نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد پنجم، شماره سوم، ۱۳۹٤
http://ejsms.gau.ac.ir

تأثیر کودهای زیستی بر عملکرد و غلظت عناصر کم‌مصرف اندام‌های گیاه گوجه‌فرنگی تحت تنش کادمیوم

[*]اکبر نعمتی[۱] و احمد گلچین[۲]

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

تاریخ دریافت: ۹۲/۳/۲۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۷/۶

چکیده

سابقه و هدف: آلودگی خاک به عناصر سنگین نظیر کادمیوم، روی و سرب به‌دلیل تأثیر سوئی که این عناصر بر سلامت انسان‌ها و موجودات زنده دارند، در چند دهه اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. به همین دلیل تلاش شده است که از ورود این عناصر به چرخه طبیعت تا حد امکان جلوگیری شود. از این‌رو روش‌های کاهش قابلیت جذب فلزات سنگین توسط گیاه به‌وسیله پژوهشگران مختلف مورد بررسی قرار گرفته است و از روش‌های فیزیک و شیمیایی مختلفی برای این امر استفاده شده است که اغلب آن‌ها علاوه بر داشتن هزینه زیاد، سبب تخریب ساختار فیزیکی و شیمیایی و فعالیت‌های حیاتی خاک شده‌اند. بنابراین بهتر است تا حد امکان از روش‌های بیولوژیکی و سازگار با محیط زیست برای کاهش تنش فلزات سنگین بر گیاهان استفاده شود.

مواد و روش‌ها: یک آزمایش با هدف بررسی اثرات کودهای زیستی بر عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت عناصر کم‌مصرف گیاه گوجه‌فرنگی تحت تنش کادمیوم به اجرا درآمد. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام گردید. فاکتور تلقیح با کودهای زیستی شامل M_1: باکتری *ازتوباکترکروکوکوم* + قارچ میکوریز + باکتری جنس*آزوسپریلوم*، M_2: باکتری جنس *باسیلوس* + باکتری جنس*سودوموناس* + باکتری *ازتوباکتر کروکوکوم* + قارچ میکوریز، M_3: باکتری *ازتوباکترکروکوکوم* + قارچ میکوریز + باکتری جنس *سودوموناس* و M_0 تیمار بدون تلقیح کود زیستی بود. فاکتور سطوح آلودگی خاک به کادمیوم نیز شامل صفر، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک بود.

یافته‌ها: نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تلقیح خاک با کودهای زیستی عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت عناصر کم‌مصرف گیاه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. بیش‌ترین میزان عملکرد از تیمار کود زیستی M_1 به‌دست آمد به‌طوری‌که با بقیه تیمارها تفاوت معنی‌دار داشت. در مقابل میزان عملکرد به‌دست آمده از تیمار کود زیستی M_3 در حدی بود که با تیمار شاهد تفاوت معنی‌دار نداشت. با افزایش سطوح آلودگی خاک به کادمیوم غلظت عناصر کم‌مصرف، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. سطح ۸۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک، عملکرد گوجه‌فرنگی را نسبت به تیمار شاهد (بدون کادمیوم) به‌میزان ۶۷ درصد کاهش داد.

[*] مسئول مکاتبه: akbar_nemati67@yahoo.com

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که تلقیح خاک با کودهای زیستی می‌تواند اثر سوء کادمیوم خاک را بر رشد گیاه گوجه‌فرنگی کاهش دهد. با توجه به عملکرد بیش‌تر تیمار M_1 نسبت به سایر تیمارها، این تیمار برای کاهش اثر سوء کادمیوم در خاک‌های آلوده پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: گوجه‌فرنگی، کودهای زیستی، عناصر کم‌مصرف، کادمیوم

مقدمه

امروزه با پیشرفت صنعت، احتمال آلوده شدن خاک در حال افزایش است. از میان مواد آلاینده خاک، فلزات سنگین به‌دلیل غیرقابل تجزیه بودن و اثرات فیزیولوژیکی بر موجودات زنده حتی در غلظت‌های کم، سهم مهمی در آلوده کردن محیط زیست دارند (۵۳). فلزات سنگین از راه‌های مختلف از جمله دفع زباله‌های صنعتی، احتراق زغال‌سنگ و سایر سوخت‌های فسیلی، سوزاندن پسماندها، استفاده از کودهای شیمیایی و سموم در کشاورزی وارد خاک می‌شوند (۶۱). آلودگی خاک به عناصر سنگین نظیر کادمیوم، روی و سرب به‌دلیل توانایی بالقوه در آسیب‌رسانی به سلامت انسان‌ها و موجودات زنده در چند دهه اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند و تلاش شده است که از ورود این عناصر به چرخه طبیعت تا حد امکان جلوگیری شود (۱۵، ۲۲). از این‌رو روش‌های کاهش قابلیت جذب فلزات سنگین توسط گیاه به‌وسیله پژوهشگران مختلف مورد بررسی قرار گرفته است (۶۷). از روش‌های فیزیک و شیمیایی متفاوتی برای کاهش اثرات سوء خاک‌های آلوده به فلزات سنگین بر گیاهان استفاده شده است که اغلب آن‌ها علاوه بر داشتن هزینه زیاد، سبب تخریب ساختار فیزیکی و شیمیایی و فعالیت‌های حیاتی خاک شده‌اند. بنابراین بهتر است تا حد امکان از روش‌های بیولوژیکی و سازگار با محیط زیست برای کاهش تنش فلزات سنگین بر گیاهان استفاده شود (۱۷). کودهای بیولوژیک مواد حاصلخیزکننده‌ای هستند که حاوی یک یا چندگونه از ارگانیسم‌های مفید خاکزی به تعداد زیاد هستند که روی مواد نگه‌دارنده مناسبی عرضه می‌شوند. کودهای زیستی برای تأمین یک یا چند عنصر غذایی مورد نیاز گیاه مصرف می‌شوند و می‌توانند با تولید مواد محرک رشد گیاه اثر سوء تنش‌های محیطی را بر گیاه کاهش دهند (۳۶). انواع کودهای زیستی رایج شامل مایه‌های تلقیح میکروبی هستند که حاوی، باکتری‌هایی از جنس‌های *آزوسپریلیوم*، *ازتوباکتر*، *پسودوموناس*، *ریزوبیوم* و ... می‌باشند که با مکانیسم‌های متعدد، موجب افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شوند (۱۱). افزایش جمعیت ریزموجودات مفید می‌تواند مقاومت گیاه به تنش‌های مختلف محیطی مانند کمبود آب، عناصر غذایی و سمیت عناصر سنگین را کاهش دهد (۶۳). باکتری‌های محرک رشد گیاه از طریق تولید آنزیم ACC دآمیناز و هورمون ایندول استیک اسید باعث کاهش سطح اتیلن تنشی در گیاه (۲۴) و افزایش رشد میسلیوم‌های خارجی و داخلی قارچ‌های میکوریزی می‌گردد، بنابراین سطح جذب ریشه افزایش یافته و این امر منجر به افزایش جذب عناصر غذایی من‌جمله فسفر، آهن، روی، منگنز و نیکل می‌گردد (۴۸). یوسفی‌راد و اسمعیل (۲۰۱۰) گزارش کردند گیاهان تلقیح‌شده با میکوریز، از نظر ارتفاع گیاه، وزن خشک اندام‌های هوایی، طول و وزن خشک ریشه نسبت به گیاهان تلقیح‌نشده به‌طور معنی‌داری برتر بودند (۶۵). همچنین سمر و خسروی (۲۰۰۲) بیان کردند تلقیح گیاه با *ازتوباکتر* به‌طور معنی‌داری غلظت پتاسیم، منیزیم، آهن، منگنز، روی و بور برگ‌ها را افزایش داد (۵۴). بررسی‌های مختلف اثرات مثبت کاربرد باکتری‌های محرک رشد را بر شاخص‌های رشد ریشه از جمله افزایش سطح کل ریشه، وزن خشک ریشه،

طول ریشه، تعداد ریشه‌های فرعی، تعداد و تراکم تارهای کشنده، افزایش تقسیم سلولی سلول‌های مریستمی ریشه و تحریک تراوش‌های ریشه‌ای را نشان داده است (۴۶). هیگو و همکاران (۱۹۹۰) و هتریک و همکاران (۱۹۹۴) نشان دادند که قارچ‌های میکوریزی غلظت‌های بالای کادمیوم را در برگ گیاهان کاهش داد (۲۸، ۲۹). بهل و همکاران (۲۰۰۶) گزارش نمودند که کاربرد *ازتوباکتر* عملکرد دانه، تعداد پنجه، عملکرد ماده خشک، جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم را در گندم (*Triticum aestivum* L.) به‌طور معنی‌داری افزایش داد (۱۳). پارسامطلق و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش نمودند که به‌کارگیری قارچ‌های میکوریزی، افزایش غلظت عناصر غذایی در اندام‌های هوایی لوبیا را به دنبال داشت (۴۷). کادمیوم یکی از فلزات سنگین است که به‌علت سمیتی که برای انسان و حیوان دارد از دیدگاه محیط زیست دارای اهمیت زیادی است (۵۶). کاباتا پندیاس و پندیاس (۲۰۰۱) بیان کردند که سمیت کادمیوم به‌طور کلی شامل اختلال در متابولیسم عناصر کم‌مصرف، کاهش مقاومت در مقابل بیماری‌ها، کاهش جذب عناصر غذایی توسط گیاه، ممانعت از فتوسنتز، کاهش تعرق و کاهش راندمان آب مصرفی می‌شود (۳۱)؛ بنابراین با توجه به آلودگی روز افزون خاک به فلزات سنگین در نتیجه فعالیت‌های بشری و نقش مؤثر ریز موجودات فراریشه‌ای در افزایش مقاومت گیاهان به تنش حاصل از فلزات سنگین، ضروری به‌نظر می‌رسد که نقش کودهای زیستی اعم از باکتری‌های مختلف و قارچ میکوریز در جذب عناصر سنگین توسط گیاهان مورد بررسی قرار گیرد. پژوهش حاضر در همین راستا و با هدف بررسی چگونگی تأثیر تلقیح مشترک و جداگانه باکتری‌های مختلف و قارچ *گلوموس موسائه* در رشد گیاه گوجه‌فرنگی تحت شرایط آلوده به فلز سنگین کادمیوم انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش با هدف بررسی اثر کودهای زیستی بر عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت عناصر کم‌مصرف اندام هوایی و ریشه گیاه گوجه‌فرنگی تحت تنش کادمیوم به‌صورت یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و به‌صورت گلدانی به اجرا درآمد. فاکتورهای مورد مطالعه شامل تیمارهای کود زیستی تهیه شده از بخش بیولوژی خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور (شامل M_1: باکتری *ازتوباکتر کروکوکوم* + قارچ میکوریز AM (از نوع *گلوموس موسائه*) + باکتری *آزوسپریلوم*، M_2: باکتری جنس *باسیلوس* + باکتری جنس *سودوموناس* + باکتری *ازتوباکتر کروکوکوم* + قارچ میکوریز AM (از نوع *گلوموس موسائه*) و M_3: باکتری *ازتوباکتر کروکوکوم* + قارچ میکوریز AM (از نوع *گلوموس موسائه*) + باکتری جنس *سودوموناس* و M_0 به‌عنوان تیمار شاهد) و سطوح آلودگی خاک به کادمیوم (صفر، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) بودند. جهت کاشت گوجه‌فرنگی یک نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان تهیه و ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی آن تعیین گردید (جدول ۱). خاک مورد نظر پس از عبور از الک ۲ میلی‌متری و انتقال به گلدان‌های ۵ کیلوگرمی با افزودن مقادیر مختلف سولفات کادمیوم به‌صورت مصنوعی آلوده گردیدند. بدین منظور، خاک گلدان‌ها به‌صورت جداگانه بر روی نایلون پخش گردیده و سولفات کادمیوم در حجم مشخصی آب حل و سپس محلول به‌دست آمده به‌صورت یکنواخت به سطح خاک اسپری و نمونه‌های خاک پس از همگن شدن به درون گلدان‌ها منتقل گردیدند. پس از آلوده ساختن خاک با کادمیوم و گذشت حدود یک ماه به‌منظور ایجاد تعادل نسبی در آن‌ها، نمونه‌های خاک آلوده به کادمیوم بدین ترتیب که مقداری از خاک سطحی منطقه ریشه

به‌صورت گود برداشته شد و سپس قارچ میکوریز و سایر کودهای زیستی با خاک برداشته شده از گلدان تلقیح گردیدند. عملکرد میوه گیاه از مجموع محصول برداشت شده در چین‌های مختلف طی فصل رشد به‌دست آمد. در پایان فصل رشد بخش هوایی و ریشه گیاه برداشت و وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری و سپس اندام‌های برداشت شده ابتدا با آب معمولی و سپس با آب مقطر شستشو و در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد خشک گردیده و بیوماس (وزن خشک) آن‌ها یادداشت گردید. سپس نمونه‌ها آسیاب شده و پس از گذشتن از الک نیم میلی‌متری به روش هضم تر به روش اسیدسولفوریک- اسید سالیسیلیک و آب اکسیژنه عصاره‌گیری شده و اندازه‌گیری عناصر مس، روی، منگنز و آهن در نمونه هضم‌شده توسط دستگاه جذب اتمی انجام شد (۲۱). برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS و برای ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱٪ صورت گرفت.

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

Table 1. Selected physicochemical properties of the soil used in the experiment.

کادمیوم Cd	منگنز Mn	آهن Fe	روی Zn	پتاسیم k	فسفر P	نیتروژن N	بافت خاک Soil texture	pH	EC	عمق خاک Soil depth
		($mg.kg^{-1}$)				(%)			dSm^{-1}	(cm)
1.2	5.4	6.9	2.5	250.3	24	0.19	لوم شنی Sandy Loam	7.27	2.3	0-30

نتایج و بحث

عملکرد میوه و اجزای عملکرد: با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر کودهای زیستی و سطوح آلودگی خاک به کادمیوم بر شاخص‌های رشد و عملکرد میوه گیاه گوجه‌فرنگی در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده و متقابل تیمارهای مختلف آزمایشی بر عملکرد و شاخص‌های رشد گیاه گوجه‌فرنگی.

Table 2. The results of analysis of variance showing the effects of experimental treatments on yield and growth indices of tomato.

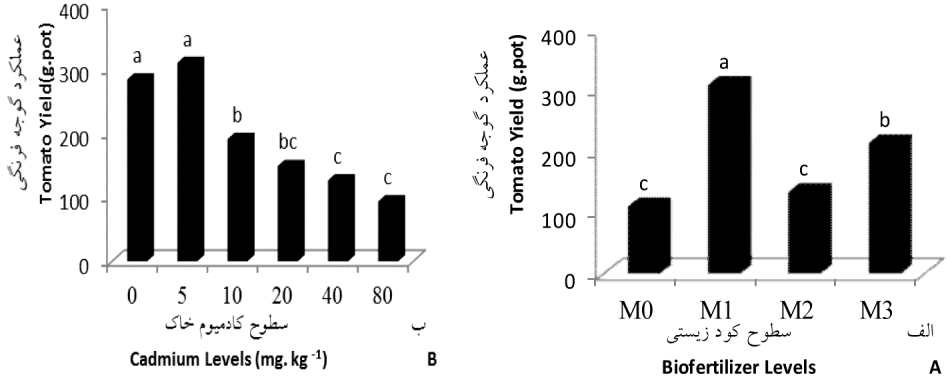
منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات (mean of squares)			
		عملکرد میوه Fruit yield	وزن خشک اندام هوایی Dry weight of aerial part	وزن خشک اندام ریشه Dry weight of root	ارتفاع بوته Plant height
سطوح کادمیوم Cadmium levels	5	91349.9**	456.1**	113.1**	84.3*
سطوح کود زیستی Biofertilizer levels	3	146486.8**	184.3**	74.8**	1253.8**
سطوح کادمیوم * کود زیستی Cadmium levels * Biofertilizer levels	15	13394.04**	82.5*	10.5 ns	1.13 ns
خطای آزمایشی Experimental error	48	4569.6	35.4	12.9	30.4

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

*, ** and ns are significant in 5 and 1 percent and non-significant respectively.

کاربرد کود زیستی عملکرد میوه گیاه گوجه‌فرنگی را به‌طور معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) افزایش داد (جدول ۲). بیش‌ترین میزان عملکرد از تیمار کود زیستی M_1 و کم‌ترین میزان آن از تیمار بدون تلقیح یا (شاهد) به‌دست آمد (شکل ۱ الف). کود زیستی M_1 میزان عملکرد را نسبت به تیمار شاهد ۱۸۱/۳ درصد افزایش داد. خان و زیدی (۲۰۰۷) اظهار داشتند که کاربرد هم‌زمان مایه تلقیح *ازتوباکتر* و قارچ میکوریزی سبب افزایش عملکرد دانه در گندم شد (۳۴). اردکانی (۲۰۰۰) طی پژوهشی نشان داد که تلقیح گندم با *آزوسپیریلوم برازیلنس* موجب افزایش عملکرد دانه و شاخص برداشت گردید (۵). شاران و السمی (۱۹۹۹) نیز نتایج مشابهی را با کاربرد توأم باکتری‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* گزارش کردند (۵۷). آدول و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی اثرات قارچ‌های میکوریزی بر توانایی گیاه پالایی محصول گیاه آفتاب‌گردان در خاک‌های آلوده به عناصر سنگین سرب و کادمیم نشان دادند که میکوریز میزان جذب عناصر کادمیم و سرب را در ریشه‌های خشک آفتاب‌گردان به‌طور معنی‌داری کاهش داد و باعث مقاومت گیاه آفتاب‌گردان به آلودگی گردید و میزان عملکرد این گیاه را افزایش داد (۱). در دو آزمایشی که به‌طور جداگانه در شرایط مزرعه روی گیاهان گوجه‌فرنگی و نعناع (*Mentha arvensis* L.) صورت گرفت، مشخص شد که گیاهان تلقیح‌شده با قارچ میکوریزی دارای عملکرد و جذب عناصر غذایی بالاتری بودند. قارچ‌های میکوریز در واقع حکم تارهای کشنده برای گیاه را دارند و با افزایش سطح تماس ریشه با خاک جذب آب و مواد غذایی را افزایش می‌دهند. به‌علاوه ترشح اسیدهای آلی و تولید دی‌اکسیدکربن باعث اسیدی شدن منطقه ریشه شده که جذب فسفر و عناصر کم‌مصرف را افزایش می‌دهد. قارچ‌های میکوریز همچنین با نگهداری فلزات سنگین در هیف‌های خود اثر سوء آن‌ها را بر گیاه کاهش می‌دهند (۲۷). افزایش سطوح کادمیوم خاک، عملکرد گیاه را به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال ۱ درصد) کاهش داد (جدول ۲). بیش‌ترین مقدار عملکرد از سطح ۵ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و کم‌ترین میزان آن از سطح ۸۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک به‌دست آمد (شکل ۱ ب). با توجه به این‌که میزان بیوماس هوایی، ارتفاع بوته و غلظت منگنز بخش هوایی و ریشه در سطح ۵ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک بیش‌تر از سطح شاهد (بدون کاربرد کادمیوم) بوده است به همین دلیل بیش‌ترین میزان عملکرد از سطح ۵ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک به‌دست آمده است. سمیت کادمیوم در اثر افزایش غلظت این عنصر در محیط رشد گیاه به شکل‌های مختلف دیده شده است که شامل کاهش عملکرد، کاهش رشد ریشه و برگ، کاهش فعالیت برخی از آنزیم‌ها، کاهش سطح برگ و ماده خشک گیاه می‌باشد (۶۰). اثر متقابل کودهای زیستی و سطوح کادمیوم نیز در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان عملکرد گیاه معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین مقدار عملکرد از تیمار ۵ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و کود زیستی M_1 و کم‌ترین مقدار عملکرد از تیمار ۸۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و کود زیستی (M_2) حاصل شد (جدول ۳). احتمالاً تأثیر بیش‌تر کود زیستی M_1 بر افزایش عملکرد به‌خاطر غلظت عناصر کم‌مصرف در بخش هوایی و ریشه گیاه گوجه‌فرنگی در اثر به‌کارگیری این کود زیستی باشد. تأثیر کم‌تر تیمار کود زیستی M_2 بر میزان عملکرد و نبودن اختلاف معنی‌دار بین آن و تیمار شاهد (M_0) می‌تواند ناشی از حلالیت زیاد فسفر توسط باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ‌های میکوریز موجود در این تیمار باشد که به‌علت داشتن اثر آنتاگونیسمی بر جذب روی و آهن سبب کاهش رشد گیاه گردیده است. مطالعات صدیقی (۲۰۰۴) نشان داد باکتری‌های *سودوموناس*

فلورسنس، *ازتوباکتر کروکوکوم* و *آزوسپریلوم برازیلنس* می‌توانند با استفاده از روش‌هایی چون اسیدیفیکاسیون، تشکیل کلات و انواع واکنش‌های تبادلی، فسفات نامحلول را به فرم محلول درآورند (۵۹).



شکل ۱- اثرات سطوح کود زیستی (الف) و کادمیوم (ب) بر میزان عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی.

Figure 1. The effects of biofertilizer (A) and Cadmium levels (B) on yield of tomato.

جدول ۳- اثر متقابل سطوح کود زیستی و کادمیوم بر عملکرد، وزن خشک بخش هوایی و غلظت عناصر بخش هوایی و ریشه گوجه‌فرنگی.

Table 3. The interactive effects of different levels of soil Cd and Biofertilizer on yield, dry weight of aerial part and elemental concentration of aerial and root parts of tomato.

وزن خشک بخش هوایی Dry weight of aerial part	عملکرد Yield	غلظت مس بخش هوایی Cu concentration in aerial part	غلظت آهن بخش ریشه Fe concentration in root	غلظت آهن بخش هوایی Fe concentration in aerial part	غلظت روی بخش هوایی Zn concentration in aerial part	تیمار Treatment
(g. pot)		(mg. kg^{-1})				
15.6^{b-g}	122.5^{e-i}	16.9^{c-i}	78.4^{ghj}	69.06^{f-i}	36.6^{b-f}	C_0M_0
18.8^{b-f}	392.5^{ab}	23.5^{b-e}	178.8^{bcd}	179.9^{ab}	86.3^{a}	C_0M_1
19.9^{b-e}	190.8^{d-h}	53.4^{a}	137.4^{c-h}	92.79^{d-h}	39.7^{b-e}	C_0M_2
15.2^{bcd-g}	426.8^{a}	31.5^{b}	257.5^{a}	199.9^{a}	53.5^{b}	C_0M_3
14.1^{b-g}	150.01^{e-i}	15.5^{d-i}	92.08^{g-j}	58.8^{f-i}	30.5^{c-f}	C_1M_0
23.7^{b}	457.6^{a}	27.6^{bcd}	123.7^{d-i}	156.6^{abc}	81.9^{a}	C_1M_1
21.3^{bcd}	240.2^{cde}	54.2^{a}	208.7^{abc}	72.1^{e-i}	34.4^{b-f}	C_1M_2
42.6^{a}	389^{ab}	25.7^{b-e}	231.8^{ab}	193.1^{a}	48.5^{bc}	C_1M_3
10.9^{c-g}	114.4^{e-i}	12.2^{ghi}	73.8^{g-j}	55.2^{f-i}	34.2^{b-f}	C_2M_0
22.1^{bc}	343.2^{abc}	19^{b-h}	96.2^{f-j}	125.2^{cde}	41.6^{bcd}	C_2M1
14.2^{b-g}	98.9^{f-i}	30.8^{b}	166.9^{b-f}	103.1^{c-g}	31.1^{b-f}	C_2M_2
13.5^{b-g}	204.9^{d-g}	29.8^{bc}	206.05^{abc}	154.5^{abc}	29.9^{c-f}	C_2M_3
10.3^{d-g}	93.4^{ghi}	9.7^{ghi}	64.4^{hij}	48.3^{ghi}	23.3^{def}	C_3M_0
18.7^{b-f}	297.4^{bcd}	12.7^{e-i}	146.09^{c-g}	109.5^{c-f}	40.1^{b-e}	C_3M_1
11.4^{c-g}	136.6^{e-i}	27.8^{bcd}	109.9^{e-j}	82.4^{d-i}	25.3^{def}	C_3M_2
13.2^{b-g}	65.9^{hi}	19.1^{b-h}	180.2^{b-e}	135.2^{bcd}	35.7^{b-f}	C_3M_3
7.1^{fg}	95.2^{ghi}	4.9^{i}	36.8^{j}	27.6^{i}	20.8^{def}	C_4M_0
11.8^{c-g}	228.8^{c-f}	11.3^{ghi}	114.7^{e-i}	86.09^{d-h}	34.7^{b-f}	C_4M_1
9.1^{efg}	85.5^{ghi}	24.1^{b-e}	75.6^{g-j}	56.7^{f-i}	21.9^{def}	C_4M_2
12.5^{b-g}	94.5^{ghi}	21.4^{b-g}	141.6^{e-g}	106.2^{c-f}	31.3^{b-f}	C_4M_3
6.5^{g}	84.1^{ghi}	6.8^{hi}	50.6^{ij}	37.9^{hi}	16.01^{f}	C_5M_0
9.7^{d-g}	136.9^{e-i}	7.1^{hi}	54.9^{ij}	41.2^{hi}	27.7^{c-f}	C_5M_1
7.6^{fg}	49.4^{i}	19.6^{b-h}	80.9^{g-j}	60.7^{f-i}	17.5^{ef}	C_5M_2
7.03^{fg}	102.4^{f-i}	16.5^{d-i}	83.4^{g-j}	62.6^{f-i}	25.06^{def}	C_5M_3

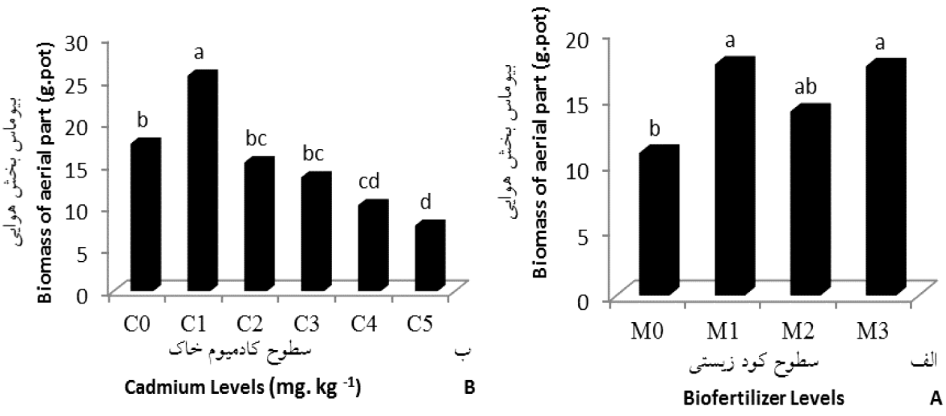
* در هر ستون اعدادی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیستند.

The numbers in each column has at least one letter in common are statistically non-significant at the 5 percent level.

(C_0= صفر، C_1= ۵، C_2= ۱۰، C_3=۲۰، C_4= ۴۰ و C_5= ۸۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک)

(C_0=0, C_1=5, C_2=10, C_3=20, C_4=40 and C_5=80 mg Cd. Kg^{-1} soil)

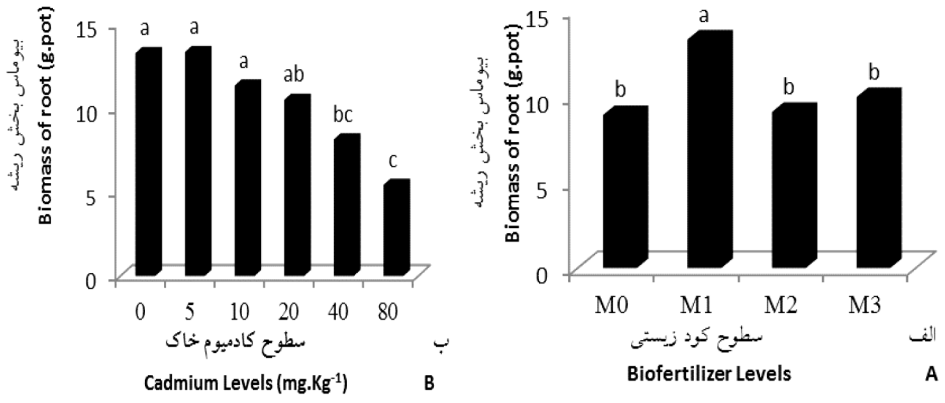
کاربرد کودهای زیستی میزان وزن خشک بخش هوایی را به‌طور معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) افزایش داد (جدول ۲). بیش‌ترین میزان بیوماس بخش هوایی از تیمار کود زیستی M_1 و کم‌ترین میزان آن در تیمار بدون تلقیح (M_0) مشاهده شد (شکل ۲ الف). تلقیح با کود زیستی M_1 بیوماس بخش هوایی را ۶۲/۳ درصد افزایش داد. افزایش وزن خشک بخش هوایی گیاه گندم در اثر تلقیح با سویه‌های مختلف ازتوباکتر کروکوکوم توسط برخی پژوهشگران گزارش شده است (۳۲). نیتو و فرانکنبرگر (۱۹۹۱) پنج برابر شدن وزن خشک بخش هوایی گیاه ذرت را بوته با کاربرد باکتری ازتوباکتر کروکوکوم گزارش کرده‌اند (۴۴). بیسیر و همکاران (۲۰۰۲) در بررسی اثر قارچ‌های میکوریزی بر روی گیاه لوبیا در خاک‌های آلوده به عنصر کادمیوم نشان دادند که با افزایش میزان کادمیوم خاک، بیوماس و رشد ریشه گیاه کاهش یافت ولی در حضور قارچ‌های میکوریزی، کادمیوم اثر منفی معنی‌داری بر بیوماس گیاه نداشت (۱۲). در ذرت تلقیح بذر با سویه‌های مختلف آزوسپیریلوم سبب افزایش سطح ریشه و وزن خشک اندام‌های هوایی گردید (۲۳). در پژوهش‌های مشابهی افزایش وزن خشک برگ ذرت به‌علت تأمین نیتروژن بیش‌تر در اثر تثبیت توسط باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپیریلوم گزارش شده است (۵۰، ۳۳). سطوح کادمیوم به‌طور معنی‌داری میزان بیوماس بخش هوایی را (در سطح احتمال ۱ درصد) کاهش داد (جدول ۲). بیش‌ترین میزان بیوماس بخش هوایی از سطح ۵ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و کم‌ترین میزان آن از سطح ۸۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک به‌دست آمد (شکل ۲ ب). شیرازی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند با افزایش سطح کادمیم، میانگین وزن تر شاخساره ارقام برنج نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (۵۸). کاربرد ۴۵ و ۹۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک، میانگین وزن تر گیاهان را به‌ترتیب ۵۱ و ۶۵/۸ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش داد و میانگین وزن خشک را به‌ترتیب ۵۰ و ۶۵/۵ نسبت به شاهد کاهش داد. اثر متقابل سطوح کادمیوم و کودهای زیستی بر میزان بیوماس هوایی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین میزان بیوماس هوایی از تیمار کود زیستی M_3 و سطح ۵ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و کم‌ترین میزان بیوماس هوایی از تیمار بدون کود زیستی (M_0) و سطح ۸۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک به‌دست آمد (جدول ۳).



شکل ۲- اثرات سطوح کود زیستی (الف) و کادمیوم (ب) بر میزان بیوماس بخش هوایی گیاه گوجه‌فرنگی.

Figure 2. The Effects of biofertilizer (A) and Cadmium levels (B) on biomass of aerial part of tomato.

کاربرد کود زیستی بیوماس خشک بخش ریشه را به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال ۱ درصد) افزایش داد (جدول ۲). بیش‌ترین بیوماس ریشه از کاربرد کود زیستی M_1 و کم‌ترین میزان آن از تیمار فاقد کود زیستی (M_0) به‌دست آمد (شکل ۳ الف). تیمار کود زیستی M_1 میزان بیوماس ریشه را نسبت به تیمار شاهد ۴۸/۸ درصد افزایش داد. طی دو پژوهش جداگانه اثر تلقیح با ازتوباکتر بر وزن خشک و بیوماس ریشه گیاهان گندم و گوجه‌فرنگی مثبت و معنی‌دار گزارش شد و علت آن تولید هورمون‌های محرک رشد توسط ازتوباکتر بیان گردید (۳۲، ۲۶). نیتو و فرانکنبرگر (۱۹۹۱) افزایش ۵/۶ برابری وزن خشک ریشه گیاه ذرت را در اثر کاربرد باکتری ازتوباکتر کروکوکوم، گزارش نمودند (۴۴). بررسی‌های ریبائودو و همکاران (۱۹۹۸) و جاکاد و همکاران (۱۹۹۹) نیز بیانگر افزایش وزن خشک ریشه گیاه ذرت در اثر تلقیح بذر با باکتری آزوسپیریلوم بود (۴۹، ۳۰). همچنین گزارش شده است که تولید انواع هورمون‌های رشد مانند اکسین، جیبرلین و سیتوکینین توسط باکتری‌های جنس ازتوباکتر، رشد اولیه گیاه گوجه‌فرنگی را افزایش داد و باعث افزایش وزن خشک ریشه گیاه شود (۷). آلودگی خاک به کادمیوم بیوماس ریشه را به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال ۱ درصد) کاهش داد (جدول ۱). به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان بیوماس ریشه از سطح ۵ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و کم‌ترین مقدار آن از سطح ۸۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک حاصل گردید (شکل ۳ ب). شیرازی و همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند با افزایش سطح کادمیم خاک، میانگین وزن تر و خشک شاخساره ارقام مختلف برنج نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (۵۳). اثر متقابل سطوح مختلف کود زیستی و کادمیوم بر میزان بیوماس ریشه گیاه گوجه‌فرنگی معنی‌دار نبود (جدول ۲).

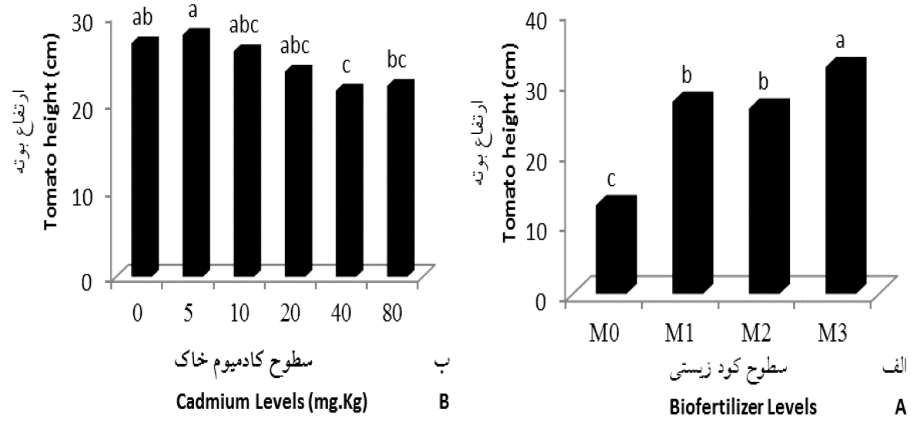


شکل ۳- اثرات سطوح مختلف کود زیستی (الف) و کادمیوم (ب) بر میزان بیوماس ریشه گیاه گوجه‌فرنگی.

Figure 3. Effects of biofertilizer (A) and Cadmium levels (B) on biomass of root of tomato.

تلقیح با کودهای زیستی ارتفاع گیاه را به‌طور معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) افزایش داد (جدول ۲). بیش‌ترین میزان ارتفاع گیاه در اثر تلقیح با کود زیستی M_3 و کم‌ترین میزان این صفت از تیمار بدون تلقیح (M_0) حاصل شد (شکل ۴ الف). کود زیستی M_3 میزان ارتفاع گیاه را ۱۵۳/۱ درصد افزایش داد. حضور باکتری محرک رشد سودوموناس به همراه باکتری ازتوباکتر و قارچ‌های میکوریزی در تیمار M_3 کود زیستی و احتمالاً توانایی بیش‌تر باکتری سودوموناس در تولید محرک‌های رشد از قبیل

سیتوکینن سبب حاصل شدن بیش‌ترین میزان ارتفاع گیاه در این تیمار کود زیستی گردیده است. نتایج آزمایش خرم‌دل و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که تلقیح بذر سیاه‌دانه با کودهای بیولوژیک باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه، در مقایسه با تیمار شاهد شد و ارتفاع گیاه در تیمار حاوی آزوسپریلوم و قارچ میکوریز نسبت به سایر تیمارهای مورد آزمایش بیش‌تر بود (۳۷). همچنین نتایج اردکانی و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد که کاربرد آزوسپریلوم به‌تنهایی هیچ‌گونه تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع گیاه سویا و عملکرد دانه آن نداشت (۶). زهیر و همکاران (۱۹۹۸) افزایش ۸/۵ درصدی ارتفاع بوته گیاه ذرت تلقیح‌شده با باکتری‌های ازتوباکتر و سودوموناس را گزارش کردند (۶۶). نیتو و فرانکنبرگر (۱۹۹۱) نیز مشاهده کردند که ارتفاع بوته و فاصله میانگره‌های ساقه ذرت به‌ترتیب به‌میزان ۲/۰۷ و ۲/۸۲ برابر در اثر کاربرد باکتری ازتوباکتر کروکوکوم افزایش یافت (۴۴). هر چند چگونگی ارتباط و تحریک رشد گیاهان توسط این باکتری‌ها به‌طور کامل شناخته شده نیست اما اثرات سودمند آن‌ها می‌تواند در نتیجه عواملی هم‌چون سنتز آنتی‌بیوتیک‌ها، کاهش پتانسیل سیدروفورها، هورمون‌های گیاهی، تثبیت زیستی و الکتریکی N_2، تولید انواع آنزیم‌ها مانند ACC deaminase و افزایش قابلیت دسترسی به عناصر غذایی باشد (۱۹، ۱۰). سطوح آلودگی خاک به کادمیوم به‌طور معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) ارتفاع گیاه را کاهش داد (جدول ۲). بیش‌ترین مقدار ارتفاع گیاه از سطح ۵ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و کم‌ترین میزان آن از تیمار ۴۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک به‌دست آمد (شکل ۴ ب). نتایج آزمایش یعقوب‌زاده و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که اثر سطوح کادمیوم بر صفات مورفولوژیک گیاه معنی‌دار بود و بیش‌ترین ارتفاع گیاه مربوط به تیمار شاهد (بدون کادمیوم) و کم‌ترین میزان ارتفاع از غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم نیترات کادمیوم در کیلوگرم خاک به‌دست آمد (۶۴). افزایش غلظت کادمیوم در بستر رشد گیاه سبب کاهش محتوای آب گیاه از طریق تأثیر بر کانال‌های آبی تونوپلاست گردید و به دنبال آن کاهش طویل‌شدگی یاخته‌ای و کاهش طول اندام‌های هوایی اتفاق افتاد. ارتفاع گیاه تحت‌تأثیر ژنوتیپ و عوامل محیطی است و غلظت‌های بالای عناصر سنگین می‌تواند آن را تحت‌تأثیر قرار داده و کاهش دهند (۶۵). اثر متقابل سطوح کادمیوم و کود زیستی بر میزان ارتفاع گیاه معنی‌دار نبود (جدول ۲).



شکل ٤- اثرات سطوح کود زیستی (الف) و کادمیوم (ب) بر میزان ارتفاع گیاه گوجه‌فرنگی.

Figure 4. Effects of biofertilizer (A) and Cadmium levels (B) on height of tomato.

غلظت عناصر کم‌مصرف بخش هوایی و ریشه گیاه گوجه‌فرنگی: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر کودهای زیستی و سطوح کادمیوم بر غلظت عناصر غذایی کم‌مصرف بخش هوایی و ریشه گیاه گوجه‌فرنگی، در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول‌های ۴ و ۵).

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس اثرات تیمارهای آزمایشی بر غلظت عناصر کم‌مصرف بخش هوایی گیاه گوجه‌فرنگی.

Table 4. The results of analysis of variance showing the effects of experimental treatments on micronutrient concentrations of aerial part of tomato.

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات (mean of squares)			
		روی Zn	مس Cu	آهن Fe	منگنز Mn
		($mg.kg^{-1}$)			
سطوح کادمیوم Cadmium levels	5	1932.03**	768.1**	12250.4**	653.7**
سطوح کود زیستی Bio fertilizer levels	3	2409.8**	1920.2**	30083.3**	516.8*
کادمیوم * کود زیستی Cadmium levels * Bio fertilizer levels	15	259.8*	91.2	1691.7*	38.4^{ns}
خطای آزمایشی Experimental error	48	137.1	۴۵/۶	850.6	182.3

*، ** و ^{ns} به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و غیرمعنی‌دار می‌باشد.

*, ** and ^{ns} are significant in 5 and 1 percent and non-significant respectively.

جدول ٥- نتایج تجزیه واریانس اثرات تیمارهای آزمایشی بر غلظت عناصر کم‌مصرف ریشه گیاه گوجه‌فرنگی.

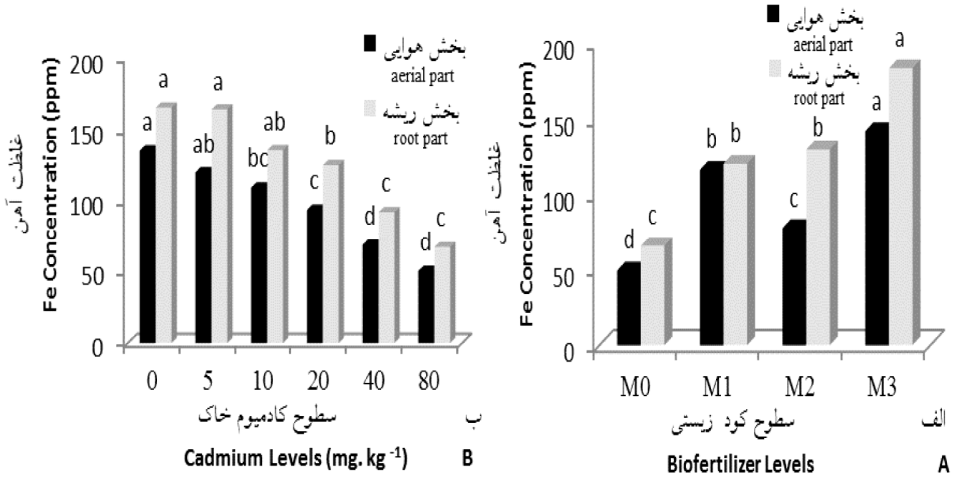
Table 5. The results of analysis of variance showing the effects of experimental treatments on micronutrient concentrations of tomato root.

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات (mean of squares)			
		روی Zn	مس Cu	آهن Fe	منگنز Mn
		($mg.kg^{-1}$)			
سطوح کادمیوم Cadmium levels	5	3764.7**	241.3*	18353.8**	1154.5**
سطوح کود زیستی Biofertilizer levels	3	4587.2**	535.08**	41650.7**	978.2*
کادمیوم * کود زیستی Cadmium levels * Biofertilizer levels	15	85.8^{ns}	17.2ns	2995.7*	49.4ns
خطای آزمایشی Experimental error	48	270.3	87.6	1435.5	322.7

*، ** و ^{ns} به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و غیرمعنی‌دار می‌باشد.

*, ** and ^{ns} are significant in 5 and 1 percent and non-significant respectively.

کاربرد کودهای زیستی غلظت آهن بخش هوایی و ریشه گیاه را به‌طور معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) افزایش داد (جدول‌های ۴ و ۵). بیش‌ترین غلظت آهن بخش هوایی و ریشه از تیمار کود زیستی M_3 به‌دست آمد. اعمال این تیمار غلظت آهن بخش هوایی و ریشه را به‌ترتیب به‌میزان ۱۸۵/۹ و ۱۷۷/۹ درصد نسبت به تیمار شاهد (M_0) افزایش داد. کم‌ترین غلظت آهن در هر دو بخش هوایی و ریشه از تیمار شاهد (M_0) به‌دست آمد (شکل ۵ الف). غلظت بیش‌تر آهن در اثر کاربرد تیمار M_3 می‌تواند به‌دلیل توانایی تولید سیدروفور توسط باکتری‌های PGPR باشد. تأثیر کم‌تر کود زیستی M_2 نیز می‌تواند به‌دلیل برهم‌کنش فسفر آزاد شده توسط باکتری‌های حل‌کننده فسفات و رسوب آهن به‌صورت فسفات آهن باشد. پژوهشگران نشان دادند سویه‌های باسیلوس، سودوموناس و ازتوباکتر توانایی تولید ترکیبی به نام سیدروفور دارند. سیدروفورها ترکیبات آلی با وزن مولکولی پایین هستند که دارای میل ترکیبی شدید و اختصاصی برای کمپلکس شدن با برخی کاتیون‌ها از جمله آهن می‌باشند. گیاهان می‌توانند از سیدروفورهای تولید شده توسط باکتری‌ها به‌عنوان عاملی برای تأمین آهن مورد نیاز خود استفاده کنند (۲). قارچ‌های میکوریزی از طریق ترشح انواعی از سیدروفور موجب کلاته شدن آهن و افزایش جذب و انتقال آن به گیاه بادام‌زمینی و سورگوم شدند (۱۶). نتایج این آزمایش با نتایج امیرآبادی و همکاران (۲۰۰۹) که بیان کردند کاربرد ازتوباکتر باعث کاهش غلظت آهن در اندام‌های هوایی شد و تلقیح با قارچ میکوریز بر غلظت آهن و روی گیاه ذرت بی‌تأثیر بود مطابقت نداشت (۴). تلقیح با قارچ میکوریزی هر چند تأثیر معنی‌داری بر غلظت روی و آهن نداشت اما یک روند افزایشی در غلظت این عناصر در تیمارهای تلقیح‌شده با قارچ میکوریزی وجود داشت. سانجا و همکاران (۱۹۹۴) عنوان نمودند که ازتوباکتر با تولید سیدروفور از رسوب آهن جلوگیری کرده و به جذب آهن توسط گیاه کمک می‌کند (۶۲). آلودگی خاک با کادمیوم غلظت آهن بخش هوایی و ریشه گیاه گوجه‌فرنگی را به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ کاهش داد (جدول‌های ۴ و ۵). به‌طوری‌که بیش‌ترین غلظت آهن بخش هوایی و زمینی از سطح صفر میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و کم‌ترین غلظت آن‌ها از سطح ۸۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک به‌دست آمد (شکل ۵ ب). کادمیم ممکن است با ایجاد تغییر در نفوذپذیری غشا، در جذب سایر عناصر غذایی نیز مشکل ایجاد کرده و منجر به تغییر غلظت عناصر در گیاهان شود (۵۵). اثر متقابل سطوح کود زیستی و کادمیوم بر غلظت آهن بخش هوایی و زمینی در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود (جدول‌های ۴ و ۵). بیش‌ترین غلظت آهن بخش هوایی گیاه از تیمار کود زیستی M_3 و سطح صفر کادمیوم خاک و در ریشه از تیمار کود زیستی M_3 و سطح ۵ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک به‌دست آمد و کم‌ترین غلظت آهن در بخش هوایی و ریشه از تیمار کود زیستی M_0 و سطح ۸۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک حاصل گردید (جدول ۳).

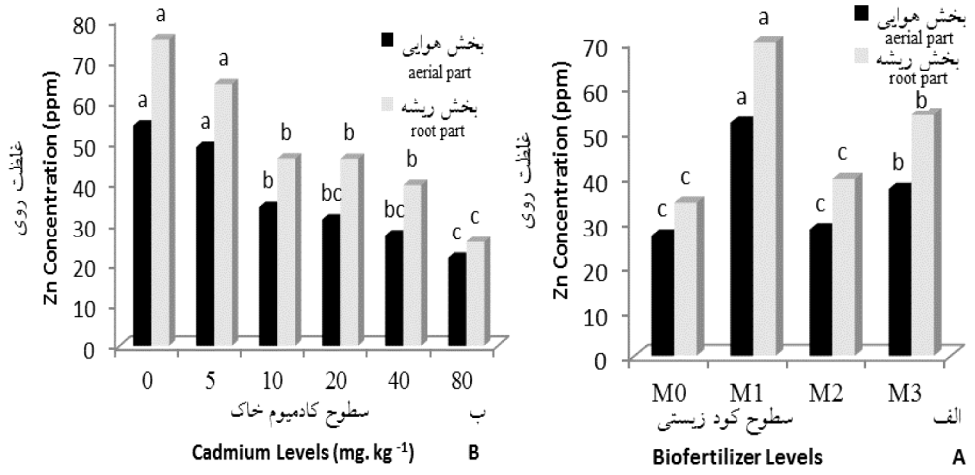


شکل ۵- اثرات سطوح کودهای زیستی (الف) و کادمیوم (ب) بر غلظت آهن بخش هوایی و ریشه گیاه گوجه‌فرنگی.

Figure 5. Effects of biofertilizer (A) and Cadmium levels (B) on Fe concentration of aerial part and root of tomato.

کاربرد کودهای زیستی غلظت روی بخش هوایی و ریشه را به‌طور معنی‌داری (در سطح ۱٪) افزایش داد (جدول‌های ۴ و ۵). بیش‌ترین غلظت روی بخش هوایی و ریشه از کاربرد کود زیستی M_1 به‌دست آمد. این کود زیستی غلظت روی بخش هوایی و ریشه را به‌ترتیب به‌میزان ۹۳/۶٪ و ۱۰۳/۷٪ نسبت به تیمار شاهد (M_0) افزایش داد. کم‌ترین غلظت روی بخش هوایی و ریشه از تیمار شاهد (M_0) حاصل گردید (شکل ۶ الف). قدرت بالای هیف‌ها در جذب روی از خاک و انتقال روی جذب شده از ریشه به اندام‌های هوایی در ذرت تلقیح‌شده با قارچ *گلوموس موسائه* باعث افزایش جذب روی به‌ترتیب در ریشه و اندام هوایی، به‌میزان ۲۲٪ و ۱۶۴٪ نسبت به گیاه تلقیح‌نشده گردید (۴۰). دیده شده که گلوموس موسائه در همزیستی با ذرت ۴۸ درصد و در مورد سایر گیاهان بین ۱۶-۲۵ درصد از روی مورد نیاز آن‌ها را تأمین می‌کند (۳۸). بررسی اثر تلقیح جداگانه و توأم ازتوباکتر و قارچ گلوموس موسائه بر رشد و غلظت عناصر غذایی در گوجه‌فرنگی نشان داد که غلظت روی گیاه تنها در ترکیب ازتوباکتر + قارچ *گلوموس موسائه* در مقایسه با شاهد افزایش یافت (۹). نظارت و غلامی (۲۰۰۹) گزارش کردند هر چند سویه‌های باکتری آزوسپیریلوم مقدار روی دانه را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند ولی این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود و مقدار این عنصر تحت‌تأثیر تلقیح با سویه‌های آزوسپیریلوم قرار نگرفت (۴۳). این ارگانیسم‌ها رشد گیاه را به سه روش تحت‌تأثیر قرار می‌دهند: ۱) سنتز و تولید ترکیبات ویژه برای گیاهان، ۲) تسهیل جذب عناصر غذایی ویژه از محیط و ۳) حفاظت گیاهان از بیماری‌های خاص (۳۵). غلظت زیاد فسفر در خاک به‌خاطر حضور باکتری حل‌کننده فسفات، به‌دلیل داشتن تأثیر آنتاگونیسمی بر جذب روی احتمالاً سبب تأثیر کم‌تر تیمار حاوی باکتری حل‌کننده فسفات (M_2) بر غلظت روی بخش هوایی و ریشه شده است. در آزمایش انجام شده توسط باگایوکو و همکاران (۲۰۰۰) مشخص گردید که با افزایش غلظت فسفر در خاک مقدار آن در بافت گیاه افزایش پیدا کرد ولی غلظت روی، کلسیم و منیزیم کاهش یافت (۸). مصرف کادمیوم غلظت روی بخش هوایی و ریشه را در سطح احتمال ۱٪ کاهش داد

(جدول‌های ۴ و ۵). به‌طوری‌که بیش‌ترین غلظت روی بخش هوایی و ریشه از سطح صفر میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و کم‌ترین غلظت روی این بخش‌ها از سطح ۸۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک به‌دست آمد (شکل ۶ ب). پیج و همکاران (۱۹۸۶) بیان کردند که وجود کادمیوم در محیط کشت، جذب روی و مس توسط گیاهان را کاهش داد که نشان‌دهنده حالت آنتاگونیستی کادمیوم با این دو فلز می‌باشد (۴۵). اثر متقابل کادمیوم و کود زیستی بر غلظت فسفر بخش هوایی در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بیش‌ترین غلظت روی این بخش از سطح صفر میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و کاربرد کود زیستی M_1 و کم‌ترین غلظت آن از سطح ۸۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و عدم کاربرد کود زیستی (M_0) به‌دست آمد (جدول ۳). اثر متقابل سطوح کادمیوم و کود زیستی بر غلظت روی بخش ریشه معنی‌دار نبود (جدول ۵). با توجه به اثرات کودهای زیستی و کادمیوم (شکل ۶)، مشاهده می‌شود که غلظت روی با افزایش سطوح کادمیوم از سطح ۱۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک به ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک کاهش چندانی پیدا نمی‌کند به‌طوری‌که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. عدم معنی‌داری اثر متقابل سطوح کودهای زیستی و کادمیوم بر غلظت روی اندام ریشه معنی‌دار نبوده است.

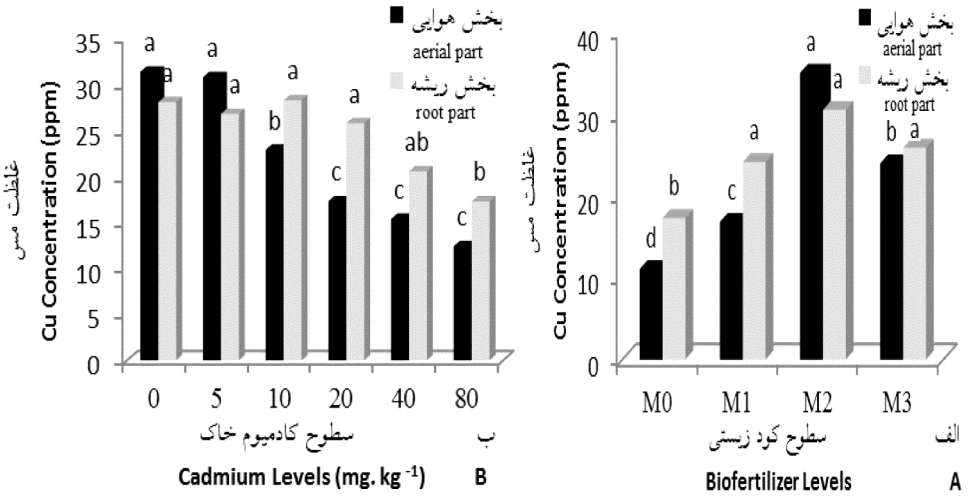


شکل ٦- اثرات سطوح کودهای زیستی (الف) و کادمیوم (ب) بر غلظت روی بخش هوایی و ریشه گیاه گوجه‌فرنگی.

Figure 6. Effects of biofertilizer (A) and Cadmium levels (B) on Zn concentration of aerial part and root of tomato.

تلقیح با کودهای زیستی غلظت مس بخش هوایی و ریشه را به‌طور معنی‌داری (در سطح ۱٪) افزایش داد (جدول‌های ۴ و ۵). بیش‌ترین غلظت مس بخش هوایی و ریشه از کود زیستی M_2 به‌دست آمد. این کود زیستی غلظت مس بخش هوایی و ریشه را به‌ترتیب به‌میزان ۲۱۷/۷٪ و ۷۰/۷٪ نسبت به تیمار شاهد (M_0) افزایش داد (شکل ۷ الف). کم‌ترین میزان مس بخش هوایی و ریشه در تیمار شاهد یا عدم مصرف کود زیستی اندازه‌گیری شد (شکل ۷ الف). اگامبردیوا و هوفلیخ (۲۰۰۳) نشان دادند که اثر باکتری آزوسپیریلوم بر مقدار مس دانه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود و این افزایش عمدتاً به‌دلیل

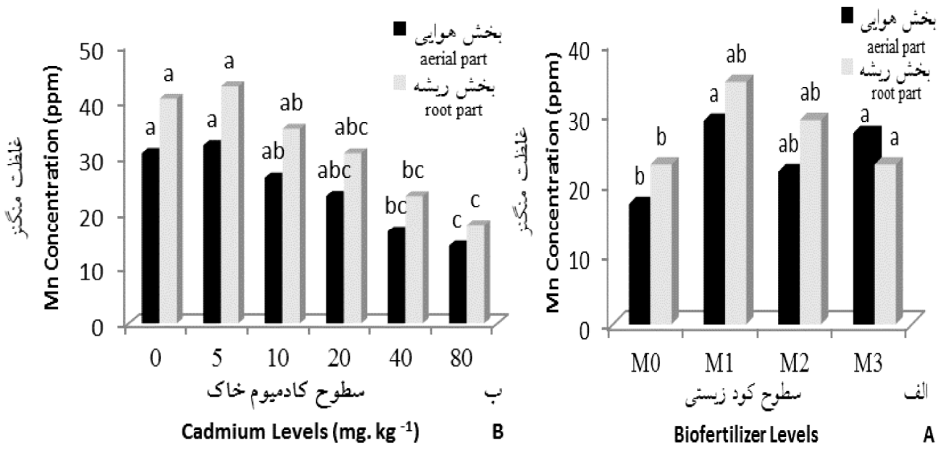
تولید تنظیم‌کننده‌های رشد توسط باکتری و اثر آن‌ها بر رشد ریشه بوده و آب و مواد غذایی بیش‌تر از خاک توسط گیاه بود (۲۰). تأثیر کم‌تر تیمار M_1 بر افزایش غلظت مس بخش هوایی و ریشه گیاه می‌تواند ناشی از تأثیر منفی نیتروژن تولید شده از طریق تثبیت بیولوژیک به‌وسیله باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپریلوم موجود در این تیمار باشد. بیگی و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند با افزایش غلظت نیتروژن، غلظت‌های مس و مولیبدن به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند ولی غلظت‌های بقیه عناصر کم‌مصرف شامل آهن، روی و منگنز تحت‌تأثیر قرار نگرفتند (۱۴). کاستیراس و همکاران (۲۰۰۵) نیز نتایج مشابهی را ارائه کردند (۳۹). آلودگی خاک به کادمیوم غلظت مس بخش هوایی را در سطح ۱٪ و غلظت مس بخش ریشه را در سطح ۵٪ کاهش داد (جدول‌های ۴ و ۵). بیش‌ترین غلظت مس بخش هوایی از سطح صفر میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و کم‌ترین غلظت آن از سطح ۸۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک به‌دست آمد (شکل ۷ ب). در بخش ریشه بیش‌ترین غلظت مس از سطح ۱۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و کم‌ترین غلظت آن از سطح ۸۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک به‌دست آمد (شکل ۷ ب). نتایج برخی پژوهشگران نشان می‌دهد که عناصر سمی مانند کادمیوم بر فعالیت‌های میکروبی خاک تأثیر منفی داشته، سبب غیرفعال شدن آن‌ها شده و در نهایت منجر به مختل شدن چرخه عناصر غذایی می‌شوند (۵۲، ۴۱). اثر متقابل سطوح کادمیوم و کود زیستی بر میزان مس بخش هوایی معنی‌دار بود (جدول ۴). بیش‌ترین غلظت مس بخش هوایی از تیمار کود زیستی M_2 و سطح ۵ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و کم‌ترین غلظت مس بخش ریشه از تیمار عدم مصرف کود زیستی M_0 و سطح ۴۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک به‌دست آمد (جدول ۳). اثر متقابل سطوح کادمیوم و کود زیستی بر غلظت مس بخش ریشه معنی‌دار نبود (جدول ۵).



شکل ۷- اثرات سطوح کودهای زیستی (الف) و کادمیوم (ب) بر غلظت مس بخش هوایی و ریشه گیاه گوجه‌فرنگی.

Figure 7. Effects of biofertilizer (A) and Cadmium levels (B) on Cu concentration of aerial part and root of tomato.

تلقیح با کودهای زیستی غلظت منگنز بخش هوایی و ریشه را در سطح احتمال ۵٪ افزایش داد (جدول‌های ۴ و ۵). بیش‌ترین غلظت منگنز بخش هوایی و ریشه از کاربرد کود زیستی M_1 به‌دست آمد. مصرف کود زیستی M_1 غلظت منگنز بخش هوایی و ریشه را به‌ترتیب به‌میزان ۶۸/۱٪ و ۷۵/۷٪ نسبت به تیمار شاهد (M_0) افزایش داد. کم‌ترین غلظت منگنز بخش هوایی و ریشه از تیمار شاهد (M_0) کود زیستی به‌دست آمد (شکل ۸ الف). امیرآبادی و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند کاربرد قارچ میکوریزی بر غلظت منگنز تأثیر معنی‌دار داشت و غلظت آن را ۹ درصد کاهش داد که دلیل آن را اثر متقابل منگنز با فسفر گزارش کردند (۴). کوثری و همکاران (۱۹۹۱) گزارش کردند در گیاهان تلقیح‌شده با قارچ‌های میکوریزی غلظت منگنز تحت‌تأثیر قرار نگرفت یا غلظتش کاهش یافت (۳۸). نتایج این پژوهش با نتایج پژوهشگران ذکر شده مغایرت داشت. البته در بعضی آزمایش‌ها افزایش جذب منگنز در گیاهان میکوریزی گزارش شده است و گونه‌های مختلف قارچ‌های میکوریزی توانایی متفاوتی برای افزایش جذب منگنز در گیاه میزبان دارند (۱۸، ۳). افزایش جذب منگنز توسط تیمار M_1 کود زیستی را می‌توان به تأثیر مثبت نیتروژن آزاد شده از طریق تثبیت بیولوژیک توسط باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپریلوم نسبت داد. رونقی و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند تأثیر نیتروژن، منگنز و برهم‌کنش آن‌ها بر جذب منگنز معنی‌دار بود و باعث افزایش غلظت منگنز نسبت به تیمار شاهد گردید (۵۱). گلدبرگ و همکاران (۱۹۸۳) دلیل افزایش غلظت منگنز گیاه با مصرف نیتروژن را تحریک رشد ریشه گزارش کردند (۲۵). با افزایش سطوح کادمیوم خاک غلظت منگنز بخش هوایی و ریشه گیاه به‌طور معنی‌داری (در سطح ۱٪) کاهش یافت (جدول‌های ۴ و ۵). بیش‌ترین غلظت منگنز بخش هوایی و ریشه از سطح ۵ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و کم‌ترین غلظت آن از سطح ۸۰ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک به‌دست آمد (شکل ۸ ب). اثرات تلقیح باکتری‌های محرک رشد گیاه بر گوجه‌فرنگی رشد کرده در خاک تیمار شده با کادمیوم و نیکل مطالعه شده است. این دو سویه باکتری به طور مشخصی سمیت هر دو فلز را در گوجه‌فرنگی کاهش دادند و نیز رشد گیاه را در شرایط استریل درون‌شیشه‌ای و کشت گلدانی تقویت کردند (۴۲). اثر متقابل سطوح کادمیوم و کودهای زیستی بر غلظت منگنز بخش هوایی و ریشه گیاه گوجه‌فرنگی معنی‌دار نبود (جدول‌های ۴ و ۵).



شکل ۸- اثرات سطوح کودهای زیستی (الف) و کادمیوم (ب) بر غلظت منگنز بخش هوایی و ریشه گیاه گوجه‌فرنگی.

Figure 8. Effects of biofertilizer (A) and Cadmium levels (B) on Mn concentration of aerial part and root of tomato.

نتیجه‌گیری

عملکرد، ارتفاع بوته و بیوماس بخش هوایی و ریشه گیاه گوجه‌فرنگی در اثر تلقیح با کودهای زیستی به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند. غلظت عناصر کم‌مصرف آهن، روی، مس و منگنز در بخش هوایی و ریشه گیاه گوجه‌فرنگی در اثر کاربرد کودهای زیستی افزایش یافت ولی آلودگی خاک به کادمیوم و برهم‌کنش شدید آن با عناصر کم‌مصرف دوظرفیتی مانند روی، آهن، مس و منگنز غلظت این عناصر را در بخش هوایی و ریشه گیاه گوجه‌فرنگی کاهش داد. هرچه میزان آلودگی خاک شدیدتر بود میزان این کاهش نیز بیش‌تر شد. نتایج این پژوهش نشان داد که تلقیح خاک با کودهای زیستی می‌تواند اثر سوء آلودگی خاک به کادمیوم را بر رشد گیاه گوجه‌فرنگی کاهش دهد. با توجه به عملکرد بیش‌تر تیمار M_1 نسبت به تیمارهای دیگر، این تیمار برای کاهش اثر سوء کادمیوم در خاک‌های آلوده پیشنهاد می‌شود.

منابع

1.Adewole, M.B., Awotoye, O.O., Ohiembor, M.O., and Salami, A.O. 2010. Influence of mycorrhizal fungi on phytoremediation potential and yield of sunflower in cd and Pb polluted soils. J. Agric. Sci. 55: 17-28.

2.Ahmad, F., Ahmad, I., and Khan, M.S. 2006. Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. Microbial Research. 36: 1-9.

3.Al-Karaki, G.N., and Clark, R.B. 1998. Growth, mineral acquisition and water use bymycorrhizal wheat grown under water stress. J. Plant Nutr. 21: 263-276.

4.Amirabadi, M., Rejali, F., Ardakani, M. R., and Borji, M. 2009. The effect of mycorrhizal fungi inoculum and Azotobacteria on uptake of inorganic nutrients by forage corn (SC704) at different levels of phosphorus. J. Soil Res. 23: 1. 107-115. (In Persian)

5.Ardakani, M. 2000. Evaluation of biological fertilizers in sustainable agriculture wheat. Ph.D. Thesis, Department of Science and Research. Pp: 85-89. (In Persian)

6.Ardakani, M.R., Sani, B., Noormohammadi, Gh., Khosravi, H., and Farahbakhsh, A. 2007. Comparison of Bio fertilizers inoculation on soybean yield and production efficiency. Proceedings of the National Conference of ecological agriculture. Pp: 3344-3347. (In Persian)

7.Azcorn, R., and Barea, J.M. 1975. Synthesis of auxins, gibberellins and cytokinins by Azotobacter vinelandi and Azotobacter beijerinckii related to effects produced on tomato plants. Plant Soil. 43: 609-619.

8.Bagyako, M., Georg, E., Romheld., V., and Buerkert, A. 2000. Effects of mycorrhizal fungi and Phosphorus on growth and nutrient uptake of millet, cow pea and sorghum in West African. Soil J. Agric. Sci. 135: 399-407.

9.Bagyaraj, D.J., and Menge, J.A. 1978. Interaction between a VA mycorrhiza and Azotobacter and their effects on rhizosohere microflora and plant growth. New Phytology. 80: 567-573.

10.Bashan, Y., Holguin, G., and Bashan, L. 2004. *Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances. Can. J. Microbiol. 50: 521-577.

11.Basu, M., Bhadoria, P.B.S., and Mahapatra, S.C. 2008. Growth, nitrogen fixation, yield and kernel quality of peanut in response to lime, organic and inorganic fertilizer levels. Bioresource Technology. 99: 4675-4683.

12.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 in dusted stress by arbuscular mycorrhiza in three Pisum sativum L. genotypes. J. Exp. Bot. 53: 371. 1177-1185.

13.Behl, R.K., Narula, N., Vasudeva, M., Sato, A., Shinano, T., and Osaki, M. 2006. Harnessing wheat genotype x*Azotobacter* strain interactions for sustainable wheat production in semi-arid tropics. Tropics. 15: 1. 123-133.

14.Beygi, S., Gholchin, A., and Shafie, S. 2011. Effect of nutrient nitrogen and molybdenum on quantitative and qualitative traits and nitrate concentrations in hydroponic cucumber. Science and Technology of Greenhouse Culture. 2: 6. 37-48. (In Persian)
15.Bolan, N.S., Adriano, B.C., and Mani, P.A. 2003. Immobilization and phytoavailibility of cadmium in variable charge soils. II. Effect of lime addition. Plant and Soil. 251: 187-198.
16.Caris, C., Hordt, W., Hawkins, H.J., Romhel, V., and Eckhard, G. 1998. Studies of iron transport by arbuscular mycorrhizal hyphae from soil to peanut and sorghum plants. Mycorrhiza. 8: 35-39.
17.Chen, B.D., Li, X.L., Tao, H.Q., Christie, P., and Wong, M.H. 2003. The role of arbuscular mycorriza in Zinc uptake by red clover growing in a calcareous soil spiked with various quantities of Zinc. Chemospher. 50: 839-846.
18.Clark, R.B., and Zeto, S.K. 1996. Mineral acquisition by mycorrhizal maize grown on acid and alkaline soil. Soil Biology and Biochemistry. 28: 1405-1503.
19.Egamberdiyeva, D. 2007. The effect of plant growth promoting bacteria on growth and nutrient uptake of maize in two different soils. Applied Soil Ecology. 36: 184-189.
20.Egamberdiyevaa, D., and Hoflich. G. 2003. Influence of growth-promoting bacteria on the growth of wheat in different soils and temperatures. Soil Biology Biochemistry. 35: 973-978.
21.Ehyayei, M., and Behbahanizade, A. 1993. Methods of chemical analysis of soil. Soil and Water Research Institute. 1: 893. 1-122. (In Persian)
22.Facchinelli, A., Sacchi, E., and Mallen, L. 2001. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal source in soils. Environmental pollution. 114: 313-324.
23.Fulchieri, M., and Frioni, L. 1994. *Azospirillum* inoculation on maize (*Zea mays* L.): effect on yield in a field experiment in central Argentina. Soil Biology Biochemistry. 26: 921-923.
24.Glick, B.R., Penrose, D.M., and Li, J.A. 2002. Model for the lowering of plant ethylene concentrations by plant growth promoting bacteria. J. Theor. Biol. 190: 63-68.
25.Goldberg, S.P., Smith, K.A., and Holmes, J.C. 1983. The effects of soil compaction, forms of nitrogen fertilizer, and fertilizer placement on the availability of manganese to barley. J. Sci. Food Agric. 34: 657-670.
26.Govedarica, M., Miliv, V., and Gvozdenoviv, D.J. 1993. Efficiency of the association between Azotobacterchroococcum and tomato varieties. Plant Soil. 42: 113-120.
27.Gupta, M.L., Prasad, A., Ram, M., and Kumar, S. 2002. Effect of the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus fasciculatum* on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. Bio resource Technology. 81: 2. 77-79.
28.Heggo, A., Angle, J.S., and Chaney, R.L. 1990. Effects of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi on heavy metal uptake by soybeans. Soil Biology and Biochemistry. 22: 865-869.
29.Hetrick, B.A.D., Wilson, G.W.T., and Figge, D.A.H. 1994. The influence of mycorrhizal symbiosis and fertilizer amendments on establishment of vegetation in heavy-metal mine spoil. Environmental Pollution. 86: 171-179.
30.Jacoud, C., Faure, D., Wadoux, P., and Bally, R. 1999. Initiation of root growth simulation by *Azospirillum lipoferum* CRT1 during maize seed germination. Can. J. Microbiol. 45: 339-342.
31.Kabata-Pendias, A., and Pendias, H. 2001. Trace elements in soils and plants. CRC Press, BocaRaton, florida. 413p.
32.Kader, M.A., Main, M.H., and Hogue, M.S. 2002. Effects of Azotobacter inoculants on the yield and nitrogen uptake by wheat. On Line J. Biol. Sci. 2: 259-261.
33.Kapulnik, Y., Sarig, S., Nur, A., Okon, Y., and Henis, Y. 1982. The effect of *Azospirillum* inoculation on growth and yield of corn. Israel J. Bot. 31: 247-255.
34.Khan, M.S., and Zaidi, A. 2007. Synergistic effects of the inoculation with plant growth promoting rhizobacteria and an Arbuscular mycorrhizal fungus on the performance of wheat. Agriculture and Forestry. 31: 6. 355-362.

35.Khan, M.S., Zaidi, A., Wani, P.A., and Oves, M. 2008. Role of plant growth promoting rhizobacteria in the remediation of metal contaminated soils. Environmental Chemistry Letters. 10: 23-29.
36.Khavazi, K., and Malakuti, M.J. 2001. Proceedings of the country's need for industrial production of bio fertilizers, Dissemination of Agricultural Education. Ministry of Agriculture. Pp: 12-59. (In Persian)
37.Khoramdel, S., Kuchaki, A., Kasiri Mahallati, M., and Ghorbani, R. 2008. The use of biological fertilizers on growth indices of black cumin. J. Agric. Res. 6: 2. 285-293. (In Persian)
38.Kothari, S.K., Marschnnere, H., and Romheld, U. 1991. Contribution of VA mycorrhizal hyphe in acquisition of phosphorus and zinc by maize. New Phytologist. 117: 649-665.
39.Kotsiras, A., Olympios, C.M., and Passam, H.C. 2005. Effects of nitrogen form and concentration on yield and quality of cucumbers grown on rockwool during spring and winter in southern Greece. J. Plant Nutr. 28: 2027-2035.
40.Li, X., 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: 41-48.
41.Lorenz, N., Hintemann, T., Karmarewa, T., Katayama, A., Yasuta, T., Marshner, P., and Kandeler, E. 2006. Response of microbial activity and microbial community composition in soil to long term arsenic and cadmium exposure. Soil Biology Biochemistry. 38: 1430-1437.
42.Madhaiyan, M., Poonguzhali, S., and Sa, T. 2007. Metal tolerating methyl trophic bacteria reduces nickel and cadmium toxicity and promotes plant growth of tomato (*lycopersicon esculentum* L.). Chemosphere. 69: 220-228.
43.Nezarat, S., and Gholami, A. 2009. Dual inoculation of Azospirillum and Pseudomonas bacteria to improve nutrient absorption in maize. J. Agric. Ecol. 4: 1. 25-32. (In Persian)
44.Nieto, K.F., and Frankenberger, W.T. 1991. Influence of adenine, isopentyl alcohol and *Azotobacter chroococcum* on the vegetative growth of *Zea mays*. Plant Soil. 135: 213-221.
45.Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1986. Methods of soil analysis. Part 2.2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. 312p.
46.Pan, B., Bai, Y.M., Leibovitch, S., and Smith, D.L. 1999. Plant growth promoting rhizobacteria and kinetin as ways to promote corn growth and yield in a short growing season area. Europ. J. Agron. 11: 179-186.
47.Parsa-Motlagh, B., Mahmoodi, S., Sayyari-Zahan, M.H., and Naghizadeh, M. 2011. Effect of mycorrhizal fungi and phosphorus fertilizer on concentration of leaf nutrients and photosynthetic pigments of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress condition. Agroecology. 3: 2. 233-244. (In Persian)
48.Rajkumar, M., and Freitas, H. 2008. Effects of inoculation of plant-growth promoting bacteria on Ni uptake by Indian mustard. Bioresource Technology. 99: 3491-3498.
49.Ribaudo, C.M., Paccusse, A.N., Rondanini, D.P., Curu, J.A., and Fraschina, A.A. 1998. *Azospirillum*- maize association: effects on dry matter yield and nitrate reductive activity. Agricultura Tropica et Subripica. 31: 61-70.
50.Rohitashav-Singh, B.K., Sharma, V.K., and Singh, R. 1993. Response of forage maize (*Zea mays* L.*)* to Azotobacter inoculation and nitrogen. Ind. J. Agron. 38: 555-558.
51.Ronaghi., A., Parvizi, Y., and Karimian, N.A. 2001. Effect of Nitrogen and Manganese on the Growth and Chemical Composition of Spinach. Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 5: 4. 71-83. (In Persian)
52.Roy, S., Bhattacharyya, P., and Gosh, A.K. 2004. Influence of toxic metals on activity of acid and alkaline phosphate enzymes in metal contaminated landfill soils. Austr. J. Soil Res. 42: 339-344.
53.Salardini, A. 2003. Principles of plant nutrition, volume one. Fundamental aspects, second edition, Tehran University Press. 344p. (In Persian)

54. Samar, M., and Khosravi, H. 2002. The effects of four strains of Azotobacter on growth and nutrient uptake by apple trees. Proceedings of the Tenth International Congress of Soil Science Iran, Karaj, Pp: 1-4. (In Persian)
55. Sarwar, N., Saifullah Malhi, S.S., Zia, M.H., Naeem, A., Bibia, S., and Farida, G. 2010. Role of mineral nutrition in minimizing cadmium accumulation by plants. J. Sci. Food Agric. 90: 925-937.
56. Scott, S.J., Jones, R.A., and Williams, W.A. 1984. Review of data analysis methods for seed germination. Crop Science. 24: 1192-1199.
57. Sharaan, A.N., and El-Samie, F.S.A. 1999. Response of wheat varieties to some environmental influences. 1. Effect of seeding rates and N fertilization levels on growth and yield of two wheat varieties (*Triticum aestivum* L.). Annals of Agricultural Science. 44: 589-601.
58. Shirazi, S.S., Ronaghi, A., Karimian, N., Yasrebi, J., and Emami, Y. 2012. Effect of cadmium toxicity on nitrogen and phosphorus uptake and shoot growth characteristics of seven varieties of rice. Science and Technology of Greenhouse Culture. 3: 9. 71-86. (In Persian).
59. Siddiqui, Z.A. 2004. Effects of plant growth promoting bacteria and composed organic fertilizers on the reproduction of Meloidogyne incognita and tomato growth. Bioresources Technology. 95: 223-227.
60. Stoeppler, M. 1991. Cadmium, in metals and their compounds in the environment. Life Science. 3: 219-232.
61. 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. Hazardous Mater. 174: 455-462.
62. Suneja, S., Lakshminarayana, K., and Gupta, P.P. 1994. Role of Azotobacter chroococcum siderophores in control of bacterial rot and Sclrotinia rot of mustard. Ind. J. Mycol. Plant Pathol. 24: 202-205.
63. Wu, S.C., Cao, Z.H., Li, Z.G., and Cheung, K.C. 2005. Effect of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: greenhouse trial. Geoderma. 125: 155-166.
64. Yaghubzade, F., Eradatmand, D., and Yusefirad, M. 2011. Comparison of sunflower and maize plants in phytoremediation of cadmium in soils. First National Congress on Science and Technology of Agriculture, University of Zanjan. Pp: 1-4. (In Persian)
65. Yusefirad, M., and Karbalaei Esmaeil, M.R. 2010. Effects of mycorrhizal fungi on uptake of macronutrients and some morphological traits in sunflower cultivars (*Heliantus annus* L.). Second National Conference on Agriculture and Sustainable Development: Opportunities and Challenges Facing. Pp: 1-13. (In Persian)
66. Zahir, A.Z., Arshad, M., and Khalid, A. 1998. Improving maize yield by inoculation with plant growth promoting rhizobacteria. Pak. J. Soil Sci. 15: 7-11.
67. Zhang, Q., and Jiang, G. 2008. High levels of heavy metals in rice (*Oryza sativa* L.) from a typical E-waste recycling in southeast China and its potential risk to human health. Chemosphere. 71: 1269-1275.

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 5(3), 2015
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Effects of biological fertilizers on yield and concentrations of micronutrients in organs of tomato under cadmium stress

***A. Nemati[1] and A. Golchin[2]**
[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, University of Zanjan,
[2]Professor, Dept. of Soil Science, University of Zanjan
Received: 06/10/2013; Accepted: 09/28/2014

Abstract
Background and Objectives: Soil pollution by heavy elements such as cadmium, zinc and lead, because of adverse effects of the elements on human health and living organisms, have been a matter of concern in recent decades. Lots of effort has been made to block the entrance of these elements into natural and biological cycles. For this purpose, different methods for decreasing the availability of the elements have been assessed and chemical and physical approaches have been used. But the methods are expensive and sometimes destroy the physical and chemical properties of soils. Thus, it is better to use biological methods to decrease the availability of heavy metals in soils since these methods are inexpensive and environmentally friendly.
Materials and Methods: An experiment was aimed to assess the effects of biological fertilizers on yield and yield components of tomato under cadmium stress. This experiment was factorial and had a completely randomized design and three replications. Three combinations of biological fertilizers including M_1: Azotobacter bacteria + Mycorrhizal fungi +Azosperillium bacteria, M_2: Mycorrhizal fungi + Bacillus bacteria + Pseudomonas bacteria + Azotobacter bacteria, M_3: Pseudomonas bacteria + Azotobacter bacteria + Mycorrhizal fungi and M_0: treatment without biological fertilizers (control) was used. The levels of soil cadmium were 0, 5, 10, 20, 40 and 80 mg Cd/kg soil.
Results: The results of this study showed that application of biological fertilizers increased yield and growth indices of tomato and caused the concentrations of micronutrients to increase in aerial part and the root of this plant. The highest yield was obtained from the M_1 treatment, so that it was significantly different from the other treatments. By contrast the M_3 treatment was not significantly different from the control. The yield and growth indices of tomato plant decreased as the levels of soil cadmium increased. The cadmium level of 80 mg Cd/kg soil decreased tomato yield by 67% compared with control.
Conclusion: The results of this research showed that inoculation of soils with biological fertilizers decreased the adverse effects of cadmium on tomato plants and due to higher yield and performance of the M1 treatment, this treatment is recommended for decreasing the adverse effects of cadmium in polluted soils.

Keywords: Biological fertilizers, Cadmium, Micronutrients, Tomato

* Corresponding Authors; Email: akbar_nemati67@yahoo.com