DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.3.6.4

اثر سلنیوم و سولفید هیدروژن بر رشد و جذب عناصر در گیاهچه‌های سیر (*Allium sativum* L.) تحت تاثیر سرب و تنش شوری

نساء قره باغلی[۱،۲] و علی سپهری[۱*]

[۱] **ایران، همدان، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده کشاورزی، گروه زراعت و اصلاح نباتات**

[۲] **ایران، تهران، دانشگاه پیام نور، گروه کشاورزی**

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۷

چکیده

اثر سلنیوم و سولفیدهیدروژن بر گیاهچه‌های سیر تحت تاثیر شوری و غلظت‌های مختلف سرب، طی آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار بررسی شد. تنش شوری در سطوح صفر، ۲۵ و ۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم، سرب در سه غلظت صفر، 10^{-5} و 10^{-3} مولار نیترات سرب و تخفیف‌دهنده‌ی تنش شامل سلنیوم با غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم و سولفیدهیدروژن با غلظت ۲۰۰ میکرومولار از ترکیب هیدروژن‌سولفیدسدیم و بدون کاربرد تخفیف‌دهنده بود. براساس نتایج حاصله، با افزایش تنش شوری و غلظت سرب کاهش معنی‌داری در وزن خشک و عناصر روی، آهن و پتاسیم ریشه و اندام هوایی گیاه مشاهده شد. با افزایش شوری در غلظت 10^{-5} مولار نیترات سرب، جذب سرب در گیاه نسبت به شرایط بدون شوری کاهش و به دنبال آن محتوای آهن اندام هوایی و روی ریشه بهبود یافت. همچنین کاربرد سلنیوم و سولفید هیدروژن موجب بهبود معنی‌دار رشد در گیاهچه‌های سیر تحت تنش‌های شوری و سرب گردید. کاربرد ۵ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم و ۲۰۰ میکرومولار هیدروژن سولفید سدیم باعث کاهش جذب سرب در بافت‌های گیاه و به دنبال آن بهبود محتوای عناصر مورد بررسی و افزایش رشد در غلظت 10^{-5} مولار سرب تحت تنش شوری شد ولی در غلظت 10^{-3} مولار تاثیری مشاهده نشد. اثر مثبت سلنیوم بر وزن خشک اندام‌هوایی و جذب عناصر خصوصا محتوای روی در اندام هوایی گیاهچه‌های سیر تحت تاثیر شرایط شوری ۷۵ میلی‌مولار و 10^{-5} مولار نیترات سرب، نسبت به سولفیدهیدروژن بیشتر بود. به طور کلی نتایج این آزمایش حاکی از اثرگذاری بیشتر سلنیوم نسبت به سولفید هیدروژن در بهبود پارامترهای رشدی و جذب عناصر در گیاهچه‌های سیر تحت تاثیر سرب و شوری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: جذب عناصر، سلنیوم. سولفید هیدروژن، شوری، محتوای سرب.

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۸۸۱۵۴۱۹۷ ، پست الکترونیکی:a_sepehri@basu.ac.ir

مقدمه

در ایران حدود ۵۰ درصد سطح زیر کشت محصولات کشاورزی، به درجات مختلف با مشکل شوری مواجه هستند (۲۵). تحقیقات انجام شده نشان می‌دهند که بالا بودن غلظت نمک در محلول خاک، رشد و عملکرد گیاهان زراعی را به شدت کاهش می‌دهد (۹ و ۱۱). واکنش معمول گیاهان به افزایش غلظت نمک در محیط ریشه شامل تنش اسمزی، سمیت یونی و جذب کمتر عناصر غذایی است. برهم خوردن تعادل عناصر غذایی، به دلیل حضور مقادیر فراوان یون‌های سدیم و کلر در محیط ریشه منجر به تاثیر نامطلوب بر رشد گیاه می‌شود (۲۰). کاهش رشد گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط شوری به سبب کاهش محتوای پتاسیم، کلسیم، منیزیم و برهم خوردن تعادل عناصر غذایی گزارش شده است (۳). همچنین اثر شوری بر گیاهچه‌های پیاز (۱۳) و تره فرنگی (۲۴) باعث کاهش

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.3.6.4

خصوصیات رشدی مانند وزن خشک ریشه و اندام هوایی شده است. از سوی دیگر به دلیل رشد روز افزون صنایع، توسعه شهرها، افزایش بیش از حد مصرف کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها و دخالت بشر در محیط زیست، بسیاری از خاک‌ها علاوه بر شوری به سطوحی از فلزات سنگین آلوده هستند. سرب یکی از فلزات سنگین و آلاینده مهم در اکوسیستم‌های زراعی است که به دلیل انباشت زیاد در بخش سطحی خاک، به راحتی در دسترس گیاهان قرار گرفته و با جذب از طریق ریشه‌ها موجب تغییر در برخی فرایندهای متابولیک گیاه و اختلال در رشد و نمو آن‌ها می‌گردد (۱، ۱۰ و ۱۹). نتایج مطالعات متعدد حاکی از کاهش رشد، در انواعی از گیاهان مانند سیر (۳۰)، پنبه (۱۲) و کلزا (۱۰) در معرض سرب بوده است.

حضور شوری در محیط‌های آلوده به فلزات سنگین با توجه به نوع گیاه، غلظت شوری و فلزات سنگین اثرات مختلفی بر ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه دارد (۳۵). درحال حاضر ترکیبات مختلفی برای کاهش اثرات سوء تنش‌های غیر زنده بر گیاهان مورد توجه قرار گرفته است. در این خصوص سلنیوم به عنوان یکی از عناصر مفید برای رشد گیاهان، می‌تواند گیاه را در برابر اثرات نامطلوب تنش‌ها محافظت نماید (۴، ۱۵). اثر کاهنده سلنیوم بر غلظت سدیم در گیاهان کاهو در معرض تنش شوری (۲۲) و اثر حفاظتی سلنیوم در برابر کادمیوم و سرب در گیاهان کلزا (۳۶) گزارش شده است. ترکیب دیگری که نقش مثبت آن بر کاهش اثرات نامطلوب تنش‌های محیطی در گیاهان گزارش شده سولفید هیدروژن (H_2S) است. سولفید هیدروژن به طور سنتی به عنوان یک فیتوتوکسین مورد توجه بوده، اما اخیراً به عنوان یک پیام رسان مهم در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان معرفی شده است (۳۸). گزارش‌هایی وجود دارد که نشان می‌دهد سولفید هیدروژن به طور موثر اثرات سوء تنش‌های غیرزنده مانند شوری و فلزات سنگین را کاهش می‌دهد (۱۲ و ۲۷). گر چه اثر بهبود دهنده سولفید هیدروژن بر رشد گیاهان تحت تنش گزارش شده است اما تحقیقات محدودی در خصوص تاثیر سولفید هیدروژن بر جذب عناصر غذایی در دسترس بوده که حاکی از کاهش جذب سدیم در اندام مختلف گیاهان تحت تنش سرب در حضور سولفید هیدروژن است. در همین رابطه سولفید هیدروژن کاهش جذب عناصر پتاسیم، کلسیم، آهن، روی و منیزیم در ریشه و برگ‌های گیاه کلزا ناشی از تنش سرب را افزایش داده است (۱۰).

گیاه سیر (*Allium sativum* L.) برای هزاران سال است که به عنوان غذا و دارو استفاده می‌شود. این گیاه با توجه به عطر و طعم خاص، همچنین خواص دارویی، به عنوان یکی از سبزیجات مورد علاقه‌ی مردم جهان مطرح است. سیر از نظر تولید جهانی در بین گیاهان پیازی، بعد از پیاز در رتبه دوم قرار دارد (۲۱). ایران با تولید صد هزار تن سیر در سال رتبه ۲۳ دنیا را به خود اختصاص داده است (۱۴). این گیاه نسبتاً حساس به تنش شوری (۱۶) و سرب (۳۰) است. همان‌طور که اشاره شد مستنداتی مبنی بر تاثیر مثبت سلنیوم و سولفید هیدروژن در بهبود تحمل به تنش‌های شوری و فلزات سنگین در گیاهان مختلف در دسترس است (۱۰ و ۳۵) اما تاثیر ترکیبات مذکور بر گیاه سیر، تحت تنش شوری و سرب تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا این آزمایش با هدف بررسی نحوه اثر کاهنده‌های تنش سلنیوم و سولفید هیدروژن، بر رشد و جذب عناصر مهم در گیاهچه‌های سیر، تحت تنش شوری و غلظت‌های مختلف سرب انجام شده است.

مواد و روشها

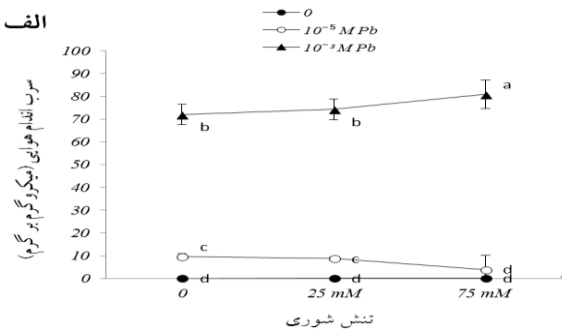
آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار در گلخانه و آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا انجام شد. بذر گیاه سیر بومی همدان با کیفیت مناسب و سایز یکسان (۴-۶ گرم) برای انجام آزمایش انتخاب شد. بعد از جوانه‌زنی اولیه، گیاهچه‌ها برای رشد بیشتر و سازگاری

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.3.6.4

نسبی به شرایط هیدروپونیک به گلدانهای حاوی محلول غذایی هوگلند منتقل گردیدند. هر گلدان به ابعاد (۱۵×۵۰×۲۰) سانتیمتر حاوی ۵ لیتر محلول غذایی و ۱۶ گیاهچه بود که به طور مرتب عمل هوادهی با پمپ انجام می‌شد. تیمارهای آزمایش بر گیاهچه‌های ده روزه (۳ تا ۴ برگی) اعمال گردید. این تیمارها شامل شوری در سه سطح عدم شوری(صفر) ، ۲۵ و ۷۵ میلی‌مولار از منبع کلرید سدیم، سرب با سه غلظت(۰، 10^{-5} و 10^{-3} مولار) از منبع نیترات سرب، و تخفیف‌دهنده‌ی تنش در سه سطح (سلنیوم با غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم، سولفیدهیدروژن با غلظت ۲۰۰ میکرومولار از ترکیب هیدروژن‌سولفیدسدیم و بدون کاربرد تخفیف دهنده) بود. مدت زمان روشنایی در طول دوره آزمایش ۱۴ ساعت در روز تنظیم شد. دمای گلخانه بین ۱۸–۲۰ درجه سانتی‌گراد در طول شبانه روز متغیر و میانگین رطوبت نسبی گلخانه ۶۰ درصد بود. پس از انجام آزمایش (ظهور هفتمین برگ) وزن خشک ریشه و اندام هوایی به وسیله ترازویی با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری عناصر سدیم، پتاسیم، سرب، آهن و روی در ریشه و اندام هوایی گیاه از روش هضم‌تر استفاده شد (۸). پس از تفکیک، ریشه و برگ در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد، به مدت ۴۸ ساعت قرار داده تا کاملا خشک شدند، سپس ۰/۲ گرم از ماده خشک پودر شده ریشه و برگ برای هضم مرطوب استفاده شد. برای اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم از دستگاه فلیم فتومتر استفاده گردید. محتوای سرب، آهن و روی با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری و قرائت شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار LSD و LSMEANS در سطح احتمال ۵ درصد استفاده گردید.

نتایج

تجمع سرب در ریشه و اندام هوایی: تنش شوری و سرب اختلاف معنی‌دار بر محتوای سرب ریشه و اندام هوایی سیر داشتند و اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه‌ی فاکتورهای مورد مطالعه بر محتوای سرب ریشه معنی‌دار بود (جدول ۱). در حالی‌که میزان انباشت سرب اندام‌هوایی تنها در برهمکنش شوری و سرب معنی‌دار شد (جدول ۱). براساس برهمکنش سه‌گانه‌ی مربوط به شوری، سرب و تخفیف‌دهنده‌های تنش با تشدید تنش شوری در شرایط بدون سرب و عدم تخفیف دهنده‌ها اختلاف معنی‌داری در جذب عنصر سرب در ریشه وجود نداشت (جدول ۴). در صورتی‌که با افزایش غلظت سرب تا 10^{-3} مولار، محتوای سرب در ریشه‌ها نسبت به شاهد بیش از ۴۰۴ برابر افزایش یافت. همچنین در بیشترین غلظت سرب (10^{-3} مولار)، میزان سرب در اندام هوایی به ۸۱ میکروگرم برگرم ماده خشک رسید. از سوی دیگر کاربرد سلنیوم و سولفید هیدروژن توانست میزان جذب سرب ریشه را کاهش دهد. برای مثال کاربرد سلنیوم به ترتیب ۳۰/۱۳ و ۱۷/۰۳ درصد جذب سرب ریشه را تحت شرایط شوری ۲۵ میلی‌مولار و غلظت‌های 10^{-5} و 10^{-3} مولار سرب کاهش داد (جدول ۴). شوری ۷۵ میلی‌مولار و سطوح مختلف سرب، سلنیوم و سولفید هیدروژن تاثیری در جذب سرب اندام هوایی نداشت. بر اساس شکل ۱ ملاحظه می‌شود که در شرایط تنش 10^{-5} مولار سرب، محتوی سرب اندام هوایی تغییر معنی‌داری نشان نداد. درحالی‌که در شوری ۷۵ میلی‌مولار و سرب 10^{-3} مولار، محتوای سرب اندام هوایی ۱۲/۳۲ درصد افزایش در مقایسه با شاهد نشان داد.



شکل ۱- برهمکنش شوری و سرب بر غلظت سرب اندام هوایی (الف)

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.3.6.4

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر شوری، سرب و تخفیف دهنده‌های تنش برمحتوای سرب و وزن خشک در ریشه و اندام هوایی گیاهچه‌ی سیر

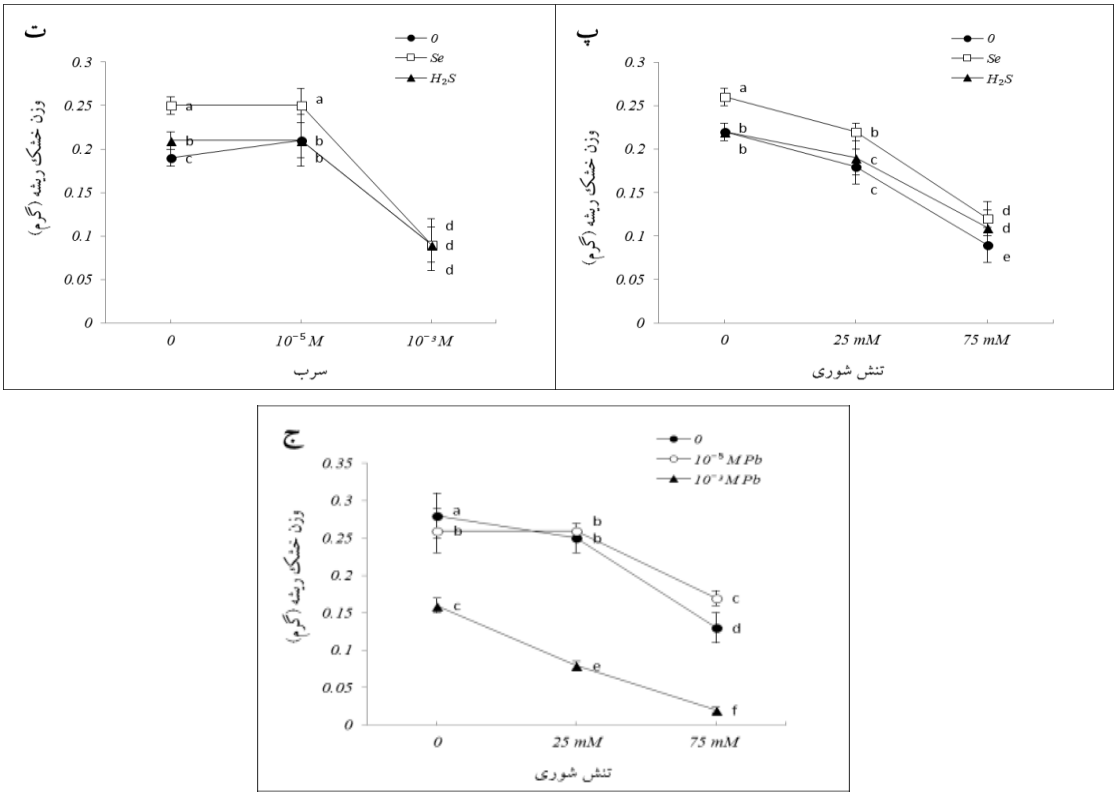
		میانگین مربعات			
		محتوای سرب		وزن خشک	
منابع تغییرات	درجه آزادی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی
شوری (S)	۲	۱۳۶۰۰۱۵/۳۱ **	۶۳۲۹/۱۰ **	۰/۱۱ **	۰/۱۸ **
سرب (p)	۲	۳۸۵۹۵۲۴۹/۹۹ **	۳۸۸۳۳/۲۸ **	۰/۱۶ **	۰/۱۰ **
تخفیف دهنده (A)	۲	۱۹۹۴۸۱/۹۱ **	۵/۵۱ ns	۰/۰۰۹ **	۰/۰۳ **
S × P	۴	۸۴۵۱۱۸/۴۰ **	۴۶۵۷/۶۲ **	۰/۰۰۵ **	۰/۰۱ **
S × A	۴	۴۴۲۸/۵۲ **	۳/۸۷ ns	۰/۰۰۰۵ *	۰/۰۰۲ **
P × A	۴	۶۶۰۹۹/۵۵ **	۳/۳۸ ns	۰/۰۰۱ **	۰/۰۰۳ **
S × P × A	۸	۱۳۷۱۸/۸۲ *	۲/۰۷ ns	۰/۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۱ **
خطا	۵۴	۵۵۳۲/۳۷	۱۷/۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲
ضریب تغییرات (%)	-	۷/۶۰	۱۱/۳۴	۷/۲۳	۳/۷۲

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و غیر معنی‌دار

وزن خشک ریشه و اندام هوایی: نتایج حاصل از تجزیه واریانس حاکی از اختلاف معنی‌دار بین وزن خشک ریشه در تیمارهای شوری، سرب و تخفیف‌دهنده‌های تنش است (جدول ۱). برهمکنش‌های دوگانه شوری در سرب، شوری در تخفیف‌دهنده‌های تنش و سرب در تخفیف‌دهنده‌های تنش تفاوت‌های معنی‌داری در وزن خشک ریشه نشان دادند (جدول ۱). وزن خشک اندام‌هوایی به صورت معنی داری تحت تاثیر اثرات اصلی و برهمکنش دو گانه و سه‌گانه‌ی شوری، سرب و تخفیف‌دهنده‌های تنش قرار گرفت (جدول ۱). یافته‌های ارائه شده در شکل ۲ ج نشان می‌دهد که وزن خشک ریشه و اندام هوایی تحت تنش شوری و سرب قرار کاهش یافت. نتایج این آزمایش در حضور سرب نشان دهنده تحمل سیر به تنش سرب تا غلظت 10^{-5} مولار می‌باشد. درحالی که در تیمار 10^{-3} مولار سرب، رشد گیاه افت کرده و متوقف می‌شود (جدول ۲). با توجه به بر همکنش شوری و سرب، در همه سطوح شوری، سرب با غلظت کم کاهشی در وزن خشک ریشه ایجاد نکرد درحالی‌که در غلظت بالا از سرب کاهش شدید در وزن خشک ریشه مشهود بود. در چنین شرایطی استفاده از تخفیف‌دهنده‌های سلنیوم و سولفید هیدروژن اثر بازدارنده‌ی تنش‌های مذکور را کاهش داده‌اند. این برتری در کاربرد تخفیف‌دهنده‌ی سلنیوم نسبت به سولفید هیدروژن در شرایط تنش شوری یا سرب مشهودتر بود (شکل‌های ۲ پ و ت). استفاده از تخفیف‌دهنده‌های تنش مورد مطالعه موجب بهبود وزن خشک اندام‌هوایی سیر تحت شرایط تنش‌زا (شوری + سرب) و بدون تنش شد. برای نمونه استفاده از سلنیوم و سولفیدهیدروژن به ترتیب وزن خشک اندام هوایی را ۸/۶۹ و ۲/۳۲ درصد تحت تیمار شوری ۷۵ میلی‌مولار + سرب ۵-۱۰ مولار نسبت به شاهد بهبود بخشید (جدول ۲).

تجمع سدیم در ریشه و اندام‌هوایی: نتایج تجزیه واریانس ارائه شده در جدول ۲ نشان داد که تنش شوری موجب اختلاف معنی‌دار بر غلظت یون سدیم ریشه و اندام‌هوایی شد. درحالی‌که تنش سرب فقط بر محتوای سدیم اندام هوایی موثر بود. استفاده از سلنیوم و سولفید هیدروژن موجب ایجاد اختلاف معنی‌دار بر غلظت سدیم ریشه سیر گردید.

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.3.6.4



شکل ۲- برهمکنش شوری و تخفیف دهنده‌ی تنش بر وزن خشک ریشه (پ). برهمکنش سرب و تخفیف دهنده‌ی تنش بر وزن خشک ریشه (ت). برهمکنش شوری و سرب بر وزن خشک ریشه(ج)

جدول ۲ -نتایج تجزیه واریانس اثر شوری، سرب و تخفیف‌دهنده‌ی تنش بر جذب یون های سدیم، پتاسیم و عناصر آهن و روی گیاهچه‌ی سیر

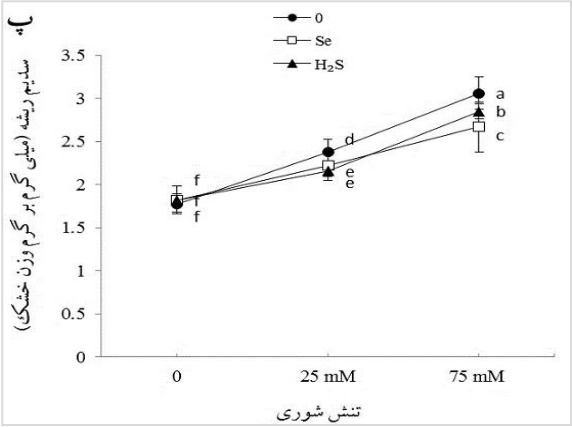
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		سدیم		پتاسیم		آهن		روی	
		ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی
شوری (S)	۲	۷/۶۱ **	۱۱/۲۵ **	۱۹۹۵/۲۷ **	۵۶۷/۷ **	۱/۵۱ **	۰/۱۶ **	۰/۳۰ **	۰/۰۶ **
سرب (P)	۲	۰/۰۱ ns	۰/۲۸ *	۴۸۷/۷۰ **	۱۷/۶۴ **	۱/۸۲ **	۰/۱۳ **	۱/۲۸ **	۰/۲۴ **
تخفیف‌دهنده (T)	۲	۰/۱۹ **	۰/۰۶ ns	۲۷/۷۰ ns	۲/۷۱ *	۰/۳۰ **	۰/۰۴ **	۰/۰۸ **	۰/۰۵ **
S × P	۴	۰/۰۲ ns	۰/۰۰۰۰ ns	۱۶/۹۶ ns	۱/۵۳ ns	۰/۰۱ ns	۰/۰۱ **	۰/۰۴ **	۰/۰۰۱ ns
S × T	۴	۰/۱۳ **	۰/۰۱ ns	۷/۱۷ ns	۰/۵۰ ns	۰/۰۰۷ ns	۰/۰۰۰۸ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۱ *
P × T	۴	۰/۰۲ ns	۰/۰۰۰۰ ns	۰/۳۷ ns	۰/۳۰ ns	۰/۰۰۷ ns	۰/۰۱ *	۰/۰۰۴ ns	۰/۰۱ **
S × P × T	۸	۰/۰۱ ns	۰/۰۰۰۰ ns	۴/۰۷ ns	۰/۳۰ ns	۰/۰۰۵ ns	۰/۰۰۴ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۱ *
خطا	۵۴	۰/۰۱	۰/۰۵	۱۱/۱۴	۰/۸۱	۰/۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۷
ضریب تغییرات (%)	–	۴/۹۷	۸/۷۴	۱۴/۵۲	۳/۷۹	۶/۶۱	۱۸/۶۴	۸/۶۳	۱۰/۱۲

*، ** و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و غیر معنی‌داری را نشان می دهند.

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.3.6.4

بر اساس نتایج مربوط به اثرات متقابل تنها اثر متقابل شوری در تخفیف‌دهنده‌های تنش بر محتوای سدیم ریشه معنی‌دار بود. با افزایش تنش شوری، محتوای سدیم در ریشه و اندام‌هوایی افزایش یافت. تنش شوری ۷۵ میلی مولار محتوی سدیم ریشه و اندام‌هوایی سیر را به ترتیب ۳۷/۰۶ و ۳۸/۵۳ درصد افزایش داد (جدول ۳). از سوی دیگر تنش سرب غلظت سدیم اندام‌هوایی را به صورت معنی‌داری افزایش داد به‌طوری‌که در غلظت (10^{-3}مولار) سرب افزایش ۷/۶۳ درصدی در محتوای سدیم اندام‌هوایی نسبت به شاهد مشاهده شد (جدول ۳). در آزمایش حاضر استفاده از سلنیوم و سولفید هیدروژن محتوی سدیم ریشه را تحت شرایط شوری کاهش داد. سلنیوم و سولفید هیدروژن غلظت یون سدیم ریشه را به ترتیب ۱۲/۷۴ و ۶/۸۶ درصد تحت شوری ۷۵ میلی‌مولار کم کرد (شکل ۳پ).

تجمع پتاسیم در ریشه و اندام هوایی: نتایج جدول ۲ نشان داد که تنش شوری و سرب موجب اختلاف معنی‌دار بر غلظت یون پتاسیم در ریشه و اندام‌هوایی شدند. همچنین استفاده از تخفیف‌دهنده‌های تنش سلنیوم و سولفیدهیدروژن تاثیر معنی‌داری بر غلظت پتاسیم اندام هوایی سیر داشت. بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، تنش شوری محتوی پتاسیم ریشه و اندام‌هوایی را به ترتیب ۵۵/۱۰ و ۳۵/۹۴ درصد کاهش داد (جدول ۳). تنش سرب نیز میزان یون پتاسیم ریشه و اندام‌هوایی را کاهش داد (جدول ۳). در تضاد با تاثیر سرب بر غلظت یون پتاسیم، استفاده از تخفیف دهنده‌های تنش موجب افزایش پتاسیم اندام‌های هوایی شد (جدول ۳). استفاده از سلنیوم محتوای پتاسیم اندام‌هوایی را در مقایسه با شاهد ۹/۲۱ درصد افزایش داد. اگرچه سولفید هیدروژن اثر معنی‌داری بر غلظت پتاسیم در اندام هوایی نداشت.



شکل ۳- برهمکنش شوری و تخفیف دهنده‌ی تنش بر سدیم ریشه (پ).

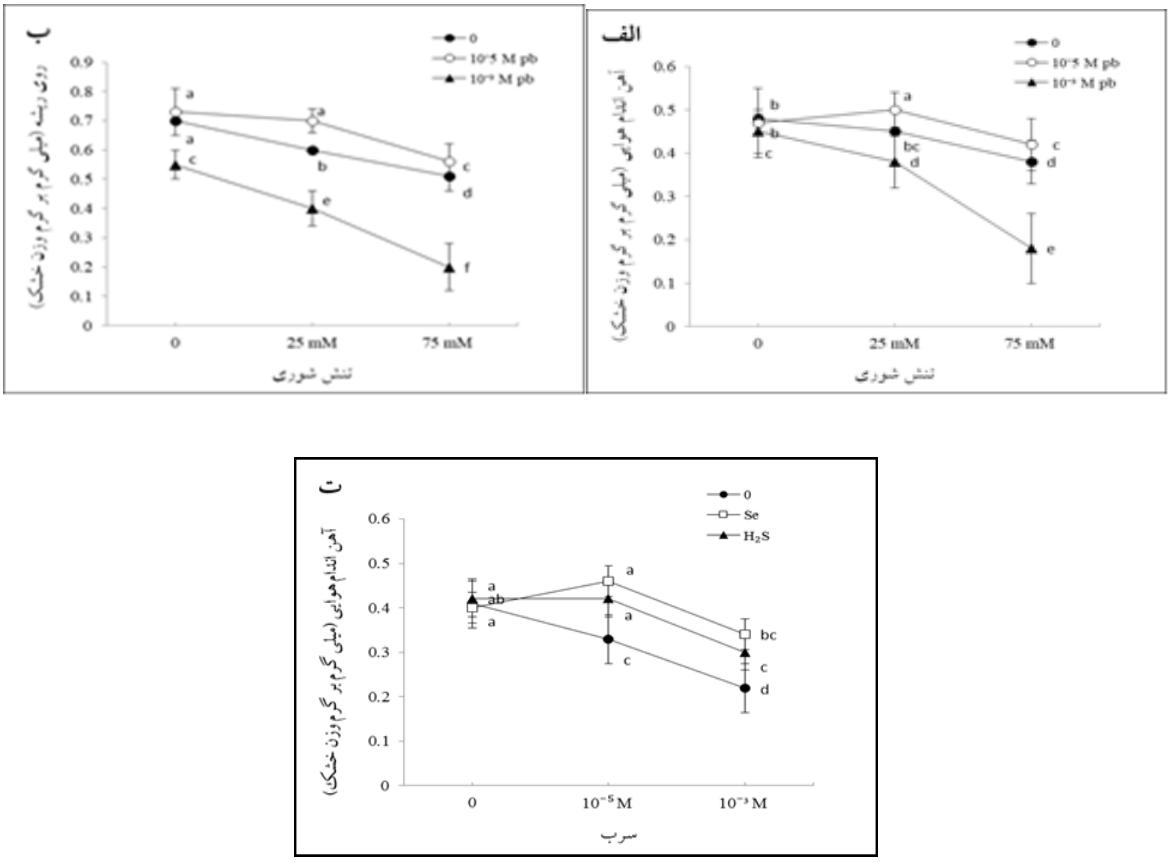
جدول ۳- مقایسه میانگین مربوط به تنش شوری، سرب و تخفیف دهنده‌ی تنش بر جذب یون های سدیم، پتاسیم و عناصر آهن و روی گیاهچه‌ی سیر

تیمارها		سدیم (mg g^{-1} DW)		پتاسیم (mg g^{-1} DW)		آهن (mg g^{-1} DW)		روی (mg g^{-1} DW)	
		ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی
شوری	۰	۱/۸۰ c	۲/۰۱ c	۳۱/۰۷ a	۲۷/۶۸ a	۱/۸۵ a	۰/۴۴ a	۰/۷۲ a	۰/۳۰ a
	۲۵ میلی‌مولار	۲/۲۵ b	۲/۸۷ b	۲۳/۹۰ b	۲۴/۹۶ b	۱/۶۱ b	۰/۳۷ b	۰/۶۴ b	۰/۲۷ b
	۷۵ میلی‌مولار	۲/۸۶ a	۳/۲۷ a	۱۳/۹۵ c	۱۸/۷۳ c	۱/۳۸ c	۰/۲۸ c	۰/۵۱ c	۰/۲۱ c
سرب	۰	۲/۳۳ a	۲/۶۲ b	۲۵/۷۹ a	۲۴/۵۰ a	۱/۸۲ a	۰/۴۱ a	۰/۸۱ a	۰/۳۰ b
	10^{-5}	۲/۲۹ a	۲/۶۹ b	۲۵/۰۵ a	۲۳/۹۵ b	۱/۷۰ b	۰/۴۰ a	۰/۶۷ b	۰/۳۳ a
	10^{-3}	۲/۲۹ a	۲/۸۲ a	۱۸/۰۸ b	۲۲/۹۱ c	۱/۳۲ c	۰/۲۸ b	۰/۳۸ c	۰/۱۵ c
تخفیف دهنده	۰	۲/۴۰ a	۲/۷۷ a	۲۱/۹۱ b	۲۳/۴۲ b	۱/۵۰ c	۰/۳۲ b	۰/۵۶ c	۰/۲۲ c
	سلنیوم	۲/۲۴ b	۲/۶۷ a	۲۳/۹۳ a	۲۳/۹۵ a	۱/۷۰ a	۰/۴۰ a	۰/۶۷ a	۰/۳۱ a
	سولفید هیدروژن	۲/۲۸ b	۲/۷۰ a	۲۳/۰۸ ab	۲۳/۹۹ a	۱/۶۴ b	۰/۳۸ a	۰/۶۳ b	۰/۲۶ b

در هر ستون میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند فاقد اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می باشند.

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.3.6.4

جذب آهن در ریشه و اندام هوایی: نتایج جدول ۲ بیان گر معنی‌دار شدن تنش شوری، سرب و تخفیف‌دهنده‌های تنش بر غلظت آهن ریشه و اندام‌هوایی سیر است. همچنین برهمکنش‌های دوگانه‌ی شوری و سرب، سرب و تخفیف دهنده‌های تنش بر غلظت آهن، تنها در اندام‌هوایی معنی‌دار بود. سطوح شوری (۲۵ و ۷۵ میلی‌مولار) سبب کاهش غلظت آهن در ریشه و اندام‌هوایی شد. به‌طوری‌که در بیشترین سطح شوری کاهش ۲۵/۴ و ۳۶/۳۶ درصدی به ترتیب در ریشه و اندام‌هوایی مشاهده گردید (جدول ۳). در گیاهان سیر در معرض تنش شوری، کاهش غلظت آهن در اندام‌هوایی بیش از ریشه بود. در آزمایش حاضر اثر کاهشی سرب بر غلظت آهن ریشه و اندام‌هوایی گیاه سیر مشاهده شد. به‌طوری‌که با افزایش سطوح سرب محتوای آهن ریشه از ۱/۸۲ به ۱/۳۲ (میلی‌گرم درگرم) و در اندام‌هوایی از ۰/۴۱ به ۰/۲۸ (میلی‌گرم درگرم) کاهش یافت (جدول ۳). برهمکنش شوری و سرب نشان داد که تنش شوری و سرب محتوی آهن اندام‌هوایی سیر را کاهش دادند. در بین تیمارهای مورد بررسی کمترین غلظت آهن در اندام‌های گیاه سیر در تیمار ۷۵ میلی‌مولار به همراه سرب 10^{-3} مولار مشاهده شد. تیمار مذکور غلظت آهن در اندام‌هوایی را ۶۶/۶۶ درصد نسب به تیمار عدم تنش کاهش داد (شکل ۴ الف). همچنین برهمکنش های دوگانه‌ی سرب و تخفیف‌دهنده تنش نشان داد که استفاده از سلنیوم یا سولفید هیدروژن در شرایط تنش کادمیوم موجب افزایش آهن اندام هوایی سیر شد (شکل ۴ ت).



شکل ۴- برهمکنش شوری و سرب بر مقدار آهن اندام هوایی (الف)، برهمکنش شوری و سرب بر مقدار روی ریشه (ب). برهمکنش سرب و تخفیف دهنده‌ی تنش بر مقدار آهن اندام هوایی (ت).

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.3.6.4

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های برهمکنش تنش شوری، سرب و تخفیف‌دهنده تنش بر محتوای سرب ریشه، وزن خشک اندام‌هوایی و غلظت روی اندام‌هوایی گیاهچه‌ی سیر

شوری (میلی مولار)	سرب (مولار)	تخفیف دهنده	محتوای سرب ریشه (میکرو گرم بر گرم)	وزن خشک اندام هوایی (گرم)	غلظت روی اندام هوایی (mg g^{-1} DW)
۰	۰	۰	۵/۸۴ ± ۰/۸۷ j	۰/۵۲ ± ۰/۰۱۰ d	۰/۳۴ ± ef
		سلنیوم	۳/۵۶ ± ۰/۷۰ j	۰/۶۳ ± ۰/۰۱۰ a	۰/۴۰ ± abc
		هیدروژن سولفید	۱۴/۳۶ ± ۱/۲۵ j	۰/۵۳ ± ۰/۰۱۰ d	۰/۲۹ ± gh
	$۱۰^{-۵}$	۰	۷۱۱/۰۰ ± ۳۲/۰۰ g	۰/۵۲ ± ۰/۰۰۳ de	۰/۲۹ ± fgh
		سلنیوم	۴۲۹/۰۰± ۱۵/۰۰ i	۰/۶۲ ± ۰/۰۰۶ ab	۰/۴۳ ± ab
		هیدروژن سولفید	۶۸۲/۳۳ ± ۷/۵۰ gh	۰/۵۲ ± ۰/۰۱۰ de	۰/۳۷ ± cde
	$۱۰^{-۳}$	۰	۲۳۶۱/۸۰ ± ۲۰۰/۰۰ b	۰/۴۳ ± /۰۰۶ hi	۰/۱۷ ± lm
		سلنیوم	۱۷۸۰/۶۶ ± ۴۹/۶۶ e	۰/۴۵ ± ۰/۰۰۹ gh	۰/۲۵ ± hij
		هیدروژن سولفید	۲۱۶۵/۵۶ ± ۱۸۱/۱۲ c	۰/۴۵ ± ۰/۰۰۱ gh	۰/۲۱ ± kl
۲۵ میلی مولار	۰	۰	۵/۰۶ ± ۰/۰۴ j	۰/۴۷ ± ۰/۰۵۰ fg	۰/۲۸ ± ghi
		سلنیوم	۲/۳۱ ±۰/۱۱ j	۰/۶۰ ± ۰/۰۴۰ bc	۰/۳۳ ± ef
		هیدروژن سولفید	۷/۵۱ ± ۰/۶۹ j	۰/۴۹ ± ۰/۰۳۰ ef	۰/۲۹ ± gh
	$۱۰^{-۵}$	۰	۵۷۴/۰۰ ± ۶۳/۱۵ h	۰/۴۷ ± ۰/۰۰۴ fg	۰/۲۴ ± ijk
		سلنیوم	۴۰۱/۰۰ ± ۸۷/۰۱ i	۰/۵۹ ± ۰/۰۰۸ c	۰/۴۳ ± ab
		هیدروژن سولفید	۵۶۵/۰۰ ± ۸۲/۷۱ h	۰/۵۱ ± ۰/۰۰۳ de	۰/۳۸ ± bcd
	$۱۰^{-۳}$	۰	۱۹۹۷/۳۳ ± ۶/۳۵ d	۰/۳۸ ± ۰/۰۰۶ k	۰/۱۳ ± mn
		سلنیوم	۱۶۵۷/۰۰ ± ۴۸/۸۶ f	۰/۴۰ ± ۰/۰۱۰ jk	۰/۱۸ ± l
		هیدروژن سولفید	۱۹۷۰/۰۰ ± ۱۵۳/۹۴ d	۰/۳۹ ± ۰/۰۰۴ jk	۰/۱۸ ± l
۷۵ میلی مولار	۰	۰	۶/۰۲ ± ۰/۹۸ j	۰/۳۲ ± ۰/۰۰۸ mno	۰/۲۱ ± jkl
		سلنیوم	۵/۵۷ ± ۰/۴۷ j	۰/۳۵ ± ۰/۰۰۳ l	۰/۳۰ ± fg
		هیدروژن سولفید	۵/۵۹ ± ۰/۵۱ j	۰/۳۴ ± ۰/۰۲۰ lm	۰/۲۵ ± hij
	$۱۰^{-۵}$	۰	۷۳۰/۰۰ ± ۲۰/۰۰ g	۰/۴۲ ± ۰/۰۰۹ ij	۰/۲۱ ± jkl
		سلنیوم	۷۱۹/۳۳ ± ۱۳/۰۱ g	۰/۴۶ ± ۰/۰۰۷ gh	۰/۳۵ ± de
		هیدروژن سولفید	۷۱۲/۰۰ ± ۲۰/۶۶ g	۰/۴۳ ± ۰/۰۰۷ hi	۰/۲۸ ± ghi
	$۱۰^{-۳}$	۰	۳۰۰۶/۶۶ ± a	۰/۳۱ ± ۰/۰۱۰ no	۰/۰۹ ± no
		سلنیوم	۲۹۲۶/۶۶±۱۱۰/۱۵ a	۰/۳۳±۰/۰۱۰ lmn	۰/۰۸± o
		هیدروژن سولفید	۲۹۵۰/۰۰ ± ۴۳/۵۸ a	۰/۳۰ ± ۰/۰۱۰ o	۰/۰۹ ± no

در هر ستون میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند فاقد اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می باشند.

جذب روی در ریشه و اندام هوایی: اثرات شوری، سرب و تخفیف‌دهنده‌های تنش بر تجمع روی در اندام‌های سیر معنی‌دار شد (جدول۵). برهمکنش شوری و سرب تنها در ریشه سیر، تغییرات معنی‌داری را نشان داد. برهمکنش‌های دوگانه و سه‌گانه به استثناء برهمکنش شوری و سرب بر غلظت روی اندام هوایی تغییرات معنی‌داری را نشان دادند. با تشدید تنش شوری غلظت روی در ریشه و اندام‌هوایی گیاه سیر کاهش یافت. به‌طوری‌که در شوری ۷۵ میلی‌مولار ۲۹/۱۶ و ۳۰ درصد محتوی روی ریشه و اندام هوایی کاهش نشان دادند (جدول۳). از سوی دیگر تنش سرب نیز

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.3.6.4

سبب کاهش غلظت روی در ریشه و اندام هوایی شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که تنش شوری و سرب محتوی روی در ریشه‌ی سیر را کاهش داده است. در بین تیمارهای مورد بررسی کمترین غلظت روی در ریشه گیاه در تیمار ۷۵ میلی مولار + سرب 10^{-3} مولار مشاهده شد. تیمار مذکور غلظت روی ریشه را ۶۵/۴۵ درصد نسب به تیمار عدم تنش کاهش داد (شکل ۴ ب). برهمکنش‌های دوگانه-ی سرب و تخفیف‌دهنده‌ها نشان داد که استفاده از سلنیوم و یا سولفید هیدروژن در شرایط تنش سرب موجب بهبود تجمع روی اندام هوایی سیر شد (جدول ۴). استفاده از سلنیوم و سولفید هیدروژن غلظت روی اندام هوایی را به ترتیب ۴۰ و ۲۰ درصد تحت شوری ۷۵ میلی‌مولار + سرب 10^{-5} مولار بهبود داد (جدول ۴) که نشان دهنده اثر بیشتر سلنیوم نسبت به سولفید هیدروژن می‌باشد.

بحث و نتیجه گیری

بر طبق یافته‌های آزمایش با افزایش سرب در محیط رشد، محتوای سرب در ریشه و اندام هوایی افزایش یافت. جذب سرب در ریشه به طور غیر فعال و به دنبال انتقال آب و همچنین به سبب اختلاف غلظت سرب در محیط ریشه و داخل ریشه، قبلا گزارش شده است (۱۲). در این آزمایش محتوای سرب تجمع یافته در ریشه ۲۹ برابر محتوای سرب در اندام هوایی بود، تفاوت مشاهده شده در غلظت سرب اندام‌هوایی و ریشه می‌تواند به دلیل سمیت زدایی سرب به دنبال تجمع اولیه در ریشه باشد که در پی آن مقدار سرب انتقال یافته به اندام‌هوایی کاهش یافته است و یا ممکن است به دلیل قوی‌تر بودن فرآیند سمیت‌زدایی در قسمت‌های هوایی گیاه نسبت به ریشه باشد (۲۳). مشابه با نتایج منتشر شده مبنی بر کاهش جذب کادمیوم در حضور سلنیوم (۶)، در این آزمایش نیز جذب سرب در حضور سلنیوم کمتر بود که می‌تواند به دلیل سلنوفروز (سلنیوم دوست) بودن گیاهچه‌های سیر باشد. در غلظت 10^{-5} مولار سرب رشد رویشی و متعاقب آن وزن خشک ریشه بیشتر بود که می‌تواند به علت وجود نیترات در ترکیب نیترات سرب باشد (۳۹) ولی این اثر در غلظت 10^{-3} مولار سرب مشاهده نشد. این امر نشان دهنده آن است که گیاهچه‌های سیر در غلظت 10^{-3} مولار قادر به تحمل تنش ناشی از سمیت سرب نبوده‌اند. روند تغییرات وزن خشک اندام‌هوایی تحت تنش سرب مشابه وزن خشک ریشه بود. حضور نیترات سرب تا حد 10^{-5} مولار، هیچ‌گونه اثر منفی بر وزن خشک اندام‌هوایی در گیاهچه‌های سیر نداشت. به نظر می‌رسد نقش مثبت سلنیوم و سولفید هیدروژن در کاهش جذب سرب در اندام‌هوایی سبب کاهش سمیت سرب و در نهایت بهبود رشد گیاهچه‌ها شده است. سلنیوم به سبب کاهش بیشتر جذب سرب نسبت به سولفید هیدروژن در افزایش وزن خشک ریشه تاثیر بیشتری داشت. Mroczek-Zdyrska and Wójcik (2012) نیز خاطر نشان کردند که اثر بهبود دهنده سلنیوم بر وزن خشک ریشه باقلا در شرایط تنش سرب به دلیل اثر سلنیوم بر کاهش تنش اکسیداتیو ناشی از سرب می‌باشد (۳۲). به نظر می‌رسد سلنیوم از طریق کاهش جذب و کاهش اثرات نامطلوب فلز سنگین بر فتوسنتز، سبب بهبود ویژگی‌های رشدی گردد (۶).

در این پژوهش شوری سبب افزایش جذب سدیم در ریشه و اندام هوایی و کاهش رشد آنها شد. نتایج مطالعات زیادی کاهش وزن خشک ریشه در محیط شور را تایید می کنند (۱). کاهش رشد ریشه در شرایط شور می‌تواند ناشی از اثر سمی یون سدیم و کلر و یا عدم تعادل در جذب عناصر غذایی به وسیله گیاه باشد (۱۸). گزارش شده هماهنگ با ریشه، وزن خشک اندام‌هوایی نیز به علت تنش اسمزی ناشی از تنش شوری و کاهش محتوای آب سلول ها و فشار تورژسانس، با مشکل مواجه می‌گردد (۱۸). به نظر می‌رسد برآیند دو عامل، غلظت سدیم در ریشه سیر را کنترل نماید یکی افزایش غلظت سدیم ریشه بر اثر کاهش رشد ریشه و وقوع پدیده تغلیظ و دیگری جذب بیشتر در اثر اختلاف شیب سدیم در محیط خارج و داخل ریشه (۱۲

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.3.6.4

و ۱۶). لازم به ذکر است محتوای سدیم ریشه در غلظت های مختلف سرب تحت تاثیر قرار نگرفت. باتوجه به نتایج افزایش جذب سدیم ریشه با حضور برخی فلزات سنگین مانند کادمیوم (۶)، این موضوع تاحدی غیر معمول است، در این خصوص به نظر می‌رسد ناقل‌های سدیم به علت تغییر در غشای پلاسمایی مختل شده باشند (۲۶). در شرایط مذکور که تجمع سدیم در ریشه تغییر معنی‌داری نداشت افزایش سدیم در اندام‌هوایی احتمالاً نتیجه انتقال بیشتر سدیم از ریشه به اندام‌هوایی است. دلیل دیگر برای افزایش سدیم اندام‌هوایی، حساسیت گیاه سیر به سدیم می‌باشد زیرا نتایج آزمایشات حاکی از آن است که سدیم در برخی گیاهان حساس به شوری به اندام‌هوایی منتقل می‌شود (۱۸).

به نظر می‌رسد اثر کاهنده سلنیوم و سولفید هیدروژن بر غلظت سدیم به سبب نقش آن‌ها در کاهش اثرات مضر تنش شوری از جمله خاصیت تحریک آنتی‌اکسیدانتی آنها باشد (۲۷ و ۳۷) در نتیجه گیاهان از رشد بهتری برخوردار شده و غلظت سدیم به سبب رقیق شدن کاهش می‌یابد. در تحقیق حاضر افزودن کلرید سدیم به محیط رشد گیاهچه‌های سیر سبب کاهش پتاسیم ریشه نسبت به شاهد شد. ممکن است در این کاهش، اثر آنتاگونیستی سدیم بر جذب پتاسیم موثر بوده است (۷). همچنین کاهش جذب عناصر غذایی در حضور سرب ممکن است در نتیجه رقابت و یا تغییر در فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه باشد (۲). بر طبق یافته‌های Sharma and Dubey (2005) اثر متقابل قوی یون پتاسیم با سرب می‌تواند به سبب شعاع یون مشابه (Pb^{2+}:1.29 A , K^{+}:1.33 A) و رقابت برای ورود به گیاه از طریق کانال‌های یکسان پتاسیم باشد (۳۴). در این آزمایش نیز هماهنگ با نتایج Mamta و همکاران (2008) با افزایش سطوح شوری گیاه دچار کمبود آهن گردید (۳۱). بروز اختلالات تغذیه‌ای بر اثر شوری ممکن است ناشی از تغییر قابلیت جذب عناصر غذایی، رقابت بر سر جذب عناصر غذایی و مختل شدن انتقال و توزیع عناصر بین اندام‌های مختلف باشد (۳۴، ۱۸ و ۱۷). از دلایل ممکن در کاهش غلظت آهن در اندام‌هوایی، توقف جذب از ریشه‌ها، کاهش انتقال از ریشه‌ها به اندام‌هوایی و یا تغییر در توزیع این عنصر در گیاه است (۱۸). از آنجا که یون سرب و آهن، دو ظرفیتی هستند رقابت در جذب، یکی از دلایل مهم کاهش جذب آهن می‌باشد. اثر کاهندگی بر همکنش شوری و سرب بر غلظت آهن در اندام‌هوایی می‌تواند مربوط به اثر منفی هر دو تنش باشد. به نظر می‌رسد که سلنیوم و سولفید هیدروژن از طریق بهبود انتقال آهن از ریشه به اندام هوایی سبب افزایش محتوای آهن در اندام هوایی گیاه سیر شده است. در عین حال سلنیوم و سولفید هیدروژن با کاهش جذب سرب در ریشه موجب کاهش اثر منفی سرب بر میزان آهن شده و به دنبال آن آهن انباشت شده در ریشه بعلت شیب غلظت از ریشه به اندام هوایی منتقل شده است.

بزهمکنش شوری و سرب سبب تشدید کاهش جذب عنصر روی در ریشه‌ها شد. در این راستا نتایج تحقیقات Lamhamdi و همکاران (2013) در گیاه گندم کاهش تجمع روی طی تنش سرب را نشان می‌دهد (۲۸). به نظر می‌رسد علت کاهش غلظت روی در حضور سرب، اثر سرب بر کاهش دسترسی یون روی در محل‌های جذب ریشه باشد. از سوی دیگر اثر بهبود دهنده سلنیوم بر خصوصیات رشدی در ریشه و اندام هوایی سیر سبب جذب بیشتر عناصر غذایی از جمله روی شده است.

به طور کلی نتایج حاصل از آزمایش حاکی از کاهش خصوصیات رشدی، با افزایش غلظت سرب و تنش شوری در گیاهچه‌های سیر داشت. در تیمار شوری و سرب به خصوص در غلظت‌های بالا محتوای سرب و سدیم اندام گیاه افزایش یافت و کاهش محسوس در پتاسیم، آهن و روی در گیاهچه‌های سیر مشاهده شد. با کاربرد تخفیف دهنده‌های تنش، کاهش تجمع سرب در ریشه‌ها، با تعادل در جذب سدیم و بهبود وزن خشک ریشه و اندام هوایی

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.3.6.4

همراه بود. علی‌رغم اثر مثبت هر دو ترکیب، اثر سلنیوم نسبت به سولفید هیدروژن در بهبود تمامی صفات مورد بررسی بیشتر بود.

منابع

۱) امام، ی.، رفیعی، ن. و پیراسته انوشه، ه. ۱۳۹۲. واکنش رشد اولیه و غلظت های یون های سدیم و پتاسیم در ده رقم جو (*Hordum vulgare* L.) در شرایط تنش شوری. فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۹: ۵-۱۵.

۲) چهرگانی راد، ع.، فروزان، س. و شیرخانی، ز. ۱۳۹۶. مطالعه اثر تیمار سرب بر برخی شاخص های مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه اطلسی (*Petunia hybrid* L.). مجله پژوهشهای گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران). ۱: صفحات ۲۴۳-۲۲۶.

۳) طباطبائیان، جواد .۱۳۹۳. بررسی تاثیر کلسیم در بهبود آسیب های ناشی از تنش شوری در گیاه گوجه فرنگی نشریه پژوهش های تولید گیاهی. ۱: ۱۲۵-۱۳۷.

۴) عامریان، معصومه، دشتی، فرشاد و دلشاد، مجتبی (۱۳۹۳). تأثیر منابع و سطوح مختلف سلنیوم بر برخی ویژگی های رشدی و فیزیولوژیکی پیاز (*Allium cepa* L.). فناوری تولیدات گیاهی. ۲: صفحات ۱۶۳-۱۷۹.

۵) عزیزی، ف.، امیری، ح. و اسماعیلی، ا. ۱۳۹۸. اثر ملاتونین بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه لوبیا رقم صدری(*Phaseolus vulgaris* cv.sadri) تحت تنش شوری. مجله پژوهشهای گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران). ۳: ۶۹۸-۷۱۱.

۶) قره باغلی، ن. و سپهری، ع. ۱۳۹۷. اثر سلنیوم بر جذب کادمیوم، خصوصیات رشدی و فتوسنتزی گیاهچه‌های سیر (*Allium sativum* L.) در معرض کادمیوم و کلرید سدیم در شرایط هیدروپونیک. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. شماره ۲: ۴۳۵-۴۴۸.

۷) نجفی، ن. ۱۳۹۴. اثر شور و غرقاب شدن خاک بر غلظت برخی عناصر پرمصرف و سدیم در ریشه ذرت. نشریه علمی- پژوهش اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی ۴۰: ۲۱-۳۹.

8) Abdel-Shafy, H.I., Hegemann, W. and Teiner, A. 1994. Accumulation of metals by vascular plants. Environmental Management and Health. 5: 21-24.

9) Acosta-Motos, J.R., Hernández, J.A., Álvarez, S., Barba-Espín, G. and Sánchez-Blanco, M.J. 2017. The long-term resistance mechanisms, critical irrigation threshold and relief capacity shown by Eugenia myrtifolia plants in response to saline reclaimed water. Plant Physiology and Biochemistry. 111: 244-256.

10) Ali, B., Mwamba, T.M., Gill, R.A., Yang, C., Ali, S., Daud, M.K., Wu, Y. and Zhou, W. 2014. Improvement of element uptake and antioxidative defense in *Brassica napus* under lead stress by application of hydrogen sulfide. Plant growth regulation. 74: 261-273.

11) Anosheh, H.P., Sadeghi, H. and Emam, Y. 2011. Chemical priming with urea and KNO_3 enhances maize hybrids (*Zea mays* L.) seed viability under abiotic stress. Journal of Crop Science and Biotechnology. 14: 289-295.

12) Bharwana, S.A., Ali, S., Farooq, M.A., Ali, B., Iqbal, N., Abbas, F. and Ahmad, M.S.A. 2014. Hydrogen sulfide ameliorates lead-induced morphological, photosynthetic, oxidative damages and biochemical changes in cotton. Environmental Science and Pollution Research. 21: 717-731.

13) Chang, P.-T.and Randle, W.M. 2004. Sodium chloride in nutrient solutions can affect onion growth and flavor development. HortScience. 39: 1416-1420.

14) FAO. 2014. Statistics: Faostate-Agriculture, Production, Crops.

15) Feng, R., Wei, C. and Tu, S. 2013. The roles of selenium in protecting plants against abiotic stresses. Environmental and Experimental Botany. 87: 58-68.

16) Francois, L.E. 1994. Yield and quality response of salt-stressed garlic. HortScience. 29: 1314-1317.

17) Gopal, R. and Rizvi, A.H. 2008. Excess lead alters growth, metabolism and translocation of

سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه بوعلی سینا جهت تامین بخشی از هزینه ها طرح قدردانی می‌شود.

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.3.6.4

certain nutrients in radish. Chemosphere. 70: 1539-1544.

18) Grattan, S. and Grieve, C. 1999. Salinity–mineral nutrient relations in horticultural crops. Scientia horticulturae. 78: 127-157.

19) Hossain, M.A., Hasanuzzaman, M. and Fujita, M. 2010. Up-regulation of antioxidant and glyoxalase systems by exogenous glycinebetaine and proline in mung bean confer tolerance to cadmium stress. Physiology and Molecular Biology of Plants. 16: 259-272.

20) Islam, E., Yang, X., Li, T., Liu, D., Jin, X. and Meng, F. 2007. Effect of Pb toxicity on root morphology, physiology and ultrastructure in the two ecotypes of *Elsholtzia argyi*. Journal of hazardous materials 147: 806-816.

21) Kamenetsky, R. and Rabinowitch, H. 2017. Physiology of Domesticated Alliums: Onions, Garlic, Leek, and Minor Crops. 1: 255-261.

22) Khalifa, G., Abdelrassoul, M., Hegazi, A.M. and Elsherif, M. 2016. Attenuation of negative effects of saline stress in two lettuce cultivars by salicylic acid and glycine betaine. Gesunde Pflanzen. 68: 177-189.

23) Khudsar, T., Soh, W.Y. and Iqbal, M. 2000. Morphological and anatomical variations of *Cajanus Cajan* (Linn.) huth raised in cadmium-rich soil. Journal of Plant Biology. 43: 149-157.

24) Kiremit, M.S. and Arslan, H. 2016. Effects of irrigation water salinity on drainage water salinity, evapotranspiration and other leek (*Allium porrum* L.) plant parameters. Scientia horticulturae. 201: 211-217.

25) Koushafar, M., Khoshgoftarmanesh, A.H., Moezzi, A. and Mobli, M. 2011. Effect of dynamic unequal distribution of salts in the root environment on performance and crop per drop (CPD) of hydroponic-grown tomato. Scientia horticulturae. 131: 1-5.

26) Kurtyka, R., Małkowski, E., Kita, A. and Karcz, W. 2008. Effect of calcium and cadmium on growth and accumulation of cadmium, calcium, potassium and sodium in maize seedlings. Polish Journal of Environmental Studies. 17: 51-56.

27) Lai, D., Mao, Y., Zhou, H., Li, F., Wu, M., Zhang, J., He, Z., Cui, W. and Xie, Y. 2014. Endogenous hydrogen sulfide enhances salt tolerance by coupling the reestablishment of redox homeostasis and preventing salt-induced K+ loss in seedlings of Medicago sativa. Plant Science. 225: 117-129.

28) Lamhamdi, M., El Galiou, O., Bakrim, A., Nóvoa-Muñoz, J.C., Arias-Estévez, M., Aarab, A. and Lafont, R. 2013. Effect of lead stress on mineral content and growth of wheat (*Triticum aestivum*) and spinach (*Spinacia oleracea*) seedlings. Saudi journal of biological sciences. 20: 29-36.

29) Lin, L., Zhou, W., Dai, H., Cao, F., Zhang, G. and Wu, F. 2012. Selenium reduces cadmium uptake and mitigates cadmium toxicity in rice. Journal of hazardous materials. 235: 343-351.

30) Liu, D., Zou, J., Meng, Q., Zou, J. and Jiang, W. 2009. Uptake and accumulation and oxidative stress in garlic (*Allium sativum* L.) under lead phytotoxicity. Ecotoxicology. 18: 134-143.

31) Mamta, J.B., Patel, A.D., Bhatti, P.M. and Pandey, A.N. 2008. Effect of soil salinity on growth, water status and nutrient accumulation in seedlings of *Ziziphus mauitiana* (Rhamnaceae). Journal of Fruit and Ornamental Plant Research. 16: 383-401.

32) Mroczek-Zdyrska, M. and Wójcik, M. 2012. The influence of selenium on root growth and oxidative stress induced by lead in *Vicia faba* L. minor plants. Biological trace element research. 147: 320-328.

33) Sapre, S., Gontia-Mishra, I. and Tiwari, S. 2018. *Klebsiella sp.* confers enhanced tolerance to salinity and plant growth promotion in oat seedlings *(Avena sativa)*. Microbiological research. 206: 25-32.

34) Sharma, P. and Dubey, R.S. 2005. Lead toxicity in plants. Brazilian journal of plant physiology. 17: 35-52.

35) Wang, Y. and Wu, W. H. 2010. Plant sensing and signaling in response to K+-deficiency. Molecular plant. 3: 280-287.

36) Wu, Z., Yin, X., Bañuelos, G.S., Lin, Z.-Q., Liu, Y., Li, M. and Yuan, L. 2016. Indications of selenium protection against cadmium and lead toxicity in oilseed rape (Brassica napus L.). Frontiers in plant science. 7: 1875.

37) Xue, T., Hartikainen, H. and Piironen, V. 2001. Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing lettuce. Plant and soil. 237: 55-61.

38) Zhang, H., Feng, X., Zhu, J., Sapkota, A., Meng, B., Yao, H., Qin, H. and Larssen, T. 2012. Selenium in soil inhibits mercury uptake and translocation in rice (Oryza sativa L.).

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.3.6.4

Environmental science & technology. 46: 10040-10046.

39) Zhu, J., Fang, X.Z., Dai, Y.J., Zhu, Y.X., Chen, H.S., Lin, X.Y. and Jin, C.W. 2019. Nitrate transporter 1.1 alleviates lead toxicity in arabidopsis by preventing rhizosphere acidification. Journal of Experimental Botany. 21: 6383-6376.

The effect of selenium and hydrogen sulfide on growth and nutrient uptake of garlic *(Allium sativum* L.*)* seedlings under the influence of lead and salinity stress

Gharehbaghli N.[1,2] and Sepehri A.[1]*

[1] Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, I. R. of Iran.

[2] Dept. of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, I.R. of Iran.

Abstract

The effect of selenium and hydrogen sulfide on garlic seedlings under the influence of salinity and different concentrations of lead was investigated in a factorial experiment in a completely randomized design with three replications. The experiment consisted of salinity stress at three levels (0, 25 and 75 mM of sodium chloride), lead in three concentrations (0, 10^{-5}, 10^{-3} M of Lead nitrate) and stress ameliorators included 0 and 5 mg L^{-1} sodium selenate and 200 µM sodium hydrogen sulfide. Based on the results, with increasing salinity stress and lead concentration, a significant decrease in dry weight and elements of zinc, iron and potassium was observed in the roots and shoots of the plant. With increasing salinity at a concentration of 10-5 M lead nitrate, the uptake of lead in the plant decreased compared to the conditions without salinity and subsequently, the iron content of shoot and zinc content of root improved. Also, application of selenium and hydrogen sulfide significantly improved the growth of garlic seedlings under salinity and lead stresses. Application of 5 mg L^{-1} sodium selenate and 200 µM sodium hydrogen sulfide reduced the uptake of lead in plant tissues and subsequently improved the content of the studied elements and increased growth at a concentration of 10^{-5} M lead under salinity stress, but in the concentration of lead 10^{-3}M, this effect was not observed. The positive effect of selenium on shoot dry weight and nutrient uptake, especially on shoot zink content in garlic seedlings under salinity of 75 mM and 10^{-5} M lead nitrate was higher than hydrogen sulfide. The results of this experiment indicate the superiority of selenium over hydrogen sulfide in improving the growth parameters and nutrient uptake of garlic seedlings under the influence of lead and salinity.

Key words: elements absorption, selenium, hydrogen sulfide, salinity, lead content.