نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۶، ص. ۶۴۳-۶۲۷

Journal of Water and Soil
Vol. 31, No. 2, May.-Jun. 2017, p. 627-643

تأثیر آرسنیک بر غلظت‌های فسفر، آهن، روی و منگنز در خاک و گیاه ذرت

طاهره منصوری[۱*] – احمد گلچین[۲]– محمد بابا اکبری ساری[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۰۴

چکیده

آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی توسط آرسنیک رو به گسترش و نگران‌کننده است و سبب ورود آن به بخش‌های مختلف گیاهان می‌شود. به‌دلیل نقش بسیار مهم ذرت در تغذیه انسان، بررسی نحوه جذب، انتقال و تجمع آرسنیک در بخش‌های مختلف این گیاه بسیار مهم است و پژوهش حاضر با هدف ارزیابی پاسخ ذرت به وجود آرسنیک در محیط رشد و تاثیر آرسنیک بر غلظت فسفر، آهن، روی و منگنز در این گیاه انجام شد. بدین منظور یک آزمایش در قالب طرح کاملا تصادفی با ۶ سطح عنصر آرسنیک (۰، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸ و ۹۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) با ۳ تکرار در گلخانه اجرا شد. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت کل آرسنیک در خاک، غلظت آرسنیک قابل جذب خاک و غلظت آرسنیک ریشه و بخش هوایی ذرت افزایش و رشد آن کاهش یافت. بیشترین غلظت آرسنیک ریشه و بخش هوایی به‌ترتیب ۳۸۳/۴ و ۵۹/۵۶ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که سبب کاهش وزن خشک این اندام‌ها به‌ترتیب به مقادیر ۹۵/۹۴ و ۹۵/۲۲ درصد شد. افزایش غلظت آرسنیک خاک سبب افزایش غلظت فسفر و کاهش غلظت آهن، روی و منگنز قابل جذب خاک، افزایش غلظت فسفر ریشه و کاهش غلظت آن در بخش هوایی شد، همچنین سبب کاهش غلظت آهن و روی و افزایش غلظت منگنز ریشه و بخش هوایی گیاه شد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی، غلظت عناصر غذایی، وزن خشک گیاه

مقدمه

آرسنیک یک آلاینده بسیار سمی است که در رده ترکیبات سرطان‌زا قرار دارد و آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی توسط آن شایع و نگران‌کننده است. علاوه بر عوامل زمین شناختی و مواد مادری خاک، فعالیت‌های انسانی نظیر معدن‌کاوی و ذوب فلزات، احتراق زغال سنگ و استفاده گسترده از ترکیبات حاوی آرسنیک مانند حشره‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها، محافظت‌کننده‌های چوب و غیره سبب تجمع مقادیر بالای این فلز در خاک‌ها شده است (۲۰). آرسنات پنج ظرفیتی و آرسنیت سه ظرفیتی، مهم‌ترین شکل‌های معدنی آرسنیک در خاک هستند. آرسنات در تمامی شرایط به غیر از شرایط احیایی شدید، غالب‌تر از آرسنیت است. خاک‌های با آرسنیک کل بیش از ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم آلوده به‌شمار می‌روند(۷). در ایران وجود خاک‌های آلوده به آرسنیک در استان‌های کردستان، خراسان، زنجان و آذربایجان شرقی گزارش شده است (۱۴و ۱۸). وجود آرسنیک در خاک و آب سبب انتقال آن به بخش‌های مختلف گیاه می‌شود. انیل (۲۳) اظهار داشت که جذب آرسنیک توسط بیشتر گیاهان حتی در حضور مقادیر بالای آرسنیک، اندک است زیرا گیاهان با تجمع مقادیر بالای آرسنیک، از بین می‌روند و مقادیر خطرناک آرسنیک به انسان‌ها و حیوانات انتقال نمی‌یابد. شایبور و همکاران (۳۰) در بررسی حد سمیت آرسنیک در گیاه سورگوم در شرایط هیدروپونیک دریافتند که با افزایش غلظت آرسنیک محلول، غلظت آرسنیک در ریشه و بخش هوایی گیاهان افزایش یافت ولی کاهش رشد ریشه و بخش هوایی در غلظت‌های بیش از ۶/۷ میکرومولار آرسنیک اتفاق افتاد. عابدین و همکاران (۱) گزارش نمودند که با افزایش غلظت آرسنیک در آب آبیاری زیست‌توده کاه و ریشه برنج به‌شدت کاهش یافت. نکروزه شدن برگ‌های مسن و کلروزه شدن برگ‌های جوان در برنج (۲۹) و جو (۳۱) از جمله علائم سمیت آرسنیک گزارش شده‌اند. بسیاری از محققان گزارش کردند که آرسنیک عمدتا در ریشه گیاهان تجمع می‌یابد و انتقال آن از ریشه به بخش‌های هوایی اندک است (۱، ۳۰ و ۳۱). برخی محققان گزارش کردند که غلظت‌های کم آرسنیک در خاک با آزادسازی فسفر از مکان‌های جذبی خاک، منجر به دسترسی بیشتر گیاه به فسفات و متعاقبا افزایش زیست‌توده و رشد گیاه می‌شود (۶). شایبور و همکاران (۳۰) گزارش نمودند که در بخش هوایی

۱ ، ۲ و ۳- دانشجوی دکتری، استاد و استادیار گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
(*–نویسنده مسئول: (Email: t.mansouri2010@gmail.com
DOI: 10.22067/jsw.v31i2.55951

Archive of SID
www.SID.ir

گیاهان کشت شده در محیط آبکشت آلوده به غلظت ۶۷ میکرومولار آرسنیک، غلظت پتاسیم، آهن و مس به‌طور معناداری کمتر و غلظت کلسیم، منیزیم و منگنز به‌طور معناداری بیشتر از گیاهان شاهد بود ولی غلظت روی تحت تاثیر آرسنیک قرار نگرفته بود. از طرف دیگر در ریشه این گیاهان، غلظت عناصر آهن، منگنز، روی و مس بیشتر از گیاهان شاهد بود. این محققان افزایش غلظت منگنز در ریشه و بخش هوایی را به اثر غلظت و کاهش غلظت آهن و مس دربخش هوایی و افزایش غلظت عناصر آهن، منگنز، روی و مس در ریشه را به کاهش معنادار انتقال عناصر از ریشه به بخش هوایی به دلیل اثر سمی آرسنیک نسبت دادند. شایبور و همکاران (۳۱) نشان دادند که غلظت منگنز، روی و مس در بخش هوایی گیاه جو با کاربرد ۳۳/۵ میکرومول آرسنیک بر لیتر کاهش یافت. همچنین افزودن آرسنیک به محیط رشد گیاه با کاهش انتقال آهن از ریشه به بخش هوایی سبب کمبود آهن در گیاه شد. داس و همکاران (۵) در بررسی میزان تحرک آرسنیک در خاک تحت تاثیر روی دریافتند که با افزایش غلظت روی در خاک مقدار آرسنیک به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت.

ذرت از جمله غلاتی است که نقش بسیار مهمی در تغذیه انسان دارد و در تحقیقات مربوط به آرسنیک مورد توجه بوده است (۲ و ۲۷). بابااکبری و همکاران (۲) گزارش کردند که میانگین غلظت آرسنیک در ریشه و بخش هوایی ذرت کشت شده در خاک آلوده به ۰/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم آرسنیک قابل استخراج با آب، به‌ترتیب ۵۱ و ۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک گیاه بود. این محققان اظهار نمودند که وزن وحجم ریشه ذرت بیشتر از گندم وکلزا است و می‌تواند با ایجاد تغییرات بیشتر در خاک اطراف ریشه باعث افزایش تحرک و جذب آرسنیک شود.

به دلیل نقش بسیار مهم ذرت در تغذیه انسان، بررسی غلظت، جذب و تجمع آرسنیک در بخش‌های مختلف این گیاه بسیار مهم است و تاکنون اطلاعات بسیار اندکی در این زمینه و همچنین در ارتباط با تاثیر آرسنیک بر غلظت عناصر غذایی در ذرت وجود دارد. لذا پژوهش حاضر با هدف ارزیابی پاسخ ذرت به وجود آرسنیک در محیط رشد و تاثیر آرسنیک بر غلظت عناصر فسفر، آهن، روی و منگنز در این گیاه در سال۹۴ انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظورانجام این تحقیق، یک نمونه خاک مرکب از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان تهیه شد. نمونه خاک درهوای آزادخشک گردید و پس از گذرانده شدن از الک ۲ میلی‌متری برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن از قبیل pH توسط دستگاه pH متر مدلMetrohm 632، EC به‌وسیله دستگاه هدایت سنج مدل Jenway 4310، بافت به روش هیدرومتری (۱۹)، درصد کربن آلی به‌روش والکلی و بلک (۲۵)، درصدکربنات کلسیم معادل به‌روش کلسیمتری (۲۳)، نیتروژن کل خاک با استفاده از هضم کجلدال (۳)، فسفر قابل جذب خاک به‌روش اولسن (۱۲)، پتاسیم قابل جذب به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم (۱۲)، آهن، روی و منگنز قابل جذب با استفاده از DTPA (۲۱) و با دستگاه جذب اتمی مدلVarian- SpectrAA-100و غلظت آرسنیک معادل کل با اسید نیتریک غلیظ و آب اکسیژنه (۱۵) و با استفاده از دستگاه پلاسمای جفت شده القایی- طیف سنجی نشر اتمی (ICP-OES, Varian Vista- MPX) تعیین شد. به‌منظور آلوده‌سازی خاک مقادیر مناسب از نمک آرسنات سدیم ($Na_2HAsO_4.7H_2O$) در آب مقطر معادل ۷۰٪ ظرفیت مزرعه حل شد و به نمونه‌های خاک اضافه گردید و بخوبی مخلوط شد. سطوح مختلف آلودگی عبارت بودند از: ۰، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸ و ۹۶ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک. خاک‌های آلوده شده در داخل گلدان‌ها ریخته شدند و جهت رسیدن به تعادل نسبی به مدت شش ماه در گلخانه نگهداری گردیدند و چرخه‌های خشک (تا رطوبت هوا خشک) و مرطوب شدن (تا رطوبت ظرفیت مزرعه) بر آن‌ها اعمال شد. پس از گذشت این مدت زمان، غلظت آرسنیک قابل جذب با استفاده از سولفات آمونیوم ۰/۰۵ مولار (۳۷) و غلظت فسفر قابل جذب خاک (۱۲)، غلظت آهن، روی و منگنز قابل جذب در خاک (۲۱) اندازه‌گیری شد. سپس تعداد ۶ عدد بذر ذرت (*Zea mays*) رقم ماکسیما در هر گلدان حاوی پنج کیلوگرم خاک کاشته شد. پس از ظهور گیاهچه‌ها و اطمینان از استقرار آن‌ها، تعداد بوته در هر گلدان با عملیات تنک، به سه عدد کاهش یافت. گیاهان به مدت ۷۵ روز (اتمام رشد رویشی و قبل از وارد شدن به رشد زایشی)در شرایط گلخانه‌ای در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و شدت نور ۴۰۰۰۰ لوکس و تحت دامنه رطوبت ظرفیت مزرعه تا ۰/۸ رطوبت ظرفیت مزرعه نگهداری شدند. رطوبت گلدان‌ها از طریق توزین کنترل شد. پس از گذشت زمان مورد نظر، بخش هوایی (ساقه و برگ) و ریشه گیاهان برداشت شدند و ابتدا با آب شهری و سپس با آب مقطر شستشو داده شدند و به مدت ۷۲ ساعت در آون تهویه‌دار در دمای ۶۰ درجه سلسیوس خشک و سپس توزین گردیدند. نمونه‌های گیاهی پس از آسیاب و الک شدن بوسیله اسید نیتریک غلیظ و آب اکسیژنه ۳۰درصد در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس هضم شدند (۳۷). در عصاره‌های بدست آمده غلظت عنصر آرسنیک با دستگاه ICP-OES، فسفر با دستگاه اسپکتروفوتومترUV/Vis S2000، آهن، روی و منگنز با دستگاه جذب اتمی مدل 1973 - VarianAA20 اندازه‌گیری شد. جذب آرسنیک در ریشه و بخش هوایی گیاه از حاصل‌ضرب غلظت آرسنیک در این اندام‌ها در وزن خشک آن‌ها محاسبه شد. این آزمایش در قالب طرح کاملا تصادفی با ۸ تیمار (سطوح صفر، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸ و ۹۶ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک) در سه تکرار انجام شد.تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها توسط نرم

Archive of SID

www.SID.ir

افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکندر سطح احتمال یک درصد صورت پذیرفت. نمودارها با نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی–شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ آورده 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	(%)	38
رس Clay	(%)	16.4
شن Sand	(%)	55
سیلت Silt	(%)	28.8
pH	-	8
EC عصاره گل اشباع EC of saturation paste	(dS/m)	0.49
کربن آلی Organic Carbon	(%)	0.33
نیتروژن کل Total Nitrogen	(%)	0.063
کربنات کلسیم Calciumcarbonate equivalent	(%)	13.45
غلظت فسفر قابل جذب concentration of available phosphorus	(mg/kg soil)	15
غلظت پتاسیم قابل جذب concentration of available potassium	(mg/kg soil)	232.5
غلظت آهن قابل جذب concentration of available iron	(mg/kg soil)	7.5
غلظت روی قابل جذب concentration of available zinc	(mg/kg soil)	0.95
غلظت منگنز قابل جذب concentration of available manganese	(mg/kg soil)	6
غلظت آرسنیک قابل جذب concentration of available arsenic	(mg/kg soil)	n.d
آرسنیک کل concentration of total arsenic	(mg/kg soil)	n.d

n.d: not detectable

غلظت آرسنیک قابل جذب خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطوح آرسنیک بر غلظت آرسنیک قابل جذب خاک در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۲).مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش غلظت کل آرسنیک خاک، غلظت آرسنیک قابل جذب خاک به‌طور معناداری افزایش یافت (شکل ۱). با افزایش غلظت آرسنیک خاک فعالیت آن در محلول خاک افزایش یافته و توانایی آن برای جایگزین شدن با سایر آنیون‌ها در مکان‌های جذب یونی افزایش می‌یابد. بابااکبری و همکاران (۲) نیز گزارش کردند که با افزایش غلظت آرسنیک کل در خاک‌های آلوده طبیعی، غلظت آرسنیک فراهم افزایش معنادار یافت.

غلظت آرسنیک ریشه و بخش هوایی ذرت

اثر سطوح آرسنیک خاک بر غلظت آرسنیک ریشه و بخش هوایی ذرت در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۲). با افزایش سطح آرسنیک خاک، غلظت آرسنیک ریشه و بخش هوایی به‌طور معناداری افزایش یافت (شکل‌های ۲ و ۳). غلظت As از صفر در ریشه گیاهان کشت شده در خاک غیرآلوده تا ۳۸۳/۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در ریشه گیاهان کشت شده در خاک آلوده به ۶ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم متغیر بود. همچنین با افزایش غلظت آرسنیک خاک از صفر به ۹۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم، غلظت آرسنیک بخش هوایی گیاه از صفر به ۵۹/۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش یافت. تجمع آرسنیک در ریشه بیشتر از بخش‌هوایی بود، به‌طوری‌که غلظت آرسنیک در ریشه گیاهان کشت شده در سطوح ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸ و ۹۶ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب ۱/۸۸، ۱/۹۹، ۳/۱۳، ۴/۹۶ و ۶/۴۴ برابر غلظت آن در بخش هوایی بود. یک همبستگی مثبت بین غلظت آرسنیک در ریشه و بخش هوایی ذرت با غلظت‌های کل و قابل جذب آرسنیک خاک در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد و میزان همبستگی آن‌ها با غلظت قابل جذب آرسنیک بیشتر بود (جدول ۳). نتیجه مشابه را وو و همکاران (۳۸) گزارش نمودند. گالز و همکاران (۱۰) نیز افزایش غلظت آرسنیک در ریشه گیاهان ذرت، آفتابگردان و کلزا را با افزایش غلظت آرسنیک در خاک گزارش نمودند.

جذب آرسنیک در ریشه و بخش هوایی ذرت

اثر سطوح آرسنیک خاک بر جذب آرسنیک در ریشه و بخش هوایی ذرت در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۲). جذب آرسنیک در ریشه و بخش هوایی با افزایش سطح آلودگی به‌ترتیب تا ۴۸ و ۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش ولی در سطوح بالاتر از آن، کاهش یافت (شکل‌های ۴ و ۵).

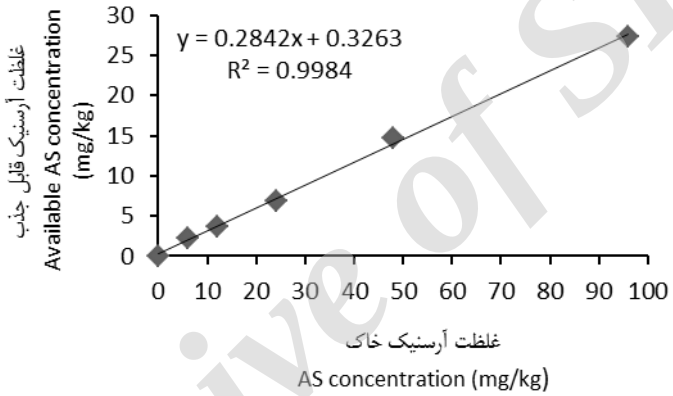
Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف آرسنیک خاک بر غلظت آرسنیک قابل جذب، غلظت و جذب آرسنیک ریشه و بخش هوایی گیاه ذرت

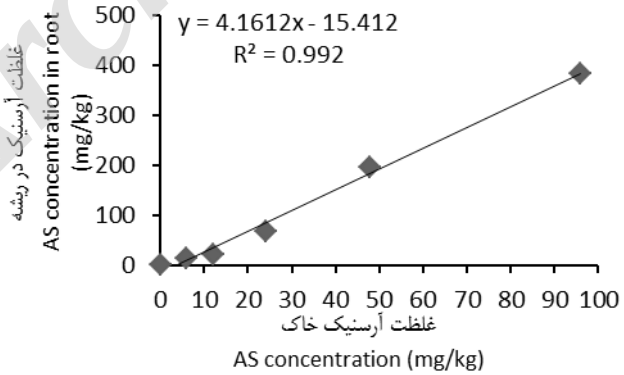
Table 2- The results of analysis of variance data indicating theeffects of different levels of soil As on plant uptake andconcentrations of Asin soil (available) andplant

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	Mean of squares				
		غلظت آرسنیک قابل جذب Concentration of soil available As	غلظت آرسنیک ریشه As concentration of root	غلظت آرسنیک بخش هوایی As concentration of shoot	جذب آرسنیک در ریشه As uptake by root	جذب آرسنیک در بخش هوایی As uptake by shoot
سطوح آرسنیک Levels of As	5	315.91***	68178.71***	1541.74***	718607.9***	219438.8***
خطای آزمایشی Error	12	0.17	60.44	2.43	14851.7	2529
ضریب تغییرات CV(%)	-	4.52	6.85	6.78	18.2	12.5



شکل ۱- تاثیر سطوح آرسنیک خاک بر غلظت آرسنیک قابل جذب

Figure 1- The effectsof soil Aslevels of on concentrations of soil available As

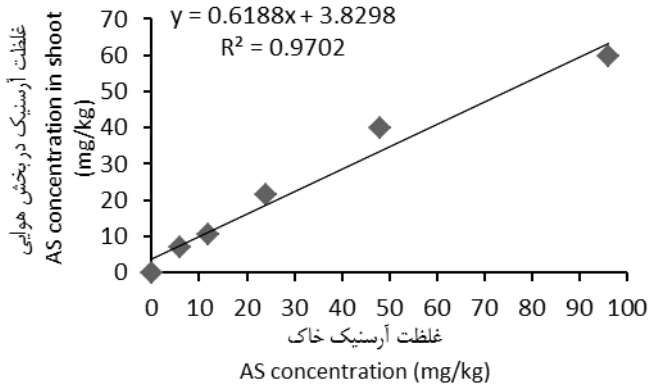


شکل ۲- تاثیر سطوح آرسنیک خاک بر غلظت آرسنیک ریشه ذرت

Figure 2- The effects ofsoil Aslevels on As concentrationsof corn root

Archive of SID

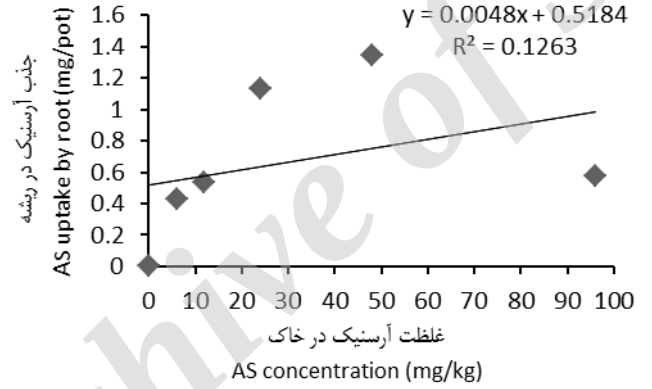
www.SID.ir



شکل ۳- تاثیر سطوح آرسنیک خاک بر غلظت آرسنیک بخش هوایی ذرت

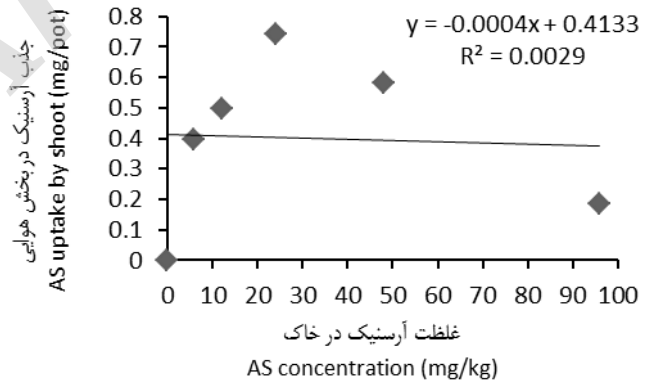
Figure 3- The effectsof soil Aslevels on As concentrationsof corn shoot

این امر نشان می‌دهد که تا سطوح نام‌برده، افزایش غلظت آرسنیک در بخش‌های گیاه از کاهش وزن خشک آن‌ها پیشی گرفته و مقدار جذب که حاصل‌ضرب این‌دو عامل است افزایش یافته است ولی پس از این سطوح، میزان کاهش وزن خشک گیاه بیشتر بوده است. جذب آرسنیک در ریشه بیشتر از بخش‌هوایی بود، به‌طوری‌که مقدار جذب آرسنیک در ریشه گیاهان کشت شده در سطوح ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸ و ۹۶ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب ۱/۰۷، ۱/۰۸، ۱/۵۲، ۲/۳۱ و ۳/۱ برابر جذب آن در بخش هوایی بود.



شکل٤- تاثیر سطوح آرسنیک خاک بر جذب آرسنیک در ریشه ذرت

Figure 4- The effectsof soil Aslevels on As uptake by root of corn



شکل ٥- تاثیر سطوح آرسنیک خاک بر جذب آرسنیک در بخش هوایی ذرت

Figure 5- The effects of soil As levels on As uptake by shoot of corn

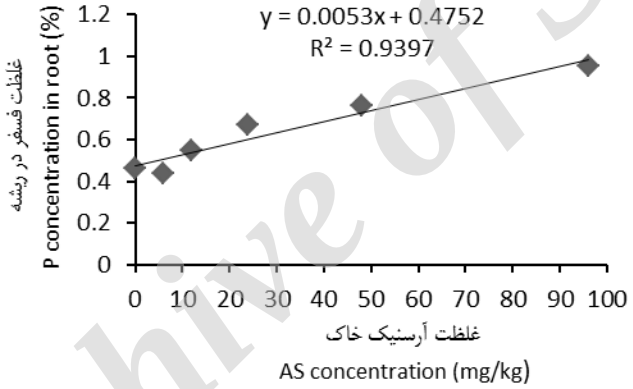
Archive of SID

www.SID.ir

غلظت فسفر ریشه و بخش هوایی گیاه

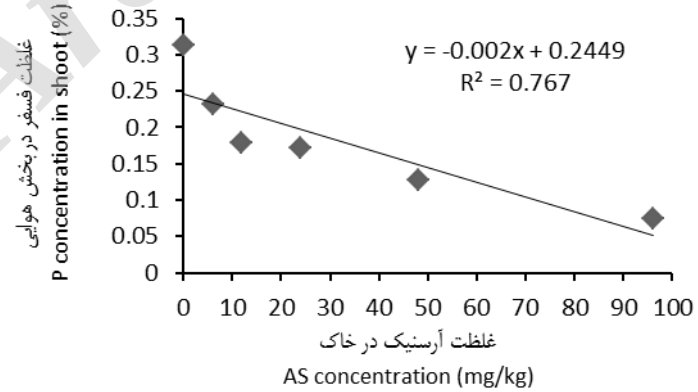
اثر سطوح آرسنیک خاک بر غلظت فسفر ریشه و بخش هوایی گیاه ذرت در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۴). با افزایش غلظت آرسنیک خاک، غلظت فسفر ریشه و بخش هوایی به ترتیب به‌طور معناداری افزایش و کاهش یافت (شکل‌های ۶ و ۷). بیشترین غلظت فسفر در ریشه گیاهان کشت شده در خاک آلوده به ۹۶ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم (۰/۹۵۴ درصد) و کمترین غلظت آن در ریشه گیاهان کشت شده در خاک آلوده به ۶ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم (۰/۴۳۹ درصد) مشاهد شد که اختلاف معناداری با تیمار شاهد نداشت و بالعکس بیشترین غلظت فسفر در بخش هوایی گیاهان کشت شده در خاک غیرآلوده (۰/۳۱۳ درصد) و کمترین غلظت آن (۰/۰۷۴ درصد) در بخش هوایی گیاهان کشت شده در خاک آلوده به ۹۶ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد. غلظت فسفر در ریشه و بخش هوایی گیاهان کشت شده در خاک آلوده به ۹۶ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم نسبت به گیاهان کشت شده در خاک غیرآلوده به‌ترتیب ۱/۱ برابرافزایش و ۷۶/۴ درصد کاهش یافت.

فسفات و آرسنات رفتار فیزیکوشیمیایی مشابهی دارند و مستقیما برای اشغال مکان‌های جذبی با یکدیگر رقابت دارند بنابراین افزایش غلظت آرسنیک در خاک سبب آزاد شدن فسفر از مکان‌های جذبی، افزایش قابلیت دسترسی و جذب آن توسط ریشه می‌شود (جدول ۵)(۹ و ۱۳). از طرف دیگر آرسنیک با کاهش انتقال فسفر از ریشه به بخش هوایی گیاه (جدول ۴)، سبب تجمع آن در ریشه و کاهش غلظت آن در بخش هوایی گیاه شده است. کاهش انتقال فسفر به بخش هوایی در اثر کاربرد آرسنیک، دلالت بر وجود رابطه آنتاگونیستی بین فسفر و آرسنیک دارد. شایبور و همکاران (۲۸) نیز اظهار نمودند که آرسنیک تاثیر منفی بر انتقال فسفر از ریشه به بخش هوایی گیاه جو داشت. کونگ و لنا (۴) اظهار نمودند که افزودن فسفر به خاک تجمع آرسنات در ریشه گیاه بیشه چینی (Chinese brake)را افزایش داد.



شکل ٦- تاثیر سطوح آرسنیک خاک بر غلظت فسفر ریشه ذرت

Figure 6- The effects of soil Aslevels on P concentrationsof corn root



شکل ۷- تاثیر سطوح آرسنیک خاک بر غلظت فسفر بخش هوایی ذرت

Figure 7- The effectsof soil Aslevels on P concentrationsof corn shoot

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- جدول ضرایب همبستگی بین پارامترهای مورد اندازه‌گیری

Table 3- Correlation matrix of various parameters

Factors پارامترها	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1-Total arsenic آرسنیک کل	1.00	0.99 **	0.98 **	0.98 **	0.96**	-0.86**	-0.83**	-0.82**	-0.81**	-0.87**	0.97**	0.96**	-0.91 **	-0.94**
2- Available arsenic آرسنیک قابل جذب		1.00	0.99**	0.99**	0.96**	-0.87**	-0.84**	-0.84**	-0.81**	-0.88**	0.97**	0.96**	-0.92**	-0.94**
3- Root arsenic آرسنیک ریشه			1.00	0.97**	0.95**	-0.83**	-0.80**	-0.79**	-0.76**	-0.84**	0.96**	0.95**	-0.90**	-0.92**
4- Shootarsenic آرسنیک هوایی				1.00	0.97**	-0.91**	-0.90**	-0.89**	-0.86**	-0.93**	0.97**	0.97**	-0.96**	-0.98**
5- Root phosphorus فسفر ریشه					1.00	-0.89**	-0.91**	-0.90**	-0.87**	-0.91**	0.98**	0.98**	-0.96**	-0.97**
6- Shootphosphorus فسفر هوایی						1.00	0.95**	0.96**	0.96**	0.97**	-0.85**	-0.87**	0.93**	0.94**
7- Root iron آهن ریشه							1.00	0.99**	0.97**	0.98**	-0.87**	-0.89**	0.97**	0.96**
8- Shoot iron آهن هوایی								1.00	0.98**	0.99**	-0.85**	-0.87**	0.96**	0.95**
9- Root zinc روی ریشه									1.00	0.98**	-0.81**	-0.84**	0.93**	0.91**
10- Shootzinc روی هوایی										1.00	-0.87**	-0.89**	0.97**	0.96**
11- Root manganese منگنز ریشه											1.00	0.99**	-0.94**	-0.96**
12- Shootmanganese منگنز هوایی												1.00	-0.95**	-0.96**
13- Root dry weight وزن خشک ریشه													1.00	0.99**
14- Shoot dry weight وزن خشک هوایی														1.00

**P < 0.01

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف آرسنیک خاک بر غلظت فسفر، آهن و روی ریشه و بخش هوایی گیاه ذرت

Table 4- The results of analysis of variance data indicating the effects of different levels of soil As on concentrations of P, Fe and Zn in root and shoot of corn

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares						
		غلظت فسفر ریشه P concentration of root	غلظت فسفر هوایی P concentration of shoot	غلظت آهن ریشه Fe concentration of root	غلظت آهن هوایی Fe concentration of shoot	غلظت روی ریشه Zn concentration of root	غلظت روی بخش هوایی Zn concentration of shoot
سطوح آرسنیک Levels of As	5	0.117***	0.02***	*** 3891.58	11195.60***	849.93***	1702.14***
خطای آزمایشی Error	12	0.0004	0.0002	3.85	49.83	1.79	2.73
ضریب تغییرات (٪) CV(%)	-	2.93	7.87	4.34	9.32	5.99	4.54

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵- تاثیر سطوح آرسنیک خاک بر فاکتور انتقال فسفر در گیاه و غلظت عناصر فسفر، آهن، روی و منگنز قابل جذب خاک

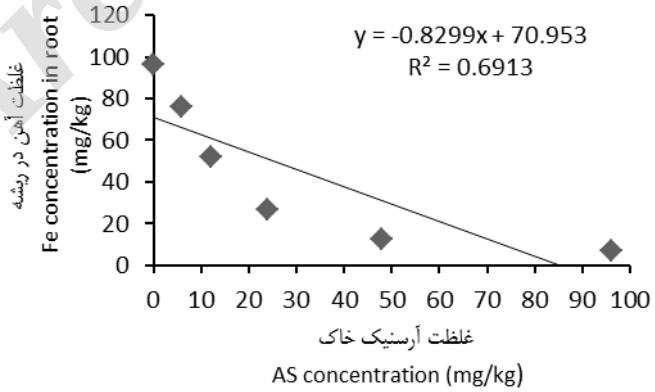
Table5- The effects ofsoil Aslevels of on soil available concentrations of P, Fe, Zn and Mn

سطوح آرسنیک خاک AS levels of soil	فاکتور انتقال فسفر P translocation factor	فسفر P	آهن Fe	روی Zn	منگنز Mn
0	0.68 a	15.02 d	7.51 a	0.95 a	6.0 a
6	0.53 b	16.14 d	6.14 b	0.85 b	5.7 ab
12	0.32 c	19.08 c	4.40 c	0.72 c	5.25 bc
24	0.26 d	22.81 b	2.3 d	0.56 d	4.6 cd
48	0.17 e	25 a	1.1 e	0.39 e	4.01 de
96	0.08 f	26.94 a	0.6 e	0.30 f	3.58 e

غلظت فسفر در ریشه با غلظت‌های کل و قابل جذب آرسنیک خاک و غلظت آرسنیک در ریشه و بخش هوایی همبستگی مثبت معنادار و با غلظت فسفر در بخش هوایی و وزن خشک ریشه و بخش هوایی همبستگی منفی معنادار داشت، بالعکس غلظت فسفر در بخش هوایی با غلظت‌های کل و قابل جذب آرسنیک خاک، غلظت آرسنیک در ریشه و بخش هوایی و غلظت فسفر در ریشه همبستگی منفی معنادار و با وزن خشک ریشه و بخش هوایی همبستگی مثبت معنادار داشت. این امر بیانگر تجمع فسفر در ریشه و کاهش انتقال آن به بخش هوایی گیاه با افزایش غلظت آرسنیک در خاک و گیاه است. (جدول ۳).

غلظت آهن ریشه و بخش هوایی گیاه

اثر سطوح آرسنیک خاک بر غلظت آهن ریشه و بخش هوایی گیاه ذرت در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۴). با افزایش غلظت آرسنیک خاک، غلظت آهن ریشه و بخش هوایی به طور معناداری کاهش یافت (شکل‌های ۸ و ۹). میزان کاهش غلظت آهن ریشه و بخش هوایی گیاهان کشت شده در خاک آلوده به ۹۶ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم نسبت به گیاهان کشت شده در خاک غیرآلوده، به‌ترتیب ۹۲/۷۵ و ۹۳/۸۷ درصد بود. با افزایش غلظت آرسنیک خاک، غلظت فسفر قابل جذب افزایش و غلظت آهن قابل جذب کاهش یافته است (جدول ۵) که احتمالا این امر در نتیجه‌ی رسوب نمودن این دو عنصر با یکدیگر است. تشکیل رسوب فسفات آهن در خاک، یا آرسنات آهن می‌تواند عامل کاهش غلظت آهن در گیاهان باشد. غلظت آهن در ریشه و بخش هوایی با غلظت‌های کل و قابل جذب آرسنیک خاک، غلظت آرسنیک ریشه و بخش هوایی، غلظت فسفر ریشه و غلظت منگنز ریشه و بخش هوایی همبستگی منفی معنادار و با غلظت فسفر بخش هوایی همبستگی مثبت معنادار داشت (جدول ۳). ساخت کلروفیل و رشد گیاهان در مقادیر کمتر از ۶۵ میلی‌گرم آهن بر کیلوگرم وزن خشک با مشکل مواجه می‌شود (۳۱). شایبور و همکاران (۲۸) نیز در بررسی اثر متقابل آرسنیک و آهن در گیاه جو در شرایط هیدروپونیک مشاهده کردند که با افزایش غلظت آرسنیک به ۳۳/۵ میکرومول در لیتر، غلظت آهن در بخش هوایی گیاه جو از ۸۰/۷ به ۴۴/۴ میکروگرم بر گرم وزن خشک، کاهش یافت. شایبور و همکاران (۳۰) گزارش نمودند که غلظت آهن در بخش هوایی گیاه سورگوم کشت شده در محیط آلوده به ۶۷ میکرومولار آرسنیک به‌طور معناداری کمتر از گیاهان شاهد بود.



شکل ۸- تاثیر سطوح آرسنیک خاک بر غلظت آهن ریشه ذرت

Figure 8- The effects of soil Aslevels on Fe concentrations of corn root

Archive of SID

www.SID.ir

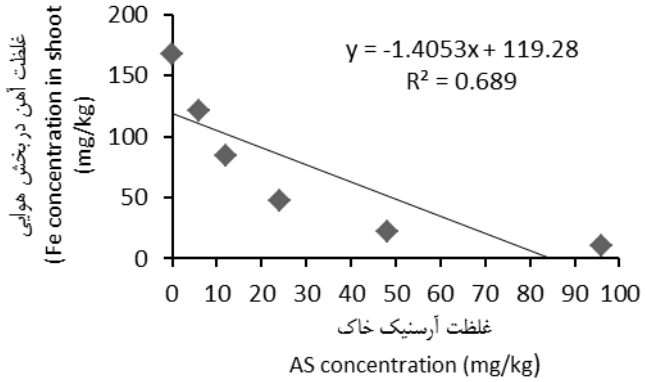
جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف آرسنیک خاک بر غلظت منگنز ریشه و بخش هوایی، متوسط ارتفاع بوته و وزن خشک ریشه و بخش هوایی گیاه ذرت

Table 7- The results of analysis of variance data indicating theeffects of different levels of soil As on concentration of Mn, mean height and root and shoot dry weights of corn plant

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares				
		غلظت منگنز ریشه Mn concentration of root	غلظت منگنز هوایی Mn concentration of Shoot	متوسط ارتفاع بوته Mean height of plant	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن خشک بخش هوایی Shoot dry weight
سطوح آرسنیک Levels of As	5	2130.05***	2188.14***	*** 1721.26	613.35***	1810.32***
خطای آزمایشی Error	12	7.47	9.99	7.23	2.56	7.07
ضریب تغییرات (٪) CV(%)	-	3.5	3	5.1	7.92	7.14

Archive of SID

www.SID.ir

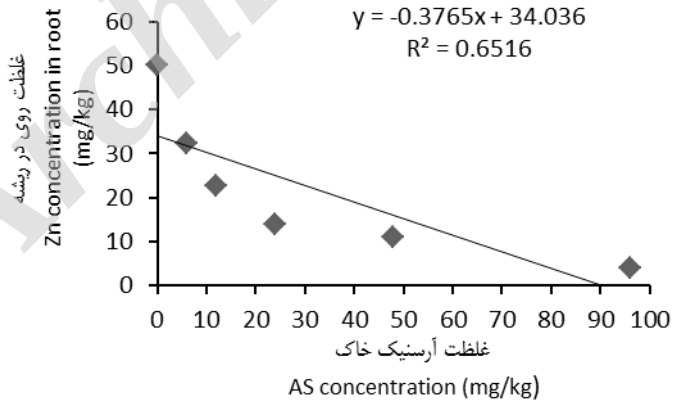


شکل ۹- تاثیر سطوح آرسنیک خاک بر غلظت آهن بخش هوایی ذرت

Figure 9- The effects of soil As levels on Fe concentrationsof corn shoot

غلظت روی ریشه و بخش هوایی گیاه

اثر سطوح آرسنیک خاک بر غلظت روی ریشه و بخش هوایی گیاه ذرت در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۴). با افزایش غلظت آرسنیک در خاک، غلظت روی ریشه و بخش هوایی به‌طور معناداری کاهش یافت (شکل‌های ۱۰ و ۱۱). بیشترین و کمترین غلظت روی ریشه و بخش هوایی به‌ترتیب مربوط به گیاهان کشت شده در خاک غیرآلوده و خاک آلوده به ۹۶ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم بود. میزان کاهش غلظت روی ریشه و بخش هوایی گیاهان کشت شده در خاک آلوده به ۹۶ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم نسبت به گیاهان کشت شده در خاک غیرآلوده، به‌ترتیب ۹۲ و ۸۸/۸ درصد بود. غلظت روی ریشه و بخش هوایی با غلظت‌های کل و قابل جذب آرسنیک خاک، غلظت آرسنیک در ریشه و بخش هوایی، غلظت فسفر ریشه و غلظت منگنز ریشه و بخش هوایی همبستگی منفی معنادار و با غلظت فسفر بخش هوایی همبستگی مثبت معنادار داشت(جدول ۳). با افزایش غلظت آرسنیک خاک، غلظت فسفر قابل جذب افزایش و غلظت روی قابل جذب کاهش یافته است (جدول ۵) که احتمالا این امر در نتیجه‌ی رسوب نمودن این‌دو عنصر با یکدیگر است. تشکیل رسوب فسفات روی در خاک، می‌تواند عامل کاهش غلظت روی در گیاه باشد. فسفر عنصر مهمی است که در جذب روی تداخل ایجاد می‌کند به‌طوری‌که اغلب، جذب روی توسط گیاهان با افزایش غلظت فسفر در خاک کاهش می‌یابد (۲۲). هالدر و مندل (۱۱) کاهش غلظت عناصر آهن و روی در ساقه‌های برنج را به کاهش قابلیت دسترسی آن‌ها در خاک در اثر کاربرد فسفر نسبت دادند.

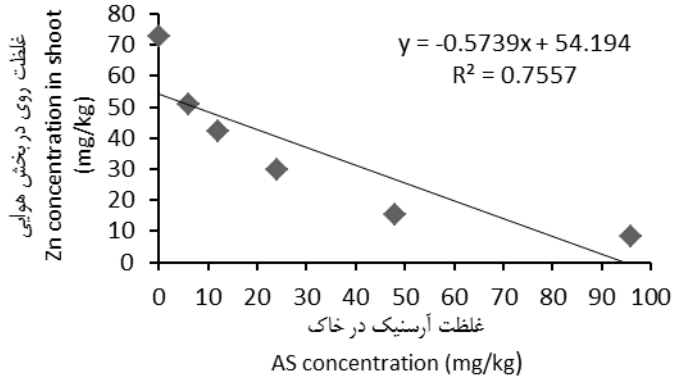


شکل ۱۰- تاثیر سطوح آرسنیک خاک بر غلظت روی ریشه ذرت

Figure 10- The effects of soil As levels on Zn concentrationsof corn root

Archive of SID

www.SID.ir

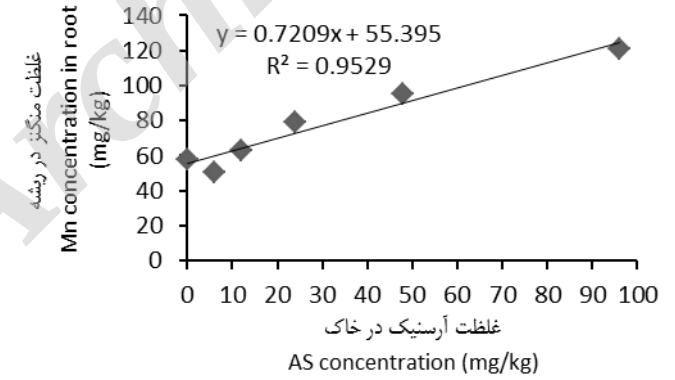


شکل ۱۱- تاثیر سطوح آرسنیک خاک بر غلظت روی بخش هوایی ذرت

Figure 11- The effects of soil As levels on Zn concentrationsof corn shoot

غلظت منگنز ریشه و بخش هوایی گیاه

اثر سطوح آرسنیک خاک بر غلظت منگنز ریشه و بخش هوایی گیاه ذرت در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۷). با افزایش غلظت آرسنیک خاک تا سطح ۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم، غلظت منگنز ریشه و بخش هوایی به‌طور معناداری کاهش و پس از آن افزایش یافت (شکل‌های ۱۲ و ۱۳)، به‌گونه‌ای که در ریشه از ۳۹/۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک غیرآلوده به ۹۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک آلوده به ۹۶ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم و در بخش هوایی از ۶۴/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک غیرآلوده به ۱۱۹/۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک آلوده به ۹۶ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک، افزایش یافت. با افزایش غلظت آرسنیک خاک، غلظت فسفر قابل جذب خاک افزایش و غلظت عناصر آهن، روی و منگنز قابل جذب خاک کاهش یافت (جدول ۵) ولی کاهش غلظت آهن و در درجه بعدی روی بسیار بیشتر از کاهش غلظت منگنز بود و از آن‌جا که این عناصر که آنالوگ منگنز هستند و در جذب با آن رقابت دارند (۸)، غلظت منگنز گیاه با افزایش غلظت آرسنیک در خاک، افزایش یافت. هنگامی‌که غلظت فسفر در محیط رشد بیش از حد باشد سبب بهم خوردن تعادل سایر عناصر غذایی شده و قابلیت دسترسی و جذب آن‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. بعنوان مثال مقادیر زیاد فسفر در خاک، قابلیت دسترسی و جذب منگنز را افزایش ولی قابلیت دسترسی و جذب آهن و روی را به‌طور معناداری کاهش می‌دهد (۱۷). شایبور و همکاران (۳۰) گزارش کردند که غلظت منگنز در ریشه و بخش هوایی گیاهان سورگوم با افزایش غلظت آرسنیک در محیط رشد، افزایش یافت.

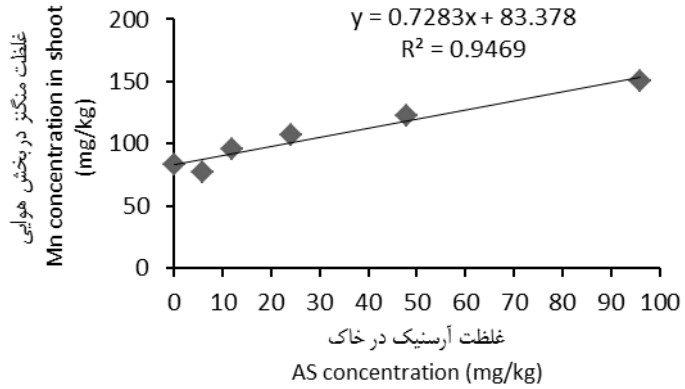


شکل ۱۲- تاثیر سطوح آرسنیک خاک بر غلظت منگنز ریشه ذرت

Figure 12- The effects of soil As levels on Mn concentrations of corn root

Archive of SID

www.SID.ir

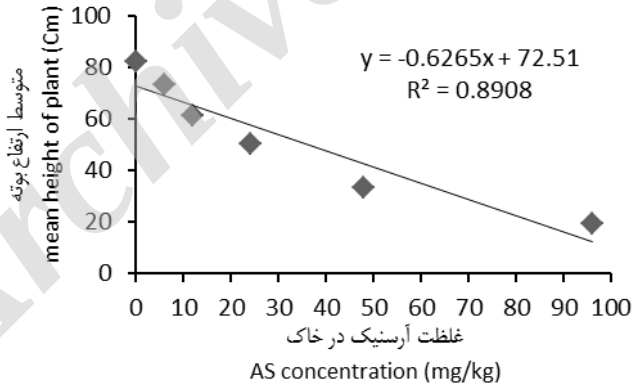


شکل ۱۳- تاثیر سطوح آرسنیک خاک بر غلظت منگنز بخش هوایی ذرت

Figure 13- The effects of soil As levels on Mn concentrations of corn shoot

متوسط ارتفاع بوته

اثر سطوح آرسنیک خاک بـر متوسـط ارتفـاع بوتـه گیـاه ذرت در سطح احتمال یک درصد معنادار بـود (جـدول ۷). بـا افـزایش غلظـت آرسنیک خاک، متوسط ارتفاع بوته گیاه به‌طور معناداری کاهش یافـت (شکل ۱۴). متوسط ارتفاع بوته گیاهان کشت شده در خاک‌های آلوده به سطوح ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸ و ۹۶ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم به‌ترتیب ۱۰/۷۴، ۲۵/۳۰، ۳۸/۹۹، ۵۹/۷۱ و ۷۶/۶۶ درصدکاهش یافت. شـایبور و همکاران (۲۸) در بررسی برهم‌کنش آرسنیک و آهن در گیاه جـو در شرایط هیدروپونیک مشاهده کردند که با افزایش غلظت آرسـنیک بـه ۳۳/۵ میکرومول در لیتر، ارتفاع بخش هوایی گیاه جو به‌طور معناداری کاهش یافت. جهان و همکاران (۱۶) اظهار نمودنـد کـه هنگـامی‌کـه گیاهان در معرض مقادیر بالای آرسنیک قرار می‌گیرند علائم سـمیت از جمله کاهش ارتفاع در آن‌ها بروز می‌کند. دیگر علائم ظاهری تنش آرسنیک که بسیار مشهود بود شـامل کلـروزه شـدن و نکـروزه شـدن برگ‌ها بود که کلروزه شدن در سطوح بیش از ۶ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم و نکروزه شدن در سطوح بیش از ۱۲ میلی‌گرم آرسـنیک بـر کیلوگرم مشاهده شدند و با افزایش سطح آرسنیک شدت بـروز آن‌هـا بیشتر شد. شایبور و همکاران (۳۰) اظهار نمودنـد کـه تـا غلظـت ۶/۷ میکرومولار آرسنیک هیچ‌گونه علائم ظاهری تنش آرسـنیک در گیـاه سورگوم مشاهده نشد.



شکل ۱۴- تاثیر سطوح آرسنیک خاک بر متوسط ارتفاع بوته

Figure 14- The effects of soil Aslevels on mean heights of corn

وزن خشک ریشه و بخش هوایی ذرت

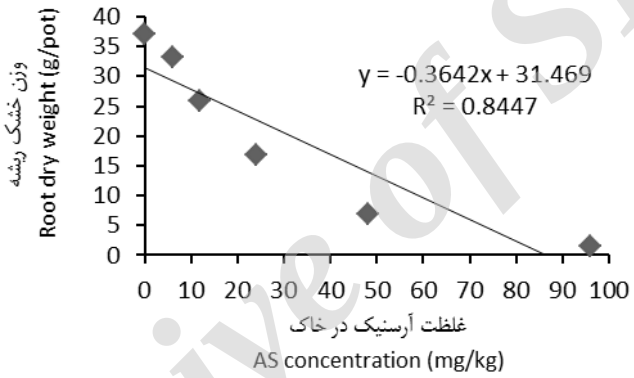
اثر سطوح آرسنیک خاک بر وزن خشـک ریشـه و بخـش هـوایی گیاه ذرت در سطح احتمـال یـک درصـد معنـادار بـود (جـدول ۷). بـا افزایش غلظت آرسنیک، وزن خشک ریشه و بخش هوایی گیاه به‌طور معناداری کاهش یافـت (شـکل‌هـای ۱۵ و ۱۶)، میـزان کـاهش وزن خشک ریشه و بخش هوایی گیاهان کشت شده در خاک‌های آلوده به ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸ و ۹۶ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم نسـبت بـه تیمـار شـاهد بـه‌ترتیـب ۱۰/۶۶، ۳۰/۲۰، ۵۴/۶۴، ۸۱/۶۵ و ۹۵/۹۴ درصـد و ۱۱/۳۰، ۲۷/۲۵، ۴۷/۱۴، ۷۷/۶۶ و ۹۵/۲۲ درصد بود که این امر نشان می‌دهد ریشه ذرت به سمیت آرسـنیک حسـاس‌تـر از بخـش هـوایی است. دلیل کاهش وزن خشک ریشه و بخش هـوایی گیاهـان کشـت شده در خاک‌های آلوده به آرسنیک، کاهش رشد آن‌ها بدلیل کـاهش

Archive of SID

www.SID.ir

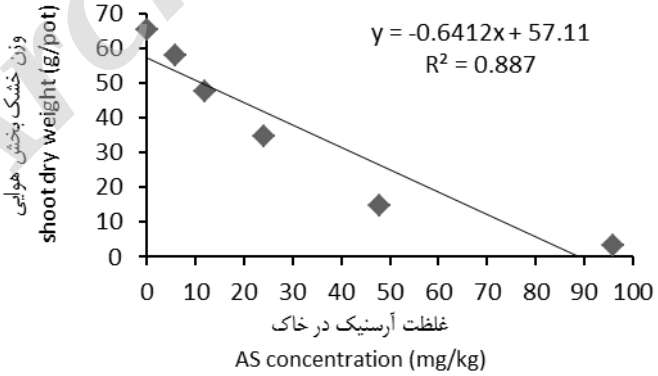
غلظت عناصر غذایی آهن و روی، تجمع بالای فسفر در ریشه و کاهش غلظت آن در بخش هوایی و تجمع بالای منگنز در ریشه و بخش هوایی در اثر کاربرد آرسنیک بود. وزن خشک ریشه و بخش هوایی ذرت با غلظت‌های کل و قابل جذب آرسنیک خاک، غلظت آرسنیک ریشه و بخش هوایی، غلظت فسفر ریشه و غلظت منگنز ریشه و بخش هوایی همبستگی منفی معنادار و با غلظت فسفر بخش هوایی، غلظت آهن و روی ریشه و بخش هوایی همبستگی مثبت داشت (جدول ۳).

آرسنیک با تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) نظیر پراکسید هیدروژن در گیاهان، سبب آسیب DNA، پروتئین‌ها و لیپیدها می‌شود (۳۴). آرسنات از نظر شیمیایی شبیه فسفات است و از عرض غشای پلاسما از طریق سیستم انتقال فسفر عبور داده می‌شود و درون سیتوپلاسم، با فسفات در ساختATP رقابت نموده وADP-As تولید می‌کند که منجر به قطع جریان انرژی در سلولهاو در نهایت مرگ آن‌ها می‌شود (۳۲). همچنین آرسنیک تمایل زیادی به گروه‌های سولفیدریل پروتئین‌های ریشه دارد و با اتصال به آن‌ها در عملکرد غشاء ریشه تداخل ایجاد کرده و بتدریج سبب نابودی گیاه می‌شود (۳۳). شایبور و همکاران (۳۰) گزارش کردند که با کاربرد ۳۳/۵ و ۶۷ میکرومولار آرسنیک در محیط رشد سورگوم، وزن خشک بخش هوایی به‌ترتیب ۵۲ و ۷۹ درصد و وزن خشک ریشه به‌ترتیب ۳۳ و ۶۸ درصد کاهش یافت. گالز و همکاران (۱۰) اظهار نمودند که مقادیر بالای آرسنیک در خاک برای تمامی گیاهان سمی است و سبب بروز کلروز، ممانعت از رشد و در نهایت مرگ آن‌ها می‌شود. رحمان و همکاران (۲۶) اظهار کردند که با کاهش غلظت آهن و روی در گیاهان کشت شده در خاک‌های آلوده به آرسنیک، ظرفیت فتوسنتز گیاه و متعاقبا رشد و وزن خشک آن کاهش یافت. مقادیر زیاد منگنز نیز بر فرایندهای متابولیکی گیاهان همانند فعالیت‌های آنزیمی و ترکیبات آلی تاثیر منفی دارد و می‌تواند سبب عقیم شدن آن‌ها شود.



شکل ۱۵- تاثیر سطوح آرسنیک خاک بر وزن خشک ریشه ذرت

Figure 15- The effects of soil As levels on root dry weightsof corn



شکل ۱۶- تاثیر سطوح آرسنیک خاک بر وزن خشک بخش هوایی ذرت

Figure 16- The effects of soil As levels on shoot dry weights of corn

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که ذرت یک گیاه بسیار حساس به آرسنیک است و رشد آن حتی در حضور غلظت پایین آرسنیک کاهش یافت. تجمع آرسنیک در ریشه ذرت بیشتر از

Archive of SID

www.SID.ir

بخش هوایی آن بود. آرسنیک غلظت عناصر غذایی در خاک و گیاه ذرت را تغییر داد، بگونه‌ای که غلظت فسفر قابل جذب خاک را افزایش و غلظت آهن، روی و منگنز قابل جذب خاک را کاهش داد. همچنین سبب کاهش انتقال فسفر به بخش هوایی، کاهش غلظت آهن و روی در ریشه و بخش‌هوایی شد. این اظهار که مسمومیت آرسنیک اجازه جذب مقادیر خطرناک آرسنیک را به گیاهان نمی‌دهد، در این مطالعه تایید نشد. هنگامی‌که ذرت در معرض آرسنیک قرار گیرد مقادیر غیر مجاز آرسنیک برای انسان و حیوان را در خود تجمع می‌دهد.

منابع

1- Abedin M.J., Cotter-Howells J., and Meharg A.A. 2002. Arsenic uptake and accumulation in rice (*Oryza sativa L.*) irrigated with contaminated water. Plant and Soil, 240: 311–319.

2- Babaakbari M., Farahbakhsh M., Savaghebi Gh.R., and Najafi N. 2013. Investigation of arsenic concentration in some of the calcareous soils of ghorveh and arsenic uptake by maize, wheat and rapeseed in a natural contaminated soil. Water and soil science, 23(4): 1-17. (in Persian with English abstract)

3- Bremner J.M. 1996. Nitrogen – Total. p. 1085-1122. In D.L. Sparks et al. (ed.) Methods of Soil Analysis. ASA and SSSA, Madison, WI.

4- Cong T.u., and Lena Q.M. 2003. Effects of arsenate and phosphate on their accumulation by an arsenic-hyperaccumulator *Pteris vittata* L. Plant and Soil, 249: 373–382.

5- Das D.K., Sur P., Das K. 2008. Mobilization of arsenic in soils and in rice (*Oryza sativa L.*) plants affected by organic matter and zinc application in irrigation water contaminated with arsenic. Plant, Soil and Environment, 54:30–37.

6- Duel L.E., and Swoboda A.R. 1972. Arsenic toxicity to cotton and soybeans. Journal of environmental Quality, 1:317-320.

7- Fitz W.J., and Wenzel W.W. 2002. Arsenic transformations in the soil rhizosphere plant system: fundamentals and potential application to phytoremediation. Journal of Biotechnology, 99:259-278.

8-Frausto da Silva J.J.R., and Williams R.J.P. 2001. The Biological Chemistry of the Elements: The Inorganic Chemistry of Life.Oxford University Press. New York.

9- Gao Y., and Mucci A. 2001. Acid base reactions, phosphate and arsenate complexation, and their competitive adsorption at the surface of goethite in 0.7 M NaCl solution.Geochimica et Cosmochimica Acta, 65:2361–2378.

10- Gulz A., Gupta S.K., and Schulin R. 2005. Arsenic accumulation of common plants from contaminated soils Petra. Plant and Soil, 272:337–347.

11- Haldar M., and Mandal L.N. 1981. Effect of Phosphorus and Zinc on the growth and Phosphorus, Zinc, Copper, Iron and Manganese nutrition of rice. Plant and Soil, 59:415-425.

12- Helmke P.H., and Spark D.L. 1996. Potassium. p. 551-574. In D.L. Sparks et al. (ed.) Methods of Soil Analysis. ASA and SSSA, Madison, WI.

13- Hingston F.J., Posner A.M., and Quirk J.P. 1971.Competitive adsorption of negatively charged ligands on oxide surfaces. Discussions of the Faraday Society, 52:334–342.

14- Hosseinpur feyzi M., Mosaferi M., Dastgiri S., Zolali Sh., Poladi N., and Azarfam P. 2007. The prevalence of health problems in the Qopuz village of East Azerbaijan and its relation with arsenic levels in drinking water. Iranian journal Epidemiology, 3:21-27.(in Persian with English abstract)

15- Hudson Edwards K.A., Houghton S.L., and Osborn A. 2004. Extraction and analysis of arsenic in soils and sediments. Trends in Analytical Chemistry, 23:745-752.

16- Jahan I., Hoque S., Ullah S.M., and Kibria M.G. 2003. Effects of arsenic on some growth parameters of rice plant. Dhaka University Journal of Biological Sciences, 12:71-77.

17- Jones B. 1998. Phosphorus toxicity in tomato plants: when and who does it occur? Communication in Soil Science and Plant analysis, 29:1779-1784.

18- Karimi Nezhad MN., Ghahroudi M., Tali M., Mahmoudi H., and Pazira E. 2010. Spatial variability of As and Cd concentrations in relation to land use, parent material and soil properties in topsoils of northern Ghorveh, Kurdistan Province, Iran. World Applied Sciences Journal, 11:1105-1113.

19- Klute A. 1986. Physical and mineralogical method. P. 383-411. In G.S. Campbell et al.(eds.) Methods of soil analysis. Part 1.2nd ed. ASA and SSSA, Madison, WI .USA.

20- Li Y., James D.R., and Redwine B. 2007. In situ chemical fixation of arsenic-contaminated soils: An experimental study, Science of the Total Environment, 387:28-41.

21- Lindsay W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of America Journal, 42:421-428.

22- Mousavi R., Galavi M., and Rezaei M. 2012. The interaction of zinc with other elements in plants: a review. International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 4 (24):1881-1884.

Archive of SID

www.SID.ir

23- Nelson R.E. 1982. Carbonate and gypsum. p. 181-196. In A.L. Page et al. (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2.2nd ed. Chemical and microbiological properties. Agronomy monograph no. 9. SSSA and ASA. Madison, WI.
24- O'Neill P. 1995. Arsenic. p. 105-121. In B.J. Alloway (ed.) Heavy Metals in Soils. Blackie Academic & Professional, London, U.K.
25- Page A.L., Miller R.H., and Keeney D.R. 1982. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical microbiological properties. American Society of Agronomy.Inc. Soil Science of America.Inc. Madison. Wisconsin. USA.
26- Rahman M.A., Hasegawa H., Rahman M.M., Islam M.N., Miah M.A.M., and Tasmen A. 2007. Effect of arsenic on photosynthesis, growth and yield of five widely cultivated rice (*Oryza sativa* L.) varieties in Bangladesh. Chemosphere, 67:1072–1079.
27- Sadiq M, 1986. Solubility relationships of arsenic in calcareous soils and its uptake by corn. Plant and Soil, 91:241-248.
28- Shaibur M.R., Kiltajima N., Huq S.M.I., and Kawai S. 2009. Arsenic–iron interaction: Effect of additional iron on arsenic-induced chlorosis in barley grown in water culture. Soil Science and Plant Nutrition, 55:739–746.
29- Shaibur M.R., Kitajima N., Sugawara R., Kondo T., Huq S.M.I., and Kawai S. 2006. Physiological andmineralogical properties of arsenic-induced chlorosis in rice seedlings grown hydroponically. Soil Science and Plant Nutrition, 52:691–700.
30- Shaibur MR., Kitajima N., and Sugawara R. 2008a. Critical toxicity level of arsenic and elemental composition of arsenic induced chlorosis in hydroponic sorghum. Water, Air Soil Pollution, 191:279–292.
31- Shaibur MR., Kitajima N., Sugawara R., Kondo T., Imamul-Huq S.M., and Kawai S. 2008b. Physiological and mineralogical properties properties of arsenic-induced chlorosis in barley seedlings grown hydroponically. Journal of Plant Nutrition, 31:333–353.
32- Sneller F.E.C., Van Heerwaarden L.M., Kraaijeveld-Smit F.J., Ten Bookum W.M., Koevoets P.L.M, Schat H., and Verkleij J.A.C. 1999. Toxicity of arsenate in *Silene vulgaris*, accumulation and degradation of arsenate-induced phytochelatins. New Phytologist, 144:223–232.
33- Speer H.L. 1973. The effect of arsenate and other inhibitors on early events during the germination of lettuce seeds (*Lactuca sativa L.*). Journal of Plant Physiology, 52:142–146.
34- Srivastava S., Mishra S., Tripathi R.D., Dwivedi S., Trivedi P.K. and Tandon P.K. 2007. Phytochelatins and antioxidant systems respond differentially during arsenite and arsenate stress in Hydrilla verticillata (L.f.) Royle. Environmental Science & Technology, 41:2930-2936.
35- Tang C., Robson A.D., and Dilworth M.J. 1990. The role of iron in nodulation and nitrogen fixation in Lupinus L. New Phytologist, 114:173–182.
36- Tang T., and Miller D.M. 1991. Growth and tissue composition of rice grown in soil treated with inorganic copper, nickel, and arsenic. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 22:2037-2045.
37- Wenzel W.W., Kirchbaumer N., Prohaska T., Stingeder G., Lombi E., and Adriano D.C. 2001. Arsenic fractionation in soils using an improved sequential extraction procedure. Analytica Chimica Acta, 436:309-323.
38- Wu G.R.,Hong H.L., and Yan C.L. 2015. Arsenic accumulation and translocation in mangrove (*Aegiceras corniculatum* L.) grown in Arsenic Contaminated Soils. International Journal of Environmental Research and PublicHealth, 12(7):7244–7253.

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of Water and Soil
Vol. 31, No. 2, May.-Jun. 2017, p. 627-643

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۶، ص. ۶۴۳-۶۲۷

The Effect of Arsenic on Phosphorus, Iron, Zinc and Manganese Concentrations in Soil and Corn Plant

T. Mansouri[1*]- A. Golchin[2]- M. Babaakbari Sari[3]

Received: 05-06-2016
Accepted: 25-09-2016

Introduction: Arsenic (As) is the twentieth element in earth's crust and the contamination of soils and ground waters by it is common and disturbing. In addition to geological factors and soil parent material, human activities such as mining and smelting, coal combustion and the use of arsenic-containing compounds such as insecticides, pesticides, wood preservations and etc lead to the accumulation of high levels of this metal in the soils. Long-term exposure to As can lead to skin, bladder, lung, and prostate cancers.The presence of As in soil and water causes its transfer to different parts of the plant. Because of the crucial role of corn in human nutrition, investigation of the uptake, transport and accumulation of As in different parts of this plant is very important, thus this study was carried out with the aims of evaluating the response of corn to the presence of As in the environment and its impact on concentrations of phosphorus (P), iron (Fe), zinc (Zn) and manganese (Mn) in this plant.

Materials and Methods: Soil samples were collected and after air drying, passed through a 2 mm sieve and analyzed for some physico-chemical properties. The samples were then artificially contaminated by different levels of arsenic (0, 6, 12, 24, 48 and 96 mg/kg) using $Na_2HAsO_4.7H_2O$ salt and incubated for 6 months, and then planted to corn. Before planting, the concentration of available As was determined. At the end of growth period, mean height of plants was measured and then the above and below ground parts of plants were harvested, washed, dried and digested using a mixture of HNO_3 and H_2O_2. The concentrations of As, P, Fe, Zn and Mn in plant extracts were measured. Statistical analyses of data were performed using SAS software and comparison of means carried out using Duncan's multiple range test.

Results and Discussion: The results indicated that As concentration increased both in root and in shoot with increasing As concentration. The highest As concentrations in corn root and shoot were 383.41 and 59.56 mg/kg, respectively. Arsenic accumulation in root was higher than the shoot, so that the concentrations of arsenic in the roots of plants grown at 6, 12, 24, 48 and 96 mg As/ kg of soil, were 1.88, 1.99, 3.13, 4.96 and 6.44 times higher than their concentrations in shoot, respectively. Corn was sensitive to As stress and growth of it reduced by increasing the level of soil As. Mean heights of plants grown in soils polluted with 6, 12, 24, 48 and 96 mg As/kg decreased compared to control by 10.74, 25.30, 38.99, 59.71 and 76.66%, respectively. The rate of reduction of dry weights of roots of plants grown in soils polluted with 6, 12, 24, 48 and 96 mg As/kg were 10.66, 30.20, 54.64, 81.65, 95.94 % and ones of shoot were 11.30, 27.25, 47.14, 77.66 and 95.22%, respectively, which showed corn root was more sensitive to As than shoot. Arsenic uptake by root and shoot increased with increasing the As levels to 48 and 24 mg/kg, respectively, but at higher levels of As it decreased, this showed that up to these levels, increasing arsenic concentrations in plant parts surpassed from the decreasing dry weights of them and the amount of uptake obtained by multiplying these two factors, increased. Phosphorus concentrations in root and shoot increased and decreased, respectively, with increasing soil As concentration, and this matter showed As reduced P translocation from the root to the shoot of plants. Iron and Zinc concentrations in root and shoot decreased but Manganese concentration increased with increasing soil As concentration.

Conclusions: The results of this study showed that the corn plant is very sensitive to arsenic and its growth decreased even in the presence of low concentrations of arsenic. Arsenic accumulation in root was higher than the shoot. Arsenic changed the concentration of nutrients in the soil and the corn, So that increased the available P concentration and reduced the available concentrations Fe, Zn and Mn. It also reduced the translocation of P, the concentration of Fe and Zn in the root and shoot. The statement that toxicity limits plant As uptake to safe levels was not confirmed in our study. If corn plants are exposed to a large concentration of As, they may accumulate residues which are unacceptable for animal and human consumption.

Keywords: Arsenic, Corn, Nutrient concentration, Pollution

1, 2 and 3- PhD. Student, Professor and Assistant Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, University of Zanjan
(*-Corresponding author Email: t.mansouri2010@gmail.com)

Archive of SID

www.SID.ir