Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 48, No 4, Winter 2018 (953-963)
DOI: 10.22059/ijhs.2017.215316.1075

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۴۸، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۶ (ص ۹۶۳-۹۵۳)

بررسی میزان مقاومت و پالایندگی کلم زینتی به فلزهای سنگین در فرآیند مراحل رشد

مینا تقی‌زاده[1*] و امید صادقی[2]
۱ و ۲. استادیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک، اراک
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۶/۱۶ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۳/۹)

چکیده

امروزه یکی از اصلی‌ترین چالش‌ها در جهان، تجمع و سمیت فلزهای سنگین در محیط‌زیست ناشی از زباله‌ها، کودهای شیمیایی، گازهای تولیدی از صنایع، وسایل نقلیه و تولید فاضلاب‌های صنعتی است. به تازگی پالایش این فلزها توسط گیاهان مورد توجه واقع شده است. این پژوهش در دو آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی انجام گرفت. نخستین آزمایش شامل بررسی تأثیر کاربرد فلزهای سرب، روی و مس در غلظت‌های ۰، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر در مرحلهٔ جوانه‌زنی کلم زینتی بود. در آزمایش دوم بررسی میزان مقاومت و پالایندگی کلم زینتی به سرب، روی و مس در غلظت‌های ۰، ۲۵ و۵۰ میلی‌گرم در لیتر در شرایط گلخانه پرداخته شد. در آزمایش اول با افزایش غلظت فلزهای سنگین رشد در دانهال‌های کلم زینتی کاهش یافت و بیشترین تأثیر بازدارندگی رشد در دانهال‌ها به ترتیب در حضور فلز مس (۵۰ میلی‌گرم در لیتر)، سرب (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و روی (۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) مشاهده شد. در آزمایش گلخانه‌ای بیشترین تأثیر سمیت در کلم زینتی در بستر بدون ورمی‌کمپوست و در حضور فلز سرب بود. بیشترین جذب مس و سرب در بستر بدون ورمی‌کمپوست به دست آمد. بنابراین کلم زینتی می‌تواند به‌عنوان یک گیاه فرا انباشت جدید به‌منظور بررسی‌های گیاه پالایی خاک‌های آلوده به مس و سرب استفاده شد.

واژه‌های کلیدی: جوانه‌زنی، سرب، گیاه پالایی، مس، ورمی‌کمپوست.

Evaluation of tolerance and remediation of ornamental kale to heavy metals in the process of development

Mina Taghizadeh[1*] and Omid Sadeghi[2]
1, 2. Assistant Professor and Former M. Sc. Student, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Arak University, Arak, Iran
(Received: Sep. 6, 2016 - Accepted: May 30, 2017)

ABSTRACT

Todays, the accumulation and toxicity of heavy metals in the environment and food chain is one of the most major problems in the world. Recently, remediation of these metals have been considered by the plants. This study was performed in two experiments. Lead, zinc and copper concentrations 0, 20, 50, 100 and 200 mg/l was applied during seed germination of ornamental cabbage, in the first experiment. In the second experiment, tolerance and remediation of ornamental cabbage to lead, zinc and copper concentrations 0, 25, 50 mg/l were investigated at the greenhouse conditions. In the first experiment with increasing concentrations of heavy metals, growth of seedlings was decreased. The highest seedling growth inhibitory effect was observed in the presence of copper, lead and zinc, respectively. In greenhouse experiments, the highest growth and lowest toxicity were observed in the presence of Cu, Zn and Pb, respectively in the media contained vermicompost. Amount of Cu and Pb uptake was found more in the bed without vermicompost. The achieved results indicated that ornamental cabbage could be as new plant hyperaccumulator and has potential for use in the Phytoremediation study of Pb and Cu contaminated soils.

Keywords: Copper, germination, lead, phytoremediation, vermicompost.

* Corresponding author E-mail: taghizade@ut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

امروزه یکی از اصلی‌ترین چالش‌ها در جهان، تجمع و سمیت فلزهای سنگین در محیطزیست و زنجیرهٔ غذایی است. مس، سرب و روی بیشترین فلزهای سنگینی هستند که از راه دفن زباله‌های شهری و پساب‌های صنعتی و کشاورزی گزارش شده‌اند (Nriagu & Pacyna, 1988). عنصر سرب به دلیل پراکنش گسترده در جامعه‌های شهری و صنعتی و خطر بالقوهٔ این فلز برای محیطزیست، سلامت انسان‌ها و حیوان‌ها، منشأ نگرانی‌های چندی است (Lone *et al*., 2008). مس یکی از ریزمغذی‌های ضروری برای گیاهان به شمار می‌آید (Hall *et al*., 2003). فلز روی به‌عنوان یک عنصر کم‌مصرف برای گیاه ضروری است، اما در غلظت‌های بالا اثر سمیت دارد (Purohit *et al*., 2006). سمیت فلزهای سنگین باعث کاهش عملکرد در گیاهان می‌شود و سمیت زیاد این فلزها هنگامی است که غلظت آن‌ها بیشتر از حد مجاز باشد. البته فلزهایی که در غلظت‌های کم ضروری هستند نیز در غلظت‌های زیاد می‌توانند باعث اختلال در همانندسازی و عادت رشد در بیشتر گونه‌های گیاهی شود (Jaja *et al*., 2004). به تازگی پالایش این فلزها توسط گیاهان مورد توجه واقع شده است (Tu *et al*., 2002). گیاه پالایی مجموعه‌ای از فناوری‌هایی است که از گیاهان به‌منظور کاهش، حذف و تجمع سموم محیطی از جمله فلزهای سنگین استفاده می‌شود (Ghosh & Singh, 2005). تیرهٔ چلیپائیان بیشترین گونه را برای تجمع فلزهای سنگین به خود اختصاص داده و شامل یازده جنس و ۸۷ گونه گیاه پالاینده هستند که از این خانواده، خردل هندی در حذف فلزهایی مانند روی، سرب، نیکل، مس، کروم و کادمیوم مؤثر بوده است (Prasad & Freitas, 2003; Robinson *et al*., 2009; Dushenkov *et al*., 1995; Mourato *et al*., 2015). در روش‌های گیاه پالایی مصرف ورمی‌کمپوست در خاک‌های آلوده حاصل‌خیزی خاک و ویژگی‌های فیزیکی آن را بهبود می‌بخشد و باعث کاهش سمیت فلزهای نیز می‌شود (Zheljazkov *et al*., 2004). از هدف‌های این پژوهش گسترش روش‌های زیستی برای پاک‌سازی خاک‌های آلوده به فلزهای مس، روی و سرب با استفاده از گیاه کلم زینتی به‌عنوان یکی از گیاهان مهم و مقاوم به شرایط مناطق معتدل و خشک ایران بود. در این نوشتار به بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف این فلزهای در مرحلهٔ جوانه‌زنی و توان پالایندگی و تحمل کلم زینتی به جهت گیاه پالایی از خاک‌های آلوده در شرایط گلخانه‌ای پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر فلزهای سنگین در مرحلهٔ جوانه‌زنی و استقرار کلم زینتی رقم Kamome white (*Brassica oleracea* var.*acephala*) در دو آزمایش جوانه‌زنی و گلخانه‌ای اجرا شد. در آزمایش اول بذرها پس از ضدعفونی در پتری دیش‌های سترون (استریل دارای کاغذ صافی واتمن کشت شدند. تیمارهای استفادهٔشده شامل سولفات روی ($ZnSO_4$)، نیترات سرب $Pb(NO_3)_2$ و سولفات مس ($CuSO_4$) در غلظت‌های ۲۰، ۵۰، ۱۰۰و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود. نوع طرح آماری مورد استفاده در این آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار بود. در هر تکرار ده عدد بذر و سه پتری‌دیش قرار گرفت. بررسی صفات جوانه‌زنی در طی مدت یک هفته انجام شد (دورهٔ جوانه‌زنی کلم زینتی در طی هفت روز کامل شد) و صفات مورد ارزیابی شامل؛ ضریب سرعت جوانه‌زنی (CVG)[1]، میزان جوانه‌زنی (GRI)[2]، درصد جوانه‌زنی نهایی (FGP)[3]، بنیهٔ بذر (SV)[4] بر پایهٔ طول دانهال و درصد جوانه‌زنی، میانگین سرعت جوانه‌زنی (AGV)[5]، میانگین زمان جوانه‌زنی (MDG)[6]، وزن تر و خشک دانهال، طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و عرض برگ بود (Bajji *et al*., 2002; Kabir *et al*., 2010). صفات رشدی دانهال (طول ساقه‌چه و ریشه‌چه، عرض برگ، وزن تر و خشک دانهال و غیره) در هر دانهال جداگانه اندازه-

1. Coefficient Velocity of Germination
2. Germination Rate Index
3. Final Germination Percent
4. Seed Vigour
5. Average Velocity of Germination
6. Mean Daily Germination

Archive of SID

www.SID.ir

گیری شد و آنگاه در هر تکرار بین ده دانهال میانگین گرفته شد. در مرحلهٔ بعد میزان مقاومت و پالایندگی کلم زینتی نسبت به فلزهای سرب، روی و مس در شرایط گلخانه بررسی شد. از ترکیب خاک، کوکوپیت، پرلیت و کود دامی پوسیده به نسبت یکسان برای کشت بذر در سینی‌های کشت استفاده شد. آبیاری سینی‌های کشت روزی یک‌بار در شرایط محیطی تهویهٔ مناسب، دمای ۳۵ درجهٔ سلسیوس و بیشترین شرایط آفتابی برای نشاها انجام شد. پس از ظهور برگ‌های سوم و چهارم، دانهال‌ها به گلدان‌هایی با دهانهٔ ۱۰ سانتی‌متر در دو بستر کشت متفاوت شامل: ۱) ۷۵ درصد خاک زراعی به همراه ۲۵ درصد کود دامی. ۲) ۲۵ درصد خاک به همراه ۲۵ درصد کود دامی پوسیده و ۵۰ درصد ورمی‌کمپوست انتقال داده شدند. آبیاری گلدان‌ها با محاسبهٔ ظرفیت زراعی به‌صورت یک روز در میان انجام شد. اعمال تنش در هفتهٔ چهارم پس از انتقال نشاها با سه نمک فلزی شامل سولفات مس، سولفات روی و نیترات سرب در سه سطح غلظت ۰، ۵۰، ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر انجام گرفت. افزون بر اندازه‌گیری طول اندام‌های هوایی به‌صورت هفتگی، در پایان آزمایش (چهار هفته پس از اعمال تیمارهای فلزها) صفاتی مانند میزان سبزینه (کلروفیل)های a، b و کل برگ، وزن تر و خشک گیاه، طول ریشه و میزان سرب، مس و روی تجمع یافته در گیاه نیز اندازه‌گیری شد. وزن تر در هر دو آزمایش با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت 10^{-4} گرم بر حسب گرم اندازه‌گیری شد. پس از آن نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت درون آون در دمای ۶۰ درجهٔ سلسیوس قرار داده شدند و سپس وزن خشک نمونه‌ها، اندازه‌گیری و ثبت شد. اندازه‌گیری تجمع فلزها با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل (GBC932 AA) (Sekabira *et al.*, 2011). میزان سبزینه با استفاده از ۰/۰۱ گرم برگ تازه از گیاه و استن ۸۰ درصد و دستگاه طیف‌سنج نوری (اسپکتروفتومتر) و در طول‌موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر خوانده شد. جذب‌های خوانده‌شده بر حسب میلی‌گرم سبزینه‌های a و b، سبزینهٔ کل استخراج‌شده از هر گرم بافت تازهٔ برگ، محاسبه شد (Arnon, 1949). تجزیهٔ واریانس و مقایسهٔ میانگین‌ها به‌منظور ارزیابی صفات بر پایهٔ آزمون چند دامنه‌ای دانکن با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. داده‌های غیر نرمال با استفاده از روش تبدیل جذر لگاریتمی نرمال شدند. آزمون چند دامنه‌ای دانکن (DMRT) برای تعیین معنی‌دار بودن تفاوت آماری میانگین تیمارها انجام شد.

نتایج و بحث

آزمایش اول: واکنش کلم زینتی به غلظت‌های مختلف فلزهای سنگین در مرحلهٔ جوانه‌زنی

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد، اثر متقابل نوع و غلظت فلز بر صفات طول ریشه‌چه، نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه، وزن تر، عرض برگ و تأثیر نوع فلز بر طول ریشه‌چه و نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه، وزن تر و همچنین تأثیر غلظت فلز بر طول ریشه‌چه، نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه، وزن تر، عرض برگ، شاخص میزان جوانه‌زنی و بنیهٔ بذر در سطح ۱ درصد تأثیر معنی‌داری داشت، ولی بر دیگر صفات تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۱) که در اینجا تنها به اثر متقابل پرداخته می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده از اثر متقابل غلظت و نوع فلزهای سنگین نشان داد، به‌جز تیمار نیترات سرب، روند کاهشی در میزان وزن تر نسبت به شاهد در دانهال‌های کلم زینتی وجود داشت. میزان وزن تر در حضور فلز مس تا غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد نداشت، ولی با افزایش غلظت مس، میزان وزن تر کاهش یافت. میزان وزن تر با حضور فلز روی تا غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت ولی از غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به بعد میزان وزن تر کاهش یافت. این صفت با حضور فلز سرب در غلظت‌های مختلف تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت. به‌طورکلی کمترین میزان وزن تر در حضور فلز مس و غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر و بیشترین میزان وزن تر در حضور فلز روی و غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد. نتایج به‌دست‌آمده از اثر متقابل غلظت و نوع فلزهای سنگین بر رشد ریشه‌چه در کلم زینتی نشان داد، حضور دو فلز مس و سرب در همهٔ غلظت‌ها

Archive of SID

www.SID.ir

نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری داشتند. همچنین با افزایش غلظت در این دو فلز میزان رشد ریشه‌چه به‌شدت کاهش یافت. درصورتی‌که در حضور تیمار سولفات روی تا غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر کاهشی در روند رشد ریشه‌چه مشاهده نشد، ولی با افزایش غلظت از ۵۰ میلی‌گرم در لیتر به بعد میزان رشد ریشه به‌سرعت کاهش پیدا کرد. اثر متقابل غلظت و نوع فلزهای سنگین بر نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه نشان داد، در بیشتر تیمارها با افزایش غلظت در هر فلز، این نسبت کاهش پیدا کرد. نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه با حضور فلز مس و در همهٔ غلظت‌ها نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری داشت. درصورتی‌که نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه با حضور فلز روی تا غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت. همچنین با حضور فلز سرب، نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه تا غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به شاهد معنی‌دار نبود اما افزایش غلظت از ۵۰ میلی‌گرم در لیتر به بعد باعث کاهش این نسبت شد. اثر متقابل غلظت و نوع فلزهای سنگین بر عرض برگ کلم زینتی نشان‌دهندهٔ این بود که در حضور غلظت‌های مختلف فلزهای اعمال‌شده، عرض برگ در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به شاهد در هر سه فلز کاهش معنی‌داری داشت و بیشترین بازدارندگی در حضور ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات مس مشاهده شد (جدول ۲).

جدول ۱. تجزیهٔ واریانس صفات جوانه‌زنی دانهال کلم زینتی در غلظت‌های مختلف فلزهای سنگین

Table 1. Variance analysis of germination traits of ornamental kale seedling in different heavy metal concentrations

S.O.V.	d.f.	Mean square (MS)												
		Root length (cm)	Shoot lemgth (cm)	Root/shoot	Leaf width (cm)	Seedling dry Weight (g)	Seedling fresh weigh (g)	CVG	GRI	FGP	MDG	AVG	SV
Heavy metal	2	50.9**	0.02^{ns}	84.5**	0.003^{ns}	0.00002^{ns}	0.09**	1.32^{ns}	2.12^{ns}	28.88^{ns}	0.8^{ns}	5.3^{ns}	1.29^{ns}
Concentration	4	43.2**	0.01^{ns}	59.9**	0.03**	0.00004^{ns}	0.12**	1.48^{ns}	8.7**4	18.88	0.04^{ns}	4.5^{ns}	455.2**
Metal×Concentration	8	8.3**	0.01^{ns}	14.6**	0.01**	0.00005^{ns}	0.02**	2.06^{ns}	1.28^{ns}	20.55^{ns}	0.9^{ns}	2.8^{ns}	0.73^{ns}
Errore	30	0.8	0.01	1.7	0.0024	0.00003	0.007	0.5	0.75	17.77	0.7	4.6	0.04
CV (%)		17.8	16.1	19.9	6.64	24	15.4	3.68	7.65	4.3	3.5	2.6	17.4

**، ns: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار.

**, ns: Significantly difference at 1% of probability level, and non-significantly difference, respectively.

جدول ۲. مقایسهٔ میانگین نوع و غلظت فلزهای سنگین بر صفات دانهالی کلم زینتی

Table 2. Mean comparison of heavy metals and concentration effect on some traits of ornamental kale seedling

Heavy metal		Concentration (mg/l)			
		Fresh weight (g)	Root length (cm)	Root/Shoot	Leaf width (mm)
0		0.65abcd	7.95a	9.775ab	0.82a
20		0.66abc	5.39b	7.12cd	0.75abcd
50	CuSO4	0.42e	0.93e	7.42bcd	0.78abc
100		0.37ef	1.8de	2.11f	0.81ab
200		0.25f	0.22e	0.35f	0.52e
0		0.65abcd	7.95a	9.77ab	0.82a
20		0.65abcd	8.02a	9.65b	0.76abcd
50	ZnSO4	0.80a	9.49a	12.7a	0.81ab
100		0.49de	5.86b	7.42bcd	0.73abcd
200		0.46e	3.39cd	4.7e	0.69cd
0		0.65abcd	7.95a	9.77ab	0.82a
20		0.86ab	5.72b	8.04bc	0.68d
50	PbNO3	0.65abcd	5.28b	8.14bc	0.73abcd
100		0.52bcde	3.25cd	4.66e	0.75abcd
200		0.50cde	3.58c	5.28ed	0.72bcd

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف‌های همسان در سطح ۵ درصد بدون اختلاف معنی‌دار بر پایهٔ آزمون دانکن هستند.

Numbers followed by the same letter are not significantly different according to Duncan test (P<0.05).

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج آزمون جوانه‌زنی بذر کلم زینتی نشان داد، تنش فلزی در شاخص‌های جوانه‌زنی تأثیری ندارد و بیشتر بر صفات مربوط به دانهال اثرگذاری بازدارندگی مانند کاهش در وزن تر، طول ریشه‌چه و عرض برگ داشت. با افزایش غلظت فلزهای سنگین جلوگیری از میزان رشد دانهال مشاهده شد. به‌طورکلی بیشترین میزان بازدارندگی در رشد و توسعهٔ دانهال کلم زینتی به ترتیب در حضور فلز مس، سرب و سپس روی بود. بر پایهٔ نظریهٔ ویرزبیکا و همکاران، شدت تأثیر فلزها بر جوانه‌زنی بذر در گیاهان مختلف بستگی به ساختارهای بذر به‌ویژه پوشش‌های بذر دارد، زیرا پوشش بذر دامنهٔ گسترده‌ای از شکل‌های ساختاری (آناتومیکی) را داشته که در هیچ اندام دیگر گیاه و یا بافتی وجود ندارد (Wierzbicka & Obidziniska, 1998). تأثیر بازدارندگی برخی از فلزها مانند مس، روی، سرب، کادمیوم و منگنز بر رشد ریشه، ساقه و برگ در برخی از گیاهان مشاهده شده است (Lidon *et al*., 1998). هرچند در غلظت‌های کم برخی فلزهای سنگین، جوانه‌زنی و رشد دانهال‌ها تحریک می‌شوند ولی بررسی‌هایی نیز مبنی بر کاهش جوانه‌زنی در بذرهای عدس، تربچه، خردل و گونه‌هایی از چمن و برنج در حضور غلظت‌های زیاد فلزهایی مانند جیوه، روی، کادمیوم، کبالت، مس و سرب در دسترس است (Fargasova, 2004; Mishra & Choudhuri, 1998; Taghizadeh *et al*., 2002). در نتایج برخی بررسی‌ها گزارش شده است، غلظت‌های زیاد فلز مس ۸۰ و ۱۶۰ میکرومولار جوانه‌زنی بذرهای قدومه، آلیسوم و مرواریدی را تحت تأثیر قرار دادند، درحالی‌که غلظت‌های کمتر مس برای جوانه‌زنی لازم است (Yruela, 2005). در پژوهش همسان دیگری فلز سرب در غلظت‌های ۰ تا ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر درصد جوانه‌زنی کل و طول ساقه‌چه را افزایش داد و غلظت‌های کم سرب محدودیتی در جوانه‌زنی چمن‌ها نداشت (Taghizadeh *et al*., 2002). در این آزمایش فلز روی تأثیر سمیت چندانی در مرحلهٔ جوانه‌زنی کلم زینتی نداشت، به‌گونه‌ای همسان در پژوهشی دیگر مشاهده شد، فلز روی برعکس مس، نیکل، کروم و کادمیوم تأثیر معنی‌داری در کاهش جوانه‌زنی یونجه حتی در غلظت‌های ۴۰ میلی‌گرم در لیتر نداشت (Peralta *et al*., 2000). در این آزمایش مشاهده شد، با افزایش غلظت فلزها در محیط، بازدارندگی بر جوانه‌زنی بذر کلم زینتی نیز بیشتر شد. غلظت‌های زیاد فلزهای سنگین می‌توانند سبب مختل کردن متابولیسم و جلوگیری از رشد برخی فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژی مانند آسیب زدن به غشای یاخته‌ای، کاهش تعرق، شکستن ساختار پروتئین‌ها، آسیب رساندن به چرخهٔ نورساخت (فتوسنتز)، تأثیر بر فعالیت چندین آنزیم و افزایش پراکسیداسیون چربی (لیپید)ها در گونه‌های گیاهی می‌شوند (Mahmood *et al*., 2005).

آزمایش دوم: بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف فلزهای سرب، روی، مس بر کلم زینتی در شرایط گلخانه

پنج هفته پس از اعمال تیمارهای فلزی، گیاهان از نظر میزان رشد با ارزیابی صفاتی مانند شمار برگ، طول اندام‌های هوایی و ریشه، وزن تر، وزن خشک، میزان سبزینه‌های a، b و کل و کارتنوئیدها بررسی شدند که در این میان اثر متقابل نوع بستر و فلز بر طول اندام‌ها و اثر متقابل نوع بستر و غلظت بر صفات طول اندام‌های هوایی و سبزینه‌های برگ در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در بررسی‌های گیاه‌پالایی دو صفت زیست‌توده و میزان تجمع فلز در اندام‌های گیاهی از شاخص‌های مهم است. در آزمایش تأثیر فلزها و نوع بستر بر میزان مادهٔ خشک تولیدشده و میزان تجمع فلز در اندام‌ها، هیچ‌کدام از اثرگذاری‌های حضور فلز روی در بستر کشت بر صفات مورد ارزیابی معنی‌دار نشد. در تیمار اعمال مس، تنها اثر سادهٔ نوع بستر بر میزان تجمع مس در اندام‌ها و در تیمار اعمال سرب به‌جز اثر متقابل نوع بستر در غلظت بر میزان مادهٔ خشک دیگر صفات معنی‌دار شدند (جدول ۴).

به‌طورکلی رشد کلم زینتی چه از نظر طول اندام هوایی و چه از نظر ریشه در بسترهایی که ۵۰ درصد ورمی‌کمپوست داشت، نسبت به بسترهای بدون ورمی‌کمپوست تحریک شد. بیشترین میزان رشد از نظر طول اندام‌های هوایی در حضور فلز سرب (۱۵ سانتی‌متر) و طول ریشه (۲۵ سانتی‌متر) در حضور فلز مس در بستر ورمی‌کمپوست داشت و کمترین رشد

Archive of SID

www.SID.ir

اندام‌های هوایی و ریشه (به ترتیب ۹/۷ و ۱۵/۷ سانتی‌متر) در بستر بدون ورمی‌کمپوست و در حضور فلز سرب مشاهده شد (جدول ۵). وجود مواد آلی در خاک سبب افزایش غلظت عنصرهای کم‌مصرف خاک و گیاه می‌شود و رشد گیاه را افزایش می‌دهد (Sharifi *et al*., 2000). به علت داشتن مواد شبه اکسین در ورمی‌کمپوست و غنی بودن از مواد مغذی از جمله عنصر روی در این بستر تأثیر مثبت آن در تحریک رشد گیاهان گزارش شده است (Muscolo *et al*., 1999). همچنین در آزمایش انجام‌شدهٔ بستر دارای ورمی‌کمپوست افزون بر تحریک رشد کلم زینتی در حضور فلز سرب و مس باعث شده است که گیاه به رشد خود ادامه دهد، درصورتی‌که کلم زینتی در بستر بدون ورمی‌کمپوست و در حضور هر سه فلز نسبت به بستر دارای ورمی‌کمپوست رشد کمتری داشت. به‌عبارت‌دیگر تأثیر سمیت فلزها نه تنها در بسترهای ورمی‌کمپوست مهار شد، بلکه باعث تحریک رشد نیز شد. گزارش شده است مواد آلی توانایی جذب آلاینده‌ها را دارد، به همین دلیل بستر دارای مواد آلی بازدارندهٔ دسترسی گیاه به فلزهای شده و از سمیت آن‌ها جلوگیری می‌کند (Chockalingam & Subramanian, 2006). در آزمایشی بر چاودار با اعمال فلزهای سنگین در دو سطح دارای ورمی‌کمپوست و بدون ورمی‌کمپوست مشاهده شد که بستر دارای غلظت‌های فلزی و ورمی‌کمپوست بیشترین و بستر دارای فلز و بدون ورمی‌کمپوست کمترین وزن خشک را به خود اختصاص دادند (Beiki *et al*., 2010). افزایش مادهٔ آلی خاک سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شده و رشد گیاه را افزایش می‌دهد (Dolgen *et al*., 2007).

جدول ۳. تجزیهٔ واریانس اثر متقابل بستر، نوع و غلظت فلزهای سنگین بر صفات مرفوفیزیولوژیکی کلم زینتی

Table 3. Variance analysis of media, heavy metal and concentration on morphophysiology traits of ornamental kale

SOV	df	Mean Square (MS)								
		Root (cm)	Shoot (cm)	Leaf number	Fresh weight (g)	Dry weigh (g)	Chlorophyll a (mg/g)	Chlorophyll b (mg/g)	Total Chlorophyl (mg/g)	Carotenoid (mg/g)
Media	1	3.5**	1.31**	0.89^{ns}	16.11**	2.3**	0.0001^{ns}	0.0003^{ns}	5.06^{ns}	0.01^{ns}
Heavy Metal	2	0.4^{ns}	0.42^{ns}	1.46*	2.7^{ns}	0.6*	0.0006^{ns}	0.00033^{ns}	5.1^{ns}	0.18^{ns}
Concentration	2	3.8**	0.2^{ns}	0.24^{ns}	2.6^{ns}	0.3^{ns}	0.0009^{ns}	0.00003^{ns}	4.8^{ns}	0.7^{ns}
Media × Metal	2	1.1*	0.62*	0.12^{ns}	0.35^{ns}	0.01^{ns}	0.001^{ns}	0.0003^{ns}	4.7^{ns}	0.0002^{ns}
Media ×Concentration	2	0.271^{ns}	0.51*	0.23^{ns}	0.63^{ns}	0.007^{ns}	0.002*	0.0004*	4.5^{ns}	0.3^{ns}
Metal ×Concentration	4	0.273^{ns}	0.12^{ns}	0.4^{ns}	^{ns}0.95	0.19^{ns}	0.0002^{ns}	0.00008^{ns}	4.9^{ns}	0.9^{ns}
Media × Metal × Concentration	4	0.34^{ns}	0.36^{ns}	0.08^{ns}	1.5^{ns}	0.1^{ns}	0.0003^{ns}	0.0001^{ns}	4.8^{ns}	0.08^{ns}
Error	36	0.34	0.14	0.29	1.15	0.16	0.0005	0.0001	4.7	0.17
CV (%)		12.77	10.45	12.03	27.23	25	2.91	1.36	30	20.3

**، *، ns: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵درصد و بدون اختلاف معنی‌دار.

**, *, ns: Significantly difference at 1 and 5% of probability level, and non-significantly difference, respectively.

جدول ۴. تجزیهٔ واریانس تأثیر نوع بستر و غلظت فلزهای سنگین بر صفات شاخص گیاه‌پالایی در کلم زینتی

Table 4. Variance analysis of media and concentration heavy metal on phytoremediation traits of ornamental kale

SOV	df	Zn treatment		Cu treatment		Pb treatment	
		Dry weigh (g)	Zn accumulation (ppm)	Dry weight (g)	Cu accumulation (ppm)	Dry weigh (g)	Pb accumulation (pbb)
Media	1	0.8^{ns}	3.07^{ns}	0.97^{ns}	*1.45	*0.58	**946.14
Concentration	2	0.28^{ns}	4.72^{ns}	0.06^{ns}	0.59^{ns}	*0.36	**1465.46
Media × Concentration	2	^{ns}0.08	1.71^{ns}	0.01^{ns}	0.38^{ns}	0.11^{ns}	*33.03
Error	12	0.19	2.32	0.22	0.19	0.07	45.98
CV (%)		28.63	18.79	26.09	12.82	17.81	16.82

**، *، ns: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵درصد و بدون اختلاف معنی‌دار.

**, *, ns: Significantly difference at 1 and 5% of probability level, and non-significantly difference, respectively.

Archive of SID

www.SID.ir

اثر متقابل بستر و غلظت فلزهای نشان داد، در بسترهای بدون ورمی‌کمپوست با افزایش غلظت عنصرها تغییر معنی‌داری در طول اندام‌های هوایی رخ نداد، ولی در بستر دارای ۵۰ درصد ورمی‌کمپوست با حضور فلزها در بستر، رشد اندام‌های هوایی افزایش یافت. بیشترین رشد اندام های هوایی در بستر دارای ورمی‌کمپوست و دارای غلظت‌های مختلف فلزهای (۱۵/۵-۱۵سانتی‌متر) مشاهده شد. بسترهایی که بدون ورمی‌کمپوست بود با افزایش غلظت فلزها میزان سبزینه‌های a و b برگ‌ها کاهش یافتند. در بستر بدون ورمی‌کمپوست و فلز بیشترین میزان سبزینه‌های a و b (به‌ترتیب ۰/۱۶ و ۰/۰۶۶ میلی‌گرم در گرم) بود (جدول ۶). در نتایجی همسان بیان شده صفات رویشی گیاه ذرت مانند شاخص سبزینگی برگ، سطح برگ، شاخص کارایی دستگاه نورساختی، وزن خشک ریشه و اندام هوایی در تنش فلزهای روی، سرب و کادمیوم و در بستر دارای ورمی‌کمپوست به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد (بستر بدون ورمی‌کمپوست) بود (Molaei *et al*., 2015). شاخص سبزینگی ارتباط مستقیم با میزان سبزینه‌های برگ‌ها دارد و سبزینه‌ها نیز با فراهمی عنصرهای کم‌مصرف مانند آهن و منگنز ارتباط تنگاتنگی دارند. با توجه به ویژگی مواد آلی در ایجاد کمپلکس با عنصرهای غذایی به‌ویژه عنصرهای کم‌مصرف و در دسترس قرار دادن این عنصرها برای گیاهان، نتایج به‌دست‌آمده برای تیمارهای دارای ورمی‌کمپوست، نشان‌دهندهٔ این ویژگی مواد آلی است (Hashemimajd *et al*., 2009).

اثر سادهٔ نوع فلز نشان‌دهندهٔ آن بود که بیشترین مادهٔ خشک تولیدشده در حضور فلز مس (۳/۰۷ گرم) نسبت به دو فلز دیگر بود. میزان مادهٔ خشک در حضور فلزهای روی و سرب نسبت به یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۱، سمت راست). چرخهٔ زندگی سالم در گیاهان وابسته به تعادل در بخش‌های هوایی و میزان مواد مغذی و همچنین وابسته به میزان سمی یا غیر سمی بودن فلزها در محیط است. تیمار با فلزهای سنگینی مانند سرب و روی باعث تغییر در وزن تر و وزن خشک در ساقه و برگ‌ها می‌شود. رشد و گسترش گیاهان وابسته به غلظت‌های مختلف فلزها است. در آزمایشی کاربرد فلزهای روی و سرب در گیاه بادنجان باعث کاهش میزان وزن تر و وزن خشک نسبت به شاهد شد که با نتایج این آزمایش همسو است (Fodor, 2002). همچنین با افزایش غلظت فلزها در بستر کشت حساسیت ریشه نسبت اندام‌های هوایی بیشتر بود و باعث کاهش در رشد طولی ریشه شد. بیشترین طول ریشه در غلظت ۰ (۲۶/۵۶ سانتی‌متر) مشاهده شد (شکل۱، سمت چپ). همسان این نتیجه نشان داده شده است، افزایش غلظت فلزهای سنگین مانند روی، مس، سرب و کادمیوم در آب آبیاری باعث کاهش در صفات ریخت‌شناختی مانند طول ساقه، طول ریشه، وزن تر و وزن خشک برگ، وزن تر و وزن خشک ریشه و سطح برگ می‌شود (Ozkay *et al*., 2014).

جدول ۵. مقایسهٔ میانگین تأثیر ورمی‌کمپوست و فلز بر طول اندام‌های هوایی و ریشهٔ کلم زینتی

Table 5. Mean comparisons of vermicompost and heavy effect on shoot and root length of Ornamental Kale

Media	Heavy metals	Shoot (cm)	Root (cm)
Vermicompost %0	Zn	12^{b}	21.4^{b}
	Cu	13.3^{ab}	19^{c}
	Pb	9.7^{c}	15.7^{d}
Vermicompst %50	Zn	12.2^{b}	21.3^{b}
	Cu	14.8^{a}	25^{a}
	Pb	15^{a}	23.4^{a}

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف‌های همسان در سطح ۵ درصد بدون اختلاف معنی‌دار بر پایهٔ آزمون دانکن هستند.

Numbers followed by the same letter are not significantly different according to Duncan test (P<0.05).

جدول ۶. مقایسهٔ میانگین اثر متقابل ورمی‌کمپوست و غلظت فلزهای سنگین بر برخی صفات اندام‌های هوایی کلم زینتی

Table 6. Mean comparisons of vermicompost and concentration of heavy metal effect on some shoot traits in Ornamental Kale

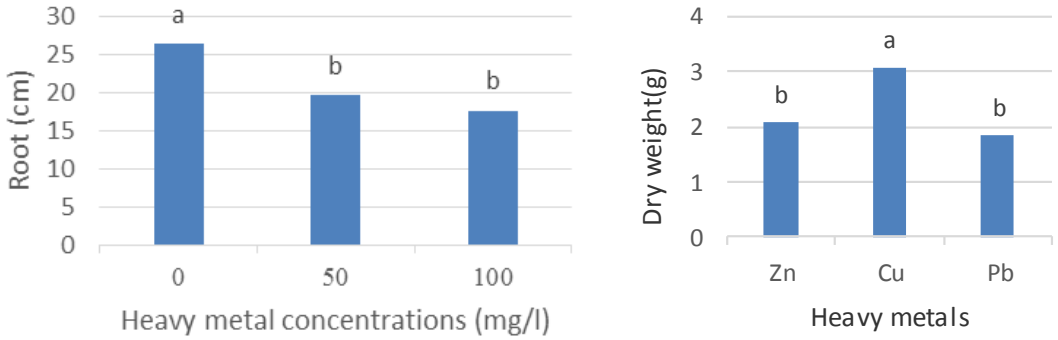
Media	Concentration (mg/l)	Shoot (cm)	Chlorophyll a (mg/g)	Chlorophyll b (mg/g)
Vermicompost%0	0	12.2^{b}	0.16^{a}	0.066^{a}
	50	11^{b}	0.11^{b}	0.054^{abc}
	100	11.8^{b}	0.10^{b}	0.051^{bc}
Vermicompst %50	0	11.6^{b}	0.11^{b}	0.043^{c}
	50	15^{a}	0.11^{b}	0.048^{bc}
	100	15.5^{a}	0.13^{ab}	0.058^{ab}

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف‌های همسان در سطح ۵ درصد بدون اختلاف معنی‌دار بر پایهٔ آزمون دانکن هستند.

Numbers followed by the same letter are not significantly different according to Duncan test (P<0.05).

Archive of SID

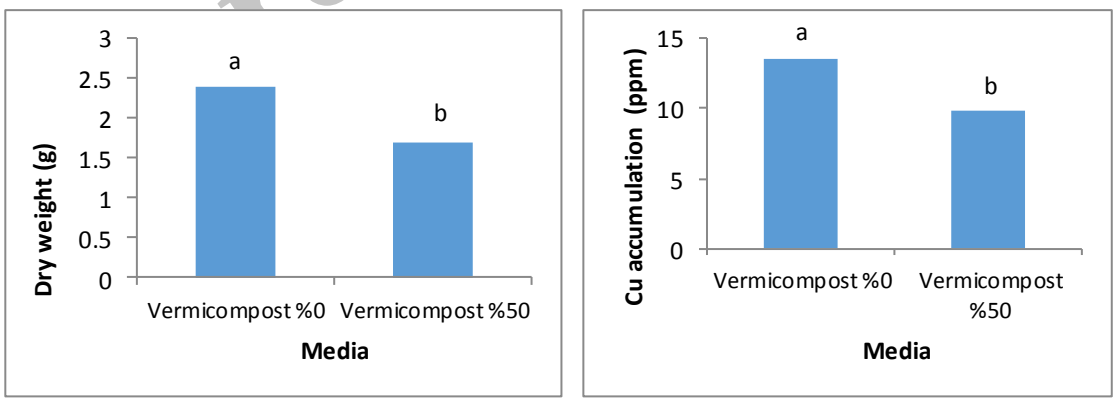
www.SID.ir



شکل ۱. مقایسهٔ میانگین تأثیر غلظت فلزها بر طول ریشه (سمت چپ) و تأثیر عنصرها بر میزان مادهٔ خشک (سمت راست)کلم زینتی در هفتهٔ ششم پس از اعمال تیمار فلزها. میانگین‌های دارای حرف‌های همسان در سطح ۵ درصد بدون اختلاف معنی‌دار بر پایهٔ آزمون دانکن هستند.

Figure 1. Mean comparisons of heavy metal concentrations effect on root (left) and dry weight (right) of ornamental kale in the sixth week of treatment metals. Numbers followed by the same letter are not significantly different according to Duncan test (P<0.05).

در این آزمایش معنی‌دار شدن تأثیر تیمار فلز روی (Zn) بر هیچ‌کدام از صفات در کلم زینتی نشان می‌دهد، احتمال دارد گیاه کلم زینتی توانایی سازوکاری برای رویارویی و تجمع فلز روی را نداشته باشد و به همین دلیل تأثیر سمیت روی نسبت به دیگر فلزهای بر رشد کلم زینتی بیشتر بود. در بستر بدون ورمی‌کمپوست میزان تجمع مس در حدود ۱/۵ برابر میزان تجمع در بسترهای دارای ۵۰ درصد ورمی‌کمپوست بود (شکل ۲، سمت راست). بنابر نتایجی همسان افزایش ورمی‌کمپوست تأثیر معنی‌داری در کاهش محتوای کروم در گیاه ذرت داشت و کودهای آلی از تحرک فلز در خاک جلوگیری می‌کنند (Sunitha *et al.*, 2014). در مغایرت با نتایج این آزمایش گزارشی نیز وجود دارد که نشان می‌دهد، در تیمارهای دارای ورمی‌کمپوست میزان روی و آهن در اندام‌های هوایی ذرت نسبت به شاهد افزایش یافته بود (Rostami Zadeh *et al.*, 2003)، دلیل این نبود همانندی به‌احتمال نوع گیاه و فلز، میزان ورمی‌کمپوست و شرایط محیطی بوده است. همچنین میزان وزن خشک در فرآیند تنش سرب در بسترهای در حدود ۱/۴ برابر بیشتر نسبت به بستر دارای ۵۰ درصد ورمی‌کمپوست بود (شکل ۲، سمت چپ).



شکل ۲. تأثیر ورمی‌کمپوست بر میزان تجمع مس تحت تیمار مس (سمت راست) و بر وزن خشک تحت تیمار سرب (سمت چپ) در اندام‌های کلم زینتی در شرایط گلخانه

Figure 2. The effect of vermicompost on the copper uptake under copper treatment (right) and the dry weight under lead treatment (left) in plant ornamental kale in greenhouse conditions

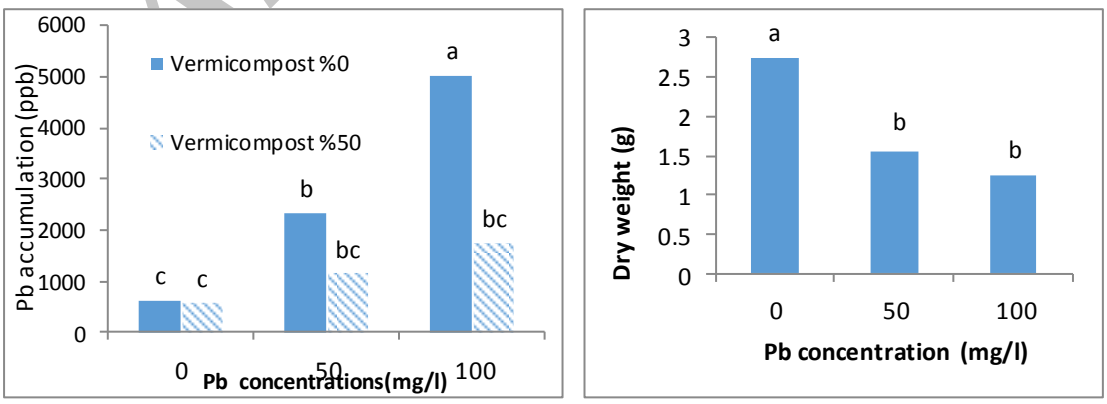
Archive of SID

www.SID.ir

در فرآیند تنش فلز سرب، با افزایش غلظت وزن خشک به‌شدت کاهش یافت (۲/۲-۱/۷ برابر) ولی بین غلظت‌های مختلف تفاوت معنی‌دار نبود (شکل ۳، سمت راست). در نتایج پژوهش‌های همسان کاهش در وزن خشک گیاه با افزایش غلظت سرب در محیط گزارش شده است (Ozkay *et al*., 2014; Keshtegar *et al*., 2013) که با این نتایج همسو بود. اثر متقابل نوع بستر و غلظت سرب نشان داد، در بستر بدون ورمی‌کمپوست تجمع سرب در گیاه کلم زینتی افزایش یافت، ولی در بستر دارای ۵۰ درصد ورمی‌کمپوست میزان تجمع نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین تجمع سرب در بستر دارای ورمی‌کمپوست و غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به میزان حدود ۵ قسمت در میلیون (پی‌پی‌بی) و کمترین میزان تجمع در بستر دارای ورمی‌کمپوست و بدون سرب به میزان حدود ۶ قسمت در میلیون مشاهده شد (شکل ۳، سمت چپ). این نتیجه نشان می‌دهد، میزان فراهمی سرب برای گیاه در بستر بدون ورمی‌کمپوست در بیشتر میزان بوده که باعث جذب و همچنین سمیت بیشتر (کاهش رشد و جلوگیری از ساخت یا سنتز سبزینه و غیره) در کلم زینتی شد. درصورتی‌که در بستر دارای ورمی‌کمپوست، این کود آلی باعث خارج شدن سرب از دسترس گیاه و همچنین تجمع و سمیت کمتر در کلم زینتی شد. در نتایجی همسان وجود ورمی‌کمپوست در بستر کشت باعث کاهش تجمع فلزهایی مانند سرب، نیکل در گیاهان چاودار و نعناع شد (Beiki *et al*., 2011; Chand *et al*., 2012). همچنین مشاهده شده با کاربرد ورمی‌کمپوست، غلظت کادمیوم، سرب و روی در ریشه و اندام‌های هوایی گیاه ذرت به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Dolgen *et al*., 2007). ورمی‌کمپوست به دلیل بالا بودن میزان مواد آلی، می‌تواند برای مدت‌زمان طولانی آلاینده‌ها را در خود نگهداری کند (Seelsaen *et al*., 2006). ورمی‌کمپوست با فلزهای سنگین پیوند برقرار می‌کند و باعث کلات شدن فلزها می‌شود (Jurries, 2004). گروه‌های عامل کربوکسیل و فنلی، نقش مهمی در جذب سطحی سرب توسط ورمی‌کمپوست دارند (Carrasquero-Duran & Flores, 2009).

نتیجه‌گیری کلی

ارزیابی میزان مقاومت کلم زینتی به حضور غلظت‌های مختلف فلزهای روی، مس و سرب در مرحلهٔ جوانه‌زنی نشان داد، با افزایش غلظت فلزها، کاهش رشد دانهال در صفاتی مانند وزن‌تر، طول ریشه‌چه، نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه، عرض برگ و بنیهٔ بذر مشاهده شد. بیشترین تأثیر سمیت فلزها به ترتیب مربوط به سولفات مس، نیترات سرب و سولفات روی بود. به‌طورکلی در مرحلهٔ جوانه‌زنی سمیت فلز مس در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، فلز سرب در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و فلز روی در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر آغاز شد.



شکل ۳. تأثیر غلظت‌های مختلف سرب بر میزان وزن خشک (سمت راست) و اثر متقابل غلظت‌های مختلف سرب و نوع بستر بر میزان جذب سرب (سمت چپ) در کلم زینتی در شرایط گلخانه‌ای

Figure 3. The effect of lead concentrations on the dry weight (right) and the interaction of different lead concentrations and vermicompost on lead uptake (left) in ornamental kale under greenhouse conditions

Archive of SID

www.SID.ir

در آزمایش گلخانه‌ای بیشترین رشد کلم زینتی در بستر دارای ورمی‌کمپوست مشاهده شد، حتی در حضور سرب این بستر از سمیت این فلز جلوگیری کرد. میزان جذب و تجمع سرب با افزایش غلظت و در بستر بدون ورمی‌کمپوست افزایش یافت. بیشترین تجمع و سمیت سرب در بستر بدون ورمی‌کمپوست و غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود، که حتی باعث سمیت در گیاه شد ولی در بستر دارای ورمی‌کمپوست جذب سرب نسبت به بستر بدون ورمی‌کمپوست کمتر صورت گرفت که این ویژگی باعث سمیت کمتر در گیاه کلم زینتی شد. بنابراین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت که ورمی‌کمپوست باعث کمترین میزان سرب و مس فراهمی برای گیاه کلم زینتی شده، به همین دلیل باعث کاهش جذب فلزهای مس و سرب توسط کلم زینتی از خاک می‌شود. بنابراین به‌منظور گیاه پالایی فلزهای مس و سرب نباید از خاک دارای کود آلی استفاده کرد، زیرا باعث کاهش فراهمی جذب این فلزها می‌شود. همچنین نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهندهٔ این است که کلم زینتی می‌تواند به‌عنوان یک گیاه پالایندهٔ فلزهای سنگین در خاک‌های آلوده به مس و سرب مورد استفاده قرار گیرد. با کشت این گیاه در خاک‌های آلوده به فلزهای مس و سرب می‌توان میزان زیادی از عنصرها را از خاک خارج و با برداشت گیاهان و سوزاندن مدیریت‌شدهٔ آن‌ها، سمیت فلزهای را کاهش داد.

REFERENCES

1. Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in beta vulgaris. *Plant Physiology*, 24, 1-15.
2. Bajji, M., Kinet, J. M. & Lutts, S. (2002). Osmotic and ionic effects of NaCl on germination, early seeding growth, ion content of *Atriplex halimus* (Chenopodiaceae). *Canadian Journal of Botany*, 80, 297-304.
3. Beiki, A. H. & Allahyari, S. (2011). Effects of organic amendments on reduction the heavy metals concentration of absorbable in soil lime of Zanjan. In: Proceedings of *1st National Conference Modern Topicin Agriculture*, Oct., Azad University, Saveh. (in Farsi)
4. Carrasquero-Duran, A. & Flores, L. (2009). Evaluation of lead (II) immobilization by a vermicompost using adsorption isotherms and IR spectroscopy. *Bioresource Technol*, 100, 1691-1694.
5. Chand, S., Raj, K. & Patra, D. D. (2012). Influence of nickel and applied in combination with vermicompost growth and accumulation of heavy metals by Mentha arvensis Linn. Cv. Kosi.Indian *Journal of Products and Resources*, 3(2), 256-261.
6. Chockalingam, E., & Subramanian, S. (2006). Studies on removal of metal ions and sulphate reduction using rice husk and Desulfotomaculum nigrificans with reference to remediation of acid mine drainage. *Chemosphere*, 62(5), 699-708.
7. Dolgen, D., Alpaslan, M. N. & Delen, N. (2007). Agricultural recycling of treatment-plant sludge: A case study for a vegetable-processing factory. *Journal of Environmental Management*, 84, 274-281.
8. Dushenkov, V., Kumar, P. B. A. N., Motto, H. & Raskin, I. (1995). Rhizofiltration: the use of plants to remove heavy metals from aqueous streams. *Environmental Science and Technology*, 29, 1239-1245.
9. Fargasova, A. (2004). Toxicity comparison of some possible toxic metals (Cd, Cu, Pb, Se, Zn) on young seedlings of *Sinapis alba* L. *Plant Soil Environ*. 50, 33-38.
10. Fodor, F., Prasad, M. N. V. & Strzalka, K. (2002). Physiological responses of vascular plants to heavy metals. In Physiology and biochemistry of metal toxicity and tolerance in plants. *Kluwer Academic Publisher*, *Dortrech*, *London*. pp. 149-177.
11. Ghosh, M. & Singh. S. P. A. (2005). Review on Phytoremediation of Heavy Metals and Utilization of It's by Products. *Journal Energy Environmental*, 6(04), 214-231.
12. Hall, J. L. & Williams, L. E. (2003). Transition metal transporters in plants. *Journal of Experimental Botany*, 54, 2601-2613.
13. Hashemimajd, K. & Golchin, A. (2009). The Effect of Iron-Enriched Vermicompost on Growth and Nutrition of Tomato. *Journal of Agriculture Science and Technology*, 11, 613-621. (in Farsi)
14. Jaja, E. T. & Odoemena, C. S. I. (2004). Effect of Pb, Cu and Fe compounds on the germination and early seedling growth of tomato varieties. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 8(2), 51- 53.
15. Jurries, D. P. E. (2004). Environmental protection and enhancement with compost, Department of Environmental Quality Northwest Region, Oregon State University, USA.
16. Kabir, L., Iqbal, M., Shafiq, M. Z. & Farooqi, Z. R. (2010). Effects of lead on seedling growth of Thespesia populnea. *Plant Soil Environmental*, 56(4), 194-199.

Archive of SID

www.SID.ir

17. Keshtegar, M., Akbari M. A., Rostami, R. & Jahantigh, M. (2013). Investigation of plants purification capability of Pb on two cultivars of vetch plants (*Vigna radiata*) in contaminated soils. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 7(13), 983-987.
18. Lidon, F.C. & Henriques, F. S. (1998). Role of rice shoot vacuoles in copper toxicity regulation. *Environmental of Experimental Botany*, 39, 197-202.
19. Lone, M. I., Li, H., Zhen, P. J., Stoffella, E. & Yang, X. (2008). Phytoremediation of heavy metal polluted soils and water: Progresses and perspectives. *Journal of Zhejiang University Science Botany*, 9, 210-220.
20. Mishra, A. & Choudhuri, M. A. (1998). Amelioration of lead and mercury effects on germination and rice seedling growth by antioxidants. *Biologia Plantarum*, 41(3), 469-473.
21. Molaei, S., Shirani, H., Hamidpour, M., Shekofteh, H. & Besalatpour, A. A. (2016). Effect of Vermicompost, Pistachio Kernel and Shrimp Shell on Some Growth Parameters and Availability of Cd, Pb and Zn in Corn in a Polluted Soil. JWSS - *Isfahan University of Technology*, 19(74), 113-124.
22. Mourato, M. P., Inês, N., Moreira, Inês Leitão, Filipa R. Pinto, Joana R. Sales. & Martins L. L. (2015). Effect of Heavy Metals in Plants of the Genus Brassica .*International Journal Molecular Science*, 16, 17975-17998.
23. Muscolo, A., Bovalo, F., Gionfriddo, F. & Nardi, F. (1999). Earthworm humic matter produces auxin-like effects on *Daucus carota* cell growth and nitrate metabolism. *Soil Biology and Biochemistry*, 31, 1303-1311.
24. Nriagu, J. O. & Pacyna, J. M. (1988). Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soil by trace metals. *Nature*, 333, 134-139.
25. Ozkay, F., Kiran, S., Taş, İ. & Kuşvuran, Ş. (2014). Effects of Copper, Zinc, Lead and Cadmium Applied with Irrigation Water on Some Eggplant Plant Growth Parameters and Soil Properties. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(3), 377-383.
26. Peralta, J. R., Gardea, Torresdey, J. L., Tiemann, K. J., Gómez, E., Arteaga, S., Rascon, E. & Parasons, J. G. (2000). Study of the heavy metals on seed germination and plant growth on alfalfa plant (Medicago sativa) Growth in solid media. *In Proceedings of the Conference on Hazardous Waste Research*, 135-140.
27. Prasad, M. N. V. & Freitas, H. M. O. (2003). Metal hyperaccumilation in plants-Biodiversity prospecting for phytoremediation technology. *Electronic Journal of Biotechnology*, 6, 285-321.
28. Purohit, S.S. & Agrrawal, A. K. (2006). Environmental Pollution. *Agrobios Publication. India*.
29. Robinson, B. H., Banuelos, G., Conesa, H. M., Evangelon, W. H. & Schulin, R. (2009). The Phytomanagement of Trace Elements in Soil. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 28(4), 240-266.
30. Rostami Zadeh, A., Mohsen pour, M. & Fekri M. (2013). The effect of vermicompost on the absorption of iron and zinc in maize. *In proceeding 1th National Conference on e-agriculture and sustainable natural resources*. Tehran, Jan. (in Farsi)
31. Seelsaen, N., McLaughlan, R., Moore, S., & Stuetz, R. (2006). Influence of compost characteristics on heavy metals sorption from synthetic storm water. *Journal Urban Drainage Modelling and Water Sensitive Urban Design*, 55(4), 219-226.
32. Sekabira, K., Oryem-Origa, H., Mutumba, G., Kakudidi, E. & Basamba, T. A. (2011). Heavy metal phytoremediation by *Commelina benghalensis* (L) and *Cynodon dactylon* (L) growing in Urban stream sediments. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 3(8), 133-142.
33. Sharifi, M., Afyuni, M. & Khoshgoftarmanesh, A. H. (2010). Effect of Sewage Sludge, Compost and Cow Manure on Growth and Yield and Fe, Zn, Mn and Ni Uptake in Tagetes Flower. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 1(2), 43-54. (in Farsi)
34. Sunitha, R., Mahimairaja, S., Bharani & Gayathri, A. P. (2014). Enhanced Phytoremediation Technology for Chromium contaminated Soils using Biological Amendments. *International Journal of Science and Technology*, 3, 3.
35. Taghizadeh, M., Kafi, M., Fattahi Moghaddam, M. R. & Savaghebi, G. H. (2002). Lead concentrations effect on seed germination of turfgrass genius and its evaluation potential for phytoremediation. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 42(3), 277-289. (in Farsi)
36. Tu, C., Ma, L. Q. & Bondada, B. (2002). Arsenic Accumulation in the Hyperaccumulator Chinese Brake and Its Utilization Potential for Phytoremediation. *Journal Environmental Quality*, 31, 1671-1675.
37. Wierzbicka, M. & Obidzinska, J. (1998). The effect of lead on seed imbibition and germination in different plant species. *Plant Science*, 137, 155-171.
38. Yruela, I. (2005). Copper in plants. *brazilian Journal plant physiology*, 17(1), 145-156.
39. Zheljazkov, V. D. & Warman, P. R. (2004). Application of high- Cu compost to Dill and Peppermint, *Journal Agriculture and Food Chemistry*, 52, 2615-2622. (in Chinese with English abstract)

Archive of SID

www.SID.ir