نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۵،ص.۱۱۷۹-۱۱۷۰

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 4, Sept.-Oct.2016, p. 1170-1179

اثر باکتری محرک رشد گیاه بر غلظت و جذب عناصر پرمصرف به‌وسیله ذرت در یک خاک آهکی آلوده به کادمیم تحت تنش خشکی

شهرزاد کرمی[۱]- مهدی زارعی[۲*]- جعفر یثربی[۳]- نجف علی کریمیان[۴]- سیدعلی اکبر موسوی[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۹/۰۲

چکیده

فلزات سنگین از جمله کادمیم به طور طبیعی در خاک‌ها وجود دارند اما مقدار آن‌ها می‌تواند بر اثر فعالیت‌های انسانی تغییر کند. مطالعه جذب و انباشت فلزات سنگین به‌وسیله گیاهان، به منظور جلوگیری از تهدید سلامت غذای انسان‌ها و حیوانات انجام می‌شود. باکتری‌های مفید خاک نقش مهمی در چرخه زیستی داشته و طی دهه‌های متمادی برای افزایش سلامت گیاه و افزایش حاصلخیزی خاک بکار گرفته شده‌اند. آزمایشی گلخانه‌ای بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل دو سطح باکتری (با و بدون باکتری)، چهار سطح کادمیم (۵، ۱۰، ۲۰، و ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، و سه سطح تنش خشکی (بدون تنش، ۸۰ و ۶۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه) بود. نتایج نشان داد که جذب عناصر پرمصرف در حالت بدون تنش خشکی و مایه‌زنی شده با باکتری و در سطوح پایین آلودگی کادمیم بیشترین مقدار بود و مایه‌زنی باکتری سبب افزایش جذب عناصر در تنش ۸۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه نسبت به حالت بدون مایه‌زنی شد. باکتری با کاهش اثرات منفی کادمیم و تنش خشکی سبب افزایش معنادار ۸/۷ درصدی وزن خشک اندام هوایی و جذب کل نیتروژن، پتاسیم و فسفر (به ترتیب به میزان ۸/۶، ۱۳/۶ و ۶/۵ درصد) بوسیله اندام هوایی ذرت شد. تنش خشکی سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی، جذب کل عناصر پرمصرف، غلظت نیتروژن و پتاسیم در اندام هوایی ذرت و غلظت پتاسیم خاک شد. با افزایش سطوح کادمیم در تمامی تیمارها وزن خشک و جذب کل نیتروژن و پتاسیم به‌وسیله گیاه کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: فلزات سنگین، عناصر پرمصرف، *Micrococcusyunnanensis*

مقدمه

کادمیم یک عنصر غیرضروری و سمی برای موجودات زنده می‌باشد. بسیاری از عناصر در جذب شدن به‌وسیله گیاه و در ایفای نقش‌های زیستی خود درون گیاه با کادمیم رقابت می‌کنند (۱۲). جذب، متابولیسم و نقش عناصر ضروری مانند نیتروژنو فسفر، در شرایط تنش خشکی و سمیت فلزات سنگین متفاوت است(۲۶). تنش آب سبب مختل نمودن ساختمان سلول و منحرف نمودن مواد غذائی از مسیر متابولیکی طبیعیخود می شود و سبب کاهش قابلیت دسترسی و جذب عناصر توسط گیاه می‌شود (۲۱). یکی از دلایل کاهش یا عدم رشد گیاه در شرایط تنش خشکی، انباشت اتیلن در گیاه می‌باشد. برای کاهش اثرات سوء خشکی روش‌هایی وجود دارد که یکی از آن‌ها استفاده از باکتری‌های محرک رشد است که علاوه بر افزایش قابلیت دسترسی عناصر، دارای آنزیم ACC دآمینازبوده و می‌توانندACC، که پیش‌ساز تولید اتیلن استرا تجزیه کرده و اتیلن را کاهش دهند (۱۳). ریزجانداران مقاوم به کادمیم می‌توانند با آزادسازی عوامل کلات کننده، ترشح مواد اسیدی و حل کردن فسفات و تغییر پتانسیل رداکس بر تحرک و قابلیت دسترسی عناصر تأثیر بگذارند (۱۱). تا آنجا که نگارندگان اطلاع دارند درباره اثر باکتری مورد استفادهدر این پژوهش بر غلظت و جذب کل عناصر پرمصرف تحت شرایط تنش رطوبتی و آلودگی کادمیم تحقیقی صورت نگرفته است. اثرات منفی کادمیم بر جذب کل نیتروژن به‌وسیله اندام هوایی ارقام مختلف برنج گزارش شده است (۲۴). کادمیم جذب نیترات و انتقال آن را از طریق ممانعت از فعالیت نیترات ردکتاز کاهش می‌دهد (۴). جذب نیتروژن در شرایط کمبود آب کاهش می‌یابد (۲۱). اثرات متفاوتی از عنصر کادمیم بر غلظت فسفر و جذب آن به‌وسیله اندام هوایی گیاه گزارش

۱، ۲، ۳، ۴ و ۵- به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار، استادیار، استاد و دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
(*- نویسنده مسئول:Email: mehdizarei@shirazu.ac.ir)

6- Aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) deaminase

شده است. در برخی گیاهان مانند اسفناج برهمکنش منفی داشته (۱، ۹ و ۱۲). در برخی گیاهان مانند کاهو، کادمیم اثر هم‌افزایی بر جذب فسفر به‌وسیله گیاه داشته (۲۹) و در برخی گیاهان مانند جو بدون اثر بوده است(۷). جذب فسفر در شرایط کمبود آب کاهش می یابد (۶ و ۲۱). لطفی (۱۶) گزارش کرد که تنش خشکی سبب کاهش جذب بسیاری از عناصر از جمله پتاسیم در ذرت می‌شود اما کاربرد باکتری‌های محرک رشد می‌تواند اثرات نامطلوب تنش خشکی را تعدیل کند. ملک زاده و همکاران (۱۸) گزارش نمودند که جذب کل عناصر به‌وسیله اندام هوایی ذرت در تمام تیمارهای مایه‌زنی شده با باکتری‌های باسیلوس مایکوئیدز[1] و میکروکوکوس روزئوس[2] به‌صورت معناداری در مقایسه با شاهد افزایش یافته بودند.

هدف از انجام پژوهش حاضر بررسی اثر مایه‌زنی باکتری محرک رشد گیاه بر غلظت و جذب کل عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر، و پتاسیم به وسیله ذرت در یک خاک آهکی آلوده به کادمیم تحت شرایط تنش خشکی است.

مواد و روش‌ها

آزمایشی گلخانه‌ای بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل دو سطح باکتری (با و بدون باکتری)، چهار سطح کادمیم (۵، ۱۰، ۲۰ و۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، و سه سطح تنش خشکی (بدون تنش (FC)، ۸۰، و ۶۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه) بود. مقدار کافی خاک (عمق ۳۰- ۰ سانتی‌متر) از سری کوی اساتید ایستگاه زراعی باجگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز جمع‌آوری و از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از قبیل بافت خاک(۱۰)، ماده آلی (۱۹)، pH خاک در گل اشباع (۲۸)، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع (ECe) (۲۲)، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) (۲۷)، پتاسیم به روش شعله‌سنجی، فسفر قابل استفاده (۲۰)، نیتروژن کل (۵)، و عناصر کم مصرف و کادمیم با عصاره‌گیری با دی‌اتیلن تری‌آمین پنتا استیک اسید (DTPA) (۱۵) و قرائت به‌وسیله دستگاه جذب اتمی (مدل Analytik Jena Nova AA350) اندازه‌گیری شد (جدول ۱). به منظور جلوگیری از کمبودهای احتمالی عناصر غذایی نیتروژن از منبع اوره (۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، فسفر از منبع منو کلسیم فسفات (۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، آهن از منبع سکسترین آهن (۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، روی، مس، و منگنز از منبع سولفاتی (به ترتیب ۱۰، ۲/۵ و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) به صورت محلول به خاک گلدان‌ها (۳ کیلوگرمی) افزوده و سپس تیمارهای کادمیم از منبع سولفات کادمیم به آن‌ها اعمال شد.

مقدار ۲ میلی‌لیتر از محیط کشت حاوی 1×10^{8} CFU mL^{-1} باکتری *Micrococcus yunnanensis*(باکتری گرم مثبت و دارای توانایی تولید سیدروفور و ویژگی حل کنندگی فسفات)به ازای هر بذرذرت (رقم HIDO) مایه‌زنی و بذرها با لایه‌ای از خاک پوشانده شد. تا دو هفته پس از کاشت رطوبت گلدان‌ها در حد رطوبت ظرفیت مزرعه نگه داشته شد. پس از جوانه زدن و استقرار، تعداد گیاهان به سه عدد در هر گلدان تقلیل داده شد و تنش خشکی با وزن کردن گلدان‌ها و افزودن آب مقطر تا رسیدن به وزن از پیش تعیین شده اعمال شد. پس از ۸ هفته گیاهان از طوقه جدا شده و در آون با دمای ۶۵ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت خشک و وزن شدند. برای اندازه‌گیری غلظت عناصر در اندام هوایی، از روش خشک سوزانی استفاده شد. پتاسیم گیاه به روش شعله‌سنجی، فسفر کل با روش زرد (۸)، و نیتروژن کل(۵) در اندام هوایی گیاه اندازه‌گیری شد. پتاسیم، فسفر و نیتروژن کل خاک نیز پس از برداشت گیاه و با روش‌های ذکر شده برای خاک اندازه‌گیری شد. مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون دانکن و با کمک نرم‌افزار آماری SAS انجام و از نرم افزار Excel به منظور ترسیم نمودارها و جداول استفاده شد.

نتایج و بحث

غلظت و جذب نیتروژن در اندام هوایی ذرت و غلظت نیتروژن در خاک پس از برداشت گیاه

سطوح کادمیم در شرایط بدون مایه‌زنی اثر معناداری بر درصد نیتروژن گیاه نداشت اما در شرایط مایه‌زنی شده با افزایش سطح کادمیم، غلظت نیتروژن در گیاه افزایش معناداری نسبت به شاهد داشت که به دلیل کاهش وزن خشک و تغلیظ و تجمع نیتروژن در گیاه می‌باشد (جدول ۲). با افزایش سطح تنش خشکی افزایش معناداری در غلظت نیتروژن کل در گیاه در هر دو حالت با و بدون باکتری مشاهده شد.

کاهش عملکرد گیاهان در تنش خشکی به دلیل رطوبت نسبی پایین در محیط رشد گیاه اتفاق می افتد که دلیل آن زیاد شدن تبخیر و تعرق، دمای زیاد و شدت نور خورشید می‌باشد. در شرایط کاهش رطوبت خاک سخت شده و مانع از رشد طبیعی ریشه شده و جذب عناصر و آب و درنتیجه رشد گیاه کم می‌شود (۲).صالحی و همکاران (۲۵) بیان داشتند که افزایش غلظت نیتروژن در گیاهانی که تحت تنش آبی هستند به دلیل تجمع سریع اسیدهای آمینه است که به پروتئین تبدیل نشده‌اند. کاربرد باکتری اثر معناداری بر غلظت نیتروژن کل گیاه نداشت (جدول ۲) اما از آنجا که وزن خشک اندام هوایی ذرت به وسیله باکتری افزایش یافته بهتر است اثر باکتری با توجه به جذب کل گیاه بررسی شود.

1-*Bacillus mycoides*
2- *Micrococcus roseus*

جدول ۱- برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1- Some physical and chemical characteristics of soil used in the experiment

بافت خاک Soil Texture	رطوبت ظرفیت مزرعهFC	قابلیت هدایت الکتریکی EC_e ($dS\ m^{-1}$)	پ هاش pH	ماده آلی OM (%)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC ($cmol^{+}\ kg^{-1}$)	نیتروژن کل N (%)	فسفر قابل جذب P	پتاسیم قابل جذب K	آهن ×Fe	منگنز ×Mn	روی ×Zn	مس ×Cu
									($mg\ kg^{-1}$)			
Clay loam	18	0.35	7.7	1.3	15	0.06	18	620	3.5	11.5	0.4	1.5

× قابل استخراج با DTPA

جدول ۲ نشان می‌دهد که در تیمارهای بدون مایه‌زنی و مایه‌زنی شده با باکتری، میزان جذب کل نیتروژن به‌وسیله اندام هوایی گیاه در سطوح ۵ و ۱۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک با یکدیگر اختلاف معناداری نداشت ولی در مقایسه با سطوح ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، جذب کل نیتروژن به صورت معناداری بیشتر بود. مایه‌زنی باکتری تنها در سطح ۵ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، سبب افزایش ۱۲/۳ درصدی جذب کل نیتروژن به‌وسیله اندام هوایی گیاه شد که نشان می‌دهد کاربرد باکتری در سطوح پایین آلودگی مؤثرتر است. با افزایش سطح تنش خشکی جذب کل نیتروژن به‌وسیله اندام هوایی گیاه کاهش معناداری یافت.

جدول ۲- اثر مایه زنی باکتری محرک رشد، سطوح کادمیم، و تنش خشکی بر وزن خشک، غلظت و جذب نیتروژن ذرت و غلظت نیتروژن در خاک

Table 2- Effects of bacterial inoculation, Cd and drought stress levels on shoot dry weight, N concentration and uptake by corn and N concentration in soil

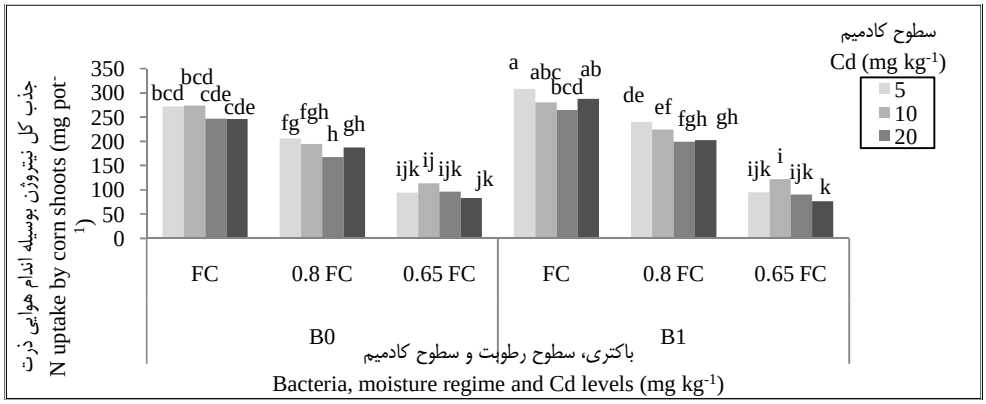
PGPR	رطوبت خاک Soil moisture regime			سطوح کادمیم Cd levels ($mgkg^{-1}$)			میانگین اثر باکتری
	0.65 FC	0.8 FC	FC	40	20	10	5	Main effect of bacteria
	وزن خشک Shoot dry weight ($g\ pot^{-1}$)							
B_0*	3.98 E	8.20 D	12.8 B	7.86 D	7.96 CD	8.73 CD	8.82 BC**	8.34 B
B_1	3.91 E	9.58 C	13.9 A	8.21 CD	8.59 CD	9.58 AB	10.2 A	9.14 A
	غلظت نیتروژن اندام هوایی ذرت N concentration in corn shoots (%)							
B_0	2.43 A	2.30 B	2.03 C	2.24 ABC	2.24 ABC	2.30 AB	2.23 BC	2.25 A
B_1	2.44 A	2.26 B	2.05 C	2.36 A	2.20 BC	2.30 AB	2.15 C	2.25 A
	جذب کل نیتروژن توسط اندام هوایی ذرت N uptake ($mg\ pot^{-1}$)							
B_0	96.9 E	189 D	260 B	172 DE	170 E	194 BC	191 BCD	182 B
B_1	95.8 E	216 C	285 A	189 CDE	184 CDE	209 AB	214 A	199 A
	غلظت نیتروژن خاک پس از برداشت Post- harvest N concentration in soil (%)							
B_0	0.064 A	0.060 A	0.064 A	0.060 AB	0.062 AB	0.067 A	0.061 AB	0.063 A
B_1	0.064 A	0.059 A	0.063 A	0.062 AB	0.059 B	0.063 AB	0.063 AB	0.062 A

* B_0نشان دهنده تیمار بدون مایه زنی باکتری محرک رشد گیاه و B_1تیمار مایه زنی شده با باکتری می باشد و FCنشان دهنده رطوبت ظرفیت مزرعه است

** اعدادی که در ردیف یا ستون هر ویژگی دارای حروف مشترک هستند نظر آماری در سطح ۵ درصد با آزمون دانکن معنادار نمی باشند

*B_0: without inoculation; B_1: inoculated with bacteria; FC: Field Capacity

**Numbers followed by the same letters within each parameter shows no significant differences among treatments ($P< 0.05$)



شکل ۱- اثر باکتری محرک رشد گیاه، سطوح کادمیم و تنش رطوبتی بر جذب کل نیتروژن بوسیله اندام هوایی ذرت

Figure 1- Effects of bacterial inoculation, Cd and drought stress levels on N uptake by corn shoots

مایه‌زنی باکتری به‌ترتیب در سطوح بدون تنش خشکی و ۸۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه، سبب افزایش ۹/۷ و ۱۴/۶ درصدی جذب کل نیتروژن نسبت به شرایط بدون مایه‌زنی شد (به‌ترتیب از ۲۶۰ و ۱۸۹ به ۲۸۵ و ۲۱۶ میلی‌گرم در گلدان). بطور کلی مایه‌زنی باکتری سبب افزایش معنادار ۸/۶ درصدی جذب کل نیتروژن شد و جذب کل نیتروژن از ۱۸۲ به ۱۹۹ میلی‌گرم در گلدان افزایش یافت. استفاده از کودهای بیولوژیک علاوه بر افزایش جمعیت و فعالیت ریزجانداران مفید خاک، در جهت افزایش فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم عمل نموده و سبب بهبود رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (۲۵). بیشترین میزان جذب کل نیتروژن مربوط به شرایط بدون تنش خشکی و کادمیم و مایه‌زنی شده با باکتری (۳۰۸ میلی‌گرم در گلدان) و کمترین میزان جذب مربوط به حالت تنش ۶۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه و سطح ۴۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک در هر دو حالت با و بدون باکتری (به‌ترتیب ۷۶/۵ و ۸۳/۲ میلی‌گرم در گلدان) بود (شکل ۱). شکل ۱ نشان می‌دهد که کاربرد باکتری در سطوح پایین آلودگی کادمیم و حالات بدون تنش خشکی و ۸۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه سبب افزایش جذب نیتروژن توسط ذرت شده و نسبت به حالت بدون مایه‌زنی باکتری برتری دارد. تیمارهای اعمال شده اثر معناداری بر نیتروژن خاک نداشتند (جدول ۲).

غلظت و جذب کل فسفر در اندام هوایی ذرت

با توجه به نتایج جدول ۳، با افزایش سطح کادمیم اثر معناداری در حالت با و بدون مایه‌زنی باکتری بر غلظت فسفر گیاه مشاهده نشد اما غلظت فسفر گیاه در شرایط بدون مایه‌زنی باکتری و تنش ۸۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه (۱۶۲۲ میکروگرم در گرم)، افزایش ۱۷/۸ درصدی نسبت به سطح بدون تنش خشکی (۱۳۷۷ میکروگرم در گرم) داشت که به دلیل کاهش وزن خشک گیاه نسبت به شاهدمی‌باشد. به طور کلی باکتری تأثیر معناداری بر غلظت فسفر گیاه نداشت اما به دلیل افزایش وزن خشک لازمست با توجه به جذب گیاهی تفسیر شود.

جدول ۳نشان می‌دهد که در شرایط بدون مایه‌زنی باکتری، با افزایش سطح کادمیم، تفاوت معناداری در جذب کل فسفر اندام هوایی گیاه مشاهده نشد. در شرایط مایه‌زنی با باکتری، تنها در سطح ۲۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، کاهش معناداری در جذب کل فسفر به‌وسیله اندام هوایی گیاه به میزان ۱۸/۶ درصد نسبت به سطح شاهد مشاهده شد. با افزایش تنش خشکی مقدار جذب فسفر به‌وسیله اندام هوایی گیاه در شرایط با و بدون مایه‌زنی باکتری کاهش یافت. باقری و حیدری شریف آباد (۳) بیان نمودند که به دلیل غیر متحرک بودن فسفر در خاک، رشد گیاه و فعالیت ریشه در نواحی خشک خاک کاهش و دسترسی به فسفر و جذب آن توسط گیاه کاهش می‌یابد.مقدار جذب کل فسفر در حالت با باکتری و بدون تنش خشکی (۲۰/۶ میلی‌گرم در گلدان)، نسبت به شرایط بدون مایه‌زنی و بدون تنش خشکی (۱۷/۷ میلی‌گرم در گلدان)، افزایش ۱۶/۶ درصدی داشت که نشان داد مایه‌زنی باکتری در شرایط بدون تنش رطوبتی مؤثرتر است. مایه‌زنی باکتری سبب افزایش ۱۳/۶ درصدی در مقدار جذب فسفر به‌وسیله اندام هوایی گیاه شد به طوری‌که جذب کل فسفر از ۱۲/۱ به ۱۳/۷ میلی‌گرم در گلدان افزایش یافت که یکی از دلایل آن می‌تواند خاصیت حل کنندگی فسفات به‌وسیله باکتری محرک رشد گیاه مورد استفاده و تأثیر آن بر رشد گیاه باشد.خان و همکاران (۱۴) نیز گزارش نمودند که کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه، رشد گیاه و در نهایت جذب کل فسفر به‌وسیله گیاه را افزایش می‌دهند. باکتری‌های حل کننده فسفات با تولید اسیدهای آلی و ترشح پروتون یا آنزیم‌های فسفاتاز سبب تبدیل فسفات‌های نامحلول (آلی و معدنی) به فرم قابل استفاده گیاه شده و سبب بهبود تغذیه فسفر و افزایش رشد گیاه می‌شوند (۲۳).

جدول ۳- اثر مایه زنی باکتری محرک رشد، سطوح کادمیم، و تنش خشکی بر برخی از ویژگی های اندازه گیری شده (فسفر و پتاسیم)

Table 3- Effects of bacterial inoculation, Cd and drought stress levels on some measured characteristics (P and K)

PGPR	رطوبت خاک Soil moisture regime			سطوح کادمیم Cd levels ($mgkg^{-1}$)				میانگین اثر باکتری
	0.65 FC	0.8 FC	FC	40	20	10	5	Main effect of bacteria
				غلظت فسفر در اندام هوایی ذرت				
				P concentration in corn shoots ($\mu g\ g^{-1}$)				
B_0*	1308 C	1622 A	1377 BC	1483 A	1377 A	1458 A	1425 A**	1436 A
B_1	1429 ABC	1550 AB	1487 ABC	1586 A	1388 A	1613 A	1366 A	1488 A
				جذب کل فسفر توسط اندام هوایی ذرت				
				P uptake ($mg\ pot^{-1}$)				
B_0	5.21 D	13.3 C	17.7 B	12.1 ABC	10.9 C	12.7 ABC	12.6 ABC	12.1 B
B_1	5.71 D	14.8 C	20.6 A	14.1 AB	11.9 BC	14.3 AB	14.6 A	13.7 A
				غلظت فسفر در خاک پس از برداشت ذرت				
				P concentration in post-harvested soil ($\mu g\ g^{-1}$)				
B_0	18.7 A	15.6 B	16.4 B	17.2 AB	18.5 A	17.1 AB	14.8 C	16.9 A
B_1	19.2 A	16.2 B	16.4 B	17.6 AB	18.7 A	16.2 BC	16.5 ABC	17.3 A
				غلظت پتاسیم در اندام هوایی ذرت				
				K concentration in corn shoots ($mg\ g^{-1}$)				
B_0	16.8 A	15.1 B	13.6 CD	15.2 AB	14.9 AB	14.7 B	16.0 A	15.2 A
B_1	16.9 A	14.5 BC	13.3 D	15.0 AB	15.1 AB	15.0 AB	14.6 B	14.9 A
				جذب کل پتاسیم توسط اندام هوایی ذرت				
				K uptake ($mg\ pot^{-1}$)				
B_0	66.7 D	124 C	175 A	115 C	112 C	125 BC	136 AB	122 B
B_1	66.4 D	139 B	184 A	119 C	123 BC	136 AB	140 A	130 A
				غلظت پتاسیم در خاک پس از برداشت ذرت				
				K concentration in post-harvested soil ($\mu g\ g^{-1}$)				
B_0	632 B	603 C	573 D	607 ABC	583 C	593 BC	628 A	603 A
B_1	666 A	612 BC	572 D	621 AB	617 AB	621 AB	607 ABC	616 A

* B_0نشان دهنده تیمار بدون مایه زنی باکتری محرک رشد گیاه و B_1تیمار مایه زنی شده با باکتری می باشد و FCنشان دهنده رطوبت ظرفیت مزرعه است

** اعدادی که در ردیف یا ستون هر ویژگی دارای حروف مشترک هستند نظر آماری در سطح ۵ درصد با آزمون دانکن معنادار نمی باشند

*B_0: without inoculation; B_1: inoculated with bacteria; FC: Field Capacity

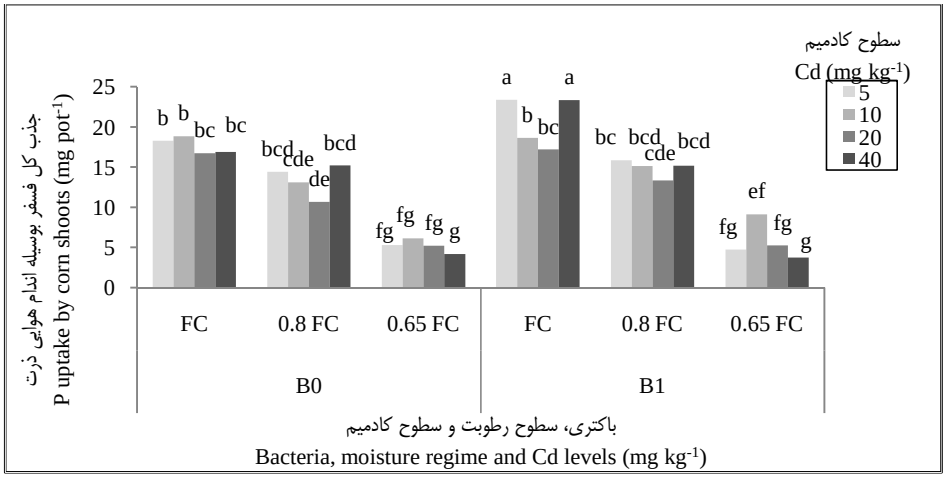
**Numbers followed by the same letters within each parameter shows no significant differences among treatments ($P< 0.05$)

بیشترین مقدار جذب کل فسفر مربوط به تیمار بدون تنش خشکی و مایه‌زنی شده با باکتری و سطح شاهد کادمیم (۲۳/۳ میلی‌گرم در گلدان) و کمترین مقدار جذب شده مربوط به تیمار با باکتری و تنش ۶۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه و سطح ۴۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک (۳/۷۳ میلی‌گرم در گلدان) بود (شکل۲). شکل ۲ نشان می‌دهد که کاربرد باکتری در سطوح شاهد و ۴۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک و بدون تنش خشکی سبب افزایش جذب فسفر توسط ذرت شده و نسبت به حالت بدون مایه‌زنی باکتری برتری دارد که دلیل آن افزایش قابل ملاحظه وزن خشک اندام هوایی در این تیمارها می‌باشد.

غلظت فسفر در خاک پس از برداشت گیاه

با توجه به نتایج مربوط به غلظت فسفر خاک پس از برداشت ذرت در جدول ۳، در شرایط بدون مایه‌زنی، فسفر خاک در سطوح مختلف ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، نسبت به سطح شاهد (۱۴/۸ میکروگرم در گرم)، افزایش معناداری یافت اما بین سطوح مختلف کادمیم معنادار نبود که این افزایش می‌تواند به دلیل کاهش رشد گیاه و در نتیجه جذب کمتر فسفر خاک توسط گیاه باشد. در شرایط مایه‌زنی باکتری هیچ یک از سطوح کادمیم نسبت به سطح شاهد اثر معناداری بر فسفر خاک نداشتند که نشان می‌دهد باکتری سبب افزایش رشد گیاه و جذب بیشتر فسفر توسط اندام هوایی گیاه از خاک شده است.

افزایش کادمیم از سطح ۱۰ به ۲۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، سبب افزایش ۱۵/۴ درصدی فسفر خاک شد که به دلیل کاهش معنادار وزن خشک ذرت در سطح ۲۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک نسبت به سطح ۱۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک می‌باشد.



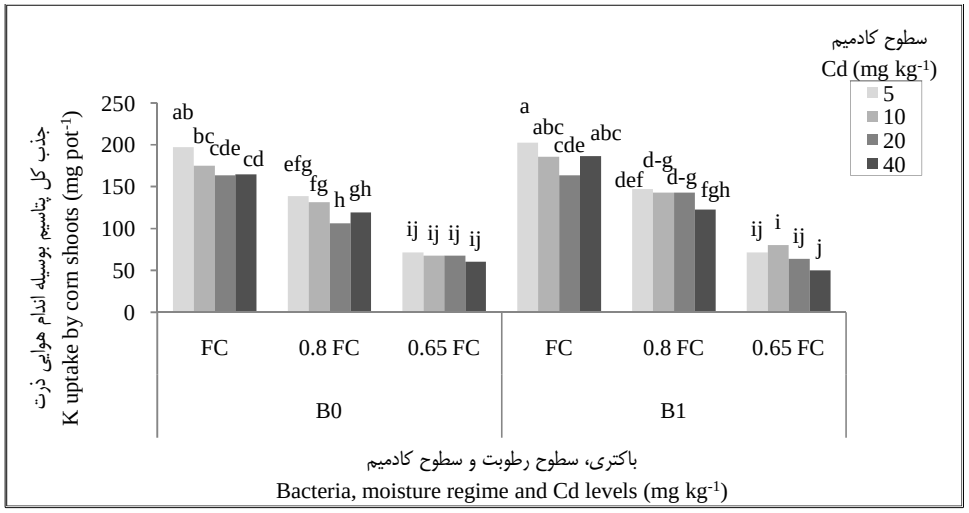
شکل ۲- اثر باکتری محرک رشد گیاه، سطوح کادمیم و تنش رطوبتی بر جذب کل فسفر بوسیله اندام هوایی ذرت

Figure 2- Effects of bacterial inoculation, Cd and drought stress levels on P uptake by corn shoots

در تیمارهای بدون مایه‌زنی و مایه‌زنی شده با باکتری، با افزایش تنش خشکی تا سطح ۸۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه اثر معناداری بر فسفر خاک مشاهده نشد اما در سطح ۶۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه، افزایش معناداری در سطح فسفر خاک و به‌ترتیب به میزان ۱۴/۲ و ۱۷/۶ درصد مشاهده شد که به دلیل کاهش رشد گیاه و در نتیجه کاهش جذب فسفر توسط گیاه می‌باشد و نشان می‌دهد کاربرد باکتری در سطح ۶۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه چندان موثر نبوده است. به طور کلی مایه‌زنی باکتری، با وجود افزایش میزان فسفر خاک، اثر معناداری بر این صفت نداشت.

غلظت و جذب کل پتاسیم در اندام هوایی ذرت

با توجه به جدول ۳، افزایش سطوح کادمیم در شرایط بدون مایه‌زنی، تنها در سطح ۱۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک (۱۴/۷ میلی‌گرم در گرم)، سبب کاهش ۸/۳ درصدی معناداری در غلظت پتاسیم گیاه نسبت به شاهد (۱۶ میلی‌گرم در گرم) شد و سطوح کادمیم، تفاوت معناداری با یکدیگر نداشتند. در شرایط مایه‌زنی شده بین سطوح مختلف کادمیم تفاوت معناداری از نظر غلظت پتاسیم در گیاه دیده نشد. در سطح ۵ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، مایه‌زنی باکتری سبب کاهش ۸/۹ درصدی غلظت پتاسیم در گیاه شد به طوری‌که غلظت پتاسیم از ۱۶ میلی‌گرم در گرم به ۱۴/۶ میلی‌گرم در گرم کاهش یافت که این می‌تواند به دلیل افزایش ماده خشک تولیدی باشد و بهتر است با توجه به جذب گیاهی توضیح داده شود. با افزایش سطح تنش خشکی افزایش معناداری در غلظت پتاسیم اندام هوایی تمام تیمارها مشاهده شد. به طور کلی مایه‌زنی باکتری، اثر معناداری بر این صفت نداشت.با توجه به نتایج مربوط به جذب کل پتاسیم در جدول ۳ با افزایش سطح کادمیم تا ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، اثر معناداری در جذب کل پتاسیم به‌وسیله اندام هوایی گیاه دیده نشد اما در سطوح ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، کاهش معناداری در جذب پتاسیم به‌وسیله اندام هوایی گیاه به‌ترتیب به میزان ۱۷/۳ و ۱۵/۶ درصد در شرایط بدون مایه‌زنی و ۱۲/۱ و ۱۴/۸ درصد در شرایط مایه‌زنی با باکتری نسبت به سطح شاهد مشاهده شد. با افزایش سطح تنش خشکی در شرایط با و بدون مایه‌زنی باکتری کاهش معناداری در جذب کل پتاسیم مشاهده شد. در شرایط ۸۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه و مایه‌زنی شده با باکتری، مقدار جذب کل پتاسیم افزایش ۱۲ درصدی (از ۱۲۴ به ۱۳۹ میلی‌گرم در گلدان) و معناداری نسبت به شرایط بدون مایه‌زنی داشت. مایه‌زنی باکتری سبب افزایش ۶/۵ درصدی مقدار جذب پتاسیم به‌وسیله اندام هوایی گیاه گردید به طوری‌که مقدار کل پتاسیم جذب شده به‌وسیله اندام هوایی از ۱۲۲ به ۱۳۰ میلی‌گرم در گلدان افزایش یافت. شکل ۳ نشان می‌دهد که بیشترین مقدار جذب پتاسیم مربوط به تیمار بدون تنش و مایه‌زنی شده با باکتری و سطح شاهد کادمیم (۲۰۳ میلی‌گرم در گلدان) و کمترین مقدار جذب شده مربوط به تیمار با باکتری و تنش ۶۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه و سطح ۴۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، (۵۰/۰ میلی‌گرم در گلدان) می‌باشد. کاربرد باکتری‌های محرک رشد، رشد گیاه و در نهایت جذب پتاسیم به‌وسیله گیاه را افزایش می‌دهند (۱۴).



شکل ۳- اثر باکتری محرک رشد گیاه، سطوح کادمیم و تنش رطوبتی بر جذب کل پتاسیم بوسیله اندام هوایی ذرت

Figure 3- Effects of bacterial inoculation, Cd and drought stress levels on K uptake by corn shoots

غلظت پتاسیم در خاک پس از برداشت گیاه

جدول ۳ نشان می‌دهد که در شرایط بدون مایه‌زنی باکتری مقدار پتاسیم خاک، در سطوح ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، کاهش معناداری به‌ترتیب به میزان ۵/۵ و ۷/۱ درصد نسبت به سطح شاهد (۶۲۸ میکروگرم در گرم)، نشان داد اما در سطح ۴۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، کاهش معنا دار نبود. در شرایط مایه‌زنی شده با باکتری تفاوت معناداری در پتاسیم خاک بین سطوح مختلف کادمیم مشاهده نشد. در سطح ۲۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، تیمارهای بدون باکتری (۵۸۳ میکروگرم در گرم) و با باکتری (۶۱۶ میکروگرم در گرم)، تفاوت معناداری با یکدیگر داشتند و مایه‌زنی سبب افزایش ۵/۷ درصدی غلظت پتاسیم خاک شد. با افزایش تنش خشکی، پتاسیم خاک افزایش معناداری نسبت بهشرایط بدون تنش خشکی داشت به طوری‌که به‌ترتیب برای سطوح ۸۰ و ۶۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه، در شرایط بدون مایه‌زنی ۵/۲ و ۱۰/۲ درصد و در شرایط مایه‌زنی شده ۷ و ۱۶/۵ درصد نسبت به شرایط بدون تنش خشکی افزایش یافت که نشان دهنده اثر توأم باکتری و تنش خشکی در تجزیه سیلیکات‌ها وآزادسازی عناصری مانند پتاسیم است(۱۶ و ۱۷). مایه‌زنی باکتری ضمن افزایش پتاسیم خاک اثر معناداری بر این صفت نداشت.

نتیجه‌گیری کلی

کاربرد باکتری با کاهش اثرات منفی تنش خشکی و کادمیم سبب افزایش وزن خشک ذرت و در نتیجه افزایش جذب کل عناصر پرمصرف به وسیله اندام هوایی ذرت گردید.تنش خشکی در هر دو حالت با و بدون مایه‌زنی باکتری، سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی، جذب کل عناصر پرمصرف، غلظت نیتروژن و پتاسیم در اندام هوایی ذرت و غلظت پتاسیم خاک شد. افزایش سطوح کادمیم سبب کاهش وزن خشک و جذب کل نیتروژن و پتاسیم به‌وسیله گیاه شد. کاربرد باکتری در سطوح پایین کادمیم و تنش خشکی مؤثرتر بود.

منابع

1- AbulKashem M.D., and Kawai S. 2007. Alleviation of cadmium phytotoxicity by magnesium in Japanese mustard spinach,Soil Science and Plant Nutrition, 53: 246-251.

2- Bagheri A.R. 2010. The effect of drought stress on yield, yield components and ion contents of four wheat cultivars, Plant Ecophysiology (Arsanjan Branch), 1(3): 15-29. (In Persian with English abstract)

3- Bagheri A.R., and HeydariSharifabad H. 2007. Effect of drought and salt stresses on yield, yield components, and ion content of hull-less barley (*Hordeumsativum*L.), Journal of New Agricultural Science (Modern Science of Sustainable Agriculture), 3(7): 1-15. (In Persian with English abstract)

4- Benavides M.P., Gallego S.M., and Tomaro M.L. 2005. Cadmium toxicity in plants, Brazilian Journal of Plant Physiology, 17: 21–34.

5- Bremner J.M. 1996. Nitrogen total. In: Methods of Soil Analysis. D. L. Sparks et al. (eds.) part III, 3rd ed. American Society of Agronomy. Inc., Madison, WI. PP: 1085-1122.

6- Bruck H., Payne W.A., and Sattelmacher B. 2000. Effects of phosphorus and water supply on yield, tranpirational water-use efficiency, and carbon isotope discrimination of pearl millet, Crop Science, 40: 120-125.
7- Brune A., and Dietz K.J. 1995. A comparative analysis of element composition of roots and leaves of barley seedlings grown in the presence of toxic cadmium, molybdenum, nickel, and zinc concentrations, Journal of Plant Nutrition, 18: 853-868.
8- Chapman H.D., and Pratt D.F. 1961. Methods of Analysis for Soil, Plant, and Water. University of California Deviation of Agricultural Science.
9- Dheri G.S., Brar M.S., and Malhi S.S. 2007. Influence of phosphorus application on growth and cadmium uptake of spinach in two cadmium-contaminated soils, Soil Science and Plant Nutrition, 170: 495-499.
10- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Particle size analysis, hydrometer method. In: Methods of Soil Analysis. D. L. Sparks et al. (eds.) part III, 3rd ed. American Society of Agronomy. Inc., Madison, WI. PP: 383- 411.
11- Idris R., Trifonova R., Puschenreiter M., Wenzel W.W., and Sessitsch A. 2004. Bacterial communities associated with flowering plants of the Ni hyperaccumulatorThlaspigoesingense, Applied and Environmental Microbiology, 70: 2667-2677.
12- Kabata-Pendias A., andPendias H. 2001. Cadmium. In: Trace Elements in Soils and Plants, 3rd ed. A. Kabata-Pendias and H. Pendias. (eds.). CRC Press. PP: 143-157.
13- KaramiChame S., Siadat S.A., Bahamin S., Fathi A., and RezapourianGhahfarokhi F. 2012. Plant growth promoting bacteria as a way to cope with drought stress. The 3rd National Conference on agriculture and food science. Islamic Azad University, Fasa Branch. 6 December 2012, Fars, Iran. (In Persian).
14- 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. 7(1): 1-19.
15- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper, Soil Science Society of America Journal, 42: 421-428.
16- Lotfi E. 2011. Different forms of potassium and possibility of clay minerals change in soils being under Maize planting with drought stress, bacteria, and mycorrhiza fungus factors. M.Sc thesis in soil science, ShirazUniversity, Shiraz, Iran (In persian).
17- Malakouti M.J., Shahabi A.A., and Bazargan K. 2005. Potassium in agriculture: A nutrient-forgotton in Iran-but equal to nitrogen in the life-cycle of plant. Deputy, Horticultural Affairs, Ministry of Jihad-e-Agriculture. Sana Publication Co. Pp. 292. Tehran, Iran, (In Persian).
18- Malekzadeh E., Alikhani H.A., SavaghebiFiroozabadi G.R., and Zarei M. 2012. Bioremediation of cadmium-contaminated soil through cultivation of maize inoculated with plant growth–promoting rhizobacteria, Bioremediation Journal, 16(4): 204–211.
19- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Methods of Soil Analysis. D. L. Sparks et al. (eds.) part III, 3rd ed. American Society of Agronomy. Inc., Madison, WI. PP: 961–1010.
20- Olsen S.R., Cole C.V., Watanabe F.S., and Dean L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate USDA Circ. No. 939.
21- Payne W.A., Hossner L.R., Onken A.B., and Wendt C.W. 1995. Nitrogen and phosphorus uptake in pearl millet and its relation to nutrient and transpiration efficiency, Agronomy Journal, 87: 425-431.
22- Rhoades J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: Methods of Soil Analysis. D. L. Sparks et al. (eds.) part III, 3rd ed. American Society of Agronomy. Inc., Madison, WI. PP: 417-436.
23- Rodríguez H., Fraga R., Gonzalez T., and Bashan T. 2006. Genetics of phosphate solubilization and its potential applications for improving plant growth-promoting bacteria, Plant and Soil, 287:15–21.
24- Safarzadeh S. 2012. Cadmium retention in soils and its uptake and translocation in some rice cultivars as affected by cadmium sulfate and cadmium-enriched sewage sludge application. Ph.D. Dissertation, ShirazUniversity, Shiraz, Iran.
25- Salehi M., Kochaki A.R., and NasiriMahallati M. 2003. Nitrogen and chlorophyll content as an indicator of drought stress of wheat, Iranian Field Crop Research, 1(2):199-204 (In Persian with English abstract).
26- Shah K., and Dubey R.S. 1998. Cadmium suppresses phosphate level and inhibits the activity of phosphatases in growing rice seedlings. Journal of Agronomy and Crop Science. 180: 223-231.
27- Sumner M.E., and Miller W.P. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. In: Methods of Soil Analysis. D. L. Sparks et al. (eds.) part III, 3rd ed. American Society of Agronomy. Inc., Madison, WI. PP: 1201-1229.
28- Thomas G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. In: Methods of Soil Analysis. D. L. Sparks et al. (eds.) part III, 3rd ed. American Society of Agronomy. Inc., Madison, WI. PP: 475- 490.
29- Yang M.J., Lin X.Y., and Yang X.E. 1998. Impact of cadmium on growth and nutrient accumulation of different plant species, Chinese Journal of Applied Ecology, 9: 89-94.

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 4, Sept.-Oct.2016, p. 1170-1179

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۵،ص.۱۱۷۹-۱۱۷۰

Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria on the Concentration and Uptake of Macro Nutrients by Corn in a Cd-contaminated Calcareous Soil under Drought Stress

S.Karami[1]- M.Zarei[*2]- J. Yasrebi[3]- N.A. Karimian[4]- S.A.A. Moosavi[5]

Received: 23-05-2015
Accepted: 23-11-2015

Introduction: Heavy metals such as cadmium (Cd) are found naturally in soils, but their amount can be changed by human activities. The study of the uptake and accumulation of heavy metals by plants is done in order to prevent their threats on human and animal's health.Cadmium is a toxic element for living organisms. Cadmium competes with many of nutrients to be absorbed by the plant and interferes with their biological roles. Water stress affects the cell structure and the food is diverted from its normal metabolic pathway. It also reduces the availability and uptake of nutrients by the plant. One reason for the reduction of plant growth under drought stress is the accumulation of ethylene in plants. There are ways to mitigate the negative effects of drought stress that one of which is the use of Plant Growth Promoting Rhizobacteria(PGPRs) to increasing the availability of nutrients. Soil beneficial bacteria play an important role in the biological cycles and have been used to increase plant health and soil fertility over the past few decades.The aim of this study was to investigate theeffect of PGPRsonthe concentration and uptake of macro nutrients by corn in a Cd-contaminated calcareous soil under drought stress**.**

Materials and Methods: A greenhouse factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications. The treatments were two levels of bacteria (with and without bacteria), four levels of Cd (5, 10, 20, and 40 mg kg^{-1}), and three levels of drought stress (without stress, 80, and 65% of field capacity). The pots were filled with 3 kg of treated soil. Cd was treated as its sulfate salt in amounts of 5, 10, 20, and 40 mg kg^{-1}. The soil was mixed uniformly with 150 mg N kg^{-1} as urea, 20 mg P kg^{-1} as Ca $(H_2PO_4)_2$, 5 mg Fe kg^{-1} as Fe-EDDHA and 10, 10 and 2.5 mg Zn, Mn and Cu kg^{-1}, respectively as their sulfate salt in order to meet plant needs for these nutrients. Six seeds of *Zea mays* (var. HIDO) were planted at each pot. Each seed of maize was inoculated with 2 mL (1×10^8 colony-forming units (cfu) mL^{-1}) of *Micrococcus yunnanensis* (a gram positive bacterium with the ability of production of sidrophore and phosphate dissolving characteristic). Each pot was irrigated daily with distilled water to near field capacity by weight, until 15 days after corn planting. Then corn was thinned to 3 plants per pot and irrigation was started with different levels of drought stress (without stress (F.C), 80, and 65% of field capacity) by weight. At harvest (8 weeks after planting), the aerial parts of the plants was cut at the soil surface. The harvested plants were washed with distilled water, dried to a constant weight at 65°C. Representative samples were dry-ashed and analyzed for macro nutrients.

Results and Discussion: The results indicated that the inoculation of bacteria increased shoot dry weight (DW) and total uptake of nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K). Drought stress decreased DW, total uptake of N, P, and K, concentrations of N and K in corn shoots, and concentration of K in the soil. The application of biological fertilizers, such as plant growth promoting rhizobacteria, increase plant growth through increasing microorganism's activities and population in the soil and so increase macro nutrients uptake by the plant. Phosphate solubilizing rhizobacteria increase plant growth and phosphate availability with production of organic acids and secretion of phosphatase enzymes or protons and conversion of non-soluble phosphates (either organic or inorganic phosphates) to the forms that are more available for the plants and improve their nutrition and increase their growth. Drought stress decreases Dry Matter Weight(DMW) through decreasing relative humidity of the air of plant growth environment and increases evaporation, transpiration, plant temperature and light intensity of the sun. It prevents normal development of roots, water uptake, and plant growth by reducing the moisture content of the soil. It also decreases uptake and availability of Phosphorus in arid soils because plant growth and root activity in arid soils are lower from those of wetlands and as phosphorus is immobile in

1, 2, 3, 4 and 5- Ph.D. Student, Associate Professor, Assistant Professor, Professor and AssociateProfessor, Department of Soil Science, College of Agriciculture, Shiraz University, Iran, Respectively
(*- Corresponding Author Email: mehdizarei@shirazu.ac.ir)

the soil, its uptake by the plant will decrease. N concentration of plants will increase drought stress conditions through rapid accumulation of amino acids that had not been converted into protein. The combined effects of drought stress and inoculation of bacteria on decomposition of silicates, cause the release of nutrients such as potassium. Increasing levels of cadmium in both cases, with and without bacterial inoculation, decreased DW, N and K uptake by corn because of its toxicity and its competition and interactions with these nutrients.

Conclusion: The inoculation of bacteria mitigated the negative effects of drought stress and cadmium contamination by increasing dry weight of corn and increasing uptake of macronutrients by aerial parts. Drought stress in both cases (with and without bacterial inoculation) reduced shoot dry weight, total uptake of macro nutrients, N and K concentrations in corn shoots and post-harvest potassium concentration in the soil. Cadmium levels decreased shoot dry matter and N and K uptake by the plant. The use of bacteria was more effective at low cadmium and drought stress levels.

Keywords: Heavy metals, Macro nutrients, *Micrococcusyunnanensis*