia, S., Ruisi, P., Garcia-Garrido, J.M., Benítez, E., Amato, G., and Giambalvo, D. 2012. Can arbuscular mycorrhizal fungi enhance plant nitrogen capture from organic matter added to soil? 17th Nitrogen Workshop. 26th to 29th June, Wexford, Ireland.
27. Sarmadi, M., Irani, M., and Bernard, F. 2011. The study of tolerance of cadmium and accumulation it in Licorice plantlets. *Environ. Sci.* 8: 3. 69-80. (In Persian)
28. SAS. 2004. JMP Statistical Discovery Software, Version 9. SAS Institute Inc., Cary.
29. Satarug, S., Baker, J.R., Reilly, P.E.B., Moore, M.R., and Williams, D.J. 2002. Cadmium levels in the lung, liver, kidney cortex and urine samples from Australians without occupational exposure to metals. *Arch. Environ. Health.* 57: 69-77.
30. Sollito, D., Romic, M., Castrignano, A., Romic, D., and Bakic, H. 2010. Assessing heavy metal contamination in soils of the Zagreb region (Northwest Croatia) using multivariate geostatistics. *Catena.* 80: 182-194.

31. Sultani Nejad, Sh., Emtiazi, G., and Sanaee Mokhtari., T. 2010. Heavy metals (lead and zinc) by bacterial extracellular polymers. J. Microbial. Biotechnol. 2: 7. 23-28. (In Persian)
32. White, P.J., and Brown, P.H. 2010. Plant nutrition for sustainable development and global health. Ann. Bot. 105: 1073-1080.
33. Yargholi, B., Abbasi, P., and Merit, A.S. 2009. Investigation of cadmium uptake in root region and accumulation in different parts of common summer crops in Iran. J. Agric. Eng. Res. 10: 2. 31-44. (In Persian)
34. Yetis, U., Dolek, A., Dilek, F., and Ozcengiz, G. 2000. The removal of Pb (II) by Phanerochaete chrysosporium. Water Res. 34: 16. 4090-4100.



Effect of chemical and biological fertilizers combination on cadmium concentration and growth parameters of fenugreek medicinal plant in cadmium polluted soil

M. Nazari¹, *S. Fallah², Sh. Kiani³ and J. Jalilian⁴

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Agronomy, Shahrekord University, ²Associate Prof., Dept. of Agronomy, Shahrekord University, ³Assistant Prof., Dept. of Sciences and Soil Engineering, Shahrekord University, ⁴Assistant Prof., Dept. of Agronomy, Urmia University

Received: 05/27/2013; Accepted: 12/22/2013

Abstract

Plants are the most sources for cadmium in human food and this element in food regime may be a serious threat to human health. Thus, the effect of *Azotobacter* inoculum (*Azotobacter chroococcum*), mycorrhiza fungi (*Glomus intraradices*), zinc sulphate and urea on cadmium concentration and growth parameters of fenugreek medicinal plant (*Trigonella foenum gracum* L.) in cadmium polluted soils were evaluated. This experiment was conducted in randomized complete block design with three replications at the research greenhouse of Shahrekord University. Eight fertilizer treatments included control (without fertilizer), urea, urea + zinc sulfate, urea + *Azotobacter*, urea + mycorrhiza, urea + zinc sulfate + *Azotobacter*, urea + zinc sulfate + mycorrhiza, urea + zinc sulfate + mycorrhiza + *Azotobacter*. The results indicated that the highest plant height, leaf fresh weight and shoot fresh weight of the aboveground of fenugreek were obtained in urea + *Azotobacter* but it didn't have a significant difference with that of the urea + zinc sulfate + mycorrhiza. Also, the lowest cadmium concentration (0.09 mg/kg) was produced in urea+ *Azotobacter* and urea + zinc sulfate + mycorrhiza ($P \leq 0.05$). Application of two biofertilizers sources plus zinc sulfate compared to chemical fertilizer treatments had appropriate vegetative growth and fairly cadmium concentration. In conclusion, *Azotobacter* application for fenugreek production in addition to increase in yield, can be effective in preventing cadmium transmission in human food regime.

Keywords: *Azotobacter*, Food chain, Heavy metal, Safe crop, Mycorrhiza

* Corresponding Authors; Email: falah1357@yahoo.com

