

تأثیر اسید هومیک و اسید فولویک بر توانایی گیاه پالایی مس و کادمیوم توسط کرچک زینتی

مژگان جوکار^۱، مجید حجازی مهریزی^{۲*}، مهدی سرچشمه پور^۳، همایون فرهمند^۴ و ۵

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۳)

چکیده

استفاده از یک روش ارزان قیمت و دوستدار محیط زیست جهت کاهش خطرات زیست محیطی فلزات سنگین امری ضروری است. در این پژوهش تأثیر اسیدهای هیومیک و فولویک بر فراهمی مس و کادمیوم و جذب آن‌ها توسط کرچک زینتی بررسی شد. تیمارهای آزمایشی شامل دو سطح ۰/۵ و ۱ درصد (وزنی) اسیدهای هیومیک و فولویک به همراه تیمار شاهد در پنج تکرار به یک خاک آلوده به مس و کادمیوم افزوده شدند. پس از گذشت ۹۰ روز، برخی ویژگی‌های رویشی گیاه، غلظت مس و کادمیوم قابل دسترس خاک و غلظت مس و کادمیوم ریشه و شاخساره اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که کاربرد اسید هیومیک در سطح ۰/۵ درصد باعث افزایش خصوصیات رویشی کرچک زینتی شد. در مقابل، افزودن سطح ۱ درصد اسید هیومیک و سطح ۰/۵ و ۱ درصد اسید فولویک ویژگی‌های رویشی گیاه کرچک را به طور معنی‌داری کاهش داد. کاربرد سطوح ۰/۵ و ۱ درصد اسید هیومیک به ترتیب سبب افزایش ۱۹ و ۳۷ درصدی غلظت مس قابل دسترس خاک و افزایش ۳۰ و ۴۴ درصدی کادمیوم قابل دسترس خاک شد. در تیمارهای ۰/۵ و ۱ درصد اسید فولویک، به ترتیب غلظت مس قابل دسترس خاک ۳۵ و ۳۹ درصد و کادمیوم قابل دسترس خاک ۴۲ و ۵۴ درصد بیش‌تر از تیمار شاهد بود. کاربرد اسید هیومیک و اسید فولویک سبب افزایش معنی‌دار غلظت مس و کادمیوم در شاخساره و ریشه کرچک زینتی در مقایسه با تیمار شاهد شد. فاکتور انباشت زیستی و فاکتور انتقال در تمامی تیمارها کمتر از ۱ به دست آمد و تنها کاربرد سطح ۱ درصد اسید هیومیک و اسید فولویک سبب افزایش این دو فاکتور گردید. بر اساس نتایج فاکتور تجمع زیستی کرچک زینتی به عنوان یک گیاه انباشتگر محسوب نمی‌شود اما کاربرد اسید هیومیک و فولویک توانست کارایی کرچک زینتی در پالایش فلزات مس و کادمیوم از خاک را افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: گیاه پالایی، مواد هیومیکی، فاکتور انباشت زیستی، فلزات سنگین

جوکار م.، حجازی مهریزی م.، سرچشمه پور م.، فرهمند ه. ۱۴۰۱. تأثیر اسید هومیک و اسید فولویک بر توانایی گیاه پالایی مس و کادمیوم توسط کرچک زینتی. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۰، شماره ۱. صفحه: ۱-۱۴.

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۴- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۵- دانشیار بخش علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

* پست الکترونیک: mhejazi@uk.ac.ir

مقدمه

هیومیک و اسید فولویک) از جمله عواملی هستند که می-توانند حلالیت و تحرک فلزات سنگین را در خاک تحت تأثیر قرار داده و از این طریق توانایی گیاه‌پالایی گیاهان را افزایش دهد (Zhang et al., 2013). اسید هیومیک و اسید فولویک توانایی بالایی در تغییر حلالیت کاتیون‌های فلزی و زیست‌فراهمی آن‌ها دارند (Lasat, 2000; Dehno & Mohtadi 2018). اسیدهای هیومیک و فولویک به دلیل داشتن گروه‌های عامل کربوکسیلی، فنولی، آمینی و کربونیل می‌توانند از طریق واکنش‌های جذب سطحی، کمپلکس‌شدن و احیا، توزیع و تحرک فلزات سنگین را در خاک به طور مستقیم تحت تأثیر قرار دهند (Yu et al., 2002; Gan et al., 2019; Hamzenejad & Khodaverdiloo, 2020). نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که اسید فولویک در مقایسه با اسید هیومیک گروه‌های عامل کربوکسیلی، فنولی و هیدروکسیلی بیشتری دارد (Islam et al., 2020) و به همین دلیل توانایی این ماده برای کمپلکس‌کردن و تغییر حلالیت کاتیون‌های فلزی بیشتر می‌باشد.

در ارتباط با تأثیر مواد هیومیکی بر افزایش قابلیت دسترسی فلزات سنگین نتایج متفاوتی گزارش شده است. نتایج برخی مطالعات نشان داده است که کاربرد اسیدهای هیومیک و فولویک سبب کاهش فراهمی و تحرک فلزات سنگین در خاک می‌شود (Zhang et al., 2013; Duan et al., 2020; Rong et al., 2020). نتایج مطالعه حقیقی و کافی (Haghigh & Kafi, 2010) نشان داد که اسید هیومیک سبب کاهش جذب کادمیوم توسط کاهو و کاهش اثرات مخرب این عنصر بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و وزن کاهو گردید. آن‌ها دلیل کاهش اثرات سمی کادمیوم بر کاهو را ناشی از نقش اسید هیومیک در بهبود رشد و افزایش جذب عناصر غذایی فسفر و نیتروژن ذکر کردند. چن (Chen, 1996) پیشنهاد کرد که اضافه کردن مواد هیومیکی سمیت کاهش سمیت فلزات سنگین می‌شود، چون این فلزات با مواد هیومیکی در فاز محلول خاک کمپلکس پایدار تشکیل می‌دهند. با توجه به اثرات اسید هیومیک و اسید فولویک بر حاصلخیزی خاک، به نظر می‌رسد کاربرد این مواد در خاک‌های آلوده می‌تواند به استقرار بهتر گیاه و افزایش مقاومت گیاه به تنش کمک کند. هرچند، برخی دیگر از پژوهش‌ها نشان از تأثیر مواد هیومیکی بر افزایش

امروزه آلودگی خاک به فلزات سنگین به عنوان یکی از معضلات مهم زیست محیطی به شمار می‌رود چرا که تجمع زیاد و طولانی مدت این فلزات در آب و خاک، امکان انتقال آنها را به زنجیره‌های غذایی انسان و حیوان فراهم می‌سازد (Duan et al., 2020; Khodaverdiloo et al., 2020). معدن کاوی، استفاده از لجن فاضلاب، آفت‌کش، کمپوست، زباله شهری، ضایعات فلزات، کودهای شیمیایی و آلی، آبیاری با فاضلاب و توسعه صنایع بدون کنترل موثر پساب، منجر به تجمع فلزات سنگین در خاک شده است (Evangelou et al., 2006; Karimi et al., 2018). اگر چه برخی فلزات سنگین مثل آهن، روی و مس برای عملکرد-های مختلف فیزیولوژیکی و متابولیکی در سلول‌های زنده ضروری هستند، اما در غلظت‌های بالا سبب ایجاد سمیت در گیاهان می‌شوند (Kadem et al., 2004; Gitipour et al., 2022; Schützendübel & Polle, 2002; Sun et al., 2001).

گیاه پالایی به‌عنوان استفاده از گیاهان برای پالایش آلاینده-ها از محیط زیست، تعریف می‌شود (Ullah et al., 2015). تمام گیاهان پتانسیل استخراج فلزات از خاک را دارند، اما برخی از گیاهان توانایی استخراج، تجمع و تحمل سطوح بالایی از فلزات سنگین را نشان می‌دهند که به این گیاهان بیش‌اندوز گفته می‌شود (Evangelou et al., 2004). رایبسون و همکاران (Robinson et al., 2000) پیشنهاد کردند گیاهانی که برای گیاه‌پالایی مورد استفاده قرار می-گیرند بایستی دارای رشد سریع و ریشه عمیق باشند، به راحتی تکثیر شوند و فلز هدف را از محیط جذب کنند.

انتقال و تجمع فلزات سنگین توسط گیاهان به عوامل مختلفی نظیر توزیع شکل‌های شیمیایی فلزات سنگین در خاک، pH خاک، مقدار ماده آلی خاک و نوع گونه گیاهی بستگی دارد. اگر چه غلظت کل فلزات سنگین در بیشتر خاک‌های آلوده بالاست اما به دلیل واکنش‌های جذب سطحی و کمپلکس‌شدن و رسوب فلزات سنگین توسط کلوئیدهای خاک از جمله رس‌ها و کانی‌های کربناتی، غلظت قابل دسترس فلزات سنگین در خاک‌های آهکی پایین بوده که سبب کاهش توانایی گیاه‌پالایی می‌شود (Karimi et al., 2018). مواد هیومیکی (هومین، اسید

منبع سولفات مس^۳ جداگانه به صورت اسپری تدریجی به خاک افزوده شد. بعد از گذشت ۲ ماه و به تعادل رسیدن فلزات سنگین با خاک، مقدار دو کیلوگرم از خاک آلوده شده به گلدان‌های پلاستیکی انتقال یافت. به خاک‌های آلوده سطوح ۰/۵ و ۱ درصد اسیدهای هومیک و فولویک افزوده شد. همچنین یک تیمار خاک آلوده بدون کاربرد اسیدهای آلی به عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد. برای شکستن خفتگی بذرهای کرچک زینتی، بذرها شسته شده و در آب ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از گذشت ۵ دقیقه بذرها در پارچه مرطوب قرار گرفت و به مدت ۵ روز در یخچال با دمای ۳ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. جوانه‌زنی بذر و رشد نهال کرچک زینتی در محیط کوکوپیت-پیت-ماس انجام و نهال‌ها پس از رسیدن به مرحله ۴ برگی به گلدان‌های آلوده به فلزات مس و کادمیوم منتقل شدند. تعداد ۴ نهال‌های رشد یافته کرچک زینتی (یکسان از لحاظ اندازه) به گلدان‌های اصلی انتقال داده شدند. بر اساس آزمون خاک مقادیر کافی از عناصر غذایی مورد نیاز به خاک جهت جلوگیری از تنش تغذیه‌ای اضافه شد. در طول دوره آزمایش رطوبت گلدان‌ها در حد ۷۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه حفظ شد.

پس از گذشت ۹۰ روز از انتقال نهال به گلدان‌های آلوده به مس و کادمیوم، شاخساره و ریشه گیاه جدا شد. بخش شاخساره و ریشه‌ها پس از شستشو با آب معمولی و آب مقطر توسط ترازو با دقت ۰/۰۰۱ توزین شدند. جهت اندازه‌گیری وزن خشک شاخساره و ریشه، نمونه‌های گیاهی به مدت ۷۲ ساعت در آون تهویه‌دار با دمای ۷۰ درجه سانتی-گراد قرار گرفتند. سپس وزن خشک نمونه‌ها توسط ترازو دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شد.

به‌منظور اندازه‌گیری غلظت فلزات مس و کادمیوم در گیاه از روش خاکستری‌گیری و هضم در اسید کلریدریک بهره گرفته شد (Rothery, 1988). مقدار یک گرم از نمونه گیاهی پودر شده (شاخساره و ریشه) توزین و به داخل کروزه‌های چینی انتقال یافت. نمونه‌ها در داخل کوره الکتریکی قرار گرفتند و به مدت پنج ساعت در دمای ۴۰۰ درجه سانتی-گراد خاکستر شدند. نمونه‌های خاکستر شده با پنج میلی-لیتر اسید کلریدریک دو مولار هضم و روی گرم‌کن برقی قرار گرفت تا به ۸۰ درجه سانتی‌گراد برسد و اولین بخارات

قابلیت دسترسی فلزات سنگین و کاهش رشد گیاه دارند. رسولی صدقیانی و همکاران (Rasouli-Sadaghiani *et al.*, 2017) نشان دادند که کاربرد اسید هومیک سبب افزایش فراهمی سرب در خاک و جذب سرب توسط گونه مرتعی طوق گردید. در مطالعه‌ای که توسط اوانگلو و همکاران (Evangelou *et al.*, 2004) انجام شد، کاربرد اسید هومیک به‌طور قابل توجهی سبب افزایش قابلیت استخراج کادمیوم از خاک شد. همچنین پارک و همکاران (Park *et al.*, 2013) نیز به نقش مؤثر اسید هومیک در افزایش قابلیت جذب فلزات سنگین و جذب آن‌ها توسط تعدادی از گیاهان زینتی نظیر فستوکا و کلم‌پیچ اشاره کرده‌اند.

کرچک زینتی (*Ricinus communis* L.)، از خانواده فرفیون و به صورت درختچه‌ای با برگ‌های پنجه‌ای، و میوه آن از نوع کپسول می‌باشد (Auld *et al.*, 2009). کرچک زینتی از جمله گیاهانی است که به صورت درختچه‌ای چندساله در مناطق گرمسیری و نیز به صورت گیاهی یک ساله در مناطق سردسیر و معتدله در فضای سبز به کار می‌رود. این گیاه زینتی افزون بر زیبایی منحصر به فرد و زیست توده بالا، تحمل خوبی نیز به شرایط کم آبی داشته و احتمالاً می‌تواند تنش فلزات سنگین را به خوبی تحمل کند. با این وجود تاکنون مطالعاتی در ارتباط با تأثیر مواد هومیکی بر فراهمی و جذب فلزات سنگین توسط کرچک زینتی انجام نشده است. این مطالعه با هدف تأثیر اسیدهای هومیک و فولویک بر ویژگی‌های رویشی کرچک زینتی، فراهمی فلزات کادمیوم و مس در خاک و جذب آن‌ها توسط کرچک انجام شد.

مواد و روش‌ها

یک نمونه خاک (نمونه مرکب) فاقد آلودگی به فلزات سنگین از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان جمع‌آوری گردید. خاک مورد نیاز پس از خشک شدن در معرض هوا، از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شد. برخی از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک توسط روش‌های معمول اندازه‌گیری شد (جدول ۱). جهت آلوده سازی خاک به فلزات مس و کادمیوم، غلظت‌های ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم از منبع نترات کادمیوم و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مس از

نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام و برای رسم نمودار از نرم افزار Graphpad Prism 8.0 استفاده شد.

نتایج و بحث

تعیین گروه‌های عامل اسید هومیک و فولویک با دستگاه طیف سنج مادون قرمز

طیف مادون قرمز اسید هومیک و فولویک در شکل ۱ نشان داده شده است. پیک 3412 cm^{-1} در طیف اسید هیومیک نشان از حضور گروه هیدروکسیل کربوکسیلی و فنولی دارد که با توجه به پیک مشاهده شده در 1416 cm^{-1} خمش OH در گروه کربوکسیل و کشش C-O در گروه فنول، تأیید می‌شود. پیک مشاهده شده در 2930 cm^{-1} مربوط به کشش متقارن و نامتقارن C-H یا گروه‌های CH_2 می‌باشد. حضور حلقه آروماتیکی با توجه به پیک مشاهده شده در 1611 cm^{-1} (کشش باندهای C=C) تأیید می‌شود (Kim *et al.*, 2006). پیک‌های ضعیف مشاهده شده در محدوده 1040 تا 1120 cm^{-1} می‌تواند مربوط به الکل، اتر و کربوهیدرات‌ها باشد (Sensi *et al.*, 2003; Rashid *et al.*, 2020).

یک پیک پهن در محدوده 3390 cm^{-1} در طیف مادون قرمز اسید فولویک مشاهده شد که مربوط به ارتعاشات کششی گروه OH (کربوکسیلی، فنلی و الکلی) می‌باشد (Rodríguez *et al.*, 2016). پیک مشاهده شده در محدوده 1590 می‌تواند تأییدی بر آروماتیستی بودن گروه عامل هیدروکسیل کربوکسیلی در اسید فولویک باشد. همچنین پیک مشاهده شده در 1380 cm^{-1} می‌تواند مربوط به تغییر شکل باند C-H گروه‌های CH_2 و CH_3 یا کشش غیرمتقارن گروه‌های COO^- باشد (Haberhauer *et al.*, 1998).

سفید خارج شود. نمونه‌های هضم شده از کاغذ صافی عبور داده شدند و توسط آب مقطر به حجم 50 میلی‌لیتر رسانده شدند. غلظت مس و کادمیوم در عصاره‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Varian تعیین گردید.

جهت اندازه‌گیری غلظت قابل جذب مس و کادمیوم در خاک از روش عصاره‌گیری DTPA-TEA (Lindsay & Norvell, 1978) استفاده شد. بدین منظور میزان 10 گرم خاک به لوله‌های سانتریفیوژ حاوی 20 میلی‌لیتر از محلول DTPA-TEA انتقال داده شدند و به مدت دو ساعت بر روی شیکر قرار گرفت و پس از گذشت این مدت، نمونه‌ها سانتریفیوژ شده و از کاغذ صافی عبور داده شد و غلظت مس و کادمیوم در عصاره توسط دستگاه جذب اتمی تعیین شد.

برای ارزیابی بهتر توانایی گیاه کرچک زینتی در حذف فلزات سنگین از خاک، فاکتورهای انباشت زیستی اصلاح شده (mBF)^۱ و انتقال (TF)^۲ طبق روابط زیر محاسبه شدند (Karimi *et al.*, 2018):

$$\text{mBF} = \frac{\text{غلظت فلز سنگین در گیاه}}{\text{غلظت قابل جذب فلز سنگین}} \quad (1)$$

$$\text{TF} = \frac{\text{غلظت فلز سنگین در شاخساره}}{\text{غلظت فلز سنگین در ریشه}} \quad (2)$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها

این پژوهش به صورت طرح کاملاً تصادفی با پنج تیمار شامل شاهد و سطوح $0/5$ و 1 درصد اسید هیومیک و سطوح $0/5$ و 1 درصد اسید فولویک در پنج تکرار انجام شد. داده‌های حاصل از این پژوهش توسط نرم افزار Minitab مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. مقایسه میانگین داده‌ها

جدول ۱- ویژگی‌های خاک مورد استفاده در آزمایش
Characteristics of soil used in the experiment

Available Cd ^d	Available Cu ^d	Clay ^c	Silt ^c	Sand ^c	OC ^b	pH ^a	EC ^a
mg kg ⁻¹		%			dS m ⁻¹		
0.5	1.0	26.4	26.0	46.6	0.87	7.3	1.6

a: Jones (2001)

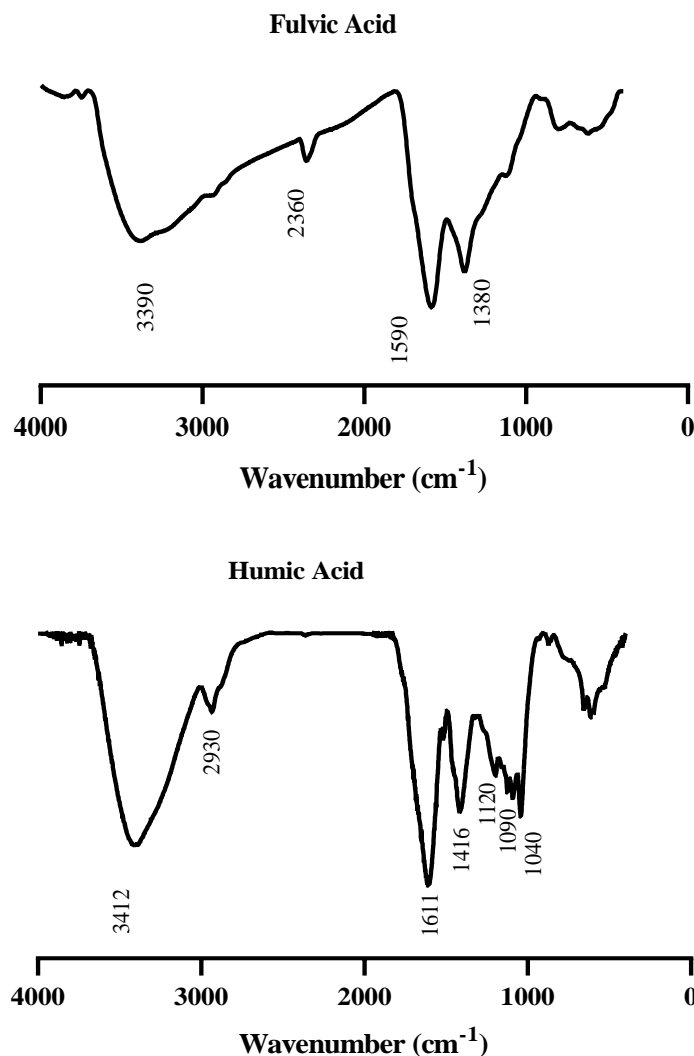
b: Walkley and Black (1934)

c: Gee and Bauder (1986)

d: Lindsay and Norvell, 1978

1 Bioaccumulation Factor

2. Translocation Factor



شکل ۱- طیف مادون قرمز اسید هومیک و فولویک مورد استفاده
Figure 1. FTIR spectra of used Humic acid and Fulvic acid

ترتیب سبب کاهش ۲۱ و ۴۱ درصدی وزن خشک شاخساره در مقایسه با تیمار شاهد شد (شکل ۲). وزن خشک ریشه کرچک زینتی در پاسخ به کاربرد سطح ۰/۵ درصد اسید هیومیک و اسید فولویک تغییر معنی‌داری نشان نداد، اما با افزایش سطح کاربرد این دو اسید به ۱ درصد، وزن خشک ریشه گیاه را به طور معنی‌داری کاهش داد و کم‌ترین وزن خشک ریشه مربوط به این دو تیمار بود (شکل ۲). تأثیر کاهشی سطوح بالای اسید هیومیک و

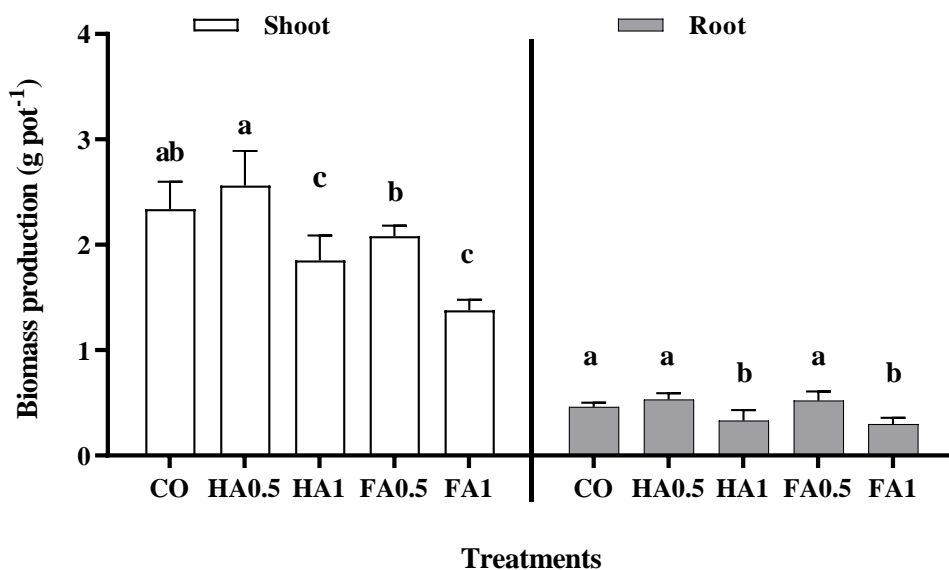
کاهش یافته است. این نتایج با یافته‌های پژوهش باندیریا و هم‌کاران (Banderia *et al.*, 2009) مطابقت دارد. آن‌ها گزارش کردند که افزایش سطح اسید هیومیک سبب کاهش رشد تریچه در خاک آلوده شده است. اسید فولویک به دلیل داشتن گروه‌های عامل کربوکسیلی و هیدروکسیلی

تأثیر اسید هیومیک و فولویک بر ویژگی‌های رویشی کرچک زینتی

تأثیر سطوح مختلف اسید هیومیک و اسید فولویک اسید بر وزن خشک شاخساره و ریشه کرچک زینتی در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین سطوح ۰/۵ در صد اسید هیومیک و اسید فولویک با تیمار شاهد از لحاظ وزن خشک شاخساره مشاهده نشد. در مقابل کاربرد ۱ درصد اسید هیومیک و اسید فولویک به اسید فولویک بر وزن خشک شاخساره و ریشه کرچک زینتی می‌تواند ناشی از تأثیر این اسیدها بر فراهمی کادمیوم و مس باشد (شکل ۳ و ۴). با افزایش فراهمی فلزات سنگین در خاک، جذب آن‌ها توسط گیاه افزایش یافته و به دلیل ایجاد سمیت در گیاه، رشد کرچک زینتی

فلز-اسید آلی راحت‌تر از طریق آوند چوبی به اندام هوایی گیاه منتقل می‌شود. در پژوهشی که اوانگلو و همکاران (Evangelou *et al.*, 2006) در ارتباط با تأثیر اسیدهای آلی بر جذب مس و سرب توسط تنباکو انجام دادند به این نتیجه رسیدند که اسیدهای آلی تأثیر مثبت بر فراهمی زیستی مس و سرب دارند و با افزایش ۲ تا ۳ برابری جذب این فلزات سبب کاهش اندام هوایی تنباکو شده‌اند. Wang و همکاران (Wang *et al.*, 2010) مشاهده کردند که اسید هیومیک از طریق افزایش فراهمی مس و کادمیوم غلظت این عناصر در ریشه و ساقه گیاه *Elodea nuttallii* را افزایش و خصوصیات رویشی گیاه را کاهش داد.

بیش‌تر، ظرفیت بالاتری در کلات کردن فلزات و افزایش تحرک آن‌ها در مقایسه با اسید هیومیک دارد (Kulikowska *et al.*, 2015). به همین دلیل به نظر می‌رسد تأثیر بیشتر اسید فولویک در افزایش تحرک فلزات سنگین عامل کاهش بیشتر رشد کرچک زینتی در مقایسه با تیمار اسید هیومیک باشد. این نتایج با نتایج رآتون و همکاران (Rauthan *et al.*, 1981) همخوانی دارد. آن‌ها نشان دادند که اسید فولویک از طریق افزایش جذب فلزات سنگین سبب کاهش رشد بوته خیار شده است. سندن و همکاران (Senden *et al.*, 1999) و گیو و مارشنر (Guo & Marschner, 1995) بیان کردند که اسیدهای آلی با فلزات کلات تشکیل داده و وارد ریشه گیاه شده و کلات



شکل ۲- تأثیر سطوح ۰/۵ و ۱ درصد اسید هیومیک و اسید فولویک بر وزن خشک شاخساره و ریشه کرچک (برای هر پارامتر،

ستون‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند)

Figure 3- The effect of different levels (0.5 and 1%) of HA and FA on root fresh and dry weight of Castor bean (For each parameter, columns with the same letters are not significantly different at $p < 0.05$ according to LSD test ($P < 0.05$))

مشاهده شد. بیشترین مس قابل جذب (۱/۱۴۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کادمیوم قابل جذب (۹/۱۶۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مربوط به تیمار ۱ درصد اسید فولویک بود. این نتایج نشان می‌دهد که اسید فولویک توانایی بیشتری در افزایش قابلیت جذب و استخراج‌پذیری کادمیوم و مس داشته است که این امر می‌تواند ناشی از بیشتر بودن تعداد گروه‌های عامل اسیدی کربوکسیلی و هیدروکسیلی

تأثیر اسید هیومیک و فولویک بر مس و کادمیوم قابل جذب خاک

کاربرد اسیدهای هیومیک و فولویک به طور معنی‌داری سبب افزایش مس و کادمیوم قابل جذب خاک در مقایسه با تیمار شاهد شد (شکل ۳). همچنین بین سطوح ۰/۵ و ۱ درصد اسیدهای هیومیک و فولویک تفاوت معنی‌دار از لحاظ مس و کادمیوم قابل جذب خاک

غلظت کادمیوم اندام هوایی و ریشه کرچک زینتی در پاسخ به کاربرد اسید هیومیک و اسید فولویک به طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۶). بیشترین غلظت کادمیوم شاخساره و ریشه مربوط به تیمار اسید فولویک ۱ درصد بود. کاربرد ۱ درصد اسید فولویک سبب افزایش ۲ برابری کادمیوم شاخساره و ۱/۲ برابری کادمیوم ریشه در مقایسه با تیمار شاهد شد.

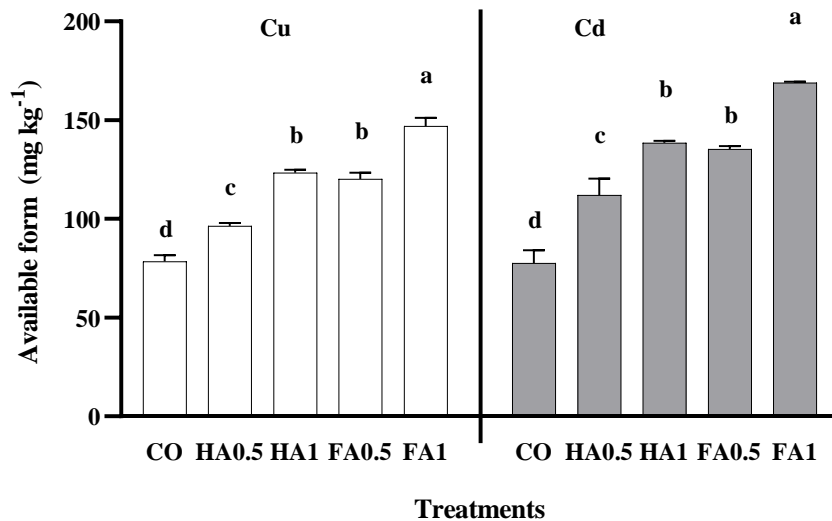
کاربرد مواد هیومیکی به طور مؤثری غلظت کادمیوم و مس را در شاخساره گیاه افزایش داد که ناشی از افزایش زیست‌فراهمی مس و کادمیوم بود. اسید فولویک در مقایسه با اسید هیومیک نقش مؤثرتری در افزایش جذب کادمیوم و مس توسط کرچک داشت. از آنجا که اسید فولویک نسبت به اسید هیومیک دارای وزن مولکولی کمتر و گروه‌های عامل کربوکسیلی و فنلی بیشتری است، تأثیر بیشتری در افزایش تحرک و قابلیت جذب فلزات سنگین دارد (Kulikowska et al., 2015). پارک و همکاران (Park et al., 2013) تأثیر اسید هیومیک را بر جذب فلزات کادمیوم، مس، سرب و نیکل توسط فستوگا، آفتابگردان و کلم‌پیچ را بررسی و نشان دادند که اسید هیومیک به طور قابل توجهی جذب این فلزات را افزایش داده است. چن و همکاران (Chen et al., 2003) بیان کردند که اسید سیتریک با سرب و کادمیوم تشکیل کمپلکس داده و تحرک آن‌ها را در خاک افزایش می‌دهد. همچنین آن‌ها نشان دادند که اسید سیتریک انتقال عناصر از ریشه به ساقه تریچه افزایش داده است. اوانگلو و همکاران (Evangelou et al., 2004) تأثیر اسید هیومیک را بر افزایش تحرک و جذب کادمیوم توسط تنباکو گزارش کردند. آن‌ها دلیل افزایش جذب کادمیوم توسط تنباکو را کاهش pH و افزایش حلالیت کادمیوم و همچنین قدرت بالای کمپلکس‌کنندگی اسید هیومیک ذکر کردند.

در اسید فولویک نسبت به اسید هیومیک باشد (Kulikowska et al., 2015). قابلیت جذب فلزات سنگین در خاک به عوامل مختلفی نظیر pH خاک، مقدار کل فلزات سنگین و میزان تشکیل کمپلکس‌های آلی-فلز بستگی دارد (Zhang et al., 2013). در ارتباط با تأثیر مواد هیومیکی بر قابلیت جذب فلزات سنگین نتایج متناقضی وجود دارد. در برخی از مطالعات به نقش مؤثر مواد هیومیکی در تجمع فلزات سنگین در گیاه اشاره شده و به عنوان یک عامل مؤثر به گیاه‌پالایی و استخراج فلزات سنگین از خاک شناخته شده است (Park et al., 2013; Li et al., 2020). اسیدهای هیومیک و فولویک به دلیل داشتن گروه‌های عامل کربوکسیلیک و هیدروکسیل فنولی، توانایی بالایی در تشکیل کمپلکس‌های فلز هیومیک دارند و از این طریق می‌توانند فراهمی فلزات سنگین را در خاک افزایش دهند. در مقابل در مطالعات دیگر کاربرد اسید هیومیک و اسید فولویک سبب کاهش شکل‌های محلول و قابل جذب فلزات سنگین در خاک و کاهش جذب فلزات سنگین توسط گیاهان شده و بر همین اساس از این ترکیبات به عنوان تثبیت‌کننده فلزات سنگین در خاک نام برده شد (Zhang et al., 2013; Rong et al., 2020).

تأثیر اسید هیومیک و اسید فولویک بر غلظت مس و

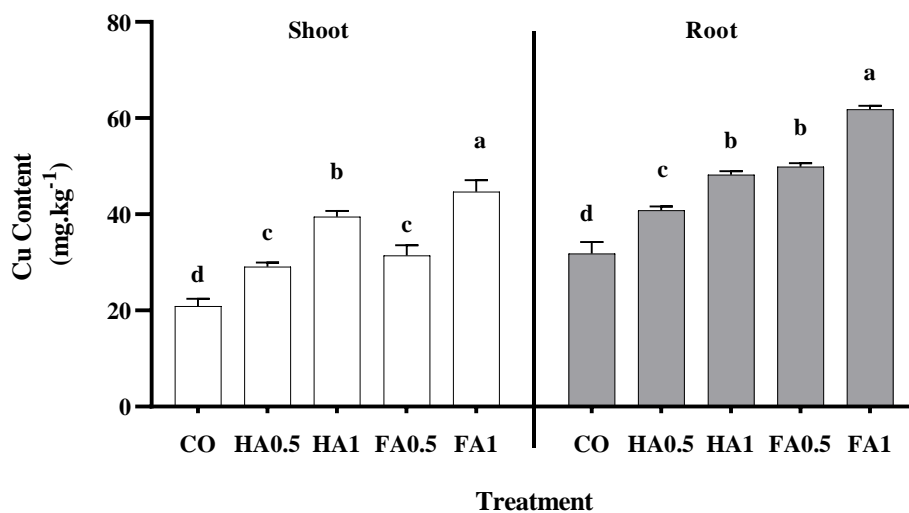
کادمیوم اندام هوایی و ریشه کرچک زینتی

کاربرد اسید هیومیک و اسید فولویک در دو سطح ۰/۵ و ۱ درصد سبب افزایش معنی‌دار غلظت مس شاخساره و ریشه کرچک زینتی در مقایسه با تیمار شاهد شد. بیشترین مس شاخساره (۶۱/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و ریشه کرچک زینتی (۴۴/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مربوط به تیمار ۱ درصد اسید فولویک بود که نشان از نقش مؤثرتر اسید فولویک در جذب فلز مس توسط کرچک زینتی دارد.



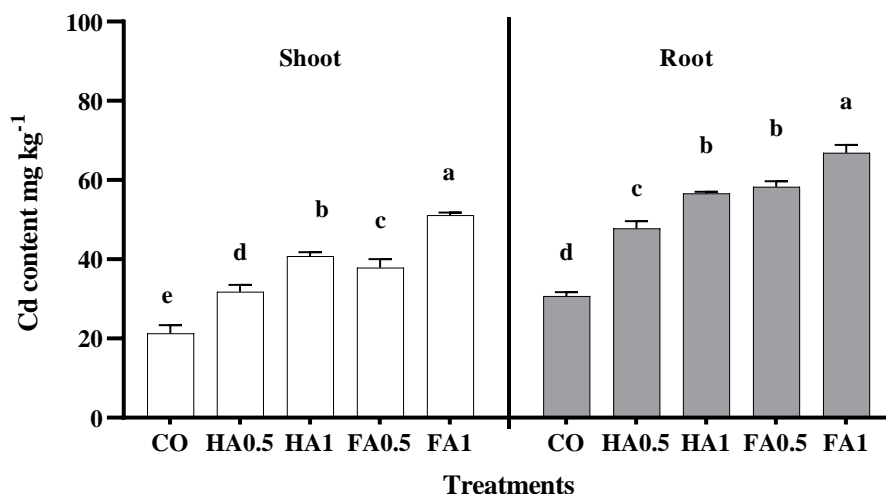
شکل ۳- تأثیر سطوح ۰/۵ و ۱ درصد اسید هیومیک و اسید فولویک بر مس و کادمیوم قابل جذب (برای هر پارامتر، ستون‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند)

Figure 3- The effect of different levels (0.5 and 1%) of HA and FA on available Cu and Cd (For each parameter, columns with the same letters are not significantly different at $p < 0.05$ according to LSD test ($P < 0.05$))



شکل ۴- تأثیر سطوح ۰/۵ و ۱ درصد اسید هیومیک و اسید فولویک بر مس شاخساره و ریشه کرچک (برای هر پارامتر، ستون‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند)

Figure 4- The effect of different levels (0.5 and 1%) of HA and FA on shoot and root Cu content of Castor Cd (For each parameter, columns with the same letters are not significantly different at $p < 0.05$ according to LSD test ($P < 0.05$))



شکل ۵- تأثیر سطوح ۰/۵ و ۱ درصد اسید هیومیک و اسید فولویک بر کادمیوم شاخساره و ریشه کرچک (برای هر پارامتر، ستون‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند)

Figure 5- The effect of different levels (0.5 and 1%) of HA and FA on shoot and root Cd content of Castor Cd (For each parameter, columns with the same letters are not significantly different at $p < 0.05$ according to LSD test ($P < 0.05$))

همچنین قدرت بالای کمپلکس‌کنندگی اسید هیومیک ذکر کردند.

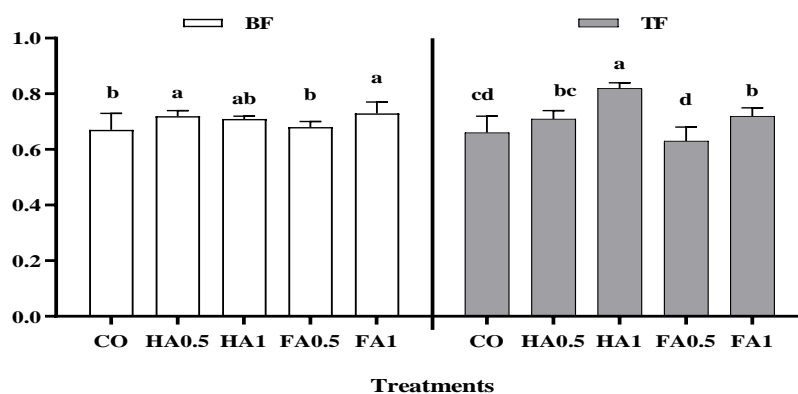
فاکتور انباشت زیستی و فاکتور انتقال فلزات

در مطالعات جذب فلزات سنگین توسط گیاهان، شاخص‌های انباشت زیستی و انتقال از اهمیت فراوانی برخوردار می‌باشند و به منظور ارزیابی و تخمین میزان توانایی گیاهان در پالایش محیط از فلزات سنگین محاسبه می‌شوند (Park *et al.*, 2013). فاکتور انباشت، توانایی گیاه در تجمع فلز سنگین در اندام‌های گیاهی را نسبت به خاک نشان می‌دهد و هر چه این فاکتور بالاتر باشد نشان از توانایی بیشتر گیاه در پالایش خاک آلوده دارد (Gosh & Singh, 2005). نتایج نشان داد که فاکتور انباشت زیستی برای عنصر مس در تمامی تیمارهای هیومیکی کم‌تر از ۱ بود و کاربرد سطح ۱ درصد اسید هیومیک و فولویک سبب افزایش معنی‌دار این فاکتور در مقایسه با تیمار شاهد شد (شکل ۷). فاکتور انتقال، میزان انتقال فلز سنگین را از ریشه به شاخساره گیاه مشخص می‌نماید (Komar *et al.*, 2001). در تمامی تیمارهای هیومیکی فاکتور انتقال کمتر از ۱ بود که نشان از تجمع بیشتر عنصر مس در ریشه در مقایسه با شاخساره دارد. کاربرد سطح ۱ درصد اسید هیومیک و اسید فولویک سبب افزایش معنی‌دار فاکتور انتقال نسبت به تیمار شاهد شد، در حالی‌که بین سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری

کاربرد مواد هیومیکی به طور مؤثری غلظت کادمیوم و مس را در شاخساره گیاه افزایش داد که ناشی از افزایش زیست-فراهمی مس و کادمیوم بود. اسید فولویک در مقایسه با اسید هیومیک نقش مؤثرتری در افزایش جذب کادمیوم و مس توسط کرچک داشت. از آن‌جا که اسید فولویک نسبت به اسید هیومیک دارای وزن مولکولی کمتر و گروه‌های عامل کربوکسیلی و فنلی بیشتری است، تأثیر بیشتری در افزایش تحرک و قابلیت جذب فلزات سنگین دارد (Park *et al.*, 2015). پارک و همکاران (Kulikowska *et al.*, 2015). تأثیر اسید هیومیک را بر جذب فلزات کادمیوم، مس، سرب و نیکل توسط فستوکه، آفتابگردان و کلم‌پیچ را بررسی و نشان دادند که اسید هیومیک به طور قابل توجهی جذب این فلزات را افزایش داده است. چن و همکاران (Chen *et al.*, 2003) بیان کردند که اسید سیتریک با سرب و کادمیوم تشکیل کمپلکس داده و تحرک آن‌ها را در خاک افزایش می‌دهد. همچنین آن‌ها نشان دادند که اسید سیتریک انتقال عناصر از ریشه به ساقه تریپله افزایش داده است. اوانگلو و همکاران (Evangelou *et al.*, 2004) تأثیر اسید هیومیک را بر افزایش تحرک و جذب کادمیوم توسط تنباکو گزارش کردند. آن‌ها دلیل افزایش جذب کادمیوم توسط تنباکو را کاهش pH و افزایش حلالیت کادمیوم و

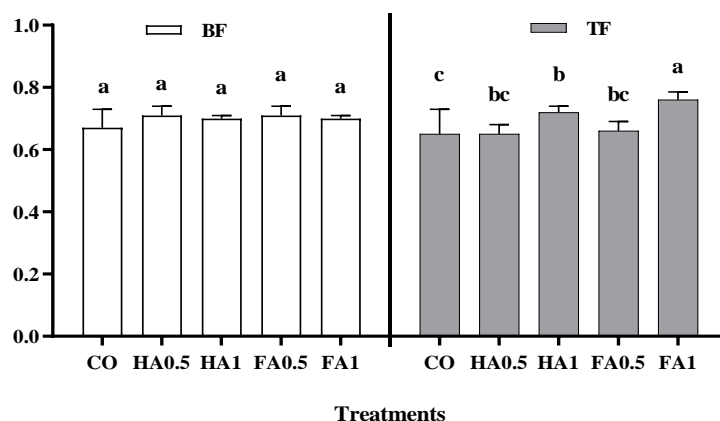
Marschner, 1995) بیان کردند که اسیدهای آلی با فلزات کلات تشکیل داده و وارد ریشه گیاه شده و کلات فلز اسید آلی راحت تر از طریق آوند چوبی به اندام هوایی گیاه منتقل می‌شود. رسولی صدقیانی و همکاران (Rasouli-Sadaghiani *et al.*, 2017) نیز در مطالعه خود گزارش کردند که اسید هیومیک سبب افزایش تجمع زیستی کادمیوم در گیاه مرتعی طوق گردید. چن و همکاران (Chen *et al.*, 2003) نیز افزایش انتقال فلز سنگین از ریشه تریچه به اندام هوایی این گیاه در اثر کاربرد اسید سیتریک گزارش کرده‌اند. فاکتور انتقال به طور ساده بیانگر نسبت غلظت عنصر در شاخساره به غلظت عنصر در ریشه می‌باشد و پایین بودن مقدار فاکتور انتقال نمی‌تواند بیانگر پایین بودن مقدار عنصر جذب شده توسط گیاه باشد. در صورتی- که فاکتور انتقال از یک کمتر باشد می‌تواند نشان‌دهنده توانایی گیاه در انباشت فلز در ریشه و جلوگیری از انتقال آن به شاخساره باشد (Park *et al.*, 2013). با توجه به این که فاکتور تجمع زیستی کمتر از یک بودند، از کرچک زینتی نمی‌توان به عنوان یک گیاه انباشتگر نام برد.

مشاهده نشد. بیشترین فاکتور انتقال مس (۰/۸۲) در تیمار ۱ درصد اسید هیومیک اندازه‌گیری شد که اختلاف ۲۵ درصدی با تیمار شاهد داشت (شکل ۷). کاربرد مواد هیومیک در دو سطح ۰/۵ و ۱ درصد اثر معنی-داری بر فاکتور انباشت زیستی کادمیوم نداشت. در مقابل فاکتور انتقال کادمیوم در پاسخ به کاربرد اسید هیومیک و اسید فولویک تغییر معنی‌داری را نشان داد که نشان از نقش این ترکیبات در افزایش انتقال کادمیوم از ریشه به شاخساره کرچک زینتی دارد. کاربرد اسید هیومیک و اسید فولویک در سطح ۱ درصد سبب افزایش معنی‌دار فاکتور انتقال کادمیوم در مقایسه با تیمار شاهد شد اما کاربرد سطح ۰/۵ درصد اسید هیومیک و اسید فولویک تأثیر معنی‌داری بر فاکتور انتقال آن نداشت. بیشترین فاکتور انتقال برای کادمیوم (۰/۷۶) در تیمار ۱ درصد اسید فولویک اندازه‌گیری شد که تفاوت ۱۷ درصدی با تیمار شاهد داشت. تأثیر مواد هیومیکی بر فاکتور انباشت زیستی و فاکتور انتقال فلزات سنگین در اثر کاربرد مواد هیومیکی در مطالعات دیگر نیز مورد بررسی قرار گرفته است. سندن و همکاران (Senden *et al.*, 1990) و گیو و مارشنر (Guo &



شکل ۶- تأثیر سطوح ۰/۵ و ۱ درصد اسید هیومیک و اسید فولویک بر فاکتور انباشت زیستی (BF) و فاکتور انتقال (TF) مس (برای هر پارامتر، ستون‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند)

Figure 6- The effect of different levels (0.5 and 1%) of HA and FA on bioaccumulation factor (BF) and translocation factor (TF) of Cu Cd (For each parameter, columns with the same letters are not significantly different at $p < 0.05$ according to LSD test ($P < 0.05$))



شکل ۷- تأثیر سطوح ۰/۵ و ۱ درصد اسید هیومیک و اسید فولویک بر فاکتور انباشت زیستی (BF) و فاکتور انتقال (TF) کادمیوم

(برای هر پارامتر، ستون‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند)

Figure 7- The effect of different levels (0.5 and 1%) of HA and FA on bioaccumulation factor (BF) and translocation factor (TF) of Cd (For each parameter, columns with the same letters are not significantly different at $p < 0.05$ according to LSD test ($P < 0.05$))

کارایی کرچک زینتی در پالایش خاک‌های آلوده به کادمیوم و مس را افزایش دهد. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی تأثیر اسید هیومیک و اسید فولویک بر توزیع فلزات سنگین در خاک‌های آلوده مورد ارزیابی قرار گیرد.

تقدیر و تشکر

اسید هیومیک و اسید فولویک مورد استفاده در این پژوهش توسط شرکت صنایع شیمیایی کرمان زمین (جنوبگان) تأمین گردید که بدین‌وسیله قدردانی می‌گردد.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد اسید هیومیک و اسید فولویک اثرکاهشی بر رشد کرچک زینتی داشت که این نتایج به‌دلیل تأثیر آن‌ها در افزایش فراهمی فلزات مس و کادمیوم در خاک و انباشت آن‌ها در ریشه و شاخساره بود. اسید فولویک توانایی بیشتری در افزایش فراهمی مس و کادمیوم در خاک داشت. کاربرد اسید هیومیک و اسید فولویک سبب افزایش فاکتورهای انتقال و تجمع زیستی کادمیوم و مس گردید که این امر می‌تواند

References

- Auld D.L., Zanotto M.D., McKeon T., and John Morris B. 2009. Oil Crops. Springer Dordrecht Heidelberg, Germany, 548p.
- Bandiera M., Mosca G., and Vamerali T. 2009. Humic acids affect root characteristics of fodder radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) in metal – polluted wastes. *Desalination*, 247: 78 – 91.
- Chen Y. 1996. Organic Matter Reactions Involving Micronutrients in Soils and Their Effect on Plants. In: Piccolo, A. (Ed), *Humic Substances in Terrestrial Ecosystems*. Elsevier, Amsterdam. pp. 507–530.
- Chen Y.X., Lin Q., Luo Y.M., He Y.F., Zhen S.J., Yu Y.L., Tian G.M., and Wong M.H. 2003. The role of citric acid on the phytoremediation of heavy metal contaminated soil. *Chemosphere*, 50: 807-811.
- Dehno A.H., and Mohtadi A. 2018. The effect of different iron concentrations on lead accumulation in hydroponically grown *Matthiola flava* Boiss. *Ecological Research*, 33: 757-765.
- Duan D., Tong J., Xu Q., Dai L., Ye J., Wu H., Xu C., and Shi, J. 2020. Regulation mechanisms of humic acid on Pb stress in tea plant (*Camellia sinensis* L.). *Environmental Pollution*, 267: p.115546.
- Evangelou M.W.H., Ebel M., and Schaeffer, A. 2006. Evaluation of the effect of small organic acids on phytoextraction of Cu and Pb from soil with tobacco *nicotiana tabacum*. *Chemosphere*, 63: 996-1004.
- Evangelou M.W.H., Daghan H., and Schaeffer A. 2004. The influence of humic acids on the phytoextraction of cadmium from soil. *Chemosphere*, 57:207-213.
- Gan L., Yan Z., Ma Y., Zhu Y., Li X., Xu J., and Zhang, W. 2019. pH dependence of the binding interactions between humic acids and bisphenol A - A thermodynamic perspective. *Environmental Pollution*, 225: 113292.

- Gee, G.W., and Bauder, J.W., 1986. Particle size analysis. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Physical and Mineralogical Methods, Part 1*, Second ed. Soil Science Society of America Inc., Madison, WI, pp. 383–409.
- Ghosh M., and Singh S.P. 2005. A review on phytoremediation of heavy metal and utilization of its by-products. *Applied ecology and environmental research*, 3: 1-18.
- Gitipour S., Akbarpour F., Baghdadi M. and Mehrdadi N. 2022. Influence of the organic acids on the heavy metals mobility and distribution in the contaminated soils. *Applied Soil Research*, 9(4): 62-73.
- Guo Y. and Marschner H. 1995. Uptake, distribution, and binding of cadmium and nickel in different plant species. *Journal of Plant Nutrition*, 18: 2691-2706.
- Haberhauer G., Rafferty B., Strebl F., and Gerzabek, M.H. 1998. Comparison of the composition of forest soil litter derived from three different sites at various decompositional stages using FTIR spectroscopy. *Geoderma*, 83: 331-342.
- Haghighi M., and Kafi M. 2010. Effect of humic acid on the accumulation of cadmium, nitrate and changes of nitrate reductase activity in lettuce. *Journal of Horticulture Science (Agricultural Sciences and Technology)*, 1: 53-58. (In Persian)
- Hamzenejad taghliabad R. and Khodaverdiloo H. 2020. Quantitative assessment of soil heavy metals pollution. *Applied Soil Research*, 8(2): 37-52.
- Jones, J.B., 2001. *Laboratory Guide for Conducting Soils Tests and Plant Analysis*. CRC Press, New York.
- Kadem D., Rached O., Krika A., and Gheribi-Aoulmi, Z. 2004. Statistical analysis of vegetation incidence on contamination of soils by heavy metals (Pb, Ni and Zn) in the vicinity of an Iron steel industrial plant in Algeria. *Environmetrics*, 15: 447–462.
- Kansara K., Paruthi A., Misra S.K., Karakoti A.S., and Kumar, A. 2019. Montmorillonite clay and humic acid modulate the behavior of copper oxide nanoparticles in aqueous environment and induces developmental defects in zebra fish embryo. *Environmental Pollution*, p. 113313.
- Karimi A., Khodaverdiloo, H., and Rasouli-Sadaghiani M.H. 2018. Plant tolerance, accumulation and remediation of Pb by three rangeland plant species in a calcareous soil in West Azerbaijan Province. *Journal of Natural Environment*, 70: 907-922. (In Persian)
- Khodaverdiloo H., Han F.X., Hamzenejad Taghliabad R., Karimi A., Moradi N., and Kazery J. A. 2020. Potentially toxic element contamination of arid and semi-arid soils and its phytoremediation. *Arid Land Research and Management*, 34: 361-91.
- Kim H.C., Yu M.J., and Han I. 2006. Multi-method study of the characteristic chemical nature of aquatic humic substances isolated from the Han River, Korea. *Applied Geochemistry*, 21: 1226–1239.
- Komar L., Tu C., Zhang W., Cai Y., and Kennelley E.K. 2001. A fern that hyperaccumulates arsenic. *Nature Journal*, 409: 579-585.
- Kulikowska D., Gusiatin Z.M., Bułkowska K., and Klik B. 2015. Feasibility of using humic substances from compost to remove heavy metals (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) from contaminated soil aged for different periods of time. *Journal of Hazardous Materials*, 300: 882–891.
- Lasat M.M. 2002. Phytoextraction of heavy metals: A review of biological mechanisms. *Journal of Environmental Quality*, 31: 109–120.
- Li X., Peng P., Long J., Dong X., Jiang K., and Hou, H. 2020. Plant-induced insoluble Cd mobilization and Cd redistribution among different rice cultivars. *Journal of Clean Production*, 256: p. 120494.
- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of DTPA soil test for Zinc, Iron, manganese and copper. *Soil Science Society of American Journal*, 42:421–428.
- Page, A.L., Miller R.H., and Keeney, D.R. 1982. *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA, 1195 p.
- Park S., Kim K.S., Kang D., Yoon H., and Sung K. 2013. Effects of humic acid on heavy metal uptake by herbaceous plants in soils simultaneously contaminated by petroleum hydrocarbons. *Environmental Earth Sciences*, 68: 2375-2384.
- Rashid I., Murtaza G., Ahmed Dar A., and Wang Z. 2020. The influence of humic and fulvic acids on Cd bioavailability to wheat cultivars grown on sewage irrigated Cd-contaminated soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 205: 111347.

- Rasouli-Sadaghiani M.H., Karimi H., Khodavediloo H., Moradi M., and Barin, N. The Role of Humic Acid on Phytoremediation of Pb through a Pasture Collar Plant (*Xanthium vetulus*). *Water and Soil Science*, 27: 249-266 (In Persian)
- Rauthan B.S., and Schnizer, M. 1981. Effects of soil fulvic acid on the growth and nutrient content of cucumber plant. *Plant and soil*, 63: 491-495.
- Robinson B.H., Millis T.M., Petit D., Fung L.E., Green S.R., and Clothier B.E. 2000. Natural and induced cadmium accumulation poplar and willow: implications for phytoremediation. *Plant Soil*, 227: 301–306.
- Rodríguez F.J., Schlenger P., and García-Valverde M. 2016. Monitoring changes in the structure and properties of humic substances following ozonation using UV–Vis, FTIR and ¹H NMR techniques. *Science of the Total Environment*, 541: 623-637.
- Rong Q., Zhong K., Huang H., Li C., Zhang C., and Nong X. 2020. Humic acid reduces the available cadmium, copper, lead, and zinc in soil and their uptake by tobacco. *Applied Science*, 10: p.1077.
- Rothery E. 1988. Analytical methods for graphite tube atomizers. Varian Australia Pty Ltd, Mulgrave, p.193.
- Salm M.A., Morton D.W., Johnson B.B., and Angove M.J. 2020. Adsorption of humic and fulvic acids onto a range of adsorbents in aqueous systems, and their effect on the adsorption of other species: A review, *Separation and Purification Technology*, p. 116949.
- Schützendübel A., and Polle, A. 2002. Plant responses to abiotic stresses: Heavy metal - induced oxidative stress and protection by mycorrhization. *Journal of Experimental Botany*, 53:1351–1365.
- Senden M.H.M.N., Van Paassen F.J.M., VanDerMeer A.J.G.M., and Wolterbeek H.T.H. 1990. Cadmium–citric acid–xylem cell wall interactions in tomato plants. *Plant, Cell and Environment*, 15: 71–79.
- Senesi N., D’Orazio V., and Ricca G. 2003. Humic acids in the first generation of Eurosoils. *Geoderma*, 116: 325–344.
- Sun B., Zhao F. G., Lombi E., and Mc Grath, S.P. 2001. Leaching of heavy metals from contaminated soil using EDTA. *Environmental Pollution*, 113: 111-120.
- Ullah A., Heng S., Munis M.F.H., Fahad S., and Yang X. 2015. Phytoremediation of heavy metals assisted by plant growth promoting (PGP) bacteria: a review. *Environmental and Experimental Botany*, 117: 28-40.
- Yu G., Jiang X., He W., and He Z. 2002. Effect of humic acids on species and activity of cadmium and lead in red soil. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 22: 508-513.
- Walkley, A., and Black. 1934. An examination of the dehligaroff method for determining organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38.
- Wang Q., Li Zh., Cheng Sh., and Wu, Zh. 2010. Effects of humic acids on phytoextraction of Cu and Cd from sediment by *Elodea nuttallii*. *Chemospher*, 78: 604 – 608.
- Zhang Y., Yang X., Zhang S., Tian Y., Guo W., and Wang J. 2013. The influence of humic acids on the accumulation of lead (Pb) and cadmium (Cd) in tobacco leaves grown in different soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13: 43-53.

The Effect of Humic and Fulvic Acids on Phytoremediation Ability of Copper and Cadmium by Ornamental Castor Bean

Mojgan Jokar¹, Majid Hejazi-Mehrizi^{2*}, Mehdi Sarcheshmepoor³, Homayoon Farahmand^{4, 5}

(Received: January 2021 Accepted: April 2021)

Abstract

It is essential to use of an inexpensive and eco-friendly method to reduce the environmental hazards of heavy metals. In this study, the effect of humic acid (HA) and fulvic acids (FA) on the availability of copper and cadmium and their uptake by ornamental castor oil was investigated in the greenhouse of Shahid Bahonar University of Kerman. Treatments including two levels of HA and FA (0.5 and 1 %) were added to a Cu-Cd polluted soil with five replications. A treatment received no organic acid as a control. After 90 days, some plant growth characteristics, available Cu and Cd and shoot, and root Cu, Cd concentration were measured. The results showed that application of 0.5% of humic acid to soil increased the growth characteristics of ornamental castor. In contrast, the addition of humic acid at the rate of 1% and fulvic acid at the rate of 0.5 and 1% significantly reduced plant growth characteristics. Soil application of 0.5 and 1% of humic acid increased available Cu by 19 and 37% and available Cd by 30 and 44%, respectively. Available Cu and Cd in soils treated with 0.5 and 1% of fulvic acid were 35 and 39%, and 42 and 54% higher than the control. Shoot and root Cu and Cd concentration were significantly increased in plants treated with 0.5 and 1% of humic and fulvic acids. Bioaccumulation and translocation factors were less than 1 in all treatments and increased in soil treated with 1 % of HA and FA. Based on these results, ornamental castor bean could not be considered as a hyperaccumulator plants. However, humic and fulvic acids can increase the phytoremediation ability of ornamental castor for Cu and Cd removal.

Key words: Phytoremediation, Humic Substances, Bioaccumulation Factor, Heavy metals

Jokar M., Hejazi-Mehrizi M., Sarcheshmepoor M. and Farahmand H. 2022. The effect of humic and fulvic acids on phytoremediation ability of copper and cadmium by ornamental castor bean. *Applied Soil Research*, 10(1):1-14.

1. M.Sc. Graduated, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman

2. Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman

3. Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman

4. Associate Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman

5. Associate Professor, Department of Horticultural Science, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

* Corresponding Author Email: mhejazi@uk.ac.ir