بررسی سطوح مختلف کادمیوم و سرب بر برخی خصوصیات فیتوشیمیایی گیاه *Ocimum basilicum* L. در شرایط شوری

محمدعلی حسین‌پور[۱]، حسین افشاری[۲*]

[۱] کارشناس‌ارشد علوم باغبانی، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران

[۲] دانشیار گروه علوم باغبانی، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۵/۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۹٤/۲/۲۰

چکیده

تغییرات عوامل محیطی مثل خشکی، سرما، گرما، شوری و فلزات سنگین از جمله تنش‌هایی هستند که علاوه بر رشد و نمو در کمیت و کیفیت مواد موثره گیاهان نیز تاثیر می‌گذارند. در این تحقیق به جهت بررسی تاثیر سرب و کادمیوم در تنش شوری بر گیاه ریحان، آزمایشی در سال ۱۳۹۲ به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تیمار و ٤ تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود انجام پذیرفت. تیمارهای آزمایش شامل شوری در ۳ سطح (صفر، ۲/۵ و ۵ دسی زیمنس بر متر)، سرب در ۳ سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و کادمیوم در ۳ سطح (صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گلدان) بودند. تیمار شوری در مرحله ٦ برگی گیاه و در مرحله شروع فاز زایشی (برای دومین بار) اعمال شد. اعمال تیمار سرب به صورت محلول‌پاشی در مرحله ٦ برگی انجام پذیرفت. تیمار کادمیوم یک‌بار و همزمان با کاشت اعمال شد. به این طریق که غلظت‌های مورد نظر بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گلدان مخلوط شد.برای شناسایی ترکیب‌های موجود در اسانس و آنالیز مواد موثره برگ و ساقه در مرحله گلدهی از دستگاه‌های گاز کروماتوگرافی (GC) و گاز کروماتوگرافی متصل به طیف سنج جرمی (GC/MS) استفاده شد. در این آزمایش کادمیوم موجب کاهش عملکرد اسانس به‌میزان ۰/٤۹ لیتر در هکتار نسبت به شاهد شد. درصد متیل کاویکول و ای-سیترال در ریحان با کاربرد کادمیوم به‌ترتیب ۲/۹۷ و ۰/۳٦ درصد کاهش یافت. آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز در شرایط کاربرد کادمیوم کاهش یافت. سرب موجب کاهش عملکرد اسانس، درصد متیل کاویکول، پراکسیداز، کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز شد. تیمار شوری توانست از کاهش درصد پراکسیداز، کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز توسط سرب و کادمیوم جلوگیری کند. استفاده از سرب در شرایط شوری موجب کاهش معنی‌دار سیس-آلفا-بیسابولن گردید.

واژه‌های کلیدی: ریحان، سرب، شاهرود، سیس-آلفا-بیسابولن، شوری، کادمیم، متیل کاویکول

*نویسنده مسئول: h_afshari@ymail.com

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

مفهوم تنش فلزات سنگین را حساسیت به غلظت‌های بالای فلزات که سبب صدمه به گیاه یا مرگ آن می‌شود، تعریف می‌کنند (Kafi *et al.*, 2006; Aebi, 1984). وجود آلاینده‌های سربی در خاک بر میزان محصولات کشاورزی اثر فاحشی خواهد گذاشت. بیشترین میزان سرب از طریق ریشه و برگ مخصوصا برگ‌های دارای کرک جذب گیاهان می‌گردد. چنین شرایطی موجب مسمومیت گیاه، کاهش جذب برخی عناصر ضروری مانند آهن موجب کاهش میزان فتوسنتز، مهار تقسیم سلولی، کاهش گسترش سلولی، کاهش سطح تعرق و مسمومیت گیاه گردد که بر خواص فیزیولوژیکی گیاه تاثیرگذار خواهد بود (Kopyra and Gwzdz, 2003). در میان فلزات سنگین، کادمیوم نیز دارای اهمیت ویژه‌ای است.از جمله تغییرات حاصل از یون کادمیوم جذب شده توسط گیاه می‌توان به کلروز، نکروزه شدن برگ‌ها، اپی ناستی برگ‌ها، کاهش بیومس ریشه و ساقه و هم‌چنین کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی اشاره کرد (Dinaker *et al.*, 2008). شوری به‌عنوان یکی از تنش‌های محیطی، تمام مراحل رشد از جوانه‌زنی تا تولید توده زنده گیاهی، دانه و میوه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. تنش شوری موجب تغییرات شیمیایی، فیزیولوژیک و مورفولوژیک متعددی در گیاهان می‌شود. این تنش رشد، فتوسنتز، سنتز پروتئین، متابولیسم لیپیدها، تنفس و تولید انرژی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. امروزه به دلیل کمبود منابع آبی مناسب یا وجود منابع آبی با کیفیت پایین (آب‌های شور)، مدیریت تولید سبزی‌ها تحت شرایط شوری مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. استفاده از آب‌های با کیفیت نامناسب در ساخت محلول غذایی باعث افزایش بیشتر از اندازه تعدادی از املاح و یا تجمع املاح مضر شده که خود باعث تنش شوری می‌گردد (Miceli *et al.*, 2003). ریحان (*Ocimum basilicum* L.) گیاه دارویی، یکساله و علفی از خانواده نعناعیان می‌باشد. این گیاه از سبزیجات مفید و عامه پسند بوده که در تمام دنیا کشت می‌گردد. از این گیاه در طب و صنعت استفاده فراوانی می‌شود. با توجه به اهمیت گیاه دارویی ریحان در درمان بیماری‌های ریه، سینه، اثر اشتهاآور، ضدانگل، ضدتشنج، ضدسردرد و ضعف اعصاب مفید می‌باشد. لذا بررسی عوامل تاثیرگذار بر عملکرد کیفی و کمی خصوصیات فیزیولوژیکی و مواد موثره این گیاه ضرروی می‌باشد (Gang *et al.*, 2001; Emadi *et al.*, 2007). با توجه به گسترش روز افزون فلزات سنگین در محیط رشد گیاهان و اثرات زیانبار آن، بررسی تاثیر این عوامل از جمله موارد حائز اهمیت در زمینه گیاهان دارویی می‌باشد. در این تحقیق از سرب و کادمیوم به عنوان دو فلز سنگین استفاده شده است که تاثیر این دو فلز سنگین بر خصوصیات فیزیولوژیکی و مواد موثره ریحان در شرایط شوری مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال ۱۳۹۲ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود اجرا شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در ٤ تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل شوری در ۳ سطح (صفر، ۲/۵ و ۵ دسی زیمنس بر متر) سرب در ۳ سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و کادمیوم در ۳ سطح (صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گلدان) بودند. تعداد ٦۰ گلدان به اندازه و حجم یکسان انتخاب کرده که هر کدام ۳ کیلوگرم گنجایش داشت (دهانه گلدان، ۲۰ سانتی‌متر بود) و یک سوم خاک زراعی، یک سوم کود حیوانی الک شده و یک سوم ماسه با هم مخلوط و داخل گلدان‌ها ریخته شد. عملیات کاشت با دست و در عمق ۲/۵ برابر طول بذر انجام شد. پس از گذشت

Archive of SID

www.SID.ir

حدود ۲۳ روز بعد از کاشت، اقدام به اعمال تیمارها گردید. تیمار شوری در مرحله ٦ برگی گیاه با غلظت-های ذکر شده انجام پذیرفت و در مرحله شروع فاز زایشی (۳۲ روز پس از کاشت) اعمال تیمار شوری برای دومین بار انجام شد. اعمال تیمار سرب به صورت محلول‌پاشی در مرحله ٦ برگی (معادل ۲۳ روز پس از کاشت) انجام پذیرفت. ٤٥ روز پس از کاشت، محلول‌پاشی تکرار شد. تیمار کادمیوم یک‌بار و همزمان با کاشت اعمال شد. به این طریق که غلظت‌های مورد نظر بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گلدان مخلوط شد. در ٦۰ روز پس از کاشت (همزمان با گلدهی)، تعداد ۷ بوته به طور تصادفی از هر گلدان برداشت شد و نمونه‌ها به آزمایشگاه انتقال داده شد و صفات مورد نظر، بررسی و اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری مواد موثره از دو اندام ساقه و برگ در مرحله گلدهی انجام شد. برای اندازه گیری مواد موثره ساقه و برگ ریحان از دستگاه گاز کروماتوگراف مدل Hewlett-Packard 6890 دارای انجکتور Splitless و ستون موئینه به طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میلی متر و ضخامت فیلم ۲۵ میلی متر مدل (Agilent/J and W Scientific, Folsom, CA, USA) DB-WAX بود. دتکتور از نوع یونیزان اشعه با حرارت ۲۱۰ درجه سانتی‌گراد بود که در آن گاز هیدروژن و هوا با سرعت ٤۰ میلی‌لیتر بر دقیقه عبور داده شد. دمای اولیه در ۸۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲ دقیقه نگه داشته شد و سپس با تغییرات ۱۰ درجه در دقیقه به ۱٤۰ درجه رسیده و پس از ۱ دقیقه با تغییرات ٤ درجه در دقیقه به ۱۹۰ درجه رسیده به‌مدت ۲ دقیقه نگه داشته شده و سپس با تغییرات ۲ درجه در دقیقه به ۲۱۰ درجه رسید. از هلیم فوق خالص با سرعت عبور ۱ میلی لیتر در دقیقه به عنوان گاز حامل استفاده گردید. پیک‌های خروجی براساس زمان بازداری با نمونه‌های استاندارد مقایسه و تعیین هویت شده و براساس سطح زیر منحنی تعیین غلظت گردیدند (Young-Cheol, 2005). آنالیز اسانس ریحان در جدول ۱ آورده شده است.

برای اندازه‌گیری میزان سرب و کادمیوم در اندام-های گیاه، نمونه‌های مورد نظر بعد از انتقال به آزمایشگاه توسط آب مقطر شسته شد و سپس نمونه-ها در آون قرار گرفت و به مدت ٤۸ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد خشک گردید. بعد از خشک کردن نمونه‌ها در آون، نمونه‌ها با آسیاب برقی پودر شدند. ۱ گرم از نمونه پودر شده در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤ ساعت قرار داده شد. سپس به هر نمونه ۱۰ میلی لیتر اسید کلریدریک در حرارت ۹۵ درجه اضافه و سپس محلول تهیه شده از کاغذ صافی عبور داده شد و عصاره حاصل در بالن ژوژه ۵۰ میلی لیتر جمع‌آوری و توسط دستگاه جذب اتمی مدل پرکین المر (Young *et al.*, 2005) غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم اندازه گیری شد (Westerman, 1990).

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز طبق روش Fayer and Halliwell (۱۹۷٦) انجام شد. فعالیت آنزیم کاتالاز بر طبق روش Aebi (۱۹۸٤) و فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز بر اساس روش Minami and Yoshikawa (۱۹۷۹) انجام گرفت. مشخصات خاک مورد استفاده در جدول ۲ نشان داده شده است. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS و MSTATC و رسم نمودارها توسط نرم‌افزار Excel انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها به روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت پذیرفت.

در این آزمایش سطوح تیمارها با نمادهای زیر نشان داده شده است: S: شوری: S1: عدم شوری، S2: ۲/۵ دسی زیمنس بر متر، S3:۵ دسی زیمنس بر متر. C: شاهد، Pb50: ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سرب، Pb100: ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سرب، Ca5:۵ میکروگرم در کیلوگرم کادمیوم در خاک گلدان، Ca10: ۱۰ میکروگرم در کیلوگرم کادمیوم در خاک گلدان.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- آنالیز اسانس مربوط به گیاه ریحان

نام ماده	شماره پیک	زمان بازداری (دقیقه)	محتوای نسبی (٪)												
			S1C	S1Pb50	S1Pb100	S1Ca5	S1Ca10	S2C	S2Pb50	S2Pb100	S2Ca5	S2Ca10	S3C	S3Pb50	S3Pb100	S3Ca5	S3Ca10
2-pentyl furan	۱	۷/۴۴	۱/۸	۱/۴	۲/۳	۲/۰	۲/۷	۲/۱	۱/۸	۲/۷	۲/۸	۱/۵	۲/۳	۱/۴	۲/۰	۲/۶	۱/۵
α-thujene	۲	۸/۲۸	۳/۱	۳/۶	۲/۸	۳/۴	۳/۱	۲/۶	۲/۳	۳/۰	۲/۴	۱/۸	۳/۰	۲/۶	۱/۸	۳/۰	۲/۶
α- pinene	۳	۸/۷۰	۶/۳	۵/۷	۵/۰	۴/۸	۶/۵	۳/۸	۴/۱	۴/۷	۵/۱	۶/۲	۳/۹	۴/۴	۵/۲	۴/۶	۴/۸
camphene	۴	۹/۲۶	۱/۷	۲/۶	۳/۶	۲/۸	۳/۹	۳/۰	۲/۰	۲/۵	۱/۹	۲/۸	۱/۸	۳/۰	۲/۷	۳/۱	۲/۸
sabinene	۵	۱۰/۸۴	۲/۸	۳/۵	۲/۶	۳/۱	۳/۴	۲/۷	۲/۵	۳/۶	۲/۸	۳/۳	۱/۹	۲/۷	۲/۹	۳/۳	۲/۴
β-pinene	۶	۱۰/۹۵	۲/۴	۱/۹	۲/۷	۱/۸	۳/۶	۲/۹	۱/۸	۱/۷	۲/۱	۲/۶	۲/۳	۲/۲	۲/۰	۳/۱	۲/۷
myrcene	۷	۱۲/۰۶	۱/۸	۲/۲	۳/۰	۲/۴	۲/۹	۲/۰	۳/۱	۳/۵	۲/۸	۳/۰	۲/۱	۳/۴	۳/۰	۲/۵	۳/۶
γ-3-carene	۸	۱۲/۸۷	۱/۴	۲/۶	۱/۹	۲/۸	۲/۵	۳/۲	۴/۰	۳/۱	۳/۳	۲/۵	۳/۲	۴/۰	۲/۸	۳/۰	۳/۸
limonene	۹	۱۴/۳۳	۲/۶	۱/۹	۲/۴	۲/۷	۲/۴	۲/۰	۲/۶	۲/۹	۳/۵	۱/۹	۲/۴	۱/۸	۲/۵	۱/۹	۲/۹
1,8-cineole	۱۰	۱۴/۵۵	۱۰/۳	۹/۵	۸/۴	۹/۲	۸/۱	۱۲/۶	۱۱/۳	۹/۱	۱۱/۱	۹/۸	۱۴/۲	۱۳/۹	۱۲/۷	۱۳/۷	۱۴/۶
β-phellandrene	۱۱	۱۵/۶۵	۱/۸	۲/۳	۳/۱	۲/۷	۲/۲	۲/۶	۱/۹	۲/۴	۲/۳	۳/۲	۲/۶	۲/۰	۳/۱	۱/۸	۲/۸
trans-Ocimene	۱۲	۱۶/۲۸	۲/۴	۳/۰	۲/۸	۲/۵	۲/۰	۳/۱	۲/۷	۱/۸	۲/۶	۳/۵	۱/۷	۳/۲	۲/۵	۲/۶	۳/۴
methyl chavicol	۱۳	۱۷/۳۱	۸/۸	۷/۱	۶/۰	۶/۸	۵/۷	۹/۷	۸/۵	۷/۴	۸/۳	۷/۲	۱۰/۶	۹/۳	۸/۰	۹/۱	۷/۶
e- citral	۱۴	۱۹/۱۰	۲/۶	۲/۳	۲/۷	۲/۲	۱/۹	۲/۰	۳/۶	۲/۶	۱/۹	۲/۷	۳/۰	۳/۴	۱/۹	۲/۸	۳/۱
linalool	۱۵	۲۰/۲۱	۱۴/۲	۱۳/۳	۱۲/۰	۱۱/۵	۱۰/۴	۱۱/۹	۹/۸	۸/۰	۶/۱	۵/۶	۹/۸	۷/۹	۷/۱	۶/۰	۵/۲
methyl eugenol	۱۶	۲۲/۱۹	۲/۸	۱/۹	۳/۱	۲/۸	۳/۱	۱/۸	۳/۵	۳/۲	۲/۹	۲/۲	۲/۶	۲/۸	۲/۴	۱/۸	۲/۸
camphor	۱۷	۲۳/۳۸	۱/۹	۲/۴	۲/۰	۱/۸	۲/۴	۲/۶	۲/۱	۲/۷	۱/۸	۳/۴	۲/۹	۳/۲	۲/۸	۳/۱	۲/۱
cis-alpha-bisabolene	۱۸	۲۶/۳۲	۳/۴	۳/۷	۳/۳	۲/۸	۴/۱	۲/۳	۳/۴	۲/۵	۳/۶	۲/۷	۳/۳	۱/۸	۳/۱	۲/۴	۱/۹
α-terpineol	۱۹	۲۷/۴۱	۱/۸	۲/۶	۱/۹	۲/۴	۳/۰	۲/۱	۲/۸	۳/۱	۲/۷	۲/۸	۲/۵	۲/۹	۳/۵	۲/۰	۲/۹
thymol	۲۰	۲۹/۱۵	۹/۳	۸/۵	۷/۷	۸/۰	۷/۴	۱۰/۶	۹/۵	۸/۳	۹/۲	۱۰/۸	۱۱/۸	۹/۴	۱۰/۱	۱۰/۳	۸/۹
nerol	۲۱	۳۴/۴۲	۲/۹	۱/۹	۲/۴	۲/۷	۲/۰	۲/۷	۲/۳	۳/۶	۲/۳	۲/۹	۲/۱	۳/۰	۲/۲	۳/۱	۳/۵
eugenol	۲۲	۳۵/۷۴	۳/۳	۲/۳	۲/۹	۳/۱	۲/۶	۳/۱	۱/۹	۲/۲	۲/۶	۲/۷	۳/۰	۲/۱	۲/۷	۳/۶	۴/۰
β-Cubebene	۲۳	۴۳/۵۵	۲/۲	۲/۶	۲/۱	۲/۶	۲/۸	۲/۴	۱/۸	۲/۶	۳/۰	۲/۸	۲/۴	۱/۶	۲/۴	۱/۹	۲/۶
α-cis-bergamotene	۲۴	۴۵/۲۲	۲/۵	۲/۸	۲/۲	۳/۰	۲/۱	۱/۸	۲/۱	۱/۹	۲/۴	۱/۸	۱/۵	۲/۲	۲/۶	۲/۰	۲/۳
germacrene-D	۲۵	۴۶/۳۵	۱/۸	۲/۲	۲/۶	۲/۸	۱/۹	۱/۵	۱/۸	۲/۰	۲/۷	۲/۵	۲/۰	۱/۶	۲/۰	۱/۲	۱/۹

www.SID.ir

جدول ۲- نتایج تجزیه فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

درصد اشباع(SP)	۳۳/۲	درصد
هدایت الکتریکی($Ec\times 10^3$)	۷/۳٤	دسی‌زیمنس بر متر
اسیدیته گل اشباع(pH of pasta)	۸/۰۵	–
درصد مواد خنثی شونده(.T.N.V)	۲۵/۵	درصد
کربن آلی(O.C)	۰/۵۹	درصد
ازت کل(Total N)	۰/۱۰۵	درصد
فسفر قابل جذب P (ava)	٤٤/۵	پی‌پی‌ام
پتاسیم قابل جذب K (ava)	۲۲۱/۰	پی‌پی‌ام
رس (Clay)	۳٤	درصد
لای (Silt)	۵۰/۰	درصد
شن (Sand)	۱٦/۰	درصد
درصد رطوبت	۲/۳	درصد
نسبت جذب سدیم (SAR)	۱/۸	–
مجموع کاتیون‌ها	۷٤/۰	میلی‌اکی‌والان در لیتر
Na^+	۱۰/۰	میلی‌اکی‌والان در لیتر
Mg^{2+}	۱۲/۰	میلی‌اکی‌والان در لیتر
Ca^{2+}	۵۲/۰	میلی‌اکی‌والان در لیتر
مجموع آنیون‌ها	۷۳/۲	میلی‌اکی‌والان در لیتر
SO_4^{2-}	۳۸/۰	میلی‌اکی‌والان در لیتر
Cl^-	۳۰/۰	میلی‌اکی‌والان در لیتر
HCO_3^-	۵/۲	میلی‌اکی‌والان در لیتر
CO_3^-	۰	میلی‌اکی‌والان در لیتر

نتایج

آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که تیمار شوری، فلزات سنگین و اثر متقابل فلزات سنگین*شوری بر میزان سوپر اکسید دیسموتاز در سطح یک درصد تاثیرگذار بودند (جدول ۳). بررسی جدول ٤ نشان داد که تیمار شوری موجب افزایش میزان سوپر اکسید دیسموتاز در گیاه ریحان گردید. زمانی که شوری ۲/۵ دسی زیمنس بر متر اعمال گردید، میزان سوپر اکسید دیسموتاز، ۱/۲٤ واحد بر گرم وزن تر افزایش یافت. این در حالی بود که با دو برابر شدن شدت شوری (۵ دسی زیمنس بر متر) میزان این آنزیم به ۵/۷۳ واحد بر گرم وزن تر رسید که نسبت به شاهد ۱/۷۳ واحد بر گرم وزن تر و نسبت به سطح دوم شوری (۲/۵ دسی زیمنس بر متر) ۱/۱۷ واحد بر گرم وزن تر افزایش مشاهده گردید. بررسی سطوح مختلف فلزات سنگین نشان داد که بیشترین میزان سوپر اکسید دیسموتاز مربوط به گیاهان شاهد بود و کاربرد فلزات سنگین، این صفت را کاهش معنی‌دار داد (جدول ٤).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- میانگین مربعات صفات مورد بررسی در گیاه ریحان تحت تنش شوری و فلزات سنگین

		میانگین مربعات								
منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد اسانس	متیل کاویکول	ای-سیترال	سیس-آلفا-بیسابولن	ازت	سرب	کادمیوم	سوپر اکسید دیسموتاز	کاتالاز	پراکسیداز
شوری	۲	۱/۲۵*	۲۱/۳٤**	۱/۰۰۳**	٥/٦١**	۳٤٤٤۸/۳٥**	۱۳٥/۹۰**	۰/۲۹**	۱٥/٥٥**	٤۳/۲٦**	۲۰/۷۸**
فلزات سنگین	٤	۳/۱۱*	۱٦/۱۷**	۱/۰۹**	۰/۰۳*	۱۱۰۸۱/۱۰**	٥۲۰/۰٥**	٤٥/۲۲**	۳۲/۷۳**	۹٦/۳۳**	٥۰/۳٥**
فلزات سنگین*شوری	۸	۰/۱۹ ns	۰/۱۰**	۱/۱۷*	۱/۷۳**	۱۸۸۷/۱۲**	۲٦/٦۱**	۰/۱۲*	۳/۱۰**	۱۰/۲۳**	٥/۸٦**
خطای کل	٤٥	۰/۱٤	۰/۰۰٤	۰/۰۰۲	۰/۰۱	۳۲۰/۷۷	۱/٥۲	۰/۰٤	۰/۲٤	۰/٥۷	۰/۳۱
ضریب تغییرات		۱۰/۲۸	۰/۸۰	۱/۸۲	۳/٥۲	۱۳/۲۱	۱۳/۱٤	٦/٦٦	۱۰/۳۹	۹/۲۸	۱۱/۱۱

ns،*و**به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ٥ و ۱ درصد می‌باشد.

www.SID.ir

جدول ٤- مقایسه میانگین‌های صفات مورد بررسی گیاه ریحان تحت تنش شوری و فلزات سنگین

صفات	سیس-آلفا-بیسابولن (درصد)	ای-سیترال (درصد)	متیل کاویکول (درصد)	عملکرد اسانس (لیتر در هکتار)	ازت(میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن خشک)	سرب(میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک)	کادمیوم(میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک)	سوپر اکسید دیسموتاز واحد بر گرم وزن تر	کاتالاز واحد بر گرم وزن تر	پراکسیداز واحد بر گرم وزن تر
سطوح مختلف تنش شوری										
S1	۳/۴۸ a	۲/۳۹ c	۶/۸۵ c	۳/۹۵ a	۱۷۶/۲۰a	۱۰/۸۲a	۳/۲۴a	۴c	۶/۷۷c	۴/۱۳c
S2	۲/۹۵ b	۲/۵۴ b	۸/۲۳ b	۳/۷۷ a	۱۳۷/۲۵b	۱۰/۹۴a	۳/۲۵a	۴/۵۶b	۸/۰۱b	۴/۹۱b
S3	۲/۴۲ c	۲/۸۳ a	۸/۸۷ a	۳/۴۵ b	۹۳/۲۰c	۶/۳۷b	۳/۰۴b	۵/۷۳a	۹/۷۰a	۶/۱۵a
سطوح مختلف فلزات سنگین										
C	۲/۸۵ b	۲/۶۲ b	۹/۶۷ a	۴/۴۰ a	۱۸۳/۰۸a	۶/۵۹c	۲/۱۴c	۶/۹۸ a	۱۱/۸۹ a	۷/۷۳ a
Pb50	۲/۹۸ a	۳/۰۸ a	۸/۳۰ b	۳/۸۸ b	۱۴۳/۶۶b	۱۱/۱۱b	۲c	۵/۷۹ b	۱۰/۱۴b	۶/۴۷ b
Pb100	۳/۰۰ a	۲/۳۹ c	۷/۱۰ d	۳/۲۱ c	۱۱۶/۵۸cd	۲۰/۰۳a	۱/۵d	۴/۳۱ c	۷/۳۸ c	۴/۵۳ c
Ca5	۲/۹۷ a	۲/۳۰ d	۸/۱۳ c	۳/۹۱ b	۱۳۰/۱۶bc	۵/۷۶c	۴/۱b	۳/۹۸ c	۶/۵۸ d	۴/۰۵ d
Ca10	۲/۹۵ a	۲/۲۶ e	۶/۷۰ e	۳/۲۲ c	۱۰۴/۲۵d	۳/۳۸d	۶/۱۷a	۲/۷۳ d	۴/۸۲ e	۲/۵۴ e
تنش شوری * فلزات سنگین										
S1*C	۳/۴۵ c	۲/۶۵ g	۸/۷۵ d	۴/۳۹ a	۲/۱۴ c	۶/۶۱ c	۲۱۲/۸ a	۵/۵۸ c	۹/۵۵ b	۶/۱۹ b
S1*Pb50	۳/۶۷ b	۲/۳۵ i	۷/۱۵ h	۴/۰۴ a	۲/۱۴ c	۱۴/۵۳ b	۱۷۷bc	۴/۳۵ d	۷/۳۸ c	۴/۶۲ c
S1*Pb100	۳/۳۳ c	۲/۷۵ f	۵/۹۰ j	۳/۶۳ a	۱/۷۰ d	۲۲/۵۵ a	۱۵۴ cd	۲/۷۶ e	۴/۷۶ d	۲/۴۷ d
S1*Ca5	۲/۸۲ e	۲/۲۵ j	۶/۸۷ i	۴/۰۴ a	۴/۱۰ b	۶/۵۷ c	۱۸۱bc	۴/۴۶ d	۷/۳۶ c	۴/۷۶ c
S1*Ca10	۴/۱۵ a	۱/۹۵ l	۵/۵۸ k	۳/۶۴ a	۶/۱۵ a	۳/۸۷ d	۱۵۶/۳ cd	۲/۸۵ e	۴/۸۱ d	۲/۶۱ d
S2*C	۲/۳۲ g	۲/۱۱ k	۹/۷۷ b	۴/۷۶ a	۲/۱۴ c	۶/۵۳ c	۱۹۰ab	۷/۲۶ b	۱۳/۰۵ a	۸/۵۳ a
S2*Pb50	۳/۴۵ c	۳/۵۴ a	۸/۵۲ e	۴/۰۰ a	۲/۱۶ c	۱۴/۷۸ b	۱۵۴/۸ cd	۵/۶۶ c	۹/۹۷ b	۶/۳۴ b
S2*Pb100	۲/۵۵ f	۲/۵۴ h	۷/۳۵ g	۲/۹۹ a	۱/۷۱ d	۲۲/۶۵ a	۹۲ e	۴/۵۶ d	۷/۴۲ c	۴/۶۸ c
S2*Ca5	۳/۶۵ b	۱/۸۴ m	۸/۳۵ f	۴/۰۷ a	۴/۰۹ b	۶/۶۴ c	۱۵۴ cd	۲/۹۰ e	۴/۹۵ d	۲/۵۹ d
S2*Ca10	۲/۷۵ e	۲/۷۰ fg	۷/۱۵ h	۳/۰۶ a	۶/۱۷ a	۴/۰۹ d	۹۲/۵ e	۲/۴۰ e	۴/۶۷ d	۲/۴۳ d
S3*C	۲/۷۹ e	۳/۱۱ c	۱۰/۵۰ a	۴/۰۶ a	۲/۱۴ c	۶/۶۳ c	۱۴۶/۵d	۸/۱۱ a	۱۳/۰۷ a	۸/۴۷ a
S3*Pb50	۱/۸۳ h	۳/۳۴ b	۹/۲۵ c	۳/۵۹ a	۱/۷۰ d	۴/۰۲ d	۹۹/۲۵ e	۷/۳۶ b	۱۳/۰۷ a	۸/۴۶ a
S3*Pb100	۳/۱۳ d	۱/۸۶ m	۸/۰۷ f	۳/۰۲ a	۱/۰۷ e	۱۴/۹۲ b	۱۰۳/۸ e	۵/۶۲ c	۹/۹۷ b	۶/۴۴ b
S3*Ca5	۲/۴۲fg	۲/۸۲ e	۹/۱۷ c	۳/۶۴ a	۴/۱۱ b	۴/۰۸ d	۵۵/۵ f	۴/۶۰ d	۷/۴۲ c	۴/۸۱ c
S3*Ca10	۱/۹۵ h	۳/۰۴ d	۷/۳۷ g	۲/۹۷ a	۶/۱۸ a	۲/۱۹ d	۶۱ f	۰/۹۶ f	۴/۹۷ d	۲/۵۷ d

S: شوری: S1: عدم شوری، S2: ۲/۵ دسی زیمنس بر متر،S3: ۵ دسی زیمنس بر متر

C:شاهد، Pb50: ۵۰ میلی گرم در لیتر سرب، Pb100 : ۱۰۰ میلی گرم در لیتر سرب، Ca5: ۵ میکرو گرم در کیلوگرم خاک گلدان، Ca10: ۱۰ میکروگرم در کیلوگرم خاک گلدان.

www.SID.ir

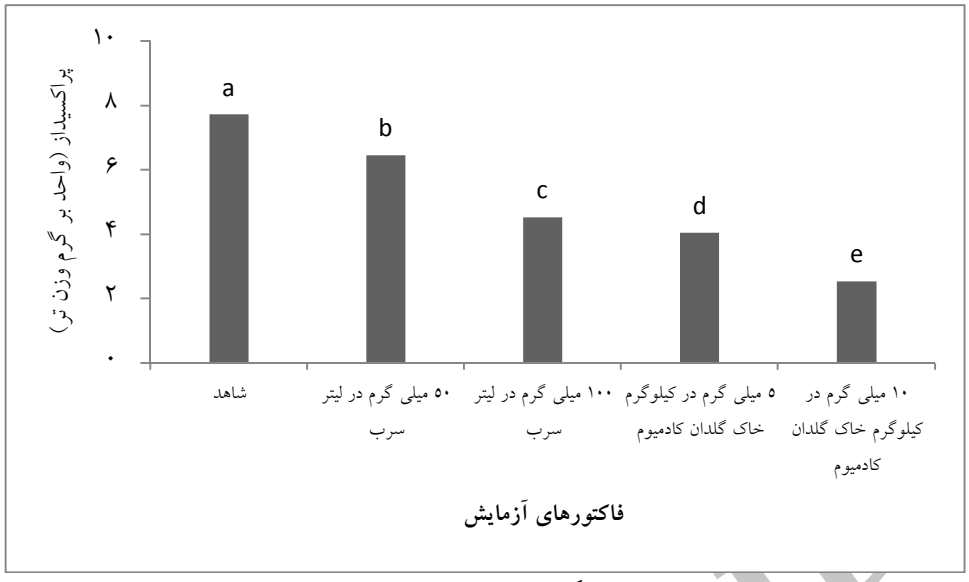
آنزیم کاتالاز: بررسی جدول ۳ نشان داد که آنزیم کاتالاز تحت تاثیر شوری، فلزات سنگین و اثر متقابل فلزات سنگین*شوری در سطح یک درصد قرار گرفت. طبق نتایج مقایسات میانگین می‌توان این طور بیان کرد که میزان این آنزیم در شرایط شوری به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. استفاده از تیمار شوری ۲/۵ دسی زیمنس بر متر موجب افزایش ۰/٥٦ واحد بر گرم وزن تر آنزیم کاتالاز شد و میزان کاتالاز را از ٦/۷۷ واحد بر گرم وزن تر در گیاهان شاهد به ۸/۰۱ واحد بر گرم وزن تر رساند. با دو برابر شدن غلظت شوری (۵ دسی زیمنس بر متر) این افزایش به ۱/۷۳ واحد بر گرم وزن تر نسبت به شاهد، رسید و به ۹/۷ واحد بر گرم وزن تر رساند (جدول ٤). این در حالی بود که گیاهانی Ca10 را دریافت کرده بودند، کمترین میزان کاتالاز را نشان دادند که معادل ٤/۸۲ واحد بر گرم وزن تر بود. استفاده از Pb50 و Pb100 به ترتیب موجب کاهش ۱/۷۵ و ٤/٥۱ واحد بر گرم وزن تر، آنزیم کاتالاز شد. این در حالی است که استفاده از Ca5 و Ca10 موجب کاهش ٥/۳۱ و ۷/۰۷ واحد بر گرم وزن تر کاتالاز نسبت به شاهد شد (جدول ٤).

آنزیم پراکسیداز: بررسی‌ها نشان داد که آنزیم پراکسیداز در گیاه ریحان تحت تاثیر تیمار شوری، فلزات سنگین و اثر متقابل فلزات سنگین*شوری در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). همان‌طور که در جدول ٤ مشخص است. میزان آنزیم پراکسیداز در شرایط شوری به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافته است. تیمار شوری ۲/۵ دسی زیمنس بر متر موجب افزایش ۰/۷۸ واحد بر گرم وزن تر آنزیم پراکسیداز نسبت به شاهد شد و میزان پراکسیداز را از ٤/۱۳ واحد بر گرم وزن تر به ٤/۹۱ واحد بر گرم وزن تر رساند. زمانی که شوری ۲ برابر شد (۵ دسی زیمنس بر متر) این افزایش به ۲/۰۲ واحد بر گرم وزن تر رسید (معادل ٦/۱٥ واحد بر گرم وزن تر گردید) (جدول ٤). نتایج بررسی سطوح مختلف فلزات سنگین در این پژوهش بیانگر این بود که آنزیم پراکسیداز در گیاهانی که در معرض تنش فلزات سنگین بودند به طور معنی‌داری کاهش یافت و کمترین میزان آنزیم پراکسیداز را گیاهانی که Ca5 را دریافت کرده بودند، به خود اختصاص دادند و معادل ٤/۸۲ واحد بر گرم وزن تر بود. استفاده از Pb50 موجب کاهش ۱/۲٦ واحدی این آنزیم گردید. با افزایش غلظت سرب (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) این کاهش به ۳/۲ واحد بر گرم وزن تر رسید. استفاده از Ca5 موجب کاهش آنزیم پراکسیداز از ۷/۷۳ واحد به ٤/۰٥ واحد بر گرم وزن تر شد. دو برابر شدن میزان کادمیوم (Ca10) در این آزمایش باعث شد که این مقدار به ۲/٥٤ واحد بر گرم وزن تر برسد (شکل ۱).

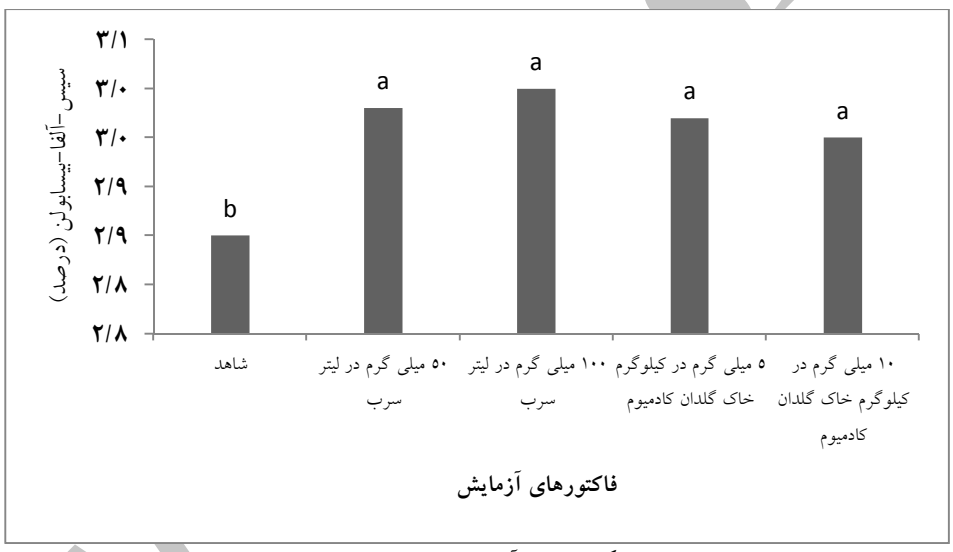
عنصر ازت: میزان ازت در گیاه ریحان تحت تاثیر تیمار شوری، فلزات سنگین و اثر متقابل فلزات سنگین*شوری قرار گرفت ($P<0/01$) (جدول ۳). نتایج بیانگر این نکته است که اعمال تنش شوری موجب کاهش معنی‌دار ازت گردیده است. S2 موجب کاهش ازت از ۱۷٦/۲۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن گیاه به ۱۳۷/۲٥ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن گردید. بررسی سطوح مختلف فلزات سنگین نشان داد که استفاده از سرب و کادمیوم نیز موجب کاهش معنی‌دار این صفت گردیده است. Pb50 موجب کاهش ۳۹/٤۲ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن ریحان شد. با افزایش غلظت سرب (Pb100) این کاهش به ٦٦/٥ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن رسید. در Ca5 میزان ازت از ۱۸۳/۰۸ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن در گیاه شاهد به ۱۳۰/۱٦ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن ریحان کاهش را نشان داد و با دو برابر شدن میزان کادمیوم در خاک گلدان (Ca10) مقدار ازت به ۱۰٤/۲٥ میلی‌گرم در وزن، کاهش پیدا کرد (جدول ٤).

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱- مقایسه میانگین پراکسیداز تحت تاثیر سرب و کادمیوم



شکل ۲- مقایسه میانگین سیس-آلفا-بیسابولن تحت تاثیر سرب و کادمیوم

عنصر سرب: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که مقدار سرب در گیاه ریحان تحت تاثیر شوری، فلزات سنگین و اثر متقابل فلزات سنگین*شوری در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). S2 تاثیری بر میزان سرب جذب شده توسط گیاه نشان نداد. در حالی‌که با افزایش غلظت شوری (S3) مقدار سرب جذب شده در گیاه به طور معنی‌داری کاهش یافت به نحوی که میزان سرب جذب شده در گیاه شاهد را از ۱۰/۸۲ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک به ٦/۳۷ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک رساند (جدول ٤). همان‌طور که در جدول ٤ مشاهده می‌شود در بررسی سطوح مختلف فلزات سنگین، بیشترین میزان سرب در گیاهانی مشاهده شد که Pb100 را دریافت کرده بودند و معادل ۲۰/۰۳ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک بود که نسبت به گیاهان شاهد افزایش ۱۳/٤٤ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک را نشان داد. این در حالی است که در گیاهانی که سطح پایین‌تر سرب (Pb50) را دریافت کرده بودند میزان سرب نسبت به

www.SID.ir

شاهد افزایش ٤/٥٢ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک را به نمایش گذاشت (جدول ٤).

عنصر کادمیوم: میزان کادمیوم جذب شده در گیاه ریحان تحت تاثیر تیمار شوری و فلزات سنگین در سطح ۱ درصد قرار گرفت (جدول ۳). اثر متقابل فلزات سنگین*شوری نیز در سطح ٥ درصد بر این صفت تاثیر گذاشت (جدول ۳). اعمال بالاترین سطح تیمار شوری (S3) موجب کاهش معنی‌دار کادمیوم جذب شده در گیاه ریحان شد. این کاهش ۰/۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک بود. ولی استفاده از سطح پایین شوری (S2) تاثیری بر میزان کادمیوم جذب شده توسط گیاه نداشت (جدول ٤). در بین سطوح مختلف فلزات سنگین، گیاهانی که بالاترین غلظت کادمیوم را (Ca10) دریافت کرده بودند بیشترین میزان کادمیوم جذب شده را هم نشان دادند که نسبت به شاهد افزایش ۲/۰۳ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک مشاهده شد. استفاده از غلظت پایین‌تر کادمیوم (Ca5) نیز موجب افزایش ۲/۱۳ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک جذب کادمیوم در گیاه شد و این مقدار را از ۲/۱٤ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک در گیاهان شاهد به ٤/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک رساند (جدول ٤).

عملکرد اسانس: تیمار شوری و فلزات سنگین در سطح ٥ درصد عملکرد اسانس ریحان را تحت تاثیر قرار دادند. اثر متقابل فلزات سنگین*شوری تاثیری بر عملکرد اسانس نداشت (جدول ۳). همان‌طور که در جدول ٤ مشخص است، تنش شوری موجب کاهش عملکرد اسانس در ریحان شد به نحوی که اعمال شوری با غلظت ٥ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش معنی‌دار ۰/٥۰ لیتر در هکتار عملکرد اسانس شد. اعمال سطح پایین‌تر شوری (۲/٥ دسی زیمنس بر متر) هر چند این صفت را کاهش داد ولی از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت (جدول ٤). در بین سطوح مختلف فلزات سنگین، بیشترین عملکرد اسانس را گیاهان شاهد به خود اختصاص دادند. استفاده از سرب و کادمیوم عملکرد اسانس ریحان را به طور معنی‌داری کاهش دادند. استفاده از Pb50 (معادل ۳/۸۸ لیتر در هکتار) و هم‌چنین کاربرد Ca5 (معادل ۳/۹۱ لیتر در هکتار) موجب کاهش معنی‌دار این صفت نسبت به شاهد (معادل ٤/٤۰ لیتر در هکتار) شدند. استفاده از بالاترین غلظت سرب و کادمیوم، در این آزمایش عملکرد اسانس را به میزان قابل توجهی کاهش داد که از لحاظ آماری معنی‌دار نیز بود (جدول ٤).

متیل کاویکول[1]: نتایج بررسی‌ها در این آزمایش حاکی از آن است که میزان متیل کاویکول تحت تاثیر تیمار شوری، فلزات سنگین و اثر متقابل فلزات سنگین*شوری قرار گرفت (جدول ۳). تنش شوری موجب افزایش معنی‌دار متیل کاویکول در ریحان گردید. به این نحو که اعمال تنش شوری با غلظت ۲/٥دسی زیمنس بر متر موجب شد که متیل کاویکول نسبت به شاهد ۱/۳۸ درصد افزایش را نشان دهد. با دو برابر شدن غلظت شوری در این آزمایش (٥ دسی زیمنس بر متر) میزان متیل کاویکول نسبت به شاهد و سطح دوم شوری (۲/٥ دسی زیمنس بر متر) به ترتیب به میزان ۲/۰۲ درصد و ۰/٦٤ درصد افزایش را نشان داد که از لحاظ آماری معنی‌دار نیز بود (جدول ٤). کاربرد سرب و کادمیوم موجب کاهش معنی‌دار میزان متیل کاویکول در ریحان گردید. بیشترین میزان متیل کاویکول در گیاهان شاهد دیده شد که ۹/٦۷ درصد بود. استفاده از بالاترین سطح کادمیوم (Ca10) کمترین میزان متیل کاویکول را به خود اختصاص داد که معادل ٦/۷۰ درصد بود. کاربرد Pb50 موجب کاهش ۰/٥۲ درصدی این صفت نسبت به شاهد

1. methyl- chavicol

Archive of SID

www.SID.ir

گردید. زمانی که سرب با غلظت بیشتری استفاده شد (Pb100)، میزان کاهش این صفت به ۱/۱۹ درصد رسید. بین سطح دوم سرب (Pb50) و سطح دوم کادمیوم (Ca5) اختلاف معنی‌داری دیده نشد. استفاده از بالاترین سطح این دو ماده در این آزمایش نیز اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند (جدول ٤).

ای- سیترال[1]: همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، تیمار شوری و فلزات سنگین بر میزان ای- سیترال در سطح ۱ درصد تاثیر گذاشتند و اثر متقابل فلزات سنگین*شوری در سطح ۵ درصد بر این صفت تاثیرگذار بودند (جدول ۳). تنش شوری موجب افزایش معنی‌دار میزان ای- سیترال در گیاه ریحان شد. بالاترین مقدار ای-سیترال در گیاهانی دیده شد که تحت تاثیر ۵ دسی زیمنس بر متر آب شور بودند و معادل ۲/۸۳ درصد شد که نسبت به شاهد افزایش ۰/٤٤ درصد این ماده را افزایش داد. استفاده از ۲/۵ دسی زیمنس آب شور موجب افزایش ۰/۱۵ درصدی ای- سیترال نسبت به شاهد گردید (جدول ٤). در بین سطوح مختلف فلزات سنگین، استفاده از Pb50 موجب افزایش معنی‌دار این ماده شد اما بقیه سطوح فلزات سنگین، این صفت را به طور معنی‌داری کاهش دادند. به طوری که کمترین میزان این ماده در گیاهانی دیده شد که Ca10 را دریافت کرده بودند که معادل ۲/۲٦ درصد بود و نسبت به شاهد کاهش ۰/۳٦ درصدی را نشان داد (جدول ٤). در بین اثرات متقابل شوری و فلزات سنگین، ترکیب تیماری S2*A2 بالاترین میزان ای-سیترال را دارا بود که نسبت به شاهد افزایش ۰/۸۹ درصدی را به نمایش گذاشت. دو ترکیب تیماری S2*Ca5 (۱/۸٤ درصد) و S3*Pb100 (۱/۸٦ درصد)، کمترین میزان ای- سیترال را به خود اختصاص دادند که نسبت به شاهد کاهش ۰/۸۰ درصدی رؤیت شد (جدول ٤). زمانی که گیاهان ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سرب را در شرایط شوری دریافت کردند، درصد ماده ای-سیترال به طور معنی-داری افزایش یافت.

سیس- آلفا بیسابولن[2]: این صفت تحت تاثیر شوری (P<۰/۰۱) ، فلزات سنگین (P<۰/۰۵) و اثر متقابل فلزات سنگین*شوری (P<۰/۰۱) قرار گرفت (جدول ۳). تنش شوری موجب کاهش معنی‌دار سیس- آلفا- بیسابولن در گیاه ریحان شد. اعمال سطح دوم تنش شوری (۲/۵ دسی زیمنس بر متر) موجب کاهش ۰/۵۳ درصدی این ماده شد. دو برابر شدن غلظت شوری در این تحقیق (۵ دسی زیمنس بر متر) موجب کاهش ۱/۰٦ درصدی سیس- آلفا- بیسابولن شد. در این آزمایش سرب و کادمیوم موجب افزایش معنی‌دار سیس- آلفا- بیسابولن نسبت به شاهد شد. ولی اختلاف بین سطوح سرب و کادمیوم با یکدیگر از لحاظ اماری معنی‌دار نبود (جدول ٤ و شکل ۲). بررسی اثرات متقابل تنش شوری و فلزات سنگین نشان داد که بیشترین میزان سیس-آلفا-بیسابولن مربوط به ترکیب تیماری S1*Ca10 (٤/۱۵ درصد) و نسبت به شاهد افزایش ۰/۷۰ درصدی را نشان داد. کمترین مقدار این ماده در دو ترکیب تیماری S3*Pb50 (معادل ۱/۸۳ درصد) و S3*Ca10 (معادل ۱/۹۵ درصد) مشاهده شد (جدول ٤). استفاده از Pb50 و Pb100 در شرایط تنش شوری موجب کاهش معنی‌دار سیس-آلفا بیسابولن در ریحان شد.

بحث

در این آزمایش وجود عناصر سرب و کادمیوم سبب شده که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاهش یابد زیرا این عناصر برای این آنزیم‌ها سمی هستند از

1. E-Citral

2. Cis alpha bisabolen

Archive of SID

www.SID.ir

این‌رو فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز در ترکیبات تیماری S1*Pb50، S1*Pb100، S2*Pb100، S3*Ca5و هر نمونه‌ای که در آن سرب و کادمیوم بود نسبت به شاهد (S1*C) کاهش یافت زیرا وجود این عناصر با اتصال به ساختمان آنزیم سبب آسیب به ساختمان و کاهش فعالیت آن‌ها می‌گردد. نکته قابل توجه این است که تاثیر منفی فلزات سنگین بر فعالیت آنزیم می‌تواند با تاثیر مثبت شوری خنثی شود.در بررسی اثر تنش شوری بر ۳ گونه سیب زمینی وحشی، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در هر ۳ گونه به طور معنی‌داری افزایش یافت (Daneshmand *et al.,* 2010). افزایش فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در ژنوتیپ‌های ذرت تحت تنش شوری (AzevedoNeto *et al.,* 2006) نیز گزارش شده است. افزایش فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز ممکن است به علت سنتز مولکولی پروتئین‌های آنزیمی باشد (Diwan *et al.,* 2008). بررسی اثرات متقابل تنش شوری*فلزات سنگین نیز نشان داد که بیشترین میزان کاتالاز مربوط به ترکیب تیماری S3*C و S3*Pb50 بود که معادل ۱۳/۰۷ واحد بر گرم وزن تر بود و با ترکیب تیماری S2*C اختلاف معنی‌داری را نشان نداد ولی نسبت به شاهد افزایش ۳/۵۲ واحدی را نشان داد. در این آزمایش می‌توان علت افزایش آنزیم کاتالاز را این طور بیان کرد که وقتی گیاهان تحت تنش قرار می‌گیرند برای مقابله با اثرات مضر تنش آنزیم کاتالاز را افزایش داده و از این طریق با تنش مقابله می‌کنند. در مورد سطوح مختلف فلزات سنگین نیز می‌توان این طور نتیجه‌گیری کرد که بیشترین میزان کاتالاز در گیاهان شاهد دیده شد که میزان ۱۱/۸۹ واحد بر گرم وزن تر بود.شوری به تنهایی باعث تحریک تولید گونه‌های اکسیژن فعال[1] می‌شود که سبب افزایش کاتالاز می‌شود از اینروست که نسبت به شاهد (یعنیS1*C)، مقدار این آنزیم آنتی اکسیدان در نمونه‌هایی که فقط تحت تاثیر شوری بودند مانند S2*C و S3*C به ترتیب مقدار این آنزیم زیاد شده است.در تحقیقی علایم سمیت سرب از جمله کاهش میزان کلروفیل، افزایش محتوای مالون دی آلدهید، کاهش میزان فعالیت آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در گیاهان سویا تحت تیمار سرب مشاهده شده است. افزایش سطح مالون دی آلدهید و تغییر فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی مانند آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز در ریشه‌ها و برگ‌ها نشان دهنده بروز تنش اکسایشی در سویا بود (Pereira *et al.*, 2002). در بین اثرات متقابل حاصل از تنش شوری در فلزات سنگین مشاهده شد که ۳ ترکیب تیماری S2*C، S3*C و S3*Pb50 بیشترین میزان آنزیم پراکسیداز را نشان دادند که حدودا معادل ۸/۵۰ واحد بر گرم وزن تر بود و نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری را نشان دادند. وجود عناصر سرب و کادمیوم سبب شده که فعالیت آنزیم پراکسیداز کاهش یابد زیرا این عناصر برای این آنزیم نیز سمی هستند از اینروست که فعالیت پراکسیداز در ترکیبات تیماری S1*Pb100، S1*Ca10، S2*Ca5، S2*Ca10 وS3*Ca10 نسبت به شاهد (S1*C) کاهش یابد زیرا وجود این عناصر با اتصال به ساختمان آنزیم سبب آسیب به ساختمان و کاهش فعالیت آن‌ها می‌گردد. نکته قابل توجه این است که کاربرد بالاترین سطح کادمیوم در خاک (۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) در هر سه سطح شاهد و شوری ۲/۵ و ۵ دسی‌زیمنس این آنزیم را کاهش داد و شوری نتوانست تاثیر بالاترین سطح کادمیوم را کاهش دهد. در این آزمایش زمانی که غلظت شوری افزایش یافت (۵ دسی‌زیمنس بر متر) ازت به مقدار بیشتری کاهش یافت و به ۹۳/۲۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن رسید. زمانی که کادمیوم با بالاترین سطح شوری بر گیاه اعمال شد، موجب

1-ROS

Archive of SID

www.SID.ir

شد که گیاه با کاهش شدیدتر ازت مواجه شود. تجمع فلزات سنگین سبب مختل شدن فعالیت آنزیم‌ها می‌شود و کاهش ازت در گیاه را به دنبال دارد که این کاهش در میزان ازت، در شرایط تنش شوری نیز بیشتر می‌شود.نتایج تحقیقی نشان داد که با افزایش سطوح کادمیوم در خاک، غلظت کادمیوم در اندام گیاهی نیز افزایش می‌یابد (Chen *et al.*, 2003).بنا بر گزارش تحقیقی، تنش شوری عملکرد اسانس را در گیاهان خانواده نعناع کاهش می‌دهد و این شاید به دلیل محدود شدن عرضه سیتوکینین از ریشه‌ها به شاخه‌ها و در نتیجه تغییر نسبت سیتوکینین به اسید آبسیزیک برگ باشد (Emadi *et al.*, 2007).در بین اثرات متقابل تنش شوری در فلزات سنگین، بیشترین میزان ازت (معادل ۲۱۲/۸ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن) مربوط به گیاهان شاهد بود که از لحاظ آماری با ترکیب تیماری S2*C (معادل ۱۹۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن) اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. دو ترکیب تیماری S3*Ca5 (معادل ۵۵/۵ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن) و S3*Ca10 (معادل ٦١ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن)، کمترین میزان ازت را به خود اختصاص دادند. در واقع می‌توان این‌طور بیان کرد که زمانی که کادمیوم با بالاترین سطح شوری بر گیاه اعمال شد، موجب شد که گیاه با کاهش شدیدتر ازت مواجه شود.در بین اثرات متقابل شوری*فلزات سنگین، دو ترکیب تیماری S2*Pb100 (معادل ۲۲/٦۵ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم وزن خشک گیاه) و S1*Pb100 (معادل ۲۲/۵۵ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم وزن خشک گیاه) بالاترین میزان سرب در گیاه ریحان را نشان دادند. یعنی زمانی که ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سرب روی گیاهان محلول‌پاشی شد در شراط عدم شوری و شوری ۲/۵ دسی زیمنس بر متر، گیاهان بیشترین مقدار سرب را جذب کردند. نکته جالب توجه این است که کاربرد بالاترین سطح شوری موجب شد که جذب سرب در محلول‌پاشی با ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سرب (S3*Pb100) نسبت به دو تیمار مذکور (S2*Pb100، S1*Pb100) کاهش یابد.در شرایط عدم شوری، محلول‌پاشی سرب با غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر موجب افزایش جذب سرب در گیاه شد و این وضعیت در شوری با غلظت ۲/۵ دسی زیمنس هم به همین منوال بود. نکته حائز اهمیت این است که استفاده از بالاترین سطح شوری (۵ دسی‌زیمنس بر متر) توانست میزان جذب سرب در اندام‌های گیاه را به‌طور معنی‌داری کاهش دهد.در این تحقیق ترکیبات تیماری S1*Ca10 (معادل ٦/۱۵ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم وزن خشک)، S2*Ca10 (معادل ٦/۱۷ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم وزن خشک) و S3*Ca10 (معادل ٦/۱۷ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم وزن خشک)، بیشترین میزان کادمیوم جذب شده توسط گیاه را نشان داد. کمترین مقدار کادمیوم جذب شده در گیاهان مربوط به ترکیب تیماری S3*Ca10 بود که معادل ۱/۰۷ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک بود. استفاده از کادمیوم در هر سه سطح شاهد، شوری ۲/۵ و ۵ دسی زیمنس موجب افزایش کادمیوم جذب شده توسط گیاه شد و شوری نتوانست مانع جذب کادمیوم در گیاه شود.نتایج تحقیق ما نشان داد که در بین اثرات متقابل بین شوری و فلزات سنگین ترکیب تیماری S3*C بیشترین میزان متیل کاویکول (معادل ۱۰/۵۰ درصد) را به خود اختصاص داد. در این میان کمترین میزان این ماده مربوط به ترکیب تیماری S2*Ca10 بود که معادل ۵/۵۸ درصد بود. زمانی که ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سرب در شرایط شوری روی گیاه محلول‌پاشی شد، نسبت به گیاهان شاهد و گیاهانی که ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سرب را دریافت کرده بودند، درصد متیل کاویکول به میزان بیشتری کاهش نشان داد. نتایج نشان داد استفاده از سطح دوم و سوم کادمیوم (۵ و

Archive of SID

www.SID.ir

۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک گلدان) در شرایط شوری موجب کاهش درصد متیل کاویکول نسبت به شاهد شد (جدول ۲). زمانی که گیاهان تحت تنش سرب قرار گرفتند، استفاده از آب شور توانست از کاهش درصد متیل کاویکول توسط سرب جلوگیری کند و اثر آن را خنثی کند. در مورد کادمیوم نیز این امر صادق بود. یعنی تیمار شوری توانست اثر کادمیوم را بر کاهش درصد متیل کاویکول خنثی کند.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان داد که تنش شوری موجب افزایش میزان آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز، درصد متیل کاویکول و ای-سیترال شد. میزان ازت، سرب و کادمیوم، عملکرد اسانس، میزان سیس آلفا-بیسابولن تحت تنش شوری به طور معنی‌داری کاهش یافت.

آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز، میزان عنصر ازت، عملکرد اسانس، درصد متیل کاویکول و درصد ای-سیترال موجود در گیاه ریحان در گیاهانی که تحت تنش کادمیوم بودند به طور معنی‌داری کاهش یافت. در گیاهانی که تحت تنش کادمیوم بودند میزان کادمیوم، درصد سیس-آلفا-بیسابولن در حداکثر بود و افزایش قابل توجهی را نشان داد. سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز، میزان ازت، عملکرد اسانس با مصرف سرب به طور معنی‌داری کاهش یافت. در گیاهانی که سرب دریافت کرده بودند میزان این عنصر در گیاه در ماکزیمم مقدار خود بود. درصد متیل کاویکول و ای-سیترال، درصد سیس-آلفا-بیسابولن در گیاهان تحت تنش سرب افزایش یافت. تیمار شوری در این آزمایش توانست از اثر مضر سرب و کادمیوم بر سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز جلوگیری کند. کاربرد ۵ دسی زیمنس بر متر آب شور توانست جذب سرب در اندام‌های گیاه را به طور معنی‌داری کاهش داد. تیمار شوری توانست از کاهش درصد متیل کاویکول توسط سرب و کادمیوم جلوگیری کند. استفاده از سرب در شرایط شوری موجب کاهش معنی‌دار سیس-آلفا-بیسابولن شد.

سپاسگزاری

از همکاری صمیمانه سرکار خانم دکتر مرضیه حسین‌پور و جناب آقای مهندس هادی قاسمی که در ویرایش و تحلیل نتایج نهایت همکاری را داشتند، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

منابع

1. Aebi, H. 1984. Catalase in vitro.Methods Enzymol, 105: 121–126.
2. AzevedoNeto, A.D., Prisco, J.T., EneasFilho, J., De Abreu, C.E.B., Gomes, and Filho, E. 2006. Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt tolerant and salt- sensitive maize genotypes, Environ. Exp. Bot. 56: 87-94.
3. Chen, Y.X., He, Y.F., Yang, Y., Yu, Y.L., Zheng, S.J., Tian, G.M., Luo, Y.M., and Wong, M.H. 2003. Effect of cadmium on nodulation and N2-fixation of soybean in contaminated soils. Chemosphere, 50:781–787.
4. Daneshmand, F., Arvin, M.J., and Kalantari, K. 2010. Physiological response to NaCl stress in three wild species of potato in vitro. Acta Physiol. Plant., 32:91-98.
5. Diwan, H., Ahmad, A. and Iqbal, M., 2008. Genotypic variation in the phyto remediation potential of Indian mustard for chromium. Environmental Management. 41: 734-741.
6. Fayer, C.H., and Halliwell, B. 1976. The expression of glutathione and glutathione peroxidase in choloroplasts, planta, 133: 21-25.
7. Dinakar, N., Nagajyothi, P.C., Udaykiran, Y., and Damodharam, T. 2008. Phytotoxicity of cadmium on protein, proline and antioxidant enzyme activities in growing *Arachis hypogaea* L. seedlings, J. of Environ. Sci. 20: 199-206.
8. Emadi, F., Yassa, N., and Amin, G.H. 2007. Analysis of *Rosmarinus officinalis* essential

Archive of SID
www.SID.ir

oil at different times. Abstract book of the3th congress of medicinal plants. Shahed University Tehran. Iran. pp: 184-185.
9. Gang, D.R., Wang, J., Nam, K.H., Simon, J.E., Lewinshon, E., and Putivisky, E. 2001. An investigation of the storage and biosynthesis of phenyl propenes in sweet basil. Plant physiol, 125: 539- 555.
10. Kafi, M., Iami, A.L., and Ahmadi, M. 2006.Salinity effect on germition propetie *Kochia scopari* .Asiaj. Plant Sci, 5: 71- 750.
11. Kopyra, M., and Gwzdz, E.A. 2003. Nitric oxide stimulates seed germination and counteracts the inhibitory effect of heavy metals and salinity on root growth of *Lupinus luteus*. Plant Physiol. And Bioch, 41:1011-1017.
12. Minami, M., and Yoshikawa, H. 1979. A simplified assay method of superoxide dismutase activity for clinical use. Clin. Chim. Acta, 92: 337–342.
13. Miceli, A., Moncada, A. and Anna, F.D. 2003. Effect of salt stress in lettuce cultivation. Acta Hort, 609: 371–375.
14. Pereira, R.R., Fornazier, R.F., Vitoria, A.P. and Lea, P.J. 2002. Changes in antioxidant enzyme activities in soybean under cadmium stress. J. of Plant Nutrition. 25: 327-342.
15. Westerman, R.L. 1990. Soil testing and plant analysis. Wisconsin: Soil Science Society of America.
16. Young-Cheol, Y., Hoi-Seon, L., Si Hyeock, L., Marshall Clark, J. and Young-Joon, A. 2005. Ovicidal and adulticidal activities of *Cinnamomum zeylanicum* bark essential oil compounds and related compounds against *Pediculus humanuscapitis* (Anoplura: Pediculicidae). International. J. for Parasitology. 35(2):1595–1600.

Archive of SID

www.SID.ir