

اثر باکتری محرک رشد گیاه بر جذب برخی عناصر کم‌مصرف به‌وسیله ذرت در یک خاک آلوده به کادمیم تحت تنش کم‌آبی

شهرزاد کرمی^۱، مهدی زارعی^{۲*}، جعفر یتربی^۳، سید علی اکبر موسوی^۴

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۹/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۴/۱۲

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

۲- دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

۳- استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

۴- دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mehdizarei@shirazu.ac.ir

چکیده

خاک‌های آلوده به فلزات سنگین از جمله کادمیم عمدتاً از نظر مواد غذایی و جمعیت میکروبی فقیر می‌باشند. تنش کم‌آبی در این مناطق می‌تواند سبب بدتر شدن شرایط برای رشد سالم گیاه گردد. کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه به عنوان کود زیستی، با تأثیر بر قابلیت دسترسی عناصر غذایی، می‌تواند رشد و سلامت گیاه را بهبود بخشد. به این منظور آزمایشی گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل دو سطح باکتری میکروکوکوس یونانیسیس (با و بدون باکتری)، چهار سطح کادمیم (۵، ۱۰، ۲۰، و ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، و سه سطح رطوبتی (۱۰۰، ۸۰، و ۶۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه) بود. نتایج نشان داد افزایش آلودگی خاک به کادمیم موجب کاهش وزن خشک و جذب منگنز و روی به‌وسیله گیاه شد درحالی‌که مایه‌زنی باکتری به خاک با افزایش وزن خشک اندام هوایی، و جذب کل روی موجب تعدیل اثر منفی کادمیم بر گیاه شد. اثر اصلی تنش کم‌آبی بر وزن خشک اندام هوایی، و جذب کل آهن، منگنز، روی، و مس معنادار بود و موجب کاهش این صفات گردید درحالی‌که مایه‌زنی باکتری به خاک با افزایش وزن خشک اندام هوایی و جذب عناصر آهن و روی اثر منفی تنش کم‌آبی را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: ذرت، عناصر کم‌مصرف، فلز سنگین، میکروکوکوس یونانیسیس

Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacterium on Uptake of Some Micronutrients by Corn in a Cd-contaminated Soil under Water Deficit Stress Conditions

S Karami¹, M Zarei^{*2}, J Yasrebi³, AA Moosavi⁴

Received: 5 December 2015 Accepted: 2 July 2016

1- Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, Faculty of Agric., Shiraz University, Iran

2- Assoc. Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agric., Shiraz University, Iran

3- Assist. Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agric., Shiraz University, Iran

4- Assoc. Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agric., Shiraz University, Iran

*Corresponding Author, E-mail: mehdizarei@shirazu.ac.ir

Abstract

Soils contaminated with heavy metals such as cadmium (Cd), mainly are poor in nutrients and microbial population. Water deficit stress can deteriorate the situation for healthy plant growth. Application of plant growth promoting rhizobacterium as bio-fertilizer can influence the availability of nutrients and improve the plant growth and health. For this reason, a greenhouse factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications. Treatments consisted of two levels of *Micrococcus yunnanensis* bacterium (with and without bacterium), four levels of Cd (5, 10, 20, and 40 mg kg⁻¹), and three levels of soil moisture regimes (100, 80, and 65% of field capacity). Results showed that increasing soil Cd contamination, resulted in reduction of shoots dry weight and total manganese (Mn) and zinc (Zn) uptake, while the soil inoculation with bacterium moderated the negative effects of Cd on the plant by increasing shoots dry weight and total Zn uptake. The main effect of water deficit stress on the shoot dry weight, and the uptake of iron (Fe), Mn, Zn, and copper (Cu) were significant and reduced these traits while the soil inoculation with bacterium increased shoot dry weight and uptake of Fe and Zn and mitigated negative effects of water deficit stress.

Keywords: Corn, Heavy metal, *Micrococcus yunnanensis*, Micronutrients

مقدمه

به‌وسیله گیاهان را از طریق تأثیر بر قابلیت دسترسی آن‌ها یا کاهش جمعیت میکروبی خاک تغییر می‌دهد (بناویدز و همکاران ۲۰۰۵). سطح گسترده‌ای از زمین‌های کشاورزی دچار تنش کم‌آبی می‌باشند، این تنش یکی از عوامل مهم محدود کننده رشد گیاهان زراعی است. خشکسالی موجب کاهش محتوای رطوبتی خاک شده و در نتیجه بر باز و بسته شدن روزنه‌ها، فرآیند فتوسنتز، تنفس و تعرق گیاه و فرآیندهای آنزیمی اثر می‌گذارد و در نهایت بر زیست توده گیاه اثر منفی دارد (بومسما و

آلودگی خاک‌های کشاورزی به فلزات سنگین از جمله کادمیم، یکی از مهمترین مسائل زیست محیطی است. مطالعه جذب و انباشت فلزات سنگین به‌وسیله گیاهان، به‌منظور جلوگیری از تهدید سلامت غذایی انسان‌ها و حیوانات انجام می‌شود. بسیاری از عناصر در جذب شدن به‌وسیله اندام هوایی گیاه و در ایفای نقش‌های زیستی خود در گیاه با کادمیم رقابت می‌کنند (کاباتا-پندیاس ۲۰۱۱). کادمیم جذب و انتقال کاتیون‌ها و آب

این باکتری بر جذب عناصر کم‌مصرف در شرایط ذکر شده انجام نشده است.

مواد و روش‌ها

آزمایشی گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل دو سطح باکتری محرک رشد گیاه (با و بدون باکتری)، چهار سطح کادمیم (۵ (شاهد)، ۱۰، ۲۰، و ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، و سه سطح تنش کم‌آبی (۱۰۰، ۸۰، و ۶۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه) بود. غلظت کادمیم در خاک اولیه ناچیز و خارج از حد تشخیص دستگاه جذب اتمی بود لذا به‌منظور مقایسه صحیح تیمارها، مقدار ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک کادمیم به خاک اولیه افزوده شد و مقدار کادمیم در آن اندازه‌گیری گردید. مقدار کادمیم در خاک ثانویه ۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود که به عنوان سطح شاهد اعمال گردید (جدول ۱). مقدار کافی خاک (از عمق ۳۰ سانتی‌متری) از سری کوی اساتید ایستگاه زراعی باجگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز جمع‌آوری و پس از هوا خشک‌شدن از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی از قبیل بافت خاک، ماده آلی، پ-هاش خاک در گل اشباع، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، پتاسیم به‌روش شعله سنجی، فسفر قابل استفاده، نیتروژن کل و عناصر آهن، منگنز، روی، مس و کادمیم با عصاره‌گیری با DTPA (اسپارکز و همکاران ۱۹۹۶) و قرائت به‌وسیله دستگاه جذب اتمی^۱ اندازه‌گیری شد (جدول ۱). به‌منظور جلوگیری از کمبودهای احتمالی عناصر غذایی نیتروژن (۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، فسفر (تا حد بهینه ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، آهن سکوسترین آهن (۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، روی، مس، و منگنز (به‌ترتیب ۱۰، ۲/۵، و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) به‌صورت

وین ۲۰۰۸). حضور کادمیم در مناطق خشک می‌تواند سبب بروز مشکلات بیشتری در فرآیند تولید محصولات کشاورزی شود. اثر منفی کادمیم بر جذب برخی از عناصر کم‌مصرف بویژه روی، سبب بروز مشکلات متابولیکی ناشی از کمبود این عناصر در گیاه می‌شود (عبدالصبور و همکاران ۱۹۸۸). از طرفی کاهش جریان توده‌ای آب ناشی از تنش کم‌آبی نیز موجب اختلال در جذب عناصر توسط گیاه می‌گردد. کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه ممکن است سبب افزایش قابلیت دسترسی عناصر و کاهش یا افزایش اثر منفی کادمیم بر جذب برخی عناصر کم‌مصرف شود زیرا بهبود جذب عناصر غذایی، بهبود جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه و افزایش مقاومت گیاه در شرایط تنش‌های محیطی و در برابر بیماری‌ها، از ویژگی‌های بارز این باکتری‌ها است (هیات و همکاران ۲۰۱۰). سازوکارهای عمل باکتری‌های محرک رشد گیاه هنوز به‌طور کامل شناخته نشده است (دی و همکاران ۲۰۰۴، هیات و همکاران ۲۰۱۰) اما به‌طور کلی می‌توان به تولید آنزیم‌های حیاتی و هورمون‌های محرک رشد گیاه، آزاد سازی عوامل کلات کننده، ترشح مواد اسیدی و حل کردن فسفات، و تغییر پتانسیل رداکس و در نتیجه تأثیر بر تحرک عناصر و قابلیت دسترسی آن‌ها اشاره کرد (ابوشناب و همکاران ۲۰۰۳، آیدریس و همکاران ۲۰۰۴). هدف از انجام پژوهش حاضر بررسی اثر مایه‌زنی باکتری محرک رشد گیاه میکروکوکوس *یونانیسیس* بر جذب عناصر کم‌مصرف به‌وسیله ذرت در یک خاک آلوده به کادمیم تحت شرایط تنش کم‌آبی است. گونه باکتری مورد استفاده در این آزمایش از جنس میکروکوکوس، هوازی و گرم مثبت می‌باشد. این باکتری توانایی تولید سیدروفور و انحلال فسفات نامحلول معدنی را دارد و در نتیجه می‌تواند قابلیت دسترسی آهن و فسفر را افزایش داده و منجر به افزایش رشد گیاه شود. تا آنجا که نگارندگان اطلاع دارند پژوهشی درمورد اثر

¹ Analytik Jena Nova AA350

سه عدد در هر گلدان تقلیل داده شد و سپس تنش کم آبی (۱۰۰، ۸۰، و ۶۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه) با وزن کردن روزانه گلدان‌ها و افزودن آب مقطر تا رسیدن به وزن تعیین شده اعمال شد.

پس از ۸ هفته گیاهان از محل طوقه جدا شده و در آون با دمای ۶۵ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت خشک و سپس وزن شد. برای اندازه‌گیری غلظت عناصر کم‌مصرف در اندام هوایی، از روش خشک سوزانی استفاده شد. عناصر آهن، منگنز، روی و مس در خاک پس از برداشت نیز به وسیله DTPA عصاره‌گیری و با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند. مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون دانکن و با کمک نرم‌افزار آماری SAS انجام شد (اسپارکز و همکاران ۱۹۹۶).

محلول به خاک گلدان‌ها (۳ کیلوگرمی) اضافه و سپس تیمارهای کادمیم به صورت محلول به خاک گلدان‌ها اعمال شد. کود اوره در دو قسمت مساوی (در ابتدای کاشت و یک ماه پس از کاشت گیاه) و به صورت سرک به خاک گلدان‌ها اضافه شد. باکتری میکروکوکوس *یونانیسیس* از آزمایشگاه بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک دانشگاه تهران که در تحقیق قوامی (۲۰۱۳) خالص‌سازی و شناسایی شده است، تهیه شد. به منظور اطمینان از عدم حضور ذاتی باکتری، قبل از شروع آزمایش خاک استریل گردید. مقدار ۲ میلی‌لیتر از محیط کشت حاوی $CFU mL^{-1}$ 1×10^8 باکتری به ازای هر بذر ذرت (رقم HIDO) مایه‌زنی و بذرها با لایه‌ای از خاک پوشانده شد. تیمار شاهد بدون باکتری با افزودن ۲ میلی‌لیتر محیط کشت فاقد باکتری اعمال گردید. پس از دو هفته تعداد گیاهان به

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

Cd	Cu	Zn	Mn	Fe	K	P	N (%)	CEC ($Cmol^+kg^{-1}$)	OM (%)	pH	EC _e ($dS m^{-1}$)	FC (%)	بافت خاک	شن رس	
														(%)	
۰/۲	۱/۵	۰/۴	۱۱/۵	۳/۵	۶۲۰	۱۸	۰/۰۶	۱۵	۱/۳	۷/۷	۰/۳۵	۱۸	Clay loam	۲۸	۴۲

نتایج

جذب کل آهن

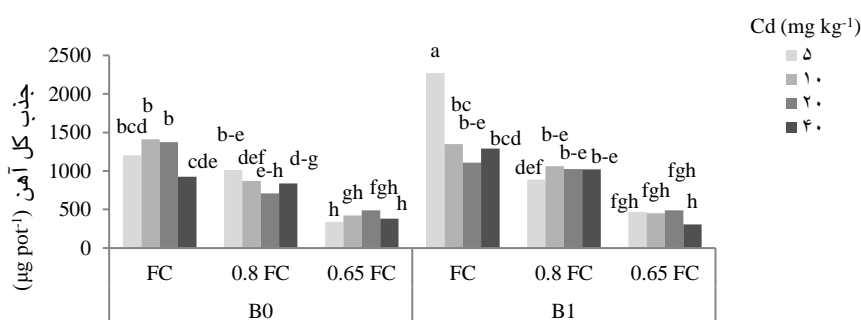
کاهش یافت (جدول ۳). به‌طور کلی کاربرد باکتری سبب افزایش ۱۷/۵ درصدی جذب آهن به‌وسیله اندام هوایی گیاه شد (جدول ۴). تأثیر باکتری بر جذب آهن در شرایط ۱۰۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه، بیشتر از تنش کم آبی بود و سبب افزایش ۲۲/۳ درصدی جذب آهن شد (جدول ۳). بیشترین مقدار جذب آهن به تیمار بدون تنش کم آبی و سطح شاهد کادمیم و در شرایط مایه‌زنی شده با باکتری و کمترین میزان آن به سطح ۴۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، و تنش کم آبی ۶۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه و در شرایط مایه‌زنی شده اختصاص داشت که با شرایط مایه‌زنی نشده تفاوت معناداری نداشت (شکل ۱).

اثرات سه‌گانه تیمارها بر جذب آهن (در سطح ۱٪) معنادار بود. در شرایط بدون مایه‌زنی باکتری با افزایش سطح کادمیم، جذب کل آهن کاهش یافت اما این کاهش معنادار نبود. در شرایط مایه‌زنی شده با باکتری با افزایش سطح کادمیم، کاهش معناداری در جذب آهن نسبت به سطح شاهد کادمیم مشاهده شد که البته این سطوح تفاوت معناداری با یکدیگر نداشتند. در مقایسه تیمارهای بدون مایه‌زنی و مایه‌زنی شده با باکتری، با مایه‌زنی باکتری تنها در سطح شاهد کادمیم، جذب آهن افزایش ۴۱/۹ درصدی و معناداری را نشان داد (جدول ۲). با افزایش سطح تنش کم آبی، جذب کل آهن به‌وسیله اندام هوایی گیاه در تیمارهای با و بدون مایه‌زنی باکتری

غلظت آهن در خاک پس از برداشت

سطوح کادمیم اثر معناداری بر غلظت آهن خاک نداشت (جدول ۲). با افزایش سطح تنش کم آبی در شرایط بدون مایه زنی باکتری، میزان آهن خاک در تنش ۶۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه (۴/۸۸ میکروگرم در گرم) افزایش معناداری به میزان ۲۸/۴ درصد نسبت به

سطح شاهد (۳/۸ میکروگرم در گرم) داشت اما در شرایط ۸۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه تفاوت معناداری با شاهد مشاهده نشد. در شرایط مایه زنی شده با باکتری تفاوت معناداری بین تیمارهای تنش کم آبی مختلف مشاهده نشد (جدول ۳). به طور کلی مایه زنی باکتری اثری بر آهن خاک پس از برداشت گیاه نداشت (جدول ۴).



باکتری، سطوح رطوبت و سطوح کادمیم (mg kg⁻¹)

شکل ۱- اثر متقابل سه گانه باکتری محرک رشد گیاه، سطوح کادمیم و تنش کم آبی بر جذب کل آهن توسط اندام هوایی ذرت.

جذب کل منگنز

با افزایش سطح کادمیم در تیمارهای بدون مایه زنی، جذب کل منگنز به وسیله اندام هوایی گیاه در سطوح ۱۰، ۲۰، و ۴۰ میلی گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، به صورت معناداری نسبت به سطح شاهد (۸۷۰) کاهش یافت (جدول ۲) که تیمارهای ۲۰ و ۴۰ میلی گرم کادمیم در کیلوگرم خاک تفاوت معناداری از نظر جذب کل منگنز با یکدیگر نداشتند. در شرایط مایه زنی با باکتری، سطوح ۵ و ۱۰ میلی گرم کادمیم در کیلوگرم خاک اختلاف معناداری در جذب کل منگنز نداشتند اما جذب کل منگنز در سطوح ۲۰ و ۴۰ به صورت معنادار و به ترتیب به میزان ۱۶/۲ و ۱۶/۸ درصد نسبت به سطح شاهد کاهش یافت (جدول ۲). با افزایش سطح تنش کم آبی در شرایط بدون مایه زنی، جذب کل منگنز کاهش یافت. در شرایط بدون تنش کم آبی مایه زنی باکتری سبب افزایش معنادار

۶/۹ درصدی جذب کل منگنز شده به طوری که جذب کل منگنز از ۱۱۰۹ به ۱۱۸۵ میکروگرم در گلدان افزایش یافت ولی در سایر سطوح تنش کم آبی تفاوت معناداری مشاهده نشد (جدول ۳). به طور کلی مایه زنی باکتری ضمن افزایش مقدار جذب کل منگنز، اثر معناداری روی این صفت نداشته است (جدول ۴). بیشترین میزان جذب منگنز به شرایط مایه زنی شده با باکتری و بدون تنش کم آبی (۱۰۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه) و سطح شاهد کادمیم و کمترین میزان جذب منگنز به شرایط تنش ۶۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه و مایه زنی شده با باکتری و سطح ۴۰ میلی گرم کادمیم در کیلوگرم خاک تعلق داشت (شکل ۲). اثرات متقابل سه گانه بر جذب منگنز توسط گیاه معنادار نبود.

غلظت منگنز در خاک پس از برداشت

در شرایط بدون مایه‌زنی با افزایش سطح کادمیم تا سطح ۲۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک تفاوت معناداری در غلظت منگنز خاک مشاهده نمی‌شود اما در سطح ۴۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک کاهش معنادار ۳۳/۵ درصدی در غلظت منگنز خاک نسبت به سطح شاهد کادمیم (۱۰/۱) مشاهده می‌شود (جدول ۲).

در شرایط مایه‌زنی با باکتری اثر معناداری بین سطوح کادمیم و سطح شاهد کادمیم مشاهده نمی‌شود اما در مقایسه سطح ۱۰ با سطح ۴۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، کاهش معنادار ۲۲/۶ درصدی دیده می‌شود. سطوح مختلف تنش کم‌آبی و مایه‌زنی باکتری اثر معناداری بر غلظت منگنز خاک پس از برداشت گیاه نداشت (جدول‌های ۳ و ۴).

جدول ۲- اثر متقابل دوگانه مایه‌زنی باکتری و سطوح کادمیم بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در خاک و گیاه.

سطوح کادمیم (mg kg^{-1})				PGPR	ویژگی
۴۰	۲۰	۱۰	۰		
۷/۸۶ ^d	۷/۹۶ ^{cd}	۸/۷۳ ^{cd}	۸/۸۲ ^{bc**}	B ₀ *	وزن خشک اندام هوایی ذرت (g pot^{-1})
۸/۲۱ ^{cd}	۸/۵۹ ^{cd}	۹/۵۸ ^{ab}	۱۰/۲ ^a	B ₁	
۷۱۵ ^b	۸۵۸ ^b	۹۰۲ ^b	۸۵۱ ^b	B ₀	جذب کل آهن توسط اندام هوایی ذرت
۸۷۳ ^b	۸۷۴ ^b	۹۵۴ ^b	۱۲۰۷ ^a	B ₁	($\mu\text{g pot}^{-1}$)
۳/۹۱ ^a	۴/۴۹ ^a	۴/۴۶ ^a	۴/۲۰ ^a	B ₀	غلظت آهن در خاک پس از برداشت
۳/۹۱ ^a	۳/۹۹ ^a	۴/۴۸ ^a	۴/۵۵ ^a	B ₁	($\mu\text{g g}^{-1}$)
۶۷۹ ^d	۶۹۵ ^{cd}	۷۷۹ ^{bc}	۸۷۰ ^a	B ₀	جذب کل منگنز توسط اندام هوایی ذرت
۷۱۳ ^{cd}	۷۱۸ ^{cd}	۸۴۹ ^{ab}	۸۵۶ ^{ab}	B ₁	($\mu\text{g pot}^{-1}$)
۶/۷۲ ^c	۱۰/۲ ^{ab}	۹/۰۵ ^{ab}	۱۰/۱ ^{ab}	B ₀	غلظت منگنز در خاک پس از برداشت
۸/۳۲ ^{bc}	۸/۸۷ ^{abc}	۱۰/۷ ^a	۹/۵۱ ^{ab}	B ₁	($\mu\text{g g}^{-1}$)
۳۱۹ ^c	۳۶۳ ^{bc}	۳۶۸ ^{bc}	۳۸۲ ^{bc}	B ₀	جذب کل روی توسط اندام هوایی ذرت
۳۳۰ ^c	۳۶۷ ^{bc}	۴۳۷ ^{ab}	۴۹۵ ^a	B ₁	($\mu\text{g pot}^{-1}$)
۳/۱۷ ^a	۳/۶۰ ^a	۳/۴۰ ^a	۳/۲۷ ^a	B ₀	غلظت روی در خاک پس از برداشت
۳/۱۶ ^a	۳/۲۳ ^a	۳/۸۶ ^a	۳/۲۵ ^a	B ₁	($\mu\text{g g}^{-1}$)
۵۷/۵ ^b	۷۴/۸ ^a	۵۷/۵ ^b	۵۲/۷ ^b	B ₀	جذب کل مس توسط اندام هوایی ذرت
۵۴/۴ ^b	۶۴/۰ ^{ab}	۷۷/۱ ^a	۶۷/۱ ^{ab}	B ₁	($\mu\text{g pot}^{-1}$)
۱/۸۷ ^a	۱/۹۸ ^a	۱/۹۴ ^a	۱/۹۷ ^a	B ₀	غلظت مس در خاک پس از برداشت
۱/۸۷ ^a	۱/۸۵ ^a	۱/۹۳ ^a	۱/۹۵ ^a	B ₁	($\mu\text{g g}^{-1}$)

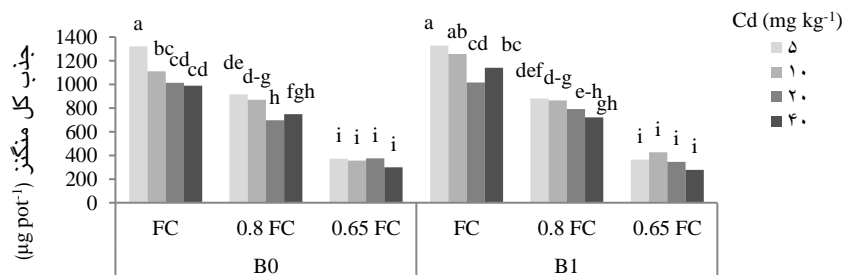
* B₀ نشان‌دهنده تیمار بدون مایه‌زنی باکتری محرک رشد گیاه و B₁ تیمار مایه‌زنی شده با باکتری *Micrococcus yunnanensis* می‌باشند. ** اعدادی که در ردیف یا ستون هر ویژگی دارای حروف مشترک هستند از نظر آماری در سطح ۵ درصد با آزمون دانکن معنادار نمی‌باشند.

جدول ۳- اثر متقابل دوگانه مایه زنی باکتری و سطوح تنش کم آبی بر ویژگی های اندازه گیری شده در خاک و گیاه.

رطوبت خاک			PGPR	ویژگی	رطوبت خاک			PGPR	ویژگی
۰/۶۵ FC	۰/۸ FC	FC			۰/۶۵ FC	۰/۸ FC	FC		
۱۸۱ ^d	۲۳۷ ^c	۵۵۶ ^a	B ₀	جذب کل روی توسط اندام	۳/۹۸ ^e	۸/۲۰ ^d	۱۲/۸ ^{b**}	B ₀ *	وزن خشک اندام هوایی
۱۷۹ ^d	۴۳۴ ^b	۶۰۸ ^a	B ₁	هوایی ذرت (μg pot ⁻¹)	۳/۹۱ ^e	۹/۵۸ ^c	۱۳/۹ ^a	B ₁	ذرت (g pot ⁻¹)
۳/۴۹ ^a	۳/۲۳ ^a	۳/۳۵ ^a	B ₀	غلظت روی در خاک پس	۴۰۷ ^d	۸۵۸ ^c	۱۲۲۹ ^b	B ₀	جذب کل آهن توسط اندام
۳/۱۴ ^a	۳/۲۴ ^a	۳/۸۲ ^a	B ₁	از برداشت (μg g ⁻¹)	۴۲۹ ^d	۹۹۹ ^c	۱۵۰۴ ^a	B ₁	هوایی ذرت (μg pot ⁻¹)
۳۱/۲ ^c	۵۹/۸ ^b	۹۰/۸ ^a	B ₀	جذب کل مس توسط اندام	۴/۸۸ ^a	۴/۱۱ ^{ab}	۳/۸۰ ^b	B ₀	غلظت آهن در خاک پس از
۳۲/۳ ^c	۶۱/۰ ^b	۱۰۴ ^a	B ₁	هوایی ذرت (μg pot ⁻¹)	۴/۱۹ ^{ab}	۴/۲۰ ^{ab}	۴/۳۰ ^{ab}	B ₁	برداشت (μg g ⁻¹)
۲/۰۵ ^a	۱/۹۰ ^a	۱/۸۷ ^a	B ₀	غلظت مس در خاک پس از	۳۵۱ ^d	۸۰۸ ^c	۱۱۰۹ ^b	B ₀	جذب کل منگنز توسط اندام
۱/۹۲ ^a	۱/۹۱ ^a	۱/۸۷ ^a	B ₁	برداشت (μg g ⁻¹)	۳۵۴ ^d	۸۱۳ ^c	۱۱۸۵ ^a	B ₁	هوایی ذرت (μg pot ⁻¹)
					۹/۹۱ ^a	۸/۵۳ ^a	۸/۶۵ ^a	B ₀	غلظت منگنز در خاک پس از
					۹/۰۰ ^a	۹/۷۴ ^a	۹/۳۴ ^a	B ₁	برداشت (μg g ⁻¹)

جدول ۴- میانگین اثر اصلی مایه زنی باکتری بر ویژگی های اندازه گیری شده در خاک و گیاه.

میانگین اثر باکتری	PGPR	ویژگی	میانگین اثر باکتری	PGPR	ویژگی
۳۵۸ ^b	B ₀	جذب کل روی توسط اندام	۸/۳۴ ^{b**}	B ₀ *	وزن خشک اندام هوایی
۴۰۷ ^a	B ₁	هوایی ذرت (μg pot ⁻¹)	۹/۱۴ ^a	B ₁	ذرت (g pot ⁻¹)
۳/۳۶ ^a	B ₀	غلظت روی در خاک پس از	۸۳۲ ^b	B ₀	جذب کل آهن توسط اندام
۳/۴۰ ^a	B ₁	برداشت (μg g ⁻¹)	۹۷۷ ^a	B ₁	هوایی ذرت (μg pot ⁻¹)
۶۰/۶ ^a	B ₀	جذب کل مس توسط اندام	۴/۲۶ ^a	B ₀	غلظت آهن در خاک پس از
۶۵/۶ ^a	B ₁	هوایی ذرت (μg pot ⁻¹)	۴/۲۳ ^a	B ₁	برداشت (μg g ⁻¹)
۱/۹۴ ^a	B ₀	غلظت مس در خاک پس از	۷۵۶ ^a	B ₀	جذب کل منگنز توسط اندام
۱/۹۰ ^a	B ₁	برداشت (μg g ⁻¹)	۷۸۴ ^a	B ₁	هوایی ذرت (μg pot ⁻¹)
			۹/۰۳ ^a	B ₀	غلظت منگنز در خاک پس از
			۹/۳۶ ^a	B ₁	برداشت (μg g ⁻¹)

باکتری، سطوح رطوبت و سطوح کادمیم (mg kg⁻¹)

شکل ۲- اثر متقابل سه گانه باکتری محرک رشد گیاه، سطوح کادمیم و تنش کم آبی بر جذب کل منگنز توسط اندام هوایی ذرت.

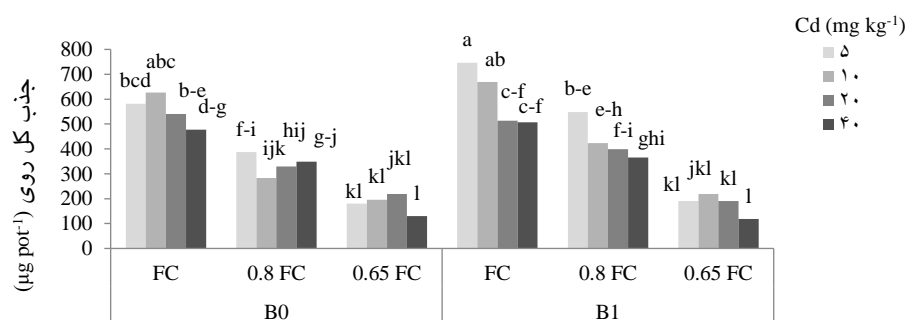
جذب کل روی

در شرایط بدون مایه‌زنی با افزایش سطح کادمیم، تفاوت معناداری در جذب روی تیمارها با شاهد مشاهده نشد (جدول ۲). در شرایط مایه‌زنی شده با باکتری بین سطوح ۵ و ۱۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، تفاوت معناداری در جذب روی به‌وسیله اندام هوایی گیاه وجود نداشت اما سطوح ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، به‌ترتیب سبب کاهش ۲۵/۷ و ۳۳/۳ درصدی جذب کل روی به‌وسیله اندام هوایی گیاه نسبت به سطح شاهد کادمیم (۴۹۵) شد. به‌طورکلی با افزایش سطح کادمیم، جذب کل روی در گیاه کاهش نشان می‌دهد (جدول ۲). در مقایسه تیمارهای مایه‌زنی شده و بدون مایه‌زنی، کاربرد باکتری تنها در سطح شاهد کادمیم مؤثر بود و سبب افزایش ۲۹/۲ درصدی در جذب روی به‌وسیله اندام هوایی گیاه شد به‌طوری‌که جذب کل روی از ۳۸۳ به ۴۹۵ میکروگرم در گلدان افزایش یافت (جدول ۲). با افزایش تنش کم‌آبی در شرایط با و بدون مایه‌زنی باکتری، کاهش معناداری در جذب کل روی مشاهده شد. مایه‌زنی باکتری، تنها در شرایط تنش کم‌آبی ۸۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه بر جذب کل روی مؤثر بود و سبب افزایش ۲۸/۷ درصدی در جذب کل روی به‌وسیله اندام هوایی

گیاه ذرت شد به‌طوری‌که جذب کل روی اندام هوایی ذرت از ۳۳۷ به ۴۳۴ میکروگرم در گلدان افزایش یافته است اما در تنش ۶۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه تفاوت معناداری مشاهده نمی‌شود (جدول ۳). مایه‌زنی باکتری سبب افزایش ۱۳/۷ درصدی و معنادار در جذب کل روی به‌وسیله اندام هوایی گیاه شده است به‌طوری‌که با کاربرد باکتری جذب کل روی از ۳۵۸ به ۴۰۷ میکروگرم در گلدان افزایش یافت (جدول ۴). اثرات متقابل سه‌گانه بر جذب روی معنادار نبود اما اثر متقابل دوگانه کادمیم و تنش کم‌آبی بر جذب روی در سطح ۵ درصد معنادار بود. بیشترین مقدار جذب کل روی (۷۴۶ میکروگرم در گلدان) به شرایط بدون تنش کم‌آبی و سطح ۵ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، و مایه‌زنی شده با باکتری و کمترین مقدار جذب کل روی (۱۱۸ میکروگرم در گلدان) به حالت تنش کم‌آبی ۶۵ درصد و سطح ۴۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، و مایه‌زنی شده با باکتری تعلق داشت (شکل ۳).

غلظت روی در خاک پس از برداشت

تیمارهای اعمال شده اثر معناداری بر میزان روی خاک پس از برداشت گیاه نداشت.



باکتری، سطوح رطوبت و سطوح کادمیم (mg kg⁻¹)

شکل ۳- اثر متقابل سه‌گانه باکتری محرک رشد گیاه، سطوح کادمیم و تنش کم‌آبی بر جذب کل روی توسط اندام هوایی ذرت.

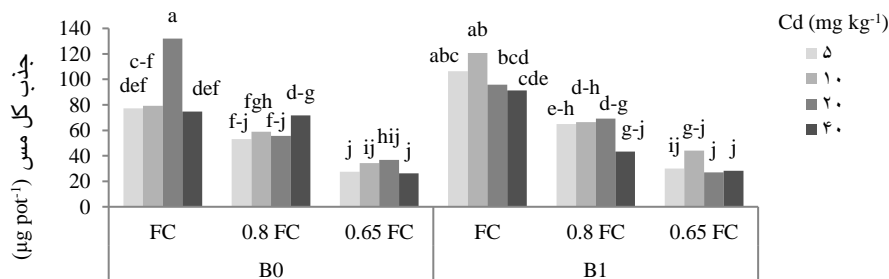
جذب کل مس

بود. به‌طورکلی با افزایش تنش کم‌آبی در شرایط با و بدون مایه‌زنی باکتری، جذب کل مس کاهش یافت (جدول ۳) اما مایه‌زنی باکتری تأثیر معناداری بر جذب کل مس نداشت (جدول ۴). بیشترین مقدار جذب کل مس (۱۳۲ میکروگرم در گلدان) به شرایط بدون تنش کم‌آبی و بدون باکتری و سطح ۲۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک و کمترین مقدار جذب کل مس (۲۶/۲ میکروگرم در گلدان) به تنش ۶۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه و بدون مایه‌زنی و سطح ۴۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک تعلق داشت (شکل ۴). اثرات متقابل سه‌گانه تیمارها بر جذب مس توسط اندام هوایی گیاه در سطح ۵ درصد معنادار بود.

غلظت مس در خاک پس از برداشت

تیمارهای اعمال شده اثر معناداری بر میزان مس خاک پس از برداشت گیاه نداشت (جدول‌های ۲، ۳ و ۴).

در شرایط بدون مایه‌زنی تنها در سطح ۲۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، افزایش معنادار و ۴۲/۱ درصدی در جذب کل مس نسبت به سطح شاهد کادمیم مشاهده شد و در شرایط مایه‌زنی با باکتری تفاوت معناداری بین سطوح مختلف و سطح شاهد کادمیم وجود نداشت اما سطوح ۱۰ و ۴۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، تفاوت معناداری با یکدیگر نشان می‌دهند به‌طوری‌که با افزایش سطح کادمیم به میزان ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، جذب مس به‌میزان ۴۱/۷ درصد کاهش یافت (جدول ۲). تنها در سطح ۱۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، مایه‌زنی باکتری سبب افزایش ۳۴/۱ درصدی در جذب کل مس گردید به‌طوری‌که جذب کل مس از ۵۷/۵ به ۷۷/۱ میکروگرم در گلدان افزایش یافت (جدول ۲). اثر متقابل دوگانه باکتری و کادمیم در سطح ۵ درصد بر جذب مس توسط اندام هوایی گیاه معنادار



باکتری، سطوح رطوبت و سطوح کادمیم (mg kg⁻¹)

شکل ۴- اثرات متقابل سه‌گانه باکتری محرک رشد گیاه، سطوح کادمیم و تنش کم‌آبی بر جذب کل مس توسط اندام هوایی ذرت.

بحث

در سطوح بالای کادمیم کاهش یافته است. کاهش در جذب عناصر در حضور کادمیم می‌تواند به‌صورت مستقیم با تأثیر کادمیم در فرآیندهای آنزیمی درگیر در جذب یا رقابت برای ناقل‌های فلزی مرتبط باشد (بناویدز و همکاران ۲۰۰۵). تنش کم‌آبی نیز با کاهش وزن خشک گیاه، کاهش جذب آهن در کلیه تیمارها را به‌دنبال داشت

افزایش سطوح کادمیم سبب کاهش غیرمعنادار جذب آهن در تیمارهای با و بدون مایه‌زنی باکتری شد. مایه‌زنی باکتری تنها در سطح ۵ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک (سطح شاهد کادمیم) سبب افزایش جذب آهن شد که نشان می‌دهد کارایی باکتری برای جذب آهن

نشان می‌دهد مایه‌زنی باکتری سبب تعدیل اثر منفی تنش کم‌آبی بر رشد و جذب عناصر توسط گیاه شده است. افزایش سطوح کادمیم سبب کاهش جذب منگنز توسط گیاه شد که می‌تواند به دلیل کاهش رشد اندام هوایی گیاه در اثر سمیت کادمیم باشد. در تیمارهای مایه‌زنی شده باکتری با افزایش آلودگی کادمیم تا سطح ۱۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، کاهش جذب منگنز اتفاق نیفتاد که نشان می‌دهد مایه‌زنی باکتری اثر منفی کادمیم بر جذب منگنز را کاهش داده است. سانداویو و همکاران (۲۰۰۱) دریافتند که کاربرد کادمیم، جذب کل منگنز را در برگ نخود کاهش داد. خان و همکاران (۲۰۰۸) گزارش نمودند که کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه، وزن خشک گیاه و در نهایت جذب کل منگنز به‌وسیله گیاه را افزایش می‌دهند. در برخی موارد (در سطح رطوبتی ۸۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه و مایه‌زنی نشده و سطح ۱۰۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه و مایه‌زنی شده)، مقادیر جذب‌شده منگنز در سطح ۴۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک بیش از سطح ۲۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک شده است. راموس و همکاران (۲۰۰۲) با بررسی برهمکنش کادمیم و منگنز دریافتند که افزایش سطح کادمیم می‌تواند موجب افزایش جذب منگنز و افزایش محتوی منگنز در کلروپلاست شود. آن‌ها بیان کردند رفتار منگنز در مقابل افزایش کادمیم متفاوت با سایر عناصر کم‌مصرف است. اما اینکه چرا در تیمارهای مایه‌زنی شده در تنش کمتری این رفتار متفاوت بروز کرده و در تنش‌های کم‌آبی دیگر این اثر به‌وقوع نپیوسته نیازمند تحقیقات بیشتر است. یکی از دلایل کاهش یا عدم رشد گیاه در شرایط تنش‌های غیرزنده مانند کم‌آبی، انباشت اتیلن در گیاه می‌باشد. برای کاهش اثرات سوء کم‌آبی روش‌هایی وجود دارد که یکی از آن‌ها استفاده از کودهای زیستی و حاوی باکتری‌های محرک رشد گیاه است (گلیک ۱۹۹۵) که دارای آنزیم ACC-deaminase هستند، و می‌توانند ACC، که پیش‌ساز تولید اتیلن در گیاهان است را به آمونیاک و آلفا

و کارآیی باکتری برای افزایش جذب آهن، در حالت بدون تنش بیشتر از تنش‌های کم‌آبی بود. بومسما و وین (۲۰۰۸) گزارش نمودند که تنش کم‌آبی سبب کاهش رشد و تقسیم سلولی، انباشت آبسزیک اسید و کاهش فتوسنتز شده و در نتیجه زیست توده گیاه و جذب عناصر غذایی کاهش می‌یابد. سینگ و سینگ (۲۰۰۴) بیان داشتند با کاهش میزان آب خاک، دسترسی عناصر غذایی کم‌مصرف چون آهن، روی، مس و منگنز در خاک کاهش می‌یابد. به‌طورکلی باکتری سبب افزایش ۱۷/۵ درصدی جذب آهن توسط گیاه شد که می‌تواند مربوط به توانایی تولید سیدروفور توسط باکتری مورد مطالعه و در نتیجه افزایش فراهمی آهن و افزایش وزن خشک گیاه باشد. باکتری مورد مطالعه توانایی حل فسفات‌های نامحلول را نیز دارد که می‌تواند از طریق افزایش قابلیت دسترسی و جذب فسفر توسط گیاه باعث افزایش رشد گیاه و در نتیجه افزایش جذب آهن و سایر عناصر شود. باکتری‌های محرک رشد گیاه به‌دلیل ترشح هورمون‌های گیاهی و تولید سیدروفورها، رشد گیاه و در نهایت جذب آهن به‌وسیله گیاه را افزایش می‌دهند (خان و همکاران ۲۰۰۸). برخی از باکتری‌های محرک رشد گیاه با انحلال ترکیبات حاوی آهن سبب افزایش جذب آن به‌وسیله برنج می‌شوند (شارما و همکاران ۲۰۱۴). میشر و همکاران (۲۰۱۱) نیز نتایج مشابهی را در عدس گزارش نمودند. بهبود و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که حضور باکتری‌های محرک رشد گیاه به‌دلیل کمک به انحلال ترکیبات فسفره در خاک و تسهیل جذب آن توسط گیاه و همچنین تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه می‌تواند باعث افزایش عملکرد سیب زمینی شوند. افزایش غلظت آهن در خاک پس از برداشت تیمارهای مایه‌زنی نشده، در حداکثر تنش کم‌آبی اعمال شده، نشان دهنده کاهش رشد گیاه در این شرایط رطوبتی و کاهش جذب آهن توسط گیاه و در نتیجه افزایش آن در خاک می‌باشد درحالی‌که با مایه‌زنی باکتری تفاوت معناداری بین غلظت آهن در خاک تنش‌های مختلف رطوبتی وجود ندارد و

که در تیمارهای باکتریایی، زیست توده و جذب کل روی در ذرت افزایش می‌یابد. ابوشناب و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که کاربرد باکتری‌های *باسیلوس سابتیلیس*، *باسیلوس پومیلوس*، *سودوموناس آکالیژنز*، و *برویباکتریوم هالوتالرانس* سبب افزایش جذب روی در گیاه ذرت شد.

نتایج مختلفی از برهمکنش کادمیم با جذب مس در گیاه گزارش شده است. والاس و همکاران (۱۹۷۷) گزارش نمودند که افزودن کادمیم سبب افزایش جذب کل مس در ذرت شد اما لیو و همکاران (۲۰۰۶) مشاهده کردند افزایش کادمیم، تأثیر معناداری بر محتوای مس ذرت نداشت. در پژوهش حاضر با افزایش سطح کادمیم دو مرحله افزایش و سپس کاهش جذب مس مشاهده گردید که می‌تواند به دلیل کاهش وزن خشک گیاه باشد. ضمناً در سطوح مختلف تنش کم‌آبی و در شرایط مایه‌زنی یا بدون مایه‌زنی باکتری این روندها متفاوت بود. با افزایش آلودگی کادمیم در تیمارهای بدون مایه‌زنی باکتری، جذب مس تا سطح ۲۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک زیاد و بعد کم شده درحالی‌که در تیمارهای مایه‌زنی شده با باکتری، جذب مس تا سطح ۱۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک زیاد و بعد کم شده که نشان می‌دهد با کاربرد باکتری در کلیه سطوح تنش کم‌آبی این روند در سطح پایین‌تری از کادمیم (نسبت به شرایط عدم مایه‌زنی باکتری) تغییر کرده است که ممکن است به دلیل کاهش حلالیت مس در اثر انحلال فسفات‌های نامحلول توسط باکتری و در نتیجه کاهش جذب مس توسط گیاه باشد (لانگرگان و وب ۱۹۹۳). با افزایش تنش کم‌آبی جذب مس کاهش یافت که به دلیل کاهش زیست توده تولیدی می‌باشد. کاهش جذب عناصر آهن، منگنز، روی و مس، علاوه بر کاهش وزن خشک گیاه در اثر افزایش سطح و سمیت کادمیم، می‌تواند به دلیل رقابت کاتیونی کادمیم با کاتیون‌های مورد نظر باشد. تحرک

کتوبوتیرات تجزیه کرده و اتیلن گیاه را کاهش دهند (هیات و همکاران ۲۰۱۰). با افزایش تنش کم‌آبی جذب منگنز متعاقباً به دلیل کاهش وزن خشک گیاه کاهش یافت و مایه‌زنی باکتری در سطوح پایین تنش کم‌آبی (۸۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه) در افزایش جذب منگنز مؤثر بود. یکی از دلایل مهم کاهش جذب منگنز در حضور باکتری‌ها این است که آن‌ها Mn^{2+} را به Mn^{4+} تبدیل کرده و سبب کاهش قابلیت دسترسی آن و در نهایت کاهش جذب آن به‌وسیله گیاه می‌شوند. باکتری‌های محرک رشد گیاه ممکن است با اثر بر تحرک فسفر معدنی نامحلول در خاک، سبب کاهش حلالیت منگنز متعاقباً کاهش جذب این عنصر شده باشند (لانگرگان و وب ۱۹۹۳). با افزایش آلودگی کادمیم غلظت منگنز در خاک پس از برداشت گیاه کاهش یافت که می‌تواند به دلیل جذب بیشتر آن توسط گیاه در این شرایط باشد.

با افزایش آلودگی کادمیم، جذب روی تنها در تیمارهای مایه‌زنی شده و در سطوح بالای کادمیم کاهش نشان داد که می‌تواند به دلیل کاهش وزن خشک گیاه به علت سمیت کادمیم باشد و نشان می‌دهد کارایی باکتری در سطوح بالای آلودگی کادمیم کمتر شده و مایه‌زنی باکتری تنها در سطح ۵ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک مؤثر بوده است. جیلر و همکاران (۱۹۹۸) بیان کردند روی و کادمیم خصوصیات ژئوشیمیایی و محیطی مشابهی دارند بنابراین حضور کادمیم و روی در محیط می‌تواند به برهمکنش این دو عنصر منجر شود. ونگ و همکاران (۲۰۰۷) گزارش نمودند افزایش سطوح کادمیم به‌صورت معناداری موجب کاهش جذب کل روی به‌وسیله ذرت شد. با افزایش تنش کم‌آبی و کاهش وزن خشک تولیدی، جذب روی نیز کاهش یافت و کاربرد باکتری تنها در سطوح پایین تنش کم‌آبی برای افزایش جذب روی مؤثر بود. مایه‌زنی باکتری مورد مطالعه با افزایش رشد گیاه موجب افزایش ۱۳/۷ درصدی در جذب روی شد. ملک‌زاده و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش نمودند

باکتری به عنوان کود زیستی می‌تواند در شرایط تنش کم‌آبی و در حضور عناصر سنگین مؤثر واقع گردد؛ البته ضروری است باکتری مورد مطالعه قبل از استفاده، گواهی بی‌خطری (از لحاظ سلامت انسان، دام و محیط زیست) را از مراجع مربوطه دریافت نماید. پژوهش مذکور در شرایط گلخانه انجام گردید و مقدار و نحوه کاربرد این باکتری به عنوان کود زیستی در مزرعه نیازمند مطالعات گسترده‌تر است.

کادمیم در خاک بیش از عناصر مذکور بوده و لذا رقابت کاتیونی نقش مهمی در کاهش جذب این عناصر دارد. به‌طورکلی نتایج پژوهش حاضر نشان داد مایه‌زنی باکتری محرک رشد گیاه (میکروکوکوس یونانیسیس) با افزایش قابلیت دسترسی برخی عناصر کم‌مصرف نظیر آهن و روی، رشد ذرت را بهبود بخشید و توانست اثر منفی کادمیم و تنش کم‌آبی بر رشد گیاه و جذب برخی عناصر کم‌مصرف را کاهش دهد. کاربرد این

منابع مورد استفاده

- قوامی ن، ۱۳۹۲. بررسی نقش برخی از انواع سیدروفورهای باکتریایی در تغذیه آهن گیاهان کلزا و ذرت (گیاهان استراتژی I و II). پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه تهران.
- Abdel-Sabour MF, Mortvedt JJ and Keelson JJ, 1988. Cadmium-Zinc interaction in plants and extractable cadmium and zinc fractions in soil. *Soil Science* 145: 426-431.
- Abou-Shanab RA, Angle JS, Delorme TA, Chaney RL, van Berkum P, Moawad H, Ghanem K and Ghazlan HA, 2003. Rhizobacterial effects on nickel extraction from soil and uptake by *Alyssum murale*. *New Phytologist* 158: 219–224.
- Abou-Shanab RAI, Ghanem K, Ghanem N and Al-Kolaibe A, 2008. The role of bacteria on heavy-metal extraction and uptake by plants growing on multi-metal-contaminated soils. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 24: 253-262.
- Behbood M, Golchin A and Besharat H, 2012. The Effects of Phosphorus and Inoculation with Plant Growth Promoting Rhizobacter (PGPR), *Pseudomonas Fluorescent*, on Yield and Quality of Potato Tuber (Agria Cultivar). *Journal of Water and Soil* 26: 260-271.
- Benavides MP, Gallego SM and Tomaro ML, 2005. Cadmium toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 17: 21–34.
- Boomsma CR and Vyn TJ, 2008. Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Field Crops Research* 108: 14-31.
- Dey RK, Pal K, Bhatt DM and Chauhan SM, 2004. Growth promotion and yield enhancement of peanut (*Arachis hypogaea L*) by application of plant growth promoting rhizobacteria. *Microbiological Research* 159: 371-394.
- Giller KE, Witter E and Mcgrath SP, 1998. Toxicity of heavy metals to microorganisms and microbial processes in agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry* 30: 1398-1414.
- Glick BR. 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Canadian Journal of Microbiology* 41: 109-117.
- Hayat R, Ali S, Amara U, Khalid R and Ahmed I, 2010. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. *Annals of Microbiology* 60: 579–584.
- Idris R, Trifonova R, Puschenreiter M, Wenzel WW and Sessitsch A, 2004. Bacterial communities associated with flowering plants of the Ni hyperaccumulator *Thlaspi goesingense*. *Applied and Environmental Microbiology* 70: 2667–2677.
- Kabata-Pendias A, 2011. Chapter 17, Cadmium. Pp. 287 – 304. In: Kabata-Pendias A (eds). *Trace Elements in Soils and Plants*, 4th ed CRC Press.
- Khan MS, Zaidi A, Wani PA and Oves M, 2008. Role of plant growth promoting rhizobacteria in the remediation of metal contaminated soils. *Environmental Chemistry Letters* 7: 1-19.

- Liu DH, Wang M, Zon JH and Jiang WS, 2006. Uptake and accumulation of cadmium and some nutrient ions by root and shoots of maize (*Zea mays* L.). Pakistan Journal of Botany 38: 701-709.
- Loneragan JF and Webb MJ, 1993. Chapter 9, Interaction between zinc and other nutrients affecting the growth of plants. Pp. 119-134 In: Robson AD (eds). Zinc in Soils and Plants, kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- Malekzadeh E, Alikhani HA, Savaghebi Firoozabadi GR and Zarei M, 2012. Bioremediation of cadmium-contaminated soil through cultivation of maize inoculated with plant growth-promoting rhizobacteria. Bioremediation Journal 16: 204-211.
- Mishra PK, Bisht SC, Ruwari P, Joshi GK, Singh G, Bisht JK and Bhatt JC, 2011. Bioassociative effect of cold tolerant *Pseudomonas* spp. and *Rhizobium leguminosarum*-PR1 on iron acquisition, nutrient uptake and growth of lentil (*Lens culinaris* L.). European Journal of Soil Biology 47: 35-43.
- Ramos I, Esteban E, Lucena JJ and Ga´rate A, 2002. Cadmium uptake and subcellular distribution in plants of *Lactuca* sp. Cd-Mn interaction. Plant Science 162: 761-767.
- Sandaio LM, Dalurzo HC, Gomez M, Romero-Puertas MC and del Rio LA, 2001. Cadmium-induced changes in the growth and oxidation metabolism of pea plants. Journal of Experimental Botany 52: 2115-2126.
- Sharma A, Shankhdhar D, Sharma A and Shankhdhar SC, 2014. Growth promotion of the rice genotypes by pgprs isolated from rice rhizosphere. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 14: 505-517.
- Sing B and Sing G, 2004. Influence of soil water regime on nutrient mobility and uptake by Dalbergin sissoo seedlings. Tropical Ecology 45: 331-340.
- Sparks DL, Page AL, Helmke PA, Loeppert RH, Soltanpour PN, Tabatabai MA, Johnston CT and Sumner ME, 1996. Methods of soil analysis, Parts 2 (chemical and microbiological properties) and 3 (chemical methods), 3rd ed. American Society of Agronomy, Madison, WI. 1390 p.
- Wallace A, Romney EM, Alexander GV, Soufi SM and Patel PM, 1977. Some interactions in plants among cadmium, other heavy metals and chelating agents. Agronomy Journal 69: 18-20.
- Wang M, Zou J, Dnan X, Jiang W and Liu D, 2007. Cadmium accumulation and its effects on metal uptake in maize (*Zea mays* L.). Bioresource Technology 98: 82-88.