فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۸، شماره ۳۳، آذر و دی ۱۳۹۸

بررسی برخی از خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی گیاه پونه آبی (*Mentha aquatica* L.) تحت تنش سرب و کادمیم

رقیه حسن‌پور[1]، فائزه زعفریان*[1]، محمد رضوانی[2] و بهی جلیلی[3]

[1]گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، [2]گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم‌شهر، [3]گروه خاک‌شناسی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۱۸، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۱۱/۲٤)

چکیده

سرب و کادمیم از آلاینده‌های سمی و متداول خاک هستند که بر فرآیندها، کارکردها و تولید پایدار گیاهان اثر می‌گذارند. در این پژوهش تأثیر تنش سرب و کادمیم بر برخی از پارامترهای رشد گیاه معطر پونه آبی (Mentha aquatica L.) در دو آزمایش جداگانه به‌صورت طرح کاملاً تصادفی در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری بررسی شد. تیمارهای آزمایشی شامل غلظت‌های مختلف سرب (صفر، ۱۲۵، ۲۵۰، ۳۷۵ و ۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و کادمیم (صفر، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود. ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ، شاخص سبزینگی، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل (a+b)، نسبت کلروفیل (a/b) و وزن تر و خشک اندام هوایی اندازه‌گیری شدند. تنش سرب و کادمیم باعث کاهش میانگین صفات به‌غیر از نسبت کلروفیل در تیمار سرب شد. کمترین مقدار این صفات مربوط به بیشترین غلظت عناصر سرب و کادمیم بود. اما شدت کاهش در تنش کادمیم شدیدتر بود. میزان کاهش کلروفیل b با افزایش سطوح سرب بیشتر از کلروفیل a بود که باعث شد نسبت کلروفیل در تنش سرب افزایش پیدا کند. سرب و کادمیم با اثر بر صفات مورفولوژیک سبب بروز یکسری تغییرات فیزیولوژیک در پونه آبی شدند که در نهایت منجر به کاهش وزن اندام هوایی در گیاه شد. نتایج به‌دست آمده از این آزمایشات نشان داد به‌دلیل عدم‌سوختگی، کلروز و ریزش برگ‌ها پونه جزء گیاهان مقاوم به سرب و کادمیم محسوب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: عناصر سنگین، پارامترهای رشد، کلروفیل، وزن تر و خشک اندام هوایی

مقدمه

در سراسر جهان تحقیقات فراوانی درباره آلودگی خاک‌ها و اثر عناصر سنگین در گیاهان انجام گرفته است (Faller *et al.*, 2005; Pandey *et al.*, 2007). نتایج نشان داده که افزایش عناصر سنگین در خاک باعث کاهش در رشد گیاهان می‌شود (Ding *et al.*, 2017; Shabir *et al.*, 2018). کادمیم و سرب در چند دهه اخیر نسبت به سایر عناصر سنگین به‌دلیل توان آسیب‌رسانی بالا به سلامت انسان‌ها، حیوانات و دوام و پایداری در محیط زیست بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند (Pandey *et al.*, 2007). عنصر سرب تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی بوده و عنصر کادمیم بیشتر تحت کنترل عوامل طبیعی و نیز فعالیت‌های کشاورزی قرار می‌گیرد (Rahman *et al.*, 2012; Hu *et al.*, 2013) که مکانیسم جذب، انتقال و ذخیره‌سازی این عناصر سمی در گیاهان مشابه مکانیسیم جذب مواد مغذی از

---

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: fa_zaefarian@yahoo.com

خاک است (Ashraf *et al*., 2015). به همین دلیل عناصر سنگین در غلظت‌های بالا در گیاهان جذب می‌شوند و قادرند در بافت‌های مختلف گیاه ذخیره شوند (Faller *et al*., 2005). علاوه بر این، ورود عناصر سنگین به گیاه بر انتقال آب، فسفریلاسیون اکسیداتیو میتوکندری و فتوسنتز اثر منفی می‌گذارند (Vitoria *et al*., 2005). همچنین وجود عناصر سنگین در خاک می‌تواند تأثیر منفی روی جذب سایر عناصر داشته باشد (Shu *et al*., 2014). به‌گونه‌ای که تجمع این عناصر در خاک موجب کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Suciu *et al*., 2008; Iram and Abrar, 2015).

بیوماس و ارتفاع گیاه شاخص‌های مهمی در سنجش میزان سمیت عناصر سنگین محسوب می‌شوند (Khan *et al*., 2007). در واقع تغییرات مورفولوژیکی در پاسخ به عناصر سنگین نشانگر تأثیر اکوفیزیولوژیک این عناصر روی گیاه است (Brandao *et al*., 2018). اولین جزء اصلی و تأثیرگذار در تولید گیاه کلروفیل‌ها هستند و هر عاملی که باعث افزایش، کاهش و یا برهم‌خوردن تعادل بین نسبت آنها با هم گردد بر تولید گیاه تأثیرگذار است (ظریفی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۷). مطالعات نشان داده است که گونه و جنس‌های مختلف گیاهان در برابر آلودگی ناشی از عناصر سنگین در توانایی تحمل عناصر سنگین تفاوت بسیار زیادی با هم دارند (شکرزاده و همکاران، ۱۳۹۱، Oliver and Naidu, 2003).

امروزه گیاهان دارویی جزء گیاهان مهم اقتصادی هستند و فرآورده‌های حاصل از آنها به‌طور گسترده در جهان و ایران مصرف می‌شوند (Yaghoubian *et al*., 2016). پونه آبی با نام علمی *Mentha aquatica* L. یک گیاه دارویی و معطر از خانواده نعناعیان است (Olsen *et al*., 2008; Jager *et al*., 2007) که در سراسر اروپا بجز شمال غربی و همچنین شمال غرب آفریقا و جنوب غربی آسیا وجود دارد (Dai *et al*., 2015). این گیاه توزیع جغرافیایی وسیعی در مناطق شمالی ایران دارد و برای درمان بیمارهای مختلف استفاده می‌شود (Nickavar *et al*, 2008). به‌عنوان مثال ضدعفونی کننده، ضداسپاسم، گرمازا، ضدنفق و محرک معده است (Garlet, 2007) و دمنوش حاصل از برگ‌های پونه در درمان تب، سردرد و اختلالات گوارشی مؤثر است (Olotuah, 2006). این گیاه نیز مانند سایر گیاهان ممکن است تحت تنش عناصر سنگین قرار بگیرد. لذا در این بررسی به‌دلیل افزایش روزافزون جمعیت و بغرنج‌ترشدن معضل آلودگی خاک با انواع مختلف آلاینده‌های محیط زیستی، اثر سطوح مختلف سرب و کادمیم بر برخی از پارامترهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه پونه مورد مطالعه قرارگرفت.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در گلخانه تحقیقاتی خاک‌شناسی واقع در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به‌صورت دو آزمایش جداگانه جهت بررسی تحمل گیاه پونه آبی (*Mentha aquatica* L.) به سرب و کادمیم در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. برای آلوده‌سازی خاک‌ها ابتدا از نمک هر یک از عناصر سرب و کادمیم با غلظت‌های مختلف در پنج سطح استفاده شد. غلظت‌های سرب شامل صفر، ۱۲۵، ۲۵۰، ۳۷۵ و ۵۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک که به‌صورت نیترات سرب ۹۹٪ (MERCK) $Pb(NO_3)_2$ و غلظت‌های کادمیم شامل صفر، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک که به‌صورت نیترات کادمیم ۹۹٪ (MERCK) $Cd(NO_3)_2$ به خاک اضافه شد. غلظت‌های مورد بررسی با توجه به در نظرداشتن حد مجاز سرب و کادمیم در محدوده خاک براساس گزارشات مختلف در غلظت‌های چندین برابر سمی در نظر گرفته شدند. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در آزمایشگاه اندازه‌گیری و در جدول ۱ آورده شد.

سپس مقدار هر یک از عناصر تیمارها براساس نمک مورد نظر برای استفاده در ٤ کیلوگرم خاک خشک محاسبه شد. خاک‌های آلوده در گلدان‌های ٤ کیلوگرمی به‌مدت یک ماه نگه‌داری شدند تا به شرایط طبیعی نزدیک شوند. تفاوت در نیترات تیمارهای آلوده و شاهد از طریق کود اوره محاسبه و اعمال شد. پس از تهیه نشاء از بازار محلی، نشاءها در فروردین ۱۳۹٦ به گلدان‌های آلوده با تراکم ۵ عدد در هر گلدان انتقال

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

بافت خاک	pH	Ec (dS/m)	ماده آلی	N	P	K	Cd	Pb
			(%)		قابل جذب (mg/kg)			
سیلتی-رسی	۷/۵۶	۱/۴۱	۱/۶۲	۰/۲۷	۱۱/۸۰	۲۱۴/۱۲	۰/۰۲۱	۰/۶۳

یافتند. در طول رشد آبیاری دو روز در میان از طریق زیر گلدانی صورت گرفت. در رابطه با پارامترهای مرتبط با فتوسنتز، سبزینگی برگ (عدد SPAD = محتوای کلروفیل برگ)، کلروفیل a، کلروفیل b، کلرفیل کل (a+b)، نسبت کلروفیل a بر b (a/b) و سطح برگ مورد بررسی قرار گرفت. تعدادی برگ به‌صورت تصادفی از هر بوته انتخاب گردید و سطح برگ با نرم‌افزار Digimizer نسخه ٤/۱ اندازه‌گیری گردید و در نهایت میانگین آنها به‌عنوان سطح برگ منفرد در بوته منظور گردید. برای اندازه‌گیری سبزینگی برگ تعدادی از برگ‌های گسترش‌یافته هر گلدان انتخاب و با دستگاه کلروفیل متر (SPAD-502, Minolta, JapaN)، میانگین عدد SPAD چندین برگ به‌عنوان معیار مربوط به سبزینگی برگ در نظر گرفته شد. غلظت کلروفیل a و b در برگ بوسیله دستگاه اسپکتوفتومتر (مدل Analytik Jena-SPEKOL 1300) با روش Porra (۲۰۰۲) اندازه‌گیری و به‌ترتیب با استفاده از رابطه (۱) و رابطه (۲) محاسبه شد.

$$\mathrm{Chl}_a\ (\mu g/mL) = 16.72A_{665.2} - 9.16A_{652.4} \qquad \text{رابطه (۱)}$$

$$\mathrm{Chl}_b\ (\mu g/mL) = 34.09A_{652.4} - 15.28A_{665.2} \qquad \text{رابطه (۲)}$$

قبل از برداشت گیاهان در مرحله قبل از گلدهی ارتفاع بوته تعیین گردید. بلافاصله وزن تر اندام‌های هوایی تک بوته با ترازو توزین شد سپس تعداد برگ‌ها در بوته شمارش شدند و پس از خشک‌شدن اندام‌های هوایی گیاه در آون ٤٥ درجه به‌مدت ۷۲ ساعت وزن خشک تک بوته نیز با ترازو اندازه‌گیری شد.

بعد از اتمام محاسبات آزمایشگاهی داده‌های حاصل ابتدا وارد نرم‌افزار Excel شد و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ صورت گرفت. در نهایت مقایسه میانگین‌ها به‌روش توکی انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تیمار سرب اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته و کلروفیل a نداشت. در حالیکه تعداد برگ، شاخص سبزینگی برگ و وزن تر اندام هوایی در سطح پنج درصد و بر سطح برگ، کلروفیل b، کلروفیل کل، نسبت کلروفیل a/b و وزن خشک اندام هوایی در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). اما تمامی صفات مورد مطالعه تحت کادمیم در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۳).

براساس یافته‌ها با افزایش سطوح سرب و کادمیم ارتفاع بوته کاهش یافت. این روند کاهشی در ارتفاع گیاه با افزایش سرب جزیی بود. اما کاهش ارتفاع در تیمار کادمیم شدیدتر بود به‌گونه‌ای که کاربرد ۲۰ میلی‌گرم کادمیم در خاک ارتفاع بوته ٥۹/۷٤ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ٤ و ٥). بر این اساس، پونه حساسیت بیشتری به کادمیم نسبت به سرب دارد. تفاوت رشد اندام‌های هوایی گیاه پونه تحت اثر عناصر سنگین سرب و کادمیم در شکل ۱ نشان داده شده است. کاهش ارتفاع تحت اثر عناصر سنگین سرب و کادمیم توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (بلوچی و همکاران، ۱۳۹٥؛ Tohidi Moghadam, 2018). نتایج Perveen و همکاران (۲۰۱٦) بیانگر اثر محدودکننده عناصر سنگین در ارتفاع بوته بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) بود. همچنین Ahmad Kamel (۲۰۰۸) تغییرات ارتفاع ناشی از وجود عناصر سنگین را به اثرات فیتوتوکسی این عناصر نسبت داد. عناصر سنگین علاوه بر اینکه باعث کاهش رشد می‌شوند با محدودیت جذب عناصر غذایی باعث تغییر فعالیت آنزیم‌ها می‌شوند (Seregin and Ivanov, 2001). بنابراین، عناصر سنگین بر فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه مانند فتوسنتز، روابط

جدول ٢- تجریه واریانس اثر سرب بر صفات مورد بررسی گیاه پونه

منبع تغییر	df	ارتفاع گیاه	سطح برگ	تعداد برگ	سبزینگی برگ	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	نسبت کلروفیل a/b	وزن تر	وزن خشک
سرب	٤	١٩/٢٤ ^{ns}	٩/٤١ **	١٢٢/٨١ *	١٠/٣١ *	٠/٢٤ ^{ns}	٢/٠٣ **	٣/٠٢ **	٠/٢٥ **	٢١/٦٤ *	٠/٥٦ **
خطای آزمایش	١٥	١٣/٥٧	٠/٣١	٣٠/٠٨	٢/٧٠	٠/٠٨٩	٠/٤٠	٠/٤٩	٠/٠٤	٦/٨٤	٠/٠٣
ضریب تغییرات (٪)		١٣/٧٧	٤/٢٤	١٠/٤٤	٥/٥٨	٤/٨٢	١٣/٩٣	٦/٥٣	١٤/٩٠	١٠/٩١	٣/٦٩

ns، * و ** به‌ترتیب عدم‌وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ٣- تجریه واریانس اثر کادمیم بر صفات مورد بررسی گیاه پونه

منبع تغییر	df	ارتفاع گیاه	سطح برگ	تعداد برگ	سبزینگی برگ	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	نسبت کلروفیل a/b	وزن تر	وزن خشک
کادمیم	٤	١٥٥/٣٨ **	٣٥/٦١ **	٥٣٢/٤٨ **	٢٢/٠٥ **	١٣/٢٢ **	٢/٨٠ **	٢٧/٠٨ **	٠/٢٨ **	٩٥/٥٨ **	٤/٧٣ **
خطای آزمایش	١٥	٨/٠٤	١/٠٢	٢١/٥٥	٢/٦٦	٠/١٢٩	٠/٣٩	٠/٣٣	٠/٠٤	٥/٤٣	٠/٠٩
ضریب تغییرات (٪)		١٣/٦١	٨/٢٠	١٠/١٩	٥/٨٣	٨/٦٤	١٤/٦٣	٦/٧٩	٢١/٣٤	١٢/٤٢	٨/٥٠

ns، * و ** به‌ترتیب عدم‌وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

آب و مواد معدنی، هورمون‌ها و نفوذپذیری غشا اثر می‌گذارند (Zouari *et al.*, 2016; Sharma and Debuy, 2005; Hu *et al.*, 2015) و با اثر بر تقسیم و رشد سلول‌ها باعث کاهش تعداد گره‌ها و فاصله بین آنها می‌شود لذا ارتفاع گیاه کاهش می‌یابد (Das *et al.*, 2002). همچنین این عناصر به‌دلیل اختلال در سوخت و ساز سلولی اندام هوایی منجر به کاهش ارتفاع می‌شوند (Shanker *et al.*, 2005). در حالیکه Azmat و همکاران (٢٠٠٩) اذعان نمودند سرب باعث ایجاد تنش آب شده و از این طریق باعث کاهش سطح برگ، فتوسنتز، وزن خشک گیاه و ارتفاع گیاه می‌گردد.

با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ٤ و ٥) کاربرد عناصر سنگین باعث کاهش سطح برگ و تعداد برگ شد. و بیشترین اثر معنی‌داری سطح برگ در بالاترین سطوح سرب و کادمیم به‌دست آمد. همچنین نتایج نشان می‌دهد بین سطوح ٣٧٥ و ٥٠٠ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک نیز اختلاف معنی‌داری در سطح برگ مشاهده نشد. و بین تیمار ٥، ١٠ و ١٥ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک سطح برگ از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با شاهد وجود نداشت. در رابطه با کاهش تعداد برگ در اثر کاربرد عناصر سنگین فقط تیمار ٥٠٠ میلی‌گرم سرب و تیمار ١٥ و ٢٠ میلی‌گرم کادمیم با شاهد اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری مشاهد شد. به‌طور کلی با افزایش سرب و کادمیم، سطح برگ و همچنین تعداد برگ کاهش یافت و کمترین این صفات در بالاترین سطوح سرب و کادمیم مشاهده شد که این کاهش در تیمارهای کادمیم بیشتر از سرب بود. کاهش سطح برگ اولین واکنش گیاهان در برابر تنش‌ها است. در این صورت گیاه نمی‌تواند از نور به حد کافی در ساخت و ساز مواد غذایی بهره بگیرد لذا میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد (هاپکینز، ١٣٨٨). کاهش سطح برگ می‌تواند به‌دلیل کاهش سرعت توسعه برگ پیری برگ‌ها (Singh *et al.*, 2011)، پیچیدگی برگ‌ها و تمایل گیاه به ریزش برگ‌ها باشد

جدول ٤- مقایسه میانگین برخی از صفات گیاه پونه در شرایط تنش سرب

تیمار سرب	ارتفاع گیاه	سطح برگ	تعداد برگ	سبزینگی برگ	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	نسبت کلروفیل a/b	وزن تر	وزن خشک
(mg/kg)	(cm)	(cm^2)		SPAD units	(µg/ml)				(g)	
٠	٢٨/٨٤^{a}	١٥/٠٦^{a}	٥٨/٠٨^{a}	٣١/٧٢^{a}	٦/٦٢^{a}	٥/٠٤^{a}	١١/٦٦^{a}	١/٣٥^{b}	٢٦/٦٥^{a}	٤/٨٥^{a}
١٢٥	٢٨/١٥^{a}	١٣/٩٣^{ab}	٥٥/٤١^{ab}	٣٠/١٠^{ab}	٦/١٨^{a}	٤/٩٩^{a}	١١/١٧^{a}	١/٢٥^{b}	٢٥/٣٩^{ab}	٤/٧١^{ab}
٢٥٠	٢٧/٣٦^{a}	١٣/٤٩^{b}	٥٥/٢٤^{ab}	٢٩/٥٠^{ab}	٦/١٠^{a}	٤/٨١^{a}	١٠/٩١^{a}	١/٢٧^{b}	٢٤/٣٢^{ab}	٤/٦٠^{ab}
٣٧٥	٢٦/٠٦^{a}	١٢/١٣^{c}	٤٩/٦٢^{ab}	٢٨/٢٠^{ab}	٦/٠٤^{a}	٤/٦٠^{ab}	١٠/٦٤^{ab}	١/٣١^{b}	٢٢/٦٨^{ab}	٤/٣٦^{b}
٥٠٠	٢٣/٢٨^{a}	١١/١٤^{c}	٤٤/٢٩^{b}	٢٧/٦٧^{b}	٦/٠٣^{a}	٣/٣٢^{b}	٩/٣٥^{b}	١/٨٥^{a}	٢٠/٧٠^{b}	٣/٨٨^{c}

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون توکی در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ٥- مقایسه میانگین برخی از صفات گیاه پونه در شرایط تنش کادمیم

تیمار کادمیم	ارتفاع گیاه	سطح برگ	تعداد برگ	سبزینگی برگ	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	نسبت کلروفیل a/b	وزن تر	وزن خشک
(mg/kg)	(cm)	(cm^2)		SPAD units	(µg/ml)				(g)	
٠	٢٨/٨٤^{a}	١٥/٠٦^{a}	٥٨/٠٨^{a}	٣١/٧٢^{a}	٦/٦٢^{a}	٥/٠٤^{a}	١١/٦٦^{a}	١/٣٥^{a}	٢٦/٦٥^{a}	٤/٨٥^{a}
٥	٢٣/٠٩^{ab}	١٣/١١^{a}	٤٨/٤٢^{ab}	٢٨/٣٥^{ab}	٥/٤١^{b}	٥/٠٧^{a}	١٠/٤٨^{a}	١/٠٧^{ab}	٢٠/٨٤^{b}	٣/٨٦^{b}
١٠	٢٠/٨٥^{b}	١٣/٠٧^{a}	٤٨/٨٨^{ab}	٢٧/٣٥^{b}	٣/٤٨^{c}	٣/٩١^{ab}	٧/٣٩^{b}	٠/٩٢^{ab}	٢٠/١٧^{b}	٣/٥٠^{b}
١٥	١٩/٧٦^{b}	١٣/١٩^{a}	٤٥/٧٠^{b}	٢٧/٠٠^{b}	٣/٠٩^{c}	٤/٢٨^{ab}	٧/٣٧^{b}	٠/٧٤^{b}	١٧/٢٢^{b}	٣/٣٢^{b}
٢٠	١١/٦١^{c}	٧/٢٠^{b}	٢٦/٦٨^{c}	٢٥/٤٢^{b}	٢/١٥^{d}	٣/٠٧^{b}	٥/٢٣^{c}	٠/٧٠^{b}	١١/٢٨^{c}	١/٩٥^{c}

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون توکی در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

شکل ١- تفاوت رشد اندام‌های هوایی گیاه پونه تحت اثر عناصر سنگین سرب و کادمیم (از راست به چپ به‌ترتیب شاهد، سرب-١٢٥، سرب-٢٥٠، سرب-٣٧٥، سرب-٥٠٠، کادمیم-٥، کادمیم-١٠، کادمیم-١٥، کادمیم-٢٠)

(امیرمرادی و همکاران، ١٣٩٦).

برگ‌ها مهم‌ترین اندام فتوسنتزکننده در گیاه هستند (کرمی و همکاران، ١٣٩٢). از طرفی شاخص سبزینگی برگ یک عامل مهم در تعیین ظرفیت فتوسنتزی برگ است (Yordanova and

Popova, 2007). براساس یافته‌ها، شاخص سبزینگی برگ پونه تحت تأثیر عناصر سنگین سرب و کادمیم کاهش یافت. تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم سرب و ۲۰ میلی‌گرم کادمیم با شاهد اختلاف معنی‌داری داشتند. اما بین سه سطح دیگر کاربرد سرب و کادمیم اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. کاهش سبزینگی برگ در تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم سرب و ۲۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک نسبت به شاهد به‌ترتیب ۱۲/۷۷ و ۱۹/۸٦ درصد بود (جدول ٤ و ۵). اثر منفی سرب و کادمیم بر عدد سبزینگی برگ در گیاهان مختلف توسط چندین محقق دیگر گزارش شده است. به‌عنوان مثال در مطالعه‌ای، ۸۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک، عدد سبزینگی برگ در زیتون تلخ (*Melia azedarach*) و سپیدار (*Populus alba*) به‌ترتیب میزان ۱۵/٤ و ۱٦ درصد به‌طور معنی‌داری کمتر از خاک غیرآلوده بود (El-Mahrook and Abdelgawad, 2014). مطالعات انجام‌شده توسط Borek و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد گیاهانی که کاهش کمتری در میزان کلروفیل تحت عناصر سنگین نشان می‌دهند نسبت به سایر گیاهان به تنش مقاوم‌تر هستند.

همچنین میزان فتوسنتز خالص و مقدار سبزینگی برگ در برگ‌های جینسنگ (*Panax ginseng*) ارتباط منفی معنی‌داری با تنش صفر تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم سرب در هر کیلوگرم خاک را در سطح یک درصد نشان داد (Liang *et al*., 2017). در همین راستا در گیاه خرفه (*Portulaca oleracea* L.) یک روند کاهش خطی سبزینگی برگ با افزایش کادمیم گزارش شده است (Yaghoubian *et al*., 2016). از آنجایی که شاخص سبزینگی برگ با میزان کلروفیل برگ همبستگی مثبت دارد (مولایی و همکاران، ۱۳۹٤) احتمالاً افزایش میزان آنزیم کلروفیلاز و همچنین تنش اکسیداتیو موجب تخریب کلروفیل گردیده است (عمادی‌سهی و همکاران، ۱۳۹٤) و یا عناصر سنگین مانع سنتز کلروفیل می‌شوند (علیدادی خلیلی‌ها و همکاران، ۱۳۹٤، Jayasri and Suthindhiran, 2017).

در پژوهش حاضر با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ٤ و ۵) میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل (a+b) با افزایش سطوح عناصر سنگین روند کاهشی نشان داد. اما شدت کاهش کلروفیل a در تنش کادمیم نسبت به سرب شدیدتر بوده و برخلاف تنش سرب بین تمامی سطوح کادمیم اختلاف معنی‌داری وجود داشت. همچنین کاهش معنی‌دار کلروفیل b نسبت به شاهد فقط با کاربرد ۵۰۰ میلی‌گرم سرب و ۲۰ میلی‌گرم کادمیم مشاهده شد و بین سایر سطوح عناصر سنگین اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. میزان کاهش کلروفیل کل در بالاترین سطوح سرب و کادمیم به‌ترتیب ۱۹/۸۱ و ۵۵/۱٤ درصد نسبت به شاهد بود. به‌طور کلی کمترین میزان شاخص‌های مذکور با کاربرد بالاترین سطح سرب و کادمیم به‌دست آمد. در حالیکه نسبت کلروفیل a/b با افزایش سطوح عناصر سنگین سرب و کادمیم به‌ترتیب روند افزایشی و کاهشی نشان داد. (جدول ٤ و ۵). لذا می‌توان نتیجه گرفت میزان کاهش کلروفیل b با افزایش سطوح سرب بیشتر از کلروفیل a بود که باعث شد نسبت کلروفیل با افزایش سطوح سرب افزایش پیدا کند. در این راستا Yaghoubian و همکاران (۲۰۱٦) گزارش کردند حساسیت بیشتر کلروفیل b نسبت به کلروفیل a تحت تنش کادمیم منجر به افزایش نسبت کلروفیل a/b در گیاه خرفه (*Portulaca oleracea* L.) شد. اما در مطالعه‌ای در گیاه زعفران (*Crocus sativus* L.) نسبت کلروفیل با کاربرد سرب و کادمیم در مقایسه با شاهد کاهش یافت (رستمی و همکاران، ۱۳۹٤). همچنین اثر منفی عناصر سنگین بر میزان کلروفیل در مطالعه حاضر با نتایج سایر محققین هم‌خوانی دارد (Dogana *et al*., 2018; Trigueros *et al*., 2012). در حقیقت با افزایش سطوح عناصر سنگین محتوای کلروفیل کاهش و تجزیه کلروفیل افزایش می‌یابد و این اشاره دارد که فتوسنتز در معرض عناصر سنگین کاهش می‌یابد (Kilic and Kilic, 2017)، به‌دلیل اینکه رنگدانه‌های فتوسنتزی یکی از پارامترهای مهم رشد هستند که با میزان فتوسنتز همبستگی مثبتی دارند (غفاری و همکاران، ۱۳۹۵). همچنین کاهش فتوسنتز ممکن است ناشی از تخریب غشای کلروپلاست (Bhaduri and Fuleka, 2012)، تخریب غشای تیلاکوئید و استروما (Kumar and Kumari, 2015)، تغییر شکل و اندازه کلروپلاست، افزایش اندازه واکوئل، افزایش

پراکسیداسیون لیپیدها، اختلال در کارکرد روزنه‌ها (Islam *et al.*, 2007) و کاهش جذب عناصری مانند آهن که در فتوسنتز نقش دارند (Almeida *et al.*, 2007) باشد.

مقایسه میانگین اثر عناصر سنگین سرب و کادمیم بر صفت وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه پونه نشان می‌دهد که فقط تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم سرب در صفت وزن تر و ۳۷۵ و ۵۰۰ میلی‌گرم سرب در صفت وزن خشک با شاهد اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ٤). در حالی‌که تمامی سطوح کادمیم در مقایسه با شاهد اختلاف معنی‌داری در صفات مذکور نشان دادند. اما بین سه تیمار ۵، ۱۰ و ۱۵ اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۵). وزن تر و خشک پونه مشابه صفات قبلی بیشتر تحت تأثیر کادمیم قرار گرفت. به طوریکه وزن تر و خشک اندام هوایی در حداکثر غلظت سرب به‌ترتیب ۲۲/۳۳ و ۲۰ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ٤). در حالیکه وزن تر و خشک اندام هوایی در حداکثر غلظت کادمیم نسبت به شاهد ۵۷/٦۷ و ۵۹/۷۹ درصد کاهش یافت (جدول ۵). در واقع مشابه نتایج امیرمرادی و همکاران (۱۳۹٦) کاربرد کادمیم کاهش بیشتری در رشد بوته در مقایسه با کاربرد سرب داشته به عبارت دیگر اثر سمیت کادمیم نسبت به سرب بیشتر بود. اثر محدودکنندگی سرب و کادمیم بر رشد و بیوماس گیاهی توسط دیگر محققین نیز گزارش شده است. به‌عنوان مثال با افزایش غلظت سرب وزن تر بوته گیاه ماشک (*Visia villosa* L.) (Ahmad Kamel, 2008) و گیاه شاهی (*Lepidium sativum* L.) (علیدادی خلیلی‌ها و همکاران، ۱۳۹٤) کاهش یافت. اثر سوء کادمیم بر وزن تر و خشک اندام هوایی گونه‌های مختلف کلزا (*Brassica napus* L.) نیز گزارش شده است (Raziuddin *et al.*, 2011). در مطالعه‌ای با کاربرد ٤۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک وزن تر و خشک اندام هوایی اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) و تربچه (*Raphanus sativus* L.) نسبت به شاهد کاهش یافت (آزادی و همکاران، ۱۳۹۳). در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) نیز گزارش شده افزودن سرب به خاک منجر به کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه می‌شود (پاداش و همکاران، ۱۳۹۷). کاهش وزن تر و خشک گیاهان در اثر تنش عناصر سنگین می‌تواند به‌علت اختلال در سیستم غشای ریشه (مهتدی و هوشیاری، ۱۳۹۵)، اختلال در جذب عناصر غذایی و آب و انتقال در شاخه‌های گیاه باشد (علیدادی خلیلی‌ها و همکاران، ۱۳۹٤، Motesharezadeh *et al.*, 2017). همچنین اثر منفی رشد گیاهان در معرض عناصر سنگین ممکن است ناشی از محدودیت در تقسیم سلولی، یا طویل‌شدن سلول (Hassan *et al.*, 2006) و یا آسیب سلول‌های گیاهی در اثر ایجاد رادیکال‌های آزاد و مواد اکسیدکننده در سلول‌های گیاهی باشد (Cho and Seo, 2005). محدودیت آنزیم‌های چرخه کالوین، فتوسنتز و متابولیسم کربوهیدرات باعث کاهش بیوماس گیاه می‌گردد (Mobin and Khan, 2007). به‌عبارتی دیگر کاهش ماده خشک و رشد گیاه با افزایش غلظت عناصر سنگین می‌تواند در اثر کاهش فتوسنتز باشد (رضوانی و همکاران، ۱۳۹۱، Sinha *et al.*, 2006). به‌طور کلی محدودیت رشد ناشی از آسیب‌دیدن برخی از فرایندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی است (Hussain *et al.*, 2013). در واقع رشد یکی از بهترین شاخص‌ها برای ارزیابی پاسخ گیاه به تنش‌های محیطی است (مهتدی و همکاران، ۱۳۹۵).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج حکایت از آن دارد وجود عناصر سنگین از جمله سرب و کادمیم در خاک یکی از عوامل محدودکننده رشد گیاهان محسوب می‌شود. این عناصر سنگین با اثر بر ارتفاع بوته و سطح برگ سبب بروز یکسری تغییرات فیزیولوژیک از قبیل کاهش شاخص سبزینگی و کلروفیل در پونه شد. در واقع پونه برای مقابله با تنش تعداد برگ را کاهش داده و درنتیجه سطح برگ بوته نیز کاهش می‌یابد به‌عبارت دیگر افزایش سطح عناصر سمی در محیط ریشه گیاهان باعث کاهش رشد شده که در نهایت منجر به کاهش وزن تر و وزن خشک اندام هوایی می‌گردد. اما در سطوح بالای سرب و کادمیم سوختگی، کلروزه‌شدن برگ‌ها و ریزش آنها مشاهد نشد که بیانگر این است که پونه گیاهی مقاوم به سرب و کادمیم است و احتمالاً گیاه پونه می‌تواند غلظت‌های بالاتر از این

مطالعه را هم تحمل کند. اما با در نظرگرفتن این نکته که احتمال انتقال این عناصر در اندام‌های هوایی پونه وجود دارد بررسی عناصر سنگین در این گیاه ضروری است تا از سالم‌بودن گیاه پونه جهت مصارف خوراکی اطمینان حاصل شود (Kacholi and sahu, 2018).

منابع

امیرمرادی، ش.، رضوانی مقدم، پ.، کوچکی، ع. ر.، دانش، ش. و فتوت، ا. (۱۳۹٦) اثر کادمیم و سرب بر خصوصیات کمی و درصد اسانس نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.). نشریه بوم‌شناسی کشاورزی ۹: ۱۵۷-۱۴۲.

آزادی، ف.، کسرائیان، ع. و کریمیان، ن. ع. (۱۳۹۳) اثر آلودگی کادمیم خاک بر شاخص‌های رشد اسفناج و تربچه. فصل‌نامه پژوهش‌های خاک ۲۸: ۵۳۰-۵۲۱.

بلوچی، ح. ر.، موحدی دهنوی، م.، امینی، ف. و عطارزاده، م. (۱۳۹۵) تأثیر بسترهای مختلف آلی بر رشد و اجزای عملکرد لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت تنش عناصر سنگین. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار ۲٦: ۷۳-۵۷.

پاداش، ع.، قنبری، ا.، سیروس‌مهر، ع. ر. و اصغری‌پور، م. ر. (۱۳۹۷) تأثیر سالیسیلیک اسید بر مقاومت گیاه ریحان نسبت به سمیت سرب. مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران) ۳۱: ۷۹-٦۸.

رستمی، م.، کرمیان، ر. و جولایی، ز. (۱۳۹٤) بررسی اثر فلزات سنگین مختلف بر صفات فیزیولوژیک گیاه زعفران (*Crocus sativus* L.). نشریه زراعت و فناوری زعفران ۳: ۹٦-۸۳.

رضوانی، م.، زعفریان ف. و قلی‌زاده، ع. (۱۳۹۱) جذب سرب و عناصر غذایی بوسیله گیاه چمن شور تحت اثر سطوح مختلف سرب در خاک. نشریه دانش آب و خاک ۲۲: ۸٦-۷۳.

شکرزاده، م.، علی‌رکنی، م. و گاستین، ا. (۱۳۹۱) بررسی میزان عناصر سنگین (کروم - کادمیم - سرب) در آب آبیاری و برنج رقم طارم تولیدی مزارع شهرهای مرکزی استان مازندران. مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران ۲۳: ۲۳٤-۲٤۲.

ظریفی‌نیا، ن.، فرزادی، ح. و خرمیان، م. (۱۳۹۷) ارزیابی اثر پتاسیم سولفات بر غلظت کلروفیل و شاخص‌های تحمل و حساسیت ژنوتیپ ماش به تنش خشکی در اقلیم خوزستان. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی ۳۳: ۷۸-٦۸.

علیدادی خلیلی‌ها، م.، دردی‌پور ا. و بارانی مطلق، م. (۱۳۹٤) اثر برهمکنش آهن و سرب بر رشد و جذب آنها در شاهی (*Lepidium sativum* L.). نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار ۵: ۵۹-٤۱.

عمادی سهی، ز.، حبیبی، د.، رضایی، ک.، فرشیدی م.، محمدی م. و هاشمیان ز. (۱۳۹٤) بررسی تجمع فلز سنگین کادمیم در اندام‌های مختلف گیاهی خیار در شرایط مصرف سوپرجاذب‌ها. مجله پژوهش‌های به‌زراعی ۷: ۱۷۷-۱٦۱.

غفاری، م.، مصطفی، ح. و هادی قربانی، ه. (۱۳۹۵) تأثیر سطوح مختلف شوری و عناصر سنگین سرب و کادمیوم بر رشد، رنگدانه‌های فتوسنتزی و مقادیر سدیم و پتاسیم در اسفناج. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۷: ۲۳-۱۵.

کرمی، س.، مدرس ثانوی، س. ع. م.، قناتی، ف. و پوردهقان، م. (۱۳۹۲) اثر محلول‌پاشی عنصر روی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام سویا در شرایط کمبود آب. دانش کشاورزی و تولید پایدار ۲۳: ۱۳۰-۱۱۷.

مولایی، ش.، شیرانی، ح.، حمیدپور، م.، شکفته، ح. و بسالت‌پور، ع. ا. (۱۳۹٤) تأثیر برخی اصلاح‌کننده‌های آلی بر ویژگی‌های رویشی و غلظت کادمیم، روی و سرب در ذرت در یک خاک آلوده به عناصر سنگین. نشریه علوم آب خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی) ۱۹: ۱۲٤-۱۱۳.

مهتدی ا. ش. و هوشیاری، س. (۱۳۹۵) بررسی برهمکنش کادمیم و روی در گیاه *Matthiola flavida* Boiss. مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران) ۲۹: ۲۲۰-۲۱۰.

هاپکینز، و. (۱۳۸۸) مقدمه‌ای بر فیزیولوژی گیاهی.جلد اول. ترجمه احمدی، ع.، جباری، ف. و احسان‌زاده، پ.، انتشارات دانشگاه تهران. تهران.

Ahmad Kamel, H. (2008) Lead accumulation and its effect on photosynthesis and free amino acids in *Vicia faba* grown hydroponically. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 2: 438-446.

Almeida, A. A. F., Valle, R. R. Mielke, M. S. and Gomes, F. P. (2007) Tolerance and prospection of phyrotemediator woody species of Cd, Pb, Cu and Cr. Brazilian Journals of Pant Physiology 19: 83-98.

Ashraf, U., Kanu, A. S., Mo, Z. H., Hussain, S., Anjum, S. A., Khan, I., Abbas, R. N. and Tang, X. (2015) Lead toxicity in rice: effects, mechanisms, and mitigation strategies: a mini review. Environmental Science and Pollution Research 22: 18318-18332.

Azmat, R., Haider, S., Hajra, N. and Farha, A. (2009) A viable alternative mechanism in adapting the plants to heavy metal environment. Pakistan Journal of Botany 41: 2729-2738.

Bhaduri, A. M. and Fulekar, M. H. (2012) Antioxidant enzyme responses of plants to heavy metal stress. Environmental Science and Bio/Technology 11: 55-69.

Borek, M., Baczek-Kwinta, R. and Rapacz, M. (2013) Chlorophyll fluorescence imaging of cadmium-treated white cabbageplants. E3S Web of Conferences 1: 4.

Brandao, M. C. S., Martins, F. M., Accioly, A. M. A., Santos, N. M., Romao, M. V. V. and Azevedo, A. D. (2018) Phytoremediation potential and morphological changes of plants growing in the vicinity of lead smelter plant. International Journal of Environmental Science and Technology 15: 361-372.

Cho, U. H. and Seo, N. H. (2005) Oxidative stress in *Arabidiopsis thaliana* exposed to cadmium is due to hydrogen peroxide accumulation. Plant Science 168: 113-120.

Dai, D. N, Thang, T. D., Emmanuel, E. E., Abdulkabir, O. O. and Ogunwande, I. A. (2015) Study on essential oil of *Mentha aquatica* L. from Vietnam. American Journal of Essential Oils and Natural Products 2: 12-16.

Das, P. K., Sarangi, D., Jena, M. K. and Mohanty, S. (2002) Response of greengram (*Vigna radiata* L.) to integrated application of vermicompost and chemical fertilizer in acid lateritic soil. Indian Agriculture 46: 79-87.

Ding, L., Li, J., Liu, W., Zuo, Q. and Liang, S. X. (2017) Influence of nano-hydroxyapatite on the metal bioavailability, plant metal cccumulation and root exudates of ryegrass for phytoremediation in Pb-polluted soil. International Journal of Environmental Research. Public Health 14: 532.

Dogana, M., Karatasb, M. and Aasimb, M. (2018) Cadmium and Pb bioaccumulation potentials of an aquatic macrophyte *Ceratophyllum demersum* L.: a laboratory study. Ecotoxicology and Environmental Safety 148: 431-440.

El-Mahrook, E. M. and Abdelgawad, M. A. (2014) Phytoextraction potential of cadmium and lead contamination using *Melia azedarach* and *Populus alba* seedlings. African Journal of Biotechnology 53: 4726-4732.

Faller, P., Kienzler, K. and Krieger-Liszkay, A. (2005) Mechanism of Cd^{2+} toxicity: Cd^{2+} inhibits photoactivation of photosystem II by competitive binding to the essential Ca^{2+} site. Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics 1706: 158-164.

Garlet, T. M. B. (2007) Produtivity, content and essential oil composition of Mentha L. species (Lamiaceae) cultivated under Hidropony with potassium variation. PhD Thesis, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

Hassan, M., Zhu, Z. Ahmad, B. and Mahmood, Q. (2006) Influence of cadmium toxicity on rice genotypes as affected by zinc, sulfur and nitrogen fertilizers. Caspian Journal of Environmental Sciences 4: 1-8.

Hu, Y., Liu, X., Bai, J., Shih, K., Zeng, E. Y. and Cheng, H. (2013) Assessing heavy metal pollution in the surface soils of a region that had undergone three decades of intense industrialization and urbanization. Environmental Science and Pollution Research 20: 6150-6159.

Hu, Z., Xie, Y., Jin, G., Fu, J. and Li, H. (2015) Growth responses of two tall fescue cultivars to Pb stress and their metal accumulation characteristics. Ecotoxicology 24: 563-572.

Hussain, A., Abbas, N., Arshad, F., Akram, M., Khan, Z. I., Ahmad, K., Mansha, M. and Mirzaei, F. (2013) Effects of diverse doses of lead (Pb) on different growth attributes of *Zea Mays* L. Agricultural Sciences 4: 262-265.

Iram, S. and Abrar, S. (2015) Biosorption of copper and lead by heavy metal resistant fungal isolates. International Journal of Scientific Research Publications 5: 1-5.

Islam, E., Yang, X., Liu, T., Jin, D. and Meng, X. F. (2007) Effect of Pb toxicity on root morphology, physiology and ultrastructure in the two ecotypes of *Elsholtzia argyi*. Journal of Hazardous Material 147: 806-816.

Jager, A. K., Almqvist, J. P., Vangsoe, S. A. K., Stafford, G. I., Adsersen, A. and Staden, J. V. (2007) Compounds from *Mentha aquatica* with affinity to the GABA-benzodiazepine receptor. South African Journal of Botany 73: 518-521.

Jayasri, M. A. and Suthindhiran, K. (2017) Effect of zinc and Pb on the physiological and biochemical properties of aquatic plant *Lemna minor*: its potential role in phytoremediation. Applied Water Science 7: 1247-1253.

Kacholi, D. S. and Sahu, M. (2018) Levels and health risk assessment of heavy metals in soil, water, and vegetables of Dar es Salaam, Tanzania. Journal of Chemistry 1-9.

Khan, N. A., Singh, S. and Nazar, R. (2007) Activities of antioxidative enzymes, sulphur assimilation, photosynthetic activity and growth of wheat cultivars differing in yield potential under cadmium stress. Journal of Agriculture and Crop Science 193: 435-444.

Kilic, S. and Kilic, M. (2017) Effects of cadmium-induced stress on essential oil production, morphology and physiology of lemon balm (*Melissa officinalis* L., Lamiaceae). Applied Ecology and Environmental Research 15: 1653-1669.

Kumar, G. H. and Kumari, J. P. (2015) Heavy metal Pb influative toxicity and its assessment in phytoremediating plants -a review. Water, Air and Soil Pollution 226: 1-11.

Mobin, M. and Khan, N. A. (2007) Photosynthetic activity, pigment composition and antioxidative response of two mustard (*Brassica juncea*) cultivars differing in photosynthetic capacity subjected to cadmium stress. Journal of Plant Physiology 164: 601-610.

Motesharezadeh, B., Kamal-poor, S. Alikhani, H. A., Zarei, M. and zimi, S. (2017) Investigating the effects of plant growth promoting bacteria and *Glomus Mosseae* on cadmium phytoremediation by *Eucalyptus camaldulensis* L. Pollution 3: 575-588.

Nickavar, B., Alinaghi, A. and Kamalinejad, M. (2008) Evaluation of the antioxidant properties of five Mentha species. Iranian Journal of Pharmaceutical Research 7: 203-209.

Oliver, D. and Naidu, R. (2003) Uptake of Cu, Pb, Cd, As and DDT by vegetables grown in urban environments, environmental protection and Heritage council. In: Proceedings of the 5th National Workshop on the Assessment of Site Contamination.

Olotuah, O. F. (2006) Suitability of some local bast fibre pants in pulp and paper making. Journal of Biological Sciences 6: 635-637.

Olsen, H. T., Stafford, G. I. Staden, J. V. Christensen, S. B. and Jager, A. K. (2008) Isolation of the MAO-inhibitor naringenin from *Mentha aquatica* L. Journal of Ethnopharmacology 117: 500-502.

Pandey, S., Gupta, K. and Mukherjee, A. K. (2007) Impact of cadmium and lead on *Catharanthus roseus*: a phytoremediation study. Journal of Environmental Biology 28: 655-662.

Perveen, S., Shahbaz, M. Iqbal, M. Akram, M. S. Parveen, A. and Ali, H. M. M. (2016) Inductıon of cadmium stress tolerance in *Trıtıcum aestıvum* L. by *Alfalfa Leaf* Extract. Applied Ecology and Environmental Research 14: 121-136.

Porra, R. J. (2002) The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the the accurate determination of chlorophylls a and b. Photosynthesis Research 73: 149-156.

Rahman, S. H., Khanam, D., Adyel, T. M., Shahidul Islam, M., Aminul Ahsan, M. and Ahedul Akbor, M. (2012) Assessment of heavy metal contamination of agricultural soil around Dhaka Export Processing Zone (DEPZ), Bangladesh: Implication of seasonal variation and indices. Applied Sciences 2: 584-601.

Raziuddin, F., Hassan, G. H., Akmal, M., Shah, S. S., Mohammad, F., Shafi, M., Bakht, J. and Zhou, W. (2011) Effects of cadmium and salinity on growth and photosynthesis parameters of *Brassica species*. Pakistan Journal of Botany 43: 333-340.

Seregin, I. and Ivanov, V. B. (2001) Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants. Russian Journal of Plant Physiology 48: 523-544.

Shabir, R., Abbas, G., Saqib, M., Shahid, M., Shah, G. M., Akram, M., Niazi, N. K., Naeem, M. A., Hussain, M. and Ashraf, F. (2018) Cadmium tolerance and phytoremediation potential of acacia (*Acacia nilotica* L.) under salinity stress. International Journal of Phytoremediation 20: 739-746.

Shanker, A., Cervantes, C., Loza-Tavera, H. and Avudainayagam, S. (2005) Chromium toxicity in plants. International Environmental Science and Development 31: 63-68.

Sharma, P. and Dubey, R. S. (2005) Lead toxicity in plants. Brazilian Journal of Plant Physiology 17: 35-52.

Shu, X., Zhang, Q. and Wang, W. (2014) Lead induced changes in growth and micronutrient uptake of *Jatropha curcas* L. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 93: 611-617.

Singh, S., Singh, A. and Bahadur, R. (2011) Effect of cadmium on germination and seedling growth of tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill). Plant Archives 11: 859-862.

Sinha, P., Dube, B. K., Sriastava, P. and Chatterjee, C. (2006) Alteration in uptake and translocation of essential nutrients in cabbage by excess lead. Chemosphere 65: 651-656.

Suciu, I., Cosma, C., Todica, M., Bolboaca, S. D. and Jantschi, L. (2008) Analysis of soil heavy metal pollution and pattern in central Transylvania. International Journal of Molecular Sciences 9: 434-453.

Tohidi Moghadam, H. R., Donath, T. W. Ghooshchi, F. and Sohrabi, M. (2018) Investigating the probable consequences of super absorbent polymer and mycorrhizal fungi to reduce detrimental effects of Pb on wheat (*Triticum aestivum* L.). Agronomy Research 16: 286-296.

Trigueros, A., Mingorance, A. and Rossini Oliva, B. (2012) Evaluation of the ability of *Nerium oleander* L. to remediate Pb-contaminated soils. Journal of Geochemical Exploration 114: 126-133.

Vitoria, A. P., Cunha, M. D. and Azevedo, R. A. (2005) Ultrastructural changes of radish leaf exposed to cadmium. Environmental and Experimental Botany 58: 47-52.

Yaghoubian, Y., Siadat, S. A., Moradi Telavata, M. R. and Pirdashti, H. (2016) Quantify the response of purslane plant growth, photosynthesis pigments and photosystem II photochemistry to cadmium concentration gradients in the soil. Russian Journal of Plant Physiology 63: 77-84.

Yordanova, R. Y. and Popova, L. P. (2007) Effect of exogenous treatment with salicylic acid on photosynthetic activity and antioxidant capacity of chilled wheat plants. General and Applied Plant Physiology 33: 155-170.

Zouari, M., Elloumi, N., Ahmed, C., Delmail, D., Rouina, B., Abdallah, F. and Labrousse, P. (2016) Exogenous proline enhances growth, mineral uptake, antioxidant defense, and reduces cadmium-induced oxidative damage in young date palm (*Phoenix dactylifera* L.). Ecological Engineering 86: 202-209.

Investigation of some morphophysiological characteristics in water mint (*Mentha aquatica* L.) under lead and cadmium stress

Roghayeh Hasanpour[1], Faezeh Zaefarian[*1], Mohammad Rezvani[2] and Bahi Jalili[3]

[1] Department of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
[2] Department of Agronomy and Plant Breeding, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr
[3] Department of Soil Science, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
(Received: 09/12/2018, Accepted: 13/02/2019)

Abstract

Lead and Cadmium are toxic and common pollutants of the soil that affect plant processes, functions and sustainable production of plants. In this research, the effect of Lead and Cadmium stress on some growth parameters of water mint aromatic plant (*Mentha aquatica* L.) in two separate completely randomized design experiments at Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University was studied. Experimental treatments were different concentrations of Lead (0, 125, 250, 375 and 500 mg/kg) and Cadmium (0, 5, 10, 15 and 20 mg/kg). Plant height, number of leaf, leaf area, greenness index, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll (a+b), chlorophyll ratio (a/b) and fresh and dry weight of shoot were measured. Lead and Cadmium stress reduced plant traits except chlorophyll ratio in treatment of Lead. The minimum amount of plant traits was related to the highest concentration of lead and cadmium. The reduction of chlorophyll b was heigher than chlorophyll a with increase in level of lead, which increased chlorophyll ratio in the lead stress. Lead and Cadmium with influence on morphological traits can lead to a series of physiological changes in water mint that reduced fresh and dry weight of shoots. The results gained from the experiments showed that due to the lack of blight, chlorosis and abscission of leaves, water mint can be considered as a resistant plant to Lead and Cadmium.

Keywords: Heavy elements, Growth parameters, chlorophyll, fresh and dry weight of shoot

Corresponding author, Email: fa_zaefarian@yahoo.com