

تغییرات غلظت عناصر غذایی آزولا (*Azolla caroliniana*) در سطوح مختلف آرسنیک و شوری

لیلا غیرتی آرانی^{۱*}

95arani@gmail.com

صلاح الدین مرادی^۲

جعفر صوفیان^۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۱۶

چکیده

پیشرفت سریع فناوری در دهه های اخیر با وجود مزایای فراوانی که برای بشر داشته، منابع طبیعی و اجزای محیط زیست را در معرض آلاینده های مختلف از جمله فلزات سنگین قرار داده است. به منظور بررسی پتانسیل آزولا، برای جذب آرسنیک و عناصر غذایی از محلول آبی با شوری های مختلف یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه به اجرا در آمد. سطوح مختلف آرسنیک عبارت بود از صفر، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۶۰ میلی گرم در لیتر آرسنیک که از منبع آرسنات سدیم تأمین و به محلول غذایی اپستین اضافه شد. غلظت نمک عبارت بود از صفر، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی مولار که از منبع کلرور سدیم به محلول غذایی اپستین اضافه گردید. پس از ساخت محلول های غذایی با شوری و غلظت های مختلف آرسنیک، در آن گیاه آبی آزولا به مدت سی روز پرورش داده شد. نتایج نشان داد که وجود عنصر سنگین آرسنیک و شوری باعث کاهش رشد و حتی باعث مرگ حتمی گیاه در غلظت های بالا شد. گیاه آزولا غلظت های بالایی از عنصر سنگین آرسنیک را در بافت های خود تجمع داد. نتایج نشان داد که شوری باعث کاهش جذب آرسنیک به وسیله آزولا شد. آرسنیک سبب افزایش غلظت کلسیم، سدیم و منگنز و کاهش غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم، آهن، روی و مس شد. تیمارهای شوری و تیمارهای اثرات متقابل آرسنیک و شوری سبب افزایش غلظت سدیم و کاهش غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، منگنز و مس شد.

کلمات کلیدی: آزولا، تنش شوری، عناصر، فلزات سنگین.

۱- استادیار گروه کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور تهران، ایران. * (مسئول مکاتبات)

۲- استادیار گروه کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور تهران، ایران.

۳- مربی گروه کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور تهران، ایران.

Changes in nutrient concentration of Azolla (*Azolla caroliniana*) at various levels of arsenic and salinity

Leyla Gheyratie Aarani ^{1*} (*Corresponding Author*)

95arani@gmail.com

Salahedin Moradi ²

Jafar Sufian ³

Abstract

Rapid technological advances in recent decades despite the many benefits for human, exposed the natural resources and environmental components to various contaminants such as heavy metals. In order to evaluate the potential of Azolla, to absorb arsenic and nutrient from solution containing different concentrations of salinity, a factorial experiment with completely randomized design and three replications were conducted in the greenhouse. Different levels of Arsenic were 0, 5, 10, 20, 40, 80 and 160 mg/liter. Arsenic was provided from source of sodium arsenate and was added to the Epestin food solution. The concentrations of NaCl in Epestin nutrient solutions were 0, 10, 20, 40 and 80 mM. Nutrient solutions with different concentration of arsenic and NaCl were used to growth azolla, for a period of 30 days. The result showed that existence of Arsenic heavy metal and salinity decreased the growth rate of azolla and even caused death where their concentrations were high. The azolla accumulated high concentration of arsenic solutions in their tissues. Assessing the effect of salinity on arsenic of the azolla indicated that increase in salinity levels of nutrient solution, decreased arsenic concentration. Arsenic increasing concentrations of calcium, sodium, manganese and decrease nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium, iron, zinc and copper. Salinity treatments and mutual effects of arsenic and salinity treatments increased sodium and decreasing concentrations of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, iron, zinc, manganese and copper.

Key Words: Azolla, Elements, Salinity Stress, Heavy Metals.

1- Assistance Professor, Department of Agriculture, Faculty of Agricultural Science, Payame Noor University, Tehran, Iran. **(Corresponding Author)*

2- Assistance Professor, Department of Agriculture, Faculty of Agricultural Science, Payame Noor University, Tehran, Iran.

3- Instructor, Department of Agriculture, Faculty of Agricultural Science, Payame Noor University, Tehran, Iran.

مقدمه

که ترتیزک آبی آرسنیک را به خوبی در بافت‌های خود ذخیره می‌کند (۶). ساسماز و اوبک (۲۰۰۹) تجمع آرسنیک، اورانیوم و بور در عدسک آبی (*Lemna gibba*) قرار گرفته در معرض فاضلاب را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در غلظت های بالا، عناصر فوق به ترتیب ۱۳۳ درصد، ۱۲۲ درصد و ۴۰ درصد در این گیاه تجمع یافتند (۷).

نتایج تحقیقات ستنیویسکا و همکاران (۲۰۰۵) در لهستان بر روی جذب $Pb(II)$ و $Cd(II)$ توسط گیاه آزولا (*Azolla caroliniana*) نشان دادند که غلظت $Pb(II)$ تا ۹۰ درصد و غلظت $Cd(II)$ تا ۲۲ درصد در آب های آلوده پایین آمد ولی رشد آزولا بین ۲۲ تا ۴۷ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت (۸).

برای تصفیه پساب ها گیاهان به کار رفته علاوه بر داشتن توان جذب فلزات سنگین باید به شوری نیز مقاوم باشند، چون پساب‌ها دارای مقدار قابل ملاحظه ای املاح محلول هستند. اثرات زیان بار شوری بر رشد گیاه از طریق کاهش فرایندهای اصلی از قبیل فتوسنتز، سنتز پروتئین و متابولیسم انرژی و لپید صورت می‌گیرد (۹). شوری آب می‌تواند میزان رشد گیاه و ظرفیت جذب فلز را متأثر سازد (۱۰). یافته های لبلبتکت و همکاران (۲۰۰۶) بر روی تأثیر شوری بر رشد و ظرفیت تجمع فلزات سنگین در *Spirodela polyrrhiza* نشان داد که در سطوح شوری بالا (۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار) میزان رشد نسبی کاهش و تجمع فلزات کادمیم و نیکل توسط این گیاه پایین آمد (۱۱).

آزولا (*Azolla caroliniana*) سرخس آبی شناور کوچکی از خانواده *Salvinaceae* است که به طور گسترده ای در شالیزارها، روخانه ها و دریاچه ها یافت می‌شود. این گیاه به همراه سیانوباکتر هم‌زیست خود (آناپنا) به عنوان یکی از سیستم های تثبیت کننده نیتروژن (*Nitrogen fixing biofertilizer*) در کشاورزی به کار می‌رود. آزولا در پساب و آب شیرین رشد می‌کند، تولید زی‌توده بالایی دارد و ظرفیت

فلزات سنگین از طریق استفاده از لجن فاضلاب، مواد زاید و همچنین در نتیجه فعالیت های صنعتی نظیر رنگ سازی، تولید سیمان، لاستیک سازی، تولید کودهای فسفات، سوخت خودروها و صنایع ذوب فلز وارد خاک و آب می‌شوند (۱). یکی دیگر از منابع ایجاد آلودگی فلزات سنگین فعالیت های معدن کاوی انسان (به خصوص معادن روباز) جهت استخراج فلزات است. با رشد جمعیت و پیشرفت صنایع، این عمل رو به رشد است و به طبع آن محیط زیست به مقدار بیش‌تر تحت تأثیر آلاینده ها به خصوص فلزات سنگین قرار خواهد گرفت. علاوه بر سمیت این فلزات، خاصیت تجمع پذیری آن‌ها در بدن موجودات زنده، اهمیت بهداشتی این فلزات را بیش‌تر نموده است (۲). آلودگی های حاصل از فلزات سنگین از جمله کادمیم، سرب، آرسنیک و جیوه، در محیط زیست به شدت در حال گسترش می‌باشد و زندگی موجودات زنده را تهدید می‌کند. آلودگی محیط زیست به آرسنیک به علت سمیت بسیار بالا برای گیاهان، حیوانات و انسان توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. آرسنیک می‌تواند باعث تشکیل تومورهای بدخیم در پوست، شش و اختلال در سیستم عصبی انسان شود (۳).

روی و همکاران (۲۰۱۲) اثر آرسنیک را بر الگوی جذب عناصر غذایی در تاج خروس مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند که جذب پتاسیم و فسفر به وسیله آرسنیک در ریشه و ساقه کاهش یافت اما معنی‌دار نبود. رابطه مثبت و معنی داری بین کلسیم و منیزیم با آرسنیک در تاج خروس وجود داشت (۴).

ژو و همکاران (۲۰۱۲) تجمع زیستی آرسنیک در ماکروفیت آبی (*Ceratophyllum demersum L.*) را بررسی کردند. نتایج آن‌ها تجمع معنی دار آرسنیک (۸۶۲ تا ۹۶۳ میکروگرم بر گرم) در شاخه های گیاه هنگامی که در معرض ۱۰ میکرومول آرسنات و آرسنیت قرار گرفته بود را نشان داد (۵). در تحقیقات اوزتورک و همکاران (۲۰۰۷) که بر روی تجمع آرسنیک و پاسخ های بیولوژیکی ترتیزک آبی به آن به عمل آمد، مشخص گردید

عبارت بود از صفر، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی مولار که از منبع کلرور سدیم تهیه و به محلول غذایی اپستین اضافه گردید. پس از ساخت محلول های غذایی با غلظت های مختلف آرسنیک و شوری در آن ها، گیاه آبی آزولا پرورش داده شد. برای تهیه محلول غذایی اپستین طبق جدول ۱، ابتدا محلول های A، B و C به طور جداگانه به عنوان محلول ذخیره تهیه شدند. محلول A شامل چهار محلول مجزا، محلول B شامل یک محلول مرکب از شش نمک مختلف و محلول C شامل یک محلول مجزا بود که بعد از تهیه این محلول ها، از هر کدام از آن ها به اندازه ذکر شده در جدول ۱ برداشته و با هم مخلوط گردید و در نهایت به حجم یک لیتر رسانده شد.

قابل ملاحظه های برای جذب عناصر سنگین سمی دارد (۱۲). در این پژوهش تأثیر شوری و آرسنیک بر رشد و جذب عناصر غذایی در گیاه آزولا از محیط های آبی بررسی شد.

مواد و روش ها

به منظور بررسی پتانسیل آزولا، در جذب آرسنیک و عناصر غذایی از محلول غذایی با شوری های مختلف یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گل خانه اجرا شد. در این آزمایش سطوح مختلف آرسنیک عبارت بود از صفر، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۶۰ میلی گرم در لیتر که از منبع آرسنات سدیم تأمین و به محلول غذایی اپستین اضافه شد تا غلظت های ذکر شده حاصل گردد. غلظت نمک محلول غذایی

جدول ۱- ترکیب محلول غذایی مورد استفاده در این آزمایش (اپستین ۱۹۷۲: ۱۳)

ترکیب	غلظت محلول ذخیره (گرم در لیتر)	نوع محلول	حجم محلول ذخیره در هر لیتر محلول نهایی (میلی لیتر)
KNO ₃	۱۰/۱۱۰	A	۶/۰
Ca(NO ₃) ₂ 4H ₂ O	۲۳۶/۱۶	-	۴/۰
NH ₄ H ₂ PO ₄	۱۱۵/۰۸	-	۲/۰
MgSO ₄ 7H ₂ O	۲۴۶/۴۹	-	۱/۰
KCl	۳/۷۲۸	B	-
H ₃ BO ₃	۱/۵۴۶	-	-
MnSO ₄ H ₂ O	۰/۳۳۸	-	-
ZnSO ₄ 7H ₂ O	۰/۵۷۵	-	۱/۰
CuSO ₄ 5H ₂ O	۰/۱۲۵	-	-
H ₂ MoO ₄ (% 85 MoO ₄)	۰/۰۸۱	-	-
Fe-EDTA	۰/۹۲۲	C	۱/۰

درجه سانتیگراد به مدت ۷۲ ساعت خشک گردید. سپس نمونه های گیاهی تهیه شده آسیاب و بعد از هضم آن ها در آزمایشگاه، میزان عناصر اندازه گیری گردید. مقدار عناصر فسفر به روش رنگ سنجی با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Hack DR/2000 و پتاسیم با دستگاه فیلم فتومتر مدل Corning 410 اندازه گیری شد. عناصر کلسیم، منیزیم و عناصر کم مصرف شامل روی، آهن، منگنز و مس همچنین آرسنیک با کمک دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu, AA-6300

پس از انتقال گیاه به داخل ظروف کشت، حجم مشخصی از محلول های غذایی حاوی آرسنیک به ظروف اضافه شد و هر چهار روز یکبار آب محیط کشت همه ظرف ها تعویض و آب مقطر و محلول غذایی تازه و حاوی غلظت های مختلف آرسنیک به مدت ۳۰ روز به ظرف های حاوی آزولا آبی اضافه شد. پس از گذشت ۳۰ روز گیاهان هر یک از ظرف ها برداشت و پس از شستشو با آب مقطر و گرفتن آب آزاد آن ها، وزن نهایی گیاهان اندازه گیری گردید و سپس در آون در دمای ۵۵

میانگین ۰/۲ درصد در روز اندازه گیری گردید (جدول ۲). نتایج این تحقیق نشان داد که آرسنیک باعث کاهش سرعت رشد نسبی در همه غلظت ها شد و با افزایش غلظت آرسنیک در محلول غذایی این کاهش شدیدتر بود. مقایسه میانگین داده ها نشان داد که با افزایش غلظت آرسنیک محلول غذایی بر جذب آرسنیک و سدیم توسط گیاه افزوده شد. در تیمارهای ۸۰ و ۱۶۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر محلول غذایی، غلظت آرسنیک گیاه نسبت به تیمارهای دیگر بسیار بیش تر بود. بیش ترین غلظت آرسنیک گیاه در تیمار ۱۶۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر محلول غذایی با میانگین ۲۲۳۹ میلی گرم در کیلوگرم بافت خشک مشاهده شد و تیمارهای ۵ و ۱۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر محلول غذایی اختلاف معنی داری با شاهد از لحاظ غلظت آرسنیک گیاه نداشتند (جدول ۲).

در مورد سدیم تیمار ۱۶۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر با میانگین ۱۰۱۴ میلی گرم در کیلوگرم دارای بیش ترین غلظت سدیم بود. تیمارهای شاهد و ۵ میلی گرم آرسنیک در لیتر به ترتیب با میانگین غلظت سدیم ۵۳۹/۱۲ و ۶۰۸/۹۵ میلی گرم در کیلوگرم کم ترین میزان سدیم گیاه را به خود اختصاص دادند (جدول ۲).

اندازه گیری شد. سرعت رشد نسبی (RGR; Relative Growth Rate) در هر یک از تیمارها به وسیله معادله زیر محاسبه شد (۱۴).

$$\text{RGR}(\%/day) = \frac{[\ln(W_2) - \ln(W_1)]}{t} \times 100 \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن W_1 و W_2 ، به ترتیب وزن تر اولیه و نهایی گیاه و t طول دوره آزمایش است. اطلاعات بدست آمده از آزمایش به کمک نرم افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و جداول تجزیه واریانس داده ها تهیه گردید. مقایسه میانگین تیمارهای مختلف به کمک آزمون چند دامنه ای دانکن صورت پذیرفت.

نتایج

تأثیر سطوح مختلف آرسنیک بر سرعت رشد نسبی،

غلظت آرسنیک و سدیم در آزولا

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اختلاف معنی داری ($P < 0.01$) بین تیمارهای مختلف از لحاظ سرعت رشد نسبی، غلظت آرسنیک و غلظت سدیم وجود داشت. با افزایش غلظت آرسنیک در محلول غذایی، سرعت رشد نسبی کاهش یافت به طوری که حداکثر رشد نسبی در تیمارهای شاهد یا بدون آرسنیک، ۵ و ۱۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر به ترتیب با میانگین های ۱/۲۸، ۱/۳، ۱/۱۹ درصد در روز و حداقل آن در تیمار حاوی ۱۶۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر با

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر سطوح آرسنیک بر سرعت رشد نسبی، غلظت آرسنیک و سدیم در گیاه آزولا

سطوح آرسنیک (میلی گرم در لیتر)	سرعت رشد نسبی (درصد در روز)	غلظت آرسنیک (میلی گرم در کیلو گرم)	غلظت سدیم (میلی گرم در کیلو گرم)
۰	۲/۶۹a*	۹۳/۳e	۵۳۹/۱۲d
۵	۲/۲۲b	۱۴۴/۳۹e	۶۰۸/۹۵d
۱۰	۱/۹۲c	۱۶۵/۴۹e	۷۰۹/۵۱c
۲۰	۱/۵۶d	۹۳۰/۷۴d	۷۴۸/۶۲c
۴۰	۱/۲۶e	۱۰۸۰/۶۸c	۷۸۷/۷۲bc
۸۰	۰/۹۲f	۱۵۸۱/۵۹b	۸۴۹/۴۸b
۱۶۰	۰/۵۱g	۲۲۳۹/۱a	۱۰۱۳/۹a

*اعدادی که در هر ردیف یا ستون در یک حرف کوچک یا بزرگ مشترک می باشند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند.

تأثیر سطوح مختلف شوری بر سرعت رشد نسبی، غلظت

آرسنیک و سدیم در آزولا

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر سطوح مختلف شوری محلول غذایی بر شاخص سرعت رشد نسبی، غلظت آرسنیک و سدیم آزولا در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. شوری تأثیر منفی بر رشد گیاه آزولا داشت و با افزایش غلظت شوری محلول غذایی سرعت رشد نسبی گیاه آزولا کاهش یافت. بیشترین مقدار سرعت رشد نسبی در تیمار شاهد یا بدون شوری (با میانگین ۲/۱۱ درصد در روز) و کمترین مقدار از در سطح ۸۰ میلی مولار نمک (۰/۶۵ درصد در روز) بدست آمد (جدول ۳).

با افزایش غلظت شوری محلول غذایی از جذب آرسنیک به وسیله این گیاه کاسته شد. بیشترین غلظت آرسنیک گیاه با میانگین ۱۲۴۵/۵ میلی گرم آرسنیک در کیلوگرم بافت خشک مربوط به تیمار شاهد بود. کمترین غلظت آرسنیک گیاه نیز در تیمار ۸۰ میلی مولار شوری با میانگین ۵۸۰/۷ میلی گرم آرسنیک در کیلوگرم مشاهده شد. تیمار ۸۰ میلی مولار شوری با میانگین ۱۳۱۱/۲۷ میلی گرم در کیلوگرم دارای بیشترین غلظت سدیم بود. کمترین غلظت سدیم نیز در تیمار شاهد با میانگین ۲۰۸/۱۳ میلی گرم در کیلوگرم مشاهده شد (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر سطوح شوری بر سرعت رشد نسبی، غلظت آرسنیک و سدیم در گیاه آزولا

سطوح شوری (میلی مولار NaCl)	سرعت رشد نسبی (درصد در روز)	غلظت آرسنیک (میلی گرم در کیلو گرم)	غلظت سدیم (میلی گرم در کیلو گرم)
۰	۱/۸۳a*	۱۲۴۵/۵۳a	۲۰۸/۱۳e
۱۰	۱/۶۵c	۱۰۳۶/۰۹b	۵۲۷/۱۵d
۲۰	۱/۵۷d	۸۶۷/۹۱c	۷۲۸/۶۶c
۴۰	۱/۴۷e	۷۲۳/۵۲d	۹۸۰/۰۶b
۸۰	۱/۳۸f	۵۸۰/۷۲e	۱۳۱۱/۲۷a

*اعدادی که در هر ردیف یا ستون در یک حرف کوچک یا بزرگ مشترک می باشند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند.

اثر متقابل آرسنیک و شوری بر شاخص سرعت رشد

نسبی، غلظت آرسنیک و سدیم آزولا

نتایج بدست آمده نشان داد که اثر متقابل آرسنیک و شوری بر سرعت رشد نسبی، غلظت آرسنیک و سدیم گیاه آزولا در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. بیشترین سرعت رشد نسبی در تیمار بدون شوری و آرسنیک با میانگین ۳/۶۶ درصد در روز و کمترین مقدار در تیمار ۱۶۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر و ۸۰ میلی مولار شوری با میانگین ۰/۲۹ درصد در روز مشاهده شد. بیشترین غلظت آرسنیک بافت های گیاه آزولا در تیمار ۱۶۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر محلول غذایی و بدون شوری با میانگین ۳۱۷۶/۵ میلی گرم آرسنیک در کیلوگرم بافت خشک

اندازه گیری شد و کمترین غلظت آرسنیک گیاه در تیمار بدون آرسنیک و ۸۰ میلی مولار شوری با میانگین ۴۳/۴۵ میلی گرم آرسنیک در کیلوگرم بافت خشک حاصل شد. حضور شوری و آرسنیک و برهم کنش آن ها باعث افزایش غلظت سدیم بافت های گیاه شد. بیشترین غلظت سدیم گیاه در تیمارهای ۸۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر و ۸۰ میلی مولار شوری و ۱۶۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر و ۸۰ میلی مولار شوری به ترتیب با میانگین های ۱۵۵۸/۷ و ۱۶۴۲/۵ میلی گرم در کیلوگرم مشاهده شد. تیمار صفر شوری و آرسنیک با میانگین ۷۸/۲۲ میلی گرم در کیلوگرم دارای کمترین غلظت سدیم گیاه بود (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر سطوح شوری بر سرعت رشد نسبی، غلظت آرسنیک و سدیم در گیاه آزولا

غلظت سدیم (میلی گرم در کیلو گرم)	غلظت آرسنیک (میلی گرم در کیلو گرم)	سرعت رشد نسبی (درصد در روز)	سطوح شوری (میلی مولار NaCl)	سطوح آرسنیک (میلی گرم در لیتر)
۷۸/۲۲s	lm۱۴۹/۹۴	a [*] ۳/۶۶	۰	۰
۴۴۱/۳۵m-p	lm۱۰۵/۵۱	b۲/۵۷	۱۰	-
۵۳۹/۱۲j-n	lm۹۴/۴۱	c۲/۵۲	۲۰	-
۷۲۰/۶۸g-j	lm۷۲/۱۹	bc۲/۴۲	۴۰	-
۹۱۶/۲۲e-g	m۴۳/۴۵	bcd۲/۳۱	۸۰	-
۱۴۸/۰۵rs	l۲۴۹/۹	bcd۲/۳	۰	۵
۳۹۹/۴۵n-q	lm۱۹۲/۹۹	bcd۲/۲۵	۱۰	-
۶۲۲/۹۲i-m	lm۱۱۶/۶۲	bcd۲/۲۵	۲۰	-
۷۲۰/۶۸g-j	lm۸۸/۷۵	cd۲/۱۶	۴۰	-
۱۱۵۳/۶۵b-d	lm۶۶/۶۴	cd۲/۱۴	۸۰	-
۲۰۳/۹۲q-s	l۲۴۹/۹	cd۲/۱۱	۰	۱۰
۴۸۳/۲۵l-o	lm۲۰۵/۴۷	cd۲/۱	۱۰	-
۶۶۴/۸۲h-l	lm۲۴۹/۹۳	de۱/۹۶	۲۰	-
۹۱۶/۲۲e-g	lm۱۲۲/۱۷	ef۱/۷۳	۴۰	-
۱۲۷۹/۳۵bc	lm۹۹/۹۶	e-g۱/۷۱	۸۰	-
۲۱۷/۸۹q-s	gh۱۲۳۸/۳۹	e-h۱/۶۸	۰	۲۰
۴۹۷/۲۲l-o	h۱۱۴۹/۵۴	e-i۱/۶۳	۱۰	-
۷۰۶/۷۲g-k	i۹۳۲/۹۶	f-i۱/۵۶	۲۰	-
۹۸۶/۰۵d-f	jk۷۳۸/۵۹	f-i۱/۵۳	۴۰	-
۱۳۳۵/۲۲b	lk۵۹۴/۲	g-j۱/۳۸	۸۰	-
۲۴۵/۸۲p-s	i۹۱۰/۷۵	h-j۱/۳۵	۰	۴۰
۴۹۷/۲۲l-o	fg۱۳۹۳/۸۹	h-j۱/۳۴	۱۰	-
۷۹۰/۵۲f-i	gh۱۲۳۲/۸۴	ij۱/۳	۲۰	-
۱۱۱۱/۷۵c-e	i۹۷۱/۸۳	jk۱/۱۶	۴۰	-
۱۲۹۳/۳۲b	i۹۳۲/۹۶	jk۱/۱۶	۸۰	-
۲۴۷/۳۵p-s	i۸۷۱/۸۶	jk۱/۱۴	۰	۸۰
۵۱۱/۱۸k-o	c۲۲۶۰/۲۱	jk۱/۱۲	۱۰	-
۷۹۰/۵۲f-i	d۱۸۶۵/۹۲	kl۰/۸۷	۲۰	-

ادامه جدول ۴- مقایسه میانگین اثر سطوح شوری بر سرعت رشد نسبی، غلظت آرسنیک و سدیم در گیاه آزولا

غلظت سدیم (میلی گرم در کیلو گرم)	غلظت آرسنیک (میلی گرم در کیلو گرم)	سرعت رشد نسبی (درصد در روز)	سطوح شوری (میلی مولار NaCl)	سطوح آرسنیک (میلی گرم در لیتر)
۱۱۳۹/۶b-d	e۱۶۲۷/۱۳	lm۰/۷۹	۴۰	-
۱۵۵۸/۶۸a	gh۱۲۴۳/۹۵	lm۰/۶۷	۸۰	-
۳۱۵/۶۵۰-r	a۳۱۷۶/۵۱	l-n۰/۵۹	۰	۱۶۰
۸۶۰/۳۵f-h	b۲۴۹۳/۴۵	l-n۰/۵۸	۱۰	-
۹۸۶/۰۵d-f	c۲۱۸۲/۴۶	l-n۰/۵۷	۲۰	-
۱۲۶۵/۳۸abc	d۱۸۶۵/۹۲	mn۰/۵۱	۴۰	-
۱۶۴۲/۴۸a	ef۱۴۷۷/۱۹	n۰/۲۹	۸۰	-

*اعدادی که در هر ردیف یا ستون در یک حرف کوچک یا بزرگ مشترک می باشند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند.

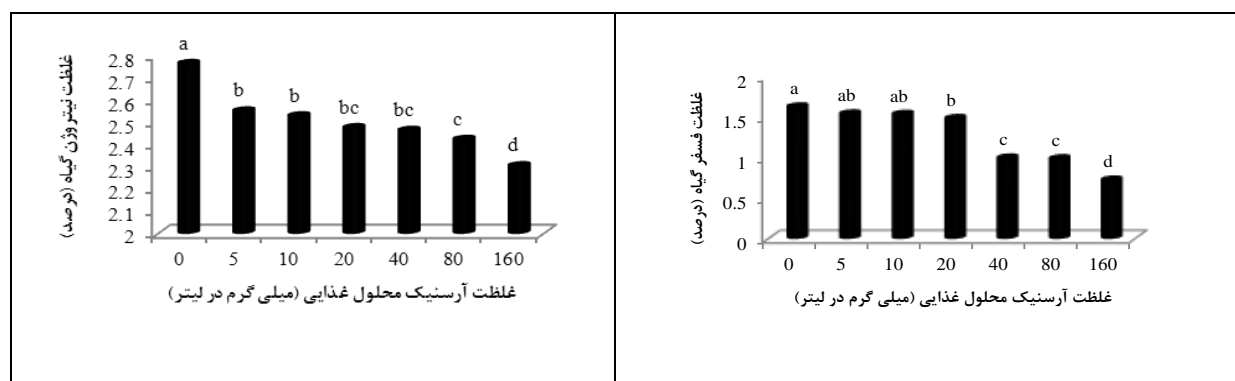
اختلاف معنی داری نداشت. کمترین غلظت کلسیم گیاه در تیمار شاهد با غلظت میانگین ۱/۹۷ درصد اندازه گیری شد (شکل ۱).

تأثیر سطوح مختلف شوری بر غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم گیاه آزولا

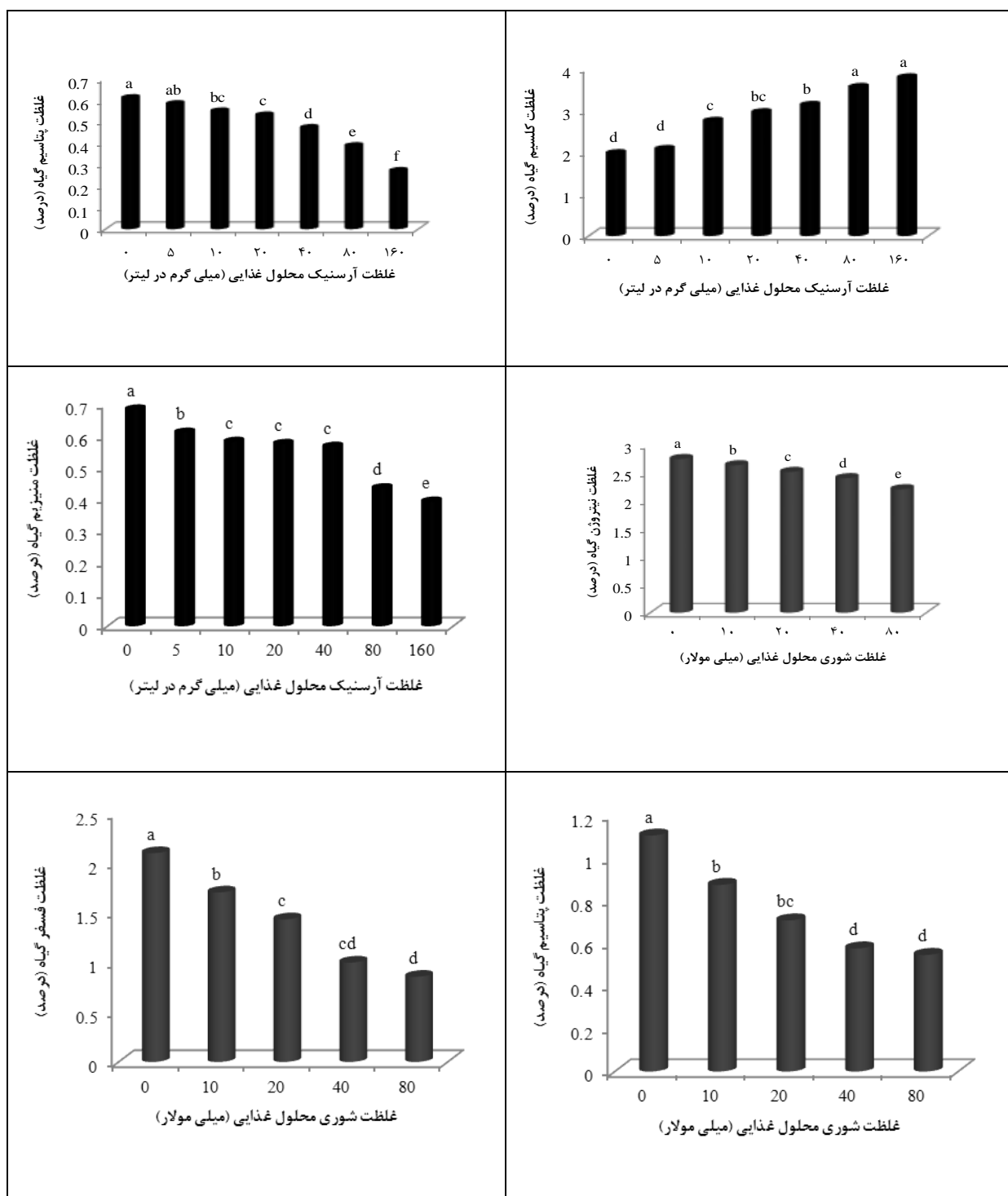
براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها، اثر سطوح مختلف شوری بر غلظت نیتروژن و فسفر بافت های گیاه آزولا در سطح احتمال پنج درصد و بر غلظت پتاسیم، کلسیم و منیزیم در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. بیشترین غلظت این عناصر در تیمار شاهد و کمترین غلظت در تیمار ۸۰ میلی مولار شوری مشاهده شد (شکل ۱).

تأثیر سطوح مختلف آرسنیک بر غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم گیاه آزولا

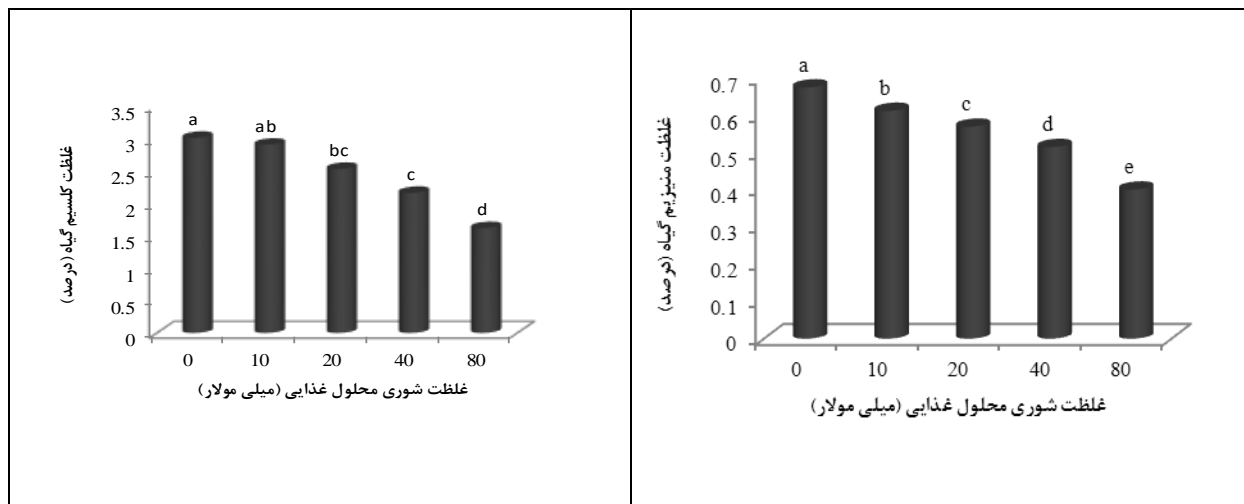
نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها نشان داد که تأثیر سطوح مختلف آرسنیک بر غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم در سطح احتمال یک درصد و منیزیم در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود. بیشترین غلظت نیتروژن فسفر، پتاسیم و منیزیم از تیمار شاهد و کمترین غلظت این عناصر از تیمار ۱۶۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر حاصل گردید. بیشترین غلظت کلسیم گیاه با میانگین ۳/۷۸ درصد مربوط به تیمار ۱۶۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر بود که با تیمار ۸۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر که دارای غلظت میانگین ۳/۵۵ درصد بود از لحاظ آماری



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف آرسنیک و شوری بر غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم گیاه آزولا



ادامه شکل ۱- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف آرسنیک و شوری بر غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم گیاه آزولا



ادامه شکل ۱- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف آرسنیک و شوری بر غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم گیاه آزولا

بیشترین غلظت منگنز با میانگین ۴۹۰/۴ میلی گرم در کیلوگرم در تیمار ۱۶۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر مشاهده شد. بین تیمارهای ۵، ۱۰ و ۲۰ همچنین ۴۰ و ۸۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر اختلاف معنی داری مشاهده نشد. تیمار شاهد با غلظت میانگین ۲۴۶/۸ میلی گرم در کیلوگرم کمترین غلظت منگنز را به خود اختصاص داد. افزایش غلظت منگنز گیاه با افزایش غلظت آرسنیک محلول غذایی احتمالاً در پاسخ به کاهش غلظت آهن گیاه باشد.

تأثیر سطوح مختلف آرسنیک بر غلظت آهن،

روی، منگنز و مس گیاه آزولا

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر سطوح مختلف آرسنیک بر غلظت آهن و روی در سطح احتمال یک درصد و بر غلظت منگنز و مس در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود. با افزایش سطح آرسنیک محلول غذایی از شاهد به سطح ۱۶۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر از مقدار آهن روی و مس بافت‌های گیاه کاسته شد (جدول ۶).

افزایش غلظت آرسنیک منجر به افزایش جذب منگنز گردید.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر سطوح آرسنیک بر غلظت آهن، روی، منگنز و مس (میلی گرم در کیلوگرم) در گیاه آزولا

غلظت مس	غلظت منگنز	غلظت روی	غلظت آهن	سطوح آرسنیک (میلی گرم در لیتر)
۷۶/۴۱a	۲۴۶/۸۶d	۸۴/۰۷a	۵۹۲a*	۰
۵۰/۴۲b	۲۸۶/۳۸c	۷۴/۷۵b	۵۵۷b	۵
۴۷/۵۳c	۳۰۳/۸c	۶۳/۷۵c	۵۰۲/۹c	۱۰
۴۵/۶۴c	۳۱۰c	۶۰/۴۲c	۵۰۱/۱c	۲۰
۴۳/۵۴d	۳۵۷/۴۲b	۵۰d	۴۹۹/۷c	۴۰
۳۴/۲۱e	۳۷۴/۱۸b	۴۵/۷۶de	۴۳۹/۶d	۸۰
۳۱/۸۷f	۴۹۰/۴a	۴۳/۷۶e	۳۱۶/۲۴e	۱۶۰

*اعدادی که در هر ردیف یا ستون در یک حرف کوچک یا بزرگ مشترک می‌باشند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند.

احتمال یک درصد معنی دار بود. با افزایش سطح شوری محلول غذایی از شاهد به سطح ۸۰ میلی مولار کلرید سدیم از مقدار آهن روی، منگنز و مس بافت های گیاه کاسته شد (جدول ۶).

تأثیر سطوح مختلف شوری بر غلظت آهن، روی، منگنز و مس گیاه آزولا
نتایج نشان داد که اثر شوری بر غلظت آهن گیاه آزولا در سطح

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر سطوح شوری بر غلظت آهن، روی، منگنز و مس (میلی گرم در کیلوگرم) در گیاه آزولا

سطوح شوری (میلی مولار)	غلظت آهن	غلظت روی	غلظت منگنز	غلظت مس
۰	*a۵۸۷/۵۶	a۲۰۲/۴۲	a۳۶۹	a۵۹/۸
۱۰	b۵۰۸/۴	b۱۶۹/۷	ab۳۶۵/۹	b۵۳
۲۰	c۴۶۸/۷	c۱۴۴/۹۴	b۳۴۰/۳۸	c۴۷/۲
۴۰	d۴۲۷/۲۸	d۱۲۶/۳۳	c۳۱۰/۳۷	d۴۰/۷
۸۰	e۳۶۸/۱۸	e۱۰۳/۳	c۳۰۶/۵	e۳۴/۷۴

*اعدادی که در هر ردیف یا ستون در یک حرف کوچک یا بزرگ مشترک می باشند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند.

بر اساس مقایسه میانگین داده ها، بیشترین غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم و منیزیم گیاه مربوط به تیمار شاهد (بدون شوری و آرسنیک) بود. کمترین مقدار این عناصر در تیمارهای ۸۰ و ۱۶۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر و ۸۰ میلی مولار کلرید کلسیم مشاهده شد (جدول ۷).

اثر متقابل سطوح مختلف شوری و آرسنیک بر غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم گیاه آزولا
اثر متقابل سطوح مختلف شوری و آرسنیک بر غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم و منیزیم بافت های گیاه آزولا در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود. سطوح مختلف شوری و آرسنیک اثر معنی داری بر غلظت کلسیم گیاه آزولا نداشت.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر سطوح شوری و آرسنیک بر غلظت عناصر غذایی پر مصرف (درصد) در گیاه آزولا

منیزیم	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	سطوح شوری (میلی مولار NaCl)	سطوح آرسنیک (میلی گرم در لیتر)
۰/۹۵a	۰/۸۵۴a	۲/۲۳a	۳/۱۲۵a*	۰	۰
۰/۷۷bc	۰/۶۸۵cd	۲/۰۷a-c	۳/۰۵ab	۱۰	-
۰/۶۴d	۰/۶۱d-g	۱/۷۷c-f	۲/۸۵bc	۲۰	-
۰/۵۶e-i	۰/۵۳۱f-h	۱/۳۹۳i-k	۲/۵۶d-j	۴۰	-
۰/۴۸k-o	۰/۳۶۲j-l	۰/۶۷op	۲/۲۲l-o	۸۰	-
۰/۸۲b	۰/۸۳۸ab	۱/۹۸۸a-d	۲/۷۳c-e	۰	۵

ادامه جدول ۷- مقایسه میانگین اثر سطوح شوری و آرسنیک بر غلظت عناصر غذایی پر مصرف (درصد) در گیاه آژولا

منیزیم	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	سطوح شوری (میلی مولار NaCl)	سطوح آرسنیک (میلی گرم در لیتر)
۰/۶۷d	۰/۶۵۴c-e	۱/۹۳۱b-e	۲/۶۴۳c-g	۱۰	-
۰/۵۶e-i	۰/۵۴۷e-h	۱/۸۰۷b-f	۲/۵۸۱d-i	۲۰	-
۰/۵۱i-n	۰/۵g-i	۱/۴۲۸h-k	۲/۴۴f-l	۴۰	-
۰/۴۸j-o	۰/۳۶۲j-l	۰/۵۵p	۲/۳۵i-m	۸۰	-
۰/۷۴c	۰/۸۲۳ab	۲/۱ab	۲/۷۸۳cd	۰	۱۰
۰/۶۶d	۰/۶۵۵c-e	۱/۷۲d-h	۲/۶۷۴c-f	۱۰	-
۰/۵۹d-h	۰/۵۳۱f-h	۱/۵۵f-j	۲/۵۹۶d-i	۲۰	-
۰/۵۲h-m	۰/۴۷j-i	۱/۴۵g-k	۲/۵۱۹e-k	۴۰	-
۰/۳۷q-s	۰/۲۵۵l-n	۰/۸۵no	۲/۰۷o	۸۰	-
۰/۶۶d	۰/۷۴۶b-c	۱/۸۶b-f	۲/۷۳۶c-e	۰	۲۰
۰/۶۲d-f	۰/۵۶۲e-h	۱/۶۴e-i	۲/۶۱۲c-h	۱۰	-
۰/۵۹d-h	۰/۵۳۱f-h	۱/۳۹i-k	۲/۴۴۱f-l	۲۰	-
۰/۵۴g-k	۰/۳۹۳i-k	۱/۳j-l	۲/۳۹۴g-l	۴۰	-
۰/۴۳n-q	۰/۴i-k	۱/۲۲kl	۲/۱۹۲l-o	۸۰	-
۰/۶۳de	۰/۷۱۵cd	۱/۷۴۴d-g	۲/۷۲۱c-e	۰	۴۰
۰/۶d-g	۰/۶۲۳d-f	۱/۴۲۵h-k	۲/۵۵e-i	۱۰	-
۰/۵۶e-j	۰/۴۸۵hi	۱/۱۷k-m	۲/۴۱g-l	۲۰	-
۰/۵۴g-l	۰/۳۳۱k-m	۰/۴۱p-r	۲/۲۸۵k-o	۴۰	-
۰/۴۹i-o	۰/۱۹۳n	۰/۱۸qr	۲/۱۴۶m-o	۸۰	-
۰/۵۵f-k	۰/۶۸۵cd	۱/۴۳h-k	۲/۵۶۵d-j	۰	۸۰
۰/۴۷l-o	۰/۴۸۵hi	۱/۳۳i-k	۲/۵۶۴d-j	۱۰	-
۰/۴۲o-r	۰/۳۴۷k-m	۱/۱۸kl	۲/۴۰۱g-l	۲۰	-
۰/۳۸q-s	۰/۲۴۸mn	۰/۸۸m-o	۲/۳۹۴g-l	۴۰	-
۰/۳۴۵rs	۰/۱۶۲n	۰/۱۴۸r	۲/۳۷۹h-m	۸۰	-
۰/۴۶m-p	۰/۳۹۳i-k	۱/۱۳k-n	۲/۵۵d-j	۰	۱۶۰
۰/۳۹p-s	۰/۳۳۱k-m	۱/۰۱l-n	۲/۳۴۸i-m	۱۰	-
۰/۳۹p-s	۰/۲۷l-n	۰/۸۴۸n-o	۲/۳۱۷j-n	۲۰	-
۰/۳۷q-s	۰/۱۹۳n	۰/۴۶pq	۲/۲۲۳l-o	۴۰	-
۰/۳۴ls	۰/۱۶۲n	۰/۱۷r	۲/۰۸۳no	۸۰	-

※ اعدادی که در هر ردیف یا ستون در یک حرف کوچک یا بزرگ مشترک می باشند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند.

اثر متقابل سطوح مختلف شوری و آرسنیک بر غلظت آهن، روی، منگنز و مس گیاه آزولا

نتایج نشان داد که اثر شوری و آرسنیک بر غلظت آهن و منگنز در سطح احتمال یک درصد و بر غلظت روی و مس در سطح احتمال پنج درصد معنی داری بود. بیشترین مقادیر آهن، روی و مس در کمترین غلظت های آرسنیک و کلرید کلسیم به دست آمد و با افزایش آرسنیک و کلرید کلسیم مقادیر این سه عنصر در گیاه کاهش یافت. تیمار ۱۶۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر و بدون کلرید کلسیم با میانگین ۵۷۴/۴ میلی گرم در

کیلوگرم دارای بیشترین غلظت منگنز گیاه بود. افزایش آرسنیک محلول غذایی بر غلظت منگنز بافت های گیاه افزود اما شوری باعث کاهش غلظت منگنز گیاه گردید. کمترین غلظت منگنز در تیمارهایی حاصل شد که حاوی سطوح بالایی از کلرید کلسیم بودند. تیمار ۸۰ میلی گرم آرسنیک در لیتر و ۸۰ میلی مولار شوری با غلظت ۱۹۵/۲ میلی گرم در کیلوگرم دارای کمترین غلظت منگنز گیاه بود. در این تیمار به دلیل کاهش رشد گیاه و آسیب رسیدن به سلوی های گیاهی جذب منگنز نسبت به بقیه تیمارها کم تر بود (جدول ۸).

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر سطوح شوری و آرسنیک بر غلظت عناصر غذایی کم مصرف (میلی گرم در کیلوگرم) در گیاه آزولا

مس	منگنز	روی	آهن	سطوح شوری (میلی مولار NaCl)	سطوح آرسنیک (میلی گرم در لیتر)
۹۶a	۲۷۵/۳h-m	۱۰۱/۶۲a	۷۱۰/۵a*	۰	۰
۸۹/۹۶b	۲۶۸/۶h-m	۹۲/۱۸a-c	۶۲۱/۷c	۱۰	-
۸۰/۵c	۲۳۵/۳j-m	۸۵/۵۲b-d	۵۹۲/۸cd	۲۰	-
۶۳/۳d	۲۲۶/۴۴lm	۸۰/۵۲c-e	۵۴۲/۳e-h	۴۰	-
۵۲/۲f-h	۲۲۸/۶k-m	۶۰/۵۳f-k	۴۹۲/۸i-l	۸۰	-
۶۶/۶۴d	۳۲۴/۷f-i	۹۶/۰۷ab	۶۶۷/۸b	۰	۵
۵۳/۸e-g	۳۱۱/۹g-k	۸۲/۲c-e	۵۶۷/۵d-f	۱۰	-
۴۹/۴g-i	۲۸۸g-l	۷۴/۴۱d-f	۵۳۱/۷e-i	۲۰	-
۴۵/۵۳i-k	۲۵۳/۱i-m	۵۳/۸۶j-n	۵۲۰/۱f-j	۴۰	-
۳۶/۶۵n-q	۲۵۴/۲i-m	۴۷/۲k-p	۴۹۸/۱h-l	۸۰	-
۵۷/۷e	۳۶۹/۱d-g	۷۲/۲d-g	۵۵۵/۹d-g	۰	۱۰
۵۴/۹۷ef	۲۳۸/۱j-m	۶۷/۴۱e-i	۵۳۵/۳e-i	۱۰	-
۴۷/۷۶h-j	۳۲۳f-i	۶۸/۹e-i	۵۰۳/۶۹h-k	۲۰	-
۴۰l-o	۲۷۴/۱۷h-m	۵۶/۱i-m	۴۸۲j-m	۴۰	-
۳۷/۲n-q	۳۱۴/۷g-j	۵۲/۲j-o	۴۳۷/۶m-p	۸۰	-
۵۴/۹ef	۳۳۴/۱e-i	۷۰/۵۲e-h	۵۹۸/۱cd	۰	۲۰
۵۰f-i	۳۰۳/۶g-l	۶۳/۳f-j	۵۴۴/۷e-h	۱۰	-
۴۷/۲h-j	۳۶۴/۱d-g	۵۸/۸۶g-l	۵۰۶/۷g-k	۲۰	-
۴۱/۶۵k-n	۲۲۶/۴lm	۵۷/۲h-m	۴۵۲/۸l-n	۴۰	-

ادامه جدول ۸- مقایسه میانگین اثر سطوح شوری و آرسنیک بر غلظت عناصر غذایی کم مصرف (میلی گرم در کیلوگرم)

در گیاه آزولا

مس	منگنز	روی	آهن	سطوح شوری (میلی مولار NaCl)	سطوح آرسنیک (میلی گرم در لیتر)
۳۴/۴p-r	۳۰۱/۹f-i	۵۲/۲j-o	۴۰۲/۹op	۸۰	-
۵۳/۸۶e-g	۳۴۱/۸۸e-h	۵۳/۸۶j-n	۵۷۷/۸c-e	۰	۴۰
۴۷/۷۶h-j	۲۹۹/۷g-l	۵۳/۳j-n	۵۳۰/۳e-j	۱۰	-
۴۳/۸۷j-l	۴۱۳/۴۸de	۵۰/۵۳j-p	۵۱۴/۵g-j	۲۰	-
۳۸/۳۱m-p	۳۹۹/۶d-f	۴۶/۶۴k-p	۴۶۱/۲k-m	۴۰	-
۳۳/۸۷p-s	۴۱۶/۲۵de	۴۵/۵۳k-p	۴۱۴/۵۶n-p	۸۰	-
۴۶/۱i-k	۳۶۳/۵d-g	۵۲/۲j-o	۵۵۳/۹d-g	۰	۸۰
۳۸/۳m-p	۴۲۴/۶cd	۵۰j-p	۴۹۲/۳i-l	۱۰	-
۳۲/۲۱q-t	۴۴۲/۳cd	۴۶/۱k-p	۴۴۲/۶m-o	۲۰	-
۲۸/۸۷s-u	۳۶۲/۴d-g	۴۲/۷۶m-p	۳۹۲/۳۴pq	۴۰	-
۲۵/۵۴uv	۱۹۵/۲m	۳۷/۷۶op	۳۱۷rs	۸۰	-
۴۳/۳۱j-m	۵۷۴/۴a	۵۰/۵۳j-p	۲۹۵/۳۸pq	۰	۱۶۰
۳۶/۱o-q	۵۳۶/۱۵ab	۴۷/۲k-p	۳۵۴qr	۱۰	-
۲۹/۴۳r-u	۴۹۵/۴۵bc	۴۵l-p	۳۱۰/۹۷rs	۲۰	-
۲۷/۲۱t-v	۴۳۰/۴۳cd	۳۸/۸۷n-p	۲۸۰/۱st	۴۰	-
۲۳/۳۲v	۴۱۵/۵de	۳۷/۲p	۲۴۰/۷t	۸۰	-

*اعدادی که در هر ردیف یا ستون در یک حرف کوچک یا بزرگ مشترک می باشند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند.

بحث

کاهش ظرفیت جذب آرسنیک گیاه آزولا به وسیله شوری محلول غذایی، احتمالاً به دلیل افزایش غلظت کلراید در محلول غذایی و رقابت آن با آرسنات در جذب توسط گیاه است. گزارش شده است که شوری بر ظرفیت جذب فلز تأثیر گذار است (۱۰). وانگ و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که شوری از طریق کاهش جذب پرتوهای فعال در فتوسنتز و کاهش کارایی پرتوهای خورشیدی باعث کاهش رشد گیاه می شود (۱۶). همچنین تنش شوری از طریق تولید رادیکال های آزاد اکسیژن سبب کاهش عملکرد می شود (۱۷).

حضور شوری و آرسنیک باعث کاهش رشد و در غلظت های بالا باعث مرگ گیاه شد. تحقیقات نشان می دهد که در گیاهانی که قادر به جذب آرسنیک از آب می باشند، به موازات حذف آرسنیک از آب، غلظت آن در گیاه افزایش می یابد تا جایی که مکانیزم کنترلی جذب بر اثر افزایش غلظت ناگهانی آرسنیک در گیاه از بین رفته و گیاه نشانه هایی از مسمومیت با آرسنیک را نشان داده و این باعث کاهش زی توده گیاهی می شود (۱۵). سنتیویسکا و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که گیاه آزولا (*Azolla caroliniana*) قادر است بیش از ۲۰ درصد غلظت Cd (II) موجود در آب های آلوده را کاهش دهد (۸).

(۲۰۱۲) نشان دادند که افزایش غلظت آرسنیک محلول غذایی باعث کاهش جذب منیزیم شد (۲۴). گزارش شده که افزایش غلظت آرسنیک محلول غذایی باعث افزایش جذب کلسیم می شود (۲۵). نتایج تحقیقات لوی و همکاران (۲۰۰۸) نیز با نتایج این تحقیق مبنی بر افزایش غلظت کلسیم با افزایش آرسنیک محلول غذایی تطابق داشت. افزایش غلظت کلسیم گیاه احتمالاً به دلیل کاهش غلظت پتاسیم در اثر افزایش غلظت آرسنیک محلول غذایی باشد (۱۸).

افزایش شوری محلول غذایی مانع از جذب نیتروژن توسط گیاه آزولا گردید که این کاهش می تواند نتیجه رقابت یون های سدیم و کلراید به ترتیب با یون های آمونیوم و نترات باشد (۲۶). افزایش شوری محلول غذایی تأثیر منفی بر جذب فسفر به وسیله آزولا داشت. به نظر می رسد که اثر آنتاگونیستی کلراید با فسفات باعث کاهش جذب این عنصر به وسیله آزولا شده است. مارتینز و لاجلی (۱۹۹۴) دریافتند که شوری از نوع NaCl جذب فسفر را در پنبه کاهش داد (۲۷). نشان داده شده که شوری باعث کاهش جریان فسفر در آوند چوبی می گردد. سطوح بالای نمک پویایی فسفر معدنی ذخیره شده در واکوئل ها را کاهش داده و از این طریق سبب کمبود فسفر در گیاه می شود (۲۸).

با افزایش شوری محلول غذایی بر غلظت سدیم در محلول غذایی افزوده شده و احتمالاً در نتیجه رقابت این یون با پتاسیم از میزان پتاسیم جذب شده توسط گیاه کاسته خواهد شد. یکی از علل کاهش غلظت کلسیم با افزایش شوری می تواند زیادی یون های سدیم در شرایط شور و رقابت آن با یون کلسیم برای جذب باشد. همچنین کاهش کلسیم گیاه در شرایط شور را می توان به کاهش تعرق گیاه نسبت داد (۲۹). گراتان و گریو (۱۹۹۹) سه دلیل برای کاهش عملکرد محصولات در شرایط شور بیان کردند: ۱- شوری بر فراهمی عناصر غذایی اثر می گذارد، ۲- شوری سبب ایجاد جذب

کاهش غلظت نیتروژن گیاه احتمالاً به دلیل رقابت یون های نترات و آرسنات در جذب توسط گیاه می باشد. گزارش شده که آرسنیک جذب همه عناصر غذایی را متأثر می سازد. آرسنیک از طریق رقابت مستقیم و یا تغییر فرایندهای متابولیکی بر جذب عناصر غذایی تأثیر می گذارد (۱۸). لوی و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند که آرسنیک باعث کاهش غلظت نیتروژن گیاه شد (۱۸). آرسنیک ممکن است بر جذب و توزیع عناصر غذایی در گیاه از طریق رقابت مستقیم در جذب و یا فرایندهای متابولیکی تأثیر بگذارد (۱۹).

آرسنیک و فسفر هر دو متعلق به گروه پنجم جدول تناوبی عناصر شیمیایی هستند که به دلیل خصوصیات شیمیایی مشابه رفتار مشابهی در خاک و گیاهان دارند. برخلاف آرسنیک، فسفر یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاه است و معمولاً نقش موثری در رشد و نمو آن دارد. کاهش جذب فسفر شاید به دلیل رقابت و این که آرسنات به وسیله سیستم انتقال فسفات جذب می شود باشد (۲۰). آرسنیک و فسفر هنگام جذب از طریق غشاء سلولی با یکدیگر رقابت می کنند (۲۱). جذب آرسنات و فسفات توسط ریشه گیاه به طور معنی داری وابسته به غلظت آن ها در محیط است و این احتمال وجود دارد که به دلیل تشابه فیزیکی و شیمیایی آن ها، جذب این دو عنصر توسط ناقل مشترکی انجام شود و از این طریق با یکدیگر رقابت می کنند (۲۲).

نتایج تحقیقات روی و همکاران (۲۰۱۲) بر روی گیاه تاج خروس نشان داد که آرسنیک تأثیر منفی بر جذب فسفر و پتاسیم داشت اما این تأثیر معنی دار نبود (۴). لامبی و همکاران (۲۰۰۲) بیان کردند که آرسنیک و پتاسیم الگوی توزیع مشابهی در گیاه دارند. که این امر می تواند دلیل مناسبی برای تأثیر منفی آرسنیک بر غلظت پتاسیم در بافت های گیاه باشد (۲۳).

کاهش غلظت منیزیم گیاه احتمالاً به دلیل افزایش غلظت کلسیم گیاه تحت استرس آرسنیک می باشد. گومز و همکاران

رقابتی می شود و ۳- شوری بر انتقال یا بخش بندی عنصر غذایی در گیاه تأثیرگذار است (۳۰).

نتایج داده های گومز و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که افزایش سطح آرسنیک محیط رشد باعث کاهش جذب آهن شد (۲۴). آرسنیک در متابولیسم گیاه تداخل ایجاد می کند و رشد گیاه را به دلیل غیر فعال کردن بسیاری از آنزیم ها به وسیله واکنش با گروه های سولفیدریل پروتئین ها کاهش می دهد (۲۲).

عناصر کم مصرف با سیستم آنزیم های مختلف در پیوند می باشند که احتمالاً آرسنیک با تأثیر منفی که بر سیستم آنزیمی دارد باعث کاهش غلظت عناصر کم مصرف در گیاه می باشد.

دوران زوازو و همکاران (۲۰۰۵) مشاهده کردند که تحت تنش شوری، غلظت روی در ساقه و ریشه گیاه انبه کاهش یافت (۳۱). نتایج تحقیقات اسکندری و مظفری (۱۳۹۰) مبنی بر کاهش جذب منگنز با افزایش شوری محیط رشد بود که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (۳۲). علت کاهش جذب عناصر کم مصرف از جمله مس در شرایط شور می تواند ناشی از جذب بیش تر عنصر سدیم باشد (۳۳). کاهش غلظت عناصر در گیاه با افزایش شوری محلول غذایی می تواند به دلیل اختلال در جذب و انتقال این عناصر به خاطر افزایش فشار اسمزی محیط ریشه و کاهش رشد گیاه باشد.

نتیجه گیری

حضور شوری و آرسنیک باعث کاهش رشد و در غلظت های بالا باعث مرگ گیاه شد. گیاه آزولا، غلظت های بالایی از آرسنیک را در خود تجمع داده و تجمع گر خوبی برای آرسنیک بود.

افزایش غلظت شوری محلول غذایی باعث کاهش جذب آرسنیک و در نتیجه کاهش غلظت آرسنیک در بافت های گیاه آزولا شد. هر چه غلظت بیوماس در محلول بیش تر باشد، میزان جذب مخصوص کم تر می شود، چرا که افزایش غلظت زی توده باعث تداخل سایت های پیوندی می شود.

افزایش غلظت آرسنیک محلول غذایی باعث کاهش غلظت نیتروژن، پتاسیم، فسفر، منیزیم، آهن، روی، مس و افزایش غلظت کلسیم، منگنز و سدیم در گیاه آزولا شد. آرسنیک از

طریق رقابت مستقیم و یا تغییر فرایندهای متابولیکی بر جذب عناصر غذایی تأثیر می گذارد.

افزایش غلظت شوری محلول غذایی باعث کاهش غلظت نیتروژن، پتاسیم، فسفر، منیزیم، آهن، منگنز، روی، مس و افزایش سدیم گیاه آزولا شد. از دلایل کاهش میزان جذب عناصر غذایی توسط گیاهان در محیط های شور، می توان به کاهش رشد گیاه و عدم تعادل تغذیه ای اشاره نمود.

منابع

- 1) Pal, M., Singh, D. K., Rao, L. S. and Singh, K. P. 2004. Photosynthetic characteristics and activity of antioxidant enzymes in salinity tolerant and sensitive rice cultivars. *Indian Journal of Plant Physiology*. 9: 407-412.
- 2) Gupta, V. K., Shrivastava, A. K. and Jain, N. 2001. Biosorption of chromium (VI) from aqueous solutions by green algae *Spirogyra* species. *Water Research*. 35: 4079-4085.
- 3) Oram B, Halsor S, Redmond B. 2011. Water quality. Available at: www.wilkes.edu/Include/waterresearch/PDFs/Waterbooklet070610.pdf.
- 4) Roy, S. Parveen, Z. and Imamul Huq, S. M. 2012. Effect of Arsenic on the nutrient uptake pattern of *Amaranthus*. Dhaka University. *Journal of Biological Sciences*. 21(1): 87-96.
- 5) Xue, P., Yan C., Sun, G. and Luo, Z. 2012. Arsenic accumulation and speciation in the submerged macrophyte *Ceratophyllum demersum*. *L. Environmental Science and Pollution Research*. 19:3969-3976.
- 6) Ozkutlu, F., Ozturk, L., Erdem, H., McLaughlin, M. and Cakmak, I. 2007. Leaf-applied sodium chloride promotes cadmium accumulation in

- 14) Ozturk, F., Duman, F., Leblebici, Z. and Temizgul, R. 2010. Arsenic accumulation and biological responses of watercress (*Nasturtium officinale* R. Br.) exposed to arsenite. *Environmental and Experimental Botany*. 69: 167–174.
- 15) Mkandavire, M. and Dude, E.G. 2005. Accumulation of arsenic in *Lemna gibba* L. (duckweed) in tailing waters of two abandoned uranium mining sites in Saxony, Germany. *Science of the Total Environment*. 336, 81-89.
- 16) Wang, D., Shannon, M. C. and Grieve, C. M. 2001. Salinity reduces radiation absorption and use efficiency in soyabean. *Field Crops Research*. 69: 267-277.
- 17) Melloni, D. A., Oliva, M. A., Martinez, C. A. and Cambraia, J. 2003. Photosynthesis activity of super oxide dismutase, peroxides and glutathione reductase in Cotton under salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, 49: 69-76.
- 18) Lui, Q., Hu, C., Tan, Q., Sun, X., Su, J. and Liang, Y. 2008. Effects of As on As uptake, speciation, and nutrient uptake by winter wheat (*Triticum aestivum* L.) under hydroponic conditions. *Journal of Environmental Sciences*. 20(3): 326-331.
- 19) Tu, C. and Ma, Q. 2005. Effects of arsenic on concentration and distribution of nutrients in the fronds of the arsenic hyperaccumulator *Pteris vittata* L. *Environmental Pollution*. 135: 333-340.
- 20) Meharg, A. A. and Macnair, M. R. 1990. An altered phosphate uptake system in arsenate-tolerant *Holcus durum* wheat grain. *Plant and soil*. 290(1-2): 323-331.
- 7) Sasmaz, A. and Obek, E. 2009. The accumulation of arsenic, uranium, and boron in *Lemna gibba* L. exposed to secondary effluents. *Ecological Engineering*. 35:1564–1567.
- 8) Stêpniewska, Z., Bennicelli, R.P., Balakhnina, T.I., Szajnocha, K., Banach, A. and Wolińska, A. 2005. Potential of *Azolla caroliniana* for the removal of Pb and Cd from wastewaters. *institute of agrophysics polish academy of sciences*. 19: 251-255.
- 9) Agastian, P., Kingsley, S. J. and Vivekanandan, M. 2000. Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. *Photosynthetica*, 38: 287-290.
- 10) Parida K. A. and Das B. A. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 60: 324-349.
- 11) Leblebici, Z., Akosy, A. and Duman, F. 2006. Influence of salinity on the growth and heavy metal accumulation capacity of *Spirodela polyrrhiza*. *Turkish Journal of Biology*. 35: 215-220.
- 12) Bennicelli R, Stezpniewska Z, Banach A, Szajnocha K, Ostrowski J. 2004. The ability of *Azolla caroliniana* to remove heavy metals (Hg(II), Cr(III), Cr(VI)) from municipal waste water. *Chemosphere*. 55:141–146.
- 13) Epstein Emanuel. 1972. *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*. New York. John Wiley, pp. 412.

- hirsutum L.). *New Physiologist*. 125: 609-614.
- 28) Navarro, J. M., Botella, M. A., Ceda, A. and Martineze, V. 2001. Phosphorus uptake and translocation in salt-stressed melon plants. *Journal of Plant Physiology*. 158: 175-181.
- (۲۹) زعفرانچیزاده مقدم، م. ۱۳۷۳. تاثیر ماده تنظیم کننده کلراید و کلسیم کلراید بر تحمل گندم نسبت به شوری و تغذیه فسفات در مراحل اولیه رشد. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته علوم گیاهی (گرایش فیزیولوژی). دانشکده علوم پایه. دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
- 30) Grattan, S. R. and Grieve, C. M. 1999. Salinity-mineral nutrients relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*. 78: 127-157.
- 31) Duran Zuazo, V. H., Martinez-Raya, A., Aguilar Ruiz, J. and Franco Tarifa D. 2005. Impact of salinity on macro and micro nutrient uptake in mango (*Mangifera indica* L. cv. Osteen) with different rootstocks. *Spanish Journal of Agriculture Research*. 2(1):121-133.
- (۳۲) اسکندری، س. و مظفری، و. ۱۳۹۰. تأثیر شوری و مس بر جذب عناصر کم مصرف در ریشه نهال های دو رقم پسته تحت شرایط گلخانه. اولین کنگره ملی علوم و فناوری های نوین کشاورزی، زنجان، ۲۸۱-۲۷۷.
- 33) El-Fouly, M., Zeniab, M. and Zeniab, A. S. 2001. Micronutrient spary as a tool to increase tolerance of faba bean and wheat plants to salinity. XIV International Plant Nutrition Colloquium. Hanover, Germany. 422-423.
- lanatus L. *New Phytologist*. 116: 29-35.
- 21) Chen, T. B., and Wei, C.Y. 2000. Arsenic hyper accumulation in some plant species in South China. *Proceedings of International Conference of Soil Remediation, Hangzhou, China*. P 194-195.
- 22) Meharg AA, Hartley-Whitaker J. 2002. Arsenic uptake and metabolism in arsenic resistant and nonresistant plant species. *New Phytologist* 154: 29-43.
- 23) Lombi, E., Zhao, F. J., Fuhrmann, M., Ma, L.Q. and McGrath, S. P. 2002. Arsenic distribution and speciation in the fronds of the hyperaccumulator *Pteris vittata*. *New Phytologist*. 156: 195-203.
- 24) Gomes, M. P., Duarte, D. M., Miranda, P. L. S., Barreto, L. C., Matheus, M. T. and Garcia, Q. S. 2012. The effects of arsenic on the growth and nutritional status of *Anadenanthera peregrina*, a Brazilian savanna tree. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 175(3): 466-473.
- 25) Sridokchan, W., Markich, S. and Visoottiviseth, P. 2005. Arsenic Tolerance, Accumulation and Element Distribution in Twelve Ferns: a Screening Study. *Australasian Journal of Ecotoxicology*. 11: 101-110.
- 26) Ben-Gal, A. and Shani, U. 2003. Water use and yield of tomatoes under limited water and excess boron. *Plant and Soil*. 256: 179-186.
- 27) Martinez, V. and Lauchli, A. 1994. Salt-induced inhibition of phosphate uptake in plants of cotton (*Gossypium*