نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد پنجم، شماره چهارم، ۱۳۹٤
http://ejsms.gau.ac.ir

اثر برهم‌کنش آهن و سرب بر رشد و جذب آن‌ها در شاهی (*Lepidium sativum* L.)

محمد علیدادی خلیلی‌ها[۱]، *اسماعیل دردی‌پور[۲] و مجتبی بارانی‌مطلق[۳]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۲]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۳]استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۴/۲/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۷

چکیده

سابقه و هدف: آلودگی خاک به فلزات سنگین به‌دلیل اثرات مخرب آن در محیط زیست؛ مانند تهدید سلامتی انسان‌ها، مسمومیت گیاهان و اثرات طولانی‌مدتی که بر حاصلخیزی خاک می‌گذارند، تبدیل به یک نگرانی جهانی شده است. سرب از متداول‌ترین فلزات سنگین در مناطق آلوده است که از منابع گوناگون به زیست‌بوم، پیکره گیاه و در نهایت زنجیره غذایی راه می‌یابد. به‌عنوان یک عنصر غیرضروری برای گیاهان، سرب نه فقط فتوسنتز، فعالیت آنزیمی، وضعیت هورمونی و تنفس بلکه رشد، متابولیسم و تعادل عناصر غذایی را متوقف می‌کند. معلوم شده است که فلزات سنگین، شبیه سرب، می‌تواند جذب و انتقال تعدادی از عناصر غذایی را به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر قرار دهد. بنابراین تعادل عناصر غذایی ممکن است علامتی از سمیت فلز سنگین در گیاهان باشد. از این‌رو، برهم‌کنش بین سرب و عناصر غذایی ممکن است یک نشانه ویژه‌ای از نقش عناصر غذایی در تجمع و انتقال سرب در گیاهان فراهم نماید. آهن عنصر کم‌مصرفی است که کمبود آن اغلب در گیاهان یافت می‌شود. میان عناصر غذایی که با فلزات سنگین برهم‌کنش نشان می‌دهند، آهن غالباً از اهمیت خاصی برخوردار است. 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. کمبود آهن نیز، به نوبه خود، ممکن است جذب و تجمع فلزات سنگین را تغییر دهد. بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی برهم‌کنش آهن و سرب بر رشد گیاه شاهی (*Lepidium sativum* L.) بود.

مواد و روش‌ها: به این منظور آزمایشی گلدانی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی شامل سه سطح آهن (۰، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و سه سطح سرب (۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در سه تکرار اجرا گردید. برای تیمار سرب از نمک نیترات سرب و برای تیمار آهن از سکوسترین آهن- ۱۳۸ استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که افزایش سطح سرب در خاک موجب کاهش معنادار وزن خشک و تر گیاه، شاخص کلروفیل، غلظت و جذب آهن و شاخص انتقال سرب در شاهی شد ($P\leq ۰/۰۱$) ولی غلظت و شاخص جذب سرب افزایش معناداری یافت ($P\leq ۰/۰۱$). مصرف آهن موجب افزایش معنادار وزن خشک گیاه ($P\leq ۰/۰۱$)، شاخص کلروفیل (SPAD)، غلظت و جذب آهن ($P\leq ۰/۰۵$) و کاهش معنادار غلظت و شاخص جذب ($P\leq ۰/۰۱$) و انتقال سرب شد

* مسئول مکاتبه: e.dordipour@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

(P≤۰/۰۵). برهم‌کنش آهن و سرب نیز نشان داد که مصرف آهن وزن خشک شاخساره شاهی را در حضور سرب به‌طور معناداری افزایش (P≤۰/۰۵) ولی غلظت و شاخص جذب سرب را به‌طور معناداری کاهش داد (P≤۰/۰۵).
نتیجه‌گیری: آهن نقش مهمی در کاهش اثرات سوء سرب در گیاه شاهی داشت. بنابراین، مصرف ۴۰ میلی‌گرم آهن بر کیلوگرم خاک از منبع سکوسترین آهن- ۱۳۸ برای کاهش اثرات سوء سرب در شاهی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آهن، سرب، برهم‌کنش، انتقال، شاهی

مقدمه

آلودگی با فلزات سنگین از مهم‌ترین معضلات جهانی آلودگی خاک است که با فعالیت‌های انسانی از قبیل معدن‌کاوی، صنایع فلزی و شیمیایی، وسایل نقلیه فرسوده و غیره در ارتباط است (۲۴). سرب از جمله آلاینده‌های مهم محیط زیست است که سمیت بالایی داشته و در عین‌حال می‌تواند در گیاهان انباشته شود (۵۷). سرب عنصری غیرضروری در فرآیندهای متابولیکی بوده و حتی زمانی که به مقدار کم جذب شود می‌تواند برای ارگانیسم‌ها سمی و کشنده باشد (۲۵). سرب اثر منفی روی سرعت جوانه‌زنی، رشد جوانه‌ها، وضعیت آب در گیاه، وزن خشک ریشه و قسمت‌های هوایی، فتوسنتز، عناصر غذایی و فعالیت‌های آنزیمی دارد (۳۷). 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 (۶۱). گیاهان با افزایش پ.هاش ریزوسفر و یا از طریق آزاد کردن لیگاندهایی نظیر فسفات به فضای ریزوسفر موجب رسوب فلزات سنگین می‌شوند و از ورود این عناصر به ریشه جلوگیری می‌کنند (۴). گروه‌های کربوکسیل دیواره سلولی (از طریق پیوند با سرب و رسوب بر روی دیواره سلولی) و واکوئل‌ها (جذب و تجمع سرب) حدود ۹۶ درصد از سرب وارد شده به گیاه را سمیت‌زدایی می‌کنند (۴۸). وضعیت تغذیه‌ای آهن می‌تواند بر جذب اختصاصی و غیراختصاصی فلزات سنگین اثرگذار باشد (۱۱). آهن اولین عنصر کم‌مصرف و ضروری شناخته‌شده برای رشد گیاه است. کمبود این عنصر یکی از عوامل محدودکننده تولیدات کشاورزی در دنیاست و باعث کاهش کمیت و کیفیت محصولات باغی می‌گردد (۲). آهن جزء ساختار سیتوکروم‌ها، فردوکسین‌ها و لگ‌هموگلوبین‌هاست و در بسیاری از فعالیت‌های حیاتی گیاه از قبیل فتوسنتز، تنفس و تثبیت مولکولی نیتروژن شرکت می‌کند. همچنین آهن در ساختمان پروتئین‌های هِم[1] به‌کار رفته که این ترکیبات پیش‌نیاز ساخت کلروفیل می‌باشند (۴۳). کمبود آهن در گیاهان موجب تحریک افزایش جذب آهن و دیگر ریزمغذی‌ها و فلزات سنگین می‌شود (۱۰ و ۵۰). 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 دسترسی 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. در وضعیت کمبود آهن، جذب و تجمع فلزات سنگین در گیاه افزایش می‌یابد (۱۵). تجمع سرب در گیاهانی که

1- Heme-proteins

Archive of SID
www.SID.ir

در شرایط آهن کافی رشد کردند همچون عرعر (۵) و زنبق زرد (۶۳) از گیاهانی که دچار کمبود آهن بودند، بیش‌تر بود. ولی برخی دیگر گزارش کردند که تجمع سرب در گیاهانی هم‌چون ذرت (۵۳) و اسفناج (۶۵) با افزایش فراهمی آهن کاهش یافت. با وجود این، اثر وضعیت آهن بر جذب و انتقال سرب در گیاهان یکی از موضوعات بحث‌برانگیز است و نیازمند پژوهش و مطالعه بیش‌تر است. از این‌رو این پژوهش با هدف بررسی اثر آهن برجذب و انتقال سرب به‌ویژه برهم‌کنش آن با سرب در گیاه شاهی انجام شد.

مواد و روش‌ها

خاک مورد مطالعه از ۲۰ کیلومتری شمال‌شرق شهر گنبدکاووس (منطقه امان‌قرجه) با طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۱۵ دقیقه و ۵۷ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۹ دقیقه و ۴۳ ثانیه شمالی تهیه شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک شامل بافت و درصد ذرات خاک به روش هیدرومتری (۶)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع به کمک هدایت‌سنج و پ. هاش خاک به کمک دستگاه پ. هاش‌متر (۳۸)، کربنات کلسیم خاک از طریق تیتراسیون برگشتی با هیدروکسید سدیم (۳۸)، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به روش اشباع باور (۸)، ماده آلی خاک از طریق تیتراسیون با فرو آمونیوم سولفات (۶۰)، مقادیر آهن و سرب قابل استفاده از طریق عصاره‌گیری با DTPA (۲۸) و قرائت با دستگاه جذب اتمی (Unicam 919AA) اندازه‌گیری شدند. نتایج در جدول ۱ آمده است. کارآیی گیاه در انتقال سرب از ریشه به شاخساره از طریق دو شاخص جذب (حاصل‌ضرب ماده خشک در غلظت عنصر) و شاخص انتقال سرب (نسبت بین غلظت عنصر در اندام هوایی به غلظت عنصر در ریشه) مورد ارزیابی قرار گرفت (۱۳ و ۶۲). این آزمایش در شرایط گلدانی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی شامل سه سطح آهن (۰، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک از منبع سکوسترین آهن-۱۳۸ (Fe-EDDHA)) و سه سطح سرب (۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک از منبع نیترات سرب ($Pb(NO_3)_2$)) در سه تکرار اجرا شد. خاک به ضخامت نیم سانتی‌متر پهن و محلول حاوی غلظت‌های تعریف‌شده سرب به روی خاک افشانده شد و خاک به‌مدت ۱۲ هفته تحت دوره‌های خشک و مرطوب (حدود رطوبتی بین مکش ۰/۳ تا ۱۵ بار) قرار گرفت. قبل از کشت تیمارهای آهن از منبع سکوسترین آهن- ۱۳۸ به خاک افشانده شد. تعداد ۵۰ بذر شاهی (*Lepidium sativum* L.) درون جعبه (با ابعاد $50\times25\times15$ cm^3) حاوی پنج کیلوگرم خاک تیمار شده کشت گردید. یک هفته بعد از جوانه‌زنی، گیاهان به ۳۰ بوته کاهش یافتند و به‌مدت هشت هفته در گلخانه نگهداری شدند. به‌علت وجود نیترات در تیمار سرب در تیمارهای بدون سرب مقدار لازم کود نیترات آمونیوم محاسبه و لحاظ شد. بعد از هشت هفته اندام هوایی و ریشه گیاهان برداشت شد و نمونه‌ها به روش هضم تر با استفاده از مخلوط سه اسید (اسیدهای نیتریک، پرکلریک و سولفوریک) هضم (۲۱) و در عصاره به‌دست آمده مقادیر آهن و سرب با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین گردید. شاخص کلروفیل برگ‌ها توسط دستگاه کلروفیل‌متر (مدل Minolta SPAD-502) اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS (۴۵) انجام شد.

Archive of SID

www.SID.ir

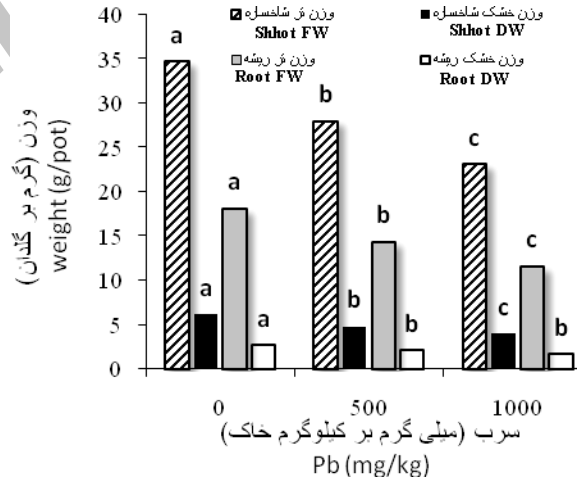
جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه امانقرجه.

Table 1. Some physical and chemical soil properties of Amankaraja area.

پ.هاش (pH)	هدایت الکتریکی (EC) (دسی‌زیمنس بر متر) (dSm^{-1})	کربن آلی (OC)	آهک Lime	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	بافت Texture	ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) (سانتی‌مول بار بر کیلوگرم) ($cmol_c kg^{-1}$)	سرب قابل‌جذب $Pb_{ava.}$ (میلی‌گرم بر کیلوگرم) ($mgkg^{-1}$)	آهن قابل‌جذب $Fe_{ava.}$ (میلی‌گرم بر کیلوگرم) ($mgkg^{-1}$)
				(%)						
7.1	1.6	2.4	17	24	59	17	لوم سیلتی SiL	15.4	1.0	1.6

نتایج و بحث

وزن خشک و تر: نتایج آزمون مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۱) نشان داد که با افزایش غلظت سرب در خاک مقادیر وزن‌تر و خشک شاخساره و ریشه شاهی کاهش معناداری ($P\leq$۰/۰۵) یافت. این امر می‌تواند به‌دلیل اثر سمی سرب بر گیاه باشد. اثر سوء سرب بر وزن خشک ساقه و ریشه در گندم و خیار (۳۷)، برنج (۵۸)، بابونه آلمانی (۲۵) و خردل هندی (۶۴) گزارش‌شده است. به‌نظر می‌رسد سرب با اثر منفی و تداخل در فعالیت‌های متابولیکی گیاه موجب کاهش رشد و کاهش زیست‌توده شده است. منون و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که فلزات سنگین بر گیاهان اثر سوء داشته و باعث کاهش حجم و وزن ریشه گیاهان می‌شود (۳۰). افزایش غلظت فلزات سنگین در گیاه موجب کاهش جذب آب توسط ریشه و یا کاهش انتقال آب به اندام‌های هوایی می‌شود (۶۴ و ۳۳). یکی از علل عمده کاهش تورژسانس سلولی در گیاهان تحت تنش با فلزات سنگین از جمله سرب، نشت ترکیبات محلول به‌ویژه پتاسیم از سلول در نتیجه آسیب‌های غشایی می‌باشد (۵۹). نتایج آزمون مقایسه میانگین‌های داده‌ها (شکل ۲) نشان داد که افزایش غلظت آهن خاک موجب افزایش معناداری ($P\leq$۰/۰۵) در وزن خشک و تر شاخساره شاهی شد.

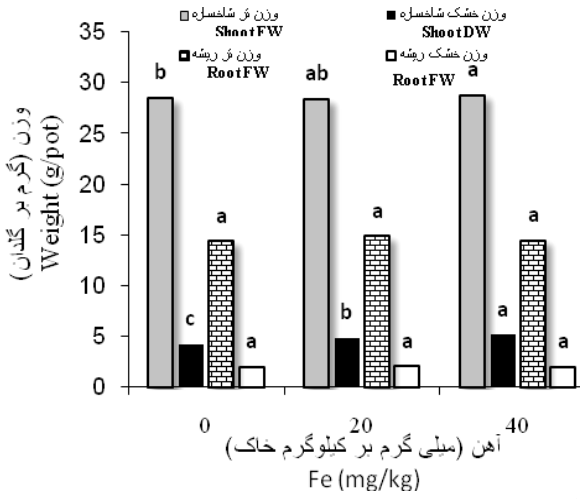


شکل ۱- تغییرات وزن خشک و تر شاخساره و ریشه شاهی تحت‌تأثیر تیمار سرب.

Figure 1. Shoot and root fresh an d dry weight changes of cress under Pb treatment.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲- تغییرات وزن خشک و تر شاخساره و ریشه شاهی تحت‌تأثیر تیمار آهن.

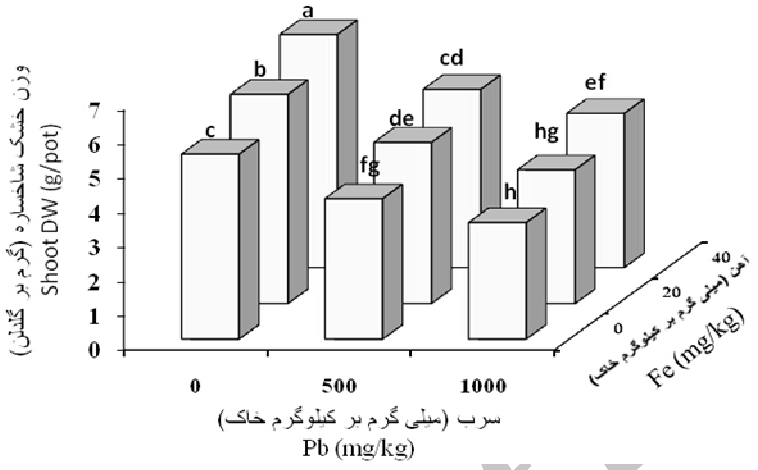
Figure 2. Shoot and root fresh and dry weight changes of cress under Fe treatment.

با توجه به نقش حیاتی آهن در گیاه به‌ویژه فتوسنتز انتظار می‌رود با افزایش فراهمی آهن، رشد گیاه افزایش یابد. قرشی و همکاران (۲۰۱۲) و عبدالوهاب (۲۰۰۸)، گزارش کردند که با افزایش فراهمی آهن رشد گیاه، عملکرد و وزن خشک افزایش می‌یابد (۱۷ و ۱). کوچکی و بنایان‌اول (۱۹۹۳) گزارش کردند که با مصرف عناصر کم‌مصرف مثل آهن فعالیت فتوسنتزی گیاه افزایش‌می‌یابد و باعث توسعه پوشش گیاهی و افزایش شاخ و برگ می‌شود (۲۷).

نتایج حاصل از آزمون مقایسه میانگین‌ها (شکل ۳) نشان داد که مصرف ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم آهن در حضور ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب از کاهش معنادار وزن خشک شاخساره شاهی (در مقایسه با تیمار شاهد) جلوگیری کرد. کاهش وزن خشک و تر در اثر افزایش غلظت سرب به‌دلیل اثر منفی سرب در متابولیسم گیاه است. سمیت سرب موجب ایجاد تنش اکسیداتیو می‌شود که موجب از بین رفتن آمینواسیدها، پروتئین‌ها، نوکلئیک اسیدها و تحریک پراکسیداسیون لیپیدها می‌گردد. سرب موجب کاهش فتوسنتز در گیاهان می‌شود و دلیل آن می‌تواند در اثر تغییر شکل کلروپلاست، جلوگیری از سنتز کلروفیل، ممانعت از انتقال الکترون، جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های چرخه کالوین و کمبود دی‌اکسید کربن به‌دلیل بسته شدن روزنه‌ها بیان شود (۴۸). زینادا و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که استفاده از کود آهن موجب افزایش رشد و وزن خشک اسفناج تحت آلودگی سرب شد (۶۵). تفویضی و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که در وضعیت آلودگی سرب، استفاده از آهن موجب افزایش وزن خشک ذرت شد (۵۴). آهن در سنتز کلروفیل و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (۴۹)، سنتز پروتئین‌ها و تقسیم سلولی (۷) و توسعه کلروپلاست (۳۲) نقش دارد. سرب با کاهش جذب آهن توسط گیاه (۴۸) و افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز (۴۴) موجب کاهش سنتز کلروفیل و تخریب آن می‌شود که در نتیجه فتوسنتز کاهش یافته و رشد گیاه کم می‌شود. افزایش فراهمی آهن از جذب سرب توسط گیاه جلوگیری می‌کند و موجب کاهش اثرات منفی آن در گیاه می‌شود (۵۳). افزایش آهن موجب کاهش پیوند سرب با عوامل کلاته‌کننده شده (عوامل کلاته‌کننده که

Archive of SID
www.SID.ir

در انتقال آهن در گیاه نقش دارند در شرایط کمبود آهن با سرب پیوند برقرار می‌کنند) و سرب کم‌تری جذب گیاه می‌شود (۵۲، ۹ و ۴۷). بیش‌ترین وزن خشک و تر شاخساره در تیمار آهن ۴۰ × سرب صفر و کم‌ترین وزن خشک و تر در تیمار آهن صفر× سرب ۱۰۰۰ به‌دست آمد.

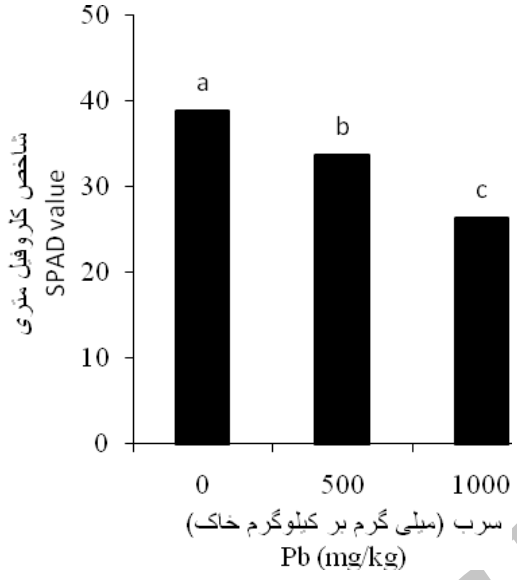


شکل ۳- اثر متقابل آهن × سرب بر وزن خشک شاخساره شاهی.

Figure 3. Interactive effect of Fe and Pb on cress shoots dry weight.

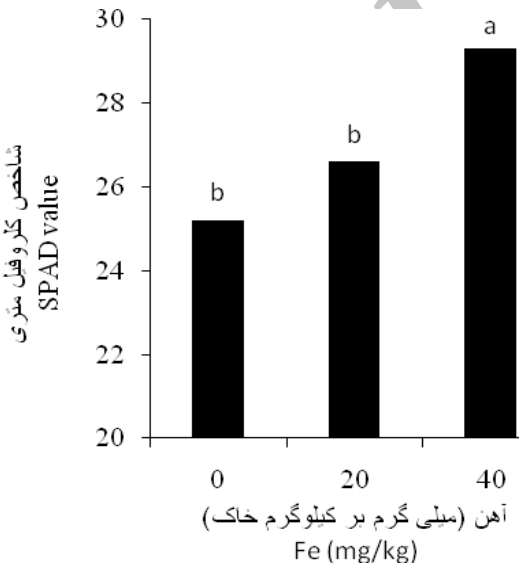
شاخص کلروفیل‌متری: نتایج آزمون مقایسه میانگین‌های داده‌ها (شکل ۴) نشان داد که با افزایش غلظت سرب در خاک شاخص کلروفیل‌متری کاهش معناداری ($P\leq ۰/۰۵$) یافت. به‌نظر می‌رسد سرب از سنتز کلروفیل جلوگیری کرده است. کاهش مقدار کلروفیل در اثر آلودگی سرب در خردل هندی (۶۴) و اسفناج (۶۵) گزارش‌شده است. سرب موجب کاهش سنتز کلروفیل در گیاه می‌شود (۴۶ و ۳۹). کاهش مقدار کلروفیل می‌تواند ناشی از کاهش آهن در گیاه باشد (۲۶). سرب می‌تواند در حلقه پورفیرینی کلروفیل جانشین منیزیم شود و به این ترتیب مقدار کلروفیل کاهش می‌یابد. همچنین سرب با جلوگیری از جذب آهن و منیزیم مانع سنتز کلروفیل در گیاه می‌شود (۴۸). مقدار کلروفیل برگ به‌دلیل افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز در تیمار سرب کاهش می‌یابد (۴۴). نتایج حاصل از آزمون مقایسه میانگین‌های داده‌ها (شکل ۵) نشان داد که شاخص کلروفیل با افزایش غلظت آهن در خاک، افزایش معناداری ($P\leq ۰/۰۵$) یافت. پژوهش‌های اردال و همکاران (۲۰۰۸) بر روی درخت سیب و هیرایی و همکاران (۲۰۰۷) بر روی جو نشان داد که با افزایش آهن در گیاه، شاخص کلروفیل‌متری افزایش می‌یابد (۱۲ و ۲۲). قربانلی و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که افزایش کلروفیل در اثر کاربرد آهن می‌تواند ناشی از نقش آهن در فعال‌سازی پروتئین‌های سنتزکننده کلروفیل و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی همانند آسکوربات پراکسیداز و گلوتامین ردوکتاز باشد که از تخریب کلروفیل توسط رادیکال‌های فعال اکسیژن جلوگیری می‌کنند (۱۸). سرب با کاهش غلظت آهن و پروتئین‌های سنتزکننده کلروفیل (۴۸) موجب کاهش کلروفیل می‌شود. ولی افزایش آهن در گیاه موجب کاهش این اثرات منفی و غلظت سرب در گیاه می‌شود و مقدار کلروفیل افزایش می‌یابد.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ٤- تغییرات شاخص کلروفیل شاهی تحت‌تأثیر تیمار سرب.

Figure 4. Cress SPAD value changes under Pb treatment.



شکل ٥- تغییرات شاخص کلروفیل شاهی تحت‌تأثیر تیمار آهن.

Figure 5. Cress SPAD value changes under Fe treatment.

غلظت سرب: نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های داده‌ها (شکل ۶) نشان داد که با افزایش غلظت سرب در خاک، غلظت سرب شاخساره و ریشه شاهی افزایش معناداری ($P\leq$۰/۰۵) داشت. فتاحی‌کیاسری و همکاران (۲۰۱۰) و ورما ودوبی (۲۰۰۳) گزارش کردند که با افزایش غلظت سرب در محیط ریشه تجمع سرب در گیاه افزایش می‌یابد (۱۴ و ۵۸). تجمع سرب در ریشه شاهی از شاخساره آن بیش‌تر بود و با نتایج ورما و دوبی (۲۰۰۳)، هوانگ و کانینگهام (۱۹۹۶)، موجیری (۲۰۱۱) و میچالک و

www.SID.ir

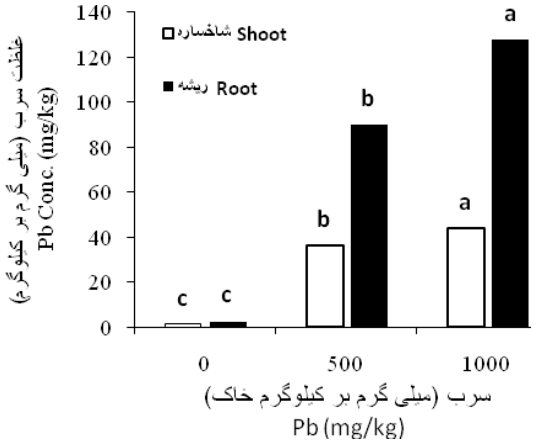
ویرزبیکا (۱۹۹۸) مطابقت دارد (۵۸، ۲۳، ۳۴ و ۳۱). سرب عمدتاً از مسیر آپوپلاستی یا کانال یونی کلسیم وارد ریشه می‌شود. انتقال سرب از مسیر آپوپلاستی به سهولت از طریق انحلال سرب در آب صورت می‌گیرد و نوار کاسپاری در اندودرم مانع انتقال آن به استوانه مرکزی می‌شود (۴۸).

نتایج آزمون مقایسه میانگین‌های داده‌ها (شکل ۷) نشان داد که افزایش مقدار آهن در حضور هر دو سطح ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب خاک باعث کاهش معنادار ($P\leq ۰/۰۵$) غلظت سرب شاخساره شاهی گردید. این امر می‌تواند مربوط به اثرمتقابل منفی آهن و سرب به‌هنگام جذب و همچنین اثر رقت باشد. تفویضی و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که با افزایش فراهمی آهن برای گیاه، غلظت سرب در گیاه کاهش می‌یابد (۵۴). بیش‌ترین غلظت سرب شاخساره در تیمار آهن صفر × سرب ۱۰۰۰ و کم‌ترین غلظت سرب شاخساره در تیمار آهن ۴۰ × سرب صفر به‌دست آمد. فعال شدن آ. ت. پ. آز غشاء پلاسمایی (با افزایش فعالیت آهن (III) ردوکتاز) موجب کاهش آهن (III) به یون آهن (II) شده و آهن از طریق انتقال‌دهنده‌های ویژه آهن (II) وارد سلول‌های ریشه می‌شوند (۵). پس از احیای کلات آهن (III) در سطح بیرونی پلاسمای سلول‌های ریشه در گیاهان دولپه‌ای عامل کلات‌کننده آزادشده و ممکن است در صورت نبود یون آزاد آهن (III) با سایر فلزات از قبیل سرب پیوند برقرار کند (۵۲). آهن پس از جذب ریشه با ترکیبات آلی به‌ویژه اسید سیتریک ترکیب می‌شود و به شکل محلول در آوند چوبی انتقال می‌یابد (۵۵). چن و همکاران (۲۰۰۳) در بررسی خود بر روی اثر اسید سیتریک بر انتقال سرب در گیاه گزارش کردند که اسید سیتریک موجب افزایش انتقال سرب از ریشه به اندام‌های هوایی می‌شود (۹). یکی دیگر از عوامل کلات‌کننده و انتقال‌دهنده آهن در گیاه نیکوتین‌آمین است (۵۶). شارما و دایتز (۲۰۰۹) گزارش کردند که نیکوتین‌آمین و اسید سیتریک می‌توانند کمپلکس قوی با فلزات سنگین تشکیل دهند (۴۷). بنابراین به‌نظر می‌رسد که در شرایط فراهمی آهن، سرب نمی‌تواند با عوامل کلات‌کننده و انتقال‌دهنده آهن پیوند برقرار کند و غلظت آن با افزایش فراهمی آهن در گیاه کاهش می‌یابد (۲۹).

نتایج مقایسه میانگین‌های داده‌ها (شکل ۸) نشان داد که با افزایش میزان آهن در خاک، غلظت سرب در ریشه و شاخساره شاهی کاهش معناداری ($P\leq ۰/۰۵$) یافت. با توجه به برهم‌کنش منفی بین این دو عنصر (۶۵) افزایش آهن موجب کاهش جذب و تجمع سرب در شاهی می‌شود. کاهش غلظت سرب با افزایش فراهمی آهن در اسفناج توسط زینادا و همکاران (۲۰۱۱) و در ذرت توسط تفویضی و همکاران (۲۰۱۴) گزارش‌شده است (۶۵ و ۵۴). همچنین در شرایط کمبود آهن، سرب می‌تواند از طریق کلات‌کننده‌های آهن هم‌چون سیترات (۵۵) و نیکوتین‌آمین (۹) در گیاه انتقال یابد. ولی به‌دلیل حضور آهن در محیط ریشه، آهن با این کلات‌ها پیوند برقرار کرده و از ریشه به اندام هوایی انتقال می‌یابد و سرب کم‌تری توسط ریشه جذب و به اندام هوایی انتقال می‌یابد.

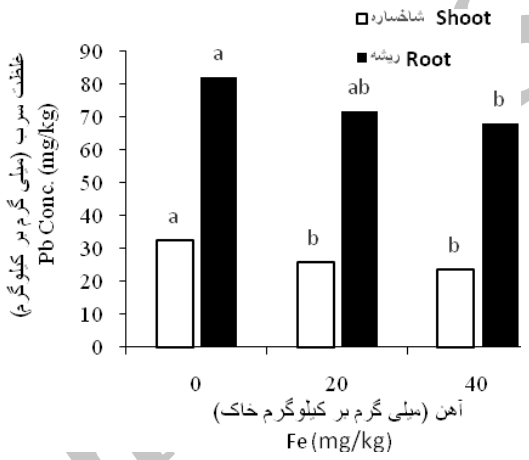
Archive of SID

www.SID.ir



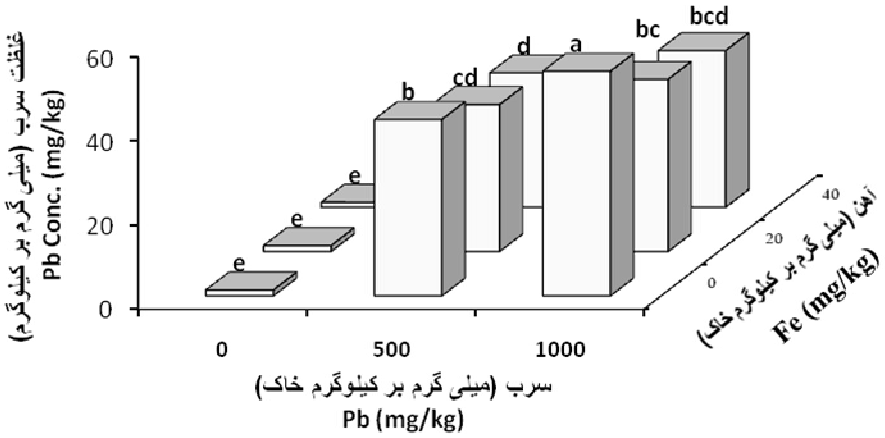
شکل ٦- تغییرات غلظت سرب شاخساره و ریشه شاهی تحت‌تأثیر تیمار سرب.

Figure 6. Cress shoot and root Pb conc. changes under Pb treatment.



شکل ۷- تغییرات غلظت سرب شاخساره و ریشه شاهی تحت‌تأثیر تیمار آهن.

Figure 7. Cress shoot and root Pb conc. changes under Fe treatment.



شکل ۸- اثر متقابل آهن × سرب بر غلظت سرب شاخساره شاهی.

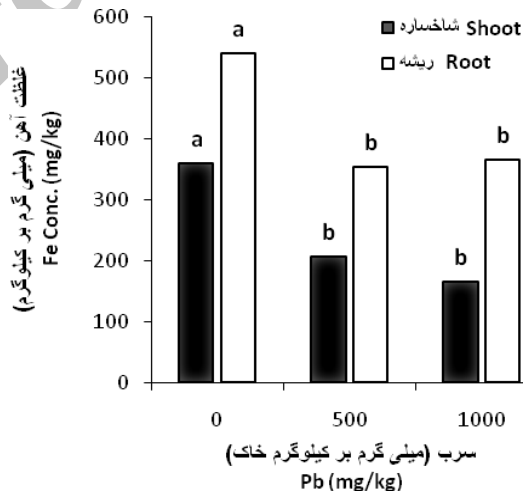
Figure 8. Interactive effect of Fe and Pb on cress shoots Pb concentration.

www.SID.ir

غلظت آهن: نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های داده‌ها (شکل ۹) نشان داد که با افزایش غلظت سرب در خاک غلظت آهن شاخساره و ریشه کاهش معناداری ($P\leq ۰/۰۵$) یافت. سینها و همکاران (۲۰۰۶)، گوپال و ریزوی (۲۰۰۸)، پاو و همکاران (۲۰۰۲)، تفویضی و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که با افزایش غلظت سرب در محیط ریشه، جذب آهن توسط گیاه کاهش می‌یابد (۵۱، ۲۰، ۴۰ و ۵۴). سیدلیکا (۱۹۹۵) گزارش کرد که در آلودگی سرب، غلظت آهن در ریشه و اندام هوایی تربچه و در ریشه کدو کاهش یافت (۵۰). فلزات سنگین قابلیت دسترسی 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 (۵۴). شارما و دوبی (۲۰۰۵) گزارش کردند که غلظت بالای سرب موجب بر هم خوردن تعادل عناصر غذایی در گیاه می‌شود و از جذب عناصر غذایی همچون آهن جلوگیری می‌کند (۴۸).

نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱۰) نشان داد که افزایش غلظت آهن در خاک موجب افزایش معنادار ($P\leq ۰/۰۵$) غلظت آهن ریشه و شاخساره شاهی شد. زینادا و همکاران (۲۰۱۱)، تفویضی و همکاران (۲۰۱۴) و سالاردینی و مورفی (۱۹۷۸) افزایش غلظت آهن در گیاه را در نتیجه مصرف آهن گزارش کرده‌اند (۶۵، ۵۴ و ۴۲). مقدار آهن در شاخساره شاهی در سطوح صفر، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم آهن به‌ترتیب ۱۸۶، ۲۶۵ و ۲۷۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک و در ریشه به‌ترتیب ۲۲۱، ۴۸۵ و ۵۴۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک به‌دست آمد.

جذب سرب: نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های داده‌ها (شکل ۱۱) نشان داد که با افزایش غلظت سرب در محیط ریشه شاخص جذب سرب افزایش معناداری ($P\leq ۰/۰۵$) یافت. متشرع‌زاده و ثواقبی (۲۰۱۱) افزایش شاخص جذب سرب در آفتابگردان را با افزایش غلظت سرب گزارش کردند (۳۵). نتایج مقایسه میانگین‌های داده‌ها (شکل ۱۲) نشان داد که جذب سرب با افزایش غلظت آهن خاک در هر دو سطح ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب کاهش یافت و این کاهش در سطح ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب معنادار بود.

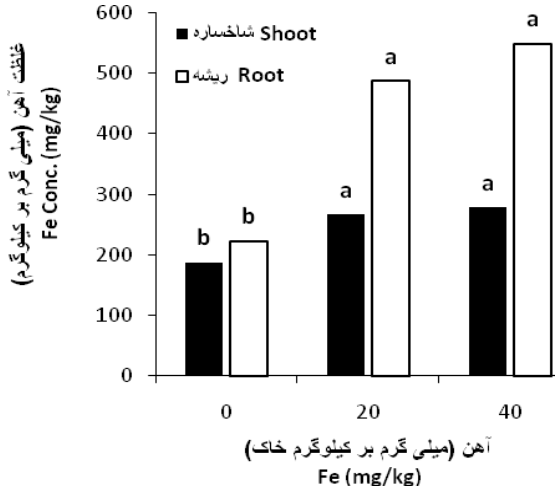


شکل ۹- تغییرات غلظت آهن شاخساره و ریشه شاهی تحت‌تأثیر تیمار سرب.

Figure 9. Cress shoot and root Fe conc. changes under Pb treatment.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱۰- تغییرات غلظت آهن شاخساره و ریشه شاهی تحت‌تأثیر تیمار آهن.

Figure 10. Cress shoot and root Fe conc. changes under Fe treatment.

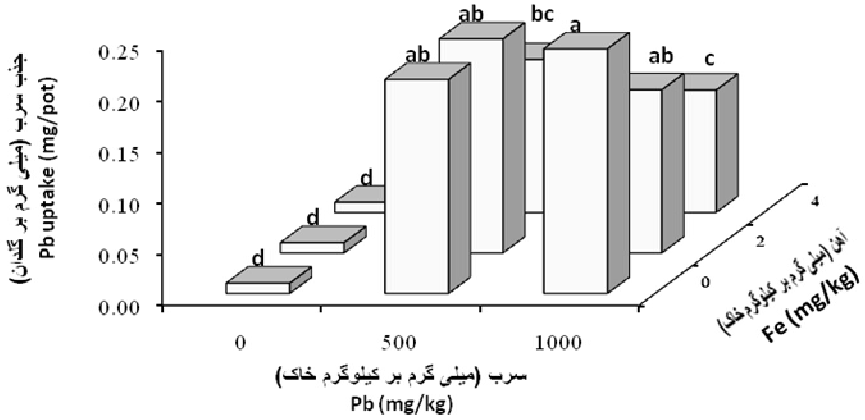
متشرع‌زاده و همکاران (۲۰۱۰) و گلستانی‌فرد و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که شاخص جذب سرب با افزایش فراهمی سرب در گیاه افزایش می‌یابد (۳۶ و ۱۹). با توجه به برهم‌کنش منفی بین این دو عنصر (۶۵ و ۱۵) افزایش آهن موجب کاهش جذب و انتقال سرب در شاخساره می‌شود و شاخص جذب سرب شاخساره را کاهش می‌دهد. سطح ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم آهن در کاهش جذب سرب مؤثرتر از سطح ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. بیش‌ترین جذب سرب در تیمار آهن صفر × سرب ۱۰۰۰ و کم‌ترین مقدار جذب سرب در سطح صفر سرب حاصل شد.

نتایج آزمون مقایسه میانگین‌های داده‌ها (شکل ۱۳) نشان داد که شاخص جذب سرب با افزایش غلظت آهن در خاک به‌طور معناداری ($P\leq ۰/۰۵$) کاهش یافت. به‌نظر می‌رسد با توجه به اثر منفی این دو عنصر بر یکدیگر (۵۳)، افزایش فراهمی آهن موجب کاهش انتقال سرب به گیاه شده و با کاهش غلظت سرب در گیاه شاخص جذب سرب کاهش‌یافته است.

جذب آهن: نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های داده‌ها (شکل ۱۴) نشان داد که با افزایش سرب در خاک شاخص جذب آهن کاهش معناداری ($P\leq ۰/۰۵$) یافت. با توجه به اثر منفی سرب در جذب سرب توسط گیاه (۴۱ و ۱۶) مانع جذب و انتقال آهن به شاخساره می‌شود و شاخص جذب آهن شاخساره کاهش می‌یابد. نتایج آزمون مقایسه میانگین‌های داده‌ها (شکل ۱۵) نشان داد که جذب آهن با افزایش غلظت آهن خاک به‌طوری معناداری ($P\leq ۰/۰۵$) افزایش یافت. بین تیمار ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم آهن نیز اختلاف معناداری مشاهده نشد. با توجه به اثر مثبت آهن در افزایش زیست‌توده و همچنین افزایش غلظت آهن در شاخساره، شاخص جذب آهن شاخساره افزایش‌یافته است. قرشی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که با افزایش غلظت آهن خاک، شاخص جذب آهن در گیاه افزایش یافت (۱۷).

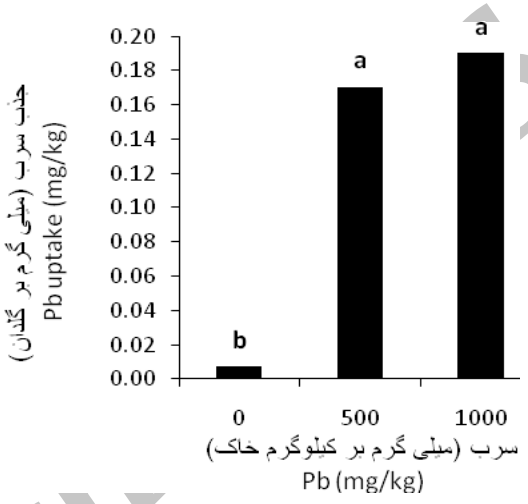
Archive of SID

www.SID.ir



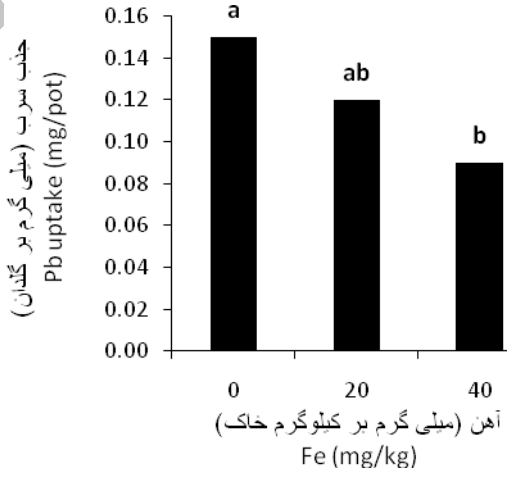
شکل ۱۱- اثر متقابل آهن × سرب بر جذب سرب شاخساره شاهی.

Figure 11. Interactive effect of Fe and Pb on cress shoots Pb uptake.



شکل ۱۲- تغییرات جذب سرب شاخساره شاهی تحت‌تأثیر تیمار سرب.

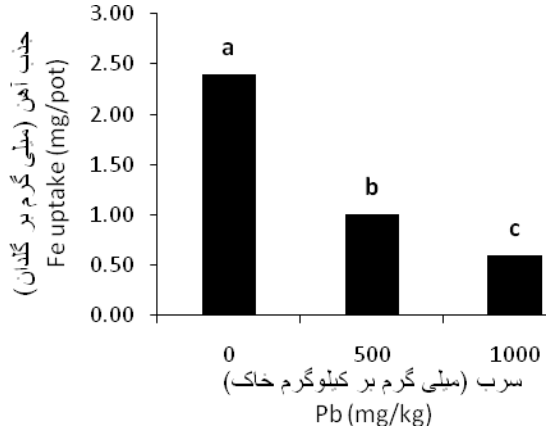
Figure 12. Cress shoot Pb uptake changes under Pb treatment.



شکل ۱۳- تغییرات جذب سرب شاخساره شاهی تحت‌تأثیر تیمار آهن.

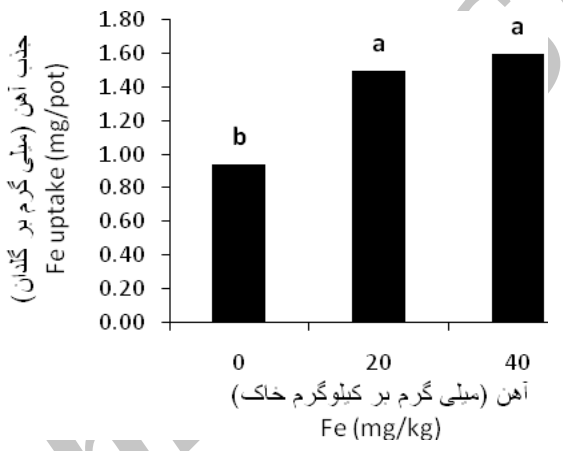
Figure 13. Cress shoot Pb uptake changes under Fe treatment.

www.SID.ir



شکل ١٤- تغییرات جذب آهن شاخساره شاهی تحت‌تأثیر تیمار سرب.

Figure 14. Cress shoot Fe uptake changes under Pb treatment.



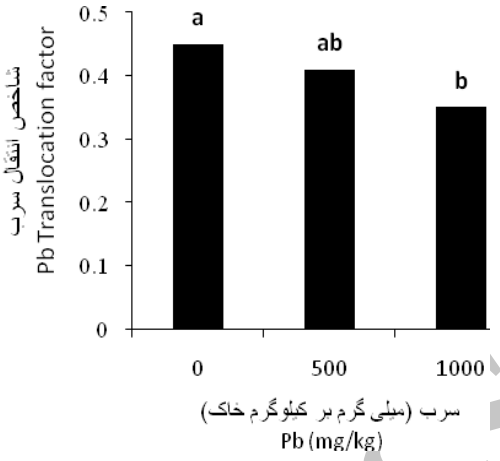
شکل ١٥- تغییرات جذب آهن شاخساره شاهی تحت‌تأثیر تیمار آهن.

Figure 15. Cress shoot Fe uptake changes under Fe treatment.

شاخص انتقال: نتایج آزمون مقایسه میانگین‌های داده‌ها (شکل ۱۶) نشان داد که شاخص انتقال با افزایش غلظت سرب خاک کاهش یافت. کاهش این شاخص با افزایش غلظت سرب خاک می‌تواند به‌دلیل تجمع بیش‌تر سرب در ریشه نسبت به شاخساره باشد. متشرع‌زاده و همکاران (۲۰۱۰) کاهش شاخص انتقال سرب را در آفتابگردان با افزایش غلظت سرب گزارش کردند (۳۶). از دلایل دیگری که می‌توان برای کاهش انتقال سرب به بخش‌های هوایی گیاهان با افزایش غلظت سرب خاک متصور شد این است که انتقال فلز به بخش هوایی از طریق آوندهای چوبی صورت می‌گیرد و عامل انتقال در این آوندها، شیب هیدروستاتیک و شیب پتانسیل آب است. بنابراین با کاهش رشد گیاهان، میزان تبخیر و تعرق کاهش و میزان انتقال در این آوندها نیز کاهش می‌یابد. با توجه به اثر بازدارنده فلز سنگین بر شدت فتوسنتز، تولید کربوهیدرات‌ها کاهش می‌یابد و به‌تبع آن میزان انتقال این مواد به ریشه‌ها نیز کم می‌شود (۳). مقدار شاخص انتقال سرب با افزایش غلظت آهن در خاک (شکل ۱۷) کاهش معناداری ($P\leq ۰/۰۵$) یافت. ولی بین سطوح ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم آهن در خاک از این نظر اختلاف معناداری مشاهده نشد. تفویضی و

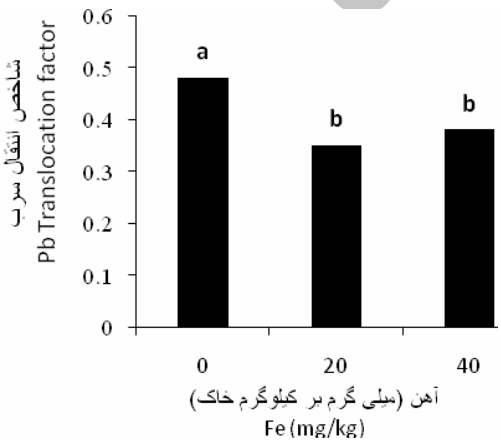
www.SID.ir

همکاران (۲۰۱۴) و زینادا و همکاران (۲۰۱۱) کاهش تجمع سرب در گیاه را در اثر استفاده از کود آهن گزارش کردند (۵۴ و ۶۵). به‌نظر می‌رسد که آهن موجب کاهش جذب سرب در گیاه می‌شود و در نتیجه شاخص انتقال کاهش می‌یابد.



شکل ١٦- تغییرات شاخص انتقال سرب شاهی تحت‌تأثیر تیمار سرب.

Figure 16. Cress Pb translocation factor changes under Pb treatment.



شکل ١٧- تغییرات شاخص انتقال سرب شاهی تحت‌تأثیر تیمار آهن.

Figure 17. Cress Pb translocation factor changes under Fe treatment.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی، سرب اثر منفی بر رشد گیاه داشت و موجب کاهش رشد، وزن خشک و غلظت آهن شد. ولی آهن بر افزایش رشد و وزن خشک اثر مثبتی داشت. مصرف آهن توانست از جذب و انتقال سرب در شاهی جلوگیری کند و تا حدودی اثرات سمی این عنصر را در گیاه کاهش دهد. مصرف ۴۰ میلی‌گرم آهن از منبع سکوسترین آهن- ۱۳۸ در این آزمایش بیش‌ترین تأثیر را بر کاهش اثرات سوء سرب در شاهی داشت.

www.SID.ir

منابع

1.Abd El-Wahab, M.A. 2008. Effect of Some Trace Elements on Growth, Yield and Chemical Constituents of *Trachyspermum ammi* L. (AJOWAN) Plants under Sinai Conditions. Research J. Agr. Bio. Sci. 4: 6. 717-724.

2.Àlvarez-Fernàndez, A., Abadía, J., and Abadía, A. 2006. Iron deficiency, fruit yield and fruit quality, P 85-101. In: L. Barton and J. Abadia (Eds.), Iron nutrition in plants and rhizospheric microorganisms, Springer. Printed in the Netherlands.

3.Amanifar, S., Aliasgharzad, N., Najafi, N., Oustan, Sh., and Bolandnazar, S. 2012. Effect of arboscolar mycorrhizal fungi on lead phytoremidation by sorgum (*Sorghum bicolor* L.). Water and Soil Sci. 22: 1. 155-170. (In Persian)

4.Anwar Hossain, M., Piyatida, P., Silva, T., and Fujita, M. 2012. Molecular Mechanism of Heavy Metal Toxicity and Tolerance in Plants: Central Role of Glutathione in Detoxification of Reactive Oxygen Species and Methylglyoxal and in Heavy Metal Chelation. J. Bot. 2012: 1-37.

5.Bojovic, D.D., Đukic, M., Maksimovic, V., Skocajic, D., and Surucic, L. 2012. The Effects of Iron Deficiency on Lead Accumulation in *Ailanthus altissima (*Mill.) Swingle Seedlings. J. Environ. Qual. 41: 5. 1517-1524.

6.Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. Agro. J. 54: 5. 464-465.

7.Cakmak, I., Kalaycı, M., Ekiz, H., Braun, H., Kılınç, Y., and Yılmaz, A. 1999. Zinc deficiency as a practical problem in plant and human nutrition in Turkey: a NATO-science for stability project. Field Crop Res. 60: 1. 175-188.

8.Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity, P 891-90. In: C.A. Black (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part II. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA.

9.Chen, Y., Lin, Q., Luo, Y., He, Y., Zhen, S., Yu, Y., Tian, G., and Wong, M. 2003. The role of citric acid on the phytoremediation of heavy metal contaminated soil. Chemosphere. 50: 6. 807-811.

10.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. Physio. 116: 3. 1063-1072.

11.Cohen, C.K., Garvin, D.F., and Kochian, L.V. 2004. Kinetic properties of a micronutrient transporter from *Pisum sativum* indicate a primary function in Fe uptake from the soil. Planta. 218: 5. 784-792.

12.Erdal, I., Askin, M.A., Kucukyumuk, Z., Yildirim, F., and Yildirim, A. 2008. Rootstock has an Important Role on Iron Nutrition of Apple Trees. World J. Agri. Sci. 4: 2. 173-177.

13.Farzanegan, Z., Savaghebi, Gh., and Hosseiny, H.M.S. 2011. Study of the effects of sulfur and citric acid amendment on phytoextraction of Cd and Pb from contaminated soil. J. Water and Soil. 25: 4. 736-745.

14.Fatahi Kiasari, E., Fotovvat, A., Astaraei, A.R., and Haghnia, G.H. 2010. Lead Phytoextraction from Soil by Corn, Sunflower, and Cotton Applying EDTA and Sulfuric Acid. J. Sci. Tech. Agric. Natur. Resourc. Water and Soil Sci. 14: 51. 57-69. (In Persian)

15.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.

16.Fodor, F., Cseh, E., Varga, A., and Záray, G. 1998. Lead uptake, distribution and remobilization in cucumber. J. Plant Nutr. 21: 7. 1363-1373.

17.Ghorashi, L., Haghnia, G.H., Lakzian, A., and Khorasani, R. 2012. Effect of phosphorus and organic matter on availability and iron uptake in mays (*Zea mays* L.). Agroecology. 4: 1. 12-19. (In Persian)

Archive of SID

www.SID.ir

18.Ghorbanli, M., Khanlarian Khatiri, M., Hajhosseini, R., and Zali, H. 2006. The influence of accumulation of lead on the contents chlorophyll, iron and calcium in two varieties of rapeseed (*Brassica napus* L.). Pajouhesh and Sazandegi in Agron. and Hort. 71: 34-40. (In Persian)
19.Golestani Fard, A., Mirseyed Hosseini, H., Besharati, H., and Savaghebi, Gh.R. 2013. Study on chemical forms of lead and zinc in the rhizosphere of some maize and canola cultivars. J. Water Soil. 26: 6. 1460-1472.
20.Gopal, R., and Rizvi, A.H. 2008. Excess lead alters growth, metabolism and translocation of certain nutrients in radish. Chemosphere. 70: 9. 1539-1544.
21.Gupta, P.K. 1999. Soil, plant, water and fertilizer analysis. Agro Botanica. Rajasthan, India, 438p.
22.Hirai, M., Higuchi, K., Sasaki, H., Suzuki, T., Maruyama, T., Yoshiba, M., and Tadano, T. 2007. Contribution of iron associated with high-molecular-weight substances to the maintenance of the SPAD value of young leaves of barley under iron-deficient conditions. Soil Sci. Plant Nutr. 53: 5. 612-620.
23.Huang, J., and Cunningham, S. 1996. Lead phytoextraction: species variation in lead uptake and translocation. New Phytol. 134: 1. 75-84.
24.Igwe, J., and Abia, A. 2006. A bioseparation process for removing heavy metals from waste water using biosorbents. Afri. J. Biotech. 5: 12. 1167-1179.
25.Islam, E., Yang, X., Li, T., Liu, D., Jin, X., and Meng, F. 2007. Effect of Pb toxicity on root morphology, physiology and ultrastructure in the two ecotypes of *Elsholtzia argyi*. J. Hazard. Mater. 147: 3. 806-816.
26.Kiani, Sh. 2012. Effects of iron on efficiency and map of photosystem II photochemical yield of rose flower using chlorophyll fluorescence imaging. J. Sci. Technol. Greenhouse Culture. 2: 8. 25-35. (In Persian)
27.Kochaki, A., and Banaian Aval, M. 1993. Yield formation in the mainfield crops. Jehad Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad, Iran, 380p. (In Persian)
28.Lindsay, W., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 3. 421-428.
29.Lindsay, W.L. 1979. Chemical equilibria in soils. John Wiley and Sons, Inc., New York, USA, 449p.
30.Menon, M., Hermle, S., Günthardt-Goerg, M.S., and Schulin, R. 2007. Effects of heavy metal soil pollution and acid rain on growth and water use efficiency of a young model forest ecosystem. Plant Soil. 297: 1-2. 171-183.
31.Michalak, E., and Wierzbicka, M. 1998. Differences in lead tolerance between *Allium cepa* plants developing from seeds and bulbs. Plant Soil. 199: 2. 251-260.
32.Miller, G., Huang, I.J., Welkie, G., and Pushnik, J. 1995. Function of iron in plants with special emphasis on chloroplasts and photosynthetic activity, P 19-28. In: J. Abadia (Ed.), Iron Nutrition in Soils and Plants. Springer. Zaragoza, Spain.
33.Milone, M.T., Sgherri, C., Clijsters, H., and Navari-Izzo, F. 2003. Antioxidative responses of wheat treated with realistic concentration of cadmium. Environ. Exp. Bot. 50: 3. 265-276.
34.Mojiri, A. 2011. The potential of corn (*Zea mays*) for phytoremediation of soil contaminated with cadmium and lead. J. Biol. Environ. Sci. 5: 13. 17-22.
35.Motesharezadeh, B., and Savaghebi, Gh. 2011. Study of sunflower plant response to cadmium and lead toxicity by usage of PGPR in a calcareous soil. J. Water Soil. 25: 5. 1069-1079.
36.Motesharezadeh, B., Savaghebi, Gh., Alikhani, H., and Mir S. Hoseini, H. 2010. An Identification of Heavy metals Resistant Plants and Bacteria in the Surrounding Lands of Shazand, Arak Lead and Zinc Mine, to be used in Phytoremediation. Iran. J. Soil Water Res. 39: 1. 163-174.
37.Munzuroglu, O., and Geckil, H. 2002. Effects of metals on seed germination, root elongation, and coleoptile and hypocotyl growth in *Triticum aestivum* and *Cucumis sativus*. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 43: 2. 203-213.

Archive of SID
www.SID.ir

38.Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1982. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Midison, USA, 1159p.
39.Prasad, D., and Prasad, A. 1987. Effect of lead and mercury on chlorophyll synthesis in mung bean seedlings. Phytochemistry. 26: 4. 881-883.
40.Pugh, R.E., Dick, D.G., and Fredeen, A.L. 2002. Heavy metal (Pb, Zn, Cd, Fe, and Cu) contents of plant foliage near the Anvil Range lead/zinc mine, Faro, Yukon Territory. Ecotoxicol. Environ. Saf. 52: 3. 273-279.
41.Rezvani, M., Zaefarian, F., and Gholizadeh, A.L. 2012. Lead and nutrients uptake by *Aeluropus littoralis* under different levels of lead in soil. Water and Soil Sci. 22: 3. 73-86. (In Persian)
42.Salardini, A., and Murphy, L. 1978. Grain sorghum (*Sorghum bicolor Pers*.) responses to organic iron on calcareous soils. Plant Soil. 49: 1. 57-70.
43.Sánchez, A.S., Juarez, M., Sanchez-Andreu, J., Jorda, J., and Bermudez, D. 2005. Use of humic substances and amino acids to enhance iron availability for tomato plants from applications of the chelate FeEDDHA. J. Plant. Nutr. 28: 11. 1877-1886.
44.Sarvari, E., Gaspar, L., Fodor, F., Cseh, E., Kropfl, K., Varga, A., and Baron, M. 2002. Comparison of the effects of Pb treatment on thylakoid development in poplar and cucumber plants. Acta Biol. Szeged. 46: 163-165.
45.SAS Software. 1999. SAS Intitute. Version 8. Cary. NC, USA.
46.Sengar, R., and Pandey, M. 1996. Inhibition of chlorophyll biosynthesis by lead in greening *Pisum sativum* leaf segments. Biol. Plant. 38: 3. 459-462.
47.Sharma, S.S., and Dietz, K.J. 2009. The relationship between metal toxicity and cellular redox imbalance. Trends Plant Sci. 14: 1. 43-50.
48.Sharma, P., and Dubey, R.S. 2005. Lead toxicity in plants. Braz. J. Plant Physiol. 17: 1. 35-52.
49.Sharma, A., Johri, B.N., Sharma, A.K., Glick, B.R. 2003. Plant growth-promoting bacterium Pseudomonas sp. strain GRP3 influences iron acquisition in mung bean (*Vigna radiata* L. Wilzeck). Soil Bio Biochem. 35: 7. 887-894.
50.Siedlecka, A. 1995. Some aspects of interactions between heavy metals and plant mineral nutrients. Acta Soc. Bot. Pol. 64: 3. 265-272.
51.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.
52.Srivastava, A., and Appenroth, K.J. 1995. Interaction of EDTA and iron on the accumulation of Cd^{2+} in duckweeds (*Lemnaceae*). J. Plant. Physiol. 146: 1. 173-176.
53.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.
54.Tafvizi, M., Motesharezadeh, B., and Savaghebi, G. 2014. Investigating the effects of lead contamination and foliar application of iron on some physiological characteristics in two forage corn (Zea mays L.) hybrids in calcareous soil. Iranian J. Field Crop Sci. 45: 2. 213-226. (In Persian)
55.Taiz, L., and Zeiger, E. 2006. Stress physiology. Plant physiology, 4th ed. University of California, USA, 782p.
56.Takahashi, M., Terada, Y., Nakai, I., Nakanishi, H., Yoshimura, E., Mori, S., and Nishizawa, N.K. 2003. Role of nicotianamine in the intracellular delivery of metals and plant reproductive development. The Plant Cell. 15: 6. 1263-1280.
57.Vassilev, A., Tsonev, T., and Yordanov, I. 1998. Physiological response of barley plants *Hordeum vulgare* to cadmium contamination in soil during ontogenesis. Environ. Pollut. 103: 2. 287-293.
58.Verma, S., and Dubey, R. 2003. Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. Plant Sci. 164: 4. 645-655.

Archive of SID

www.SID.ir

59. Wainwright, S., and Woolhouse, H. 1977. Some physiological aspects of copper and zinc tolerance in Agrostis tenuis Sibth: cell elongation and membrane damage. J. Exp. Bot. 28: 4. 1029-1036.
60. Walkley, A., and Black, C.A. 1934. An examination of the degtjareff-method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titrationof method. Soil Sci. 37: 29-38.
61. Xiong, Z.T. 1997. Bioaccumulation and physiological effects of excess lead in a roadside pioneer species *Sonchus oleraceus* L. Environ. Pollut. 97: 3. 275-279.
62. Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., and Ma, L.Q. 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. Sci. Total Environ. 368: 2. 456-464.
63. 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.
64. Zaier, H., Ghnaya, T., Lakhdar, A., Baioui, R., Ghabriche, R., Mnasri, M., Sghair, S., Lutts, S., and Abdelly, C. 2010. Comparative study of Pb-phytoextraction potential in *Sesuvium portulacastrum* and *Brassica juncea*: Tolerance and accumulation. J. Hazard. Mater. 183: 1. 609-615.
65. Zinada, I.A., Abou Auda, M., and Shakh Ali, I. 2011. Impact of soil lead pollution and iron foliar application on *Spinacea oleracea* (L.). Adv. Agric. Botanics. Sci. 3: 2. 116-126.

Archive of SID

www.SID.ir

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 5(4), 2016
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Interactive effect of iron and lead on growth and their uptake in Cress (*Lepidium sativum* L.)

M. Alidadi Khaliliha[1], *E. Dordipour[2] and M. Barani Motlagh[3]

[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [2]Associate Prof., Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [3]Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 05/13/2015; Accepted: 01/27/2016

Abstract

Background and Objectives: Soil pollution with heavy metals because of its damaging effects on the environment, including human health threat, toxicity in plants and long-term effects on soil fertility have become a global concern. Lead is the most common heavy metals in polluted areas that enter to ecosystems, plants and the food chain from various sources. As a non-essential element for plants, lead inhibits not only photosynthesis, changes enzyme activities, hormonal status and respiration but also plant growth, metabolism and mineral nutrient balance. It has been demonstrated that heavy metals, like lead, can significantly influence the uptake and translocation of some nutrients in plants. Thus, the imbalance of nutrients might be a symptom of heavy metal toxicity in plants. Thereby, interactions between lead and mineral nutrients may provide a specific insight into the role of mineral nutrients in lead accumulation and translocation in plants. Iron is the micronutrient most often found to be deficient in plants. Among the nutrients showing interactions with heavy metals, Fe is one of the most frequently concerned in many respects. Heavy metals influence Fe availability and adsorption in the root apoplasm, uptake into root cells, transport to the shoot and utilization in leaves. In turn, Fe deficiency may also modify heavy metal uptake and accumulation. The objective of this study was to investigate the interactive effect of iron and lead on cress (*Lepidium sativum* L.) growth.

Materials and Methods: For this, a factorial pot experiment in a completely randomized design with three iron levels (0, 20 and 40 mg kg^{-1}) and three lead levels (0, 500 and 1000 mg kg^{-1}) was carried out in triplicate. Lead and iron treatments were applied from lead nitrate and iron sequestrene-138 sources, respectively.

Results: The results showed that shoot fresh and dry weights, SPAD value, Fe content and uptake and lead translocation index of cress decreased with the increase of lead content in the soil ($P\leq0.01$), but the lead content and uptake increased ($P\leq0.01$). The increase of soil iron content significantly increased the shoot dry weights ($P\leq0.01$), SPAD value and iron content and uptake ($P\leq0.05$) and caused a significant decrease in the lead content, uptake ($P\leq0.01$) and translocation index ($P\leq0.05$). Interactive effect of iron and lead indicated that iron application along with lead significantly increased the shoot dry weight of cress ($P\leq0.05$) and significantly decreased the lead content and uptake of cress ($P\leq0.05$).

Conclusion: Iron plays an important role in reducing the adverse effects of lead in the cress. Hence, Applying 40 mg kg^{-1} of Fe as iron sequestrene-138 to reduce the adverse effects of lead on the cress is recommended.

Keywords: Iron, Lead, Interaction, Translocation, Cress

* Corresponding Authors; Email: e.dordipour@yahoo.com

Archive of SID

www.SID.ir