نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۹، ص. ۱۶۷-۱۵۵

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 1, March-April 2020, p. 155-167

اثر برخی تنظیم کننده‌های رشد و سورفکتانت بر گیاه گلرنگ در خاک آلوده به کروم

سمیرا کشاورز[۱]- رضا قاسمی فسایی[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۶

چکیده

کاربرد تنظیم کننده‌های رشد و سورفکتانت می‌تواند روش مؤثری برای مقابله با تنش‌هایی مانند آلودگی فلزات سنگین باشد. به منظور بررسی اثر تنظیم کننده‌های رشد و سورفکتانت بر رشد و غلظت عناصر و شاخص‌های گیاه‌پالایی در گیاه گلرنگ، آزمایشی گلخانه‌ای در قالب طرح کاملا تصادفی و به صورت فاکتوریل ۳×۴ شامل سه سطح سورفکتانت (شاهد، ۲/۵ و ۵ میلی‌مول در کیلوگرم) و چهار سطح تنظیم کننده رشد گیاه (شاهد، جیبرلیک اسید، ایندول استیک اسید و بنزیل آمینوپورین) با سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد اضافه کردن سورفکتانت و تنظیم کننده‌های رشد باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی، ضریب تجمع زیستی، شاخص جذب، غلظت و جذب کروم در اندام هوایی شدند. افزودن سورفکتانت باعث کاهش غلظت و جذب آهن در غیاب تنظیم کننده‌های رشد شد، اما در حضور تنظیم کننده‌های رشد گیاهی غلظت آهن افزایش می‌یابد. کاربرد ۵ میلی‌مول بر کیلوگرم سورفکتانت میانگین غلظت منگنز، مس و روی را کاهش داد. درحالی‌که اضافه کردن ۲/۵ میلی‌مول بر کیلوگرم سورفکتانت غلظت فلزات را افزایش داد. اگرچه افزودن ۵ میلی‌مول بر کیلوگرم سورفکتانت وزن خشک را افزایش می‌دهد اما اثر مطلوبی روی افزایش غلظت عناصر در گیاه ندارد. بنظر می‌رسد که استفاده از تنظیم کننده‌های رشد گیاه مقاومت گیاه را به سمیت کروم افزایش می‌دهد که احتمالا از طریق افزایش جذب عناصر است. با توجه به نتایج استفاده از سورفکتانت به همراه تنظیم کننده‌های رشد گیاه می‌تواند علاوه بر افزایش توانایی گلرنگ در مقابله با سمیت کروم، گیاه‌پالایی را نیز افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: ایندول استیک اسید، بنزیل آمینوپورین، توین۸۰، جیبرلیک اسید، عناصر کم مصرف

مقدمه

با افزایش جمعیت کره زمین آلودگی‌های ایجاد شده توسط انسان نیز زیادتر می‌شود. یکی از آلودگی‌های خطرناک محیط زیست آلودگی خاک توسط فلزات سنگین است. فلزات سنگین به گروهی از فلزات (۵۳ عنصر) با جرم مخصوص بیش از پنج گرم بر سانتی‌متر مکعب اطلاق می‌شود. برخی فلزات سنگین مانند آهن، منگنز، روی، مس، کبالت و مولیبدن برای رشد موجودات زنده ضروری هستند و برخی همچون نیکل در سیستم آنزیمی برخی موجودات زنده نقش دارند. در این میان فلزاتی همچون سرب، کادمیوم، اورانیم، تالیم، کروم، نقره و جیوه سمی می‌باشند (۱). فلز سنگین کروم در صنایع فولاد، نساجی، رنگ‌سازی، صیقل و همچنین به عنوان کاتالیزور در کارخانه‌ها استفاده می‌شوند (۴). آبیاری مداوم گیاهان با آب‌های آلوده صنعت باعث افزایش آلودگی‌های آلی و غیر آلی خاک می‌شود (۱۶). در ایران علاوه بر استفاده از کروم در صنعت، این فلز سنگین در سازندهای افیولیتی وجود دارد و منابع آب و خاک منطقه را آلوده می‌کند، و به دنبال آن سلامت انسان و محیط زیست را با خطر مواجه می‌کند. کروم یکی از مهم‌ترین فلزات سنگین است که در طبیعت با ظرفیت های (۶+-۱-) دیده می‌شود و خطر سمیت آن نیز اصولا به وضعیت اکسیدی آن بستگی دارد (۱۰). به عنوان مثال Cr^{+3} به عنوان یک عنصر ضروری برای متابولیسم گلوکز و لیپید و به عنوان یک کوفاکتور برای افزایش فعالیت انسولین است (۲)، اما Cr^{+6} با حلالیت بیشتر از Cr^{+3}، فلزی سرطان‌زا است و موجب بافت مردگی، برونشیت، آسم و درماتیت در انسان می‌شود (۱۵). کروم حتی در غلظت‌های پایین نیز خطرناک است و گیاهان را با کاهش جوانه‌زنی بذر، کاهش رشد ریشه و ساقه، و کاهش تولید ماده خشک مواجه می‌کند (۱۸). این اختلالات در رشد گیاه ممکن است ناشی از اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیک طبیعی مثل فتوسنتز، نسبت آب، عناصر غذایی، و فعالیت‌های آنزیمی توسط Cr^{+6} باشد (۳۲).

خاک تمایل زیادی به ارتباط و تشکیل کمپلکس با فلزات سنگین

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
(*- نویسنده مسئول: Email: ghasemif@gmail.com)
DOI: 10.22067/jsw.v34i2.81521

www.SID.ir

Archive of SID

و کاهش حلالیت آنها دارد، به منظور از بین بردن این محدودیت و افزایش دسترسی فلزات سنگین استفاده از تیمارهای شیمیایی امیدوار کننده است (۸). اخیرا محققان زیادی کارایی سورفکتانت‌ها را در حذف ترکیبات آلی و فلزات سنگین مورد مطالعه قرار داده‌اند. سورفکتانت‌ها معمولا ترکیبات آلی هستند که دارای گروه‌های هیدروفوبیک (آبگریز) و گروه‌های هیدروفیلیک (آبدوست) هستند که باعث افزایش حلالیت فلزات سنگین در محلول آبی و تسهیل جذب آنها به ترکیبات آبگریز می‌شود. سورفکتانت‌ها بر اساس نوع بار گروه های عامل تقسیم بندی می‌شوند. سورفکتانت‌های غیر یونی در قسمت سر خود بی‌بار هستند، اگر بار منفی باشد سورفکتانت آنیونی و اگر مثبت بود سورفکتانت کاتیونی و گاهی قسمت سر دارای هر دو بار مثبت و منفی است که به آن آمفوتریک می‌گویند (۲۷). استفاده از سورفکتانت می‌تواند جذب فلز روی سطح خاک را کاهش داده و موجب تحرک بیشتر آنها شود (۲۳). اما استفاده از سورفکتانت‌های کاتیونی به علت جذب توسط بار منفی ذرات خاک مناسب نیست. سورفکتانت‌ها جذب فلزات از خاک را بهبود می‌بخشند (۵) پس می توانند به منظور گیاه پالایی مورد استفاده قرار گیرند. بنظر می‌رسد که فلزات سنگین عمدتا از طریق ترکیب با پراکسیدهای مرتبط با سورفکتانت و تبادل یونی از خاک حذف می‌شوند (۳۶). بررسی پالایش مس کادمیوم و سرب از خاک با استفاده از سدیم دو دسیل سولفات آنیونی، سدیم دی اکتیل سولفو سوکسینات آنیونی و تریتیون غیر آنیونی نشان داد که سدیم دو دسیل سولفات مؤثرترین سورفکتانت در برطرف کردن آلودگی فلزات بود و پالایش مس، کادمیوم و سرب را به ترتیب ۵/۵، ۲۸/۸ و ۲۹/۱ برابر افزایش داد (۲۹). توین ۸۰ یک سورفکتانت غیر یونی است که برای افزایش حلالیت ترکیبات آلی استفاده می‌شود. این سورفکتانت به علت پتانسیل حلالیت بالا، قیمت نسبتا ارزان و قطبیت مناسب است (۱۳). بررسی اثر گیاه پالایی به همراه سورفکتانت در شرایط مختلف و تعیین سطح بهینه آن برای گیاه پالایی حائز اهمیت است (۷).

امروزه محلول‌پاشی برگی عناصر غذایی، آمینو اسیدها، اسید هیومیک، اسید فولویک، عصاره جلبک‌های دریایی و تنظیم کننده‌های رشد گیاهی مثل جیبرلیک اسید، ایندول استیک اسید و بنزیل آمینوپورین با اهداف مختلفی همچون افزایش محصول، کاهش مواد شیمیایی مضر و افزایش مقاومت گیاه در تنش‌های شوری، خشکی و فلزات سنگین مورد استفاده قرار می‌گیرند. تنظیم کننده‌های رشد گیاهی که در حال حاضر در دنیا دارای کاربردهای عملی متعدد و مهم در کشاورزی هستند شامل اکسین‌ها، سایتوکینین‌ها، جیبرلین‌ها، آبسزیک اسید، براسینواستروییدها و جاسمونات‌ها هستند (۲۴). این مواد دارای طیف وسیعی از اثرات بر گیاهان هستند و فعالیت آنها بستگی به غلظت مورد استفاده و عوامل محیطی دارد (۱۲). این ترکیبات به عنوان فرستنده‌های شیمیایی برای تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی طبیعی گیاهان، باعث افزایش پایداری گیاه در برابر تنش‌های زیستی و غیر زیستی و کاهش اثر سمیت فلزات سنگین بر روی گیاهان می‌شوند (۲۰). کاربرد بیولوژیک تنظیم کننده‌های رشد گیاهی می‌تواند سمیت کروم در گیاهان را تعدیل کند که احتمالا به وسیله حفظ تعادل هورمونی گیاهان تحت تنش فلزات سنگین است (۱۹). جیبرلیک اسید یکی از مهم‌ترین تنظیم کننده‌های رشد است که پاسخ گیاهان را به تنش‌های بیرونی محیطی تنظیم کرده و تعدادی از ژن‌های تحریک کننده تنش را کنترل می‌کند (۲۸). جیبرلیک اسید تنش کروم را با بهبود سطح آنتی اکسیدان‌ها و پایداری فعالیت آنزیمی برای جذب نیتروژن باعث افزایش رشد گیاه می‌شود. بنابراین ممکن است کاربرد خارجی جیبرلیک اسید باعث تنظیم تعادل هورمونی داخلی گیاهان در وضعیت تنش کروم شود و به دنبال آن باعث بهبود رشد و عملکرد گیاه مورد نظر شود (۳۲). فراوانترین اکسین طبیعی ایندول استیک اسید است. ایندول استیک اسید طویل شدن سلول گیاهی، آغاز ریزش جانبی و رشد و نمو گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۶). بنزیل آمینوپورین جزو سایتوکینین‌ها بوده که به عنوان مفیدترین و مؤثرترین سایتوکینین جهت تکثیر شناخته شده و می‌تواند غالبیت انتهایی را کاهش و باعث جلوگیری از افزایش انتهایی روی جوانه‌های جانبی و تحریک تکثیر شاخساره‌های جانبی از این جوانه‌ها شود (۹). با برگ‌پاشی تنظیم کننده‌های رشد مانند ایندول استیک اسید، بنزیل آمینوپورین و سالسیلیک اسید، جذب سرب توسط گیاه ذرت به طور معنی‌داری افزایش یافت (۳۳). اضافه کردن تنظیم کننده‌های رشد یکی از روش‌هایی است که باعث افزایش کارایی گیاه پالایی گیاهان و افزایش تحمل گیاه به تنش می‌شوند (۱۶). به طور کلی ممکن است استفاده از تنظیم کننده‌های رشد در گیاه پالایی کروم نیز مؤثر باشند.

در میان روش‌های بیولوژیکی گیاه پالایی یک روش مؤثر سازگار با محیط زیست است که اساس آن استفاده از انرژی خورشیدی است. در سال‌های اخیر استفاده از گیاه پالایی به همراه سایر افزودنی‌ها (مواد) مورد توجه محققان قرار گرفته است (۱۷). گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) یک گیاه اقتصادی است که در قدیم از گل آن به عنوان یک منبع رنگ برای رنگ‌آمیزی غذا و پارچه استفاده می‌شده است. بعدها از آن به عنوان روغن خوراکی، غذای حیوانات مانند پرندگان، استفاده‌های دارویی و سوخت‌های زیستی مورد استفاده قرار گرفته است (۳۵). مطالعات نشان می‌دهد که سطح آستانه آسیب گیاه گلرنگ در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین ۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است و برای کاشت آن در خاک آلوده به فلزات سنگین باید اقدامات کنترلی مناسب همچون استفاده از اصلاح کننده ها انجام شود (۲۱). این مطالعه عمدتا بر دو نوع از اصلاح کننده‌ها تمرکز دارد تنظیم کننده‌های رشد و سورفکتانت توین ۸۰. این مطالعه در درجه اول پتانسیل گیاه پالایی گلرنگ در خاک آلوده به

www.SID.ir

Archive of SID

کروم مورد بررسی قرار می‌دهد و در درجه دوم اثرات سورفکتانت، تنظیم کننده‌های گیاهی و استفاده همزمان تنظیم کننده‌های رشد و سورفکتانت را مورد ارزیابی قرار می‌دهد.

مواد و روش‌ها

جهت انجام این پژوهش از لایه ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر خاک از سری دانشکده کوی اساتید واقع در استان فارس منطقه باجگاه با عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۴۴ دقیقه و ۵۰ ثانیه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۴ دقیقه و ۱۰ ثانیه شرقی با نام علمی Fine, mixed, (calcareous), mesic, Typic calcixerep تهیه شد. خاک هوا خشک شده و از الک دو میلی‌متر عبور داده شد و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری شد. بافت خاک با روش هیدرومتر (۱۱)، مقدار پ‌هاش در خمیر اشباع به وسیله پ‌هاش متر، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع به وسیله هدایت‌سنج الکتریکی (۳۱). ماده آلی به روش اکسایش با بی‌کرومات پتاسیم و تیتر کردن با فروسولفات آمونیوم (۳۰)، غلظت آهن، روی، مس و منگنز به روش عصاره‌گیری با دی تی پی ا (۲۵) اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

آزمایشی در قالب طرح کاملا تصادفی و به صورت فاکتوریل ۳×۴ شامل سه سطح سورفکتانت (شاهد، ۲/۵ میلی‌مول در کیلوگرم و ۵ میلی‌مول در کیلوگرم) و چهار سطح تنظیم کننده رشد (شاهد، جیبرلیک اسید، ایندول استیک اسید و بنزیل آمینوپورین) با سه تکرار و تعداد نهایی ۳۶ گلدان انجام شد. سورفکتانت غیر یونی تویین ۸۰ (Polyethylene glycol sorbitan monooleate) با فرمول شیمیایی $C_{64}H_{124}O_{26}$ و وزن ملکولی ۱۳۱۰ گرم بر مول تهیه شد (۳). پس از اعمال تیمار سورفکتانت یک کیلوگرم خاک عبور یافته از الک دو میلی‌متر در هرکدام از گلدان‌ها ریخته شد و به منظور جبران کمبود احتمالی برخی عناصر غذایی بر اساس نتایج آزمون خاک اضافه شدند، بدین صورت که ۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک از منبع اوره ۴۶ درصد، ۱۰ میلی‌گرم منگنز در کیلوگرم خاک از منبع سولفات منگنز، ۵ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک از منبع سولفات روی، ۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک آهن از منبع سکسترین آهن ۶ درصد و ۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم مس از منبع سولفات مس به خاک اضافه شد. کل گلدان‌ها در سطح ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم با کروم آلوده شدند و به مدت یک ماه انکوباسیون شدند. در طول زمان انکوباسیون نمونه‌های خاک با آب مقطر استریل در حد ظرفیت مزرعه نگهداری شد. بذرهای گلرنگ از رقم گلدشت (*Carthamus tinctorius* L.) پس از ضدعفونی با هیپوکلرید سدیم ۱۰ درصد، سه بار با آب مقطر شست و شو داده شد و برای کاشت آماده گردید. در هر گلدان پنج بذر گلرنگ کاشته شد. گلدان‌ها در گلخانه با شدت روشنایی ۱۰۰۰۰ لوکس و ۱۰:۱۴ ساعت دوره روشنایی و دمای ۱۵-۲۸ درجه سلسیوس نگهداری شدند و روزانه با آب مقطر در حدود ظرفیت مزرعه با وزن کردن هر گلدان و افزودن آب مقطر آبیاری شدند. تیمار تنظیم کننده‌های رشد به صورت محلول‌پاشی در سه مرحله ۲۰، ۳۰ و ۴۰ روز با غلظت یک میلی‌مولار پس از کاشت اعمال شدند.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

Table 1- Some physical and chemical characteristics of the used soil

ویژگی Property	مقدار/تعریف Amount/difinition
کلاس بافت Soil textural class	لوم رسی شنی Sandy clay loam
اسیدیته pH	7.6
قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($ds.m^{-1}$)	2.15
ماده آلی Organic matter	1.3
آهن قابل عصاره گیری بادی تی پی ا (میلی‌گرم درکیلوگرم) DTPA extractable Fe ($mg.kg^{-1}$)	5.1
روی قابل عصاره گیری بادی تی پی ا (میلی‌گرم درکیلوگرم) DTPA extractable Zn ($mg.kg^{-1}$)	1.3
مس قابل عصاره گیری بادی تی پی ا (میلی‌گرم درکیلوگرم) DTPA extractable Cu ($mg.kg^{-1}$)	0.6
منگنز قابل عصاره گیری بادی تی پی ا (میلی‌گرم درکیلوگرم) DTPA extractable Mn ($mg.kg^{-1}$))	3

www.SID.ir

Archive of SID

۶۰ روز پس از کاشت گیاهان از محل طوقه برداشت شدند و اندام هوایی با آب مقطر شسته شدند و در آون با دمای ۶۵ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند و آسیاب شدند. غلظت کروم، آهن، روی، مس و منگنز در اندام هوایی به روش خاکستر خشک با اسید کلریدریک دو نرمال و با دستگاه جذب اتمی مدل (Shimadzu AA-670) اندازه‌گیری شد.

داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS 9.4 تجزیه و تحلیل و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

برای محاسبه ضریب تجمع زیستی[1] (BAC) از رابطه ۱ استفاده شد. شاخص جذب[2] (UI) نیز از حاصلضرب ضریب ماده خشک در غلظت عنصر در اندام هوایی (میلی‌گرم در کیلوگرم) به دست آمد (رابطه ۲). ضریب ماده خشک از تقسیم وزن خشک گیاه به حداکثر وزن خشک به دست آمده در آزمایش محاسبه گردید (رابطه ۳) (۳۴).

$$\text{ضریب تجمع زیستی} = \frac{\text{غلظت کروم در گیاه (میلی‌گرم در کیلوگرم)}}{\text{غلظت کروم در خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم)}} \quad (۱)$$

$$\text{ضریب ماده خشک} = \frac{\text{وزن خشک گیاه}}{\text{حداکثر وزن خشک گیاه}} \quad (۲)$$

$$\text{شاخص جذب} = \text{غلظت کروم در گیاه} \times \text{ضریب ماده خشک} \quad (۳)$$

نتایج و بحث

وزن خشک اندام هوایی

از نظر آماری سطوح سورفکتانت، تنظیم کننده‌های رشد و اثر متقابل آنها در سطح یک درصد بر وزن خشک اندام هوایی اثر معنی دار دارند (جدول ۲). در این آزمایش یک تیمار شاهد بدون آلودگی کروم وجود داشت که با توجه به وزن خشک آن (۶/۳ گرم در گلدان) آلودگی کروم باعث کاهش رشد وزن خشک شده است. به طور کلی کروم در خاک آلوده به علت الکترونگاتیوی بالا با افزایش نفوذپذیری غشاء باعث تخریب اندام‌های سلولی، پروتئین و نوکلئیک اسید می‌شود. از دیگر اثرات کروم در گیاه می‌توان به کاهش هدایت مواد تولیدی، محتوای کلروفیل، فعالیت فتوسنتزی و سرعت تعرق اشاره کرد که کاهش رشد گیاه را به دنبال دارد (۲۲). گرچه در تیمارهای بدون تنظیم کننده رشد سورفکتانت اثر معنی‌داری بر وزن خشک اندام هوایی ندارد اما استفاده توام سورفکتانت و تنظیم کننده‌های رشد باعث بهبود وضعیت عملکرد می‌شود بدین صورت که استفاده از سطح ۵ میلی‌مول بر کیلوگرم سورفکتانت در تمامی تیمارهای همراه با تنظیم کننده‌های رشد وزن خشک را نسبت به شاهد هر کدام به صورت معنی‌داری افزایش داد (جدول ۳). طبق گزارشات سورفکتانت توین ۸۰ اثر سمیت بر گیاه ذرت و یونجه نداشته است (۳ و ۷). از اثرات توین ۸۰ که موجب افزایش رشد می‌شود می‌توان به افزایش دسترسی کربن برای ریزجانداران و یا افزایش نفوذپذیری ریشه و جذب بیشتر عناصر غذایی از خاک اشاره کرد (۱۳). یکی از اثرات آلودگی فلزات سنگین به هم ریختن تعادل هورمون‌های گیاهی است، پس اضافه کردن تنظیم کننده‌های گیاهی به طور مصنوعی می‌تواند راهکار خوبی برای جلوگیری از اثرات منفی فلزات سنگین باشد. طبق مشاهدات نیز اضافه کردن تنظیم کننده‌های رشد افزایش رشد گیاه را موجب شدند. بیشترین افزایش عملکرد مربوط به برگ‌پاشی جیبرلیک اسید است که باعث افزایش ۳/۸۶ برابری میانگین وزن خشک نسبت به شاهد شده است. جیبرلیک اسید با اثراتی همچون افزایش کل محتوای پروتئین، محتوای کل نیتروژن، جذب آمونیوم، فعالیت نیترات رداکتاز و دی هیدرو آسکوربات باعث افزایش رشد گیاه در آلودگی کروم می‌شود (۱۹). همانطور که در جدول مشخص است، اضافه کردن سورفکتانت به تنهایی افزایشی در وزن خشک ایجاد نکرده است. در گزارش آگنلو و همکاران در سال ۲۰۱۶ نیز توین ۸۰ به تنهایی با افزایش نفوذپذیری ریشه منجر به اعمال سمیت در گیاه و به دنبال آن اثر منفی بر رشد گیاه می‌شود (۳)؛ اما می‌توان با استفاده توام سورفکتانت و تنظیم کننده‌های رشد شرایط را برای رشد گیاه مناسب کرد.

غلظت و جذب کروم اندام هوایی

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) سورفکتانت، تنظیم کننده‌های رشد و اثر متقابل آنها در سطح یک درصد اثر معنی‌دار بر غلظت و جذب کروم در گیاه دارند. طبق گزارش اصیلیان و همکاران (۷) اضافه کردن سطوح سورفکتانت تا سطح چهار میلی‌مول بر کیلوگرم موجب افزایش غلظت و جذب سرب در اندام هوایی و ریشه شد. در پژوهش حاضر نیز اضافه کردن سطوح سورفکتانت باعث افزایش معنی‌دار غلظت و جذب کروم شد (جدول ۴). با اضافه کردن سطح پنج میلی‌مول در کیلوگرم سورفکتانت نسبت به سطح پایین‌تر آن افزایش معنی‌داری در غلظت کروم مشاهده نشد اما باعث افزایش معنی‌دار جذب کروم شد که به علت افزایش وزن حاصل از اضافه کردن ۵ میلی‌مول بر کیلوگرم سورفکتانت است (جدول ۳). اضافه کردن تنظیم کننده‌های رشد باعث افزایش معنی‌دار میانگین غلظت و جذب کروم اندام هوایی شدند. از بین تنظیم کننده‌های رشد برگ پاشی ایندول استیک اسید میانگین غلظت و جذب کروم را به ترتیب ۱/۵ و ۷/۶ برابر کرد. شفیق و همکاران (۳۳) نیز گزارش کردند که

1- Biological Accumulation Coefficient
2- Uptake Index

www.SID.ir

Archive of SID

برگ‌پاشی برخی تنظیم کننده‌های رشد همچون سالسیلیک اسید باعث افزایش جذب سرب اندام هوایی شد. در گیاه آفتابگردان نیز برگ‌پاشی سیتوکینین علاوه بر افزایش رشد گیاه غلظت فلز سنگین اندام هوایی را به طور معنی‌داری افزایش داد (۳۷).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر سورفکتانت، تنظیم کننده‌های رشد و اثر متقابل آنها بر برخی خصوصیات اندازه‌گیری شده

Table 2- Results of ANOVA of effect of surfactant, plant growth regulators and interactions on some measured parameters

منابع تغییرات Source of changes		سورفکتانت Surfactant	تنظیم کننده‌های رشد Growth regulators	سورفکتانت* تنظیم کننده‌های رشد Surfactant* Growth regulators	خطا Error
درجه آزادی Degree of freedom		2	3	6	24
میانگین مربعات Mean squars	وزن خشک Dry matter	45.3**	10.9**	6.43**	0.301
	غلظت کروم Cr concentration	180**	85.4**	70.8**	11.5
	جذب کروم Cr uptake	22475**	5347**	3108**	265
	غلظت آهن Fe concentration	17284348**	1049134**	850020**	179612
	ضریب تجمع زیستی Biological accumulation coefficient	7.21**	3.42**	2.83**	0.459
	شاخص جذب کروم Cr uptake index	493**	117**	68.2**	5.82
	جذب آهن Fe uptake	57138	11816020**	4010539	2072669
	غلظت منگنز Mn concentration	856*	689*	849**	170
	جذب منگنز Mn uptake	127634**	57820**	32304**	2155
	غلظت مس Cu concentration	3489**	500*	948**	144
	جذب مس Cu uptake	7426**	6427**	1911	865
	غلظت روی Zn concentration	18465**	347	639	288
	جذب روی Zn uptake	8917**	9359**	3163*	1069

** معنادار در سطح ۱ درصد، * معنادار در سطح ۵ درصد

**Significant at 1%, *Significant at 5%

جدول ۳- اثر سطوح سورفکتانت و تنظیم کننده‌های رشد بر وزن خشک اندام هوایی (گرم در گلدان)

Table 3- Influence of surfactant levels and plant growth regulators on shoot dry weight (g.pot^{-1})

سورفکتانت (میلی‌مول در کیلوگرم) Surfactant (mmol.kg^{-1})	شاهد Control	جیبرلیک اسید Gibberellic acid	ایندول استیک اسید Indole acetic acid	بنزیل آمینوپورین Benzyl amino purine	میانگین Mean
0	0.717cd	0.750cd	0.883cd	0.883cd	0.808C
2.5	0.550d	1.88c	1.35cd	1.42cd	1.30B
5	0.557d	6.28a	6.53a	4.18b	4.39A
میانگین Mean	0.611C	2.97A	2.92A	2.16B	

در هر ستون و ردیف اعدادی که دارای حروف مشابهی هستند از نظر آماری در آزمون دانکن معنی‌دار نیستند.

Means followed by the same letter are not significantly different by Duncan,s multiple range test.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤- اثر سطوح سورفکتانت و تنظیم کننده‌های رشد بر غلظت (میلی‌گرم در کیلوگرم) و جذب کروم (میکروگرم در گلدان) اندام هوایی
Table 4- Influence of surfactant levels and plant growth regulators on shoot's Chromium concentration ($mg.kg^{-1}$) and uptake ($\mu g.pot^{-1}$)

	سورفکتانت (میلی‌مول در کیلوگرم) Surfactant ($mmol.kg^{-1}$)	شاهد Control	جیبرلیک اسید Gibberellic acid	ایندول استیک اسید Indole acetic acid	بنزیل آمینوپورین Benzyl amino purine	میانگین Mean
غلظت کروم (میلی‌گرم در کیلوگرم) Cr concentration ($mg.kg^{-1}$)	0	9.9c	14.2bc	20.6ab	9.5c	13.6B
	2.5	20.9ab	20.5ab	18.9ab	24.1a	21.1A
	5	9.4c	19.6ab	21.6a	24.9a	18.8A
	میانگین Mean	13.4B	18.1A	20.3A	19.5A	
جذب کروم (میکروگرم در گلدان) Cr uptake ($\mu g.pot^{-1}$)	0	7.33c	10.6c	17.4c	8.17c	10.9C
	2.5	12.0c	37.6c	25.5c	33.5c	27.2B
	5	5.17c	122ab	143a	100b	96.2A
	میانگین Mean	8.1B	56.9A	61.9A	47.3A	

در هر ستون و ردیف اعدادی که دارای حروف مشابهی هستند از نظر آماری در آزمون دانکن معنی‌دار نیستند.
Means followed by the same letter are not significantly different by Duncan,s multiple range test.

ضریب تجمع زیستی (BAC) و شاخص جذب (UI) کروم

طبق نتایج تجزیه واریانس سورفکتانت، تنظیم کننده‌های رشد و اثر متقابل آنها در سطح یک درصد بر ضریب تجمع زیستی و شاخص جذب کروم اثر معنی‌دار دارند (جدول ۲). مطابق جدول ۵ به‌ترتیب اضافه کردن سطح ۲/۵ و ۵ میلی‌مول بر کیلوگرم سورفکتانت باعث افزایش معنی‌دار به ترتیب ۵۵ و ۳۹ درصدی میانگین ضریب تجمع زیستی شده است. همچنین با اضافه کردن تنظیم کننده‌های رشد ضریب تجمع زیستی نسبت به میانگین شاهد افزایش معنی‌داری مشاهده شده است. برگ‌پاشی تنظیم کننده رشد ایندول استیک اسید و کاربرد خاکی پنج میلی‌مول سورفکتانت در کیلوگرم باعث بیشترین شاخص جذب کروم در گیاه شدند و کمترین شاخص جذب مربوط به گیاه بدون برگ‌پاشی تنظیم کننده رشد و کاربرد خاکی پنج میلی‌مول سورفکتانت است. شاخص جذب نشان دهنده پتانسیل حذف فلز سنگین از خاک است با توجه به جدول ۵ تنظیم کننده‌های رشد و سطوح سورفکتانت باعث افزایش معنی‌دار میانگین شاخص جذب کروم نسبت به میانگین شاهد شده است. صلحی و حاج عباسی نیز گزارش کردند در آلودگی سرب و روی به ترتیب استفاده از دی اتیلن تری آمین پنتا استیک اسید (DTPA) و کود کمپوست شده باعث افزایش شاخص جذب فلز سنگین در گیاهان آفتابگردان و کلزا می شود (۳۴).

جدول ٥- اثر سطوح سورفکتانت و تنظیم کننده‌های رشد بر ضریب تجمع زیستی و شاخص جذب کروم
Table 5- Influence of surfactant levels and plant growth regulators on Chromium's biological accumulation coefficient and uptake index

	سورفکتانت (میلی‌مول در کیلوگرم) Surfactant ($mmol.kg^{-1}$)	شاهد Control	جیبرلیک اسید Gibberellic acid	ایندول استیک اسید Indole acetic acid	بنزیل آمینوپورین Benzyl amino purine	میانگین Mean
ضریب تجمع زیستی Biological accumulation coefficient	0	2.00c	2.85bc	4.11ab	1.89c	2.71B
	2.5	4.18ab	4.10ab	3.78ab	4.82a	4.22A
	5	1.88c	3.91ab	4.31a	4.97a	3.77A
	میانگین Mean	2.69B	3.62A	4.07A	3.90A	
شاخص جذب Uptake index	0	1.09c	1.57c	2.58c	1.21c	1.61C
	2.5	1.77c	5.57c	3.78c	4.97c	4.02B
	5	0.77c	18.1ab	21.2a	14.80b	13.71A
	میانگین Mean	1.21B	8.43A	9.18A	7.00A	

در هر ستون و ردیف اعدادی که دارای حروف مشابهی هستند از نظر آماری در آزمون دانکن معنی‌دار نیستند.
Means followed by the same letter are not significantly different by Duncan,s multiple range test.

www.SID.ir

Archive of SID

غلظت و جذب آهن اندام هوایی

یکی از خطرات خاک‌های آلوده به کروم دخالت در جذب و انتقال عناصر غذایی ضروری مثل آهن منگنز، فسفر، مس و روی است (۲۶). طبق جدول ۲ سورفکتانت در سطح یک درصد بر غلظت آهن اندام هوایی مؤثر است اما تاثیر معنی‌داری بر جذب آهن اندام هوایی نداشت. استفاده از سورفکتانت باعث کاهش معنی‌دار غلظت آهن اندام هوایی شد. اصیلیان و همکاران (۷) نیز گزارش کردند اضافه کردن سورفکتانت اثر معنی‌داری بر جذب هیچکدام از عناصر کم مصرف نداشت و حتی در برخی تیمارها باعث کاهش این عناصر شد. با توجه به جدول ۴ سورفکتانت باعث افزایش غلظت کروم شده و ممکن است در جذب و انتقال آهن دخالت کرده و باعث کاهش غلظت آهن در اندام هوایی شود (جدول ۶). تنظیم کننده‌های رشد اثر معنی‌دار بر غلظت و جذب آهن اندام هوایی دارند (جدول ۲). هر سه تنظیم کننده رشد مورد استفاده باعث افزایش معنی‌دار غلظت و جذب آهن اندام هوایی شدند. به عنوان مثال بنزیل آمینو پورین باعث افزایش ۶۰ درصدی میانگین غلظت آهن اندام هوایی نسبت به میانگین شاهد شده است (جدول ۶). بیشترین جذب آهن مربوط به تیمار ۲/۵ میلی مول بر کیلوگرم سورفکتانت به همراه برگ‌پاشی جیبرلیک اسید است و کمترین جذب آهن را تیمار ۵ میلی‌مول در کیلوگرم سورفکتانت بدون برگ‌پاشی تنظیم کننده رشد را به خود اختصاص داده است. ممکن است تنظیم کننده‌های رشد بتوانند اثر سوء کاهش غلظت عناصر کم مصرف در اثر استفاده از سورفکتانت را کاهش دهند.

غلظت و جذب منگنز اندام هوایی

مطابق جدول ۲ سورفکتانت و تنظیم کننده‌های رشد در سطح پنج درصد و اثر متقابل آنها در سطح یک درصد بر غلظت منگنز اندام هوایی تأثیرگذار هستند. بیشترین غلظت منگنز مربوط به تیمار ۲/۵ میلی‌مول در کیلوگرم سورفکتانت با برگ‌پاشی جیبرلیک اسید است. به‌طور کلی برگ‌پاشی جیبرلیک اسید باعث افزایش ۴۴ درصدی میانگین غلظت منگنز اندام هوایی نسبت به شاهد می‌شود.

طبق جدول ۷ استفاده از ۲/۵ میلی‌مول در کیلوگرم سورفکتانت باعث افزایش میانگین غلظت منگنز می‌شود اما غلظت ۵ میلی‌مول آن اثر سوء بر غلظت منگنز اندام هوایی دارد و موجب کاهش معنی‌دار ۱۹ درصدی میانگین غلظت منگنز نسبت به میانگین شاهد می‌شود. مطابق جدول تجزیه واریانس سورفکتانت، تنظیم کننده‌های رشد و اثر متقابل آنها در سطح یک درصد بر جذب منگنز اثر دارند (جدول ۲). با افزایش سطح سورفکتانت مورد استفاده جذب منگنز نیز افزایش می یابد، افزایش در سطح ۵ میلی‌مول سورفکتانت ممکن است در اثر افزایش وزن خشک ناشی از استفاده سورفکتانت باشد چون میانگین غلظت منگنز در این سطح کاهش یافته است. استفاده از تنظیم کننده‌های رشد باعث افزایش میانگین جذب منگنز شده‌اند و بیشترین افزایش مربوط به استفاده از جیبرلیک اسید است که موجب افزایش ۴/۷ برابری نسبت به میانگین شاهد شده است. طبق جدول ۷ در تیمارهای بدون سورفکتانت استفاده از جیبرلیک نه تنها باعث افزایش جذب منگنز نشد بلکه آن را کاهش داد.

جدول ٦- اثر سطوح سورفکتانت و تنظیم کننده‌های رشد بر غلظت (میلی‌گرم در کیلوگرم) و جذب آهن (میکروگرم در گلدان) اندام هوایی
Table 6- Influence of surfactant levels and plant growth regulators on shoot's Iron concentration ($mg.kg^{-1}$) and uptake ($\mu g.pot^{-1}$)

	سورفکتانت (میلی‌مول در کیلوگرم) Surfactant ($mmol.kg^{-1}$)	شاهد Control	جیبرلیک اسید Gibberellic acid	ایندول استیک اسید Indole acetic acid	بنزیل آمینوپورین Benzyl amino purine	میانگین Mean
غلظت آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم) Fe concentration ($mg.kg^{-1}$)	0	2062cd	2702bc	3171b	3961a	2974A
	2.5	1574de	2552bc	1660d	1606de	1848B
	5	395f	456f	532f	918ef	575C
	میانگین Mean	1344B	1903A	1788A	2161A	
جذب آهن (میکروگرم در گلدان) Fe uptake ($\mu g.pot^{-1}$)	0	1465b-d	2002b-d	2710a-d	3532a-c	2427A
	2.5	827cd	5027a	1944b-d	2253b-d	2513A
	5	200d	2870a-d	3391a-c	3793ab	2564A
	میانگین Mean	831B	3300A	2682A	3193A	

در هر ستون و ردیف اعدادی که دارای حروف مشابهی هستند از نظر آماری در آزمون دانکن معنی‌دار نیستند.
Means followed by the same letter are not significantly different by Duncan,s multiple range test.

www.SID.ir

Archive of SID

اما برگ‌پاشی جیبرلیک اسید و ایندول استیک در تیمارهای دارای ۲/۵ و ۵ میلی‌مول سورفکتانت به ترتیب باعث افزایش معنی‌دار غلظت و جذب منگنز در اندام هوایی شده اند. در این آزمایش استفاده از سورفکتانت به همراه تنظیم کننده‌های رشد (خصوصا جیبرلیک اسید) در افزایش غلظت و جذب منگنز می‌تواند کاراتر عمل کند.

غلظت و جذب مس اندام هوایی

مطابق جدول ۲ سورفکتانت و اثر متقابل سورفکتانت و تنظیم کننده‌های رشد در سطح یک درصد و تنظیم کننده‌های رشد در سطح پنج درصد بر غلظت مس تأثیرگذاراند. استفاده از سطوح ۲/۵ و ۵ میلی‌مول بر کیلوگرم سورفکتانت در تیمارهای بدون تنظیم کننده رشد باعث افزایش معنی‌دار غلظت مس در اندام هوایی نسبت به شاهد شده است (جدول ۸). نتایج تجزیه واریانس جذب مس نشان داد سورفکتانت و تنظیم کننده‌های رشد اثر معنی‌دار در سطح یک درصد بر جذب مس دارد. به طوری‌که اضافه کردن سورفکتانت و تنظیم کننده‌های رشد موجب افزایش معنی‌دار جذب مس شده‌اند (جدول ۲). برگ‌پاشی گیاه با بنزیل آمینوپورین باعث افزایش معنی‌دار جذب مس اندام هوایی شده است، به این صورت که بیشترین جذب مس اندام هوایی مربوط به تیمار ۵ میلی‌مول بر کیلوگرم سورفکتانت به همراه برگ‌پاشی بنزیل آمینوپورین است و نسبت به شاهد جذب مس را ۱,۲۹ برابر افزایش داده است (جدول ۸).

جدول ۷- اثر سطوح سورفکتانت و تنظیم کننده‌های رشد بر غلظت (میلی‌گرم در کیلوگرم) و جذب منگنز (میکروگرم در گلدان) اندام هوایی

Table 7- Influence of surfactant levels and plant growth regulators on shoot's Manganese concentration ($mg.kg^{-1}$) and uptake ($\mu g.pot^{-1}$)

	سورفکتانت (میلی‌مول در کیلوگرم) Surfactant ($mmol.kg^{-1}$)	شاهد Control	جیبرلیک اسید Gibberellic acid	ایندول استیک اسید Indole acetic acid	بنزیل آمینوپورین Benzyl amino purine	میانگین Mean
غلظت منگنز (میلی‌گرم در کیلوگرم) Mn concentration ($mg.kg^{-1}$)	0	74.3ab	48.7b-d	58.3b-d	69.6ab	62.7A
	2.5	63.5bc	91.4a	69.2ab	41.9cd	66.5A
	5	41.2cd	69.9ab	55.9b-d	34.4d	50.3B
	میانگین Mean	48.6AB	70.0A	61.2AB	48.6B	
جذب منگنز (میکروگرم در گلدان) Mn uptake ($\mu g.pot^{-1}$)	0	51.9cd	36.0d	47.3d	58.5cd	48.4C
	2.5	35.0d	170b	93.7b-d	57.6cd	89.2B
	5	25.5d	437a	370a	142bc	244A
	میانگین Mean	37.5C	214A	170A	86.0B	

در هر ستون و ردیف اعدادی که دارای حروف مشابهی هستند از نظر آماری در آزمون دانکن معنی‌دار نیستند.

Means followed by the same letter are not significantly different by Duncan,s multiple range test.

جدول ۸- اثر سطوح سورفکتانت و تنظیم کننده‌های رشد بر غلظت (میلی‌گرم در کیلوگرم) و جذب مس (میکروگرم در گلدان) اندام هوایی

Table 8- Influence of surfactant levels and plant growth regulators on shoot's Copper concentration ($mg.kg^{-1}$) and uptake ($\mu g.pot^{-1}$)

	سورفکتانت (میلی‌مول در کیلوگرم) Surfactant ($mmol.kg^{-1}$)	شاهد Control	جیبرلیک اسید Gibberellic acid	ایندول استیک اسید Indole acetic acid	بنزیل آمینوپورین Benzyl amino purine	میانگین Mean
غلظت مس (میلی‌گرم در کیلوگرم) Cu concentration ($mg.kg^{-1}$)	0	32.6b	31.9b	62.6a	69.1a	49.1B
	2.5	60.2a	65.4a	63.1a	62.3a	62.8A
	5	55.6a	14.3b	12.0b	33.4b	28.9C
	میانگین Mean	49.5AB	37.2B	45.9ab	55.0A	
جذب مس (میکروگرم در گلدان) Cu uptake ($\mu g.pot^{-1}$)	0	26.5cd	23.6d	53.4b-d	58.0b-d	40.4B
	2.5	34.8b-d	125a	85.3a-d	88.1a-c	83.3A
	5	32.0b-d	90.9ab	78.6a-d	133a	83.6A
	میانگین Mean	31.1B	79.8A	72.4A	93.1A	

در هر ستون و ردیف اعدادی که دارای حروف مشابهی هستند از نظر آماری در آزمون دانکن معنی‌دار نیستند.

Means followed by the same letter are not significantly different by Duncan,s multiple range test.

www.SID.ir

Archive of SID

افزایش تجمع فلزات در قسمت‌های هوایی گیاه یک مکانیسم دفاعی در برابر تنش‌ها است که باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش‌ها (مثل فلزات سنگین) می‌شود، از سوی دیگر با افزایش جذب عناصر غذایی سرعت تعرق نیز زیاد می‌شود و به دنبال آن جذب و انتقال آلاینده‌ها افزایش پیدا می‌کند که موجب کاهش خطر آبشویی آلاینده-ها و افزایش کارایی گیاه پالایی خواهد شد (۳۷).

غلظت و جذب روی اندام هوایی

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها سورفکتانت در سطح یک درصد بر غلظت و جذب روی مؤثر است. اما تنظیم کننده‌های رشد فقط اثر معنی‌دار بر جذب روی دارد (جدول ۲). با اضافه کردن ۲/۵ میلی‌مول بر کیلوگرم سورفکتانت جذب و غلظت روی به بیشترین مقدار می‌رسد اما اضافه کردن ۵ میلی‌مول بر کیلوگرم سورفکتانت غلظت و جذب روی به‌ترتیب ۷۱ و ۳۲ درصد کاهش می‌یابد (جدول ۹). به طور کلی باید در اضافه کردن سطوح سورفکتانت دقت کرد زیرا غلظت بالاتر از حد بحرانی سورفکتانت‌های غیر یونی باعث آسیب به فسفولیپیدهای غشا سلولی شده و ممکن است در جذب اختلال ایجاد کند (۱۴). برگ‌پاشی هیچ کدام از تنظیم کننده‌های رشد موجب تغییر در غلظت روی نشدند، اما همه آنها باعث افزایش جذب روی شدند که به علت افزایش وزن خشک در اثر برگ‌پاشی تنظیم کننده‌های رشد است. با اضافه کردن جیبرلیک اسید و بنزیل آمینو پورین در سطح ۲/۵ میلی‌مول بر کیلوگرم سورفکتانت جذب روی به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. تاسی و همکاران (۳۷) نیز گزارش کردند با اضافه کردن جیبرلیک اسید یا سیتوکینین به همراه EDTA تجمع روی و سرب افزایش پیدا کرد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج با استفاده از سورفکتانت و تنظیم کننده‌های رشد بخصوص جیبرلیک اسید می‌توان اثرات مثبت در گیاه ایجاد کرد. کاربرد این تیمارها، با بالا بردن جذب کروم، ضریب تجمع زیستی و شاخص جذب موجب افزایش گیاه پالایی و تحمل گیاه به سمیت کروم شود. به این صورت که با افزایش غلظت سورفکتانت و اضافه کردن تنظیم کننده‌های رشد بخصوص جیبرلیک اسید و ایندول استیک اسید وزن خشک اندام هوایی به صورت معنی‌داری افزایش پیدا کرد. استفاده از هر دو سطح سورفکتانت موجب افزایش غلظت و جذب کروم اندام هوایی شد اما سطح ۲/۵ و ۵ میلی‌مول بر کیلوگرم سورفکتانت اختلاف معنی‌داری در غلظت کروم اندام هوایی نداشتند. از اثرات اضافه کردن تنظیم کننده‌های رشد و سورفکتانت می‌توان به افزایش ضریب تجمع زیستی کروم اشاره کرد که نمایانگر اثر مثبت اصلاح کننده‌ها بر گیاه پالایی کروم است. استفاده از سورفکتانت در تیمارهای بدون برگ‌پاشی تنظیم کننده‌های رشد، باعث افزایش معنی‌دار غلظت مس در اندام هوایی گردید. استفاده از سطح ۵ میلی مول بر کیلوگرم سورفکتانت باعث کاهش معنی‌دار غلظت منگنز و روی در اندام هوایی نسبت به میانگین شاهد و سطح ۲/۵ میلی‌مول بر کیلوگرم سورفکتانت شد. در خصوص عنصر آهن با اضافه کردن سورفکتانت غلظت آهن کاهش پیدا کرد اما با اضافه کردن تنظیم کننده‌های رشد این کاهش را می‌توان جبران کرد.

جدول ۹- اثر سطوح سورفکتانت و تنظیم کننده‌های رشد بر غلظت (میلی‌گرم در کیلوگرم) و جذب روی (میکروگرم در گلدان) اندام هوایی

Table 9- Influence of surfactant levels and plant growth regulators on shoot's Zinc concentration ($mg.kg^{-1}$) and uptake ($\mu g.pot^{-1}$)

	سورفکتانت (میلی‌مول در کیلوگرم) Surfactant ($mmol.kg^{-1}$)	شاهد Control	جیبرلیک اسید Gibberellic acid	ایندول استیک اسید Indole acetic acid	بنزیل آمینوپورین Benzyl amino purine	میانگین Mean
غلظت روی (میلی‌گرم در کیلوگرم) Zn concentration ($mg.kg^{-1}$)	0	94.9a	95.2a	88.2ab	102a	94.8A
	2.5	84.9ab	106a	88.3ab	107a	96.8A
	5	56.8b	18.9c	17.0c	19.2c	27.9B
	میانگین Mean	78.8A	73.5A	64.5A	76.1A	
جذب روی (میکروگرم در گلدان) Zn uptake ($\mu g.pot^{-1}$)	0	68.6c-e	69.1c-e	73.4c-e	89.9b-e	75.3B
	2.5	48.6de	190a	116b-d	151ab	126A
	5	32.6e	118bc	111b-d	77.0c-e	84.7B
	میانگین Mean	49.9B	125A	100A	106A	

در هر ستون و ردیف اعدادی که دارای حروف مشابهی هستند از نظر آماری در آزمون دانکن معنی‌دار نیستند.

Means followed by the same letter are not significantly different by Duncan,s multiple range test.

www.SID.ir

Archive of SID

به طور کلی اضافه کردن سورفکتانت تغییری در جذب آهن ایجاد نکرد اما باعث افزایش جذب منگنز، مس و روی شد. افزایش جذب عناصر غذایی به عنوان یک مکانیسم دفاعی باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش فلز سنگین کروم و کارایی گیاه پالایی خواهد شد. اگرچه سورفکتانت اثر مثبت بر تنش فلز سنگین کروم دارد اما استفاده همزمان سورفکتانت و تنظیم کننده‌های رشد اثر بهتری بر گیاه گلرنگ در آلودگی کروم داشت. با استفاده از تنظیم کننده‌های رشد وزن خشک اندام هوایی، غلظت آهن و جذب کروم، آهن، منگنز، مس و روی افزایش یافت. بنابراین با ایجاد تعادل هورمونی با برگ‌پاشی تنظیم کننده‌های رشد می‌توان تحمل گیاه گلرنگ به تنش فلز سنگین کروم و پتانسیل گیاه پالایی را افزایش داد.

منابع

1- Adriano D.C. 2001. Trace elements in terrestrial environments: Biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals, 2nd. In.: Springer-Verlag, New York.
2- Afshan S., Ali S., Bharwana S.A., Rizwan M., Farid M., Abbas F., Ibrahim M., Mehmood M.A., and Abbasi G.H. 2015. Citric acid enhances the phytoextraction of chromium, plant growth, and photosynthesis by alleviating the oxidative damages in *Brassica napus* L. Environmental Science and Pollution Research 22: 11679-116789.
3- Agnello A.C., Huguenot D., Van Hullebusch E.D., and Esposito G. 2016. Citric acid-and Tween80-assisted phytoremediation of a co-contaminated soil: alfalfa (*Medicago sativa* L.) performance and remediation potential. Environmental Science and Pollution Research International 23: 9215-9226.
4- Akram N.A., Ashraf M., and Al-Qurainy F. 2012. Aminolevulinic acid-induced changes in some key physiological attributes and activities of antioxidant enzymes in sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants under saline regimes. Scientia Horticulturae 142: 143-148.
5- Almeida C.M.R., Dias A.C., Mucha A.P., Bordalo A.A., and Vasconcelos M.T.S. 2009. Influence of surfactants on the Cu phytoremediation potential of a salt marsh plant. Chemosphere 75: 135-140.
6- Alvarez R., Nissen S.J., and Sutter E.G. 1989. Relationship between indole-3-acetic acid levels in apple (*Malus pumila* Mill) rootstocks cultured in vitro and adventitious root formation in the presence of indole-3-butyric acid. Plant Physiology 89: 439-443.
7- Asilian E., Ghasemi-Fasaei R., Ronaghi A., Sepehri M., and Niazi A. 2018. Effects of microbial inoculations and surfactant levels on biologically-and chemically-assisted phytoremediation of lead-contaminated soil by maize (*Zea Mays* L.). Chemistry and Ecology 34: 964-977.
8- Babaeian E., Homaee M., and Rahnemaie R. 2016. Chelate-enhanced phytoextraction and phytostabilization of lead-contaminated soils by carrot (*Daucus carota*). Archives of Agronomy and Soil Science 62: 339-358.
9- Bohidar S., Thirunavoukkarasu M., and Rao T.V. 2008. Effect of Plant Growth Regulators on in vitro micropropagation of "Garden Rue"(*Ruta graveolens* L.). International Journal of Integrative Biology 3: 36-43.
10- Boonyapookana B., Upatham E.S., Kruatrachue M., Pokethitiyook P., and Singhakaew S. 2002. Phytoaccumulation and phytotoxicity of cadmium and chromium in duckweed Wolffia globosa. International Journal of Phytoremediation 4: 87-100.
11- Bouyoucos G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. Agronomy Journal 54: 464-465.
12- Cabello-Conejo M.I., Centofanti T., Kidd P.S., Prieto-Fernández Á., and Chaney R.L. 2013. Evaluation of plant growth regulators to increase nickel phytoextraction by *Alyssum* species. International Journal of Phytoremediation 15: 365-375.
13- Cheng M., Zeng G., Huang D., Yang C., Lai C., Zhang C., and Liu Y. 2017. Advantages and challenges of Tween 80 surfactant-enhanced technologies for the remediation of soils contaminated with hydrophobic organic compounds. Chemical Engineering Journal 314: 98-113.
14- Cserháti T. 1995. Alkyl ethoxylated and alkylphenol ethoxylated nonionic surfactants: interaction with bioactive compounds and biological effects. Environmental Health Perspectives 103: 358-364.
15- Farid M., Ali S., Rizwan M., Ali Q., Abbas F., Bukhari S.A.H., Saeed R., and Wu L. 2017. Citric acid assisted phytoextraction of chromium by sunflower; morpho-physiological and biochemical alterations in plants. Ecotoxicology and Environmental Safety 145: 90-102.
16- Farid M., Ali S., Rizwan M., Ali Q., Saeed R., Nasir T., Abbasi G.H., Rehmani M.I.A., Ata-Ul-Karim S.T., Bukhari S.A.H., and Ahmad T. 2018. Phyto-management of chromium contaminated soils through sunflower under exogenously applied 5-aminolevulinic acid. Ecotoxicology and Environmental Safety 151: 255-265.
17- Farooq M.A., Ali S., Hameed A., Bharwana S.A., Rizwan M., Ishaque W., Farid M., Mahmood K., and Iqbal Z. 2016. Cadmium stress in cotton seedlings: physiological, photosynthesis and oxidative damages alleviated by glycinebetaine. South African Journal of Botany 104: 61-68.
18- Fozia A., Muhammad A.Z., Muhammad A., and Zafar M.K. 2008. Effect of chromium on growth attributes in

www.SID.ir

Archive of SID

sunflower (*Helianthus annuus* L.). Journal of Environmental Sciences 20: 1475-1480.
19- Gangwar S., Singh V.P., Srivastava P.K., and Maurya J.N. 2011. Modification of chromium (VI) phytotoxicity by exogenous gibberellic acid application in *Pisum sativum* (L.) seedlings. Acta Physiologiae Plantarum 33: 1385-1397.
20- Halter L., Habegger R., and Schnitzler W.H. 2000. Gibberellic acid on artichokes (*Cynara scolymus* L.) cultivated in Germany to promote earliness and to increase productivity. In IV International Congress on Artichoke 681: 75-82.
21- Houshm A., and Moraghebi F. 2011. Effect of mixed cadmium, copper, nickel and zinc on seed germination and seedling growth of safflower. African Journal of Agricultural Research 6: 1463-1468.
22- Kaszycki P., Gabryś H., Appenroth K-J., Jaglarz A., Sedziwy S., Walczak T., and Koloczek H. 2005. Exogenously applied sulphate as a tool to investigate transport and reduction of chromate in the duckweed *Spirodela polyrhiza*. Plant, Cell and Environment 28(2): 260-268.
23- Kotb M.S. 2017. Effect of surfactant on adsorption and mobility of lead and cadmium in soils. Egypt Journal of Soil Science 57: 155-165.
24- 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.
25- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of America Journal 42(3): 421-428.
26- Liu D., Zou J., Wang M., and Jiang W. 2008. Hexavalent chromium uptake and its effects on mineral uptake, antioxidant defence system and photosynthesis in *Amaranthus viridis* L. Bioresource Technology 99: 2628-2636.
27- Mouton J., Mercier G., and Blais J.F. 2009. Amphoteric surfactants for PAH and lead polluted-soil treatment using flotation. Water, Air, and Soil Pollution 197: 381-393.
28- Naqvi S.S.M. 1999. Plant hormones and stress phenomena. Handbook of plant and crop stress, pp.709-730.
29- Ramamurthy A.S., Vo D., Li X.J., and Qu J. 2008. Surfactant-enhanced removal of Cu (II) and Zn (II) from a contaminated sandy soil. Water, Air, and Soil Pollution 190: 197-207.
30- Nelson D., and Sommers L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties (methodsofsoilan2): 539-579.
31- Rhoades J. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. Methods of Soil Analysis Part 3-Chemical Methods (methodsofsoilan3): 417-435.
32- Saleem M., Asghar H.N., Khan M.Y., and Zahir Z.A. 2015. Gibberellic acid in combination with pressmud enhances the growth of sunflower and stabilizes chromium (VI)-contaminated soil. Environmental Science and Pollution Research 22: 10610-10617.
33- Shafigh M., Ghasemi-Fasaei R., and Ronaghi A. 2016. Influence of plant growth regulators and humic acid on the phytoremediation of lead by maize in a Pb-polluted calcareous soil. Archives of Agronomy and Soil Science 62: 1733-1740.
34- Solhi M., and Hajabbasi M.A. 2005. Heavy metals extraction potential of sunflower (*Helianthus annuus*) and canola (*Brassica napus*). Caspian Journal of Environmental Sciences 3: 35-42.
35- Sujatha M., Geetha A., Sivakumar P., and Palanisamy N. 2008, November. Biotechnological interventions for genetic improvement of safflower. In Proceedings of the 7th international safflower conference (pp. 3-6).
36- Swarnkar V., Agrawal N., and Tomar R. 2012. Sorption of chromate and arsenate by surfactant modified erionite (E-SMZ). Journal of Dispersion Science and Technology 33: 919-927.
37- Tassi E., Pouget J., Petruzzelli G., and Barbafieri M. 2008. The effects of exogenous plant growth regulators in the phytoextraction of heavy metals. Chemosphere 71: 66-73.

www.SID.ir

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 1, March-April 2020, p. 155-167

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۹، ص. ۱۶۷-۱۵۵

The Effect of some Plant Growth Regulators and Surfactant on Safflower in Chromium Contaminated Soil

S. Keshavarz[1]**- R. Ghasemi-Fasaei**[2]*****

Received: 08-07-2019
Accepted: 05-02-2020

Introduction: Chromium (Cr) is one of the toxic metals widely used in leather tanning, alloy preparation, electroplating, drilling mud, refractory steel and catalytic manufacture. Besides the toxicity of chromium to human, it also disturbs the soil ecology and plant growth due to its toxic nature even at low concentration. Phytoremediation is effective and can be viewed as a relatively low cost, solar energy driven process for the management of contaminated soils. Hiwever the heavy metal toxicity adversely affects the plant growth and development. We can use some chemical compounds to increase plant resistance to heavy metal and increase the efficiency of phytoremediation. These days, foliar application of plant growth regulators such as Gibberelic acid Indole acetic acid and Benzyl amino purine are considered for various purposes such as enhancing plant growth and resistance to salinity, drought and heavy metals. Exogenous application of phytohormones can modulate the toxicity of Cr on plants most probably by maintaining hormonal balance of plant under metal stress. surfactants effectively enhance metal ion transfer to aqueous and hence increase their availability. Assessing surfactant assisted phytoremediation is important in order to ascertain the extent of its effectiveness under different conditions and to find its optimum level for metal phytoremediation. The application of plant growth regulators and surfactants can be an effective way to cope with stresses such as heavy metal contamination. The objectives of this study were to determine the effects of the growth hormones Gibberelic acid, Benzyl amino purine and Indole acetic acid alone and combined with surfactant on plant growth, concentration and uptake of Cr, Fe, Mn, Cu and Zn and some phytoremediation factor for Cr.

Material and Methods: The soil was air-dried and grounded to pass through a 2-mm sieve then was analyzed to determine various soil physic-chemical properties using standard methods. A greenhouse experiment was conducted in a completely randomized design with a factorial arrangement of 3 × 4 including three levels of surfactant (control, 2.5 and 5 mmol kg^{-1} soil) and four levels of plant growth regulators (control, Gibberellic acid, Indole acetic acid and Benzyl amino purine). All soils were contaminated by 5 mg/kg chromium and incubated for 1 month. During incubation, the soil samples were maintained at field capacity by distilled water. Safflower (*Cartamus tinctorius L.*) seeds were disinfested with 10% sodium hypochlorite, washed three time with distilled water and planted in the pots. Growth regulators were sprayed at three stage of 30, 20 and 40 days after planting at concentration of 1 mM. The plants were kept in the standard condition of greenhouse and the soil moisture content was maintained at field capacity by distilled water. Sixty days after planting, the plants were harvested and washed with distilled water, and then dried in oven at 65 Celsius until they reached a constant weight. Afterwards, the over-dried plant samples were grounded. Then dry ashing and extracting with 2 normal hydrochloric acid, the concentration of Cr, Fe, Zn, Cu and Mn in shoot was determined by atomic absorption (Shimadzu AA-670). The analysis of variance (ANOVA) was performed using a completely randomized design. Significantly different treatment means were separated using Duncan test ($P < 0.05$). Biological accumulation coefficient (BAC) and uptake index (UI) were calculated with a specific formula.

Results and Discussion: The results showed that addition of surfactant and growth regulators caused a significant increase in shoot dry weight, biological accumulation coefficient, uptake index and chromium concentration and uptake. Addition of surfactant reduced the concentration and uptake of iron in the absence of growth regulators, but in the presence of plant growth regulators, application of tween 80 increased iron concentrations. Application of 5 mmol $kg^{-1}$of surfactant decreased mean concentration of manganese, copper and zinc. While addition of 2.5 mmol kg^{-1} of surfactant increased metals concentrations. Although addition of 5 mmol kg^{-1} surfactant increased dry weight, it did not have a satisfied effect on increasing the concentration of the

1 and 2- Ph.D. Student and Associate Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: ghasemif@gmail.com)
DOI: 10.22067/jsw.v34i2.81521

www.SID.ir

Archive of SID

elements in the plant. Plant growth regulators increased uptake of elements which is a protective mechanism against stresses.

Conclusion: It appears that using plant growth regulators increased the resistance of the plant to chromium toxicity probably through increasing absorption of the elements such as Fe, Mn, Cu and Zn. According to the results, application of tween 80 along with plant growth regulators could increase safflower capability to cope with chromium toxicity.

Keywords: Benzyl amino purine, Indole acetic acid, Gibberellic acid; Micro nutrient, Tween 80

www.SID.ir