

تأثیر سطوح مختلف شوری و عناصر سنگین سرب و کادمیوم بر رشد، رنگدانه‌های فتوسنتزی و مقادیر سدیم و پتاسیم در اسفناج

هادی قربانی^۱، مصطفی حیدری^{۲*} و محدثه غفاری^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۹/۴)

چکیده

فلزات سنگین از آلاینده‌های خطرناک زیست محیطی هستند که از طریق ورود به زنجیره غذایی موجب بروز خطرات زیان‌باری برای انسان‌ها، گیاهان و سایر موجودات می‌شوند. به منظور بررسی اثرهای تنش شوری و عناصر سنگین سرب و کادمیوم بر گیاه اسفناج، آزمایشی گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۲ در دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح شوری (صفر، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر) به عنوان فاکتور A و تیمار عنصر سنگین در چهار سطح (شاهد، کادمیوم، سرب و سرب+کادمیوم) به عنوان فاکتور B بودند. نتایج نشان داد که شوری تأثیر معنی‌داری بر وزن تر و خشک اسفناج نداشت؛ اما تیمار عنصر سنگین سبب تغییرات معنی‌داری در آنها گردید. کمترین و بیشترین وزن تر و خشک به ترتیب از تیمار کادمیوم و کادمیوم + سرب حاصل شد. بجز رنگدانه‌های فتوسنتزی فلاونوئید و آنتوسیانین، شوری تنها تأثیر معنی‌داری بر مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید داشت و سبب کاهش آنها در سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر شد. تیمار شوری بدون تأثیر بر مقدار پتاسیم، منجر به افزایش مقادیر سدیم و کربوهیدرات محلول در برگ‌های گیاه اسفناج گردید. اثر متقابل شوری و عنصر سنگین تنها در مورد کربوهیدرات، مقادیر کلروفیل a و کلروفیل b معنی‌دار بود. بیشترین میزان کربوهیدرات از تیمار ترکیبی کادمیوم + سرب و سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر و نیز بیشترین میزان کلروفیل a و b از تیمار بدون استفاده از شوری (شاهد) و عنصر سنگین سرب حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، صفات فیزیولوژیک، عناصر سنگین

مقدمه

فتوسنتزی از یک طرف به علت دهیدراته شدن غشاء سلولی که نفوذپذیری CO_2 را کاهش می‌دهد و از سوی دیگر به علت ورود یون‌های Na^+ به سلول، که به غیر فعال شدن سیستم‌های انتقال الکترون در فتوسنتز منجر می‌شود، سبب کاهش فرایند فتوسنتز و در نتیجه کاهش رشد در گیاهان می‌گردد (۲۶). بر هم خوردن تعادل عناصر غذایی، به دلیل حضور مقادیر فراوان یون‌های Na^+ و Cl^- در محیط ریشه، منجر

شوری یکی از عوامل مهم کاهش رشد و عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی و باغی، بخصوص در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا، است. واکنش معمول گیاهان به افزایش غلظت نمک در محیط ریشه تنش اسمزی، سمیت یونی و کمبود عناصر غذایی است. شوری همچنین منجر به ایجاد تغییراتی در متابولیسم گیاهان می‌شود (۲۱). در این شرایط، فعالیت

۱. گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهرود

۲. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهرود

۳. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهرود

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Haydari2005@gmail.com

به تأثیر نامطلوب بر رشد گیاه می‌شود. رشد روز افزون صنایع، توسعه شهرها، افزایش بیش از حد مصرف کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها و دخالت بشر در محیط زیست موجب ایجاد انواعی از آلودگی‌ها در محیط شده که از بین آنها، تجمع عناصر سنگین به یک مشکل زیست محیطی جهانی تبدیل شده است. امروزه، به علت وجود منابع مختلف آلاینده‌های صنعتی، کشاورزی و شهری، غلظت انواع فلزات سنگین در اکثر خاک‌های کشاورزی افزایش یافته است (۲۳). در بین عناصر سنگین، کادمیوم یکی از مهمترین فلزات سنگین است که در صورت تجمع زیاد در گیاه، سمیت زیادی برای انسان و دام دارد. حلالیت زیاد کادمیوم در آب و تحرک آن در خاک سبب شده که امروزه به عنوان یکی از آلاینده‌های مهم شناخته شود (۹). یکی از منابع ورود کادمیوم به خاک‌های کشاورزی، کودهای فسفره هستند. مقدار قابل توجهی از کادمیوم به صورت ناخالصی در کودهای شیمیایی فسفره وجود داشته که منشأ آنها از سنگ معدن است (۲۳). علاوه بر آن، در خاک‌های شور، به دلیل تشکیل کمپلکس‌های کادمیوم و کلر و نیز تبادل سدیم با کادمیوم در محل‌های جذب سطحی ذرات جامد خاک، حلالیت کادمیوم و قابلیت جذب آن به وسیله گیاه افزایش می‌یابد (۲).

عنصر کادمیوم با افزایش پراکسیداسیون لیپیدها و تولید گونه‌های فعال اکسیژن، باعث زوال غشاها می‌گردد (۳۰). فتوسنتز نیز به کادمیوم حساس بوده و کلروفیل و آنزیم‌های دخیل در تثبیت CO_2 از اهداف مهم کادمیوم می‌باشند. کادمیوم اضافی، از فعالیت روبیسکو، آنزیم کلیدی چرخه کالوین، ممانعت به عمل آورده، فرایندهای دیگری همانند تنفس، جذب و انتشار عناصر غذایی و نیز متابولیسم نیتروژن و سولفات را در گیاهان مختل می‌کند (۳). از این‌رو، در متابولیسم کربوهیدرات‌ها اختلال به وجود می‌آید. گزارش شده که مقدار قندهای احیاء کننده در گیاهچه برنج تحت تنش کادمیوم به مدت ۵ تا ۲۰ روز، افزایش یافته، در حالی که مقدار قندهای غیر احیاء کننده کاهش یافت (۲۴). جذب این عنصر توسط گیاهان و ورود آن به زنجیره غذایی می‌تواند طیف وسیعی از انواع مسمومیت‌ها

مانند مسمومیت کبدی، مسمومیت کلیه و نیز آثار جهش‌زایی را در انسان به وجود آورد (۴).

علاوه بر کادمیوم، سرب یکی دیگر از فلزات سنگین و آلاینده مهم اکوسیستم‌های خشکی است. علاوه بر فرایندهای طبیعی، سرب از طریق منابع مصنوعی (دودهای خروجی از اتومبیل‌ها، کارخانه‌ها، مخزن باتری‌ها و آفت‌کش‌ها) نیز تولید می‌شود. سرب به دلیل انباشت زیاد در بخش سطحی خاک، به راحتی در دسترس گیاهان قرار می‌گیرد و با جذب از طریق ریشه‌ها موجب تغییر در برخی فرایندهای متابولیک گیاه و اختلال در رشد و نمو آنها می‌شود (۱). گیاهان توانایی زیادی در جذب سرب از طریق ریشه‌ها دارند. سرب از طریق اختلال در فعالیت ناقل‌های غشای سلول‌های ریشه باعث کاهش جذب عناصر ضروری مانند کلسیم، منیزیم و آهن می‌شود و در نتیجه گیاهان بیمار شده با سرب علائم کمبود این عناصر ضروری را نشان می‌دهند (۲۵).

سبزی‌ها یکی از اجزای جیره غذایی انسان هستند که حاوی عناصر ضروری و مضر در محدوده وسیعی از غلظت‌ها می‌باشند. لذا، سبزی‌های آلوده یک تهدید برای سلامتی انسان به حساب می‌آیند. اسفناج، متعلق به خانواده چغندر (*Chenopodiaceae*)، گیاهی است یکساله، روزبلند، که پس از سبز شدن تولید برگ‌های طوقه‌ای (*Rosette*) می‌کند. ریشه اصلی اسفناج عمیق است و تا عمق ۱۴۰ سانتی‌متری در خاک نفوذ می‌کند. اسفناج محصول نواحی نسبتاً سرد است، تا حدی مقاوم به شوری بوده و در اراضی حاصلخیز بهترین رشد را دارد (۳۱).

حضور عناصر مختلف در محیط ریشه می‌تواند تغییراتی را در جذب گیاهان به وجود آورد. در این بین، عناصر سنگین، که بیشتر آنها به عنوان عناصر غیر ضروری برای گیاهان به شمار می‌روند، می‌توانند توسط گیاهان جذب شوند. جذب این عناصر و تجمع آنها در بخش‌های مختلف زیرزمینی و هوایی گیاهان می‌تواند در حضور دیگر عوامل بازدارنده رشد، همانند شوری، تغییراتی را در رشد و نمو و متابولیسم آنها وارد نماید.

جدول ۱. نتایج تجزیه شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

بافت خاک	هدایت الکتریکی (dS/m)	اسیدیته (pH)	شن (%)	رس (%)	سیلت (%)	مواد آلی (%)	پتاسیم (mg/kg)	فسفر (mg/kg)	نیتروژن (%)	کربنات کلسیم (%)
لوم شنی	۱/۱	۷/۵۶	۵۵	۱۱	۳۴	۰/۲۴	۱۷۷	۴/۸	۰/۲۸	۱۸

گاه این آثار زیانبار بوده و کاهش رشد و عملکرد را به دنبال دارند. لذا، هدف از این آزمایش، بررسی تغییرات رشد، وضعیت رنگدانه‌های فتوسنتزی و نیز چگونگی جذب عناصر سدیم و پتاسیم توسط گیاه اسفناج در زمان حضور عناصر سنگین سرب و کادمیوم، در حین مواجه شدن با غلظت‌های مختلف نمک، بوده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود و به صورت گلدانی اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح شوری ($S_1=0$ ، $S_2=4$ و $S_3=8$ دسی‌زیمنس بر متر) به عنوان فاکتور A و تیمار عنصر سنگین در چهار سطح (شاهد یا عدم استفاده از عنصر سنگین $H_1=0$ ، کادمیوم H_2 ، سرب H_3 و سرب+کادمیوم H_4) به عنوان فاکتور B بودند. آستانه تحمل اسفناج به شوری بسته به ارقام آن متفاوت و بین ۳ تا ۳/۵ دسی‌زیمنس بر متر برآورد شده است (۱۰). انتخاب تیمار شوری در این طرح براساس آستانه تحمل به شوری و سطح بیشتر از آستانه تحمل بود. برای کادمیوم از منبع کلرید کادمیوم و به میزان ۲۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک، سرب از منبع نترات سرب و به میزان ۲۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک و در تیمار ترکیبی مقادیر کادمیوم و سرب هر کدام ۱۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک استفاده شدند.

جهت انجام آزمایش، گلدان‌هایی به ابعاد ۲۰×۲۶ سانتی‌متر تهیه و توسط خاک مزرعه پر شدند. قبل از آن، خاک‌های هر گلدان وزن و براساس تیمار آزمایش، میزان کادمیم و سرب لازم تهیه و قبل از کاشت با خاک کاملاً مخلوط شدند (میزان خاک

مصرفی برای هر گلدان ۸ کیلوگرم بود). مقادیر کودهای پایه نیتروژن و فسفر نیز بر اساس نتایج تجزیه شیمیایی خاک از منابع اوره و سوپر فسفات تریپل و به مقدار ۷۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار (معادل ۰/۸۴ گرم اوره و ۰/۵۵ گرم سوپر فسفات تریپل برای هر گلدان)، تهیه و به خاک گلدان‌ها اضافه شد. نتایج تجزیه شیمیایی خاک در جدول ۱ آورده شده است.

ابتدا در هر گلدان ۸ عدد بذر کاشته، بعد از جوانه‌زنی و استقرار، تنک و به ۴ بوته در سطح هر گلدان رسانده شدند. از زمان کاشت تا جوانه‌زنی و استقرار به فاصله یک روز در میان آبیاری صورت گرفت. بعد از آن، دور آبیاری به ۴ یا ۵ روز، براساس شرایط آب و هوایی، تغییر یافت.

اسفناج رقم ویروفلی ۲ پروسید هلندی در این آزمایش استفاده شد. تیمار شوری در این آزمایش از مرحله دو برگی و با استفاده از نمک NaCl اعمال گردید. برای این منظور، سطح شوری هر تیمار با استفاده از نمک NaCl تهیه و در زمان آبیاری در اختیار گیاهان قرار داده می‌شد. اعمال تیمارهای شوری به مدت ۳۰ روز ادامه یافت. در پایان دوره آزمایش، جهت اندازه‌گیری رنگدانه‌های کلروفیل از جوان‌ترین برگ‌ها نمونه‌برداری صورت گرفت. جهت اندازه‌گیری کلروفیل a، b و کارتنوئید از روش لیختن‌تالر (۱۶) و آنتوسیانین و فلاونوئید از روش کریزک و همکاران (۱۵) استفاده شد.

سپس، کل گیاهان موجود در سطح هر گلدان برداشت و وزن‌تر آنها اندازه‌گیری شد. گیاهان به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سلسیوس قرار داده و سپس وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری عناصر سدیم و پتاسیم از روش خاکسترگیری خشک و با استفاده از دستگاه فلیم‌فوتومتر مقادیر جذبی آنها اندازه‌گیری گردید. پس از تهیه منحنی

استاندارد، مقادیر آنها بر اساس میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک محاسبه شد. در نهایت، داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS تجزیه و مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

وزن تر و خشک بخش هوایی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۲ نشان می‌دهد که تنش شوری تأثیر معنی‌داری بر وزن تر و خشک گیاه اسفناج نداشت. اعمال تنش شوری تا سطح ۸ دسی‌زیمنس بر متر سبب تغییر معنی‌داری بر آنها نشد (جدول ۳). یوسف و همکاران (۲۹) گزارش کردند که وزن خشک اسفناج رقم نیوزیلندی با کاربرد شوری کلرید سدیم افزایش یافت. آنها بیان کردند که عموماً شوری، رشد گیاهان گلیکوفیت را کاهش می‌دهد، در حالی که تا حدی می‌تواند منجر به بهبود رشد گیاهان هالوفیت شود. مارشنر و پوسینگهام (۱۸) نیز گزارش کردند که اسفناج گیاهی سدیم‌دوست است و زیاد بودن سدیم در محیط خارجی می‌تواند کمی سبب رونق توسعه سلول‌ها و رشد گیاه شود.

تیمار عنصر سنگین در این آزمایش تأثیر معنی‌داری بر وزن تر و خشک اسفناج نداشت. اما اثر متقابل شوری و عنصر سنگین از تأثیر معنی‌داری برخوردار نبود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کمترین مقدار وزن تر و خشک مربوط به تیمار کادمیوم بود و بیشترین آن از تیمار ترکیبی کادمیوم و سرب حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد از افزایشی معادل ۲۰/۵ و ۱۸/۱ درصد به ترتیب برای وزن تر و خشک برخوردار بودند (جدول ۳). دهریک و همکاران (۵) گزارش کردند که کادمیوم سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی اسفناج می‌شود. تالاتام و پارادیا (۲۷) کاهش وزن تر و خشک گیاه اسفناج در اثر کادمیوم را به سبب تأثیر منفی کادمیوم بر تولید انرژی در میتوکندری می‌دانند. کادمیوم همچنین باعث کاهش فعالیت هورمون سیتوکینین می‌شود که تأثیر به‌سزایی در تکثیر سلول و رشد گیاه دارد (۲۰).

پارسادوست و همکاران (۱) بیان کردند که تأثیر سوء عناصر سنگین بر رشد گیاهان بسته به غلظت این عناصر در محیط ریشه، گونه گیاهی و مرحله رشدی آنها دارد. در این آزمایش، مشخص گردید که تیمار ترکیبی سرب و کادمیوم در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک، نه تنها سبب کاهش وزن تر و خشک اسفناج نشد، بلکه سبب افزایش آنها نیز گردید. در مطابقت با نتایج این آزمایش، کریمی و همکاران (۱۲) اظهار داشتند که استفاده از عنصر سرب تا حد ۱۰۰ میکرومولار در محیط محلول غذایی هوگلند، نه تنها تأثیری سوء بر رشد و میزان بیوماس تولیدی در کنگر فرنگی ندارد، بلکه افزایشی نیز در سطح برگ و بیوماس تولیدی آن به وجود می‌آورد.

در این آزمایش، دلیل افزایش وزن تر و خشک در گیاه اسفناج می‌تواند استفاده از نیترات سرب به عنوان منبع سرب باشد. از دیگر دلایل، غلظت سرب استفاده شده در این آزمایش بود که اثر کاهشی بر رشد این گیاه تا این حد نداشت. رشد وابسته به بسیاری از پارامترهای فیزیولوژیک همانند فتوسنتز و جذب عناصر غذایی است. در این آزمایش، مشخص گردید که وزن تر و خشک، که یکی از پارامترهای مهم رشد هستند، همبستگی مثبت با رنگدانه‌های فتوسنتزی دارند (جدول ۳). این رنگدانه‌ها با تأثیر بر میزان فتوسنتز، در بهبود رشد گیاهان در شرایط متفاوت محیطی مؤثرند.

کربوهیدرات محلول و رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b، کارتنوئید، آنتوسیانین و فلاونوئیدها)

نتایج تجزیه آماری داده‌ها در جدول ۲ نشان می‌دهد که شوری تأثیر معنی‌داری بر میزان کربوهیدرات محلول در برگ‌های اسفناج داشت و سبب افزایش آن شد. با افزایش سطح شوری از شاهد به ۸ دسی‌زیمنس بر متر، غلظت کربوهیدرات محلول در برگ‌ها از افزایشی معادل ۱۰/۵ درصد برخوردار بود (جدول ۲).

مطالعات بیوشیمیایی نشان داده که در گیاهان تحت تنش شوری، تعدادی از ترکیبات آلی (محلول‌های سازگارکننده)

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس رشد، رنگدانه‌های فتوسنتزی و میزان عناصر معدنی اسفناج در تیمارهای شوری و عناصر سنگین

عناصر معدنی		رنگدانه‌های فتوسنتزی				درجه آزادی	منابع تغییرات
پتانسیم	سدیم	کربوهیدرات محلول	آنتوسیانین	فلاونوئید	کلروفیل a	کلروفیل b	
۴۸/۶ ^{ns}	۱۶۷/۷ ^{ns}	۰/۰۰۴ ^{ns}	۰/۰۰۴۲ ^{ns}	۰/۱۰۹ [*]	۰/۱۳۳ ^{ns}	۰/۰۰۵۷ ^{ns}	تکرار
۲۸۸۴/۲ ^{ns}	۳۳۳۵/۳ ^{**}	۱/۲۴ [*]	۰/۰۰۱۸ ^{ns}	۰/۰۱۰۷ ^{ns}	۰/۰۳۲۶ [*]	۰/۰۰۶۸ ^{ns}	شوری (S)
۳۸۸۸/۳ ^{ns}	۱۷۱/۴ ^{ns}	۱/۳۱ [*]	۰/۰۰۰۴ ^{ns}	۰/۰۰۴۹ [*]	۰/۰۳۶ [*]	۰/۰۰۱۹ [*]	عناصر سنگین (H)
۸۹۶۵/۵ ^{ns}	۳۷۹/۱ ^{ns}	۰/۶۸ [*]	۰/۰۰۱۸ ^{ns}	۰/۰۱۳۸ ^{ns}	۰/۰۳۴ [*]	۰/۰۰۵۱ ^{ns}	SxH
۴۱۴۱/۹	۱۷۱/۲	۰/۳۷	۰/۰۰۴۹	۰/۰۱۲۴	۰/۰۰۵۹	۰/۰۰۸۷	خطا

ns و * به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار

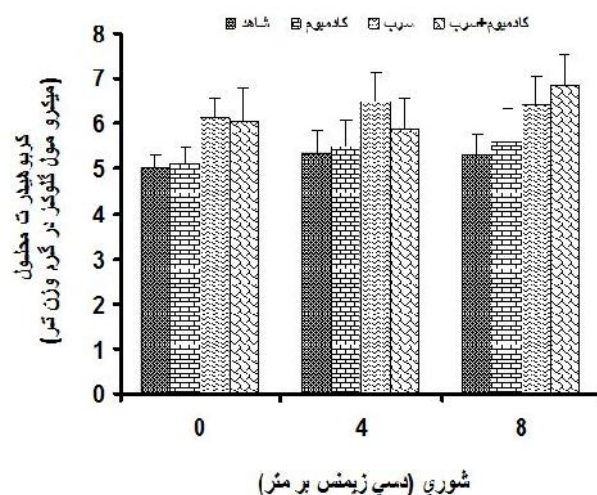
جدول ۳. مقایسه میانگین‌های تیمار شوری و عناصر سنگین در مورد میزان رشد، رنگدانه‌های فتوسنتزی و میزان عناصر معدنی اسفناج

عناصر معدنی		کربوهیدرات محلول		رنگدانه‌های فتوسنتزی				وزن خشک	وزن تر	تیمار	
پتاسیم	سدیم			فلاونوئید	آنتوسیانین	کارتونوئید	کلروفیل b	کلروفیل a			
(میلی گرم در گرم وزن خشک)		(میلی گرم گلوکز در گرم وزن تر)		(میکروگرم در گرم وزن تر)				(گرم تک بوته)			
شوری (دسی‌زیمنس بر متر)											
۲۰۵/۶a	۲۸/۶b	۵/۴۴b		۰/۲۸۲a	۰/۵۶۹a	۰/۴۳۹a	۰/۶۰۵a	۱/۵۷a	۰/۴۹a	۲/۸۱a	۰
۲۰۴/۵a	۵۰/۱۹a	۵/۷۳b		۰/۳۰۲a	۰/۵۶۴a	۰/۳۹۱ab	۰/۵۵a	۱/۴۲a	۰/۴۳a	۳/۰۳a	۴
۱۷۸/۲a	۶۰/۸۲a	۶/۰۸a		۰/۳۰۵a	۰/۶۱۸a	۰/۳۳۵b	۰/۴۸b	۱/۲۵b	۰/۴۳a	۲/۱۳a	۸
عناصر سنگین (میلی گرم در کیلو گرم خاک)											
۱۸۷/۷a	۴۶/۷a	۵/۲۷b		۰/۳۲a	۰/۶۶b	۰/۳۲b	۰/۴۵b	۱/۲۲b	۰/۳۹۷b	۲/۸۴b	۰
۲۱۶/۹a	۴۸/۲a	۵/۶۹ab		۰/۲۷a	۰/۶۷a	۰/۴۱a	۰/۵۶a	۱/۴۵ab	۰/۴۰۳b	۲/۷۵b	کادمیم
۱۷۱/۱a	۴۰/۴a	۵/۹۲a		۰/۳۱a	۰/۵۱b	۰/۴۲a	۰/۶۵a	۱/۶۲a	۰/۳۸۹b	۲/۹۱b	سرب
۲۰۸/۹a	۵۰/۷a	۶/۱۲a		۰/۲۸a	۰/۵۵b	۰/۳۸ab	۰/۵۳ab	۱/۴۲ab	۰/۴۸۵a	۳/۴۶a	کادمیم+سرب

در هر ستون و برای هر تیمار، اعداد دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

آب و با بستن روزنه‌های برگ، جریان آب در گیاه را متوقف می‌سازند. با کاهش انتقال آب به برگ و به دنبال آن تجمع کادمیوم در سلول‌ها، میزان قندهای محلول در گیاه افزایش می‌یابد. این ویژگی یک روش سازگاری گیاه برای حفظ شرایط اسمزی است. علاوه بر این، افزایش قندهای محلول به گیاه کمک می‌کند تا بتواند ذخیره کربوهیدراتی خود را برای حفظ متابولیسم پایه در شرایط تنش در حد مطلوب نگه دارد (۲۸). نتایج تجزیه آماری داده‌ها در جدول ۲ نشان داد که بجز رنگدانه‌های فلاونوئید و آنتوسیانین، شوری تأثیر معنی‌داری بر مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید در برگ‌های اسفناج داشت. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش تیمار شوری از شاهد تا سطح ۴ دسی‌زیمنس بر متر، تغییر معنی‌داری در رنگدانه‌های فتوسنتزی به وجود نیامد. با افزایش سطح شوری و رسیدن به ۸ دسی‌زیمنس بر متر، از مقادیر کلروفیل a و کلروفیل b و کارتنوئید کاسته شد. بیشترین مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید از تیمار S₁ و کمترین آن از تیمار S₃ حاصل شد. میزان کاهش کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید در سطح شوری S₃ نسبت به تیمار شاهد (S₁) به ترتیب معادل ۲۰/۳، ۲۰/۶ و ۲۳/۶ درصد بود (جدول ۳).

تنش شوری به سبب تغییراتی که در باز و بسته شدن روزنه‌ها، مقاومت روزنه‌ای و میزان کلروفیل برگ‌ها به وجود می‌آورد سبب کاسته شدن ظرفیت فتوسنتزی گیاه می‌شود (۲۱). شوری همچنین ممکن است منجر به تغییر در فعالیت‌های درگیر در سنتز کلروفیل شده و از فعالیت آنها بکاهد (۱۰). سلطانا و همکاران (۲۶) اعلام کردند که شوری سبب کاهش فتوسنتز در گیاه برنج می‌شود. یکی از دلایل این کاهش، کم شدن میزان کلروفیل در برگ‌های آن بود. از نتایج فوق می‌توان استنباط کرد که گیاه اسفناج تا حدی مقاوم به شوری و غلظت شوری تا حد ۴ دسی‌زیمنس بر متر تأثیر نه تنها بر رشد (وزن تر و خشک)، بلکه بر رنگدانه‌های مختلف فتوسنتزی که مرتبط با انجام فتوسنتز و تولید ترکیبات آلی هستند نیز ندارد.



شکل ۱. اثر متقابل شوری و عناصر سنگین بر میزان کربوهیدرات محلول برگ

تجمع می‌یابند. این ترکیبات تداخلی در فرایندهای شیمیایی آنها وارد نمی‌کنند. از این ترکیبات می‌توان به انواعی از کربوهیدرات‌های محلول و ترکیبات اسید آمینه، پرولین و گلیسین-بتائین اشاره کرد. ترکیبات سازگار کننده نقش مهمی در بهبود تنظیم اسمزی در گیاهان تحت تنش دارند و منجر به ادامه جذب آب در شرایط شور می‌شوند (۸).

تیمار عنصر سنگین و اثر متقابل شوری و عنصر سنگین نیز در این طرح از تأثیر معنی‌دار بر مقدار کربوهیدرات محلول برگ اسفناج برخوردار بود (جدول ۱). در شکل ۱ مشاهده می‌شود که شوری سبب افزایش میزان کربوهیدرات محلول در برگ‌های اسفناج شد. با ازدیاد سطح شوری از شاهد به ۸ دسی‌زیمنس بر متر، مقدار کربوهیدرات محلول افزایش یافت. در این راستا، حضور عناصر سنگین نیز بر مقدار کربوهیدرات محلول در برگ افزودند. در تمامی سطوح شوری، تیمار سرب و تیمار کادمیوم+سرب بیشترین تأثیر را بر تجمع کربوهیدرات در برگ‌ها داشتند. در بالاترین سطح شوری (۸ دسی‌زیمنس بر متر) بیشترین میزان کربوهیدرات نیز از تیمار ترکیبی کادمیوم+سرب حاصل شد.

افزایش قندهای محلول در شرایط تنش ناشی از شوری، خشکی، سرما و فلزات سنگین گزارش شده است (۶). بسیاری از فلزات سنگین با تغییر در فعالیت پروتئین‌های کانالی انتقال

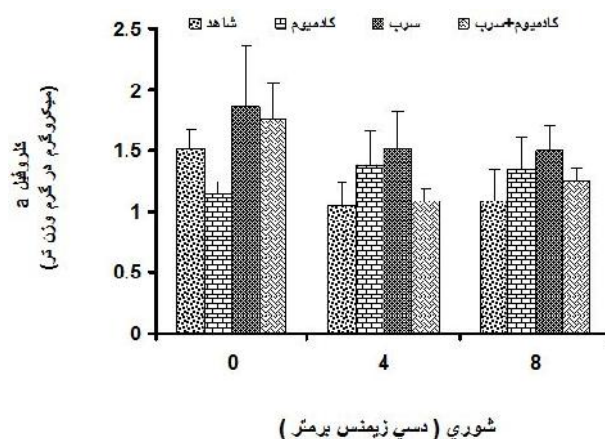
د سی‌زیمنس بر متر هم بیشترین مقدار کلروفیل a و کلروفیل b را دارا بود.

مینوی و همکاران (۱۹) گزارش کردند که حضور عناصر سنگین، از جمله کادمیوم تا حد ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، تغییری در میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی در برگ‌های گندم به وجود نمی‌آورد. خطیبی و همکاران (۱۴) گزارش کردند که عناصر سنگین به سبب مهار سنتز کلروفیل به وسیله کاهش فعالیت آنزیم‌های گاما- آمینو لوالونیک اسید دهیدروژناز و پروتوکلروفیل ردوکتاز سبب مهار بیوسنتز کلروفیل می‌شوند. اما این تأثیر بسته به غلظت، مرحله رشدی و گونه گیاهی دارد. در این آزمایش هم مشخص گردید که عناصر سنگین سرب و کادمیوم+ سرب کاهش در رنگدانه‌های کلروفیل در گیاه اسفناج در این مرحله رشدی در شرایط شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر نداشتند.

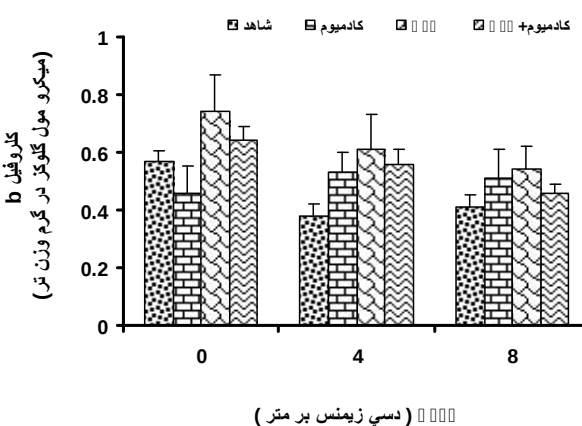
عناصر سدیم و پتاسیم

نتایج تجزیه آماری داده‌ها در جدول ۲ نشان داد که تأثیر شوری بر مقادیر دو عنصر سدیم و پتاسیم موجود در برگ گیاه اسفناج تنها در مورد سدیم معنی‌دار بود. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش غلظت شوری از شاهد به ۸ دسی‌زیمنس بر متر، بر میزان سدیم برگ‌ها افزود و از مقدار پتاسیم کم کرد. بیشترین مقدار سدیم مربوط به تیمار شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر بود که نسبت به تیمار شاهد از افزایشی معادل ۵۲/۹ درصد برخوردار بود (جدول ۳).

خان و همکاران (۱۳) بیان کردند که زیاد شدن سطح کلرید سدیم در محیط ریشه، جذب عناصر غذایی از جمله پتاسیم و کلسیم را کاهش می‌دهد. در نتیجه آن، تعادل بین پتاسیم، کلسیم و منیزیم با سدیم در گیاه به هم می‌خورد. گیاهانی که در معرض شوری قرار می‌گیرند میزان زیادی سدیم جذب می‌کنند و از میزان جذب پتاسیم آنها کاسته می‌شود. یوسف و همکاران (۲۹) گزارش کردند که غلظت و جذب سدیم در ارقام



شکل ۲. اثر متقابل شوری و عناصر سنگین بر میزان کلروفیل a برگ



شکل ۳. اثر متقابل شوری و عناصر سنگین بر میزان کلروفیل b برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۲ نشان داد که بجز رنگدانه فلاونوئید، تیمار عنصر سنگین تأثیر معنی‌داری بر مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید در برگ‌های اسفناج داشت. اثر متقابل شوری و عنصر سنگین تنها در مورد کلروفیل a و کلروفیل b معنی‌دار بود.

شکل‌های ۲ و ۳ نشان می‌دهند که با ازدیاد سطح شوری از شاهد به ۸ دسی‌زیمنس بر متر، تا حدی از میزان کلروفیل a و کلروفیل b کاسته شد. عمده این کاهش از سطح شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر به بعد بود. بیشترین مقادیر این دو ترکیب از تیمار شوری شاهد حاصل شد. عنصر سنگین سرب نه تنها در تیمار شاهد، بلکه طی بروز تنش شوری حتی تا سطح ۸

نیوزیلندی و آبی اسفناج، در حضور شوری، افزایش معنی‌دار داشت.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در مورد عناصر سنگین و اثر متقابل شوری و عناصر سنگین نشان داد که این دو تیمار تأثیر معنی‌داری بر غلظت عناصر سدیم و پتاسیم در گیاه اسفناج در این مرحله رشدی نداشت (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که هر چند بیشترین مقدار سدیم مربوط به تیمار ترکیبی سرب+ کادمیم و پتاسیم مربوط به تیمار کادمیم بود، اما این تغییرات از لحاظ آماری معنی‌دار نبودند (جدول ۳).

نتیجه‌گیری

تأثیر شوری بر گیاه اسفناج تا حدی متفاوت از گیاهان گلکوفیت (حساس به شوری) است. در این آزمایش، شوری عملاً تا حد ۴ دسی‌زیمنس بر متر تأثیری بر رشد، مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی و کربوهیدرات محلول در برگ گیاه

اسفناج نداشت. عمده تغییرات در سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد که همراه با کاهش وزن خشک، مقادیر رنگدانه‌های فتوسنتزی، افزایش کربوهیدرات محلول و غلظت سدیم در برگ‌ها بود. حضور عناصر سنگین سرب در حد ۲۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک و ترکیب کادمیم+ سرب نه تنها خللی در رشد اسفناج به وجود نیاورد، حتی در بیشترین سطح شوری (۸ دسی‌زیمنس بر متر) بر میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی و کربوهیدرات محلول برگ افزود و تأثیر معنی‌داری نیز بر غلظت سدیم و پتاسیم در برگ‌های اسفناج نداشت. بر اساس استانداردهای دفتر محیط‌زیست، جنگل و منظر زمین فدرال سوئیس (۷)، حد بحرانی سرب برای خاک‌ها ۵۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک است. لذا، به دلیل این نوع تأثیر سرب بر اسفناج، در این آزمایش از غلظت کمتر از حد بحرانی سرب در خاک و نیز نوع منبع سرب (نیترات سرب) استفاده شده است. شاید نیترات موجود در این منبع مانع بروز اثرهای سرب بر این گیاه شده است.

منابع مورد استفاده

۱. پارسادوست، ف.، بحرینی نژاد، ب.، صفری سنجانی، ع.، ا. و کابلی، م. م. ۱۳۸۶. گیاه پالایی عنصر سرب توسط گیاهان مرتعی و بومی در خاک‌های آلوده منطقه ایران کوه (اصفهان). نشریه پژوهش و سازندگی. ۲۰ (۲): ۶۳-۵۴.
2. Bingham, F.T., G. Sposito and J.E. Strong. 1984. The effect of chloride on the availability of cadmium. J. Environ. Qual. 13: 71-74.
3. Chaffei, C., H. Gouia and M.H. Ghorbel. 2003. Nitrogen metabolism in tomato plants under cadmium stress. J. Plant Nutr. 26: 1617-1634.
4. Cohen, C.K., T.C. Fox and D.F. Garvin. 1998. The role of iron deficiency stress in stimulating heavy metal transport in plants. Plant Physiol. 116: 1063-1072.
5. Dehric, G.S., M.S. Brar and S.S. Melhi. 2007. Influence of phosphorus application on growth and cadmium uptake of spinach in two cadmium-contaminated soils. J. Plant Nutr. Soil Sci. 170: 495-499.
6. Du, Q., M.X. Chen, R. Zhou, Z.Y. Chao, Z.W. Zhu, G.S. Shao and G.M. Wang. 2009. Cd toxicity and accumulation in rice plant vary with soil nitrogen status and their genotypic difference can be partly attributed to nitrogen uptake capacity. Rice Sci. 16: 283-291. Qin
7. FOEFL (Swiss Federal Office of Environment, Forest and Landscape). 1998. Commentary on the ordinance relating to pollutants in soils. VBB0 of July 1, Bern.
8. Good, A. and S. Zaplachinski. 1994. The effects of drought on free amino acid accumulation and protein synthesis in *Brassica napus*. Physiol. Planta. 90: 9-14.
9. He, Z.L., H.P. Xu, Y.M. Zhu, X.E. Yang and G.C. Chen. 2005. Adsorption-desorption characteristics of cadmium in variable charge soils. J. Environ. Sci. Health 40: 805-822.
10. Heidari, M. 2006. Response of Plants to Environmental Stress. Aras Rayane Publisher, Tehran, Iran. (In Persian).
11. Heidari, M. 2012. Effects of salinity stress on growth, chlorophyll content and osmotic components of two basil (*Ocimum basilicum* L.) genotypes. Afr. J. Biotech. 11(2): 379-384.
12. Karimi, N., M. Khanahmadi and B. Moradi. 2013. The effects of lead on some physiological parameters of artichoke. J. Plant Prod. 1: 49-62.

13. Khan, M.A., I.A. Ungar and A.M. Showalter. 2000. Effects of salinity on growth, water relations and ion accumulation of subtropical perennial halophyte *Atriplex griffithii* var. *stocksii*. *Ann. Bot.* 85: 225-232.
14. Khatibi, M., M.H. Rashed, A. Ganjeali and M. Lahooti. 2008. The effects of different nickel concentration on some morpho-physiological characteristics of parsley. *Iran. J. Field Crops Res.* 2: 292-302.
15. Krizek, D.T., S.J. Brita and R.M. Miewcki. 1998. Inhibitory effects of ambient level of solar UV-A and UV-B on growth of cv. New Red Fire lettuce. *Physiol. Plant.* 103: 1-7.
16. Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods Enzymol.* 148: 350-382.
17. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Edition, Academic Press, Ltd., London, 889 p.
18. Marschner, H. and J.V. Possingham. 1975. Effect of K^+ and Na^+ on growth of leaf discs of sugar beet and spinach. *Z. Pflanzenphysiol.* 75: 6-16.
19. Minoui, S., D. Minai-Tehrani, K. Samiee and S. Farivar. 2007. Study of the macroscopic and microscopic changes of the effect of cadmium on *Chlorophytum comosum*. *Iran. J. Biol.* 21(4): 737-747.
20. Mok, M.C. 1994. Cytokinins and plant development: An overview. PP. 155-166. In: Mok, D.W.S. and M.C. Mok (Eds.), *Cytokinins: Chemistry, Activity and Function*, CRC Press, Boca Raton, FL.
21. Munns, R. 1993. Physiological processes limiting plant growth in saline soil: Some dogmas and hypotheses. *Plant Cell Environ.* 16: 15-24.
22. Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 28: 239-250.
23. Pinto, A.P., A.M. Mota, A.D. Varennes and F.C. Pinto. 2004. Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper and iron by sorghum plants. *Sci. Total Environ.* 326: 239-247.
24. Ramos, I., E. Esteban, J.J. Lucena and A. Garate. 2002. Cadmium uptake and subcellular distribution in plants of *Lacuca* sp. Cd-Mn interaction. *Plant Sci.* 162: 761-767.
25. Sharma, P. and R.S.H. Dubey. 2005. Lead toxicity in plants. *Plant Physiol.* 17: 35-52.
26. Sultana, N., T. Ikeda and R. Itoh, R. 1999. Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. *Environ. Exp. Bot.* 42: 211-220.
27. Talatam, S. and B. Parida. 2009. Crop growth as influenced by zinc and organic matter in cadmium-rich polluted soils. Available at: <http://scholarship.org/uc/item/127783q.04.13>. 2009.
28. Verma, S. and R.S. Dubey. 2001. Effect of cadmium on soluble sugars and enzymes of their metabolism in rice. *Biol. Planta.* 44(1): 117-123.
29. Yousif, B. S., N. T. Nguyen., Y. Fukuda., H. Hakata., Y. Okamoto., Y. Masaoka and H. Saneoka. 2010. Effect of salinity on growth, mineral composition, photosynthesis and water relations of two vegetable crops: New Zealand Spinach and Water spinach. *Int J Agr Biol.* 12: 211-216.
30. Zhang, F., W. Shi., Z. Jim and Z. Shen. 2003. Response of antioxidative enzymes in cucumber chloroplasts to cadmium toxicity. *J. Plant Nutr.* 26: 1779-1788.
31. Zu, Y.Q., L. Yuan, C. Schvartz, L. Langlade and L. Fan. 2004. Accumulation of Pb, Cd, Cu and Zn in plants and hyperaccumulator choice in Lanping lead-zinc mine area, China. *Environ. Int.* 30: 567-576.