مقاله پژوهشی

فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۶۲، پاییز ۱۴۰۱، صص ۲۱۷-۲۳۰

غلظت عناصر کم مصرف در گیاه آزولا در محیط آلوده به کادمیوم و شوری

صلاح الدین مرادی[1]*

6341ms@gmail.com

لیلا جهانبان [2]

جعفر صوفیان[3]

تاریخ دریافت: ۹۷/۲/۱ **تاریخ پذیرش: ۹۷/۹/۱۴**

چکیده

زمینه و هدف: پیشرفت سریع فناوری در دهه‌های اخیر با وجود مزایای فراوانی که برای بشر داشته، منابع طبیعی و اجزای محیط زیست را در معرض آلاینده‌های مختلف از جمله فلزات سنگین و سمی قرار داده است.

روش بررسی: جهت بررسی پتانسیل آزولا، برای جذب کادمیم و عناصر غذایی کم مصرف از محلول‌های با شوری‌های مختلف یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه اجرا شد. سطوح کادمیم عبارت بود از صفر، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی گرم در لیتر کادمیم که از منبع سولفات کادمیم 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.

یافته ها: نتایج نشان داد که آزولا غلظت‌های بالایی از کادمیم را در بافت‌های خود تجمع داد. شوری باعث افزایش جذب کادمیم به وسیله آزولا شد. کادمیم موجود در محلول سبب افزایش غلظت کادمیم (در گیاه)، سدیم، منگنز و مس و کاهش غلظت آهن و روی شد. سطوح شوری سبب افزایش غلظت کادمیم و سدیم و کاهش غلظت آهن، روی، منگنز و مس شد. تیمارهای اثرات متقابل کادمیم و شوری سبب افزایش غلظت کادمیم و سدیم و کاهش غلظت آهن و روی شدند.

بحث و نتیجه گیری: وجود عنصر سنگین کادمیم و شوری باعث کاهش رشد و حتی باعث مرگ حتمی گیاه در غلظت‌های بالا شد.

واژگان کلیدی: آزولا، شوری، عناصر غذایی کم مصرف، کادمیم

۱- استادیار گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵ تهران، ایران (مسئول مکاتبات)

۲- استادیار گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵ تهران، ایران

۳- گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵ تهران، ایران

Human and Environment, No. 62, Autumn 2022, pp. 217-230

Concentration of micronutrient in Azola at cadmium and salinity contaminated environment

Salahedin Moradi [1*]
6341ms@gmail.com
Leyla Jahanban [2]
Jafar Sufian [3]

Received: April 21, 2018 Accepted: December 5, 2018

Abstract

Introduction: Rapid technological advances in recent decades are despite the many benefits for human, exposed the natural resources and environmental components to various contaminants such as heavy and toxic metals.

Materials and Methods: In order to evaluate the potential of azolla, to absorb cadmium and micronutrient from solution contaning different concentrations of salinity, a factorial experiment with completely randomized design and three replications were conducted in the greenhouse. Cadmium was used from cadmium sulfate at the levels of 0, 5, 10, 20, 40, and 80 mg/liter using Epestin nutrient solution. The concentrations of NaCl in Epestin nutrient solutions were 0, 10, 20, 40 and 80 mM.

Results: The azolla accumulated high concentration of cadmium solutions in their tissues. Assessing the effect of salinity on cadmium of the azolla indicated that increase in salinity levels of nutrient solution, increased cadmium concentration. Cadmium solutions increasing concentrations of cadmium (in plant), sodium, manganese, copper and decrease iron and zinc. Salinity treatments increased cadmium and sodium and decreasing concentrations of iron, zinc, manganese and copper. Mutual effects of cadmium and salinity treatments increased cadmium and sodium and decreasing concentrations of iron and zinc.

Conclusion: Aplications of cadmium and salinity decreased the growth rate of azolla and even caused death where their concentrations were high.

Keywords: Azolla, Cadmium, Micronutrient, Salinity

1- Assistance Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, PO. BOX 19395-3697 Tehran, Iran
∗Corresponding author
2-Assistance Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, PO. BOX 19395-3697 Tehran, Iran
3-Department of Agriculture, Payame Noor University, PO. BOX 19395-3697 Tehran, Iran

مقدمه

استفاده از فلزات سنگین و ترکیبات آنها در فرایندهای مختلف صنعتی منجر به انباشتگی این فلزات در دورریزها و پساب‌ها شده است. منابع اولیه آلودگی فلزات سنگین، سوزاندن سوخت‌های فسیلی، ذوب سنگ‌های معدنی فلزدار، پسماندهای شهری، کودها، آفت کش‌ها و فاضلاب‌ها می‌باشد (۱). با رشد جمعیت و پیشرفت صنایع، این عمل رو به رشد است و به طبع آن محیط زیست به مقدار بیشتر تحت تأثیر آلاینده‌ها به خصوص فلزات سنگین قرار خواهد گرفت. از میان همه فلزات سنگین آلودگی کادمیم، آرسنیک و سرب بیشترین نگرانی را ایجاد کرده است (۲). کادمیم یکی از فلزات سنگین سمی و غیر ضروری برای موجودات زنده است که اثر منفی بر محیط زیست دارد و می‌تواند به اشکال مختلف به زنجیره غذایی انسان وارد و سلامت او را به مخاطره اندازد. کادمیم میتواند باعث اختلال در عملکرد کلیه و استخوان و ایجاد سرطان کبد و خون شود (۳).

معمولاً کادمیم در جذب و انتقال عناصری مانند کلسیم، منیزیم، فسفر، پتاسیم و همچنین آب در گیاه اخلال ایجاد می‌کند. برهمکنش بین کادمیم و دیگر عناصر از جمله روی، ممکن است اشاره به حضور مکانیسم‌های انتقال مشابه داشته باشد. این عنصر با اختلال در متابولیسم نیتروژن از طریق مهار فعالیت آنزیم هایی مانند گلوتامین سینتاز، گلوتامات سینتاز و نیترات رودوکتاز، سبب کاهش تولید پروتئین شده و رشد را متوقف می‌کند (۴).

کمبود جهانی منابع آب، آلودگی محیط زیست و افزایش شوری اراضی و منابع آب ویژگی‌های برجسته قرن بیست و یکم هستند. سالانه حدود ۱۰ میلیون هکتار از زمین های تحت کشاورزی جهان در اثر شوری حاصل از آبیاری از چرخه تولید خارج می‌شوند. شوری بر میزان رشد و ظرفیت جذب فلز تأثیر گذار است. در پژوهشی تأثیر شوری و واکنش خاک بر تجمع زیستی سطوح مختلف کادمیم در آفتابگردان (Helianthus Annus) مورد بررسی قرار گرفت که طی آن با افزایش شوری تجمع فلز در ریشه و ساقه افزایش یافت (۵). خوشگفتارمنش و همکاران (۶) بیان نمودند که استفاده از نمک همراه با آب آبیاری غلظت کادمیم را در ریشه و ساقه گندم افزایش داد. دمایریزن (۷) تاثیر شوری بر رشد و ظرفیت تجمع نیکل در عدسک آبی (Lemna gibba) را بررسی کرده و نشان داد که بیشترین سرعت رشد عدسک آبی در تیمار ۱۲۵ مول بر متر مکعب کلرور سدیم و کمترین مقدار آن در تیمار ۳۷۵ مول بر متر مکعب بود. همچنین در بیشترین سطح شوری (۵۰۰ مول بر متر مکعب) رشد گیاه منفی بود.

از گیاه پالایی می‌توان برای تصفیه پساب‌ها استفاده نمود ولی گونه‌های مختلف گیاهی و حتی رقم‌های مختلف یک گونه پتانسیل مختلفی برای جذب فلزات سنگین از آب و خاک دارند، بنابراین یافتن گونه یا رقم مناسب که از پتانسیل جذب بالایی برخوردار باشد برای انجام عمل گیاه پالایی بسیار حائز اهمیت است. آزولا (Azolla caroliniana) سرخس آبزی شناور کوچکی از خانواده Salvinaceae است که به طور گسترده ای در شالیزارها، روخانه‌ها و دریاچه‌ها یافت می‌شود. این گیاه به همراه سیانوباکتر همزیست خود (آنابنا) به عنوان یکی از سیستم‌های تثبیت کننده نیتروژن (Nitrogen fixing biofertilizer) در کشاورزی بکار می‌رود. آزولا در پساب و آب شیرین رشد می‌کند، تولید زیتوده بالایی دارد و ظرفیت قابل ملاحظه‌ای برای جذب عناصر سنگین سمی دارد (۹). در این پژوهش تأثیر شوری و کادمیم بر جذب عناصر غذایی در گیاه آزولا از محیط‌های آبی بررسی شد.

مواد و روش ها

به منظور بررسی پتانسیل آزولا، در جذب کادمیم از محلول‌های غذایی با شوری‌های مختلف یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه اجرا شد. در این آزمایش سطوح مختلف کادمیم عبارت بود از صفر، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی گرم در لیتر که از منبع سولفات کادمیم تأمین و به محلول

غذایی اپستین اضافه شد تا غلظت‌های ذکر شده حاصل گردد. غلظت نمک محلول غذایی 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 محلول‌های غذایی با غلظت‌های مختلف کادمیم و شوری در آنها، گیاه آبزی آزولا پرورش داده شد. برای تهیه محلول غذایی اپستین طبق جدول ۱، ابتدا محلول‌های 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 محلول‌ها، از هر کدام از آنها به اندازه ذکر شده در جدول ۱ برداشته و با هم مخلوط گردید و در نهایت به حجم یک لیتر رسانده شد.

پس از انتقال گیاه به داخل ظروف کشت، حجم مشخصی از محلول‌های غذایی حاوی کادمیم به ظروف اضافه شد و هر چهار روز یکبار آب محیط کشت همه ظرف‌ها تعویض و آب مقطر و محلول غذایی تازه و حاوی غلظت‌های مختلف کادمیم به مدت ۳۰ روز به ظرف‌های حاوی آزولا آبی اضافه شد. پس از گذشت ۳۰ روز گیاهان هر یک از ظرف‌ها برداشت و پس از شستشو با آب مقطر و گرفتن آب آزاد آنها، وزن نهایی گیاهان اندازه گیری گردید و سپس در آون در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک گردیدند. سپس نمونه‌های گیاهی تهیه شده آسیاب و بعد از هضم آنها در آزمایشگاه، میزان عناصر اندازه گیری گردید.

مقدار عناصر کم مصرف شامل روی، آهن، منگنز و مس همچنین کادمیم با کمک دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. اطلاعات بدست آمده از آزمایش به کمک نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و جداول تجزیه واریانس داده‌ها تهیه گردید. مقایسه میانگین تیمارهای مختلف به کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت پذیرفت.

جدول ۱- ترکیب محلول غذایی مورد استفاده در این آزمایش (۱۰)

Table 1. The composition of the nutrient solution used in this experiment (10)

ترکیب	غلظت محلول ذخیره (گرم در لیتر)	نوع محلول	حجم محلول ذخیره در هر لیتر محلول نهایی (میلی لیتر)
KNO_3	۱۰۱/۱۰	A	۶/۰
$Ca(NO_3)_2\ 4H_2O$	۲۳۶/۱۶		۴/۰
$NH_4H_2PO_4$	۱۱۵/۰۸		۲/۰
$MgSO_4\ 7H_2O$	۲۴۶/۴۹		۱/۰
KCl	۳/۷۲۸	B	
H_3BO_3	۱/۵۴۶		
$MnSO_4\ H_2O$	۰/۳۳۸		
$ZnSO_4\ 7H_2O$	۰/۵۷۵		۱/۰
$CuSO_4\ 5H_2O$	۰/۱۲۵		
H_2MoO_4 (%85 MoO4)	۰/۰۸۱		
Fe-EDTA	۰/۹۲۲	C	۱/۰

نتایج

تأثیر سطوح کادمیم محلول غذایی بر غلظت کادمیم و سدیم گیاه آزولا

نتایج به دست آمده از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اختلاف معنی‌داری ($p < ۰/۰۱$) بین تیمارهای اعمال شده از نظر غلظت کادمیم وجود داشت. در تیمار ۴۰ میلی گرم کادمیم در لیتر بیشترین غلظت کادمیم گیاه با میانگین ۳۱۷۳/۱۷ میلی گرم

در کیلوگرم اندازه گیری شد و کمترین غلظت کادمیم از تیمار شاهد با میانگین ۶۹/۹۷ میلی گرم در کیلوگرم حاصل شد (جدول ۲). نتایج نشان داد که با افزایش غلظت کادمیم محلول غذایی تا سطح ۴۰ میلی‌گرم در لیتر غلظت آن در بافت‌های گیاه افزایش یافت ولی در غلظت‌های بالاتر غلظت کادمیم گیاه کاهش یافت که نشان دهنده مسمومیت گیاه و متوقف شدن رشد و نمو و جذب توسط گیاه بود (جدول ۲).

در مورد سدیم تیمار ۸۰ میلی گرم کادمیم در لیتر با میانگین ۲۲۱۹/۴۹ میلی گرم در کیلوگرم دارای بیشترین غظت سدیم بود. تیمار شاهد با میانگین غلظت سدیم ۱۰۸۷/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم کمترین میزان سدیم گیاه را بخود اختصاص دادند (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر سطوح کادمیم و شوری بر غلظت کادمیم و سدیم در آزولا

Table 2. Comparison mean of the effect of cadmium and salinity levels on the concentration of cadmium and sodium in Azulla

سطوح کادمیم (میلی گرم در لیتر)	غلظت کادمیم (میلی گرم در کیلو گرم)	غلظت سدیم (میلی گرم در کیلو گرم)	سطوح شوری (میلی مولار (NaCl	غلظت کادمیم (میلی گرم در کیلو گرم)	غلظت سدیم (میلی گرم در کیلو گرم)
۰	۶۹/۹۷f*	۱۰۸۷/۴f	۰	۱۲۷۶/۳۴e*	۵۸۰/۰۸e
۵	۵۸۵/۵۵e	۱۲۳۵/۴۴e	۱۰	۱۳۵۰/۳۹d	۱۰۸۳/۹۴d
۱۰	۹۷۲/۹۴d	۱۴۸۱/۲۶d	۲۰	۱۴۰۰/۳۷c	۱۵۵۴/۱۵c
۲۰	۱۳۳۹/۴۶c	۱۷۳۹/۵۲c	۴۰	۱۵۵۰/۳۱b	۲۱۸۲/۶۵b
۴۰	۳۱۷۳/۱۷a	۲۰۶۳/۳b	۸۰	۱۶۹۳/۷۷a	۲۷۸۷/۸۷a
۸۰	۲۳۱۱/۳b	۲۲۱۹/۴۹a			

* 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 معنی‌داری ندارند.

تأثیر سطوح مختلف شوری بر غلظت کادمیم و سدیم در آزولا

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطوح مختلف شوری محلول غذایی بر غلظت کادمیم و سدیم آزولا در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. با افزایش غلظت شوری محلول غذایی بر جذب کادمیم و سدیم به وسیله این گیاه افزوده شد. تیمار ۸۰ میلی مولار شوری با میانگین ۱۶۹۳/۷۷ میلی گرم در کیلوگرم کادمیم و ۲۷۸۷/۸۷ میلی‌گرم در کیلوگرم سدیم دارای بیشترین غلظت ایندو عنصر بود. کمترین غلظت کادمیم و سدیم نیز در تیمار شاهد به ترتیب با میانگین ۱۲۷۶/۳۴ و ۵۸۰/۰۸ میلی گرم در کیلوگرم مشاهده شد (جدول ۲).

اثر متقابل کادمیم و شوری بر غلظت کادمیم و سدیم آزولا

نتایج بدست آمده نشان داد که اثر متقابل کادمیم و شوری بر غلظت کادمیم و سدیم گیاه آزولا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بیشترین غلظت کادمیم بافت‌های گیاه آزولا در تیمار ۸۰ میلی گرم کادمیم در لیتر محلول غذایی و ۸۰ میلی مولار شوری با میانگین ۳۴۷۰/۸۳ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم بافت خشک اندازه گیری شد و کمترین غلظت کادمیم گیاه در تیمار بدون کادمیم و بدون شوری با میانگین ۴۹/۹ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم بافت خشک حاصل شد. حضور شوری و کادمیم و برهمکنش آنها باعث افزایش غلظت سدیم بافت‌های گیاه شد. بیشترین غلظت سدیم گیاه در تیمارهای ۸۰ میلی‌گرم کادمیم در لیتر و ۸۰ میلی مولار شوری با میانگین‌های ۳۵۸۸/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده شد. تیمار صفر شوری و کادمیم با

میانگین ۲۲۹/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم دارای کمترین غلظت سدیم بود (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر سطوح متقابل کادمیم و شوری بر غلظت کادمیم و سدیم در آزولا

Table 3. Comparison mean of the effect of cadmium and salinity interactions on cadmium and sodium concentrations in Azolla

سطوح کادمیم (میلی گرم در لیتر)	سطوح شوری (میلی مولار NaCl)	غلظت کادمیم (میلی گرم درکیلو گرم)	غلظت سدیم (میلی گرم درکیلو گرم)
۰	۰	۴۹/۹۸r*	۲۲۹/۸o
	۱۰	۵۵/۵۳r	۸۵۸/۳lm
	۲۰	۷۷/۷۵r	۱۰۲۵/۹j-l
	۴۰	۷۲/۱۹r	۱۲۷۷/۳h-j
	۸۰	۹۴/۴۱r	۲۰۴۵/۵de
۵	۰	۷۱۰/۸۳q	۲۵۷/۸o
	۱۰	۷۵۵/۲۵pq	۹۰۰/۲lm
	۲۰	۸۴۹/۶۶op	۱۲۲۱/۵ik
	۴۰	۹۱۶/۳no	۱۵۵۶/۷gh
	۸۰	۱۰۶۰/۶۹lm	۲۲۴۱cd
۱۰	۰	۸۷۱/۸۷o	۵۳۷/۱n
	۱۰	۸۶۶/۳۲op	۹۲۸/۲k-m
	۲۰	۹۵۵/۱۷m-o	۱۴۳۱g-i
	۴۰	۱۰۲۱/۸۱l-n	۲۰۸۷/۴de
	۸۰	۱۱۴۹/۵۴kl	۲۴۲۲/۶c
۲۰	۰	۱۱۹۳/۹۷k	۶۴۸/۸mn
	۱۰	۱۲۵۵/۰۵jk	۹۷۰/۱kl
	۲۰	۱۳۱۰/۵۹ij	۱۷۱۰/۳fg
	۴۰	۱۳۹۹/۴۴i	۲۴۴۳c
	۸۰	۱۵۳۸/۲۷h	۲۹۲۵/۴b
۴۰	۰	۱۸۲۱/۴۹g	۸۷۲/۳lm
	۱۰	۲۰۹۳/۶۱f	۱۳۵۳/۶hi
	۲۰	۲۱۴۳/۵۹f	۱۸۵۶/۴ef
	۴۰	۲۶۴۸/۹۴e	۲۷۲۹/۹b
	۸۰	۲۸۴۸/۸۶d	۳۵۰۴/۴a
۸۰	۰	۳۰۰۹/۹۱c	۹۳۴/۶k-m
	۱۰	۳۰۷۶/۵۵c	۱۴۹۳/۲g-i
	۲۰	۳۰۶۵/۴۴c	۲۰۷۹/۸de
	۴۰	۳۲۴۳/۱۵b	۳۰۰۱/۶b
	۸۰	۳۴۷۰/۸۳a	۳۵۸۸/۲a

* 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 معنی‌داری ندارند.

تأثیر سطوح مختلف کادمیم بر غلظت غلظت آهن، روی، منگنز و مس گیاه آزولا

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر سطوح مختلف کادمیم بر غلظت آهن و روی در سطح احتمال یک درصد و بر غلظت منگنز و مس در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. با افزایش سطح کادمیم محلول غذایی از شاهد به سطح ۸۰ میلی‌گرم کادمیم در لیتر از مقدار آهن و روی بافت‌های گیاه کاسته شد. افزایش غلظت کادمیم منجر به افزایش جذب منگنز و مس گردید. تجمع منگنز در بافت‌های گیاه می‌تواند به دلیل کاهش غلظت روی در گیاه در اثر افزایش غلظت کادمیم محلول غذایی باشد (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر سطوح کادمیم و شوری بر غلظت آهن، روی، منگنز و مس (میلی‌گرم در کیلوگرم) در آزولا

Table 4. Comparison mean of the effect of cadmium and salinity levels on iron, zinc, manganese and copper (mg/kg) concentrations in azola

سطوح کادمیم (میلی گرم در لیتر)	غلظت آهن	غلظت روی	غلظت منگنز	غلظت مس	سطوح شوری (میلی مولار)	غلظت آهن	غلظت روی	غلظت منگنز	غلظت مس
۰	۵۵۹/۵۵a*	۱۶۴/۰۴a	۲۰۶/۰۱d	۶۲/۰۸d	۰	۵۷۸/۵۶a*	۲۰۲/۴۲a	۲۵۴/۹۵a	۹۶/۹a
۵	۵۴۷/۵۵a	۱۵۶/۲۷ab	۲۱۱/۸۹d	۷۲/۱۹c	۱۰	۵۰۸/۴b	۱۶۶/۷b	۲۳۸/۰۲b	۹۰/۰۵b
۱۰	۵۱۷/۱۸b	۱۵۱/۳۸bc	۲۲۱/۱۵c	۷۸/۶۳b	۲۰	۴۶۸/۷c	۱۴۴/۹۴c	۲۲۲/۵c	۸۱/۰۷c
۲۰	۴۴۵/۳۲c	۱۴۵/۹۴cd	۲۲۵/۲۴bc	۸۲/۵۲b	۴۰	۴۲۷/۲۸d	۱۲۶/۳۳d	۲۱۰/۹۳d	۷۱/۷۳d
۴۰	۴۱۶/۱۱d	۱۴۰/۲۷de	۲۳۰/۹۹b	۹۲/۵۱a	۸۰	۳۶۸/۱۸e	۱۰۳/۳e	۱۸۸/۹e	۶۴/۳۲e
۸۰	۳۳۵/۶۴e	۱۳۴/۵e	۲۴۳/۰۹a	۹۶/۹۶a					

* 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 معنی‌داری ندارند.

تأثیر سطوح مختلف شوری بر غلظت آهن، روی، منگنز و مس گیاه آزولا

نتایج نشان داد که اثر شوری بر غلظت آهن روی، منگنز و مس گیاه آزولا در سطح 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 بافت‌های گیاه کاسته شد (جدول ۴).

اثر متقابل سطوح مختلف شوری و کادمیم بر غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم گیاه آزولا

اثر متقابل سطوح مختلف شوری و کادمیم بر غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم و منیزیم بافت‌های گیاه آزولا در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. سطوح مختلف شوری و کادمیم اثر معنی‌داری بر غلظت کلسیم گیاه آزولا نداشت.

بر اساس مقایسه میانگین داده ها، بیشترین غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم و منیزیم گیاه مربوط به تیمار شاهد (بدون شوری و کادمیم) بود. کمترین مقدار این عناصر در تیمارهای ۸۰ میلی گرم کادمیم در لیتر و ۸۰ میلی مولار کلرید کلسیم مشاهده شد (جدول ۵).

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

نتایج نشان داد که اثر شوری و کادمیم 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 و روی در کمترین غلظت‌های کادمیم و کلرید کلسیم به دست آمد و با افزایش کادمیم و کلرید کلسیم مقادیر این دو عنصر در گیاه کاهش یافت. تیمار ۸۰ میلی‌گرم کادمیم در لیتر و بدون کلرید

کلسیم دارای بیشترین غلظت منگنز و مس در گیاه بود. افزایش کادمیم محلول غذایی بر غلظت منگنز و مس بافت‌های گیاه افزود اما شوری باعث کاهش غلظت این عناصر در گیاه گردید. کمترین غلظت منگنز در تیمارهایی حاصل شد که حاوی سطوح بالایی از کلرید کلسیم بودند (جدول ۶).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر سطوح شوری و کادمیم بر غلظت عناصر غذایی پر مصرف (درصد) در آزولا

Table 5. Comparison mean of the effect of salinity and cadmium levels on the concentration of macro nutrients (percentage) in Azola

سطوح کادمیم (میلی گرم در لیتر)	سطوح شوری (میلی مولار NaCl)	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	منیزیم
۰	۰	۲/۵a*	۲/۸a	۱/۷۵a	۰/۷۷a
	۱۰	۲/۴۱ab	۲/۱۱de	۱/۵۵b	۰/۶۹bc
	۲۰	۲/۲۵bd	۱/۹۴e	۱/۳۱c	۰/۶۴de
	۴۰	۲/۰۵de	۱/۵۸gh	۱/۱۷cd	۰/۵۵i-k
	۸۰	۱/۸۸e-g	۱/۴۱g-i	۱/۱d	۰/۴۷l-n
۵	۰	۲/۴۵ab	۲/۷ab	۱/۳۱c	۰/۷۱b
	۱۰	۲/۳۷a-c	۲/۳۷cd	۱/۲۶c	۰/۶۷cd
	۲۰	۲/۲۵b-d	۱/۹۷e	۱/۰۹d	۰/۶۲d-g
	۴۰	۲/۰۵ed	۱/۲۶ij	۰/۷۷e	۰/۵۳jk
	۸۰	۱/۷۲f-l	۰/۸۴l-n	۰/۶۶ef	۰/۴۸lm
۱۰	۰	۲/۱۷cd	۲/۵۳bc	۱/۵ab	۰/۷۱b
	۱۰	۱/۹۱ef	۲/۱۱de	۰/۷۷e	۰/۶۴de
	۲۰	۱/۷۴f-k	۱/۶۴fg	۰/۴۷f-j	۰/۵۸d-j
	۴۰	۱/۶i-l	۱/۵۵gh	۰/۳۹h-k	۰/۵۱kl
	۸۰	۱/۵kl	۱/۱۷i-k	۰/۲۹j-l	۰/۴۶mn
۲۰	۰	۱/۸۸e-g	۱/۸۸ef	۰/۷۶e	۰/۶۶c-e
	۱۰	۱/۷۵f-j	۱/۳۳hi	۰/۶۲e-g	۰/۶۱e-h
	۲۰	۱/۶۹f-l	۱/۱۳i-k	۰/۵۱f-i	۰/۵۹g-i
	۴۰	۱/۶۷g-l	۱/۰۱j-m	۰/۴۵g-j	۰/۵۶ij
	۸۰	۱/۶i-l	۰/۷۵mn	۰/۳۳i-l	۰/۴۱op
۴۰	۰	۱/۸۶e-h	۱/۹ef	۰/۷۶e	۰/۶۳d-f
	۱۰	۱/۸۳e-i	۱/۳۴hi	۰/۵۹e-h	۰/۶f-i
	۲۰	۱/۶۴h-l	۱/۱۴i-k	۰/۵f-j	۰/۵۵i-k
	۴۰	۱/۶۷g-l	۰/۸۹k-m	۰/۴۳g-j	۰/۵۱kl
	۸۰	۱/۶j-l	۰/۷۳mn	۰/۳i-l	۰/۴۷l-n
۸۰	۰	۱/۵۷j-l	۱/۱۲i-l	۰/۵۱f-i	۰/۵۳jk
	۱۰	۱/۶۳i-l	۰/۹۴k-m	۰/۴۳g-j	۰/۴۴no
	۲۰	۱/۵۵j-l	۰/۷۷mn	۰/۳۳i-l	۰/۴op
	۴۰	۱/۵۵j-l	۰/۵۷n	۰/۲kl	۰/۳۹pq
	۸۰	۱/۴۹l	۰/۲۲o	۰/۱۴l	۰/۳۶q

* 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 معنی‌داری ندارند.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر سطوح شوری و کادمیم بر غلظت عناصر غذایی کم مصرف (میلی گرم در کیلوگرم) در آزولا

Table 5. Comparison mean of the effect of salinity and cadmium levels on the concentration of micro nutrients (mg/kg) in Azola

سطوح کادمیم (میلی گرم در لیتر)	سطوح شوری (میلی مولار NaCl)	آهن	روی	منگنز	مس
۰	۰	۶۸۶/۳۹a*	۲۲۴/۹a	۲۴۰/۳۱c-e	۸۸/۸۵c-f
	۱۰	۶۴۱/۱b	۱۷۴/۳۷cd	۲۱۲/۰۱h-k	۸۳/۸۵d-h
	۲۰	۵۵۲cd	۱۶۴/۹۳c-e	۲۰۳/۱۳i-l	۶۲/۱۹kl
	۴۰	۴۹۷/۳ef	۱۴۹/۳۸e-h	۱۹۷/۰۲k-m	۳۸/۸۷m
	۸۰	۴۲۰/۹۴h-j	۱۰۶/۶۲mn	۱۷۷/۶no	۳۶/۶۵m
۵	۰	۶۴۷/۸ab	۲۰۱/۵۸b	۲۴۹/۷۵b-d	۹۰/۵۱b-e
	۱۰	۵۸۱/۴۳c	۱۷۵/۴۸cd	۲۳۵/۳۲d-f	۷۷/۱۹f-i
	۲۰	۵۶۸/۹۴cd	۱۵۶/۶d-g	۲۱۲/۵۶h-j	۷۲/۷۴h-k
	۴۰	۵۰۵/۳۵ef	۱۳۹/۹۴f-j	۱۹۵/۹۱lm	۶۳/۳j-l
	۸۰	۴۳۴/۲۷g-i	۱۰۷/۷۳mn	۱۶۵/۹۴o	۵۷/۱۹l
۱۰	۰	۶۲۶/۹۷b	۲۰۷/۶۹ab	۲۴۹/۷۵b-d	۹۲/۷۴b-e
	۱۰	۵۶۳/۱۱cd	۱۷۹/۳۷c	۲۳۵/۳۲d-f	۷۷/۱۹f-i
	۲۰	۵۲۳/۴de	۱۴۷/۱۶e-i	۲۱۸/۲۴g-i	۷۶/۶۳f-i
	۴۰	۴۶۱/۷f-h	۱۱۶/۶۲k-m	۲۱۸/۲g-i	۷۴/۹۷g-j
	۸۰	۴۱۰/۶۷ij	۱۰۶/۰۶mn	۱۸۴/۲۶mn	۷۱/۶۳h-k
۲۰	۰	۵۳۵/۰۶de	۲۰۱/۵۸b	۲۶۰/۴۵ab	۹۶/۶۲b-d
	۱۰	۴۷۱/۷۶fg	۱۵۸/۸۲d-f	۲۳۸/۷۹c-e	۹۶/۰۷b-d
	۲۰	۴۲۴/۲۷h-j	۱۳۷/۱۶g-j	۲۱۶/۵۸h-j	۸۱/۰۷e-h
	۴۰	۴۱۰/۳۹ij	۱۲۳/۲۸j-m	۲۰۸/۸h-l	۷۱/۶۳h-k
	۸۰	۳۸۵/۱۲jk	۱۰۸/۸۴l-n	۲۰۱/۵۸fj-l	۶۷/۱۹i-l
۴۰	۰	۵۲۴/۷۹de	۲۰۷/۱۳ab	۲۶۳/۰۷ab	۱۰۲/۱۸ab
	۱۰	۴۴۴/۵۴g-i	۱۶۲/۷۱c-e	۲۵۴/۱۹a-c	۱۰۳/۲۹ab
	۲۰	۴۱۰/۳۹ij	۱۲۸/۲۸i-l	۲۴۱/۴۲c-e	۹۳/۸۵b-d
	۴۰	۳۸۰/۱۳jk	۱۰۷/۷۳mn	۲۱۳/۶۷h-j	۸۷/۷۴c-g
	۸۰	۳۲۰/۷۱l	۹۵/۵۱n	۱۸۲/۵۹mn	۷۵/۵۲g-j
۸۰	۰	۴۵۰/۳۸g-i	۱۷۱/۵۹cd	۲۶۶/۴a	۱۱۰/۵۱a
	۱۰	۳۴۸/۴۷kl	۱۴۹/۳۸e-h	۲۵۲/۵۲a-c	۱۰۲/۷۳ab
	۲۰	۳۳۳/۲l	۱۳۵/۵h-k	۲۴۳/۰۹c-e	۹۹/۹۶a-c
	۴۰	۳۰۸/۷۷l	۱۲۱/۰۶j-m	۲۳۱/۹۹e-g	۹۳/۸۵b-d
	۸۰	۲۳۷/۴۱m	۹۴/۹۶n	۲۲۱/۴۴f-h	۷۷/۷۴f-i

* 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 معنی‌داری ندارند.

بحث

در حضور کادمیم از تشکیل رنگدانه‌های آنتوسیانین و کلروفیل ممانعت می‌شود. بیکر و پروکتور (۱۱) نشان دادند که کلروفیل به عنوان شاخصی جهت تعیین حد بحرانی کادمیم در گیاهان استفاده می‌گردد. کاباتاپندیاس و پندیاس (۱۲) عنوان کردند که به طور کلی سمیت کادمیم شامل اختلال در متابولیسم عناصر کم

مصرف، نسبت دی اکسد کربن به تعرق، ممانعت از فتوسنتز و کاهش نفوذپذیری دیواره سلولی می‌باشد. سمیت کادمیم در اثر افزایش این عنصر به محیط رشد گیاه به شکل‌های مختلف دیده شده است که شامل کاهش عملکرد، کاهش رشد ریشه و برگ، بازدارندگی فعالیت برخی آنزیم‌ها، تولید موتاژن ها، کاهش سطح برگ و ماده خشک گیاه می‌باشد (۱۳). کادمیم بر تقسیم و رشد سلول‌ها، تقسیم سلولی منطقه مریستمی و تنظیم رشد و نمو گیاهان اثر می‌گذارد (۱۴). این عنصر احتمالاً با ایجاد رادیکال‌های آزاد واکنش‌پذیر، باعث پراکسیداسیون اسیدهای چرب شده و مالون آلدئید را افزایش می‌دهد. افزایش پراکسیداسیون لیپید، کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را به دنبال خواهد داشت (۱۵). رادیکال‌های آزاد اکسیژن که در شرایط تنش ناشی از کادمیم به وجود می‌آیند با حمله به آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و آسیب‌های اکسیداتیو باعث مهار این آنزیم‌ها می‌شوند (۱۶). بررسی‌ها نشان داده است که کادمیم بر تقسیم و رشد سلول ها، رشد کلی گیاه، تقسیم سلول‌های منطقه مریستمی و تنظیم رشد و نمو گیاهان اثر می‌گذارد (۱۷). کادمیم، باعث کاهش فعالیت هورمون سیتوکنین می‌شود که تأثیر بسزایی در تکثیر سلول و رشد گیاه دارد (۱۸). کادمیم فتوسنتز و رشد گیاه را کاهش می‌دهد (۱۹) و یک عنصر سمی برای گیاه است به همین دلیل کاهش رشد گیاه در نتیجه سمیت ناشی از کادمیم دور از انتظار نیست. نوراهو و گاور (۲۰) گزارش کردند که آزولا (Azolla pinnata) قادر است تا ۹۰ درصد کادمیم موجود در محیط رشد را جذب نماید و آزولا گیاه مناسبی برای پاکسازی آب‌های آلوده به کادمیم می‌باشد. این پاکسازی به کمک مکانیسم‌های دفاعی مانند سنتز پپتیدهای ضد مسمومیت (phytochelatins) و غیر متحرک کردن فلز در دیواره سلولی می‌باشد. اثر فلزات سنگین بر گیاهان از طریق کاهش جذب و استفاده عناصر ضروری آشکار می‌شود و کادمیم می‌تواند مانع انتقال و جذب عناصر ضروری شود (۲۱). طبق نتایج سایکو و همکاران (۲۲) افزایش غلظت کادمیم در خاک باعث کاهش غلظت نیتروژن در گیاه شد. کادمیم در متابولیسم نیتروژن از طریق مهار فعالیت آنزیم‌های گلوتامین سینتاز، گلوتامات سینتاز و نیترات ردوکتاز، و فرآیند احیاء نیترات اختلال ایجاد می‌کند (۲۳). رودیو و همکاران (۲۴) گزارش کردند که کادمیم باعث کاهش جذب پتاسیم به وسیله گیاه برنج شد و در توزیع پتاسیم در بخش‌های مختلف گیاه اختلال ایجاد کرد. نوسیتو و همکاران (۲۵) بیان کردند که کادمیم جذب پتاسیم توسط ریشه را کاهش داد و تحرک بالای کادمیم یکی از دلایل اصلی تأثیرات منفی کادمیم بر جذب عناصر دیگر می‌باشد.

کادمیم از طریق ایجاد اختلال در متابولیسم فسفر منجربه توقف فعالیت آنزیم های فسفاتی شد و در نتیجه مقدار فسفر گیاه را تحت تأثیر قرار داد و با کاهش مقدار آن سبب کاهش رشد برنج شد (۲۶). با افزایش غلظت کادمیم محلول غذایی، غلظت کلسیم گیاه افزایش یافت که ممکن است یک ساز و کار برای کاهش اثر سمی کادمیم باشد (۲۷). افزایش غلظت کلسیم گیاه با افزایش غلظت کادمیم محلول غذایی ممکن است پاسخ گیاه به کاهش غلظت پتاسیم و در نتیجه رقابت بین یون‌های پتاسیم و کلسیم باشد.

نتایج تحقیقات هاوری و همکاران (۲۸) نشان داد که با افزایش غلظت کادمیم در محیط رشد گوجه فرنگی غلظت کلسیم و منیزیم در بافت‌های آن به طور معنی‌داری کاهش یافت، که با نتایج این تحقیق در مورد منیزیم مطابقت داشت. انباشته شدن کادمیم در بسیاری از گیاهان باعث کمبود آهن، منیزیم و کلسیم شده و سنتز کلروفیل را متوقف می‌کند و سرعت رشد و فتوسنتز گیاه را به شدت کاهش می‌دهد (۲۹). محتوای کاتیون‌های چند ظرفیتی می تواند در حضور کادمیم از طریق رقابت بر سر جایگاه‌های پیوندی یا توسط ناقلین تحت تأثیر قرار گیرد (۳۰).

شارما و همکاران (۳۱) بیان کردند که کادمیم با عناصر کم مصرفی مثل آهن، منگنز و روی در جذب و انتقال از طریق پروتئین های ناقل موجود در غشای سلولی رقابت می کند (اثرات آنتاگونیسمی). غلظت زیاد کادمیم در محیط رشد گیاه، به دلیل ایجاد اختلالات تغذیه ای، کاهش سطح توسعه ریشه و کاهش

متابولیسم گیاه عامل موثری بر کاهش میزان جذب فسفر، آهن و سایر عناصر کم مصرف توسط گیاه می‌باشد.

به طور کلی، کادمیم در جذب و انتقال طبیعی عناصر غذایی در گیاه تداخل ایجاد می‌کند و بخشی از اثرات سوء آن مربوط به برهم زدن تعادل عناصر غذایی و ضروری در گیاه است (۳۲). افزایش غلظت منگنز گیاه نخود، با افزایش غلظت کادمیم خاک، توسط هرناندز و همکاران (۳۳) گزارش شده است که احتمالاً به دلیل رقابت یون‌های آهن و منگنز و کاهش غلظت آهن گیاه با افزایش غلظت کادمیم محیط رشد باشد. بیکر و سیمپسون (۳۴) دلیل افزایش غلظت منگنز را نوعی مکانیسم دفاعی گیاه جهت جلوگیری از تجمع کادمیم در قسمت هایی که عمل فتوسنتز را بر عهده دارند دانسته اند. افزایش غلظت منگنز گیاه همچنین می‌تواند به دلیل رقابت آهن و منگنز و کاهش غلظت آهن بافت‌های گیاه در اثر افزایش غلظت کادمیم محلول غذایی باشد.

حضور کادمیم منجر به کاهش سرعت رشد، تبخیر و تعرق و جذب یون توسط گیاه شده و با کاهش جذب آب و غلظت سایر یون‌ها، مانع از انجام فعالیت ریشه می‌گردد (۳۵). ییلدیز (۳۶) در تحقیقی عنوان کرد که با افزایش سطوح کادمیم، غلظت روی در دو گیاه گوجه فرنگی و ذرت کاهش یافت. کاهش غلظت روی بدنبال افزایش غلظت کادمیم، احتمالاً به دلیل شباهت شیمیایی این دو عنصر و رابطه آنتاگونسیتی آنها در جذب باشد.

عبدالصبور و همکاران (۳۷) بیان کردند که کادمیم منجر به بروز مشکلاتی در انتقال روی و سایر عناصر کم مصرف در گیاه شد. طوری که در مواردی که گیاه با مسمومیت کادمیم مواجه شد از غلظت و میزان جذب عناصر کم مصرف گیاه کاسته شد. افزایش غلظت مس در گیاه تحت استرس کادمیم ممکن است در پاسخ به کاهش غلظت روی و رقابت یونی بین روی و مس باشد.

با افزایش شوری، غلظت کادمیم در گیاه متناسب با مقدار کلرید سدیم افزایش یافت. چون یون کلر با کادمیم کمپلکس‌هایی به شکل $CdCl^{+}$، $CdCl_4^{-2}$ و $CdCl_3^{-1}$ تشکیل می‌دهد و در واقع کاربرد یون کلر باعث انحلال و جذب بیشتر کادمیم می‌شود (۳۸). سینگ و مایر (۱۳) گزارش نمودند که با افزایش غلظت فلزات سنگین در محیط کشت بر غلظت آن‌ها در گیاه افزوده می‌شود. مک لاگلین و همکاران (۳۹) گزارش دادند که افزایش یون کلرید در آب آبیاری به طور معنی داری غلظت کادمیم را در گیاه افزایش داد. محققین بعضی از ساز و کارهای اثر شوری ناشی از یون کلرید بر جذب کادمیم توسط گیاه را این گونه عنوان کرده‌اند که با افزایش NaCl تنش اسمزی محیط ریشه گیاه افزایش می‌یابد که بر عمل غشاء تأثیر می‌گذارد و اجازه می‌دهد که کادمیم بیشتری از محلول خاک جذب گردد. همچنین افزایش غلظت کاتیون‌های مکمل می‌تواند موجب تعویض Cd^{+2} و ورود آن به محلول خاک و جذب توسط ریشه شود. با افزایش غظلت کلرید در محلول، Cd^{+2} پیوند شده با کلوئیدهای خاک کمپلکس می‌گردد و غلظت کل کادمیم در محلول افزایش می‌یابد که جذب بعدی کادمیم کمپلکس شده توسط ریشه را به دنبال دارد.

شوری یکی از فاکتورهای عمده و موثر بر افزایش میزان تحرک و جذب کادمیوم توسط گیاه می‌باشد. شوری باعث کاهش جریان فسفر در آوند چوبی می‌گردد زیرا سطوح بالای نمک پویایی فسفر معدنی ذخیره شده در واکوئل را کاهش می‌دهد و از این طریق سبب کاهش فسفر در گیاه خواهد شد.

جایگزینی پتاسیم به وسیله سدیم در گیاه آزولا در شرایط شور باعث کاهش جذب پتاسیم خواهد شد. نوسیتو و همکاران (۲۵) بیان کردند که کادمیم جذب پتاسیم توسط ریشه را کاهش داد، اما بر جذب فسفر تأثیری نداشت.

کاهش کلسیم گیاه در شرایط شور را می‌توان به کاهش تعرق گیاه نسبت داد. عملکرد محصولات در شرایط شور به سه دلیل کاهش خواهد یافت: ۱- شوری بر فراهمی عناصر غذایی اثر می‌گذارد، ۲- شوری سبب ایجاد جذب رقابتی می‌شود و ۳- شوری بر انتقال یا بخش‌بندی عنصر غذایی در گیاه تأثیرگذار است. به دلیل افزایش غلظت سدیم در شرایط شور و رقابت سدیم با منیزیم برای جذب، غلظت منیزیم در بافت‌های گیاه کاهش می‌یابد.

نتیجه گیری کلی

گیاه آزولا، غلظت‌های بالایی از کادمیم را در خود تجمع داده و تجمع گر خوبی برای کادمیم بود. افزایش غلظت شوری محلول غذایی باعث افزایش جذب کادمیم و در نتیجه افزایش غلظت آن در بافت‌های گیاه آزولا شد. افزایش غلظت کادمیم محلول غذایی باعث کاهش غلظت آهن و روی و افزایش غلظت منگنز، مس و سدیم در گیاه آزولا شد. افزایش غلظت شوری محلول غذایی باعث کاهش غلظت آهن، منگنز، روی و مس و افزایش سدیم گیاه آزولا شد. پیشنهاد می‌شود توانائی سایر گیاهان آبزی برای پالایش آلاینده‌های مختلف در شرایط وجود سایر تنش‌های زنده و غیرزنده بررسی شود.

منابع

1- Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. 1989. Trace Elements in the Soil and Plants. Florida: CRC Press.
2- Feldmann, J. 2001. An appetite for Arsenic. Chemis. in Britain. 31–32.
3- Sari, A. and Tuzen, M. 2008. Biosorption of cadmium (II) from aqueous solution by red algae (Ceramium virgatum): Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. J. Hazard. Mater, 157: 448-454.
4- Zhang, G., Fukami, M. and Sekimoto, H. 2002. Influence of cadmium on minral concentration and yield components in wheat genotypes differing in Cd tolerance at seedling stage. Field Crops Research. 77:93-98.
5- Nirmal Bhargavi, V. L. and Sudha, P. N. 2011. Effect of Salinity and pH on the Accumulation of Heavy Metals in Sunflower (Helianthus Annus) Plant. ECO Services International.
6- Khoshgoftarmanesh, A. H., Shariatmadari, H., Karimian, N. and van der Zee, S.E.A.T.M. 2006. Cadmium and Zinc in Saline Soil Solutions and their Concentrations in Wheat. Soil Sci. Society America J., 70:582-589.
7- Demirezen Yılmaz, D.2007. Effects of salinity on growth and nickel accumulation capacity of Lemna gibba (Lemnaceae). J. Hazard Mater, 147: 74-77.
8- 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.
9- Epstein Emanuel. 1972. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. New York. John Wiley, pp. 412.
10- Baker, A. J. M., and Proctor. 1990. The influence of cadmium, copper, lead and zinc on the distribution and evolution of metallophyte in the British Island. Plant sys. Evol. 173: 91-108.
11- Kabata-Pendias, A. Pendias, H. 2001. Trace elements in soils and plants. Boca Raton, FL: CRC Press.
12- Singh, B. and Myhr, K. 1998. Cadmium uptake by barley as effected by Cd sources pH levels. Geoderma, 84:185-194.
13- Stoeppler, M. 1991. Cadmium, in metals and their compounds in the environment. E. Merian (Ed), V C H. Weinham. Environmen. Pollut. 98 (1): 20-36.
14- Vassilev, A., Vangronsveld, J. and Yordanov, I. 2002. Cadmium phytoextration; present state, biological backgrounds and reaserch needs –review. Plant Physiol. 28:68-95.
15- Schutzendubel, A. and Polle, A. 2002. Plant responses to abiotic stress: heavy metal – induced oxidative stress and protection by mycorhization. Exprimen. Botany. 53:1351-1365.
16- Das, p., Samantary, S. and Rout, G. R. 1997. Studies of cadmium toxicity in plants – Review. Environ. Pollut. 98 (1): 2o – 36
17- Mok, M. 1994. Cytokinins and plant development- An overview. PP. 155-166. In: Mok, D. and M. Mok (Eds.), Cytokinins: Chemistry, Activity, and Function, CRC Press, Boca Raton, FL.

18- Gallego, S. M, Benavides, M. P. and Tomaro, M. L. 1996. Oxidative damage caused by cadmium chloride in sunflower (Helianthus annuus, L.) plants. Phyton – Int. J. Exp. Bot. 58: 41-52.
19- Noraho, N., J. P. Gaur. 1995. Effect of cations, including heavy metals, on cadmium uptake by Lemna polyrhiza L. Biometals. Volume 8, Issue 2, pp 95-98.
20- Dong, J., Wu, F. and Zhang, G. 2006. Influence of cadmium on antioxidant capacity and four microelement concentrations in tomato seedlings (Lycopersicon esculentum). Chemosphere. 64:1659-1666.
21- Ciecko, Z., Kalembasa, S., Wyszkowski, M. and Rolka, E. 2004. The effect of elevated cadmium content in soilon the uptake of nitrogen by plants. Plant Soil Environ. 50 (7): 283–294.
22- Wang, L., Zhou, Q., Ding, L. and Sun, Y. 2008. Effect of cadmium toxicity on nitrogen metabolism in leaves of Solanum nigrum L. J. Hazard. Mater.154:818-825.
23- Rudio, M., Escrig, I., Martine, G., Lopez, C., Bent, F. and Sanz, A. 1994. Cd and Ni accumulation in rice plant, Effects on mineral nutrition and possible interaction of abscisic and gebberelic acid. Plant Growth Regul. 14: 151-157.
24- Nocito, F. F., Pirovano, L. Cocucci, M. and Sacchi, G. A. 2002. Cadmium-induced sulphate uptake in maize roots. Plant Physiol. 129: 1872-1879.
25- Shah, K. and Dubey, R. S. 1998. Cadmium suppresses phosphate level and inhibits the activity of phosphatases in growing rice seedlings. J. Agron. Crop Sci. 180: 223-231.
26- Khan, N. A., Ahmad, I., Singh, S. and Nazar. R. 2006. Variation in growth, photosynthesis and yield of five wheat cultivars exposed to cadmium stress. World J. of Agric. Sci., 2(2): 223-226.
27- Haouari, C. C., Nasraoui, A. H., Bouthour, D., Houda, M. D., C. B., Daieb, Mnai, J. and Gouia, H. 2012. Response of tomato (Solanum lycopersicon) to cadmium toxicity: Growth, element uptake, chlorophyll content and photosynthesis rate. Afric. J. Plant Sci. 6(1): 1-7.
28- Mobin, M., Khan, N. A. 2007. Photosynthetic activity pigment composition and antioxidative response of two mustard cultivars differing in photosynthetic capacity subjected to cadmium stress. J. plant Physiol., 164:601-610.
29- Sandalio, L. M., H. C. Dalurzo, M. Gomez, M. C. Romero-Puertas and L. A. Del Rio. 2001. Cadmium– induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea plants. Experiment. Botany 52(364): 2115-2126.
30- Sharma, R. K., Agrawal, M. and Agrawal, S. B. 2008. Interactive effects of cadmium and zinc on carrots: Growth and biomass accumulation. J. Plant Nutr. 31: 19-34.
31- Hernandez, L. E., Carpenaruiez, R. and Garate, A. 1996. Alternation in the mineral nutrition of pea seedlings exposed to cadmium. J. Plant Nutr. 19: 1581- 1598.
32- Baker, R. and F. S. Simpson. 1998. Cleanup Order Issued to Chroma Crankshaft. California Environmental Protection Agency, Department of Toxic Substances Control, Sacramento, CA.
33- Veselov, D., G. Kuudoyarova, M. Syymonyan and S. T. Veselov. 2003. Effect of cadmium on ion uptake, transpiration and cytokinin content in wheat seadlings. Plant Physiol. 117: 353-359.
34- Yildiz, N. 2005. Response of Tomato and Corn plants to increasing Cd levels in nutrient culture. Pak. J. Bot., 37(3): 593-599.
35- Abdel-Sabour, M. F., Mortvedt, J. J. and Kelson, J. J. 1988. Cadmium-Zinc interaction in plants and extractable cadmium and zinc fractions in soil. Soil Sci. 145 (6): 426-431.
36- Khoshgoftarmanesh, A., Karimian, H., Kalbasi, N, Van Der Zee, M. and Parker, S.

2004. Salinity and zinc application effects on phytoavailability of cadmium and zinc. Soil Sci. Society America J., 68(6): 1885-1889.

37- McLauglin M., Palmer L., Beech T., and Smart M. 1994. Increasing Soil salinity causes elevated cadmium concentrations in field-grown potato tubers. J. Environ. Qual. 23:1013-1018.