Archive of SID

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد هشتم، شماره چهارم، ۱۳۹۷
http://ejsms.gau.ac.ir

برهمکنش کلرید سدیم و کادمیوم بر برخی صفات فیزیولوژیک و محتوای سدیم و کادمیوم ریشه و اندام هوایی خرفه (*Portulaca oleracea*)

مینا رفیعی[۱]، *شهاب مداح حسینی[۲]، محسن حمیدپور[۳] و علی‌اکبر محمدی‌میریک[۴]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه زراعت، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، [۲]دانشیار گروه زراعت، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، [۳]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، [۴]استادیار گروه زراعت، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۵/۲۲

چکیده

سابقه و هدف: شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که در مناطق خشک دنیا مانند ایران تولید محصول را محدود می‌نماید. علاوه بر شوری، آلودگی فلزات سنگین در خاک و آب‌های سطحی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه افزایش یافته است که می‌تواند سبب کاهش عملکرد گیاهان زراعی نیز گردد. یکی از مهم‌ترین نمک‌های ایجادکننده تنش شوری، کلرید سدیم است که اثرات بازدارنده آن بر رشد گیاه می‌تواند تحت‌تأثیر میزان کادمیوم خاک (و برعکس) قرار گیرد. خرفه یکی از قدیمی‌ترین و متحمل‌ترین گیاهان به شوری در مناطق خشک است که مصارف دارویی و خوراکی دارد. دانش کافی در مورد واکنش خرفه به اثرات توام کلرید سدیم و کادمیوم خاک وجود ندارد. هدف از این پژوهش بررسی برهمکنش کلرید سدیم و کادمیوم بر صفات رویشی، فیزیولوژیک و جذب و تجمع سدیم و کادمیوم در ریشه و اندام هوایی خرفه می‌باشد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی اثر سمیت کادمیوم و کلرید سدیم بر برخی صفات خرفه، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل و در چارچوب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار طراحی و در اتاقک رشد با دمای ۱۸ و ۲۵ درجه سلسیوس (شب- روز) اجرا شد. عامل‌های آزمایش عبارت بودند از شوری حاصل از کلرید سدیم در چهار سطح (۰، ۲۳/۱، ۵۷/٤ و ۱۰۰/۲ میلی‌مولار) و کادمیوم در پنج سطح (۰، ۰/۵، ۱، ۲ و ٤ میلی‌گرم بر لیتر) که به‌مدت ۸۷ روز در محلول غذایی هوگلند اعمال گردیدند. بذور خرفه (توده محلی جیرفت) در بستر کوکوپیت پرلیت (۲:۱) در گلدان‌های یک لیتری کاشته شدند و تا زمان سبز شدن استقرار گیاهچه با آب مقطر آبیاری شدند. آنگاه گیاهچه‌ها به‌مدت ۸۷ روز با محلول غذایی هوگلند همراه با مقدارهای محاسبه شده نمک و کادمیوم تیمار شدند.

یافته‌ها: کاهش معنی‌دار زیست‌توده اندام هوایی از ۲۳/۱ میلی‌مولار کلرید سدیم و ۲ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم شروع شد. همچنین شاخص سبزینگی برگ با افزایش میزان کادمیوم در هر سطح کلرید سدیم کاهش یافت اما در شرایط بدون کادمیوم تا سطح ۵۷/٤ میلی‌مولار کلرید سدیم کاهش معنی‌داری نداشت. مشابه همین روند برای محتوای نسبی آب برگ نیز مشاهده شد به‌گونه‌ای که کلرید سدیم به‌تنهایی اثر کاهنده معنی‌داری بر آن نداشت اما در هر سطح کلرید

* مسئول مکاتبه: shahab.mhoseini@vru.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

سدیم مقدار آن با افزایش مقدار کادمیوم کاهش یافت. از سوی دیگر نشت یونی با افزایش میزان کلرید سدیم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت اما به‌جز در سطح ۲۳/۱ میلی‌مولار کلرید سدیم افزایش محتوای کادمیوم اثر مشخصی بر آن نداشت. محتوای سدیم اندام هوایی و ریشه با افزایش سطح کلرید سدیم به‌صورت خطی افزایش یافتند اما در هر سطح کلرید سدیم و کادمیوم محتوای سدیم ریشه بسیار بیش‌تر از اندام هوایی بود. مشابه همین نتیجه برای محتوای کادمیوم ریشه و اندام هوایی نیز مشاهده شد. افزایش میزان کادمیوم بستر تا سطح ۲ میلی‌گرم بر لیتر اثری بر محتوای سدیم اندام هوایی نداشت و تنها ٤ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم سبب افزایش معنی‌دار آن شد.

نتیجه‌گیری: اگر چه کلرید سدیم و آلودگی به کادمیوم سبب کاهش رشد گیاه خرفه شد اما به‌نظر می‌رسد در این گیاه با انباشتگی مقدارهای قابل‌توجه سدیم و کادمیوم در ریشه از انتقال بیش از حد آن‌ها به اندام هوایی و کاهش بیش‌تر رشد گیاه جلوگیری می‌شود.

واژه‌های کلیدی: خرفه، زیست‌توده، کادمیوم، کلرید سدیم، محتوای نسبی آب برگ

مقدمه

شوری، که بخش قابل‌توجهی از آن را کلرید سدیم تشکیل می‌دهد، به‌عنوان یکی از تنش‌های مهم زیست‌محیطی اثر بازدارندگی قابل‌توجهی بر رشد و فعالیت‌های متابولیسمی گیاهان، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، دارد (٤٧). علاوه بر شوری، آلودگی فلزات سنگین در خاک و آب‌های سطحی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه افزایش یافته است که این منجر به کاهش بهره‌وری کشاورزی و عواقب بهداشتی خطرناک می‌شود (۱۲). در میان فلزات سنگین، کادمیوم یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های زیست‌محیطی محسوب می‌شود که به روش‌های مختلف منابع آب و خاک را آلوده می‌نماید. کودهای فسفاتی، لجن فاضلاب و گازهای گلخانه‌ای صنعتی عمده منابع انسانی تولید کادمیوم می‌باشند (۱۳). کادمیوم اگرچه یک عنصر غذایی نیست اما به سهولت از طریق ریشه‌های گیاه جذب و با غلظت‌هایی که برای زنجیره غذایی خطرناک است، در گیاه انباشته می‌شود. تجمع کادمیوم در سطوح سلولی نیز می‌تواند سمی باشد و موجب کاهش رشد گردد (٤٩).

خرفه با نام علمی *Portulaca oleracea* گیاهی است یک‌ساله از خانواده *Purtulacaceae* که ساقه‌ای گوشتی، برگ‌های متقابل و گل‌های کوچک زردرنگ دارد (۱۵) و به‌عنوان انباشت‌کننده فلزات سنگین شناخته می‌شود. از سوی دیگر، متحمل به خشکی و شوری نیز می‌باشد (۱۰) و حتی می‌توان از آب‌های زهکش برای آبیاری این گیاه استفاده کرد. بذور خرفه در شوری‌های بالا جوانه زده و می‌توانند چرخه زندگی خود را کامل کرده، بذر تولید کنند. این گیاه، همچنین یک منبع گیاهی غنی از اسیدهای چرب امگا ۳، مواد معدنی، ویتامین‌ها و مواد آنتی‌اکسیدان است (۱۰ و ٤٧). ظرفیت جذب نمک توسط خرفه و تحمل بالای آن به سمیت کلر (۱۰)، این گیاه را به‌عنوان یک گونه هالوفیت معرفی کرده است به‌گونه‌ای که تقریباً هیچ کاهش عملکردی را در محیط‌های با شوری متوسط نشان نمی‌دهد (۱۸). با این‌حال در برخی پژوهش‌های دیگر اثر سطوح مختلف شوری بر این گیاه کاهشی بوده است (۲۲، ۳۸، ٤٧ و ٥٠).

www.SID.ir

Archive of SID

از طرف دیگر کادمیوم اگرچه برای رشد گیاه ضروری نیست اما به‌آسانی از طریق پوست ریشه جذب می‌شود و سپس از راه سیمپلاستی یا آپوپلاستی وارد بافت چوب می‌شود. تاخیر در رشد از نشانه‌های سمیت این فلز در گیاهان است بدین‌صورت که بر تقسیم سلولی در منطقه مریستمی و تنظیم رشد و نمو اثر می‌گذارد. اثرات منفی کادمیوم بر روی رشد گیاه همراه با افزایش نسبت وزن خشک به وزن تر در همه اندام‌ها می‌باشد (٤٤). با این‌حال، ممکن است غلظت‌های پایین کادمیوم غشاها را به‌شدت قطبی[1] کرده و بدین‌ترتیب با افزایش جذب کاتیون‌ها و آماس سلولی و همچنین تحریک فعالیت برخی آنزیم‌ها مانند برخی پروتئازها، سبب افزایش رشد شود. (١٩). گزارش شده است که در خاک‌های شور به‌دلیل تشکیل کمپلکس کلر با کادمیوم حلالیت و قابلیت جذب زیستی آن توسط گیاه افزایش می‌یابد (١٢ و ٢١). از این‌رو می‌توان از یون کلر به‌عنوان عامل افزاینده توان گیاه‌پالایی کادمیوم استفاده کرد (٢٧ و ٤١). با این‌حال، در گیاه هالوفیت *Portulacastrum sesuvium* با افزودن کلرید سدیم به بستر کشت آلوده به ٥٠ یا ١٠٠ میلی‌مولار کادمیوم، نشانه‌های کلروز و بافت مردگی کاهش و محتوای کلروفیل برگ‌های بالایی افزایش یافت (٨). به همین ترتیب، در گیاهان تیمار شده با ترکیبی از کادمیوم و کلرید سدیم کاهش کم‌تر سرعت فتوسنتز و تعرق خالص نسبت به گیاهانی که تنها تحت تیمار شوری قرار داشتند، مشاهده شد (٤٣).

با این‌حال گزارش شده است برهمکنش کادمیوم و کلرید سدیم یا پتاسیم سبب کاهش بیش‌تر رشد و افزایش قابل‌توجه مواد تنظیم‌کننده اسمزی در جهت کاهش آسیب تنش می‌شود (٣٤). احتمالاً در این مورد یون کلرید اثراتی شبیه یون سدیم در آسیب به رشد گیاه دارد (٥). دانش اندکی در مورد اثرات تلفیقی کلرید سدیم و کادمیوم و برهمکنش این دو بر رشد و نمو خرفه وجود دارد و این پژوهش با هدف بررسی تغییرات برخی صفات فیزیولوژیک آن در سطوح مختلف کلرید سدیم و کادمیوم طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در چارچوب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا گردید. عامل‌های آزمایش عبارت بودند از شوری حاصل از کلرید سدیم در چهار سطح (٠، ٢٣/١، ٥٧/٤ و ١٠٠/٢ میلی‌مولار نمک کلرید سدیم برابر با (١/٣٤، ٣، ٨ و ١٣ دسی‌زیمنس بر متر) و کادمیوم (از منبع نیترات کادمیوم) در پنج سطح (٠، ٠/٥، ١، ٢ و ٤ میلی‌گرم بر لیتر) (٢١، ٨، ٦). سطح شاهد شوری (١/٣٤ دسی‌زیمنس بر متر) مربوط به هدایت الکتریکی محلول استاندارد هوگلند بود و با افزودن نمک کلرید سدیم به سطوح متوسط و شدید شوری در تیمارهای مختلف افزایش یافت. ابتدا بذور خرفه، تهیه شده از اداره منابع طبیعی شهرستان جیرفت، در گلدان‌های حاوی کوکوپیت و پرلیت (به نسبت ٢:١) با قطر دهانه ٨ و ارتفاع ٢٠ سانتی‌متر کاشته و با آب مقطر آبیاری شدند. در مرحله دو برگی تعداد بوته‌های هر گلدان به شش عدد کاهش یافت. پس از استقرار کامل گیاهچه و حدود ١٠ روز پس از کاشت اعمال تیمارها آغاز شد. گیاهان هر سه روز یک‌بار با محلول غذایی با میزان محاسبه شده از نمک کلرید سدیم و یا نیترات کادمیوم آبیاری شدند به‌گونه‌ای که مقدار کمی زه‌آب از ته گلدان‌ها خارج می‌شد. هر دو هفته یک‌بار به‌منظور جلوگیری از انباشتگی نمک درون گلدان‌ها، آب‌شویی با آب دو بار تقطیر با حجم تقریبی ١٠٠ میلی‌لیتر (١٠ برابر حد ظرفیت مزرعه‌ای بستر کشت) صورت گرفت و آبیاری با محلول غذایی دوباره آغاز

1- Hyperpolarization

www.SID.ir

Archive of SID

گردید. تیمارهای کلرید سدیم و کادمیوم همراه با محلول غذایی به‌مدت ۸۷ روز اعمال گردیدند. در طول مدت آزمایش دمای اتاقک رشد ۲۵ و ۱۸ درجه سلسیوس (روز و شب)، رطوبت نسبی ۷۵-۵۰ درصد و دوره نوری شامل ۱٦ ساعت روشنایی و هشت ساعت تاریکی بود. ترکیب عناصر غذایی مورد استفاده در محلول غذایی بر اساس محلول یک دوم غلظت هوگلند پایه بود. در زمان برداشت گیاهان (۸۷ روز پس از کاشت، حد نهایی گنجایش اتاق رشد و گلدان‌ها برای رشد بوته‌ها)، اندام هوایی پس از شستشو با آب مقطر در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به‌مدت ٤۸ ساعت قرار داده شدند و بعد از خشک شدن، وزن خشک اندام هوایی اندازه‌گیری شد. در طول دوره رشد گیاه محتوی آب نسبی، شاخص سبزینگی و میزان نشت یونی برگ نیز اندازه‌گیری شدند. بدین‌صورت که یک برگ بالغ و کاملاً توسعه یافته انتخاب شد و پس از جدا کردن از ساقه، داخل فویل آلومینیومی پیچیده شد و بلافاصله داخل فلاسک یخ به آزمایشگاه منتقل شد و وزن آن با تراز و با دقت ۰/۰۰۰۱ اندازه‌گیری شد (وزن تر). آن‌گاه برگ‌ها به‌مدت ۲٤ ساعت در پتری‌دیش‌های حاوی ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر به دور از نور قرار گرفته و سپس وزن شدند (وزن آماس)، سپس برگ‌ها به‌مدت ٤۸ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار گرفته و دوباره وزن شدند (وزن خشک). در نهایت محتوای نسبی آب برگ با استفاده از رابطه ۱ بر حسب درصد محاسبه گردید (۳۹):

$$RWC=(W_f-W_d)/(W_t-W_d)\times 100 \qquad (۱)$$

که در آن، W_f وزن تر، W_d وزن خشک و W_t وزن آماس

اندازه‌گیری شاخص کلروفیل یا سبزینگی برگ با استفاده از دستگاه اسپد[1] انجام شد. بدین‌منظور در هر گلدان از هر بوته دو عدد برگ بالایی انتخاب شده، شدت رنگ سبز آن خوانده شد. برای اندازه‌گیری نشت یونی از هر نمونه برگی هشت دیسک جدا شده و با آب مقطر شستشو داده شدند. آن‌گاه درون لوله‌های درب‌دار حاوی ۲۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر ریخته شدند و به‌مدت ۲٤ ساعت در همزن[2] قرار گرفتند. پس از این مدت قابلیت هدایت الکتریکی محلول‌ها با هدایت‌سنج اندازه‌گیری شد (EC_1). سپس، نمونه‌ها به‌مدت یک ساعت در اتوکلاو با دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس و فشار یک اتمسفر قرار داده شدند و پس از خنک‌شدن در دمای اتاق، مجدداً قابلیت هدایت الکتریکی آن‌ها اندازه‌گیری شد (EC_2). آن‌گاه نشت یونی غشا با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (۱٦):

$$EL=EC_1/EC_2\times 100 \qquad (۲)$$

برای اندازه‌گیری میزان سدیم و کادمیوم اندام هوایی و ریشه از از روش سوزاندن خشک و حل کردن در اسید کلریدریک ۲ نرمال استفاده شد و سپس غلظت کادمیوم با استفاده از دستگاه جذب اتمی[3] و سدیم با استفاده از دستگاه شعله‌سنج[4] اندازه‌گیری گردید (۳).

تجزیه و تحلیل‌های آماری: در این آزمایش، محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. تجزیه واریانس جهت صفات اندازه‌گیری‌شده انجام و پس از آن مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد محاسبه گردید.

1- SPAD, Minolta, Japan
2- Shaker
3- GBC, Avanta, Australia
4- Flame photometer, Jenway PFP7, England

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج و بحث

وزن خشک اندام هوایی: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به وزن خشک اندام هوایی نشان داد که این صفت به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر اثرات اصلی کلرید سدیم و کادمیوم قرار گرفت اما برهمکنش بین این دو معنی‌دار نبود (جدول ۱).

جدول ۱- خلاصه نتایج تجزیه واریانس برخی صفات مورفوفیزیولوژیک و شاخص‌های جذب خرفه تحت‌تأثیر کلرید سدیم و کادمیوم.

Table 1. Summarized analysis of variance for some growth parameters and uptake characteristics of purslane at different levels of NaCl and cadmium.

منبع تغییر Source of variations	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Average of squares							
		وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته) Shoot dry weight (gr/plant)	محتوای نسبی آب برگ (٪) RWC (%)	شاخص سبزینگی برگ SPAD value	سدیم اندام هوایی (گرم بر بوته) Shoot sodium (gr/plant)	سدیم ریشه (٪) Root sodium (%)	کادمیوم اندام هوایی (٪) Shoot cadmium (%)	کادمیوم ریشه (٪) Root cadmium (%)	نشت یونی (٪) Electrolyte leakage (%)
کلرید سدیم NaCl (S)	3	0.44**	354.6**	37.3**	441.6**	1289651.0**	2.5×10^{-3}**	6.4×10^{-2}**	1852.0**
کادمیوم Cadmium (C)	4	0.15**	683.1**	51.4**	27.4**	419896.1**	9.3×10^{-3}**	1×10^{-1}**	82.6^{ns}
کلرید سدیم × کادمیوم (S × C)	12	0.02^{ns}	113.6**	35.9**	10.7^{ns}	232302.6**	4×10^{-4}**	3×10^{-3}	230.9**
خطا error	40	0.01	25.1	7.7	5.9	5573.2	8×10^{-5}	1×10^{-3}	79.5
ضریب تغییرات CV (%)		21.63	7.3	10.3	23.0	18.0	22.4	22.1	12.9

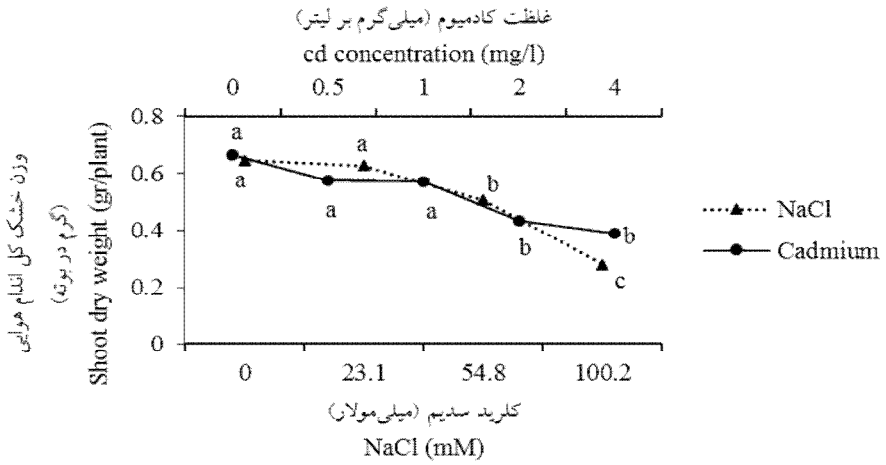
** و ^{ns} به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و عدم معنی‌دار.

** and ^{ns} significant at the 0.05 probability level and non-significant, respectively.

با افزایش سطح کلرید سدیم روند کاهشی در وزن خشک اندام هوایی مشاهده شد به‌طوری‌که کم‌ترین وزن خشک اندام هوایی در سطح ۱۰۰/۲ میلی‌مولار NaCl مشاهده شد (۵۲ درصد شاهد) (شکل ۱). از سوی دیگر، با افزایش غلظت کادمیوم تا ۱ میلی‌گرم بر لیتر وزن خشک اندام هوایی تغییر قابل‌توجهی نداشت ولی با افزایش غلظت به ۲ و ٤ میلی‌گرم بر لیتر به‌ترتیب حدود ۳۵ و ٤۲ درصد نسبت به شاهد کاهش یافتند (به‌ترتیب ۰/۳۹ و ۰/٤۳ در برابر ۰/٦٦ گرم در بوته).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- تأثیر سطوح مختلف کلرید سدیم و کادمیوم بر وزن خشک اندام هوایی خرفه. در هر عامل (نمک و کادمیوم) میانگین‌های با یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (P≤۰/۰۵).

Figure 1. Effect of different levels of NaCl and cadmium on shoot dry weight of purslane. Values of NaCl and cadmium, separately, with one similar letter are not significantly different (P≤0.05).

به‌طورکلی، شوری (به‌ویژه NaCl) از طریق کاهش پتانسیل اسمزی، سمیت یونی و اختلال در مکانیسم‌های جذب گیاه، رشد و عملکرد گیاه را محدود می‌کند. برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که رشد گیاهان هالوفیت به‌طور قابل‌توجهی در شوری‌های پایین‌تر تحریک می‌شود، اما معمولاً در شوری‌های بالاتر متوقف می‌شود (۲۰). در پژوهشی بر روی خرفه با سطوح ۰، ۷۰ و ۱٤۰ میلی‌مولار نمک کلرید سدیم، وزن تر و خشک اندام هوایی ۳۰ روز پس از اعمال ۱٤۰ میلی‌مولار نمک کاهش یافت (۵۰). همچنین در گیاه هالوفیت *Plantago crassifolia* با کاربرد ۰ تا ۵۰۰ میلی‌مولار نمک NaCl وزن خشک اندام هوایی کاهش یافت به‌طوری‌که در شوری‌های ٤۰۰ و ۵۰۰ میلی‌مولار کم‌ترین وزن خشک مشاهده شد (۲۷). از آن‌جا که برهمکنش منفی قابل‌توجهی بین جذب یون کلرید و یون نیترات وجود دارد، ممکن است کاهش جذب نیترات از دلایل کاهش رشد و تجمع ماده خشک در شرایط شور باشد (٤٦). از سوی دیگر، گزارش‌هایی نیز مبنی بر اثر بازدارنده کادمیوم بر رشد گیاهان وجود دارد. کادمیوم با ایجاد اختلال در فرایندهای مهم گیاه مانند فتوسنتز، تنفس، متابولیسم نیتروژن، کاهش جذب و انتشار عناصر غذایی ضروری مانند کلسیم، منیزیم، آهن و پتاسیم در نهایت منجر به کاهش رشد و تولید زیست‌توده در گیاه می‌گردد (٤۹). این اثر ممکن است در گیاهان شورپسند کم‌تر از گیاهان شیرین‌پسند باشد (٤۵).

با این‌حال، ممکن است غلظت‌های پایین کادمیوم تحریک‌کننده رشد باشد بدین‌صورت که غشای یاخته‌ای ریشه را به‌شدت قطبی کرده و منبع انرژی برای جذب کاتیون‌ها باشد. همچنین آماس یاخته‌ای و فعالیت برخی آنزیم‌ها مانند برخی پروتئازها را افزایش داده و افزایش رشد را باعث شود (۱۹). از سوی دیگر، ممکن است به سبب اثر مثبت یون کلر بر حلالیت کادمیوم در خاک، جذب آن توسط ریشه گیاه افزایش یابد (۲۷) از این‌رو انتظار می‌رود بر همکنش مثبت یا منفی از وجود هم‌زمان کادمیوم و کلرید سدیم بر رشد و تجمع ماده خشک در گیاه دیده شود. برای نمونه گزارش شده است افزودن کلرید سدیم به

www.SID.ir

Archive of SID

بستر کشت سبب کاهش آسیب کادمیوم به فتوسنتز و تعرق خالص گیاهان می‌شود (۴۳). با این‌حال نتیجه پژوهشی دیگر نشان داده که افزودن کلرید سدیم به محیط حاوی کادمیوم اثر هم‌افزایی بر تجمع ماده خشک گندم نداشت (۱).

اثر کلرید سدیم و کادمیوم بر محتوای نسبی آب برگ (RWC): تجزیه واریانس داده‌ها در بررسی اثر کلرید سدیم و کادمیوم بر محتوای نسبی آب برگ نشان داد که اثر سطوح مختلف نمک، کادمیوم و برهمکنش این دو بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۱). در شوری‌های صفر (شاهد) و ۲۳/۱ میلی‌مولار کلرید سدیم، بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ در سطح شاهد کادمیوم مشاهده شد و با افزایش غلظت کادمیوم محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت هر چند که بین غلظت‌های مختلف کادمیوم (به‌جز شاهد) تفاوت معنی‌داری دیده نشد. اما در ۵۷/٤ میلی‌مولار کلرید سدیم، با افزایش غلظت کادمیوم محتوای نسبی آب برگ تغییر معنی‌داری نداشت و در ۱۰۰/۲ میلی‌مولار تنها در غلظت‌های ۲ و ٤ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت (جدول ۲).

به‌نظر می‌رسد در شوری‌های پایین (۱/۳ و ۳ دسی‌زیمنس بر متر برابر ۰ و ۲۳/۱ میلی‌مولار NaCl) حساسیت به کادمیوم در غلظت ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر به‌صورت کاهش قابل‌توجه در محتوای نسبی آب برگ بروز می‌کند اما این حساسیت در شوری‌های ۸ و ۱۳ دسی‌زیمنس بر متر (۵۷/٤ و ۱۰۰/۲ میلی‌مولار NaCl) کم‌تر دیده می‌شود. از سوی دیگر محتوای نسبی آب برگ خرفه تا ۵۷/٤ میلی‌مولار NaCl و در همه سطوح کادمیوم نسبتاً بالاست (برای نمونه در ۵۷/٤ میلی‌مولار NaCl و کادمیوم ٤ میلی‌گرم بر لیتر، محتوای نسبی آب برگ حدود ۷۲ درصد است) که نشان از جذب آب و گوشتی بودن برگ حتی در شوری‌های نسبتاً شدید است.

به‌طورکلی کاهش در محتوای نسبی آب برگ یک پاسخ بسیاری از گیاهان (نه همه آن‌ها) به تنش اسمزی است (۱۸). با افزایش محتوای نمک خاک، برخی گیاهان شورپسند می‌توانند با تجمع مواد محلول اسمزی و احتمالاً تجمع یون سدیم در واکوئل و در نتیجه کاهش پتانسیل اسمزی برگ تحمل خود را از طریق افزایش جذب آب و بهبود آماس سلولی افزایش دهند (۹). در همین رابطه، نتیجه پژوهشی بر روی خرفه با کاربرد دو سطح شوری ۷۰ و ۱٤۰ میلی‌مولار کلرید سدیم ۱۸ روز پس از اعمال تنش نشان داد که RWC برگ ۲٦ درصد افزایش یافت (۱۸). در آزمایشی دیگر بر روی دو زیر گونه از آتریپلکس با سطوح شوری ۰، ۹۰، ۱۸۰ و ۲٦۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد که در زیر گونه *purpurea* محتوای نسبی آب برگ تا ۹۰ میلی‌مولار و در زیر گونه *rubra* تا ۲٦۰ میلی‌مولار کاهش نیافت. بدین‌ترتیب زیر گونه *rubra* به سبب وضعیت رطوبتی بهتر و کارایی مصرف آب بالاتر تحمل بهتری به شوری از خود نشان داد (۱۷). از سوی دیگر، کادمیوم به‌طورکلی تحمل به تنش آبی گیاهان را با کاهش فشار آماس سلول‌های برگ، کاهش می‌دهد. در پژوهشی بر روی سورگوم، محتوای نسبی آب برگ با افزایش غلظت کادمیوم کاهش یافت که می‌تواند به سبب کاهش جذب آب در نتیجه بازدارندگی رشد ریشه باشد (۲۳)، در حالی‌که اعمال ۵۰ میکرومولار نیترات کادمیوم بر دو رقم سویا نشان داد که بین شاهد و گیاهان تیمار شده در محتوای نسبی آب برگ تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (۲۸). مشابه همین نتیجه در پژوهشی با کاربرد مقدارهای گوناگون کادمیوم بر روی گیاه شورپسند سالیکورنیا (*Salicornia ramosissima*) دیده شد (۳۵).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- مقایسه میانگین شاخص سبزینگی (SPAD)، محتوای نسبی آب برگ (RWC) و نشت یونی (Electrolyte leakage) برگ خرفه در غلظت‌های مختلف کلرید سدیم و کادمیوم بستر کشت.

Table 2. Mean comparison of SPAD value, leaf relative water content (RWC) and electrolyte leakage of purslane leaves under different NaCl and cadmium concentrations in growth medium.

غلظت کلرید سدیم (میلی‌مولار) NaCl concentration (mM)	غلظت کادمیوم (میلی‌گرم بر لیتر) Cd concentration (mg/l)	شاخص سبزینگی برگ SPAD value	محتوای نسبی آب برگ (٪) RWC (%)	نشت یونی (٪) Electrolyte leakage (%)
	0	27.2 abc	82.0 abc	54.5 fgh
	0.5	27.0 a-d	66.1 efg	56.2 fgh
0	1	27.0 a-d	65.1 fg	63.0 d-h
	2	25.42 c-f	63.0 fg	66.9 c-g
	4	23.2 d-g	60.2 gh	53.0 gh
	0	29.8 a	86.6 ab	46.4 h
	0.5	27.8 abc	64.5 fg	64.3 d-h
23.1	1	27.3 abc	63.7 fg	59.0 fgh
	2	22.3 fgh	64.8 fg	62.1 e-h
	4	20.2 ghi	60.0 gh	72.8 b-f
	0	29.4 ab	76.8 bcd	80.7 a-d
	0.5	22.2 fgh	77.8 bcd	85.7 ab
57.4	1	26.0 b-e	77.1 cd	84.5 abc
	2	23.6 d-g	72.8 c-f	90.1 ab
	4	17.3 i	72.0 def	62.7 d-h
	0	23.5 d-g	74.4 b-e	94.5 a
	0.5	21.9 gh	75.5 cde	77.6 a-e
100.2	1	21.9 fgh	66.8 efg	83.5 abc
	2	19.3 hi	49.6 i	72.3 b-f
	4	18.2 i	52.3 hi	74.3 b-f

در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (P≤۰/۰۵).

In each column, means with similar letter(s) are not significantly different (P≤0.05).

اثر کلرید سدیم و کادمیوم بر شاخص کلروفیل برگ (SPAD): نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به عدد اسپد نشان داد که کلرید سدیم، کادمیوم و برهمکنش کلرید سدیم و کادمیوم تأثیر معنی‌داری بر این صفت داشتند (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل کلرید سدیم و کادمیوم (جدول ۲) نشان داد که در سطح شاهد نمک با افزایش غلظت کادمیوم تا ۲ میلی‌گرم بر لیتر، شاخص کلروفیل برگ تغییر معنی‌داری نداشت و تنها در سطح ٤ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به شاهد کاهش یافت. با افزایش شوری به ۲۳/۱ میلی‌مولار کلرید سدیم کاهش شاخص کلروفیل نسبت به شاهد از سطح ۲ و در شوری‌های ۵۷/٤ و

www.SID.ir

Archive of SID

۱۰۰/۲ میلی‌مولار از سطح ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم شروع شد. در سطح ۱۰۰/۲ میلی‌مولار کلرید سدیم، شاخص کلروفیل برگ به‌طورکلی بسیار پایین‌تر از شاهد بود. ممکن است شوری سبب کاهش غلظت منیزیم در برگ شده و از آن‌جا که منیزیم یک عنصر ضروری برای ساخت کلروفیل است، محتوای کلروفیل برگ کاهش یابد (۷). با این‌حال در پژوهشی با سطوح شوری ۰، ۱۲۰ و ۲٤۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بر روی خرفه مشاهده شد که با افزایش غلظت نمک، شاخص سبزینگی برگ خرفه به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت (۱۸). نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داده است با افزایش سطح کادمیوم بستر، جذب عناصر غذایی به‌کار رفته در ساختمان کلروفیل کاهش یافته و آثار زردی و خشکیدگی در گیاه پدیدار می‌گردد. در پژوهشی بر روی گوجه‌فرنگی کاربرد غلظت‌های متفاوت کادمیوم در دامنه ۸۰-۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک سبب کاهش معنی‌دار شاخص کلروفیل برگ شد (۳۳). همچنین ولی‌زاده فرد و همکاران (٤۸) بیان داشتند که کادمیوم باعث کاهش و توقف رشد ریشه، اختلال در جذب عناصر غذایی، کاهش میزان کلروفیل و اختلال در فعالیت آنزیم‌های درگیر در فتوسنتز می‌شود. در پژوهشی دیگر اعمال کادمیوم، کلرید سدیم و کادمیوم همراه با کلرید سدیم منجر به کاهش شاخص کلروفیل برگ در ژنوتیپ‌های جو شد اما تفاوتی بین سطوح تیمارهای کادمیوم و شوری مشاهده نشد اگرچه در گیاهان مقاوم به تنش مقدار اسپد بیش‌تر بود (۱٤). با این‌حال در برخی موارد برهمکنش مثبتی از شوری و کادمیوم بر محتوای کلروفیل برگ گزارش شده است. برای نمونه محتوای کلروفیل هالوفیت *Sesuvium portulacastrum* در معرض تیمار کلرید کادمیوم به‌تنهایی نسبت به شاهد کاهش یافت اما کلرید سدیم به‌طور قابل‌توجهی این اثر را کاهش داد (۱۲).

اثر کلرید سدیم و کادمیوم بر نشت یونی: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر کلرید سدیم و اثر متقابل کلرید سدیم و کادمیوم بر نشت یونی معنی‌دار بود اما کادمیوم به‌تنهایی اثری بر این صفت نداشت (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲) نشان داد که در سطح شاهد نمک (۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) با افزایش غلظت کادمیوم از ۰ تا ٤ میلی‌گرم بر لیتر نشت یونی تغییر معنی‌داری نداشت اما در ۲۳/۱ میلی‌مولار کلرید سدیم با افزایش غلظت کادمیوم نشت یونی افزایش پیدا کرد اما تنها در سطح ٤ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم این افزایش معنی‌دار بود. در سطوح ۵۷/٤ و ۱۰۰/۲ میلی‌مولار کلرید سدیم به‌طورکلی مقدارهای نشت یونی بسیار بیش‌تر از سطوح شاهد و ۲۳/۱ میلی‌مولار بود. با این‌حال در هر سطح نمک تغییرات نشت یونی با افزایش کادمیوم از صفر تا ٤ میلی‌گرم بر لیتر در بیش‌تر موارد معنی‌دار نبود. به‌نظر می‌رسد پایداری غشا تا حد ۲۳/۱ میلی‌مولار نمک و ۲ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم حفظ شده است اما با افزایش غلظت نمک به ۵۷/٤ و ۱۰۰/۲ میلی‌مولار کاهش یافته است هر چند که در این دو سطح نمک افزایش سطح کادمیوم اثر کاهنده بیش‌تری بر پایداری غشا نداشته است.

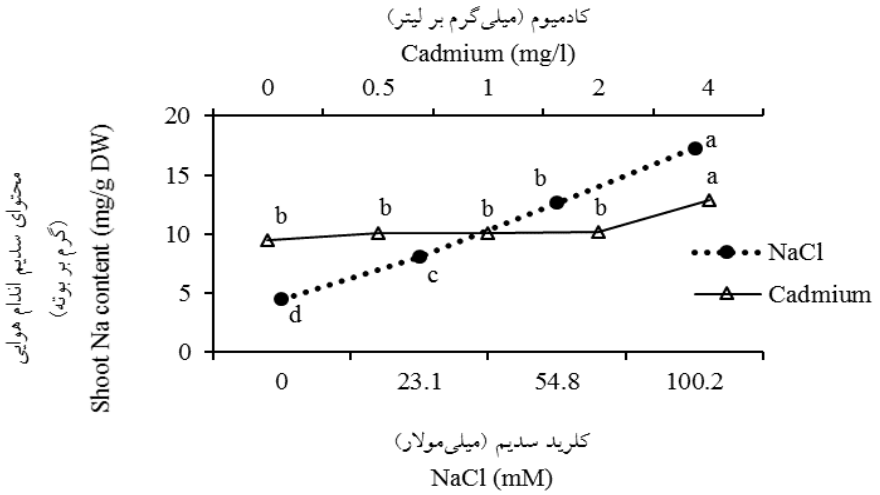
در شرایط تنش شوری (به‌ویژه کلرید سدیم) با افزایش گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر، پراکسیداسیون اسیدهای چرب افزایش می‌یابد و با از دست رفتن خاصیت انتخابی غشای سلول محتویات آن به بیرون نشت می‌کند. پیری برگ نیز یکی از عواملی است که در شرایط تنش شوری به گیاه تحمیل می‌شود. یکی از علل پیری برگ افزایش تراوایی و قابلیت نفوذپذیری غشا در غلظت‌های بالای نمک می‌باشد (٤۰). در گونه هالوفیت کالارگراس (*Leptochloa fusca* L.) در سطوح مختلف شوری (۰، ۵، ۱۰ و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر) به‌علت تجمع اسمولیت‌ها و املاح در

www.SID.ir

Archive of SID

سلول‌های گیاهی به‌خوبی پتانسیل اسمزی و در نتیجه پایداری غشایی حفظ شد و بنابراین تنش شوری در هیچ‌یک از سطوح باعث افزایش نشت الکترولیتی از سلول‌ها نگردید (۱۱). در آزمایشی دیگر اعمال سطوح مختلف نمک (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) اثر متفاوتی بر پایداری غشا دو رقم ارزن علوفه‌ای به نام‌های نوتریفید (مقاوم به شوری) و باستان (حساس به شوری) داشت. بدین‌ترتیب که در نوتریفید بین سطوح شاهد، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ولی در رقم باستان کاهش معنی‌دار از سطح ۵۰ میلی‌مولار شروع شد (۳٤). از سوی دیگر کادمیوم همانند فلزات سنگین دیگر با اثر بر روی پیوندهای محتوی نیتروژن و گوگرد پروتئین‌ها موجب تخریب کانال‌های غشایی و نشت یون‌ها می‌شود. نتایج پژوهشی بر روی گیاه ذرت در کشت هیدروپونیک با سطوح کلرید کادمیوم (۰، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) نشان داد که با افزایش میزان کلرید کادمیوم میزان نشت یونی افزایش پیدا کرد ولی تنها در سطح ۱۰۰ میکرومولار، افزایش معنی‌دار بود. (۳٦). بنا بر نتایج پژوهش رادی (۲۰۱۱)، برهمکنش مشخصی از کلرید سدیم و کادمیوم بر پایداری غشا و نشت یونی در گیاه لوبیا مشاهده نشد و هر یک به‌تنهایی یا با هم اثر یکسانی بر آسیب به غشا داشتند (۳۷).

اثر کلرید سدیم و کادمیوم بر محتوای سدیم اندام هوایی و ریشه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کلرید سدیم و کادمیوم بر محتوای سدیم اندام هوایی معنی‌دار بود در حالی‌که برهمکنش آن با کادمیوم بر این صفت معنی‌دار نبود با این وجود محتوای سدیم ریشه تحت‌تأثیر غلظت کلرید سدیم، کادمیوم و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۱). مقایسه میانگین سطوح مختلف کلرید سدیم (شکل ۲) نشان داد که محتوای سدیم اندام هوایی با افزایش غلظت کلرید سدیم بستر کشت به‌صورت خطی افزایش یافت به‌طوری‌که بیش‌ترین محتوای سدیم در سطح ۱۰۰/۲ میلی‌مولار مشاهده شد. اما با افزایش غلظت کادمیوم از ۰ تا ۲ میلی‌گرم بر لیتر تغییری در محتوای سدیم اندام هوایی مشاهده نشد و تنها ٤ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم آن را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (شکل ۲).



شکل ۲- تأثیر سطوح مختلف کلرید سدیم و کادمیوم بر محتوای سدیم اندام هوایی خرفه. در هر عامل (نمک و کادمیوم) میانگین‌های با یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (P≤۰/۰۵).

Figure 2. Effect of NaCl and cadmium on sodium content of purslane shoot. In each factor (NaCl, cadmium), values with one similar letter are not significantly different (P≤0.05).

www.SID.ir

Archive of SID

از سوی دیگر، نتایج مقایسه میانگین (جدول ۳) نشان داد که در شوری شاهد (۰ میلی‌مولار NaCl) با افزایش غلظت کادمیوم محتوای سدیم ریشه افزایش یافت اما تنها تفاوت معنی‌دار بین سطح ٤ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم و شاهد بود. در سطوح ۲۳/۱ و ۵۷/٤ میلی‌مولار کلرید سدیم با افزایش غلظت کادمیوم از ۰ تا ٤ میلی‌گرم بر لیتر با این‌که محتوای سدیم ریشه افزایش یافت اما تفاوت معنی‌داری بین غلظت‌های مختلف کادمیوم مشاهده نشد. با افزایش نمک به ۱۰۰/۲ میلی‌مولار و با افزایش غلظت کادمیوم، محتوای سدیم ریشه افزایش یافت. در غلظت ۲ و ٤ میلی‌گرم بر لیتر در این سطح نمک به‌سبب کم بودن ماده خشک، محتوای سدیم ریشه قابل اندازه‌گیری نبود. با مقایسه سطوح مختلف کلرید سدیم در هر سطح کادمیوم نیز می‌توان دریافت که با افزایش نمک تا ۱۰۰/۲ میلی‌مولار محتوای سدیم ریشه افزایش یافت با این حال افزایش معنی‌دار بیش‌تر در همین سطح مشاهده شد.

در پژوهشی بر روی خرفه با سطوح شوری ۰، ٦٦، ۱۳۲ و ۲٦٤ میلی‌مولار کلرید سدیم نشان داده شد که محتوای سدیم اندام هوایی با افزایش شوری افزایش یافت با این‌حال در شوری ۲٦٤ میلی‌مولار محتوای سدیم تنها ٤۵ درصد بیش از شاهد بود. این میزان در گیاهانی که به‌مدت ۲۰ روز در معرض تنش قرار داشتند بیش‌تر بود. همچنین افزایش جذب سدیم منجر به کاهش تجمع کلسیم در اندام هوایی گیاه شد (٤۷). در آزمایشی دیگر بر روی خرفه با سطوح شوری ۰/٦۵، ۳/۵، ۵ و ٦/۵ دسی‌زیمنس بر متر نتیجه گرفته شد که با افزایش شوری، درصد سدیم اندام هوایی افزایش یافت. همچنین محتوای کلر و سدیم بافت‌ها همبستگی بسیار بالایی داشتند (۲۲). نتیجه پژوهشی بر روی گیاه *Atriplex nummularia* با سطوح شوری ۰، ۷۵، ۱۵۰، ۳۰۰، ٤۰۰ و ٦۰۰ میلی‌مولار نشان داد بیش‌ترین تجمع سدیم در ریشه به غلظت ٦۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم تعلق داشت (٤۲). اشرف و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند اعمال ۱۵۰ میلی‌مولار شوری غلظت سدیم ریشه کلزا را نسبت به شاهد افزایش داد اما غلظت سدیم ریشه نسبت به اندام هوایی کم‌تر بود (۲). برهمکنش کلرید سدیم و کادمیوم نیز در برخی موارد بر جذب و تجمع سدیم مؤثر است. در پژوهشی بر روی ژنوتیپ‌های حساس و مقاوم جو مشخص شد که کاربرد کلرید کادمیوم به‌تنهایی اثری بر محتوای سدیم اندام هوایی نداشت اما ترکیب کلرید سدیم + کلرید کادمیوم سبب افزایش معنی‌دار محتوای سدیم نسبت به دیگر تیمارها شد. همچنین غلظت سدیم در ژنوتیپ‌های متحمل به شوری کم‌تر از ژنوتیپ‌های حساس بود (۱٤). در پژوهشی دیگر بر روی آتریپلکس با اعمال ۵۰ میلی‌مولار نمک‌های کلرید سدیم، نیترات سدیم و کلرید پتاسیم و کلرید کادمیوم نتیجه گرفته شد که زمانی که ۵۰ میکرومولار کلرید کادمیوم به محیط کشت اضافه شد محتوای سدیم ریشه و اندام هوایی نسبت به شاهد افزایش یافت. بیش‌ترین محتوای سدیم برگ در تیمار کلرید سدیم همراه با کادمیوم نسبت به شاهد و کاربرد نیترات سدیم به‌تنهایی مشاهده شد (۲٤).

اثر کلرید سدیم و کادمیوم بر محتوای کادمیوم ریشه و اندام هوایی: نتایج نشان داد اثر سطوح مختلف کلرید سدیم، کادمیوم و برهمکنش کلرید سدیم و کادمیوم بر محتوای کادمیوم ریشه و اندام هوایی خرفه معنی‌دار بود (جدول ۱). محتوای کادمیوم ریشه و اندام هوایی خرفه (جدول ۳) همراه با افزایش غلظت کادمیوم به‌کار رفته در محلول غذایی به‌صورت خطی افزایش یافت و بیش‌ترین محتوای کادمیوم در هر دو اندام در غلظت ۱۰۰/۲ میلی‌مولار نمک کلرید سدیم مشاهده شد. با این‌حال، به‌طورکلی محتوای کادمیوم ریشه بسیار بیش‌تر از اندام هوایی بود. بنا بر

www.SID.ir

Archive of SID

برخی گزارش‌ها افزایش غلظت کادمیوم با افزایش سطح کلرید سدیم، ممکن است به‌دلیل تشکیل کمپلکس‌های محلول کادمیوم- کلر مانند $CdCl^{+}$ و $CdCl_2$ باشد که باعث افزایش حلالیت کادمیوم و افزایش جذب آن توسط گیاه می‌شود (۲۱ و ۲٦). همچنین این موضوع ممکن است به‌دلیل کاهش زیست‌توده گیاه در شوری‌های زیاد باشد. با این‌حال نتیجه یک پژوهش دیگر نشان داده است که شوری ناشی از آنیون کلرید از تجمع کادمیوم در گیاه هالوفیت آتریپلکس جلوگیری می‌کند (۲٤). همچنین وجود نمک کلرید سدیم از جذب کادمیوم توسط بقایای ساقه انگور به‌شدت جلوگیری می‌کند. ممکن است سازوکارهای دیگری به‌جز ایجاد کمپلکس‌های سطحی و تبادل بارهای الکتریکی مؤثر باشد (۲۵). همچنین تجمع کادمیوم در میوه طالبی تحت‌تأثیر محتوای کلرید سدیم خاک تغییر نکرد (٦).

جدول ۳- مقایسه میانگین محتوای سدیم ریشه و محتوای کادمیوم ریشه و اندام هوایی (درصد) خرفه در سطوح مختلف کلرید سدیم و کادمیوم بستر کشت.

Table 3. Mean comparison of root sodium content and root and shoot cadmium content (%) of purslane leaves under different NaCl and cadmium levels in growth medium.

غلظت کلرید سدیم (میلی‌مولار) NaCl concentration (mM)	غلظت کادمیوم (میلی‌گرم بر لیتر) Cadmium (mg/l)	محتوای سدیم ریشه (٪) Root sodium content (%)	محتوای کادمیوم (٪) Cadmium content (%)	
			ریشه Root	اندام هوایی Shoot
0	0	51.1 g	0.017 i	0.0027 g
	0.5	71.5 fg	0.123 fgh	0.0174 g
	1	83.3 fg	0.130 efg	0.0238 ef
	2	93.9 fg	0.225 cd	0.0399 cde
	4	223.1 c-f	0.227 cd	0.0548 c
23.1	0	76.2 fg	0.045 hi	0.0042 g
	0.5	93.3 fg	0.070 ghi	0.0178 fg
	1	105.6 efg	0.115 fgh	0.0391 cde
	2	134.2 d-g	0.203 cde	0.0542 c
	4	143.3 c-g	0.223 cd	0.0488 cd
57.4	0	177.4 c-g	0.015 i	0.0046 g
	0.5	175.0 c-g	0.140 efg	0.0265 g
	1	175.2 c-g	0.180 def	0.0341 de
	2	212.1 c-f	0.220 cd	0.0532 c
	4	260.6 cd	0.240 cd	0.0947 a
100.2	0	253.9 cde	0.073 ghi	0.0029 g
	0.5	289.3 bc	0.230 cd	0.0429 cd
	1	419.9 a	0.267 c	0.0544 c
	2	-	0.367 b	0.0788 b
	4	-	0.450 a	0.1071 a

در هر ستون، میانگین‌های دارای یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (P≤۰/۰۵).

In each column, means with similar letter(s) are not significantly different (P≤0.05).

www.SID.ir

Archive of SID

گیاهان دارای برخی سازوکارهای فیزیولوژیک هستند که از تجمع کادمیوم در قسمت هوایی جلوگیری می‌کنند. به‌طور مثال با تشکیل کمپلکس بین کادمیوم و پپتیدهای موجود در غشای ریشه از انتقال این عنصر به اندام هوایی ممانعت می‌شود. همچنین، قابلیت ریشه در تجمع کادمیوم جذب‌شده را می‌توان از طریق مکانیسم‌های متعددی از جمله غیرمتحرک شدن کادمیوم در داخل سلول به‌واسطه تشکیل کمپلکس با اسیدهای آلی مانند مالات و اگزالات، پروتئین‌های ناقل به‌نام Metallothioneins، تجمع در داخل واکوئل و مسدود شدن به‌وسیله سلول‌های اپیدرمی تشریح کرد (٤). در آزمایشی بر روی دو گونه هالوفیت *Sesuvium portulacastrum* و *Mesembryanthemum crystallinum* با غلظت‌های متفاوت کادمیوم (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میکرومولار) مشاهده شد که تجمع کادمیوم در اندام هوایی و ریشه هر دو گونه با افزایش غلظت کادمیوم افزایش یافت به‌طوری‌که بیش‌ترین تجمع کادمیوم اندام هوایی و ریشه به غلظت ۳۰۰ میکرومولار تعلق داشت، البته میزان تجمع کادمیوم در ریشه نسبت به اندام هوایی بیش‌تر بود (۷). در آزمایشی دیگر با اعمال ۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار کلرید کادمیوم بر روی هالوفیت *Cakile maritima* و گلیکوفیت *Brassica juncea* مشاهده گردید که با افزایش غلظت کادمیوم از ۰ به ۱۰۰ میکرومولار تغییری در محتوای کادمیوم اندام هوایی *Brassica juncea* مشاهده نشد اما در گونه هالوفیت در غلظت ۱۰۰ میکرومولار بیش‌ترین محتوای کادمیوم اندام هوایی مشاهده شد (٤٤). در پژوهشی دیگر بر روی آتریپلکس با اعمال ۵۰ میلی‌مولار کلرید کادمیوم همراه با ۵۰ میلی‌مولار نمک‌های کلرید سدیم، نیترات سدیم و کلرید پتاسیم نتیجه گرفته شد که غلظت کادمیوم ریشه در تیمار کادمیوم + نیترات سدیم نسبت به اعمال کادمیوم به‌تنهایی بیش‌تر بود. با این‌حال غلظت کادمیوم ریشه در تیمار کادمیوم به‌تنهایی از کلرید سدیم و کلرید پتاسیم همراه با کادمیوم بیش‌تر بود. به‌طورکلی تجمع کادمیوم در ریشه نسبت به برگ بیش‌تر بود (٢٤). از سوی دیگر در برخی شرایط افزودن کلرید سدیم به محیط رشد علاوه بر کاهش اثرات کادمیوم در رشد گیاه موجب جذب و انتقال کادمیوم از ریشه به اندام هوایی می‌شود. در همین رابطه، افزودن کلرید سدیم به محیط رشد باعث کاهش بسیاری از نشانه‌های مسمومیت کادمیوم مانند مهار رشد، آسیب‌های غشایی و کلروز و نکروز در اندام هوایی *Sesuvium portulacastrum* می‌شود (۵). در مدلی که برای برهمکنش جذب کادمیوم و سدیم در خاک با توجه به بافت خاک معرفی شده است، روشن شده است که اگرچه افزایش کادمیوم و سدیم سبب افزایش جذب هر یک در گیاه (ریشه و اندام هوایی) می‌شود اما این اثر در خاک‌های با بافت سنگین مشخص‌تر بود (۲۳).

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش کاهش معنی‌دار وزن خشک توده محلی خرفه مورد استفاده در این پژوهش از سطح ۲۳/۱ میلی‌مولار کلرید سدیم و کادمیوم ۲ میلی‌گرم بر لیتر شروع شد. همچنین شاخص سبزینگی برگ با افزایش محتوای کادمیوم کاهش یافت اما این اثر در محتوای کادمیوم بیش از ۲ میلی‌گرم بر لیتر و کلرید سدیم بیش از ۲۳/۱ میلی‌مولار مشخص‌تر بود. در مقابل، محتوای نسبی آب برگ اگرچه در هر سطح نمک با افزایش محتوای کادمیوم به‌طور نسبی کاهش یافت اما بدون کاربرد کادمیوم تغییر معنی‌داری در آن دیده نشد. به‌گونه‌ای که حتی در ۵۷/٤ و ۱۰۰/۲ میلی‌مولار کلرید سدیم نیز محتوای آب برگ خرفه کم‌تر از شاهد نبود. از سوی دیگر، محتوای سدیم اندام هوایی و ریشه خرفه در واکنش به افزایش سطح نمک و کادمیوم افزایش یافت اما در مجموع محتوای

www.SID.ir

Archive of SID

سدیم ریشه بسیار بیش‌تر از اندام هوایی بود. به‌نظر می‌رسد گیاه خرفه با انباشتگی مقدارهای نسبتاً زیاد سدیم در ریشه از تجمع آن در بافت‌های حساس اندام هوایی مانند برگ‌ها جلوگیری می‌کند. به‌همین ترتیب، محتوای کادمیوم ریشه و اندام هوایی نیز در واکنش به افزایش شوری و کادمیوم افزایش یافتند با این حال شیب افزایش در مورد ریشه بیش‌تر بود و به‌طورکلی محتوای کادمیوم ریشه نیز بسیار بیش‌تر از محتوای کادمیوم اندام هوایی بود. از این‌رو تجمع کم کادمیوم در اندام هوایی حتی در شرایط آلودگی خاک سبب حفظ کیفیت علوفه‌ای این گیاه می‌شود. در نهایت این‌که افزایش معنی‌دار محتوای سدیم اندام هوایی در واکنش به افزایش کادمیوم محیط از سطح ٤ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم شروع شد و از این‌رو غلظت‌های کم کادمیوم در خاک اثر افزاینده‌ای بر جذب سدیم ندارد. با توجه به تجمع اندک سدیم و کادمیوم در اندام هوایی این گیاه، به‌نظر می‌رسد کیفیت علوفه‌ای آن حتی در خاک‌های آلوده به کادمیوم و شور قابل‌توجه باشد. با این‌حال ارزیابی‌های بیش‌تر مزرعه‌ای با تعداد بیش‌تری توده محلی که احتمالاً از دیدگاه تحمل به شوری یا آلودگی با هم متفاوتند، ضروری به‌نظر می‌رسد.

منابع

1. Abo Kassem, E., Sharaf El Din, A., Rozema, J., and Foda, E.A. 1995. Synergistic effects of cadmium and NaCl on the growth, photosynthesis and ion content in wheat plants. Biologia Plantarum. 37: 241-249.
2. Ashraf, M., and Ali, Q. 2008. Relative membrane permeability and activities of some antioxidant enzymes as the key determinants of salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.). Environmental and Experimental Botany. 63: 266-273.
3. Black, C.A., Evans, D., and Dinauer, R. 1965. Methods of soil analysis. American Society of Agronomy Madison, WI.
4. Barcelo, J., Vazquez, M., and Poschenrieder, C. 1988. Structural and ultrastructural disorders in cadmium treated bush bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). New Phytologist. 108: 37-49.
5. Chai, M.W., Li, R.L., Shi, F.C., Liu, F.C., Pan, X., Cao, D., and Wen, X. 2014. Effects of cadmium stress on growth, metal accumulation and organic acids of *Spartina alterniflora* Loisel. Afric. J. Biotechnol. 11: 6091-6099.
6. Gabrijel, O., Davor, R., Zed, R., Marija, R., and Monika, Z. 2009. Cadmium accumulation by muskmelon under salt stress in contaminated organic soil. Science of the Total Environment. 407: 2175-2182.
7. Ghnaya, T., Nouairi, I., Slama, I., Messedi, D., Grignon, C., Abdelly, C., and Ghorbel, M.H. 2005. Cadmium effects on growth and mineral nutrition of two halophytes: *Sesuvium portulacastrum* and *Mesembryanthemum crystallinum*. J. Plant Physiol. 162: 1133-1140.
8. Ghnaya, T., Slama, I., Messedi, D., Grignon, C., Ghorbel, M.H., and Abdelly, C. 2007. Cd-induced growth reduction in the halophyte *Sesuvium portulacastrum* is significantly improved by NaCl. J. Plant Res. 120: 309-316.
9. Glenn, E.P., Brown, J., and Khan, M.J. 1997. Mechanisms of salt tolerance in higher plants. P 83-110, In: A.S. Basra and R.K. Basra (eds.), Mechanisms of Environmental Stress Resistance in Plants. Harwood Academics Press, Amsterdam.
10. Grieve, C., and Suarez, D. 1997. Purslane (*Portulaca oleracea* L.): a halophytic crop for drainage water reuse systems. Plant and Soil. 192: 277-283.
11. Haj Mohammadnia Ghalibaf, K., and Selahvarzi, Y. 2012. Effects of drought and salinity stresses on morpho-physiological characteristics of kalargras (*Leptochloa fusca* L.) under controlled conditions. Iran. J. Field Crop Res. 10: 179-188. (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

12.Helal, H.M., Upenov, A., and Issa, G.J. 1999. Growth and uptake of Cd and Zn by *Leucaena leucocephala* in reclaimed soils as affected by NaCl salinity. J. Plant Nutr. Soil Sci. 162: 589-592.
13.Howladar, S.M. 2014. A novel *Moringa oleifera* leaf extract can mitigate the stress effects of salinity and cadmium in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants. Ecotoxicology and Environmental Safety. 100: 69-75.
14.Huang, Y.Z., Wei, K., Yang, J., Dai, F., and Zhang, G.P. 2007. Interaction of salinity and cadmium stresses on mineral nutrients, sodium and cadmium accumulation in four barley genotypes. J. Zhejiang Univ. Sci. 8: 476-485.
15.Inanloofar, M., Omidi, H., and Pazoki, A.R. 2014. Morphological, agronomical and oil content changes in purslane (*Portulaca oleracea* L.) under drought stress and biological - chemical nitrogen fertilization. J. Med. Plant. 12: 170-184. (In Persian)
16.Jambunathan, N. 2010. Determination and detection of reactive oxygen species (ROS), lipid peroxidation and electrolyte leakage in plants. Plant stress tolerance: methods and protocols. Pp: 291-297.
17.Kachout, S.S., Mansoura, A.B., Hamza, K.J., Leclerc, J., Rejeb, M., and Ouerghi, Z. 2011. Leaf–water relations and ion concentrations of the halophyte *Atriplex hortensis* in response to salinity and water stress. Acta Physiologiae Plantarum. 33: 335-342.
18.Kafi, M., and Rahimi, Z. 2011. Effect of salinity and silicon on root characteristics, growth, water status, proline content and ion accumulation of purslane (*Portulaca oleracea* L.). Soil Science and Plant Nutrition. 57: 341-347. (In Persian)
19.Karimi, G., and Nojavan, M. 2006. Investigation on cadmium chloride on growth parameters and prolin, soluble sugars and proteins content in lens (*Lens culinaris* Medic) seedlings. Pazhuhesh va Sazandegi. 76: 53-45. (In Persian)
20.Khan, M.A., Ungar, I.A., and Showalter, A.M. 2000. Effects of salinity on growth, water relations and ion accumulation of the subtropical perennial halophyte, *Atriplex griffithii* var. stocksii. Annals of Botany. 85: 225-232.
21.Khoshgoftarmanesh, A.H., Shariatmadari, H., and Karimian, N. 2004. Effects of saline irrigation water and Zn application on soil Cd solubility and Cd concentration in wheat. J. Water Soil Sci. 7: 53-60. (In Persian)
22.Kilic, C.C., Kukul, Y.S., and Anac, D. 2008. Performance of purslane (*Portulaca oleracea* L.) as a salt-removing crop. Agricultural Water Management. 95: 854-858.
23.Kuriakose, S.V., and Prasad, M. 2008. Cadmium stress affects seed germination and seedling growth in *Sorghum bicolor* (L.) Moench by changing the activities of hydrolyzing enzymes. Plant Growth Regulation. 54: 143-156.
24.Lefevre, I., Marchal, G., Meerts, P., Correal, E., and Lutts, S. 2009. Chloride salinity reduces cadmium accumulation by the mediterranean halophyte species *Atriplex halimus* L. Environmental and Experimental Botany. 65: 142-152.
25.Martlnez, M., Miralles, N., Hidalgo, S., Fiol, N., Villaescusa, I., and Poch, J. 2006. Removal of lead (II) and cadmium(II) from aqueous solutions using grape stalk waste. J. Hazard. Mater. 133: 203-211.
26.McLaughlin, M.J., Tiller, K.G., and Smart, M.K. 1997. Speciation of cadmium in soil solutions of saline/sodic soils and relationship with cadmium concentrations in potato tubers (*Solanum tuberosum* L.). Austr. J. Soil Res. 35: 183-198.
27.Manousaki, E., and Kalogerakis, N. 2011. Halophytes an emerging trend in phytoremediation. Inter. J. Phytoremediation. 13: 959-969.
28.Marchiol, L., Leita, L., Martin, M., Peressotti, A., and Zerbi, G. 1996. Physiological responses of two soybean cultivars to cadmium. J. Environ. Qual. 25: 562-566.
29.Mir Mohammadi Maibodi, S.A.M., and Ghareyazie, B. 2003. Physiological aspects and breeding for salinity stress in plants. Isfahan University of Technology Press, 288p. (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

30.Mohamed, A.I., and Hussein, A.S. 1994. Chemical composition of purslane (*Portulaca oleracea*). Plant Foods for Human Nutrition. 45: 1-9.
31.Moradi, V., and Ehsanzadeh, P. 2014. Effects of cadmium on some physiological parameters in different safflower genotypes under hydroponic conditions. Science and Technology of Greenhouse Culture. 5: 155-165. (In Persian)
32.Motesharezadeh, B., Navabzadeh, M., and Liyaghat, A. 2016. Modeling phytoremediation of cadmium contaminated soil with sunflower (*Helianthus annus*) under salinity stress. Inter. J. Environ. Res. 10: 109-118.
33.Nemati, A., Gholchin, A., and Besharati, H. 2015. Effects of organic fertilizers on yield of tomato plant in a soil contaminated with cadmium. J. Soil Res. (Soil and Water Sciences). 29: 23-36. (In Persian)
34.Noroozi, H., Roshanfekr, H.A., Hasibi, P., and Mesgarbashy, M. 2014. Evaluation of some photosynthetic characteristics of two forage millet cultivars under salinity stress. J. Plant Physiol. 2: 75-85. (In Persian)
35.Perez-Romero, J.A., Redondo-Gomez, S., and Mateos-Naranjo, E. 2016. Growth and photosynthetic limitation analysis of the Cd-accumulator *Salicornia ramosissima* under excessive cadmium concentrations and optimum salinity conditions. Plant Physiology and Biochemistry. 109 (Supplement C): 103-113.
36.Poorakbar, L. 2011. Effect of cadmium on some biochemical parameters and nitrate reductase activity of nitrate reductase of maize (*Zea mayz*). Science J. Teacher Train. Univ. 10: 976-959. (In Persian)
37.Rady, M.M. 2011. Effect of 24-epibrassinolide on growth, yield, antioxidant system and cadmium content of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants under salinity and cadmium stress. Scientia Horticulturae. 129: 232-237.
38.Rahimi, Z., Kafi, M., Nezami, A., and Khazaei, A. 2011. Effect of salinity and Si on some morpho-physiological properties of purslane. Iran. J. Med. Arom. Plant. 27: 359-374. (In Persian)
39.Ritchie, S.W., Nguyen, H.T., and Holaday, A.S. 1990. Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science. 30: 105-111.
40.Safari, R., Maqhsoody Mood, A.A., and Safari, A.R. 2013. Effects of salinity on chlorophyll fluorescence and grain yield of some sunflower (*Helianthus annus* L.) cultivars. Seed Plant Prod. J. 2: 109-130. (In Persian)
41.Salimi, M., Amin, M.M., Ebrahimi, A., Ghazi fard, A., Najafi, P., Amini, H., Razmjoo, P., and Vahid dasjerdi, M. 2000. The effect of salinity on phytoremediation potential of cadmium in contaminated soils. J. Health Syst. Res. 7: 6. 1130-1137. (In Persian)
42.Silveira, J.A.G., Araujo, S.A.M., Lima, J.P.M.S., and Viegas, R.A. 2009. Roots and leaves display contrasting osmotic adjustment mechanisms in response to NaCl-salinity in *Atriplex nummularia*. Environmental and Experimental Botany. 66: 1-8.
43.Smykalova, I., and Zamecnikova, B. 2003. The relationship between salinity and cadmium stress in barley. Biologia Plantarum. 46: 269-273.
44.Soltani, F., Ghorbanly, M., and Manoochehri Kalantary, Kh. 2006. The effect of cadmium on photosynthetic pigments, sugars and MDA content in rape (*Brassica napus*). Iran. J. Biol. 19: 2. 136-145. (In Persian)
45.Taamalli, M., Ghabriche, R., Amari, T., Mnasri, M., Zolla, L., Lutts, S., Abdely, C., and Ghnaya, T. 2014. Comparative study of Cd tolerance and accumulation potential between *Cakile maritima* L. (halophyte) and *Brassica juncea* L. Ecological Engineering. 71: 623-627.
46.Teixeira, M., and Carvalho, I.S.D. 2009. Effects of salt stress on purslane (*Portulaca oleracea*) nutrition. Annals of Applied Biology. 154: 77-86.
47.Uddin, M.K., Juraimi, A.S., Anwar, F., Hossain, M.A., and Alam, M.A. 2012. Effect of salinity on proximate mineral composition of purslane (*Portulca oleracea* L.). Austr. J. Crop Sci. 6: 1732-1736.

www.SID.ir

Archive of SID

48. Valyzadefard, F., Rihani Tabar, A., Najafi, N.A., and Avesta, S. 2013. Effects of cadmium and zinc application on the growth characteristics of rice and soil zinc, cadmium, iron and manganese concentrations under normal and waterlogged conditions. Iran. J. Soil Water Res. 3: 205-195. (In Persian)
49. Wang, X., Liu, Y., Zeng, G., Chai, L., Song, X., Min, Z., and Xiao, X. 2008. Subcellular distribution and chemical forms of cadmium in *Bechmeria nivea* (L.) Gaud. Environmental and Experimental Botany. 62: 389-395.
50. Yazici, I., Turkan, I., Sekmen, A.H., and Demiral, T. 2007. Salinity tolerance of purslane (*Portulaca oleracea* L.) is achieved by enhanced antioxidative system, lower level of lipid peroxidation and proline accumulation. Environmental and Experimental Botany. 61: 49-57.

www.SID.ir

Archive of SID

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 8(4), 2019
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Investigation on interaction of sodium chloride and cadmium on some physiological characteristics and Na and Cd uptake in roots and shoots of purslane (*Portulaca oleraceae* L.)

M. Rafiee[1], *Sh. Maddah Hosseini[2], M. Hamidpour[3] and A.A. Mohammadi Mirik[4]
[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Agronomy, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, [2]Associate Prof., Dept. of Agronomy, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, [3]Associate Prof., Dept. of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, [4]Assistant Prof., Dept. of Agronomy, Vali-e-Asr University of Rafsanjan
Received: 01.02.2017; Accepted: 08.13.2018

Abstract

Background and Objectives: Salinity, especially NaCl, is one of the most important abiotic stresses which limits crop productivity in dry regions like Iran. Also, soil and water heavy metal pollution is increasing in developing countries, which may suppress crop yield. The adverse effect of salinity on crop growth may be affected by soil cadmium content and vice versa. Purslane is one of the oldest and the most salt tolerant plant species having medicinal and edible uses in arid climates. Little is known about growth response of purslane to combined effect of NaCl and cadmium in soils. The aim of this study is to investigate the interaction of NaCl and cadmium on vegetative and physiological characteristics, sodium (Na) and cadmium (Cd) uptake and accumulation in roots and shoots of purslane.

Materials and Methods: This experiment was arranged as factorial based on complete randomized design with four replications and conducted in growth chamber with 25/18 °C temperatures. Factors included growth medium NaCl concentration at four levels (0, 23.1, 57.4 and 100.2 mM) and cadmium at five levels (0, 0.5, 1, 2 and 4 mg/l). Seeds of purslane (local ecotype of Jiroft) were sown in 1-litre plastic pots filled with coco peat-perlite (2:1) and were watered until full emergence and establishment. Then, seedlings were treated with Hoagland solution containing calculated amounts of NaCl and cadmium until 87 days afterward.

Results: Significant decrease in shoot biomass started from 23.1 mM NaCl and 2 mg/l cadmium. Also, leaf greenness index (SPAD value) decreased with increase in salinity in each cadmium level; however, when no cadmium was applied, SPAD did not significantly decrease up to 57.4 mM NaCl. Similarly, salinity had no significant effect on leaf relative water content (RWC), but in each salinity level, RWC decreased with increased cadmium level. On the other hand, tissue electrolyte leakage significantly increased with NaCl concentration, however, increase in Cd concentration had no substantial effect on it. Shoot and root Na content linearly increased with salinity, but in each salinity and Cd level, contents of Na in roots were significantly higher than those of shoot. Same results were observed for shoot and root Cd content. Shoot Na content was not significantly affected by Cd concentration in growth medium until 2 mg/l Cd and only 4 mg/l Cd significantly increased it.

Conclusion: Although sodium chloride and Cd contamination decreased purslane growth, but our results suggest that considerable accumulation of Na and Cd in roots of purslane inhibits excess translocation of Na and Cd to shoot tissues and further growth inhibition.

Keywords: Biomass, Cadmium, Purslane, RWC, Sodium chloride

* Corresponding Author; Email: shahab.mhoseini@vru.ac.ir

www.SID.ir