Archive of SID

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و سوم، شماره اول، ۱۳۹۵
http://jwsc.gau.ac.ir

تشدید استخراج روی از خاک توسط تربچه با استفاده از EDTA و اسید سولفوریک

[*]طاهره منصوری[۱]، احمد گلچین[۲]، جیران فریدونی[۳] و مصیب وفایی[۳]

[۱]دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان، [۲]استاد گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان،
[۳]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان

تاریخ دریافت: ۹۳/۸/۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۷/۱۱

چکیده

سابقه و هدف: آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین، یک مشکل عمده زیست‌محیطی محسوب می‌شود و بر سلامت انسان، جانداران، تولیدات کشاورزی و زیست‌بوم اثرات منفی دارد. گیاه‌پالایی فناوری مبتنی بر استفاده از گیاهان، برای پالایش آلودگی از محیط زیست است که روشی مؤثر، ارزان قیمت و سازگار با محیط زیست می‌باشد. گیاه‌پالایی شیمیایی روشی است که در آن از کلات‌کننده‌ها و اسیدهای مختلف جهت افزایش جذب فلزات توسط گیاه استفاده می‌شود. هدف این مطالعه بررسی امکان گیاه‌پالایی خاک آلوده به روی با استفاده ازگیاه تربچه (*Raphanus sativus*) رقم پاسارگاد در حضور سطوح مختلف اسیدسولفوریک و EDTA می‌باشد.

مواد و روش‌ها: به این منظور یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۷ سطح عنصر روی (۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، ۳ سطح اسید سولفوریک (۰، ۷۵۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و ۳ سطح EDTA (۰، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) در ۳ تکرار در گلخانه اجرا شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که کاربرد افزودنی‌های مختلف سبب افزایش غلظت و جذب روی در بخش هوایی و زیرزمینی تربچه شد ولی وزن خشک این قسمت‌ها را کاهش داد. مصرف ۲۰ میلی‌گرم EDTA در کیلوگرم خاک سبب ایجاد بیش‌ترین غلظت روی در بخش هوایی و زیرزمینی تربچه شد، به‌طوری‌که آن را نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۳۰۴ و ۱۸۲ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش داد. مقدار افزایش جذب روی توسط گیاه در اثر مصرف ۲۰ میلی‌گرم EDTA در کیلوگرم خاک ۲۸/۷ درصد بود. پس از این افزودنی به‌ترتیب سطوح مصرف ۱۰ میلی‌گرم EDTA در کیلوگرم خاک، ۱۵۰۰ میلی‌گرم اسید سولفوریک در کیلوگرم خاک و ۷۵۰ میلی‌گرم اسید سولفوریک در کیلوگرم خاک قرار گرفتند. غلظت روی در اندام‌های هوایی به مراتب بیش‌تر از اندام‌های زیرزمینی بود و بیش‌ترین غلظت آن در این اندام‌ها به‌ترتیب ۸۱۰ و ۴۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. با افزایش سطوح روی خاک، غلظت روی در بخش هوایی و زیرزمینی تربچه افزایش ولی وزن خشک گیاه کاهش یافت. فلز روی بر جذب فسفر، آهن و پتاسیم توسط گیاه تربچه اثر آنتاگونیستی داشت.

[*] مسئول مکاتبه: t.mansouri2010@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی نتایج نشان داد که ضریب انتقال روی در گیاه تربچه بیش‌تر از یک می‌باشد و یک گیاه بیش انباشتگر این فلز بوده و توانایی جذب غلظت‌های بالای روی را دارا می‌باشد، بنابراین می‌توان از آن برای گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به روی استفاده نمود. مقادیر استفاده از اصلاح‌کننده‌ها اثر زیادی بر کارکرد آن‌ها دارد و مصرف زیاده از حد آن‌ها اثرات منفی بر گیاه‌پالایی دارد. بنابراین استفاده از اصلاح‌کننده EDTA در مقدار ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک برای گیاه‌پالایی شیمیایی روی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اسید سولفوریک، تربچه، روی، گیاه‌پالایی، EDTA

مقدمه

امروزه در نتیجه فعالیت‌های انسان در طی فرآیندهایی نظیر حفاری و استخراج معادن، ذوب فلزات، صنایع خودرو و الکتریکی، تولید انرژی، سوخت و کشاورزی، مشکلات زیست‌محیطی بسیار زیادی بروز نموده است (۳۲). آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین، یک مشکل عمده زیست‌محیطی محسوب می‌شود و بر سلامت انسان، جانداران، تولیدات کشاورزی و زیست‌بوم اثر منفی دارد (۱۴). روی یکی از عناصر ضروری برای جانداران محسوب می‌شود و بسیاری از آنزیم‌ها توسط این عنصر فعال می‌شوند. میزان جذب مجاز روزانه روی برای مردان ۱۵ میلی‌گرم، برای زنان ۱۲ میلی‌گرم، برای کودکان ۱۰ میلی‌گرم و برای نوزادان ۵ میلی‌گرم توصیه شده است ولی جذب مقادیر زیاد روی باعث ایجاد مسمومیت حاد می‌شود (۳۳). وجود غلظت بیش از حد روی قابل‌جذب در خاک می‌تواند از جذب سایر عناصر مثل آهن، مس و منگنز توسط گیاه جلوگیری نموده و باعث مرگ یا کاهش رشد گیاه، بر اثر کمبود عناصر فوق‌الذکر یا مسمومیت گیاه با روی گردد (۳۳). برای اصلاح خاک‌های آلوده به فلزات سنگین می‌توان از روش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی که دارای هزینه بالا هستند (۳۱) و روش‌های مختلف گیاه‌پالایی که مبتنی بر استفاده از گیاهان جهت حذف آلاینده‌ها می‌باشد استفاده نمود. گیاه‌پالایی روشی ساده، کم‌هزینه و سازگار با محیط زیست است که ترمیم خاک بدون حفاری محل آلوده انجام می‌شود (۱۸). گیاه‌پالایی به روش‌های مختلفی انجام می‌شود که در هر کدام از مکانیسم‌های متفاوتی برای پالایش مناطق آلوده استفاده می‌شود. از انواع روش‌های گیاه‌پالایی می‌توان به تبخیر گیاهی، تثبیت گیاهی، فیلتراسیون گیاهی و استخراج گیاهی اشاره نمود که استخراج گیاهی رایج‌تر از سایر روش‌ها است (۱). به‌طورکلی جذب و انتقال آلاینده‌ها از خاک‌های آلوده به گیاه و سپس برداشت گیاه و خارج کردن اندام‌های آلوده استخراج گیاهی مشهور است. بیش‌اندوزها گیاهانی هستند که می‌توانند فلزات سنگین را تا حد غیرطبیعی در بافت‌های خود تجمع دهند (۲۳). گیاهانی که برای گیاه‌پالایی انتخاب می‌شوند، باید زیست‌توده کافی تولید کنند و همچنین توانایی جذب مقدار زیادی از فلزات سنگین را نیز دارا باشند. برای این‌که گیاه‌پالایی مؤثر باشد چندین شرط می‌بایست فراهم باشد. قابلیت جذب فلزات سنگین توسط ریشه، اولین عامل مهم برای جذب فلزات است. شکل‌های مختلف فلزات سنگین در خاک دارای حلالیت متفاوت و در نتیجه دارای قابلیت جذب متفاوتی توسط گیاهان هستند (۳۴). حلالیت فلزات مربوط به خصوصیات خاک و به‌خصوص واکنش خاک (۱۱) و کمپلکس شدن با لیگاندهای محلول است (۲۱). بنابراین به‌کارگیری مواد اصلاحی آلی و معدنی سبب تغییر در حلالیت فلزات سنگین، میزان جذب و تجمع آن‌ها در گیاه می‌گردد. گیاه‌پالایی شیمیایی روشی

www.SID.ir

Archive of SID

است که در آن از کلات‌کننده‌ها و اسیدهای مختلف جهت افزایش جذب فلزات توسط گیاه استفاده می‌شود. از جمله این مواد می‌توان اسید سیتریک، گوگرد، NTA (nitrilo tri acetic acid)، EDTA (ethylene diamine tetraacetic acid)، HEDTA (hydroxyl ethylene diamine tri acetic acid)، DTPA (Diethylene triamine pentaacetic acid) را نام برد (۱۳). فتاحی و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی تأثیر اسید سولفوریک و EDTA بر گیاه‌پالایی سرب در خاک توسط سه گیاه آفتابگردان، ذرت و پنبه اظهار نمودند که افزودن EDTA به خاک توانست باعث افزایش قابلیت فراهمی فلز سرب در خاک شود، حال آن‌که اسید سولفوریک دارای قابلیت اندکی در افزایش مقدار فراهم عنصر و در نهایت مقدار جذب توسط گیاه داشت (۸). ابس و کوچیان (۱۹۹۸) در بررسی گیاه‌پالایی شیمیایی روی توسط گیاه خردل مشاهده کردند که پس از افزودن ۲/۵ گرم EDTA به یک کیلوگرم خاک آلوده به روی (۳۱۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم) غلظت روی در محلول خاک به مقدار ۴۵۰ برابر و در گیاه خردل به مقدار دو برابر افزایش یافت (۶). کول (۱۹۷۳) گزارش نمودند که در گیاه چاودار با افزودن ۱/۸ گرم NTA در کیلوگرم خاک آلوده، غلظت روی در مقایسه با گیاه شاهد دو برابر گردید (۴).

با توجه به گسترش زمین‌های آلوده به فلزات سنگین در برخی از استان‌های کشور، این پژوهش با اهداف بررسی اثر سطوح مختلف EDTA و اسید سولفوریک بر جذب روی و برخی عناصر غذایی توسط گیاه تربچه از خاک‌های آلوده صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور انجام این پژوهش، یک نمونه خاک مرکب از عمق ۲۰-۵ سانتی‌متری مزرعه دانشگاه زنجان تهیه شد. نمونه خاک به آزمایشگاه منتقل و در هوای آزاد خشک گردید. پس از عبور دادن خاک از الک دو میلی‌متر، برخی از ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی آن توسط روش‌های استاندارد تعیین شد (جدول ۱). بافت خاک به روش هیدرومتری (۳)، رطوبت ظرفیت مزرعه با استفاده ازدستگاه صفحه فشاری (۲۸) و ظرفیت تبادلی خاک به روش باور (۲۶) تعیین شدند. اندازه‌گیری درصد کربن آلی خاک به روش والکلی و بلک (۲۹)، درصد کربنات کلسیم معادل با روش کلسیمتری (۱۶)، نیتروژن کل خاک با استفاده از هضم کجلدال (۲۸)، فسفر فراهم خاک به روش اولسن (۲۲) و پتاسیم قابل‌جذب به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم (۱۲) صورت گرفت. غلظت عناصر روی، آهن و منگنز قابل استخراج توسط DTPA (۱۵) نیز با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین گردید. نمونه خاک‌های الک شده ابتدا در واحدهای ۶ کیلوگرمی توزین گردیده و سپس با سطوح مختلف روی آلوده شدند. سطوح آلودگی به کار برده شده عبارت بودند از ۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم که در متن به ترتیب با اسامی Zn_0، Zn_1، Zn_2، Zn_3، Zn_4، Zn_5، Zn_6 و Zn_7 نام‌گذاری شده‌اند. برای این منظور از محلول نمک نیترات روی $Zn(NO_3)_2.6H_2O$ استفاده شد که به نمونه‌ها اسپری گردید. استفاده از مقادیر متفاوت نمک نیترات سرب برای آلوده سازی خاک‌ها منجر به ایجاد مقادیر متفاوتی از نیترات در خاک‌ها شد که با به‌کار بردن نمک نیترات کلسیم، یکسان‌سازی در مقدار نیترات خاک‌ها صورت گرفت. خاک‌های آلوده شده به گلدان‌های ۶ کیلوگرمی منتقل و به‌مدت ۲ ماه در رطوبت ظرفیت مزرعه جهت رسیدن به تعادل نگهداری شدند و سپس تعداد ۵۰ عدد بذر تربچه (*Raphanus sativus*) رقم پاسارگاد در هر گلدان کشت شد. گلدان‌ها به‌مدت ۷۰ روز در شرایط گلخانه‌ای و تحت رطوبت ظرفیت مزرعه نگهداری

www.SID.ir

Archive of SID

شدند. میزان رطوبت گلدان‌ها از طریق توزین آن‌ها کنترل شد. بعد از رسیدن گیاه به مرحله غده‌دهی سطوح مختلف اسید سولفوریک غلیظ (صفر، ۷۵۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و EDTA (صفر، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) از طریق آب آبیاری به گلدان‌ها اضافه شدند. لازم به ذکر است که افزودنی‌های نام‌برده در متن به‌ترتیب با اسامی H_2SO_4-1، H_2SO_4-2، EDTA-1 و EDTA-2 نام‌گذاری شده‌اند. بعد از گذشت زمان مورد نظر، قسمت هوایی و ریشه تربچه برداشت و پس از شستشو با آب مقطر، به‌مدت ۷۲ ساعت در آون در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد خشک و توزین گردیدند. نمونه‌های گیاهی پس از آسیاب شدن و گذراندن مرحله هضم تر توسط اسیدنیتریک، اسیدکلریدریک وآب اکسیژنه عصاره‌گیری شدند (۳۰) و غلظت عناصر روی، فسفر، پتاسیم، آهن و منگنز در عصاره‌های به‌دست آمده اندازه‌گیری شد. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی به اجرا درآمد. تحلیل‌های آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار MSTATC و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش.

Table 1. Selected physico-chemical properties of the soil used in the experiment.

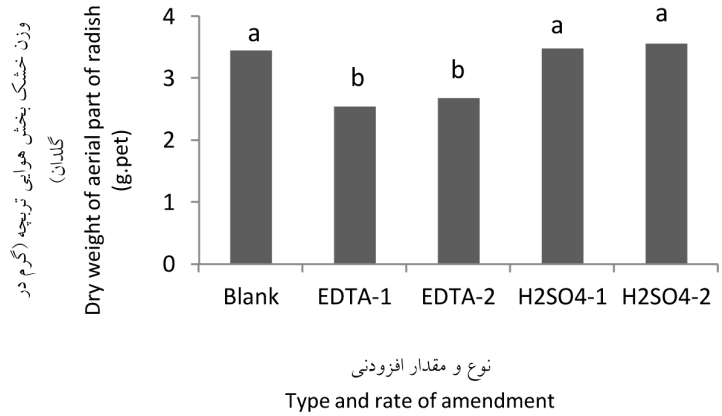
ویژگی Parameter	واحد Unit	مقدار Value
رطوبت اشباع Saturation moisture	(%)	36.65
رس Clay	(%)	32.36
شن Sand	(%)	28
سیلت Silt	(%)	39.64
pH	-	8.2
EC گل اشباع EC of saturation paste	(dS/m)	0.832
کربن آلی Organic Carbon	(%)	0.8
نیتروژن کل Total Nitrogen	(%)	0.06
کربنات کلسیم Calcium Carbonate	(%)	14
غلظت فسفر قابل‌جذب concentration of available phosphorus	(mg/kg soil)	15
غلظت پتاسیم قابل‌جذب concentration of available potassium	(mg/kg soil)	320
سرب قابل‌جذب concentration of available Pb	(mg/kg soil)	0.15

www.SID.ir

Archive of SID

اثر نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر وزن خشک بخش‌های هوایی و زیرزمینی تربچه: اثر افزودنی‌های مختلف بر وزن خشک بخش هوایی و زیرزمینی تربچه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود و بیش‌ترین وزن خشک بخش هوایی مربوط به تیمارهای شاهد، H_2SO_4-2 و H_2SO_4-1 بود که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند و تیمارهای EDTA-1 و EDTA-2 در کلاس آماری پایین‌تری قرار گرفتند (شکل ۱).

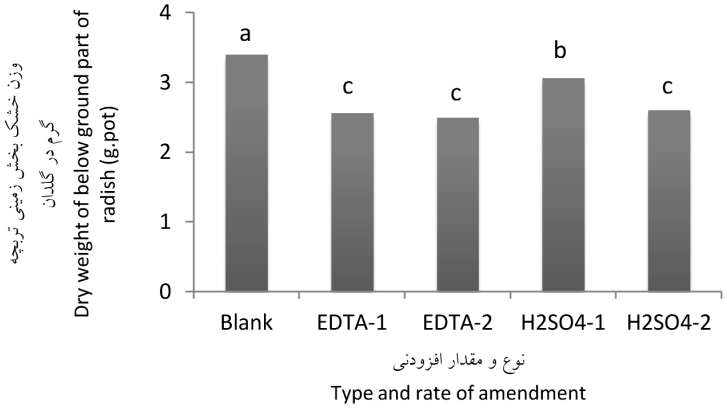
فتاحی و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی تأثیر اسید سولفوریک و EDTA بر گیاه‌پالایی سرب در خاک توسط سه گیاه آفتابگردان، ذرت و پنبه اظهار نمودند که افزودن EDTA در مقادیر ۱/۵ و ۳ میلی‌مول در کیلوگرم به نمونه‌های خاک کاهش زیست‌توده اندام هوایی گیاهان ذرت، پنبه و آفتابگردان را دربرداشت در صورتی که افزودن اسیدسولفوریک به خاک تغییر معنی‌داری در زیست‌توده گیاهان ایجاد نکرد (۵).



شکل ۱- اثر نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر وزن خشک بخش هوایی تربچه.

Figure 1. The Effects of types and rates of amendments on dry weight of aerial parts of radish.

در بخش زیرزمینی گیاه بیش‌ترین وزن به ترتیب مربوط به تیمار شاهد و H_2SO_4-1 بود و سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۲). اثر اسید سولفوریک بر بخش زیرزمینی بیش‌تر از بخش هوایی بود و در بخش هوایی تیمار اسید سولفوریک با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت ولی در بخش زیرزمینی کاربرد اسید سولفوریک منجر به کاهش وزن خشک گیاه شد.



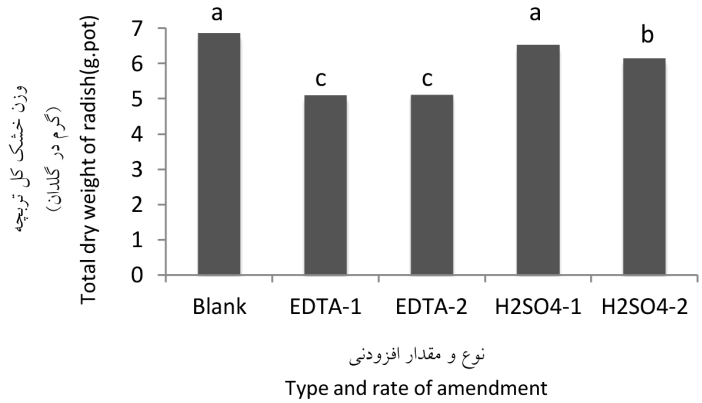
شکل ۲- اثر نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر وزن خشک بخش زمینی تربچه.

Figure 2. The Effects of types and rates of amendments on dry weight of below ground part of radish.

www.SID.ir

Archive of SID

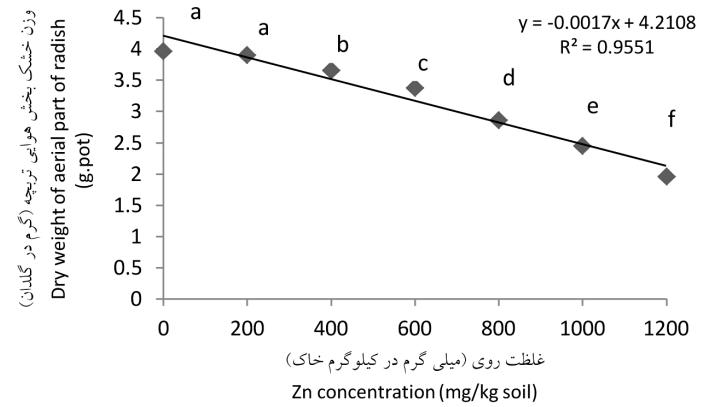
همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود کاربرد افزودنی‌های مختلف سبب کاهش وزن خشک گیاه شد که احتمالاً این امر به‌دلیل افزایش غلظت فلز سنگین روی در نتیجه کاربرد اسید سولفوریک و EDTA بوده که منجر به ایجاد مسمومیت و کاهش رشد گیاه و تولید ماده خشک کم‌تر شده است. علاوه بر این با افزایش قابلیت جذب فلز سنگین روی و رقابت آن در جذب با برخی عناصر غذایی کم‌مصرف، کمبود عناصر غذایی ضروری برای گیاه پیش آمده و ماده خشک کم‌تری تولید شده است. این نتایج با گزارش‌های بلی‌لاک و همکاران (۱۹۹۷) مطابقت دارد (۲). این پژوهشگران اظهار نمودند که با افزودن EDTA ماده خشک خردل کاهش یافت و این امر را به افزایش مقدار فلزات سنگین نسبت دادند. شن و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که مقدار ۱/۵ و ۳ میلی‌مول EDTA افزوده شده به یک کیلوگرم خاک کاهش زیست‌توده اندام هوایی برخی از گیاهان مانند لوبیا، کلم و گندم را سبب شد (۲۴).



شکل ۳- اثر نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر وزن خشک کل تربچه.

Figure 3. The Effects of types and rates of amendments on total dry weight of radish.

اثر سطوح مختلف آلودگی روی بر وزن خشک بخش‌های هوایی و زیرزمینی تربچه: اثر سطوح مختلف آلودگی روی بر وزن خشک بخش هوایی و زیرزمینی تربچه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود و در بخش هوایی و زیرزمینی، بیش‌ترین وزن خشک مربوط به تیمار شاهد و کم‌ترین وزن خشک مربوط به تیمار دارای ۱۲۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک بود (شکل‌های ۴ و ۵).

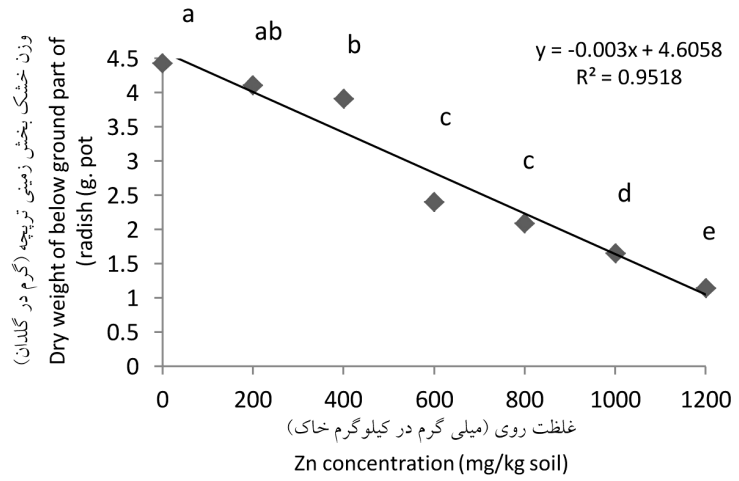


شکل ٤- اثر سطوح مختلف آلودگی روی بر وزن خشک بخش هوایی تربچه.

Figure 4. The Effects of different levels of soil Zn on dry weight of aerial parts of radish.

www.SID.ir

Archive of SID

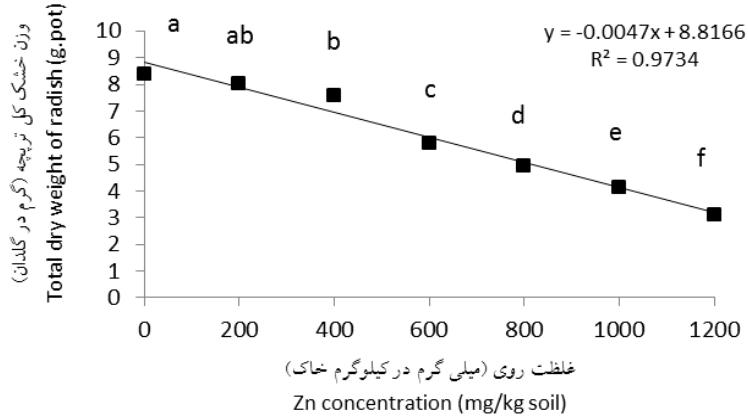


شکل ۵- اثر سطوح مختلف آلودگی روی بر وزن خشک بخش زیرزمینی تربچه.

Figure 5. The Effects of different levels of soil Zn on dry weight of aerial part of radish.

به‌طورکلی با افزایش سطوح روی خاک، وزن خشک کل گیاه کاهش یافت (شکل ۶). احتمالاً کاهش وزن خشک گیاه در اثر بالا رفتن غلظت روی در خاک به‌علت ایجاد مسمومیت روی در بخش‌های مختلف گیاه است. علاوه بر این رقابت بین عناصر ضروری به‌ویژه عناصر کم‌مصرف وروی نیز ممکن است باعث کاهش وزن خشک گیاه شده باشد.

اثر متقابل افزودنی‌های مختلف و سطوح مختلف آلودگی بر وزن خشک تربچه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بوده و بیش‌ترین وزن خشک بخش هوایی به‌ترتیب مربوط به تیمارهای شاهد * Zn_0 و شاهد * Zn_1 می‌باشد (جدول ۲). در بخش زیرزمینی نیز بیش‌ترین وزن خشک به‌ترتیب مربوط به تیمارهای Zn_0 * H_2SO_4-1، Zn_0 * H_2SO_4-2 و شاهد * Zn_0 می‌باشد. به‌عبارت دیگر اثر اسید سولفوریک در وزن خشک بخش زمینی چندان محسوس نبوده است (جدول ۳).



شکل ٦- اثر سطوح مختلف آلودگی روی بر وزن خشک کل تربچه.

Figure 6. The Effects of different levels of soil Zn on total dry weight of radish.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- اثر متقابل سطوح مختلف آلودگی خاک به روی و نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر غلظت عناصر و وزن خشک بخش هوایی گیاه تربچه.

Table 2. The interactive effects of different levels of soil Zn and types and rates of amendments on dry weights and elemental composition of aerial parts of radish.

وزن خشک Dry weight (g. pot)	غلظت پتاسیم K concentration (%)	غلظت فسفر P concentration (%)	غلظت آهن Fe concentration (mg/kg soil)	غلظت روی Zn concentration (mg/kg soil)	غلظت روی Zn concentration (mg/kg soil)	تیمار Treatment
3.463^{e-h}	2.763^{a-c}	0.4304^{e}	1017^{d-k}	45.56^{n}	0	
3.217^{h}	2.87^{ab}	0.4154^{h}	951.3^{g-l}	388.7^{jk}	200	
3.747^{d-g}	2.31^{d-j}	0.3883^{o}	819.7^{j-l}	749.7^{gh}	400	
2.54^{ij}	2.18^{d-l}	0.3764^{q}	766.4^{kl}	783^{f-h}	600	EDTA-1
2.09^{kl}	2.329^{d-k}	0.3559^{t}	859.1^{i-l}	1022^{cd}	800	
1.647^{lm}	1.729^{l-n}	0.3187^{z}	913^{h-l}	1277^{a}	1000	
1.12^{n}	1.886^{i-n}	0.2994^{z}	973.5^{e-l}	1077^{bc}	1200	
3.773^{d-g}	2.49^{b-f}	0.3742^{r}	1152^{b-h}	42.21^{n}	0	
3.897^{c-e}	2.386^{c-g}	0.3531^{u}	999.4^{e-l}	444.3^{j}	200	
3.517^{e-h}	2.294^{d-i}	0.3328^{y}	918^{h-l}	721.9^{h}	400	
2.71^{i}	2.280^{d-j}	0.3154^{z}	830.2^{i-l}	821.9^{ef}	600	EDTA-2
1.65^{lm}	1.748^{mn}	0.2811^{z}	1030^{d-k}	1261^{a}	800	
1.24^{mn}	1.698^{n}	0.2540^{z}	1206^{b-g}	1288^{a}	1000	
3.83^{c-f}	3.098^{a}	0.3990^{l}	1519^{a}	44.98^{n}	0	
3.517^{e-h}	2.763^{a-c}	0.3819^{p}	1103^{c-i}	311^{lm}	200	
3.943^{c-e}	2.571^{b-d}	0.3594^{s}	1374^{ab}	383.2^{jk}	400	
4.067^{cd}	1.848^{k-l}	0.3503^{v}	865.2^{i-l}	410.9^{jk}	600	H_2SO_4-1
3.723^{d-g}	2.527^{b-e}	0.3771^{x}	939.1^{g-l}	727.5^{h}	800	
3.17^{h}	2.439^{c-g}	0.3257^{z}	763.6^{kl}	794.1^{fg}	1000	
2.097^{kl}	2.252^{d-k}	0.3128^{z}	740.3^{l}	883^{e}	1200	
4.273^{bc}	2.455^{e-f}	0.4284^{f}	1296^{b-d}	44.43^{n}	0	
3.943^{c-e}	2.266^{d-j}	0.4103^{i}	1050^{d-j}	355.4^{kl}	200	
3.713^{d-g}	2.095^{f-n}	0.4032^{k}	1374^{a-c}	638.6^{i}	400	
3.367^{f-h}	2.138^{e-m}	0.4462^{d}	1243^{b-e}	635.9^{i}	600	H_2SO_4-2
3.28^{gh}	1.803^{n-l}	0.4223^{g}	1030^{d-k}	877.4^{e}	800	
3.203^{h}	1.735^{mn}	0.3928^{n}	1079^{d-j}	977.4^{d}	1000	
3.153^{h}	1.872^{j-n}	0.3468^{w}	941.3^{g-l}	1127^{b}	1200	
4.52^{b}	2.50^{b-f}	0.5750^{a}	1142^{b-h}	39.98^{n}	0	
4.963^{a}	2.237^{d-k}	0.5598^{b}	1079^{c-i}	261^{m}	200	
3.397^{f-h}	1.942^{h-n}	0.4714^{c}	1277^{b-f}	361^{kl}	400	
3.527^{e-h}	2.439^{c-g}	0.4069^{j}	958^{f-k}	444.3^{j}	600	Blank
3.17^{h}	2.026^{g-k}	0.4146^{h}	1012^{d-h}	721.9^{h}	800	
2.593^{ij}	1.941^{h-n}	0.3961^{m}	1071^{d-j}	838.6^{ef}	1000	
2.17^{jk}	1.708^{n}	0.36^{s}	1036^{d-k}	877.4^{e}	1200	

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- اثر متقابل سطوح مختلف آلودگی خاک به روی و نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر غلظت عناصر و وزن خشک بخش زیرزمینی گیاه تربچه.

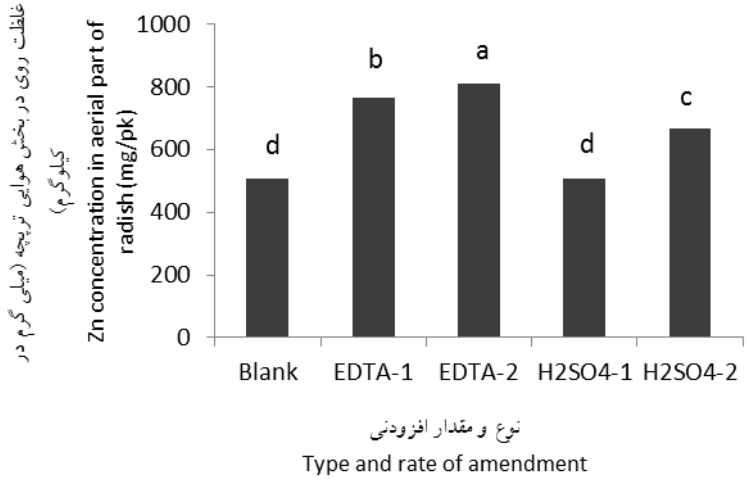
Table 3. The interactive effects of different levels of soil Zn and types and rates of amendments on dry weight and elemental composition of below ground part of radish.

وزن خشک Dry weight (g. pot)	غلظت پتاسیم K Concentration (%)	غلظت فسفر P Concentration (%)	غلظت آهن Fe concentration (mg/kg soil)	غلظت روی Zn concentration (mg/kg soil)	غلظت روی Zn concentration (mg/kg soil)	تیمار Treatment
5.923 a	2.453 l	0.5175 a	886.3 g-j	41.65 r	0	
2.577 g-i	2.542 j-l	0.3854 c	879.6 g-j	261 l-o	200	
3.573 d-f	3.020 b-i	0.3121 e	1088 b-i	383.2 hi	400	
2.433 h-j	2.959 c-l	0.2413 l	990.2 d-j	422.1 e-g	600	EDTA-1
1.753 i-n	2.809 e-l	0.2221 p	1276 a-f	483.1 d	800	
1.197 l-o	2.631 i-l	0.2064 r	1339 a-d	533.1 c	1000	
1.107 m-o	2.469 l	0.1594 x	1293 a-e	433.2 ef	1200	
4.190 b-d	2.839 e-l	0.4381 b	702.5 j	45.54 r	0	
4.973 ab	2.980 c-j	0.2962 f	952.4 e-j	283.2 j-m	200	
3.00 f-h	2.457 l	0.2811 j	731.9 ij	438.7 e	400	
1.963 i-m	2.90 d-l	0.2612 i	1276 a-f	492 d	600	EDTA-2
1.593 jn	2.899 d-l	0.2514 k	1477 a	512 cd	800	
1.04 no	2.50 kl	0.2393 m	1443 ab	572 b	1000	
0.7333 o	2.512 kl	0.2216 p	1395 a-c	633.1 a	1200	
3.593 d-f	3.10 b-i	0.2344 n	1077 c-i	37.21 r	0	
3.890 de	3.283 a-e	0.2193 q	1167 a-h	199.9 q	200	
4.077 c-e	3.237 a-e	0.1826 t	1068 c-j	249.9 m-o	400	
2.260 h-j	2.884 d-l	0.1743 v	1074 c-i	277.7 k-n	600	H_2SO_4-1
2.073 i-k	3.190 a-f	0.1599 x	1084 b-i	294.3 j-l	800	
1.637 j-n	2.674 h-l	0.1239 z	957.4 e-j	305.4 jk	1000	
0.710 o	2.690 g-l	0.1152 z	1040 c-g	361 i	1200	
4.323 b-d	2.839 e-l	0.2544 j	1001 d-j	39.98 r	0	
4.260 b-d	2.915 c-l	0.2379 m	851.3 g-j	244.3 n-p	200	
4.823 a-c	3.159 a-g	0.2008 s	909.1 F-j	277.7 k-n	400	
2.113 i-k	3.174 a-f	0.1835 t	1083 b-i	372.1 hi	600	H_2SO_4-2
2.043 i-l	3.346 a-d	0.1621 w	1083 b-i	394.3 ghi	800	
2.040 i-l	3.378 a-c	0.1570 y	966.3 e-j	405.4 e-h	1000	
1.850 i-n	3.457 ab	0.1382 z	1190 a-g	399.8 f-h	1200	
4.777 a-c	3.068 b-i	0.3220 d	808.6 h-j	41.65 r	0	
4.887 a-c	3.567 a	0.3116 e	1210 a-g	208.3 pq	200	
4.140 b-d	3.134 a-h	0.2972 f	985.7 d-j	233.2 o-q	400	
3.267 e-g	2.721 f-l	0.2642 h	851.3 g-j	233.2 o-q	600	Blank
3.010 f-h	3.190 a-f	0.2360 n	1149 a-h	294.3 j-l	800	
2.393 h-j	3.284 a-e	0.2240 o	1105 b-h	316.5 j	1000	
1.327 k-o	3.067 b-i	0.1770 u	1100 b-i	377.6 hi	1200	

www.SID.ir

Archive of SID

اثر نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر غلظت روی در اندام‌های هوایی و زیرزمینی تربچه: اثر افزودنی‌های مختلف بر غلظت روی بخش هوایی و زیرزمینی تربچه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود و مصرف ۲۰ میلی‌گرم EDTA در کیلوگرم خاک (EDTA-2) سبب ایجاد بیش‌ترین غلظت روی در بخش هوایی و زیرزمینی تربچه شد و پس از آن به‌ترتیب سطح مصرف ۱۰ میلی‌گرم EDTA در کیلوگرم خاک (EDTA-1)، ۱۵۰۰ میلی‌گرم اسید سولفوریک در کیلوگرم خاک (H_2SO_4-2) و ۷۵۰ میلی‌گرم اسید سولفوریک در کیلوگرم خاک (H_2SO_4-1) قرار گرفتند (شکل‌های ۷ و ۸). افزایش غلظت روی در اثر مصرف ۲۰ میلی‌گرم EDTA در کیلوگرم خاک در بخش هوایی و زیرزمینی تربچه نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۳۰۴ و ۱۸۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. همچنین نتایج نشان داد که غلظت روی در اندام‌های هوایی به مراتب بیش‌تر از اندام‌های زیرزمینی است. بیش‌ترین غلظت روی در این اندام‌ها به‌ترتیب ۸۱۰ و ۴۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که اثر تیمار EDTA بر غلظت فلز روی در گیاه بیش‌تر از اثر اسید سولفوریک می‌باشد. افزودنی EDTA با ایجاد کلات‌های محلول باعث افزایش حلالیت و متعاقباً جذب روی می‌شود. اسید نیز با کاهش واکنش خاک از تشکیل رسوب روی جلوگیری کرده و منجر به افزایش قابلیت جذب روی می‌شود. میرس و همکاران (۲۰۰۵) نیز گزارش نمودند که افزودنی EDTA باعث افزایش قابلیت زیستی فلزات سنگین می‌شود (۱۹) که با نتایج به‌دست آمده از این پژوهش هم‌خوانی دارد. ابس و همکاران (۱۹۹۷) نیز گزارش نمودند که پس از افزودن ۲/۵ گرم EDTA در کیلوگرم خاک آلوده به روی، غلظت روی محلول خاک ۴۵۰ برابر افزایش یافت و به ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک رسید (۷). شن و همکاران (۲۰۰۲) اظهار نمودند که افزودن مقدار ۳ میلی‌مول EDTA در کیلوگرم خاک باعث افزایش قابل‌توجهی در میزان سرب موجود در کلم در عرض ۷ تا ۱۴ روز پس از کاربرد این ماده در خاک شد، به‌طوری‌که مقدار سرب در اندام‌های هوایی و زمینی کلم را به ۴۰ و ۴۶ برابر شاهد رسانید (۲۴).

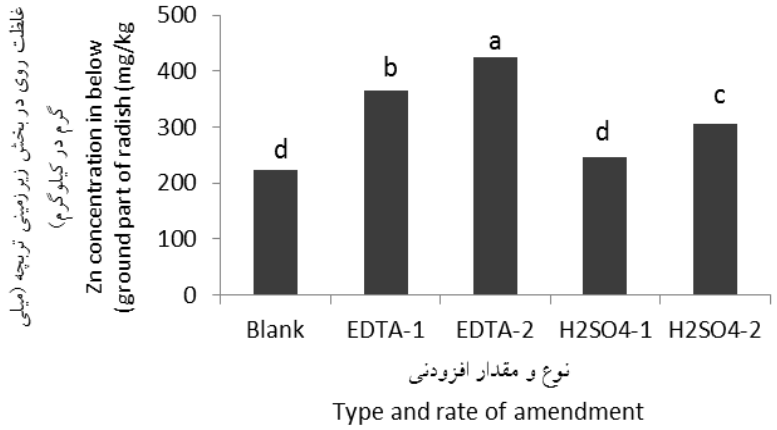


شکل ۷- اثر نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر غلظت روی در بخش هوایی تربچه.

Figure 7. The Effects of types and rates of amendments on Zn concentration in aerial parts of radish.

www.SID.ir

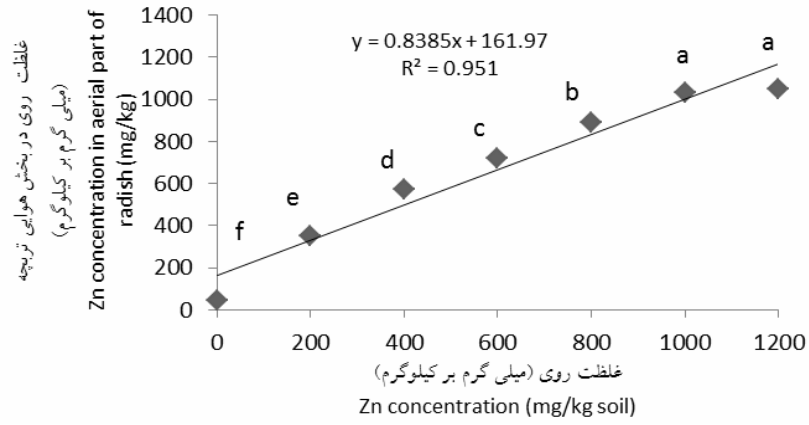
Archive of SID



شکل ۸- اثر نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر غلظت روی در بخش زیرزمینی تربچه.

Figure 8. The Effects of types and rates of amendments on Zn concentration in below ground part of radish.

اثـر سـطوح مختلـف روی بـر غلظـت روی در اندام‌های هـوایی و زیرزمینـی تربچـه: اثـر سـطوح مختلف آلودگی روی بر غلظت روی در بخش هوایی و زیرزمینی تربچه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود و غلظت روی در بخش‌های زیرزمینـی و هـوایی تربچه در تیمار Zn_5 و Zn_6 بـیش‌تـر ازسـایر تیمارهـا بود. با افزایش سطح آلودگی تا سطح ۱۰۰۰ میلی‌گـرم روی در کیلوگرم خاک غلظت روی در بخش هـوایی و زیرزمینی تربچه افزایش یافت و پس از آن افـزایش سطح آلودگی تأثیر چنـدانی بـر مقـدار روی در گیـاه نداشت (شکل‌های ۹ و ۱۰).

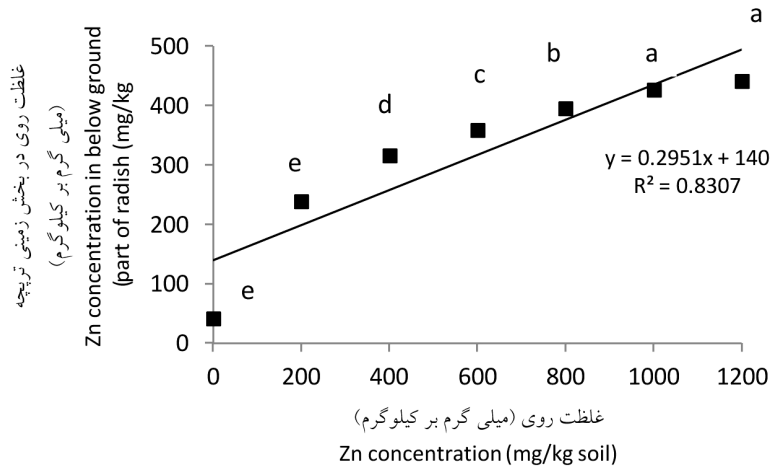


شکل ۹- اثر سطوح مختلف آلودگی روی بر غلظت روی در بخش هوایی تربچه.

Figure 9. The Effects of different levels of soil Zn on concentration of Zn in aerial parts of radish.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۰- اثر سطوح مختلف آلودگی روی بر غلظت روی در بخش زیرزمینی تربچه.

Figure 10. The Effects of different levels of soil Zn on Zn concentration in below ground part of radish.

به‌طورکلی غلظت روی در بخش هوایی بیش‌تر از بخش زیرزمینی می‌باشد و این اختلاف با افزایش سطح آلودگی بیش‌تر می‌شود. با افزایش سطوح روی خاک همه اجزا قابل جذب روی خاک از جمله روی محلول و تبادلی نیز افزایش می‌یابد و این امر منجر به افزایش جذب روی توسط گیاه می‌شود. احتمالاً در نتیجه ایجاد کمپلکس‌های محلول روی، قسمت بیش‌تر روی جذب شده از ریشه‌ها به برگ‌ها منتقل شده است.

اثر متقابل نوع افزودنی و سطوح مختلف آلودگی به روی بر غلظت روی، در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید و در هر دو بخش هوایی و زیرزمینی گیاه، بیش‌ترین غلظت روی به‌ترتیب مربوط به تیمارهای EDTA-2 * Zn_6 و EDTA-2 * Zn_5 بود (جدول‌های ۲ و ۳).

اثر نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر جذب و انتقال روی در گیاه تربچه: مقدار جذب روی در گیاه تربچه در تیمارهای حاوی مواد افزودنی مختلف به‌ترتیب زیر بود (جدول ۴):

شاهد = EDTA-2>H_2SO_4-2>EDTA-1>H_2SO_4-1.

افزودنی EDTA-2 توانست مقدار روی جذب شده توسط تربچه را ۲۸/۷ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش دهد. با این‌که افزودنی EDTA-1 نسبت به افزودنی H_2SO_4-2 توانایی بیش‌تری در افزایش غلظت روی در گیاه داشته است ولی به‌دلیل کاهش عملکرد گیاه تأثیر کم‌تری بر مقدار جذب روی داشته است. افزودنی H_2SO_4-1 نیز با آن‌که عملکرد گیاه را چندان کاهش نداده است ولی توانایی زیادی در افزایش غلظت روی در گیاه نیز نداشته است به همین دلیل تأثیر آن بر مقدار جذب روی توسط تربچه با تیمار شاهد برابر است.

ضریب انتقال (Translocation factor) عناصر فلزی به‌صورت کسری از غلظت عنصر فلزی در اندام هوایی به غلظت آن عنصر در اندام زیرزمینی بیان می‌شود. این فاکتور نشان‌دهنده توانایی گیاه در انتقال عنصر فلزی در طول بافت گیاهی است و در گیاهان بیش‌انباشت‌گر مقدار آن بیش‌تر از یک است (۱۰). جدول ۴ نشان می‌دهد که در گیاه تربچه نیز مقدار ضریب انتقال بیش‌تر از یک است و می‌تواند بیش‌انباشت‌گر روی محسوب گردد. افزودنی‌های مختلف بر خلاف مقدار جذب روی، تأثیر چندانی بر ضریب انتقال روی در گیاه نداشته‌اند.

www.SID.ir

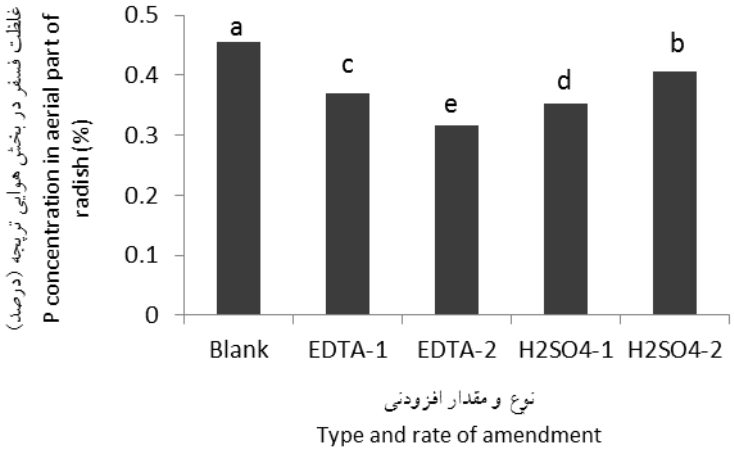
Archive of SID

جدول ٤- تأثیر نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر جذب و ضریب انتقال روی در گیاه تربچه.

Table 4. The Effects of types and rates of amendments on Zn uptake and translocation factor in radish.

ضریب انتقال Translocation factor	جذب روی (میلی‌گرم در گلدان) Zn uptake (mg. pot)	افزودنی amendment
2.1	2.87	EDTA-1
1.9	3.23	EDTA-2
2.1	2.51	H_2SO_4-1
2.2	3.16	H_2SO_4-2
2.1	2.51	Blank

اثر نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر غلظت فسفر در اندام هوایی تربچه: اثر افزودنی‌های مختلف فقط بر غلظت فسفر بخش هوایی تربچه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود و غلظت آن در بخش هوایی تیمار شاهد بیش‌تر از سایر تیمارها است. به‌عبارت دیگر افزودنی‌ها اثر منفی بر غلظت فسفر داشته‌اند. کم‌ترین غلظت فسفر مربوط به تیمار EDTA-2 می‌باشد. کاهش غلظت فسفر بر اثر مصرف افزودنی‌های مختلف احتمالاً به‌دلیل اثر متقابل منفی میان فسفر و روی می‌باشد. هر نوع افزودنی که منجر به افزایش غلظت روی در بافت‌های هوایی گیاه شده، از غلظت فسفر کاسته است. از آن‌جا که EDTA نقش بیش‌تری در افزایش غلظت روی در بخش هوایی داشته است، کاهش بیش‌تری در غلظت فسفر بر اثر مصرف آن مشاهده شده است (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- اثر نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر غلظت فسفر در اندام هوایی تربچه.

Figure 11. The Effects of types and rates of amendments on P concentration in aerial part of radish.

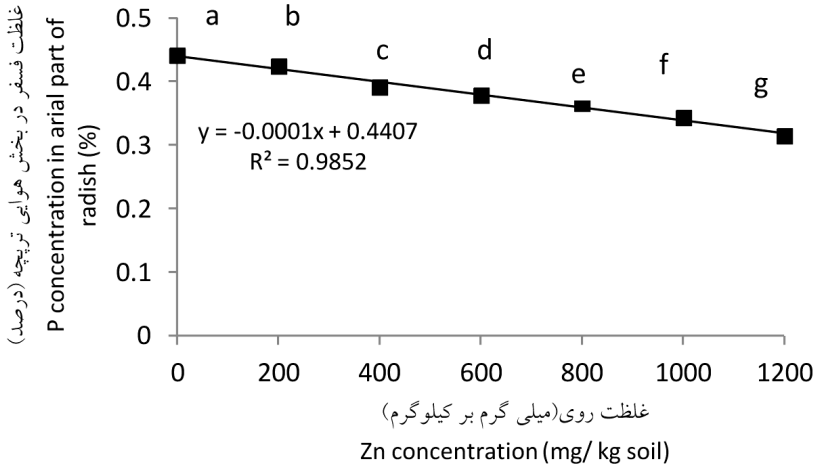
اثر سطوح مختلف روی بر غلظت فسفر در اندام‌های هوایی و زیرزمینی تربچه: اثر سطوح مختلف آلودگی روی بر غلظت فسفر در بخش هوایی و زیرزمینی تربچه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود و با افزایش سطوح روی غلظت فسفر در گیاه کاهش یافت. به‌طورکلی بیش‌ترین غلظت فسفر در بخش هوایی و زیرزمینی در سطح Zn_0 مشاهده شد و کم‌ترین غلظت مربوط به سطح Zn_6 بود. در هر دو بخش با افزایش

www.SID.ir

Archive of SID

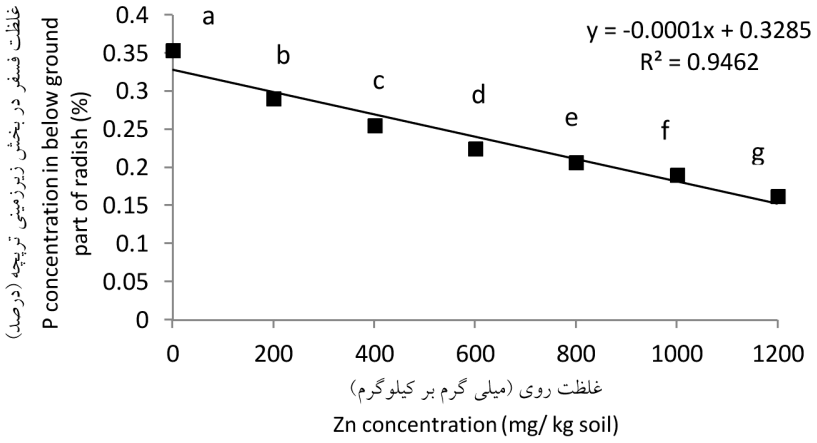
میزان آلودگی روی، کاهش منظمی در غلظت فسفر مشاهده گردید (شکل‌های ۱۲ و ۱۳). احتمالاً به‌دلیل رقابت شدید روی و فسفر، با افزایش غلظت روی خاک، غلظت فسفر در گیاه کاهش یافته است. سینگ و همکاران (۱۹۹۸) نیز کاهش در غلظت فسفر در اندام هوایی لوبیا (۲۵) و فیضی اصل و ولیزاده (۲۰۰۴) نیز کاهش در غلظت فسفر در گندم دیم را با افزایش غلظت روی در خاک گزارش نموده‌اند (۹).

اثر متقابل نوع و مقدار افزودنی‌ها و سطوح مختلف آلودگی روی بر غلظت فسفر در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بوده و بیش‌ترین غلظت فسفر در بخش هوایی مربوط به تیمارهای شاهد * Zn_0 و شاهد * Zn_1 می‌باشد (جدول ۲). در بخش زیرزمینی بیش‌ترین غلظت، مربوط به تیمار EDTA-1 * Zn_0 می‌باشد (جدول ۳).



شکل ۱۲- اثر سطوح مختلف آلودگی روی بر غلظت فسفر در بخش هوایی تربچه.

Figure 12. The Effects of different levels of soil Zn on P concentration in aerial part of radish.



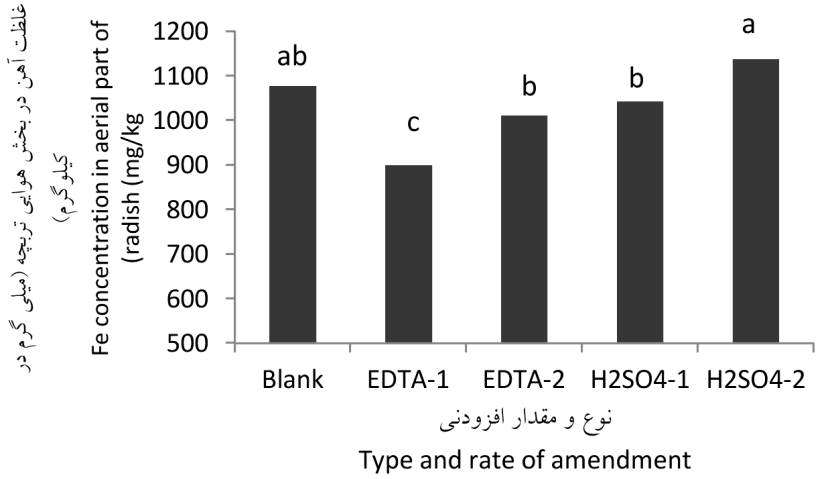
شکل ۱۳- اثر سطوح مختلف آلودگی روی بر غلظت فسفر در بخش زیرزمینی تربچه.

Figure 13. The Effects of different levels of soil Zn on P concentration in below ground part of radish.

www.SID.ir

Archive of SID

اثر نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر غلظت آهن در اندام‌های هوایی و زیرزمینی تربچه: اثر نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر غلظت آهن در بخش هوایی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بوده و تیمار H_2SO_4-2 بیش‌ترین غلظت آهن را سبب شده است و بعد از آن به‌ترتیب تیمارهای شاهد، H_2SO_4-1، EDTA-2 و EDTA-1 قرار می‌گیرند (شکل ۱۴).



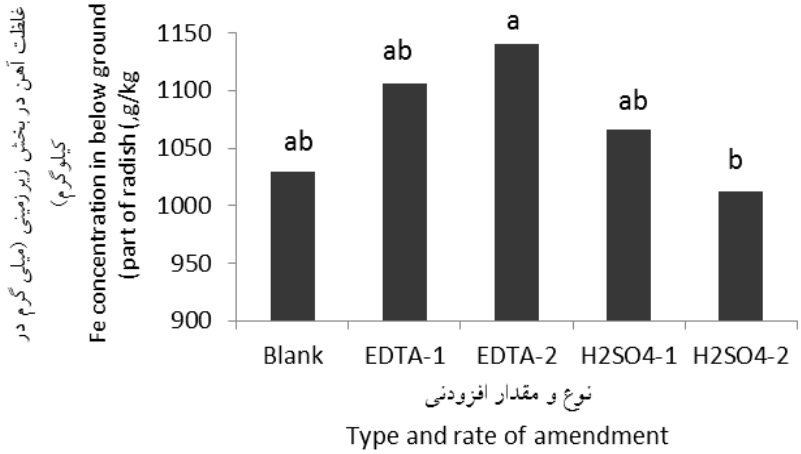
شکل ١٤- اثر نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر غلظت آهن در اندام هوایی تربچه.

Figure 14. The Effects of types and rates of amendments on Fe concentration in aerial parts of radish.

در بخش زیرزمینی تفاوت معنی‌داری بین تیمارها به غیر از H_2SO_4-2 دیده نمی‌شود به‌طوری‌که بیش‌ترین غلظت مربوط به تیمار EDTA-2 و کم‌ترین غلظت مربوط به H_2SO_4-2 می‌باشد (شکل ۱۵). احتمالاً در تیمار H_2SO_4-2 که کم‌ترین غلظت آهن را در بخش زیرزمینی دارا می‌باشد، انتقال آهن به‌صورت ترکیبات با حلالیت بالا به بخش هوایی صورت گرفته است زیرا در این تیمار بیش‌ترین غلظت آهن در برگ مشاهده شده است (شکل ۱۴). در واکنش‌های بالای خاک که ناشی از وجود کربنات کلسیم در خاک می‌باشد غلظت آهن قابل‌جذب کاهش می‌یابد (۱۷). احتمالاً کاهش واکنش خاک توسط اسید سولفوریک باعث افزایش حلالیت و قابلیت جذب آهن توسط گیاه شده است. EDTA نیز توانایی کلاته نمودن و افزایش قابلیت جذب آهن را دارد، ولی با توجه به غلظت بالای روی در خاک، مصرف EDTA جذب روی را بیش‌تر افزایش داده که منجر با ایجاد رقابت میان جذب آهن و روی شده است و بدین ترتیب غلظت آهن کاهش یافته است. مشابه این نتیجه را تاندی و همکاران (۲۰۰۵) نیز گزارش نموده‌اند (۲۷).

www.SID.ir

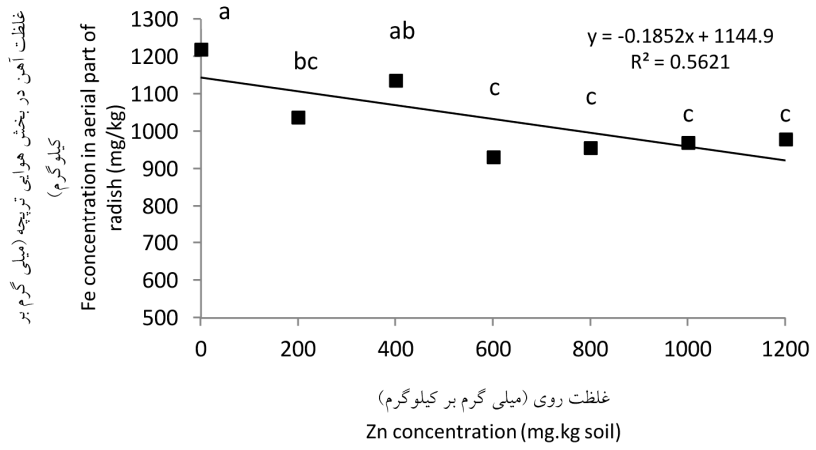
Archive of SID



شکل ۱۵- اثر نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر غلظت آهن در اندام زیرزمینی تربچه.

Figure 15. The Effects of types and rates of amendments on Fe concentration in below ground part of radish.

اثر سطوح مختلف روی بر غلظت آهن در اندام‌های هوایی و زیرزمینی تربچه: اثر سطوح مختلف آلودگی روی بر غلظت آهن در بخش هوایی و زیرزمینی تربچه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد و در بخش هوایی بیش‌ترین غلظت آهن مربوط به سطح Zn_0 است و تیمارهای Zn_2 و Zn_1 به‌ترتیب در مراحل بعدی قرار دارند (شکل ۱۶). بعد از سطح ۶۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک (Zn_3) با اضافه شدن مقدار روی خاک، تفاوت معنی‌داری در غلظت آهن مشاهده نمی‌شود.



شکل ۱۶- اثر سطوح مختلف آلودگی روی بر غلظت آهن در بخش هوایی تربچه.

Figure 16. The Effects of different levels of soil Zn on Fe concentration in aerial parts of radish.

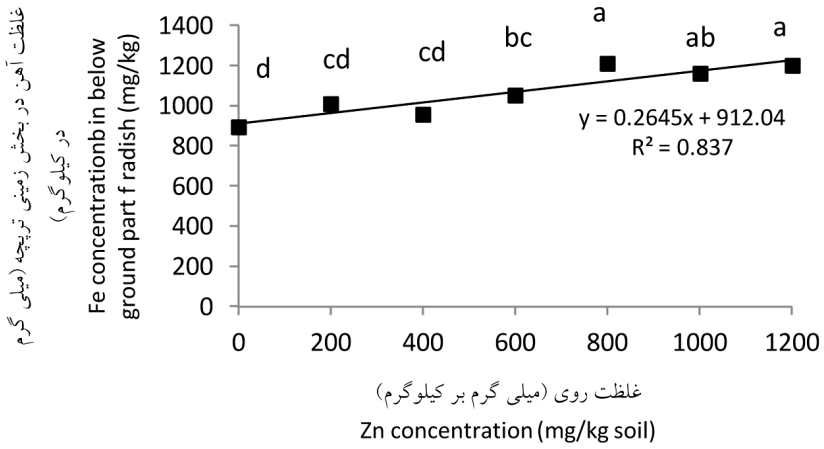
در بخش زیرزمینی بیش‌ترین غلظت آهن در تیمارهای Zn_4 و Zn_6 و کم‌ترین غلظت آهن در تیمار Zn_0 مشاهده گردید (شکل ۱۷). در بخش هوایی بر اثر رقابت بین روی و آهن، با افزایش آلودگی روی، غلظت آهن به‌طور نسبتاً منظمی کاهش یافته است. در بخش زیرزمینی برعکس بخش هوایی با افزایش

www.SID.ir

Archive of SID

آلودگی روی، غلظت آهن نیز افزایش یافته است. احتمالاً عدم انتقال آهن به برگ و تجمع آن در ریشه، باعث افزایش غلظت آن در این بافت شده است و موجبات کمبود آهن در برگ را فراهم آورده است. نئو و همکاران (۱۹۹۸) نیز گزارش کردند که عناصر کم‌مصرف مثل روی و آهن در جذب و انتقال به قسمت‌های مختلف گیاه با یکدیگر رقابت دارند، به‌طوری‌که غلظت‌های بالای روی باعث جلوگیری از جذب و انتقال آهن می‌شود (۲۰).

اثر متقابل افزودنی‌ها و سطوح مختلف آلودگی روی بر غلظت آهن در بخش هوایی و زیرزمینی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بوده و بیش‌ترین غلظت آهن در بخش هوایی به‌ترتیب مربوط به تیمارهای Zn_0 * H_2SO_4-1 و Zn_1 * H_2SO_4-1 بود (جدول ۲) و در بخش زیرزمینی به‌ترتیب تیمارهای Zn_4 * EDTA-2 و Zn_5 * EDTA-2 دارای بالاترین غلظت آهن بودند (جدول ۳).



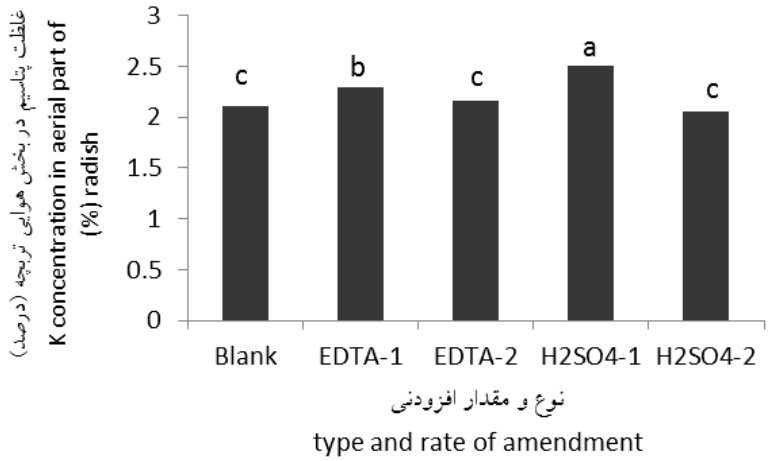
شکل ۱۷- اثر سطوح مختلف آلودگی روی بر غلظت آهن در بخش زیرزمینی تربچه.

Figure 17. The Effects of different levels of soil Zn on Fe concentration in below ground part of radish.

اثر نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر غلظت پتاسیم در اندام هوایی تربچه: اثر نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر غلظت پتاسیم در بخش هوایی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود و بیش‌ترین آن به‌ترتیب مربوط به تیمارهای H_2SO_4-1 و EDTA-1 بود ولی تیمارهای EDTA-2 و H_2SO_4-2 تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشتند (شکل ۱۸). هرناندز و همکاران (۲۰۰۷) نیز افزایش جذب فلزات از جمله پتاسیم را بر اثر استفاده از کلات EDTA در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین گزارش نموده‌اند (۱۳) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

www.SID.ir

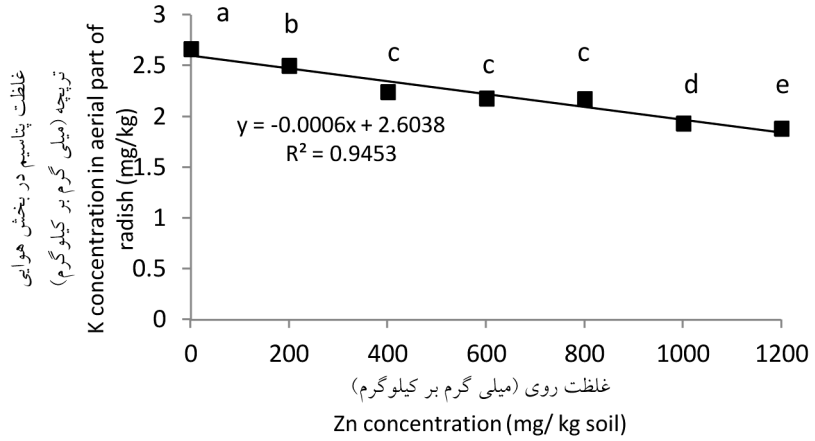
Archive of SID



شکل ۱۸- اثر نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر غلظت پتاسیم در اندام هوایی تربچه.

Figure 18. The Effects of types and rates of amendments on K concentration in aerial parts of radish.

اثر سطوح مختلف روی بر غلظت پتاسیم در انـدام هوایی تربچه: اثر سـطوح مختلـف آلـودگی روی بـر غلظت پتاسیم در بخش هوایی تربچه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود و کم‌ترین غلظت آن بـه‌ترتیـب مربوط به سطوح Zn_6 و Zn_5 بوده و بیش‌ترین غلظت آن در سطح Zn_0 می‌باشد. به‌عبارت دیگر بـا افـزایش آلودگی روی به‌طور منظم از غلظت پتاسیم کاسته شده است (شکل ۱۹). احتمالاً کـاهش غلظـت پتاسـیم در گیاه، به‌علت اثر رقابتی شدید آن با روی است.



شکل ۱۹- اثر سطوح مختلف آلودگی روی بر غلظت پتاسیم در بخش هوایی تربچه.

Figure 19. The Effects of different levels of soil Zn on K concentration in aerial parts of radish.

اثر متقابل افزودنی‌های مختلف و سطوح مختلـف آلودگی روی خاک، بر غلظت پتاسیم در بخش هوایی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است و بیش‌تـرین غلظـت آن بـه‌ترتیـب مربـوط بـه Zn_0 * H_2SO_4-1، Zn_1 * EDTA-1 و Zn_1 * H_2SO_4-1 بود (جدول ۲).

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که گیاه تربچه توانایی جذب غلظت‌های بالای روی را دارا می‌باشد، ضریب انتقال آن بیش‌تر از یک بوده و یک گیاه بیش‌انباشت‌گر روی است، بنابراین می‌توان از آن برای گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به روی استفاده نمود. سطح آلودگی ۲۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد در میزان عملکرد نداشت و برای جلوگیری از کاهش بیش از حد زیست‌توده تولیدی گیاه در آلودگی‌های ۴۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک به بالا، بهینه‌سازی شرایط کودی و تغذیه‌ای می‌تواند مؤثر باشد. با کاربرد افزودنی‌های مختلف و افزایش سطوح آلودگی روی خاک، وزن خشک بخش هوایی و زیرزمینی گیاه کاهش یافت. اصلاح‌کننده EDTA از توانایی بیش‌تری در افزایش تجمع فلز سنگین روی در بخش هوایی گیاه دارا بود. مقادیر استفاده از اصلاح‌کننده‌ها اثر زیادی بر کارکرد آن‌ها دارد و مصرف زیاده از حد آن‌ها اثرات منفی بر گیاه‌پالایی دارد. بنابراین استفاده از اصلاح‌کننده EDTA در مقدار ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک برای گیاه‌پالایی شیمیایی روی توصیه می‌شود.

منابع

1.Blaylock, M.J., and Huang, J.W. 2000. Phytoextraction of metals, P 53-70. In: I. Raskinand and B.D. Ensley (Eds.), Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean up the Environment. John Wiley & Sons Inc, New York, NY.

2.Blaylock, M.J., Salt, D.E., Dushenkov, S., Zakharova, O., Gussman, C., Kapulnik, Y., Ensley, B.D., and Raskin, I. 1997. Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soil-applied chelating agents. Environ. Sci. Technol. 31: 860-865.

3.Bouyoucos, C.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle-size analysis of soil. Agron. J. 54: 464-465.

4.Cole, M.M. 1973. Geobotanical and biogeochemical investigation in the sclerophllosis woodland and shrub associations of the eastern gold fields areas of wastern Australia, with particular refrence to the role of Hybanthus floribondos as a nickel indicator and accumulator plant. J. Appl. Ecol. 10: 269-320.

5.Chunling, L., and Zhenguo, Sh. 2006. Enhanced phytoxtraction of Pb and other form artificially contaminated soils through the combined application of EDTA and EDDS. Chemosphere. 63: 1773-1784.

6.Ebbs, S.D., and Kochian, L.D. 1998. Phytoextraction of Zinc by Oat (*Avena sativa*), Barley (*Hordeum vulgare*), and Indian Mustard (*Brassica juncea*). Environ. Sci. Technol. 32: 802-806.

7.Ebbs, S.D., Lasat, M.M., Brady, D.J., Cornish, J., Gordon, R., and Kochian, L.V. 1997. Phytoextraction of cadmium and zinc from a contaminated soil. J. Environ. Qual. 26: 1426-1430.

8.Fatahi, E., Fotovat, A., Astaraei, A.R., and Haghnia, G.H. 2010. The effects of H_2SO_4 and EDTA on phytoremediation of Pb in soil with three plant Sonflower, Zea mays and Cotton. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science. 51: 57-68. (In Persian)

9.Feisi asl, V., and Valizadeh, G.R. 2004. Effects of phosphorus and zinc fertilizer applications on nutrient concentrations in plant and grain yield in cv. Sardari «*Triticum aestivum*» under dryland conditions. Iran. J. Crop Sci. 6: 223-239. (In Persian)

10.Garbisu, C., and Alkorta, I. 2003. Basic concepts on heavy metal soil bioremediation. Eur. J. Min. Proc. Environ. Prot. 3: 1. 58-66.

11.Harter, R.D. 1983. Effect of soil pH on adsorption of lead. Cu, Zn and Ni. Soil Sci. Soc. Am. J. 47: 47-51.

www.SID.ir

Archive of SID

12.Helmke, P.H., and Spark, D.L. 1996. Potassium, P 551-574. In: D.L. Sparks and A.L. Page (Eds.), Methods of Soil Analysis. SSSA, Inc. ASA, Inc. Madison, WI.
13.Hernandez, J.A., Garbisu, C., Barrutia, O., and Becerril, M.J. 2007. EDTA-induced heavy metal accumulation and phytotoxicity in cardoon plants. Enviromental and Experimental Botany. 60: 26-32.
14.Jankite, A., and Vasarevicius, S. 2007. Use of poacea f. species to decontaminate soil from heavy metals. Ekologija. 53: 4. 84-89.
15.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.
16.Loeppert, R.H., and Suarez, D.L. 1996. Carbonate and Gypsum, P 437-474. In: D.L. Sparks et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis. SSSA, Inc. ASA, Inc. Madison, WI.
17.Malakooti, M.J., and Nafisi, M. 1994. Fertilizer application in irrigated and non irrigated land. Tehran University Press, 342p. (In Persian)
18.Marchiol, L., Fellet, G., Perosa, D., and Zerbi, G. 2007. Removal of trace metals by Sorghum bicolor and Helianthus annuus in a site polluted by industrial wastes: a field experience. Plant. Physiol. Biochem. 45: 5. 379-387.
19.Meers, E., Lesage, E., Lamsal, S., Hopgood, M.P., Vervaeke, F., Tack, M.G., and Verloo, M.G. 2005. Enhanced phytoextraction. Int. J. Phytoremediation. 7: 2. 129-142.
20.Neue, H.U., Quijano, L., Senadhira, D., and Setter, T. 1998. Strategies for dealing with micronutrient disorders and salinity in lowland rice system. J. Field Crops Res. 56: 139-155.
21.Norvell, W.A. 1991. Reactions of metal chelates in soil, P 187-227. In: J.J. Mortvedt, F.R. Cox, L.M. Shumanand and R.M. Welch (Eds.), Micronutrients in Agriculture. SSSA Book Series. No4. Soil Sci. Am. Madison. WI.
22.Olsen, S.R., and Sommers, L.E. 1982. Phosphorus, P 539-579. In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), Methods of soil analysis. Part 2. Chemical microbiological properties. American Society of Agronomy. Inc. Soil Science of America. Inc. Madison. Wisconsin. USA.
23.Shen, Z.G., Zhao, F.J., and McGrath, S.P. 1997. Uptake and transport of zinc in the hyperaccumulator Thlaspi caerulescens and the non hyperaccumulator Thlaspi ochroleucum. Plant Cell Environ. 20: 898-906.
24.Shen, Z.G., Li, X.D., Wang, C.C., Chen, H.M., and Chua, H. 2002. Lead phytoextraction from contaminated soil with high-biomass pant species. J. Enriron. Qual. 31: 1893-1900.
25.Singh, J.P., Llaramanos, R.E., and Stewart, G.W.B. 1988. The mechanism of phosphorus induced zinc deficiency in bean (*Phaseolus Vulgarisl*). Can. J. Soil. Sci. 68: 345-358.
26.Sumner, M.E., and Miller, W.P. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients, P 1201-1230. In: D.L. Sparks et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis. SSSA. Inc, ASA, Inc. Madison, WI.
27.Tandy, S., Schulin, R., and Nowack, B. 2005. Uptake of metals during chelant-assisted phytoxtraction related to the solubilized metal concentration. Environ. Sci. Technol. 38: 937-944.
28.Topp, G.C., Galynou, B.C., Ball, B.C., and Carter, M.R. 1993. Soil water adsorption curve, P 569-579. In: M.R. Carter (Eds.), Soil sampling and methods of analysis. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
29.Walkley, A., and Black, I.A. 1934. Examination of the degtjareff method determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science. 34: 29-38.
30.Westerma, R.E.L. 1990. Soil testing and plant analysis. SSSA. Madison Wisconsin, USA.
31.Wood, P.A. 1997. Remediation methods for contaminated sites, P 47-72. In: R.E. Hester and R.M. Harrisom (Eds.), Issues in environment science and technology. Contaminated land its remediation. The Royal Society of chemistry, Letchworth, U.K.

www.SID.ir

Archive of SID

32. Yan-de, J., Zhen-li, H., and Xiao, Y. 2007. Role of soil rhizobacteria in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. J. Zhejiang Univ. Sci. 8: 3. 197-207.
33. Zavid, R.L. 2007. Handbook of chemistry and physics and the American chemical. 88th edition. CRC Press. National Institute of Standards and Technology (retired), USA. 556p.
34. Zhang, M., Alva, A.K., Li, Y.C., and Calvert, D.V. 1997. Chemical association of Cu, Zn, Mn and Pb in selected sandy citrus soils. Soil Sci. 162: 181-188.

www.SID.ir

Archive of SID

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(1), 2016
http://jwsc.gau.ac.ir

Enhancing the extraction of Zn from a polluted soil by radish using EDTA and H_2SO_4

***T. Mansouri[1], A. Golchin[2], J. Fereidooni[3] and M. Vafae[3]**
[1]Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, University of Zanjan, [2]Professor, Dept. of Soil Science, University of Zanjan, [3]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, University of Zanjan
Received: 10/24/2014; Accepted: 10/03/2015

Abstract

Background and Objectives: Soil pollution by heavy metals is a major environmental problem which has negative effects on human, animal, ecosystem and agricultural productions health. Phytoremediation, a technology that involves plants, is an effective, cheap and environmental friendly method for cleaning polluted soils. Chemical phytoextraction is a method that makes use of chelating agents and mineral acids to enhance uptake of heavy metals by plants. The aims of this study were: (a) determining the potential of the radish plant for Zn extraction from polluted soils, (b) assessing the effects of different additives (EDTA and H_2SO_4) on enhancing Zn uptake by radish plant and (c) assessing the effects of different levels of soil Zn on radish growth and Zn concentrations in above and below ground parts of this plant.

Materials and Methods: A Factorial experiment was conducted in soil science lab, using a completely randomized design and three replications. The experimental factors were types and rates of additives (10 and 20 mg EDTA /kg and 0, 750 and 1500 mg H_2SO_4/kg) and levels of soil Zn (0, 200, 400, 600, 800, 1000 and 1200 mg/kg).

Results: The results showed that the application of additives increased the concentrations and uptake of Zn in above and below ground parts of radish and decreased their dry weights. Application of 20 mg EDTA/kg soil caused the highest concentrations of Zn in the above and below ground parts of radish and increased 304 and 182 mg/kg respectively compared to the control. Application of 20 mg EDTA/kg soil increased Zn uptake by plant by 28.7 percent. 20 mg EDTA /kg soil, 10 mg EDTA /kg soil, 1500 mg H_2SO_4 /kg soil and 750 mg H_2SO_4 /kg soil were better treatments respectively. Zinc concentrations in aerial parts were higher than those of below ground parts and the highest concentration of Zn in these parts were 810 and 425 mg/kg respectively. The dry weights of above and below ground parts of radish decreased but Zn concentration of these parts increased as the Zn levels of soils increased. An antagonistic effect between p, K, Fe and Zn uptake was also observed.

Conclusion: In general the results showed that the radish was a Zn hyperaccumulator plant having translocation factor of greater than 1 and can be used for phytoremediation of Zn polluted soils. The application rate of amendments had significant effects on their performance and inappropriate application rate, had negative effects on phytoremediation. Based on the results obtained in this experiment, the application of 20 mg EDTA/kg soil is recommend for Zn phytoremediation.

Keywords: EDTA, H_2SO_4, Radish, Phytoremediation, Phytoextraction, Zn

* Corresponding Author; Email: t.mansouri2010@gmail.com

www.SID.ir