علوم و تحقیقات بذر ایران
سال ششم/ شماره دوم/ ۱۳۹۸ (۱۷۵ - ۱۶۱)

DOI: 10.22124/jms.2019.3595

اثر پیش‌تیمار اسید سالیسیلیک و نیترات پتاسیم بر افزایش بردباری آفتاب‌گردان در خاک‌های آلوده به کادمیم

نجمه افتخار[۱]، سیف اله فلاح[۲*]، علی عباسی سورکی[۳]، حبیب خداوردی‌لو[۴]، اکرم رحیمی[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۱۶

چکیده

در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین استقرار ضعیف گیاه و در نتیجه کاهش زیست‌توده آن، کارآیی گیاه‌پالایی را کاهش می‌دهد. در این پژوهش، اثر پیش‌تیمار بذر آفتاب‌گردان با اسید سالیسیلیک (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و نیترات پتاسیم (۲ درصد) بر افزایش بردباری این گیاه تحت غلظت‌های مختلف کادمیم (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که به‌طورکلی وزن خشک ریشه، وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ، کلروفیل a و کلروفیل b در پاسخ به افزایش غلظت کادمیم در خاک کاهش و میزان کاروتنوئید، پرولین و نشت الکترولیتی افزایش یافت. پرایمینگ بذر با اسید سالیسیلیک و نیترات پتاسیم اثر منفی آلودگی خاک با کادمیم بر پارامترهای مذکور را بهبود داد. تاثیر پرایمینگ بذر با سالسیلیک اسید و نیترات پتاسیم بر صفات مورد بررسی متفاوت بود. تحت تنش کادمیم، نیترات پتاسیم باعث افزایش وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ، کلرفیل a، غلظت کادمیم اندام هوایی و فاکتور انتقال شد اما اسید سالیسیلیک موجب افزایش وزن خشک ریشه، کلرفیل b و غلظت کادمیم ریشه گردید. در سمی‌ترین غلظت کادمیم، میزان نشت الکترولیتی و پرولین توسط تیمار اسید سالیسیلیک به‌ترتیب ۱۸ و ۲۲ درصد کاهش یافت. به‌طورکلی نتیجه‌گیری می‌شود که کاربرد اسید سالیسیلیک و نیترات پتاسیم با افزایش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی و پرولین و کاهش میزان نشت الکترولیتی بردباری آفتاب‌گردان را در خاک‌های آلوده به کادمیم افزایش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: فتوسنتز، فلزات سنگین، گیاه‌پالایی، نشت الکترولیتی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
۲- استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ایران
۳- استادیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ایران
۴- دانشیار، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۵- استادیار، گروه شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد درود، درود، ایران
* نویسنده مسئول: falah1357@yahoo.com.

مقدمه

کادمیم منجر به تغییرات فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و مورفولوژیک در گیاه می‌شود (Quartacci *et al*., 2001) که از جمله می‌توان به مهار جوانه‌زنی و رشد گیاهچه خصوصاً رشد ریشه‌چه (Curguz *et al*., 2010)، کاهش عملکرد (Chen *et al*., 2003) و اختلال متابولیسم گوگرد و نیتروژن اشاره کرد (Gill and Tuteja, 2012). هر گونه آسیب ناشی از این عنصر به‌شدت بر ظرفیت کلی فتوسنتز گیاه تأثیر می‌گذارد (Parmar *et al*., 2013). کلروفیل و آنزیم‌های دخیل در تثبیت CO_2 تحت تأثیر کادمیم قرار می‌گیرند (Chaffei *et al*., 2003). کاهش فتوسنتز را می‌توان به کاهش بیوسنتز کلروفیل در اثر سمیت کادمیم نسبت داد (Parmar *et al*., 2013). علاوه بر این، کلروفیل‌ها به وسیله گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) نیز تخریب می‌شوند. گیاهان در برابر سمیت فلزات سنگین دارای مکانسیم‌های دفاعی مختلف هستند که از آن جمله می‌توان به فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانت (متشکل از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت مانند کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز و همچنین ترکیبات آنتی‌اکسیدانت مانند گلوتاتیون، سیستئین، پلی‌آمین‌ها، آسکوربات، توکوفرول و کاروتنوئیدها) (Smeet *et al*., 2005) و تولید اسمولیت‌ها نظیر پرولین و قندها اشاره کرد (Ma *et al*., 2001). گزارش شده است که پرولین در غلظت‌های زیاد فلزات سنگین تجمع می‌یابد (Yadav, 2010). این اسید آمینه بردباری گیاه به تنش را از طریق سازوکارهایی مانند تنظیم اسمزی، حفاظت آنزیم‌ها در برابر دناتوره‌شدن و تثبیت سنتز پروتئین می‌افزاید (Verbruggen and Hermans, 2008). گونه‌های فعال اکسیژن با القای پراکسیداسیون لیپیدی آسیب غشائی ایجاد می‌کنند و باعث اختلال در فرآیند سلولی و تجزیه DNA و نشت الکترولیتی می‌شوند (Krystofova *et al*., 2009). نشت املاح از مواد گیاهی برای منعکس‌کردن وضعیت غشاء سلولی است و بر اساس این دیدگاه حفظ ضعیف املاح منجر به نشت بالا از بذر در حال آبنوشی می‌شود و در نتیجه نشان‌دهنده غشاء آسیب دیده و یا ناقص است (Agrawal and Mishra, 2009).

برای پالایش مناطق آلوده به فلزات سنگین و دیگر آلاینده‌ها، گیاه‌پالایی به‌عنوان روشی کم‌هزینه 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 می‌شود (Lombi *et al*., 2001).

آفتاب‌گردان به دلیل رشد سریع و زیست‌توده بالا، گیاهی مناسب جهت جذب فلزات سنگین از خاک مناطقی که شدیدا به این فلزات آلوده هستند، به شمار می‌رود (Jadia and Fulekar, 2008). اما با توجه به سمیت بالا در این مناطق احتمال استقرار ضعیف گیاهان کاشته‌شده پیش‌بینی می‌شود و در نتیجه موجب کاهش کارایی فناوری گیاه‌پالایی می‌گردد.

یکی از روش‌های غلبه بر مشکل کاهش جوانه‌زنی و شاخص‌های آن استفاده از پیش‌تیمار بذرها قبل از جوانه-زدن می‌باشد. پیش‌اندازی بذر با پرایمینگ بذر یکی از روش‌های مهم توانمندسازی بذر قبل از کاشت است که در آن بذر گیاهان به‌طور محدود و کنترل‌شده داخل آب یا محلول اسمزی قرار می‌گیرند (Tiriki *et al*., 2009). در طی خیساندن بذور جوانه‌زنی صورت نمی‌گیرد و فقط برخی از فرآیندهای فیزیولوژی جوانه‌زنی مانند فعال‌شدن آنزیم‌ها و هورمون‌ها و تجزیه مواد غذایی در بذر رخ می‌دهد (Halmer, 2004). پرایمینگ باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی می‌شود و این آنزیم‌ها موجب کاهش پراکسیداسیون لیپید در طی جوانه‌زنی می‌گردد (Farooq *et al.,* 2007). گزارش شده است که تیمار بذرهای جو با محلول اسید هیومیک در غلظت‌های ۵۰۰ و ۷۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و طول مدت ۱۲ ساعت موجب رشد بیش‌تر گیاهچه‌ها و تولید گیاهچه‌های قوی‌تر می‌شود (Ashrafi and Razmju, 2010). کاربرد بیرونی اسید سالیسیلیک موجب تنظیم فعالیت‌های مختلف فیزیولوژیکی در گیاهان مانند بسته‌شدن روزنه، جذب و انتقال یون، مهار بیوسنتز اتیلن، تعرق، بردباری به تنش، نفوذپذیری غشاء، فتوسنتز، رشد و افزایش عملکرد گیاه می‌شود (Guo *et al*., 2009). علاوه بر این، اسید سالیسیلیک منجر به پایداری غشاء، تحریک دستگاه فتوسنتزی، سنتز پروتئین و افزایش محتوای کلروفیل می‌گردد (Shakirova *et al*., 2003).

با افزایش توسعه معادن و در نتیجه آلودگی مناطق مجاور آن‌ها به فلزات سنگین، استفاده از فناوری گیاه-پالایی جهت حذف این فلزات از خاک توسعه یافته است. این درحالی است که سمیت زیاد فلزات سنگین در این

مناطق موجب کاهش استقرار گیاهان کاشته‌شده و در نتیجه کاهش کارایی تکنیک گیاه‌پالایی می‌شود. بر این اساس پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثر اسید سالیسیلیک و نیترات پتاسیم بر افزایش بردباری آفتاب-گردان در محیط آلوده به کادمیم اجرا خواهد شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۴ آزمایشگاه تحقیقاتی علوم و تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد انجام شد. بذر گواهی شده آفتاب‌گردان (رقم رکورد) که در سال ۱۳۹۴ تولید شده بود از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه گردید. کارایی گیاه‌پالایی رقم رکورد بیش‌تر از سایر ارقام آفتاب‌گردان است (Naderi *et al*., 2014). این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل شاهد (بدون پرایمینگ)، اسید سالیسیلیک (۱۰۰ میلی‌مول بر لیتر) و نیترات پتاسیم (۲ درصد) و غلظت کادمیم (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک) بودند. در این آزمایش ابتدا گلدان‌ها به‌طور کامل با آب مقطر شسته شدند. سپس با توجه به حجم گلدان‌ها (۲۰ ×۱۴ سانتی‌متر) یک کیلوگرم خاک الک‌شده (با الک ۲ میلی‌متری) که به‌طور 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 ($CdCl_2.H_2O$) بود. مقادیر مورد نیاز از کادمیم ابتدا توسط ترازوی ۰/۰۰۱ توزین شد. سپس ۰/۵ لیتر آب مقطر به آن اضافه گردید و به‌صورت محلول به خاک گلدان‌ها اضافه شد. به‌منظور پخش شدن کامل فلز سنگین در خاک، به‌مدت ۳ هفته آبشویی صورت گرفت. آب خارج‌شده پس از آبشویی به داخل گلدان‌ها برگردانده شد. برای هر گلدان، ۱۵ عدد بذر شمارش شد و به‌مدت ۸ ساعت در محلول‌های پرایمینگ مربوطه قرار گرفتند. بعد از انجام پرایمینگ با اسید سالیسیلیک و نیترات پتاسیم به‌مدت ۸ ساعت، بذور جهت کشت در گلدان‌ها به گلخانه منتقل شدند. در طول دوره آزمایش دمای گلخانه ۲±۲۴ درجه سلسیوس و میزان نور/تاریکی آن ۱۲:۱۲ بود. 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 علف‌های هرز، تنک‌کردن (۸ عدد گیاهچه در هر گلدان) و آبیاری بر اساس نیاز گیاه و شرایط محیطی صورت گرفت.

اندازه‌گیری وزن خشک ریشه و بخش هوایی

برداشت گیاهچه‌های رشدیافته 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 سلسیوس قرار گرفتند و سپس توزین انجام شد.

اندازه‌گیری رنگدانه‌های فتوسنتزی

به‌منظور ارزیابی غلظت کلروفیل و کاروتنوئید برگ ابتدا ۱۰۰ میلی‌گرم از بافت تازه برگ توزین و به قطعات کوچکی خرد شد و با مقداری استن ۸۰ درصد در یک هاون چینی به‌طور کامل هموژنیزه گردید. سپس محلول حاصل به‌وسیله 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 (Wllburn, 1994) و غلظت کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها موجود در برگ با استفاده از روابط زیر محاسبه شد:

رابطه (۱) $Chlorophyll\ a = 12.25\ A\ 663.2 – 2.798\ A\ 646.8$

رابطه (۲) $Chlorophyll\ b = 21.21\ A\ 646.8 – 5.1\ A\ 663.2$

رابطه (۳) $Carotenoids = [1000\ (A\ 470) – 1.82\ (mg\ Chlorophyll\ a) – 85.02\ (mg\ Chlorophyll\ b)]/198$

در روابط فوق Chl_a و Chl_b به‌ترتیب میزان کلروفیل a و b و A663.2، A646.8 و A470 به‌ترتیب اپتیکال دانسیته عصاره در طول موج‌های ۶۶۳/۲، ۶۴۶/۸ و ۴۷۰ نانومتر می‌باشد.

اندازه‌گیری پرولین

تهیه عصاره و اندازه‌گیری پرولین آزاد برگ به‌روش بتز و همکاران (Bates *et al*., 1973) انجام شد. ابتدا ۰/۳ گرم از بافت برگ تازه را در ۱۰ میلی‌لیتر محلول سولفوسالیسیلیک اسید ۳ درصد ساییده و مخلوط یکنواختی تهیه شد. عصاره‌های تهیه شده را درون فالکون 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 سانترفیوژ گردید و بخش بالایی آن جدا شد. برای اندازه‌گیری پرولین، میزان ۲ میلی‌لیتر از عصاره فوق جدا و داخل لوله آزمایش ریخته شد. ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به هر یک از نمونه‌ها اضافه و به هم زده شد. سپس به هر نمونه ۲ میلی‌لیتر معرف نین هیدرین و سپس، ۲ میلی‌لیتر اسید استیک اضافه گردید. پس از طی مراحل فوق، نمونه‌ها به مدت ۴۵ دقیقه در داخل بن‌ماری با دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند. پس از خنک‌کردن نمونه‌ها در آب یخ، ۴ میلی‌لیتر 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 در انتها 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 Blank تعیین گردید. برای تعیین میزان پرولین، از منحنی استاندارد پرولین استفاده شد. میزان پرولین نمونه‌های برگ بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر برگ محاسبه گردید.

اندازه‌گیری نشت الکترولیتی

به‌منظور اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیتی سلول‌های برگ، پس از نمونه‌گیری 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 فالکون‌هایی با محتوی ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر دیونیزه در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در تاریکی به‌مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند. سپس با استفاده از دستگاه EC متر، EC اولیه (EC_1) نمونه‌ها قرائت شد. پس از آن نمونه‌های مذکور به‌مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۱۵ درجه سلسیوس در اتوکلاو قرار گرفتند و پس از سرد شدن EC ثانویه آن‌ها (EC_2) قرائت شد. میزان نشت الکترولیتی از رابطه زیر محاسبه گردید:

رابطه (۴) $$\text{نشت الکترولیتی} = \left(\frac{EC1}{EC2}\right) \times 100$$

تجزیه آماری

کلیه داده‌ها توسط نرم افزار SAS V 9.4 مورد تجزیه واریانس قرار گرفت. پس از معنی‌داری اثر هر عامل آزمایشی، مقایسه میانگین‌ها به‌صورت 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 معنی‌دار بود ($P<۰/۰۱$). وزن خشک ریشه با افزایش غلظت کادمیم کاهش یافت. به‌طوری‌که کم‌ترین وزن خشک ریشه مربوط به غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک و تیمار بدون پرایم بود (۲۴۳/۹ میلی‌گرم) (شکلa ۱). در شرایط بدون کادمیم، استفاده از تکنیک پرایمینگ موجب افزایش وزن خشک ریشه شد. علاوه بر این، در غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک اسید سالیسیلیک توانست به‌طور معنی‌داری 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 معنی‌دار بود ($P<۰/۰۱$). به‌طورکلی وزن خشک ساقه آفتاب‌گردان با افزایش آلودگی خاک به عنصر کادمیم کاهش نشان داد. پرایمینگ بذر با نیترات پتاسیم در هر سه سطح از غلظت کادمیم منجر به رشد بهتر ساقه آفتاب‌گردان شد (شکل b ۱).

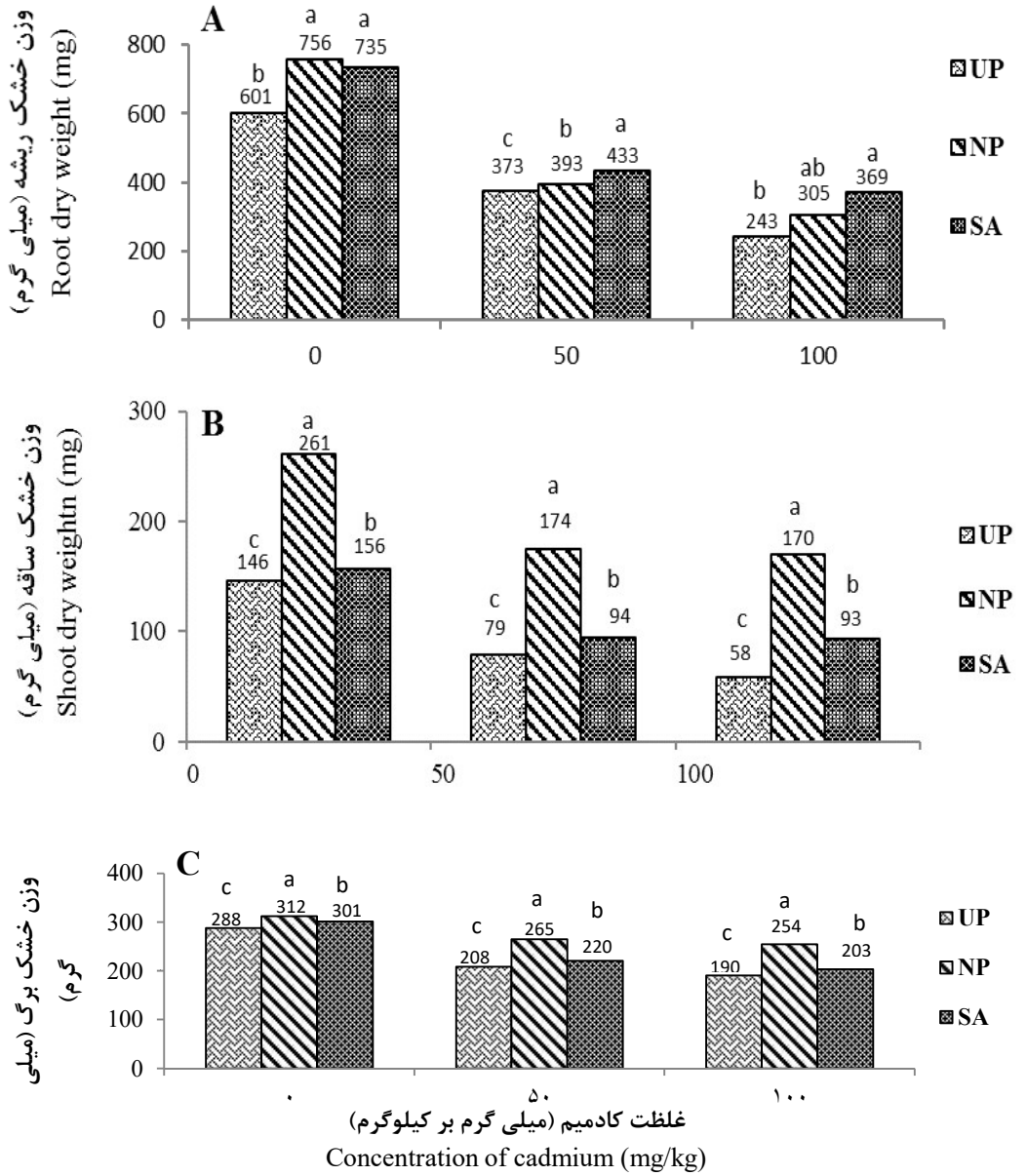
وزن خشک برگ

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 ($P<۰/۰۱$). مقایسه میانگین‌ها نشان داد (شکل c ۱) با افزایش سمیت کادمیم از وزن خشک برگ‌ها کاسته شد ولی اعمال تیمارهای پرایمینگ توانست از افت شدید این پارامتر جلوگیری کند. علاوه بر این، روند تأثیر تیمارهای پرایمینگ در سطوح مختلف کادمیم مشابه بود و در هر سطح نیترات پتاسیم نسبت به تیمار اسید سالیسیلیک برتری داشت.

کلروفیل a

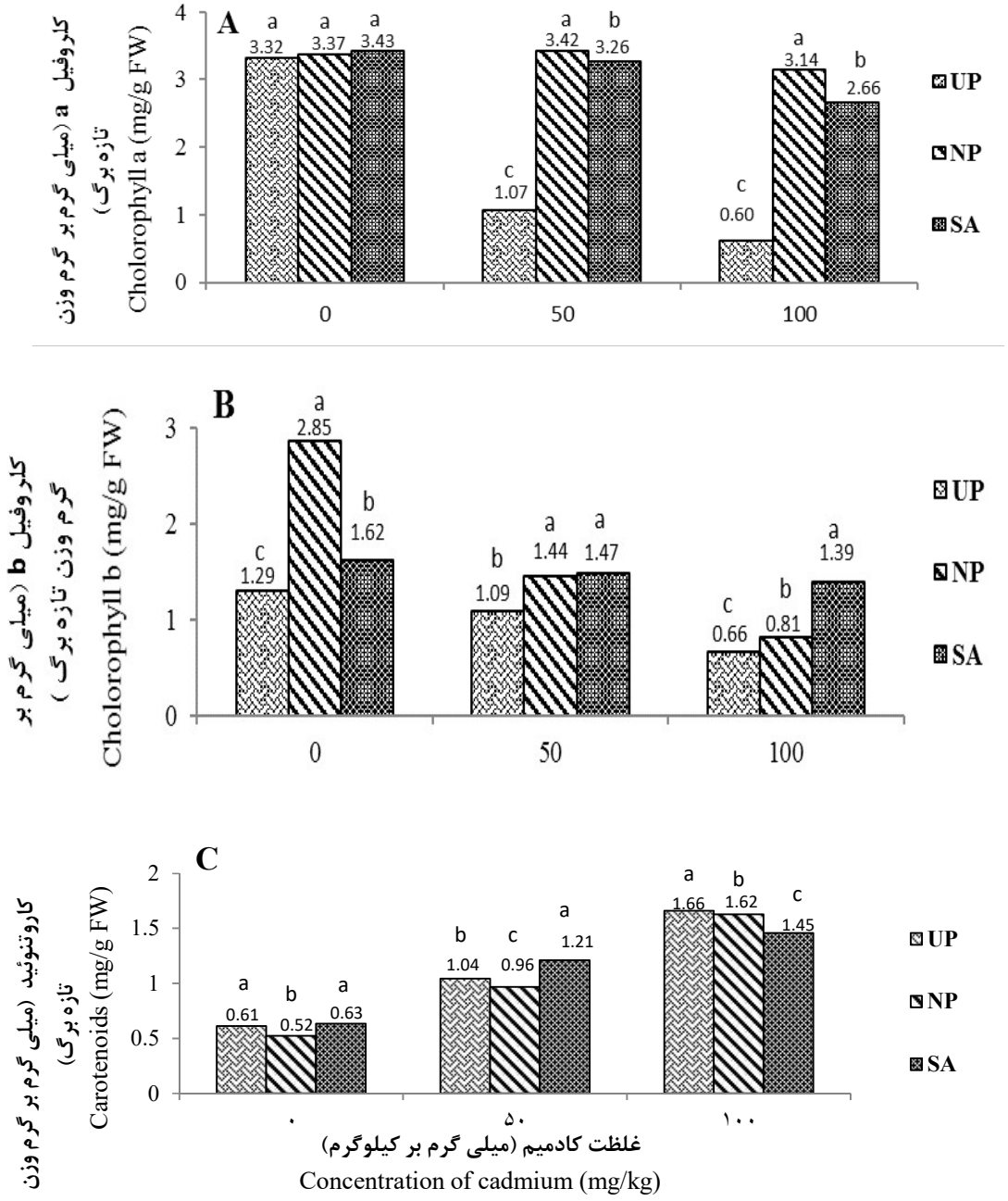
اثر غلظت‌های مختلف کادمیم، پرایمینگ بذر و اثرات متقابل آن‌ها بر میزان کلروفیل a در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد ($P<۰/۰۱$). افزایش غلظت کادمیم موجب کاهش معنی‌دار کلروفیل a شد ولی کاربرد تیمارهای پرایمینگ بذر از افت معنی‌دار این پارامتر

جلوگیری نمود. تیمار نیترات پتاسیم در غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک در مقایسه با تیمار اسید سالیسیلیک تأثیر بیش‌تری بر افزایش کلروفیل a داشت (شکل a ۲).



شکل ۱- اثر تیمارهای پرایمینگ بذر بر وزن خشک ریشه (a)، وزن خشک ساقه (b) و وزن خشک برگ (c) آفتاب‌گردان در خاک‌های آلوده به کادمیم. در هر غلظت کادمیم میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند. UP، NP و SA به‌ترتیب تیمار بدون پرایمینگ، نیترات پتاسیم (۲ درصد) و اسید سالیسیلیک (۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشند.

Figure 1. Effect of seed priming treatments on root dry weight (a), shoot dry weight (b) and leaf dry weight (c) of sunflower plants in soils contaminated with cadmium. In each concentrations of cadmium, means with same letters haven't significant difference based on LSD test (P=0.05). UP, NP and SA are no priming, nitrate potassium (2%) and salicylic acid (100 mg/L) priming treatments, respectively.



ش

کل ۲- اثر تیمارهای پرایمینگ بذر بر میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی (a، b و c) گیاه آفتاب‌گردان در خاک‌های آلوده به کادمیم. در هر غلظت کادمیم میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند. UP، NP و SA به‌ترتیب تیمار بدون پرایمینگ، نیترات پتاسیم (۲ درصد) و اسید سالیسیلیک (۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشند.

Figure 2. Effect of seed priming treatments on photosynthetic pigments (a, b and c) of sunflower plants in soils contaminated with cadmium. In each concentrations of cadmium, means with same letters haven't significant difference based on LSD test (*P*=0.05). UP, NP and SA are no priming, nitrate potassium (2%) and salicylic acid (100 mg/L) priming treatments, respectively.

کلروفیل b

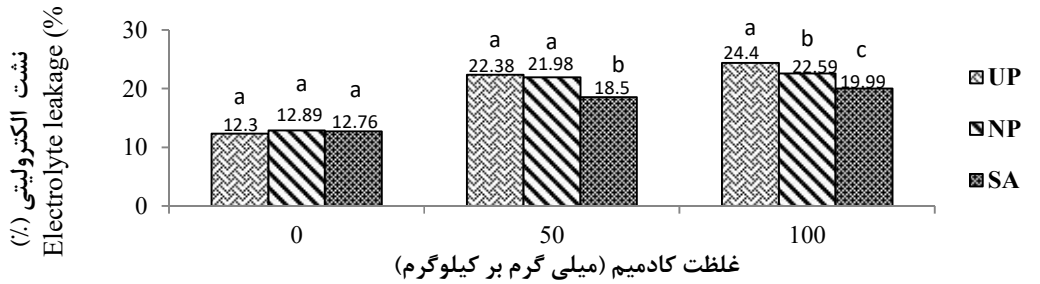
اثر غلظت‌های مختلف کادمیم، پرایمینگ بذر و اثرات متقابل آن‌ها بر میزان کلروفیل b معنی‌داری شد (P<۰/۰۱). میزان کلروفیل b در پاسخ به افزایش غلظت کادمیم روند کاهشی نشان داد، به‌طوری‌که در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد شرایط بدون کادمیم به ترتیب ۱۵ و ۴۸ درصد کاهش یافت. تیمار اسید سالیسیلیک در سمی‌ترین غلظت کادمیم اثر بهتری بر حفاظت از کلروفیل نشان داد و میزان این رنگدانه را نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داد.

کاروتنوئیدها

اثر غلظت‌های مختلف کادمیم، پرایمینگ بذور و اثرات متقابل آن‌ها بر میزان کاروتنوئیدها، در سطح احتمال یک درصد، معنی‌دار شد (P<۰/۰۱). اثرات غلظت کادمیم بر میزان کاروتنوئید را نشان می‌دهد، بیانگر این است که با افزایش غلظت کادمیم، میزان کاروتنوئید نیز افزایش یافت. در غلظت ۵۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک، تیمار اسید سالیسیلیک توانست موجب افزایش ۱۶ درصد کاروتنوئید گردد اما در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک، میزان کاروتنویید تیمارهای پرایمینگ کمتر از تیمار شاهد بود (شکل c ۲).

نشت الکترولیتی

اثر غلظت‌های مختلف کادمیم، پرایمینگ بذر و اثرات متقابل آنها بر میزان نشت الکترولیتی، معنی‌دار شد (P<۰/۰۱). در غلظت صفر کادمیم تفاوت معنی‌داری میان بذرهای بدون پرایم و پرایم‌شده از نظر میزان نشت الکترولیتی وجود نداشت. اما، در شرایط آلودگی خاک به کادمیم میزان نشت الکترولیتی بذور تیمار شده با اسید سالیسیلیک به‌طور معنی‌داری کم‌تراز بذرهای پرایم‌شده با نیترات پتاسیم و بدون پرایم بود (شکل ۳).



ش

کل ۳- اثر تیمارهای پرایمینگ بذر بر میزان نشت الکترولیتی گیاه آفتاب‌گردان در خاک‌های آلوده به کادمیم. در هر غلظت کادمیم میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند. UP، NP و SA به‌ترتیب تیمار بدون پرایمینگ، نیترات پتاسیم (۲٪) و اسید سالیسیلیک (۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشند.

Figure 3. Effect of seed priming treatments on electrolyte leakage of sunflower plants in soils contaminated with cadmium. In each concentrations of cadmium, means with same letters haven't significant difference based on LSD test (P=0.05). UP, NP and SA are no priming, nitrate potassium (2%) and salicylic acid (100 mg/L) priming treatments, respectively.

پرولین

با افزایش غلظت کادمیم میزان پرولین نیز افزایش یافت (شکل ۴). بیش‌ترین میزان پرولین مربوط به تیمار شاهد بدون پرایم و پرایم نیترات پتاسیم تحت بالاترین غلظت کادمیم است. در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک تیمار اسید سالیسیلیک و نیترات پتاسیم به‌ترتیب موجب کاهش معنی‌دار ۱۹ و ۲۲ درصد میزان پرولین نسبت به تیمار شاهد شدند (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<۰/۰۱). با افزایش غلظت کادمیم، میزان این پارامتر نیز افزایش یافت. در غلظت ۵۰ میلی-گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک تیمار نیترات پتاسیم موجب افزایش ۱۲ درصد این پارامتر نسبت به تیمار شاهد شد. در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک تیمار نیترات پتاسیم تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نشان نداد

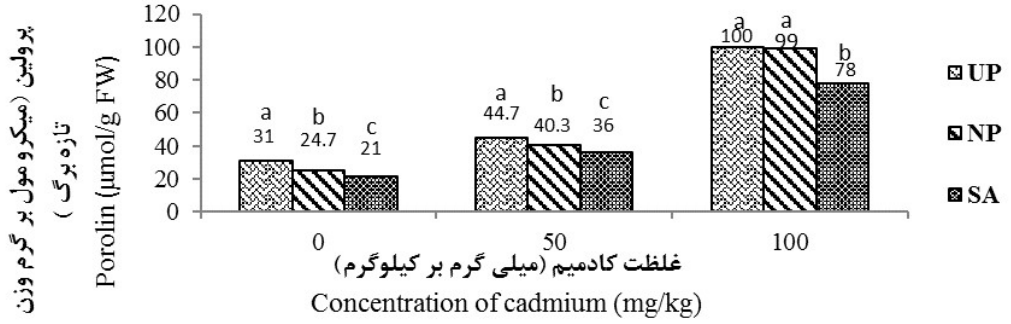
اما تیمار اسید سالیسیلیک موجب افزایش ۱۰ درصد این پارامتر نسبت به تیمار شاهد گردید.

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 ($P<۰/۰۱$). غلظت کادمیم اندام هوایی به موازات افزایش میزان کادمیم در خاک افزایش یافت. گیاهانی که بذر آن‌ها با نیترات پتاسیم و اسید سالیسیلیک 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 نیترات پتاسیم بیش‌تر از اسید سالیسیلیک بود (شکل ۶).

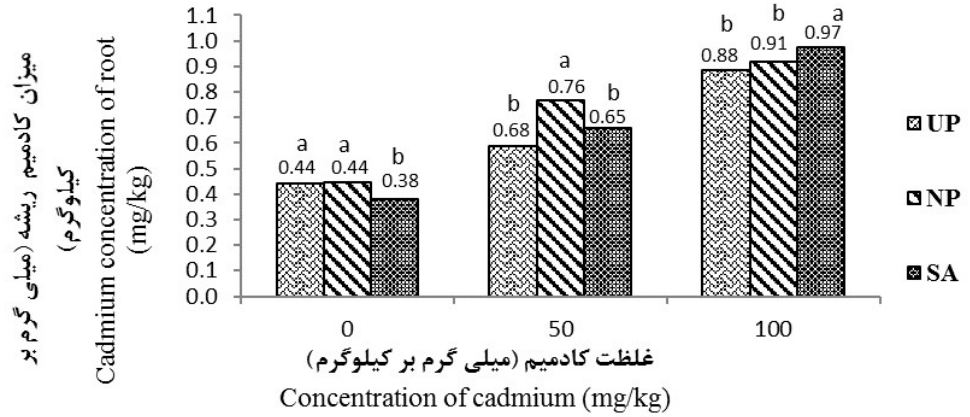
فاکتور انتقال

اثر تیمارهای مختلف پرایمینگ بذر و غلظت‌های مختلف کادمیم و اثرات متقابل آن‌ها بر فاکتور انتقال معنی‌دار شد ($P<۰/۰۱$). مقایسه میانگین‌ها نشان داد (شکل ۷) که با افزایش غلظت کادمیم میزان فاکتور انتقال کادمیم نیز افزایش یافت. در غلظت ۵۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک، اسید سالیسیلیک موجب افزایش ۱۰



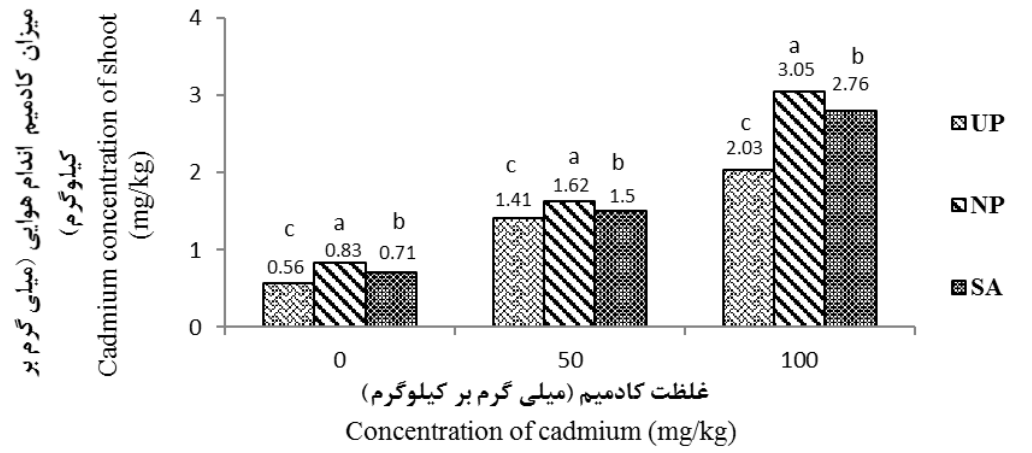
شکل ۴- اثر تیمارهای پرایمینگ بذر بر میزان پرولین گیاه آفتاب‌گردان در خاک‌های آلوده به کادمیم. در هر غلظت کادمیم میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند. UP، NP و SA به‌ترتیب تیمار بدون پرایمینگ، نیترات پتاسیم (۲ درصد) و اسید سالیسیلیک (۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشند.

Figure 4. Effect of seed priming treatments on proline content of sunflower plants in soils contaminated with cadmium. In each concentrations of cadmium, means with same letters haven't significant difference based on LSD test (*P*=0.05). UP, NP and SA are no priming, nitrate potassium (2%) and salicylic acid (100 mg/L) priming treatments, respectively.



شکل ۵- اثر تیمارهای پرایمینگ بذر بر غلظت کادمیم ریشه گیاه آفتاب‌گردان در خاک‌های آلوده به کادمیم. در هر غلظت کادمیم میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند. UP، NP و SA به‌ترتیب تیمار بدون پرایمینگ، نیترات پتاسیم (۲ درصد) و اسید سالیسیلیک (۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشند.

Figure 5. Effect of seed priming treatments on cadmium concentration of sunflower roots in soils contaminated with cadmium. In each concentrations of cadmium, means with same letters haven't significant difference based on LSD test (*P*=0.05). UP, NP and SA are no priming, nitrate potassium (2%) and salicylic acid (100 mg/L) priming treatments, respectively.



شکل ۶- اثر تیمارهای پرایمینگ بذر بر غلظت کادمیم اندام هوایی گیاه آفتاب‌گردان در خاک‌های آلوده به کادمیم. در هر غلظت کادمیم میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند. UP، NP و SA به‌ترتیب تیمار بدون پرایمینگ، نیترات پتاسیم (۲ درصد) و اسید سالیسیلیک (۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشند.

Figure 6. Effect of seed priming treatments on cadmium concentration of sunflower shoots in soils contaminated with cadmium. In each concentrations of cadmium, means with same letters haven't significant difference based on LSD test (P=0.05). UP, NP and SA are no priming, nitrate potassium (2%) and salicylic acid (100 mg/L) priming treatments, respectively.

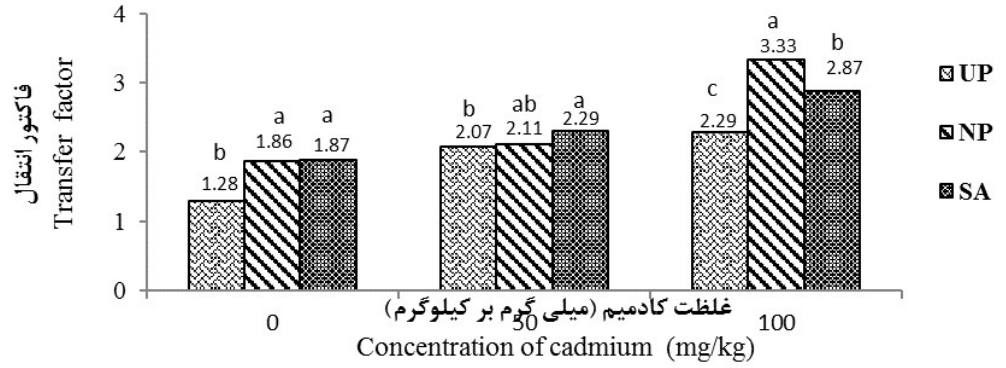
درصد این پارامتر نسبت به تیمار شاهد گردید اما تیمار نیترات پتاسیم نسبت به تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نشان نداد. در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر کادمیم بر کیلوگرم خاک، پرایمینگ بذرها با نیترات پتاسیم و اسید سالیسیلیک نسبت به تیمار شاهد موجب افزایش فاکتور انتقال شدند (به‌ترتیب ۴۵ و ۲۵ درصد).

بحث

ریشه گیاهان اولین مکان برخورد با فلزات سنگین مانند کادمیم است (Kabatta-Pendias and Pendias, 2001) و قبل از سایر اندام‌ها آسیب حاصل از کادمیم را تجربه می‌کند (Dass *et al*., 1997). این یون در ریشه در فضای آپوپلاستی یا در سطح دیواره سلول یا غشاء پلاسمایی تجمع می‌یابد (Schickler and Hadar, 1999). این تجمع در نهایت باعث اختلال در تغذیه معدنی سلول‌های ریشه شده و کاهش قابل‌توجهی در رشد ریشه مشاهده خواهد شد (Moya *et al*.,1993).

در تحقیق حاضر اسید سالیسیلیک مانع از کاهش شدید وزن خشک ریشه در محیط سمی کادمیم شد، که تأییدی بر نقش مثبت آن می‌باشد. اسید سالیسیلیک باعث تغییر در تعادل هورمون (Shakirova *et al,* 2003) و غیر فعال‌سازی یون کادمیم (Metwally *et al*., 2003) و حذف این فلز از فرآیندهای متابولیکی و کاهش سمیت کادمیم با وجود افزایش غلظت آن می‌گردد (McDonald, 2000). پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک قبل از جوانه‌زنی نشان می‌دهد که این هورمون به درون بذر انتقال یافته و بعضی فرآیندها را باعث می‌شود که به‌طور دائم توسعه دانه‌رست‌ها و پایداری در برابر کادمیم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. افزایش در وزن خشک ریشه توسط تیمار اسید سالیسیلیک ممکن است به‌دلیل القای فعالیت‌های متابولیک در جنین در نتیجه پرایمینگ باشد (Wahid *et al.,* 2008).

سمیت کادمیم می‌تواند منجر به کاهش سلول‌های مریستمی در ناحیه غشاء سلولی و برخی آنزیم‌ها در کوتیلدون و آندوسپرم شود. زمانی که فعالیت آنزیم آمیلاز و هیدرولیتیک تحت تأثیر کادمیم کاهش می‌یابد، مواد غذایی به ریشه‌های اولیه و اندام‌های اولیه نمی‌رسد و درنتیجه رشد گیاهچه کاهش می‌یابد (Kabir *et al*., 2008). به‌طورکلی می‌توان گفت کاهش در وزن گیاهچه می‌تواند به دلیل کاهش جذب عناصر غذایی ضروری مانند K، Ca، Mg و Fe (Gogorcena *et al*., 2000) و کاهش تولید زیست توده به دلیل اختلال در فرآیندهای



شکل ۷- اثر تیمارهای پرایمینگ بذر بر فاکتور انتقال کادمیم در گیاه آفتاب‌گردان کشت شده در خاک‌های آلوده به کادمیم. در هر غلظت کادمیم میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند. UP، NP و SA به‌ترتیب تیمار بدون پرایمینگ، نیترات پتاسیم (۲ درصد) و اسید سالیسیلیک (۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشند.

Figure 7. Effect of seed priming treatments on cadmium transfer factor in sunflower cultivated in soils contaminated with cadmium. In each concentrations of cadmium, means with same letters haven't significant difference based on LSD test (*P*=0.05). UP, NP and SA are no priming, nitrate potassium (2%) and salicylic acid (100 mg/L) priming treatments, respectively.

فتوسنتز، تنفس و متابولیسم نیتروژن (Balestrasse *et al.*, 2001) در اثر غلظت‌های سمی کادمیم باشد. در این آزمایش نیترات پتاسیم به عنوان بهترین تیمار پرایمینگ جهت جلوگیری از کاهش وزن خشک برگ و ساقه گیاهچه‌های آفتاب‌گردان شناخته شد. یون نیترات نمک نیترات پتاسیم در سنتز آنزیم‌ها و رونویسی DNA و RNA نقش دارد و یون پتاسیم قابلیت نفوذ دیواره سلولی را افزایش می‌دهد (Preece and Read, 1993) که موجب سهولت پویایی اندوخته‌های غذایی بذر از آندوسپرم به سمت محور جنینی، سنتز پروتئین‌ها، نوکلئوتیدها و به دنبال آن رشد بیشتر جنین (Umair, *et al.*, 2010) و در نتیجه افزایش وزن می‌گردد.

تخریب کلروفیل‌ها در برگ‌های مسن و جلوگیری از سنتز آن‌ها در برگ‌های جوان، از علل اولیه کلروز برگی در گیاهان رشدیافته در خاک حاوی کادمیم می‌باشد. مهار آنزیم‌های بیوسنتز کلروفیل و فعال‌سازی تجزیه آنزیمی، نقش بسیار مهمی در کاهش محتوی کلروفیل ایفا می‌کند. کادمیم جذب برخی عناصر غذایی از جمله منگنز، آهن و منیزیم را کاهش می‌دهد و با جایگزینی کادمیم به جای منیزیم موجود در حلقه پورفیرینی موجب تخریب کلروفیل می‌گردد (Parmar *et al*., 2013). کاهش میزان کلروفیل در گیاه توسط کادمیم در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Prasad *et al*., 2004). افزایش غلظت کلروفیل a در حضور کادمیم توسط تیمار نیترات پتاسیم را می‌توان 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 (Szczerba *et al*., 2008). پتاسیم غلظت کلروفیل را افزایش می‌دهد و عمل کربن‌گیری را بیش‌تر می‌نمایند (Mohammadi *et al.*, 2010). عنصر کادمیم به‌عنوان آغازکننده پراکسیداسیون لیپید و غشا و تحریک‌کننده تولید گونه-های فعال اکسیژن شناخته شده‌اند (Sharma *et al.*, 2004). یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش کلروفیل‌ها، تخریب آن‌ها به وسیله گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشد (Navari-Izzo *et al*., 1998).

افزایش میزان کلروفیل b در اثر تیمار اسید سالیسیلیک احتمالاً به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های دفاعی می‌باشد. اعمال اسید سالیسیلیک به‌طور غیرمستقیم ممکن است سمیت کادمیم را از طریق توسعه یک پاسخ ضد تنش شامل تنظیم سیستم آنتی‌اکسیدانتی کاهش دهد (Tran and Popova, 2013). دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت تحت تنش کادمیم در اثر پرایمینگ، می‌تواند در اثر افزایش ساخت و سرعت سنتز

DNA در بافت جنین باشد (Ahmadpur dehkordi and Balochi, 2013). فعالیت‌های مکانیسم‌های دفاعی مانند آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، تحت تیمارهای پرایمینگ می‌تواند در کاهش سمیت کادمیم درگیر باشد. در نتیجه کاهش سمیت، میزان تخریب کلروفیل b کاهش می‌یابد. محتوی کاروتنوئید گیاهان در معرض کادمیم، یک الگوی منظم را نشان نمی‌هد و در گیاهان مختلف ممکن است افزایش یا کاهش یابد. در بسیاری از موارد افزایش در میزان کاروتنوئیدها در اثر کادمیم گزارش شده است. به‌طور مثال در ذرت رشد یافته در محیط حاوی ۱۰۰ میکرومول کادمیم، ۱۰ روز بعد از تیمار، افزایش در میزان کاروتنوئید مشاهد شد (Parmar *et al.,* 2003). افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مانند کاروتنوئید یکی از مکانیسم‌های دفاعی گیاهان در برابر فلزات سنگین است (Smeet *et al*., 2005). در این تحقیق نیز به موازات افزایش سمیت کادمیم، بر میزان کاروتنوئید افزوده شد. تیمار اسید سالیسیلیک در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم موجب افزایش میزان کارتنوییدها گردید زیرا اعمال اسید سالیسیلیک به‌طور غیر مستقیم ممکن است سمیت کادمیم را از طریق توسعه یک پاسخ ضد تنش شامل تنظیم سیستم آنتی‌اکسیدانتی کاهش دهد (Tran and Popova, 2013).

نشت املاح از اجزاء گیاهی، منعکس‌کننده وضعیت غشاء سلولی است. مشخص شده است که اثرات زیان‌بار ناشی از آسیب اکسیداتیو فلزات سنگین مانند کادمیم می‌تواند ساختار غشاء را به علت پراکسیداسیون لیپیدی تخریب کند و در نتیجه، باعث نشت املاح گردد (Agrawal and Mishra, 2009). تیمار اسید سالیسیلیک سبب کاهش نشت الکترولیتی ناشی از تنش کادمیم شد، که این امر، نقش این ترکیب را در مقابل آسیب اکسیداتیو تأیید می‌کند (Krantev *et al*., 2008). تیمار با اسید سالیسیلیک اثر محافظتی بر ثبات غشاء دارد که این موضوع توسط افزایش سطح چربی‌ها و تغییرات در ترکیب اسید چرب آن‌ها در هنگام تیمار با اسید سالیسیلیک اثبات شد (Popova *et al*., 2012). گزارش شده است که کاهش نشت الکترولیتی در گیاهچه بذر پرایم‌شده بامیه ممکن است با ترمیم بهتر غشاء در طول فرآیند پیش‌خیسانی و ایجاد پاسخ‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت که می‌توانند محافظت در برابر آسیب اکسیداتیو را فراهم کنند، همراه باشد (Nawaz *et al*., 2012). تجمع میزان زیادی از پرولین پاسخ تطبیقی گیاهان تحت شرایط پر تنش می‌باشد (Surasak *et al.,* 2002). اغلب بیان شده است که تجمع پرولین ممکن است به تنظیم اسمزی در سطح سلولی و تثبیت ساختار ماکرومولکول‌ها و اندامک‌ها 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 (Kasaiet *et al*., 1998). در مطالعه‌ای مشخص شد که سلول‌های تنباکو در معرض تنش کادمیم سطح بالایی از پرولین را انباشته و از این طریق می‌توانند اثر مهاری کادمیم در مقدار رشد سلول را کاهش دهند (Islam *et al.,* 2009). در گیاهچه‌ی بذر تحت تیمار با اسید سالیسیلیک میزان پرولین کم‌تری نسبت به بذر شاهد انباشته شده بود زیرا تیمار سالیسیلسک اسید سبب کاهش سمیت کادمیم می‌شود در این صورت گیاه به تجمع کم‌تر پرولین روی می‌آورد (Krantev *et al.,* 2008).

در سمی‌ترین غلظت کادمیم اسید سالیسیلیک موجب افزایش غلظت کادمیم ریشه شد که دلیل آن‌را می‌توان به کاهش سمیت کادمیم توسط آن نسبت داد. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، علی رغم افزایش غلظت کادمیم میزان پرولین کاهش یافت که دلیلی بر اثر مثبت آن بر کاهش سمیت کادمیم می‌باشد. در نتیجه کاهش سمیت کادمیم، ریشه توانسته غلظت بالاتری از این فلز را در خود تجمع دهد. افزایش غلظت کادمیم در اندام هوایی، توسط نیترات پتاسیم را می‌توان 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 می‌شود (Cakmak, 2005) در نتیجه با وجود شرایط سمی مقاومت گیاه به کادمیم توسط پتاسیم افزایش یافته و گیاه قادر به تجمع بیش‌تر کادمیم شده است. اسید سالیسیلیک و نیترات پتاسیم به‌ترتیب به‌عنوان بهترین تیمار پرایمینگ از لحاظ افزایش فاکتور انتقال در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم شناخته شدند. فاکتور انتقال از تقسیم غلظت کادمیم اندام هوایی به ریشه به دست می‌آید. بنابراین افزایش غلظت کادمیم در اندام هوایی توسط تیمارهای پرایمینگ (شکل ۶) نسبت به غلظت کادمیم

ثبت‌شده توسط آن‌ها در اندام ریشه (شکل ۵) موجب افزایش فاکتور انتقال گردید.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که کادمیم موجب کاهش پارامترهای جوانه‌زنی رنگدانه‌های مهم فتوسنتزی شد. با این حال اعمال اسید سالیسیلیک و نیترات پتاسیم 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 کاراتنوئید شد و از افزایش میزان نشت الکترولیتی و پرولین جلوگیری کرد که نتیجه آن رشد بهتر گیاهچه‌ها در شرایط سمی بود. بنابراین، با توجه به اثرات سودمند اسید سالیسیلیک و نیترات پتاسیم بر کاهش سمیت کادمیم در خاک‌های آلوده و به طبع آن افزایش بردباری گیاه آفتاب‌گردان، می‌توان ازاین تکنیک به‌عنوان فناوریی سودمند جهت افزایش کارایی گیاه‌پالایی 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 گیاه‌پالایی‌می‌شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان، مراتب تشکر و قدردانی خود را از مسئولین دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد جهت همکاری ابراز می‌دارند.

منابع

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. **(Journal)**

Ahmadpur Dehkordi, S. and Baluchi, H.R. 2012. Priming effect on antioxidant enzymes and lipid peroxidation of cell membranes of seedlings black cumin (*Nigella sativa* L.) under salinity and drought. Electronic Journal of Crop Production, 5: 63-85. (In Persian)**(Journal)**

Ashrafi, E. and Razmju, J. 2010. The effect of physiological and biochemical characteristics of safflower under drought stress hydropriming. Journal of Crop Ecophysiology, 1: 34-43. (In Persian)**(Journal)**

Balestrasse, K.B., Gardey, L., Gallego, S.M. and Tomaro, M.L. 2001. Response of antioxidant defense system in soybean nodules and roots subjected to cadmium stress. Australian Journal of Plant Physiology, 28: 497-504. **(Journal)**

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. **(Journal)**

Cakmak, I. 2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. Plant Nutrition and Soil Science, 168: 521– 530. **(Journal)**

Chaffei, C., Gouia, H. and Ghorbel, M.H. 2003. Nitrogen metabolism in tomato plants under cadmium stress. Journal of Plant Nutrition, 26: 1617-1634. **(Journal)**

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. **(Journal)**

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. **(Journal)**

Dass, P., Samantaray, S. and Rout, G.R. 1979. Studies on cadmium toxicity in plants. Environmental Pollution, 98: 29-36. **(Journal)**

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. **(Journal)**

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. **(Journal)**

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. **(Journal)**

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. **(Journal)**

Halmer, P. 2004. Methods to improve seed performance in the field. In: Handbook of Seed Physiology, Applications to Agriculture (eds Benech-Arnold, R.L. Sánchez, R.A.) Haworth Press, Inc, New York, Pp. 125–166. **(Book)**

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. **(Journal)**

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. **(Journal)**

Kabatta-Pendias, A. and Pendias, H. 2001. Trace Elements in Soils and Plants. In: A primer (eds Press, C.R.C and Boca Raton, F. L. **(Book)**

Kabir, M., Iqbal, M.Z., Shafigh, M. and Faroogi, Z.R. 2008. Reduction in germination and seedling growth of *Thespesia populnea* caused by lead and cadmium treatments. Pakistan Journal of Botany, 40: 2419-2426. **(Journal)**

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. **(Journal)**

Krantev, A., Yordanova, R., Janda, T., Szalai, G. and Popova, L. 2008. Treatment with salicylic acid decreases the effect of cadmium on photosynthesis in maize plants. Journal of Plant Physiology, 165: 920–931. **(Journal)**

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. **(Journal)**

Lombi, E., Zhao, F., Dunham, S. and McGrath, P. 2001. Phytoremediation of heavy metal-contaminated. Journal of Environmental Quality, 30: 1919-1926. **(Journal)**

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. **(Journal)**

McDonald, M.B. 2000. Seed priming. In: Seed Technology and Biological Basis, M. Black and J. D. Bewley (Eds.), Sheffield Academic Press, England, Pp. 287-325. **(Book)**

Metwally, A., Finkemeier, I., George, M. and Dietz, K.J. 2003. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. Plant Physiology, 132: 272-281. **(Journal)**

Mohammadi, M.D., Habibi, M.R., Ardakani, W. and Asgharzadih, A. 2010. Effects of biological fertilizers, super absorbent polymer and humic acid on chlorophyll content, membrane lipid and enzyme activity of superoxide dismutase and catalase activity in annual medic (*Medicago scutellata*) under cadmium toxicity. Iranian Journal of Agronomy and Plant Btreeding, 6: 65-79. (In Persian)**(Journal)**

Moya, J.L., Ros, R. and Picazo, J. 1993. Influence of cadmium and nickel on growth, net photosynthesis and carbohydrate distribution in rice plants. Photosynthesis Research, 36: 75-80. **(Journal)**

Naderi, M.R., Danesh-Shahraki, A. and Raiesi, F. 2014. Evaluation the efficiency of six sunflower cultivars in phytoextraction of lead from a Pb-bearing soil for long term. Journal of Water and Soil, 28: 597-605. (In Persian)**(Journal)**

Navari-Izzo, F., Quartacci, M.F., Pinzino, O., Dalla Vecchia, F. and Sgherii, C.L.M. 1998. Thilakoid-bound and stromal antioxdative enzymes in wheat treated with excess copper. Plant Physiology, 104:630 – 638. **(Journal)**

Nawaz, A., Amjad, M., Jahangir, M.M., Khan, S.M., Cui, H. and Hu, J. 2012. Induction of salt tolerance in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seeds through sand priming. Australian Journal of Crop Science, 6: 1199–1203. **(Journal)**

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. **(Journal)**

Popova, L.P., Maslenkova, L.T., Ivanova, A.P. and Stoinova, Z. 2012. Role of Salicylic Acid in Alleviating Heavy Metal Stress. In: Environmental Adaptations and Stress Tolerance of Plants in the

Era of Climate Change (eds. Ahmad, P. and Prasad, M.N.V) New York, Dordrecht, Heidelberg, London, Pp. 441–466. **(Book)**

Prasad, S., Dwivedi, R., Zeeshan, M. and Singh, R. 2004. UV-B and cadmium induced changes in pigments photosynthetic electron transport activity, antioxidant levels and antioxidative enzyme activities of *Riccia sp*. Acta Physiologia Plantarum, 26: 423-430. **(Journal)**

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. **(Book)**

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. **(Journal)**

Schickler, H. and Hadar, C. 1999. Response of the genus *Alyssum*. Acta Physiologia Plantarum, 105: 39-45. **(Journal)**

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. **(Journal)**

Sharma, S.S., Kaul, S., Metwally, A., Goyal, K.C., Finkemeier, I.K. and Dietz. J. 2004. Cadmium toxicity in barley (*Hordeum vulgar*) as affected by varying Fe nutritional status. Plant Science, 166: 1287-1295. **(Journal)**

Smeet, 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* aftar Cd application. Plant Physiology and Biochemistry, 43: 437-444. **(Journal)**

Smeet, 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* aftar Cd application. Plant Physiology and Biochemistry, 43: 437-444. **(Journal)**

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. Plant Cell, 14: 2837–2847. **(Journal)**

Szczerba, M.W., Britto, D.T. and Kronzucker, H.J. 2008. K+ transport in plants: Physiology and Molecular Biology, 166: 447-466. **(Journal)**

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. **(Journal)**

Tran, T.A. and Popova, L.P. 2013. Functions and toxicity of cadmium in plants: Recent advances and future prospects. Turkish Journal of Botany, 37: 1-13. **(Journal)**

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. **(Journal)**

Verbruggen, N. and Hermans, C. 2008. Proline accumulation in plants: a review. Amino Acids, 35: 753-759. **(Journal)**

Wahid, A.A., Noreen, S., Basra, M.A., Gelani, S. and Farooq, M. 2008. Priming-induced metabolic changes in sunflower (*Helianthus annuus*) achenes improve germination and seedling growth. Botanical Studies, 49: 343-350. **(Journal)**

Wllburn, 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, 307-313. **(Journal)**

Yadav, S.K. 2010. Heav 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. **(Journal)**

Effect of salicylic acid and potassium nitrate pretreatment on enhancing the sunflower tolerance in contaminated soils with cadmium

Najmeh Eftekhar[1], Seyfollah Fallah[2*], Ali Abbasi Sourki[3], Habib Khodaverdiloo[4], Akram Rahimi[5]

Received: January 30, 2017 Accepted: November 7, 2017

Abstract

In the contaminated soils, the poor plant establishment and reduction in plant biomass will reduce the efficiency of phytoremediation. In this study the effect of sunflower seed pretreatment with salicylic acid (100 mg/L) and potassium nitrate (2%) on its enhancing tolerance under different concentrations of cadmium (0, 50 and 100 mg/kg) were evaluated. Results showed that increasing of cadmium concentration significantly reduced the root dry weight, stem dry weight and leaf dry weight, chlorophyll a, chlorophyll b and increased carotenoids, proline content and electrolyte leakage. Seed priming with salicylic acid and potassium nitrate improved the damage effect of contaminated soil with cadmium on mentioned parameters. Under cadmium stress, potassium nitrate increased stem dry weight, leaf dry weight, chlorophyll a, aboveground cadmium concentration, and translocation factor. However, salicylic acid increased root dry weight, chlorophyll b and root cadmium concentration. Under highest concentration of cadmium, electrolyte leakage and proline content were reduced by salicylic acid (by 18%, 22%, respectively). In general it can be concluded that salicylic acid and potassium nitrate with increasing photosynthesis pigments and proline content and reducing electrolyte leakage increased of sunflower tolerance in contaminated soils with cadmium.

Key words: Electrolyte leakage; Heavy metal; Photosynthesis; Phytoremediation

How to cite this article

Eftekhar, N., Fallah, S., Abbasi Sourki, A., Khodaverdiloo, H. and Rahimi, A. 2019. Effect of salicylic acid and potassium nitrate pretreatment on enhancing the sunflower tolerance in contaminated soils with. Iranian Journal of Seed Science and Research, 6(2): 161-175. (In Persian)(**Journal)**

DOI: 10.22124/jms.2019.3595

COPYRIGHTS

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research

The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit http://jms.guilan.ac.ir/

1. MSc Student of Seed Science and Technology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
2. Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
3. Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
4. Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
5. Assistant Professor, Department of Chemistry, Branch Doroud, Islamic Azad University, Doroud, Iran
*Corresponding author: falah1357@yahoo.com