Archive of SID

بررسی تأثیر سولفات‌پتاسیم و سولفات‌روی بر عملکرد و غلظت کادمیم در غده سیب‌زمینی

سیدعبدالله حسینی[۱]، محمدجعفر ملکوتی*[۲]، علی اصغر شهابی[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۰۸)

چکیده

محصولات خوراکی رشد کرده در خاک‌های آلوده به کادمیم منبع اولیه ورود مقدار زیاد کادمیم به بدن مصرف‌کننده هستند. به‌منظور بررسی تأثیر پتاسیم و روی بر عملکرد سیب‌زمینی و غلظت کادمیم آن، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با نه تیمار و در چهار تکرار در یکی از مزرعه های آلوده به کادمیوم درسالهای ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در فریدان ، استان اصفهان انجام شد. در این مطالعه سولفات‌پتاسیم در سه سطح (صفر، ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار) و سولفات‌روی نیز در سه سطح (صفر، ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم بر هکتار) استفاده شدند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین عملکرد هکتاری غده و درصد ماده خشک (۳۸۵۰۵ کیلوگرم بر هکتار و ۲۳/۱۴ درصد) در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم سولفات‌پتاسیم به‌همراه ۲۰ کیلوگرم سولفات‌روی و کم‌ترین آن در شاهد (۲۴۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار و ۱۹/۸۸ درصد) به‌دست آمد. بیش‌ترین غلظت پتاسیم در غده مربوط به تیمار ۳۰۰ کیلوگرم سولفات‌پتاسیم به‌همراه ۴۰ کیلوگرم سولفات‌روی با ۳۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کم‌ترین آن برابر ۲۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در شاهد بود. بیش‌ترین غلظت روی غده مربوط به تیمار ۱۵۰ کیلوگرم سولفات‌پتاسیم به‌همراه ۲۰ کیلوگرم سولفات‌روی با ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کم‌ترین آن ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در شاهد به‌دست آمد. کم‌ترین غلظت کادمیم در غده مربوط به تیمار ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم سولفات‌پتاسیم به‌همراه ۲۰ کیلوگرم سولفات‌روی با ۰/۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم و بیش‌ترین آن ۰/۷۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که در شاهد مشاهده شد. یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که افزایش سطوح سولفات‌پتاسیم و سولفات‌روی در کاشت سیب‌زمینی موجب کاهش معنی‌دار جذب کادمیم در گیاه و در نتیجه کاهش معنی‌دار غلظت کادمیم در غده سیب‌زمینی شد. از این‌رو، استفاده از کودهای سولفات‌پتاسیم و سولفات‌روی در مزارع آلوده به آلاینده کادمیم، برای افزایش عملکرد هکتاری و تولید محصول سالم توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، روی، سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)، عملکرد غده، کادمیم

حسینی س.ع.، ملکوتی م.ج، شهابی ع.ا.۱۳۹۸. بررسی تأثیر سولفات‌پتاسیم و سولفات‌روی بر عملکرد و غلظت کادمیم در غده سیب‌زمینی. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۷. شماره ۴. صفحه: ۷۵-۸۵.

۱-دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه خاک شناسی، دانشگاه تربیت مدرس
۲-استاد بازنشسته گروه خاک شناسی، دانشگاه تربیت مدرس
۳-عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان
*پست الکترونیک: mjmalakouti@modares.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

کادمیم (Cd) فلزی سمّی برای گیاه، حیوان و انسان می‌باشد (Malakouti, 2011). به‌طوری‌که گیاهان خوراکی رشد کرده در خاک آلوده به کادمیم از مهم‌ترین منابع ورودی این فلز به بدن مصرف‌کننده هستند. مصرف کودهای شیمیایی سوپرفسفات‌تریپل، سولفات‌روی وارداتی، لجن‌فاضلاب و فاضلاب‌های صنعتی از مهم‌ترین عوامل ورود کادمیم به خاک‌های کشاورزی بوده که باعث انباشت این فلز در محصولات‌کشاورزی می‌شوند (Malakouti *et al.*, 2004). بنابراین، کاهش غلظت کادمیم در این گیاهان به کم‌تر از حداکثر غلظت قابل‌قبول توصیه‌شده توسط مؤسسات بین المللی (CODEX) برسد (۰/۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در وزن تازه غده سیب‌زمینی) ضروری است (CODEX, 2005). در دسترس بودن کادمیم برای جذب توسط گیاهان در خاک تحت تأثیر نوع گیاه (Kukier & Chaney, 2002) و ویژگی‌های خاک (Chaney *et al.*, 2001; Nicholson *et al.*, 2003)، مانند pH، ماده آلی، غلظت یون روی و غلظت یون پتاسیم در محلول خاک، قرار دارد (Chaney *et al.*, 2001). کادمیم و روی به‌دلیل تشابه شیمیایی (Malakouti, 2018)، برای جذب سیمپلاستی و آپوپلاستی[1] ریشه، ذخیره در اندامک‌های سلولی ریشه، انتقال از ریشه به اندام‌هوایی از طریق آوند چوبی و هم‌چنین انتقال از طریق آوند آبکش به میوه با یکدیگر رقابت می‌کنند (Davies *et al.*, 1992; He *et al.*, 2006). بنابراین مقدار روی در دسترس برای گیاه به‌عنوان یک فاکتور مهم که می‌تواند جذب کادمیم توسط ریشه و هم‌چنین انتقال آن از ریشه به اندام هوایی را کاهش دهد، می‌باشد (Malakouti, 2018).

روی (Zn) یکی از مهم‌ترین عناصر ضروری کم‌مصرف در رشد و توسعه گیاه بوده که جذب آن به‌صورت فعال و توسط پروتئین‌های ناقل با تمایل بسیار زیاد (ZIP) در مقایسه با کادمیم انجام می‌شود (Malakouti *et al.*, 2010). بیش از ۵۰ درصد از خاک‌های کشاورزی دنیا با مشکل کمبود روی قابل استفاده برای گیاهان زراعی و باغی مواجه‌اند (Malakouti, 1996)؛ که می‌تواند موجب انباشت کادمیم در محصولات‌کشاورزی شود. به‌طوری‌که جعفرنژادی و همکاران (Jafarnejadi *et al.*, 2010) گزارش نمودند که حدود ۹۵ درصد از نمونه‌های برداشت شده دانه گندم در اراضی زراعی شمال خوزستان، دارای بیش از ۰/۴۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم دانه گندم بودند. ملکوتی (Malakouti, 2018) گزارش کرد که یکی از دلایل مهم غلظت بالای کادمیم در گندم‌های شمال خوزستان عدم مصرف کودهای حاوی روی است. زارع و همکاران (Zare *et al.*, 2018) گزارش کردند که جذب کادمیم در کاهو بستگی به غلظت روی دارد. به‌طوری‌که با افزایش غلظت روی در هر سطح کادمیم، انباشت کادمیم در کاهو به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. از دیگر عناصر مهم تأثیرگذار در جذب کادمیم توسط گیاه پتاسیم است. به‌طوری‌که نوری (Nouri, 2001) گزارش نمود که با مصرف ۴۰۰ کیلوگرم سولفات‌پتاسیم بر هکتار و ۱۰۰ کیلوگرم سولفات‌روی بر هکتار، غلظت کادمیم در غده‌های سیب‌زمینی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. ملکوتی و همکاران Malakouti (*et al.*, 2016) نیز گزارش کردند که مصرف کودهای پتاسیمی در زراعت سیب‌زمینی موجب بهبود کمیّت و کیفیّت محصول می‌شود.

لذا، این آزمایش با هدف بررسی نقش تغذیه متعادل به‌ویژه تأثیر سولفات‌پتاسیم و سولفات‌روی بر عملکرد هکتاری سیب‌زمینی و تأثیر آن‌ها در تولید سیب‌زمینی سالم در مزرعه آلوده به کادمیم انجام شد. چرا که در این‌صورت می‌توان راهکارهای لازم نظیر امکان استفاده از عناصری مانند پتاسیم و روی که بتواند از طریق ایجاد رقابت با کادمیم، جذب آن را به حداقل برساند، مورد آزمون قرار داد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در فصل زراعی ۱۳۹۳، در یکی از مزارع کشاورزی سیب‌زمینی کار واقع در روستای ادگان از توابع بخش مرکزی شهرستان فریدن انجام شد. مزرعه فوق بر اساس گزارش رحمانی (Rahmani, 2009) به‌عنوان یکی از مزارع آلوده به کادمیم گزارش شده بود. غلظت مجاز کادمیم در خاک به عوامل متعددی بستگی دارد، لیکن حداکثر غلظت مجاز کادمیم در خاک‌های

۱. Symplastic and apoplastic uptake

www.SID.ir

Archive of SID

زراعی سه میلی‌گرم برکیلوگرم گزارش شده است (Lux *et al.*, 2010). این مزرعه در ۱۱۰ کیلومتری شمال غرب شهر اصفهان و با طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۲۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۴۶ دقیقه بود. قبل از کاشت سیب‌زمینی، نمونه مرکب از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک تهیه و پس از هوا خشک کردن نمونه‌ها، یک کیلوگرم از آن به بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان به‌منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی منتقل شد. بافت خاک به‌روش هیدرومتری، نیتروژن خاک به‌روش غیرمستقیم اندازه‌گیری کربن آلی (روش والکی و بلاک)، فسفر خاک به‌روش رنگ‌سنجی، پتاسیم قابل‌جذب خاک به‌روش استات‌آمونیوم و توسط دستگاه فیلم‌فتومتر (روش شعله) (Margesin & Schinner, 2005)، آهن، منگنز، روی و کادمیم قابل‌جذب خاک به‌روش عصاره‌گیری با DTPA و قرائت با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (Lindsey & Norvell, 1978). این مطالعه به‌صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای مورد آزمایش شامل سطوح مختلف سولفات‌پتاسیم (صفر، ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار) و سولفات روی (صفر، ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم بر هکتار) بود.

در اوایل بهار سال ۱۳۹۳، زمین مورد نظر همراه با بقایای آلی باقیمانده از سال قبل (کشت سال قبل شبدر) شخم عمیق زده شد. سپس عملیات دیسک انجام، جوی و پشته‌ها بر اساس آرایش کشت احداث و طرح آزمایشی مورد نظر اجرا شد. برای تعیین مکان قرار گرفتن تیمارها در هر بلوک از روش تصادفی استفاده شد. بر این اساس نه تیمار در هر بلوک به‌طور تصادفی قرار گرفت. غده‌های بذری سیب‌زمینی (رقم اگریا ۹۲) بعد از جدا کردن غده‌های آسیب دیده، به‌فاصله ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر از یکدیگر کشت شدند. سولفات‌پتاسیم و سولفات‌روی (تیمارها) قبل از کاشت بر اساس نقشه طرح به کرت‌ها اضافه و کودهای اوره، سوپرفسفات‌تریپل و سولفات آهن، سولفات منگنز و همچنین اسیدبوریک، بر اساس نتایج تجزیه خاک به‌ترتیب ۱۵۰، ۱۵۰، ۲۵، ۱۵ و ۱۰ کیلوگرم بر هکتار قبل از کشت به‌صورت دستی در زمین به‌صورت یکنواخت پخش شد (Malakouti, 2018). سرک کود اوره مطابق عرف کشاورزان منطقه همراه آب آبیاری در مرحله رشد رویشی (قبل از گلدهی و بالای ۱۲ برگی)، مصرف شد. هم‌چنین، در طول دوره کاشت تا برداشت محصول، وجین علف‌های هرز از سطح جوی‌ها و کنار بوته‌ها مطابق عرف سیب‌زمینی کاران منطقه انجام شد.

آبیاری کرت‌ها به‌صورت یکنواخت و به‌روش بارانی با دور آبیاری پنج روز یک‌بار و مطابق عرف کشاورزان منطقه انجام گرفت. برداشت محصول در زمان خشک شدن سریع برگ‌ها ناشی از شروع فصل سرما که بهترین زمان برداشت محصول سیب‌زمینی در منطقه مزبور می‌باشد، انجام پذیرفت. در موقع برداشت محصول برای حذف اثر حاشیه‌ای از هر کرت دو ردیف کناری و یک و نیم متر از بالا و پایین کرت‌ها حذف شد. به‌منظور تعیین عملکرد، ۱۰ بوته از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و اندام هوایی به‌همراه غده‌ها برداشت شد. برای اندازه‌گیری درصد ماده خشک غده ، ۱۰ عدد غده بزرگ، متوسط و کوچک پس از شستشو با آب معمولی و آب مقطر و سپس توزین، برش‌های نازک خورده و به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا کاملاً خشک شوند. سپس وزن خشک نمونه‌ها اندازه گیری و درصد ماده خشک غده‌ها به‌روش زیر محاسبه شد (Khazaee & Arshadi, 2009).

(۱) ۱۰۰×(وزن‌تر غده/وزن خشک غده)=درصد ماده خشک غده

سپس تعداد غده در بوته، وزن غده در بوته و غلظت پتاسیم، روی و کادمیم در غده اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری پتاسیم، روی و کادمیم در نمونه‌های مربوط به هر تیمار از طریق هضم تر نمونه‌ها در لوله‌های مخصوص هضم با روش اسیدسولفوریک، اسیدسالیسیلیک، آب اکسیژنه و سلنیم انجام شد: ۰/۲۵ گرم از هر نمونه خشک پودر شده (خشک شده در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت در آون) توسط ترازوی آنالیتیک با دقت ۰/۰۰۱ گرم، توزین و به‌داخل لوله‌های مخصوص هضم منتقل شد، سپس دو میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک به آن اضافه و پس از گذشت ۲۴ ساعت، بر روی بن‌ماری، دمای لوله‌ها به‌تدریج و تا دمای ۳۳۰ درجه سلسیوس افزوده شد و به‌مدت ۳۰ دقیقه نمونه‌ها در این دما قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها از روی بن‌ماری برداشته شده و پس از خنک شدن، سه مرحله و در هر مرحله یک میلی‌لیتر آب اکسیژنه به نمونه‌ها اضافه شد و

www.SID.ir

Archive of SID

مجدداً به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۳۳۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. این مرحله تازمانی که عصاره‌های گیاهی بی‌رنگ شوند تکرار شد و پس از آن غلظت پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتری، غلظت روی غده‌ها با دستگاه جذب اتمی شعله‌ای اندازه‌گیری گردید و غلظت کادمیم غده‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی شعله‌ای مجهز به شمارشگر کوره گرافیت اندازه‌گیری شد (Ehyaee & Behbahanizadeh, 1993). تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS انجام و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 1. Some physic-chemical properties of the studied soil

Property	Unit	Value	Property	Unit	Value
Depth	cm	0-30	P_{ava}		46
Sand		55.4	K_{ava}		115
Silt	%	21.8	Fe		6.4
Clay		22.8	Zn		0.94
Soil texture		Sandy clay loam	Mn	mg kg^{-1}	1.58
pH		7.2	Cu		5.82
EC	dS m^{-1}	2.21	B		0.75
Organic carbon	%	35	Cd		3.70
Total nitrogen	%	0.07			

نتایج

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثر اصلی سولفات‌پتاسیم بر تمام صفات مورد مطالعه و اثر اصلی سولفات‌روی نیز بر تمام صفات به استثنای غلظت پتاسیم غده و هم‌چنین اثر متقابل آن‌ها تنها بر عملکرد غده در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار بود.

جدول ۲- اثرهای اصلی و متقابل سولفات‌پتاسیم و سولفات‌روی بر پارامترهای کمّی و غلظت برخی عناصر در غده سیب‌زمینی

Table 2. Main and interaction effects of the study treatments on the tuber yield, tuber dry weight, and concentration of some elements in the potato tuber

Source of variation	df	Tuber yield	Tuber dry weight (%)	K	Zn	Cd
R	3	1162565.741 ^{ns}	1.108 ^{ns}	149.086 ^{ns}	5.339 ^{ns}	0.005 ^{ns}
K	2	384546119.4**	10.288**	68568.152**	1.7.497**	0.130**
Zn	2	163354102.8 **	3.490*	197.315 ^{ns}	1556.447**	0.089**
K × Zn	4	23872919.44**	0.680 ^{ns}	43.136 ^{ns}	1.956 ^{ns}	0.004 ^{ns}
Error	24	1934244.91	0.893	218.172	6.767	0.002

** (Significant at 1%), * (Significant at 5%) and ^{ns} (Non-significant)

عملکرد غده سیب‌زمینی

با توجه به جدول ۲، اثرهای اصلی و متقابل سولفات‌پتاسیم و سولفات‌روی بر عملکرد غده سیب‌زمینی در سطح احتمال ۱ درصد ($p<۰/۰۱$) معنی‌دار بود. بیش‌ترین عملکرد غده مربوط به تیمار ۱۵۰ کیلوگرم سولفات‌پتاسیم بر هکتار + ۲۰ کیلوگرم سولفات‌روی بر هکتار (۳۸۵۰۵ کیلوگرم بر هکتار) و کم‌ترین نیز در شاهد (K_0Zn_0) و تیمار ۴۰ کیلوگرم سولفات‌روی بر هکتار (K_0Zn_2) (۲۴۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار) به‌دست آمد (شکل ۱).

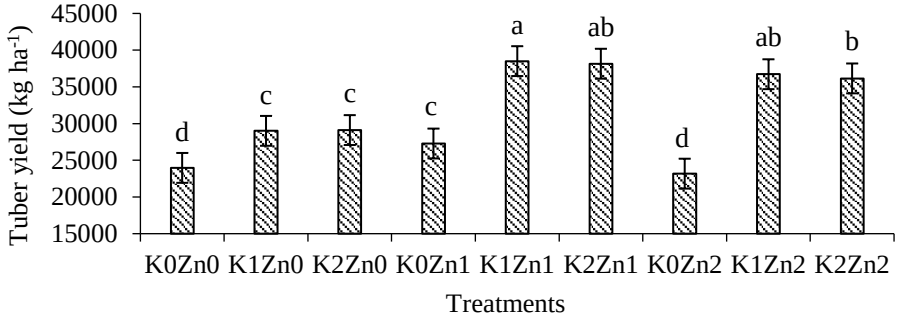
درصد ماده خشک غده سیب‌زمینی

نتایج نشان داد که تأثیر سولفات‌پتاسیم در سطح احتمال ۱ درصد ($p<۰/۰۱$) و تأثیر سولفات‌روی در سطح احتمال پنج درصد ($p<۰/۰۵$) بر درصد ماده خشک غده سیب‌زمینی معنی‌دار شد. با توجه به نتایج، در شرایط استفاده از سولفات‌پتاسیم بیش‌ترین درصد ماده خشک (۲۲/۵۰ درصد) مربوط به تیمار ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم سولفات‌پتاسیم بر هکتار و کم‌ترین آن (۱۹/۸۸ درصد) مربوط به شرایط بدون مصرف سولفات‌پتاسیم بود. نتایج هم‌چنین نشان داد که اگرچه در سطح ۳۰۰ کیلوگرم سولفات‌پتاسیم کاهش درصد ماده خشک در مقایسه با تیمار ۱۵۰ کیلوگرم آن مشاهده گردید، اما این کاهش در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نبود. با توجه به نتایج، استفاده از

www.SID.ir

Archive of SID

سولفات‌روی موجب تفاوت قابل‌ملاحظه بر درصد ماده‌خشک غده در مقایسه با شاهد شد، به‌طوری‌که بیش‌ترین درصد ماده خشک غده (۲۱/۸۱ درصد) مربوط به تیمار ۲۰ کیلوگرم سولفات‌روی بر هکتار و کم‌ترین آن (۱۹/۸۸ درصد) مربوط به شرایط بدون مصرف سولفات‌روی به‌دست آمد. نتایج هم‌چنین نشان داد اگرچه اثرمتقابل سولفات‌پتاسیم و سولفات‌روی در افزایش درصد ماده خشک معنی‌دار نشد، اما حداکثر درصد ماده خشک در مقایسه با استفاده هر یک از این دو عنصر از نظر عددی به ۲۳/۱۴ درصد افزایش یافت (شکل ۲).

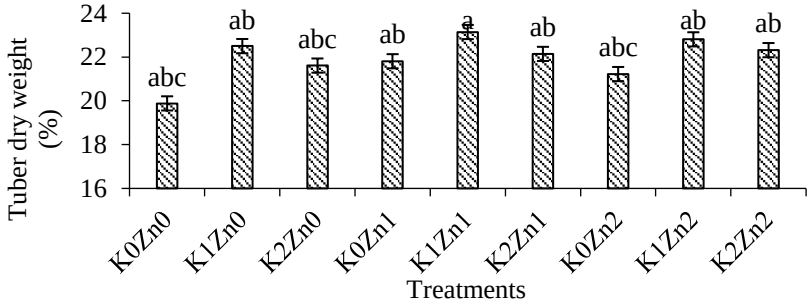


شکل ۱- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سولفات‌پتاسیم و سولفات‌روی بر عملکرد غده سیب‌زمینی

Figure 1. Interaction effects of potassium sulfate and zinc sulfate on potato tuber yield

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف انگلیسی مشترک، به‌روش آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد ندارند.

Means followed by the same superscript letters are not significant different according to Duncan at p<0.05.



شکل ۲- مقایسه میانگین‌های اثرهای متقابل سولفات‌پتاسیم و سولفات‌روی بر درصد ماده‌خشک غده سیب‌زمینی

Figure 2. Interaction effects of potassium sulfate and zinc sulfate on the percentage of tuber dry weight

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف انگلیسی مشترک، به‌روش آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد ندارند.

Means followed by the same superscript letters are not significant different according to Duncan at p<0.05.

غلظت پتاسیم در غده سیب‌زمینی

با توجه به نتایج به‌دست آمده، اثر سولفات‌پتاسیم بر غلظت پتاسیم غده سیب‌زمینی در سطح احتمال یک درصد (p<۰/۰۱) معنی‌دار بود. به‌طوری‌که بیش‌ترین غلظت پتاسیم غده مربوط به سطح ۳۰۰ کیلوگرم سولفات‌پتاسیم (۳۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کم‌ترین مقدار آن (۲۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مربوط به شاهد بود. همچنین، تفاوت معنی‌داری بین سطح ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم سولفات‌پتاسیم مشاهده گردید. به‌طوری‌که افزایش سولفات‌پتاسیم از ۱۵۰ به ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار، موجب افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم غده (۸۰ درصد) شد. نتایج هم‌چنین نشان داد که اثر سولفات‌روی و هم‌چنین اثر متقابل سولفات‌پتاسیم و سولفات‌روی بر غلظت پتاسیم غده قابل‌ملاحظه نبود (جدول ۲).

غلظت روی در غده سیب‌زمینی

با توجه به نتایج، تأثیر سولفات‌پتاسیم و سولفات‌روی بر غلظت روی غده در سطح احتمال یک درصد (p<۰/۰۱) معنی‌دار بود اما اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیش‌ترین غلظت روی غده (۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) در تیمار ۴۰ کیلوگرم سولفات‌روی بر هکتار و کم‌ترین مقدار آن (۲۰ میلی‌گرم

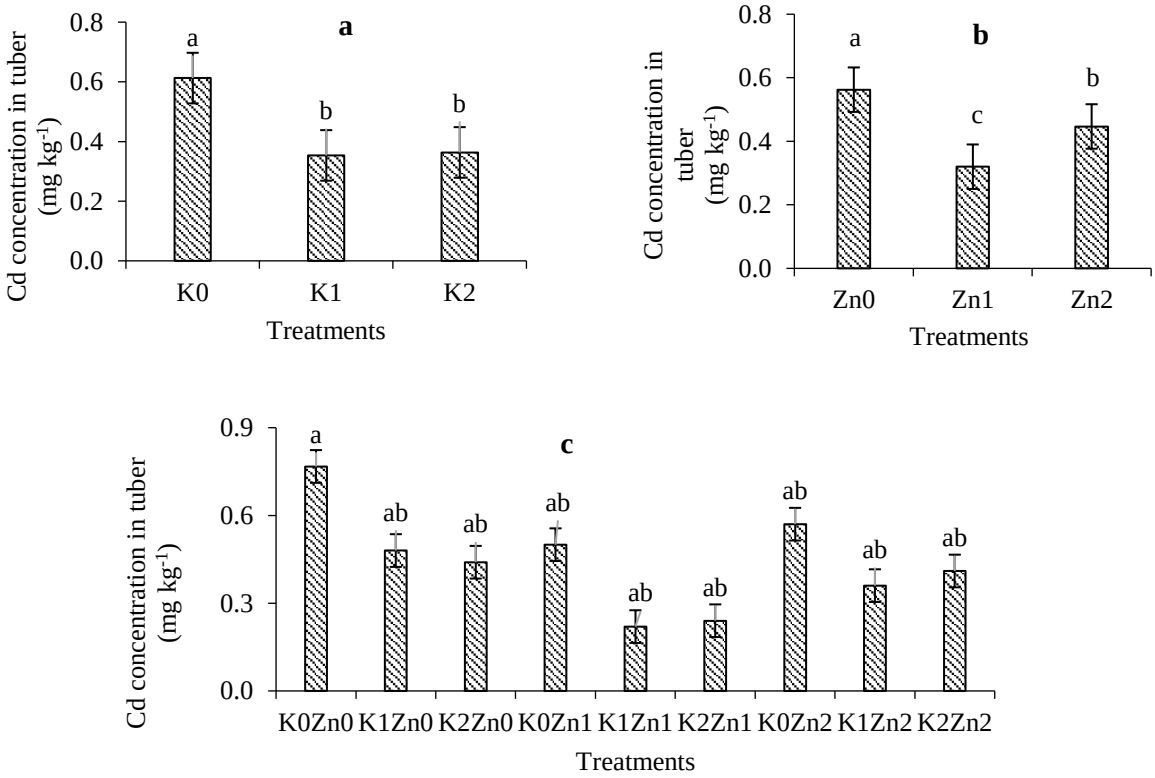
www.SID.ir

Archive of SID

بـر کیلـوگرم مـاده خشـک) در شـرایط بـدون مصـرف سولفات‌روی مشاهده شد. نتایج هم‌چنین نشـان داد کـه غلظت روی در غـده سـیب‌زمینـی تحـت تـأثیر کـاربرد سولفات‌پتاسیم قرار گرفت. به‌طوری‌که بیش‌ترین غلظـت روی مربوط به تیمـار بـدون مصـرف سـولفات‌پتاسـیم و کـم‌تـرین آن مربـوط بـه تیمـار ۳۰۰ کیلـوگرم سولفات‌پتاسیم بر هکتار به‌دست آمـد. همچنـین، تیمـار ۳۰۰ کیلوگرم سولفات‌پتاسیم بر هکتـار موجـب کـاهش معنـی‌دار غلظـت روی غـده در مقایسـه بـا تیمـار ۱۵۰ کیلوگرم سولفات‌پتاسیم بر هکتار شد.

غلظت کادمیم در غده سیب‌زمینی

نتایج نشان داد کـه اثـر سـطوح مختلـف سـولفات‌پتاسـیم و سولفات‌روی بر غلظت کادمیم در غده‌ها در سـطح احتمـال ۱ درصـد ($p<0/01$) معنـی‌دار بـود. در شـرایط اسـتفاده از سولفات‌پتاسیم کم‌ترین غلظت کادمیم مربـوط بـه تیمارهـای ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم سولفات‌پتاسـیم (۰/۳۵ میلـی‌گـرم بـر کیلـوگرم) و بـیش‌تـرین آن (۰/۶۳ میلـی‌گـرم بـر کیلـوگرم) مربوط به تیمار بدون مصرف سولفات‌پتاسیم بود (شـکل a۳). کم‌ترین غلظت کادمیم غده سیب‌زمینی (۰/۳۲ میلی‌گـرم بـر کیلـوگرم) در شـرایط کـاربرد سـطوح مختلـف سـولفات‌روی مربـوط بـه سـطح ۲۰ کیلـوگرم سـولفات‌روی بـر هکتـار و بیش‌ترین آن (۰/۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مربوط بـه شـاهد بـود (شـکل b۳). بـا توجـه بـه نتـایج، اگرچـه بـرهم‌کـنش سولفات‌پتاسیم و سولفات‌روی بر کاهش غلظت کـادمیم غـده قابل‌ملاحظه نبود، ولی در مقایسه بـا شـاهد غلظـت کـادمیم به‌طور میانگین ۴۸ درصد کاهش یافت (شکل c۳).



شکل ۳- مقایسه میانگین‌های اثرهای اصلی سطوح مختلف سولفات‌پتاسیم (a) و سولفات روی (b) و برهمکنش آن‌ها (c) بر غلظت کادمیم در غده سیب‌زمینی

Figure 3. Main effects of different level of potassium sulfate (a) and zinc sulfate (b) and interaction between them (c) on the Cd concentration in potato tubers

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف انگلیسی مشترک، به‌روش آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد ندارند.

Means followed by the same superscript letters are not significant different according to Duncan at $p<0.05$.

بحث

انباشت کادمیم در محصولات خوراکی اغلب در خاک‌هایی که کودهای فسفاته و لجن‌فاضلاب حاوی غلظت بالای کادمیم بکار می‌روند، صورت می‌گیرد. خطر انباشت کادمیم برای مصرف کننده در محصولات حاوی کادمیم یک نگرانی بزرگ بوده که راهکارهای مدیریتی برای کاهش انباشت کادمیم در محصولات کشاورزی ضروری است. لذا این آزمایش با هدف تأثیر

www.SID.ir

Archive of SID

سولفات‌پتاسیم و سولفات‌روی بر انباشت کادمیم در سیب زمینی انجام شد. نتایج نشان داد که عملکرد غده تحت تأثیر تیمارهای مورد مطالعه قرار گرفت. به‌طوری‌که بیش‌ترین عملکرد غده (۳۸۵۰۵ کیلوگرم بر هکتار) در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم سولفات‌پتاسیم بر هکتار به‌همراه ۲۰ کیلوگرم سولفات‌روی بر هکتار به‌دست آمد که ۶۱ درصد در مقایسه با شاهد بیش‌تر بود. مهم‌ترین دلیل افزایش عملکرد غده سیب‌زمینی بر اثر مصرف سولفات‌پتاسیم و سولفات‌روی می‌تواند نقش این عناصر در متابولیسم کربوهیدرات‌ها باشد که با توجه به نقش روی در ساختار انزیم‌های RNA پلی‌مراز (سازنده پروتئین) و کربوکسیل فسفات‌ریبولوز (سازنده نشاسته)، لذا این عنصر سبب افزایش مقدار قند و نشاسته در بافت های گیاهی و در نهایت بهبود عملکرد می‌شود. عنصر روی در فعالیت آنزیم‌های مرتبط با تشکیل کلروفیل و به‌دنبال آن افزایش فتوسنتز شرکت داشته و موجب تسریع در تشکیل هورمون‌نمو مانند تریپتوفان به‌عنوان ماده اولیه اکسین‌ها می‌شود (Malakouti *et al*., 2008). پتاسیم نیز افزون بر افزایش محتوی فتوسنتز و به‌دنبال آن کربوهیدرات‌ها، انتقال قندهای محلول ساخته شده در برگ (منبع) به غده (مخزن) را افزایش داده که سبب افزایش نشاسته در غده و به دنبال آن بهبود عملکرد غده می‌شود. هم‌چنین گزارش شده است که کارایی عناصر پر مصرف در گیاه به عناصر کم مصرف بستگی دارد. لذا از جمله دلایل دیگر افزایش عملکرد غده سیب‌زمینی در حضور سولفات‌پتاسیم و سولفات‌روی را می‌توان به مصرف کودها مطابق نتایج تجزیه خاک (مصرف بهینه کودی) و افزایش کارایی عناصر در گیاه نسبت داد (Malakouti, 2018).

با توجه به نتایج، مصرف ۴۰ کیلوگرم سولفات‌روی بر هکتار (K0Zn2, K1Zn2, K2Zn2) عملکرد غده را در مقایسه با سطح ۲۰ کیلوگرم سولفات‌روی بر هکتار به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش داد. جذب عناصر غذایی توسط ریشه گیاه تابع عوامل متعددی از جمله غلظت سایر عناصر نیز می‌باشد. به‌طوری‌که اگر غلظت یک عنصر در خاک افزایش یابد، سبب کاهش جذب برخی عناصر می‌شود. روی و آهن توسط ناقل‌های ZIP توسط ریشه گیاه جذب می‌شوند (Malakouti, 2018)،. بنابراین به‌نظر می‌رسد که با افزایش مقدار مصرف سولفات روی از ۲۰ به ۴۰ کیلوگرم بر هکتار، اختلال در جذب سایر عناصرغذایی از جمله آهن، منگنز و مس در سبب کاهش عملکرد غده سیب زمینی شده است.

نتایج این مطالعه با یافته‌های سایر مطالعات مطابقت داشت. یافته‌های نوری (Nouri, 2001) نشان داد که بیش‌ترین عملکرد سیب‌زمینی در شرایط مشابه آزمایشی، زمانی به‌دست می‌آید که کودهای مورد نیاز بر اساس نتایج تجزیه خاک مصرف شوند. ملکوتی و همکاران (Malakouti *et al*., 2004) نیز گزارش کردند که بیش‌ترین عملکرد سیب‌زمینی از تیمار تلفیقی سولفات‌پتاسیم و سولفات‌روی به‌دست آمد. ملکوتی و بایبوردی (Malakouti & Bybordi, 2006) و دادخواه (Dadkhah, 2012) نیز در بررسی خود بر روی سیب‌زمینی گزارش کردند که بیش‌ترین عملکرد غده و درصد ماده‌خشک غده سیب‌زمینی مربوط به تیمار تلفیقی سولفات‌پتاسیم و سولفات‌روی و اسید بوریک بود. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که افزودن سطوح مختلف سولفات‌پتاسیم موجب افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم و کاهش قابل‌توجه غلظت روی در غده سیب‌زمینی در مقایسه با شاهد شد. اثر سولفات‌روی بر تغییرات غلظت روی غده، برخلافسولفات‌پتاسیم بود به‌طوری‌که افزایش سطوح روی، موجب افزایش معنی‌دار غلظت روی غده در مقایسه با شاهد شد. بیش‌ترین غلظت روی غده در سطح ۴۰ کیلوگرم سولفات‌روی بر هکتار به‌دست آمد که بیش از ۱۰۰ درصد در مقایسه با شاهد افزایش یافت. برهم‌کنش عناصر در جذب توسط گیاه، علاوه بر نوع گیاه به ویژگی‌های خاکی نیز بستگی دارد. با توجه به بارهای منفی کانی‌های رسی، لذا به‌نظر می‌رسد که در حضور پتاسیم، روی با توجه به بار الکتریکی بالاتر در مقایسه با پتاسیم بیش‌تر توسط سطوح باردار کانی‌ها جذب و به‌دنبال آن زیست فراهمی روی کاهش یابد که سبب کاهش غلظت روی در گیاه شده است. هم‌چنین گونه‌بندی روی در محلول خاک، با افزایش غلظت پتاسیم تغییر می‌کند که این احتمال نیز وجود دارد که پتاسیم با تغییر گونه‌بندی روی از جذب آن توسط گیاه بکاهد. از جمله دلایل احتمالی دیگر کاهش غلظت روی در غده سیب‌زمینی در حضور سولفات‌پتاسیم می‌تواند ناشی از اثر رقت در گیاه در نتیجه افزایش عملکرد گیاه باشد. نتایج نشان داد که افزایش سطوح سولفات‌پتاسیم

www.SID.ir

Archive of SID

و سولفات‌روی موجب کاهش معنی‌دار غلظت کادمیم غده‌ها شد، به‌طوری‌که در مورد پتاسیم، کم‌ترین غلظت کادمیم غده در هر دو سطح ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار پتاسیم با ۵۷ درصد کاهش در مقایسه با شاهد و در مورد روی، کم‌ترین غلظت کادمیم غده در سطح ۲۰ کیلوگرم سولفات‌روی در هکتار به‌دست آمد. همچنین، در سطح ۴۰ کیلوگرم سولفات‌روی گرچه غلظت کادمیم در مقایسه با شاهد کاهش یافته بود لیکن این میزان کاهش در مقایسه با تیمار ۲۰ کیلوگرم در هکتار روی کم‌تر بود. به‌نظر می‌رسد آزاد شدن کادمیم از سطوح تبادلی کانی‌های رسی با افزایش غلظت سولفات‌روی از ۲۰ به ۴۰ کیلوگرم بر هکتار سبب افزایش غلظت کادمیم غده سیب‌زمینی شده است.

نتایج حاصل از میزان کادمیم غده در پژوهش حاضر با بسیاری از گزارش‌ها مطابقت داشت. به‌طوری‌که سالاردینی و همکاران (Salardini *et al.*, 1993) گزارش کردند که غلظت کادمیم با مصرف سولفات‌پتاسیم ۲۰ تا ۳۰ درصد کم‌تر از مصرف کلریدپتاسیم بود. مک‌لالین و همکاران McLaughlin (*et al.*, 1995) در تحقیق خود در استرالیا گزارش کردند که سطوح مختلف سولفات‌پتاسیم و سولفات‌روی موجب کاهش معنی‌دار غلظت کادمیم غده سیب‌زمینی شد. قاسمی (Ghasemi, 2009) گزارش کرد که در شرایط آلودگی خاک با کادمیم، وجود مقادیر بالای پتاسیم و روی موجب کاهش میزان غلظت کادمیم در برگ‌ها و میوه گوجه فرنگی در مقایسه با شاهد شد. بر اساس گزارش ملکوتی (Malakouti, 2018)، روی و کادمیم به‌دلیل تشابه یونی دارای نوعی برهم‌کنش منفی در خاک و در حین جذب توسط گیاه می‌باشند، به‌طوری‌که افزایش غلظت روی در خاک موجب کاهش جذب کادمیم توسط گیاه به‌دلیل رقابت روی و کادمیم می‌شود. تأثیر پتاسیم در کاهش غلظت کادمیم بستگی به منبع آن (سولفات‌پتاسیم- کلریدپتاسیم) دارد. به‌نظر می‌رسد که افزایش عملکرد گیاه در نتیجه استفاده از سولفات‌پتاسیم و به‌دنبال آن اثر رقت می‌تواند دلیل احتمالی اثر مثبت سولفات‌پتاسیم در کاهش غلظت کادمیم باشد که تحقیق بیش‌تر در این زمینه نیاز است. زارع و همکاران (Zare *et al.*, 2018) نیز در مطالعه خود چنین گزارش نمودند که جذب ریشه‌ای و انباشت کادمیم در اندام‌هوایی گیاه کاهو به‌شدت به غلظت روی در محیط ریشه بستگی دارد. به‌طوری‌که با افزایش غلظت روی در مقایسه با کادمیم انباشت کادمیم در اندام هوایی کاهش یافت. آن‌ها هم‌چنین گزارش کردند که برهمکنش روی و کادمیم در جذب توسط گیاه به زمان مصرف روی نیز بستگی دارد. به‌طوری‌که چنان‌چه روی در حین رشد گیاه مصرف شود تأثیر کم‌تری در مقایسه با شرایطی که روی همزمان با کاشت مصرف شود در کاهش انباشت کادمیم اندام هوایی دارد.

نتایج این تحقیق با یافته‌های برخی از گزارش‌ها در تضاد است. برای مثال، در آزمایشی تأثیر نیتروژن، فسفر و کلریدپتاسیم بر غلظت کادمیم در آفتابگردان و جو بررسی و نتایج به‌دست آمده نشان داد که با مصرف کلریدپتاسیم، غلظت کادمیم در هر دو گیاه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و این میزان افزایش غلظت کادمیم در آفتابگردان بیش‌تر از جو بود. افزایش غلظت کادمیم در این آزمایش را می‌توان به‌دلیل تشکیل زوج یون بین یون کلراید و کادمیم ($CdCl_n^{2-n}$) نسبت داد (Zhao *et al.*, 2004). دلیل این تضاد را می‌توان ناشی از تفاوت منابع کودی پتاسیم به‌کار رفته در آزمایش‌ها دانست، چون استفاده از کلریدپتاسیم موجب افزایش قابلیت کمپلکس شدن کادمیم با کلراید موجود در کلریدپتاسیم و در نتیجه افزایش زیست‌فراهمی و جذب کادمیم در گیاه می‌شود. لذا، می‌توان گفت که در مزارعی که غلظت یون کادمیم در خاک قابل‌توجه باشد، منبع کود پتاسیمی مورد استفاده نیز تأثیر قابل‌توجهی بر جذب کادمیم توسط گیاه خواهد داشت. به‌طوری‌که با توجه به نتایج مطالعه حاضر و مقایسه آن با نتایج مطالعاتی که از کلریدپتاسیم استفاده کرده‌اند، می توان چنین توصیه کرد که به‌منظور کاهش انباشت کادمیم در اندام خوراکی گیاهان از جمله غده سیب‌زمینی، از منبع کلریدپتاسیم استفاده نشود (Malakouti *et al.*, 2016). با توجه به حداکثر غلظت قابل قبول کادمیم توصیه شده توسط CODEX در سیب‌زمینی (۰/۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تازه) و در نظر گرفتن ۸۰ درصد رطوبت در سیب‌زمینی، لذا حداکثر غلظت قابل قبول کادمیم به ازای وزن خشک سیب‌زمینی برابر ۰/۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خواهد بود. با توجه به نتایج به دست آمده از نقش مصرف سولفات‌پتاسیم و سولفات‌روی در کاهش غلظت کادمیم در غده‌های سیب

www.SID.ir

Archive of SID

زمینی به کم‌تر از حد توصیه شده توسط CODEX، چنین استنباط شد. در حالی که در نمونه‌های شاهد، غلظت کادمیم بالاتر از این حد بود (۰/۷۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بر مبنای وزن خشک)، بنابراین در مزارع با آلودگی بیش‌تر کادمیم در خاک (سه میلی‌گرم بر کیلوگرم) استفاده از سولفات‌پتاسیم و سولفات‌روی می‌تواند خطر کادمیم در سیب‌زمینی برای مصرف‌کننده را کاهش دهد و غلظت آن را کم‌تر از حداکثر غلظت قابل قبول برساند، اگرچه انجام تحقیقات تکمیلی در این زمینه مورد انتظار است.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به‌ضرورت کاهش آلاینده کادمیم در محصولات‌کشاورزی، پیشنهاد می‌شود از طریق استفاده از کودهای سولفات‌پتاسیم و سولفات‌روی، غلظت کادمیم در اندام خوراکی گیاهان را کاهش داد. نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از سطوح مختلف سولفات‌پتاسیم و سولفات‌روی موجب کاهش معنی‌دار غلظت کادمیم در غده سیب‌زمینی شد. به‌طوری‌که غلظت کادمیم در غده سیب‌زمینی در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم سولفات‌پتاسیم بر هکتار + ۲۰ کیلوگرم سولفات‌روی بر هکتار بیش از ۵۰ درصد در مقایسه با شاهد کاهش یافت. هم‌چنین سطح ۴۰ کیلوگرم سولفات‌روی بر هکتار نیز در تلفیق با سطوح مختلف سولفات‌پتاسیم موجب کاهش معنی‌دار غلظت کادمیم غده شد. تأثیر سولفات‌پتاسیم و سولفات‌روی در کاهش غلظت کادمیم در غده سیب‌زمینی، به نحوی بود که غلظت کادمیم در سیب‌زمینی به کم‌تر از حد توصیه شده توسط CODEX رسید. لذا، چنین توصیه می‌گردد که علاوه‌بر رعایت اصول مصرف متعادل کودها، با توجه به‌مقدار پتاسیم و روی قابل استفاده خاک‌های زراعی زیرکشت، از طریق استفاده از کودهای سولفات‌پتاسیم و سولفات‌روی، مقدار کادمیم را در محصولات کشاورزی به‌مقدار قابل‌توجهی کاهش داده تا از طریق تولید محصولات کشاورزی سالم امنیت غذایی در جامعه را افزایش داد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله، سپاس و تشکر خود را از جناب آقای دکتر علی‌اکبر زارع از بابت مطالعه و ویراستاری مقاله اعلام می‌دارند

Reference

Chaney R.L., Ryan J.A., Li Y.M., and Angle J.S. 2001. Transfer of cadmium through plants to the food chain. *In*: Syers J.K., Gochfeld M. (Ed.), Proceedings of the Scope Workshop on Environmental Cadmium in the Food Chain: *Sources, Pathways, and Risks* (13–16 Sept., 2000). Belgian Academy of Sciences, Brussels, Belgium, pp. 76–81.

Codex Alimentarius Commission, 2005. Joint FAO/WHO Food Standards Programme. Twenty-Eighth Session, Rome, Italy, 4–9 July 2005. Report of the 37th Session of the Codex Committee on Food Additives and Contaminants, 25–29 April 2005. Para. 175, Appendix XXVI. The Hague, the Netherlands. Available at URL: http://www. codexalimentarius.net/web/reports.jsp] ALINORM 05/28/12.

Dadkhah H. 2012. The effect of different levels of zinc and boron on yield and dry matter in potato, MSc. Thesis. Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran. (In Persian)

Davies K., Davies M., and Francis D. 1992. Zinc-induced vacuolation in root meristematic cells of cereals. *Annals of Botany*, 69(1): 21-24.

Ehyaee A. M., and Behbahanizade A. A. 1993. Description of the methods of chemical analysis of soil. first volume, Technical Bulletin Number 893, Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran (In Persian)

Ghasemi Z. 2009. Studying the effect of potassium and zinc on the reduction of concentration of cadmium pollutant in tomato plants (*Lycopersicon esculentum* L.) master's thesis, Payame Noor University of Najaf Abad, Esfahan, Iran. (In Persian)

He L., Girijashanker K., Dalton T. P., Reed J., Li H., Soleimani M., and Nebert D.W. 2006. ZIP8, member of the solute-carrier-39 (SLC39) metal-transporter family:characterization of transporter properties. *Molecular Pharmacology*, 70(1): 171-180.

Jafari Haghighi, M. 2003. Methods of Soil Analysis. Nedaye Zuha Press. 236 p. (In Persian)

Jafarnejadi A. R., Homaee M., Sayyad G., and Bybordi M. 2011. Large scale spatial variability of accumulated Cadmium in the wheat farm grains. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 20: 98-113.

www.SID.ir

Archive of SID

Khazaee H. R., and Arshadi M. J. 2009. Effect of nitrogen topdress fertilizer application by using chlorophyll meter on yield and quality of potato (Agria cv.) in climate conditions of Mashhad. *Journal of Horticulture Science*, 22 (2): 49-63.

Kukier U., and Chaney R.L. 2002. Growing rice grain with controlled cadmium concentrations. *Journal of Plant Nutrition*, 25 (8): 1793-1820.

Lindsay W.L., and Norvell W.A., 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper1. *Soil Science Society of America Journal*, 42: 421-428.

Lux A., Martinka M., Vaculík M., and White P. J. 2010. Root responses to cadmium in the rhizosphere: a review. *Journal of Experimental Botany*, 62(1): 21-37.

Malakouti M. J. 1996. Sustainable Agriculture and Yield Increase Through Balanced Fertilization. Ministry of Agriculture Press. Karaj, Iran, 350p. (In Persian)

Malakouti M. J. 2011. Relationship between balanced fertilization and healthy agricultural products: a review. *Journal of Crop Ecophysiology (Agriculture Science)* 4(16): 133-150. (In Persian)

Malakouti M. J. 2018. Optimal Fertilizer Use Recommendations for Yield Increase and Production of Healthy Crops: Determining Quantity, Type and Time of Fertilizer Application for Achieving an Obtainable Self-Sufficiency, Sustainable Food Security and Optimizing Farmers' Income (4thedition, completely revised). Farmer's House, No. 104. Moballeghan Publication, Tehran, Iran, 458p. (In Persian)

Malakouti M. J., Bybordi A., and Tabatabaei S. J. 2004. Balanced Fertilization of Vegetable Crops: An Approach to Enhance the Yield and Quality of Vegetables, Reduce Contaminants and Improve Human Health. Ministry of Jihad-e-Agiculture Press, Karaj, Iran, 338p. (In Persian).

Malakouti M. J., Bazargan K., and Shahabi A. A. 2016. Potassium in Agriculture: The Role of Potassium in the Production of Healthy Agricultural Products" (2nd edition, revised). Moballeghan Publication Co., Tehran, Iran, 352p. (In Persian)

Malakouti M.J., Malakouti A., Bybordi I., and Khamesi E. 2010. Zinc (Zn) is the neglected element in the life cycle of plant, animal and human health (10th edition with complete revision). Tech. bulletin No. 007. Soil Science Department-Tarbiat Modares University. Sana Publication,Tehran, Iran. 14 pp.

Margesin R., and Schinner F., 2005. Manual for soil analysis-monitoring and assessing soil bioremediation. Springer Science & Business Media.

Mc Laughlin M.J., Maier N., Freeman A.K., Tiller K.G., Williams C.M.J., and Smart M.K. 1995. Effect of potassic and phosphatic fertilizer type, fertilizer Cd concentration and zinc rate on cadmium uptake by potatoes. *Fertilizer Research*, 40(1): 63-70.

Nicholson F., Smith S., Alloway B., Carlton-Smith C., and Chambers B. 2003. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *Science of the total Environment*, 311(1-3): 205-219.

Nouri A.A. 2001. Studying the effect of potassium sulfate and Zinc sulfate on improving yield and reducing nitrate and cadmium concentration in potatoes in Zanjan, master's thesis, Islamic Azad University Science and Research Branch, Tehran, Iran. (In Persian)

Rahmani H.R. 2009. The report of studying the long-term effect of phosphorus fertilizers on the amount of soil and plant cadmium and environmental hazards posed by it. 88-1382. Esfahan: Ministry of Agriculture-Jahad, Ministry of Agricultural Research, Education and Extension, Soil and Water Research Institute. (In Persian)

Salardini A.A., Sparrow L., Holloway R., and Brrow N. 1993. Effects of potassium and zinc fertilizers, gypsum and leaching on Cd in the seed of poppies (*Papaver somniferum* L.). *Plant Nutrition from Genetic Engineering to Field Practice*, Springer, Dordrecht, pp. 795-798.

Zare A.A., Khoshgoftarmanesh A.H., Malakouti M.J., Bahrami H.A., and Chaney R.L. 2018. Root uptake and shoot accumulation of cadmium by lettuce at various Cd:Zn ratios in nutrient solution. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148: 441-446.

Zhao Z.Q., Zhu Y.G., Li H.Y., Smith S.E., and Smith F.A. 2004. Effects of forms and rates of potassium fertilizers on cadmium uptake by spring canola (*Brassica napus*, L.) and spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Environment International*, 29 (7): 973-978.

www.SID.ir

Archive of SID

Study on the Effect of Potassium and Zinc on the Cadmium Accumulation in Potato Tubers

Seyyed Abdollah Hosseini[1], Mohammad Javad Malakouti*[2] and Ali Asghar Shahabi[3]

(Received: November 2018 Accepted: April 2019)

Abstract

Edible crops grown in cadmium polluted soils are the primary source of large amounts of cadmium entering the consumer body. To investigate the effect of potassium (K) and zinc (Zn) on tuber yield and uptake and accumulation of cadmium (Cd) in potato tubers, a factorial experiment in a randomized complete block design with 9 treatments and 4 replications has been carried out in 2014-15 in one of the polluted farm in the Faridan, Isfahan province. In this study, potassium sulfate (SOP) was applied at three levels (0, 150 and 300 kg ha^{-1}) and zinc sulfate at three levels (0, 20 and 40 kg ha^{-1}) were used. The results showed that the highest tuber yield and percentage of dry matter were 38505 kg ha^{-1} and 23.14 that obtained from treatment 150 kg ha^{-1} SOP + 20 kg ha^{-1} $ZnSO_4$ and the lowest was 24000 kg ha^{-1} and 19.88 that obtained from control. The highest concentration of K in tubers was equal to 378 mg kg^{-1} that obtained from 300 kg ha^{-1} SOP + 40 kg ha^{-1} $ZnSO_4$, and the lowest was equal to 210 mg kg^{-1} that obtained from control. The highest concentration of Zn in tubers was equal to 40 mg kg^{-1} that obtained from 150 kg ha^{-1} SOP + 20 kg ha^{-1} $ZnSO_4$, and the lowest was equal to 20 mg kg^{-1} that obtained from control. While Cd concentration in the control was 0.77 mg kg^{-1}, it decreased significantly in all other treatments, and the lowest was 0.23 mg kg^{-1} in both 150 kg ha^{-1} SOP + 20 kg ha^{-1} $ZnSO_4$ and 300 kg ha^{-1} SOP + 20 kg ha^{-1} $ZnSO_4$ treatments. According to the obtained results it can be concluded that application of K_2SO_4 and $ZnSO_4$ fertilizers in the polluted farm is necessary for obtaining higher yield and is necessary for healthy crop.

Keywords: Cd, K, Potato (*Solanum tuberosum* L.), Tuber yield, Zn

Hosseini S.A., Malakouti M.J., Shahabi A.A. 2019. Study on the effect of potassium and zinc on the cadmium accumulation in potato tubers. *Applied Soil Research*, 7(4):75-85.

1. MSc graduated, Department of Soil Sciences, Tarbiat Modares University
2. Emeritus Professor, Department of Soil Sciences, Tarbiat Modares University
3. Faculty member, Isfahan Agricultural and Natural Resources Center
*Corresponding Author Email: mjmalakouti@modares.ac.ir

www.SID.ir