بررسی جذب کادمیوم از کودهای فسفاته تیمار شده با گوگرد و تیوباسیلوس توسط نهال پسته

مرضیه سادات جزائری [۱]، عبدالرضا اخگر [۲]، مهدی سرچشمه‌پور [۳]، نرگس خدابخشی [۱]
۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم خاک دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان، ۲- استادیار علوم خاک دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان، ۳- استادیار علوم خاک دانشگاه شهید باهنر کرمان

چکیده
پژوهش حاضر به منظور بررسی توانایی کود سوپرفسفات‌تریپل وارداتی و خاک فسفات داخلی تیمارشده با گوگرد و تیوباسیلوس در تجمع کادمیوم بر روی نهال پسته انجام گرفت. آزمایش گلخانه‌ایی به‌صورت فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه سطح منبع فسفر (بدون کود فسفری، ۲۰۰۰ میلی‌گرم خاک فسفات درکیلوگرم خاک و ۶۷ میلی‌گرم کود سوپرفسفات‌تریپل درکیلوگرم خاک)، دو سطح گوگرد (صفر و ۲۰۰۰ میلی‌گرم گوگرد درکیلوگرم خاک) و دو سطح مایه‌تلقیح تیوباسیلوس (بدون تلقیح و تلقیح با تیوباسیلوس) درسه تکرار به‌اجرا درآمد. همچنین غلظت کادمیوم در هر دو کود اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد آلودگی کادمیوم در سوپرفسفات‌تریپل ۵ برابر بیشتر از خاک فسفات بود. بیشترین تأثیر بر غلظت کادمیوم اندام هوایی را کاربرد سوپرفسفات‌تریپل به‌میزان ۵/۱۰% افزایش نسبت به خاک فسفات نشان داد. هم‌چنین استفاده از مایه‌تلقیح تیوباسیلوس افزایش معنی‌داری بر غلظت کادمیوم اندام هوایی (۶%) داشت. بیشترین غلظت کادمیوم ریشه نیز از برهم‌کنش سوپرفسفات‌تریپل و گوگرد به‌دست آمد.

واژه های کلیدي: کادمیوم، کودهای فسفاته، گوگرد

مقدمه
فسفر یک عنصر ضروری برای تولید و رشد محصول است و برای خاک‌های فقیر از این عنصر کاربرد کودهای آلی و معدنی فسفاته برای رسیدن به عملکرد بهینه الزامی است از طرفی کودهای فسفاته به علت دارا بودن عناصر سنگینی هم‌چون کادمیوم و سرب، می‌توانند منشأ ورود و تجمع این عناصر سنگین در سیستم‌های کشاورزی گردند. چنان‌چه پژوهشگران این کودها را منبع اصلی عامل انتقال دهنده‌ی فلزات سنگین به خاک معرفی نموده‌اند (Kpomblekou and Tabatabai, ۱۹۹۴). از جمله‌ی این فلزات سنگین می‌توان به کادمیوم اشاره کرد که عنصری غیرضروری و فاقد وظیفه‌ی بیولوژیک خاصی هست. در این رابطه نیز گزارش شده کاربرد سوپر فسفات ساده باعث افزایش غلظت کادمیوم در خاک گردید (Thomas et al., ۲۰۱۲). در پژوهشی دیگر با بررسی تأثیر نوع کود فسفاته بر تجمع کادمیوم نشان دادند، که غلظت کادمیوم در خاک فسفات کارولینای شمالی تنها نصف مقدار آن در دانه برنج گیاهان تیمار شده با سوپر فسفات ساده تهیه شده از همان خاک فسفات در یک خاک اسیدی بود (Iretskaya et al., ۱۹۹۸). ورود عناصر سنگین به خاک و سپس تجمع آن‌ها در گیاه نه تنها به نوع کود، مقدار آلودگی کود به عناصر سنگین و میزان مصرف آن بستگی دارد، بلکه شیوه‌های مدیریتی استفاده از کود نیز می‌تواند بر این مسئله تأثیر گذار باشد. از آنجایی که در مواردی برای افزایش راندمان کودهای فسفاته به خصوص خاک فسفات در خاک‌های آهکی از گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس به منظور کاهش pH و متعاقبا افزایش انحلال کود استفاده می‌شود لذا این امر ممکن است بر فراهمی عناصر سنگین موجود در کود و یا خاک تأثیر گذاشته و به افزایش این آلودگی‌ها در سیستم‌های کشاورزی کمک نماید. بهرحال چون مطالعاتی در این زمینه وجود ندارد لذا نمی‌توان بطور قطع در این مورد اظهار نظر نمود. با توجه به این نکته که کودهای فسفاته وارداتی فاقد برچسب اطلاعاتی در باره‌ی مقادیر ناخالصی‌های عناصر سنگین از جمله کادمیوم بوده و از سویی جایگزین کردن خاک فسفات داخلی به همراه کاربرد مجموعه‌ای از روش‌های زیستی از جمله تلاش‌های مؤثر برای نیل به کشاورزی پایدار محسوب می‌شود، بنابراین پژوهش فوق با هدف مقایسه‌ی مقدار کادمیوم موجود در کود سوپر فسفات تریپل وارداتی و یک نمونه خاک فسفات داخلی و مقایسه انتقال کادمیوم کود خاک فسفات داخلی و سوپر فسفات تریپل وارداتی تیمار شده با گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس به نهال‌های پسته رقم بادامی ریز زرندی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها
برای کشت گیاه، نمونه خاک با فسفر قابل استفاده‌ی کم از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری از منطقه داوران تهیه گردید. خاک تهیه شده پس از هوا خشک شدن و عبور از الک دو میلی‌متری به نسبت دو به یک با شن شسته شده با اسید مخلوط گردید. آزمون گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با در نظر گرفتن دو سطح باکتری (بدون تلقیح (T_0) و تلقیح با جدایه‌ی تیوباسیلوس (T_1))، دو سطح گوگرد (صفر (S_0) و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (S_1)) و سه سطح فسفر (بدون کود فسفری (P_0)، ۲۰۰۰ میلی‌گرم خاک فسفات در کیلوگرم خاک (PR) و ۶۷ میلی‌گرم کود سوپرفسفات تریپل در کیلوگرم خاک (TSP)) در سه تکرار انجام شد. انتخاب مقادیر گوگرد، خاک فسفات و جدایه تیوباسیلوس قبلاً بر اساس آزمونی تعیین گردیده بود (Jazaeri, ۲۰۱۲). به منظور اعمال تیمارهای مقدار لازم از هر یک با ۴ کیلوگرم از خاک تهیه شده به خوبی مخلوط گردید. در این آزمون از بذر پسته رقم

بادامی ریز زرند استفاده شد. در هر گلدان که محتوي ۴ کیلوگرم خاک تیمار شده بود تعداد پنج بذر جوانه‌دار شده کشت گردید. یک ماه پس از کشت و پس از استقرار کامل نهال‌ها، در هر گلدان تعداد سه نهال که از نظر اندازه مشابه بودند نگه داشته شدند. سپس مایه تلقیح تیوباسیلوس، به گلدان‌ها اضافه گردید. نیتروژن و پتاسیم نیز از منابع نیترات آمونیوم و کلرید پتاسیم به میزان ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و به صورت تقسیط در سه نوبت به تمامی گلدان‌ها داده شد. گلدان‌ها به مدت شش ماه در شرایط گلخانه با حفظ ۷۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه نگه‌داری شدند. برای برداشت، ابتدا بخش هوایی نهال‌ها از محل طوقه قطع شد سپس ریشه‌ها نیز از خاک خارج و به همراه اندام هوایی توسط آب معمولی و آب مقطر شسته و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند. نمونه‌های خشک شده ابتدا پودر گردیده سپس در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌روش خشک سوزانی عصاره‌گیری انجام شد. غلظت کادمیوم اندام هوایی و ریشه و کودهای فسفاته مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. تجزیه واریانس کلیه داده‌ها با استفاده از نرم افزارهای آماری MSTATC و MINITAB صورت گرفت و مقایسه میانگین‌ها بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

مطابق با نتایج به دست آمده از تجزیه شیمیایی کودهای فسفاته خاک فسفات داخلی و سوپر فسفات تریپل وارداتی به ترتیب دارای ۰۵/۳ و ۷۵/۱۷ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم بودند که نشان می‌دهد آلودگی کادمیوم در کود سوپر فسفات تریپل بیش از پنج برابر غلظت کادمیوم در خاک فسفات است (جدول ۱). مؤسسه‌ی تحقیقات خاک و آب حد مجاز کادمیوم را در کودهای فسفاته ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین کرده است (Malakoti et al., ۲۰۰۰). بنابراین با وجود این تفاوت معنی‌دار، غلظت کادمیوم هر دو کود در محدوده‌ی مجاز استاندارد ایران قرار می‌گیرد. از دلایل وجود غلظت بالای کادمیوم در سوپر فسفات تریپل می‌توان به کیفیت نامطلوب خاک فسفات مورد استفاده برای تهیه این کود شیمیایی اشاره نمود که حاوی غلظت بالایی از کادمیوم بوده و در فرایند ساخت کود نیز به مقدار کافی خالص نگشته است (Milinovic et al., ۲۰۰۸). گرچه خاک فسفات به دست آمده از معدن آسفوردی یزد نیز مقدار کادمیم کمی دارد لیکن این نمونه، از سنگ‌های فسفاته آذرین بوده که معمولاً غلظت کادمیوم کمتری نسبت به نمونه‌های رسوبی دارند و البته کودهای فسفاته معمولاً از سنگ فسفات‌های رسوبی ساخته می‌شوند، هم‌چنین برای کاربرد مستقیم خاک فسفات از انواع رسوبی آن استفاده می‌گردد؛ چرا که حلالیت بیشتری در مقایسه با خاک فسفات‌های آذرین دارند. بر این اساس در پژوهش حاضر نمونه‌ی خاک فسفات رسوبی مورد بررسی قرار گرفت و همانطور که نتایج نشان داد آلودگی کادمیوم آن در مقایسه با سوپر فسفات تریپل وارداتی به میزان قابل توجهی کمتر بود که این امر می‌تواند نشان دهنده‌ی کیفیت بهتر خاک فسفات‌های رسوبی داخل کشور از نظر آلودگی به کادمیوم باشد.

جدول۱- نتایج تجزیه واریانس غلظت کادمیوم کود خاک فسفات داخلی و سوپر فسفات تریپل وارداتی

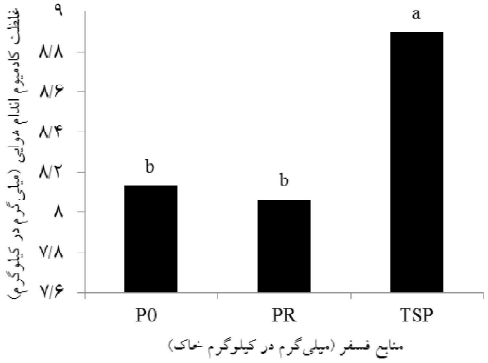
		مربعات
منابع تغییر	درجه آزادي	غلظت کادمیوم
کودهای فسفاته	۱	**۱۸/۴۳۲
خطا	۶	۳۳/۱۹
ضریب تغییرات	_	۳۰/۱۸

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

بررسی انتقال کادمیوم به نهال‌های پسته

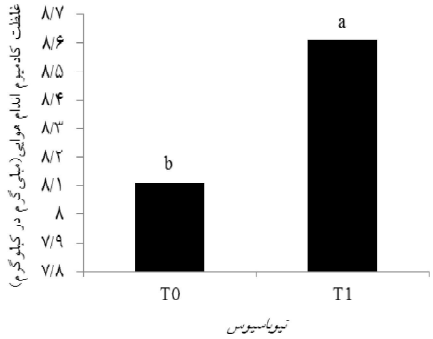
نتایج نشان داد مصرف سوپر فسفات تریپل سبب افزایش ۵/۹% غلظت کادمیوم اندام هوایی نهال پسته نسبت به شاهد و ۵/۱۰% نسبت به خاک فسفات شد (شکل ۱). اگر چه غلظت کادمیوم سوپر فسفات تریپل در محدوده‌ی استاندارد ایران قرار داشت ولی توانست باعث افزایش معنی‌دار تجمع کادمیوم در گیاه گردد. در دو سیستم کشت ارگانیک و سنتی نیز مصرف سوپر فسفات ساده به دلیل آلودگی بیشتر کادمیوم، باعث افزایش غلظت کادمیوم دانه‌ی گندم در مقایسه با تیمار شاهد و خاک فسفات مراکش شد (Oliver et al., ۱۹۹۷). در مطالعه‌ایی دیگر نیز گزارش شد کاربرد سوپر فسفات ساده باعث افزایش غلظت کادمیوم در ساقه و ریشه‌ی گیاه تاج خروس شد (Thomas et al., ۲۰۱۲). کودهای فسفاته علاوه بر این‌که با آلودگی کادمیومی خود بطور مستقیم باعث حضور این عنصر در خاک و عرضه آن به گیاه می‌شوند، اما اثرات غیر مستقیم آن‌ها نیز می‌تواند به افزایش تجمع کادمیوم در گیاه کمک نماید از جمله‌ی این تأثیرات غیر مستقیم می‌توان به حضور روی در ترکیب شیمیایی کودهای فسفاته اشاره نمود. تحقیقات متعددی نشان داده‌اند حضور روی در کودهای فسفاته می‌تواند فراهمی زیستی کادمیوم را کاهش دهد اما کاربرد کودهای فسفاته‌ایی که عنصر روی در آن‌ها وجود ندارد و یا غلظت آن ناچیز است باعث افزایش تجمع کادمیوم در گیاه شده‌اند (Grant and bailey, ۱۹۹۷). در پژوهش حاضر نیز کود سوپر فسفات تریپل وارداتی غلظت روی اندام هوایی نهال‌های پسته را کاهش داد که این امر

ممکن است به افزایش تجمع کادمیوم در گیاه کمک کرده باشد. در حالی‌که خاک فسفات داخلی حاوی مقدار قابل ملاحظه‌ای عنصر روی بود (Jazaeri, ۲۰۱۲) و احتمالاً روی در نتیجه رقابت با کادمیوم اجازه‌ی جذب و انتقال آن را به گیاه نداده است.



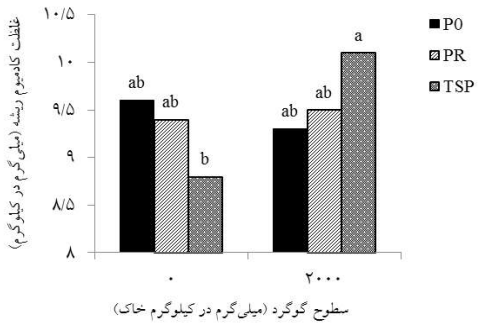
شکل ۱- اثر منابع فسفر بر غلظت کادمیوم اندام هوایی نهال‌های پسته. P۰: سطح صفر فسفر، PR: خاک فسفات، TSP: سوپرفسفات تریپل

به غیر از تأثیری که کودهای فسفاته به عنوان نهاده‌های کودی بر افزایش تجمع آلاینده‌های فلزی در خاک و گیاه می‌گذارند، استفاده از مواد اصلاح کننده‌ای که همراه با آن‌ها بکار می‌رود نیز ممکن است بتواند با تغییراتی که در خصوصیات خاک ایجاد می‌کند بر گونه و فراهمی این عناصر تأثیر گذار باشد. به طوری‌که نتایج این مطالعه نشان داد استفاده از مایه تلقیح تیوباسیلوس ۶% کادمیوم اندام هوایی را در مقایسه با عدم تلقیح افزایش داد که البته تجمع کمتری را در گیاه نسبت به اثر سوپر فسفات تریپل نشان داد (شکل ۲). از فاکتورهای خاکی مؤثر بر فراهمی زیستی کادمیوم می‌توان به pHخاک اشاره کرد که نقش مهمی بر حلالیت و تحرک کادمیوم در خاک دارد، با افزایش pH حلالیت و فعالیت یونی کادمیوم کاهش و جذب سطحی آن افزایش می‌یابد (Carrillo-Gonzalez, ۲۰۰۶). بنابراین شاید یکی از دلایل احتمالی افزایش غلظت کادمیوم در نهال‌های پسته تلقیح شده با باکتری تیوباسیلوس می‌تواند کاهش pH خاک توسط این باکتری و به طبع آن افزایش فراهمی زیستی کادمیوم و تجمع آن در گیاه باشد. البته در مورد این‌که تیوباسیلوس تنها با کاهش pH سبب افزایش غلظت کادمیوم گردیده نمی‌توان کاملاً مطمئن بود. چرا که اثر اصلی گوگرد و اثر متقابل گوگرد- تیوباسیلوس نیز باعث کاهش معنی‌دار pH خاک گردیدند ولی باعث افزایش معنی‌دار غلظت کادمیوم نشدند (Jazaeri, ۲۰۱۲). در پژوهشی نشان داده شد کاربرد کود گاوی به همراه خاک فسفات توانست باعث افزایش تجمع کادمیوم در گیاه ذرت شود (Awotoye et al., ۲۰۱۱).



شکل ۲- اثر مایه تلقیح *تیوباسیلوس* بر غلظت کادمیوم اندام هوایی نهال‌های پسته
T۰: سطح صفر *تیوباسیلوس*، T۱: مایه تلقیح *تیوباسیلوس*

بیشترین غلظت کادمیوم ریشه نیز از برهم‌کنش سوپر فسفات تریپل و کاربرد گوگرد به دست آمد (شکل ۳). در پژوهشی بر روی گیاه ذرت نیز گزارش شد با کاربرد سوپرفسفات ساده، غلظت کادمیوم ریشه افزایش یافت (Thomas et al., ۲۰۱۲).



شکل ۳- برهم‌کنش منابع فسفر-گوگرد بر غلظت کادمیوم ریشه نهال‌های پسته
P۰: سطح صفر فسفر، PR: خاک فسفات، TSP: سوپرفسفات تریپل

منابع

Awotoye O.O., Oyedele D.J. and Anwadike B.C. ۲۰۱۱. Effects of cow-dung and rock phosphate on heavy metal content in soils and plants. Journal of Soil Science and Environmental management, ۲: ۱۹۳-۱۹۷.

Carrillo-Gonzalez R., Simunek J., Sauve S. and Adriano D. ۲۰۰۶. Mechanisms and pathways of trace element mobility in soils. Advances in Agronomy, ۹۱: ۱۱۱-۱۷۸.

Grant C.A. and Bailey L.D. ۱۹۹۷. Nitrogen, phosphorus and zinc management effects on grain yield and cadmium concentration in two cultivars of durum wheat. Canadian. Journal of Plant Science, ۷۸, ۶۳-۷۰.

Iretskaya S.N., Chien S.H. and Menon R.G. ۱۹۹۸. Effect of acidulation of high cadmium containing phosphate rocks on cadmium uptake by upland rice. Plant and Soil, ۲۰۱: ۱۸۳-۱۸۸.

Jazaeri M.S. ۲۰۱۲. Isolation and effectiveness of *Thiobacillus* on phosphorous and some of micro nutrient uptake by Pistachio seedling. MSC thesis for Soil Science, Faculty of Agriculture Vali-E-Asr University of Rafsanjan.

Kpomblekou A.K. and Tabatabai M.A. ۱۹۹۴. Metal contents of phosphate rocks. Communications in Soil Science and Plant Analysis, ۲۵: ۲۸۷۱-۲۸۸۲.

Malakoti M.J., Torabi M. and Tabatabaei S.J. ۲۰۰۰. The hazardous effect of Cd and the methods of reducing Cd concentrations in agricultural products. The Technical bulletin Ministry of Agriculture. Soil and water Research Institute, ۸۷: ۱-۲۵.

Milinovic J., Lukic V., Nikolic-Mandic S. and Stojanovic D. ۲۰۰۸. Concentrations of heavy metals in NPK fertilizers imported in serbia. Pesticides and Phytomedicine, ۲۳: ۱۹۵-۲۰۰.

Oliver D.P., Penfold C., Derrick J., Cozens G. and Tiller K.G. ۱۹۹۷. Cadmium concentration in grain grown under organic farming systems and using alternative fertilizer. Technical Report. ۱۳ CSIRO. Australia, ۲۱p.

Thomas E.Y, Omueti J.A.I and Ogundayomi O. ۲۰۱۲. The Effect of Phosphate Fertilizer on Heavy Metal in Soils and *Amaranthus Caudatus*. Agriculture and Biology Journal of North America, ۳: ۱۴۵-۱۴۹.

Abstract

This study was carried out to investigate the effect of native phosphate rock and imported triple superphosphate treated with sulfur and Thiobacillus on the accumulation of cadmium in pistachio seedling. The pot experiment was conducted as factorial based on completely randomized design with three replications including three levels of phosphate fertilizers (control, ۲۰۰۰ mg phosphate rock per kg soil and ۶۷ mg triple superphosphate per kg soil), two levels of elemental sulfur (۰ (S۰) and ۲۰۰۰ mg sulfur per kg soil (S۱)) and two levels inoculum (non-inoculation and Thiobacillus inoculation). Cadmium concentration was analysed in both phosphate fertilizers. Results showed that cadmium contamination in the triple superphosphate was ۵ times higher than phosphate. Application of triple superphosphate had the greatest effect on shoot cadmium concentration (۱۰.۵%) compared to the phosphate rock. Using Thiobacillus increased significantly shoot cadmium concentration (۶%). The highest root cadmium concentration was obtained from interactions triple superphosphate and sulfur.

Keywords: Cadmium, Phosphate fertilizers, Sulfur