Archiv

نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد دوازدهم، شماره دوم، تابستان ۹۸
۸۹-۱۰۶
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejcp.2019.15233.2136

اثر کود فسفاته در شرایط تنش شوری بر سرنوشت کادمیم در گیاه و خصوصیات کیفی توتون

امیر مصلحی[۱]، محمد فیضیان[۲]*، حمیدرضا عیسوند[۳]

[۱]دکترای علوم خاک، گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان.
[۲]دانشیار، گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان
[۳]دانشیار، گروه مهندسی زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۳/۲۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۱۱

چکیده

سابقه و هدف: استفاده از کودهای فسفاته در زراعت توتون یک اقدام مهم جهت افزایش عملکرد گیاه به شمار می‌رود. از آنجا که کود سوپر فسفات تریپل حاوی مقدار کمی کادمیم است و فسفر موجود در کود و شوری آب و خاک بر تحرک وجذب این عنصر اثر گذار است، لذا تبیین دقیق مقدار جذب کادمیم توسط گیاه توتون در اثر کاربرد کود سوپر فسفات تریپل و شرایط مختلف تنش شوری آب آبیاری بر سرنوشت کادمیم جذب شده و دود استحصالی از آن از اهمیت بالایی برخوردار است. مقاومت توتون به شوری کلرید سدیم کمتر از ۵۰ میلی‌مولار بود و شوری ۵۰ میلی‌مولار و بیشتر از آن سبب کاهش فتوسنتز و عملکرد گیاه توتون شد (۴۸).

مواد و روش‌ها: این تحقیق با هدف بررسی برهمکنش سه عامل کود سوپر فسفات تریپل، شوری آب آبیاری و آلودگی کادمیم خاک بر وضعیت کادمیم گیاه و خصوصیات کیفی توتون در سال ۱۳۹۵ به‌صورت گلخانه‌ای در شهرستان بردسکن انجام شد. شوری آب آبیاری در سه سطح صفر، ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار NaCl، کود سوپر فسفات تریپل در دو سطح صفر و ۱/۵ گرم بر کیلوگرم خاک و آلودگی کادمیم اضافه شده به خاک، با دو سطح صفر و ۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی انجام شد. تجزیه داده‌ها توسط نرم افزار آماری SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که مصرف کود سوپر فسفات تریپل در خاک آلوده به کادمیم در شوری صفر، ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار، سبب افزایش غلظت کادمیم بخش هوایی گیاه توتون به ترتیب به مقدار ۳/۴۳، ۴/۹۴ و ۴/۳۳ برابر غلظت کادمیم ریشه شد و با افزایش شوری غلظت کادمیم در هر دو بخش ریشه و هوایی گیاه افزایش نشان داد. با افزایش شوری از صفر به ۲۰ میلی‌مولار، غلظت کادمیم در دود توتون‌های رشد کرده در خاک آلوده به کادمیم نسبت به شوری صفر، ۶۵ درصد افزایش نشان داد و با افزایش شوری از صفر به ۴۰ میلی‌مولار، افزایش غلظت کادمیم در دود توتون به ۸۳/۲ درصد رسید. کاربرد کود سوپر فسفات تریپل در تمام سطوح شوری، اثر افزایشی بروزن خشک هوایی و ریشه، غلظت و مقدار کادمیم ریشه و بخش هوایی گیاه داشت.

نتیجه‌گیری: در شوری ۴۰ میلی‌مولار آب آبیاری استفاده از کود سوپر فسفات تریپل سبب بیشترین غلظت کادمیم اندام‌های هوایی گیاه توتون نسبت به شاهد شد و اثر توام دو عامل شوری و کود بیشتر از اثر هرکدام به صورت جداگانه بود. در هر سه سطح شوری آب آبیاری، فاکتور گیاه پالایی، فاکتور انتقال و فاکتور اندوختگی در حضور کود سوپر فسفات تریپل افزایش یافت.

*نویسنده مسئول: feizian.m@lu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

بیشترین مقدار فاکتور گیاه پالایی با مقدار ۱/۷۱ در تیمار فاقد آلودگی کادمیم حاوی کود فسفاته و در شوری ۲۰ میلی‌مولار آب آبیاری مشاهده شد. با افزایش سطوح شوری، فاکتور اندوختگی روند افزایشی نشان داد ولی فاکتور گیاه پالایی تا شوری ۲۰ میلی‌مولار افزایش و پس از آن روند کاهشی نشان داد. با افزایش شوری آب آبیاری از صفر به ۲۰ میلی‌مولار NaCl، مقدار کادمیم بخش هوایی گیاهان رشد کرده در خاک آلوده به کادمیم، ۳۳/۷ درصد افزایش پیدا کرد ولی این مقدار افزایش برای شوری ۴۰ میلی‌مولار برابر با ۲۶/۳۱ درصد بود. با افزایش شوری کلرید سدیم آب آبیاری تا ۲۰ میلی‌مولار، مقدار کادمیم بخش هوایی گیاه توتون افزایش نشان داد. کاربرد کود سوپر فسفات تریپل در شوری‌های بالای آب آبیاری و خاک‌های آلوده به کادمیم، سبب جذب بیشتر کادمیم توسط گیاه توتون شد که در این شرایط آب و خاک، بایستی کوددهی محدود گردد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، فاکتور گیاه پالایی، کلرید سدیم، کود سوپر فسفات تریپل

مقدمه

عنصر کادمیم از طریق غذا و آب آلوده به کادمیم و هم چنین از راه تنفسی جذب بدن می‌شود. کادمیم موجود در غذا و آب آشامیدنی جذب اندام‌های گوارشی شده و کادمیم موجود در ذرات معلق هوا و دود سیگار جذب اندام‌های تنفسی می‌گردد (۴۵). مقدار کادمیم در سنگ‌های رسوبی بین ۰/۳ تا ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، در اتمسفر مناطق روستایی ۵ و در محیط‌های شهری ۵-۱۵ نانوگرم بر متر مکعب بود (۵۴). در تحقیقات متعددی که توسط گروهی از محققان انجام شد به این نتیجه رسیدند که عنصر کادمیم اثر بسیار سوئی بر اندام‌های بدن گذاشت و در بین اندام‌ها، کلیه‌ها و استخوان‌ها مهمترین اندام‌های تحت تاثیر کادمیم بودند (۴، ۱۶، ۴۲ و ۴۹). فلزات سنگین زیادی از جمله کادمیم، سرب، آرسنیک، نیکل، کروم، سلنیم و جیوه در دود توتون و مشتقات آن گزارش شده است (۶ و ۳۵).

شوری آب آبیاری بر رفتار کادمیم در خاک و جذب آن توسط گیاه تاثیرگذار است (۲۰ و ۵۱). کلرید سدیم سبب تنش رشد و اختلال جذب عناصر غذایی در گیاه گندم شد (۳۰ و ۶۲). شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم سبب اختلال در فتوسنتز گیاه و کاهش رشد ساقه و برگ گیاه توتون شد (۴۸). 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 می‌تواند واجذبی[1] و تحرک کادمیم را در خاک افزایش دهند(۳۳و۵۱). پریس و همکاران (۲۰۰۷) بیان نمودند که قابلیت جذب کادمیم برای گیاه توسط شکل‌های شیمیایی کادمیم، خواص خاک و ویژگی‌های ژنتیکی گیاهان کاهو و آرتیشو (*Cynara scolymus* L.) کنترل می‌شود (۳۶). شوری حاصل از NaCl سبب افزایش غلظت کادمیم در بخش ریشه و هوایی سیب‌زمینی و گندم رشد کرده در محیط خاکی شد (۲۷، ۵۳ و ۲۹). شوری ۱۰ میلی‌مولار کلرید سدیم آب آبیاری، اثر معنی‌داری بر کاهش عملکرد گیاه توتون نداشت (۴۴). شوری ۸/۵ دسی زیمنس بر متر و بالاتر سبب کاهش معنی‌دار سطح برگ و وزن خشک برگ‌های توتون مقاوم به شوری شد (۲). شوری حاصل از نمک NaCl در محیط هیدروپونیک، سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های اکسیداتیو و تشکیل گونه‌های اکسیژن فعال در گیاه توتون شد که منجر به کاهش غلظت و سمیت کادمیم در گیاه توتون شد (۶۰). کلرید سدیم در محلول غذایی و در شرایط هیدروپونیک سبب کاهش تجمع اکسید نیتریک در ریشه گیاه شد که این موضوع سبب کاهش غلظت کادمیم در گیاه توتون شد(۵۸).

1. Desorption

www.SID.ir

Archive of SID

سنگ‌های فسفاتی که جهت ساخت کود فسفاته به کار می‌روند حاوی ۰/۲ تا ۳۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم می‌باشد (۲۶ و ۲۸). غلظت کادمیم در پهنک برگ گیاه توتون رشد کرده در خاک ورتی سول فاقد کود سوپر فسفات، ۰/۱ الی ۰/۳۴۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود و حال آنکه غلظت کادمیم در پهنک برگ گیاهان توتون در خاک دارای کود سوپرفسفات، مقدار۰/۳۹۲ الی ۰/۵۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. مانند همین آزمایش در خاک آلفی سول و با همان سطوح کود انجام گرفت و تفاوت معنی‌داری در برگ‌های توتون که کود سوپر فسفات به آنها اعمال شده بود با شاهد مشاهده نگردید که محققان علت تفاوت این دو آزمایش را به تفاوت نوع خاک‌ها نسبت دادند (۳۱). خاک‌ها از لحاظ pH، بافت خاک، مقدار آهک، مقدار رس، ماده آلی و ترکیبات شیمیایی موجود با یکدیگرمتفات می‌باشند. مهم‌ترین فاکتور بر حلالیت کادمیم در خاک pH خاک می‌باشد، به‌طوری‌که در pHهای پایین میزان بیشتری کادمیم درخاک قابل جذب گیاه است و از طرف دیگر فسفر و روی (Zn) سبب رسوب کادمیم و کاهش جذب کادمیم شد (۱۸).

گیاه توتون به عنوان یک گیاه نسبتا مقاوم به عنصر کادمیم بود (۵۹). لیو و همکاران (۲۰۱۶) بیان داشتند که گیاه توتون کادمیم را نسبت به سایر فلزات سنگین بهتر جذب می‌کند و گیاه توتون توانست غلظت کادمیم را در برگ‌هایش تا ۱۰ برابر غلظت کادمیم خاک افزایش دهد (۲۲). با توجه به جذب ۱۰ برابری کادمیم از طریق تنفس دود توتون نسبت به جذب از طریق سیستم گوارشی که قبلا ذکر شد و هم چنین نامشخص بودن اثر دقیق شوری بر غلظت و مقدار جذب کادمیم توسط گیاه توتون، هدف از انجام این تحقیق بررسی اثر کود فسفاته سوپر فسفات تریپل و شوری حاصل از نمک NaCl آب آبیاری، بر مقدار جذب کادمیم توسط گیاه توتون و سرنوشت کادمیم در گیاه و دود توتون و مقدار کادمیم قابل جذب در پایان دوره آزمایش در خاک است. همچنین برهمکنش فاکتورهای یاد شده بر وزن، ارتفاع و شاخص سطح برگ، فاکتور انتقال، فاکتور اندوختگی و فاکتور گیاه پالایی نیز از دیگر اهداف این پژوهش بود.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری خاک از عمق۳۰-۰ از مزرعه کشاورزی تحت آیش واقع در شهرستان بردسکن(خراسان رضوی) با اقلیم خشک و نیمه خشک و میانگین بارندگی۱۵۰ میلی‌متر به روش زیگزاگی انجام شد. خاک نمونه‌برداری شده دارای بافت لوم شنی، غیر شور، با درصد آهک متوسط، اسیدیته ۷/۴، دارای رژیم رطوبتی اریدیک و رژیم حرارتی ترمیک بود. به‌منظور همگن‌سازی نمونه‌ها، با یکدیگر مخلوط و از نمونه مرکب حاصله، پس از عبور از الک ۲ میلی‌متری جهت خواباندن[1] نمونه‌ها و سپس کاشت استفاده شد. قبل از کاشت، نمونه‌های خاک الک شده، به منظور اختلاط هر چه بهتر و جذب بیشتر کادمیم توسط ذرات خاک با سطوح مربوط به آلودگی کادمیم (۰ و ۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) از منبع $Cd(NO_3)_2.4H_2O$ از طریق مه پاشی بر تمام سطح خاک و زیر و رو کردن خاک کاملا آلوده شد. نمونه‌های خاک به ظروف نگهداری منتقل و به مدت ۴ ماه در فضای کنترل شده گلخانه در دامنه دمایی حدود۳۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد و ۷۰ درصد ظرفیت نگهداری آب خاک[2] با استفاده از روش توزین، خوابانیده شد. کشت تحت شرایط کنترل شده در محیط گلخانه واقع در شهرستان بردسکن و در

1. Incubation
2. Water Holding Capacity

www.SID.ir

Archive of SID

گلدان‌هایی با ارتفاع ۲۸ و اندازه دهانه ۶۵ ×۲۵ سانتی‌متر با ۱۰ کیلوگرم خاک انجام شد. قبل از کاشت، کودهای اولیه به منظور تامین عناصر نیتروژن به مقدار ۲/۲۸ گرم کود سولفات آمونیوم ($(NH_4)_2SO_4$) بر هر کیلوگرم خاک گلدان و کود پتاسیم به مقدار دو گرم بر هر کیلوگرم خاک گلدان از منبع نیترات پتاسیم (KNO_3) که فاقد آلودگی عنصر کادمیم و فسفر بودند، بر اساس مقدار نیاز گیاه به نیتروژن و پتاسیم و قبل از کاشت به گلدان‌ها اعمال شد. تعداد ۲ گیاهچه ۶۰ روزه توتون (*Nicotiana tabacum* L.) رقم کوکر ۳۴۷ به هر گلدان منتقل و کشت انجام گرفت. بلافاصله پس از انتقال گیاهچه‌ها به گلدان‌ها آبیاری با توجه به تیمار مدنظر، با آب فاقد شوری (آب مقطر)، شوری ۲۰ میلی‌مولار و شوری ۴۰ میلی‌مولار نمک کلرید سدیم تهیه و سپس به گلدان‌ها به‌مدت ۷۵ روز به‌صورت دستی اعمال شد و در تیمارهایی که با آب شور آبیاری می‌شدند، از همان ابتدا گیاهچه‌ها تحت تنش شوری قرار گرفت. با توجه به نیاز گیاه به مقدار آب، تا هفته چهارم مقدار ۴۰۰ میلی‌لیتر به ازای هر گلدان در هر دور آبیاری و پس از هفته چهارم تا پایان آزمایش مقدار ۸۰۰ میلی‌لیتر به ازای هر گلدان در هر دور آبیاری اعمال شد (۱۵). در تمام سطوح شوری مقدار آب مصرفی در هر دورآبیاری یکسان بود. دور آبیاری چهار روز بود و مبنای محاسبه آن نیز تامین ۸۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی تیمار شاهد با روش توزین بود.در پایان دوره آزمایش، پس از اندازه‌گیری ارتفاع بوته‌ها و تعداد و اندازه برگ‌ها، گیاهان از محل طوقه قطع و ریشه‌ها با روش الک مویین در آب، از خاک خارج شدند. در حین رشد گیاهان توتون، برگ‌های پایینی گیاهان قبل از تغییر رنگ و خشک شدن ابعاد برگ اندازه‌گیری شد و در محاسبه نهایی شاخص سطح برگ لحاظ گردید. این برگ‌ها پس از خشک شدن کامل، از گیاه جدا شده و در پایان آزمایش به وزن کل گیاه اضافه شد.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل سه فاکتوره در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار به‌صورت گلخانه‌ای در سال ۱۳۹۵ اجرا شد. فاکتورها شامل کادمیم اضافه شده به خاک (صفر و ۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)، کود سوپر فسفات تریپل (صفر و ۱/۵ گرم بر کیلوگرم خاک گلدان) و شوری آب آبیاری (صفر، ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار NaCl) بودند. این آزمایش به‌صورت گلدانی و در محیط گلخانه با چهار تکرار و به تعداد ۴۸ عدد گلدان انجام شد. زیر گلدانی به‌منظور جمع‌آوری زه آب خروجی از گلدان‌ها و برگرداندن مجدد این زه آب‌ها، به گلدان‌های مربوطه استفاده شد.

اندازه گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، گیاه و کود فسفاته: برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه مرکب خاک حاصله قبل از پر کردن گلدان‌ها، از جمله بافت خاک به روش هیدرومتری (۹)، واکنش خاک در گل اشباع به‌وسیله الکترود شیشه‌ای (۵۰)، قابلیت هدایت‌الکتریکی (EC) در عصاره گل اشباع خاک بوسیله دستگاه هدایت سنج الکتریکی(۳۹)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسیدکلریدریک (۳۲)، فسفر قابل استفاده خاک به روش اولسن (۳۴) کربن آلی به روش سوختن با دستگاه CHNS (EURO EA 3000) (۴۳)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش جانشینی کاتیون‌ها با استات سدیم (۴۶)، غلظت کادمیم قابل جذب خاک در پایان آزمایش توسط عصاره‌گیر DTPA (۲۱) 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 درهاون چینی، هضم اسیدی انجام و در

www.SID.ir

Archive of SID

عصاره به دست آمده کادمیم کل (۱۴) و فسفات کل (۳) اندازه‌گیری شد.

خاک مورد استفاده جهت آزمایش طبق جدول ۱ دارای بافت لوم شنی، با کربنات کلسیم معادل ۱۷/۵ درصد بود. کود سوپر فسفات تریپل مورد آزمایش با فرمول شیمیایی $Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$ شامل ۴۴ درصد فسفات و کادمیم کل آن به روش هضم اسیدی ۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (جدول ۲).

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 1. Some physical and chemical properties of studied soil

بافت texture	رس (درصد) Clay (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	شن (درصد) Sand (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($ds.m^{-1}$)	فسفر قابل دسترس (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available P ($mg.kg^{-1}$)	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	کادمیم کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Total Cd ($mg.kg^{-1}$)	ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی مول بار بر کیلوگرم خاک) CEC ($cmol^{+}.kg^{-1}$)	کربنات کلسیم معادل (٪) Calcium carbonate equivalent (%)
لوم شنی Sandy loam	18	10	72	7.4	2.3	3.9	0.35	0.95	8.1	17.5

جدول ۲- ویژگی‌های کود سوپر فسفات تریپل

Table 2. Properties of studied Triple Super phosphate fertilizer

کادمیم کل(میلی‌گرم بر کیلوگرم) Total Cd ($mg.kg^{-1}$)	اسیدیته pH	فسفات کل (درصد) Total phosphate (%)
12	2.3	44

پس از اتمام برداشت اندام‌های هوایی و ریشه گیاهان، پس از شستشو با آب مقطر هر بخش به صورت جداگانه هوا خشک و سپس در آون با دمای ۶۵ درجه تا رسیدن به وزن ثابت، خشک گردید و به منظور آماده‌سازی برای هضم اسیدی، به ذرات کوچکتر از ۰/۰۵ میلی‌متر آسیاب شد (۱۲). به‌منظور تهیه عصاره برای اندازه‌گیری کادمیم در بخش‌های ریشه، بخش‌هوایی و خاکستر گیاه از روش هضم مخلوط نیتریک اسید و پرکلریک اسید به نسبت حجمی ۳ به ۱ به همراه حرارت استفاده شد (۲۳). در هر یک از عصاره‌های بدست آمده مقدار کادمیم توسط دستگاه جذب اتمی (Shimadzu AA-670) تعیین شد. به‌منظور اندازه‌گیری غلظت کادمیم در دود حاصل از توتون، پس از سوختن کامل توتون در فضای باز (به‌منظور 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 تفریق غلظت کادمیم خاکستر گیاه از غلظت کادمیم بخش هوایی گیاه توتون بدست آمد (۳۸).

درصد انتقال کادمیم از طریق فرمول زیر محاسبه شد (۳۸).

$$T(\%) = \frac{C_{shoot} - C_{ash}}{C_{shoot}} \times 100$$

که در آن C_{shoot} و C_{ash} به‌ترتیب غلظت کادمیم در بخش هوایی و در خاکستر بخش هوایی گیاه و بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک توتون یا خاکستر توتون می‌باشد و T درصد انتقال است. درصد انتقال بیانگر این است که از ۱۰۰ درصد غلظت

www.SID.ir

Archive of SID

کادمیم موجود در وزن خشک هوایی گیاه توتون، چند درصد آن به فاز گازی انتقال یافته و به صورت دود توتون تبدیل شده است. شاخص سطح برگ گیاه از طریق فرمول زیر محاسبه شد:

شاخص سطح برگ= تعداد برگ× طول برگ× عرض برگ× ۰/۷۸۵

در این فرمول، شاخص سطح برگ بر حسب سانتی متر مربع به ازای هر گیاه بود. طول و عرض برگ بر حسب سانتی‌متر می‌باشد. شاخص‌هایی که جهت اندازه‌گیری توانایی گیاه برای پالایش کادمیم از خاک در این آزمایش بررسی شد شامل فاکتور انتقال[1]، فاکتور اندوختگی[2] و فاکتور گیاه پالایی[3] بود. فاکتور انتقال از تقسیم غلظت بخش هوایی گیاه بر بخش ریشه به‌دست می‌آید و نشانگر توانایی گیاه در جابجایی عناصر از ریشه به بخش هوایی گیاه است (۶۱).

$$TF = \frac{C_{shoot}}{C_{root}}$$

در این فرمول C_{shoot} و C_{root} به‌ترتیب غلظت کادمیم بخش هوایی و غلظت کادمیم ریشه گیاه و بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. فاکتور اندوختگی از تقسیم غلظت کادمیم در بخش هوایی گیاه بر غلظت کادمیم در خاک تعیین گردید (۲۴ و ۶۱).

$$EC = \frac{C_{shoot}}{C_{soil}}$$

در این فرمول C_{shoot} و C_{soil} به‌ترتیب غلظت کادمیم بخش هوایی و غلظت کادمیم ریشه گیاه و بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. فاکتور گیاه‌پالایی از تقسیم مقدار جذب شده در بخش هوایی گیاه به مقدار کل آن عنصر در خاک بدست می‌آید و به شرح زیر می‌باشد (۴۷).

$$RF(\%) = \frac{C_{shoot} \times W_{shoot}}{C_{soil} \times W_{soil}} \times 100$$

که در این فرمول C_{shoot} و C_{soil} به‌ترتیب غلظت کادمیم در بخش هوایی و خاک بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم هستند و W_{shoot} و W_{soil} به‌ترتیب وزن خشک هوایی گیاه و وزن خاک بر حسب گرم می‌باشند (۴۷ و۲۴). فاکتور گیاه پالایی مقدار عنصر جذب شده توسط بخش هوایی گیاه را نسبت به مقدار آن در خاک می‌سنجد در حالی که فاکتور اندوختگی و فاکتور انتقال صرفا نسبت غلظت‌ها را به هم بررسی می‌کند.

پارامترهای مورد اندازه‌گیری برای هرگلدان شامل غلظت و مقدار کادمیم در ریشه، بخش هوایی، غلظت کادمیم قابل جذب عصاره‌گیری شده با DTPA درخاک در انتهای دوره آزمایش، وزن خشک بخش هوایی و ریشه گیاه، شاخص سطح برگ، ارتفاع گیاه، فاکتور اندوختگی، فاکتور گیاه پالایی و فاکتور انتقال بود که نحوه اندازه‌گیری آنها شرح داده شد.

داده‌های حاصل از آزمایش توسط نرم افزار SAS نسخه ۹/۴ آنالیز شد و نمودارها توسط برنامه Excel رسم شد. از آزمون توکی جهت مقایسه میانگین‌های تیمارها در سطح احتمال خطای پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

غلظت کادمیم در ریشه و بخش‌های هوایی گیاه: با افزایش کادمیم، غلظت کادمیم ریشه و بخش هوایی گیاه در هر سه سطح شوری آب آبیاری افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۴). بیشترین غلظت کادمیم ریشه و بخش هوایی گیاه در خاک آلوده به کادمیم و در شوری ۴۰ میلی‌مولار آب آبیاری مشاهده شد. غلظت کادمیم در بخش هوایی بسیار بیشتر از ریشه بود به طوری که در شوری ۲۰ میلی‌مولار و خاک آلوده به کادمیم که کود فسفاته نیز دریافت کرده

1. Transport factor
2. Enrichment factor
3. Remediation factor

www.SID.ir

Archive of SID

بود، غلظت کادمیم بخش هوایی گیاه ۳۹/۲۹ و غلظت ریشه ۷/۹۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (جدول ۴). گیاه توتون قادر است مقدار زیادی کادمیم را در بخش هوایی خود به صورت طبیعی جذب نماید (۵۵). هم چنین تحقیقات نشان داد که بخش اعظم کادمیم جذب شده به بخش‌های هوایی گیاه توتون منتقل و بخش کمتری از کادمیم در ریشه باقی ماند (۵۶ و۲۲). با افزایش شوری آب آبیاری، کادمیم ریشه و بخش هوایی در خاک‌های آلوده به کادمیم افزایش معنی‌دار نشان داد ولی در خاک‌های غیر آلوده به کادمیم، غلظت کادمیم ریشه افزایش معنی‌داری پیدا نکرد و غلظت کادمیم بخش هوایی فقط در شوری ۴۰ میلی‌مولار افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول۴). با افزایش شوری، آنیون کلر سبب واجذبی بیشتر کادمیم از روی سطوح ذرات رس و ماده آلی شده و از جذب سطحی کادمیم توسط ذرات خاک می‌کاهد. همچنین گونه‌های تشکیل شده متحرک و محلول کادمیم-کلر به راحتی جذب گیاه می‌شوند(۵). فلیپوویک و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که شوری حاصل از NaCl، سبب افزایش کمپلکس‌های غیر آلی و پایدار کادمیم-کلر در محلول خاک شد که به دنبال آن جذب کادمیم توسط گیاه لوبیا افزایش یافت (۸). خوشگفتار و همکاران (۲۰۰۴) بیان داشتند که با افزایش شوری NaCl در خاک، غلظت گونه‌های محلول کادمیم در محلول خاک افزایش نشان داد (۱۷).

افزایش کود فسفاته به هر دو خاک آلوده و غیر آلوده به کادمیم، سبب افزایش غلظت کادمیم بخش‌های هوایی و ریشه توتون شد. با افزایش کود فسفاته به خاک آلوده به کادمیم، غلظت کادمیم بخش هوایی گیاه افزایش معنی‌داری نشان داد که مقدار آن برای شوری آب آبیاری ۴۰، ۲۰ و صفر میلی‌مولار نمک NaCl به‌ترتیب برابر با ۲۰/۶۴، ۲۲ و ۱۹/۴ درصد بود ولی در خاک غیرآلوده به کادمیم افزایش معنی‌دار فقط در شوری ۴۰ میلی‌مولار نمک مشاهده شد و در شوری ۲۰ و صفر میلی‌مولار این افزایش معنی‌دار نبود (جدول ۴). از دلایل این امر می‌توان به کم بودن غلظت کادمیم در خاک آلوده نشده به کادمبم را نام برد که سبب شد غلظت آن در بخش‌های هوایی گیاه در این خاک فقط در شوری ۴۰ میلی‌مولار معنی‌دار باشد. یکی دیگر از دلایلی که می‌توان ذکر کرد این است که با افزایش کود حاوی فسفات به خاک، حجم و وزن ریشه افزایش یافت که این خود باعث افزایش فعالیت ریشه و جذب کادمیم شد (۱۲). گرنت (۲۰۱۱) گزارش داد که افزایش کود فسفاته حاوی ۲۰-۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم به خاک سبب افزایش معنی‌دار تجمع و غلظت کادمیم در غلات شد(۱۱).

غلظت کادمیم قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک: کادمیمی که توسط عصاره‌گیر DTPA از خاک استخراج می‌شود مجموع کادمیم محلول در خاک و کادمیم قابل تبادل می‌باشد و یک شاخص بسیار خوبی برای اندازه‌گیری کادمیم قابل جذب گیاه از خاک است (۱۳ و ۷).

با افزایش سطوح شوری آب آبیاری از صفر به ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار NaCl، غلظت کادمیم قابل جذب عصاره‌گیری شده با DTPA در پایان آزمایش در خاک‌های آلوده به کادمیم نسبت به شاهد (شوری صفر) افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۴). یکی از دلایل این موضوع، حلالیت و قابلیت جذب بیشتر کادمیم در محلول خاک در نتیجه پیوند با آنیون کلر نمک NaCl می‌باشد. نتایج آزمایش با یافته‌های علمی پیشین تطابق دارد. عثمان و همکاران (۲۰۰۵) بیان کردند که با افزایش شوری آب آبیاری تا ۱۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر NaCl، غلظت گونه‌های مختلف کلرید کادمیم محلول در فاز محلول خاک افزایش یافت (۵۱).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر کادمیم، کودفسفاته و شوری بر صفات اندازه‌گیری شده.

Table 3. Analyze of variance of Cd, TSP (Triple Super Phosphate fertilizer) and salinity on measured criteria.

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares								
		غلظت کادمیم	غلظت	غلظت	غلظت کادمیم	غلظت کادمیم	وزن خشک	وزن خشک	فاکتور	فاکتور گیاه پالایی Remediation factor
		قابل جذب خاک عصاره گیری شده با DTPA DTPA available Cd in soil	کادمیم دود توتون Smoke Cd concentration	کادمیم خاکستر Ash Cd concentration	بخش هوایی Shoot Cd concentration	بخش ریشه Root Cd concentration	بخش هوایی Shoot dry matter	ریشه Root dry matter	اندوختگی Enrichment factor	
کادمیم(A) Cd	1	10.65**	7499**	421.56**	11476.57**	505.96**	1056**	35.60**	1.54**	0.01 ns
کود فسفاته(B) TSP	1	0.02**	108.06**	4.74**	158.08**	11.58**	456.82**	12.12**	3.08**	1.98**
شوری(C) Salinity	2	0.21**	279.28**	42.78**	523.94**	26.42**	2770.42**	103.72**	8.45**	0.31**
کادمیم * کود فسفاته (A*B)	1	0.01**	54.91**	3.11**	84.19**	1.63*	179.33**	7.41**	0.04 ns	0.2**
کادمیم*شوری(A*C)	2	0.17**	218.73**	33.68**	410.85**	15.55**	34.84**	1.85**	0.2**	0.03**
کود فسفاته*شوری(B*C)	2	0.005*	2.48**	1.41**	6.22**	0.42 ns	24.71**	0.17 ns	0.14**	0.02*
کادمیم*کود فسفاته*شوری(A*B*C)	2	0.004 ns	0.91 ns	1.65**	3.67**	0.24 ns	16.18**	1.65**	0.03 ns	0.01 ns
خطا Error	36	0.001	0.35	0.21	0.42	0.38	1.86	0.27	0.014	0.2

*و ** به ترتیب در سطح پنج و یک درصد آماری معنی دار است. ns معنی‌دار نیست.

* and **are Significant at the 5% and 1% probability level respectively. ns is no significant.

www.SID.ir

Archive of SID

با اعمال کود فسفاته، غلظت کادمیم قابل جذب عصاره‌گیری شده با DTPA که نشان‌دهنده غلظت کادمیم محلول وکادمیم قابل تبادل می‌باشد، در پایان دوره آزمایش کاهش یافت که این کاهش فقط در سطح ۲۰ میلی‌مولار شوری آب آبیاری و در خاک آلوده به کادمیم معنی‌دار بود و در سایر سطوح شوری معنی‌دار نشد (جدول۴). کاهش کادمیم قابل جذب در پایان آزمایش در نتیجه اعمال کود فسفاته را می‌توان به رسوب بیشتر کادمیم محلول خاک توسط فسفات موجود در کود سوپر فسفات تریپل نسبت داد. گیو و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که کاربرد کودهای فسفاته همراه با سایر کودها، سبب کاهش کادمیم قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک شد. آنها بیان کردند که این کاهش نسبت به شاهد در سطح ۵ درصد آماری توسط آزمون LSD معنی‌دار نبود(۱۲). واترلوت و همکاران (۲۰۱۷) بیان داشتند که با افزایش کودهای فسفاته (دی آمونیوم فسفات و هیدروکسی آپاتیت)، مقدار کادمیم قابل تبادل خاک کاهش و در عوض مقدار کادمیم در بخش کربناتی و باقی مانده[4] خاک افزایش نشان داد (۵۲).

با افزایش سطوح آلودگی کادمیم در خاک، مقدار کادمیم قابل جذب در هر سه سطح شوری آب آبیاری و در پایان آزمایش افزایش معنی‌داری نشان داد که این افزایش به لحاظ آماری در سطح ۵ درصد آزمون توکی نسبت به خاک غیر آلوده به کادمیم، معنی‌دار بود. با افزایش مقدار کل کادمیم در خاک، مقدار کادمیم قابل جذب نیز در خاک افزایش یافت. عثمان و همکاران (۲۰۰۵) بیان داشتند که پس از اعمال شوری کلرید سدیم در خاک، غلظت کل کادمیم در محلول خاک ۲/۸ برابر شد (۵۱).

غلظت کادمیم در خاکستر و دود توتون: نتایج نشان داد که روند غلظت کادمیم خاکستر بخش هوایی توتون مشابه روند غلظت کادمیم بخش‌هوایی توتون بود و با افزایش شوری، غلظت کادمیم خاکستر گیاه افزایش نشان داد. کاربرد کود فسفاته نیز سبب افزایش غلظت کادمیم خاکستر شد. اثر توام کود و شوری بیشتر از اثر جداگانه هر کدام بود. بیشترین افزایش غلظت کادمیم خاکستر در نتیجه اعمال کود، در شوری ۴۰ میلی‌مولار در خاک آلوده شده به کادمیم و با مقدار ۱۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد.

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 فقط در شوری ۴۰ میلی‌مولار و حاوی کود فسفاته نسبت به شاهد، افزایش معنی‌داری بود. یکی از دلایلی که برای این موضوع می‌توان عنوان نمود، برهمکنش دو عامل شوری و کود فسفاته در خاک غیر آلوده به کادمیم بود که با توجه به اینکه غلظت کادمیم در خاک غیرآلوده به کادمیم پایین بود، این اثر فقط در شوری ۴۰ میلی‌مولار بیشتر از سایر سطوح شوری بود و برهمکنش آن با کود فسفاته سبب معنی‌دار شدن آن در سطح ۵ درصد آماری شد. افزایش سطوح شوری، درصد انتقال کادمیم کاهش نشان داد به طوری که در شوری صفر میلی‌مولار، میانگین درصد انتقال کادمیم به بخش گازی ۸۴/۱۷ شوری ۲۰ میلی‌مولار ۸۳/۸۵ و در شوری ۴۰ میلی‌مولار برابر با ۷۷/۸۸ درصد بود (جدول ۴). نتایج آزمایش هم‌چنین نشان داد که درصد بسیار بالایی از کادمیم موجود در وزن خشک بخش هوایی توتون به فاز گازی (دود حاصل از توتون) تبدیل شد (۷۷/۸۸ تا ۸۴ /۱۷ درصد). پینتو و همکاران (۲۰۱۷) گزارش نمودند که در اثر سوختن توتون عناصر بسیاری از توتون به بخش گازی منتقل شد که بیشترین آنها تالیوم با درصد انتقال ۸۵–۹۲ و بعد از آن کادمیم با ۸۱–۹۰ درصد بود (۳۸). با توجه به درصد انتقال بالای کادمیم از فاز جامد به فاز گازی به‌ویژه در شوری‌های پایین، احتمال جذب کادمیم از طریق تنفس دود مستقیم و غیرمستقیم توتون در توتون‌های رشد کرده در خاک آلوده به کادمیم و فاقد محدودیت شوری، افزایش می‌یابد و هم چنین با توجه

4. Residual

www.SID.ir

Archive of SID

به آنچه قبلا ذکر شد حدود ۳۰ تا ۶۰ درصد کادمیم ورودی به مجرای تنفسی از طریق دود توتون، جذب شش‌ها می‌شود. دود توتون یک منبع مهم جذب کادمیم توسط بدن انسان‌هاست که روزانه در معرض آن قرار دارند (۴۰ و ۵۷). برگ‌های توتون به‌طور طبیعی می‌تواند مقادیر زیادی کادمیم از خاک و از طریق سیستم ریشه جذب کند. برآورد شده است که افراد سیگاری به ازای هر یک نخ سیگار در معرض جذب ۱/۷ میکروگرم کادمیم قرار می‌گیرند. در افراد غیر سیگاری جذب کادمیم عمدتا از طریق زنجیره غذایی و به‌طور میانگین در یک محیط غیر آلوده به کادمیم، مقدار ۱۰ تا ۲۵ میکروگرم بر هر روز می‌باشد (۴۰). پیادی و همکاران (۲۰۱۵) حضور مشتقات کادمیم را به شکل‌های آلی-فلزی در دود سیگار را بیان داشتند و آنها میانگین مقدار کادمیم سرب و آرسنیک را در ۵۶۸ نمونه، به‌ترتیب ۱۸/۲، ۱۲/۵ و ۳/۵ نانو گرم به ازای هر سیگار گزارش نمودند (۳۷).

اثر تیمارها بر وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه: با افزایش شوری آب آبیاری از مقدار وزن خشک هوایی و ریشه گیاهان کاسته شد که این امر در شوری ۴۰ میلی‌مولار NaCl بسیار مشهود بود به گونه‌ای که برگ‌ها نسبت به شاهد (فاقد شوری) کوچک مانده و در بعضی از برگ‌ها نشانه‌های سوختگی (نکروز) مشاهده گردید. با افزایش شوری از صفر به ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار، وزن خشک هوایی و ریشه کاهش معنی‌داری یافت. کاربرد کود فسفاته در شوری یکسان، در هر دو خاک آلوده و غیرآلوده به کادمیم سبب افزایش وزن خشک ریشه گیاهان شد که این افزایش فقط در خاک‌های غیرآلوده به کادمیم به لحاظ آماری معنی‌دار بود (جدول ۵). کاربرد کود فسفاته همچنین سبب افزایش وزن خشک هوایی گیاه در هر سه سطح شوری شد. افزایش سطوح آلودگی کادمیم خاک، منجر به کاهش اثر کود فسفاته بر افزایش وزن خشک هوایی و ریشه گیاه شد و هم‌چنین با افزایش سطوح آلودگی خاک در یک شوری یکسان، وزن خشک در هر دو بخش ریشه و هوایی گیاه نسبت به خاک غیر آلوده کاهش نشان داد (جدول ۵). در تحقیقاتی که به‌منظور اثر شوری بر گیاه گندم توسط مهلینگ و لائوچلی (۲۰۰۳) بر روی گیاه ذرت توسط آمر (۲۰۱۰) به انجام رسید، به این نتیجه رسیدند که شوری آب و خاک بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمی گیاه مانند سرعت تعرق و نفوذپذیری غشای پلاسمایی تاثیر می‌گذارد که این تاثیرات رابطه بسیار نزدیکی با جذب و انتقال فلزات سنگین در گیاه دارد (۲۹ و ۱). گرینوا و همکاران (۲۰۰۷) گزارش نمودند ۳۰۰ میکرومولار کلرید کادمیم، سبب بازدارندگی در فتوسنتز و تحرک چرخه آسکوربات-گلوتاتیون [5]در گیاهان توتون شد. آنها نشان دادند که آلودگی ۵۰۰ میکرومولار کلرید کادمیم، سبب آسیب‌های برگشت ناپذیر فتوسنتزی و تنش‌های اکسیداتیو [6]در گیاه شد. آنها هم چنین برهم خوردن تعادل آب در گیاه و نشانه‌های ظاهری سمیت کادمیم در گیاه توتون را به آلودگی کادمیم نسبت دادند (۱۰).

ارتفاع بوته: با افزایش سطوح شوری آب آبیاری از صفر به ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار، ارتفاع گیاه کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد. در شوری ۴۰ میلی‌مولار ارتفاع گیاه تقریبا به نصف شاهد (فاقد شوری) کاهش پیدا کرد. با افزایش کود فسفاته در هر سه سطح شوری آب آبیاری، ارتفاع گیاه در خاک غیر آلوده افزایش معنی‌داری نشان داد ولی در خاک آلوده به کادمیم این افزایش معنی‌دار نبود. از دلایل احتمالی آن می‌توان به اثر کادمیم بر کاهش رشد و ارتفاع گیاه توتون نام برد و دلایل اثر کادمیم بر رشد گیاه در قسمت‌های قبلی بیان شد. با افزایش آلودگی کادمیم در هر سه سطح شوری آب آبیاری، ارتفاع گیاه کاهش معنی‌داری یافت. ارتفاع گیاهان رشد کرده در خاک آلوده نسبت به خاک غیر آلوده کاهش معنی‌داری نشان داد (جدول ۵).

5. Ascorbate-glutathione cycle
6. Oxidative stress

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤- مقایسه میانگین‌های اثر شوری آب آبیاری، کود سوپر فسفات تریپل و آلودگی کادمیم خاک بر ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری.

Table 4. Effect of irrigation water salinity, TSP and soil Cd contamination on measured criteria.

ویژگی‌های مورد اندازه گیری Measured criteria	شوری صفر میلی مولار Salinity 0 Mm				شوری ۲۰ میلی مولار Salinity 20 mM				شوری٤٠ میلی مولار Salinity 40 mM			
	خاک بدون کادمیم Soil without Cd		خاک آلوده به کادمیم Soil contaminated with Cd		خاک بدون کادمیم Soil without Cd		خاک آلوده به کادمیم Soil contaminated with Cd		خاک بدون کادمیم Soil without Cd		خاک آلوده به کادمیم Soil contaminated with Cd	
	فاقد کود Without TSP	حاوی کود With TSP	فاقد کود Without TSP	حاوی کود With TSP	فاقد کود Without TSP	حاوی کود With TSP	فاقد کود Without TSP	حاوی کود With TSP	فاقد کود Without TSP	حاوی کود With TSP	فاقد کود Without TSP	حاوی کود With TSP
غلظت کادمیم ریشه (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Root Cd concentration ($mg.kg^{-1}$)	0.63 f	1.34 f	4.79 e	6.79 d	1.10 f	1.62 f	6.80 d	7.95 c	1.30 f	1.91 f	9.81 b	10.72 a
غلظت کادمیم بخش هوایی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Shoot Cd concentration ($mg.kg^{-1}$)	1.30 h	1.92 gh	19.50 e	23.29d	1.72 gh	2.98fg	32.20 c	39.29 b	2.40 g	3.47 f	38.55 b	46.51 a
غلظت کادمیم قابل جذب خاک عصاره‌گیری شده با DTPA (میلی‌گرم بر کیلوگرم) DTPA available Cd in soil ($mg.kg^{-1}$)	0.04 g	0.04 g	0.80 d	0.76 d	0.06 g	0.05 g	1.07 b	0.91 c	0.07 g	0.06 g	1.24 a	1.21 a
غلظت کادمیم خاکستر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Ash Cd concentration ($mg.kg^{-1}$)	0.19 f	0.31 f	3.38 e	3.43 e	0.26 f	0.45 f	5.60 d	6.49 c	0.59 f	0.64 f	8.32 b	10.80 a
غلظت کادمیم دود (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Smoke Cd concentration (mg)	1.11 h	1.61 h	16.12 f	19.86e	1.45 h	2.50gh	26.61 d	32.80 b	1.8 hi	2.83 g	30.23 c	35.70 a
درصد انتقال کادمیم (درصد) Cd transfer percentage(%)	85.17 a	83.64ab	82.61 ab	85.28a	84.6 a	84.75a	82.59 ab	83.48ab	74.86 e	81.46bc	78.42 cd	76.8 de

حروف مشترک در سطح ۵ درصد آزمون توکی معنی دار نیست. هر عدد میانگین ٤ تکرار می‌باشد. TSP=کود سوپر فسفات تریپل

The same letters are not significantly different at P = 0.05 (n = 4) according to the Tukey test. TSP= Triple Super Phosphate fertilizer

www.SID.ir

Archive of SID

شاخص‌های جذب کادمیم: با افزایش شوری آب آبیاری در خاک‌های آلوده به کادمیم، فاکتور گیاه پالایی در سطح ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد (فاقد شوری) نشان داد. نتایج آزمایش نشان داد که از مقایسه فاکتور گیاه پالایی در دو شوری ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار، فاکتور گیاه پالایی در شوری ۲۰ میلی‌مولار در همه تیمارها بیشتر از شوری ۴۰ میلی‌مولار بود (جدول ۵). یکی از دلایل این امر اثر بیشتر شوری ۴۰ میلی‌مولار بر کاهش وزن خشک هوایی گیاه و به تبع بر مقدار کادمیم بخش‌هوایی نسبت به شوری ۲۰ میلی‌مولار بود. از سوی دیگر کود فسفاته سبب افزایش معنی‌دار فاکتور گیاه پالایی در هر دو خاک آلوده و غیر آلوده شد و بیشترین این مقدار در شوری ۲۰ میلی‌مولار و در خاک غیر آلوده به کادمیم مشاهد شد.

با افزایش سطوح شوری، فاکتور اندوختگی نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد و در شوری ۴۰ میلی‌مولار آب آبیاری، غلظت کادمیم اندام هوایی نسبت به شوری ۲۰ میلی‌مولار، بیشتر بود. از دلایل علمی که می‌توان برای این امر ذکر کرد، افزایش حلالیت و قابلیت جذب کادمیم در خاک با افزایش سطوح شوری می‌باشد و همان گونه که قبلا ذکر شد، عمده آن مربوط به تشکیل کمپلکس‌های کادمیم-کلر و جذب آنها توسط ریشه و انتقال به بخش‌های هوایی گیاه می‌باشد. با افزایش سطوح آلودگی کادمیم در خاک، در شوری‌های ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار فاکتور اندوختگی افزایش معنی‌داری نشان داد به گونه‌ای که این فاکتور در خاک آلوده به کادمیم نسبت به غیر آلوده در هر دو سطح حاوی و فاقد کود فسفاته افزایش معنی‌داری نشان داد ولی در شوری صفر میلی‌مولار تفاوتی بین فاکتور اندوختگی خاک‌های غیرآلوده و آلوده مشاهده نشد (جدول ۵). با افزایش کود فسفاته، فاکتور اندوختگی، فاکتور گیاه پالایی و فاکتور انتقال نسبت به خاکی که کود فسفاته اعمال نشده بود در تمام سطوح شوری آب آبیاری، افزایش نشان داد. لیو و همکاران (۲۰۱۶) گزارش نمودند که گیاه توتون توانست مقدار زیادی کادمیم از خاک به بخش هوایی منتقل کند و آنها گیاه توتون را به عنوان یک گیاه بیش اندورز[7] عنصر کادمیم عنوان کردند. آنها هم چنین به این نتیجه رسیدند که با افزایش سطوح آلودگی کادمیم در خاک تا ۳/۲۱ میلی‌گرم کادمیم در خاک، فاکتور اندوختگی و فاکتور انتقال افزایش و در غلظت‌های بیشتر از ۳/۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم، فاکتورهای یادشده کاهش نشان داد (۲۲). فاکتور انتقال گیاه در خاک‌های آلوده به کادمیم در شوری ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار افزایش و در شوری صفر میلی‌مولار کاهش نشان داد. در خاک‌های غیر آلوده به کادمیم با تغییرات شوری آب آبیاری، هیچ گونه تفاوت معنی‌داری حاصل نشد (جدول ۵). نتایج آزمایش با یافته‌های روزن و همکاران (۲۰۱۲) منطبق می‌باشد. آنها بیان داشتند که غلظت کادمیم رادیو اکتیو (^{109}Cd) و کادمیم پایدار[8] در بخش هوایی گیاه توتون بیشتر از دو برابر غلظت کادمیم در خاک و سه برابر غلظت کادمیم ریشه بود. آنها همچنین گزارش نمودند که بیشترین غلظت کادمیم در برگ‌های گیاه تنباکو در میانبرگ برگ‌های بالغ مشاهده شد (۴۱).

7. Hyper accumulator
8. Stable Cd

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های اثر شوری آب آبیاری، کود سوپر فسفات تریپل و آلودگی کادمیم خاک بر ویژگی‌های مورد اندازه گیری.

Table 5. Effect of irrigation water salinity, TSP and soil Cd contamination on measured criteria.

شوری ٤٠ میلی مولار Salinity 40 mM				شوری ۲۰ میلی مولار Salinity 20 mM				شوری صفر میلی مولار Salinity 0 mM				ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری Measured criteria
خاک آلوده به کادمیم Soil contaminated with Cd		خاک بدون کادمیم Soil without Cd		خاک آلوده به کادمیم Soil contaminated with Cd		خاک بدون کادمیم Soil without Cd		خاک آلوده به کادمیم Soil contaminated with Cd		خاک بدون کادمیم Soil without Cd		
حاوی کود With TSP	فاقد کود Without TSP	حاوی کود With TSP	فاقد کود Without TSP	حاوی کود With TSP	فاقد کود Without TSP	حاوی کود With TSP	فاقد کود Without TSP	حاوی کود With TSP	فاقد کود Without TSP	حاوی کود With TSP	فاقد کود Without TSP	
34.5 hi	30 i	39.9 g	34.6 h	47.1 f	44.9 f	62.2 c	53.8 e	58.4 cd	56.5 de	76.7 a	67.9 b	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) Plant height (cm)
41.75 i	39.95 i	50.54 g	43.84 h	52.54 f	50.24 g	65.08 c	56.83 e	65.60 c	62.79 d	84 a	68.86 b	وزن خشک بخش هوایی (گرم) Shoot dry matter (g)
10.94 f	10.23 f	12.15 e	10.89 f	13.57 d	12.92 d	16.29 b	14.48 c	14.67bc	15.37 b	18.27 a	15.96 b	وزن خشک ریشه (گرم) Root dry matter (g)
3.54 a	2.97 b	3.07 b	2.52 c	2.99 b	2.48 c	2.63 c	1.81 d	1.77 d	1.50 e	1.70 d	1.37 e	فاکتور اندوختگی Enrichment factor
4.34 bc	3.95 cd	1.82 e	1.84 e	4.94 a	4.76 ab	1.84 e	1.60 e	3.58 d	4.08 c	1.43 e	2.08 e	فاکتور انتقال Translocation factor
1.47 bc	1.18 de	1.54 b	1.11 ef	1.56 b	1.24 d	1.71 a	1.03 fg	1.16 de	0.94 g	1.43 c	0.94 g	فاکتور گیاه پالایی (درصد) Remediation factor (%)
0.177 a	0.10 b	0.023def	0.014ef	0.107 b	0.088bc	0.026de	0.016 ef	0.099 b	0.073 c	0.024de	0.010 f	مقدار کادمیم ریشه (میلی‌گرم بر هر گلدان) Cd root content ($mg.kg^{-1}$)

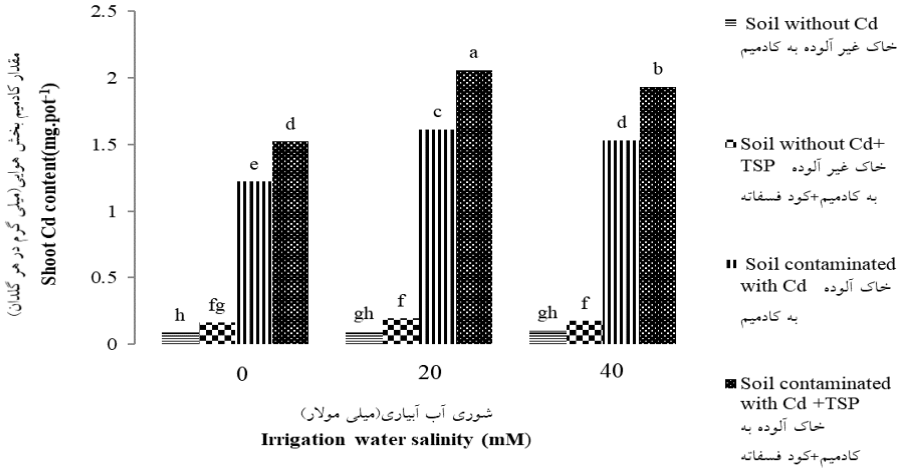
حروف مشترک در سطح ۵ درصد آزمون توکی معنی دار نیست. هر عدد میانگین ٤ تکرار می‌باشد. TSP=کود سوپر فسفات تریپل

The same letters are not significantly different at P = 0.05 (n = 4) according to the Tukey test. TSP= Triple Super Phosphate fertilizer

www.SID.ir

Archive of SID

مقدار کادمیم در بخش‌های هوایی و ریشه گیاه: با افزایش شوری، مقدار کادمیم بخش هوایی گیاه در خاک‌های آلوده به کادمیم افزایش معنی‌داری نشان داد ولی در خاک غیر آلوده این افزایش به لحاظ آماری معنی‌دار نبود. هم چنین در تیمارهایی از این خاک آلوده که کود فسفاته دریافت کرده بودند، نسبت به خاک‌های فاقد کود فسفاته، افزایش معنی‌داری در سطح ۵ درصد آزمون توکی مشاهده شد (شکل ۱). مقدار افزایش کادمیم در نتیجه کاربرد کود فسفاته درخاک‌های آلوده بسیار بیشتر از خاک‌های غیر آلوده بود و همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، تیمار خاک آلوده به کادمیم با شوری ۲۰ میلی‌مولار و حاوی کود فسفاته، با میانگین ۲/۰۵ میلی‌گرم بر هر گلدان، بیشترین مقدار کادمیم بخش هوایی را داشت. مقدار جذب کادمیم توسط توتون در اثر کاربرد کود سوپر فسفات تریپل در شوری ۲۰ میلی‌مولار بیشترین مقدار بود و با افزایش سطح آلودگی خاک، این مقدار نیز افزایش نشان داد. یکی از دلایلی که می‌توان برای این موضوع ذکر کرد این است که با افزایش کود سوپر فسفات تریپل، وزن ریشه افزایش یافته و به دنبال آن مقدار جذب توسط ریشه‌ها و مقدار کادمیم بخش‌هوایی افزایش یافت. پس از این تیمار، تیمار خاک آلوده به کادمیم با شوری ۴۰ میلی‌مولار و حاوی کود فسفاته با میانگین مقدار کادمیم هوایی ۱/۹۳۴ میلی‌گرم بر هرگلدان قرار داشت. گیوو همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که کوددهی NPK به خاک آلوده به کادمیم سبب افزایش جذب کادمیم توسط گیاه سدوم (*Sedum spectabile*) شد و هم‌چنین غلظت کادمیم در بخش هوایی گیاه ۴ برابر بخش ریشه گیاه بود. آنها هم چنین گزارش کردند که مقدار جذب کادمیم در بخش هوایی گیاه در هر دو گونه سدوم (*Sedum spectabile* و *Sedum aizoon* L.) به مراتب بیشتر از بخش ریشه بود (۱۲). مار و همکاران (۲۰۱۲) بیان داشتند که با افزایش ۲۴۰ کیلوگرم کود سوپر فسفات تریپل در هکتار به خاک‌های مختلف، غلظت کادمیم جذب شده در بخش هوایی گیاه کاهو از ۰/۱۴ تا ۱/۰۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک افزایش نشان داد. آنها هم چنین نشان دادند که افزایش این مقدار کود سوپر فسفات تریپل به خاک، اثر معنی‌داری بر غلظت کادمیم در خاک نداشت (۲۵). لفوره و همکاران (۲۰۰۹) بیان داشتند که شوری حاصل از نمک‌های کلریدی NaCl و KCl، سبب کاهش جذب کادمیم در بخش هوایی گیاه آتریپلکس شد (۱۹).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر شوری آب آبیاری، کود فسفاته و آلودگی کادمیم خاک بر مقدار کادمیم بخش هوایی. حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون توکی معنی‌دار نیست. هر عدد میانگین ٤ تکرار می‌باشد.

Figure 1. Effect of irrigation water salinity, TSP and soil Cd contamination on shoot Cd content. (The same letters are not significantly different at P = 0.05 (n = 4) according to the Tukey test. TSP= Triple Super Phosphate fertilizer).

www.SID.ir

Archive of SID

با افزایش شوری در خاک‌های غیر آلوده به کادمیم، در مقدار کادمیم ریشه گیاه افزایش معنی‌داری پیدا نکرد. بیشترین مقدار کادمیم ریشه در شوری ۴۰ میلی‌مولار در خاک آلوده به کادمیم و حاوی کود فسفاته با مقدار ۰/۱۷ میلی‌گرم بر هر گلدان بود (جدول ۵). مقدار کادمیم ریشه فقط در خاک آلوده به کادمیم و فقط در شوری ۴۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری پیدا نمود که علت این موضوع را می‌توان به مقدار وزن پایین ریشه‌ها نسبت به بخش‌هوایی و هم‌چنین غلظت کمتر بخش ریشه نسبت به بخش هوایی نسبت داد. یو و همکاران (۲۰۱۷) بیان داشتند که بیشتر کادمیم انتقال یافته به گیاه توتون در بخش برگ‌های گیاه تجمع پیدا می‌کند. آنها هم چنین بیان داشتند که محول پاشی با عنصر روی سبب کاهش انتقال کادمیم از خاک به برگ‌های گیاه شد (۵۷). لیو و همکاران (۲۰۱۶) بیان داشتند که جذب کادمیم از محیط رشد گیاه توسط هر دو مسیر سیمپلاست و آپوپلاست رخ می‌دهد و با افزایش غلظت کادمیم در خاک، مقدار جذب کادمیم توسط گیاه توتون افزایش نشان داد و این افزایش در بخش برگ‌ها به مراتب بیشتر از بخش ساقه و ریشه گیاه بود (۲۲).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج آزمایش نشان دادند که شوری سبب افزایش معنی‌دار غلظت کادمیم در توتون‌های رشد کرده در خاک آلوده به کادمیم شد در حالی‌که در خاک‌های غیرآلوده به کادمیم افزایش غلظت کادمیم ریشه معنی‌دار نبود. کاربرد کود سوپر فسفات تریپل در شوری‌های ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار، سبب افزایش فزاینده غلظت کادمیم ریشه و بخش هوایی نسبت به کاربرد هر کدام از عوامل شوری و کود فسفاته به‌صورت جداگانه شد. کاربرد کود سوپرفسفات تریپل در خاک آلوده شده به کادمیم، در شوری صفر، ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار به‌ترتیب باعث افزایش غلظت کادمیم بخش هوایی به مقدار ۲۰/۶۴، ۲۲ و ۱۹/۴۳ درصد و افزایش غلظت کادمیم خاکستر به مقدار ۱/۴۷، ۱۵/۸۹ و ۲۹/۸۰ درصد شد. شوری سبب افزایش غلظت کادمیم قابل جذب در پایان آزمایش در خاک شد ولی کود سوپر فسفات تریپل باعث کاهش غلظت کادمیم قابل جذب در پایان آزمایش نسبت به شاهد شد. در خاک‌های آلوده به کادمیم با افزایش سطوح شوری از صفر به ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار، فاکتور انتقال به طور میانگین، ۲۶/۶۳ و ۸/۲۲ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد. این افزایش برای فاکتور گیاه پالایی به ترتیب به مقدار ۳۳/۳۳ و ۲۶/۱۹ درصد نسبت به شاهد (شوری صفر) بود. مقدار جذب کادمیم توسط گیاه در بخش هوایی با افزایش شوری تا ۲۰ میلی‌مولار روند افزایشی و از ۲۰ به ۴۰ میلی‌مولار، روند کاهشی نشان داد. کاربرد کود سوپر فسفات تریپل با افزایش رشد گیاه در بخش‌های ریشه و هوایی سبب افزایش مقدار جذب، فاکتور گیاه پالایی، فاکتور اندوختگی، فاکتور انتقال، سطح برگ گیاه، مقدار جذب ریشه و بخش هوایی گردید.

منابع

1. Amer, K.H. 2010. Corn crop response under managing different irrigation and salinity levels. Agric. Water Manag., 97: 1553–1563.
2. Angelino, G., Ascione, S., and Ruggiero, C. 2003. Growth and Water Relations of Sun-cured Tobacco Irrigated with Saline Water. Beiträge zur Tabakforschung International/Contributions to Tobacco Res., 20(6): 394-401.
3. Application Bulletin 314 e. Determination of total phosphate in phosphoric acid and phosphate fertilizers with 859 Titrotherm.

www.SID.ir

Archive of SID

Page1-4. Metrohem.
4. Bhattacharyya, M.H. 2009. Cadmium osteotoxicity in experimental animals: mechanisms and relationship to human exposures. Toxicol. Appl. Pharmacol., 238: 258–265.
5. Bingham, F.T., Strong, J.E., and Sposito, G. 1983. Influence of chloride salinity on cadmium uptake by Swiss chard. Soil Sci., 135:160–165.
6. 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. Environ. Res. Publ. Health., 11: 202–217.
7. Clemente, R., Walker, D.J., and Bernal, M.P. 2005. Uptake of heavy metals and as by Brassica juncea grown in a contaminated soil in Aznalcollar Spain: the effect of soil amendments. Environ Pollut. 138(1):46–58.
8. Filipović, L., Romić, M., Romić, D., Filipović, V., and Ondrašek G. 2018. Organic matter and salinity modify cadmium soil (phyto) availability Ecotoxical. Environ. Saf., 147 :824–831.
9. 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.
10. Gorinova, N., Nedkovska, M., Todorovska, E., Simova-Stoilova, L., Stoyanova, Z., Georgieva, K., Demirevska-Kepova, K., Atanassov, A., and Herzig, R. 2007. Improved phytoaccumulation of cadmium by genetically modified tobacco plants (*Nicotiana tabacum* L.). Physiological and biochemical response of the transformants to cadmium toxicity. Environ. Pollut., 145:161-170.
11. Grant, C.A. 2011. Influence of phosphate fertilizer on cadmium in agricultural soils and crops. Pedologist/Pedorojisuto (Tokyo), 54:143-155.
12. 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. Ecol. Eng., 106: 409–414.
13. Gupta, A.K. and Sinha, S. 2007. Assessment of single extraction methods for the prediction of bioavailability of metals to *Brassica juncea* L. Czern. (var. Vaibhav) grown on tannery waste contaminated soil. J. Hazard Mater., 149(1):144–150.
14. Hu, Y., Vanhaecke, F., Moens, L., Dams, R., del Castilho, 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.
15. Janouskova, M., Vosatka, M., Rossi, L. and Lugon-Moulin, N. 2007. Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on cadmium accumulation by different tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) types. Appl Soil Ecol., 35: 502–510.
16. Järup, L. and Akesson, A. 2009. Current status of cadmium as an environmental health problem. Toxicol. Appl. Pharmacol., 238: 201–208.
17. Khoshgoftar, A.H., Shariatmadari, H., Karimian, N., Kalbasi, M., van der Zee, S.E.A.T.M., and Parker, D.R. 2004. Salinity and zinc application effects on phytoavailability of cadmium and zinc. Soil Sci. Soc. Am. J., 68: 1885–1889.
18. Kirkham, M.B. 2000. EDTA-facilitated phytoremediation of soil with heavy metals from sewage sludge. Int. J. Phytoremediat, 2: 159–172.
19. Lefèvrea, I., Marchala, G., Meertsb, P., Corréalc, E., and Luttsa, S. 2009. Chloride salinity reduces cadmium accumulation by the Mediterranean halophyte species *Atriplex halimus* L. Environ. Exp. Bot., 65: 142–152.
20. 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.
21. 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.

www.SID.ir

Archive of SID

22. 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 tobacco*). Chemosphere. 144:1960–1965.
23. 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.
24. Mani, D., Kumar, C., and Patel, N.K. 2016. Integrated micro-biochemical approach for phytoremediation of cadmium and lead contaminated soils using *Gladiolus grandiflorus* L cut flower. Ecotoxical. Environ. Saf., 124: 435–446.
25. Mar, S.S., Okazaki, M., and Motobayashi, T. 2012. The influence of phosphate fertilizer application levels and cultivars on cadmium uptake by Komatsuna (*Brassica rapa* L. var. perviridis). Soil Sci. Plant Nut., 58: 492-502.
26. McLaughlin, M.J., and Singh, B.R.E. 1999. "Cadmium in Soils and Plants". Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
27. 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.
28. 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.
29. Mühling, K.H., and Läuchli, A. 2003. Interaction of NaCl and Cd stress on compartmentation pattern of captions, antioxydant enzymes and protein in leaves of two wheat genotypes differing in salt tolerance. Plant Soil, 253: 219–231.
30. Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell Environ. 25: 239–250.
31. Murty, K.S.N., Tjell, J.C., and Gopalachari, N.C. 1986. Lead and cadmium content of Indian flue cured tobacco. Plant Soil, 95: 281–284.
32. Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum. In: Page AL(ed) Method of soil analysis. Part2, 2nd ed. Agro. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison:181-197.
33. 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.
34. 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.
35. Pappas, R.S. 2011. Toxic elements in tobacco and in cigarette smoke: inflammation and sensitization Metalloids. 3: 1181–1198.
36. Peris, M., Mico, C., Recatala, L., Sanchez, R., and Sanchez, J. 2007. Heavy metal contents in horticultural crops of a representative area of the European Mediterranean region. Sci. Total Environ., 378: 42–48.
37. 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. Toxicol. Rep., 2: 12–26.
38. Pinto**,** E., Cruz, M., Ramos, P., Santos, A., and Almeida, A. 2017. Metals transfer from tobacco to cigarette smoke: Evidences in smokers' lung tissue. J Hazard Mater. 325: 31–35.
39. 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.
40. Roberts, T.L. 2014. Cadmium and Phosphorous Fertilizers: The Issues and the Science. Procedia Engineer. 83:52–59.
41. Rosen, k., Eriksson, J., and Vinichuk, M. 2012. Uptake and translocation of ^{109}Cd and stable Cd within tobacco plants (*Nicotiana sylvestris*). J Environ Radio Activ., 113: 16-20.
42. Satarug, S., Garrett, S.H., Sens, M.A., and Sens, D.A. 2010. Cadmium, environmental exposure and health outcomes. Environ. Health Perspect.118: 182–190.

www.SID.ir

Archive of SID

43. 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., 71(4):302-308.
44. Sifola, M.I., and Rouphael, Y. 2015. The influence of drip or furrow irrigation on yield and quality of Burley tobacco under saline conditions. Aust. J. Crop Sci. AJCS 9(12):1173-1181.
45. Sujita, M., Izonu, T., Tatemichi, M., and Otahara, Y. 2001. Cadmium Absorption from Smoking Cigarettes: Calculation Using Recent Findings from Japan. Environ, Health Prev. 6:154–159.
46. Sumner, M.E., and Miller, W.P. 1996. Cation exchange capacity and exchangeable coefficients. P.1201-1229. In D. Ed. Am. Soc. Agro., Medison, WI.
47. Sun, Y., Zhou, Q., An, J., Liu, W., and Liu, R. 2009. Chelator-enhanced phytoextraction of heavy metals from contaminated soil irrigated by industrial wastewater with the hyper accumulator plant (Sedum alfredii Hance). Geoderma 150:106–112.
48. Suwa, R., Nguyen, N.T., Saneoka, H., Moghaib, R., and Fujita, K. 2006. Effect of salinity stress on photosynthesis and vegetative sink in tobacco plants. Soil Sci. Plant Nut., 52: 243–250.
49. Thévenod, F., and Lee, W.K. 2013.Toxicology of cadmium and its damage to mammalian organs. Met. Ions Life Sci., 11: 415–490.
50. 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.
51. 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.
52. 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.
53. Weggler-Beaton, K., McLaughlin, M.J., and Graham, R.D. 2000. Salinity increases cadmium uptake by wheat and Swiss chard from soil amended with biosolids. Aust. J. Soil Res., 38: 37–45.
54. World Health Organization (WHO). 1992. Environmental health criteria 143. Cadmium international program on chemical safety (IPCS) monograph.
55. World Health Organization (WHO). 2010. Exposure to Cadmium: A Major Public Health Concern. World Health Organization http://www.who.int/ipcs /features/cadmium.pdf.
56. Yoshihara, T., Suzui, N., Ishii, S., Kitazaki, M., Yamazaki, H., and Kitazaki, K. 2014. A kinetic analysis of cadmium accumulation in a Cd hyper-accumulator fern, *Athyrium yokoscense* and tobacco plants. Plant Cell Environ. 37:1086–1096.
57. Yu, Y., Wan, Y., Wang, Q., and Huafen, L. 2017. Effect of humic acid-based amendments with foliar application of Zn and Se on Cd accumulation in tobacco. Ecotoxical. Environ. Saf., 138: 286–291.
58. Zhang, B., Shang, S., Jabben Z., and Zhang, G. 2014b. Sodium chloride alleviates cadmium toxicity by reducing nitric oxide accumulation in tobacco. Ecotoxical. Environ. Saf., 110:56–60.
59. Zhang, B., Shang, S., Jabeen, Z., and Zhang, G. 2014a. Involvement of ethylene in alleviation of Cd toxicity by NaCl in tobacco plants. Ecotoxical. Environ. Saf., 101:64–69.
60. Zhang, B., Shang, S., Jazza, B., and Zhang, G. 2013. Sodium chloride enhances cadmium tolerance through reducing cadmium accumulation and increasing antioxidative enzyme activity in tobacco. Environ. Toxicol. Chem., 32: 1420–1425.
61. Zhang, H., Gue, Q., Yang, G., Ma, J., Chen, G., Chen, T., Zhu, T., Wang, J., Zhang, G., Wang, X., and Shao, C., 2016. Comparison of chelates for enhancing *Ricinus communis* L. phytoremediation of Cd and Pb contaminated soil. Ecotoxical. Environ. Saf., 133: 57–62.
62. Zhu, J. 2001. Plant salt tolerance. Trends Plant Sci., 6 (2): 66–71.

www.SID.ir