دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
مجله پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد نوزدهم، شماره دوم، ۱۳۹۱
http://jopp.gau.ac.ir

بررسی اثر فسفر بر جذب و تجمع آرسنیک در دو رقم گندم (*Triticum aestivum* L.)

شهلا مهدیه[۱]، *سیدمجید قادریان[۲] و ناصر کریمی[۳]

[۱]فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، [۲]دانشیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، [۳]استادیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه رازی کرمانشاه

چکیده

آرسنات و فسفات دو ترکیب با خصوصیات شیمیایی بسیار مشابه هستند که بررسی اثر متقابل آن‌ها بر یکدیگر جهت درک نحوه‌ی جذب و تجمع آن‌ها در گیاهان مهم است. در این مطالعه اثر متقابل آرسنات و فسفات بر روی بیوماس و تجمع آن‌ها در دو رقم زرین و سرداری گندم مورد بررسی قرار گرفت. گیاهان به مدت سه هفته در محیط‌های غذایی هوگلند رشد کردند و سپس تحت تاثیر تیمارهای مختلف آرسنات (۰ تا ۲۵۰ میکرومولار) و فسفات (۰ تا ۳۰۰ میکرومولار) قرار گرفتند. نتایج نشان داد که فسفر اثر معنی‌داری بر تجمع آرسنیک در ریشه و ساقه و بیوماس ریشه و ساقه دارد. غلظت‌های کم (۰ تا ۵۰ میکرومولار) فسفات اثر کمی بر تجمع آرسنات و بیوماس در هر دو رقم گندم داشت، ولی غلظت‌های بالاتر فسفات (۱۵۰ و ۳۰۰ میکرومولار) به‌طور معنی‌داری باعث افزایش بیوماس گیاه و کاهش تجمع آرسنیک همراه با کاهش سمیت آن شد. همچنین غلظت‌های کم آرسنات تأثیر معنی‌داری بر تولید بیوماس و جذب فسفات نداشت، اما در غلظت‌های بالا، آرسنات به‌دلیل سمیتی که ایجاد می‌کند باعث کاهش جذب فسفات و بیوماس گیاه شد. به‌طور کلی نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که به کارگیری غلظت‌های مناسب فسفر در محیط کشت‌های آلوده به آرسنیک می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد مهم در کاهش تجمع آرسنیک در بافت‌های قابل برداشت گندم عمل کرد.

واژه‌های کلیدی: آرسنات، فسفات، بیوماس، جذب، گندم

*مسئول مکاتبه: ghaderian@sci.ui.ac.ir

مقدمه

آرسنیک یک شبه‌فلز سمی و غیرضروری با حالات اکسیداسیون متفاوت (۳-، ۳+، ۵+ و ۰) است (تو و همکاران، ۲۰۰۲) که به‌وسیله‌ی منابع طبیعی (آتشفشان‌ها) و منابع مصنوعی (حشره‌کش‌ها و علف‌کش‌ها) در طبیعت تولید می‌شود (مهارگ و مکنیر، ۱۹۹۲). انسان از طریق فعالیت‌های معدن‌کاری در مناطق آلوده و مصرف آب آشامیدنی و مواد غذایی آلوده به آرسنیک در معرض این سم خطرناک قرار می‌گیرد (زائو و همکاران، ۲۰۰۹). آرسنیک با ایجاد اختلال در سیستم عصبی، گردش خون، گوارش و پوست، سلامتی انسان را تهدید می‌کند به‌طوری‌که در مسمومیت‌های حاد باعث مرگ افراد می‌شود (عابدین و همکاران، ۲۰۰۲). اگر چه آلودگی آرسنیک بیشتر متعلق به کشورهای جنوب شرقی آسیا (هندوستان، پاکستان و بنگلادش) می‌باشد ولی در مناطقی از ایران (استان‌های کردستان و خراسان) نیز آلودگی خاک و آب به این آلاینده گزارش شده است (کریمی و همکاران، ۲۰۱۰). به‌طوری‌که در اطراف شهرستان‌های قروه و بیجار در استان کردستان مناطقی وجود دارند که به طور طبیعی (ناشی از فعالیت‌های زمین شناسی) آلوده به آرسنیک هستند. غلظت آرسنیک در خاک برخی از این مناطق به بیشتر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در آب برخی از چشمه‌ها این مقدار به بیش از ۱۰۰۰ میکروگرم بر لیتر می‌رسد (مسافری و همکاران، ۲۰۰۳). این در حالی است که میزان استاندارد آرسنیک در خاک و آب طبق استاندارد جهانی به ترتیب ٤٠ میلی گرم بر کیلوگرم و ۱۰ میکروگرم بر لیتر است. آب‌های زیرزمینی در این مناطق به مقدار زیادی جهت آشامیدن، پخت و پز و آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از آب‌های سطحی و زیرزمینی آلوده به آرسنیک جهت آبیاری مزارع کشاورزی باعث افزایش غلظت این آلاینده در خاک شده (ولسون و همکاران، ۱۹۷۳) و انتقال آن به بخش‌های مختلف گیاه را افزایش می‌دهد که در نتیجه منجر به مختل شدن رشد طبیعی گیاه با علائم سمیتی نظیر کاهش بیوماس ریشه و ساقه، نکروزه شدن جوانه‌های برگی، کاهش سطح فتوسنتز و غیره می‌شود (بیکر و همکاران، ۱۹۷٦؛ کاربونل باراچینا و همکاران، ۱۹۹۸).

آرسنیک و فسفر هر دو متعلق به گروه پنجم جدول تناوبی عناصر شیمیایی هستند که به‌دلیل خصوصیات شیمیایی مشابه رفتار مشابهی در خاک و گیاهان دارند. برخلاف آرسنیک، فسفر یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاه بوده و معمولاً نقش محدود کننده‌ای در رشد و نمو آن دارد (مهارگ و مکنیر، ۱۹۹۲). در اکثر مزارع کشاورزی دنیا به‌دلیل واکنش فسفر با کاتیون‌هایی مانند آلومینیوم و غیرمحلول شدن، از دسترس گیاه خارج می‌شود و چنین خاک‌هایی با کمبود فسفر مواجه هستند

(وانگ و دوان، ۲۰۰۹). بنابراین تلقیح کودهای شیمیایی فسفر به خاک یکی از راهبردهای مؤثر کشاورزان برای افزایش محصولات کشاورزی (به‌خصوص گندم) می‌باشد (لیهونگ و گویلان، ۲۰۰۹). آرسنیک و فسفر هنگام جذب از طریق غشاء سلول گیاهی با یکدیگر رقابت می‌کنند و معمولاً جذب آرسنیک با افزایش تیمار فسفر مهار می‌شود (چن و ویی، ۲۰۰۰؛ گنگ و همکاران، ۲۰۰۵). مشخص شده است که آرسنات (فرم غالب آرسنیک در خاک‌های هوازی) به‌عنوان آنالوگ فسفات عمل می‌کند و از طریق سیستم جذبی فسفات جذب ریشه گیاه می‌شود (مهارگ و مکنیر، ۱۹۹۰؛ کریمی و همکاران، ۲۰۰۹؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۲). بنابراین رفتار فیزیولوژیکی آرسنیک و فسفر در گیاهان مختلف بسیار متفاوت است و بررسی دقیق اثر متقابل فسفر و آرسنیک بر جذب و انتقال آن‌ها در گیاهان اطلاعات مفیدی را در مورد مکانیسم‌های سازگاری و مقاومت به غلظت‌های مختلف این عناصر فراهم می‌کند. در این رابطه نیز بررسی محققان نشان دادند که غلظت‌های کم آرسنیک در خاک منجر به دسترسی بیشتر گیاه به فسفات، افزایش بیوماس و رشد گیاه می‌شود (دوئل و سوبودا، ۱۹۷۲). در مطالعه‌ای در یک گیاه بیش انباشت‌گر آرسنیک ***Pteris vittata*** در محیط آبکشت مشاهده شد که غلظت‌های بالای آرسنیک منجر به کاهش غلظت فسفر در ریشه‌ی گیاه می‌شود (تو و ما، ۲۰۰۳ و ۲۰۰٤).

گندم یکی از محصولات مهم کشاورزی در مناطق آلوده به آرسنیک ایران (استان‌های کردستان و آذربایجان غربی) می‌باشد که بیشترین سطح زیر کشت (حدود ۹۰ درصد) محصولات زراعی این مناطق را به خود اختصاص داده است. به دلیل نقش بسیار مهم گندم در تغذیه انسان، بررسی نحوه جذب، انتقال و تجمع آرسنیک در بخش‌های مختلف این گیاه بسیار مهم است تا بتوان با ارائه راهکارهایی و با استفاده از تیمار فسفر توانایی مقاومت گندم را برای کاهش جذب، انتقال و تجمع آرسنیک افزایش داد.

هدف از انجام این مطالعه (۱) بررسی اثر متقابل غلظت های مختلف فسفر و آرسنیک بر رشد و میزان بیوماس ریشه و ساقه دو رقم گندم زرین و سرداری (۲) تعیین الگوی تجمع آرسنیک و فسفر در بخش‌های ریشه‌ای و هوایی ارقام مورد بررسی گندم تحت تیمار های مختلف و (۳) اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر میزان تجمع آنها در بخش‌های ریشه‌ای و هوایی گندم در شرایط آبکشت بود.

مواد و روش‌ها

کاشت گیاهان در شرایط آبکشت: به منظور جوانه‌زنی و به دست آوردن دانه‌رست‌های مناسب برای انتقال به محیط آبکشت، بذرهای دو رقم زرین و سرداری گندم در محلول ۱۰ درصد آب اکسیژنه به مدت ۱۵ دقیقه استریل و به محیط کشت پرلیت منتقل شدند. پس از ۱۰ روز دانه رست‌ها به محلول غذایی در ظروف غیر قابل نفوذ به نور با حجم ۷۵۰ میلی‌لیتر منتقل و در هر ظرف تعداد ۳ گیاه قرار داده شد به نحوی که ریشه آن‌ها به‌طور کامل درون محلول غذایی قرار گرفت. محلول غذایی استفاده شده شامل محلول غذایی هوگلند تغییر یافته (کریمی و همکاران، ۲۰۰۹) بود که ترکیب آن عبارت بود از:

۰/۵ میلی‌مولار KNO_3، ۰/۵ میلی‌مولار $Ca(NO_3)_2$، ۰/۵ میلی‌مولار $MgSO_4$، ۰/۱ میلی‌مولار KH_2PO_4، ۱۰ میکرومولار H_3BO_3، ۲ میکرومولار $MnCl_2$، ۱ میکرومولار $ZnSO_4$، ۰/۵ میکرومولار $CuSO_4$، ۰/۲ میکرومولار $Na_2MoO_4.\ 2H_2O$ و ۱۰ میکرومولار FeEDDHA[1]

تیمار غلظت‌های مختلف آرسنیک و فسفر: پس از یک هفته رشد دانه‌رست‌ها در محیط آبکشت و سازگاری با این محیط، غلظت‌های مختلف آرسنات و فسفات (جدول ۱ محلول‌های A-Q) از تغییر در غلظت نمک‌های $Na_2HAsO_4\ 7H_2O$. و $K_2HPO_4.7H_2O$ تهیه و به محلول غذایی اضافه شد. غلظت آرسنات در محلول‌هایی که مقادیر فسفات آن‌ها تغییر می‌یافت (محلول‌های A-D)، ثابت نگه داشته شد. بدین طریق (با ثابت نگه داشتن یکی از متغیرها) پتانسیل اسمزی محلول‌ها در حد قابل قبولی ثابت شد تا در بررسی اثر تیمارهای آرسنات و فسفات میزان خطاها به حداقل کاهش یابد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی در محیط کنترل شده‌ی اتاق رشد شامل ۱۶ ساعت دوره روشنایی و شدت نور حدود ۱۵۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه که توسط لامپ‌های فلورسانت تأمین می‌شد، انجام شد. دما در دوره نور- تاریکی به‌ترتیب ۲۲-۱۶ درجه سانتی‌گراد بود. محلول‌های غذایی به‌طور دائمی هوادهی و هر ۳ روز یکبار تعویض شدند. اسیدیته محلول‌ها بوسیله اسیدکلریدریک و هیدروکسید پتاسیم در ۵/۶ ثابت نگه داشته شد. گیاهان ۳ هفته پس از اعمال تیمار با آب مقطر شستشو و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت خشک شدند و سپس وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. هر کدام از تیمارها شامل سه تکرار و در هر تکرار از ۳ گیاه استفاده شد. میانگین‌های مورد استفاده برای هر تکرار شامل میانگین از ۳ گیاه قرار داده شده در هر

1- Ferric ethylenediamine–di-2-hydroxyphenylacetate

ظرف بود. برای اندازه‌گیری مقادیر عناصر نیز کل ماده خشک تولید شده در بخش‌های هوایی ۳ گیاه موجود در هر تیمار با هم مخلوط شد و به‌عنوان یک تکرار در نظر گرفته شد.

جدول ۱- غلظت‌های مختلف آرسنات و فسفات (میکرومولار) در محلول تغییر یافته هوگلند.

	محلول غذایی															
متغیرها	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
آرسنیک	۰	۰	۰	۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰
فسفر	۰	۵۰	۱۵۰	۳۰۰	۰	۵۰	۱۵۰	۳۰۰	۰	۵۰	۱۵۰	۳۰۰	۰	۵۰	۱۵۰	۳۰۰

اندازه‌گیری غلظت آرسنیک در نمونه‌های گیاهی: اندازه‌گیری مقدار کل آرسنیک در هر یک از نمونه‌ها به وسیله روش هضم اسیدی انجام شد (مهارگ و جاردین، ۲۰۰۳). حدود ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم از هر یک از نمونه‌ها با ۲ میلی‌لیتر از اسید نیتریک غلیظ (٦٥٪) مخلوط گردید. نمونه‌های حاصله پس از هضم اسیدی با ۲ میلی‌لیتر آب اکسیژنه (۳۰٪) مخلوط شدند و در دستگاه ماکروویو به مدت ۲ ساعت (٤٠ دقیقه در ۵۰ درجه، ٤٠ دقیقه در ۸۰ درجه و ٤٠ دقیقه در ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفتند. پس از سرد شدن، به‌وسیله محلول ۱۰٪ اسیدکلریدریک، ۵٪ اسید آسکوربیک و ۱۰٪ یدید پتاسیم رقیق شدند. سپس غلظت آرسنیک نمونه‌های حاصله به وسیله دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی (شیمادزو [1] ٦٢٠٠) به همراه دستگاه تولید هیدرید (اف آی جی [2] ١٠٠) در طول موج ۱۹۳/۷ اندازه‌گیری شد .

سنجش فسفر در نمونه‌های گیاهی: اندازه‌گیری فسفر در نمونه‌های گیاهی به روش چاپمن (چاپمن و پرات، ۱۹٦۱) و قرائت توسط دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد. بدین‌منظور ۰/۵ گرم از خاکستر حاصل از نمونه‌های گیاهی با ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال مخلوط و بعد از ۱۵ تا ۲۰ دقیقه با استفاده از آب دیونیزه به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. پس از ۳۰ دقیقه با کاغذ صافی صاف گردید. جهت سنجش غلظت فسفر نمونه‌ها، ۵ میلی‌لیتر از محلول هضم شده‌ی گیاهی با ۵ میلی‌لیتر معرف بارتن (آمونیوم مولیبدات+ آمونیوم وانادات+ اسید نیتریک+ آب مقطر) در بالن ژوژه‌ی ۵۰ میلی‌لیتری

1- Shimadzu 6200
2- FIG 100

ریخته و به خوبی مخلوط شد تا رنگ زرد ظاهر شود. سپس با استفاده از آب مقطر بالن را به حجم رسانده و محلول حاصل به مدت ۳۰ دقیقه به حال خود رها گردید. پس از آن جذب نمونه در طول موج ٤٧٠ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (سکومام-پرایم[1]) قرائت گردید. سپس عدد قرائت شده توسط منحنی استاندارد فسفر به میکروگرم بر گرم تبدیل و در نهایت مقدار فسفر گیاه محاسبه شد.

تجزیه آماری داده‌ها: تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS انجام گرفت. آزمایش‌ها در محیط آبکشت و در یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. سه عامل مورد بررسی شامل غلظت‌های مختلف فسفر (در چهار سطح)، غلظت‌های مختلف آرسنیک (در چهار سطح) و رقم (در دو سطح) در نظر گرفته شدند.

نتایج و بحث

اثر متقابل آرسنات و فسفات بر تولید بیوماس بخش هوایی و ریشه‌ای دو رقم گندم: نتایج تجزیه واریانس بر هم‌کنش آرسنات و فسفات بر میزان بیوماس بخش هوایی و ریشه‌ای دو رقم (جدول ۲) نشان داد که اثر هر یک از سه عامل فسفر، آرسنیک و رقم بر تولید بیوماس در گیاه گندم معنی‌دار است. با افزایش تیمار آرسنیک در محیط رشد ابتدا بیوماس ریشه و ساقه افزایش و سپس کاهش یافت، به‌طوری‌که در بیشترین سطح تیمار آرسنیک (۲۵۰ میکرومولار) بیوماس ریشه و ساقه در رقم زرین به‌ترتیب ٢٤/٤ و ١٥/٦٤ درصد و در رقم سرداری ١٦/٢٢ و ١١/٢ درصد نسبت به کنترل کاهش یافت. مقاومت رقم زرین در برابر تیمارهای مختلف آرسنیک بیشتر از سرداری بود و اختلاف معنی‌داری با یکدیگر از این نظر داشتند. افزایش بیوماس در تیمار پایین آرسنیک (۵۰ میکرومولار) اختلاف معنی‌داری با حالت کنترل نداشت (شکل ۱). چنین حالتی در مطالعه کاربونل باراچینا و همکاران (۱۹۹۸) نیز به اثبات رسیده است. بیوماس (وزن خشک) یکی از عوامل کلیدی نشان دهنده وضعیت سلامت گیاه و میزان مقاومت آن در برابر تنش‌های مختلف است. همچنین در بحث‌های مربوط به بر هم‌کنش فلزات سنگین و گیاهان بیوماس نقش مهمی در بیان توانایی انباشت فلز و مقاومت گیاه در برابر آن را دارد (بیکر و همکاران، ١٩٧٦). در محیط‌های رشد گلدانی (خاک) به نظر می‌رسد که تیمار غلظت‌های پایین آرسنیک باعث آزاد شدن و قابل دسترس شدن بیشتر فسفر در

1- SECOMAM-PRIM

اطراف ریشه گیاه شده و به جذب بیشتر فسفر، افزایش رشد و بیوماس گیاه کمک کند اما در محیط‌های رشد آبکشت که همه آرسنیک موجود در محیط به صورت محلول و قابل دسترس است چنین حالتی نمی‌تواند مؤثر باشد (کاربونل باراچینا و همکاران، ۱۹۹۸). با مطالعات انجام شده تاکنون دلیل خاصی برای این افزایش بیوماس در محیط‌های رشد آبکشت پیدا نشده ولی به نظر می‌رسد که به اثر متقابل فسفر و آرسنیک و رقابت آن‌ها برای جذب توسط گیاه مربوط باشد. مقایسه بیوماس ریشه و ساقه در تیمارهای مشابه آرسنیک (شکل ۱) نشان داد به‌دلیل اینکه ریشه اولین نقطه گیاه است که با سم آرسنیک در محلول غذایی تماس دارد بیوماس ریشه بیشتر از ساقه کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از اثر فسفات بر تولید بیوماس در دو رقم گندم (شکل ۱)، نشان داد که با افزایش غلظت فسفر در حضور غلظت‌های ثابت آرسنیک میزان بیوماس افزایش می‌یابد. افزایش غلظت آرسنیک در محلول غذایی در حضور غلظت‌های مختلف فسفر اگرچه باعث کاهش بیوماس گیاهان هر دو رقم می‌شود ولی این کاهش بیوماس در غلظت‌های بالای فسفر کمتر است. تیمار ۲۵۰ میکرومولار آرسنیک و صفر فسفر باعث کاهش ۷۲ درصدی بیوماس ریشه در رقم زرین شد در حالیکه در شرایط مشابه تیمار آرسنیک و ۳۰۰ میکرومولار فسفر این میزان ٤٨ درصد بود. بنابراین نتیجه‌گیری می‌شود که تیمار فسفر باعث کاهش اثرات سمی آرسنیک در دو رقم گیاه گندم می‌شود و میزان این تأثیر در غلظت‌های بالای فسفر بیشتر است. همچنین افزایش غلظت فسفر در محلول غذایی و داخل بافت‌های گیاهی به افزایش بیوماس و رشد گیاه و کاهش اثرات سمی آرسنیک منجر می‌شود. مطالعات انجام شده توسط ولسون و همکاران (۱۹۷۳) و تو و همکاران (۲۰۰۲) نیز در تأیید نتایج این تحقیق می‌باشد. به‌طورکلی نتایج اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر بیوماس دو رقم گیاه گندم نشان داد که این گیاه حساس به آرسنیک است و غلظت‌های بالای آرسنیک (۱۰۰ تا ۲۵۰ میکرومولار) در حضور غلظت‌های مختلف فسفر باعث کاهش معنی‌دار بیوماس و رشد بخش هوایی و ریشه‌ای آن می‌شود. همچنین تیمار فسفر (به‌خصوص در غلظت‌های بالا) اثرات بازدارندگی آرسنیک را کاهش می‌دهد.

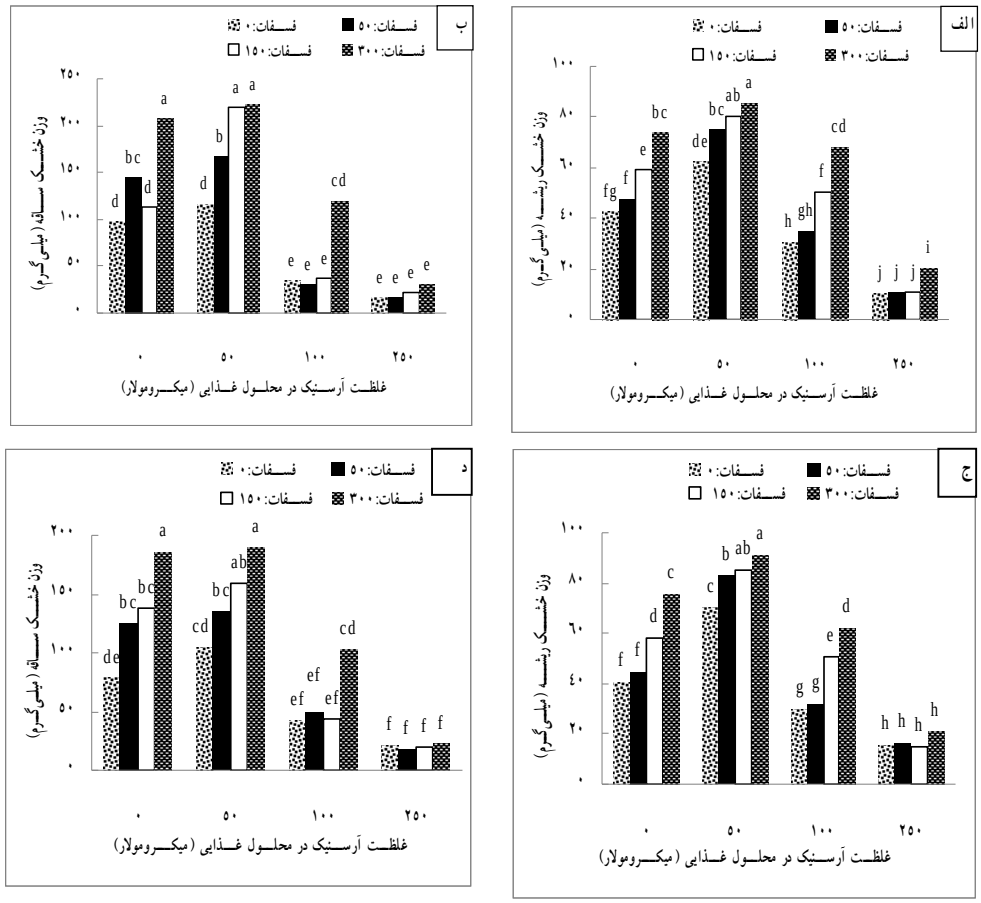
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس بر هم‌کنش آرسنات و فسفات بر میزان بیوماس خشک، تجمع آرسنیک و فسفر در بخش هوایی (ساقه و برگ) و ریشه ارقام زرین و سرداری گندم

منابع تغییرات	بیوماس خشک بخش هوایی	بیوماس خشک ریشه	آرسنیک بخش هوایی	آرسنیک ریشه	فسفر بخش هوایی	فسفر ریشه
مقدار F						
رقم	٥/٤٤ *	٤٥٢/٣٣ ***	٠/٢٠ ns	٧٥/٣٢***	١٢٩/٠٨ ***	١١/٢٣*
تیمار آرسنات	٢٨٥/٥٥***	٣٩٧/٤٨***	١٧٣/٤٤***	١٦٥٣/٩٨ ***	٥١/٥٣ ***	٨٤/١٦ ***
تیمار فسفات	٥٧/١٠***	٢٩/٤٨***	١٨/٦٦***	٦٥/٩٣ ***	٦٥١/٧٦ ***	١١٠٨/٥٦ ***
رقم × تیمار آرسنات	٤/٩٩**	٥٥/٦٨***	٠/٣٩١ ns	١٦/٩***	٤/٨٦**	٤/٣٣ **
رقم × تیمار فسفات	٠/٥٧٨ ns	٥/٨٨***	٠/١٧٩ ns	٢/٣٩ ns	٤٨/٩٢***	١٤/١٨***
تیمارآرسنات×تیمارفسفات	٨/٤٨***	٥/٦٠***	٦/٩٣***	١٠/٨٥**	٢٠/٦٠***	٢٩/٩٦***
رقم × تیمار آرسنات× تیمارفسفات	٤/١١***	٥/٤٢***	١/١٨ ns	٢/٣٦**	٠/٢٧٣ ns	١/٠٤ ns

*، ** و *** به‌ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال ٠/٠٥، ٠/٠١ و ٠/٠٠١ و ns عدم وجود تفاوت معنی‌دار

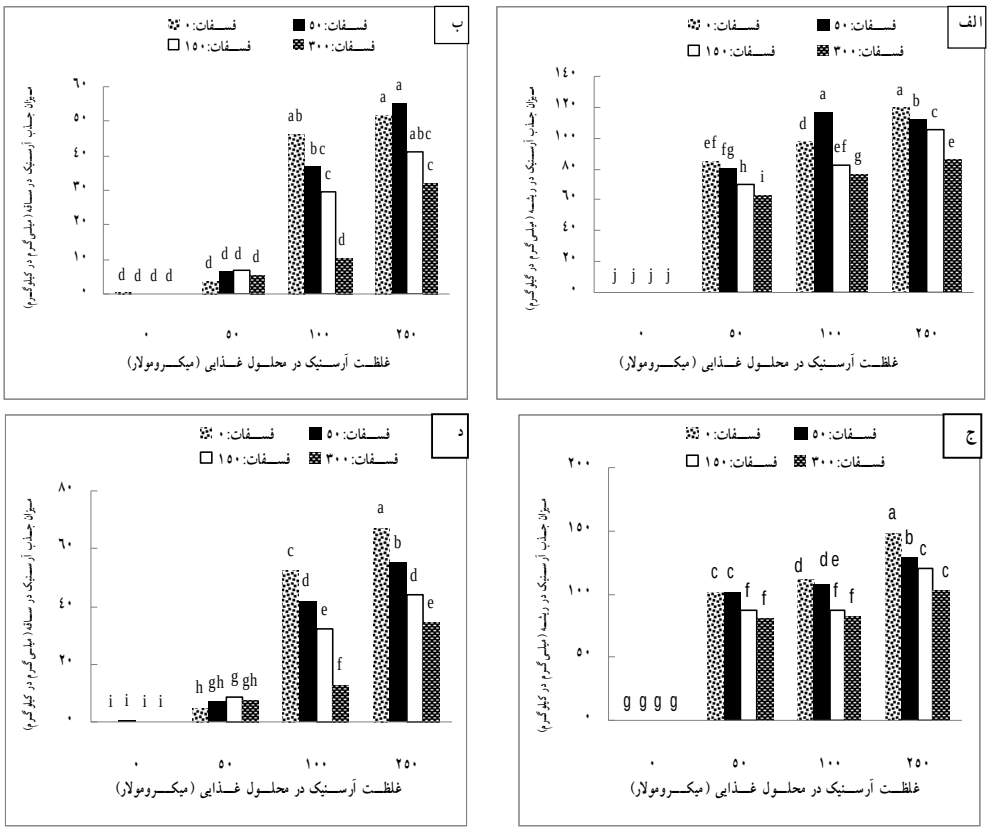
اثر متقابل آرسنات و فسفات بر انباشت آرسنیک در بخش‌های ریشه‌ای و هوایی دو رقم گندم: نتایج آنالیز واریانس اثر متقابل غلظت‌های مختلف آرسنات و فسفات بر تجمع آرسنیک در دو رقم زرین و سرداری نشان داد که اثر تیمارهای آرسنات و فسفات و اثر متقابل آن‌ها بر تجمع آرسنیک معنی‌دار بوده ولی اثر رقم معنی‌دار نمی‌باشد (جدول ۲). غلظت آرسنیک در بخش هوایی گیاهان دو رقم دارای همبستگی مثبت با غلظت اولیه آرسنیک در محلول غذایی بود (در رقم زرین P<٠/٠٠١ و r=٠/٩٧٩ و در رقم سرداری P<٠/٠٠١ و r=٠/٩٨٤). روند انباشت آرسنیک در بخش ریشه‌ای ارقام زرین و سرداری مانند بخش هوایی بوده و با افزایش غلظت آرسنیک در محلول غذایی افزایش یافت. همچنین رقم زرین قادر به انباشت مقادیر بیشتر آرسنیک نسبت به سرداری بود (شکل ۲). نکته قابل توجه در مورد دو رقم گیاه گندم عدم کارایی آن‌ها در انتقال مقادیر بالای آرسنیک از ریشه به ساقه بود به‌طوریکه نسبت آرسنیک در ساقه به ریشه این گیاه تحت تیمارهای مختلف کمتر از یک بود. بنابراین گیاه گندم نمی‌تواند به عنوان انباشت‌گر آرسنیک مطرح باشد. نتایج حاصل از تأثیر تیمارهای مختلف فسفر بر جذب و تجمع آرسنیک در دو رقم گیاه گندم نشان داد که در تیمار ۵۰ میکرومولار آرسنیک،

افزایش غلظت فسفر در محیط رشد باعث افزایش تجمع آرسنیک در ریشه و ساقه هر دو رقم می‌شود که البته این افزایش معنی‌دار نیست (شکل ۲).



شکل ۱- اثر غلظت‌های مختلف آرسنات (۰ تا ۲۵۰ میکرومولار) و فسفات (۰ تا ۳۰۰ میکرومولار) در محلول غذایی بر بیوماس بخش ریشه‌ای (الف) و هوایی (ب) رقم زرین و بیوماس بخش ریشه‌ای (ج) و هوایی (د) رقم سرداری گندم. مقادیر، میانگین سه تکرار ± انحراف معیار است. حروف متفاوت در هر ستون بیانگر معنی‌دار بودن اثر تیمار بر میانگین وزن خشک با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشد.

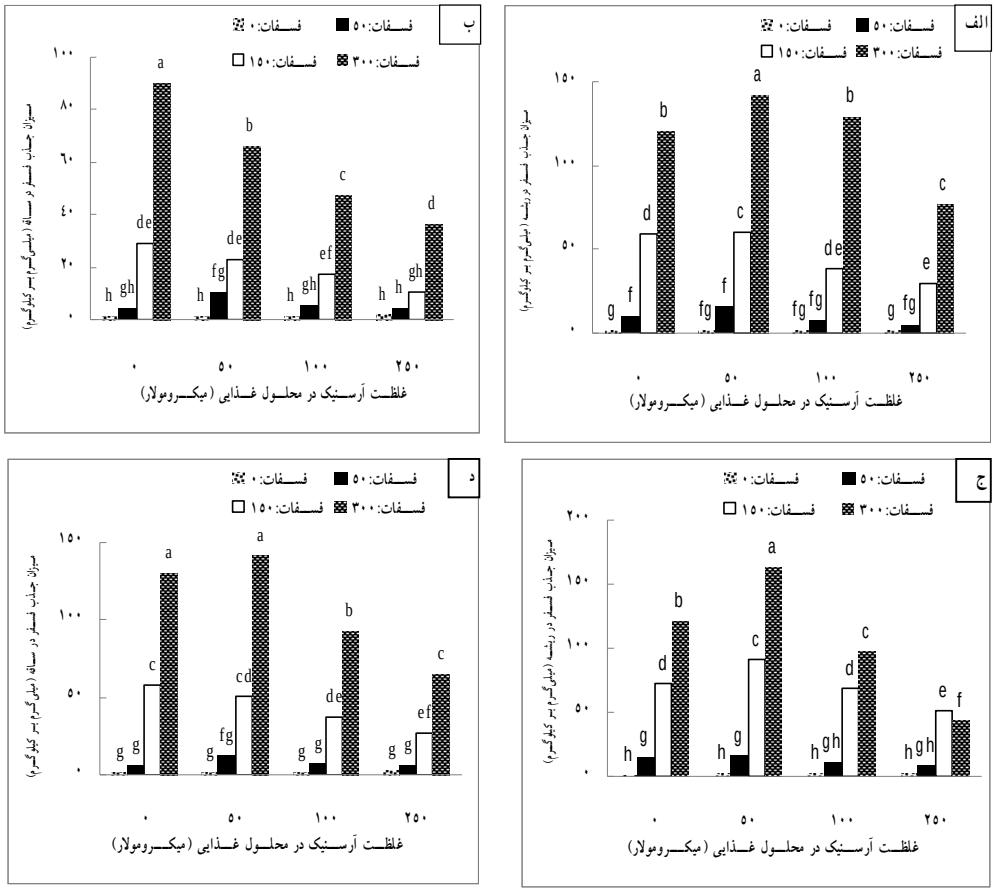
در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۵۰ میکرومولار آرسنیک با افزایش غلظت فسفر در محیط رشد تجمع آرسنیک در بخش هوایی و ریشه‌ای هر دو رقم به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. در چنین شرایطی میزان کاهش تجمع آرسنیک در رقم سرداری بیشتر از زرین است. به عنوان مثال در رقم سرداری و در تیمار ۱۰۰ میکرومولار آرسنیک با افزایش غلظت فسفر از ۵۰ به ۳۰۰ میکرومولار میزان انباشت آرسنیک در ریشه و ساقه به ترتیب ۳۲ و ٤۰ درصد کاهش یافت. در مطالعات مختلف دیگری که بر روی گیاهانی مانند برنج، عدسک آبی، جو و یونجه صورت گرفت اثر مهاری فسفر بر تجمع آرسنیک ثابت شد (زائو و همکاران، ۲۰۰۹) که نتایج حاصل از این تحقیق را تأیید می‌کند. احتمالاً اثر کاهشی فسفات بر تجمع آرسنیک در گیاه گندم به دلیل آنالوگ بودن این دو عنصر با یکدیگر بوده و با توجه به اینکه از طریق سیستم مشابهی جذب گیاه می‌شوند بر جذب یکدیگر از طریق غشاء سلول اثر می‌گذارند. در غلظت‌های مشابه آرسنات و فسفات کارایی ریشه گیاهان برای جذب فسفات بیشتر از آرسنات است. این حالت نشان از عمل انتخابی ناقلین غشاء برای انتقال بیشتر فسفات نسبت به آرسنات است. کمبود غلظت فسفر در محیط رشد گیاهان تحت تنش آرسنیک منجر به فعال شدن این سیستم جذبی می‌شود که نتیجه آن افزایش جذب آرسنیک نسبت به فسفر است. همچنین افزایش غلظت فسفر در سیتوپلاسم سلول‌های گیاهی باعث افزایش رشد و بیوماس گیاه شده و از طریق اثر رقیق شدن باعث کاهش غلظت آرسنیک در واحد سطح سلول‌های مختلف می‌شود. البته تأثیر هر یک از این یون‌ها بر دیگری به برخی عوامل دیگر مانند محیط رشد گیاهان (خاک یا آبکشت) و حضور سایر یون‌ها (آهن) در محیط نیز بستگی دارد (تو و ما، ۲۰۰٤). به‌طور کلی تیمار فسفر نقش مؤثری در توانایی انباشت آرسنیک توسط گیاهان دارد و بکارگیری تیمارهای مناسب آن به کاهش مؤثر تجمع آرسنیک در ریشه و ساقه گیاهان زراعی منتهی می‌شود. همچنین در گیاهانی که برای اهداف گیاه پالایی و زدودن آلودگی آرسنیک در محیط بکار می‌روند بکارگیری تیمارهای مناسب فسفر نقش بسیار مؤثری در کارایی گیاه پالایی آن‌ها دارد.



شکل ۲- اثر غلظت‌های مختلف آرسنات (۰ تا ۲۵۰ میکرومولار) و فسفات (۰ تا ۳۰۰ میکرومولار) در محلول غذایی بر تجمع آرسنیک در بخش ریشه‌ای (الف) و هوایی (ب) رقم زرین و بخش ریشه‌ای (ج) و هوایی (د) رقم سرداری گندم. مقادیر، میانگین سه تکرار ± انحراف معیار است. حروف متفاوت در هر ستون بیانگر معنی‌دار بودن اثر تیمار بر میانگین تجمع آرسنیک در ریشه و بخش هوایی با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشد.

اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر انباشت فسفر در بخش‌های ریشه‌ای و هوایی دو رقم گندم: همچنان‌که بحث تنش آرسنیک، واکنش گیاهان به غلظت‌های مختلف آن در محیط و مکانیسم تجمع آن در گیاهان امری مهم و مورد توجه طرفداران محیط زیست و فیزیولوژیست‌های گیاهی است، بررسی وضعیت فسفر در گیاهان در معرض آرسنیک نیز به‌دلیل اثر متقابل آن با آرسنیک و نقش‌های مهم آن در تغذیه و متابولیسم گیاهان بسیار مهم است. نتایج حاصل از آنالیز واریانس اثر تیمارهای مختلف آرسنات بر تجمع فسفر در دو رقم گندم (جدول ۲) نشان داد اثر رقم، تیمارهای آرسنیک،

فسفر و اثر متقابل آن‌ها بر تجمع فسفر در بخش هوایی و ریشه‌ای این دو رقم در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. در حالت عادی غلظت فسفر در گیاهان بین ۹۶ تا ۱۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک طی رشد رویشی آن است که بیشترین و کمترین مقدار آن به‌ترتیب در قسمت‌های جوان و پیر گیاهان مشاهده می‌شود (وانگ و همکاران، ۲۰۰۲). در دو رقم مورد بررسی نیز مانند سایر گونه‌های معمول گیاهی غلظت فسفر در ریشه‌ها بیشتر از بخش هوایی است. در این مطالعه با افزایش تیمار فسفر از ۵۰ به ۳۰۰ میکرومول در لیتر، میزان تجمع فسفر در ریشه و ساقه دو جمعیت افزایش می‌یابد که میزان این افزایش در رقم سرداری بیشتر از زرین است (شکل ۳). علی‌رغم افزایش غلظت فسفر در محیط رشد ریشه و ساقه گیاهان دو رقم، میزان تجمع آن در ریشه و ساقه زیاد نیست و گندم نمی‌تواند به عنوان انباشت‌گر فسفر مطرح باشد. البته تیمار غلظت‌های مختلف آرسنیک و اثر متقابل آرسنیک و فسفر نیز اثر معنی‌داری بر تجمع فسفر در ریشه و ساقه هر دو رقم دارد (جدول ۲). شکل ۳ تأثیر غلظت‌های مختلف آرسنیک در محلول غذایی بر جذب فسفر در ریشه و ساقه دو رقم گیاه گندم را نشان می‌دهد. جذب فسفر در بافت‌های مختلف هر دو رقم به طور معنی‌داری با افزایش غلظت آرسنیک در محلول غذایی کاهش می‌یابد، این کاهش در تیمار با غلظت‌های بالای آرسنیک (۱۰۰ و ۲۵۰ میکرومولار) بیشتر است. همچنانکه در شکل ۳ مشخص است، در تیمارهای ۰ و ۵۰ میکرومولار آرسنیک، با افزایش میزان فسفر در محلول غذایی (۵۰ تا ۳۰۰ میکرومول در لیتر) میزان فسفر در بخش هوایی ارقام سرداری و زرین افزایش یافت که این افزایش معنی‌دار نیست. اما در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۵۰ میکرومولار آرسنیک غلظت فسفر در بافت‌های گیاهی کاهش یافت که به‌دلیل سمیت آرسنیک می‌باشد. نتایج حاصل از مطالعات انجام شده بر روی گیاهان*Spirodela polyrrhiza* و *Salsola kali* نیز اثر مهاری آرسنیک بر تجمع فسفر در بافت‌های گیاهی را تأیید می‌کند (گنگ و همکاران، ۲۰۰۵؛ دوئل و سبودا، ۱۹۷۲). از نظر تجمع فسفر در تیمارهای مشابه آرسنیک رقم زرین و سرداری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر دارند به‌طوریکه در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۵۰ میکرومولار آرسنات میزان تجمع فسفر و بیوماس گیاه در رقم زرین بیشتر از سرداری است.



شکل ۳- اثر غلظت‌های مختلف آرسنات (۰ تا ۲۵۰ میکرومولار) و فسفات (۰ تا ۳۰۰ میکرومولار) در محلول غذایی بر تجمع فسفر در بخش ریشه‌ای (الف) و هوایی (ب) رقم زرین و بخش ریشه‌ای (ج) و هوایی (د) رقم سرداری گندم. مقادیر، میانگین سه تکرار ± انحراف معیار است. حروف متفاوت در هر ستون بیانگر معنی‌دار بودن اثر تیمار بر میانگین تجمع فسفر در ریشه و بخش هوایی با استفاده از آزمون دانکن در در سطح ۵ درصد می‌باشد.

چنین حالتی می‌تواند نتیجه سازش بیشتر رقم زرین با غلظت‌های بالای آرسنات بوده که باعث تحمل بیشتر آرسنیک در آن می‌شود. نظر به اینکه میزان جذب خالص فسفر توسط بافت‌ها نتیجه غلظت فسفر در محیط رشد و در بافت‌ها، بیوماس گیاه و غلظت آرسنیک محیط رشد گیاه در مناطق آلوده است، فهم بکارگیری غلظت‌های مناسب آرسنیک و فسفر در محیط‌های آلوده رشد گیاه گندم

نقش مؤثری در افزایش کارایی آن جهت رشد مناسب و انتقال مقادیر کم آرسنیک به بخش هوایی به‌خصوص بذرها را دارد (تو و ما، ۲۰۰۳).

به‌طور کلی نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تیمار غلظت‌های مختلف آرسنیک و فسفر و اثر متقابل آن‌ها در محیط رشد دو رقم زرین و سرداری گندم نقش مؤثری در تجمع آرسنیک و فسفر به عنوان عناصر سمی و ضروری در رشد آن دارند. جذب آرسنات و فسفات توسط ریشه گیاه به‌طور معنی‌داری وابسته به غلظت آن‌ها در محیط است و این احتمال وجود دارد که به‌دلیل تشابه فیزیکی و شیمیایی، جذب این دو عنصر توسط ناقل مشترک بوده و از این طریق با یکدیگر رقابت می‌کنند (مهارگ و مکنیر، ۱۹۹۲). تیمار غلظت‌های پایین فسفر (۰ تا ۵۰ میکرومولار) باعث افزایش تجمع آرسنیک در ریشه و ساقه می‌شود در صورتیکه این میزان در تیمارهای با غلظت بالای فسفر به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. همچنین تیمار غلظت‌های مختلف آرسنات اثرات متفاوتی بر تجمع فسفر در این گیاهان دارد. نتایج حاصل پیشنهاد می‌دهد که بکارگیری غلظت‌های مناسب فسفر می‌تواند به عنوان یک روش عملی نقش مهمی در افزایش کارایی گیاهان خوراکی و حساس برای کاهش انباشت آرسنیک و در گیاهان بیش‌انباشت‌گر برای افزایش توان گیاه پالایی مناطق آلوده را داشته باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اصفهان بدلیل فراهم آوردن امکانات مالی و تجهیزاتی و همچنین از مساعدت های قطب علمی تنش های گیاهان برای انجام این تحقیق تشکر می نمایند.

منابع

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

2.Baker, S., Barrentine, W.L., Bowman, D.H., Hoawthrone, W.L. and Pettiet, J.V. 1976. Crop response and arsenic uptake following soil incorporation of MSMA. Weed Sci. 24: 322-326.

3.Carbonell-Barrachina, A.A., Aarabi, M.A., Delaune, R.D., Gambrell, R.P. and Patrick, W.H.J. 1998. Arsenic in wetland vegetation: availability, phytotoxicity,

uptake and effects on plant growth and nutrition. Sci. Total Environ. 217: 189-199.

4.Chapman, H.D., and Pratt F.P. 1961. Ammonium vandate-molybdate method for determination of phosphorus. Methods of analysis for soils, plants and water. California University, USA, Pp: 184-203.

5.Chen, T.B., and Wei, C.Y. 2000. Arsenic hyper accumulation in some plant species in South China[C]. P 194-195, Proceedings of International Conference of Soil Remediation, Hangzhou, China.

6.Duel, L.E., and Swoboda, A.R. 1972. Arsenic Toxicity to cotton and soybeans. J. Environ. Qual. 1: 317-320.

7.Geng, C.N., Zhu, Y.G., Liu, W.J., and Smith, S.E. 2005. Arsenate uptake and translocation in seedlings of two genotypes of rice is affected by external phosphate concentrations, Aquat. Bot. 83: 321-331.

8.Karimi, N., Ghaderian, S.M., Marofi, H., and Schat, H. 2010. Analysis of arsenic in soil and vegetation of a contaminated area in Zarshuran, Iran, identifies two angiosperm arsenic hyperaccumulators. Int. J. Phytoremediat. 12: 159-173.

9. Karimi, N., Ghaderian, S. M., Raab, A., Feldman, J., and Meharg, A.A. 2009. An arsenic accumulating, hyper-tolerant brassica, *Isatis capadocica*. New Phytol. 184: 41-47.

10. Lihong, W., and Guilan, D. 2009. Effect of external and internal phosphate status on arsenic toxicity and accumulation in rice seedlings. J. Environ. Sci. 21: 349- 351.

11.Meharg A.A., and Jardine L. 2003. Arsenite transport into paddy rice (*Oryza sativa*) roots. New Phytol. 157: 39-44.

12.Meharg, A.A., and Macnair, M.R. 1990. An altered phosphate uptake system in arsenate-tolerant *Holcus Lanatus* L. New Phytol. 116: 29-35.

13.Meharg, A.A., and Macnair, M.R. 1992. Genetic correlation between arsenate tolerance and the rate of influx of arsenate and phosphate in *Holcus lanatus* L. Heredity. 69: 314-366.

14.Mosaferi, M., Yunesian, M., Mesdaghinia, A.R., Nadim, A., Nasseri, S., and Mahvi, A.H. 2003. Occurrence of arsenic in Kurdistan Province of I.R. Iran. Proceeding of Conference on Fate of Arsenic in the Environment, Dhaka, BUET.

15.Tu, C., Ma, L.Q., and Bondada, B. 2002. Arsenic accumulation in the Hyperaccumulator Chinese Brake and Its Utilization Potential for Phytoremediation. J. Environ. Qual. 31: 1671-1675.

16.Tu, C., and Ma, L.Q. 2003. Effects of arsenate and phosphate on their accumulation by an arsenic-hyperaccumulator *Pteris vittata* L. Plant Soil. 249: 373-382.

17.Tu, C., and Ma, L.Q. 2004. Comparison of arsenic uptake and distribution in arsenic hyperaccumulator *Pteris vittata* and non-hyperaccumulator *Nephrolepis exaltata*. J. Plant Nut. 27: 1227–1242.
18.Wang, J.R., Zhao, F.J., Meharg, A.A., Raab, A. and Feldmann, J. 2002. Mechanisms of arsenic hyperaccumulation in *Pteris vittata*, uptake kinetics, interactions with phosphate and arsenic speciation. Plant Physiol. 130: 1552- 1561.
19.Wang, L., and Duan, G. 2009. Effect of external and internal phosphate status on arsenic toxicity and accumulation in rice seedlings. J. Environ. Sci. 21: 346–351.
20.Woolson, E. A., Axley, J. H., and Kearney, P. C. 1973. The chemistry and phytotoxicity of arsenic in soils: II. Effects of lime and phosphorus. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 37: 254–259.
21.Zhao, F.J., Ma, J.F., Meharg, A.A. and McGrath, S.P. 2009. Arsenic uptake and metabolism in plants. New Phytol. 181: 777-794.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Plant Production, Vol. 19(2), 2012
http://jopp.gau.ac.ir

Evaluating the effect of phosphorus on arsenic uptake and accumulation in two cultivars of wheat (*Triticum aestivum* L.)

Sh. Mahdiyeh[1], *S.M. Ghaderian[2] and N. Karimi[3]
[1] M.Sc. Graduated, Faculty of Sciences, University of Isfahan, [2]Associate Prof., Dept. of Biology, Faculty of Sciences, University of Isfahan, [3]Assistant Prof., Faculty of Sciences, University of Razi, Kermanshah

Abstract

Arsenic is chemically similar to phosphorus which study of their interaction is important for understanding their uptake and accumulation in plants. In this study effect of different arsenate and phosphate treatment on biomass and their accumulation in two wheat cultivars (Zarin and Sardari) were investigated. The plants were grown in Hoagland's solution for 3 weeks then treated with different concentrations of arsenate (0-250 μM) and phosphate (0-300 μM). The results showed that phosphorus has significant effect on arsenic uptake and accumulation and root and shoot biomass. The low treatments of phosphorus (0-50 μM) had less effect on accumulation of arsenic and biomass in two cultivars but plant biomass and arsenic accumulation increased significantly with increasing phosphorus concentrations (150-300 μM). Also the low concentrations of arsenate had no significant effect on phosphorus uptake and plant biomass, which these criteria decreased significantly at high arsenic treatments. In conclusion, this study shows that applying appropriate treatments of phosphorus in arsenic contaminated solutions can be used as important technique for decreasing arsenic in harvestable parts of wheat cultivars.

Keywords: Arsenate; Phosphate; Biomass; Uptake; *Triticum aestivum* L.

*Corresponding Author: E-mail: ghaderian@sci.ui.ac.ir