نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۷، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۲، ص. ۷۵۲-۷۴۲

Journal of Water and Soil
Vol. 27, No.4, Sept.-Oct. 2013, p. 742-752

ارزیابی چند عصاره‌گیر جهت تعیین روی قابل استفاده لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در خاک‌های آهکی تیمارشده و تیمارنشده با لجن فاضلاب

حمیدرضا متقیان[1*]- علیرضا حسین پور[2]

تاریخ دریافت:۱۳۹۱/۹/۲۷
تاریخ پذیرش:۱۳۹۲/۶/۳

چکیده

لجن فاضلاب به‌عنوان کودی ارزان قیمت برای برطرف کردن کمبود عناصر از جمله روی استفاده می‌شود. با این حال، عصاره‌گیر مناسب روی قابل استفاده لوبیا در خاک‌های آهکی تیمارشده با لجن فاضلاب معرفی نشده است. هدف این پژوهش ارزیابی چند روش شیمیایی در برآورد روی قابل استفاده در خاک‌های آهکی تیمارشده و تیمارنشده با لجن فاضلاب بود. برای تیمار خاک‌ها ۱٪ (وزنی- وزنی) لجن فاضلاب به خاک‌ها اضافه و خاک‌های تیمارشده و تیمارنشده به مدت یک ماه در رطوبت مزرعه خوابانده شدند. در پایان انکوباسیون، خاک‌ها خشک و روی قابل استفاده با ۷ روش (DTPA-TEA، AB-DTPA، مهلیچ ۱، مهلیچ ۲، مهلیچ ۳، HCl ۰/۱ نرمال و کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار) تعیین شد. شاخص‌های گیاه لوبیا شامل ماده خشک، غلظت و جذب روی در یک آزمایش گلدانی تعیین شدند. نتایج نشان داد که در خاک‌های تیمارشده و تیمارنشده با لجن فاضلاب، بیشترین مقدار روی با استفاده از روش مهلیچ ۳ و کمترین مقدار آن با استفاده از روش مهلیچ ۱ عصاره‌گیری شد. بر اثر افزودن لجن فاضلاب به خاک، روی عصاره‌گیری شده با روش‌های مختلف و شاخص‌های گیاه لوبیا افزایش یافت. همچنین نتایج نشان داد که در خاک‌های تیمارنشده روی عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای AB-DTPA، DTPA-TEA و مهلیچ ۳ با شاخص‌های گیاه همبستگی معنی‌داری داشتند. درحالی‌که در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب، بین روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA و مهلیچ ۱ با وزن خشک گیاه و جذب روی و مهلیچ ۲ با غلظت روی در گیاه همبستگی معنی‌داری وجود داشت. نتایج این پژوهش نشان داد که عصاره‌گیر DTPA-TEA توانایی برآورد روی قابل استفاده لوبیا در خاک‌های تیمارنشده و تیمارنشده با لجن فاضلاب را دارد.

واژه های کلیدی: لجن فاضلاب، عصاره‌گیرهای روی، لوبیا، DTPA-TEA

مقدمه

روی در بیش از ۳۰۰ آنزیم درگیر در فرآیندهای متابولیسمی در انسان، دام و گیاه وجود دارد (۴). بنابراین تأمین این عنصر به میزان کافی برای رشد طبیعی ضروری است. با این‌حال کمبود روی در خاک‌های زیر کشت در ایران شایع است. دلایل عمده کمبود روی در ایران شامل آهکی بودن خاک‌ها، دامنه pH بالا در این خاک‌ها (۷/۹ تا ۸/۵)، کاربرد گسترده کودهای فسفاته و غلظت‌های بالای بی‌کربنات در آب آبیاری و عدم مصرف کودهای روی است (۱۵). بنابراین توزیع روی در خاک‌های آهکی وابسته به فاکتورهای زیادی نظیر واکنش خاک، نوع کانی‌ها، کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در محلول خاک و واکنش‌دهنده‌ها با عنصر روی است (۲۶). وقتی‌که تأمین عنصر روی مورد نیاز گیاه کافی نباشد، میزان محصول کاهش خواهد یافت و علاوه بر این کیفیت محصولات تولیدشده نیز کاهش می‌یابد (۶).

استفاده از لجن فاضلاب (Sewage sludge) در زمین‌های کشاورزی ایران در حال افزایش است. کشاورزان به‌دلیل ارزان بودن این کود تمایل زیادی برای مصرف آن دارند. بسیاری از گیاهان در خاک‌های مناطق خشک به‌علّت آهکی بودن، عدم وجود پوشش گیاهی کافی و بازگشت مقدار اندک بقایای گیاهی به خاک و ماده‌آلی پایین همواره با کمبود عناصر از جمله روی روبرو هستند. مصرف موادآلی از جمله روش‌های افزایش قابلیت جذب این عناصر برای گیاه است. کاربرد کودهای آلی نظیر لجن فاضلاب می‌تواند سهم مهمی در

۱ و ۲- به ترتیب دانش آموخته دکتری و استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
(*- نویسنده مسئول: Email: hrm_61@yahoo.com)

تأمین نیازهای غذایی گیاهان داشته باشد (۲). به علاوه کاربرد لجن فاضلاب می‌تواند سبب بهبود خصوصیات فیزیکی خاک از جمله ظرفیت نگهداری آب، تهویه و تخلخل شود (۵). در برخی موارد مصرف لجن فاضلاب در تأمین نیاز گیاهان به عناصر کم‌نیاز، بسیار مؤثرتر از سایر منابع است. برای مثال، سامرس (۳۰۶) گزارش کرد که استفاده از لجن فاضلاب برای جبران کمبود عنصر غذایی روی در کشت گیاه ذرت بسیار مؤثرتر از مصرف سولفات روی بوده است. با این وجود، کاربرد لجن فاضلاب ممکن است سبب افزایش میزان عناصر به حد سمیت در گیاه گردد.

به منظور تعیین مقدار قابل استفاده عناصر برای گیاه از عصاره‌گیرهای مختلف استفاده می‌شود. عصاره‌گیرهای مختلف شامل اسیدها، نمک‌ها و کلات کننده‌ها هستند که برای تعیین مقدار قابل استفاده عنصر روی در خاک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱۰). برای ارزیابی توانایی هر عصاره‌گیر در برآورد مقدار روی قابل استفاده گیاه از ضریب همبستگی بین مقدار روی عصاره‌گیری شده به‌وسیله آن عصاره‌گیر و مقدار روی جذب شده توسط گیاه استفاده می‌شود (۶). ویژگی‌های خاک و عوامل گیاهی بر جذب عناصر بوسیله گیاه مؤثرند (۲۳). بنابراین تعیین عصاره‌گیر مناسب برای گیاهان مختلف ضروری است. در پژوهش‌های انجام شده در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب، یک عصاره‌گیر واحد به عنوان مناسب‌ترین عصاره‌گیر برآورد کننده روی قابل استفاده گزارش نشده است. متقیان و همکاران (۳) به بررسی توانایی ۷ روش عصاره‌گیری شیمیایی در برآورد روی قابل استفاده گندم در ۱۰ نمونه خاک آهکی تیمارنشده و تیمارشده با لجن فاضلاب در استان چهارمحال و بختیاری پرداختند. نتایج آنان نشان داد که در خاک‌های تیمارنشده روی عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای AB–DTPA، DTPA-TEA و مهلیچ ۳ با غلظت روی، ماده خشک و جذب روی در گندم همبستگی معنی‌داری (**۰/۹۱ - *r=۰/۶۵) داشتند. درحالی‌که در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب، فقط بین روی عصاره‌گیری شده با روش مهلیچ ۲ و غلظت در گیاه همبستگی معنی‌دار (**r=۰/۸۳) وجود داشت. اردلان و همکاران (۱) در خاک‌های مازندران به بررسی عصاره‌گیر مناسب عنصر روی در کشت ذرت پرداختند. نتایج آنها نشان داد که مقدار روی عصاره‌گیری شده با استفاده از روش DTPA-TEA دارای بیشترین ضریب همبستگی با غلظت روی در گیاه ذرت بود. راماچاندران و دسوزا (۳۰) به بررسی قابلیت استفاده عناصر سنگین از جمله روی در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب تحت کشت گیاه ذرت پرداختند. نتایج آنها نشان داد که مقدار روی قابل استفاده و ماده خشک ذرت در خاک‌های تیمارشده به صورت معنی‌داری افزایش یافت. همچنین آنها بین مقدار روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA و غلظت روی در گیاه ضریب همبستگی برابر با **۰/۸۱ گزارش کردند. مندوزا و همکاران (۲۰) به بررسی قابلیت استفاده و جذب عناصر سنگین از جمله روی در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب تحت کشت گیاه سورگوم پرداختند. نتایج آنها نشان داد که بین غلظت روی در گیاه و روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA همبستگی معنی‌داری وجود نداشت.

با وجود اهمیت لجن فاضلاب در جبران کمبود عناصر غذایی در خاک‌ها، نیاز به ارزیابی مقدار قابل استفاده عناصر غذایی از جمله روی در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب برای گیاهان مختلف وجود دارد. مطالعه عصاره‌گیر مناسب برای تعیین مقدار روی قابل استفاده گیاه لوبیا در خاک‌های استان چهارمحال و بختیاری صورت نگرفته است. بنابراین، این تحقیق با توجه به اهمیت عنصر روی، امکان استفاده از لجن فاضلاب برای جبران کمبود این عنصر، اهمیت لوبیا به‌عنوان گیاهی دارای سطح کشت نسبتاً وسیع و همچنین ضرورت ارزیابی عصاره‌گیر مناسب این عنصر انجام شد.

مواد و روش‌ها

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها

در این پژوهش، ابتدا ۳۰ نمونه خاک از افق سطحی خاک‌های آهکی استان چهارمحال و بختیاری جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل و پس از هوا خشک‌کردن، بخشی از آنها از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. در نهایت پس از انجام برخی از تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی ۱۰ نمونه خاک بر اساس مقدار روی قابل استفاده (۱۳)، درصد رس و درصد کربنات کلسیم معادل جهت ادامه آزمایش انتخاب شدند. بافت خاک به‌روش هیدرومتر، pH خاک در سوسپانسون دو به یک آب به خاک، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره دو به یک آب به خاک، کربنات کلسیم معادل به‌روش تیتراسیون برگشتی (۱۴)، گنجایش تبادل کاتیونی به‌روش استات سدیم (pH= ۷) (۳۲)، ماده‌آلی به‌روش اکسیداسیون مرطوب (۲۱) و روی قابل استفاده با استفاده از ۷ روش عصاره‌گیری شیمیایی (جدول ۱) تعیین شدند. مقدار کل روی با استفاده از هضم با اسید نیتریک ۴ مولار (۳۱) تعیین شد.

لجن فاضلاب

لجن فاضلاب شهری به صورت خشک از تصفیه‌خانه فاضلاب شهرکرد تهیه و از الک ۱ میلی‌متری عبور داده شد. خصوصیات لجن فاضلاب شامل pH و قابلیت هدایت الکتریکی به‌ترتیب در سوسپانسیون و عصاره پنج به یک آب به لجن فاضلاب و مقادیر کل و قابل استفاده روی به‌ترتیب با استفاده از هضم با اسید نیتریک ۴ مولار (۳۱) و DTPA-TEA (۱۳) تعیین شدند. همچنین مقدار کل عناصر کادمیم، نیکل، سرب و مس با استفاده از هضم با اسید نیتریک ۴ مولار (۳۱) تعیین شد.

جدول ۱- روش‌های عصاره‌گیری شیمیایی مورد استفاده در تعیین روی قابل استفاده (۳)

عصاره‌گیر	ترکیب عصاره‌گیر	نسبت خاک- عصاره‌گیر	زمان تکان‌دادن (دقیقه)
DTPA-TEA	۰/۰۰۵ مولار DTPA + ۰/۱ مولار $CaCl_2$ + ۰/۱ مولار TEA (pH= ۷/۳)	۱:۲	۱۲۰
AB-DTPA	۰/۰۰۵ مولار DTPA + ۱ مولار NH_4HCO_3 (pH= ۷/۶)	۱:۲	۱۵
مهلیچ ۱	۰/۰۵ نرمال HCl + ۰/۰۲۵ نرمال H_2SO_4	۱:۴	۱۵
مهلیچ ۲	۰/۲ مولار NH_4Cl + ۰/۰۱۵ مولار NH_4F + ۰/۰۱۲ مولار HCl + ۰/۲ مولار CH_3COOH	۱:۱۰	۵
مهلیچ ۳	۰/۰۱۵ مولار NH_4F + ۰/۲۵ مولار NH_4NO_3 + ۰/۰۱۳ مولار HNO_3 + ۰/۲ مولار CH_3COOH + ۰/۰۰۱ مولار EDTA	۱:۱۰	۵
HCl	۰/۱ نرمال HCl	۱:۵	۱۲۰
کلرید کلسیم	۰/۰۱ مولار $CaCl_2$	۱:۱۰	۱۲۰

کشت گلخانه‌ای

برای تیمار خاک‌ها با لجن فاضلاب، معادل ۱ درصد وزنی لجن فاضلاب عبور داده شده از الک ۱ میلی‌متری به خاک‌ها اضافه و رطوبت خاک‌ها را به حدود ظرفیت مزرعه‌ای رسانده شد. خاک‌های تیمارشده و تیمارنشده به مدت یک ماه خوابانیده شدند. در پایان دوره انکوباسیون و قبل از کشت، روی قابل استفاده در خاک‌های تیمارشده و تیمارنشده با لجن فاضلاب با عصاره‌گیرهای بیان‌شده در جدول ۱ عصاره‌گیری شدند. بدلیل اینکه سایر عناصر غذایی باید به مقدار کافی در اختیار گیاه باشند، بر اساس نتایج تجزیه خاک به هر گلدان در خاک‌های تیمارنشده ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره در ابتدای کشت اضافه شد. همچنین به هر گلدان مقدار ۱۰۰ میلی‌گرم پتاسیم در کیلوگرم خاک از منبع سولفات پتاسیم و ۵ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک از منبع سکوسترین ۱۳۸ اضافه شد. مقدار کود فسفره نیز پس از تعیین فسفر قابل استفاده خاک‌ها با روش اولسن، به هر گلدان اضافه شد.

بذرهای لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) (رقم صیاد) با استفاده از هیپوکلریت سدیم ۳٪ استریل و پس از ۲۴ ساعت قرارگیری در آب مقطر، با استفاده از مایه تلقیح رایزوبیوم تلقیح شدند. سپس ۳ بذر در هر گلدان کشت و در طول مدت رشد مراقبت‌های لازم انجام و رطوبت خاک‌ها در حد ظرفیت مزرعه‌ای نگهداشته شد. گیاهان ۸ هفته پس از جوانه‌زدن برداشت شدند. بخش‌های هوایی با آب مقطر شستشو، به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون تهویه‌دار خشک و سپس وزن خشک اندام هوایی تعیین شد. غلظت عنصر روی در اندام‌های هوایی با روش خاکستر خشک (۹) و با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل جی‌بی‌سی، ۹۳۲) تعیین و سپس روی جذب شده با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد.

ماده خشک (کیلوگرم در گلدان) × غلظت روی (میلی‌گرم در کیلوگرم) = جذب روی (میلی‌گرم در گلدان)

در پایان ضریب همبستگی (r) بین شاخص‌های لوبیا (ماده خشک، غلظت روی و روی جذب‌شده) و مقدار روی عصاره‌گیری شده با استفاده از ۷ روش شیمیایی و بین عصاره‌گیرهای مختلف با استفاده از نرم‌افزار SPSS,17.0 تعیین و عصاره‌گیر یا عصاره‌گیرهای مناسب انتخاب شدند. برای مقایسه میانگین شاخص‌های لوبیا در خاک‌های تیمارنشده و تیمارشده از آزمون t-test ($p<۰/۰۵$) استفاده شد.

نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که که خصوصیات خاک‌ها از دامنه تغییرات وسیعی برخوردار بودند. دامنه تغییرات رس ۲۵ تا ۵۵ (متوسط ۴۴ درصد) و سیلت در دامنه ۳۳ تا ۵۵ (متوسط ۴۳ درصد) بود. خاک‌های مورد مطالعه دارای pH قلیایی و قابلیت هدایت الکتریکی و مقدار کربن آلی پایین بودند. تغییرات pH ۷/۵ تا ۸/۱ و قابلیت هدایت الکتریکی ۰/۱۲ تا ۰/۲۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. دامنه تغییرات کربن آلی و کربنات کلسیم معادل خاک‌ها به ترتیب ۰/۳۰ تا ۱/۱۹ و ۱۱/۳ تا ۴۱/۰ درصد بود. دامنه تغییرات گنجایش تبادل کاتیونی خاک‌ها ۱۱/۵ تا ۲۲/۵ سانتی‌مول بار در کیلوگرم خاک بود. مقدار کل روی خاک‌های مورد مطالعه در دامنه ۳۴ تا ۵۸ میلی‌گرم در کیلوگرم بود.

پیامدهای کاربرد لجن فاضلاب در زمین‌های کشاورزی بستگی زیادی به ویژگی‌های شیمیایی لجن فاضلاب مورد استفاده دارد. pH لجن فاضلاب مورد استفاده ۷/۵، قابلیت هدایت الکتریکی ۲/۲۵ دسی زیمنس بر متر و مقدار روی قابل استفاده و روی کل به ترتیب ۵۵۸ و ۱۳۲۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. مقادیر کل کادمیم، نیکل، سرب و مس در لجن فاضلاب به‌ترتیب ۷۳، ۷۸، ۵۸۳ و ۷۸ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. مقایسه مقادیر عناصر سنگین موجود در لجن فاضلاب مورد استفاده با استانداردهای آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA) نشان داد که غلظت کادمیم و سرب در لجن فاضلاب بیشتر از مقدار استاندارد این عناصر (به ترتیب ۳۹ و۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود (۳۴).

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	رس	سیلت	کربنات کلسیم معادل	کربن آلی	pH	هدایت الکتریکی	گنجایش تبادل کاتیونی	روی کل
	(درصد)					($dS\ m^{-1}$)	($cmol_c\ kg^{-1}$)	($mg\ kg^{-1}$)
۱	۵۵	۴۰	۲۸/۷	۰/۷۲	۷/۸	۰/۱۳	۲۰/۹	۵۷
۲	۵۳	۴۴	۳۵/۶	۰/۳۰	۸/۱	۰/۱۳	۱۹/۳	۵۴
۳	۴۹	۳۹	۲۹/۴	۰/۵۱	۷/۹	۰/۱۲	۲۲/۵	۴۵
۴	۴۶	۴۲	۲۶/۴	۰/۷۱	۷/۸	۰/۱۴	۲۱/۶	۴۵
۵	۴۱	۴۲	۳۲/۲	۰/۵۴	۸/۱	۰/۱۳	۱۶/۰	۳۷
۶	۳۷	۴۴	۳۲/۵	۰/۸۰	۷/۶	۰/۱۶	۱۵/۶	۴۴
۷	۲۵	۳۳	۴۱/۰	۰/۴۷	۷/۷	۰/۲۱	۱۱/۵	۳۴
۸	۳۸	۵۵	۲۳/۱	۱/۱۹	۸/۱	۰/۲۴	۱۷/۹	۵۸
۹	۴۸	۴۶	۱۱/۳	۱/۱۶	۷/۸	۰/۲۵	۱۸/۵	۵۴
۱۰	۴۹	۴۶	۱۴/۸	۰/۹۷۰	۷/۹	۰/۲۳	۱۷/۹	۵۶

مقدار روی عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای مورد مطالعه در جدول ۳ نشان داده شده است. بر اساس نتایج، روی عصاره‌گیری شده با روش‌های مختلف در یک خاک تغییرات زیادی داشت که نشان‌دهنده مکانیسم متفاوت عصاره‌گیرها در استخراج این عنصر است. همچنین در هر عصاره‌گیر، روی عصاره‌گیری شده در خاک‌ها تفاوت زیادی داشت که نشان‌دهنده تفاوت روی قابل عصاره‌گیری در خاک‌ها است که می‌تواند ناشی از تفاوت در اجزاء معدنی این عنصر در خاک باشد (۷).

میانگین روی عصاره‌گیری شده در خاک‌های تیمارنشده، به ترتیب توسط عصاره‌گیرهای مهلیچ ۳، مهلیچ ۲، AB–DTPA، DTPA-TEA، کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار، HCl ۰/۱ نرمال و مهلیچ ۱ کاهش یافت. دامنه تغییرات روی عصاره‌گیری شده با روش مهلیچ ۳، ۱/۹۱ تا ۴/۱۵ با میانگین ۲/۹۳ میلی‌گرم در کیلوگرم، با روش مهلیچ ۲، ۱/۰۷ تا ۱/۴۱ با میانگین ۱/۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم، با روش AB–DTPA، ۰/۵۳ تا ۱/۴۷ با میانگین ۰/۹۸ میلی‌گرم در کیلوگرم و با روش DTPA-TEA، ۰/۳۴ تا ۱/۳۱ با میانگین ۰/۶۶ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. همچنین دامنه تغییرات روی عصاره‌گیری شده با روش کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار، ۰/۵۰ تا ۰/۶۶ با میانگین ۰/۵۷ میلی‌گرم در کیلوگرم، با روش HCl ۰/۱ نرمال، ۰/۳۱ تا ۰/۳۳ با میانگین ۰/۳۲ میلی‌گرم در کیلوگرم و با روش مهلیچ ۱، ۰/۲۶ تا ۰/۳۴ با میانگین ۰/۲۹ میلی‌گرم در کیلوگرم بود.

در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب، مقدار روی عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای مختلف به‌صورت مهلیچ ۳> AB–DTPA> DTPA-TEA> مهلیچ ۲> کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار> HCl ۰/۱ نرمال > مهلیچ ۱ بود. دامنه تغییرات روی عصاره‌گیری شده با روش مهلیچ ۳، ۷/۵۴ تا ۱۱/۵۶ با میانگین ۹/۸۱ میلی‌گرم در کیلوگرم، با روش AB–DTPA، ۶/۲۸ تا ۸/۵۹ با میانگین ۷/۴۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و با روش DTPA-TEA، ۳/۸۷ تا ۵/۸۳ با میانگین ۴/۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. همچنین دامنه تغییرات روی عصاره‌گیری شده با روش مهلیچ ۲، ۱/۱۰ تا ۲/۶۶ با میانگین ۲/۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم، با روش کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار، ۰/۵۶ تا ۰/۶۸ با میانگین ۰/۶۳ میلی‌گرم در کیلوگرم، با روش HCl ۰/۱ نرمال، ۰/۳۲ تا ۰/۳۸ با میانگین ۰/۳۴ میلی‌گرم در کیلوگرم و با روش مهلیچ ۱، ۰/۳۲ تا ۰/۳۶ با میانگین ۰/۳۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بود.

توانایی عصاره‌گیرها در استخراج عناصر متفاوت است. وجود کلات‌کننده اتیلن دی‌آمین تترا استیک اسید (EDTA) در عصاره‌گیر مهلیچ ۳ منجر به افزایش توانایی این روش عصاره‌گیری نسبت به سایر روش‌های حاوی کلات‌کننده‌ها می‌شود (۱۹). کلات‌کننده EDTA بدون توجه به خصوصیات خاک بدلیل داشتن pH کمتر نسبت به DTPA مقدار بیشتری از عناصر کم‌نیاز خاک را عصاره‌گیری می‌کند. همچنین، عصاره‌گیر EDTA توانایی استخراج عناصر کم‌نیاز پیوندشده با مواد آلی، اکسیدها و بخش‌هایی از عناصر موجود در کانی‌های رسی را دارد (۲۷). سلطان‌پور و شواب (۲۹) گزارش کردند که روش AB-DTPA نسبت به روش DTPA-TEA ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم روی قابل استفاده بیشتری عصاره‌گیری می‌کند. روش عصاره‌گیری DTPA-TEA محتوی کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار است که از حل شدن کربنات کلسیم و آزادشدن عناصر محبوس شده در این ترکیب جلوگیری می‌کند (۱۳). بنابراین علت عصاره‌گیری مقدار بیشتر روی در استفاده از روش AB-DTPA می‌تواند به‌دلیل ترکیب مواد شیمیایی همراه در این روش عصاره‌گیری باشد. روش عصاره‌گیری کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار عنصر روی جذب غیراختصاصی شده را از طریق جانشینی عصاره‌گیری می‌کند (۱۶). توانایی کم عصاره‌گیرهای اسیدی (HCl ۰/۱ نرمال و روش مهلیچ ۱) می‌تواند به‌دلیل خنثی شدن این عصاره‌گیرها در خاک‌های آهکی مورد مطالعه باشد.

جدول ۳- مقادیر روی عصاره‌گیری شده (میلی‌گرم در کیلوگرم) با استفاده از عصاره‌گیرهای مختلف در خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	DTPA-TEA	AB-DTPA	مهلیچ ۱	مهلیچ ۲	مهلیچ ۳	HCl	کلرید کلسیم
			خاک‌های تیمارنشده				
۱	۰/۵۰	۰/۵۳	۰/۳۴	۱/۳۱	۲/۹۷	۰/۳۱	۰/۵۰
۲	۰/۵۹	۱/۰۷	۰/۳۱	۱/۱۵	۲/۷۴	۰/۳۲	۰/۵۱
۳	۰/۳۴	۰/۵۸	۰/۲۸	۱/۳۸	۱/۹۱	۰/۳۳	۰/۵۱
۴	۰/۷۵	۱/۲۹	۰/۳۰	۱/۱۸	۳/۰۱	۰/۳۱	۰/۵۶
۵	۰/۵۴	۰/۹۵	۰/۲۸	۱/۲۰	۲/۴۹	۰/۳۱	۰/۵۴
۶	۰/۶۶	۱/۱۹	۰/۳۰	۱/۲۵	۳/۰۰	۰/۳۲	۰/۵۸
۷	۰/۷۷	۱/۰۰	۰/۲۸	۱/۳۱	۲/۷۶	۰/۳۲	۰/۶۱
۸	۰/۷۳	۰/۹۸	۰/۲۸	۱/۰۷	۳/۷۳	۰/۳۲	۰/۵۹
۹	۱/۳۱	۱/۴۷	۰/۲۹	۱/۴۱	۴/۱۵	۰/۳۲	۰/۶۶
۱۰	۰/۳۹	۰/۷۷	۰/۲۶	۱/۲۰	۲/۵۶	۰/۳۲	۰/۵۹
میانگین	۰/۶۶	۰/۹۸	۰/۲۹	۱/۲۵	۲/۹۳	۰/۳۲	۰/۵۷
			خاک‌های تیمارشده				
۱	۵/۸۳	۷/۵۵	۰/۳۶	۱/۸۹	۷/۸۳	۰/۳۸	۰/۵۹
۲	۵/۶۹	۸/۵۶	۰/۳۵	۲/۳۱	۱۱/۵۶	۰/۳۵	۰/۵۶
۳	۳/۹۳	۶/۹۶	۰/۳۴	۲/۲۷	۸/۵۶	۰/۳۴	۰/۶۳
۴	۴/۲۱	۷/۶۷	۰/۳۳	۲/۴۷	۹/۸۸	۰/۳۳	۰/۶۳
۵	۴/۰۵	۶/۸۰	۰/۳۳	۲/۲۲	۹/۶۹	۰/۳۲	۰/۶۰
۶	۴/۳۵	۶/۲۸	۰/۳۳	۲/۶۶	۱۱/۴۹	۰/۳۳	۰/۶۵
۷	۴/۱۲	۷/۱۶	۰/۳۳	۲/۳۳	۱۰/۶۰	۰/۳۵	۰/۶۸
۸	۴/۶۱	۷/۵۶	۰/۳۲	۱/۱۰	۱۰/۶۳	۰/۳۲	۰/۶۴
۹	۵/۳۸	۸/۵۹	۰/۳۲	۱/۹۹	۱۰/۲۹	۰/۳۵	۰/۶۵
۱۰	۳/۸۷	۷/۳۴	۰/۳۳	۱/۹۹	۷/۵۴	۰/۳۵	۰/۶۲
میانگین	۴/۶۰	۷/۴۵	۰/۳۳	۲/۱۲	۹/۸۱	۰/۳۴	۰/۶۳

روش عصاره‌گیری مهلیچ ۱ در خاک‌های نزدیک به خنثی و آهکی توانایی عصاره‌گیری کمی دارد (۱۸). روش عصاره‌گیری مهلیچ ۲ محتوی اسید استیک است که قدرت بافری بیشتری نسبت به اسیدهای مورد استفاده در روش مهلیچ ۱ دارد (۱۹). به علاوه روش مهلیچ ۲ محتوی یون فلوراید است که توانایی ترکیب با یون کلسیم و افزایش حلالیت کربنات کلسیم را دارد. بنابراین روش مهلیچ ۲ توانایی عصاره‌گیری مقادیر زیادتری روی را در خاک‌های تیمارنشده نسبت به عصاره‌گیرهای محتوی DTPA داشت. عنصر روی تمایل به ترکیب با اکسیدهای آهن دارد و مقدار این جزء عنصر روی در خاک تیمارشده با لجن اضلاب افزایش می‌یابد (۳۳) که در این شرایط عصاره‌گیرهای محتوی DTPA توانایی عصاره‌گیری مقدار بیشتر عنصر روی را نسبت به عصاره‌گیر مهلیچ ۲ دارند.

همان‌طور که جدول ۳ نشان می‌دهد بر اثر افزودن لجن فاضلاب به خاک، مقدار قابل استفاده عنصر روی افزایش یافت. افزودن لجن فاضلاب به خاک‌ها، میانگین روی عصاره‌گیری شده با روش AB-DTPA را ۷/۵۷ برابر، با روش DTPA-TEA ۷ برابر، با روش مهلیچ ۳، ۳/۳۴ برابر و با روش مهلیچ ۲، ۱/۷۱ برابر نسبت به خاک‌های تیمارنشده افزایش داد. در بین عصاره‌گیرها، روش‌های HCl ۰/۱ نرمال و مهلیچ ۱ حداقل افزایش روی عصاره‌گیری شده در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب را نسبت به خاک‌های تیمارنشده داشتند. به طور کلی افزودن فاضلاب و سایر مواد زاید شهری به خاک باعث افزایش غلظت عناصر کم‌نیاز در خاک می‌شود، زیرا لجن فاضلاب همواره دارای مقدار زیادتری از این عناصر نسبت به خاک است (۱۷). لجن فاضلاب استفاده شده در این پژوهش، دارای مقدار روی کل (۱۳۲۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) و قابل استفاده (۵۵۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) زیادی بود که می‌تواند باعث افزایش روی قابل استفاده در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب شود. کرمی و همکاران (۱۲) گزارش کردند که افزایش ۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب باعث افزایش معنی‌دار مقدار روی عصاره‌گیری شده با DTPA شد. وان‌ارپ و وان‌لون (۳۵) گزارش کردند که روی بر خلاف مس پیوند قوی با ماده‌آلی برقرار نکرده و بنابراین هنگام کاربرد لجن فاضلاب قابلیت استفاده آن افزایش می‌یابد.

ضرایب همبستگی (r) بین روی عصاره‌گیری شده با استفاده از عصاره‌گیرهای مختلف در خاک‌های تیمارنشده و تیمارشده در جدول ۴ نشان داده شده است. بر اساس نتایج این جدول، در خاک‌های تیمارنشده، همبستگی معنی‌داری بین روی عصاره‌گیری شده با استفاده از روش DTPA-TEA با روی عصاره‌گیری شده با استفاده از کلرید کلسیم (r=۰/۷۸)، مهلیچ ۳ (r=۰/۸۶) و AB-DTPA (r=۰/۸۳) بدست آمد. روی عصاره‌گیری شده با استفاده از AB-DTPA با روی عصاره‌گیری شده با استفاده از کلرید کلسیم (r=۰/۶۶) و مهلیچ ۳ (r=۰/۶۵) همبستگی معنی‌داری داشت. همچنین، همبستگی معنی‌داری بین روی عصاره‌گیری شده با استفاده از ۰/۱ HCl مولار با روی عصاره‌گیری شده با کلرید کلسیم (r=۰/۶۸) بدست آمد. همانطور که نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد، در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب، همبستگی معنی‌داری بین روی عصاره‌گیری شده با استفاده از روش DTPA-TEA با روی عصاره‌گیری شده با استفاده از AB-DTPA (r=۰/۶۸) بدست آمد. به‌نظر می‌رسد با استفاده از لجن فاضلاب که حاوی کاتیون‌ها و آنیون‌های مختلفی است، روابط بین عصاره‌گیرها تغییر می‌کند.

جدول ٤- ضرایب همبستگی (r) بین روی عصاره‌گیری شده با استفاده از عصاره‌گیرهای مختلف در خاک‌های تیمارنشده و تیمارشده

عصاره‌گیر	کلرید کلسیم	HCl	مهلیچ ۳	مهلیچ ۲	مهلیچ ۱	AB-DTPA
			خاک‌های تیمارنشده			
DTPA-TEA	۰/۷۸**	−۰/۳۱ ns	۰/۸۶**	۰/۲۶ ns	۰/۰۴ ns	۰/۸۳**
AB-DTPA	۰/۶۶ *	−۰/۱۴ ns	۰/۶۵*	−۰/۰۶ ns	−۰/۱۳ ns	
مهلیچ ۱	−۰/۰۶ ns	۰/۵۶ ns	۰/۱۵ ns	۰/۱۹ ns		
مهلیچ ۲	−۰/۴۳ ns	۰/۱۸ ns	−۰/۰۶ ns			
مهلیچ ۳	۰/۱۷ ns	−۰/۴۷ ns				
HCl	۰/۶۸*					
			خاک‌های تیمارشده			
DTPA-TEA	−۰/۵۲ ns	۰/۵۶ ns	۰/۱۷ ns	−۰/۲۱ ns	۰/۴۷ ns	۰/۶۸*
AB-DTPA	−۰/۳۲ ns	۰/۳۳ ns	۰/۱۳ ns	−۰/۲۹ ns	۰/۰۵ ns	
مهلیچ ۱	−۰/۷۳*	۰/۵۴ ns	−۰/۳۱ ns	۰/۱۱ ns		
مهلیچ ۲	−۰/۰۲ ns	۰/۰۹ ns	۰/۲۰ ns			
مهلیچ ۳	۰/۱۷ ns	−۰/۴۳ ns				
HCl	−۰/۲۴ ns					

**- معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، *- معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns غیرمعنی‌دار

جدول ۵- شاخص‌های گیاه لوبیا در خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	خاک‌های تیمارنشده			خاک‌های تیمارشده		
	غلظت (میلی‌گرم در کیلوگرم)	ماده خشک (گرم در گلدان)	جذب (میلی‌گرم در گلدان)	غلظت (میلی‌گرم در کیلوگرم)	ماده خشک (گرم در گلدان)	جذب (میلی‌گرم در گلدان)
۱	۱۵/۳۰	۸/۰۵	۰/۱۲	۲۶/۳۰	۲۲/۷۹	۰/۶۴
۲	۲۰/۹۵	۱۰/۳۲	۰/۲۲	۲۸/۳۰	۲۰/۸۸	۰/۶۰
۳	۱۵/۱۰	۵/۹۱	۰/۰۹	۲۶/۷۰	۱۶/۲۰	۰/۴۳
۴	۲۰/۶۰	۹/۷۰	۰/۲۰	۲۸/۸۰	۱۵/۳۲	۰/۴۵
۵	۱۷/۶۰	۸/۳۰	۰/۱۵	۲۹/۵۵	۱۵/۶۹	۰/۴۶
۶	۱۹/۵۰	۱۰/۳۰	۰/۲۰	۲۸/۶۰	۱۶/۷۷	۰/۴۸
۷	۱۵/۷۵	۸/۶۳	۰/۱۴	۲۷/۶۰	۱۱/۴۵	۰/۳۲
۸	۲۰/۹۰	۱۰/۹۱	۰/۲۳	۲۲/۰۵	۱۷/۴۶	۰/۳۹
۹	۲۲/۷۰	۱۲/۱۴	۰/۲۸	۲۷/۵۰	۱۵/۹۲	۰/۴۴
۱۰	۱۵/۶۰	۱۰/۴۳	۰/۱۶	۲۲/۹۰	۱۴/۶۵	۰/۳۴
میانگین*	۱۸/۴۰ b	۹/۴۷ b	۰/۱۸ b	۲۶/۸۳ a	۱۶/۷۱ a	۰/۴۵a

*- حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال ۱ درصد هستند.

جدول ۵ شاخص‌های گیاه لوبیا را در ۱۰ خاک مورد مطالعه نشان می‌دهد. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود غلظت روی و ماده خشک گیاه در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب افزایش معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ داشت. متقیان و همکاران (۳) گزارش کردند بر اثر افزودن ۱۰ گرم لجن فاضلاب به هر کیلوگرم خاک، ماده خشک، غلظت روی و جذب روی در گندم افزایش یافت.

نتایج بررسی قابلیت هدایت الکتریکی خاک‌ها پس از کشت نشان داد که قابلیت هدایت الکتریکی خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب و خاک‌های شاهد تفاوت معنی‌داری نداشتند (اعداد نشان داده نشده است)، به عبارت دیگر علیرغم بالا بودن قابلیت هدایت الکتریکی لجن فاضلاب، به دلیل مصرف کم لجن فاضلاب و یا رسوب املاح محلول موجود در لجن به صورت املاح با حلالیت کمتر، کاربرد لجن فاضلاب تأثیری بر شور کردن خاک‌ها نداشته است.

ضرایب همبستگی (r) بین مقادیر روی عصاره‌گیری شده با استفاده از روش‌های مختلف و شاخص‌های لوبیا در خاک‌های تیمارنشده و تیمارشده در جدول ۶ نشان داده شده است. در خاک تیمارنشده، بین غلظت روی، ماده خشک و جذب روی با روی عصاره‌گیری شده با AB-DTPA، DTPA-TEA و مهلیچ ۳ همبستگی معنی‌داری وجود داشت. همچنین، همبستگی بین روی عصاره‌گیری شده با کلریدکلسیم ۰/۰۱ مولار با ماده خشک لوبیا معنی‌دار بود (جدول ۶). توانایی روش‌های عصاره‌گیری حاوی کلات‌کننده‌ها در تحقیقات بسیاری جهت تعیین مقدار قابل استفاده روی گزارش شده است (۳ و ۱۰). در خاک‌های تیمارنشده روی عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای AB-DTPA، DTPA-TEA و مهلیچ ۳ با شاخص‌های لوبیا همبستگی معنی‌داری (**۰/۸۶ - * r=۰/۶۸) داشتند. متقیان و همکاران (۳) در خاک‌های آهکی بین روی عصاره‌گیری شده با روش‌های AB-DTPA، DTPA-TEA و مهلیچ ۳ و شاخص‌های گندم همبستگی معنی‌داری (**۰/۹۱ - * r=۰/۶۵) گزارش کردند. بنابراین، در خاک‌های تیمارنشده زیر کشت گندم و لوبیا، عصاره‌گیرهای AB-DTPA، DTPA-TEA و مهلیچ ۳ توانایی برآورد روی قابل استفاده را داشتند. فنگ و همکاران (۱۰) گزارش کردند که DTPA-TEA، عصاره‌گیر مناسب روی در خاک‌های آهکی و EDTA عصاره‌گیر مناسب روی در خاک‌های اسیدی برای تعیین مقدار قابل استفاده این عنصر در گیاه گندم بود. اردلان و همکاران (۱) گزارش کردند که مقدار روی عصاره‌گیری شده با استفاده از روش DTPA-TEA توانایی برآورد غلظت روی در گیاه ذرت را داشت. سینگ و همکاران (۲۸) در ۳۰ نمونه خاک آهکی در کشور هندوستان به بررسی عصاره‌گیرهای مناسب در تعیین مقدار قابل استفاده عنصر روی در گیاه ذرت پرداختند. آنها گزارش کردند که روش عصاره‌گیری AB-DTPA بهترین روش عصاره‌گیری عنصر روی در خاک‌های مورد مطالعه بود. حداد و ایوانز (۱۱) به بررسی گلخانه‌ای بر روی ۶۰ نمونه جمع‌آوری شده از خاک‌های دارای خصوصیات متنوع برای ارزیابی هشت عصاره‌گیر شیمیایی مختلف جهت پیش‌بینی مقدار قابل استفاده روی و مس برای گیاهان شبدر پرداختند. نتایج آنها نشان داد که روش‌های عصاره‌گیری TEA-DTPA و AB-DTPA به‌عنوان بهترین عصاره‌گیرهای برآورد کننده روی قابل استفاده در خاک‌های آهکی بودند.

در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب، از بین عصاره‌گیرهای استفاده شده فقط بین روی عصاره‌گیری شده با مهلیچ ۲ و غلظت روی در لوبیا همبستگی معنی‌داری (۰/۸۳) وجود داشت. همچنین، همبستگی بین روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA و مهلیچ ۱ با ماده خشک و جذب روی معنی‌دار بود (جدول ۶). در تحقیقات انجام شده، یک روش عصاره‌گیری به عنوان بهترین روش تعیین مقدار قابل استفاده عنصر روی در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب گزارش نشده است. متقیان و همکاران (۳) در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب، فقط بین روی عصاره‌گیری شده با روش مهلیچ ۲ و غلظت روی در گندم همبستگی معنی‌داری (r=۰/۸۳**) گزارش کردند. بنابراین، در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب زیر کشت گندم عصاره‌گیر مهلیچ ۲ و در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب زیر کشت لوبیا عصاره‌گیرهای DTPA-TEA، مهلیچ ۱ و مهلیچ ۲ توانایی برآورد روی قابل استفاده را داشتند. کرمی و همکاران (۱۲) گزارش کردند که ضریب همبستگی بین روی عصاره‌گیری شده با استفاده از DTPA از خاک‌های آهکی تیمار شده با لجن فاضلاب و روی جذب شده در ساقه‌های گیاه گندم معنی‌دار بود. بوگال و همکاران (۸) گزارش کردند که عصاره‌گیر نیترات‌آمونیوم توانایی عصاره‌گیری روی قابل استفاده در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب را دارد. نیامانگارا و همکاران (۲۲) عصاره‌گیر EDTA را به‌عنوان مناسب‌ترین عصاره‌گیر روی در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب گزارش کردند. پیو و همکاران (۲۴) به ارزیابی توان عصاره‌گیرهای نیترات‌آمونیوم ۰/۱ مولار، کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار و نیترات سدیم ۰/۱ مولار برای تعیین مقدار قابل استفاده عناصر سنگین از جمله روی در ده خاک اسیدی و آهکی تیمارشده با لجن فاضلاب پرداختند. آنها گزارش کردند که روش عصاره‌گیری کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار توانایی بیشتری در استخراج روی نسبت به سایر عصاره‌گیرهای مورد استفاده در این تحقیق داشت. آنها علت این پدیده را توانایی یون کلسیم در جانشینی یون روی در سایت‌های تبادلی در مقایسه با یون‌های یک ظرفیتی گزارش کردند.

رابطه بین روی عصاره‌گیری شده با کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار و شاخص‌های گیاه منفی شد، برای این موضوع دلایل را می‌توان ارائه کرد.

جدول ٦- ضریب همبستگی (r) بین مقادیر روی عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای مختلف و شاخص‌های گیاه لوبیا

شاخص‌های گیاه	DTPA-TEA	AB-DTPA	مهلیچ ۱	مهلیچ ۲	مهلیچ ۳	HCl	کلرید کلسیم
				خاک تیمارنشده			
غلظت	۰/۷۳*	۰/۸۶**	−۰/۱۷ ns	۰/۰۱ ns	۰/۷۵*	−۰/۲۷ ns	۰/۴۲ ns
ماده خشک	۰/۶۸*	۰/۷۴*	−۰/۲۳ ns	−۰/۱۰ ns	۰/۸۱**	−۰/۳۱ ns	۰/۶۷*
جذب	۰/۷۷*	۰/۸۴**	−۰/۲۰ ns	−۰/۰۴ ns	۰/۸۵**	−۰/۲۵ ns	۰/۶۰ ns
				خاک تیمارشده			
غلظت	۰/۰۸ ns	−۰/۰۸ ns	۰/۱۷ ns	۰/۸۰**	۰/۳۹ns	−۰/۰۵ns	−۰/۱۵ ns
ماده خشک	۰/۷۹**	۰/۳۲ ns	۰/۷۳*	−۰/۲۲ ns	−۰/۰۸ ns	۰/۴۰ ns	−۰/۷۹**
جذب	۰/۷۷*	۰/۲۷ ns	۰/۷۸**	۰/۱۲ ns	۰/۰۴ ns	۰/۳۹ ns	−۰/۸۰**

**- معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، *- معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns غیرمعنی‌دار

در اثر تیمار خاک‌ها با لجن فاضلاب مقادیر اشکال روی (تبادلی، پیوندشده با کربنات‌ها، پیوندشده با اکسیدها، پیوندشده با ماده‌آلی و تتمه) در خاک‌ها تغییر می‌کند (۳). به علاوه رابطه معنی‌داری بین اشکال مختلف روی و روی عصاره‌گیری شده با روش‌های مختلف عصاره‌گیری وجود دارد. بنابراین، در اثر تغییر مقادیر اشکال روی در اثر تیمار خاک‌ها با لجن فاضلاب، مقدار روی عصاره‌گیری شده نیز با روش‌های مختلف عصاره‌گیری از جمله کلریدکلسیم ۰/۰۱ مولار تغییر می‌کند. به علاوه گیاه مقادیر بیشتری روی نسبت به خاک تیمارنشده با لجن فاضلاب جذب کرده است که احتمالاً از اشکال مختلف روی در خاک تأمین شده است. همچنین لجن فاضلاب حاوی کاتیون‌ها و آنیون‌های مختلفی است، که بر روابط بین پاسخ‌های گیاه و عصاره‌گیرها مؤثر است. همچنین برای معنی‌دارشدن همبستگی بین روی عصاره‌گیری شده با روش مهلیچ ۱ و شاخص‌های لوبیا در خاک‌های تیمارشده می‌توان دو دلیل مطرح کرد. دلیل اول اینکه به نظر می رسد با توجه به اثر لجن فاضلاب بر افزایش عملکرد گیاه در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب، عصاره‌گیر مهلیچ ۱ توانایی برآورد روی قابل استفاده را یافته است.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این پژوهش، غلظت روی و ماده خشک لوبیا بر اثر استفاده از لجن فاضلاب افزایش معنی‌داری یافت. بیشترین مقدار روی عصاره‌گیری شده در خاک‌های تیمارنشده و تیمارشده، با روش مهلیچ ۳ و کمترین آن با روش مهلیچ ۱ استخراج شد. نتایج نشان داد که در خاک‌های تیمارنشده بین غلظت، ماده خشک و جذب روی و روی عصاره‌گیری شده با AB-DTPA، DTPA-TEA، مهلیچ ۳ همبستگی معنی‌داری وجود داشت. همچنین، همبستگی معنی‌داری بین ماده خشک لوبیا و روی عصاره‌گیری شده با کلریدکلسیم ۰/۰۱ مولار بدست آمد. در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب، بین روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA و مهلیچ ۱ با ماده خشک و جذب روی همبستگی معنی‌داری وجود داشت. در این خاک‌ها، همبستگی معنی‌داری بین غلظت روی با روی عصاره‌گیری شده با مهلیچ ۲ بدست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد که عصاره‌گیر DTPA-TEA می‌تواند روی قابل استفاده لوبیا را در خاک‌های تیمارشده و تیمارنشده با لجن فاضلاب برآورد کند.

منابع

۱- اردلان م.، ثواقبی غ. و کشاورز پ. ۱۳۷۸. انتخاب عصاره‌گیر مناسب برای استخراج روی قابل استفاده ذرت در بعضی از خاک‌های مازندران. مجله علوم کشاورزی ایران. ۳۰، ۷۴-۶۵.

۲- کرمی م.، افیونی م.، رضایی‌نژاد ی.، و خوشگفتارمنش ا.ح. ۱۳۸۷. آثار تجمعی و باقیمانده لجن فاضلاب شهری بر غلظت روی و مس در خاک و گیاه گندم. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۴۸، ۶۳۹-۶۵۳.

۳- متقیان ح.ر.، حسین‌پور ع.ر.، رئیسی ف.، و محمدی ج. ۱۳۹۱. ارزیابی چند عصاره‌گیر جهت تعیین روی قابل استفاده گندم (*Triticum aestivum* L.) در خاک‌های آهکی تیمارشده و تیمارنشده با لجن فاضلاب، مجله علوم آب و خاک (مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، (در دست چاپ).

۴- ملکوتی م.ج.، کشاورز پ.، و کریمیان ن.ع. ۱۳۷۸. روش جامع تشخیص و توصیه بهینه کودی برای کشاورزی پایدار. انتشارات دانشگاه تربیت

مدرس. ۷۵۵ ص.
5- Aggelides S.M. and Londra P.A. 2000. Effect of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. Bioresour. Technol., 71:253-259.
6- Allowoy B.J. 1990. Heavy Metals in Soils. Blackie and Son Ltd. Glascow and London. pp. 339.
7- 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.
8- Bhogal A., Nicholson F.A., Chambers B.J. and Shepherd M.A. 2003. Effects of past sewage sludge additions on heavy metal availability in light textured soils: implications for crop yields and metal uptakes. Environ. Pollut., 121:413-423.
9- Campbell C.R. and Plank C.O. 1998. Preparation of plant tissue for laboratory analysis. In YP Kalra (ed.), Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. CRC Press, Taylor & Francis Group. pp. 37-50.
10- 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.
11- Haddad K.S. and Evans J.C. 1993. Assessment of chemical methods for extracting zinc, manganese, copper, and iron from New South Wales Soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 24:29-44.
12- Karami M., Afyuni M., Rezainejad Y. and Schulin R. 2009. Heavy metal uptake by wheat from a sewage sludge-amended calcareous soil. Nutr. Cycl. Agroecosyst, 83:51-61.
13- Lindsay W.L. and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Sci. Soc. Am. J., 42:421-428.
14- Loeppert R.H. and Suarez D.L. 1996. Carbonate and gypsum. In D.L. Sparks (ed.), Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison, pp. 437-474.
15- Malakouti M.J. 2007. Zinc is a neglected element in the life cycle of plants. Middle Eastern & Russian Journal of Plant Science and Biotechnology, 1(1): 1-12.
16- Martenz D.C. and Lindsay W.L. 1990. Testing soils for copper, iron, manganese and zinc. In R.L. Westrman (ed.), Soil Testing and Plant Analysis. SSSA. Madison. Wisconsin, USA.
17- McGrath S.P., Zhao F.J., Dunhum S.J., Crosland A.R. and Coleman K. 2000. Long-term changes in the extractability and bioavailability of zinc and cadmium after sludge application. J. Environ. Qual., 29:87-883.
18- Mehlich A. 1978. New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sodium, manganese and zinc. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 9: 477-492.
19- Mehlich A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 15:1409-1416.
20- Mendoza J., Garrido T., Castillo G. and San-Martin N. 2006. Metal availability and uptake by sorghum plants grown in soils amended with sludge from different treatments. Chemosphere 65:2304-12.
21- Nelson D.W. and Sommers L.E. 1996. Carbon, organic carbon, and organic matter. In D.L. Sparks (ed.), Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison, pp. 961-1010.
22- Nyamangara J. and Mzezewa J. 1999. The effect of long-term sewage sludge application on Zn, Cu, Ni and Pb levels in a clay loam soil under pasture grass in Zimbabwe. Agric. Ecosys. Environ., 73:199-204.
23- Peck T.R. and Soltanpour P.N. 1990. The principle of soil testing. In R.L. Westrman (ed.), Soil Testing and Plant Analysis. SSSA. Madison. Wisconsin, USA. pp. 1-9
24- Pueyo M., Rauret G., Luck D., Yli-Halla M., Muntau H., Quevauville P. and Lopez-Sanchez J.F. 2004. Assessment of $CaCl_2$, NH_4NO_3 and $NaNO_3$ extraction procedures for the study of Cd, Pb and Zn extractability in contaminated soils. Anal. Chim. Acta., 504:217-226.
25- Ramachandran V. and D'Souza T.J. 1998. Plant uptake of cadmium, zinc, and manganese in soils amended with sewage sludge and city compost. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 61:347-354.
26- 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 Science, 4:848-857.
27- Sahuquillo A., Rigol A. and Rauret G. 2003. Overview of the use of leaching/extraction tests for risk assessment of trace metals in contaminated soils and sediments. Trend Anal. Chem., 22:152-159.
28- Singh C.P., Prasad R.N., Sinba H. and Kanke B. 1977. Evaluation of the critical limit and extractants for the determination of available zinc in calcareous soils. Beitrage trop Landwirtsch Veterinarmed, 15:131-136.
29- Soltanpour P.N. and Schwab A.P. 1977. A new soil test for simultaneous extraction of macro- and micro-nutrients in alkaline soils. Commun, Soil, Sci. Plant Anal., 8(3):195-207.
30- Sommers, L.E. 1977. Chemical composition of sewage sludges and analysis of their potential use as fertilizers. J. Environ. Qual., 6:225-231.
31- Sposito G.L., Lund 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 Sci. Soc. Am. J., 46:260-265.
32- Sumner M.E. and Miller P.M. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficient. In D.L. Sparks (ed.), Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison, pp. 1201-1230.

33- Torri S.I. and Lavado R. 2008. Zinc distribution in soils amended with different kinds of sewage sludge. J. Environ. Manag., 88:1571-1579.
34- USEPA. 1993. Clean water act. Section 503. Vol. 58, No. 32, USEPA. Washington, DC.
35- Van Erp P.J. and Van Lune P. 1991. Long-term heavy metal leaching from soils-sewage sludge and soil/sewage mixtures. Environ. Sci. Technol., 25:706-711.

Journal of Water and Soil
Vol. 27, No.4, Sept.-Oct. 2013, p. 742-752

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۷، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۲، ص. ۷۵۲-۷۴۲

Assessment of Several Extractants for the Determination of Zinc Bioavailability to Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Calcareous Soils Amended and Unamended with Sewage Sludge

H.R. Motaghian[1*]- A. Hosseinpour[2]
Received: 17-12-2012
Accepted: 25-8-2013

Abstract

Sewage sludge uses as a low coast fertilizer to rectify deficit of elements such as zinc (Zn). A suitable extractant for estimation of bean-available Zn in calcareous soils amended with sewage sludge has not yet been introduced. The aim of this research was to assess several chemical extractants for the estimate of available Zn in sewage sludge-amended calcareous soils. For amended soils, 1% (w/w) of sewage sludge was added to 10 calcareous soils, and the soils (amended and un-amended) were incubated at field capacity for 30 days. At the end of incubation, soils were air-dried and available Zn was determined using 7 chemical extractants (DTPA-TEA, AB-DTPA, Mehlich 1, Mehlich 2, Mehlich 3, 0.1 N HCl and 0.01 M $CaCl_2$). Zinc concentration in shoots, Zn uptake, and shoot dry weight of bean were determined in a pot experiment in amended and un-amended soils. The results show that Mehlich 3 and Mehlich 1 extractants extracted the highest and the lowest concentrations of Zn in both amended and un-amended soils, respectively. Furthermore, all three studied indices and Zn extracted by using different methods increased in amended soils. In addition, results indicated that significant correlations were found between extracted Zn using AB-DTPA, DTPA-TEA and Mehlich 3 and plant indices in un-amended soils. On the contrary, in sewage sludge-amended soils only the correlation between extracted Zn using DTPA-TEA and Mehlich 1 with Zn uptake and shoot dry weight and Mehlich 2 with Zn concentration was significant. The results of this study showed that DTPA-TEA could estimate bean-available Zn in the sewage sludge-amended and –un-amended calcareous soils.

Keywords*:* Sewage sludge, Zn extracants, bean, DTPA-TEA

1,2 - Former PhD Student, Professor of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Respectively
(* - Corres Poinding Author Email: hrm_61@yahoo.com)