Archive of SID

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و چهارم، شماره اول، ۱۳۹۶
http://jwsc.gau.ac.ir

اثر کود گاوی غنی‌شده با لجن کنورتور بر زیست‌فراهمی آهن در یک خاک آلوده به سرب

نرگس تبرته‌فراهانی[۱]، *امیرحسین بقائی[۲] و آناهیتا پلوس[۲]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه خاکشناسی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران،
[۲]استادیار گروه خاکشناسی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱/۱۹

چکیده

سابقه و هدف: امروزه متخصصین از روش‌هایی مانند کاربرد کلات‌های آهن، پائین آوردن پ‌هاش خاک و ضایعات صنعتی در جهت برطرف نمودن کمبود آهن در خاک استفاده می‌کنند. استفاده از مواد جامد زائد کارخانجات فولادسازی و ذوب آهن مانند سرباره و لجن کنورتور به‌عنوان مواد اصلاحی خاک در تغذیه آهن می‌تواند مفید باشد. این ترکیبات حاوی درصد قابل‌توجهی آهن هستند و سالانه به مقدار خیلی زیاد تولید و انباشته می‌شوند. کاربرد سرباره و لجن کنورتور در خاک ممکن است بر تحرک زیستی و فرم‌های شیمیایی آهن در خاک تأثیرگذار باشد. از سویی دیگر آلودگی محیط زیست به فلزات سنگین مانند سرب مشکلی جدی و روزافزون است و می‌تواند مدیریت تغذیه‌ای عناصر غذایی از جمله آهن را تحت‌تأثیر قرار دهد. با در نظر گرفتن اثر برهمکنش آهن و سرب، این پژوهش با هدف بررسی اثر کود گاوی غنی‌شده با لجن کنورتور بر تغییر قابلیت زیست‌فراهمی آهن در یک خاک آلوده به سرب انجام شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به‌صورت یک آزمایش فاکتوریل سه‌فاکتوره در فالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای به اجرا در آمد. تیمارهای آزمایشی شامل کاربرد مقادیر ۰، ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کود گاوی غنی‌شده با ۰ و ۵ درصد وزنی آهن خالص از ترکیب لجن کنورتور بود. علاوه بر این، خاک با مقادیر ۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ٤۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک از منبع نیترات سرب آلوده و به‌مدت یک ماه نگهداری شد. سپس کود گاوی غنی‌شده به خاک آلوده به سرب اضافه شد و بذر ذرت (سینگل کراس ۷۰٤) کاشته شد. بعد از گذشت ٦۰ روز از شروع آزمایش، ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی خاک و غلظت آهن در خاک و گیاه ذرت اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: افزایش کاربرد کود گاوی از ۰ به ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار در خاک آلوده به ۳۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک به‌ترتیب باعث افزایش ۲۱ و ۳۵ برابری در مقدار آهن قابل عصاره‌گیری با DTPA شد. مشابه این نتیجه، غلظت آهن ریشه و شاخساره نیز افزایش یافت، به‌طوری‌که کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود گاوی (در خاک آلوده به ۲۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک) به‌ترتیب باعث افزایش ۷ و ۱۲/۳ برابری در غلظت آهن ریشه و شاخساره گیاه شد. کود گاوی غنی‌شده با لجن کنورتور نیز تأثیر مثبتی بر افزایش غلظت آهن ریشه و شاخساره گیاه داشت، به‌صورتی‌که

* مسئول مکاتبه: a-baghaie@iau-arak.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود گاوی غنی‌شده در خاک آلوده به ۲۰۰ میلی‌گرم سرب به‌ترتیب باعث افزایش ۲ و ۷/۷ برابری در غلظت آهن ریشه و شاخساره گیاه شد.

نتیجه‌گیری: بیش‌ترین مقدار آهن قابل عصاره‌گیری با DTPA و غلظت آهن ریشه و شاخساره در خاک غیرآلوده و تیمارشده با ۳۰ تن در هکتار کود گاوی غنی شده با ۵ درصد آهن خالص از ترکیب لجن کنورتور بود. با توجه به اثر آنتاگونیستی سرب و آهن، افزایش آلودگی خاک به سرب باعث کاهش معنی‌دار قابلیت زیست‌فراهمی آهن در خاک، ریشه و شاخساره گیاه شده است. نتایج کلی این پژوهش بیانگر آن است که کاربرد کود گاوی غنی‌شده با ۵ درصد آهن خالص از ترکیب لجن کنورتور، توانسته است باعث افزایش قابلیت زیست‌فراهمی آهن در خاک و گیاه شود، هر چند که در این میان نقش کاربرد کود گاوی در کاهش قابلیت زیست‌فراهمی سرب و به دنبال آن افزایش قابلیت زیست‌فراهمی آهن در خاک (اثر رقابتی آهن و سرب) نباید نادیده گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: آهن، لجن کنورتور، کود گاوی غنی‌شده، سرب

مقدمه

سال‌ها است که متخصصان و پژوهشگران علوم کشاورزی جهت رفع کلروز آهن در گیاهان که یک مسأله جهانی است تلاش می‌کنند. موفقیت در امر اصلاح یا جلوگیری از کمبود آهن در گیاهان از طریق فعالیت‌های مدیریتی خاک دارای محدودیت‌های زیادی بوده است. از جمله روش‌های مهم درمان کلروز آهن، استفاده از کودهای مختلف حاوی آهن و مواد اصلاحی می‌باشد. از جمله ترکیباتی که به این منظور استفاده می‌شود می‌توان به نمک‌های معدنی آهن (۱٤)، املاح اسیدزا (۱٦)، ضایعات و تولیدات جانبی صنایع (۳۸) و کلات‌های آهن (۱۳) اشاره کرد. از بین ترکیبات مختلف استفاده شده، ترکیبات معدنی آهن به‌دلیل حلالیت کم تأثیر چندانی در قابلیت زیست‌فراهمی آهن به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک مرکزی کشور نداشته است، ولی استفاده از کلات‌های مصنوعی آهن به‌عنوان روش مؤثری در درمان کمبود آهن شناخته شده است (۲۱). این مواد از ترکیب یک عامل کلات‌کننده با فلز تشکیل می‌شود. اصولاً پایداری فلز با کلات، اغلب تعیین‌کننده قابلیت استفاده کلات به‌عنوان حامل فلز می‌باشد. با این وجود استفاده از این روش در بسیاری مواقع مقرون‌به‌صرفه نمی‌باشد. از دیگر ترکیبات مورد استفاده، می‌توان به محصولات جانبی و ضایعات فرآیندهای صنعتی (۱) اشاره کرد که حاوی مقدار زیادی آهن می‌باشند، هر چند که شرایط فیزیکوشیمیایی خاک تا حدود زیادی می‌تواند قابلیت زیست‌فراهمی عناصر ریزمغذی از جمله آهن را تحت‌تأثیر قرار دهد.

در این میان استفاده از کودهای آلی با بهبود بخشیدن ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، می‌تواند قابلیت زیست‌فراهمی عناصر در خاک را تحت‌تأثیر قرار دهد (۲)، هر چند که در بعضی مواقع این کودهای آلی فقیر از آهن می‌باشند (۲۲). عزیزی و گلیسر (۲۰۰٦) در پژوهشی به کاربرد ترکیبی از برگ‌های ممرز، شلتوک برنج و زغال چوب به همراه سولفات آهن بر رفع کلروز آهن در گیاه ذرت اشاره کردند (۵). حیدری‌کهال و همکاران (۲۰۱٤) نیز در پژوهشی کاربرد سولفات آهن و ماده آلی را به‌عنوان راهکار مناسبی جهت کمبود آهن در درختان میوه گزارش کردند (۱۵). با توجه به حجم عظیم ضایعات آلی از جمله کود دامی، زباله شهری، لجن فاضلاب، بقایای گیاهی و تولید مقادیر فراوان ضایعات آلی

www.SID.ir

Archive of SID

حاوی آهن معدنی از جمله ضایعات کارخانه‌های آهن و فولاد در کشور، پتانسیل مناسبی برای تولید کودهای آلی غنی‌سازی‌شده از آهن وجود دارد. به‌نظر می‌رسد استفاده از این ترکیبات نقش مؤثری در تغذیه آهن در گیاه و افزایش کیفیت کودهای آلی جهت بهبود حاصل‌خیزی خاک ایفا کند. غنی‌سازی کودهای آلی توسط ترکیبات معدنی مانند سرباره و لجن کنورتور احتمالاً می‌تواند باعث کلاته شدن و افزایش حلالیت آهن در اثر واکنش با مواد آلی شود (۲۲)، هر چند که ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مانند اثر برهمکنش عناصر (۳) می‌تواند نقش مؤثری در مدیریت تغذیه‌ای عناصر ریزمغذی در خاک داشته باشد، از سویی دیگر امروزه آلودگی ناشی از فلزات سنگین به‌خصوص در مناطق صنعتی به یک مشکل جهانی تبدیل شده است. در اراضی کشاورزی، کاربرد علف‌کش‌ها، خروجی صنایع آلوده‌کننده و کودهای آلی از جمله لجن فاضلاب از مهم‌ترین منابع آلوده‌کننده اراضی است که مشکل انسانی دارد (۱۹). سرب از جمله آلاینده‌های مهم محیط زیست است که سمیت بالایی داشته و در عین‌حال می‌تواند در گیاهان انباشته شود. اثر منفی سرب روی رشد گیاه از طریق کاهش جذب و انتقال عناصر غذایی هم‌چون آهن، منگنز و روی از طریق انسداد، ممانعت از ورود یا تشکیل پیوند با ناقلین این عناصر، موجب عدم فراهمی برای جذب و انتقال آن‌ها از ریشه به برگ‌ها می‌شود. نتایج برخی پژوهش‌ها بیانگر آن است که کمبود آهن در گیاهان موجب تحریک افزایش جذب برخی فلزات سنگین می‌شود (۸، ۳٤). در بین اثرات متقابل فلزات سنگین و عناصر غذایی، اثر آهن در فرآیند فتوسنتز و رشد گیاه از اهمیت خاصی برخوردار است. فلزات سنگین قابلیت زیست‌فراهمی و جذب آهن در آپوپلاست ریشه، جذب به درون سلول‌های ریشه و انتقال به بخش‌های هوایی را کاهش می‌دهند و سبب می‌شوند آهن کم‌تری در اختیار برگ‌ها قرار گیرد (۳). در وضعیت کمبود آهن، جذب و تجمع فلزات سنگین در گیاه افزایش می‌یابد (۱۰). گزارش‌های ناشی از کاهش تجمع سرب در گیاهانی هم‌چون ذرت (۳۷) و زنبق (٤۰) با افزایش فراهمی آهن ذکر شده است.

وجود ویژگی‌های آب و هوای نسبتاً خشک و نیمه‌خشک در منطقه مرکزی کشور (شهرستان اراک) از جمله کمبود مواد آلی، پ‌هاش نسبتاً بالای خاک‌های منطقه، قابلیت زیست‌فراهمی عناصر ریزمغذی را تا حدود زیادی تحت‌تأثیر قرار داده است. از سویی دیگر، وجود آلودگی نسبتاً بالای فلزات سنگین از جمله سرب و کادمیوم در شهرستان اراک (۳٦) به‌دلیل وجود قطب‌های صنعتی متعدد مشاهده می‌شود، هر چند که مطالعاتی در مورد استفاده از ضایعات جانبی صنایع در جهت افزایش قابلیت زیست‌فراهمی آهن نوسط گیاه صورت پذیرفته است (۱، ۲۳)، ولی در این پژوهش‌ها به نقش مدیریت تغذیه‌ای عناصر غذایی در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین اشاره‌ای نشده است. با توجه به مطالب ذکر شده و اثر احتمالی برهمکنش فلزات سنگین با عناصر ریزمغذی (۳، ۲۸)، این پژوهش با هدف بررسی نقش غنی‌سازی کود دامی با لجن کنورتور به‌عنوان ضایعات جانبی شرکت ذوب‌آهن اصفهان در جهت مدیریت تغذیه آهن برای گیاه ذرت در یک خاک آلوده به سرب در شرایط گلخانه صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت یک آزمایش گلدانی با هدف بررسی اثر غنی‌سازی کود گاوی با لجن کنورتور بر تغییر قابلیت زیست‌فراهمی آهن در یک خاک آلوده به سرب در گلخانه‌ای در شهرک مهاجران واقع در بیست و پنج کیلومتری شهر اراک انجام

www.SID.ir

Archive of SID

پذیرفت و طرح آزمایشی موردنظر به‌صورت یک آزمایش فاکتوریل سه‌فاکتوره (کود گاوی، لجن کنورتور و نیترات سرب) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل کاربرد کود گاوی در سه سطح ۰، ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار (۳۳)، لجن کنورتور به‌میزان ۰ و ۵ درصد وزنی آهن خالص موجود در این ترکیب (از محصولات جانبی بخش فولادسازی شرکت ذوب‌آهن اصفهان) در جهت غنی‌سازی کود گاوی (۲۲) و همچنین آلودگی خاک به فلز سنگین سرب ازمنبع نیترات سرب در سطوح ۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ٤۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک (۲۰) می‌باشد. جهت بررسی نقش غنی‌سازی کود گاوی با لجن کنورتور بر افزایش قابلیت زیست‌فراهمی آهن در خاک و گیاه ذرت، خاکی با چهارده درصد کربنات کلسیم معادل و کربن آلی نسبتاً پائین از روستای پاکل واقع در ۳۰ کیلومتر اراک برداشت شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده و همچنین ویژگی‌های کود گاوی مورد استفاده به‌ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ ذکر شده است. جهت اندازه‌گیری مقدار کربن آلی در نمونه خاک یا کود گاوی از روش اکسیداسیون تر (۲۵) و گنجایش تبادل کاتیونی خاک به روش کلرید باریم اندازه‌گیری شد (۲۹). بافت خاک به روش هیدرومتری (۱۱) اندازه‌گیری شد برای اندازه‌گیری pH و EC کود گاوی از نسبت ۱:۵ کود به آب و در مورد نمونه خاک از عصاره اشباع خاک استفاده شده است (۳۰). فسفر قابل دسترس موجود در نمونه کود به روش اولسن (۲۷) اندازه‌گیری شد. مقدار کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید و تیتراسیون اسید اضافی با سود (۲٦)تعیین شد. مقدار نیتروژن کود گاوی به روش کجلدال (۷) اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه خاک.

Table 1. Some physico-chemical properties of soil sample.

پ‌هاش pH	قابلیت هدایت الکتریکی EC(dS m^{-1})	کربن آلی OC(%)	بافت خاک Soil Texture class	کربنات کلسیم معادل خاک Calcium Carbonate Equilibrium(%)	سرب کل Total Pb (mg kg^{-1})	گنجایش تبادل کاتیونی CEC (Cmol (+)kg^{-1} soil)
7.2	1.0	0.18	Loamy	14	3	11.9

جدول ۲- برخی ویژگی‌های کود گاوی کاربردی.

Table 2. Some characteristics of applied Cow manure.

پ‌هاش pH(1:5) ---	قابلیت هدایت الکتریکی EC (1:5) dS m^{-1}	درصد کربن آلی OC %	نیتروژن کل Total N(%) ------	فسفر قابل‌استفاده Available P (mg kg^{-1})	کادمیم کل Total Cd (mg kg^{-1})	سرب کل Total Pb (mg kg^{-1})	روی کل Total Zn (mg kg^{-1})
7.8	14.2	24	15	130	1	2	11

نتایج تجزیه شیمیایی لجن کنورتور که به‌وسیله آزمایشگاه مرکزی شرکت ذوب‌آهن اصفهان انجام شده است (جدول ۳) نشان می‌دهد که حدود ۸٤/۳ درصد این ترکیب را اکسید آهن تشکیل می‌دهد و عناصر کلسیم و سیلیسیم در درجه بعدی قرار دارد، هر چند که کیفیت لجن به نوع کوره و تکنولوژی به‌کار برده شده بستگی دارد و ترکیب شیمیایی آن در کارخانه‌های مختلف متفاوت است (۱).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- ترکیب لجن کنورتور شرکت ذوب‌آهن اصفهان.

Table 3. Converter sludge composition of Isfahan Steel Meel.

عنصر Element	مقدار amount (%)	عنصر Element	مقدار amount (%)
Fe_2O_3	57.2	MnO	3
Fe0	27.1	ZnO	0.1
Cao	9	V_2O_5	0.7
SiO_2	1.1	S	0.1
MgO	0.3	Na_2O	0.2
Al_2O_3	0.4	K_2O	0.7
P_2O_5	0.1		

کود گاوی با مقادیر فوق‌الذکر با لجن کنورتور غنی‌شده و به‌مدت سه ماه در دمای اتاق به حالت خود رها شد (۲۲). قابل ذکر است که در این مدت جهت به تعادل رسیدن نمونه‌های کود گاوی غنی‌شده با لجن کنورتور، نمونه‌ها مرتباً تر و خشک شدند. از سویی دیگر، خاک مورد استفاده با روش اسپری در مقادیر فوق‌الذکر به فلز سرب آلوده شد. جهت رسیدن به تعادل نسبی، نمونه خاک‌های آلوده شده به سرب نیز مدت یک ماه به حالت خود رها شده است (۲٤). سپس کود گاوی (غنی‌شده با ۰ و ۵ درصد آهن خالص موجود در لجن کنورتور) در مقادیر ۰، ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار به خاک آلوده به سرب اضافه شده و خاک تیمارشده به‌مدت یک ماه داخل گلدان پلاستیکی ۵ کیلوگرمی به حال خود رها شد. قابل ذکر است که در این مدت جهت به تعادل رسیدن نمونه‌ها، مرتباً خاک تیمار شده تا رسیدن به حد ظرفیت زراعی مزرعه تر و خشک شد (۲۲). سپس داخل هر گلدان ۱۰ عدد بذر کاشته شده و بعد از استقرار گیاهان، شمار بوته‌ها به چهار عدد کاهش یافت. به‌منظور نزدیک کردن به شرایط واقعی مزرعه، دمای گلخانه تا حد امکان متناسب با رشد گیاه ذرت در طی فصل رشد گیاه در محیط مزرعه تنظیم گردید (^{o}C ۲۸-۲۵). در طول دوره رشد گیاه، عملیات آبیاری با آب مقطر (به روش آبیاری سطحی) و بر اساس نیاز گیاه هر دو تا سه روز یک‌بار تا رسیدن به حدود ۷۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه انجام و وجین علف هرز ۳ تا ٤ روز یک‌بار به‌طور یکنواخت انجام شد. هر هفته یک‌بار نیز گلدان‌ها کاملاً جابجا شده تا تمامی گلدان‌ها در شرایط محیطی یکسان (نور و گرما) قرار گیرد.

برداشت بوته‌های گیاه ذرت ٦۰ روز پس از کاشت انجام شد. پس از برداشت، نمونه‌های گیاهی ابتدا با آب معمولی و سپس با آب دو بار تقطیر شده شسته شدند. ریشه و اندام هوایی از محل طوقه جدا، کاملاً شستشو داده شده و هر کدام جداگانه وزن و به داخل پاکت کاغذی منتقل گردید. نمونه‌ها به‌مدت ٤۸ ساعت در دمای ٦۵ درجه سلسیوس در خشک‌کن قرار داده شد، سپس نمونه‌ها توسط آسیاب برقی به پودر تبدیل شده و در ظروف پلاستیکی نگه‌داری شد. نمونه‌ها در دمای ٤۸۰ درجه سانتی‌گراد خاکستر و

www.SID.ir

Archive of SID

غلظت فلزات سنگین بعد از عصاره‌گیری نمونه‌ها با اسید کلریدریک دو نرمال با استفاده از دستگاه جذب اتمی پرکین المر مدل ۳۰۳۰ اندازه‌گیری شد (۱۸)، همچنین میزان سرب کل موجود در نمونه خاک (٤) و فلزات سنگین موجود در کود گاوی (۳۹) توسط دستگاه جذب اتمی تعیین شد.

هم‌زمان با برداشت گیاه، از خاک گلدان‌های تحت کشت گیاه ذرت جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک نمونه‌برداری شد. نمونه‌های خاک، پس از هواخشک شدن و کوبیدن، از الک ۲ میلی‌متری گذرانده و جهت تجزیه موردنظر به آزمایشگاه منتقل شدند. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به کمک نرم‌افزار SAS انجام گرفت و مقایسه‌های میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار MSTATC انجام و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شد.

نتایج و بحث

اثر باقی‌مانده تیمارهای مورد آزمایش: نتایج جدول ٤ بیانگر معنی‌دار بودن اثر ساده کاربرد کود گاوی بر پ‌هاش خاک می‌باشد. کاربرد ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کود گاوی به خاک به‌ترتیب باعث افزایش پ‌هاش خاک به‌میزان ۰/۲ و ۰/۷ واحدی نسبت به خاک بدون کاربرد کود گاوی شد (شکل ۱- الف). لازم به ذکر است که اثر برهمکنش تیمارهای کود گاوی، لجن کنورتور و سرب بر پ‌هاش خاک معنی‌دار نشد (جدول ٤). با توجه به این‌که اضافه کردن کود آلی با تغییر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌تواند باعث افزایش قابلیت زیست‌فراهمی عناصر غذایی در خاک شود و از سویی دیگر افزایش پ‌هاش خاک در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه‌خشک، باعث کاهش قابلیت زیست‌فراهمی عناصر غذایی از جمله آهن به‌وسیله گیاه می‌شود (۱۷)، غنی‌سازی کود دامی عامل مهمی در جهت افزایش قابلیت زیست‌فراهمی عناصر غذایی به‌شمار می‌رود. مللی و شریعتمداری (۲۰۰۸) در پژوهشی کاربرد سرباره آهن و لجن کنورتور ذوب‌آهن اصفهان را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که غنی‌سازی کود دامی باعث افزایش آهن قابل استخراج با DTPA و به‌عبارت دیگر جذب بیش‌تر آن توسط گیاه ذرت شده است، هر چند که در این پژوهش کاشت گیاه در یک خاک غیرآلوده مورد بررسی قرار گرفته است (۲۲).

اثر ساده کاربرد ۱۵ و ۳۰ تن کود گاوی به‌ترتیب باعث افزایش گنجایش تبادل کاتیونی خاک از ۱۲ در خاک بدون کاربرد کود گاوی به ۱۳/۸ و ۱۵/۷ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم خاک شد (شکل ۱- ب). مواد آلی نقش به‌سزایی در تأمین مواد آلی، اثر بر افزایش غلظت عناصر ریزمغذی، افزایش گنجایش تبادل کاتیونی و اصلاح ساختمان خاک دارد (۹). استفاده از پسماندهای آلی، علاوه بر تعدیل زیان‌های ناشی از کمبود ماده آلی خاک، سبب کاهش مصرف کودهای شیمیایی می‌گردد. قابل ذکر است که اثر ساده کاربرد ۱۵ و ۳۰ تن در هکتارکود گاوی به‌ترتیب باعث ۰/٤ و ۰/۸ درصدی در افزایش کربن آلی خاک شد.

www.SID.ir

Archive of SID

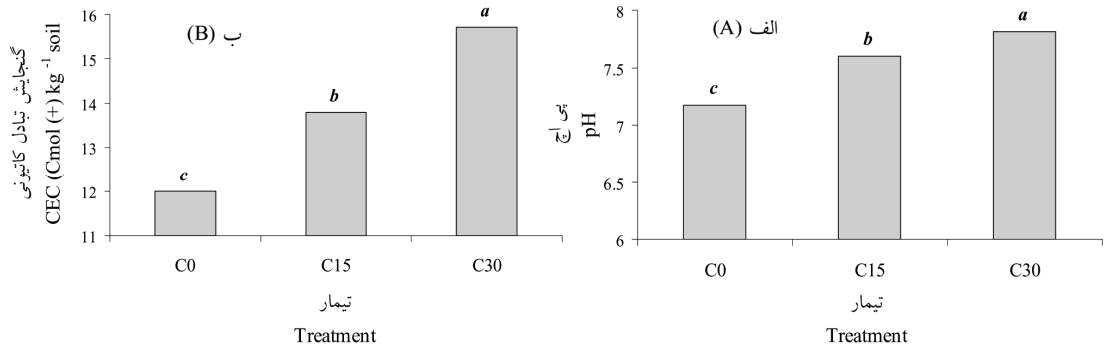
جدول ٤- تجزیه واریانس اثر کود گاوی، لجن کنورتور و سرب بر ویژگی‌های شیمیایی خاک و غلظت آهن در خاک و گیاه.

Table 4. Analysis of variance effect of cow manure, converter sludge and Pb on soil chemical properties and soil and plant Fe concentration.

منابع تغییر Sources of variations	درجه آزادی df	میانگین مربعات mean of squares					
		پ‌هاش pH	کربن آلی OC	گنجایش تبادل کاتیونی CEC	آهن قابل عصاره‌گیری با DTPA DTPA extractable Fe	غلظت آهن ریشه گیاه Root Fe concentration	غلظت آهن شاخساره گیاه Shoot Fe concentration
بلوک Block	2	0.0056^{ns}	0.0037^{ns}	0.0033*	0.53ns	0.0018*	30.78**
کود گاوی Cow manure	2	2.5230**	3.6633**	82.0114**	88263.011**	44433.51**	746574.8**
لجن کنورتور Converter sludge	1	0.0084^{ns}	0.0064^{ns}	0.0183^{ns}	3375.188**	38822.91**	5035551.125**
سرب Pb	3	0.0025^{ns}	0.0013^{ns}	0.0014^{ns}	1703.62**	5124.004**	108688.83**
کود گاوی × لجن کنورتور Cow manure× Converter sludge	2	0.0071^{ns}	0.0074^{ns}	0.0122^{ns}	15.97**	9713.49*	113245.48**
سرب×کودگاوی Cow manure× Pb	6	0.0082^{ns}	0.0040^{ns}	0.0028^{ns}	64.920**	631.51**	1292.17**
سرب × لجن کنورتور Converter sludge× Pb	3	0.0036^{ns}	0.0029^{ns}	0.0051^{ns}	319.39**	898.32**	21192.47*
سرب×لجن کنورتور×کود گاوی Pb× converter sludge × cow manure	6	0.0109^{ns}	0.0014^{ns}	0.0026^{ns}	7.931**	400.43**	2146.97**
خطا Error	46	0.1199	0.0390	0.0423	0.33	0.17	7.1

^{ns}، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

^{ns}, *, ** Non-significant, significant at 5 and 1 percent probability level, respectively.



شکل ۱- اثر ساده کاربرد کود گاوی بر پ‌هاش (الف) و گنجایش تبادل کاتیونی خاک (ب) خاک، C_0، C_{15} و C_{30} به‌ترتیب شامل کاربرد مقادیر ۰، ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کود گاوی می‌باشد.

Figure 1. Simple effect of applying cow manure on soil pH (A) and CEC (B), C_0, C_{15} and C_{30} are applying 0, 15 and 30 t ha^{-1} cow manure.

www.SID.ir

Archive of SID

اثر برهمکنش تیمارهای آزمایش بر مقدار آهن قابل عصاره‌گیری با DTPA: جدول ٤ بیانگر معنی‌دار بودن اثر برهمکنش کاربرد کود گاوی، لجن کنورتور و نیترات سرب بر مقدار آهن قابل عصاره‌گیری با DTPA می‌باشد. بیش‌ترین میزان آهن قابل عصاره‌گیری با DTPA در تیمار ۳۰ تن در هکتار کود گاوی غنی‌شده با لجن کنورتور در خاک غیرآلوده به سرب ($C_{30}S_5Pb_0$) و کم‌ترین آن در خاک بدون کاربرد کود گاوی و آلوده به ٤۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک ($C_0S_0Pb_{400}$) مشاهده شد (جدول ۵).

جدول ۵- اثر کاربرد کود گاوی، لجن کنورتور و سرب بر مقدار آهن قابل عصاره‌گیری با DTPA.

Table 5. Effect of cow manure, converter sludge and Pb on DTPA-extractable Fe (mg kg^{-1}).

S_5Pb_{400}	S_5Pb_{300}	S_5Pb_{200}	S_5Pb_0	S_0Pb_{400}	S_0Pb_{300}	S_0Pb_{200}	S_0Pb_0	تیمار Treatment
58.1^{i}	70.0^{h}	78.4^{f}	85.1^{e}	0.2^{s}	0.6^{s}	1.7^{r}	5.0^{q*}	C_o
69.4^{h}	76.1^{g}	88.8^{d}	98.2^{c}	8.2^{p}	13.1^{o}	17.3^{m}	21.2^{l}	C_{15}
76.6^{g}	88.5^{d}	105.6^{b}	115.6^{a}	16.1^{n}	21.2^{l}	28.2^{k}	37.2^{j}	C_{30}

C_0، C_{15} و C_{30} به‌ترتیب شامل کاربرد مقادیر ۰، ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کود گاوی، Pb_0، Pb_{200}، Pb_{300} و Pb_{400} به‌ترتیب شامل کاربرد مقادیر ۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ٤۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک، S_0 و S_5 کاربرد مقادیر ۰ و ۵ درصد وزنی آهن خالص از ترکیب لجن کنورتور می‌باشد.
* اعدادی که در هر ستون یا ردیف دارای حروف مشابه آماری می‌باشند از نظر آماری اختلاف معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد ندارند.

C_0, C_{15} and C_{30} are applying 0, 15 and 30 t ha^{-1} cow manure, Pb_0, Pb_{200}, Pb_{300} and Pb_{400} are applying 0, 200, 300 and 400 mg Pb kg^{-1} soil, S_0 and S_5 are applying 0 and 5% pure Fe from converter sludge.
* Means followed by the same letter in each column or row are not significantly different (P=0.05, LSD).

آلودگی خاک به فلز سرب توانسته است نقش مؤثری در کاهش قابلیت زیست‌فراهمی آهن در خاک داشته باشد، به‌نحوی‌که کاربرد ۱۵و ۳۰ تن درهکتار کود گاوی غنی‌شده با ۵ درصد وزنی آهن خالص از ترکیب لجن کنورتور فولادسازی در خاک آلوده به ٤۰۰ میلی‌گرم سرب درکیلوگرم خاک نسبت به تیمار مشابه آن در خاک آلوده به ۲۰۰ میلی‌گرم درکیلوگرم خاک سرب به‌ترتیب باعث کاهش ۲۱ و ۲۷ درصدی در مقدار آهن قابل عصاره‌گیری به‌وسیله DTPA شده است، این در حالی است که کاربرد ۱۵ تن در هکتار کود گاوی غنی‌نشده با لجن کنورتور در خاک آلوده به ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سرب ($C_{15}S_0Pb_{300}$) کاهش ۱/٦ برابری در مقدار آهن قابل عصاره‌گیری به‌وسیله DTPA را نسبت به تیمار مشابه در خاک غیرآلوده به سرب ($C_{15}S_0Pb_0$) نشان داد که این امر احتمالاً نشان‌دهنده اثر آنتاگونیستی بین سرب و آهن قابل جذب می‌باشد (۲۸) و می‌تواند قابلیت زیست‌فراهمی آهن جهت گیاه را تحت‌تأثیر قرار دهد. شارما و همکاران (۲۰۰۳) در پژوهشی گزارش کردند که کاربرد کود آهن موجب کاهش پیوند سرب با عوامل کلاته‌کننده (عوامل کلاته‌کننده که در انتقال آهن در گیاه نقش دارند در شرایط کمبود آهن با سرب پیوند برقرار می‌کنند) شده و سرب کم‌تری جذب گیاه می‌شود (۳۲).

کاربرد ۵ درصد وزنی آهن خالص از ترکیب لجن کنورتور فولادسازی در خاک بدون کاربرد کود گاوی و آلوده به ۲۰۰ میلی‌گرم سرب باعث افزایش ٤٦ برابری در مقدار آهن قابل عصاره‌گیری به‌وسیله

www.SID.ir

Archive of SID

DTPA شد که با در نظر گرفتن نقش مستقیم آهن در ساختار کلروفیل گیاه می‌تواند نقش مؤثری در رشد گیاه داشته باشد. تفویضی و متشرع‌زاده (۲۰۱٤) در پژوهشی گزارش کردند که کاربرد آهن از جذب سرب توسط گیاه جلوگیری و موجب کاهش اثرات آن در گیاه می‌شود (۳۷).

کاربرد ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کود گاوی غنی‌شده با ۵ درصد وزنی آهن خالص از ترکیب لجن کنورتور فولادسازی در خاک آلوده به باعث ۲۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک نیز به‌ترتیب باعث افزایش ۵/۱ و ۳/۷ برابری در مقدار آهن قابل عصاره‌گیری به‌وسیله DTPA شد، همچنین کاربرد تیمارهای مذکور در خاک آلوده به ٤۰۰ میلی‌گرم سرب نیز به‌ترتیب باعث افزایش ۸/٤ و ٤/۷ برابری در مقدار آهن قابل عصاره‌گیری به‌وسیله DTPA شد که دلیل احتمالی آن را می‌توان به نقش کاربرد کود گاوی در افزایش مقدار آهن قابل عصاره‌گیری به‌وسیله DTPA دانست. از سویی دیگر کاربرد کود گاوی، احتمالاً می‌تواند با افزایش ویژگی‌های جذبی خاک مانند افزایش گنجایش تبادل کاتیونی خاک (شکل ۱) باعث کاهش قابلیت زیست‌فراهمی فلزات سنگین و در نتیجه باعث افزایش مقدار آهن قابل عصاره‌گیری به‌وسیله DTPA شود. شریفی و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی اثر کاربرد کود گاوی و لجن فاضلاب را بر غلظت کادمیم قابل دسترس در خاک مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که بخش معدنی و آلی موجود در این ترکیبات نقش مهمی در کاهش قابلیت دسترسی کادمیم دارد (۳۱). بقائی و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی به نقش بخش معدنی و آلی کاربرد کود گاوی و لجن فاضلاب در کاهش قابلیت زیست‌فراهمی سرب در خاک اشاره داشتند (٦).

نتایج جدول ٦ بیانگر معنی‌دار بودن مدل برازش داده شده بین تیمارهای به‌کار برده شده در این پژوهش و مقدار آهن قابل عصاره‌گیری با DTPA می‌باشد. قابل ذکر است که ۹۸ درصد تغییرات مقدار آهن قابل عصاره‌گیری با DTPA را می‌توان بر اساس تیمارهای به‌کار برده شده در این پژوهش بر اساس مدل ذیل می‌توان توجیه کرد:

$$Y_z = 14.89 + 0.79\ C_i + 140.05\ S_k - 0.05\ Pb_j$$

$$R^2=0.98$$

که در آن، C_i، S_k و Pb_j به‌ترتیب شامل سطوح کود گاوی، لجن کنورتور و سرب به‌کار برده شده در این پژوهش و Y_z نشان‌دهنده مقدار آهن قابل عصاره‌گیری با DTPA می‌باشد.

جدول ٦- تجزیه رگرسیون اثر کاربرد کود گاوی، لجن کنورتور و سرب بر غلظت آهن در خاک و گیاه.

Table 6. Regression analysis of applying effect of cow manure, converter sludge and Pb on soil and plant Fe concentration.

منابع تغییر Sources of variations	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares		
		آهن قابل عصاره‌گیری با DTPA DTPA extractable Fe	غلظت آهن ریشه گیاه Root Fe concentration	غلظت آهن شاخساره گیاه Shoot Fe concentration
رگرسیون	3	33307**	2272509**	49380**
خطا	68	24.23	5166.33	430.05

** معنی‌دار بودن در سطح احتمال یک درصد.

** Means significant at one percent probability level.

www.SID.ir

Archive of SID

غلظت آهن ریشه و شاخساره ذرت: جدول ٤ بیانگر معنی‌دار بودن اثر برهمکنش کاربرد کود گاوی، لجن کنورتور و نیترات سرب بر غلظت آهن در ریشه گیاه می‌باشد. بیش‌ترین مقدار غلظت آهن ریشه ذرت در خاک تیمارشده با ۳۰ تن در هکتارکود گاوی غنی‌شده با لجن کنورتور در خاک غیرآلوده به سرب ($C_{30}S_5Pb_0$) و کم‌ترین آن در خاک بدون کاربرد کود گاوی و آلوده به ٤۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک ($C_0S_0Pb_{400}$) مشاهده شد (جدول ۷). نتایج مشابه مشاهده‌شده در مقدار آهن قابل عصاره‌گیری به‌وسیله DTPA نیز تأکیدی بر این ادعا است.

کاربرد ۱۵ و ۳۰ تن در هکتارکود گاوی غنی‌شده با ۵ درصد وزنی آهن خالص از ترکیب لجن کنورتور فولادسازی در خاک آلوده به ۳۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک به‌ترتیب باعث افزایش ۳/۹ و ۳/٦ برابری در غلظت آهن ریشه گیاه شد. همچنین کاربرد تیمارهای مذکور در خاک آلوده به ٤۰۰ میلی‌گرم سرب نیز به‌ترتیب باعث افزایش ٤/۵ و ۳/۹ برابری در غلظت آهن ریشه گیاه شد که دلیل احتمالی آن را می‌توان به نقش کاربرد کود گاوی در افزایش مقدار آهن قابل عصاره‌گیری به‌وسیله DTPA و به‌دنبال آن جذب بیش‌تر آهن توسط ریشه گیاه ذرت دانست. از سویی دیگر کاربرد کود گاوی احتمالاً توانسته است با افزایش ویژگی‌های جذبی خاک باعث کاهش قابلیت زیست‌فراهمی سرب در خاک (داده‌ها نشان داده نشده است) و در نتیجه افزایش قابلیت زیست‌فراهمی آهن در خاک و در نتیجه جذب بیش‌تر آهن توسط ریشه گیاه شود.

جدول ۷- اثر کاربرد کود گاوی، لجن کنورتور و سرب بر غلظت آهن ریشه ذرت.

Table 7. Effect of cow manure, converter sludge and Pb on corn root Fe concentration (mg kg^{-1}).

S_5Pb_{400}	S_5Pb_{300}	S_5Pb_{200}	S_5Pb_0	S_0Pb_{400}	S_0Pb_{300}	S_0Pb_{200}	S_0Pb_0	تیمار Treatment
321.1^{l}	395.5^{k}	451.0^{j}	521.0^{i}	8.1^{w}	12.0^{w}	38.5^{v}	107.2^{u*}	C_o
601.3^{h}	675.1^{g}	721.1^{f}	927.3^{c}	131.2^{t}	172.5^{s}	186.1^{r}	219.0^{p}	C_{15}
791.3^{e}	846.4^{d}	932.2^{b}	1054.8^{a}	198.0^{q}	231.2^{o}	271.2^{n}	316.1^{m}	C_{30}

C_0، C_{15} و C_{30} به‌ترتیب شامل کاربرد مقادیر ۰، ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کود گاوی، Pb_0، Pb_{200}، Pb_{300} و Pb_{400} به‌ترتیب شامل کاربرد مقادیر ۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ٤۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک، S_0 و S_5 کاربرد مقادیر ۰ و ۵ درصد وزنی آهن خالص از ترکیب لجن کنورتور می‌باشد.

* اعدادی که در هر ستون یا ردیف دارای حروف مشابه آماری می‌باشند از نظر آماری اختلاف معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد ندارند.

C_0, C_{15} and C_{30} are applying 0, 15 and 30 t ha^{-1} cow manure, Pb_0, Pb_{200}, Pb_{300} and Pb_{400} are applying 0, 200, 300 and 400 mg Pb kg^{-1} soil, S_0 and S_5 are applying 0 and 5% pure Fe from converter sludge.

* Means followed by the same letter in each column or row are not significantly different (P=0.05, LSD).

افزایش آلودگی به سرب نقش مؤثری در کاهش غلظت آهن ریشه گیاه داشته است، به‌صورتی‌که کاربرد ۱۵ و ۳۰ تن در هکتارکود گاوی غنی‌شده با ۵ درصد وزنی آهن خالص از ترکیب لجن کنورتور فولادسازی در خاک آلوده به ٤۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک نسبت به تیمار مشابه در خاک آلوده به ۲۰۰ میلی‌گرم سرب به‌ترتیب باعث کاهش معنی‌دار ۱٦ و ۱٤ درصدی در غلظت آهن ریشه گیاه ذرت شده است که دلیل احتمالی آن را می‌توان به نقش اثر آنتاگونیستی سرب و آهن در کاهش غلظت سرب

www.SID.ir

Archive of SID

ریشه گیاه دانست. نتایج مشابه مشاهده در مقدار آهن قابل عصاره‌گیری به‌وسیله DTPA نیز تأکیدی بر این ادعا است. علیدادی خلیلی‌ها و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی اثر برهمکنش آهن و سرب بر رشد و جذب آن‌ها در شاهی را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که فلزات سنگین قابلیت دسترسی و جذب آهن در آپوپلاست ریشه، جذب به درون سلول‌های ریشه، انتقال به ساقه و جذب و تحلیل در برگ‌ها را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (۳).

نتایج جدول ٦ بیانگر معنی‌دار بودن مدل برازش داده شده بین تیمارهای به‌کار برده شده در این پژوهش و مقدار آهن ریشه گیاه می‌باشد. قابل ذکر است که ۹۵ درصد تغییرات مقدار آهن ریشه گیاه را می‌توان بر اساس تیمارهای به‌کار برده شده در این پژوهش بر اساس مدل ذیل می‌توان توجیه کرد:

$$Y_z = 85.82 + 11.61\ C_i + 1057.83\ S_k - 0.45\ Pb_j$$

$$R^2=0.95$$

که در آن، C_i، S_k و Pb_j به‌ترتیب شامل سطوح کود گاوی، لجن کنورتور و سرب به‌کار برده شده در این پژوهش و Y_z نشان‌دهنده مقدار آهن ریشه گیاه می‌باشد.

بیش‌ترین مقدار آهن شاخساره گیاه هم‌زمان با کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود گاوی غنی‌شده با ۵ درصد وزنی آهن خالص از ترکیب لجن کنورتور فولادسازی در خاک غیرآلوده به فلز سنگین ($C_{30}S_5Pb_0$) مشاهده شد، این در حالی است که کم‌ترین مقدار آهن شاخساره گیاه در خاک آلوده به ۲۰۰ میلی‌گرم سرب و بدون کاربرد کود گاوی و لجن کنورتور ($C_0S_0Pb_{400}$) مشاهده شد. مقدار آهن شاخساره گیاه در تیمار بدون کاربرد کود گاوی در خاک آلوده به ۳۰۰ و ٤۰۰ میلی‌گرم سرب قابل اندازه‌گیری به‌وسیله دستگاه جذب اتمی نبود (جدول ۸).

جدول ۸- اثر کاربرد کود گاوی، لجن کنورتور و سرب بر غلظت آهن شاخساره ذرت.

Table 8. Effect of cow manure, converter sludge and Pb on corn shoot Fe concentration (mg kg^{-1}).

S_5Pb_{400}	S_5Pb_{300}	S_5Pb_{200}	S_5Pb_0	S_0Pb_{400}	S_0Pb_{300}	S_0Pb_{200}	S_0Pb_0	تیمار Treatment
6.7^{r}	11.2^{q}	19.1^{p}	33.3^{n}	ND	ND*	4.8^{s}	7.2r**	C_o
36.5^{m}	43.4^{k}	98.2^{f}	127.4^{e}	31.2^{o}	37.4^{l}	46.5^{j}	58.2i	C_{15}
128.2^{d}	136.2^{c}	148.1^{b}	166.9^{a}	37.4^{l}	46.2^{j}	59.1^{h}	70.1^{g}	C_{30}

C_0، C_{15} و C_{30} به‌ترتیب شامل کاربرد مقادیر ۰، ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کود گاوی، Pb_0، Pb_{200}، Pb_{300} و Pb_{400} به‌ترتیب شامل کاربرد مقادیر ۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ٤۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک، S_0 و S_5 کاربرد مقادیر ۰ و ۵ درصد وزنی آهن خالص از ترکیب لجن کنورتور می‌باشد.

* اعدادی که در هر ستون یا ردیف دارای حروف مشابه آماری می‌باشند از نظر آماری اختلاف معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد ندارند.

*ND: قابل اندازه‌گیری به‌وسیله دستگاه جذب اتمی نبود.

C_0, C_{15} and C_{30} are applying 0, 15 and 30 t ha^{-1} cow manure, Pb_0, Pb_{200}, Pb_{300} and Pb_{400} are applying 0, 200, 300 and 400 mg Pb kg^{-1} soil, S_0 and S_5 are applying 0 and 5% pure Fe from converter sludge.

* Means followed by the same letter in each column or row are not significantly different (P=0.05, LSD).

*ND: Not detectable by atomic absorption spectroscopy.

www.SID.ir

Archive of SID

کاربرد ۱۵ و ۳۰ تن در هکتارکود گاوی در خاک آلوده به ۲۰۰ میلی‌گرم سرب به‌ترتیب باعث افزایش ۹/۵ و ۱۲/۳ برابری در میزان آهن شاخساره گیاه شد که دلیل احتمالی آن را می‌توان به نقش کاربرد کود گاوی در افزایش مقدار آهن قابل عصاره‌گیری به‌وسیله DTPA و به دنبال آن جذب بیش‌تر آهن توسط ریشه و در نهایت شاخساره گیاه دانست.

غنی‌سازی کود گاوی نیز نقش مؤثری در افزایش غلظت آهن شاخساره گیاه داشت، به‌نحوی‌که کاربرد ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کود گاوی غنی‌شده با ۵ درصد وزنی آهن خالص از ترکیب لجن کنورتور در خاک آلوده به ٤۰۰ میلی‌گرم سرب به‌ترتیب باعث افزایش ۵/٤ و ۱۹/۱ برابری در میزان آهن شاخساره گیاه شد که دلیل احتمالی آن را می‌توان به نقش اثر رقابتی آهن و سرب در قابلیت زیست‌فراهمی آهن در خاک و به دنبال آن جذب آهن توسط ریشه و شاخساره گیاه دانست که این می‌تواند نکته مثبتی در مدیریت تغذیه عناصر غذایی گیاه در خاک‌های آلوده به‌شمار آید. از سویی دیگر کاربرد کود گاوی احتمالاً توانسته است با افزایش ویژگی‌های جذبی خاک و کاهش قابلیت زیست‌فراهمی سرب در خاک (داده‌ها نشان داده نشده است)، باعث افزایش قابلیت زیست‌فراهمی آهن در خاک و به دنبال آن جذب آهن بیش‌تر توسط ریشه و شاخساره گیاه شود.

افزایش آلودگی خاک نیز کاهش معنی‌داری را در غلظت آهن شاخساره گیاه نشان داد، به‌نحوی‌که هم‌زمان با افزایش آلودگی خاک از ۲۰۰ به ٤۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک، مقدار آهن شاخساره گیاه ذرت در خاک حاوی ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کود گاوی غنی‌شده با ۵ درصد وزنی آهن خالص از ترکیب لجن کنورتور به‌ترتیب ۲/٦ و ۱/۱ برابر کاهش یافت. نتایج مشابهی در خاک بدون کاربرد کود گاوی نیز مشاهده شد، به‌نحوی‌که با افزایش آلودگی خاک از ۲۰۰ به ٤۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک، مقدار آهن شاخساره گیاه ذرت ۲/۸ برابر کاهش یافت. رضوانی و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی نشان دادند که آلودگی خاک به سرب باعث کاهش جذب روی و آهن گیاه چمن شده است (۲۸). سینها و همکاران (۲۰۰٦) نیز در پژوهشی نشان دادند که با افزایش آلودگی سرب در خاک، میزان آهن در بخش‌های مختلف گیاه کلم به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافته است (۳۵). همچنین گوپال و ریزوی (۲۰۰۸) نشان دادند که کاشت تربچه در زمین آلوده به سرب باعث کاهش غلظت آهن اندام هوایی تربچه شده است (۱۲).

نتایج جدول ٦ بیانگر معنی‌دار بودن مدل برازش داده شده بین تیمارهای به‌کار برده شده در این پژوهش و مقدار آهن شاخساره گیاه می‌باشد. قابل ذکر است که ۸۳ درصد تغییرات مقدار آهن شاخساره گیاه را می‌توان بر اساس تیمارهای به‌کار برده شده در این پژوهش بر اساس مدل ذیل می‌توان توجیه کرد:

$$Y_z = 10.69 + 2.95\ C_i + 92.88\ S_k - 0.09\ Pb_j$$

$$R^2=0.83$$

که در آن، C_i، S_k و Pb_j به‌ترتیب شامل سطوح کود گاوی، لجن کنورتور و سرب به‌کار برده شده در این پژوهش و Y_z نشان‌دهنده مقدار آهن شاخساره گیاه می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

امروزه با توجه به تغییر شرایط آب و هوایی مناطق مرکزی کشور به‌سمت خشک و نیمه‌خشک به‌دلیل پائین بودن ماده آلی و بالا بودن آهک و پی‌اچ خاک، شکل قابل‌جذب عناصر غذایی کم‌مصرف از جمله آهن دارای کمبود بوده و مدیریت تغذیه‌ای عناصر غذایی کم‌مصرف امری ضروری به‌نظر می‌رسد. از سوی دیگر، با توجه به پیشرفت تکنولوژی

www.SID.ir

Archive of SID

و آلودگی خاک به فلزات سنگین، مدیریت تغذیه‌ای عناصر غذایی در خاک آلوده به فلزات سنگین به‌دلیل اثر احتمالی آنتاگونیستی باید با دقت بیش‌تری مورد بررسی قرار گیرد. نتایج این پژوهش بیانگر آن بود که کاربرد کود گاوی توانسته است نقش به‌سزایی در افزایش غلظت آهن ریشه و شاخساره گیاه در خاک آلوده به سرب داشته باشد که دلیل احتمالی آن را هم می‌توان به نقش کاربرد کود گاوی در افزایش قابلیت زیست‌فراهمی آن و هم به‌دلیل نقش بخش معدنی و آلی کود گاوی در کاهش قابلیت زیست‌فراهمی سرب و به دنبال آن افزایش غلظت آهن شاخساره گیاه دانست. با توجه به اثر آنتاگونیستی مشاهده شده بین آهن و سرب، غنی‌سازی کود گاوی با ۵ درصد وزنی آهن خالص از ترکیب لجن کنورتور، توانسته است نقش مؤثری را در افزایش غلظت آهن شاخساره گیاه نشان دهد. نتایج کلی این پژوهش بیانگر آن است که بهترین تیمار برای بالا بردن غلظت آهن در خاک آلوده به سرب کاربرد ۳۰ تن در هکتارکود گاوی غنی‌شده با ۵ درصد وزنی آهن خالص از ترکیب لجن کنورتور فولادسازی می‌باشد.

منابع

1.Abbaspour, A., Kalbasi, M., and Shariatmadari, H. 2004. Effect of steel converter sludge as iron fertilizer and soil amendment in some calcareous soils. J. Plant Nutr. 27: 2. 377-394.

2.Agegnehu, G., Nelson, P.N., and Bird, M.I. 2016. Crop yield ,plant nutrient uptake and soil physicochemical properties under organic soil amendments and nitrogen fertilization on Nitisols. Soil Till. Res. 160: 1-13.

3.Alidadi Khaliliha, M., Dordipour, E., and Barani Motlagh, M. 2016. Interactive effect of iron and lead on growth and their uptake in Cress (*Lepidium sativum* L.). J. Soil Manage. Sust. Prod. 5: 4. 41-59. (In Persian)

4.Allen, S.E., Grimshaw, H.M., and Rowland, A.P. 1986. Chemical analysis. P 285-344, In: P.D. Moore and S.B. Chapman (Eds.), Methods in Plant Ecology, Blackwell Scientific Publication, Oxford, London.

5.Azizi, P., and Glaser, B. 2006. Organic Iron-fertilizers from Hornbeam-leaves, Outer Rice-husks and Charcoal. J. Appl. Sci. 6: 673-677.

6.Baghaie, A., Khoshgoftarmanesh, A.H., Afyuni, M., and Schulin, R. 2011. The role of organic and inorganic fractions of cow manure and biosolids on lead sorption. Soil Sci. Plant Nutr. 57: 1. 11-18.

7.Bremner, J.M. 1996. Nitrogen-total. P 1-89, In: D.L. Sparks, Methods of Soil Analysis. Part 3, 3rd Ed. Am. Soc. Agron. Madison. WI.

8.Cohen, C.K., Fox, T.C., Garvin, D.F., and Kochian, L.V. 1998. The role of iron-deficiency stress responses in stimulating heavy-metal transport in plants. Plant Physiol. 116: 3. 1063-1072.

9.Das, A., Patel, D.P., Lal, R., Kumar, M., Ramkrushna, G.I., Layek, J., Buragohain, J., Ngachan, S.V., Ghosh, P.K., Choudhury, B.U., Mohapatra, K.P., and Shivakumar, B.G. 2016. Impact of fodder grasses and organic amendments on productivity and soil and crop quality in a subtropical region of eastern Himalayas, India. Agric. Ecosyst. Environ. 216: 274-282.

10.Fodor, F. 2006. Heavy metals competing with iron under conditions involving phytoremediation, P 129-151, In: L.L. Barton and J. Abadía (Eds.), Iron Nutrition in Plants and Rhizospheric Microorganisms, Springer, Dordrecht, The Netherlands.

11.Gee, G.W., and Bauder, J.W., 1986. Particle-size analysis. P 383-411, In: A. Klute (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods, American society of agronomy, Madison, WI.

12.Gopal, R., and Rizvi, A.H. 2008. Excess lead alters growth, metabolism and translocation of certain nutrients in radish. Chemosphere. 70: 9. 1539-1544.

www.SID.ir

Archive of SID

13. Hasegawa, H., Rahman, M.A., Saitou, K., Kobayashi, M., and Okumura, C. 2011. Influence of chelating ligands on bioavailability and mobility of iron in plant growth media and their effect on radish growth. Environ. Exp. Bot. 71: 3. 345-351.
14. He, W., Shohag, M.J.I., Wei, Y., Feng, Y., and Yang, X. 2013. Iron concentration, bioavailability and nutritional quality of polished rice affected by different forms of foliar iron fertilizer. Food Chem. 141: 4. 4122-4126.
15. Heidari Kohal, H., Samar, S.M., and Moez Ardalan, M. 2014. Soil injection of Iron Sulfate, an Inexpensive Method for Controlling Iron Deficiency of Fruit Trees. Land Manage. J. 2: 2. 151-160. (In Persian)
16. Heidari, M., Galavi, M., and Hassani, M. 2011. Effect of sulfur and iron fertilizers on yield, yield components and nutrient uptake in sesame (*Sesamum indicum* L.) under water stress. Afr. J. Biotechnol. 10: 44. 8816-8822.
17. Jokar, L., and Ronaghi, A. 2015. Effect of foliar application of different Fe levels and sources on growth and concentration of some nutrients in sorghum. J. Sci. Technol. Greenhouse Cul. 6: 22. 163-174. (In Persian)
18. Lee, P.K., Choi, B.Y., and Kang, M.J. 2015. Assessment of mobility and bio-availability of heavy metals in dry depositions of Asian dust and implications for environmental risk. Chemosphere. 119: 1411-1421.
19. Li, J., Gan, J., and Hu, Y. 2016. Characteristics of Heavy Metal Species Transformation of Pb, Cu, Zn from Municipal Sewage Sludge by Thermal Drying. Procedia Environ. Sci. 31: 961-969.
20. Mansouri, T., Golchin, A., and Fereidooni, J. 2016. The Effects of EDTA and H_2SO_4 on Phyto-extraction of Pb from contaminated Soils by Radish. J. Water Soil. 30: 1. 194-209. (In Persian)
21. Martínez-Cuenca, M.R., Forner-Giner, M.Á., Iglesias, D.J., Primo-Millo, E., and Legaz, F. 2013. Strategy I responses to Fe-deficiency of two Citrus rootstocks differing in their tolerance to iron chlorosis. Sci. Hort. 153: 56-63.
22. Melali, A.R., and Shariatmadari, H. 2008. Application of Steel Making Slag and Converter Sludge in Farm Manure Enrichment for Corn Nutrition in Greenhouse Conditions. J. Water Soil Sci. 11: 42. 505-513. (In Persian)
23. Mohammadi Torkashvand, A. 2011. Effect of steel converter slag as iron fertilizer in some calcareous soils. Acta Agric. Scand. Sect. B Soil Plant Sci. 61: 1. 14-22.
24. Motesharezadeh, B., and SavaghebI, G.R. 2011. Study of sunflower plant response to cadmium and lead toxicity by usage of PGPR in a calcareous soil. J. Water Soil. 25: 1069-1079. (In Persian)
25. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. Methods of soil analysis, 3: 961-1010.
26. Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum. P 81-197, In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), Methods of Soil Analysis ,Part 2. Chemical and Microbiological Properties, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
27. Olsen, S.R., and Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. P 403-430, In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
28. Rezvani, M., Zaefarian, F., and Gholizadeh, A. 2012. Lead and nutrients uptake by aeluropus littoralis under different levels of lead in soil. Water Soil Sci. 22: 3. 73-86.
29. Rhoades, J.D. 1982. Cation exchange capacity. P 49-157, In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin ,USA.
30. Saadat, K., and Barani Motlagh, M. 2013. Influence of Iranian natural zeolites, clinoptilolite on uptake of lead and cadmium in applied sewage sludge by Maize (*Zea mays* L.). J. Water Soil Cons. 20: 123-143. (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

31. Sharifi, M., Afyuni, M., and Khoshgoftarmanesh, A.H. 2010. Effects of sewage sludge, animal manure, compost and cadmium chloride on cadmium accumulation in corn and alfalfa. J. Residuals Sci. Tech. 7: 4. 219-225.
32. Sharma, A., Johri, B., Sharma, A., and Glick, B. 2003. Plant growth-promoting bacterium Pseudomonas sp. strain GRP 3 influences iron acquisition in mung bean (Vigna radiata L. Wilzeck). Soil Biol. Biochem. 35: 7. 887-894.
33. Shirani, H., Hajabbasi, M.A., Afyuni, M., and Hemmat, A. 2010. Impact of Tillage Systems and Farmyard Manure on Soil Penetration Resistance under Corn Cropping. J. Water Soil Sci. 14: 51. 141-155. (In Persian)
34. Siedlecka, A. 1995. Some aspects of interactions between heavy metals and plant mineral nutrients. Acta Soc. Bot. Pol. 64: 3. 265-272.
35. Sinha, P., Dube, B., Srivastava, P., and Chatterjee, C. 2006. Alteration in uptake and translocation of essential nutrients in cabbage by excess lead. Chemosphere. 65: 4. 651-656.
36. Solgi, E., Esmaili-Sari, A., Riyahi-Bakhtiari, A., and Hadipour, M. 2012. Soil contamination of metals in the three industrial estates, Arak, Iran. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 88: 4. 634-638.
37. Tafvizi, M., and Motesharezadeh, B. 2014. Effects of Lead on Iron, Manganese and Zinc Concentrations in Different Varieties of Maize (Zea mays). Commun. Soil Sci. Plant Anal. 45: 14. 1853-1865.
38. Wang, X., and Cai, Q.S. 2006. Steel Slag as an Iron Fertilizer for Corn Growth and Soil Improvement in a Pot Experiment1. Pedosphere. 16: 4. 519-524.
39. Westerman, R.L. 1990. Soil testing and plant analysis. SSSA, No. 3, Madison,Wisconsin, USA.
40. Zhong, S., Shi, J., and Xu, J. 2010. Influence of iron plaque on accumulation of lead by yellow flag (*Iris pseudacorus* L.) grown in artificial Pb-contaminated soil. J. Soils Sed. 10: 5. 964-970.

www.SID.ir

Archive of SID

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 24(1), 2017
http://jwsc.gau.ac.ir

Effect of enriched cow manure with converter sludge on Fe bio-availability in a lead polluted soil

N. Tabarteh Farahani[1], *A.H. Baghaie[2] and A. Polous[2]
[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran,
[2]Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran
Received: 08/13/2016; Accepted: 04/08/2017

Abstract

Background and Objectives: Nowadays, different materials such as applying Fe chelates, soil acidifying materials and industrial wastes are used to correct soil Fe deficiency. Slag and convertor sludge of steel factories are useful as a reclamation material for Fe nutrition among the industrials wastes for this purpose. These materials contain considerable amount of Fe produced in large quantities every year. Application of slag and convertor sludge to soil may affect bioavailability and chemical forms of Fe in soil. On the other hand, environmental pollution caused by heavy metals such as lead (Pb) is a serious and growing problem and can affect nutrient management such as Fe. Considering interaction of Fe and Pb, this research was performed to investigate the effect of converter sludge enriched cow manure on the changes in Fe bio-availability in a Pb polluted soil.

Materials and Methods: A factorial experiment with a randomized complete block design with 3 factors in three replications was conducted in greenhouse conditions. Treatments were consisting of applying enriched cow manure (0, 15 and 30 t ha^{-1}) with 0 and 5% pure Fe from converter sludge. In addition, the soil was polluted with Pb from $Pb(NO_3)_2$ source at the rates of 0, 200, 300 and 400 mg Pb kg^{-1} soil and incubated for one month. Then, the enriched cow manure was added to the Pb polluted soil and corn (*Zea mays* L. single grass 704) seeds were sown. After 60 days from the experiment, soil physio-chemical properties and soil and plant Fe concentration were measured.

Results: Increasing the loading rate of cow manure from 0 to 15 and 30 t ha^{-1} in a Pb polluted soil (300 mg Pb $soil^{-1}$) caused an increasing in DTPA extractable-Fe by 21 and 35 times, respectively. Similar to this result, root and shoot Fe concentration was also increased, as, applying 30 t ha^{-1} cow manure in a polluted soil (200 mg Pb $soil^{-1}$) caused an increasing in root and shoot Fe concentration by 7 and 12.3 times, respectively. Enriched cow manure with converter sludge had also a positive effect on root and shoot Fe concentration, as, applying 30 t ha^{-1} enriched cow manure in a Pb polluted soil (200 mg Pb $soil^{-1}$) caused an increasing in root and shoot Fe concentration by 2 and 7.7 times, respectively.

Conclusion: The greatest DTPA extractable Fe and root and shoot Fe concentration was belong to the non-polluted soil treated with 30 t ha^{-1} cow manure enriched with 5% Fe pure from converter sludge. Considering the interaction effect of Fe and Pb, increasing the soil Pb pollution caused the significant decreasing in soil Fe availability and root and shoot Fe concentration. The result of this study showed that applying cow manure enriched with 5% Fe pure from converter sludge can probably increase soil and plant Fe bio-availability. However, the role of applying cow manure on decreasing Pb bio-availability and thereby, increasing soil Fe bio-availability (iron and lead competitive effect) cannot be ignored.

Keywords: Iron, Converter sludge, Enriched cow manure, Lead

* Corresponding Author; Email: a-baghaie@iau-arak.ac.ir

www.SID.ir