ارزیابی چند عصاره‌گیر جهت تعیین روی قابل استفاده گندم (*Triticum aestivum* L.) در خاک‌های آهکی تیمارشده و تیمارنشده با لجن فاضلاب

حمیدرضا متقیان،* علیرضا حسین‌پور، جهانگرد محمدی و فایز رئیسی [۱]

(تاریخ دریافت۱۳۹۰/۹/۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۹/۸)

چکیده

روی یکی از عناصر غذایی کم‌نیاز گیاه محسوب می‌شود و اغلب کمبود آن در خاک‌های آهکی گزارش می‌شود. با این حال، عصاره‌گیر مناسب روی در خاک‌های آهکی تیمار شده با لجن فاضلاب معرفی نشده است. هدف این پژوهش ارزیابی چند روش شیمیایی (۷ روش) در برآورد روی قابل استفاده در خاک‌های آهکی تیمار شده (۱٪ وزنی- وزنی) و تیمار نشده با لجن فاضلاب بود. نتایج نشان دادند که در خاک‌های تیمار شده و تیمار نشده 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، شاخص‌های گیاه گندم (عملکرد، غلظت روی و میزان جذب) افزایش یافت. همچنین نتایج نشان دادند که در خاک‌های تیمارنشده روی عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای AB-DTPA، DTPA-TEA و مهلیچ ۳ با شاخص‌های گیاه همبستگی معنی‌داری (۰/۹۱ - *r=۰/۶۵) داشت. درحالی‌که در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب، فقط بین روی عصاره‌گیری شده با روش مهلیچ ۲ و غلظت همبستگی معنی‌دار (**r=۰/۸۳) وجود داشت. نتایج این پژوهش نشان داد که عصاره‌گیر مناسب روی قابل استفاده در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب با خاک‌های تیمارنشده تفاوت دارد.**

اصطلاحات کلیدی: لجن فاضلاب، عصاره‌گیرهای روی، گندم

۱. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: hrm_61@yahoo.com

مقدمه

روی یکی از عناصر غذایی ضروری برای رشد طبیعی و تولید محصولات زراعی و همچنین عنصری مهم برای حیوانات و انسان به شمار می‌آید. روی نقش‌های زیادی در گیاهان از جمله شرکت در ساختمان آنزیم‌های گیاهی مانند الکل دی‌هیدروژناز، مس- روی سوپر اکسید دیسموتاز، آر آن آ پلیمراز، فعال‌کردن آنزیم‌های گیاهی، سوخت و ساز قندها و ساخت تریپتوفان و ایندول استیک اسید ایفا می‌کند (۲). روی در بیش از ۳۰۰ آنزیم درگیر در فرآیندهای متابولیسمی در انسان‌ها، دام و گیاه وجود دارد (۴). بنابراین تأمین این عنصر به میزان کافی برای رشد طبیعی انسان‌ها نیز ضروری 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 (۲۰). 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 (۳۶). وقتی‌که تأمین عنصر روی مورد نیاز گیاه کافی نباشد، میزان محصول کاهش خواهد یافت و علاوه بر این کیفیت محصولات تولیدشده نیز کاهش می‌یابد (۷).

امروزه، استفاده از لجن فاضلاب (Sewage sludge) در زمین‌های کشاورزی در سرتاسر جهان در حال افزایش است (۴۴). خاک‌های مناطق خشک به‌علت عدم وجود پوشش گیاهی کافی و بازگشت مقدار اندک بقایای گیاهی به خاک حاوی ماده‌آلی پایین می‌باشند. این خاک‌ها عموماً آهکی و دارای واکنش قلیایی بوده در نتیجه بسیاری از گیاهان در این خاک‌ها، همواره با مشکل تغذیه عناصر از جمله روی هستند. مصرف موادآلی از جمله روش‌های افزایش قابلیت جذب این عناصر برای گیاه است. کاربرد کودهای آلی نظیر لجن فاضلاب به‌صورت منطقی می‌تواند سهم مهمی در تأمین نیازهای غذایی گیاهان داشته باشد (۳). به‌علاوه کاربرد لجن فاضلاب می‌تواند سبب بهبود خصوصیات فیزیکی خاک از جمله ظرفیت نگهداری آب، تهویه و تخلخل شود (۶). در برخی موارد مصرف لجن فاضلاب در تأمین نیاز گیاهان به عناصر کم‌نیاز، بسیار مؤثرتر از سایر منابع است. برای مثال، سامرس (۴۰) 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.

آزمون خاک اطلاعات مفیدی درباره مقدار روی قابل استفاده گیاه ارائه می‌کند که در تعیین نیاز کودی گیاه همواره مورد استفاده قرار می‌گیرد. به منظور تعیین مقدار قابل استفاده عناصر از عصاره‌گیرها 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 (۱۲،۱۱ و ۱۴). برای ارزیابی توانایی هر عصاره‌گیر در برآورد مقدار روی قابل استفاده گیاه از ضریب همبستگی بین مقدار روی عصاره‌گیری شده به وسیله آن عصاره‌گیر و مقدار روی جذب شده توسط گیاه استفاده می‌شود (۷). در پژوهش‌های انجام شده یک عصاره‌گیر به عنوان مناسب‌ترین عصاره‌گیر برآورد کننده روی قابل استفاده در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب گزارش نشده است. 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 (۳۳) به بررسی قابلیت استفاده عناصر سنگین از جمله روی در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب تحت کشت گیاه ذرت پرداختند. نتایج آنها نشان داد که مقدار روی قابل استفاده و عملکرد ذرت در خاک‌های تیمار شده به صورت معنی‌داری افزایش یافت. همچنین آنها بین مقدار روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA و غلظت روی در

جدول۱. روش‌های عصاره‌گیری شیمیایی مورد استفاده در تعیین روی قابل استفاده

عصاره‌گیر	ترکیب عصاره‌گیر	نسبت خاک- عصاره‌گیر	زمان شیک (دقیقه)	منبع
DTPA-TEA	۰/۰۰۵ مولار DTPA + ۰/۰۱ مولار $CaCl_2$ + ۰/۱ مولار TEA (pH= ۷/۳)	۱:۲	۱۲۰	۱۸
AB-DTPA	۰/۰۰۵ مولار DTPA + ۱ مولار NH_4HCO_3 (pH= ۷/۶)	۱:۲	۱۵	۳۹
مهلیچ ۱	۰/۰۵ نرمال HCl + ۰/۰۲۵ نرمال H_2SO_4	۱:۴	۱۵	۲۳
مهلیچ ۲	۰/۲ مولار NH_4Cl + ۰/۰۱۵ مولار NH_4F + ۰/۰۱۲ مولار HCl + ۰/۲ مولار CH_3COOH	۱:۱۰	۵	۲۴
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	۲۵
HCl	۰/۱ نرمال HCl	۱:۵	۱۲۰	۴۷
$CaCl_2$	۰/۰۱ مولار $CaCl_2$	۱:۱۰	۱۲۰	۱۵

گیاه ضریب همبستگی برابر با **۰/۸۱ گزارش کردند. منـدوزا و همکاران (۲۶) به بررسی قابلیت استفاده و جذب عناصر سنگین از جمله روی در خاک‌های تیمار شده با لجـن فاضـلاب تحـت کشت گیاه سورگوم پرداختند. نتایج آنها نشان داد که بین غلظت روی در گیـاه و روی عصـاره‌گیـری شـده بـا DTPA-TEA همبستگی معنی‌داری وجود نداشت.

با وجود اهمیت لجن فاضلاب در جبران کمبود عناصر غـذایی در خاک‌ها، نیاز به ارزیابی مقـدار قابـل اسـتفاده عناصـر غـذایی از جمله روی موجود در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب وجود دارد. مطالعه عصاره‌گیر مناسب بـرای تعیـین مقـدار قابـل اسـتفاده روی در خاک‌های استان چهارمحـال و بختیـاری صـورت نگرفتـه است. این تحقیق باتوجه به اهمیت عنصر روی، امکـان اسـتفاده از لجن فاضلاب برای جبران کمبود این عنصر، اهمیت گندم به‌عنـوان گیاه استراتژیک و همچنین تحقیقات بسـیار کمـی کـه بـه ارزیـابی عصاره‌گیر مناسب این عنصر پرداخته است، انجام شد.

مواد و روش‌ها

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها

در این تحقیق ابتدا ۳۰ نمونه خاک از افق A_p خاک‌هـای آهکـی استان چهارمحال و بختیاری جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل و پس از هواخشک کردن، بخشـی از آنهـا از الـک ۲ میلـی‌متـری عبور داده شدند. در نهایت پس از انجام برخـی از تجزیـه‌هـای فیزیکی و شیمیایی ۱۰ نمونه خـاک براسـاس مقـدار روی قابـل استفاده (۱۸)، درصد رس و درصد کربنات کلسیم معادل جهـت ادامه آزمایش انتخاب شدند.

بافـت خـاک بـه‌روش هیـدرومتر (۱۳)، pH خـاک در سوسپانسون دو بـه یـک آب بـه خـاک (۴۳)، قابلیـت هـدایت الکتریکی در عصـاره دو بـه یـک آب بـه خـاک (۳۴)، کربنـات کلسیم معادل به‌روش تیتراسیون برگشتی (۱۹)، گنجایش تبـادل کـاتیونی بـه‌روش اسـتات سـدیم (۴۲)، مـاده‌آلـی بـه‌روش اکسیداسیون مرطوب (۲۹) و روی قابل استفاده بـا اسـتفاده از ۷ روش عصاره‌گیری شیمیایی (جدول ۱) تعیین شدند. مقدار کـل روی با استفاده از هضم با اسـید نیتریـک ۴ مـولار (۴۱) تعیـین شد.

لجن فاضلاب

لجن فاضلاب شهری به صورت خشک از تصفیه‌خانه فاضـلاب شهرکرد تهیه و از الک ۱ میلی‌متری عبور داده شد. خصوصـیات لجن فاضلاب شامل pH در سوسپانسیون پـنج بـه یـک آب بـه

لجن فاضلاب، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره پنج به یک آب به لجن فاضلاب و مقادیر کل و قابل استفاده روی و به‌ترتیب با استفاده از هضم با اسید نیتریک ۴ مولار (۴۱) و DTPA-TEA (۱۸) تعیین شدند. همچنین مقدار کل عناصر کادمیم، نیکل، سرب و مس با استفاده از هضم با اسید نیتریک ۴ مولار (۴۱) تعیین شد.

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 و به‌مدت یک‌ماه خاک‌های تیمار شده و تیمار نشده خوابانیده شدند. در پایان دوره انکوباسیون و قبل از کشت، روی قابل استفاده در خاک‌های تیمار شده و تیمار نشده با لجن فاضلاب با عصاره‌گیرهای بیان شده در جدول ۱ عصاره‌گیری شدند. سپس ۴/۵ کیلوگرم خاک تیمار شده و تیمار نشده در سه تکرار به گلدان‌ها منتقل شد. به‌دلیل این‌که سایر عناصر غذایی باید به مقدار کافی در اختیار گیاه باشند، براساس نتایج تجزیه خاک به هر گلدان در خاک‌های شاهد ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره به‌صورت تقسیط در سه مرحله 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. همچنین مقدار کود فسفره پس از تعیین فسفر قابل استفاده خاک‌ها با روش اولسن، به‌هر گلدان اضافه شد.

جهت کشت گیاه، بذرهای گندم رقم بک‌گراس روشن درون آب قرار داده شدند و در کاغذ صافی جوانه زدند. سپس ۳ بذر در هر گلدان کشت شد. در طول مدت رشد مراقبت‌های لازم انجام و سعی شد رطوبت خاک‌ها در حد ظرفیت مزرعه‌ای ثابت بماند. 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 (۱۰) و با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل جی‌بی‌سی، ۹۳۲) تعیین و سپس روی جذب شده با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد.

عملکرد خشک (کیلوگرم در گلدان) × غلظت روی (میلی‌گرم در کیلوگرم) = جذب روی (میلی‌گرم در گلدان) [۱]

در پایان ضریب همبستگی ساده (r) بین شاخص‌های گیاه گندم (عملکرد خشک، غلظت روی و روی جذب شده) و مقدار روی عصاره‌گیری شده با استفاده از ۷ روش شیمیایی با استفاده از نرم‌افزار SPSS, 17.0 تعیین و عصاره‌گیر یا عصاره‌گیرهای مناسب انتخاب شدند. برای مقایسه میانگین شاخص‌های گندم در خاک‌های شاهد و تیمار شده از آزمون t-test ($P< ۰/۰۵$) استفاده شد.

نتایج و بحث

برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که خصوصیات خاک‌ها از دامنه تغییرات وسیعی برخوردار بودند. دامنه تغییرات رس ۲۵ تا ۵۵ (متوسط ۴۴٪) و سیلت دارای دامنه ۳۳ تا ۵۵ (متوسط ۴۳٪) 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 به‌ترتیب ۰/۳۰ تا ۱/۱۹ و ۱۱/۳ تا ۴۱/۰٪ 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

جدول۲. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	رس	سیلت	کربنات کلسیم معادل	کربن آلی	pH	هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	گنجایش تبادل کاتیونی ($cmol_c\ kg^{-1}$)	روی کل ($mg\ kg^{-1}$)
	(٪)							
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

استفاده دارد. pH لجن فاضلاب مورد استفاده خنثی (۷/۵) بود. قابلیت هدایت الکتریکی لجن فاضلاب ۲/۲۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. مقدار روی قابل استفاده و روی کل در لجن فاضلاب به‌ترتیب ۵۵۸ و ۱۳۲۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. مقادیر کل کادمیم، نیکل، سرب و مس 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 (به‌ترتیب ۳۹ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود (۴۵).

مقدار روی عصاره‌گیری شده با تعدادی از روش‌های شیمیایی که برای تعیین روی قابل استفاده به‌کار رفته‌اند در جدول ۳ نشان داده شده است. براساس 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 (۸).

میانگین روی عصاره‌گیری شده در خاک‌های شاهد، به‌ترتیب توسط عصاره‌گیرهای مهلیچ ۳، مهلیچ ۲، AB–DTPA، DTPA-TEA، $CaCl_2$ ۰/۰۱ مولار، HCl ۰/۱ نرمال و مهلیچ ۱ کاهش یافت. در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب، به‌ترتیب عصاره‌گیرهای مهلیچ ۳، AB–DTPA، DTPA-TEA، مهلیچ ۲، $CaCl_2$ ۰/۰۱ مولار، HCl ۰/۱ نرمال و مهلیچ ۱ میزان روی بیشتری را استخراج نمودند.

همان‌طورکه بیان شد برای تعیین مقدار قابل استفاده عنصر غذایی روی در خاک‌ها روش‌های عصاره‌گیری مختلفی مانند محلول‌های نمکی، کلات‌کننده‌ها و اسیدها وجود دارد (۳۵). توانایی عصاره‌گیرها در استخراج عناصر متفاوت است. توانایی زیاد عصاره‌گیر مهلیچ ۳ در عصاره‌گیری مقدار بیشتر روی به‌دلیل وجود کلات‌کننده اتیلن دی‌آمین تترا استیک اسید (EDTA) در ترکیب این روش عصاره‌گیری است (۲۵). ساهوکیلو و همکاران (۳۷) گزارش کردند که عصاره‌گیر EDTA بدون توجه به خصوصیات خاک به‌دلیل داشتن pH کمتر نسبت به عصاره‌گیر DTPA مقدار بیشتری از عناصر کم‌نیاز خاک را عصاره‌گیری می‌کند. پایا- پرز و همکاران (۳۱)

نشان دادند که عصاره‌گیر EDTA توانایی استخراج عناصر کم‌نیاز پیوند شده با مواد آلی، اکسیدها و بخش‌هایی از عناصر موجود در کانی‌های رسی را دارد. سلطان‌پور و شواب (۳۹) مشاهده نمودند که روش AB-DTPA نسبت به‌روش DTPA-TEA ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم روی قابل استفاده بیشتری عصاره‌گیری می‌کند. روش عصاره‌گیری DTPA-TEA دارای pH بافرشده بااستفاده از تری‌اتانول آمین و همچنین محتوی $CaCl_2$ ۰/۰۱ مولار است که از حل شدن کربنات کلسیم و آزادشدن عناصر محبوس شده در این ترکیب جلوگیری می‌کند (۱۸). بنابراین علت عصاره‌گیری مقدار بیشتر روی در استفاده از روش AB-DTPA می‌تواند به‌دلیل بافر نبودن این روش عصاره‌گیری باشد. روش عصاره‌گیری $CaCl_2$ ۰/۰۱ مولار عنصر روی جذب غیراختصاصی شده را از طریق جانشینی عصاره‌گیری می‌کند (۲۱). توانایی کم عصاره‌گیرهای اسیدی مانند روش HCl ۰/۱ نرمال و روش مهلیچ ۱ می‌تواند به‌دلیل خنثی شدن این عصاره‌گیرها در خاک‌های آهکی مورد مطالعه باشد. مهلیچ (۲۴) گزارش کرد که روش عصاره‌گیری مهلیچ ۱ در خاک‌های نزدیک به خنثی و آهکی توانایی عصاره‌گیری کمی دارد. همچنین مهلیچ (۲۵) گزارش کرد که روش عصاره‌گیری مهلیچ ۲ محتوی اسید استیک است که دارای قدرت بافری بیشتری نسبت به اسیدهای مورد استفاده در روش مهلیچ ۱ است. به‌علاوه روش عصاره‌گیری 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 شاهد نسبت به دو عصاره‌گیرهای محتوی DTPA دارد. در اثر افزودن لجن فاضلاب عنصر روی تمایل به ترکیب با اکسیدهای آهن دارد و مقدار این جزء عنصر روی در خاک تیمار شده افزایش می‌یابد (۴۴) که در این شرایط عصاره‌گیرهای محتوی DTPA توانایی عصاره‌گیری مقدار بیشتر عنصر روی را نسبت به عصاره‌گیر مهلیچ ۲ دارند.

همان‌طورکه 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 شاهد افزایش داد. در بین عصاره‌گیرها، روش‌های HCl ۰/۱ نرمال و مهلیچ ۱ حداقل افزایش روی عصاره‌گیری شده در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب را نسبت به خاک‌های شاهد داشتند. به‌طورکلی 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 (۲۲). در این پژوهش لجن فاضلاب استفاده شده دارای مقدار روی کل (۱۳۲۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) و قابل استفاده (۵۵۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) زیادی است که می‌تواند باعث افزایش روی قابل استفاده در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شود. کرمی و همکاران (۱۷) گزارش کردند که افزایش ۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب باعث افزایش معنی‌دار مقدار روی عصاره‌گیری شده با DTPA شد. وان‌ارپ و وان‌لون (۴۶) گزارش کردند که روی بر خلاف مس پیوند قوی با ماده آلی برقرار نکرده و بنابراین هنگام کاربرد لجن فاضلاب قابلیت استفاده آن افزایش می‌یابد.

جدول ۴ شاخص‌های گیاه گندم را در ۱۰ خاک مورد مطالعه نشان می‌دهد. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود غلظت روی و عملکرد گیاه در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب (به غیر از غلظت روی در خاک شماره ۹) افزایش معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ داشت. مرینگتون و همکاران (۲۷) گزارش کردند که با افزایش میزان مصرف لجن فاضلاب در خاک‌ها، غلظت روی در بخش‌های هوایی گیاه گندم افزایش می‌یابد. افیونی و همکاران (۵) افزایش مقدار جذب روی به وسیله گیاهان کاهو و اسفناج در اراضی تیمار شده با لجن فاضلاب را گزارش کردند. موررا و همکاران (۲۸)

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

شماره خاک	خاک‌های شاهد					خاک‌های تیمارشده				
	DTPA-TEA	AB-DTPA	مهلیچ ۱	مهلیچ ۲	مهلیچ ۳	DTPA-TEA	AB-DTPA	مهلیچ ۱	مهلیچ ۲	مهلیچ ۳	HCl	$CaCl_2$
۱	۰/۵۰	۰/۵۳	۰/۳۴	۱/۳۱	۲/۹۷	۵/۸۳	۷/۵۵	۰/۳۶	۱/۸۹	۷/۸۳	۰/۳۱	۰/۵۰
۲	۰/۵۹	۱/۰۷	۰/۳۱	۱/۱۵	۲/۷۴	۵/۶۹	۸/۵۶	۰/۳۵	۲/۳۱	۱۱/۵۶	۰/۳۲	۰/۵۱
۳	۰/۳۴	۰/۵۸	۰/۲۸	۱/۳۸	۱/۹۱	۳/۹۳	۶/۹۶	۰/۳۴	۲/۲۷	۸/۵۶	۰/۳۳	۰/۵۱
۴	۰/۷۵	۱/۲۹	۰/۳۰	۱/۱۸	۳/۰۱	۴/۲۱	۷/۶۷	۰/۳۳	۲/۴۷	۹/۸۸	۰/۳۱	۰/۵۶
۵	۰/۵۴	۰/۹۵	۰/۲۸	۱/۲۰	۲/۴۹	۴/۰۵	۶/۸۰	۰/۳۳	۲/۲۲	۹/۶۹	۰/۳۱	۰/۵۴
۶	۰/۶۶	۱/۱۹	۰/۳۰	۱/۲۵	۳/۰۰	۴/۳۵	۶/۲۸	۰/۳۳	۲/۶۶	۱۱/۴۹	۰/۳۲	۰/۵۸
۷	۰/۷۷	۱/۰۰	۰/۲۸	۱/۳۱	۲/۷۶	۴/۱۲	۷/۱۶	۰/۳۳	۲/۳۳	۱۰/۶۰	۰/۳۲	۰/۶۱
۸	۰/۷۳	۰/۹۸	۰/۲۸	۱/۰۷	۳/۷۳	۴/۶۱	۷/۵۶	۰/۳۲	۱/۱۰	۱۰/۶۳	۰/۳۲	۰/۵۹
۹	۱/۳۱	۱/۴۷	۰/۲۹	۱/۴۱	۴/۱۵	۵/۳۸	۸/۵۹	۰/۳۲	۱/۹۹	۱۰/۲۹	۰/۳۲	۰/۶۶
۱۰	۰/۳۹	۰/۷۷	۰/۲۶	۱/۲۰	۲/۵۶	۳/۸۷	۷/۳۴	۰/۳۳	۱/۹۹	۷/۵۴	۰/۳۲	۰/۵۹
میانگین	۰/۶۶	۰/۹۸	۰/۲۹	۱/۲۵	۲/۹۳	۴/۶۰	۷/۴۵	۰/۳۳	۲/۱۲	۹/۸۱	۰/۳۲	۰/۵۷

جدول ۴. شاخص‌های گیاه گندم در خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	خاک‌های شاهد			خاک‌های تیمارشده		
	غلظت (میلی گرم در کیلوگرم)	عملکرد (گرم در گلدان)	جذب (میلی گرم در گلدان)	غلظت (میلی گرم در کیلوگرم)	عملکرد (گرم در گلدان)	جذب (میلی گرم در گلدان)
۱	۱۴/۲۰	۴/۱۹	۰/۰۶	۲۳/۲۰	۵/۷۲	۰/۱۳
۲	۱۷/۸۵	۶/۷۵	۰/۱۲	۲۸/۲۰	۶/۳۷	۰/۱۸
۳	۱۶/۴۰	۵/۷۷	۰/۰۹	۳۳/۰۰	۸/۴۲	۰/۲۸
۴	۳۹/۶۵	۶/۰۲	۰/۲۴	۴۲/۱۷	۹/۹۰	۰/۴۲
۵	۱۸/۲۵	۵/۸۲	۰/۱۱	۳۱/۴۵	۸/۷۶	۰/۲۸
۶	۲۴/۸۷	۴/۳۱	۰/۱۱	۳۲/۷۰	۷/۸۸	۰/۲۶
۷	۲۳/۸۳	۴/۳۴	۰/۱۰	۳۳/۹۰	۸/۵۰	۰/۲۹
۸	۲۰/۲۵	۶/۸۶	۰/۱۴	۲۵/۷۰	۶/۹۲	۰/۱۸
۹	۲۸/۳۰	۸/۷۲	۰/۲۵	۲۸/۲۸	۱۱/۷۱	۰/۳۳
۱۰	۱۷/۲۰	۶/۱۵	۰/۱۱	۲۴/۴۰	۷/۷۵	۰/۱۹
*میانگین	b۲۲/۰۸	۵/۸۹[b]	۰/۱۳[b]	۳۰/۳۰[a]	۸/۱۹ [a]	۰/۲۵[a]

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

قابلیت استفاده عناصر سنگین از جمله روی برای گیاه آفتابگردان در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب را مطالعه کردند. نتایج آنها نشان داد که با افزایش مقدار لجن فاضلاب میزان جذب عناصر و عملکرد گیاه آفتابگردان افزایش یافت.

ضرایب همبستگی بین مقادیر روی عصاره‌گیری شده با استفاده از عصاره‌گیرهای مختلف و شاخص‌های گیاه گندم در خاک‌های شاهد و تیمار شده با لجن لجن فاضلاب در جدول ۵ نشان داده شده است. در خاک شاهد غلظت روی و روی جذب‌شده در گیاه گندم و روی عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای AB-DTPA، DTPA-TEA و مهلیچ ۳ همبستگی معنی‌داری وجود داشت (جدول، ۵). در بین عصاره‌گیرهایی که دارای رابطه معنی‌داری با شاخص‌های غلظت روی و جذب روی در گیاه گندم هستند، ضرایب همبستگی بین روی عصاره‌گیری شده با روش AB -DTPA با شاخص‌های غلظت روی و جذب روی به‌ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۸۶ بود، که در بین عصاره‌گیرهای مورد استفاده در خاک شاهد دارای بیشترین ضریب همبستگی است. توانایی روش‌های عصاره‌گیری حاوی کلات‌کننده‌ها در تحقیقات بسیاری جهت تعیین مقدار قابل استفاده روی گزارش شده است (۱، ۱۱ و ۱۲). در مطالعه انجام شده توسط فائو در ۳۰ کشور جهان بر ۳۵۰۰ نمونه خاک گزارش کردند که مقدار روی عصاره‌گیری شده با استفاده از دو عصاره‌گیر DTPA و EDTA همبستگی معنی‌داری با غلظت عنصر روی در گیاه گندم داشت (۳۸). فنگ و همکاران (۱۱) 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

جدول ۵. ضریب همبستگی (r) بین مقادیر روی عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای مختلف و شاخص‌های گیاه گندم

شاخص‌های گیاه	DTPA -TEA	AB -DTPA	مهلیچ ۱	مهلیچ ۲	مهلیچ ۳	HCl	$CaCl_2$
			خاک‌های شاهد				
غلظت	۰/۸۷**	۰/۹۱**	۰/۰۹۱ ns	−۰/۱۰ ns	۰/۶۷*	−۰/۱۶ ns	۰/۶۵*
عملکرد	۰/۳۴ ns	۰/۴۴ ns	−۰/۳۷ ns	−۰/۳۶ ns	۰/۳۴ ns	۰/۰۲ ns	۰/۴۷ ns
جذب	۰/۶۹*	۰/۸۶**	۰/۰۳ ns	−۰/۳۶ ns	۰/۶۹*	−۰/۱۶ ns	۰/۵۰ ns
			خاک‌های تیمارشده				
غلظت	−۰/۳۷ ns	−۰/۲۶ ns	۰/۱۴ ns	۰/۸۳**	۰/۲۸ ns	−۰/۴۷ ns	۰/۳۸ ns
عملکرد	−۰/۳۷ ns	۰/۰۲ ns	−۰/۴۰ ns	۰/۳۵ ns	−۰/۰۴ ns	−۰/۴۰ ns	۰/۵۳ ns
جذب	−۰/۴۳ ns	۰/۰۲ ns	−۰/۲۷ ns	۰/۴۴ ns	−۰/۰۸ ns	−۰/۳۵ ns	۰/۵۵ ns

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

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. روپا و شوکلا (۳۵) در مطالعه‌ای به بررسی و انتخاب عصاره‌گیر مناسب در ۸ خاک تحت کشت گیاه برنج در کشور هندوستان پرداختند. روش‌های مورد استفاده در آن پژوهش شامل TEA–DTPA، ۰/۱ HCl نرمال، ۰/۰۲ EDTA مولار همراه با استات آمونیوم ۰/۵ نرمال و روش مهلیچ ۱ بود. نتایج آنها نشان داد که روش عصاره‌گیری DTPA–TEA مناسب‌ترین عصاره‌گیر در برآورد روی قابل استفاده بود.

از بین عصاره‌گیرهای استفاده شده در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب، فقط بین روی عصاره‌گیری شده با روش مهلیچ ۲ و غلظت روی در گندم همبستگی معنی‌دار (۰/۸۳) وجود داشت (جدول ۵). در تحقیقات انجام شده، یک روش عصاره‌گیری به‌عنوان بهترین روش تعیین مقدار قابل استفاده عنصر روی در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب گزارش نشده است. کرمی و همکاران (۱۷) 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 (۹) گزارش کردند که عصاره‌گیر NH_4NO_3 توانایی عصاره‌گیری روی قابل استفاده در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب را دارد. نیامانگارا و همکاران (۳۰) عصاره‌گیر EDTA را به‌عنوان مناسب‌ترین عصاره‌گیر روی در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب گزارش کردند. پیو و همکاران (۳۲) به ارزیابی توان عصاره‌گیرهای NH_4NO_3 ۰/۱ مولار، $CaCl_2$ ۰/۰۱ مولار و $NaNO_3$ ۰/۱ مولار برای تعیین مقدار قابل استفاده عناصر سنگین از جمله روی در ده خاک تیمار شده با لجن فاضلاب پرداختند. آنها گزارش کردند که روش عصاره‌گیری $CaCl_2$ 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. سو و همکاران (۱۶) گزارش کردند که در اثر تیمار خاک با لجن فاضلاب جزءهای تبادلی و پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز عناصر سنگین افزایش می‌یابد. آنها گزارش کردند که در طی انکوباسیون خاک با لجن فاضلاب، عنصر روی از جزء پیوندشده با کربنات‌ها آزاد و همچنین در نتیجه تجزیه مواد آلی از پیوند با این مواد نیز آزاد شده و به جزء پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز انتقال می‌یابد. آنها گزارش کردند که توانایی عصاره‌گیر DTPA برای عصاره‌گیری روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز پایین و برای عصاره‌گیری عناصر در

جزءهای محلول، تبادلی و پیوندشده با مواد آلی در خاک‌ها مناسب است. بنابراین عدم توانایی روش‌های عصاره‌گیری حاوی کلات کننده‌ها در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب در تعیین مقدار قابل استفاده عنصر روی برای گیاه گندم می‌تواند به‌دلیل عدم توانایی این روش‌ها در عصاره‌گیری روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز باشد. از طرفی به‌نظر می‌رسد که عصاره‌گیر مهلیچ ۲ شامل ترکیباتی است که توانایی بیشتری در عصاره‌گیری روی از جزءهای تبادلی و پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز دارد. در این ارتباط به تحقیقات بیشتری نیاز است.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد غلظت روی و عملکرد گیاه در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب افزایش معنی‌دار داشت. بیشترین مقدار روی عصاره‌گیری شده در خاک‌های شاهد و تیمار شده، با روش مهلیچ ۳ و کمترین آن با روش مهلیچ ۱ استخراج شد. در تیمار شاهد بین غلظت و مقدار جذب روی در گیاه و عصاره‌گیرهای AB-DTPA، DTPA-TEA و مهلیچ ۳ همبستگی معنی‌داری وجود داشت. در بین عصاره‌گیرهایی که دارای رابطه معنی‌داری با شاخص‌های غلظت و جذب روی در گیاه هستند، عصاره‌گیر AB-DTPA با شاخص غلظت و با شاخص جذب روی بیشترین همبستگی را داشت. در بین عصاره‌گیرهای مختلف مورد استفاده در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب، فقط بین روی عصاره‌گیری شده با روش مهلیچ ۲ و شاخص غلظت همبستگی معنی‌دار وجود داشت. ضریب همبستگی (r) پایین و غیرمعنی‌دار عصاره‌گیرهای حاوی DTPA در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب بین مقدار قابل استفاده روی و شاخص‌های گیاه گندم می‌تواند به‌دلیل عدم توانایی این روش‌ها در عصاره‌گیری روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و آزاد شدن کند باشد.

منابع مورد استفاده

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

۲. خوشگفتارمنش، ا. ح. ۱۳۸۶. *مبانی تغذیه گیاه*. مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان. ۴۶۲ ص.

۳. کرمی، م.، م. افیونی، ی. رضایی‌نژاد و ا. ح. خوشگفتارمنش. 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 ۱۲(۴۶)، ۶۵۳-۶۳۹.

۴. ملکوتی، م. ج.، پ. کشاورز و ن. ع. کریمیان. ۱۳۷۸. *روش جامع تشخیص و توصیه بهینه کودی برای کشاورزی پایدار*. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. ۷۵۵ ص.

5. Afyuni, M., Y. Rezaeinejad and R. Schulin. 2006. Extractability and plant uptake of Cu, Zn, Pb and Cd from a sludge - amended Haplargid in Central Iran. Arid Land Res. Manag. 20: 29-41.
6. Aggelides, S. M. and P. A. Londra. 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.
7. Allowoy, B. J. 1990. Heavy Metals in Soils. Blackie and Son Ltd. Glascow and London. p. 339.
8. Alvarez, J. M., L. M. Lopez-Valdivia, J. Novillo, A. Obrador and M. I. Rico. 2006. Comparison of EDTA and sequential extraction tests for phytoavailability prediction of manganese and zinc in agricultural alkaline soils. Geoderma 132: 450-463.
9. Bhogal, A., F. A. Nicholson, B. J. Chambers and M. A. Shepherd. 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.
10. Campbell, C. R. and C. O. Plank. 1998. Preparation of plant tissue for laboratory analysis. PP. 37-50. *In*: Kalra, Y.P. (Ed.), Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. CRC Press, Taylor & Francis Group.

11. Feng, M. H., X. Q. Shan, S. Z. Zhang and B. Wen. 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.
12. Fuentes, A., M. Llorens, J. Saez, A. Soler, M. I. Aguilar, J. F. Ortuno and V. F. Meseguer. 2004. Simple and sequential extractions of heavy metals from different sewage sludges. Chemosphere 54: 1039-1047.
13. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle size analysis. PP. 404-407. *In:* Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd edition. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
14. Gupta, A. K. and S. Sinha. 2007. Assessment of single extraction methods for the prediction of bioavailability of metals to *Brassica juncea* L. Czern. (var. Vaibhav) grown on tannery waste contaminated soil. J. Hazd. Mater. 149: 144-150
15. Hoyt, P. B. and M. Nyborg. 1971. Toxic metals in acid soil: 2. Estimation of plant available manganese. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 35: 141-144.
16. Hseu, Z. H. 2006. Extractability and bioavailability of zinc over time in three tropical soils incubated with biosolids. Chemosphere, 63: 762-771.
17. Karami, M., M. Afyuni, Y. Rezainejad and R. Schulin. 2009. Heavy metal uptake by wheat from a sewage sludge-amended calcareous soil. Nutr. Cycl. Agroecosyst 83: 51-61.
18. Lindsay, W. L. and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.
19. Loeppert, R. H. and D. L. Suarez. 1996. Carbonate and gypsum. PP. 437-474. *In:* Sparks, D. L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison.
20. Malakouti, M. J. 2007. Zinc is a neglected element in the life cycle of plants. Middle Eastern & Russian J. of Plant Sci. and Biotechnology 1(1): 1-12.
21. Martenz, D. C. and W. L. Lindsay. 1990. Testing soils for copper, iron, manganese and zinc. PP. 229-264. *In*: Westrman, R.L. (Ed.), Soil Testing and Plant Analysis. SSSA. Madison. Wisconsin, USA.
22. McGrath, S. P., F. J. Zhao, S. J. Dunhum, A. R. Crosland and K. Coleman. 2000. Long-term changes in the extractability and bioavailability of zinc and cadmium after sludge application. J. Environ. Qual. 29:87-883.
23. Mehlich, A. 1953. Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH_4. North Carolina Soil Testing Div. Mimeo, Raleigh.
24. 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.
25. Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 15: 1409-1416.
26. Mendoza, J., T. Garrido, G. Castillo and N. San-Martin. 2006. Metal availability and uptake by sorghum plants grown in soils amended with sludge from different treatments. Chemosphere 65: 2304-12.
27. Merrington, G., L. Winder and I. Green. 1997. The bioavailability of Cd and Zn from soils amended with sewage sludge to winter wheat and subsequently to the grain aphid Sitobionavenae. Sci. Total Environ. 205: 245-254.
28. Morera, M. T., J. Echeverria and J. Garrido. 2002. Bioavailability of heavy metals in soils amended with sewage sludge. Can. J. Soil Sci. 82: 433-438.
29. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1996. Carbon, organic carbon, and organic matter. PP. 961-1010. *In:* Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison.
30. Nyamangara, J. and J. Mzezewa. 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.
31. Paya-Perez, A., J. Sala and F. Mousty. 1993. Comparison of ICPAES and ICP-MS for the analysis of trace elements in soil extracts. Int. J. Environ. Anal. Chem. 51: 223-230.
32. Pueyo, M., G. Rauret, D. Luck, M. Yli-Halla, H. Muntau, P. Quevauville and J. F. Lopez-Sanchez. 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.
33. Ramachandran, V. and T. J. D'Souza. 1998. Plant uptake of cadmium, zinc, and manganese in soils amended with sewage sludge and city compost. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 61: 347-354.
34. Rhoades, J. D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. PP. 417-435. *In:* Sparks, D. L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison. 35. Rupa, T.R. and L.M. Shukla. 1999. Comparison of four extractants and chemical fractions for assessing available zinc and copper in soils of India. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 30: 2579-2591.
36. Saffari, M., J. Yasrebi, N. Karimian and X. Q. Shan. 2009. Evaluation of three sequential extraction methods for fractionation of zinc in calcareous and acidic soils. Research J. of Biological Sci. 4: 848-857.
37. Sahuquillo, A., A. Rigol and G. Rauret. 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.
38. Sillanpaa, M. 1982. Micronutrients and the nutrient status of soils. A global study. FAO Bull. 48.
39. Soltanpour, P. N. and A. P. Schwab. 1977. A new soil test for simultaneous extraction of macro- and micro-

nutrients in alkaline soils. Commun, Soil, Sci. Plant Anal. 8: 195-207.
40. Sommers, L. E. 1977. Chemical composition of sewage sludges and analysis of their potential use as fertilizers. J. Environ. Qual. 6: 225-231.
41. Sposito, G. L., J. Lund and A. C. Chang. 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.
42. Sumner, M. E. and P. M. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficient. PP. 1201-1230. *In:* Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison.
43. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. PP. 475-490. *In:* Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison.
44. Torri, S. I. and R. Lavado. 2008. Zinc distribution in soils amended with different kinds of sewage sludge. J. Environ. Manage. 88: 1571-1579.
45. USEPA. 1993. Clean water act. Section 503. Vol. 58, No. 32, USEPA. Washington, DC.
46. Van Erp, P. J. and P. Van Lune. 1991. Long-term heavy metal leaching from soils-sewage sludge and soil/sewage mixtures. Environ. Sci. Technol. 25: 706-711.
47. Wollan, E. and P. H. T. Beckett. 1979. Changes in the extractability of heavy metals on the interaction of sewage sludge with soil. Environ. Pollut. 20: 215-30.

Assessment of Several Extractants for the Determination of Wheat-available Zn (*Triticum aestivum* L.) in Calcareous Soils Amended and Unamended with Sewage Sludge

H. R. Motaghian*, A. R. Hosseinpur, J. Mohammadi and F. Raiesi[1]

(Received: Nov. 28-2011 ; Accepted : Nov. 28-2012)

Abstract

Zinc (Zn) is one of the essential micronutrients for plant growth and its deficiency frequently occurs in calcareous soils. But, a suitable extractant for estimation of plant-available Zn in calcareous soils, amended with sewage sludge, has not been presented yet. The aim of this research was to assess several chemical extractants (7 extractants) for estimation of available Zn in calcareous soils amended (1% w/w) and unamended with sewage sludge. Results showed that Mehlich 3 and Mehlich 1 extractants extracted the highest and the lowest concentrations of Zn in both amended and unamended soils, respectively. All wheat indices (wheat yield, Zn concentration and Zn uptake) increased by sewage sludge addition. Besides, the results indicated that in unamended soils, significant correlations were found ($r=0.65^{*}$- 0.91^{**}) between extracted Zn using AB-DTPA, DTPA-TEA and Mehlich 3 extractants and different wheat indices. On the contrary, in sewage sludge-amended soils, only the correlation between extracted Zn using Mehlich 2 and Zn concentration was significant ($r=0.83^{**}$). According to this study findings, the suitable extractant for extracting wheat-available Zn is thoroughly different in calcareous soils amended and unamended with sewage sludge.

Keywords: Sewage sludge; Zn extracants; Wheat.

1. Dept. of Soil Sci., College of Agric., Shahrekord Univ., Shahrekord, Iran.
*: Corresponding Author, Email: hrm_61@yahoo.com