نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) / الف / جلد 30 / شماره 1 / 1395

Archive of SID

اثر برهمکنش کادمیم و بقایای گندم و یونجه بر عملکرد و جذب برخی عناصر غذایی کم مصرف در ذرت

شهرزاد کرمی و عبدالمجید رونقی[1]

دانشجوی سابق کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ sh.k624@gmail.com

استاد بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ amronaghi@yahoo.com

دریافت: 94/4/10 و پذیرش: 94/12/24

چکیده

آلودگی خاک‌ها به کادمیم می‌تواند سبب کاهش تولیدات گیاهی و افزایش خطر استفاده از محصولات گیاهی آلوده به این فلز توسط انسان و حیوانات شود. در سال 1393 آزمایشی گلخانه‌ای بمنظور بررسی اثر برهمکنش کادمیم با بقایای گندم یا یونجه بر وزن خشک ذرت، غلظت، و جذب کل عناصر کم‌مصرف به‌وسیله ذرت انجام شد. نتایج نشان داد که افزایش سطوح کادمیم کاربردی، سبب کاهش معنی‌دار جذب کل منگنز اندام هوایی ذرت در خاک تیمار شده با بقایای یونجه شد اما بر وزن خشک ذرت، غلظت، و جذب سایر عناصرغذایی اثر معنی‌داری نداشت. افزایش سطوح بقایای گندم، غلظت روی اندام هوایی ذرت را افزایش داد اما سبب کاهش وزن خشک، غلظت مس، و جذب کل آهن، منگنز، و مس اندام هوایی ذرت شد. افزایش سطوح بقایای یونجه سبب کاهش غلظت و جذب کل منگنز اندام هوایی ذرت شد. بطورکلی کاربرد بقایای یونجه وزن خشک ذرت و جذب کل مس، را کمتر از بقایای گندم کاهش داد اما غلظت منگنز و روی اندام هوایی ذرت در تیمارهای حاوی بقایای گندم بیشتر بود. کاربرد هر دو نوع بقایای گندم و یونجه سبب کاهش اثر سوء کادمیم بر جذب کل آهن اندام هوایی ذرت شد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی کادمیم، فلزات سنگین، آهن، روی، منگنز، مس، عناصر کم‌مصرف

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: شیراز، باجگاه- دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، بخش علوم خاک

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

آلودگی خاک‌های کشاورزی به فلزات سنگین، از جمله کادمیم یکی از مهمترین مسائل زیست محیطی است (لیانگ و همکاران، 2005). کاربرد لجن فاضلاب و سایر ضایعات شهری و صنعتی می‌تواند سبب افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک شود (رجایی، 1377). کادمیم از نیروگاه‌های تولید برق، سیستم‌های گرمایشی، صنایع فلزی، کارخانجات ذوب فلزات، و فعالیت‌های کشاورزی به محیط زیست وارد می‌شود (بناویدز و همکاران، 2005) و می‌تواند سبب کاهش تولیدات گیاهی و افزایش خطر استفاده از محصولات گیاهی آلوده به این فلز شود (کریمیان، 1371؛ و لیانگ و همکاران، 2005). هنگامی که فلزات سنگین در مقادیر زیاد در محیط وجود داشته باشند بوسیله گیاه جذب شده و به اندام هوایی انتقال داده می شود. این فلزات سبب اختلال در سوخت و ساز گیاه و کاهش رشد و عملکرد می گردند (فروسارد، 1993). کادمیم میل ترکیبی شدیدی با گروههای سولفیدریل، هیدروکسیل و لیگاندهای حاوی نیتروژن دارد (تورس و همکاران، 2000) در نتیجه این عنصر بسیاری از آنزیم های مهم را غیر فعال کرده که منجربه اختلال در فتوسنتز، تنفس و سایر فرایندهای متابولیک در گیاه می‌گردد (حلاج نیا و همکاران، 1388).

افزودن مواد آلی به خاک به علت اثری که بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، و بیولوژیکی خاک دارند، یکی از روش‌های مهم افزایش باروری خاک می‌باشد (کوچکی و همکاران، 1376). جذب سطحی به‌وسیله مواد آلی به شدت از تحرک فلزات سنگین می‌کاهد. هر چند ماده‌آلی اثر دوگانه‌ای دارد بدین صورت که از سوئی می‌تواند با کمپلکس کردن عناصر سبب نگهداری و کاهش فراهمی آن‌ها شود و از سوی دیگر می‌تواند بر اثر تجزیه و ایجاد مواد اسیدی سبب افزایش غلظت عناصر در محلول خاک شود. پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر افزودن سطوح مختلف بقایای گندم و یونجه بر کاهش اثر سوء کادمیم بر وزن ماده خشک ذرت و غلظت و جذب کل آهن، منگنز، روی، و مس به‌وسیله اندام هوایی ذرت در یک خاک آهکی بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال 1393 و در گلخانه تحقیقاتی بخش علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز (منطقه باجگاه با طول جغرافیایی 29 درجه و 50 دقیقه شمالی، عرض جغرافیایی 52 درجه و 46 دقیقه شرقی، و ارتفاع 1810 متر از سطح دریا) بصورت فاکتوریل 3×3×2 در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. فاکتورها شامل 2 نوع بقایای آلی (گندم و یونجه)، در 3 سطح (0، 1، و 2 درصد وزنی) و سه سطح کادمیم (شاهد، 15، و 25 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و سه تکرار بود. مقدار کافی خاک (عمق 30-0 سانتی متری) سری کوی اساتید (Loamy-skeletal over fragmental, carbonatic, mesic, Fluventic Xerorthents) (ابطحی و همکاران، 1370) دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز جمع آوری و پس از خشک کردن در هوا از الک 2 میلی متر عبور داده شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از قبیل بافت خاک به روش هیدرومتر (جی و باودر، 1986)، ماده آلی به روش اکسایش با اسید کرومیک و سپس تیتره کردن با فرو آمونیوم سولفات (نلسون و سامرز، 1996)، pH خاک در گل اشباع با استفاده از pH متر (توماس، 1996)، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع (EC_e) با دستگاه هدایت سنج الکتریکی (رودز، 1996)، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) به روش جانشینی کاتیون‌ها با استات سدیم، شستشو با الکل و جایگزینی سدیم با آمونیوم استات (سامنر و میلر، 1996) و اندازه‌گیری پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم به روش شعله سنجی، فسفر قابل استفاده با عصاره‌گیر بیکربنات سدیم 0/5 مولار در pH = 8/5 (اولسن و همکاران، 1954)، نیتروژن کل به روش میکروکلدال (برمنر، 1996)، و عناصر کم مصرف و کادمیم با عصاره‌گیری با دی اتیلن تری آمین پنتا استیک اسید (DTPA) (لیندزی و نورول، 1978) و قرائت به‌وسیله دستگاه جذب اتمی (شیماتزو مدل AA- 670) اندازه‌گیری شد.

سپس از خاک الک شده به ازای هر گلدان مقدار سه کیلوگرم وزن و در پلاستیک ریخته شد. به هر گلدان تیمارهای ماده آلی (بقایای گندم و یونجه آسیاب شده) در سه سطح (بدون ماده آلی، 1، و 2 درصد وزنی) افزوده شد. با توجه به آزمون خاک، 25 میلی‌لیتر از محلول‌های دارای غلظت‌های مناسب فسفر از منبع منوکلسیم فسفات (20 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، نیتروژن از منبع اوره به میزان 225 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و در سه قسط مساوی، منگنز از منبع سولفات منگنز (10 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، روی از منبع سولفات روی (10 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، آهن از منبع سکوسترین آهن (5 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، و مس از منبع سولفات مس (2/5 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و سپس کادمیم از منبع سولفات کادمیم در سه سطح (5، 15و 25 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) به خاک‌ها افزوده شد.

www.SID.ir

Archive of SID

پس از چند روز و کاهش رطوبت، خاک به گلدان‌ها منتقل شد. رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی (FC) که 18 درصد وزنی بود نگه داشته شد که این کار با وزن کردن روزانه گلدان‌ها و افزودن آب به میزان لازم انجام شد. سپس در هرگلدان 6 عدد از بذرهای ذرت (رقم HIDO) کاشته و پس از دو هفته و استقرار گیاه، تعداد گیاهان به سه عدد در هر گلدان تقلیل داده شد. پس از 8 هفته گیاهان را از انتهای ساقه کمی بالاتر از سطح خاک جدا کرده و پس از اندازه‌گیری وزن تر و شستشو با آب مقطر، در پاکت‌های کاغذی قرار داده و در آون در دمای 65 درجه سلسیوس به مدت 72 ساعت خشک و وزن آنها اندازه‌گیری شد. اندام هوایی به‌وسیله آسیاب برقی به صورت پودر درآورده شد. برای اندازه‌گیری غلظت عناصر در اندام هوایی و بقایا، از روش خشک سوزانی استفاده شد به این ترتیب که یک گرم پودر اندام گیاه را در ظروف چینی مخصوص (کروسیبل) ریخته و به مدت 2 ساعت در دمای 550 درجه سلسیوس در کوره خاکستر شد. پس از سرد شدن، به ازای هر یک گرم، خاکستر موجود را در 5 میلی‌لیتر اسید کلریدریک 2 نرمال حل و صاف کرده و با آب مقطر گرم شسته و به حجم رسانده و برای تجزیه گیاهی نگهداری شد.

اندازه‌گیری پتاسیم به روش شعله سنجی، فسفر قابل استفاده با روش زرد و عصاره‌گیر آمونیوم مولیبدیت و آمونیوم وانادیت (چاپمن و پرت، 1961)، نیتروژن کل به روش میکرو کلدال (برمنر، 1996)، و عناصر کم مصرف شامل آهن، منگنز، روی، مس، و کادمیم با عصاره‌گیری با DTPA (لیندزی و نورول، 1978) و قرائت به‌وسیله دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. داده‌های بدست آمده به‌وسیله نرم افزارهای SAS و با استفاده از آزمون دانکن تجزیه و تحلیل شد.

نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک و بقایای بکار برده شده در جداول 1 و 2 آورده شده است. خاک مورد استفاده از نظر بافت متوسط (لوم رسی) بوده و فاقد مشکل شوری یا قلیائیت و خاکی آهکی میباشد و از نظر کادمیم قابل استفاده نیز در سطح پائین بوده و برای اعمال تیمارها مناسب به نظر می‌رسد.

وزن خشک اندام هوایی ذرت

داده‌های جدول 3 نشان می‌دهد با افزایش سطوح کادمیم در هر سطحی از بقایای گندم عملکرد کاهش می‌یابد اما در مورد بقایای یونجه کاربرد کادمیم ابتدا موجب کاهش و سپس موجب افزایش عملکرد شده است هر چند این تغییرات معنی‌دار نبود. به عبارت دیگر در سطوح بالای کادمیم، کاربرد بقایای یونجه اثر مثبتی بر عملکرد داشته است.

مقایسه میانگین وزن خشک اندام هوایی ذرت در خاک تیمار شده با بقایای گندم یا یونجه نشان می‌دهد که میانگین وزن خشک اندام هوایی ذرت در خاک تیمار شده با بقایای یونجه بطور معنی‌داری (10/3 درصد) نسبت به بقایای گندم بیشتر بوده است.

در خاک تیمار شده با بقایای گندم کاربرد سطوح مختلف کادمیم و سطح یک درصد بقایای گندم اثر معنی‌داری بر وزن خشک اندام هوایی ذرت نداشتند اما افزایش بقایای گندم به میزان 2 درصد وزنی سبب کاهش معنی‌دار (24/8 درصد) میانگین وزن خشک ذرت نسبت به تیمار شاهد (بدون کاربرد بقایا) شد و افزایش بقایای گندم در این سطح نه تنها عملکرد را افزایش نداده بلکه سبب کاهش عملکرد گردید. در خاک تیمار شده با بقایای یونجه، کاربرد سطوح کادمیم و سطوح بقایا اثر معنی‌داری بر وزن خشک اندام هوایی ذرت نداشتند. کمترین مقدار وزن خشک (9/90 گرم در گلدان) مربوط به تیمار سطح 25 میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک و 2 درصد بقایای گندم و بیشترین مقدار (14/9 گرم در گلدان) مربوط به تیمار سطح شاهد کادمیم و در خاک تیمار شده با 2 درصد بقایای یونجه می‌باشد (جدول 3).

نوربخش (1385) با بررسی اثرات بافت و کادمیم خاک بر روی رشد گندم، کاهو و تربچه گزارش کرد که کاربرد سطوح بالاتر از 10 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک کادمیم سبب کاهش رشد و عملکرد این گیاهان گردید. کاربرد بقایا در سطح خاک اغلب موجب افزایش عملکرد گیاه زراعی می‌گردد، ولی در برخی شرایط، به دلایل مختلفی چون کاهش تهویه خاک و سرد و مرطوب شدن آن و کاهش قابلیت دسترسی عناصرغذایی برای گیاه، موجب کاهش عملکرد گیاه می‌گردد (یونگر و مک کالا، 1980). علیجانی و همکاران (1390) با بررسی تأثیر بقایای ذرت بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد گندم بیان کردند با توجه به اینکه کاربرد مقادیر مناسبی از بقایا موجب افزایش درصد کربن آلی خاک می‌شود و در صورتی که بتوان افت کوتاه مدت عملکرد ناشی از کاربرد بقایا را تحمل کرد، در بلند مدت عملکرد مطلوبی به دست خواهد آمد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 1- برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

شن	رس	بافت خاک	FC	EC_e (dSm^{-1})	PH	OM (%)	CEC ($cmol^+kg^{-1}$)	N (%)	P	K	Fe	Mn	Zn	Cu	Cd
(%)											($mgkg^{-1}$)				
42	28	لوم رسی	18	0/35	7/7	1/3	15	%6	18	620	3/5	11/5	0/4	1/5	0/2

جدول 2- برخی از ویژگی‌های بقایای گندم و یونجه

بقایا	N	C	C/N	P	K	Fe	Mn	Zn	Cu	Cd
	(%)					($mgkg^{-1}$)				
D,k[i	1/2	15	12/9	500	500	114	16	13	1/3	0/8
گندم	0/8	62	77/5	2700	662	42	15	10	0/5	0/3

جدول 3- اثر نوع، سطوح بقایای آلی، و سطوح کادمیم بر وزن خشک اندام هوایی ذرت (گرم در گلدان)

میانگین	سطوح کادمیم ($mg.kg^{-1}$)			سطوح بقایا (درصد وزنی)
	25	15	شاهد	
		گندم		
13/7 A	12/9 a	13/8 a	14/5 a*	0
13/8 A	13/5 a	13/8 a	14/1 a	1
10/3 B	9/90 b	10/3 b	10/7 b	2
12/6 B	12/1 C	12/6 C	13/1 BC	میانگین
		یونجه		
13/7 A	12/9 a	13/8 a	14/5 a	0
13/9 A	14/5 a	13/4 a	13/8 a	1
14/3 A	13/6 a	13/3 a	14/9 a	2
13/9 A	13/7 AB	13/8 AB	14/4 A	میانگین

* اعدادی که در هر ردیف یا ستون دارای یک حرف مشترک کوچک یا بزرگ هستند از لحاظ آماری در سطح 5 درصد با آزمون دانکن معنی‌دار نمی‌باشند.

غلظت و جذب کل آهن به‌وسیله اندام هوایی ذرت

داده‌های جدول 4 نشان می‌دهد که در خاک تیمار شده با بقایای گندم یا یونجه هیچ یک از تیمارها اثر معنی‌داری بر غلظت آهن در اندام هوایی ذرت نداشتند و این دو نوع بقایا نیز تفاوت معنی‌داری در این صفت با یکدیگر نشان ندادند. افزایش سطوح کادمیم در شرایط بدون کاربرد بقایا سبب کاهش غیر معنادار غلظت اهن گردید که با نتایج ونگ و همکاران (1984) مطابقت دارد آنها دلیل کاهش غلظت آهن با افزایش غلظت کادمیم در ذرت را ناشی از اثرات آنتاگونیسمی این دو عنصر گزارش کردند. افزایش سطوح کادمیم در حضور بقایای گندم، افزایش غیر معنا دار غلظت آهن اندام هوایی را به دنبال داشت در حالیکه در حضور بقایای یونجه ابتدا سبب افزایش و سپس کاهش غلظت آهن گردید که بهتر است با توجه به عملکرد گیاه و با بررسی جذب آهن بررسی گردد. افزایش سطوح هر دو بقایای گندم و یونجه سبب کاهش غیر معنادار غلظت آهن در گیاه گردید. بیشترین غلظت آهن در اندام هوایی ذرت (139 میکروگرم در گرم اندام هوایی) در سطح 25 میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک و 1 درصد بقایای گندم مشاهده شد. کمترین غلظت آهن در سطح شاهد کادمیم و 1 درصد بقایای گندم یا یونجه (به ترتیب 73/5 و 73/4 میکروگرم در گرم اندام هوایی) مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول 4).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 4- اثر نوع، سطوح بقایای آلی، و سطوح کادمیم بر غلظت آهن در اندام هوایی ذرت (میکروگرم در گرم اندام هوایی)

سطوح بقایا (درصد وزنی)	سطوح کادمیم ($mg.kg^{-1}$)			میانگین
	شاهد	15	25	
	گندم			
0	130 ab*	123 ab	115 ab	123 A
1	73/5 b	86/7 ab	139 a	99/7 A
2	84/1 ab	92/6 ab	113 ab	96/5 A
میانگین	96/1 A	101 A	122 A	106 A
	یونجه			
0	130 ab	123 ab	115 ab	123 A
1	73/4 b	117 ab	115 ab	102 A
2	90/4 ab	121 ab	91/6 ab	101 A
میانگین	98/1 A	120 A	107 A	108 A

* اعدادی که در هر ردیف یا ستون دارای یک حرف مشترک کوچک یا بزرگ هستند از لحاظ آماری در سطح 5 درصد با آزمون دانکن معنی‌دار نمی‌باشند.

داده‌های جدول 5 نشان می‌دهد که در خاک تیمار شده با بقایای گندم، کاربرد سطوح کادمیم و سطح یک درصد بقایای گندم اثر معنی‌داری بر میانگین جذب کل آهن اندام هوایی ذرت در مقایسه با تیمار شاهد نداشتند اما افزودن بقایای گندم به میزان 2 درصد وزنی سبب کاهش معنی‌دار (42/6 درصد) میانگین جذب کل آهن اندام هوایی ذرت نسبت به تیمار شاهد شد. در خاک تیمار شده با بقایای یونجه کاربرد سطوح کادمیم و سطوح مختلف بقایای یونجه اثر معنی‌داری بر میانگین جذب کل آهن اندام هوایی ذرت نداشتند. مقایسه میانگین جذب کل آهن اندام هوایی ذرت در خاک تیمار شده با بقایای گندم یا یونجه نشان می‌دهد که بطور کلی کاربرد این دو نوع بقایا تفاوت معنی‌داری در این صفت با یکدیگر نداشتند.

بیشترین مقدار جذب کل آهن (1918 میکروگرم در گلدان) مربوط به تیمار شاهد (بدون کاربرد بقایای گندم یا یونجه) و سطح شاهد کادمیم و کمترین مقدار جذب (876 میکروگرم در گلدان) مربوط به تیمار 2 درصد بقایای گندم و سطح شاهد کادمیم بود (جدول 5). با دقت در روند اثرات سه تایی موجود در متن جدول 5، مشاهده می‌شود که کاربرد هر دو نوع بقایا، روند کاهش جذب آهن در اثر افزایش سطوح کادمیم در شرایط عدم حضور بقایا را تغییر داده و به روند افزایشی تبدیل نموده (بجز سطح 2 درصد یونجه) که نشان می دهد کاربرد بقایا اثرات سوء کادمیم بر جذب کل آهن را کاهش داده است هرچند تفاوت معناداری از نظر آماری مشاهده نشد.

جدول 5- اثر نوع، سطوح بقایای آلی، و سطوح کادمیم بر جذب کل آهن به‌وسیله اندام هوایی ذرت (میکروگرم در گلدان)

سطوح بقایا (درصد وزنی)	سطوح کادمیم ($mg.kg^{-1}$)			میانگین
	شاهد	15	25	
	گندم			
0	1918 a*	1688 a-d	1478 a-d	1695 A
1	1039 bcd	1187 a-d	1869 ab	1365 AB
2	876 d	926 cd	1118 a-d	973 B
میانگین	1278 A	1267 A	1489 A	1344 A
	یونجه			
0	1918 a	1688 a-d	1478 a-d	1695 A
1	1017 cd	1573 a-d	1657 a-d	1416 A
2	1378 a-d	1737 abc	1238 a-d	1451 A
میانگین	1438 A	1666 A	1458 A	1520 A

* اعدادی که در هر ردیف یا ستون دارای یک حرف مشترک کوچک یا بزرگ هستند از لحاظ آماری در سطح 5 درصد با آزمون دانکن معنی‌دار نمی‌باشند.

www.SID.ir

Archive of SID

غلظت و جذب کل منگنز به‌وسیله اندام هوایی ذرت

داده‌های جدول 6 نشان می‌دهد که در خاک های تیمار شده با بقایای گندم و یونجه، افزایش سطوح کاربردی کادمیم تفاوت معنی‌داری در میانگین غلظت منگنز اندام هوایی ذرت ایجاد نکرد اما با افزودن سطوح 1 و 2 درصد بقایای گندم و یونجه، میانگین غلظت منگنز اندام هوایی ذرت نسبت به تیمار شاهد کاهش معنی‌داری یافت. مقایسه کلی اثر کاربرد بقایای گندم و یونجه نشان می‌دهد که میانگین غلظت منگنز در اندام هوایی ذرت کشت شده در خاک تیمار شده با بقایای یونجه نسبت به خاک تیمار شده با بقایای گندم بطور معنی‌داری کمتر بود (6/4 درصد).

جدول 6- اثر نوع، سطوح بقایای آلی، و سطوح کادمیم بر غلظت منگنز در اندام هوایی ذرت (میکروگرم در گرم اندام هوایی)

سطوح بقایا (درصد وزنی)	سطوح کادمیم ($mg.kg^{-1}$)			میانگین
	شاهد	15	25	
		گندم		
0	75/9 a*	75/3 ab	73/9 abc	75/0 A
1	59/9 f	61/8 ef	64/9 def	62/2 C
2	66/8 b-f	65/6 c-f	71/5 a-d	68/0 B
میانگین	67/5 AB	67/6 AB	70/1 A	68/4 A
		یونجه		
0	75/9 a	75/3 ab	73/9 abc	75/0 A
1	69/2 a-e	70/4 a-d	60/4 f	66/6 B
2	51/2 g	49/0 g	50/5 g	50/3 D
میانگین	65/4 ABC	64/9 BC	61/6 C	64/0 B

* اعدادی که در هر ردیف یا ستون دارای یک حرف مشترک کوچک یا بزرگ هستند از لحاظ آماری در سطح 5 درصد با آزمون دانکن معنی‌دار نمی‌باشند.

بیشترین میانگین غلظت منگنز در اندام هوایی ذرت (75/9 میکروگرم در گرم اندام هوایی) مربوط به تیمار بدون افزودن بقایای گندم یا یونجه و سطح شاهد کادمیم و کمترین غلظت (49/0 میکروگرم در گرم اندام هوایی) مربوط به تیمار 2 درصد بقایای یونجه و سطح 15 میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک می‌باشد (جدول 6).

داده‌های جدول 7 نشان می‌دهد که افزایش سطوح کادمیم کاربردی در تمامی تیمارها سبب کاهش غیر معنادار جذب منگنز توسط گیاه شد البته در سطح 25 میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم خاک و در حضور بقایای یونجه این کاهش نسبت به سطح 5 میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم معنادار و به میزان 10/6 درصد بود (جدول 7). ملک زاده و همکاران (2012) گزارش کردند که افزایش سطوح کادمیم بصورت معنی‌داری موجب کاهش جذب کل منگنز در ذرت شد. ساندایو و همکاران (2001) دریافتند کادمیم، جذب کل منگنز را در برگ نخود کاهش داد. لیو و همکاران (2006) نشان دادند که جذب کل منگنز به‌وسیله ذرت با افزایش غلظت کادمیم به طور معنی‌داری کاهش یافت.

با کاربرد بقایای گندم و یونجه به میزان 1 و 2 درصد، میانگین جذب کل منگنز اندام هوایی ذرت نسبت به سطح شاهد کاهش یافت. مقایسه کلی اثر کاربرد بقایای گندم و یونجه بر جذب کل منگنز اندام هوایی ذرت نشان داد که به طور کلی نوع بقایای افزوده شده به خاک اثر معنی‌داری بر میانگین جذب کل منگنز نداشت. بیشترین مقدار جذب کل منگنز (1104 میکروگرم در گلدان) مربوط به تیمار شاهد (سطح شاهد کادمیم و بدون بقایای گندم یا جو) و کمترین مقدار جذب (672 میکروگرم در گلدان) مربوط به تیمار 2 درصد بقایای گندم و سطح 15 میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک بود (جدول 7).

غلظت و جذب کل روی به‌وسیله اندام هوایی ذرت

داده‌های جدول 8 نشان می‌دهد که در خاک تیمار شده با بقایای گندم، کاربرد سطوح کادمیم و سطح یک درصد بقایای گندم اثر معنی‌داری بر میانگین غلظت

www.SID.ir

Archive of SID

روی اندام هوایی ذرت در مقایسه با تیمار شاهد نداشتند اما افزودن بقایای گندم به میزان 2 درصد وزنی سبب افزایش معنی‌دار (44/4 درصد) میانگین غلظت روی اندام هوایی ذرت نسبت به تیمار شاهد شد. در خاک تیمار شده با بقایای یونجه، کاربرد سطوح کادمیم و سطوح بقایا اثر معنی‌داری بر میانگین غلظت روی اندام هوایی ذرت نداشتند. مقایسه کلی اثر کاربرد بقایای گندم و یونجه نشان می‌دهد که میانگین غلظت روی در اندام هوایی ذرت کشت شده در خاک تیمار شده با بقایای یونجه نسبت به خاک تیمار شده با بقایای گندم بطور معنی‌داری کمتر بود (9 درصد) که می تواند به دلیل افزایش بیشتر عملکرد ذرت توسط یونجه نسبت به کاربرد گندم و اثر رقت باشد. بیشترین میانگین غلظت روی در اندام هوایی ذرت (73/6 میکروگرم در گرم اندام هوایی) مربوط به تیمار 2 درصد بقایای گندم و سطح 25 میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک و کمترین غلظت (41/1 میکروگرم در گرم اندام هوایی) مربوط به تیمار 1 درصد بقایای یونجه و سطح 25 میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک بود (جدول 8). رضایی نژاد و افیونی (1379) گزارش کردند که کودهای آلی سبب افزایش معنی‌دار غلظت روی در اندام هوایی ذرت می‌گردند. که در این پژوهش نیز این روند ها قابل مشاهده است اما در این سطوح کادمیم و بقایای آلی معنی‌دار نمی‌باشند و شاید در سطوح بالاتر معنی‌دار شوند.

داده‌های جدول 9 نشان می‌دهد که با افزایش سطوح کادمیم در شرایط بدون کاربرد بقایای آلی، جذب کل روی کاهش می‌یابد هر چند از لحاظ آماری تفاوت معناداری مشاهده نمی‌شود. ملک زاده و همکاران (2012) گزارش کردند که با افزایش سطوح کادمیم به مقدار 100 و 200 میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک جذب کل روی در ذرت بصورت معنی‌داری کاهش می‌یابد. ونگ و همکاران (2007) نیز گزارش کردند که با افزایش کادمیم، جذب کل منگنز و روی به‌وسیله گیاه و تجمع آن ها در اندام هوایی گیاه به طور معنی‌داری در دو رقم ذرت کاهش یافت.

جدول 7- اثر نوع، سطوح بقایای آلی، و سطوح کادمیم بر جذب کل منگنز به‌وسیله اندام هوایی ذرت (میکروگرم در گلدان)

سطوح بقایا (درصد وزنی)	سطوح کادمیم ($mg.kg^{-1}$)			میانگین
	شاهد	15	25	
	گندم			
0	1104 a*	1037 ab	957 abc	1033 A
1	843 cde	849 cde	877 cd	857 B
2	710 ef	672 f	709 ef	697 C
میانگین	886 AB	853 B	848 B	862 A
	یونجه			
0	1104 a	1037 ab	957 abc	1033 A
1	957 abc	941 bc	873 cd	924 B
2	757 def	703 ef	687 f	715 C
میانگین	939 A	894 AB	839 B	891 A

* اعدادی که در هر ردیف یا ستون دارای یک حرف مشترک کوچک یا بزرگ هستند از لحاظ آماری در سطح 5 درصد با آزمون دانکن معنی‌دار نمی‌باشند.

با افزایش سطوح کادمیم در خاک تیمار شده با بقایای گندم یا یونجه هیچ یک از تیمارها اثر معنی‌داری بر میانگین جذب کل روی اندام هوایی ذرت نداشتند و این دو نوع بقایا نیز تفاوت معنی‌داری در این صفت با یکدیگر نشان ندادند. بطور کلی میانگین مقادیر جذب شده روی در تیمارهایی که بقایای یونجه به آنها افزوده شده بود (بجز سطح 25 میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک) نسبت به تیمارهایی که بقایای گندم افزوده شده یا بدون ماده آلی بودند، بیشتر بود هر چند از نظر آماری معنادار نبودند.

www.SID.ir

Archive of SID

غلظت و جذب کل مس به‌وسیله اندام هوایی ذرت

داده‌های جدول 10 نشان می‌دهد که در خاک تیمار شده با بقایای گندم، کاربرد سطوح کادمیم و سطح یک درصد بقایای گندم اثر معنی‌داری بر میانگین غلظت مس اندام هوایی ذرت در مقایسه با تیمار شاهد نداشتند اما افزودن بقایای گندم به میزان 2 درصد وزنی سبب کاهش معنی‌دار (16/8 درصد) میانگین غلظت مس اندام هوایی ذرت نسبت به تیمار شاهد شد. در خاک تیمار شده با بقایای یونجه نیز کاربرد سطوح کادمیم و سطح یک درصد بقایای یونجه اثر معنی‌داری بر میانگین غلظت مس اندام هوایی ذرت در مقایسه با تیمار شاهد نداشتند اما افزودن بقایای یونجه به میزان 2 درصد وزنی سبب کاهش معنی‌دار (17/9 درصد) میانگین غلظت مس اندام هوایی ذرت نسبت به تیمار شاهد شد. مقایسه کلی اثر کاربرد بقایای گندم و یونجه بر میانگین غلظت مس اندام هوایی ذرت نشان داد که به طور کلی نوع بقایای افزوده شده به خاک اثر معنی‌داری بر این صفت نداشت. بیشترین غلظت مس اندام هوایی گیاه (9/13 میکروگرم در گرم اندام هوایی) مربوط به خاک بدون کاربرد بقایای گندم یا یونجه و سطح 25 میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک بوده که می‌تواند به دلیل کاهش وزن خشک ذرت باشد و بهتر است با توجه به جذب گیاهی تفسیر شود و کمترین میانگین غلظت مس اندام هوایی ذرت (6/02 میکروگرم در گرم اندام هوایی) مربوط به تیمار 2 درصد بقایای یونجه و سطح 25 میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک می‌باشد (جدول 10).

جدول 8- اثر نوع، سطوح بقایای آلی، و سطوح کادمیم بر غلظت روی در اندام هوایی ذرت (میکروگرم در گرم اندام هوایی)

سطوح بقایا (درصد وزنی)	سطوح کادمیم ($mg.kg^{-1}$)			میانگین
	شاهد	15	25	
	گندم			
0	47/7 cd*	45/3 d	46/2 cd	46/4 B
1	49/1 cd	47/1 cd	53/5 bcd	49/9 B
2	65/9 ab	61/6 abc	73/6 a	67/0 A
میانگین	54/3 AB	51/3 AB	57/8 A	54/4 A
	یونجه			
0	47/7 cd	45/3 d	46/2 cd	46/4 B
1	53/1 bcd	56/7 bcd	41/1 d	50/3 B
2	52/6 bcd	49/0 cd	54/2 bcd	51/9 B
میانگین	51/2 AB	50/3 AB	47/2 B	49/5 B

* اعدادی که در هر ردیف یا ستون دارای یک حرف مشترک کوچک یا بزرگ هستند از لحاظ آماری در سطح 5 درصد با آزمون دانکن معنی‌دار نمی باشند.

جدول 9- اثر نوع، سطوح بقایای آلی، و سطوح کادمیم بر جذب کل روی به‌وسیله اندام هوایی ذرت (میکروگرم در گلدان)

سطوح بقایا (درصد وزنی)	سطوح کادمیم ($mg.kg^{-1}$)			میانگین
	شاهد	15	25	
	گندم			
0	692 a*	622 a	597 a	637 A
1	692 a	648 a	725 a	689 A
2	700 a	620 a	727 a	682 A
میانگین	695 A	630 A	683 A	669 A
	یونجه			
0	692 a	622 a	597 a	637 A
1	735 a	763 a	596 a	698 A
2	779 a	699 a	734 a	737 A
میانگین	735 A	695 A	642 A	691 A

* اعدادی که در هر ردیف یا ستون دارای یک حرف مشترک کوچک یا بزرگ هستند از لحاظ آماری در سطح 5 درصد با آزمون دانکن معنی‌دار نمی‌باشند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 10- اثر نوع، سطوح بقایای آلی، و سطوح کادمیم بر غلظت مس در اندام هوایی ذرت (میکروگرم در گرم اندام هوایی)

سطوح بقایا (درصد وزنی)	سطوح کادمیم ($mg.kg^{-1}$)			میانگین
	شاهد	15	25	
	گندم			
0	7/13 a-d*	8/53 ab	9/13 a	8/27 A
1	6/67 bcd	8/12 a-d	7/74 a-d	7/51 AB
2	7/60 a-d	6/05 cd	6/98 bcd	6/88 B
میانگین	7/13 A	7/57 A	7/95 A	7/55 A
	یونجه			
0	7/13 a-d	8/53 ab	9/13 a	8/27 A
1	7/73 a-d	8/13 abc	6/35 cd	7/40 AB
2	6/93 bcd	7/43 a-d	6/02 d	6/79 B
میانگین	7/27 A	8/03 A	7/17 A	7/49 A

* اعدادی که در هر ردیف یا ستون دارای یک حرف مشترک کوچک یا بزرگ هستند از لحاظ آماری در سطح 5 درصد با آزمون دانکن معنی‌دار نمی باشند.

داده‌های جدول 11 نشان می‌دهد که در خاک تیمار شده با بقایای گندم، کاربرد سطوح کادمیم و سطح یک درصد بقایای گندم اثر معنی‌داری بر میانگین جذب کل مس اندام هوایی ذرت در مقایسه با تیمار شاهد نداشتند اما افزودن بقایای گندم به میزان 2 درصد وزنی سبب کاهش معنی‌دار (37/5 درصد) میانگین جذب کل مس اندام هوایی ذرت نسبت به تیمار شاهد شد. در خاک تیمار شده با بقایای یونجه نیز کاربرد سطوح کادمیم و سطح یک درصد بقایای یونجه اثر معنی‌داری بر میانگین جذب کل مس اندام هوایی ذرت در مقایسه با تیمار شاهد نداشتند اما افزودن بقایای یونجه به میزان 2 درصد وزنی سبب کاهش معنی‌دار (14/1 درصد) میانگین جذب کل مس اندام هوایی ذرت نسبت به تیمار شاهد شد (جدول 11).

جدول 11- اثر نوع، سطوح بقایای آلی، و سطوح کادمیم بر جذب کل مس به‌وسیله اندام هوایی ذرت (میکروگرم در گلدان)

سطوح بقایا (درصد وزنی)	سطوح کادمیم ($mg.kg^{-1}$)			میانگین
	شاهد	15	25	
	گندم			
0	104 ab*	117 a	118 a	113 A
1	93/9 abc	112 a	105 ab	104 AB
2	80/5 bcd	61/4 d	69/8 cd	70/6 C
میانگین	92/7 B	96/9 AB	97/6 AB	95/7 B
	یونجه			
0	104 ab	117 a	118 a	113 A
1	107 ab	109 ab	91/2 abc	102 AB
2	103 ab	106 ab	81/2 bcd	97/0 B
میانگین	105 AB	111 A	96/8 AB	104 A

* اعدادی که در هر ردیف یا ستون یک حرف مشترک کوچک یا بزرگ دارند از لحاظ آماری در سطح 5 درصد با آزمون دانکن معنی‌دار نمی‌باشند.

مقایسه کلی اثر کاربرد بقایای گندم و یونجه نشان می‌دهد که میانگین جذب کل مس اندام هوایی ذرت کشت شده در خاک تیمار شده با بقایای یونجه نسبت به خاک تیمار شده با بقایای گندم بطور معنی‌داری بیشتر بود

www.SID.ir

Archive of SID

(8/7 درصد) و تیمارهای حاوی بقایای یونجه نسبت به بقایای گندم در جذب مس برتری داشتند اما در هر دو صورت کاربرد بقایا جذب کل مس را نسبت به شرایط بدون کاربرد بقایا کاهش داده بود. بیشترین میزان جذب کل مس به‌وسیله اندام هوایی ذرت (118 میکروگرم در گلدان) مربوط به تیمار بدون کاربرد بقایای گندم یا یونجه و سطح 25 میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک بوده و کمترین مقدار جذب کل مس (61/4 میکروگرم در گلدان) مربوط به تیمار 2 درصد بقایای گندم و سطح 15 میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک می‌باشد (جدول 11). رضوی طوسی (1380) بیان کرد عدم تأثیر کمپوست بر غلظت مس در اسفناج و برنج با وجود تأثیر آن در خاک را می توان به عدم پویایی آن در خاک آهکی و برهمکنش آن با منگنز و آهن در گیاه نسبت داد. لیو و همکاران (2006) نشان دادند که افزایش غلظت کادمیم بر محتوای مس گیاه تأثیر معنی‌داری نداشت.

نتیجه‌گیری کلی

نوع بقایا و سطوح مختلف کاربرد آنها می تواند اثرات متفاوتی بر رشد و عملکرد و جذب عناصر غذایی کم مصرف توسط ذرت و در حضور آلودگی کادمیم داشته باشد. کاربرد بقایا در بلند مدت می تواند اثرات مطلوبی بر افزایش عملکرد داشته باشد اما در زمان های کوتاه و بخصوص بقایای دارای C:N بالا مثل گندم می توانند موجب کاهش عملکرد گردند. کاربرد بقایای آلی با درصد مشخص، می تواند به کاهش اثرات سوء کادمیم بر عملکرد و جذب عناصر کم مصرف کمک کند. نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد هر دو نوع بقایای گندم و یونجه سبب کاهش اثر سوء کادمیم بر جذب کل آهن اندام هوایی ذرت شد و کاربرد بقایای یونجه نسبت به کاربرد بقایای گندم از بسیاری جهات برتری داشت. پیشنهاد می شود این تحقیق با سطوح بالاتری از کادمیم و در مدت زمان طولانی تری (جهت بررسی اثر بقایا) تکرار شود تا روند معنی داری آن بر جذب عناصر کم مصرف مشخص تر گردد.

فهرست منابع :

1. ابطحی، ع.، ن. ع. کریمیان، و م. صلحی. 1370. گزارش مطالعات خاکشناسی نیمه تفصیلی اراضی منطقه باجگاه- استان فارس، بخش خاکشناسی، دانشکده کشاورزی. دانشگاه شیراز.
2. حلاج نیا، ا.، ا. لکزیان، غ. حق نیا و ع. رمضانیان. 1388. تأثیر آهن و منگنز بر جذب کادمیم در آفتابگردان و ذرت، آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). 23(2): 30-37.
3. رجائی، م. 1377. ارزیابی گلخانه‌ای تأثیر متقابل کمپوست و نیتروژن بر رشد و ترکیب شیمیایی گوجه فرنگی در خاک آهکی. پایان نامه کارشناسی ارشد. بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی. دانشگاه شیراز.
4. رضایی نژاد، ی. و م. افیونی. 1379. اثر مواد آلی بر خواص شیمیایی خاک، جذب عناصر به‌وسیله ذرت و عملکرد آن. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. 4: 19-28.
5. رضوی طوسی، ا. 1380. برهمکنش کمپوست، شیرابه کمپوست و منگنز بر رشد و ترکیب شیمیایی اسفناج و برنج. پایان نامه کارشناسی ارشد بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
6. کریمیان، ن. ع. (مترجم). 1371. شیمی خاک، جلد اول: مبانی. تهران، مرکز نشر دانشگاهی.
7. کوچکی، ع.، غ. نخ فروش و خ. ظریف کتابی (مترجمان). 1376. کشاورزی ارگانیک. انتشارات مشهد.
8. نوربخش، ش. 1385. بررسی اثرات بافت و کادمیم خاک بر روی رشد چند گیاه. مجموعه مقالات همایش خاک، محیط زیست و توسعه پایدار، انتشارات پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، صفحات 183-184.
9. Benavides, M.P., S.M. Gallego, and M.L. Tomaro. 2005. Cadmium toxicity in plants. Braz. J. Plant Physiol. 17: 21–34.
10. Bremner, J.M. 1996. Nitrogen total. In: Methods of Soil Analysis. D. L. Sparks et al. (eds) part III, 3rd ed. Am. Soc. Agron. Inc., Madison, WI. pp. 1085-1122.

www.SID.ir

Archive of SID

11. Chapman, H.D., and D.F. Pratt. 1961. Methods of Analysis for Soil, Plant, and Water. Univ. Calif. Div. Agric. Sci. pp. 169-170.
12. Frossard, R. 1993. Contaminant uptake by plants. *In:* Schulin, R. et al. (Eds.), Soil Monitoring, Birkhauser Verlag, Basel. pp. 7-24.
13. Gee, G.W., and J.W. Bauder. 1986. Particle size analysis, hydrometer method. In: Methods of Soil Analysis. D. L. Sparks et al. (eds) part III, 3rd ed. Am. Soc. of Agron. Inc., Madison, WI. pp. 383- 411.
14. Li Yang, Z., Ch. Jainjum, and Ch. Haiyan. 2005. Hyperaccumulation of Pb, Zn and Cd in herbaceous grown on lead- Zinc minig are in Yunnan, China. Environ Inter. 31: 755-762.
15. Lindsay, W.L. and W.A. Norvell. 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.
16. Liu, D.H., M. Wang, J.H. Zon, and W.S. Jiang. 2006. Uptake and accumulation of cadmium and some nutrient ions by root and shoots of maize *(Zea mays .L)*. Pakistan J. Bot. 38: 701 – 709.
17. Nelson, D.W., and L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Methods of Soil Analysis. D. L. Sparks et al. (eds) part III, 3rd ed. Am. Soc. of Agron. Inc., Madison, WI. pp. 961-1010.
18. Olsen, S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe, and L.A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate USDA Circ. No. 939.
19. Malekzadeh, E., H.A. Alikhani, G.R. Savaghebi Firoozabadi, and M. Zarei. 2012. Bioremediation of cadmium-contaminated soil through cultivation of maize inoculated with plant growth–promoting rhizobacteria. Bioremediation J. 16(4): 204–211.
20. Rhoades, J.D., 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: Methods of Soil Analysis. D. L. Sparks et al. (eds) part III, 3rd ed. Am. Soc. of Agron. Inc., Madison, WI. pp. 417-436.
21. Sandaio, L.M., H.C. Dalurzo, M. Gomez, M.C. Romero-Puertas, and L.A. Del Rio. 2001. Cadmium-induced changes in the growth and oxidation metabolism of pea plants. J. Exp. Bot. 52(364): 2115-2126.
22. Sumner, M.E., and W.P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. In: Methods of Soil Analysis. D. L. Sparks et al. (eds) part III, 3rd ed. Am. Soc. of Agron. Inc., Madison, WI. pp. 1201- 1229.
23. Thomas, G.W., 1996. Soil pH and soil acidity. In: Methods of Soil Analysis. D. L. Sparks et al. (eds) part III, 3rd ed. Am. Soc. of Agron. Inc., Madison, WI. pp. 475- 490.
24. Torres, E., A. Cid, C. Herrero, and J. Abalde. 2000. Effect of cadmium on growth, ATP content, carbon fixation and ultra structure in the marine diatom *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin. Water, Air, Soil Pollution. 117: 1–14.
25. Unger, P.W., and T.M. MC Calla. 1980. Conservation tillage systems. Adv. Agron. 33: 2-53.
26. Wang, M., J. Zou, X. Dnan, W. Jiang, and D. Liu. 2007. Cadmium accumulation and its effects on metal uptake in maize (*Zea mays .L*). Bioresource Technol. 98: 82-88.
27. Wong, M.K., G.K. Chuah, L.L. Koh, K.P. Ang and C.S. Hew. 1984. The uptake of cadmium by Brassica chinensis and its effect on plant zinc and iron distribution. Environ. Exp. Bot. 24: 189 –195.

www.SID.ir