

اثرات تنش شوری آب، کود فسفاتی و آلودگی کادمیم بر شکل‌های مختلف کادمیم در خاک زیر کشت توتون

امیر مصلحی، محمد فیضیان¹ و حمیدرضا عیسوند

دکترای علوم خاک، گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان؛ moslehi2012@gmail.com

دانشیار، گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان؛ feizian.m@lu.ac.ir

دانشیار، گروه مهندسی زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان؛ eisvand.hr@lu.ac.ir

دریافت: 97/5/27 و پذیرش: 97/10/10

چکیده

کادمیم جذب شده در بدن منشا بسیاری از سرطانهای شناخته شده‌ی امروزی است. جذب کادمیم از طریق تنفس دود توتون بسیار بیشتر از آشامیدن آب و خوردن غذای آلوده به کادمیم است. این پژوهش به منظور بررسی اثر شوری آب آبیاری، کود سوپر فسفات تریپل و آلودگی کادمیم خاک بر غلظت کادمیم در خاکستر، دود توتون و سرنوشت کادمیم در بخش‌های مختلف خاک انجام شد. آزمایش با سه عامل شوری آب آبیاری (صفر، 20 و 40 میلی مولار NaCl)، کود سوپر فسفات تریپل (صفر و 1/5 گرم بر کیلوگرم خاک) و آلودگی کادمیم اضافه شده به خاک (صفر و 12 میلی گرم بر کیلوگرم خاک) به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. نتایج نشان داد، بیشترین سهم غلظتی کادمیم در خاک آلوده شده به کادمیم، در بخش کربناتی با میانگین کل 6/84 میلی گرم بر کیلوگرم و کمترین غلظت کادمیم در بخش اکسید های آهن با میانگین کل 0/4 میلی گرم بر کیلوگرم مشاهده گردید. کاربرد سوپرفسفات تریپل در خاک آلوده به کادمیم، در شوری صفر، 20 و 40 میلی مولار به ترتیب باعث افزایش غلظت کادمیم خاکستر توتون به مقدار 1/47%، 15/89% و 29/80 درصد و غلظت کادمیم دود به مقدار 23/20%، 23/30% و 18 درصد نسبت به تیمار شاهد شد. با افزایش سطوح شوری آب آبیاری در خاک‌های آلوده به کادمیم، غلظت کادمیم محلول+تبادلی در شوری 20 و 40 میلی مولار، به طور میانگین و به ترتیب 22/15% و 42 درصد افزایش نشان داد که این افزایش غلظت در سطح 5 درصد آماری معنی دار بود. کاربرد کود سوپر فسفات تریپل در خاک‌های آلوده به کادمیم و در سطوح شوری 20 و 40 میلی مولار، به ترتیب سبب کاهش 14/65% و 12 درصدی غلظت کادمیم محلول+تبادلی نسبت به شاهد شد. برهمکنش شوری آب آبیاری و کود فسفاتی اثر فزاینده‌ای بر غلظت کادمیم خاکستر و دود توتون داشت.

واژه‌های کلیدی: عصاره گیری دنباله ای، کادمیم محلول+تبادلی، کادمیم دود توتون، کود سوپر فسفات تریپل

¹ نویسنده مسئول، آدرس: دانشگاه لرستان، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی خاک

مقدمه

منبع اصلی ورود کادمیم به خاک‌های کشاورزی منبع انسانی بوده و علت اصلی آلودگی خاک‌های کشاورزی به کادمیم استفاده از کود فسفاتی، به منظور افزایش کیفیت و مقدار محصول است (مک لاگالین و همکاران، 1996). مقدار میانگین کادمیم در 45 نمونه کود سوپر فسفات تریپل بررسی شده، 19 میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (روبرتس، 2014). در تحقیقی که توسط ییلدیز و همکاران، 2008 صورت گرفت به این نتیجه رسیدند که کود سوپر فسفات تریپل، مونو آمونیوم فسفات و دی آمونیوم فسفات به ترتیب حاوی مقدار کل 1734، 2147 و 2266 میکروگرم کادمیم بر کیلوگرم کود بود و مقدار کادمیم محلول در آب این کودها به ترتیب 323، 362 و 252 میکروگرم بر کیلوگرم بود. اکثر خاک‌های غیرآلوده غلظت‌هایی کمتر از یک میلی‌گرم بر کیلوگرم دارند و غلظت بحرانی کادمیم در خاک 1/5 تا 2/5 میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (بولان و همکاران، 2003). فراهمی زیستی فلزات سنگین در خاک به میزان حلالیت این فلزات در فاز محلول خاک بستگی دارد. فلزات سنگین در خاک قبل از جذب توسط گیاه باید به شکل قابل جذب بیولوژیکی (یون آزاد و قابل تبادل) تبدیل شوند. با عصاره‌گیری دنباله ای¹ می‌توان شکل‌های مختلف فلزات سنگین در خاک را از هم جدا کرد.

گیاه توتون در مقایسه با سایر گیاهان می‌تواند مقدار بیشتری کادمیم در خود ذخیره کند و طی آزمایش گلدانی که انجام شد به این نتیجه رسیدند که در خاکی که مقدار 69 میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم داشت گیاه توتون توانست سه برابر بیشتر نسبت به سایر گیاهان کادمیم را جذب کند (دیویس، 1984). فلزات سنگین زیادی از جمله کادمیم، سرب، آرسنیک، نیکل، کروم، سلنیم و جیوه در دود و سایر محصولات توتون گزارش شده است (کاروسو و همکاران، 2009؛ پاپاس، 2011). اشرف، 2012 نشان داد که مقدار کادمیم در 20 نمونه توتون سیگار 0/83 تا 2/78 میکروگرم بر گرم بود و به طور میانگین 1/81 میکروگرم بر گرم بود. از مقدار مساوی کادمیم دود سیگار و کادمیم موجود در مواد غذایی، جذب کادمیم موجود در دود سیگار توسط شش‌ها 10 برابر مقدار جذب کادمیم توسط روده‌ها از طریق بلع غذا و آشامیدن آب آلوده بود (برنامه زیستی سازمان ملل، 2010، سازمان بهداشت جهانی، 2000). مقدار کادمیم در بدن افراد سیگاری تقریباً دو برابر افراد غیر سیگاری بود (مارانو

و همکاران، 2012). شوری آب آبیاری در بسیاری از مناطق کشت توتون گزارش شده است و شوری خود نیز می‌تواند بر رشد گیاه توتون، رفتار کادمیم در خاک و جذب آن توسط گیاه توتون تأثیر گذار باشد. افزایش میزان کلر آب آبیاری به بیش از 16 میلی مولار، سبب کاهش سطح برگ و شاخص‌های رشدی گیاه توتون شد و بیشترین کاهش وزن در برگ‌های گیاه مشاهده شد (صدرالزمانی و همکاران، 1393). شوری 50 و 100 میلی مولار کلرید سدیم سبب اختلال در فتوسنتز گیاه و کاهش رشد ساقه و برگ گیاه توتون شد (سوا و همکاران، 2006). تنش شوری حاصل از نمک کلرید سدیم ابتدا سبب کاهش عملکرد ساقه گیاه توتون شده و سپس قندهای حاصل از فرایند فتوسنتز در برگ‌های گیاه انباشته شده و نتوانستند به سایر بخش‌های گیاه منتقل شوند و در نتیجه فرایند فتوسنتز در برگ‌ها و رشد کلی گیاه کاهش یافت (سوا و همکاران، 2006). یون کلرید حاصل از شوری خاک جذب کادمیم را توسط ذرات خاک کاهش داده و کادمیم را به شکل ترکیب کلرید- کادمیم که قابل جذب برای گیاه می‌باشد، در می‌آورد (ولچ و نورول، 1999).

هدف از انجام این آزمایش، بررسی اثر هر کدام از عوامل کود سوپرفسفات تریپل، شوری آب آبیاری و آلودگی کادمیم خاک به صورت جداگانه و برهمکنش این عوامل بر کادمیم دود، کادمیم خاکستر توتون، کادمیم بخش‌های مختلف خاک و کادمیم قابل جذب گیاه بود.

مواد و روش‌ها

خاک مورد آزمایش و کاشت

نمونه برداری خاک از عمق 30-0 سانتی‌متری از مزرعه کشاورزی تحت آیش واقع در شهرستان بردسکن (خراسان رضوی) با میانگین بارندگی 150 میلی‌متر به روش زیگزاگی انجام شد. سپس به منظور همگن‌سازی نمونه‌ها، آنها را کامل با یکدیگر مخلوط و از نمونه مرکب حاصله، پس از عبور از الک 2 میلی‌متری جهت خواباندن² نمونه‌ها و سپس کاشت استفاده شد. قبل از کاشت، نمونه‌های خاک، به منظور اختلاط هر چه بهتر و جذب بیشتر کادمیم توسط ذرات خاک با سطوح مربوط به آلودگی کادمیم (0 و 12 میلی‌گرم بر کیلوگرم) از منبع $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ از طریق اسپری کردن بر تمام سطح خاک و زیر و رو کردن خاک کاملاً آلوده شد. نمونه‌های خاک به ظروف نگهداری منتقل و به مدت 4 ماه در فضای کنترل شده گلخانه در دمای حدود 25 درجه

² Incubation¹ Sequential extraction

هدایت الکتریکی (EC) در عصاره گل اشباع خاک بوسیله دستگاه هدایت سنج الکتریکی (رودز، 1996)، کربنات کلسیم معادل به روش خشتی‌سازی با اسیدکلریدریک (نلسون، 1982)، فسفر قابل استفاده خاک به روش اولسن و همکاران (1954)، کربن آلی به روش سوختن با دستگاه CHNS (دستگاهی که با سوختن نمونه مقدار کربن، هیدروژن، نیتروژن و گوگرد را اندازه‌گیری می‌کند (ساتو و همکاران، 2014)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش جانشین کاتیون‌ها با استات سدیم (سامنر و میلر 1996)، غلظت کادمیم قابل جذب در پایان آزمایش توسط عصاره گیر DTPA (لیندسی و نورول، 1987)، تعیین و غلظت کادمیم در عصاره‌های به دست آمده به وسیله دستگاه جذب اتمی (Shimadzu AA-670) مجهز به کوره گرافیتی تعیین شد. جهت تعیین فسفات و کادمیم کل در کود سوپر فسفات تریپل پس از کوبیدن کود در هاون چینی، هضم اسیدی انجام و در عصاره به دست آمده کادمیم کل (هو و همکاران، 1998) و فسفات کل (بولتن کاربردی 314) اندازه‌گیری شد. اسیدیته کود فسفاتی در عصاره یک به پنج کود به آب، اندازه‌گیری شد.

پس از اتمام برداشت گیاهان، پس از شستشو با آب مقطر، هوا خشک و سپس در آن با دمای 65 درجه تا رسیدن به وزن ثابت، خشک گردید و به منظور آماده سازی برای هضم اسیدی، به ذرات کوچکتر از 0/05 میلی متر آسیاب شد (گیو و همکاران، 2017). به منظور تهیه عصاره برای اندازه‌گیری کادمیم، خاکستر گیاه از روش هضم مخلوط نیتریک اسید و پرکلریک اسید به نسبت حجمی 3 به 1 به همراه حرارت استفاده شد (لیو و همکاران، 2015). در هر یک از عصاره‌های بدست آمده مقدار کادمیم تعیین شد. به منظور اندازه‌گیری غلظت کادمیم در دود حاصل از توتون، پس از سوختن کامل توتون در فضای باز (به منظور جلوگیری از بازجذب کادمیم دود توتون توسط خاکسترش) نسبت به محاسبه مقدار کادمیم در دود توتون بدین شرح اقدام شد. غلظت کادمیم در دود توتون از طریق تفریق غلظت کادمیم خاکستر گیاه از غلظت کادمیم بخش هوایی گیاه توتون بدست آمد (پیستو و همکاران، 2017).

خاک مورد استفاده جهت آزمایش (جدول یک) دارای بافت لوم شنی، با کربنات کلسیم معادل 17/5 درصد بود. کود سوپر فسفات تریپل مورد آزمایش با فرمول شیمیایی $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ شامل 44 درصد فسفات و کادمیم کل آن 0/12 میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (جدول 2). ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری برای هرگلدان شامل غلظت کادمیم خاکستر و دود توتون، غلظت قابل جذب کادمیم عصاره‌گیری شده با DTPA در خاک،

سانتی‌گراد و 70 درصد ظرفیت نگهداری آب در خاک با استفاده از روش توزین، خوابانیده شد (لیو و همکاران، 2016). کشت تحت شرایط کنترل شده در محیط گلخانه واقع در شهرستان بردسکن و در گلدان‌هایی با 10 کیلوگرم خاک انجام شد. قبل از کاشت، کودهای اولیه به منظور تأمین عناصر نیتروژن به مقدار 2/28 گرم کود $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ بر هر کیلوگرم خاک گلدان و کود پتاسیم به مقدار دو گرم بر هر کیلوگرم خاک گلدان از منبع KNO_3 که فاقد آلودگی عنصر کادمیم و فسفر بودند، بر اساس مقدار نیاز به نیتروژن و پتاسیم به گلدان‌ها اعمال شد. کود سوپر فسفات تریپل قبل از کشت گیاه به تیمارهای مربوطه اعمال شد. نظر به اینکه کود پتاسیمی و نمک نترات کادمیم حاوی عنصر نیتروژن بود، مقدار نیتروژن آنها در تیمارهای مربوطه از مقدار کود نیتروژنی کسر و اعمال گردید. تعداد 2 گیاهچه 60 روزه توتون (*Nicotiana tabacum L.*) رقم کوکر 347 به هر گلدان منتقل و کشت انجام گرفت. پس از انتقال گیاهچه‌ها به هر گلدان، گلدان‌ها به مدت 75 روز با شوری مد نظر (صفر، 20 و 40 میلی‌مولار از نمک NaCl) آبیاری شد و سپس گیاهان از محل طوقه قطع و برداشت شدند.

آزمایش بصورت فاکتوریل سه فاکتوره در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار بصورت گلخانه‌ای اجرا شد. فاکتورها شامل کادمیم اضافه شده به خاک (صفر و 12 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)، کود سوپر فسفات تریپل (صفر و 1/5 گرم بر کیلوگرم خاک گلدان) و شوری آب آبیاری (صفر، 20 و 40 میلی‌مولار NaCl) بودند. این آزمایش به صورت گلدانی و در محیط گلخانه به تعداد 48 عدد گلدان (3 سطح شوری $2 \times 2 \times 2$ سطح کادمیم $2 \times 2 \times 2$ سطح کود سوپر فسفات تریپل $4 \times 4 \times 4$ تکرار) انجام شد و نحوه چیدمان آنها در داخل فضای گلخانه به صورت تصادفی بود. مقدار آب آبیاری بر اساس نیاز رشدی گیاه در هر مرحله از رشد و همچنین پتانسیل آب در خاک که توسط بلوک‌های گچی واقع در هر سطح شوری داخل گلدان‌ها مستقر بود، انجام گرفت. زیر گلدانی به منظور جمع آوری زه آب خروجی از گلدان‌ها و برگرداندن مجدد این زه آب ها، به گلدان‌های مربوطه استفاده شد.

اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، گیاه و کود فسفاتی

پس از عبور نمونه‌های خاک از الک 2 میلی - متری، برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه مرکب خاک حاصله از جمله بافت خاک به روش هیدرومتری (جی و بادر، 1986)، واکنش خاک در گل اشباع به وسیله الکتروود شیشه‌ای (توماس، 1996)، قابلیت

جدول 1- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

| بافت خاک | رس (درصد) | سیلت (درصد) | شن (درصد) | pH | شوری (دسی زیمنس بر متر) | فسفر قابل دسترس (میلی گرم بر کیلوگرم) | پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم) | کربن آلی (درصد) | کادمیم کل (میلی گرم بر کیلوگرم) | ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی مول بار بر کیلوگرم خاک) | کربنات کلسیم معادل (%) |
|----------|-----------|-------------|-----------|-----|-------------------------|---------------------------------------|------------------------------|-----------------|---------------------------------|--|------------------------|
| لوم شنی | 18 | 10 | 72 | 7/4 | 2/3 | 3/9 | 185 | 0/35 | 0/95 | 8/1 | 17/5 |

جدول 2- ویژگی‌های کود سوپر فسفات تریپل مورد مطالعه

| کادمیم کل (میلی گرم بر کیلوگرم) | pH | فسفات کل (درصد) |
|---------------------------------|-----|-----------------|
| 12 | 2/3 | 44 |

جدول 3- روش عصاره گیری دنباله ای سینگ و همکاران (1988) برای تعیین شکل های شیمیایی کادمیم در خاک

| نسبت خاک (گرم) به عصاره گیر (میلی لیتر) | ترکیب عصاره گیر | مدت تکان دادن | شکل شیمیایی کادمیم |
|---|--|---------------|------------------------------|
| 5:20 | 1M Mg(NO ₃) ₂ | 2 ساعت | محلول+تبادلی |
| 5:20 | 1M NaOAc(pH=5 CH ₃ COOH) | 5 ساعت | کربناتی |
| 5:10 | 0.7M NaOCl (pH=8.5) | 0/5 ساعت | آلی |
| 5:50 | 0.1M NH ₂ OH.HCl (pH=2 HNO ₃) | 0/5 ساعت | متصل به اکسید منگنز |
| 5:50 | 0.25M NH ₂ OH.HCl + 0.25M HCl | 0/5 ساعت | متصل به اکسید های آهن بی شکل |
| 5:50 | 0.2M (NH ₄) ₂ C ₂ O ₄ + 0.2M H ₂ C ₂ O ₄ + 0.1 MC ₆ H ₈ O ₆ | 0/5 | متصل به اکسید های آهن متبلور |
| 5:50 | HCL+HCLO ₄ +HF | 4 ساعت | باقی مانده |

جدول 4- تجزیه واریانس اثر کادمیم، کودفسفات و شوری بر صفات اندازه گیری شده

| میانگین مربعات | | | | | | | | | | |
|-------------------------|------------|---|-----------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------------|------------------------|
| منبع تغییرات | درجه آزادی | غلظت کادمیم قابل جذب خاک عصاره گیری شده با DTPA | غلظت کادمیم دود توتون | غلظت کادمیم خاکستر بخش هوایی | غلظت کادمیم بخش محلول+تبادلی | غلظت کادمیم بخش کربناتی | غلظت کادمیم بخش آلی | غلظت کادمیم اکسید های منگنز | غلظت کادمیم اکسید های آهن بی شکل | غلظت کادمیم باقی مانده |
| کادمیم | 1 | **10/65 | *7499 | **421/56 | **12/27 | **496/78 | **31/67 | **1/80 | **0/92 | **53/23 |
| کود فسفات | 1 | **0/02 | *108/06 | **4/74 | **0/052 | N.S0/016 | N.S0/002 | N.S0/001 | *0/002 | *0/253 |
| شوری | 2 | **0/21 | *279/28 | **42/87 | **0/159 | N.S0/053 | **0/074 | N.S0/0004 | N.S0/0007 | N.S0/016 |
| کادمیم* کود فسفات | 1 | **0/01 | *54/91 | **3/11 | **0/041 | N.S0/003 | N.S0/00002 | N.S0/0007 | N.S0/00002 | N.S0/007 |
| کادمیم* شوری | 2 | **0/17 | *218/73 | **33/68 | **0/118 | N.S0/015 | **0/064 | **0/0015 | N.S0/001 | N.S0/025 |
| کود فسفات* شوری | 2 | *0/005 | *2/48 | **1/41 | N.S0/003 | N.S0/0002 | N.S0/0001 | N.S0/001 | N.S0/00006 | N.S0/003 |
| کادمیم* کود فسفات* شوری | 2 | N.S0/004 | N.S0/91 | **1/65 | N.S0/003 | N.S0/0006 | N.S0/0001 | N.S0/00004 | N.S0/00008 | N.S0/004 |
| خطا | 36 | 0/001 | 0/35 | 0/21 | 0/002 | 0/04 | 0/002 | 0/0002 | 0/0004 | 0/04 |

* و ** به ترتیب در سطح پنج و یک درصد آماری معنی دار است. N.S معنی دار نیست.

تحرك کادمیم خاک به مقدار 1/56 تا 76/2 درصد کاهش پیدا کرد. آنها همچنین نشان دادند که ترکیبات حاوی فسفر اثر مشابهی بر غیر متحرک کردن سرب و روی در خاک داشت. کود فسفاته و شوری اثر معکوسی بر افزایش غلظت کادمیم محلول+تبادلی خاک داشتند به نحوی که با افزایش شوری غلظت کادمیم محلول+تبادلی افزایش و با اعمال کود فسفاته کاهش نشان داد. میزان کاهش در اثر کاربرد کود فسفاته و افزایش بر اثر شوری آب آبیاری در خاک آلوده به مراتب بیشتر از خاک غیر آلوده به کادمیم بود. نتایج حاصل از عصاره‌گیری دنباله‌ای نشان داد که غلظت کادمیم بخش محلول+تبادلی و هم چنین غلظت کادمیم جذب سطحی شده ذرات با کاربرد کود حاوی فسفات و به ویژه کود سوپر فسفات تریپل، کاهش قابل توجهی نشان داد (تاورنچیسیت و همکاران، 2009)

غلظت کادمیم بخش کربناتی خاک

غلظت کادمیم بخش کربناتی خاک‌های آلوده شده به طور متوسط 16/82 برابر غلظت کادمیم کربناتی خاک غیر آلوده بود (جدول 5). بیشترین مقدار غلظت کادمیم بخش‌های مختلف خاک، در تیمار فاقد شوری و آلوده شده به کادمیم که کود فسفاتی اعمال شده بود، در بخش کربناتی خاک با مقدار 6/9 میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک مشاهده شد. با افزایش سطوح شوری آب آبیاری، غلظت کادمیم بخش کربناتی در هر دو خاک آلوده و غیر آلوده به کادمیم، نسبت به شاهد کاهش اندکی نشان داد که این کاهش به لحاظ آماری معنی‌دار نبود. یکی از دلایلی که می‌توان بیان کرد این است که شوری سبب کمپلکس شدن کادمیم موجود در روی سطوح قابل تبادل ذرات با آنیون کلر شده و آن را به شکل محلول به فاز محلول خاک می‌آورد ولی شوری اثر بسیار کمتری می‌تواند بر کادمیم رسوب شده در بخش‌های کربناتی یا باقی مانده داشته باشد و از دلایل آن می‌توان عنوان داشت که کادمیم این بخش پیوند قویتری نسبت به کادمیم قابل تبادل دارد و نمی‌تواند به راحتی با آنیون کلر کمپلکس تشکیل دهد. از دلایل دیگر که می‌توان عنوان داشت، پدیده تبادل کاتیونی می‌باشد که سبب تبادل کادمیم روی سطوح قابل تبادل با کاتیون موجود در آب شور می‌باشد. خانمیرزایی و همکاران (1391) بیان داشتند که فقط شکل محلول+تبادلی کادمیم خاک همبستگی معنی‌داری با شوری خاک نشان داد. با افزایش کود فسفاتی به خاک، غلظت کادمیم افزایش اندکی یافت که در هیچ کدام از سطوح شوری و آلودگی کادمیم خاک، این افزایش معنی‌دار نبود.

غلظت کادمیم در بخش‌های محلول+تبادلی، کربناتی، آلی، اکسیدهای منگنز، اکسیدهای آهن خاک بود (سینگ و همکاران، 1988).

داده‌های حاصل از آزمایش توسط نرم افزار SAS نسخه 9/4 آنالیز شد و نمودارها توسط برنامه Excel رسم شد. از آزمون توکی جهت مقایسه میانگین تیمارها در سطح پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

غلظت کادمیم بخش محلول+تبادلی خاک

با افزایش شوری آب آبیاری در هر دو خاک آلوده شده و غیرآلوده به کادمیم، غلظت این عنصر در بخش محلول+تبادلی نسبت به شاهد افزایش نشان داد (جدول 5). در پژوهشی مشخص شد، با افزایش شوری آب آبیاری تا 1600 میلی‌گرم بر لیتر NaCl، غلظت کادمیم محلول افزایش معنی‌داری پیدا کرد و 53 درصد از کادمیم موجود در محلول خاک با کلر پیوند تشکیل داد و غلظت کادمیم در محلول خاک با افزایش شوری آب آبیاری، افزایش یافت (عثمان و همکاران، 2005). از دلایل احتمالی این موضوع می‌توان به تبادل کاتیونی در نقاط جذب کادمیم، اثر افزایش قدرت یونی و پیوند قوی کادمیم با کلر را نام برد. هلال و همکاران (1999) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که خاک تیمار شده با نمک NaCl سبب افزایش معنی‌دار غلظت کادمیم در محلول خاک و جذب کادمیم بوسیله درخت سوبال (*Leucaena leucocephala*) شد.

با افزایش کود فسفاتی به خاک آلوده شده به کادمیم، غلظت کادمیم محلول+تبادلی در سطوح شوری 20 و 40 میلی مولار به ترتیب 14/65 و 12 درصد کاهش نشان داد و در خاک‌های غیر آلوده شده به کادمیم این کاهش به لحاظ آماری در سطح 5 درصد آزمون توکی معنی‌دار نبود (جدول 5). یکی از دلایل کاهش کادمیم بخش محلول+تبادلی خاک در نتیجه افزایش کود سوپر فسفات تریپل، را می‌توان به رسوب کادمیم به شکل‌های فسفاتی در بخش‌های کربناتی و باقی مانده خاک نسبت داد که مقدار آن با توجه به تیمارهای مختلف متفاوت بود (جدول 5). تاورنچیسیت و همکاران (2009) بیان داشتند که پس از گذشت 60 روز از کاربرد سوپر فسفات تریپل به خاک، غلظت کادمیم در زه آب خروجی خاک کاهش معنی‌داری نشان داد (از مقدار 306 میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار کنترل به مقدار 12 میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار سوپر فسفات تریپل). سشادری و همکاران (2017) بیان داشتند که کودهای حاوی فسفات توانست غلظت کادمیم در زه آب خروجی را به طور معنی‌داری کاهش دهد و

غلظت کادمیم بخش باقی مانده خاک

با افزایش سطوح کادمیم خاک، غلظت کادمیم در بخش باقی مانده در خاک‌های آلوده به کادمیم نسبت به خاک‌های غیرآلوده، افزایش معنی‌داری پیدا کرد و بیشترین غلظت کادمیم بخش باقی مانده در شوری 20 میلی مولار و حاوی کود فسفاتی با میانگین 2/49 میلی-گرم بر کیلوگرم مشاهده شد (جدول 5). با کاربرد کود فسفاتی در خاک، در هر دو خاک آلوده و غیرآلوده شده، غلظت کادمیم بخش باقی مانده افزایش نشان داد که این افزایش معنی‌دار نبود (جدول 5). واترلوت و همکاران (2017) بیان داشتند که با افزایش ترکیبات حاوی فسفات (دی آمونیوم فسفات و هیدروکسی آپاتیت)، به خاک‌های آلوده به کادمیم، مقدار کادمیم بخش باقی مانده و کربناتی خاک افزایش یافت در حالی که غلظت کادمیم قابل تبادل و بخش محلول، کاهش یافت. رجایی و کریمیان (1386) بیان داشتند که در بافت لومی شنی مقدار بیشتری از کادمیم به کار رفته در مقایسه با بافت لومی رسی به شکل محلول+ تبدلی می‌باشد. آنها همچنین عنوان داشتند که بیشترین ظرفیت نگهداری کادمیم مربوط به بخش کربناتی بود و در اکثر تیمارها پس از افزودن کادمیم به خاک بیش از 80 درصد این فلز به شکل کربناتی و آلی رسوب نمود. رنلا و همکاران (2004) بیان کردند که در غلظت‌های بالاتر از 10 میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک، غلظت کادمیم در بخش باقی مانده به سرعت افزایش یافت. در تحقیقی که توسط پیتر (1999) به منظور گیاه پالایی توسط کلات کننده‌ها صورت گرفت به این نتیجه رسید که بیشتر فلزات سنگین موجود در خاک‌های آلوده به شکلی است که با اسید قابل شستشو می‌باشد (قابل تبادل+ شکل کربناتی+ شکل اکسیدی) اما فلزاتی نظیر کادمیم، منگنز و آهن به شکلی است که کمتر توسط اسید شستشو داده می‌شود.

غلظت کادمیم قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک

با افزایش سطوح شوری آب آبیاری از صفر به 20 و 40 میلی مولار NaCl، غلظت کادمیم قابل جذب گیاه که توسط DTPA عصاره‌گیری شده بود، در خاک‌های آلوده شده به کادمیم که کود فسفاته دریافت کرده بودند به ترتیب 19/73 و 59/21 درصد و در خاک‌های آلوده به کادمیم که کود فسفاته دریافت نکرده بودند به ترتیب، 33/75 و 55 درصد نسبت به شاهد (شوری صفر) افزایش معنی‌داری نشان داد. در خاک‌های غیر آلوده به کادمیم با افزایش شوری، این افزایش غلظت کادمیم قابل عصاره‌گیری با DTPA معنی‌دار نبود

نتایج یافته‌ها منطبق بر پژوهش‌های قبلی می‌باشد. رنلا و همکاران (2004) بیان داشتند که علت اصلی عدم تحرک کادمیم در خاک‌های آهکی، رسوب کادمیم در بخش کربناتی خاک بود. صفری سینجانی و جعفری منصف (2016) بیان داشتند که در خاک‌های مناطق نیمه خشک با درصد ماده آلی و رس کم و pH و درصد کربنات کلسیم بالا، قابلیت جذب کادمیم کاهش پیدا کرد و کادمیم بیشتر به بخش‌هایی با قابلیت جذب کمتر (کربناتی و باقی مانده) منتقل شد.

غلظت کادمیم بخش آلی خاک

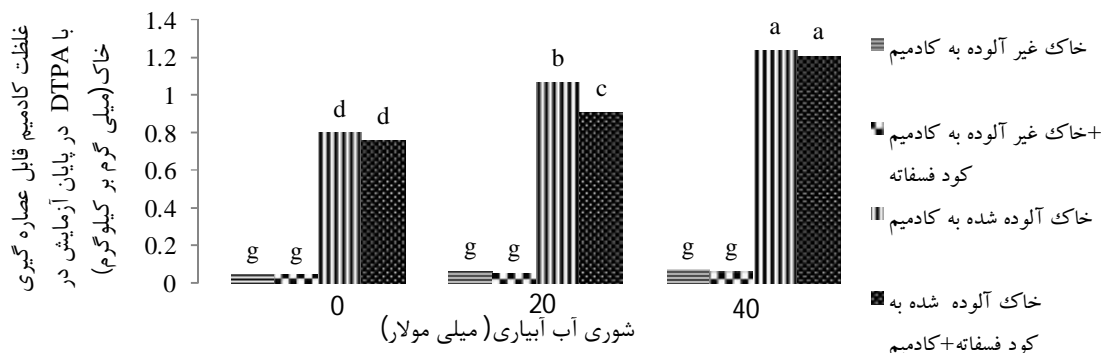
با افزایش شوری خاک، غلظت کادمیم در بخش آلی کاهش نشان داد و در خاک‌های آلوده شده به کادمیم، با افزایش شوری آب آبیاری از 0 به 20 میلی مولار کاهش معنی‌دار در کادمیم بخش آلی خاک مشاهده شد (جدول 5). یکی از دلایل این موضوع را می‌توان به رشد و توسعه کمتر ریشه گیاه توتون در خاک شور نسبت به خاک فاقد محدودیت شوری نسبت داد. ریشه گیاه می‌تواند با تولید ترکیبات آلی در محیط اطرف ریشه سبب افزایش ماده آلی خاک و افزایش سهم کادمیم بخش آلی خاک شود. با افزایش سطوح آلودگی کادمیم خاک، افزایش معنی‌داری در سطح 5 درصد در کادمیم بخش آلی خاک مشاهده شد. رجایی و کریمیان (1386) بیان داشتند که با افزایش سطوح کادمیم خاک، کادمیم شکل آلی خاک افزایش معنی‌داری نشان داد.

غلظت کادمیم اکسیدهای آهن بی شکل و اکسیدهای منگنز خاک

با افزایش سطوح شوری آب آبیاری، در هیچ کدام از خاک‌های آلوده و غیر آلوده به کادمیم، تفاوت معنی‌داری در غلظت کادمیم اکسیدهای آهن و اکسیدهای منگنز مشاهده نشد. خانمیرزایی و همکاران (1391) نشان دادند که هیچ همبستگی معنی‌داری بین شوری و کادمیم بخش اکسیدهای آهن و منگنز در خاک وجود ندارد.

با افزایش سطوح کادمیم خاک، تفاوت معنی-داری در غلظت کادمیم بخش اکسید منگنز و اکسید آهن مشاهده شد. رجایی و کریمیان (1386) نشان دادند که با افزایش سطوح کادمیم خاک از صفر به 15 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، غلظت کادمیم در بخش اکسیدهای آهن و اکسیدهای منگنز پس از گذشت 16 هفته از خواباندن نمونه‌ها، افزایش معنی‌داری نشان داد و این افزایش‌ها به ترتیب 130/7 و 337/5 درصد بود. در تمامی تیمارهای مورد اندازه‌گیری غلظت اکسیدهای آهن متبلور کمتر از حد تشخیص دستگاه بود و بنابر این گزارش نشد.

(شکل 1). محققان نشان دادند که کلرید سدیم باعث افزایش غلظت گونه‌های کادمیم محلول خاک شد.



شکل 1- اثر تیمارها بر غلظت کادمیم قابل عصاره گیری با DTPA در پایان آزمایش در خاک. حروف مشترک

غلظت کادمیم در خاکستر و دود توتون

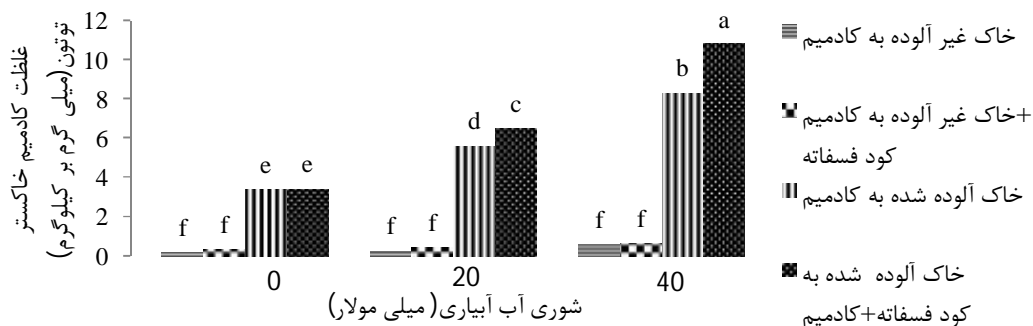
غلظت کادمیم در خاکستر توتون و دود حاصل از آن با افزایش شوری، افزایش یافت. در شوری صفر میلی مولار و در خاک‌های آلوده به کادمیم، تفاوت معنی‌داری در غلظت کادمیم خاکستر توتون بین خاکی که کود فسفاتی دریافت کرده و خاکی که دریافت نکرده بود، مشاهده نشد (شکل 2). بر همکنش دو عامل کود فسفاتی و شوری بر افزایش غلظت کادمیم در خاکستر و دود توتون بیشتر از اثر هر کدام از عوامل شوری و کود فسفاتی به تنهایی بود. در خاک‌های فاقد آلودگی کادمیم، تفاوت معنی‌داری در غلظت کادمیم موجود در خاکستر توتون در شوری‌های مختلف مشاهده نشد. تنها افزایش معنی‌دار در تیمارهای آلوده به کادمیم و در شوری‌های 20 و 40 میلی مولار که کود فسفاتی دریافت کرده بودند با تیمارهایی که دریافت نکرده بودند، مشاهده شد. کاربرد کود فسفاتی در خاک سبب افزایش غلظت کادمیم در بخش هوایی گیاه توتون و بالطبع سبب افزایش غلظت کادمیم خاکستر گیاه شد. بیشترین افزایش غلظت کادمیم خاکستر در نتیجه اعمال کود، در شوری 40 میلی مولار در خاک آلوده شده به کادمیم مشاهده شد و دلیل آن اثر فزاینده عامل شوری و کود فسفاتی بر غلظت کادمیم در بخش هوایی گیاه توتون و بالطبع بر خاکستر توتون بود. بیشترین مقدار غلظت کادمیم خاکستر توتون به مقدار 10/8 میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار خاک آلوده به کادمیم که کود فسفاتی دریافت نموده بود و در شوری 40 میلی مولار آب آبیاری مشاهده شد. همانطور که قبلاً بیان شد با افزایش شوری کادمیم قابل عصاره گیری با DTPA افزایش و بنابراین بایستی جذب توسط گیاه و غلظت آن در خاکستر توتون نیز افزایش نشان دهد

(خوش گفتار و همکاران، 1382). بسیاری از تحقیقات دیگر نیز نشان دادند که شوری حاصل از NaCl سبب افزایش قابلیت جذب کادمیم در خاک و جذب کادمیم توسط گیاهان مختلف شد (مک لاگالین و همکاران، 1994؛ وگلر بیتون و همکاران، 2004؛ عثمان و همکاران، 2005؛ لی و همکاران، 2012). محققان در پژوهش‌های خود به این نتیجه رسیدند که غلظت بالای یون کلر در خاک‌های شور موجب تشکیل ترکیبات پایدار $CdCl_2^0$ و $CdCl^+$ می‌شود که این ترکیبات می‌توانند واجدبندی¹ و تحرک کادمیم را در خاک افزایش دهند (عثمان و همکاران، 2005؛ نورول و همکاران، 2007). با کاربرد کود فسفاتی، غلظت کادمیم قابل جذب عصاره‌گیری شده با DTPA در پایان آزمایش کاهش نشان داد که این کاهش در خاک‌های آلوده شده به کادمیم در شوری صفر، 20 و 40 میلی مولار به ترتیب 5، 14/95 و 2/41 درصد بود. فقط در سطح 20 میلی‌مولار شوری آب آبیاری و در خاک آلوده به کادمیم این کاهش معنی‌دار بود و در سایر سطوح شوری، کاهش معنی‌دار نشد (شکل 1). کاهش کادمیم قابل جذب در پایان آزمایش در نتیجه اعمال کود فسفاتی را می‌توان به رسوب بیشتر کادمیم محلول خاک توسط فسفات موجود در کود سوپر فسفات تریپل نسبت داد. کانی‌های حاوی فسفر و روی (Zn) در خاک سبب رسوب کادمیم و کاهش جذب کادمیم می‌شود (کیخام، 2000). گیو و همکاران (2017) نشان دادند که کاربرد کودهای فسفاتی همراه با سایر کودها، سبب کاهش کادمیم قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک شد. در سطح 5 درصد آزمون توکی معنی‌دار نیست. هر عدد میانگین 4 تکرار می‌باشد.

¹ Desorption

جدول 5- اثر تیمارها بر غلظت کادمیم در بخش های مختلف خاک (حروف مشترک در سطح 5 درصد آزمون توکی معنی دار نیست. هر عدد میانگین 4 تکرار می باشد)

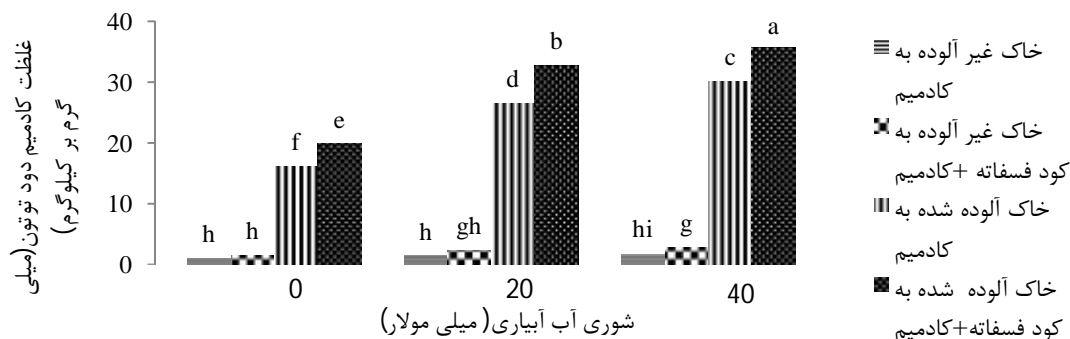
| شوری 40 | | شوری 20 | | | | شوری صفر | | ویژگی مورد اندازه گیری (میلی گرم بر کیلوگرم) | | | | |
|---------------------|----------|-------------------------|----------|-----------------------|----------|-------------------------|----------|---|-------|-------|-------|---------------------------|
| خاک آلوده به کادمیم | | خاک غیر آلوده به کادمیم | | خاک آلوده ه به کادمیم | | خاک غیر آلوده به کادمیم | | | | | | |
| فاقد کود | حاوی کود | فاقد کود | حاوی کود | فاقد کود | حاوی کود | فاقد کود | حاوی کود | | | | | |
| 1/17b | 1/33a | 0/07e | /07e | 0/99c | 1/16b | 0/06e | 0/06e | 0/85d | 0/91d | 0/04e | 0/05e | کادمیم بخش محلول+تبادلی |
| 6/79a | 6/74a | 0/4b | 0/37b | 6/84a | 6/8a | 0/41b | 0/39b | 6/98a | 6/9a | 0/44b | 0/43b | کادمیم بخش کربناتی |
| 1/65b | 1/62b | 0/09d | 0/08d | 1/65b | 1/64b | 0/10d | 0/09d | 1/88a | 1/87a | 0/11d | 0/09d | کادمیم بخش آلی |
| 0/54a | 0/52a | 0/16bc | 0/15cd | 0/55a | 0/53a | 0/16bc | 0/15cd | 0/54a | 0/54a | 0/13d | 0/13d | کادمیم بخش اکسیدهای منگنز |
| 0/43a | 0/4a | 0/14b | 0/13b | 0/42a | 0/41a | 0/15b | 0/13b | /39a | 0/4a | 0/13b | 0/11b | کادمیم بخش اکسید های آهن |
| 2/35ab | 2/16b | 0/24c | 0/14c | 2/49a | 2/27ab | 0/24c | 0/12c | 2/31ab | 2/2ab | 0/26c | 0/13c | کادمیم بخش باقی مانده |



شکل 2- اثر تیمارها بر غلظت کادمیم خاکستر توتون. حروف مشترک در سطح 5 درصد آزمون توکی معنی دار نیست. هر عدد میانگین 4 تکرار می‌باشد

مولار که کود فسفاتی دریافت کرده بود با مقدار 35/7 میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد و در خاک‌های غیر آلوده به کادمیم نیز با افزایش شوری غلظت کادمیم در دود توتون افزایش نشان داد که فقط در شوری 40 میلی‌مولار و حاوی کود فسفاتی با مقدار 30/23 میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به شاهد افزایش معنی داری نشان داد.

غلظت کادمیم در دود توتون از تفریق کادمیم موجود در خاکستر گیاه از غلظت موجود در وزن خشک هوایی گیاه بدست آمد. نتایج نشان داد که با افزایش سطوح شوری، غلظت کادمیم در دود توتون‌های پرورش یافته در خاک آلوده، افزایش یافت و بیشترین افزایش در خاک‌های آلوده به کادمیم بود. بیشترین غلظت کادمیم در دود توتون در خاک آلوده به کادمیم و در شوری 40 میلی



شکل 3- اثر تیمارها بر غلظت کادمیم دود توتون. حروف مشترک در سطح 5 درصد آزمون توکی معنی دار نیست. هر عدد میانگین 4 تکرار می‌باشد

گزارش نمودند. غلظت کادمیم در دود توتون در این آزمایش به مراتب بیشتر از غلظت کادمیم خاکستر بود و این خود بیانگر این است که بیشتر کادمیم جذب شده در گیاه توتون طی فرایند سوختن به فاز گازی تبدیل می‌شود و خطر جذب کادمیم از طریق استنشاق دود توتون را چندین برابر می‌کند.

نتیجه‌گیری

با افزایش شوری غلظت کادمیم خاکستر و دود توتون افزایش نشان داد که بیشترین مقدار غلظتی در شوری 40 میلی‌مولار مشاهده شد. بر همکنش کود

با افزایش سطوح شوری، غلظت کادمیم در دود توتون‌های پرورش یافته در خاک آلوده به کادمیم، افزایش معنی‌داری یافت در خاک‌های غیر آلوده به کادمیم نیز با افزایش شوری غلظت کادمیم در دود توتون افزایش نشان داد که این افزایش فقط در شوری 40 میلی‌مولار و حاوی کود فسفاتی نسبت به شاهد معنی‌داری بود. پیادی و همکاران (2015) حضور مشتقات کادمیم را به شکل‌های آلی- فلزی در دود توتون سیگار را بیان داشتند و آنها میانگین مقدار کادمیم سرب و آرسنیک را در 568 نمونه، به ترتیب 18/2، 12/5 و 3/5 نانو گرم به ازای هر سیگار

در شوری‌های بالا خطر افزایش غلظت آن را در دود توتون تشدید می‌کند. عامل شوری و کود سوپر فسفات تریپل روند معکوسی بر کادمیم بخش محلول+تبادلی و کادمیم قابل جذب عصاره‌گیری شده با DTPA خاک داشتند به طوری که با افزایش شوری، این غلظت‌ها افزایش و با افزایش کود سوپر فسفات تریپل، کاهش نشان داد.

فسفاتی با شوری آب آبیاری از اثر هر کدام از عوامل شوری و آب آبیاری به تنهایی بر افزایش غلظت کادمیم دود توتون و خاکستر آن بیشتر بود. غلظت کادمیم قابل عصاره‌گیری با DTPA با افزایش کود فسفاتی، کاهش و کادمیم بخش باقی مانده خاک افزایش نشان داد. نتایج نشان داد که بیشترین سهم غلظت کادمیم اضافه شده به خاک در بخش کربناتی و کمترین غلظت در بخش محلول+تبادلی مشاهده شد. کود دهی سوپر فسفات تریپل

فهرست منابع:

1. خانمیرزایی، ع.، بازرگان، ک.، معزی، ع. و شهبازی، ک. 1391. رابطه بین شکل‌های شیمیایی کادمیم خاک و غلظت آن در دانه گندم در برخی از خاک‌های استان خوزستان. مجله پژوهش‌های خاک (علوم آب و خاک). 26. شماره چهارم (الف)، 347-357.
2. خوش گفتار، ا.ح.، شریعتمداری، ح. و کریمیان، ن. 1382. اثرهای شوری آب آبیاری و کاربرد روی بر حلالیت کادمیم خاک و غلظت آن در گندم. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، 4: 53-59.
3. رجایی، م. و کریمیان، ن. 1386. اثر کادمیوم اضافه شده و زمان خواباندن بر شکل‌های شیمیایی کادمیم در دو گروه بافتی خاک. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال یازدهم شماره اول (الف)، 97-108.
4. صدرالزمانی، ک.، سرمد، ج.، زواره، م. و مشتاقی، م. 1393. اثر غلظت‌های مختلف کلر آب آبیاری بر عملکرد و شاخص-های رشد گیاه توتون. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد 3، شماره 9، 123-132.
5. Application Bulletin 314 e. Determination of total phosphate in phosphoric acid and phosphate fertilizers with 859 Titrotherm. Page1-4. Metrohem.
6. Ashraf, W. M. 2012. Levels of Heavy Metals in Popular Cigarette Brands and Exposure to These Metals via Smoking. The Scientific World Journal. Volume 2012, 1-5. doi:10.1100/2012/729430.
7. Bolan, N.S., Adriano, B.C. and Mani, P.A. 2003. Immobilization and Phytoavailability of Cadmium in variable charge soils. Plant and Soil. 251:178-198.
8. Caruso, R.V., O'Connor, R.J., Stephens, W.E., Cummings, K.M. and Fong, G.T. 2014. Toxic metal concentrations in cigarettes obtained from U.S. smokers in 2009: results from the International Tobacco Control (ITC) United States survey cohort, Int. J. Environ. Res. Publ. Health 11: 202-217.
9. Davis, R. D. 1984. Cadmium—a complex environmental problem. Part II. Cadmium in sledges used as fertilizer. Experientia 40; 117-126.
10. Gee, G. W. and Bauder, J. W. 1986. Particle size analysis, hydrometer method. P.404-408. In A. Klute et al.(eds) Methods of soil analysis, part1. 3rd Ed. Am. Soc. Agron. Madison. WI.
11. Guo, J., Leia, M., Yanga, J., Yanga, J., Wana, X., Chena, T., Zhoua, X. Gua, S. and Guo, G. 2017. Effect of fertilizers on the Cd uptake of two sedum species (Sedumspectabile Boreau and Sedum aizoon L.) as potential Cd accumulators. Ecological Engineering 106: 409-414.
12. Helal, H. M., Upenov, A. and Issa, G. J. 1999. Growth and uptake of Cd and Zn by Leucaena Leucocephala in reclaimed soil as affected by NaCl salinity. J. Plant Nutr. Soil Sci.162: 589-592.

13. Hu, Y., Vanhaecke, F., Moens, L., Dams, R., del Castillo, P., and Japenga, J. 1998. Determination of the aqua regia soluble content of rare earth elements in fertilizer, animal fodder phosphate and manure samples using inductively coupled plasma mass spectrometry. *Anal. Chim. Acta.* 373: 95-105.
14. Kirkham, M.B. 2000. EDTA-facilitated phytoremediation of soil with heavy metals from sewage sludge. *Int. J. Phytoremediat.* 2, 159–172.
15. Li, Q.S., Chen, X.J., Luo, X., Cui, Z.H., Shi, L., Wang, L.L. and Liu, Y.N. 2012. Phytoavailability of heavy metals in tidal flat soils after fresh water leaching. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 79:22–27.
16. Lindsay, W.L. and Norvell, W.A. 1987. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 421-428.
17. Liu, H., Wang, H., Ma, Y., Wang, H., and Shi Y. 2016. Role of transpiration and metabolism in translocation and accumulation of Cd in tobacco plants (*Nicotiana glauca*). *Chemosphere* 144:1960–1965.
18. Liu, Z., Ge, H., Li, C., Zhao, Z., Song, F. and Hu, S. 2015. Enhanced Phytoextraction of Heavy Metals from Contaminated Soil by Plant Co-Cropping Associated with PGPR. *Water Air Soil Pollut.* 226:29.
19. Marano, K.M., Naufal, Z.S., Kathman, S.J., Bodnar, J.A., Borgerding, M.F., Garner, C.D. and Wilson, C.L. 2012. Cadmium exposure and tobacco consumption: biomarkers and risk assessment. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 64: 243–252.
20. McLaughlin, M. J., Palmer, L. T., Tiller, K. G., Beech, T. A. and Smart, M. K. 1994. soil salinity causes elevated cadmium concentrations in field-grown potato tubers. *J. Environ. Qual.* 23: 1013–1018.
21. McLaughlin, M. J., Tiller, K. G., Naidu, R. and Stevens, D. P. 1996. Review: the behavior and environmental impact of contaminants in fertilizers. *Aust. J. Soil Res.* 34:1–54.
22. Nelson, R. E. 1982. Carbonate and gypsum. In: Page AL(ed) *Method of soil analysis. Part2*, 2nd ed. Agron Monogr.9. ASA and SSSA, Madison:181-197.
23. Norvell, W.A., Wu, J., Hopkins, D.G. and Welch, R.M. 2007. Association of cadmium in durum wheat grain with soil chloride and chelate-extractable soil cadmium. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:2162–2168.
24. Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S. and Dean, L. A. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA. Circ.939. U.S. Gov. Print office, Washington D.C.
25. Pappas, R.S. 2011. Toxic elements in tobacco and in cigarette smoke: inflammation and sensitization *Metalloids*.3:1181–1198.
26. Peters, R.W. 1999. Chelant extraction of heavy metals from contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials* 66,151–210.
27. Piade, J.J., Jaccard, G., Dolka, C., Belushkin, M. and Wajrock, S. 2015. Differences in cadmium transfer from tobacco to cigarette smoke, compared to arsenic or lead. *Toxicology Reports* 2:12–26.
28. Pinto, E., Cruz, M., Ramos, P., Santos, A. and Almeida, A. 2017. Metals transfer from tobacco to cigarette smoke: Evidences in smokers' lung tissue. *Journal of Hazardous Materials* 325: 31–35.
29. Renella, G., Adamo, P., Bianco, M. R., Landi, L., Violante, P. and Nannipieri, P. 2004. Availability and speciation of cadmium added to a calcareous soil under various managements. *European Journal of Soil Science*, 55, 123–133.
30. Rhoades, J. D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. P.417-436. in D. L. Sparks et al. (ed.) *Method of soil analysis. PartIII*. 3rd Ed. Am. Soc. Agron., Medison. WI.

31. Roberts, T.L. 2014. Cadmium and Phosphorous Fertilizers: The Issues and the Science. *Procedia Engineering* 83:52 – 59.
32. Safari Sinegani, A.A. and Jafari Monsef, M. 2016. Chemical speciation and bioavailability of cadmium in the temperate and semiarid soils treated with wheat residue. *Environ Sci Pollut Res* 23:9750–9758.
33. Sato, J. H., Célio de Figueiredo, C., Marchão, R. L., Madari, B. E., Benedito, L. E. C., Busato, J. G. and Mendes de Souza, D. 2014. Methods of soil organic carbon determination in Brazilian savannah soils. *Sci. Agric.* v.71, (4)302-308.
34. Seshadri, B., Bolan, N.S., Choppala, G., Kunhikrishnan, A., Sanderson, P., Wang, H., Currie, L.D., Tsang, D. C.W., Ok, Y.S. and Kim, G. 2017. Potential value of phosphate compounds in enhancing immobilization and reducing bioavailability of mixed heavy metal contaminants in shooting range soil. *Chemosphere* 184:197-206.
35. Singh, J. P., Karwasra, S. P. S., and Singh, M. 1988. Distribution and forms of copper, iron, manganese and zinc in calcareous soils of India. *Soil Sci.* 146(5):359-366.
36. Sumner, M. E. and Miller, W. P. 1996. Cation exchange capacity and exchangeable coefficients. P.1201-1229. In D. Ed. Am. Soc. Agron., Medison, WI.
37. Suwa, R., Nguyen, N. T., Saneoka, H., Moghaib, R., Fujita, K. 2006. Effect of salinity stress on photosynthesis and vegetative sink in tobacco plants. *Soil Science and Plant Nutrition.* 52, 243–250.
38. Thawornchaisit, U. and Polprasert, C. 2009. Evaluation of phosphate fertilizers for the stabilization of cadmium in highly contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials* 165:1109–1113.
39. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil activity. P. 475-490. In D.L. Sparks et al. (ed.) *Method of soil analysis. PartIII.* 3rd Ed. Am. Soc. Agron. Medison WI.
40. United Nations Environment Program Chemicals Branch, DTIE. 2010. Final review of scientific information on cadmium –Version of December 2010.
41. Usman, A.R.A., Kuzyakov, Y. and Stahr, K. 2005. Effect of immobilizing substances and salinity on heavy metals availability to wheat grown on sewage sludge contaminated soil. *Soil Sediment Contam.* 14: 329–344.
42. Waterlot, C., Pruvot, C., Marot, F., and Douay, F. 2017. Impact of a Phosphate Amendment on the Environmental Availability and Phytoavailability of Cd and Pb in Moderately and Highly Carbonated Kitchen Garden Soils. *Pedosphere* 27(3): 588–605.
43. Weggler-Beaton, K., McLaughlin, M.J. and Graham, R.D. 2004. Effect of Chloride in soil solution on the plant availability of biosolid-borne Cadmium. *J. Environ. Qual.* 33: 496–504.
44. Welch, R. M. and Norvell W. A. 1999. Mechanisms of cadmium uptake, translocation and deposition in plants. In “Cadmium in Soils and Plants” (M. J. McLaughlin and B. R. Singh, Eds.), pp. 125–150. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
45. World Health Organization (WHO). 2010. Exposure to Cadmium: A Major Public Health Concern. World Health Organization <http://www.who.int/ipcs/features/cadmium.pdf>.

Effect of Salinity Stress, Phosphate Fertilizer, and Cadmium Contamination on Cadmium Fractions in Tobacco Cultivated Soil

A. Moslehi, M. Feizian¹, and H. R. Eisvand

PhD of Soil Science, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran.

E-mail: moslehi2012@gmail.com

Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran.

E-mail: feizian.m@lu.ac.ir

Associate Professor, Lorestan University, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran. E-mail: eisvand.hr@lu.ac.ir

Received: August, 2018 and Accepted: December, 2018

Abstract

Absorbed cadmium (Cd) in the body is the source of many known cancers. The absorption of Cd through tobacco smoke inhalation is much greater than drinking and eating Cd contaminated food. This research was carried out to investigate the effect of irrigation salinity, TSP, and Cd contamination on the concentration of Cd in the ash, tobacco smoke, and the fate of Cd in the different soil fractions. The experiment was done with three factors of irrigation salinity (0, 20, and 40 mM NaCl), TSP (0 and 1.5 g. kg⁻¹ soil), and contamination of Cd added to the soil (0 and 12 mg.kg⁻¹ soil) by factorial arrangement in a completely randomized design with four replications. The results showed that the highest concentration of Cd in the Cd contaminated soil was observed in carbonate fraction with a total average of 6.84 mg.kg⁻¹, and the lowest Cd concentration was observed in the iron oxide fraction with a total average of 0.4 mg.kg⁻¹. Application of TSP in the Cd contaminated soil in salinity of 0, 20, and 40 mM increased the concentration of Cd in tobacco ash by 1.47%, 15.98%, and 29.87 percent, and the concentration of Cd in smoke increased by 23.20%, 23.30%, and 18%, respectively, compared to the control treatment. By increasing the salinity levels in Cd contaminated soils, Cd concentration of solution+exchangeable fraction in 20 and 40 Mm salinity, was increased with an average of 22.15% and 42 percent, respectively. This increase was significant at 5% level. Application of TSP in Cd contaminated soils and at levels of 20 and 40 mM salinity resulted in a decrease of 14.65% and 12% in solution + exchange Cd concentration compared to the control. The interaction of irrigation salinity with phosphate fertilizer had a synergistic effect on the concentration of Cd in ash and tobacco smoke.

Keywords: Sequential extraction, Soluble+exchangeable Cd, Cd in tobacco smoke, Triple superphosphate

¹ Corresponding author: Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran.