

اثر پیش تیمار هیومات پتاسیم و چای کمپوست بر بردباری آفتابگردان (*Hellianthus annuus*) به خاک‌های آلوده به کادمیم

Pretreatment Effect of Potassium Humate and Compost Tea on Sunflower (*Hellianthus annuus*) Tolerance to Cadmium Contaminated Soils

نجمه افتخار^۱ و سینا فلاح^{۲*}

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۸/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۱۱
(مقاله پژوهشی)

چکیده

در خاک‌های آلوده استقرار ضعیف گیاه و در نتیجه کاهش زیست توده آن، کارایی گیاه‌پالایی را کاهش می‌دهد. در این مطالعه اثر پیش تیمار بذر آفتابگردان با هیومات پتاسیم (۳۰۰ میلی گرم در لیتر) و چای کمپوست (۵:۱) بر میزان بردباری این گیاه تحت غلظت‌های مختلف کادمیم (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک) مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار در سال ۱۳۹۴-۱۳۹۵ انجام شد. نتایج نشان داد که به طور کلی وزن خشک ریشه، ساقه و برگ و همچنین مقادیر کلروفیل‌های a و b در پاسخ به افزایش غلظت کادمیم در خاک کاهش و میزان کاروتنوئید، پرولین و نشت الکترولیتی افزایش یافتند. پرایمینگ بذر با هیومات پتاسیم و چای کمپوست اثر منفی آلودگی خاک با کادمیم بر پارامترهای مذکور را بهبود داد، اما تأثیر آن‌ها بر صفات مورد بررسی متفاوت بود. تحت آلودگی کادمیم، هیومات پتاسیم باعث افزایش وزن خشک ریشه، وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ، کلروفیل b، پرولین، غلظت کادمیم ریشه و اندام هوایی شد، اما چای کمپوست موجب افزایش معنی دار کلروفیل a و کاروتنوئید گردید. هر دو تیمار پرایمینگ انتقال کادمیم را در گیاه آفتابگردان به طور معنی داری افزایش دادند. به طور کلی نتیجه گیری شد که کاربرد هیومات پتاسیم و چای کمپوست با افزایش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی و پرولین و کاهش میزان نشت الکترولیتی بردباری آفتابگردان را در خاک‌های آلوده به کادمیم افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: فتوسنتز، گیاه پالایی، پرولین، نشت الکترولیتی

۱ و ۲. به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

* نویسنده مسئول Email: falah1357@yahoo.com

این مقاله مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول تحت راهنمایی سینا فلاح می باشد.

کادمیم منجر به تغییرات فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و مورفولوژیک در گیاه می شود (کوارتاکسی^۱ و همکاران، 2010) که از جمله می توان به مهار جوانه زنی و رشد گیاهچه خصوصاً رشد ریشه چه (کورگوز^۲ و همکاران، 2012)، کاهش عملکرد (چن^۳ و همکاران، 2003) و اختلال متابولیسم گوگرد و نیتروژن اشاره کرد (گیل و توتجا^۴، 2012). هر گونه آسیب ناشی از این عنصر به شدت بر ظرفیت کلی فتوسنتز گیاه تأثیر می گذارد (پارمار^۵ و همکاران، 2013). کلروفیل و آنزیم های دخیل در تثبیت CO₂ تحت تأثیر کادمیم قرار می گیرند (چافی^۶، 2003). کاهش فتوسنتز را می توان به کاهش بیوسنتز کلروفیل در اثر سمیت کادمیم نسبت داد (پارمار و همکاران، 2013). علاوه بر این، کلروفیل ها به وسیله گونه های فعال اکسیژن (ROS) نیز تخریب می شوند. گیاهان در برابر سمیت فلزات سنگین دارای مکانسیم های دفاعی مختلف هستند که از آن جمله می توان به فعالیت سیستم آنتی اکسیدانت (متشکل از آنزیم های آنتی اکسیدانت مانند کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز و هم چنین ترکیبات آنتی اکسیدانت مانند گلوکاتینون، سیستئین، پلی آمین ها، آسکوربات، توکوفرول و کاروتنوئیدها) (سمیت^۷ و همکاران، 2003) و تولید اسمولیت ها نظیر پرولین و قندها اشاره کرد (ما^۸ و همکاران، 2001). گزارش شده است که پرولین در غلظت های زیاد فلزات سنگین تجمع می یابد (یاداو^۹، 2010). این اسید آمینه بردباری گیاه به تنش را از طریق سازوکارهایی مانند تنظیم اسمزی، حفاظت آنزیم ها در برابر دناتوره شدن و تثبیت سنتز پروتئین می افزاید (وربروگن و هرمانس^{۱۰}، 2008). گونه های فعال اکسیژن با القای پراکسیداسیون لیپیدی آسیب غشائی ایجاد می کنند و باعث اختلال در فرآیند سلولی و تجزیه DNA و نشت الکترولیتی می شوند (کریستوفووا^{۱۱} و همکاران، 2009). نشت املاح از مواد گیاهی برای منعکس کردن وضعیت غشاء سلولی است و بر اساس این دیدگاه حفظ ضعیف املاح منجر به نشت بالا از بذر در حال آبنوشی می شود و در نتیجه نشان دهنده غشاء آسیب دیده و یا ناقص است (آگروا و میشرال^{۱۲}، 2009).

1. Quartacci
2. Curguz
3. Chen
4. Gill and Tuteja
5. Parmar
6. Chaffei
7. Smeet
8. Ma
9. Yadav
10. Verbruggen and Hermans
11. Krystofova
12. Agrawal and Mishra

برای پالایش مناطق آلوده به فلزات سنگین و دیگر آلاینده ها، گیاه پالایی به عنوان روشی کم هزینه و دوستدار محیط زیست پیشنهاد شده است. در این فناوری با کشت گیاهان مناسب نسبت به جذب فلز توسط گیاه و برداشت بخش هوایی گیاه و خارج کردن آن اقدام می شود (لومبی^{۱۳} و همکاران، 2001).

آفتابگردان به دلیل رشد سریع و زیست توده بالا، گیاهی مناسب جهت جذب فلزات سنگین از خاک مناطقی که شدیداً به این فلزات آلوده هستند، به شمار می رود (جادی^{۱۴} و همکاران، 2008). اما با توجه به سمیت بالا در این مناطق احتمال استقرار ضعیف گیاهان کاشته شده پیش بینی می شود و در نتیجه موجب کاهش کارایی فناوری گیاه پالایی می گردد.

یکی از روش های غلبه بر مشکل کاهش جوانه زنی و شاخص های آن استفاده از پیش تیمار بذرها قبل از جوانه زدن می باشد. پیش اندازی بذر با پرایمینگ بذر یکی از روش های مهم توانمندسازی بذر قبل از کاشت است که در آن بذر گیاهان به طور محدود و کنترل شده داخل آب یا محلول اسمزی قرار می گیرند (تیرکی^{۱۵} و همکاران، 2009). در طی خیساندن بذور جوانه زنی صورت نمی گیرد و فقط برخی از فرآیندهای فیزیولوژی جوانه زنی مانند فعال شدن آنزیم ها و هورمون ها و تجزیه مواد غذایی در بذر رخ می دهد (هالمر^{۱۶}، 2004). پرایمینگ باعث افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانتی می شود و این آنزیم ها موجب کاهش پراکسیداسیون لیپید در طی جوانه زنی می گردد (فاروقی^{۱۷} و همکاران، 2007). گزارش شده است که تیمار بذرها با محلول اسید هیومیک در غلظت های ۵۰۰ و ۷۵۰ میلی گرم در لیتر و طول مدت ۱۲ ساعت موجب رشد بیش تر گیاهچه ها و تولید گیاهچه های قوی تر می شود (اشرفی و رزمجو، ۱۳۸۸). کاربرد بیرونی سالیسیلیک اسید موجب تنظیم فعالیت های مختلف فیزیولوژیکی در گیاهان مانند بسته شدن روزنه، جذب و انتقال یون، مهار بیوسنتز اتیلن، تعرق، بردباری به تنش، نفوذپذیری غشاء، فتوسنتز، رشد و افزایش عملکرد گیاه می شود (گوو^{۱۸} و همکاران، 2009). علاوه بر این، سالیسیلیک اسید منجر به پایداری غشاء، تحریک دستگاه فتوسنتزی، سنتز پروتئین و افزایش محتوای کلروفیل می گردد (شکیروو^{۱۹} و همکاران، 2003).

13. Lombi
14. Jadia and Fulekar
15. Tiriki
16. Halmer
17. Farooq
18. Guo
19. Shakirova

علف‌های هرز، تنک کردن (۸ عدد گیاهچه در هر گلدان) و آبیاری براساس نیاز گیاه و شرایط محیطی صورت گرفت.

طرز تهیه چای کمپوست

برای تهیه چای کمپوست، از نسبت ۵ به ۱ استفاده می‌گردد. به عبارت دیگر ترکیب ۵ قسمت آب و ۱ قسمت کمپوست. کمپوست را داخل یک پارچه کتان ریخته و آن را به صورت معلق در گالن یا یک تشت قرار می‌دهند. سپس اجازه دهید به مدت چند هفته استراحت کند و در طول این مدت روزانه یا دو روز یکبار تکان بخورد.

اندازه‌گیری وزن خشک ریشه و بخش هوایی

برداشت گیاهچه‌های رشد یافته در خاک آلوده به کادمیم ۳۰ روز پس از کاشت صورت گرفت. پس از ریشه‌شویی، ریشه و بخش هوایی از هم جدا شد. برای به دست آوردن وزن خشک ریشه و بخش هوایی، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و سپس توزین انجام شد.

اندازه‌گیری رنگدانه‌های فتوسنتزی

به منظور ارزیابی غلظت کلروفیل و کاروتنوئید برگ ابتدا ۱۰۰ میلی‌گرم از بافت تازه برگ (بلافاصله پس از برداشت) توزین و به قطعات کوچکی خرد شد و با مقداری استن ۸۰ درصد در یک هاون چینی به طور کامل هموژنیزه گردید. سپس محلول حاصل به وسیله کاغذ صافی واتمن شماره ۲ صاف شد و حجم آن با استن ۸۰ درصد به ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. اپتیکال دانسیته عصاره برگ با دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج‌های ۶۶۳/۲، ۶۶۴/۸ و ۴۷۰ نانومتر قرائت شد و غلظت کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها موجود در برگ با استفاده از روابط زیر محاسبه شد (ولبرن^۱، ۱۹۹۴):

$$\text{Chlorophyll a} = 12.25 A_{663.2} - 2.798 A_{646.8} \quad (۱)$$

$$\text{Chlorophyll b} = 21.21 A_{646.8} - 5.1 A_{663.2} \quad (۲)$$

$$\text{Carotenoids} = [1000 (A_{470}) - 1.82 (\text{mg Chlorophyll a}) - 85.02 (\text{mg Chlorophyll b})] / 198 \quad (۳)$$

در روابط فوق Chl_a و Chl_b به ترتیب میزان کلروفیل a، b و ۶۶۳/۲، ۶۶۴/۸ و ۴۷۰ نانومتر می‌باشد.

با افزایش توسعه معادن و در نتیجه آلودگی مناطق مجاور آن‌ها به فلزات سنگین، استفاده از فناوری گیاه‌پالایی جهت حذف این فلزات از خاک توسعه یافته است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۵). این در حالی است که سمیت زیاد فلزات سنگین در این مناطق موجب کاهش استقرار گیاهان کاشته شده و در نتیجه کاهش کارایی تکنیک گیاه‌پالایی می‌شود. بر این اساس پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر پتاسیم هیومات و چای کمپوست بر افزایش بردباری آفتابگردان در محیط آلوده به کادمیم اجرا خواهد شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۵-۱۳۹۴ در آزمایشگاه تحقیقاتی علوم و تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد انجام شد. بذر آفتابگردان (رقم رکورد) از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه گردید. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل شاهد (بدون پرایمینگ)، پرایمینگ با چای کمپوست (۵:۱) (مخلوط یک واحد ورمی‌کمپوست با ۵ واحد آب) و پتاسیم هیومات ساخت شرکت زیست فناوری سبز (۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و دو غلظت کادمیم ساخت شرکت مرک آلمان (۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک) بودند. در این آزمایش ابتدا گلدان‌ها به طور کامل با آب مقطر شسته شدند. سپس با توجه به حجم گلدان‌ها (۱۴×۲۰ سانتی‌متر) یک کیلوگرم خاک الک شده (با الک ۲ میلی‌متری) که به طور کامل و یکنواخت با هم مخلوط شده بود توزین و به گلدان‌ها انتقال داده شد. در کف گلدان‌ها یک عدد زیرگلدانی جهت جلوگیری از انتقال و خروج خاک از کف گلدان‌ها قرار داده شد. کادمیم مصرفی از منبع کلرید کادمیم (CdCl_2) و از شرکت مرک خریداری شده بود. مقادیر مورد نیاز از کادمیم ابتدا توسط ترازوی ۰/۰۰۱ توزین شد. سپس ۰/۵ لیتر آب مقطر به آن اضافه گردید و به صورت محلول به خاک گلدان‌ها اضافه شد. به منظور پخش شدن کامل فلز سنگین در خاک، به مدت ۳ هفته آبشویی صورت گرفت. آب خارج شده پس از آبشویی به داخل گلدان‌ها برگردانده شد. برای هر گلدان، ۱۵ عدد بذر شمارش شد و به مدت ۸ ساعت به صورت جداگانه در محلول‌های پرایمینگ پتاسیم هیومات و چای کمپوست قرار گرفتند. در این مدت بذور در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. بعد از اتمام زمان پرایمینگ، بذور جهت کشت در گلدان‌ها به گلخانه منتقل شدند. کاشت بذور در اول بهمن ماه ۱۳۹۴ انجام گردید و سپس آبیاری گلدان‌ها انجام شد. در طول دوره آزمایش مراقبت‌های لازم از جمله وجین دستی

جدول ۱: خصوصیات خاک مورد آزمایش

Table 1: Experimental soil properties

مس (میلی گرم در کیلوگرم) Cu (mg/kg)	منیزیم (میلی گرم در کیلوگرم) Mg (mg/kg)	آهن (میلی گرم در کیلوگرم) Fe (mg/kg)	نیتروژن کل (درصد) Total N (%)	پتاسیم قابل استفاده (میلی گرم در کیلوگرم) Available K (mg/kg)	فسفر قابل استفاده (میلی گرم در کیلوگرم) Available P (mg/kg)	کربن آلی (درصد) OC (%)	pH	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC (ds/m)	بافت Texture
0.51	8.15	3.41	0.075	185	7.3	0.811	7.94	0.794	لوم رسی Clay loam

جدول ۲: خصوصیات چای کمپوست مورد استفاده.

Table 2: Properties of used compost tea.

مس (میلی گرم در کیلوگرم) Cu (mg/kg)	منگنز (میلی گرم در کیلوگرم) Mn (mg/kg)	آهن (میلی گرم در کیلوگرم) Fe (mg/kg)	روی (میلی گرم در کیلوگرم) Zn (mg/kg)	منیزیم (درصد) Mg (%)	کلسیم (درصد) Ca (%)	سدیم (درصد) Na (%)	اکسید پتاسیم (درصد) K ₂ O (%)	اکسید فسفر (درصد) P ₂ O ₅ (%)	نیتروژن (درصد) N (%)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC (ds/m)	pH
16.97	104.35	428.01	98.23	0.39	1.69	1.12	1.71	0.51	1.93	2.38	7.97

اندازه گیری پرولین

برای تعیین میزان پرولین، از منحنی استاندارد پرولین استفاده شد. میزان پرولین نمونه‌های برگ بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر برگ محاسبه گردید.

اندازه گیری نشت الکترولیتی

به منظور اندازه گیری میزان نشت الکترولیتی سلول‌های برگ، پس از نمونه گیری برگ‌ها به سرعت با استفاده از یخچال صحرایی از گلخانه به آزمایشگاه انتقال داده شدند. سپس از قسمت میانی پهنک برگ دیسک‌هایی یکنواخت تهیه شد و درون فالكون‌هایی با محتوی ۲۰ میلی لیتر آب مقطر دیونیزه در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد در تاریکی به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند. سپس با استفاده از دستگاه EC متر، EC اولیه (EC₁) نمونه‌ها قرائت شد. پس از آن نمونه‌های مذکور به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۱۵ درجه سانتی گراد در اتوکلاو قرار گرفتند و پس از سرد شدن EC ثانویه آن‌ها (EC₂) قرائت شد. میزان نشت الکترولیتی از رابطه زیر محاسبه گردید: (دانیسو و توبیتا^۲، ۱۹۹۸):

$$(۴) \quad \text{نشت الکترولیتی} = \left(\frac{EC_1}{EC_2} \right) \times 100$$

تهیه عصاره و اندازه گیری پرولین آزاد برگ به روش بتز و همکاران (بتس^۱ و همکاران، ۱۹۷۳) انجام شد. بلافاصله پس از برداشت ابتدا ۰/۳ گرم از بافت برگ تازه را در ۱۰ میلی لیتر محلول سولفوسالیسیلیک اسید ۳ درصد ساییده و مخلوط یکنواختی تهیه شد. عصاره‌های تهیه شده را درون فالكون ریخته و به مدت ۲ دقیقه به شدت تکان داده شدند. بدین ترتیب، دو فاز جامد و مایع نمونه‌ها به دقت تفکیک گردید. فاز مایع با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید و بخش بالایی آن جدا شد. برای اندازه گیری پرولین، میزان ۲ میلی لیتر از عصاره فوق جدا و داخل لوله آزمایش ریخته شد. ۱۰ میلی لیتر آب مقطر به هر یک از نمونه‌ها اضافه و به هم زده شد. سپس به هر نمونه ۲ میلی لیتر معرف نین هیدرین و سپس، ۲ میلی لیتر اسید استیک اضافه گردید. پس از طی مراحل فوق، نمونه‌ها به مدت ۴۵ دقیقه در داخل بن‌ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار داده شدند. پس از خنک کردن نمونه‌ها در آب یخ، ۴ میلی لیتر تولوئن به هر نمونه اضافه و کاملاً تکان داده شد تا پرولین وارد فاز تولوئن گردد. سپس نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه به حال سکون رها شدند و نهایتاً میزان جذب نور فاز بالایی نمونه‌ها به کمک دستگاه اسپکتوفتومتر Varian، مدل CARY-100 در طول موج ۵۱۵ نانومتر و با استفاده از تولوئن به عنوان شاهد تعیین گردید.

بدون کادمیم، استفاده از تکنیک پرایمینگ موجب افزایش وزن خشک ریشه (پتاسیم هیومات ۳۶ درصد و چای کمپوست ۴۵ درصد) شد. علاوه بر این، در غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم کادمیم در کیلوگرم خاک پتاسیم هیومات توانست به طور معنی داری وزن خشک ریشه را افزایش دهد.

وزن خشک ساقه

اثر تیمارهای مختلف پرایمینگ بذر و غلظت‌های مختلف کادمیم و اثرات متقابل آن‌ها بر وزن خشک ساقه معنی دار بود ($P < 0.01$). به طور کلی وزن خشک ساقه آفتابگردان با افزایش آلودگی خاک به عنصر کادمیم کاهش نشان داد. پرایمینگ بذر با پتاسیم هیومات در هر دو سطح از غلظت کادمیم منجر به رشد بهتر ساقه آفتابگردان شد (شکل ۱b).

وزن خشک برگ

وزن برگ گیاه آفتابگردان تحت تأثیر غلظت کادمیم، پرایمینگ بذر و اثر متقابل غلظت کادمیم با پرایمینگ بذر در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت ($P < 0.01$). مقایسه میانگین‌ها نشان داد (شکل ۱c) با افزایش سمیت کادمیم از وزن خشک برگ‌ها کاسته شد ولی اعمال تیمارهای پرایمینگ توانست از افت شدید این پارامتر جلوگیری کند. در غلظت ۵۰ میلی گرم کادمیم بر کیلوگرم کادمیم، تیمار چای کمپوست نسبت به پتاسیم هیومات در سطح آماری بالاتری قرار گرفت اما در غلظت ۱۰۰ میلی گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک، دو تیمار پرایمینگ نسبت به یکدیگر اختلاف معنی داری نداشتند.

کلروفیل a

اثر غلظت‌های مختلف کادمیم، پرایمینگ بذر و اثرات متقابل آن‌ها بر میزان کلروفیل a در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد ($P < 0.01$). افزایش غلظت کادمیم موجب کاهش معنی دار کلروفیل a شد ولی کاربرد تیمارهای پرایمینگ بذر از افت معنی دار این پارامتر جلوگیری نمود. تیمار چای کمپوست در غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم کادمیم در کیلوگرم خاک در مقایسه با تیمار پتاسیم هیومات تأثیر بیشتری بر افزایش کلروفیل a داشت (شکل ۲a).

اندازه‌گیری غلظت کادمیم در اندام‌های گیاهی

اندازه‌گیری غلظت کادمیم در اندام‌های گیاهی به روش هضم تر انجام شد (امامی، ۱۳۷۷). در این روش از اسید نیتریک ۶۵ درصد، اسید پرکلریک ۷۰ درصد و اسید سولفوریک ۹۶ درصد استفاده گردید. بدین منظور ابتدا ۴۰۰ سی سی اسید نیتریک، ۴۰ سی سی اسید پرکلریک و ۱۰ سی سی اسید سولفوریک با هم مخلوط شدند. پس از آن ۰/۳ گرم از بافت گیاه جدا شد و ۳ سی سی از محلول اسیدهای تهیه شده به آن‌ها اضافه گردید و به مدت ۲۴ ساعت رها شدند. بعد از گذشت ۲۴ ساعت، به مدت ۲ ساعت در حرارت ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. بعد از آن محتویات بالن هضم را به بالن ژوژه انتقال و به حجم رسیده شدند. بعد از آن محلول حاصله از کاغذ صافی با قطر ریز عبور داده شد. برای اندازه‌گیری عناصر سنگین از دستگاه جذب اتمی مدل پرکین AA ۴۰۰ ساخت آمریکا استفاده شد.

فاکتور انتقال

فاکتور انتقال از تقسیم میزان غلظت فلز سنگین در اندام هوایی به غلظت فلز در ریشه به دست آمد (نادری و همکاران، ۱۳۹۳).

تجزیه آماری

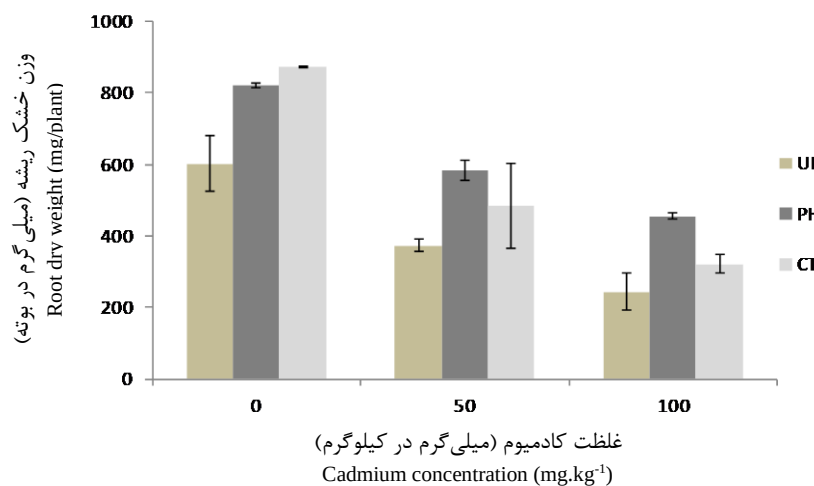
کلیه داده‌ها پس از انجام آزمون نرمالیت و سپس اطمینان از نرمال بودن آن‌ها، توسط نرم افزار SAS V 9.4 مورد تجزیه واریانس قرار گرفت. پس از معنی داری اثر هر عامل آزمایشی، مقایسه میانگین‌ها به صورت برش‌دهی با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج

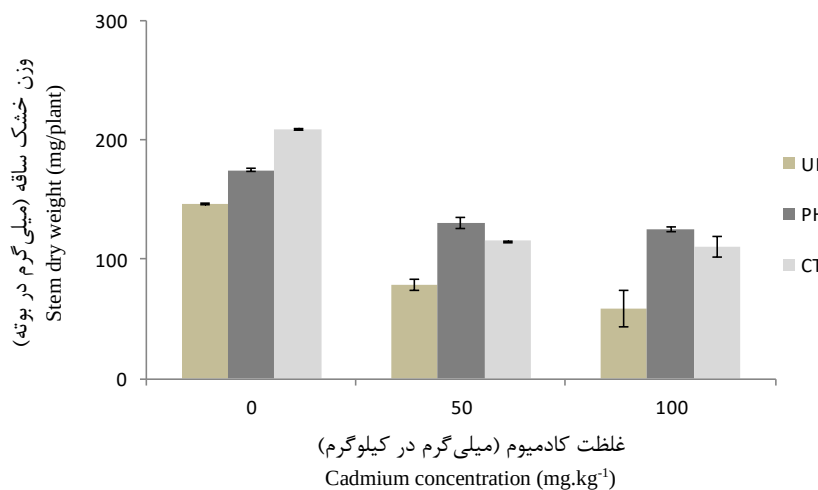
وزن خشک ریشه

اثر غلظت کادمیم، پرایمینگ بذر و اثر متقابل غلظت کادمیم با پرایمینگ بذر بر وزن خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود ($P < 0.01$). وزن خشک ریشه با افزایش غلظت کادمیم کاهش یافت. به طوری که کم‌ترین وزن خشک ریشه مربوط به غلظت ۱۰۰ میلی گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک و تیمار بدون پرایم بود (۲۴۳/۸ میلی گرم) (شکل ۱a). در شرایط

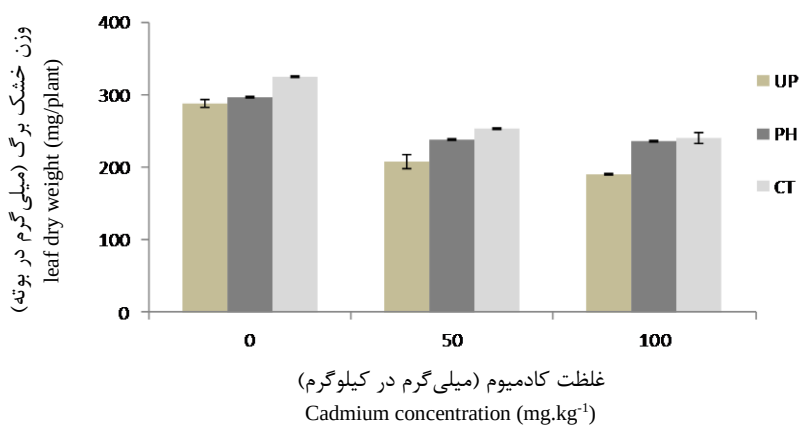
(A)



(B)



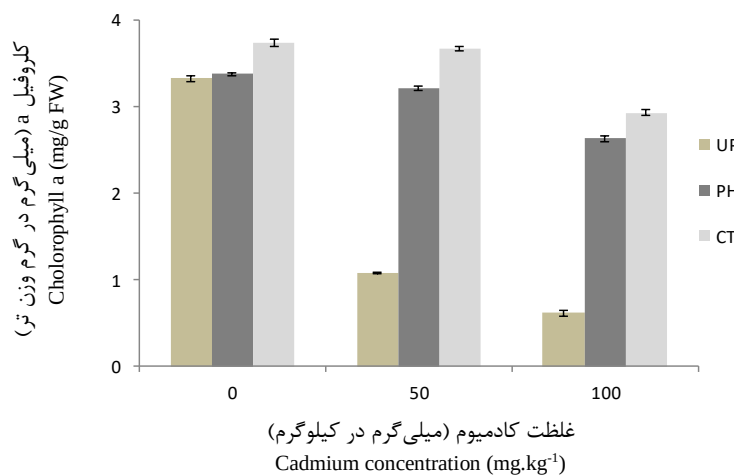
(C)



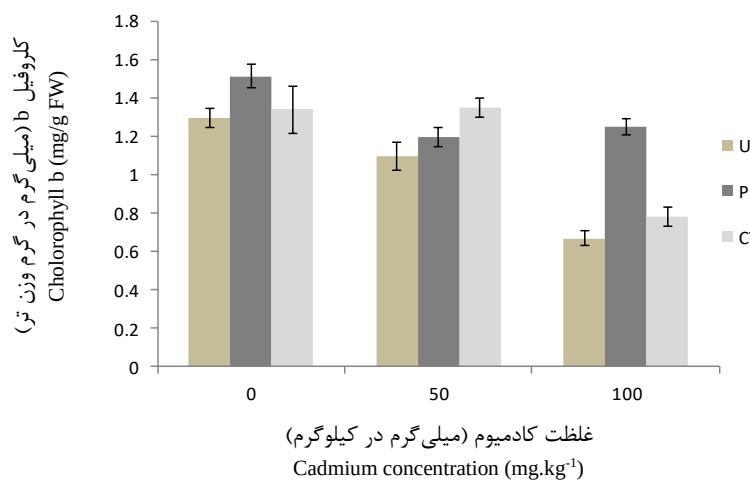
شکل ۱: اثر تیمارهای پرایمینگ بذری بر وزن خشک ریشه (A)، وزن خشک ساقه (B) و وزن خشک برگ (C) آفتابگردان در خاک‌های آلوده به کادمیوم. بارها بیانگر خطای استاندارد هستند. UP، CT و PH به ترتیب تیمار بدون پرایمینگ، پرایم با چای کمپوست (۵:۱) و پتاسیم هیومات (۳۰۰ میلی گرم در لیتر) می‌باشند.

Fig. 1: Effect of seed priming treatments on root dry weight (A), stem dry weight (B) and leaf dry weight (C) of sunflower plants in soils contaminated with cadmium. Bars= Standard error. UP, CT and PH are unpriming, compost tea (5:1) and potassium humate (300 mg/L), respectively

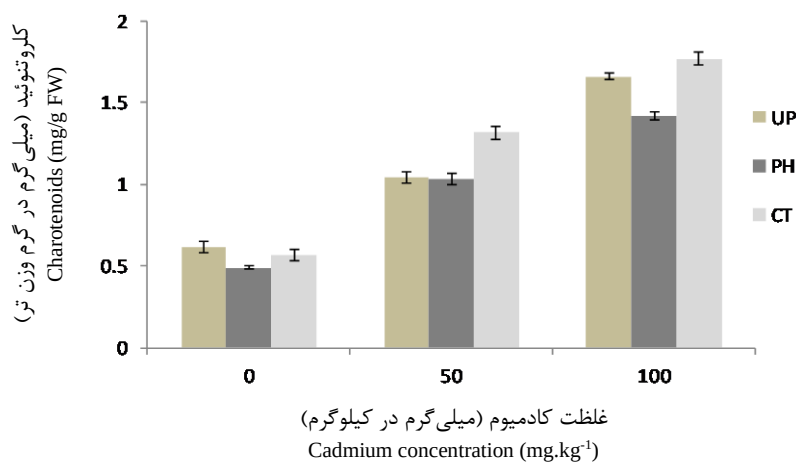
(A)



(B)



(C)



شکل ۲: اثر تیمارهای پرایمینگ بذر بر میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی (a، b و c) گیاه آفتابگردان در خاک‌های آلوده به کادمیم. بارها بیانگر خطای استاندارد هستند. UP، CT و PH به ترتیب تیمار بدون پرایمینگ، پرایم با چای کمپوست (۵:۱) و پتاسیم هیومات (۳۰۰ میلی گرم در لیتر) می‌باشند

Fig. 2: Effect of Seed priming treatments on photosynthetic pigments (a, b and c) of sunflower plants in soils contaminated with cadmium. Bars= Standard error. UP, CT and PH are unpriming, compost tea (5:1) and potassium humate (300mg/L), respectively

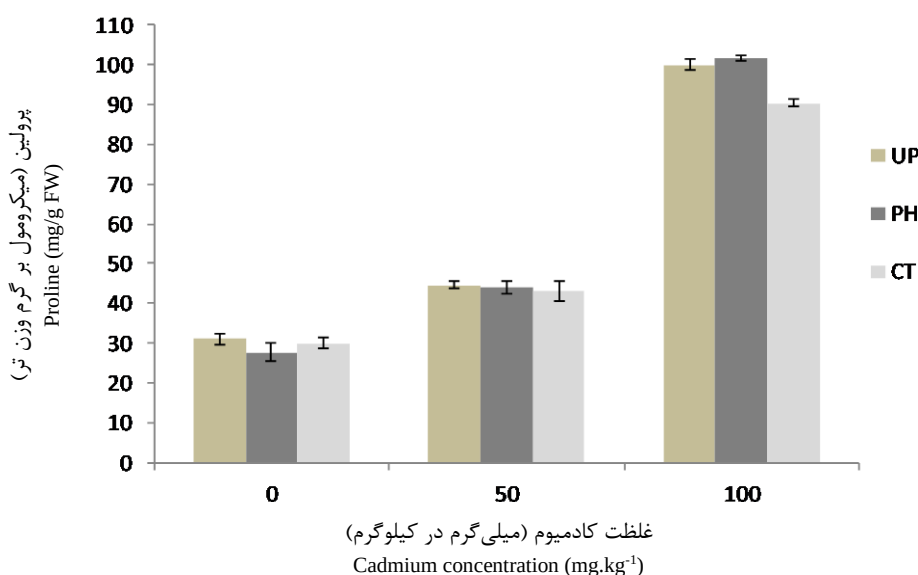
افتخار و فلاح: اثر پیش تیمار پتاسیم هیومات و چای کمپوست بر ...

کلر فیل b

اثر غلظت‌های مختلف کادمیم، پرایمینگ بذر و اثرات متقابل آن‌ها بر میزان کلروفیل b در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد ($P < 0.01$). افزایش غلظت کادمیم موجب کاهش معنی‌دار کلروفیل b شد ولی کاربرد تیمارهای پرایمینگ بذر از افت معنی‌دار این پارامتر جلوگیری نمود. در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم چای کمپوست موجب افزایش ۲۲ درصد میزان کلروفیل شد. در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم نیز پتاسیم هیومات باعث افزایش کلروفیل b به میزان ۸۹ درصد شد.

کاروتنوئیدها

اثر غلظت‌های مختلف کادمیم، پرایمینگ بذر و اثرات متقابل آن‌ها بر میزان کاروتنوئیدها، در سطح احتمال یک درصد، معنی‌دار شد ($P < 0.01$). شکل (۲c) که اثرات غلظت کادمیم



شکل ۳: اثر تیمارهای پرایمینگ بذر بر میزان پرولین گیاه آفتابگردان در خاک‌های آلوده به کادمیم. بارها بیانگر خطای استاندارد هستند. UP، CT و PH به ترتیب تیمار بدون پرایمینگ، پرایم با چای کمپوست (۵:۱) و پتاسیم هیومات (۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) می‌باشند

Fig. 3: Effect of seed priming treatments on proline content of sunflower plants in soils contaminated with cadmium. Bars= Standard error. UP, CT and PH are no priming, compost tea (5:1) and potassium humate (300mg/L) priming treatments, respectively

کمپوست موجب کاهش نشت الکترولیت نسبت به تیمار شاهد شد درحالی‌که تیمار پتاسیم هیومات تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نشان نداد. در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، هر دو تیمار پرایمینگ موجب کاهش معنی‌دار این پارامتر نسبت به تیمار شاهد شدند (شکل ۴).

نشت الکترولیتی

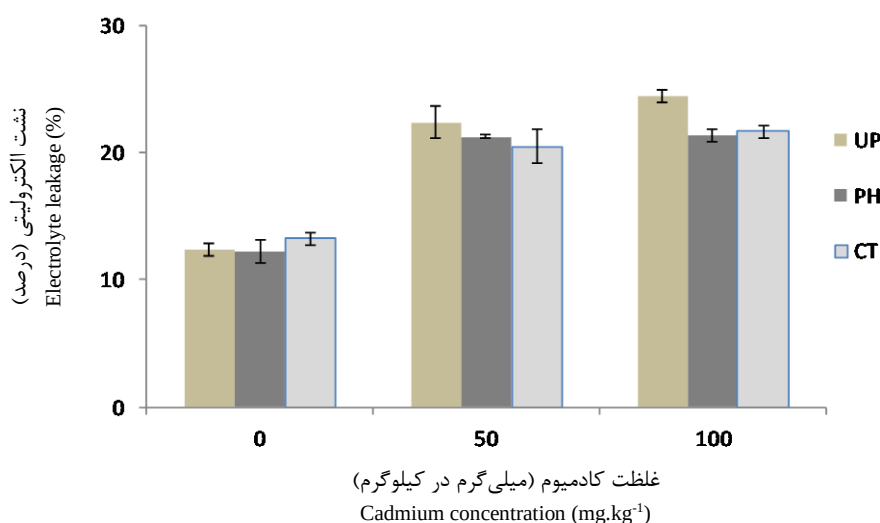
اثر غلظت‌های مختلف کادمیم، پرایمینگ بذر و اثرات متقابل آن‌ها بر میزان نشت الکترولیتی، معنی‌دار شد ($P < 0.01$). در غلظت صفر کادمیم تفاوت معنی‌داری میان بذرهای بدون پرایم و پرایم شده از نظر میزان نشت الکترولیتی وجود نداشت. اما در غلظت ۵۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، تیمار چای

غلظت کادمیم اندام هوایی

اثر تیمارهای مختلف پرایمینگ بذر و غلظت‌های مختلف کادمیم و اثرات متقابل آن‌ها بر غلظت کادمیم اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد ($P < 0.01$). غلظت کادمیم اندام هوایی به موازات افزایش میزان کادمیم در خاک افزایش یافت. گیاهانی که بذر آن‌ها با پتاسیم هیومات و چای کمپوست تیمار شده بودند غلظت بیش‌تری از این فلز را در خود تجمع دادند. با این حال در هر غلظت از کادمیم، افزایش غلظت کادمیم اندام هوایی توسط تیمار پتاسیم هیومات بیش‌تر از چای کمپوست بود (شکل ۴).

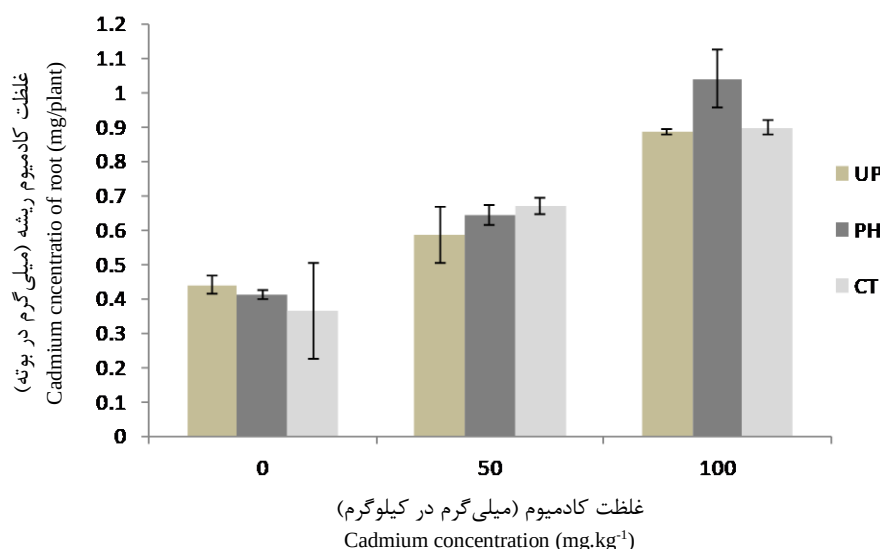
غلظت کادمیم ریشه

اثر تیمارهای مختلف پرایمینگ بذر و غلظت‌های مختلف کادمیم و اثرات متقابل آن‌ها بر غلظت کادمیم ریشه معنی‌دار شد ($P < 0.01$). با افزایش غلظت کادمیم، میزان این پارامتر نیز افزایش یافت. در غلظت ۵۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک تیمارهای پرایمینگ بذر نسبت به تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری نشان ندادند. در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک تیمار چای کمپوست تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نشان نداد اما تیمار پتاسیم هیومات موجب افزایش ۱۸ درصد این پارامتر نسبت به تیمار شاهد گردید.



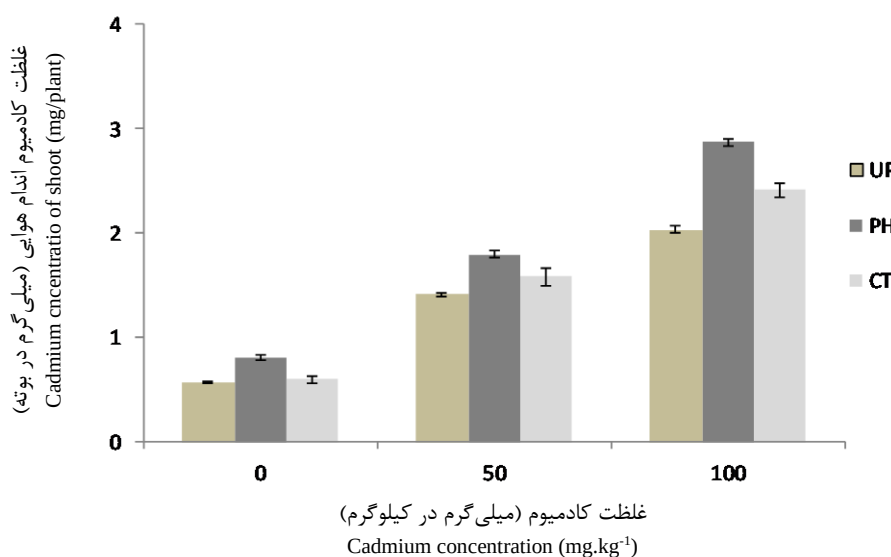
شکل ۴: اثر تیمارهای پرایمینگ بذر بر میزان نشت الکترولیتی گیاه آفتابگردان در خاک‌های آلوده به کادمیم. بارها بیانگر خطای استاندارد هستند. UP، CT و PH به ترتیب تیمار بدون پرایمینگ، پرایم با چای کمپوست (۵:۱) و پتاسیم هیومات (۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) می‌باشند

Fig. 4: Effect of Seed priming treatments on electrolyte leakage of sunflower plants in soils contaminated with cadmium. Bars= Standard error. UP, CT and PH are unpriming, compost tea (5:1) and potassium humate (300mg/L), respectively



شکل ۵: اثر تیمارهای پرایمینگ بذر بر غلظت کادمیم ریشه گیاه آفتابگردان در خاک‌های آلوده به کادمیم. بارها بیانگر خطای استاندارد هستند. UP، CT و PH به ترتیب تیمار بدون پرایمینگ، پرایم با چای کمپوست (۵:۱) و پتاسیم هیومات (۳۰۰ میلی گرم در لیتر) می باشند

Fig. 5: Effect of Seed priming treatments on cadmium concentration of sunflower roots in soils contaminated with cadmium. Bars= Standard error. UP, CT and PH are unpriming, compost tea (5:1) and potassium humate (300mg/L), respectively



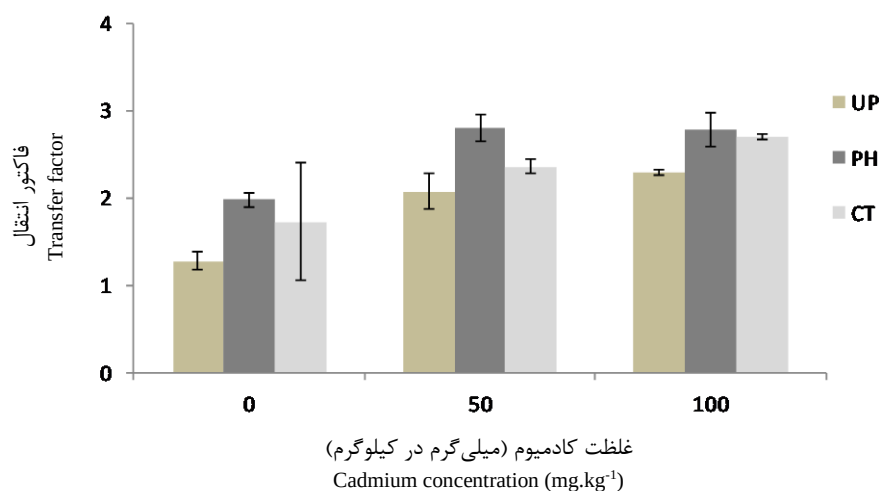
شکل ۶: اثر تیمارهای پرایمینگ بذر بر غلظت کادمیم اندام هوایی گیاه آفتابگردان در خاک‌های آلوده به کادمیم. بارها بیانگر خطای استاندارد هستند. UP، CT و PH به ترتیب تیمار بدون پرایمینگ، پرایم با چای کمپوست (۵:۱) و پتاسیم هیومات (۳۰۰ میلی گرم در لیتر) می باشند

Fig. 6: Effect of Seed priming treatments on cadmium concentration of sunflower shoots in soils contaminated with cadmium. Bars= Standard error. UP, CT and PH are unpriming, compost tea (5:1) and potassium humate (300mg/L), respectively

فاکتور انتقال

کمپوست تأثیر بیش‌تری بر افزایش این پارامتر داشت. در غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر کادمیم در کیلوگرم خاک، فاکتور انتقال بذور پرایم شده با پتاسیم هیومات و چای کمپوست با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشتند و در یک سطح آماری قرار گرفتند (شکل ۷).

اثر تیمارهای مختلف پرایمینگ بذر و غلظت‌های مختلف کادمیم و اثرات متقابل آن‌ها بر فاکتور انتقال معنی‌دار شد ($P < 0.01$). مقایسه میانگین‌ها نشان داد (شکل ۷) که با افزایش غلظت کادمیم میزان فاکتور انتقال کادمیم نیز افزایش یافت. در هر دو غلظت کادمیم، پتاسیم هیومات نسبت به چای



شکل ۷: اثر تیمارهای پرایمینگ بذر بر فاکتور انتقال کادمیم در گیاه آفتابگردان کشت شده در خاک‌های آلوده به کادمیم. بارها بیانگر خطای استاندارد هستند. UP، CT و PH به ترتیب تیمار بدون پرایمینگ، پرایم با چای کمپوست (۵:۱) و پتاسیم هیومات (۳۰۰ میلی گرم در لیتر) می باشند

Fig. 7: Effect of Seed priming treatments on cadmium transfer factor in sunflower cultivated in soils contaminated with cadmium. Bars= Standard error. UP, CT and PH are unpriming, compost tea (5:1) and potassium humate (300mg/L), respectively

بحث

موجب می شود نیتروژن، پتاسیم و کلسیم در بذر جذب شده و برای ساختار بندی جنین برای تولید گیاهچه به کار برده شود (فاروق و همکاران، ۲۰۱۰). بنابراین پتاسیم هیومات از طریق پتاسیم موجود در آن باعث افزایش وزن شده است. چای کمپوست نیز حاوی اکثر عناصر غذایی قابل دسترس مثل نیترات، فسفر، کلسیم و پتاسیم می باشد. هم چنین وجود عناصر کم مصرف مانند آهن، روی، مس و منگنز از دیگر مزایای ورمی کمپوست می باشد (عطیه^۶ و همکاران، ۲۰۰۰). احتمالاً خواص موجود در ورمی کمپوست، از طریق افزایش عناصر غذایی، افزایش هورمون های تنظیم کننده رشد و فعالیت ریز موجودات، باعث تجمع نیتروژن و در نتیجه سبب افزایش وزن تر و وزن خشک گیاه می شود (عطیه و همکاران، ۲۰۰۲).

تخریب کلروفیل ها در برگ های مسن و جلوگیری از سنتز آن ها در برگ های جوان، از علل اولیه کلروز برگي در گیاهان رشد یافته در خاک حاوی کادمیم می باشد. مهار آنزیم های بیوسنتز کلروفیل و فعال سازی تجزیه آنزیمی، نقش بسیار مهمی در کاهش محتوی کلروفیل ایفا می کند. کادمیم جذب برخی عناصر غذایی از جمله منگنز، آهن و منیزیم را کاهش می دهد و با جایگزینی کادمیم به جای منیزیم موجود در حلقه پورفیرینی موجب تخریب کلروفیل می گردد (پارمار و همکاران، ۲۰۱۳). چای کمپوست از طریق فراهم کردن عناصر غذایی کم مصرف مانند آهن، روی، مس و منگنز (عطیه و همکاران، ۲۰۰۰) موجب سنتز بیش تر کلروفیل a شده است.

سمیت کادمیم می تواند منجر به کاهش سلول های مریستمی در ناحیه غشاء سلولی و برخی آنزیم ها در کوتیلدون و آندوسپرم شود. زمانی که فعالیت آنزیم آمیلاز و هیدرولیتیک تحت تأثیر کادمیم کاهش می یابد، مواد غذایی به ریشه های اولیه و اندام های اولیه نمی رسد و در نتیجه رشد گیاهچه کاهش می یابد (کبیر^۱ و همکاران، ۲۰۰۸). به طور کلی می توان گفت کاهش در وزن گیاهچه می تواند به دلیل کاهش جذب عناصر غذایی ضروری مانند K، Ca، Mg و Fe (گوگورسنا^۲ و همکاران، ۲۰۰۰) و کاهش تولید زیست توده به دلیل اختلال در فرآیندهای فتوسنتز، تنفس و متابولیسم نیتروژن (بالستراس^۳ و همکاران، ۲۰۰۱) در اثر غلظت های سمی کادمیم باشد. در این آزمایش پتاسیم هیومات به عنوان بهترین تیمار پرایمینگ جهت جلوگیری از کاهش وزن گیاهچه های آفتابگردان شناخته شد. یون پتاسیم قابلیت نفوذ دیواره سلولی را افزایش می دهد (پریس و رید^۴، ۱۹۹۳) که موجب سهولت پویایی اندوخته های غذایی بذر از آندوسپرم به سمت محور جنینی، سنتز پروتئین ها، نوکلئوتیدها و به دنبال آن رشد بیش تر جنین (یومیر^۵ و همکاران، ۲۰۱۰) و در نتیجه افزایش وزن می گردد. پرایمینگ بذر با مواد حاوی یون پتاسیم

1. Kabir
2. Gogorcena
3. Balestrasse
4. Preece and Read
5. Umair

افتخار و فلاح: اثر پیش تیمار پتاسیم هیومات و جای کمپوست بر ...
 افزایش غلظت کلروفیل b در حضور کادمیم توسط تیمار پتاسیم هیومات را می توان به نقش پتاسیم موجود در آن نسبت داد. پتاسیم نقش مهمی در فرآیندهای بیوشیمیایی و بیوفیزیکی در گیاه دارد. پتاسیم باعث حفظ فتوسنتز شده و کمبود آن فعالیت فتوسنتز، غلظت کلروفیل و انتقال کربن تثبیت شده را کاهش می دهد (زربا^۱ و همکاران، 2008).
 پتاسیم غلظت کلروفیل را افزایش می دهد و عمل کربن گیری را بیشتر می نمایند (محمدی و همکاران، ۱۳۸۸).
 محتوی کاروتنوئید گیاهان در معرض کادمیم، یک الگوی منظم را نشان نمی دهد و در گیاهان مختلف ممکن است افزایش یا کاهش یابد. در بسیاری از موارد افزایش در میزان کاروتنوئیدها در اثر کادمیم گزارش شده است. به طور مثال در ذرت رشد یافته در محیط حاوی ۱۰۰ میکرومول کادمیم، ۱۰ روز بعد از تیمار، افزایش در میزان کاروتنوئید مشاهده شد (پارمار و همکاران، 2013). افزایش ترکیبات آنتی اکسیدانی مانند کاروتنوئید یکی از مکانیسم های دفاعی گیاهان در برابر فلزات سنگین است (سمیت و همکاران، 2005). در این تحقیق نیز به موازات افزایش سمیت کادمیم، بر میزان کاروتنوئید افزوده شد و پرایمینگ بذر با جای کمپوست نیز باعث شد که میزان این پارامتر افزایش یابد. کاربرد کادمیم می تواند منجر به کاهش عناصر پرمصرف و ریزمغذی ها در گیاهان شود که قادر به ایجاد تغییرات دیگر در متابولیسم گیاه می شوند (راموس^۲ و همکاران، 2002). جای کمپوست حاوی اکثر عناصر غذایی قابل دسترس مانند نیترات، فسفر، کلسیم و پتاسیم است (رسولی صدیقیان و همکاران، ۱۳۹۴). هم چنین وجود عناصر کم مصرف مانند آهن، روی، مس و منگنز از دیگر مزایای جای کمپوست می باشد (عطیه و همکاران، 2002). در نتیجه احتمالاً افزایش جذب مواد و عناصر غذایی سبب افزایش سنتز کاروتنوئیدها شده است.

تجمع میزان زیادی از پرولین پاسخ تطبیقی گیاهان تحت شرایط پر تنش می باشد (سوراساک^۳ و همکاران، 2002). اغلب بیان شده است که تجمع پرولین ممکن است به تنظیم اسمزی در سطح سلولی و تثبیت ساختار ماکرومولکول ها و اندامک ها کمک کند. علاوه بر این، افزایش در محتوای پرولین ممکن است یا به دلیل از سرگیری سنتز و یا کاهش تخریب و یا هر دو باشد (کاسایت^۴ و همکاران، 1998). در مطالعه ای مشخص شد که سلول های تنباکو در معرض تنش کادمیم سطح بالایی از پرولین را انباشته و از این طریق می توانند اثر مهای کادمیم در

مقدار رشد سلول را کاهش دهند (اسلام^۵ و همکاران، 2009).
 نشت املاح از اجزاء گیاهی، منعکس کننده وضعیت غشاء سلولی است. مشخص شده است که اثرات زیان بار ناشی از آسیب اکسیداتیو فلزات سنگین مانند کادمیم می تواند ساختار غشاء را به علت پراکسیداسیون لیپیدی تخریب کند و در نتیجه، باعث نشت املاح گردد (آگروال و میشرال، 2009). پرایمینگ فعالیت آنزیمی را افزایش داده و اثرهای پراکسیداسیون را خنثی می کند (یه^۶ و همکاران، 2005). هم چنین از طریق سنتز و فعال سازی آنزیم ها، سنتز DNA، RNA، ATP، موجب بهبود غشای سیتوپلاسمی (کاپلند و مکدونالد^۷، 2001) و کاهش نشت الکترولیتی می گردد.

در سمی ترین غلظت کادمیم، پتاسیم هیومات موجب افزایش غلظت کادمیم ریشه و اندام هوایی شد که دلیل آن را می توان به کاهش سمیت کادمیم توسط آن نسبت داد. همان طور که در شکل ۴ مشاهده می شود با افزایش غلظت کادمیم میزان پرولین توسط این تیمار افزایش یافت که دلیلی بر اثر مثبت آن بر کاهش سمیت کادمیم می باشد. در نتیجه کاهش سمیت کادمیم، گیاه توانسته غلظت بالاتری از این فلز را در خود تجمع دهد. هم چنین افزایش در غلظت فلز در اندام های گیاهی توسط پتاسیم هیومات را می توان به یون پتاسیم موجود در آن نسبت داد. پتاسیم نقش فیزیولوژیکی مهمی در شرایط نامساعد محیطی در سلول ایفا کرده و زیاد بودن آن موجب افزایش تحمل گیاه می شود (کاک ماک^۸، 2005)، در نتیجه با وجود شرایط سمی مقاومت گیاه به کادمیم توسط پتاسیم افزایش یافته و گیاه قادر به تجمع بیش تر کادمیم شده است.

نتیجه گیری

به طور کلی می توان نتیجه گرفت که کادمیم موجب کاهش پارامترهای جوانه زنی و رنگدانه های مهم فتوسنتزی شد. با این حال اعمال پتاسیم هیومات و جای کمپوست از کاهش شدید این پارامترها جلوگیری نمود. علاوه بر این، به موازات افزایش سمیت کادمیم، میزان کاروتنوئید، پرولین و نشت الکترولیتی افزایش یافت و تیمارهای پرایمینگ بذر موجب بهبود کارتنوئید و پرولین شد و از افزایش میزان نشت الکترولیتی جلوگیری کرد که نتیجه آن رشد بهتر گیاهچه ها در شرایط سمی بود. بنابراین، با توجه به اثرات سودمند پتاسیم هیومات و جای کمپوست بر کاهش سمیت کادمیم در خاک های آلوده و به تبع

5. Islam
 6. Yeh
 7. Copeland and McDonald
 8. Cakmak

1. Szczerba
 2. Ramos
 3. Surasak
 4. Kasaiet

آن افزایش بردباری گیاه آفتابگردان، می‌توان از این تکنیک به‌عنوان فناوری سودمند جهت افزایش کارایی گیاه پالایی استفاده نمود. چرا که افزایش بردباری گیاهان در مرحله گیاهچه‌ای تضمین‌کننده رشد بهتر و بیش‌تر گیاه در مراحل بعدی رشد است. رشد بیش‌تر نیز موجب افزایش جذب فلزات سنگین از خاک شده و به این صورت موجب بالابردن کارایی فناوری گیاه پالایی می‌شود.

منابع

- اشرفی، ا. و رزمجو، خ. ۱۳۸۸. بررسی اثر هیدروپرایمینگ بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گلرنگ تحت تنش کم‌آبی. فصلنامه علمی اکوفیزیولوژیکی گیاهان زراعی، ۱: ۴۳-۳۴.
- امامی، ا. ۱۳۷۷. روش‌های تجزیه گیاه. جلد اول. نشریه شماره ۹۸۲. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران. ۱۲۸ صفحه.
- محمدحسینی جوهر، ف.، محمدی مبارکه، س.، و استوارزاده، ح. ۱۳۸۹. گیاه پالایی فلز سنگین مس از خاک معدن مس سرچشمه کرمان، چهارمین همایش تخصصی مهندسی محیط‌زیست، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده محیط‌زیست.
- محمدی، م.، حبیبی، د.، اردکانی، م. ر.، و اصغرزاده، ا. ۱۳۸۹. تأثیر کودهای بیولوژیک، هومیک اسید و پلیمر سوپرجاذب بر محتوای کلروفیل، غشاء لیپیدی و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در گونه گیاهی یونجه یکساله (*Medicago scutellata*) تحت سمیت کادمیوم. مجله زراعت و اصلاح نباتات، ۶: ۷۹-۶۵.
- Agrawal, S. B. and Mishra, S. 2009. Effects of supplemental ultraviolet-B and cadmium on growth, antioxidants and yield of *Pisum sativum* L. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72: 610-618.
- Atiye, R. M., Arancon, N., Edwards, C. A. and Metzger, J. D. 2002. Incorporation of earthworm processed organic wastes into greenhouse container media for production of marigolds. *Bioresource Technology*, 81: 103-108.
- Atiye, R. M., Subler, S., Edwards, C. A., Bachman, G., Metzger, J. D. and Shuster, W. 2000. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedo Biologia*, 44: 579-590.
- Balestrasse, K. B., Gardey, L., Gallego, S. M. and Tomaro, M. L. 2001. Response of antioxidant defence system in soybean nodules and roots subjected to cadmium stress. *Australian Journal of Plant Physiology*, 28: 497-504.
- Bates, L. S., Waldern, R. P. and Tear, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-207.
- Cakmak, I. 2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal Plant Nutrition and Soil Science*, 168: 521-530.
- Chaffei, C., Gouia, H. and Ghorbel, M. H. 2003. Nitrogen metabolism in tomato plants under cadmium stress. *Journal of Plant Nutrition*, 26: 1617-1634.
- Chen, Y. X., He, Y. F., Luo, Y. M., Yu, Y. L., Lin, Q. and Wong, M. H. 2003. Physiological mechanism of plant roots exposed to cadmium. *Chemosphere*, 50: 789-793.
- Copeland, L. and McDonald, M. 2001. *Principles of Seed Science and Technology*. Springer US Boston MA. 467 pp.
- Curguz, V. G., Raicevic, V., Veselinovic, M., Tabakovic-Tosic, M. and Vilotic, D. 2012. Influence of heavy metals on seed germination and growth of *Picea abies* L. Karst. *Polish Journal of Environmental Studies*, 21: 355-361.
- Farooq, M., Basra, S. M. A., Rehman, H., Ahmad, N. and Saleem, B. A. 2007. Osmopriming improve the germination and early seedling growth of melons (*Cucumis melon* L.). *Pakistan Journal of Agricultural Science*, 44: 529-536.
- Gill, S. S. and Tuteja, N. 2011. Cadmium stress tolerance in crop plants, probing the role of sulfur. *Plant Signaling and Behavior*, 6: 215-222.
- Gogorcena, Y., Lucena, J. J. and Abadia, J. 2002. Effects of Cd and Pb in sugar beets plants grown in nutrient solution: Induced Fe deficiency and growth inhibition. *Journal of Functional Plant Biology*, 29: 1453-1464.
- Guo, B., Liang, Y. and Zhu, Y. 2009. Does salicylic acid regulate antioxidant defense system, cell death, cadmium uptake and partitioning to acquire cadmium tolerance in rice. *Journal of Plant Physiology*, 166: 20-31.
- Halmer, P. 2004. Methods to improve seed performance in the field. In: *Handbook of Seed Physiology, Applications to Agriculture* (eds Benech-Arnold, R. L. and Sánchez, R. A.) Haworth Press, Inc, New York, Pp. 125-166.
- Islam, M. M., Hoque, M. A., Okuma, E., Banu, M. N. A., Shimoishi, Y., Nakamura, Y. and Murata, Y. 2009. Exogenous proline and glycinebetaine increase antioxidant enzyme activities and confer tolerance to cadmium stress in cultured tobacco cells. *Journal of Plant Physiology*, 166: 1587-1597.
- Jadia, C. H. and Fulekar, M. H. 2008. The application of vermicompost to remove zinc, cadmium, copper, nickel and lead by sunflower Plant. *Environmental Engineering and Management Journal*, 7: 547-558.
- Kabir, M., Iqbal, M. Z., Shafigh, M. and Farooqi, Z. R. 2008. Reduction in germination and seedling growth of *thespesia populnea* l caused by lead and cadmium treatments. *Pakistan Journal of Botany*, 40: 2419-2426.
- Kasai, Y., Kato, M., Aoyaa, J. and Hyodo, H. 1988. Ethylene production and increase in 1 - aminocyclopropane-1 - carboxylate oxidase activity during senescence of broccoli florets. *Acta Horticulture*, 464: 153-157.
- Krystofova, O., Shestivska, V., Galiova, M., Novotny, K., Kaiser, J., Zehnalek, J., Babula, P., Opatrilova, R., Adam, V. and Kizek, R. 2009. Sunflower plants as bioindicators of environmental pollution with lead (II) ions. *Sensors*, 9: 5040-5058.

- Lombi, E., Zhao, F., Dunham, S. and McGrath, P. 2001. Phytoremediation of heavy metal-contaminated. *Journal of Environmental Quality*, 30: 1919-1926.
- Ma, J. F., Ryan, P. R. and Delhaiz, E. 2001. Aluminium tolerance in plants and the complexing role of organic acids. *Trends in Plant Science*, 6: 237-278.
- Parmar, P., Kumari, N. and Sharma, V. 2013. Structural and functional terations in photosynthetic apparatus of plants under cadmium stress. *Botanical Studies*, 54: 45-51.
- Preece, J. E. and Read, P. E. 1993. Mineral nutrition. In: *The biology of Horticulture crop* (eds. John, W. and Sons, P.), Pp. 257-259.
- Quartacci, M. F., Cosi, E. and Navari-Izzo, F. 2001. Lipids and NADPH-dependent superoxide production in plasma membrane vesicles from roots of wheat grown under copper deficiency and excess. *Journal of Experimental Botany*, 152: 67-75.
- Ramos, I., Esteban, E., Lucena, J. J. and Garate, A. 2002. Cd uptake and Sub cellular distribution in plants of (*lactuca* sp.). Cd – Mn intraction. *Plant Science*, 162 (5): 761-767.
- Rasouli Sedighian, M. H., Moradi, N. and Hamza Nezhad, R. 2015. Effect of type and ratio vermicompost on some growth indices and nutrient concentrations in tomato in greenhouse conditions. *Journal of Greenhouse Culture Science and Technology*, 5: 63-85.
- Shakirova, F. M., Sakhabutdinova, A. R., Bezrukova, M. V., Fatkhutdinova, R. A. and Fatkhutdinova, D. R. 2003. Changes in hormonal status of wheat seedling induced by salicylic acid and salinity. *Plant Science*, 164: 317-322.
- Smeets, K., Cuypers, A., Lambrechts, A., Semane, B., Hoet, P., Laere, A. V. and Vangronsveld, J. 2005. Induction of oxidative stress and antioxidativ mechanisms in *Phaseolus vulgaris* after Cd application. *Plant Physiology and Biochemistry*, 43: 437-444.
- Surasak, S., Samuel, T., Desh-Pal, S. V. and Richard, T. S. 2002. Molecular mechanisms of proline mediated tolerance to toxic heavy metals in transgenic microalgae. *The Plant Cell*, 14: 2837-2847.
- Szczerba, M. W., Britto, D. T. and Kronzucker, H. J. 2008. K⁺ transport in plants: Physiology and Molecular Biology, 166: 447-466.
- Tiriki, I., Kizilsmsek, M. and Kaplan, M. 2009. Rapid and enhanced germination at low temperature of alfalfa and white clover seeds following osmotic priming. *Tropical Grasslands*, 43: 171-177.
- Umair, A., Ali, S., Bashir, K. and Hussain, S. 2010. Evaluation of different seed priming techniques in mung bean (*Vigna radiate*). *Plant, Soil and Environment*, 29: 181-186.
- Verbruggen, N. and Hermans, C. 2008. Proline accumulation in plants: a review. *Amino Acids*, 35: 753-759.
- Willburn, A. R. 1994. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoid, using varous solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*, 144(3): 307-313.
- Yadav, S. K. 2010. Heavy metals toxicity in plants: an overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. *South African Journal of Botany*, 76: 167-179.
- Yeh, Y. M., Chiu, K. Y., Chen, C. L. and Sung, J. M. 2005. Partial vacuum extends the longevity of primed bitter gourd seeds by enhancing their anti-oxidative activities during storage. *Scientia Horticulturae*, 104: 101-112.

Pretreatment Effect of Potassium Humate and Compost Tea on Sunflower (*Helianthus annuus*) Tolerance to Cadmium Contaminated Soils

Eftekhar¹, N. and Fallah^{2*}, S.

Abstract

In contaminated soils, poor plant establishment and plant biomass reduction decrease the efficiency of phytoremediation. In this study, pretreatment effect of potassium humate (300 mg/L) and compost tea (5:1) on sunflower tolerance under different concentrations of cadmium (0, 50 and 100 mg/kg soil) was evaluated. A factorial experiment based on a completely randomized design was conducted with four replications, in 2016. Results showed that increasing cadmium concentration significantly reduced root, stem and leaf dry weight, as well as the amounts of chlorophyll a and b, and increased carotenoids, proline and electrolyte leakage. Seed priming with potassium humate and compost tea improved the negative effect of contaminated soil with cadmium on the above parameters, but their effects on the measured traits were different. Root, stem and leaf dry weight, chlorophyll b, proline content and root and shoot cadmium concentration were increased due to the application of potassium humate under cadmium contamination. However, compost tea significantly increased chlorophyll a and carotenoid as well. Both priming treatments significantly increased cadmium transfer factor for sunflower plant. In general, it can be concluded that, with potassium humate and compost tea the tolerance of sunflower plant improves in contaminated soils through photosynthesis pigments and proline content increment and electrolyte leakage decline.

Keywords: Phytoremediation, Photosynthesis, Proline, Electrolyte leakage

1 and 2. MSc student and Professor, Respectively, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran

✉: Corresponding author Email: falah1357@yahoo.com

This paper has been extracted from the first author's MSc thesis under the guidance of Sina Fallah.