Effect of Organic Ligands on the Growth and Chemical Composition of Corn and the Release of Elements in a Soil treated with Rubber Ash

F. Yadegari[1], M. Hamidpour[*], A. Tajabadi Pour and P. Abbaszadeh-Dahaji

نسخه پیش از انتشار

Abstract

One of the most important factors limiting the growth and yield of plants is the zinc deficiency. Considering the importance of recycling rubber tires and the possibility of using them in agriculture, the present study aims to investigate the effect of the use of organic ligands on the availability of Zn in rubber ash- treated soils. The present research was carried out in factorial form in a completely randomized design with three replications under greenhouse conditions. The treatments included four levels of rubber ash (0, 0.25, 0.5 and 1% w/w) and three levels of organic ligands (control, citric acid and EDTA with a concentration of 1.5 mmol kg^{-1} soil). The results showed that the application of organic ligands in soils treated with rubber ash could not affect the vegetative parameters of corn plants, while the concentration of Zn in the aerial organs and plant roots increased with the application of organic ligands in pots treated with rubber ash. So that, the highest concentration of Zn was observed at the level of 1% w/w rubber ash and with the use of EDTA ligand. Also, the concentration of Zn extractable by DTPA in the soil increased significantly with the use of rubber ash treatment. Also, the results showed that due to the small concentrations of lead and cadmium in rubber, the concentration of Cd in aerial organs and plant roots in all treatments was lower than the detection limit of the atomic absorption device, and on the other hand, the treatment of rubber ash, ligand and their interactive effects did not affect the concentration of Pb in plants. The results of this research showed that the tire rubber particles could provide zinc required by the plant in a short period of time and it is recommended as a suitable zinc fertilizer.

Keywords: EDTA, Citric acid, Micronutrients, Slow-release fertilizers.

Background and objectives: Zinc deficiency has become a warning factor in many agricultural soils around the world, including Iran. In order to maximize the productivity of plants, it is imperative to address and correct the issue of Zn deficiency (Nasirzadeh et al., 2023). Todays, in addition to chemical fertilizers, the use of soil amendments such as municipal waste ash, animal and plant fertilizers, and biodegradable polymers has been considered. Tire rubber is rich in Zn and may be used as an effective and safe fertilizer source for supplying this nutrient with no risk of heavy metals contamination (Moghaddasi et al., 2015). It is reported that ground tire rubber and rubber ash are efficient amendments for increasing bioavailable Zn in calcareous soils (Nasirzadeh et al., 2023). Because of the importance of recycling waste tire rubbers and the possibility of their use in the agricultural sector and the effect of some organic acids on zinc bioavailability,

1- Department of Soil Science, College of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan.
* Corresponding author, Email: Mohsen_hamidpour@yahoo.com

the aim of the present study was to investigate the effect of tire rubber ash and organic ligands application on bioavailability zinc in a calcareous soil and in uptake of this element by plants.

Methods: The experiment was performed as factorial under completely randomized design with three replications. Factors included tire rubber ash at four levels (0, 0.25, 0.5 and 1% w/w) and organic ligand at three levels (control, citric acid and EDTA at concentrations of 1.5 mmole kg^{-1}). The tire rubber used in this study was a product of barez factory. Before planting, soil samples (0–30 cm) from an agricultural field were collected, air-dried, and crushed to pass a 2-mm sieve. Some physico-chemical characteristics of the soil were measured according to standard methods. Samples of tire rubber debris were obtained from the Rubber Industry of Barez Tire in Iran. Rubber ash was produced by ashing ground tire rubber in a furnace at 550 °C for 12 h. Rubber ash was added to the soil of each pot according to the determined concentrations. The germinated corn seeds were planted in each pot, and each pot was irrigated with distilled water. After 7 weeks (or 50 days), seedlings were cut at the soil surface and the roots were washed free of soil. The concentrations of Zn, Fe, Pb and Cd in the shoot and root of corn plant and in the soil were measured. Growth parameters measured in this experiment include: stem diameter and height, leaf area, shoot and root dry weight, and fluorescence chlorophyll. Also, the concentrations of Zn, Fe, Cu, Mn, Pb and Cd in the shoot and root of corn plant and in the soil were measured.

Results: The results of this study showed that the Zn concentration in the tire rubber ash samples was about 5%. According to the results, application of rubber ash did not significantly affect the growth parameters of the corn plant (stem diameter and height, leaf area, shoot and root dry weight, and fluorescence chlorophyll). With increasing rubber ash levels, shoot Zn concentration and root Zn concentration increased by 4- and 10-fold as compared to control, respectively. Furthermore, application of EDTA ligand to rubber ash treated-soil resulted in 8-and 72-fold increase in the shoot and root Zn concentrations as compared to the control, respectively. Additionally, adding rubber ash alone to soil and co-applying EDTA ligand and rubber ash increased bioavailable concentration of Zn by 132- and 161-fold, respectively, as compared to the control. The results of mean comparison showed that at the highest level of rubber ash (1% w/w), with the application of EDTA ligand, the concentration of DTPA-extractable Fe in the soil increased by 33% compared to the treatment without liigand. However, with the use of ligands in other levels of rubber ash, no significant difference was observed in the concentration of bioavailable Fe in the soil compared to the control. Also, the results showed that due to the low concentrations of lead and cadmium in tire rubber, the concentrations of Pb and Cd in the shoots and roots in all treatments was below the detection limit of atomic absorption spectrometry. Also, single addition of rubber ash to soil and co-application of EDTA ligand and rubber ash increased bioavailable concentration of Zn by 132- and 161-fold as compared to the control, respectively.

Conclusions: Results of this study showed that the use of rubber ash can increase the bioavailability of soil Zn and meet the plants need for zinc, therefore, can be recommended as a suitable zinc fertilizer.

Refrences:

1. Moghaddasi, S., Khoshgoftarmanesh, A.H., Karimzadeh, F. Chaney, R., 2015. Fate and effect of tire rubber ash nano-particles (RANPs) in cucumber. Ecotoxicol. Environ. Saf. 115: 137–143.
2. Nasirzadeh, A., Hamidpour, M., Abbaszadeh-Dahaji, P., Akhgar, A., and Kariman, K., 2023. Zinc-solubilizing Pseudomonas strains improve zinc nutrition of maize plants grown in sand amended with tire waste powder. J Plant Nutr. 46:14, 3450–3468, DOI: 10.1080/01904167.2023.2206424.

تأثیر لیگاندهای آلی بر رشد و ترکیب شیمیایی ذرت و آزادسازی عناصر در یک خاک تیمار شده با خاکستر لاستیک

فاطمه یادگاری[1]، محسن حمیدپور*، احمد تاج آبادی‌پور و پیمان عباس‌زاده دهجی

نسخه پیش از انتشار

چکیده

یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان کمبود روی می‌باشد با توجه به اهمیت بازیافت لاستیک‌های فرسوده و امکان استفاده از آن‌ها در کشاورزی، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر کاربرد خاکستر لاستیک و لیگاندهای آلی بر فراهمی عنصر روی در خاک و جذب آن توسط گیاه ذرت انجام شد. این پژوهش به‌صورت فاکتوریل با دو عامل خاکستر لاستیک در چهار سطح (۰، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ درصد وزنی) و لیگاندهای آلی (شاهد، اسید سیتریک و EDTA با غلظت ۱/۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه انجام شد. نتایج نشان داد کاربرد لیگاندهای آلی در خاک‌های تیمار شده با خاکستر لاستیک، نتوانست بر پارامترهای رویشی گیاه ذرت تأثیرگذار باشد این در حالی است که غلظت روی شاخساره و ریشه گیاه با کاربرد لیگاندهای آلی در گلدان‌های تیمار شده با خاکستر لاستیک افزایش یافت. با کاربرد اسید سیتریک در تیمارهای حاوی ۱ درصد وزنی خاکستر لاستیک افزایش سه برابری در غلظت روی شاخساره در مقایسه با شاهد (بدون تیمار) مشاهده شد. هم‌چنین مقدار روی قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک با کاربرد سطوح ۰/۵ و ۱ درصد وزنی خاکستر لاستیک به‌ترتیب ۹۵ و ۱۷۵ برابر نسبت به سطح صفر خاکستر افزایش یافت نتایج هم‌چنین نشان داد که به‌دلیل مقادیر اندک سرب و کادمیوم در لاستیک، غلظت کادمیوم شاخساره و ریشه گیاه در همه تیمارها کم‌تر از حد تشخیص دستگاه جذب اتمی بود و از طرف دیگر اثر اصلی تیمار خاکستر لاستیک، لیگاند و همچنین اثرات متقابل آن‌ها بر غلظت سرب گیاه معنی‌داری نبود. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که ذرات لاستیک تایر توانست در کوتاه‌مدت روی مورد نیاز گیاه را تأمین کنند و به‌عنوان یک کود مناسب روی توصیه شود.

واژه‌های کلیدی: اسید سیتریک، کودهای کندرها، EDTA، عناصرکم‌مصرف.

مقدمه

یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان در خاک‌های مناطق خشک کمبود عناصر کم‌مصرف می‌باشد (Kashian and Fathivand, 2007). پ‌هاش و کربنات کلسیم زیاد و ماده آلی کم از عواملی ه ستند که باعث کاهش فراهمی عناصر کم مصرف در مناطق خشک و نیمه خشک می‌شوند

۱- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، ایران

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Mohsen_hamidpour@yahoo.com

(Karimi et al., 2019). کمبود روی در تعداد زیادی از خاک‌های کشاورزی دنیا از جمله ایران به یک عامل هشداردهنده تبدیل شده است. بر این اساس بخش عمده از خاک‌های ایران به‌دلیل آهکی بودن، روی قابل دسترس کمی دارند (Afyuni et al., 2007) و توزیع روی در خاک‌های آهکی به pH خاک، نوع کانی، کاتیون و آنیون‌های موجود در محلول خاک وابسته است (Saffari et al., 2009).

به‌منظور افزایش فراهمی روی در خاک‌های آهکی و رفع کمبود روی در گیاهان، علاوه بر سولفات روی از کلات‌های مصنوعی (Zn-EDTA و Zn-DTPA) نیز استفاده می‌شود (Alloway, 2008). امروزه، علاوه بر کودهای شیمیایی، استفاده از اصلاح‌کننده‌های خاک از جمله خاکستر پسماندهای شهری، انواع پلیمرهای نفتی و زیست‌تخریب‌پذیر، کودهای حیوانی و گیاهی، بقایای گیاهان زراعی و زغال‌های‌زیستی برای اصلاح ویژگی‌های خاک و بهبود فراهمی عناصر غذایی در خاک، مورد توجه قرار گرفته‌اند (Karimi et al., 2019).

لاستیک تایر معمولاً دارای یک تا پنج درصد وزنی روی است. از اکسید روی برای افزایش پایداری لاستیک در حین فرایند تولید لاستیک استفاده می‌شود (Liu et al., 2018). در این راستا استفاده از لاستیک تایر و خاکستر حاصل از آن به‌عنوان کود روی برای گیاهان مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (Taheri et al., 2016; Nasirzadeh et al., 2023). بازیافت لاستیک تایر و استفاده از آن به‌عنوان یک منبع مؤثر و ایمن در تأمین روی مورد نیاز گیاه، منجر به احیای این پسماند، کاهش هزینه‌ها و حفظ محیط‌زیست می‌شود.

قیمت مناسب، وجود همزمان چند عنصر ضروری برای گیاه، سازگاری با شرایط خاک‌های کشور و کارایی بالاتر زیست‌محیطی از مزایای کودهای تولید شده با استفاده از لاستیک‌های فرسوده در مقایسه با سایر کودهای موجود در بازار می‌باشد (Khoshgoftarmanesh and Sanaei Ostovar, 2010). لاستیک تایر و خاکستر حاصل از آن مقدار اندکی کادمیوم دارند و می‌توانند به‌عنوان بارورکننده‌های (کود) روی مؤثر و خالص در خاک‌های کشاورزی مورد استفاده قرار گیرند (Moghaddasi et al., 2015).

کاربرد اسیدهای آلی و آمینوکلات‌ها نیز به‌دلیل افزایش توانایی در تشکیل کمپلکس‌های محلول با فلزات نقش مهمی در فراهمی عناصر کم‌مصرف مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفته است (Drazic et al., 2006). کلات‌کننده‌های طبیعی (مانند سیتریک اسید) و مصنوعی (مانند EDTA) ترکیبات آلی محلولی هستند که قادرند با فلزاتی مانند آهن، روی، مس و منگنز تشکیل کمپلکس داده و باعث افزایش حلالیت، تحرک و جذب عناصر توسط گیاه شوند (Dessureault-Rompre et al., 2008). EDTA دارای قدرت کلات‌کنندگی قوی با فلزات بوده و به‌شدت بر روی گونه‌بندی شیمیایی عناصر و هم‌چنین تحرک، حلالیت و فراهمی زیستی آن‌ها در فاز محلول خاک تأثیر می‌گذارد (Shahid et al., 2012). اما کلات EDTA نسبت به اسیدهای آلی تجزیه‌پذیری زیستی کمی داشته و ممکن است در درازمدت به‌صورت پایدار در محیط‌زیست باقی بماند و آثار نامطلوبی بر میکروارگانیسم‌ها و گیاهان داشته باشد و یا حتی منجر به انتقال فلزات سنگین به آب‌های زیرزمینی شود (Jez and Lestan, 2016; Wen et al., 2009). نتایج یک پژوهش نشان داد ۱۹ ماه بعد از کاربرد این کلات در خاک، غلظت آن در منطقه ریشه گیاه قابل اندازه‌گیری بود (Bloem et al., 2016). یکی از مزایای سیتریک اسید در مقایسه با EDTA تأثیر مثبت آن بر رشد گیاهان است. سیتریک اسید یک اسید آلی طبیعی با تخریب‌پذیری زیستی بالا که نیمه عمر آن نزدیک به هشت روز می‌باشد (Sinhal et al., 2010). اما با توجه به این‌که کاربرد کلات‌های مصنوعی دارای هزینه بالایی می‌باشد، از این‌رو با شرایط ذکر شده نیاز است که منبع مفید و کم هزینه دیگری از روی به‌عنوان اصلاح‌کننده و بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک به‌کار گرفته شود (Nasirzadeh et al., 2023).

تاکنون پژوهش‌های متعددی در زمینه کاربرد لاستیک تایر و خاکستر حاصل از آن بر رشد گیاهان صورت گرفته است (Taheri et al., 2016; Nasirzadeh et al., 2023). اما مطالعات

نسخه پیش از انتشار

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 1. physical and chemical properties of studied soil

کلاس بافت خاک	پ‌هاش	قابلیت هدایت الکتریکی	ظرفیت تبادل کاتیونی	کربنات کلسیم معادل	فسفر	روی	آهن	مس	منگنز	سرب	کادمیوم
					غلظت قابل دسترس (میلی‌گرم بر کیلوگرم)						
Texture	pH	EC	CEC	CCE	P	Zn	Fe	Cu	Mn	Pb	Cd
		($dS\ m^{-1}$)	($cmol_c\ kg^{-1}$)	(%)	Available concentration ($mg\ kg^{-1}$)						
Sandy Loam	7.30	4.20	8.50	25	15.6	0.7	1.1	0.9	1.08	0.3	0.01

اندکی در مورد اثر اسیدهای آلی بر آزادسازی روی از خاکستر لاستیک و هم‌چنین نقش این مواد در تأمین روی برای گیاه وجود دارد. بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی تأثیر کاربرد اسیدهای آلی بر آزادسازی و فراهمی عنصر روی در خاک‌های متأثر از خاکستر لاستیک، تحت کشت گیاه ذرت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور انجام این پژوهش، نمونه خاک از یکی از مناطق کشاورزی شهرستان رفسنجان که از نظر غلظت روی قابل دسترس در سطح پایینی بود (با موقعیت ۳۰ درجه و ۳۱ دقیقه شمالی، ۵۰ درجه و ۱ دقیقه شرقی) انتخاب شد و نمونه‌برداری خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری انجام شد. پس از هوا خشک نمودن نمونه خاک تهیه شده و عبور آن از الک دو میلی‌متری، برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن شامل pH در گل اشباع خاک توسط الکترود شیشه‌ای، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) عصاره گل اشباع با دستگاه هدایت‌سنج، بافت خاک به روش هیدرومتری، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی سازی با اسید کلریدریک، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به روش جانشینی کاتیون‌ها با استات سدیم، غلظت عناصر کم‌مصرف (روی، آهن، مس و منگنز) و غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم استخراج شده به وسیله DTPA با استفاده از دستگاه جذب اتمی (GBC Savant AA) مطابق با روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد (Estefan et al., 2012). (جدول ۱). در این پژوهش لاستیک تایر از تولیدات کارخانه بارز انتخاب و بعد از جداسازی قسمت سیمی داخل آن، قطعات کوچک‌تر لاستیک به ذرات ریزتر به‌صورت پودر در آمده و بخشی از آن در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۲ ساعت به خاکستر تبدیل شد. به‌منظور تعیین غلظت عناصر در خاکستر، ابتدا نیم گرم از نمونه خاکستر لاستیک با دو تکرار توزین و درون لوله‌های هضم ریخته شد. سپس ۱۴ میلی‌لیتر اسید (مخلوط اسید سولفوریک ۹۸ درصد و اسید نیتریک ۷۰ درصد با نسبت ۳:۱) به نمونه‌ها اضافه و به مدت دو ساعت در دمای ۱۴۰ درجه سلسیوس درون دستگاه هضم مایکروویو (مدل Microsynth ساخت شرکت Milestone) قرار داده شد تا هضم انجام شود. غلظت عناصر روی، آهن، مس، منگنز، سرب و کادمیوم در عصاره توسط دستگاه جذب اتمی (GBC Savant AA) اندازه‌گیری شد (جدول ۲).

آزمون گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط کشت گلدانی ذرت انجام شد. فاکتورها شامل: چهار سطح خاکستر لاستیک (۰، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ درصد وزنی) و سه سطح لیگاند آلی (شاهد، EDTA و سیتریک اسید) بود. ابتدا تیمار خاکستر لاستیک بر حسب مقدار تعیین شده (۰، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ درصد وزنی) به‌طور کامل با خاک مخلوط شده و به تیمارهای مربوطه در هر گلدان اضافه گردید. پس از آماده‌سازی گلدان‌ها (۳۶ گلدان دو کیلوگرمی) در هر گلدان ۵ عدد بذر ذرت رقم سینگل کراس در عمق سه سانتی‌متری خاک کشت شد. پس از جوانه‌زنی بذرها و در مرحله چهار برگی شدن گیاه، بوته‌های اضافی حذف و در هر

نسخه پیش از انتشار

جدول ۲. نتایج آنالیز عناصر خاکستر لاستیک تایر

Table 2. Results of analysis of tire rubber ash elements

غلظت Concentration	عناصر Elements					
	روی Zn	آهن Fe	مس Cu	منگنز Mn	سرب Pb	کادمیوم Cd
کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Total ($mg\ kg^{-1}$)	52000	1800	16300	26400	1000	100

گلدان سه بوته نگهداری شد. تیمار لیگاندهای آلی سیتریک اسید و EDTA (با غلظت ۱/۵ میلی‌مول در کیلوگرم خاک) چهار هفته پس از کشت به صورت محلول همراه با آب آبیاری به گلدان‌ها اضافه گردید. هم‌چنین در طول دوره رشد، محلول غذایی حاوی نیتروژن از منبع اوره (به مقدار ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) استفاده شد و در نهایت پس از گذشت ۵۰ روز از کشت گیاهان برداشت شدند. ویژگی‌های رویشی اندازه‌گیری شده در این آزمایش شامل: قطر، ارتفاع ساقه، کلروفیل فلورسانس، سطح برگ، وزن خشک شاخساره و ریشه بود. قطر ساقه در ناحیه طوقه با استفاده از کولیس دیجیتال و ارتفاع ساقه با خط‌کش مدرج مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. برای اندازه‌گیری کلروفیل برگ از دستگاه Cholorophyll Fluorimeter مدل PEA, UK Hansatech LTD Pocket استفاده شد. جهت اندازه‌گیری سطح برگ از دستگاه سنجش سطح برگ (LAM; Leaf Area Meter-202,USA) استفاده شد. در پایان دوره رشد، بوته‌ها از یک سانتی‌متری سطح خاک قطع، شاخساره و ریشه از هم تفکیک شدند و پس از شست‌وشو با آب معمولی، آب مقطر و هوا خشک شدن، به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۵ درجه سلسیوس درون آون قرار داده شدند. سپس وزن خشک ریشه و شاخساره اندازه‌گیری و نمونه‌های خشک شده آسیاب شدند. اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی در شاخساره و ریشه‌های گیاه به روش خاکسترگیری خشک صورت گرفت. بدین منظور نیم گرم نمونه آسیاب شده شاخساره و ریشه ابتدا در کوره با دمای ۲۵۰ درجه سلسیوس به مدت نیم ساعت و سپس در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به مدت سه ساعت حرارت داده شد تا نمونه‌ها به خاکستر تبدیل شوند. سپس ۵ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک دو نرمال به هر نمونه اضافه شد تا به صورت محلول درآیند و در پایان حجم نمونه‌ها با آب مقطر به ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. در عصاره به‌دست آمده غلظت عناصر روی، آهن، سرب و کادمیوم به‌وسیله دستگاه جذب اتمی (GBC Savant AA) اندازه‌گیری شد. همچنین پس از برداشت گیاهان از خاک تمامی گلدان‌ها نمونه‌برداری شد. غلظت عناصر روی، آهن، سرب و کادمیوم قابل استخراج با DTPA توسط دستگاه جذب اتمی مجهز به کوره گرافیتی (GBC Savant AA) اندازه‌گیری گردید.

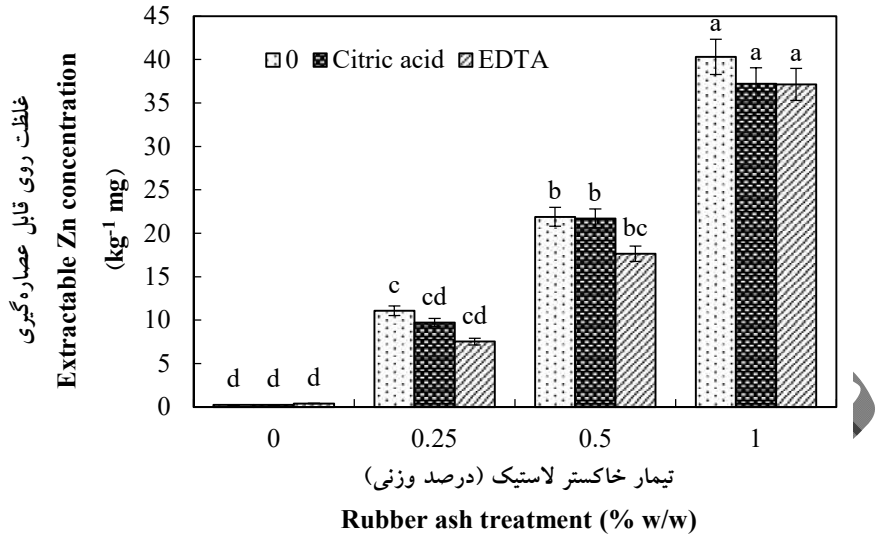
آنالیز آماری نتایج حاصل از این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و رسم نمودار با استفاده از Excel انجام شد.

نتایج و بحث

روی قابل عصاره‌گیری با DTPA

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل بین تیمار خاکستر لاستیک و لیگاند بر غلظت روی قابل عصاره‌گیری با DTPA تأثیر معنی‌داری داشت (جدول تجزیه واریانس نشان داده نشده است). نتایج مقایسه میانگین نشان داد (شکل ۱)، در حضور و عدم حضور لیگاند، با افزایش سطوح خاکستر لاستیک، غلظت روی قابل استخراج با DTPA در خاک افزایش یافت. به‌عنوان مثال، در تیمار بدون لیگاند، غلظت روی از ۰/۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در تیمار شاهد به ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک با کاربرد یک درصد وزنی خاکستر لاستیک

نسخه پیش از انتشار



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل خاکستر لاستیک و لیگاند آلی بر مقدار روی قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک

Figure 1. Mean comparison of interactive effects of rubber ash and organic ligand on the DTPA extractable Zn content in soil

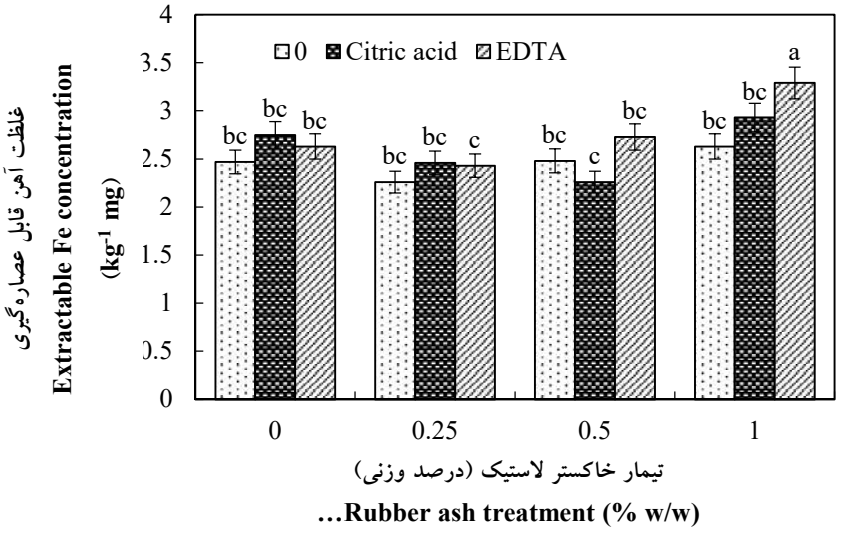
افزایش یافت. هم‌چنین در تمامی سطوح خاکستر لاستیک، کاربرد اسید سیتریک و EDTA اثر معنی‌داری بر غلظت روی قابل استخراج با DTPA نداشت. وجود مقادیر زیاد روی (حدود ۵ درصد) در ترکیب خاکستر موجب افزایش آزادسازی روی از خاکستر و در نتیجه افزایش روی قابل دسترس خاک شده است.

در چندین پژوهش که از ذرات لاستیک تایر در خاک‌های آهکی و دچار کمبود روی انجام شده است، ذرات لاستیک به‌عنوان یک منبع مناسب از کود روی معرفی شده و گزارش شده غلظت روی قابل دسترس در خاک‌های تیمار شده با لاستیک تایر به‌تدریج افزایش می‌یابد (Taheri et al., 2016; Nasirzadeh et al., 2023). از طرف دیگر با توجه به از بین رفتن ترکیبات آلی و باقی‌ماندن ترکیبات معدنی در طی فرآیند تولید خاکستر از پودر لاستیک، خاکستر دارای درصد بالاتری از روی و آهن نسبت به پودر لاستیک می‌باشد (Taheri et al., 2016). براساس نتایج ارائه شده، با اضافه کردن ذرات لاستیک تایر با قطر کم‌تر از ۰/۱ میلی‌متر به خاک، سرعت آزادسازی روی از لاستیک بسیار آهسته و کند می‌باشد. به‌گونه‌ای‌که بعد از یک سال تنها ۱۰ تا ۴۰ درصد از روی موجود در لاستیک به محلول خاک اضافه شد (Smolders and Degryse, 2002). در مطالعه‌ای بیان شده است که غلظت عناصر روی، آهن، مس و منگنز در محلول خاک با افزایش غلظت سیتریک اسید افزایش یافت (Yong-Liang et al., 2002).

غلظت آهن قابل عصاره‌گیری با DTPA

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل بین تیمار خاکستر لاستیک و لیگاند بر غلظت آهن قابل دسترس تأثیر معنی‌داری داشت (جدول تجزیه واریانس نشان داده نشده است). نتایج مقایسه میانگین نشان داد (شکل ۲)، در بالاترین سطح خاکستر لاستیک (سطح ۱ درصد وزنی)، با کاربرد لیگاند EDTA غلظت آهن قابل جذب خاک ۳۳ درصد نسبت به سطح بدون لیگاند افزایش یافت. ولی با کاربرد لیگاندها در سایر سطوح خاکستر لاستیک تفاوت معنی‌داری بر غلظت آهن قابل دسترس خاک نسبت به سطح صفر خاکستر مشاهده نشد.

بر خلاف نتایج پژوهش حاضر، در یک پژوهش گزارش شد مقدار آهن قابل دسترس خاک در کشت آفتابگردان و ذرت با کاربرد پودر لاستیک به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Zeinali Behzadan, 2011). به‌نظر می‌رسد لیگاند EDTA با کلاته کردن آهن و افزایش آزادسازی آهن از خاک و خاکستر لاستیک،



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل خاکستر لاستیک و لیگاند آلی بر مقدار آهن قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک

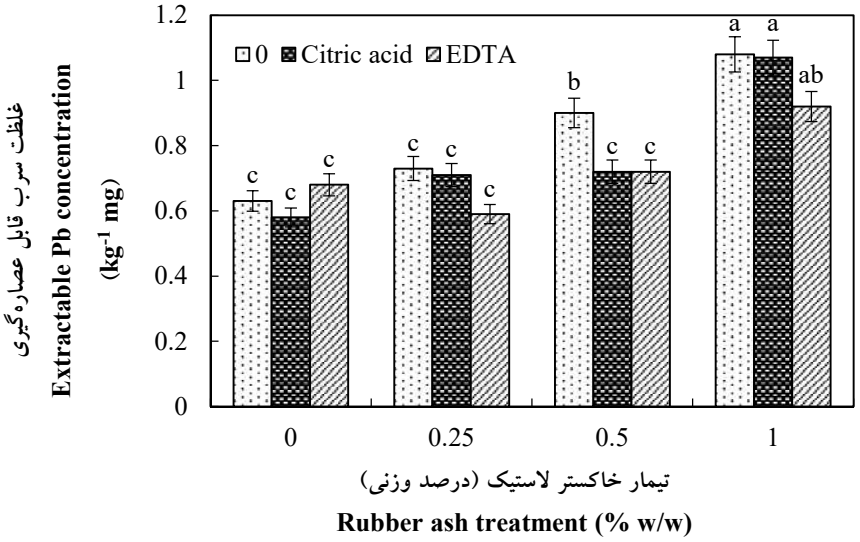
Figure 2. Mean comparison of interactive effects of rubber ash and organic ligand on the DTPA extractable Fe content in soil

آهن قابل دسترس خاک را افزایش داده است. گزارش شده است که کاربرد عناصر کم‌مصرف همراه با کلات‌کننده‌ها سبب ایجاد اختلاف معنی‌داری در غلظت آهن قابل دسترس خاک شد. به‌گونه‌ای‌که کاربرد کلات سیتریک اسید موجب افزایش معنی‌دار آهن قابل دسترس در خاک گردید (Madrid et al., 2003). درحالی‌که نتایج برخی از مطالعات نشان داد با افزایش غلظت روی و منگنز، غلظت سایر عناصر کم‌مصرف از جمله آهن در خاک کاهش یافت. یکی از عوامل کاهش آهن قابل دسترس در خاک پ‌هاش بالا می‌باشد. زیرا قابلیت آهن در خاک به عوامل مختلفی مانند pH خاک، ماده آلی و واکنش‌های اکسایش و کاهش بستگی دارد (Khoshgoftarmanesh, 2008; Malakouti et al., 2006). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که غلظت آهن در خاکستر لاستیک بسیار کم‌تر از غلظت روی موجود در آن می‌باشد که با نتایج سایر پژوهش‌گران مطابقت دارد (Moghaddasi et al., 2015). در پژوهشی دیگر بیان شد که کاربرد ذرات خرد شده لاستیک‌های فرسوده موجب کاهش میزان آهن قابل دسترس در خاک گردید که علت این امر می‌تواند به دلیل افزایش ذرات خرد شده لاستیک تایر به خاک و اثر ضدیتی روی با آهن مربوط باشد (Bidaki et al., 2012).

غلظت سرب و کادمیوم قابل عصاره‌گیری با DTPA

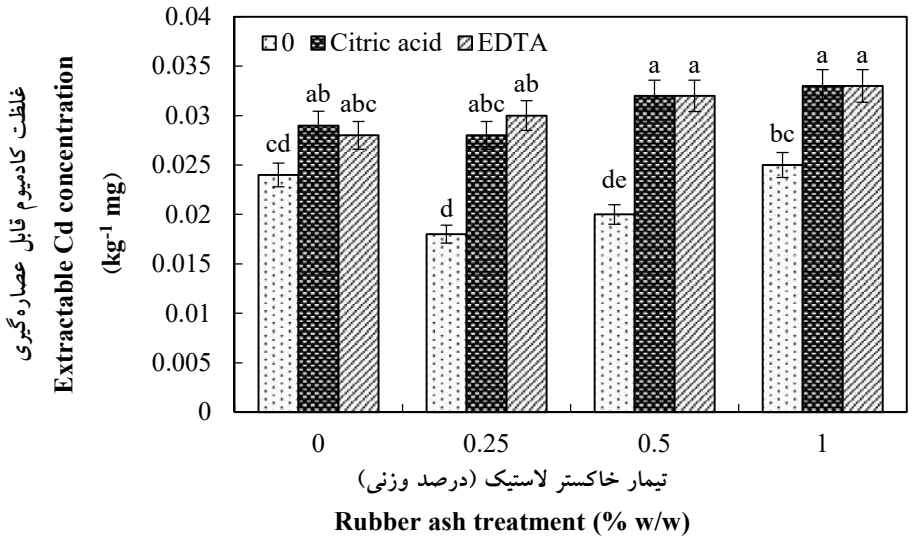
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل بین تیمار خاکستر لاستیک و لیگاند بر غلظت سرب و کادمیوم قابل دسترس تأثیر معنی‌داری داشت (جدول تجزیه واریانس نشان داده نشده است). براساس نتایج مقایسه میانگین (شکل ۳)، در تیمار بدون لیگاند (شاهد) با کاربرد سطح ۰/۵ و ۱ درصد وزنی خاکستر لاستیک غلظت سرب قابل دسترس خاک نسبت به سطح بدون خاکستر به‌ترتیب ۴۳ و ۷۱ در صد افزایش یافت. هم‌چنین در تیمار سیتریک اسید و EDTA، بیش‌ترین غلظت سرب قابل دسترس خاک در سطح ۱ در صد وزنی خاکستر لاستیک مشاهده شد، که در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۷۰ و ۴۶ در صد افزایش نشان دادند. در سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد (بدون تیمار) مشاهده نشد.

در مورد کادمیوم، نتایج مقایسه میانگین نشان داد (شکل ۴)، در همه سطوح خاکستر لاستیک، کاربرد لیگاند سیتریک اسید و EDTA، غلظت کادمیوم قابل دسترس خاک را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. به‌عنوان مثال در تیمار ۱ درصد وزنی خاکستر، کاربرد لیگاند سیتریک اسید و EDTA در مقایسه با شاهد، غلظت کادمیوم قابل دسترس خاک ۳۸ درصد افزایش یافت. براساس مطالعات، ذرات لاستیک تایر علاوه بر تأمین روی مورد



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل خاکستر لاستیک و لیگاند آلی بر مقدار سرب قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک

Figure 3. Mean comparison of interactive effects of rubber ash and organic ligand on the DTPA extractable Pb content in soil



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل خاکستر لاستیک و لیگاند آلی بر مقدار کادمیوم قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک

Figure 4. Mean comparison of interactive effects of rubber ash and organic ligand on the DTPA extractable Cd content in soil

نیاز گیاه، یک ماده اصلاح‌کننده ارزشمند جهت اصلاح خاک‌هایی با خطر کادمیوم بالا و نسبت کادمیوم به روی می‌باشند (Chaney, 2007). به‌دلیل ویژگی‌های شیمیایی مشابه کادمیوم و روی این فرضیه وجود دارد عناصری که دارای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مشابهی هستند، به‌صورت برهم‌کنش منفی عمل کنند (Aravind et al., 2005). براساس مطالعات انجام شده، سیتریک اسید در غلظت‌های کم (۳ و ۵ میلی‌مول در کیلوگرم خاک) نمی‌تواند غلظت سرب قابل دسترس خاک را افزایش دهد اما در غلظت‌های زیاد (۱۰ و ۴۰ میلی‌مول در کیلوگرم خاک) اثر قابل توجهی بر غلظت سرب محلول در خاک دارد (Fine et al., 2014). اکثر مطالعات نشان داده است که اسید سیتریک در مقایسه با EDTA به‌دلیل ثابت پایداری کمی که با سرب دارد می‌تواند کارایی کم‌تری در افزایش حلالیت سرب در خاک داشته باشد (Wu et al., 2003).

در یک مطالعه بیان شـــد که EDTA برای تشـــکیل کمپلکس با فلزات اختصاصی عمل نمی‌کند و با سایر کاتیون‌های حاضر در خاک واکنش تشـــکیل می‌دهد و از این طریق می‌تواند بر ویژگی‌های شـــیمیایی خاک (مانند تغییر در وضـــعیت عناصـــر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف) تأثیرگذار باشد (Zhang, 1993). زمانی که EDTA به خاک افزوده می‌شـــود به‌دلیل قدرت کمپلکس‌کنندگی بالای آن با سرب، تشکیل کمپلکس‌های سرب با EDTA تعادل رســـوب و جذب را به‌ســـمت افزایش حلالیت سرب در خاک تغییر می‌دهد (Wu et al., 2003). طبق مطالعات انجام شده EDTA می‌تواند سرب را از بخش‌های مختلف خاک به‌خصـــوص اکســـیدهای آهن، منگنز و مواد آلی خاک آزاد کند (Udovic et al., 2006).

پارامترهای رویشی

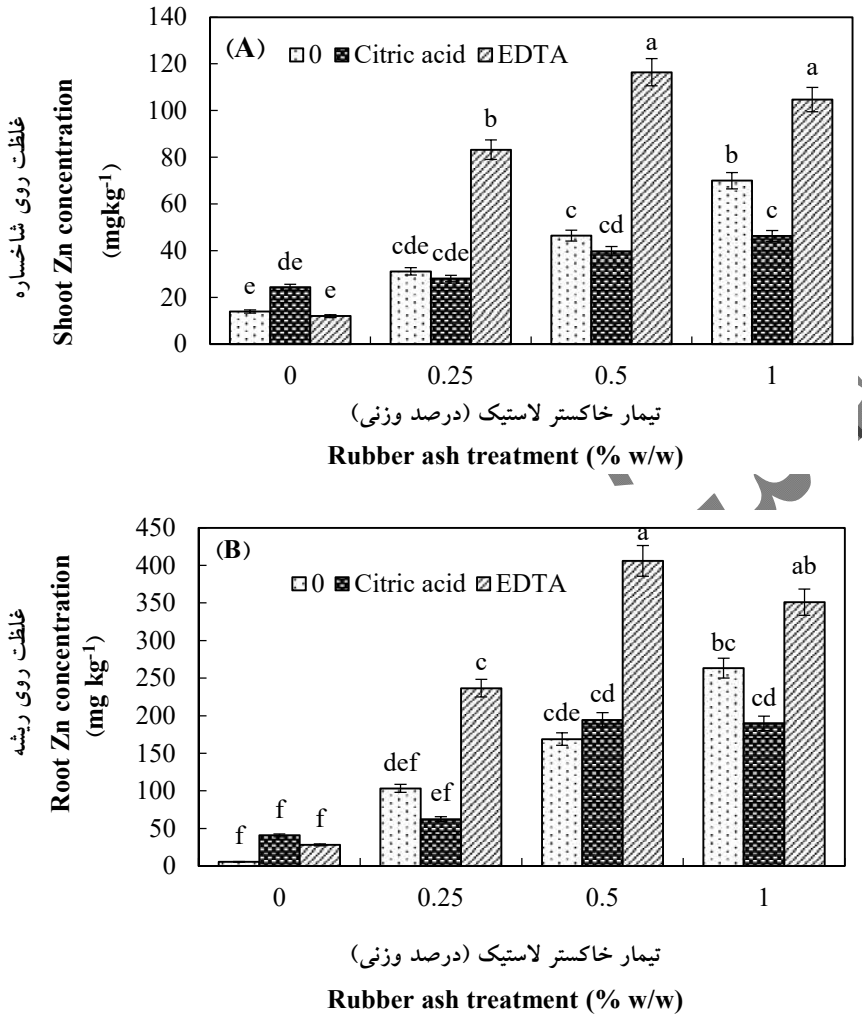
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشـــان داد که اثر متقابل بین تیمار خاکستر لاستیک و لیگاند بر پارامترهای رویشی گیاه ذرت (وزن خشک شاخساره و ریشه، سطح برگ، کلروفیل فلورسانس و قطر ساقه) تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول تجزیه واریانس نشان داده نشده است).

غلظت روی شاخساره و ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشـــان داد که اثر متقابل بین تیمار خاکستر لاستیک و لیگاند بر غلظت روی شاخساره و ریشه تأثیر معنی‌داری داشـــت (جدول تجزیه واریانس نشـــان داده نشـــده اســـت). نتایج اثرات متقابل خاکســـتر لاســـتیک و لیگاندهای آلی نشان داد (شکل ۵-A)، در تیمار بدون لیگاند (شاهد) کاربرد تمام سطوح خاکستر لاستیک غلظت روی شاخساره را افزایش داد، به‌گونه‌ای‌که با کاربرد سطوح ۰/۵ و ۱ درصد وزنی خاکستر لاستیک، غلظت روی شاخساره به‌ترتیب پنج و سه برابر نسبت به سطح صفر خاکستر افزایش یافت. هم‌چنین با کاربرد کلات اســـید ســـیتریک با غلظت ۱/۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک در تیمارهای حاوی ۱ در صد وزنی خاکستر لاستیک افزایش سه برابری در غلظت روی شـــاخســـاره در مقایســـه با شـــاهد (بدون تیمار) مشـــاهده شـــد. از طرف دیگر کاربرد کلات EDTA با غلظت فوق در تیمار ۰/۵ درصد وزنی خاکستر لاستیک، غلظت روی شاخساره را به‌طور معنی‌داری نسبت به سطح بدون تیمار به هشت برابر افزایش داد. بررسی نتایج غلظت روی ریشه نشان داد (شـــکل ۵-B)، در تیمار بدون لیگاند، کاربرد تمام ســـطوح خاکســـتر لاســـتیک منجر به افزایش معنی‌دار غلظت روی ریشـــه شد. به‌طوری‌که در بالاترین سطح خاکستر، غلظت روی ریشه نســـبت به ســـطح صـــفر خاکســـتر ۴۷ برابر افزایش نشـــان داد. از طرف دیگر کاربرد هر دو کلات اســـید ســـیتریک و EDTA با غلظت ۱/۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک در تیمار خاکستر لاستیک (سطح ۰/۵ در صد وزنی)، به‌ترتیب منجر به افزایش ۳۵ و ۷۲ برابری غلظت روی ریشه نسبت به شاهد (بدون تیمار) شد.

غلظت روی در اکثر گیاهان بین ۲۵ تا ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک برگ می‌باشد. کمبود روی با توجه به نوع گیاه در غلظت‌های کم‌تر از ۱۰ تا ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک برگ و سمیّت آن در غلظت‌های بیش‌تر از ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشـــک برگ رخ می‌دهد (Havlin et al., 2017). در اغلب گیاهان رشد یافته در تیمارهای حاوی لاستیک تایر، بیش از ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی در بافت گیاهی مشـــاهـده شـــده اســـت (Nasirzadeh et al., 2023; Khoshgoftarmanesh et al., 2012). طبق مطالعات انجام شده کاربرد خاکستر لاستیک می‌تواند به‌عنوان یک منبع مفید روی رشد گیاه ذرت را به‌طور مؤثری افزایش دهد (Nasirzadeh et al., 2023). پژوهشگران گزارش کردند افزودن لاستیک تایر به خاک تغییری در غلظت روی گیاه آفتابگردان ایجاد نکرد اما بـاعـث افـزایـش غـلـظـت روی در گـیـاه ذرت شـــد (Khoshgoftarmanesh et al., 2012). یکی از عوامل مؤثر بر قابلیت جذب فلزات توسط گیاه، تحرک فلزات در خاک است و در مواردی از برخی تیمارهای شـــیمیایی برای غلبه بر این مشکل استفاده می‌شود (Fazal et al., 2010). مطالعات زیادی

نسخه پیش از انتشار



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل خاکستر لاستیک و لیگاند آلی بر غلظت روی شاخساره (A) و ریشه (B)

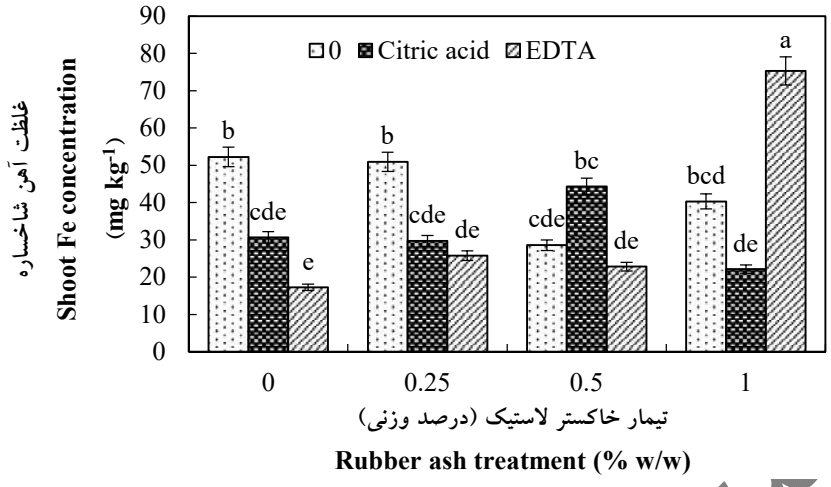
Figure 5. Mean comparison of interactive effects of rubber ash and organic ligand on the root (B) and shoot (A) Zn concentrations

در ارتباط با افزایش قابلیت جذب فلزات با افزودن کلات‌کننده‌هایی مانند EDTA، EDDS و سیتریک اسید انجام شده است. این کلات‌کننده‌ها دارای میل ترکیبی زیادی با فلزات بوده، بنابراین برای افزایش انحلال، بهبود، جذب و انتقال آن‌ها به آوندها و به‌طور کلی جابه‌جایی آن‌ها از ریشه به شاخساره گیاه استفاده می‌شوند (January et al., 2008).

گزارش شده است که کاربرد EDTA تا غلظت ۱/۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک منجر به افزایش جذب روی در شاخساره ذرت شد، هم‌چنین کاربرد اسید سیتریک با غلظت ۰/۷۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک در گیاه ذرت موجب افزایش معنی‌دار جذب روی شاخساره در مقایسه با عدم کاربرد آن شد (Taheri pour et al., 2016).

غلظت آهن شاخساره

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل بین تیمار خاکستر لاستیک و لیگاند بر غلظت آهن شاخساره تأثیر معنی‌داری داشت (جدول تجزیه واریانس نشان داده نشده است). براساس نتایج مقایسه میانگین، در تیمار بدون لیگاند (شاهد)، افزایش سطوح خاکستر لاستیک (شکل ۶)، اثر معنی‌داری بر غلظت آهن شاخساره گیاه نداشت. با کاربرد هر



شکل ۶. اثر متقابل خاکستر لاستیک و لیگاند آلی بر غلظت آهن شاخساره

Figure 6. Mean comparison of interactive effects of rubber ash and organic ligand on the shoot Fe concentration

دو نوع لیگاند در سطوح صفر و ۰/۲۵ درصد وزنی خاکستر لاستیک، غلظت آهن شاخساره گیاه در مقایسه با تیمار بدون لیگاند به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ولی در بالاترین سطح خاکستر لاستیک، کاربرد لیگاند EDTA منجر به افزایش ۴۴ درصدی غلظت آهن شاخساره در مقایسه با تیمار بدون لیگاند شد. گزارش شده است برخی از عناصر کم‌مصرف مانند روی و آهن در جذب و انتقال به قسمت‌های مختلف گیاه با یکدیگر رقابت دارند به‌طوری‌که غلظت بالای روی مانع از جذب و انتقال آهن در گیاه می‌شود (Neue et al., 1998). هم‌چنین افزایش روی از منبع ضایعات لاستیک می‌تواند موجب کاهش غلظت آهن در گیاه شود و از طرفی آهن، جذب و سمیّت احتمالی روی در گیاه را کاهش می‌دهد (Nasirzadeh et al., 2023). گزارش شده است که عناصر غذایی از جمله روی، آهن و منگنز احتمالاً در فرآیندهای انتقال از ریشه به شاخساره با یکدیگر رقابت می‌کنند (Hamzeh pour et al., 2010). علاوه‌بر آن، زمانی‌که EDTA به خاک اضافه می‌شود بخش بزرگی از فلز کل محلول شده و در دسترس گیاه قرار می‌گیرد. اگرچه EDTA توانایی کلاته نمودن و افزایش قابلیت جذب آهن را دارد، ولی با توجه به غلظت بالای روی خاک، مصرف EDTA جذب روی را بیش‌تر افزایش داده که منجر به ایجاد رقابت و موجب کاهش جذب آهن می‌شود (Tandy et al., 2006).

غلظت سرب و کادمیوم شاخساره و ریشه

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد به‌دلیل مقادیر اندک سرب و کادمیوم در بقایای لاستیک، غلظت کادمیوم شاخساره و ریشه گیاه در همه تیمارها کم‌تر از حد تشخیص دستگاه جذب اتمی بود و از طرف دیگر تیمار خاکستر لاستیک، لیگاند و هم‌چنین اثرات متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر غلظت سرب گیاه نداشتند. این نتایج با مطالعات سایر پژوهشگران نیز مطابقت دارد (Nasirzadeh et al., 2023).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کاربرد خاکستر لاستیک روی قابل دسترس خاک را به‌طور معنی‌داری افزایش داده است. استفاده از خاکستر لاستیک به‌عنوان کود روی مناسب در زمین‌های کشاورزی علاوه بر داشتن برتری‌های اقتصادی، گزینه مناسبی برای رفع مشکل انباشت لاستیک و کاهش آلودگی محیط‌زیست می‌باشد. کاربرد خاکستر لاستیک می‌تواند فراهمی زیستی روی در خاک را افزایش دهد و به تبع آن نیاز گیاه ذرت به روی را تأمین کند. استفاده از اسیدهای آلی علاوه‌بر تسریع در آزاد سازی عنصر روی از این ضایعات، بر غلظت روی در گیاه نیز اثرگذار بوده است. به‌گونه‌ای‌که کاربرد لیگاند

EDTA موجب افزایش غلظت روی شاخساره و ریشه گیاه در سطح ۰/۵ تا ۱ درصد وزنی خاکستر لاستیک شد. طبق نتایج این پژوهش، کاربرد لیگاندهای آلی در خاک‌های تیمار شده با خاکستر لاستیک می‌تواند فراهمی زیستی فلزات سنگین را افزایش دهد. بنابراین با توجه به نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌شود که تأثیرات دراز مدت خاکستر لاستیک بر جذب عناصر توسط گیاهان مختلف بررسی شود.

تشکر و سپاسگزاری

تضاد منافع

منابع مورد استفاده

1. Afyuni, M., Khoshgoftarmanesh, A.H., Dorostkar, V., Moshiri, R., 2007. Zinc and cadmium content in fertilizer commenly used in Iran. International Conference of Zinc Crops, May 24–28, Istanbul, Turkey.
2. Alloway, B.J., 2008. Zinc in soil and crop nutrition. Second ed. International Zinc Association (IZA), Brussels, Belgium and International Fertilizer Association (IFA), Paris, France.
3. Aravind, P., Narasimba, M., Prasad. V., 2005. Cadmium-Zinc interactions in hydroponic system using ceratophyllum demersum L.: Adaptive Ecophysiology, Biochemistry and Molecular Toxicology. Brazilian J. Plant Physiol. 17(1): 3–20. https://doi.org/10.1590/S1677-04202005000100002.
4. Bidaki, M.Y., Hajabbasi, M.A., Khoshgoftarmanesh, A.H., Eshghizadeh, H.R., 2012. Effect of waste tire rubber particles on some chemical properties of a calcareous soil. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 16(59): 101–115. (in Persian with English abstract).
5. Bloem, E., Haneklaus, S., Haensch, R., Schnug, E., 2016. EDTA application on agricultural soils affects microelement uptake of plants. Sci. Total Environ. 577. 10.1016/j.scitotenv.2016.10.153
6. Brummer, G.W., Gerth, J., Tiller, K.G., 1988. Reaction kinetics of the adsorption and desorption of nickel, zinc and cadmium by goethite. I. Adsorption and diffusion of metals. Eur. J. Soil Sci. 39(1): 37–52.
7. Cataldo, O.A., Garland, T.R., Wildung, R.E., 1983. Cadmium uptake kinetics in intact soybean plants. Plant Physiol. 73(3): 844–848.
8. Chaney, R.L., 2007. Effect of ground rubber vs. ZnSO4 on spinach accumulation of Cd from Cd-mineralized California soil. Abstract, Proceedings of the Water Environment Federation, April 16-18, WEFTECH, Denver, Colorado. p 993.
9. Dessureault-Rompre, J., Nowack, B., Schulin, R., Tercier-Waeber, M.L., Luster, J., 2008. Metal solubility and speciation in the rhizosphere of Lupinus albus cluster roots. Environ. Sci. Technol. 42: 7146–7151.
10. Drazic, G., Mihailovic, N., Lojic, M., 2006. Cadmium concentration in medicago sativa seedlings treated with salicylic acid. Plant Biol. Plant. 50(2): 239–244.
11. Estefan, G., Sommer, R., and Ryan, J., 2013. Methods of soil, plant and water analysis: A manual for the west Asia and north Africa region: ICARDA. Beirut, Lebanon.
12. Fazal, H., Asghari, B., Fuller, M.P., 2010. The improved phytoextraction of lead (Pb) and the growth of maize (Zea mays L.): the role of plant growth regulators (GA3 and IAA) and EDTA alone and in combinations. Chemosphere 80(4): 457–462. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.04.020
13. Fine, P., Paresh, R., Beriozkin, A., Hass, A., 2014. Chelate-enhanced heavy metal uptake by Eucalyptus trees under controlled deficit irrigation. Sci. Total Environ. 493: 995–1005. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.085.
14. Grant, A., Bailey, L.D., 1997. Effects of phosphorus and zinc fertilizer management on cadmium accumulation in flaxseed. J. Sci. Food Agri. 73(3): 307–314.
15. Grant, C.A., Clarke, J.M., Duguid, S., Chaney, R.L., 2008 Selection and breeding of plant cultivars to minimize cadmium accumulation. Sci. Total Environ. 390: 301–310.
16. Havlin, J.L., Tisdale, S.L. Nelson, W.L., Beaton, J.D., 2017. Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. 8th Edition, Pearson, Chennai Dehli, India.

نسخه پیش از انتشار

17. Hamzeh pour, N., Malakouti, M.J., Majidi, A., 2010. Interaction of zinc, iron and manganese elements in different various organs of wheat. J. Soil Res. 24(1):1–8. (in Persian)
18. January, M.C., Cutright, T.J., Keulen H.V., Wei, R., 2008. Hydroponic phytoremediation of Cd, Cr, Ni, As, and Fe: can helianthus annuus hyperaccumulate multiple heavy metals? Chemosphere 70(3): 531–537.
19. Jez, E., Lestan, D., 2016. EDTA retention and emissions from remediated soil. Chemosphere 151: 202–209. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.02.088.
20. Karimi, A., Moezzi, A., Chorom, M., Enayatizamir, N., 2019. Chemical fractions and availability of Zn in a calcareous soil in response to biochar amendments. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 19, 851–864.
21. Kashian, S., Fathivand, A.A., 2015. Estimated daily intake of Fe, Cu, Ca and Zn through common cereals in Tehran, Iran. Food Chem. 176: 193–196. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.021.
22. Khoshgoftarmanesh A.H., 2008. Evaluation of plant nutritional status and optimal fertilizer management. Second ed. Isfahan University of Technology Publishing Center. (in Persian).
23. Khoshgoftarmanesh, A.H., Sanaei Ostovar, A., 2010. Effect of treated polymeric industrial by-products zinc availability on corn characteristics in a calcareous soil. J. Agri. Sci. Nat. Res. 13: 91–104.
24. Khoshgoftarmanesh, A.H., Behzadan, H.Z., Sanaei Ostovar, A., Chaney, R.L., 2012. Bacterial inoculation speeds zinc release from ground tire rubber used as Zn fertilizer for corn and sunflower in a calcareous soil. Plant Soil 361: 71–81.
25. Liu, X., Wang, J., Gheni, A., ElGawady, A.A., 2018. Reduced zinc leaching from scrap tire during pavement applications, Waste Management, 81: 53–60. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.045
26. Madrid, F., Liphadzi, M.S., Kirkham, M.B., 2003. Heavy metal displacement in chelate-irrigated soil during phytoremediation. J. Hydrol. 272: 107–119.
27. Malakouti, M.J., Keshavarz, P., Karimian, N.A., 2008. A comprehensive approach towards identification of nutrients deficiencies and optimal fertilization for sustainable agriculture, Tarbiat Modares University Press, Tehran.
28. Moghaddasi, S., Khoshgoftarmanesh, A.H., Karimzadeh, F., Chaney, R., 2015. Fate and effect of tire rubber ash nano-particles (RANPs) in cucumber. Ecotoxicol. Environ. Saf. 115: 137–143. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.02.020.
29. Nasirzadeh, A., Hamidpour, M., Abbaszadeh-Dahaji, P., Akhgar, A., and Kariman, K., 2023. Zinc-solubilizing Pseudomonas strains improve zinc nutrition of maize plants grown in sand amended with tire waste powder. J Plant Nutr. 46:14, 3450–3468, DOI: 10.1080/01904167.2023.2206424.
30. Neue, H.U., Quijano, C., Senadhira, D., Setter, T., 1998. Strategies for dealing with micronatrient disorders and salinity in lowland rice system. Field Crops Res. 50: 139–155.
31. Saffari, M., Yasrebi, J., Karimian, N., Shan, X.Q., 2009. Evaluation of three sequential extraction methods for fractionation of zinc in calcareous and acidic soils. Res. J. Biol. Sci. 4(7): 848–857.
32. Shahid, M., Pinelli, E., and Dumat, C., 2012. Review of Pb availability and toxicity to plants in relation with metal speciation; role of synthetic and natural organic ligands. J. Hazard. Mater. 219: 1–12. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.01.060
33. Sinhal, V.K., Srivastava, A., Singh, V.P., 2010. EDTA and citric acid mediated phytoextraction of Zn, Cu, Pb and Cd through marigold (Tagetes erecta). J. Environ. Biol. 31(3): 255–259.
34. Smolders, E., Degryse, F, 2002., Fate and effect of zinc from tire debris in soil. Environ. Sci. Technol. 36(17): 3706–3710.
35. Taheri S., Khoshgoftarmanesh A.H., Shariatmadari H., Chaney R.L., 2011. Kinetics of zinc release from ground tire rubber and rubber ash in a calcareous soil as alternatives to Zn fertilizers. Plant Soil 341: 89–97. https://doi.org/10.1007/s11104-010-0624-7.
36. Taheri pour, A., Kiani, Sh., Hosseinpur, A., 2016. Effect of EDTA and citric acid on phytoextraction of copper and zinc from a naturally contaminated soil by maize (Zea mays L.) cultivars. J. Water Soil 29 (6): 1493–1505. (in Persian with English abstract).
37. Tandy, S., Schulin, R., Nowack, B. 2006,. Uptake of metals during chelant-assisted phytoextraction with EDDS related to the solubilized metal concentration. Environmental Science and Technology, 40(8): 2753–2758.
38. Udovic, M., and Lestan D., 2009. Pb, Zn and Cd mobility, availability and fractionation in aged soil remediated by EDTA leaching. Chemosphere, 74(10): 1367–1373. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.11.013
39. Wen, J., Stacey, S.P., McLaughlin, M.J., Kirby, J.K., 2009. Biodegradation of rhamnolipid, EDTA and citric acid in

cadmium and zinc contaminated soils. Soil Biol. Biochem. 41(10): 2214–2221.
40. Wu, L.H., Luo, Y.M., Christie, P., Wong, M.H., 2003. Effects of EDTA and low molecular weight organic acids on soil solution properties of a heavy metal polluted soil. Chemosphere, 50(6): 819–822.
41. Yong-Liang, C., Yu-Qiang, G., Shi-Jie, H., Chun-Jing, Z., Yu-Mei, Z., Guo-Ling, C., 2002. Effect of root derived organic acids on the activation of nutrients in the rhizosphere soil. Journal of Forestry Research, 13(2): 115–118.
42. Zeinali Behzadan, H. 2011. Microbial degradation of tire rubber wastes in soil and its effect on heavy metals uptake by corn and sunflower. M.Sc. thesis of Soil Science, Isfahan University of Technology. Iran.
43. Zhang, F.S. 1993. Effect of Cu deficiency on Zn uptake rate of wheat plants. Acta-Pedologica Sinica, 235: 129–134.
44. Zhang, T., Wei, H., Yang, X.H., Xia, B., Liu, J.M., Su, C.Y., Qiu, R.L., 2014. Influence of the selective EDTA derivative phenyldiaminetetraacetic acid on the speciation and extraction of heavy metals from a contaminated soil. Chemosphere 109: 1–6. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.02.039.

نسخه پیش از انتشار