نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۵، ص. ۵۲۱-۵۱۱

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 2, May.-Jun. 2016, p. 511-521

اثر گیاهان پیش‌کاشت بر شکل‌های شیمیایی مس در ریزوسفر و توده خاک و ارتباط آن با جذب مس بوسیله گندم

شهرزاد کبیری نژاد[۱*]- محمود کلباسی[۲]- امیر حسین خوشگفتار منش[۳]- مهران هودجی[۴]- مجید افیونی[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۷/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۴/۲۲

چکیده

گیاهان پیش‌کاشت می‌توانند نقش مهمی در حاصلخیزی خاک و چرخه عناصر کم‌مصرف در خاک داشته باشند. علاوه بر نقش آن‌ها بر افزایش غلظت عناصر کم‌مصرف در محلول خاک باید به نقش نوع و مقدار ترشحات ریشه‌ای در حضور مواد آلی متفاوت در ریزوسفر ریشه نیز توجه کرد. به منظور بررسی اثر پیش‌کاشت به همراه اثر ریزوسفر گندم (رقم بک کراس) بر شکل‌های شیمیایی مس در خاک، آزمایش مزرعه‌ای با طرح اسپلیت پلات در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تیمار شامل (سورگوم، شبدر، آفتابگردان، گلرنگ و شاهد) در خاک تحت کشت گندم انجام گردید. پس از برداشت پیش‌کاشت‌ها، گندم کشت شد. همزمان با برداشت گندم، نمونه‌های خاک (ریزوسفر و توده گندم) نیز برداشت شدند. نتایج نشان داد که پیش-کاشت‌ها سبب افزایش معنی‌دار غلظت کربن آلی محلول و مس قابل استخراج با DTPA شدند. تغییرات مذکور در تیمار شبدر بیشتر از سایر تیمارها و در ریزوسفر گندم بیشتر از توده خاک بود. مس کربناتی و باقیمانده تحت تأثیر پیش‌کاشت شبدر کاهش یافت. در حالی‌که اختلاف معنی‌دار بین ریزوسفر و توده خاک گندم مشاهده نشد. پیش‌کاشت‌ها (به جزء شبدر) مس پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز را افزایش دادند که در توده خاک بیشتر از ریزوسفر گندم بود. مس پیوند شده با مواد آلی در هر دو ناحیه توده و ریزوسفر گندم افزایش معنی‌دار یافت. پیش‌کاشت‌ها جذب مس در گندم را افزایش معنی‌دار دادند. شکل مس پیوند شده با مواد آلی با جذب مس در گندم همبستگی مثبت نشان داد.

واژه‌های کلیدی: جزءبندی، شبدر، غلظت مس، قابلیت جذب، منطقه ریشه

مقدمه

خاک‌های مناطق خشک دارای مقدار اندکی مواد آلی می باشند، این خاک‌ها عموماً آهکی و دارای pH قلیایی بوده در نتیجه بسیاری از گیاهان در این خاک‌ها با مشکل تغذیه عناصر کم مصرف بویژه آهن، روی، مس و منگنز رو به رو هستند. مس به عنوان یکی از عناصر کم‌مصرف برای گیاهان و حیوانات مطرح است که مقدار آن در خاک-ها بسیار کم (۳۰ ـ ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) (۱۹) و جذب آن در گیاهان به میزان کم صورت می‌گیرد (۳). از آنجا که مس تمایل شدید برای اتصال به ترکیبات آلی دارد (۴). کاهش در مقدار ماده آلی خاک می‌تواند به طور غیرمستقیم بر قابلیت دسترسی مس در خاک اثر بگذارد.

صرف نظر از نقش مواد آلی بر افزایش غلظت عناصر کم‌مصرف از طریق تاثیر آن‌ها در کمپلکس کردن و افزایش حلالیت عناصر کم-مصرف، باید به تاثیر ترشحات ریشه‌ای در حضور مواد آلی متفاوت در ریزوسفر ریشه نیز توجه کرد. در واقع ریزوسفر به عنوان ناحیه در برگیرنده ریشه‌های فعال، موثر بر خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی خاک در نظر گرفته می‌شود (۷). خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی متفاوت خاک ریزوسفری نسبت به خاک غیر ریزوسفری، می‌تواند بر اجزاء عناصر و قابلیت استفاده آن‌ها نیز موثر باشد (۹ و ۲۴). ترشحات ریشه (اسیدهای آلی) با وزن مولکولی کم توانایی تغییر حلالیت، جذب و آزادسازی، جزءبندی و حرکت عناصر غذایی را از طریق تشکیل کمپلکس و اکسید و احیا دارند (۸). به همین دلیل رهاسازی اسیدهای آلی از ترکیبات اصلی ترشحات ریشه، به عنوان مکانیسمی برای افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی در ریزوسفر شناخته شده است. با وجود آنکه محیط ریزوسفری در مقایسه با محیط غیر ریزوسفری بسیار کوچکتر است، اما معمولا غلظت این ترکیبات در خاک ریزوسفری بدلیل ترشحات ریشه‌ای و همچنین ترشحات میکروبی که در محیط ریزوسفری وجود دارد بیش از خاک غیر ریزوسفری است

۱ و ۴- فارغ التحصیل دکتری شیمی و حاصلخیزی خاک و دانشیار گروه خاکشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، اصفهان
(*- نویسنده مسئول: (Email: kabirinejad@khuisf.ac.ir
۲، ۳ و ۵- به ترتیب استاد، دانشیار و استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(۲۹)، به همین دلیل بخش قابل ملاحظه‌ای از تغییرات حاصل از رشد ریشه‌ها در شکل‌های شیمیایی فلزات معمولاً به خاک‌های ریزوسفری محدود می‌شود (۵). البته ریشه گیاهان مختلف در حضور مواد آلی متفاوت در ریزوسفر ترکیبات متفاوتی را ترشح می‌کنند. هاسالیهگلو و کوچیان (۱۰) گزارش نمودند که برخی از گیاهان قادر به آزاد نمودن فیتوسیدروفور از ریشه به خاک ریزوسفری می‌باشند که حلالیت روی و در نتیجه قابلیت دسترسی آن را برای جذب توسط گیاه افزایش می‌دهند. بنابراین در حضور ترشحات مختلف از ریشه گیاهان ممکن است قابلیت جذب عناصر کم‌مصرفی چون مس نیز متفاوت باشد.

اصولاً، آگاهی از مقدار کل فلزات در خاک، اطلاعات محدودی درباره‌ی رفتار شیمیایی و قابلیت جذب آن‌ها برای گیاه فراهم می‌کند. امروزه، جزءبندی متفاوت عناصر سنگین در بحث قابلیت استفاده آن‌ها بسیار مورد توجه است. به طور کلی، مقدار کل فلزات در خاک همبستگی خوبی با تحرک و جذب این عناصر توسط گیاه ندارد و جزءبندی شیمیایی نقش موثری در حلالیت و پتانسیل قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک‌ها بازی می‌کند (۱۳). به عبارت دیگر، قابلیت دسترسی فلزات برای گیاه به جزءبندی آن‌ها بستگی دارد (۱۱). همچنین به منظور ارزیابی بهتر قابلیت دسترسی فلزات، نیازمند تعیین وابستگی شیمیایی فلزات با دیگر اجزای خاک می‌باشیم (۱۳). شکل‌های تبادلی و محلول عناصر سنگین بیشترین قابلیت استفاده را برای گیاهان دارند و بخش‌های پیوند شده با مواد آلی نیز می‌توانند پتانسیل قابلیت استفاده برای گیاهان را داشته باشند (۲۲).

مس نیز در خاک می‌تواند با مواد آلی، رس‌ها، اکسیدهای آهن و منگنز، کربنات‌ها، فسفات ها و سولفیدها ترکیب شود که این شکل‌ها توانایی‌های متفاوتی برای نگهداری یا آزاد کردن مس را دارند و می‌توانند به طور چشمگیری بر پویایی مس و دسترسی زیستی آن اثر – گذارند (۱۲). در واقع قابلیت استفاده جزءهای مختلف عناصر برای گیاه متفاوت است و اغلب ارتباط زیادی با نحوه توزیع آن عنصر در اجزاء مختلف خاک دارد (۲ و ۲۸). بنابراین به نظر می‌رسد جداسازی اجزاء عناصر برای برآورد مقدار قابل استفاده آن‌ها حائز اهمیت باشد (۲۱).

از آنجایی که همه شکل‌های مس موجود در خاک نیز از قابلیت دسترسی و تحرک مشابهی برخوردار نیستند، استفاده از روش جزءبندی در خاک به منظور تخمین شکل‌هایی از مس که قابلیت دسترسی بیشتری دارند، حائز اهمیت است. بنابراین با اندازه‌گیری شکل‌های مختلف مس می‌توان چگونگی تبدیل این عنصر به شکل‌های مختلف را مورد مطالعه قرار داد و از این طریق قابلیت دسترسی آن را در خاک تعیین نمود. تاکنون پژوهشگران مختلف به بررسی شکل‌های شیمیایی مس و سایر عناصر در خاک (۱، ۶، ۹، ۱۳، ۱۸، ۲۹ و ۳۱) پرداخته‌اند.

اما با وجود تحقیقات فراوان صورت گرفته پیرامون شکل‌های مختلف مس در فاز جامد خاک، تاکنون در زمینه تاثیرات ناشی از کشت گیاهان مختلف پیش‌کاشت بر توزیع شکل‌های شیمیایی مس در فاز جامد خاک و نقش ترشحات ریشه‌ای گیاه گندم در ریزوسفر در مقایسه با توده خاک به ویژه در شرایط مزرعه مطالعه‌ای انجام نشده است. بنابراین به نظر می‌رسد، بررسی اثرات گیاهان پیش‌کاشت و بقایای آن بر شیمی مس، که کمتر مورد توجه محققین قرار گرفته است، ضروری می‌باشد. در این پژوهش اثر پیش‌کاشت چهار گیاه مختلف بر شکل‌های شیمیایی مس در فاز جامد خاک و همچنین اثر ترشحات ریشه‌ای گندم بر افزایش قابلیت دسترسی مس در خاک ریزوسفری و توده گندم مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین تعیین همبستگی بین این اشکال و مقدار جذب مس در گیاه گندم نیز از دیگر اهداف این مطالعه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

موقعیت و محل اجرای تحقیق

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی جهاد کشاورزی رودشت واقع در شرق شهر اصفهان با موقعیت جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و ۵۲ درجه و ۱۰دقیقه شرقی اجراء گردید. خاک منطقه در رده بندی (*Typic Haplocambid*) قرار دارد. میانگین دمای سالیانه هوا در ایستگاه تحقیقاتی رودشت ۱۶ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی ۱۲۶ میلی‌متر است. برخی ویژگی‌های خاک مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است.

تیمارها

گیاهان پیش‌کاشت شامل آفتابگردان (*Heliantus annus* L.)، سورگوم (*Sorghum bicolor* L.)، شبدر (*Trifolium pretense* L.) و گلرنگ (*Carthamus tinectirus* L.) همراه با یک تیمار شاهد (آیش) (در پلات‌های ابعاد ۳×۵ متر با فاصله ۰/۵ متر از یکدیگر) بودند.

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی خاک قبل از کاشت

Table 1- The results of chemical analysis of soil before planting

pH	EC	OM	$CaCO_3$	N	Olsen-P	NH4-OACK	Cu DTPA	Cu Total
	($dS\ m^{-1}$)		(%)			($mg\ kg^{-1}$)		
7.4	6.3	0.4	33	0.09	11	285	0.14	30.8

آماده‌سازی بستر کشت

ابتدا آماده سازی زمین برای کشت گیاهان پیش‌کاشت انجام شد و زمین بر اساس طرح بلوک کامل تصادفی بلوک‌بندی گردید. قبل از کشت گیاهان پیش‌کاشت بر اساس آزمون خاک فسفر از منبع کودی سوپرفسفات تریپل و به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و پتاسیم نیز از منبع کودی سولفات پتاسیم به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به کار برده شد. نیتروژن به شکل کود اوره در اوایل فصل رشد (پس از استقرار گیاه) و اواسط فصل رشد (برای کلیه گیاهان پیش‌کاشت به جزء شبدر) به صورت سرک و به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در هر مرحله استفاده شد. سپس ۴ تیمار گیاهان پیش‌کاشت شامل سورگوم، شبدر، آفتابگردان و گلرنگ به همراه تیمار شاهد (آیش) در اواخر فروردین ۱۳۸۹ کشت شد. پس از سبز شدن بذرها و استقرار گیاهان، بوته‌ها تنک شده تا فضای کافی برای رشد وجود داشته باشد. در مدت رشد گیاهان پیش‌کاشت، عملیات آبیاری با آب چاه (شوری یک دسی‌زیمنس بر متر) به صورت کرتی و وجین علف‌های هرز انجام شد. سپس برداشت گیاهان پیش‌کاشت پس از طی شدن مرحله رشد در اواخر مردادماه ۱۳۸۹ صورت گرفت.

کاشت گندم (رقم بک کراس) در پلات‌ها پس از برداشت گیاهان پیش‌کاشت صورت گرفت. مدیریت کودی بر اساس آزمون خاک و مدل توصیه کودی موسسه تحقیقات خاک و آب (۱۶) در این مرحله انجام شد. نیتروژن به شکل کود اوره در سه مرحله پنجه‌زنی، ساقه رفتن و شکم‌خوش (به خوشه رفتن) به صورت سرک و به مقدار ۱۵۰، ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب استفاده شد. در مدت رشد گیاه گندم عملیات آبیاری و وجین علف‌های هرز به صورت یکنواخت برای همه کرت‌ها انجام شد.

نمونه‌برداری

برداشت نمونه‌های خاک از دو ناحیه انجام شد. برداشت از خاک ریزوسفر گندم (قسمت خاک ریزوسفری شامل خاک چسبیده به ریشه گیاه می‌باشد که در اثر الک کردن ریشه‌های گیاه گندم به دست می‌آید) و خاک غیرریزوسفری (قسمت خاک غیرریزوسفری شامل خاک کنار بوته‌های گیاه که به ریشه نچسبیده و از ریشه فاصله دارد و در واقع هیچ ریشه‌ای از گیاه گندم در آن قسمت از خاک وجود ندارد) صورت گرفت (۲۰). لازم به ذکر است که جهت افزایش دقت و اعتبار نتایج حاصل از مطالعه، داده‌های هر تکرار از آزمایش در هر کدام از نواحی خاک ریزوسفری و توده، از میانگین سه نمونه خاک حاصل گردید. عمق برداشت نمونه خاک غیرریزوسفری متناسب با عمق نمونه‌برداری خاک ریزوسفری بود. تمام نمونه‌های خاک برداشت شده در برابر هوا خشک و به کمک چکش پلاستیکی کوبیده شدند. نمونه‌ها از الک ۲ میلی‌متری گذرانده شدند و در نهایت از خاک جمع‌آوری شده در زیر الک برای انجام تجزیه‌های شیمیایی استفاده گردید.

آنالیزهای شیمیایی

عصاره‌گیری متوالی به منظور جزءبندی مس با استفاده از روش تسیر و همکاران (۲۵) انجام شد. این روش به دلیل تعیین اجزاء مختلف ژئوشیمیایی و به دلیل عدم بزرگنمایی بعضی از بخش‌ها روش قابل قبولی ارزیابی شده است. تسیر و همکاران برای هر عنصر پنج جزء مختلف در نظر گرفتند. اشکال فلز در خاک شامل محلول، به آسانی قابل تبادل، پیوند شده با کربنات‌های خاک، متصل به اکسیدهای آهن و منگنز، وابسته به مواد آلی خاک و باقیمانده در ساختمان شبکه‌ای کانی‌ها می‌باشند. همچنین جهت کنترل صحت نتایج حاصل از عصاره‌گیری متوالی، غلظت کل مس پس از هضم نمونه‌ها با اسید نیتریک (۲۳) تعیین و با مجموع نتایج مراحل مختلف عصاره‌گیری متوالی مقایسه گردید.

تحلیل‌های آماری

این پژوهش به صورت آزمایش اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار انجام گردید. پلات اصلی رقم گندم و زیر پلات دو ناحیه خاک ریزوسفری و توده بود. تعداد ۱۰ پلات با ابعاد ۳×۵ متر با فاصله ۰/۵ متر از یکدیگر آماده شد. بنابراین، در مجموع با در نظر گرفتن ۳ تکرار ۳۰ پلات مورد آزمایش قرار گرفت. تجزیه‌های آماری مربوط به مقایسه تغییرات غلظت مس در ناحیه ریزوسفر و توده خاک گندم و مقایسه بین گیاهان مختلف پیش-کاشت با نرم افزار SAS در سطح احتمال ۱و ۵ درصد بصورت LSD آزمون انجام شد. رسم نمودارها با نرم افزار EXCEL صورت گرفت.

نتایج

اثر گیاهان پیش‌کاشت بر pH، غلظت کربن آلی محلول و مس قابل استخراج با DTPA

گیاهان پیش‌کاشت میانگین pH خاک را کاهش و غلظت کربن آلی محلول و مس قابل استخراج با DTPA را در مقایسه با شاهد بطور معنی‌داری افزایش دادند. کاهش در pH خاک و افزایش در غلظت کربن آلی محلول و مس قابل استخراج با DTPA در ریزوسفر گندم در مقایسه با توده خاک گندم بیشتر بود (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر گیاهان پیش‌کاشت بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک

Table 2- Comparison of the effects of preceding crops on some chemical properties of soil

تیمار (Treatment)	pH		DOC ($mg\ l^{-1}$)		Cu DTPA ($mg\ kg^{-1}$)	
	ریزوسفر (Rizhosphere)	توده (Bulk Soil)	ریزوسفر (Rizhosphere)	توده (Bulk Soil)	ریزوسفر (Rizhosphere)	توده (Bulk Soil)
سورگوم (Sorghum)	7.2^{d}	7.3^{d}	30.83^{b}	26.78^{c}	1.7c	1.5e
گلرنگ (Safflower)	7.2^{d}	7.3^{d}	20.13^{d}	18.38^{d}	1.65cd	1.5e
آفتابگردان (Sunflower)	7.2^{d}	7.3^{d}	35.84^{a}	30^{b}	1.7c	1.6d
شبدر (Clover)	7.1^{d}	7.2^{d}	38.38^{a}	31.85^{b}	2.1a	1.8b
شاهد (Control)	7.4^{d}	7.5^{d}	10.9^{e}	7.53f	1.2f	1.1g

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.05$) نمی‌باشند

Numbers followed by the same letter are not significantly differentns ($P<0.05$)

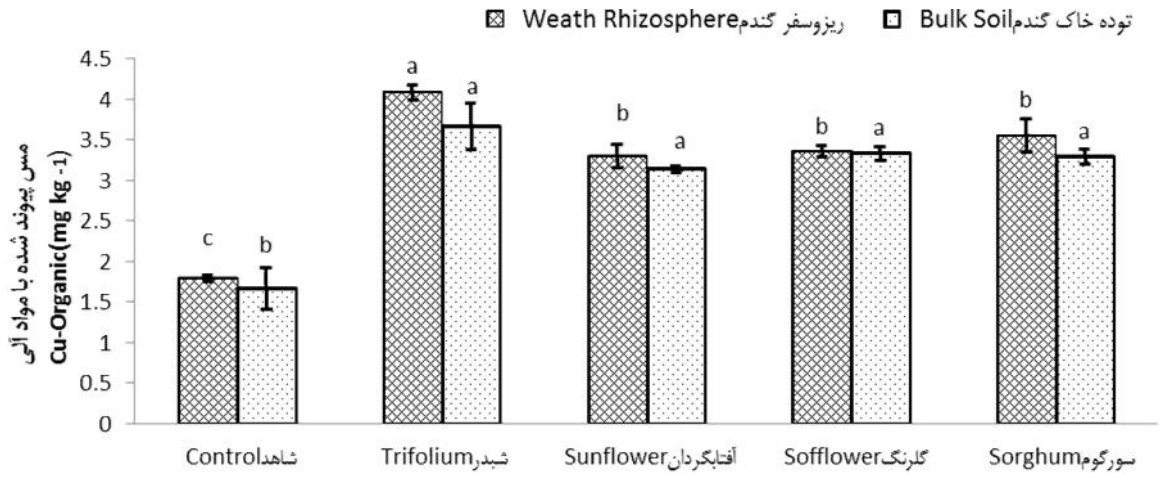
اثر گیاهان پیش‌کاشت بر شکل‌های شیمیایی مس در خاک

مس محلول و قابل تبادل

به دلیل مقدار کم مس در این بخش، غلظت مس قابل اندازه گیری نبوده و کمتر از حد تشخیص دستگاه جذب اتمی مدل پرکین المر ۳۰۳۰ بود .

مس پیوند یافته با مواد آلی

گیاهان پیش‌کاشت در مقایسه با شاهد غلظت مس پیوند یافته با مواد آلی را به صورت معنی‌داری افزایش (در سطح احتمال یک درصد) دادند. بیشترین افزایش در پیش‌کاشت شبدر مشاهده شد. غلظت مس پیوند یافته با مواد آلی در ریزوسفر گندم در مقایسه با توده خاک گندم افزایش معنی‌دار (در سطح احتمال یک درصد) نشان داد (شکل ۱).

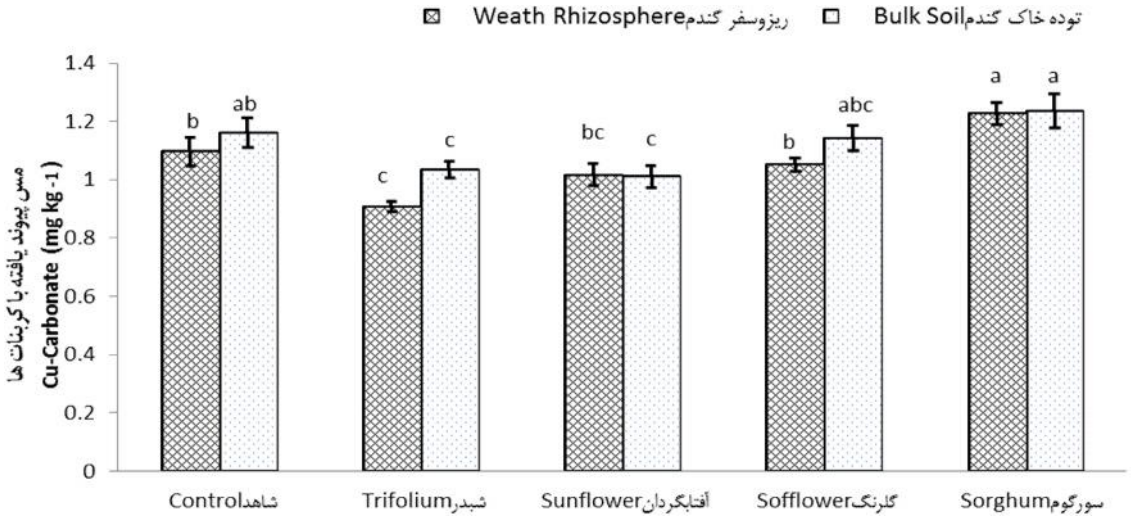


شکل ۱- اثر پیش‌کاشت بر میانگین مس پیوند یافته با مواد آلی در ریزوسفر و توده خاک گندم

Figure 1 – Effect of preceding crops on Cu-Organic in wheat rhizosphere and bulk soil

مس پیوند یافته با کربنات‌ها

پیش‌کاشت شبدر غلظت مس پیوند یافته با کربنات‌ها را کاهش معنی‌دار (در سطح احتمال یک درصد) داد. پیش‌کاشت‌های گلرنگ و آفتابگردان نیز سبب کاهش غلظت مس پیوند یافته با کربنات‌ها در مقایسه با شاهد شدند اما این اختلاف معنی‌دار نبود. غلظت مس پیوند یافته با کربنات‌ها در ریزوسفر و توده خاک گندم اختلاف معنی‌داری نشان ندادند (شکل ۲).

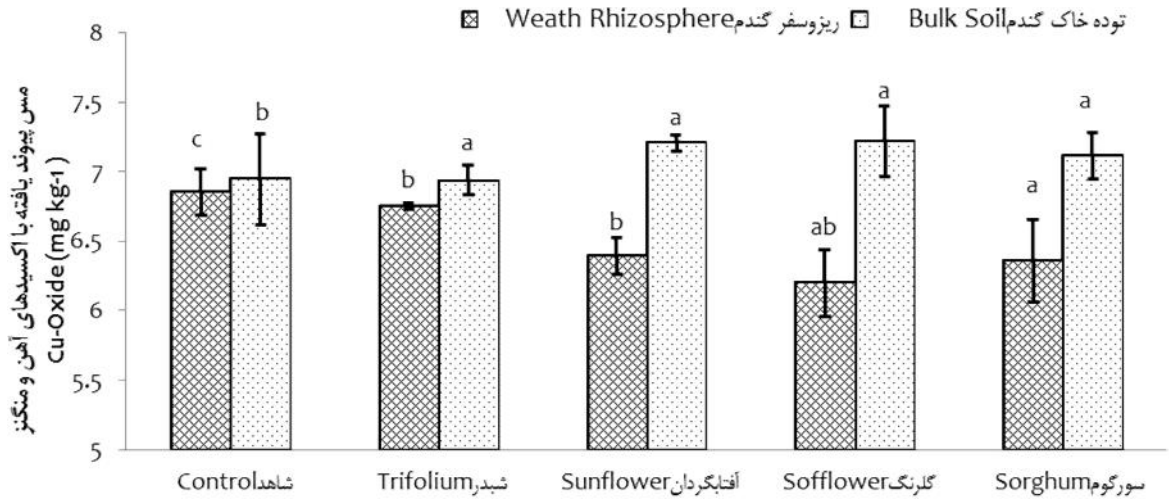


شکل ۲- اثر پیش کاشت بر میانگین مس پیوند یافته با کربنات ها در ریزوسفر و توده خاک گندم

Figure 2- Effect of preceding crops on Cu-Carbonate in wheat rhizosphere and bulk soil

مس پیوند یافته با اکسیدهای آهن و منگنز

گیاهان پیش‌کاشت در ریزوسفر (به جزء پیش‌کاشت شبدر و آفتابگردان) در مقایسه با شاهد غلظت مس پیوند یافته با اکسیدهای آهن و منگنز را افزایش معنی‌دار (در سطح احتمال پنج درصد) دادند. در بین گیاهان پیش‌کاشت، شبدر سبب کاهش غلظت مس پیوند یافته با اکسیدهای آهن و منگنز با شاهد شد. غلظت مس پیوند یافته با اکسیدهای آهن و منگنز در ریزوسفر گندم در مقایسه با توده خاک گندم کاهش معنی‌دار (در سطح احتمال یک درصد) نشان داد (شکل ۳).

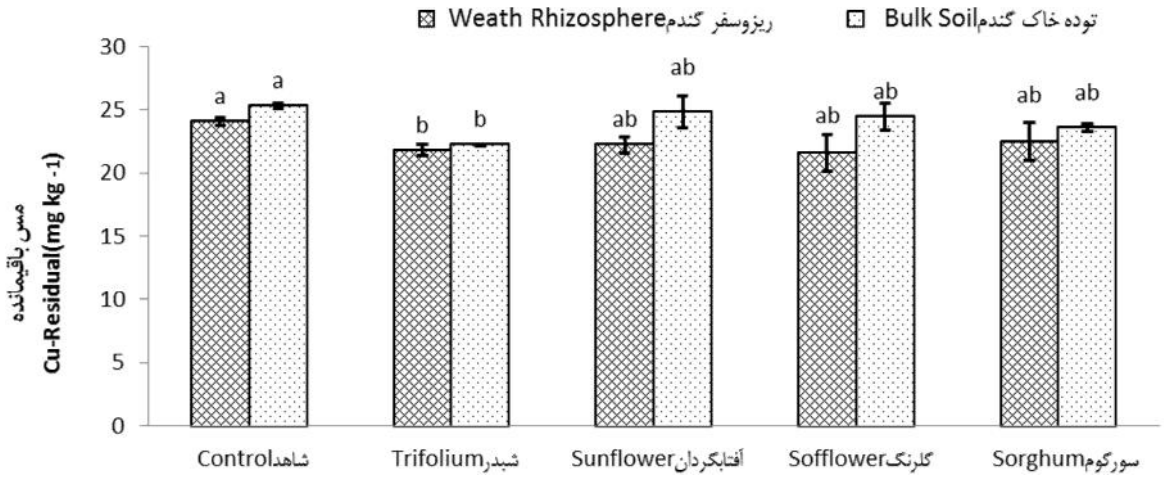


شکل ۳- اثر پیش‌کاشت بر میانگین مس پیوند یافته با اکسیدهای آهن و منگنز در ریزوسفر و توده خاک گندم

Figure 3- Effect of preceding crops on Cu-Oxide in wheat rhizosphere and bulk soil

مس باقیمانده

گیاهان پیش‌کاشت در مقایسه با شاهد غلظت مس باقیمانده را بطور معنی‌داری کاهش (در سطح احتمال پنج درصد) دادند. اگر چه میزان نسبی شکل باقیمانده مس در اثر گیاهان پیش‌کاشت نسبت به شاهد کاهش نشان داد، اما تنها اختلاف معنی‌دار مشاهده شده مربوط به پیش‌کاشت شبدر بود. غلظت مس باقیمانده در ریزوسفر و توده خاک گندم اختلاف معنی‌دار نشان ندادند (شکل ۴).

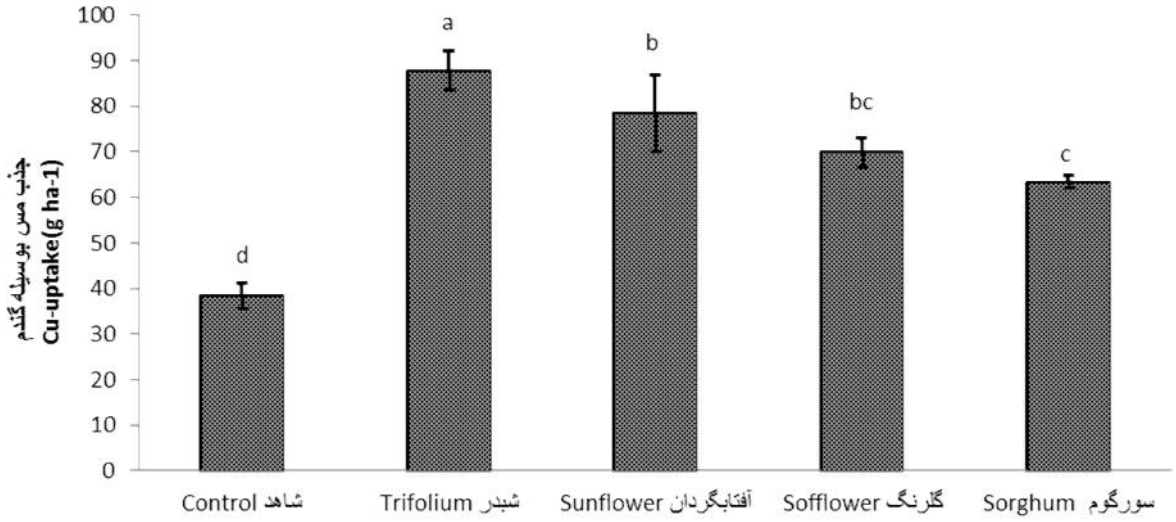


شکل ٤- اثر پیش‌کاشت بر میانگین مس باقیمانده در ریزوسفر و توده خاک گندم

Figure 4- Effect of preceding crops on Cu-Residual in wheat rhizosphere and bulk soil

اثر پیش‌کاشت بر مقدار جذب مس در گندم

گیاهان پیش‌کاشت مقدار جذب مس در گندم را در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌دار (در سطح احتمال یک درصد) دادند. بیشترین افزایش مربوط به پیش‌کاشت شبدر بود. بین سایر گیاهان پیش‌کاشت در مقدار جذب مس در گندم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۵).



شکل ۵- اثر پیش‌کاشت بر میانگین جذب مس بوسیله گندم

Figure 5- Effect of preceding crops on Cu uptake by wheat

همبستگی شکل‌های شیمیایی مس در فاز جامد با غلظت و جذب مس در گندم

نتایج تجزیه و تحلیل همبستگی شکل‌های شیمیایی مختلف مس در ریزوسفر گندم با جذب کل مس در گندم تحت تاثیر گیاهان مختلف پیش‌کاشت نشان داد که شکل‌های کربناتی، اکسیدی و باقی‌مانده همبستگی معنی‌داری با جذب کل مس در گندم ایجاد نکردند. در حالی‌که شکل آلی مس با مقدار جذب مس در گندم همبستگی مثبت و معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) نشان داد (جدول ۳).

جدول ۳- ضرایب همبستگی شکل های مختلف مس در فاز جامد خاک توده و ریزوسفر گندم با جذب مس در گندم

Table 3- The correlation of different fractions of Cu in wheat rhizosphere and bulk soil with Cu uptake by wheat

ناحیه خاک (Soil zone)	مس کربناتی (Cu-carbonate)	مس اکسیدی (Cu-oxide)	مس آلی (Cu-organic)	مس باقی‌مانده (Cu-residual)
ریزوسفر گندم (Wheat rhizosphere)	0.129	0.147	0.656*	0.241
خاک توده (Bulk soil)	0.089	0.094	0.507	0.088

**: معنی دار درسطح ۱ درصد * : معنی دار در سطح ۵ درصد

**: significant at 1% level *: significant at 5% level

بحث

در این مطالعه تأثیر گیاهان مختلف پیش‌کاشت بر توزیع شکل‌های شیمیایی مس در فاز جامد خاک و ارتباط آن‌ها با جذب کل مس در گندم بررسی شده است. همچنین تغییرات شکل‌های شیمیایی مس در فاز جامد خاک ریزوسفری و توده گندم نیز مورد مطالعه قرار گرفت. بر اساس نتایج پژوهش حاضر، تحت تاثیر گیاهان مختلف پیش‌کاشت غلظت مس در اجزاء آلی و اکسیدی افزایش و در اجزاء کربناته و باقیمانده کاهش یافت، اما مقدار این تغییرات بسته به نوع گیاه پیش‌کاشت در ریزوسفر و توده خاک گندم متفاوت بود. از طرفی مقدار pH خاک تحت کشت گیاهان پیش‌کاشت نسبت به شاهد کاهش یافت که مقدار این کاهش در ریزوسفر گندم بیشتر از توده خاک گندم بود (جدول ۲). گیاهان پیش‌کاشت با کاهش pH خاک در ریزوسفر نسبت به خاک توده که احتمالا سبب افزایش حلالیت ترکیبات کربناتی در خاک شده است با تبدیل این جزء از مس به اشکال دیگر نظیر جزء آلی سبب کاهش غلظت مس پیوند شده با کربنات‌ها در ناحیه ریزوسفر شده اند. افزایش غلظت مس پیوند شده با ترکیبات آلی در ریزوسفر در مقایسه با خاک توده (شکل ۱)، می‌تواند به دلیل ترشح ترکیبات آلی از ریشه باشد. چرا که مقدار کربن آلی محلول خاک در ریزوسفر به طور معنی‌داری بیشتر از خاک توده بود (جدول ۲) که این موضوع را می‌توان به افزایش ترشحات ریشه گیاه به ریزوسفر نسبت داد. در واقع ترشحات ریشه‌ای سبب افزایش ترکیبات آلی خاک شده و این ترکیبات با تشکیل کمپلکس با مس، جزء متصل به مواد آلی را در ریزوسفر افزایش دادند. قابل ذکر است که کاهش مس پیوندی به کربنات‌ها با افزایش جزء آلی همراه بوده است. بنابراین به نظر می‌رسد که علاوه بر pH، ترشحات ریشه‌ای سبب شده تا مس پیوند شده با کربنات‌ها، آزاد و در جزء آلی قرار گیرد. از سویی دیگر ریشه گیاهان انواع اسیدهای آلی را ترشح می‌کند که می‌تواند بر اشکال فلزات سنگین در خاک و زیست‌فراهمی و قابلیت جذب آن‌ها توسط گیاه اثر بگذارد (۲۹). یودام و همکاران (۲۶) نشان دادند که ترشحات ریشه و همچنین مولکول‌های زیستی حاصل از متابولیسم میکروارگانیسم‌های ریزوسفر شامل ترکیبات محلول و غیر محلولی هستند که تمایل زیادی برای تشکیل کمپلکس‌های پایدار با فلزات سنگین دارند. دسورالت- رمپر و همکاران (۹) گزارش نمودند که اسیدهای آلی آنیونی ترشح شده از ریشه گیاه *Lupinus albus* اثر زیادی بر غلظت کاتیون‌های فلزی در ریزوسفر می‌گذارد. وانگ و همکاران (۲۹) و یوسف و چاینو (۳۰) نیز عنوان نمودند افزایش بخش وابسته به مواد آلی می‌تواند به علت وجود ترکیبات آلی بیشتر در ریزوسفر باشد. از آنجا که مس تمایل زیادی برای پیوند با مواد آلی دارد، این امر سبب می‌شود بتواند به آرامی در طول دوره زمان با تجزیه مواد آلی در خاک آزاد شده و در اختیار گیاه قرار بگیرد (۴). مولینگ و همکاران (۱۷) نیز با مطالعه تأثیر کاربرد مس بر شکل‌های مختلف آن در سه نوع خاک با بافت متفاوت گزارش کردند که مس در تمامی خاک‌ها عمدتاً به شکل آلی تبدیل می‌شود. از آنجا که روند تغییرات غلظت مس وابسته به مواد آلی در تیمارهای مختلف پیش‌کاشت با جذب مس در گندم شبیه یکدیگر بود. می‌توان نتیجه‌گیری کرد که پیش‌کاشت شبدر بیش از سایر گیاهان پیش‌کاشت مقدار جذب مس در گندم را افزایش داد (شکل ۵). گیاهان پیش‌کاشت (به جزء شبدر) سبب افزایش جزء مس متصل به اکسیدهای آهن و منگنز در خاک شدند. البته جزء مس

متصل به اکسیدهای آهن و منگنز در ناحیه خاک توده به طور معنی‌داری بیشتر از ریزوسفر بود (شکل ۳). از سویی دیگر افزایش معنی‌دار مقدار مس متصل به اکسیدهای آهن و منگنز در ناحیه خاک توده نسبت به ریزوسفر را می‌توان به این موضوع نسبت داد که در ناحیه ریزوسفر در نتیجه ترشح ترکیبات آلی از ریشه گیاه و فعالیت‌های میکروبی، بیشتر مس آزاد شده از ساختمان کانی‌ها (جزء باقیمانده) با این ترکیبات آلی تشکیل کمپلکس داده و به صورت پیوند شده با مواد آلی در آمده باشد، در حالی‌که در فواصل دورتر از ریشه (ناحیه خاک توده) که مقدار ترشحات ریشه کمتر است، قسمت اعظم فلز مس با کانی‌های اکسیدی وارد پیوند شده است (۳۰). اگر چه که گیاهان پیش‌کاشت سبب افزایش جزء مس متصل به اکسیدهای آهن و منگنز در خاک شدند، اما پیش‌کاشت شبدر غلظت مس متصل به اکسیدهای آهن و منگنز در خاک را کاهش معنی‌دار داد (شکل ۳). از آنجایی که ممکن است گیاهان مختلف مورد مطالعه در این پژوهش از نظر نوع، میزان و ماهیت ترشحات ریشه‌ای و ترکیبات حاصل از فعالیت میکروارگانیسم‌ها متفاوت باشند، کمتر بودن این جزء از مس در پیش‌کاشت شبدر نسبت به سایر گیاهان پیش‌کاشت را ممکن است ناشی از احیای کانی‌های اکسیدی توسط اسیدهای آلی موجود در ترشحات ریزوسفر شبدر دانست. احتمالاً اسیدهای آلی مترشحه از ریشه شبدر، سبب احیاء آهن و منگنز و انحلال کانی‌های مربوطه شده و آزاد شدن مس پیوند شده با این ترکیبات را تسهیل کرده است. منچ و فارگس (۱۵) گزارش کردند که ترشحات آزاد شده از ریشه یولاف (oats) قابلیت استفاده فلزات روی، مس و نیکل را از طریق انحلال اکسیدهای آهن افزایش داد. روند تغییرات جزء مس باقیمانده در ریزوسفر و توده خاک گندم شبیه یکدیگر بود. به این ترتیب که این جزء در ناحیه خاک توده بیشتر از ناحیه ریزوسفر بود. از طرفی کاهش جزء باقیمانده، کربناته و اکسیدی در ریزوسفر نسبت به خاک توده با افزایش جزء مس پیوند شده با مواد آلی همراه بوده است که احتمالاً نشان دهنده تبدیل اجزء باقیمانده، کربناته و اکسیدی به سایر اشکال شیمیایی می‌باشد. احتمالاً ترشحات ریشه‌ای گیاهان پیش‌کاشت و گندم و بدنبال آن افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های موجود در ریزوسفر نسبت به خاک توده سبب آزاد شدن مس از ساختمان کانی‌ها و انتقال از جزء باقیمانده به اشکال دیگر از جمله جزء مس وابسته به مواد آلی، شده است. ونگ و همکاران (۲۷) کاهش شدید در غلظت جزء باقیمانده فلزات سنگین در ناحیه ریزوسفر را به انتقال فلز به اشکال با قابلیت جذب بیشتر مانند جزء پیوند شده با ترکیبات آلی ریزوسفر، جزء متصل به اکسیدهای آهن و منگنز و جزء پیوندی با کربنات‌ها نسبت دادند.

همبستگی بین شکل‌های مختلف مس در فاز جامد خاک و جذب کل مس در گندم

مقدار جذب مس بوسیله گندم همبستگی مثبت و معنی‌داری با غلظت مس پیوند شده با مواد آلی در ریزوسفر گندم نشان داد (جدول ۳). با این وجود بین جذب مس در گندم و مس پیوند شده با کربنات ها، اکسیدها و غلظت مس در جزء باقیمانده همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد. به طور کلی در این پژوهش با توجه به ضرایب همبستگی مثبت و معنی‌دار بین جذب کل مس با جزء آلی می‌توان این جزء را به عنوان مخزن قابل دسترس مس خاک در نظر گرفت، به گونه‌ای که جزء آلی از طریق فراهم نمودن مس جزء آلی نقش مهمی در تامین مس مورد نیاز گندم دارند. بعلاوه، تاثیر نوع گیاهان پیش‌کاشت بر توزیع مس در مخازن مختلف خاک که در نهایت تعیین کننده قابلیت دسترسی آن در خاک نیز می‌باشد، متفاوت است. منچ و مارتین (۱۴) نیز عنوان نمودند که تفاوت در ترکیب ترشحات ریشه گیاهان مختلف، یکی از دلایلی است که باعث جذب مقادیر متفاوت فلزات سنگین توسط آن‌ها می‌شود.

نتیجه‌گیری

غلظت مس در ناحیه ریزوسفری نسبت به توده خاک در جزء آلی افزایش و در اجزاء اکسیدی، کربناته و باقیمانده کاهش یافت. با توجه به نتایج بدست آمده، افزایش مشاهده شده در غلظت مس پیوند شده با مواد آلی در ریزوسفر، به دلیل کاهش غلظت جزء مس باقیمانده، غلظت جزء مس پیوند شده با کربنات‌ها و مس پیوند شده با اکسیدها بوده است. در واقع فرآیند اصلی انتقال مس از اشکال ساختمانی (باقیمانده)، کربناته و اکسیدی به اشکال دیگر می‌باشد. به طور کلی نتایج نشان داد که ترشحات ریشه‌ای گیاهان پیش کاشت و گندم تا اندازه زیادی شکل‌های مختلف شیمیایی مس در فاز جامد خاک را تحت تاثیر قرار داده‌اند. همچنین، نتایج آنالیز همبستگی شکل‌های مختلف مس با جذب کل مس در گندم نشان داد که جزء آلی مس نقش مهم‌تری در تامین مس مورد نیاز گیاه دارد. اگر چه تغییرات شکل‌های شیمیایی مس در فاز جامد خاک پیچیده و وابسته به عوامل مختلفی می‌باشد، اما نتایج این پژوهش نشان داد که گیاهان پیش‌کاشت سبب افزایش غلظت مس در جزء آلی در خاک ریزوسفری نسبت به خاک توده شدند و این رخداد با افزایش مقدار جذب کل مس در گندم همراه بوده است.

منابع

1- Achiba W. B., Gabteni N., Lakhdar A., Du Laing G., Verloo M., Jedidi N., and Gallali T. 2009. Effects of 5-year application of municipal solid waste compost on the distribution and mobility of heavy metals in a Tunisian calcareous soil. Agriculture, Ecosystems and Environment, 130: 156–163.

2- Adamo P., Denaix L., Terribile F., and Zampella M. 2003. Characterization of heavy metals in contaminated volcanic soils of the Solofrana river valley (southern Italy). Geoderma, 117: 347-366.

3- Allowoy B. J. 1990. Heavy metals in soil. Blackie & son Ltd, Glasgow and London.

4- Bosea S., Anshul J., Vivek R., and Ramanathana A. L. 2008. Chemical fractionation and translocation of heavy metals in *Canna indica* L. grown on industrial waste amended soil. Journal of Hazardous Materials, 160: 187–193.

5- Bowen G.D., and Rovira A.D. 1991. The rhizosphere, the hidden halfof the hidden half. p. 629-641. In Y. Waisel et al. (ed.) Plant Roots, the hidden half. Marcel Dekker. New York.

6- Chahal D.S., Sharma B.D., and Singh P.K. 2005. Distribution of forms of zinc and their association with soil properties and uptake in different soil orders in semi-arid soils of Punjab, India. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 36: 2857- 2874.

7- Chen Y.M., Wang M.K., and Huang P.M. 2006. Catechin transformation as influenced by aluminium. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54: 21-218.

8- Clements S., Palmgren M.G., and Kramer U. 2002. A long way ahead: understanding and engineering plant metal accumulation. Trends in Plant Science, 7: 309-315.

9- Dessureault-Rompre J., Nowack B., Schulin R., Tercier-Waeber M.L., and Luster J. 2008. Metal solubility and speciation in the rhizosphere of *Lupinus albus* cluster roots. Environmental Science and Technology, 42: 7146–7151.

10- Hacisalihoglu G., and Kochian L.V. 2003. How do some plants tolerate low levels of soil zinc Mechanisms of zinc efficiency in crop plants. New Phytologist, 159: 341-350.

11- Hinsinger P., Gobran G. R., Gregory P. J., and Wenzel W. 2005. Rhizosphere geometry and heterogeneity arising from root-mediated physical and chemical processes. New Phytologist, 168: 293–303.

12- Kabala C., and Singh B.R., 2001: Fractionation and mobility of copper lead and zinc in soil profiles in the vicinity of a copper smelter. Journal of Environmental Quality, 30: 485-492.

13- Li J.X., Yang X.E., He Z.L., Jilani G., Sun C.Y., and Chen S.M. 2007. Fractionation of lead in paddy soils and its bioavailability to rice plants. Geoderma, 141: 174–180.

14- Mench M., and Martin E. 1991. Mobilization of cadmium and other metals from two soils by root exudates of *Zea mays* L. *Nicotiana tabacum* L. and *Nicotia narustica* L. Plant and Soil, 132: 187-196.

15- Mench M. J., and Fargues S. 1994. Metal uptake by iron-efficient and inefficient oats. Plant and Soil, 165: 227-233.

16- Milani P.M., Malakouti M.J., Khademi Z., Balali M.R., and Mashayekhi M. 1998. A fertilizer recommendation model for the wheat field of Iran. Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran, p. 98.

17- Mullings G. L., Martens D. C,. Miller W. P,. Kornegay E. T,. and Hallock D. L. 1982. Copper availability, form and mobility in soils from three annual copper-enriched hog manure applications. Journal of Environmental Quality, 11: 316 – 320.

18- Nogueira T., Melo W., Fonseca I., Marcussi S., Melo G., and Marques M. 2010. Fractionation of Zn, Cd and Pb in a tropical soil after nine-year sewage sludge applications. Pedosphere, 20: 545-556.

19- Pais I. J,. and Jones B. 1997. The hand book of trace elements. Stive Luice, Florida.

20- Rollwagen B.A,. and Zasoski R.J. 1988. Nitrogen source effects on rhzosphere pH and nutrient accumulation by Pacific Northwest conifers. Plant and Soil, 105: 79–86.

21- Saffari M., Yasrebi J., Karimian N., and Shan X. Q,. 2009. Evaluation of three sequential extraction methods for fractionation of zinc in calcareous and acidic soils. Research Journal of Biological Sciences, 4: 848-857.

22- Shuman L.M. 1999. Organic waste amendments effect on zinc fractions of two soils. Journal of Environmental Quality, 28: 1442-1447.

23- Sposito G., Lund L.J., and Chang A.C. 1982. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in solid phases. Soil Science Society of America Journal, 46: 260–264.

24- Tao S., Chen Y.J., Xu F.L., Cao J., and Li B.G. 2003. Changes of copper speciation in maize rhizosphere soil. Environmental Pollution, 122: 447-454.

25- Tessier A., Campbell P.G.C., and Bisson M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. Analytical Chemistry, 51: 844-851.

26- Udom B.E., Mbagwu J.S.C., Adesodun J.K., and Agbim N.N. 2004. Distribution of zinc, copper, cadmium and lead in a tropical ultisol after long-term disposal of sewage sludge. Environment International, 30:467-470.

27- Wong C.S.C., Li X., and Thornton I. 2006. Urban environmental geochemistry of trace metals. Environmental Pollution, 142: 1-16.
28- Wang Z., Shan X.Q., and Zhang S. 2001. Comparison of speciation and bioavailability of rare earth elements between wet rhizosphere soil and air-dried bulk soil. Analytica Chimical Acta, 441: 147-156.
29- Wang Z., Shan X.Q., and Zhang S. 2002.Comparison between fractionation and bioavailibility of trace elements in rhizosphere and bulk soils. Chemosphere, 46: 1163-1171
30- Youssef R.A., and Chino M. 1989. Root-induced changes in the rhizosphere of plants II. Distribution of heavy metal across the rhizosphere in soil. Soil Science and Plant Nutrition, 35(4): 609-621.
31- Yu Y., and Zhou Q.X. 2006. Impacts of soybean growth on Cu speciation and distribution in two rhizosphere soils. Biology and Fertility of Soils, 42:450–456.

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 2, May.-Jun. 2016, p. 511-521

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۵، ص. ۵۲۱-۵۱۱

The Effect of Preceding Crops on the Chemical Fractions of Copper (Cu) in the Rhizosphere and the Bulk Soil and its Relationship with Copper Uptake by Wheat

Sh. Kabirinejad[1*]- M. Kalbasi[2]- A. H. Khoshgoftarmanesh[3]- M. Hoodaji[4]- M. Afyuni[5]

Received: 07-10-2014
Accepted: 13-07-2015

Introduction: Preceding crops as a source of organic matter are an important source of micronutrient and can play an important role in the soil fertility and the micronutrients cycle of soil. In addition to the role of the organic matter in increasing the concentration of micronutrients in soil solution, attention also should be paid to the role of the kind and the quantity of the root's exudates that are released in response to the incorporation of different plant residues in the rhizosphere. Present research was conducted with the objective of studying the effect of the kind of preceding crops: Trifolium (*Trifolium pretense* L), Sofflower (*Carthamus tinectirus* L), Sorghum (*Sorghum bicolor* L), Sunflower (*Heliantus annus* L) and control (fallow) on the chemical forms of copper in the wheat rhizosphere and the bulk soil and Cu uptake by wheat and also investigating the correlation between the fractions of Cu in soil and Cu uptake in wheat.

Materials and Methods: The present research was conducted as split plot in a Randomized Complete Block design (RCBD) with 3 replications and 5 treatments, in field conditions. In the beginning, the preceding crops were cultivated in the experimental plots and after ending growth, preceding crops were harvested. Then the wheat was cultivated in the experimental plots. Finally, after harvesting the wheat, soil samples were collected from the two parts of the root zone (the wheat rhizosphere and the bulk soil). The soil samples were air dried ground and passed through a 2-mm sieve and stored for chemical analysis. Soil pH (in the soil saturation extract) and organic matter (Walkley–Black wet digestion) were measured in standard methods (1). The Total Organic Carbon (TOC) was measured by Analyzer (Primacs SLC TOC Analyzer (CS22), Netherlands). The available Cu in soil was extracted by DTPA and determined using atomic absorption spectroscopy (2). The fractionation of soil Cu was carried out using the MSEP method (3).

Results and Discussion: The results showed that the preceding crops significantly decreased soil pH, also significantly increased the DOC and DTPA-extractable Cu.These changes were higher in the Trifolium preceding treatment in the rhizosphere soil. Also, the preceding crops significantly decreased Carbonate -Cuand Residual-Cu fractions in the wheat rhizosphere compared with the bulk soil. The preceding crops (except Trifolium) significantly increased Oxide-Cu fraction. The soil Oxide- Cu fraction was higher in the rhizosphere in comparison with the bulk soil. The preceding crops increased the Organic-Cu in both the wheat rhizosphere and the bulk soil and it was higher in Trifolium treatment. The preceding crops increased Cu uptake by wheat and Organic-Cu positively correlated with Cu uptake by wheat.

Conclusion: The Organic-Cu fraction increased in the rhizosphere compared with the bulk soil, whereas Oxide- Cu, Carbonate–Cu and Residual-Cu fractions decreased. According to the results, the observed increase in the copper concentration of organic fraction in the rhizosphere was due to the decrease in the copper concentration of carbonate, oxide and residual fractions. In fact, the main process is the transmission of copper from carbonate, oxide and residual fractions to another fraction. Also, the results showed that the root exudates of the preceding crops and wheat affected the different forms of copper in the soil solid phase. Furthermore, the results of copper forms correlation analysis with Cu uptake by wheat showed that the Organic-Cu fraction had more important role in supplying copper was needed for wheat. Therefore, the preceding crops increased the copper concentration of organic fraction in the rhizosphere compared with the bulk soil, and these changes are associated with increasing the amount of copper uptake in wheat.

Keywords: Bulk Soil, Copper, Fractionation, Preceding Crops, Rhizosphere, Wheat

1 and 4- Former Ph.D. and Associate Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Islamic Azad University, Branch of Khorasgan, Isfahan, Iran
(*- Corresponding Author Email: kabirinejad@khuisf.ac.ir)
2, 3 and 5- Professor, Associate Professor and Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, Respectively