نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد نهم، شماره دوم، ۱۳۹۸
۱۲۱-۱۳۵
http://ejsms.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejsms.2019.12711.1722

تعیین شکل‌های شیمیایی مس و ارتباط آن‌ها با پاسخ‌های نهال‌های پسته و ویژگی‌های خاک در برخی خاک‌های آهکی رفسنجان

*احمد تاج‌آبادی‌پور[۱] و سیده حمیده حسینی[۲]
[۱]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان،
[۲]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان
تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۱۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۲

چکیده

سابقه و هدف: شناخت شکل‌های شیمیایی مختلف مس در ارزیابی وضعیت قابلیت استفاده مس خاک و نیز مدیریت حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه دارای اهمیت است. قابلیت استفاده مس برای گیاه به توزیع نسبی شکل‌های شیمیایی مختلف آن بستگی دارد. توزیع شکل‌های شیمیایی مس در خاک تابعی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله مقدار ماده آلی، میزان آهک، پ‌هاش، مقدار رس و ظرفیت تبادل کاتیونی می‌باشد. روش‌های عصاره‌گیری دنباله‌ای یکی از راه‌های تخمین شکل‌های شیمیایی عناصر می‌باشد که به‌عنوان کامل‌ترین روش توصیفی رفتار کلی فلزات در خاک نام برده می‌شود. پژوهش حاضر، به‌منظور تعیین شکل‌های شیمیایی مختلف مس در خاک‌های آهکی رفسنجان، ارتباط این شکل‌ها با یکدیگر و با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه و هم‌چنین رابطه شکل‌های شیمیایی مس با پاسخ‌های گیاهی (پارامترهای رشدی و غلظت و جذب مس) نهال‌های پسته انجام شد.

مواد و روش‌ها: شکل‌های تبادلی، جذبی، آلی، کربناتی و باقی‌مانده مس در ۱۱ نمونه از خاک‌های آهکی رفسنجان با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متفاوت قبل و بعد از کشت نهال‌های پسته رقم بادامی ریز زرند با استفاده از روش عصاره‌گیری دنباله‌ای اسپوزیتو و همکاران تعیین شد. آزمایش در شرایط گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی بر روی ۱۱ نمونه خاک مختلف در سه تکرار و هر تکرار در سه مشاهده در گلدان‌های حاوی ٤ کیلوگرم خاک انجام شد. پس از ۸ ماه، گیاهان برداشت شدند و خاک هر گلدان هوا خشک و شکل‌های شیمیایی مس با روش ذکر شده و غلظت مس نمونه‌های گیاهی توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: نتایج عصاره‌گیری دنباله‌ای نشان داد در نمونه‌های خاک قبل و بعد از کشت به‌ترتیب مقدار مس تبادلی و مس جذب‌شده ناچیز، مس متصل به مواد آلی ۹/۱ و ۱۷/٦ درصد، مس متصل به کربنات‌ها ۹/۸ و ۲۰/۸ درصد و مس باقی‌مانده ۸۰ و ٦۱/٤ درصد مجموع شکل‌های اندازه‌گیری‌شده را تشکیل می‌دهند. مقدار مس در بخش باقی‌مانده بعد از کشت به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا نمود و مقدار مس آلی و کربناتی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بالاترین

* مسئول مکاتبه: tajabadi@vru.ac.ir

همبستگی معنی‌دار شکل‌های شیمیایی مس با پارامترهای گیاهی در نمونه‌های خاک بعد از کشت بین مس متصل به کربنات‌ها با غلظت مس ساقه (r= ۰/۵٤۲**) مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: مس متصل به مواد آلی و مس متصل به کربنات‌ها با وجود این‌که دارای فراهمی نسبتاً کمی است اما می‌تواند در تأمین مس مورد نیاز گیاه نقش مهمی ایفا کند. به‌طورکلی، الگوی توزیع شکل‌های شیمیایی مس در نمونه‌های خاک به‌صورت زیر بود:

مس جذب شده< مس تبادلی < مس متصل به مواد آلی< مس متصل به کربنات‌ها< مس باقی‌مانده

واژه‌های کلیدی: پسته، خاک آهکی، عصاره‌گیری دنباله‌ای، مس باقی‌مانده

مقدمه

مس یکی از عناصر غذایی کم‌مصرف است که گیاهان به غلظت‌های مختلفی از آن برای رشد بهینه نیاز دارند و اغلب به حالت یون دوظرفیتی و یا کلات جذب گیاه می‌شود (۳٦). کمبود مس عمدتاً در خاک‌های شنی، آهکی و خاک‌های غنی از مواد آلی اتفاق می‌افتد. از عوامل مؤثر بر حلالیت و قابلیت دسترسی مس می‌توان pH، مواد آلی و پتانسیل اکسیداسیون- احیاء را نام برد (۷). افزایش pH منجر به کاهش مس قابل‌استفاده خاک می‌شود که این معلول کاهش تجزیه کانی‌های دارای مس، افزایش مقدار مس کمپلکس‌شده با ترکیبات آلی، جذب مس بر سطوح ترکیبات معدنی خاک و هم‌چنین محبوس شدن این عنصر توسط اکسیدها و هیدروکسیدهای خاک است (٤۰). به‌رغم شرایط آب و هوایی مساعد برای پرورش درختان پسته در شهرستان رفسنجان، شرایط خاک مانند درصد بالای آهک و شوری در باغ‌های پسته مشکلاتی را ایجاد نموده است. در خاک تعدادی از این باغ‌ها، ممکن است عنصر مس به اندازه کافی وجود داشته باشد اما به‌دلیل شور و آهکی بودن خاک‌های تحت کشت، این عنصر قابل‌جذب به‌وسیله گیاه نیست و یا اگر جذب گیاه شود به شکلی است که توانایی رفتن به محل‌های فیزیولوژیک و مورد استفاده گیاه را ندارد (۲٤).

غلظت کل یک عنصر در خاک معمولاً شاخص خوبی از تحرک آن عنصر در خاک و یا جذب آن عنصر به‌وسیله گیاه نیست، زیرا تنها بخشی از غلظت کل عنصر برای گیاه قابل‌دسترس می‌باشد. بنابراین، به‌منظور تعیین شکل‌های مختلف یک عنصر از روش عصاره‌گیری دنباله‌ای استفاده می‌شود (۱). عصاره‌گیر دنباله‌ای توانایی استخراج شکل‌های واقعی فلزات در خاک را ندارد، اما می‌تواند روش مناسبی برای تفکیک و مقایسه شکل‌های مختلف فلزات در خاک باشد (۱۷). هر عنصر بسته به این‌که با ترکیبات مختلف خاک مانند کربنات‌ها، اکسیدهای آهن، آلومینیم و منگنز و ماده آلی پیوند داشته باشد، می‌تواند شکل‌های مختلفی از جمله آلی، کربناتی و اکسیدی را تشکیل دهد (۲٦). آلوارز (۲۰۰٦) بیان کرد مزیت همه روش‌های عصاره‌گیر دنباله‌ای این است که در هنگام استفاده برای خاک‌های کشاورزی می‌توانند شکل قابل‌تبادل که قابل‌جذب برای گیاه است را جداسازی کنند (۵). زیان (۱۹۸۹) بیان کرد که در عصاره‌گیری دنباله‌ای، قابلیت استفاده عناصر برای گیاه با هر مرحله از عصاره‌گیری دنباله‌ای کاهش می‌یابد. بنابراین،

عناصر به شکل‌های محلول در آب و قابل‌تبادل خیلی سریع قابل دسترس می‌شوند در حالی‌که عناصر به شکل باقی‌مانده، پیوندهای محکمی دارند و انتظار نمی‌رود که در شرایط طبیعی رها شوند (۵۰). جداسازی شکل‌های یک عنصر فرآیندی است که منجر به شناسایی و تعیین توزیع عناصر در اجزاء مختلف در خاک می‌شود. قابلیت دسترسی مس برای گیاه به توزیع نسبی شکل‌های مختلف آن بستگی دارد که تابعی از ویژگی‌های خاک است (٤). آبگین (۲۰۱۰) نشان داد که از بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، ماده آلی نقش به‌سزایی در تغییر شکل‌های شیمیایی مس افزوده شده به خاک از شکل تبادلی و محلول به شکل غیرتبادلی به عهده دارد (۲). شکل کربناتی شامل فلزهایی است که همراه با کربنات رسوب کرده‌اند. شکل کربناتی شامل پیوندهای سستی است و به تغییر pH حساس می‌باشد. جزء کربناتی درصد نسبتاً کمی از غلظت فلز را در بر می‌گیرد ولی بلافاصله و بالقوه برای گیاه قابلیت دسترسی دارد (١٤). شکل کربناتی مس پس از شکل تبادلی و محلول در آب کم‌ترین شکل مس در خاک‌ها می‌باشد (۳۳).

با توجه به آهکی بودن خاک‌های مناطق پسته‌کاری شهرستان رفسنجان و احتمال بروز کمبود مس در این خاک‌ها، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی توزیع شکل‌های شیمیایی مس در تعدادی از خاک‌های آهکی شهرستان رفسنجان، برآورد همبستگی بین شکل‌های شیمیایی مس با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها و برآورد همبستگی بین شکل‌های شیمیایی مس با با پاسخ‌های گیاهی اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری و انتخاب نمونه‌های خاک: آزمایش در ۱۱ نمونه خاک، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری مناطق مختلف پسته‌کاری شهرستان رفسنجان که دارای خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوتی بودند انجام گرفت. تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی از جمله بافت خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، میزاان آهک و ماده آلی، شوری و پ‌هاش براساس روش‌های متداول در مؤسسه تحقیقات خاک و آب انجام شد (۱۰). .برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی این خاک‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

تعیین شکل‌های شیمیایی مس: برای جداسازی عناصر کم‌مصرف روشی توسط استاور و همکاران (١٩٧٦) ارایه گردید (٤٦) که توسط اسپوزیتو و همکاران (۱۹۸۲) اصلاح شد (٤٥). در این روش که برای خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک کاربرد دارد عناصر کم‌مصرف به شکل‌های تبادلی و محلول، جذب‌شده، آلی، کربناتی و باقی‌مانده تفکیک می‌شوند. پس از عصاره‌گیری بر اساس روش فوق، مقدار مس در هر مرحله توسط دستگاه جذب اتمی مدل GBC Avanta ساخت کشور استرالیا تعیین شد. خلاصه دستور و ترتیب روش عصاره‌گیری دنباله‌ای و مشخصات شکل مس استخراج شده در جدول ۲ آمده است.

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه.

Table 1. Some physical and chemical properties of the studied soils.

pH	کربنات کلسیم معادل CCE (%)	EC(dS/m)	CEC (cmol(+)/ kg soil)	ماده آلی Organic matter (%)	شن Sand (%)	رس Clay (%)	بافت Texture	شماره نمونه Soil No.
7.80	17.2	3.90	12.1	1.75	79.4	6.1	Loamy sand	1
7.85	14.0	4.60	26.2	2.85	36.9	19.4	Loam	2
7.90	17.9	3.51	15.1	2.85	82.1	6.5	Loamy sand	3
7.60	12.8	3.52	17.5	2.55	72.0	13.1	Sandy loam	4
7.65	12.0	2.57	15.1	3.85	76.7	18.4	Sandy Loam	5
7.80	12.0	2.90	16.5	1.35	81.4	12.6	Sandy loam	6
7.80	15.5	3.51	20.2	3.10	65.6	14.6	Sandy loam	7
7.95	16.5	2.50	21.0	3.85	69.3	15.1	Sandy loam	8
7.52	9.0	6.73	13.5	3.10	88.9	3.4	Sand	9
7.35	14.5	3.51	19.9	3.10	73.4	16.6	Sandy loam	10
7.80	11.1	1.84	18.5	1.95	76.6	18.5	Sandy loam	11
7.35-7.9	9.0-17.9	1.84-6.73	12.1-26.2	1.35-3.85	36.9-88.9	3.4-19.4		محدوده Range
2.13	20.0	36.4	22.4	29.1	18.6	42.0		ضریب تغییرات Coefficient of variation

جدول ۲- روش عصاره‌گیری دنباله‌ای و مشخصات شکل مس استخراج شده.

Table 2. Sequential extraction method and characteristics of chemical forms of copper

ماده عصاره‌گیر Extractant	نسبت خاک به عصاره‌گیر Soil extraction Ratio	غلظت عصاره‌گیر (مولار) Concentration (mol/L)	جرم مخصوص (گرم بر میلی‌لیتر) Density (g/ml)	زمان تعادل (ساعت) Shaking time (h)	شکل‌های شیمیایی مس* Chemical forms of copper
KNO_3	2:25	0.5	1.02	16	تبادلی Exchange
$X\text{-}H_2O$	2:25	—	0.99	2	جذب‌شده** Sorbed
NaOH	2:25	0.5	1.01	16	متصل به مواد آلی Organic
Na_2EDTA	2:25	0.05	1.00	6	متصل به کربنات‌ها Carbonate
HNO_3	2:25	4.00	1.12	16(T=80 c)	باقی‌مانده Residual

* شکل شیمیایی استخراج‌شده لزوماً بدین معنی نیست که مس تنها در این شکل‌ها می‌باشد بلکه شکلی است که تصور می‌رود به‌وسیله مواد عصاره‌گیر فوق استخراج شده است.

Chemical forms extracted necessarily does not mean that Cu is only in these forms, form is also believed to have been extracted by the above extraction materials.

** سه مرتبه با آب دو بار تقطیر عصاره‌گیری می‌شود.

It is extracted three times with deionized water.

آزمایش گلخانه‌ای: پژوهش حاضر در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و هر تکرار سه مشاهده و ۱۱ نوع خاک و در مجموع ۹۹ گلدان در شرایط گلخانه‌ای صورت گرفت. به هر گلدان نیتروژن از منبع اوره و فسفر از منبع پتاسیم دی هیدروژن فسفات هر کدام به‌میزان ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به‌صورت محلول اضافه گردید. پس از اضافه کردن عناصر غذایی فوق به خاک و رساندن رطوبت آن به حد ظرفیت مزرعه، خاک موجود در هر پلاستیک را به‌خوبی به هم زده تا کاملاً مخلوط گردد. سپس خاک‌ها (٤ کیلوگرم) در داخل گلدان‌های پلاستیکی ٤ کیلوگرمی ریخته شد. بذرهای پسته (رقم بادامی ریز زرند) بعد از جدا کردن پوست سخت، به‌مدت ۱۰ دقیقه در محلول وایتکس ۱۰ درصد قرار داده شدند و پس از سه بار شستشو با آب مقطر استریل، به‌مدت ۳۰ دقیقه با قارچ‌کش بنومیل با غلظت ۲ گرم در لیتر ضدعفونی‌شده و تا مرحله جوانه‌زنی به‌مدت چند روز میان پارچه‌های متقال مرطوب در دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار داده شدند. پس از جوانه زدن بذرها، در هر گلدان ۸ بذر در عمق ۳ سانتی‌متری کشت گردید. آبیاری گلدان‌ها تا پایان دوره آزمایش به‌وسیله آب مقطر تا رسیدن به حدود ظرفیت مزرعه صورت گرفت. حدود یک ماه پس از کشت، تعداد نهال‌ها در هر گلدان به ٤ نهال کاهش داده شد.

در پایان دوره رشد (پس از هشت ماه)، خاک هر گلدان پس از هوا خشک شدن الک شده و شکل‌های شیمیایی مس قبل و بعد از کشت به روش اسپوزیتو و همکارن (۱۹۸۲) استخراج شد و در عصاره به‌دست آمده از نمونه‌های گیاهی، غلظت مس به‌وسیله دستگاه جذب اتمی مدل GBC Avanta ساخت کشور استرالیا تعیین گردید. به‌منظور تهیه عصاره گیاه نیم گرم ار نمونه‌های پودر شده ریشه، ساقه و برگ در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به روش خشک سوزانی خاکستر شده و با استفاده از اسیدکلریدریک دو نرمال به‌صورت محلول در آورده شد. غلظت مس در گیاه و جذب کل مس از خاک هر گلدان به‌عنوان پاسخ‌های گیاهی در نظر گرفته شدند و به خصوصیات شیمیایی خاک‌ها و شکل‌های شیمیایی مس ارتباط داده شدند. در خاتمه داده‌های به‌دست آمده از تجزیه خاک و گیاه توسط نرم‌افزار SPSS تحلیل آماری شدند.

نتایج و بحث

شکل‌های شیمیایی مس در نمونه‌های خاک قبل و بعد از کشت: توزیع شکل‌های مختلف مس در نمونه‌های خاک در جدول ۳ آورده شده ست. در نمونه‌های خاک قبل از کشت از مجموع مس کل، ۸۰ درصد به‌صورت باقی‌مانده، ۹/۸ درصد به‌صورت متصل به کربنات‌ها، ۹/۱ درصد متصل به مواد آلی، بخش تبادلی ۱/۱ درصد و بخش جذب‌شده مقدار ناچیز مس خاک را به خود اختصاص دادند. هم‌چنین در نمونه‌های بعد از کشت نیز بیش‌ترین مقدار به شکل مس باقی‌مانده (٦۱/٤ درصد) و سپس مس متصل به کربنات‌ها (۲۰/۸ درصد) و مس متصل به مواد آلی (۱۷/٦ درصد) تعلق دارد. مقدار مس جذب‌شده و تبادلی اندازه‌گیری‌شده، بسیار کم و غیرقابل اندازه‌گیری با دستگاه جذب اتمی بود. به‌طورکلی حلالیت مس به تغییرات pH خاک حساس می‌باشد و کاهش غلظت مس محلول و تبادلی ممکن است به خاطر افزایش جزیی pH خاک‌ها باشد (۱).

جدول ۳- میانگین شکل‌های شیمیایی مس (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) در نمونه‌های خاک.

Table 3. The mean of chemical forms of copper (mg kg^{-1}) in soil samples.

شکل‌های شیمیایی chemical forms	تبادلی Exchangeable	جذب‌شده Sorbed	متصل به مواد آلی Organic	متصل به کربنات‌ها Carbonate	باقی‌مانده Residual	کل Total
قبل از کشت Before cultivation						
محدوده Range	0.07-1.01	nd*	0.76-5.83	1.19-9.12	16.8-41.0	19.5-50.0
میانگین Mean	0.49	nd	3.09	3.33	27.2	34.0
درصد نسبی شکل‌های شیمیایی مس Chemical forms of Copper (%)	1.1	-	9.1b	9.8b	80.0a	100
بعد از کشت After cultivation						
محدوده Range	Nd	nd	2.19-11.0	5.10-12.0	9.0-30.7	30.0-71.0
میانگین Mean	Nd	nd	6.0	7.1	20.9	46.0
درصد نسبی شکل‌های شیمیایی مس Chemical forms of Copper (%)	-	-	17.6a	20.8a	61.4b	100

* غیرقابل اندازه‌گیری با دستگاه جذب اتمی.

nd= not detectable.

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون در سطح ۰/۰۵ آزمون t تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by at least one similar letter are not significantly different (P<0.05) by t-test.

پژوهشگران در پژوهش‌های مشابهی، شکل تبادلی را فقط یک درصد کل مس گزارش کردند (۲۷). شکل کربناتی در خاک‌های آهکی با مقدار کربنات‌ها در ارتباط می‌باشد و عناصر سنگین در سطوح این ترکیبات جذب می‌شوند (۱). غلظت مس قابل‌استفاده گیاهی با افزایش pH و افزایش جذب سطحی آن به‌وسیله کربنات‌ها و اکسیدها کاهش می‌یابد (۳۲). فلزات در بخش باقی‌مانده نسبتاً بی‌تحرک هستند و آبشویی عناصر در این بخش دشوار است زیرا ساختار شبکه‌ای کانی‌ها باید به اندازه کافی تخریب شود (٦). ما و یورن (۱۹۹۵) روش عصاره‌گیر دنباله‌ای را در خاک‌های استرالیا به‌کار بردند و نشان دادند که بیش‌ترین مقدار مس خاک به شکل باقی‌مانده دیده می‌شود. نام‌بردگان روش مورد استفاده را برای خاک‌های آهکی مناسب تشخیص دادند (۳۳). مطالعات لیندو و هاسنر (۱۹۸۲) بر روی روش عصاره‌گیری دنباله‌ای مس نشان داد که شکل‌های قابل‌تبادل + محلول، آلی + سولفیدی، باقی‌مانده و به سهولت قابل احیا به‌ترتیب کم‌تر از ۲، ۳۰، ۵۳ و ۹ درصد از مس کل را تشکیل می‌دهند (۳۱). خانلری و جلالی (۲۰۰۸) مشاهده کردند که بیش‌ترین مقدار مس در خاک‌های آهکی غرب ایران در جزء باقی‌مانده قرار دارد (۲۹). عباس‌پور (۲۰۱۱) گزارش کرد که کم‌ترین و بیش‌ترین غلظت مس در ٤ نمونه

خاک از مناطق مختلف ایران (شامل یک خاک اسیدی از مزرعه توتون، یک خاک خنثی از یک شالیزار اطراف مرداب انزلی و دو خاک آهکی از مزارع گندم و یونجه) به‌ترتیب در شکل متصل به اکسیدهای منگنز و شکل باقی‌مانده مشاهده شد (۱). به‌نظر می‌رسد که مس خاک‌ها عمدتاً در شکل‌های با قابلیت دسترسی بسیار کم متمرکز می‌شود. کابالا و سینگ (۲۰۰۱) نیز بیش‌ترین غلظت مس خاک‌ها را در شکل باقی‌مانده مشاهده نمودند (۲۵).

مقایسه میانگین شکل‌های شیمیایی در نمونه‌های خاک قبل و بعد از کشت نشان می‌دهد درصد شکل‌های شیمیایی مس آلی و کربناتی در نمونه‌های بعد از کشت بیش‌تر از نمونه‌های قبل از کشت می‌باشد که در واقع مس از شکل‌هایی با فراهمی کم‌تر به شکل‌هایی با فراهمی بیش‌تر تبدیل شده است. مس تمایل زیادی به تشکیل پیوند با مواد آلی و تشکیل کمپلکس آلی دارد. از طرفی به‌دلیل آهکی بودن خاک‌های مورد مطالعه، مس پیوند بیش‌تری با مواد کربناتی ایجاد کرده است. شکل‌های آلی و کربناتی مس به‌تدریج در دسترس گیاه قرار گرفته و جذب گیاه می‌شوند، بنابراین مقدار مس در بخش باقی‌مانده که شکل پایدار و مقاوم می‌باشد بعد از کشت دوم نسبت به قبل از کشت کاهش پیدا کرده است. در پژوهش‌های انجام‌شده شکل‌های مختلف به‌عنوان شکل یا شکل‌های قابل استفاده گیاه گزارش شده‌اند. پژوهش‌های انجام شده نشان داده است که مقدار کل و شکل باقی‌مانده قابل‌استفاده گیاه نیست، عناصر در محلول خاک و شکل تبادلی قابلیت استفاده زیادی برای گیاه دارند و هم‌چنین شکل‌های پیوند شده با کربنات‌ها، پیوند شده با اکسیدها و پیوند شده با ماده آلی نیز می‌توانند قابل‌استفاده گیاه باشند (۲۳).

تعیین ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های خاک و شکل‌های شیمیایی مس در نمونه‌های خاک قبل و بعد از کشت: در جدول ٤ همبستگی بین شکل‌های مختلف مس قبل و بعد از کشت با ویژگی‌های خاک ارایه گردیده است. تجزیه‌های آماری نشان می‌دهند در نمونه‌های خاک قبل از کشت، مس متصل به مواد آلی با میزان رس و ظرفیت تبادل کاتیونی همبستگی منفی و معنی‌دار و با قابلیت هدایت الکتریکی همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد. بین مس متصل به کربنات‌ها با کربنات کلسیم همبستگی منفی و معنی‌دار و با قابلیت هدایت الکتریکی همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. تابنده و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند، بین مس عصاره‌گیری‌شده توسط عصاره‌گیرهای شیمیایی مختلف و درصد ماده آلی و رس خاک همبستگی مثبت وجود دارد. همبستگی مثبت با ماده آلی را می‌توان به‌دلیل وجود اسیدهای آمینه یا آلی در ماده آلی دانست که این ترکیبات قادرند با کمپلکس کردن مس، آن‌ها را به شکل‌های قابل‌استفاده گیاهی در بیاورند (٤٧). این پژوهشگران هم‌چنین گزارش کردند بین مس عصاره‌گیری‌شده توسط عصاره‌گیرهای شیمیایی مختلف با کربنات کلسیم معادل همبستگی منفی وجود دارد. با افزایش کربنات کلسیم، مس به‌صورت کربناتی یا هیدروکسید رسوب می‌کند که پیامد آن کاهش قابلیت عصاره‌گیری مس است (٤٧).

جدول ٤- ضرایب همبستگی بین شکل‌های شیمیایی مس و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در نمونه‌های قبل و بعد از کشت.

Table 4. Correlation coefficients (r) between chemical forms of copper and physical and chemical properties of the studied soils before and after cultivation.

ویژگی‌های خاک Soil characteristics						شکل‌های شیمیایی مس Chemical forms of copper
EC (dS/m)	CEC (cmol+/Kg soil)	Clay (%)	pH	$CaCO_3$ (%)	OM (%)	
قبل از کشت Before cultivation						
0.353^{*}	-0.575^{**}	-0.628^{**}	-0.121^{ns}	-0.165^{ns}	-0.194^{ns}	CuOM
0.413^{*}	-0.176^{ns}	-0.325^{ns}	-0.272^{ns}	-0.563^{**}	0.022^{ns}	CuCar
-0.049^{ns}	0.679^{**}	0.377^{*}	0.547^{**}	0.108^{ns}	0.150^{ns}	CuRes
0.130^{ns}	0.450^{**}	0.134^{ns}	0.388^{*}	-0.098^{ns}	0.098^{ns}	CuT
بعد از کشت After cultivation						
0.129^{ns}	-0.266^{ns}	-0.360^{*}	0.045^{ns}	0.047^{ns}	0.216^{ns}	CuOM
0.118^{ns}	-0.070^{ns}	-0.298^{ns}	0.409^{*}	0.527^{**}	-0.287^{ns}	CuCar
-0.268^{ns}	0.696^{**}	0.587^{**}	0.409^{*}	0.052^{ns}	0.334^{ns}	CuRes
-0.177^{ns}	0.521^{**}	0.364^{*}	0.437^{*}	0.153^{ns}	0.283^{ns}	CuT

* و ** در سطح پنج و یک درصد آزمون آماری پیرسون معنی‌دار می‌باشد.

* and ** at the level of 5% and 1% Pearson test was significant.

^{ns} از لحاظ آماری معنی‌دار نیست.

^{ns} Not significant.

CuOM: شکل مس آلی (Organic Cu)، CuCar: شکل مس کربناتی (Carbonate Cu)، CuRes: شکل مس باقی‌مانده (Residual Cu)، CuT: شکل مس کل (Total Cu).

نتایج به‌دست آمده از تجزیه‌های آماری نشان داد که بین بعضی از شکل‌های شیمیایی مس بعد از کشت و برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک همبستگی معنی‌داری وجود دارد. مس متصل به کربنات‌ها با میزان کربنات کلسیم و pH همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد. بین مس باقی‌مانده با pH، رس و ظرفیت تبادل کاتیونی همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. هم‌چنین مس متصل به مواد آلی عصاره‌گیری‌شده با هیدروکسید سدیم با میزان رس همبستگی منفی و معنی‌داری نشان داد. تابنده و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند مس متصل به مواد آلی با هیچ‌یک از خصوصیات خاک همبستگی ندارد

(٤٨). همبستگی میان مس باقی‌مانده با ماده آلی و مقدار رس و سیلت مثبت و با مقدار شن منفی به‌دست آمد (٤١). تابنده و همکاران (٢٠١٣) گزارش کردند مس باقی‌مانده با کربنات کلسیم معادل و مقدار شن همبستگی منفی و با مقدار رس همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد دارد (٤٨).

تعیین ضرایب همبستگی بین شکل‌های شیمیایی مس در نمونه‌های خاک قبل و بعد از کشت: نتایج حاصل از تجزیه آماری در جدول ٥ نشان می‌دهد که بین برخی از شکل‌های شیمیایی مس در نمونه‌های خاک قبل و بعد از کشت همبستگی معنی‌داری وجود دارد در حالی‌که بین بعضی از آن‌ها هیچ‌گونه همبستگی وجود ندارد.

جدول ٥- ضریب همبستگی بین شکل‌های شیمیایی مس در نمونه‌های خاک[1].

Table 5. Correlation coefficients (r) between chemical forms of copper in soil Samples.

Cu T	Cu Res	Cu Car	Cu OM	Cu Ex	
قبل از کشت Before cultivation					
				1	Cu Ex
			1	0.518^{**}	Cu OM
		1	0.662^{**}	0.676^{**}	Cu Car
	1	0.122^{ns}	-0.036^{ns}	0.373^{**}	Cu Res
1	0.914^{**}	0.493^{**}	0.319^{**}	0.618^{**}	Cu T
بعد از کشت After cultivation					
			1	-	Cu OM
		1	0.257^{*}	-	Cu Car
	1	0.150^{ns}	0.262^{**}	-	Cu Res
1	0.944^{**}	0.383^{**}	0.509^{**}	-	Cu T

١- برای شرح علائم اختصاری به جدول ٤ مراجعه شود.

1- For a description of abbreviations refer to Table 4.

نتایج تجزیه‌های آماری نشان داد در نمونه‌های خاک قبل از کشت، مس متصل به مواد آلی و مس باقی‌مانده با مس تبادلی، مس متصل به کربنات‌ها با مس تبادلی و مس متصل به مواد آلی همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود دارد. در نمونه‌های خاک بعد از کشت، مس متصل به کربنات‌ها و مس باقی‌مانده با مس متصل به مواد آلی همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد. مس کل نیز در نمونه‌های خاک قبل و بعد از کشت با مس تبادلی، مس متصل به مواد آلی، مس متصل به کربنات‌ها و مس باقی‌مانده همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد. در مقایسه بین شکل‌های مختلف شیمیایی مس، مشخص گردید که شکل آلی و کربناتی به‌عنوان شکل‌های قابل‌جذب گیاهی بوده و همبستگی مثبت و معنی‌داری (سطح احتمال یک درصد) نشان داده‌اند (٤٨).

تعیین ضریب همبستگی بین شکل‌های شیمیایی مس و پارامترهای گیاهی در نمونه‌های خاک بعد از کشت: در جدول ٦ همبستگی بین شکل‌های شیمیایی مس بعد از کشت با پارامترهای گیاهی ارائه گردیده است. براساس نتایج جدول ٦ در نمونه‌های خاک بعد از کشت همبستگی مثبت و معنی‌دار بین مس متصل به کربنات‌ها با غلظت و جذب مس ساقه و مس باقی‌مانده و غلظت مس برگ وجود دارد. مس متصل به مواد آلی با غلظت و جذب مس برگ، مس متصل به کربنات‌ها با غلظت مس ریشه و جذب مس برگ و ریشه و مس کل با جذب مس برگ همبستگی منفی و معنی‌دار نشان داد. از بین شکل‌های شیمیایی مس در نمونه‌های خاک بعد از کشت، مس متصل به کربنات‌ها دارای بالاترین همبستگی مثبت و معنی‌دار با پارامترهای گیاهی می‌باشد. با وجود این‌که شکل کربناتی در مقایسه با شکل‌های تبادلی و محلول دارای فراهمی نسبتاً کم‌تری است، اما می‌تواند در تأمین مس مورد نیاز گیاه نقش مهمی ایفا کند.

زلفی‌باوریانی و مفتون (۲۰۱۰) گزارش کردند بین وزن خشک اندام هوایی گیاه و شکل‌های مختلف مس رابطه معنی‌داری به‌دست نیامد (۵۱). وانگ و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که اجزاء مس با غلظت مس در بخش هوایی گندم همبستگی معنی‌داری نداشتند و مس محلول در آب، مس تبادلی و مس پیوندشده با کربنات‌ها، مس پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و مس پیوندشده با ماده آلی و غلظت مس در ریشه گندم همبستگی معنی‌داری (ضرایب همبستگی به‌ترتیب ۰/٦۹، ۰/۵۲ و ۰/٤۹) داشتند (٤۹). متقیان و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند شاخص غلظت مس با مس پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و جزء باقی‌مانده در خاک‌های ریزوسفری و توده، بیش‌ترین ضریب همبستگی را داشت. بنابرین اهمیت مس پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و مس باقی‌مانده در تأمین مس قابل استفاده گندم از سایر اجزاء مس بیش‌تر بود (۳۷). تابنده و همکاران (۲۰۱۳) مشاهده کردند که غلظت مس در گیاه سویا با مس آلی و مس کربناتی همبستگی مثبت و معنی‌داری (به‌ترتیب $r=۰/۸۸^{**}$ و $r=۰/۸۳^{*}$) نشان داد. مقدار جذب کل مس نیز با مس کربناتی و آلی همبستگی مثبت (به‌ترتیب $r=۰/۸۳^{**}$ و $r= ۰/۷٦^{*}$) داشت (٤۸). نتایج پژوهش متقیان و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که اجزاء مس با غلظت مس در بخش اندام هوایی گندم همبستگی معنی‌داری نداشتند و بین مس محلول در آب، مس تبادلی، مس پیوندشده با کربنات‌ها، مس پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و مس پیوندشده با ماده آلی و غلظت مس در ریشه گندم همبستگی معنی‌داری وجود داشت (۳۸).

تعیین معادله رگرسیون خطی چندمتغیره بین پارامترهای گیاهی و شکل‌های شیمیایی مس بعد از کشت: از دیگر نتایج این پژوهش، بالا بودن ضریب همبستگی بین مس متصل به کربنات‌ها با غلظت مس ساقه (جدول ٦) و وارد شدن این شکل مس در مدل‌های رگرسیونی مربوطه است:

$Cu_{Concn\ S}$ بعد از کشت $= ۱۰/۱ + ۰/۸۵۸\ Cu\ Car^{**}$

$R^2=۰/۲۳٦$

با توجه به معادله، با افزایش مس متصل به کربنات‌ها، غلظت مس در گیاه افزایش داشته است. شکل مس متصل به کربنات‌ها، شکل مهم نگه‌داری مس در خاک‌های آهکی بوده بنابراین می‌توان آن را به‌عنوان شکل بالقوه قابل‌استفاده این عنصر در خاک‌های مورد مطالعه محسوب نمود. لنا و گد (۱۹۹۷) گزارش کردند با اضافه کردن تیمار مس، قسمت عمده آن وارد بخش غیر از باقی‌مانده شده و قابلیت زیست‌فراهمی و تحرک مس را در خاک

افزایش می‌دهد (۳۰). کاربرد کمپوست باعث تغییر در توزیع مس در دو خاک متفاوت شد به‌طوری‌که از بخش باقی‌مانده کاسته شد و بخش کربناتی و بخش متصل به اکسیدهای آهن و منگنز افزایش یافت. بیش‌تر بودن مقدار نسبی مس کربناتی در خاک مورد مطالعه احتمالاً به‌دلیل درصد بالای آهک در خاک بود (۱۲).

جدول ٦- ضریب همبستگی بین شکل‌های شیمیایی مس با پارامترهای گیاهی[1].

Table 6. Correlation coefficients (r) between copper chemical forms and plant parameters.

پارامترهای گیاهی Plant parameters	بعد از کشت After cultivation			
	مس آلی Cu OM	مس کربناتی Cu Car	مس باقی‌مانده Cu Res	مس کل Cu T
وزن خشک برگ Leaf dry weight	-0.171^{ns}	-0.140^{ns}	-0.227^{*}	-0.262^{**}
وزن خشک ساقه Stem dry weight	0.110^{ns}	-0.036^{ns}	-0.047^{ns}	-0.021^{ns}
وزن خشک ریشه Root dry weight	-0.090^{ns}	0.126^{ns}	-0.164^{ns}	-0.136^{ns}
غلظت مس برگ Leaf Cu concentration	-0.460^{**}	-0.030^{ns}	0.265^{**}	0.111^{ns}
غلظت مس ساقه Stem Cu concentration	-0.031^{ns}	0.542^{**}	0.011^{ns}	0.107^{ns}
غلظت مس ریشه Root Cu concentration	0.017^{ns}	-0.368^{**}	0.132^{ns}	0.045^{ns}
جذب مس برگ Leaf Cu uptake	-0.473^{**}	-0.284^{**}	-0.137^{ns}	-0.315^{**}
جذب مس ساقه Stem Cu uptake	0.108^{ns}	0.278^{**}	-0.058^{ns}	0.030^{ns}
جذب مس ریشه Root Cu uptake	-0.100^{ns}	-0.238^{*}	0.019^{ns}	-0.053^{ns}

۱- براساس علائم اختصاری به جدول ٤ مراجعه شود.

1- For a description of abbreviations refer to Table 4.

نتیجه‌گیری کلی

ترتیب شکل‌های شیمیایی مس در نمونه‌های خاک قبل و بعد از کشت به‌صورت زیر بود:

مس جذب سطحی شده< مس تبادلی < مس آلی< مس کربناتی< مس باقی‌مانده

شکل مس متصل به کربنات‌ها پس از شکل باقی‌مانده بالاترین مقدار مس در خاک‌های مورد مطالعه را به خود اختصاص داد، که می‌توان آن را ناشی از درصد بالای کربنات کلسیم خاک‌های آهکی منطقه دانست. می‌توان چنین استنباط کرد که شکل مس متصل به کربنات‌ها احتمالاً منبع بالقوه‌ای برای مس قابل‌استفاده گیاه در خاک‌های آهکی رفسنجان می‌باشد. در پژوهش حاضر با توجه به فقیر بودن خاک‌های تحت کشت پسته در مناطق مورد مطالعه و مصرف مداوم کودهای شیمیایی در آن‌ها می‌توان به

این واقعیت اشاره کرد که مس اضافه شده به خاک می‌تواند به شکل کربناتی تبدیل شود که این شکل نقش مؤثری در تغذیه گیاه ایفا می‌کند، بنابراین در درازمدت بر روی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه اثرات مثبتی خواهد گذاشت.

منابع

1. Abbaspour, A. 2011. Fractionation of copper in soils as influenced by waterlogging and application of crop residues. Iran. J. Soil Res. (Soil and Water Sciences). 25: 4. 295-306. (In Persian)
2. Agbenin, J.O. 2010. Extractability and transformation of copper and zinc added to tropical Savanna soil under long-term pasture. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 41: 1016-1027.
3. Agrawal, H.P., and Gupta, L.M. 1990. Evaluation of a common extractant for estimating available iron, manganese, zinc and copper in soils. Andhra Agric. J. 37: 237-240.
4. Alavi, H., Barani Motlagh, M., and Dordipour, E. 2012. Determination of chemical forms of copper and relationships with plant responses and soil properties in some soils of Golestan Province. J. Water Soil Cons. 19: 3. 43-62. (In Persian)
5. Alvarez, J.M., Lopez-Valdivia, L.M., Novillo, J., Obrador, A., and Rico, M.I. 2006. Comparison of EDTA and sequential extraction tests for phytoavailability prediction of manganese and zinc in agricultural alkaline soils. Geoderma, 132: 450-463.
6. Bakhshi, M.R. 2003. Determination of chemical forms of iron by two laboratory methods and evaluation of effect of iron on growth and chemical composition of soybean and chemical forms of some elements in soil. M.Sc. Thesis, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shiraz University. (In Persian)
7. Barker, A.V., and Pilbem, D.J. 2007. Handbook of plant nutrition. Taylor and Francis group, 773p.
8. Brun, L.A., Maillet, J., Hinsinger, P., and Pe´pin, M. 2001. Evaluation of copper availability to plants in copper-contaminated vineyard soils. Environmental Pollution, 111: 293-302.
9. Chaignon, V., Sanchez-Neira, I., Herrmann, P., Jaillard, B., and Hinsinger, P. 2003. Copper bioavailability and extractability as related to chemical properties of contaminated soils from a vine-growing area. Environmental Pollution, 123: 229-238.
10. Ehyaie, M. 1997. Descriptions of methods for soil chemical analysis, Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran. 2: 1024. (In Persian)
11. Esmaily, A., Fotovat, A., Karimian, N., Haghnia, Gh., and Mosadeghi, M. 2008. Effect of compost and cow manure on corn growth and copper concentration in two calcareous soils. 3rd National Congress of Recycling and Reuse of Organic Renewable Resources in Agriculture. Isfahan, Islamic Azad University, Khorasgan. Branch. (In Persian)
12. Esmaily, A., Karimian, N., Fotovat, A., and Haghnia, Gh. 2008. Effect of compost and copper on different chemical forms of copper in two calcareous soils. The second Conference and Exhibition of Environmental Engineering. Tehran University. (In Persian)
13. Feng, M.H., Shan, X.Q., Zhang, S.Z., and Wen, B. 2005. Comparison of a rhizosphere-based method with other one-step extraction methods for assessing the bioavailability of soil metals to wheat. Chemosphere, 59: 939-949.
14. Filgueiras, A.V., Lavilla, I., and Bendicho, C. 2002. Chemical sequential extraction for metal partitioning in environmental solid samples. J. Environ. Monitor. 4: 823-857.
15. Finzgar, N., Tlustos, P., and Lestan, D. 2007. Relationship of soil properties to fractionation, bioavailability and mobility of lead and zinc in soil. Plant, Soil and Environment, 53: 225-238.

16. Fuentes, A., Llorens, M., Saez, J., Soler, A., Aguilar, M., Ortuno, J.F., and Meseguer, V.F. 2004. Simple and sequential extractions of heavy metals from different sewage sludges. Chemosphere, 54: 1039-1047.
17. Graft, M., Lair, G.J., Zehenter, F., and Gerzabek, M.H. 2007. Geochemical fractions of copper in soils chronosequences of selected European floodplains. Environmental Pollution, 148: 3. 788-796.
18. Guan, T.X., He, H.B., Zhang, X.D., and Bai, Z. 2011. Cu fractions, mobility and bioavailability in soil-wheat system after Cu-enriched livestock manure applications. Chemosphere, 82: 215-222.
19. Gupta, A.K., and Sinha, S. 2007. Assessment of single extraction method for the prediction of bioavailability of metals to *Brassica juncea* L. Czern. (var. Vaibhav) grown on tannery waste contaminated soil. J. Hazard. Mater. 149: 144-150.
20. Han, F.X., Kingery, W.L., and Selim, H.M. 2001. Accumulation, redistribution, transport, and bioavailability of heavy metals in waste-amended soils. P 145-173, In: I.K. Iskandar and M.B. Kirkham (eds), Trace elements in soil, bioavailability, flux and transfer. CRC Press.
21. Han, F.X., and Banin, A. 1997. Long-term transformations and redistribution of potentially toxic heavy metals in arid-zone soils incubated I. under saturated conditions. Water, Air and Soil Pollution. 95: 399-423.
22. Han, F.X., Kingery, W.L., Selim, H.M., and Gerald, P. 2000. Accumulation of heavy metals in a long-term poultry waste-amended soil. Soil Science. 165: 260-268.
23. He, Z.L.L., Yang, X.E., and Stoffella, P.J. 2005. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. J. Trace Elem. Med. Biol. 19: 125-140.
24. Hedarinejad, A., and Abosaeedi, D. 2006. Identify and review of effective factors on the fine leaf pistachios form viewpoint plant diseases, nutrition and irrigation. Final report, Irrigation and Plant Nutrition Department, Pistachio Research Center, Iran. (In Persian)
25. 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. J. Environ. Qual. 30: 485-492.
26. Kabata-Pendias, A. 2010. Trace elements in soils and plants. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 548p.
27. Kawasaki, A., Kimura, R., and Arai, S. 2000. Fractionation of trace elements in wastewater treatment sludges. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 31: 2413-2423.
28. Keller, C., and Vedy, J.C. 1994. Distribution of copper and cadmium fractions in two forest soils. J. Environ. Qual. 23: 987-999.
29. Khanlari Z.V., and Jalali, M. 2008. Concentrations and chemical speciation of five heavy metals (Zn, Cd, Ni, Cu, and Pb) in selected agricultural calcareous soils of Hamadan Province, western Iran. Archives of Agronomy and Soil Science. 54: 19-32.
30. Lena, Q.M., and Gade, N.R. 1997. Heavy metals in the environment: chemical fractionation of cadmium, copper, nickel and zinc in contaminated soils. J. Environ. Qual. 26: 259-264.
31. Lindau, C.W., and Hossner, L.R. 1982. Sediment fractionation of Cu, Zn, Cr, Mn, and Fe in one experimental and three natural marshes. J. Environ. Qual. 11: 3. 540-545.
32. Lindsay, W.L. 1991. Iron oxide solubilization by organic matter and its effect on iron availability. Plant and Soil. 130: 27-34.
33. Ma, Y.B., and Uren, N.C. 1995. Application of a new fractionation scheme for heavy metals in soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 26: 3291-3303.
34. Mada, I., Gudenschwager, O., Carrasco, M.A., Castillo, G., Ascar, L., and Richter, P. 2009. Copper and zinc bioavailabilities to ryegrass (*Lolium perenne L.*) and subterranean clover (*Trifolium subterraneum L.*) grown in biosolid treated Chilean soils. J. Environ. Manage. 90: 2665-2671.

35. Maiz, I., Arambarri, I., Garcia, R., and Millan, E. 2000. Evaluation of heavy metal availability in polluted soils by two sequential extraction procedures using factor analysis. Environmental Pollution. 110: 3-9.
36. Marschner, H. 1995. Functions of mineral nutrients: Micronutrients. In: Mineral nutrition of higher plants, 2nd ed., Academic Press Limited. San Diego. CA. Pp: 313-396.
37. Motaghian, H.R., Hosseinpur, A.R., Mohammadi, J., and Raeisi, F. 2013. Relation between Cu fractions and wheat (*Triticum aestivum*) indices in some calcareous soils treated and untreated with sewage sludge. Iran. J. Soil Res. (Soil and Water Sciences). 26: 4. 337-346. (In Persian)
38. Motaghian, H.R., Hosseinpur, A.R., Mohammadi, J., and Raeisi, F. 2013. Change in bioavailability and fractions of copper in the rhizosphere of wheat (*Triticum aestivum* L.) in some calcareous soils. Iran. J. Soil Res. (Soil and Water Sciences). 26: 1492-1504. (In Persian)
39. Saffari, V.R., Saffari, M., and Moazallahi, M. 2009. The impact of municipal wastewater on the chemical forms of zinc and copper in two sandy loam and sandy clay soils. 10th National Seminar on Irrigation and Evapotranspiration. Shahid Bahonar University of Kerman. (In Persian)
40. Sims, J.L., and Patrick, W.H. 1978. The distribution of micronutrient cations in soil under conditions of varying redox potential and pH. Soil Sci. Soc. Amer. J. 42: 258-262.
41. Sing, K., Shukla, U., and Karwasra, S. 1987. Chemical assessment of the zinc status of the semiarid region of India. Fertilizer Research. 13: 191-197.
42. Singh, J.P., Karwasra, S.P.S., and Singh, M. 1988. Distribution and forms of copper, iron, manganese and zinc in calcareous soils of India. Soil Science. 146: 359-366.
43. Sipos, P. 2009. Distribution and sorption of potentially toxic metals in four forest soils from Hungary. Central Europ. J. Geosci. 1: 183-192.
44. Sposito, G., LeVesque, C.S., LeClaire, J.P., and Chang, A.C. 1983. Trace elements chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: III. Effect of the time on the extraction of trace metals. Soil Sci. Soc. Amer. J. 47: 898-902.
45. 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, Zn, Cd and Pb in solid phases. Soil Sci. Soc. Amer. J. 46: 260-264.
46. Stover, R.C., Sommers, L.E., and Silveria, D.J. 1976. Evaluation of metals in waste water sludge. J. Water Poll. Control Fed. 48: 2165-2175.
47. Tabande, L., Bakhshi, M.R., and Karimian, N.A. 2013. Evaluation of the relationships between Cu chemical forms and Cu uptake by Soybean in several calcareous soils in Fars province. Elec. J. Soil Manage. Sust. Prod. 3: 1. 183-198. (In Persian)
48. Tabande, L., Maftoun, M., and Karimian, N.A. 2009. Comparison of chemical extractants for determination of copper availability to rice in selected calcareous soils of Fars province. Iran. J. Soil Res. (Soil and Water Sciences). 22: 2. 189-201. (In Persian)
49. Wang, Z., Shan, X.Q., and Zhang, S. 2002. Comparison between fractionation and bioavailability of trace elements in rhizosphere and bulk soils. Chemosphere. 46: 8. 1163-1171.
50. Xian, X. 1989. Effect of chemical forms of cadmium, zinc, and lead in polluted soils on their uptake by cabbage plants. Plant and Soil. 113: 257-264.
51. Zolfi Bavaryani, M., and Maftoun, M. 2010. Effect of zinc, copper and their chemical forms on growth and chemical composition of rice in a calcareous soil. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. (Water and Soil Sciences). 14: 54. 111-120. (In Persian)

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 9(2), 2019
http://ejsms.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejsms.2019.12711.1722

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Determination of chemical forms of Cu and their relationship with pistachio seedlings responses and soil properties in some calcareous soils of Rafsanjan

***A. Tajabadi Pour[1] and S.H. Hosseini[2]**
[1]Associate Prof., Dept. of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan,
[2]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan
Received: 02.06.2017; Accepted: 01.12.2019

Abstract

Background and Objectives: Determination of different chemical forms of copper in soil is important in the evaluation of copper availability for plants, soil fertility management as well as plant nutrition. Availability of copper for plants depends on the relative distribution of different chemical forms of copper. Copper relative distribution in soil is a function of physical and chemical properties of soil such as the amount of organic matter, $CaCO_3$ content, soil pH, clay content and CEC. Sequential extraction is one procedure to estimate the chemical forms of elements such as copper in soil that is considered as the perfect method for the description of elements behavior in soil. This study was done to determine different chemical forms of copper in some calcareous soils of Rafsanjan, relationship between these chemical forms and with physical and chemical characteristics of studied soils and also relation of different chemical forms of copper with plant responses (growth parameters and Cu concentration and uptake) of pistachio seedlings.

Materials and Methods: Eleven soil samples with different physical and chemical properties from different parts of Rafsanjan region before and after cultivation were fractionated by sequential extraction (Sposito et al.) to estimate the quantities of copper in exchangeable, sorbed, organic, carbonate and residual forms. The greenhouse experiment was carried out as a completely randomized design on 11 soil samples in three replications and each replication in three observations in pots containing 4 kg soil. After 8 months, pistachio seedlings were harvested and soils were air dried. Chemical forms of copper in soil samples were extracted by method of Sposito et al. and Cu concentration in plant tissues (leaf, stem and root) were determined by atomic absorption spectrometry.

Results: Sequential extraction results indicated that exchangeable and sorbed forms of copper before and after planting were negligible, organic Cu 9.1 and 17.6%, carbonate Cu 9.8 and 20.8% and residual Cu 80 and 61.4% respectively. After planting the amount of residual copper significantly decreased whereas organic and carbonate forms significantly increased. The highest correlation coefficient in soil samples, after cultivation was observed between carbonate Cu and stem Cu concentration ($r=0.542^{**}$).

Conclusion: Organic and carbonate forms of copper could have an important role in pistachio seedlings nutrition, although their availabilities in soils are low. Generally, the pattern of copper distribution in soil samples before and after planting was as follows:

Residual Cu > carbonate Cu> organic Cu> exchangeable Cu> adsorbed Cu

Keywords: Calcareous soil, Pistachio, Residual Cu, Sequential extraction

* Corresponding Author; Email: tajabadi@vru.ac.ir