



اثرهای اسید گلوتامیک و اسید آسپارتیک در کاهش تنش سرب در گیاه بادرنجبویه (*Melissa officianlis*)

زهرا رهمضانی^۱، علی اشرف امیری نژاد^{۲*} و مختار قبادی^۳

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

zahra.ramezani49400@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

a.amirinejad@razi.ac.ir

۳. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

ghobadi.m@razi.ac.ir

« مقاله پژوهشی »

دریافت: ۱۴۰۳/۵/۱۳ و پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۲۵

چکیده

استفاده از مواد کلات‌کننده به‌عنوان یک راه حل مناسب برای کاهش اثر فلزات سنگین در گیاهان معرفی شده است. برای بررسی اثرهای اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک بر کاهش تنش سرب در گیاه بادرنجبویه (*Dracocephalum ruyschiana*)، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۲ در گلخانه دانشگاه رازی انجام گرفت. تیمارهای آزمایشی شامل آلودگی سرب در سه سطح (۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک از نمک نیترات سرب)، اسید آسپارتیک در سه سطح (۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) و اسید گلوتامیک در سه سطح (۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) به‌صورت محلول‌پاشی برگ‌گی بودند. نتایج نشان داد که، بیشترین غلظت پرولین (۸/۱۲ میکرومول بر گرم) و قندهای محلول (۲/۹۴ میلی‌گرم بر گرم) شاخساره گیاه در تیمار ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سرب و بدون اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد (بدون کاربرد سرب و عوامل کلات‌کننده)، به ترتیب افزایش ۳۲٪ و ۲۸۵٪ را نشان می‌داد. همچنین، بیشترین وزن خشک شاخساره و ریشه، ارتفاع گیاه، طول و حجم ریشه در تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک و بدون سرب به‌دست آمد. بطور کلی، استفاده از اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک به‌صورت اسپری برگ‌گی توانست بطور قابل ملاحظه‌ای اثرات مضر سرب بر ویژگی‌های رشدی گیاه را کاهش دهد. بنابراین، کاربرد این مواد کلات‌کننده یک راه حل مناسب در راستای کاهش اثرات تنش سرب در گیاه بادرنجبویه است.

کلمات کلیدی: پرولین، مواد کلات‌کننده، اثر فلز سنگین، ویژگی رشدی گیاه

*-آدرس ایمیل نویسنده مسئول: a.amirinejad@razi.ac.ir



مقدمه

انباشت فلزات سنگین یک خطر زیست‌محیطی است که منجر به کاهش کیفیت خاک و بهره‌وری اراضی کشاورزی می‌شود. در این راستا، سرب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. سرب به‌عنوان یک عنصر بسیار سمی و غیرقابل تجزیه، می‌تواند به سرعت جذب و به بافت‌های گیاهی منتقل شود. پس از ورود به زنجیره غذایی، از طریق واکنش‌های مختلف بیوشیمیایی و آنزیمی، سرب می‌تواند به‌شدت به سلامت عمومی آسیب برساند (موسوی و همکاران، ۲۰۲۲).

سمیت سرب در گیاهان باعث بروز تغییر در شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد، کاهش زیست توده بخش هوایی و ریشه، کاهش بیوسنتز کلروفیل، ایجاد کمپلکس با پروتئین‌ها و تجزیه کلروفیل می‌گردد (صوفی و همکاران، ۲۰۲۰). به‌عبارت دیگر، تنش سرب اگرچه دارای آثار مخرب بر رشد و عملکرد گیاهان، اختلال در فعالیت‌های متابولیکی گیاه و جلوگیری از جذب آب می‌شود، اما مهم‌ترین اثر تخریبی سرب در گیاهان، القا تنش‌های اکسیداتیو است که باعث تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن می‌شود (حسین و همکاران، ۲۰۱۷). گیاهان برای مقابله با این رادیکال‌های آزاد، از پرولین به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی استفاده می‌کنند. اسید آمینه پرولین که از گلوتامات ایجاد می‌شود نقش کلیدی در کاهش آثار ناشی از تنش سرب و افزایش تحمل در گیاهان از طریق مکانیزم‌هایی مثل تنظیم اسمزی، حفاظت آنزیمی، پایداری پروتئین، تنظیم اسیدیته سلول و جمع‌آوری رادیکال‌های آزاد دارد (خان و همکاران، ۲۰۱۶).

در سال‌های اخیر مطالعات مختلفی در زمینه افزایش مقاومت گیاهان در برابر سمیت فلزات سنگین انجام شده است که از آن جمله، کاربرد روش‌های مدیریت تغذیه‌ای، قارچ‌ها و باکتری‌های محرک رشد گیاه و نیز استفاده از اسیدهای آمینه، به‌عنوان محرک‌های زیستی است (موسوی و همکاران، ۲۰۱۸). محرک‌های زیستی، مواد فعال بیولوژیکی هستند که می‌توانند رشد گیاه را تقویت کرده و

مقاومت آن‌را در برابر ناملایمات محیطی بهبود بخشند (شافی و همکاران، ۲۰۲۱). در این میان، اسید گلوتامیک و اسید آسپارتیک از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. این دو اسید آمینه در انتقال و ذخیره‌سازی نیتروژن دارای نقش اساسی هستند. اسید گلوتامیک نیز در تولید هورمون اکسین مؤثر بوده و پیش‌ساز کلروفیل است (جهانی و همکاران، ۱۳۹۶). کاظم‌پور و همکاران (۱۴۰۲) در بررسی اثر محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس آویشن دناپی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری گزارش کرده‌اند که اثرهای اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک در افزایش صفات رشدی ریشه گیاه می‌تواند به‌دلیل نقش این اسیدهای آمینه در سنتز پروتئین‌های حیاتی گیاه باشد که خود رشد و نمو بخش‌های مختلف و از جمله طول و حجم ریشه را موجب می‌شوند. از طرف دیگر، صبوری و همکاران (۲۰۱۴) نیز در مطالعه اثرهای اسیدهای آمینه بر عملکرد گیاه ریحان (*Ocimum basilicum*) بیان داشته که علت افزایش صفات ریشه گیاهان ممکن است به‌واسطه ساختار نیتروژنی اسیدهای آمینه باشد که زمینه جذب بیشتر سایر عناصر غذایی را فراهم می‌کنند.

امروزه، کشت گیاهان دارویی در حفظ سلامت جامعه، اشتغال‌زایی و نیز صادرات غیرنفتی نقش مهمی دارند. بادرنجبویه (*Melissa officianlis*) یک گیاه دارویی چند ساله معطر متعلق به خانواده نعناعیان و بومی مدیترانه است. از این گیاه برای بهبود قولنج دوران بچگی، رفع تنگی نفس مزمن، تب و لرز و از بین بردن برخی قارچ‌ها، مسکن، تقویت حافظه، بهبود آلزایمر، درمان سردرد، سرگیجه، ضعف نارسایی قلبی، صرع و افسردگی استفاده می‌شود (عبدالخاطر و همکاران، ۲۰۲۳). سطح زیر کشت بادرنجبویه در کشور ۳۳ هکتار بوده که بطور عمده در

استان‌های تهران، آذربایجان غربی و کرمانشاه تولید می‌شود (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۳).

از آنجا که کشت گیاهان دارویی در بسیاری از نقاط ایران و از جمله در حاشیه جاده‌ها بسیار رایج است، لذا احتمال

مشخصات جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی و ۴۷ درجه و ۵ دقیقه شرقی جمع‌آوری شد. بعد از هواخشک کردن و عبور از الک دو میلی‌متری، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل بافت به‌روش هیدرومتر، واکنش (pH) در نسبت ۱:۱ آب به خاک به‌وسیله pH سنج، هدایت الکتریکی (EC) در عصاره ۱:۱ آب به خاک به‌وسیله هدایت‌سنج الکتریکی، کربنات کلسیم معادل به‌روش خشتی‌سازی با اسید کلریدریک و کربن آلی به‌روش اصلاح شده والکلی و بلک اندازه‌گیری گردید (کلوت، ۱۹۸۶). جدول ۱ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

آلودگی خاک اراضی تحت کشت به فلزات سنگین، از جمله سرب وجود دارد. تحقیقات متعددی در خصوص اثر مثبت بعضی اسیدهای آمینه بر کاهش تنش فلزات سنگین در گیاهان دارویی وجود دارد. در این پژوهش، تأثیر دو اسید آمینه گلوتامیک و اسپارتیک اسید بر کاهش تنش سرب در بادرنجبویه مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های خاک از لایه سطحی (۰-۲۰ سانتی-متری) اراضی دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی با

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

سرب (mg kg ⁻¹)	CEC (cmol _c kg ⁻¹)	کربنات کلسیم (%)	کربن آلی (%)	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	EC (dS m ⁻¹)	pH
0.18	14	21.7	0.83	25	64.5	10.5	0.28	7.8

سپس، نمونه خاک آلوده به سرب به مقدار هفت کیلوگرم در گلدان‌هایی با ابعاد ۲۵ سانتی‌متر ارتفاع و ۲۳ سانتی‌متر قطر دهانه ریخته شد.

در هر گلدان هشت بذر به‌صورت دایره‌ای کاشته شد. بذرهای بادرنجبویه از بانک ملی ژن بذر کرج تهیه شد. آبیاری به‌صورت روزانه و مطابق نیاز گیاه و کاهش رطوبت خاک از حد ظرفیت گلدانی، دو یا سه بار در هفته با روش وزنی انجام شد. در دوره آزمایش، میانگین روزانه دمای گلخانه ۲۳-۱۹ و شبانه ۱۲-۹ درجه سانتی‌گراد بود. سه هفته پس از جوانه‌زنی، سه بوته در هر گلدان باقی گذاشته و بقیه تنک شدند. سپس، تیمار عوامل کلات‌کننده به‌صورت محلول‌پاشی برگی انجام گرفت. این عملیات دو بار دیگر با فاصله ده روز تکرار شد. تیمار شاهد با آب مقطر اسپری گردید. در پایان دوره رویشی و قبل از گلدهی (۶ هفته پس

آزمایش به‌صورت فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی اجرا گردید. فاکتورهای آزمایشی شامل سرب (در سه سطح ۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، اسید گلوتامیک و اسید اسپارتیک (هر کدام در سه سطح ۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) به‌صورت محلول‌پاشی برگی بودند. انتخاب سطوح تیمارها بر اساس نتایج تحقیقات قبلی صورت گرفت (جهانی و همکاران، ۱۳۹۶: صوفی و همکاران، ۲۰۲۰: مسعودی و همکاران، ۲۰۲۰).

برای آلوده کردن خاک، مقادیر نمک نترات سرب بر اساس سطوح آزمایش در آب مقطر حل و بر روی نمونه‌های خاک اسپری و بعد با آن مخلوط گردید. خاک‌های آلوده به‌مدت یک ماه در شرایط نزدیک به رطوبت ظرفیت زراعی نگهداری تا برهم‌کنش به‌صورت کامل انجام پذیرد.

دستگاه الیزا در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۶، و ۴۷۰ نانومتر قرائت صورت گرفت. بعد با استفاده از روابط مربوطه، مقادیر رنگیزه‌های گیاهی محاسبه شدند.

برای تعیین غلظت سرب، ۰/۵ گرم پودر خشک گیاهی را (با یک کروزه چینی) در کوره الکتریکی قرار داده و دمای کوره به تدریج به ۵۵۰ درجه سلسیوس رسانده شد. پس از ۶ ساعت، ۲/۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ مولار به خاکستر حاصل افزوده و سپس محتویات در یک بالن ژوژه ۲۵ میلی‌لیتری جمع‌آوری شده و با آب مقطر به حجم رسانیده شد (کلوت، ۱۹۸۶). غلظت سرب عصاره توسط دستگاه جذب اتمی (مدل SpectrAA-220 FS شرکت Varian) تعیین شد. حد تشخیص اندازه‌گیری سرب در این دستگاه ۰/۱ mg L⁻¹ بود. مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق از شرکت مرک آلمان خریداری شد. کالیبراسیون طیف‌سنج جذب اتمی با استفاده از محلول‌های استاندارد با غلظت مشخص انجام گردید. ظروف شیشه‌ای با اسیدشویی تمیز شدند. کلیه اندازه‌گیری‌ها و آزمایشات در این تحقیق در دو تکرار انجام شد. آنالیز داده‌ها با نرم افزار آماری SPSS-16 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیتوشیمیایی بادرنجبویه

مطابق نتایج تجزیه واریانس، اثرهای اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک بر برخی ویژگی‌های فیتوشیمیایی بادرنجبویه تحت تنش سرب شامل پرولین، قندهای محلول، کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها (در سطح یک درصد) و بر غلظت سرب شاخساره (در سطح پنج درصد) معنی‌دار شد (جدول ۲).

از کاشت)، پارامترهای رشدی گیاه شامل ارتفاع گیاه، طول و حجم ریشه، وزن خشک شاخساره و ریشه و نیز مقدار پرولین، قندهای محلول، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها با روش‌های استاندارد اندازه‌گیری و به صورت میانگین هر بوته محاسبه شد.

ارتفاع گیاه از سطح خاک تا انتهای ساقه و نیز طول ریشه‌ها به وسیله خط‌کش، حجم ریشه از طریق جابجایی آب در یک استوانه مدرج و وزن خشک شاخساره و ریشه، خشک شده در آن با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت با ترازو تعیین شد.

برای تعیین قندهای محلول، ۰/۵ گرم نمونه خشک گیاهی با ۱/۵ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری و بعد نمونه‌ها سانتریفیوژ شدند. ۱۰ میکرولیتر از نمونه فاز مایع را در یک فآلکون ریخته و به آن ۲۵۰ میکرولیتر محلول ۰/۵ درصد فنول و ۱۲۵۰ میکرولیتر اسیدسولفوریک ۹۸ درصد اضافه شد. بعد بوسیله اسپکتروفتومتر، میزان جذب نوری در طول موج ۴۸۵ نانومتر قرائت و به کمک منحنی استاندارد، مقدار قندهای محلول تعیین شد (کوچرت، ۱۹۷۸).

جهت تعیین پرولین، ۰/۵ گرم از پودر خشک شده را با ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک سه درصد به مدت ۴۸ ساعت در دمای پایین نگهداری و بعد از صاف کردن، یک میلی‌لیتر از محلول را با یک میلی‌لیتر ناین هیدرین و یک میلی‌لیتر اسید استیک ترکیب گردید. بعد از یک ساعت نگهداری در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد بن ماری، دو میلی‌لیتر تولوئن به هر نمونه اضافه و سپس شدت جذب نوری در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد. در آخر، از روی منحنی استاندارد مربوطه، مقدار پرولین تعیین شد (بتس و همکاران، ۱۹۹۴).

همچنین، رنگیزه‌های گیاهی (مقادیر کلروفیل‌های a و b و کاروتنوئید) با استفاده از روش لیچنتالر و ولبورن (۱۹۸۳) اندازه‌گیری شدند. بر این اساس، به ۲۵ میلی‌گرم پودر گیاهی، دو میلی‌لیتر اتانول ۹۶٪ در تاریکی اضافه شد و به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. مایع رویی هر نمونه درون پلیت ریخته و توسط

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرهای اسید آسپارتیک، اسید گلوتامیک و اثر متقابل آن‌ها بر ویژگی‌های فیتوشیمیایی بادرنجبویه تحت تنش سرب

منابع تغییرات	درجه آزادی	غلظت سرب (mg kg ⁻¹)	پرولین (μmol g ⁻¹)	قند محلول (mg g ⁻¹)	کلروفیل a (mg g ⁻¹)	کلروفیل b (mg g ⁻¹)	کاروتنوئیدها (mg g ⁻¹)
سرب	2	0.51**	1.37**	0.127**	504**	238**	205**
اسید آسپارتیک	2	2.25**	8.35**	0.58**	46**	35**	38**
سرب × اسید آسپارتیک	4	0.007*	0.11**	0.005**	3.3**	0.56 ^{ns}	0.18*
اسید گلوتامیک	2	14**	79.1**	14**	7.7**	124**	109**
سرب × اسید گلوتامیک	4	0.011**	0.06**	0.004**	1.05**	4.2**	4.7**
اسید گلوتامیک × اسید آسپارتیک	4	0.328**	0.01*	0.102**	1.6**	1.8**	1.5**
سرب × اسید آسپارتیک × اسید گلوتامیک	8	0.005*	0.06**	0.004**	0.6**	3.5**	2.3**
خطا	54	0.002	0.003	0.001	0.131	0.263	0.05
ضریب تغییرات (%)		1.8	1.03	1.98	4.65	7.15	4.03

ns, * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح پنج و یک درصد را نشان می‌دهد.

غلظت سرب شاخساره

نتایج مقایسه میانگین اثرهای سرب، اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک بر غلظت سرب شاخساره بادرنجبویه نشان داد که، بیشترین غلظت سرب (۸/۵۴) میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک) در تیمار ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سرب و بدون کاربرد اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک به دست آمد. به عبارت دیگر، این موضوع بیانگر رابطه مستقیم بین مقدار سرب در ریزوسفر و میزان جذب آن توسط ریشه است. کمترین غلظت سرب (۴/۳۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) نیز در تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک و بدون کاربرد سرب به دست آمد. به عبارتی، با کاربرد این دو اسید آمینه، غلظت سرب در اندام‌های هوایی گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. مکانیسم این رخداد به‌خوبی روشن نیست، اما با توجه به اینکه سرب پس از ورود به گیاه، در ریشه‌ها انباشته می‌شود، ممکن است این عوامل کلات‌کننده سبب اختلال در انتقال سرب از ریشه به برگ‌های گیاه گردند.

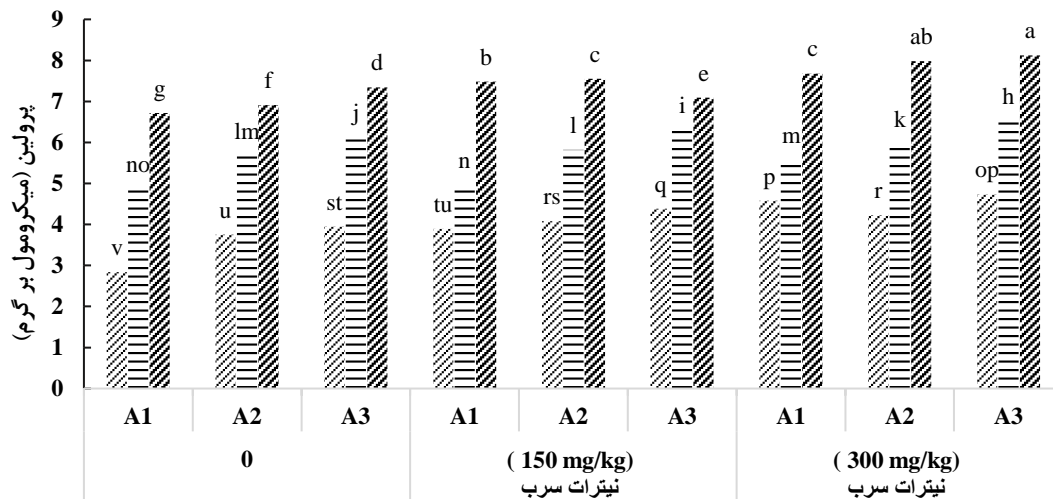
گزارش شده است که انباشته‌شدن و تجمع سرب در ریشه، نوعی ساز و کار تحمل گیاهان در برابر سمیت این عنصر است. در واقع ریشه به‌عنوان یک مانع در فرایند انتقال سرب به اندام‌های هوایی عمل می‌کند و تنها زمانی که غلظت سرب در محیط زیاد باشد انتقال آن به بخش‌های هوایی گیاه صورت می‌گیرد (حسین و همکاران، ۲۰۱۷). به عبارت دیگر، بخش اعظم سرب جذب شده به‌صورت پیروفسفات در طول دیواره سلولی ریشه باقی مانده و این امر نیز می‌تواند از علل تجمع سرب در ریشه و کاهش غلظت آن در شاخساره گیاه باشد (خان و همکاران، ۲۰۱۶).

غلظت پرولین

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که، بیشترین غلظت پرولین (۸/۱۲ میکرومول بر گرم) بخش هوایی گیاه بادرنجبویه در شرایط تنش شدید سرب (تیمار ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سرب) و بدون اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک، به دست آمد. به عبارتی، این تیمار نسبت به تیمار شاهد (بدون کاربرد سرب و عوامل کلات‌کننده) افزایش ۳۲۰ درصدی در غلظت پرولین را نشان می‌دهد. سرب

سیتوپلاسم سلولی، این اسید آمینه از فعالیت‌های آنزیمی محافظت کرده و تحمل گیاه در برابر تنش افزایش می‌یابد. بطورکلی، نقش پرولین در افزایش تحمل در گیاهان در شرایط تنش سرب، از طریق مکانیزم‌هایی مثل حفاظت آنزیمی، پایداری و بقاء پروتئین، تنظیم اسیدیته سلول و جمع‌آوری رادیکال‌های آزاد است (مهدویان و همکاران، ۲۰۱۶). همچنین، اسید آمینه پرولین در درون سلول‌های گیاهی نقش اسمولالیتی داشته و موجب حفظ تعادل اسمزی واکوئل می‌گردد. همین‌طور، گیاهان با تولید و تجمع پرولین، باعث افزایش فعالیت پروتئین‌سازی شده تا از این راه در برابر تنش مقاومت کند (کشته‌گر و همکاران، ۱۳۹۳).

دارای آثار مخرب بر رشد و عملکرد گیاهان از طریق اختلال در فعالیت‌های متابولیکی است. اما مهم‌ترین اثر تخریبی سرب، القاء تنش‌های اکسیداتیو است که باعث تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن می‌شود (نیازی، ۲۰۱۸). گیاهان برای مقابله با این رادیکال‌های آزاد، از پرولین به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی استفاده می‌کنند. به‌عبارتی، تولید پرولین که از گلوتامات ایجاد می‌شود از اقدامات مهم سیستم دفاعی گیاهان در زمان بروز تنش‌های محیطی و از جمله تنش سرب است (خان و همکاران، ۲۰۱۶). به‌عبارت دیگر، با افزایش تولید و تجمع پرولین در



شکل ۱- مقایسه میانگین اثرهای متقابل سرب، اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک بر پرولین بادرنجبویه

موجب افزایش تحمل گیاهان در برابر تنش و کاهش تولید اسید آمینه پرولین می‌گردد (مسعودی و همکاران، ۲۰۲۰).

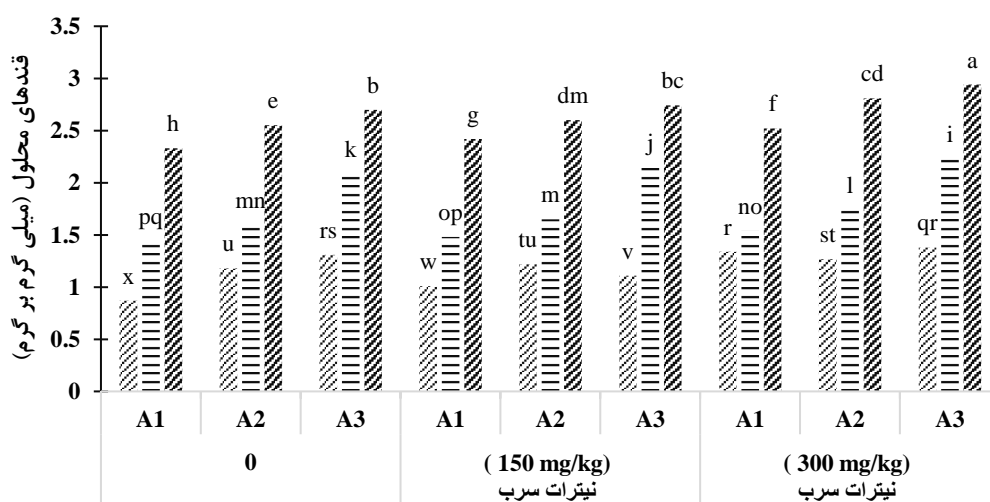
قندهای محلول

با توجه به نتایج مقایسه میانگین، بیشترین مقدار قند محلول (۲/۹۴ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) در تیمار ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سرب و عدم کاربرد اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد (بدون کاربرد سرب و عوامل کلات‌کننده) افزایش ۲۸۵ درصد را نشان می‌دهد. یکی از پاسخ‌های عمومی گیاهان نسبت به تنش‌های محیطی، افزایش تولید و تجمع

A_3 و A_2 , A_1 به ترتیب کاربرد اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک در سطوح ۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار را نشان می‌دهند.

کمترین مقدار پرولین (۲/۸۴ میکرومول بر گرم) نیز در شرایط کاربرد ۲۰۰ میلی‌مولار اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک و بدون سرب حاصل شد. به‌عبارتی، محلول-پاشی گیاهان با این دو اسید آمینه سبب کاهش غلظت پرولین شد. گزارش شده است که کاربرد اسید آسپارتیک می‌تواند به‌عنوان تنظیم‌کننده سیستم آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی عمل کرده و با کاهش گونه‌های اکسیژن واکنش-پذیر (ROS)، موجب کاهش تولید پرولین می‌شود. همچنین، اسید آمینه آسپارتیک از طریق تنظیم اسموتیک،

سلول‌های گیاهی می‌شوند (گوریر و همکاران، ۲۰۲۰). به-طور کلی، علل افزایش غلظت قندهای محلول در شرایط تنش، کاهش انتقال قندها در سیستم آوندی و به دنبال آن کاهش مصرف قند در اندام‌های مصرف‌کننده، افزایش نسبت ساکارز به نشاسته و یا تجزیه نشاسته به کمک آنزیم آمیلاز می‌باشد (کوکال و همکاران، ۲۰۰۸).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثرهای متقابل سرب، اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک بر قندهای محلول بادرنجبویه

تجزیه نشاسته و در ادامه، تولید و تجمع قندهای محلول در سیتوپلاسم سلول‌های گیاهی کاهش می‌یابد. همین‌طور، گیاهان با جذب یا تولید اسیدهای آمینه و از جمله آسپارتیک و گلوتامیک، باعث افزایش فعالیت پروتئین‌سازی شده تا از این راه در برابر تنش مقاومت کنند. این موضوع نیز می‌تواند بیانگر تأثیر مثبت این دو اسید آمینه در کاهش قند محلول در شرایط تنش باشد (مسعودی و همکاران، ۲۰۲۰).

کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها

نتایج مقایسه میانگین اثرهای اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک بر مقدار رنگیزه‌های گیاهی بادرنجبویه تحت تنش سرب نشان داد که، کمترین مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها (به ترتیب ۲/۰۲،

قندهای محلول در سیتوپلاسم سلول‌های گیاهی است. قند-های محلول موادی با وزن مولکولی کم بوده که به هنگام وقوع تنش‌های محیطی، به‌عنوان اسمولیت عمل کرده و با کاهش پتانسیل آبی، باعث تنظیم تعادل اسمزی، حفظ تورژسانس سلولی و افزایش شیب جریان آب به سمت

A₃ و A₂, A₁ به ترتیب کاربرد اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک در سطوح ۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار را نشان می‌دهند.

کمترین مقدار قندهای محلول (۰/۸۷ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک و بدون سرب به‌دست آمد. به‌عبارت دیگر، کاربرد اسیدهای آمینه آسپارتیک و گلوتامیک، حتی در شرایط تنش سرب، سبب کاهش قندهای محلول شدند. از آنجا که تولید اسید-های آمینه در سیتوپلاسم سلولی، تحمل گیاه در برابر تنش محیطی را افزایش می‌دهد، در واقع، جذب و تجمع اسیدهای آمینه در سلول‌های گیاهی نقش اسمولیتی داشته و موجب تعادل اسمزی می‌گردند (کاظم‌پور و همکاران، ۱۴۰۲). بنابراین، با تنظیم اسمزی و یا کاهش پتانسیل آبی،

اثرهای اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک بر ویژگی‌های مورفولوژیک بخش هوایی بادرنجبویه تحت تنش سرب

نتایج تجزیه واریانس اثرهای اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک بر ویژگی‌های مورفولوژیکی بخش هوایی بادرنجبویه تحت تنش سرب نشان داد که، اثرهای متقابل تیمارها بر وزن خشک شاخساره و ارتفاع گیاه (در سطح یک درصد) و تعداد برگ (در سطح پنج درصد) معنی‌دار شده است (جدول ۳).

۱/۹۵، ۱/۰۸ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سرب و بدون اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک به‌دست آمد. جذب فلزات سنگین مانند سرب و انتقال آن به اندام هوایی، سبب ایجاد تغییرات فیزیولوژیک در سلول‌های برگ می‌شود. از بارزترین این تغییرات، زرد شدن یا چروکیدگی برگ است. سرب بر عملکرد فتوسیستم یک و دو تأثیر گذاشته و با تخریب پروتئین‌های گیرنده پروتون در فتوسیستم دو، ظرفیت گرفتن پروتون و بازده فتوستز را کاهش می‌دهد (صوفی و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین، علت کاهش کلروفیل *a* و *b* و کاروتنوئیدها تحت تأثیر تنش سرب ممکن است به‌دلیل کاهش عملکرد آنزیم‌های مسئول بیوستز کلروفیل، کاهش جذب آهن و منیزیم و یا برهم‌کنش سرب با یون منگنز و مهار انتقال الکترون در زنجیره انتقال آن باشد (ژو و همکاران، ۲۰۱۸). جانیشینی سرب به‌جای منیزیم در ساختار مولکول کلروفیل و نیز افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز، مسئول تجزیه کلروفیل، نیز از دیگر علل کاهش مقدار رنگیزه‌های گیاهی تحت تنش سرب می‌باشد (حسین و همکاران، ۲۰۱۷).

بیشترین مقادیر کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کاروتنوئید (به ترتیب ۱۶/۵۳، ۱۲/۳، ۱۰/۵۵ میلی‌گرم بر گرم) با کاربرد ۲۰۰ میلی‌مولار اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک و بدون سرب به‌دست آمد. البته با کاربرد اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک، مقادیر رنگیزه‌های گیاهی، حتی در شرایط سمیت سرب افزایش معنی‌داری یافت. بطورکلی، گیاهان قادرند از اسیدهای آمینه (مثل اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک)، به‌عنوان منبع نیتروژن استفاده کنند. نیتروژن نیز علاوه بر شرکت در ساختار پروتئین‌ها، بخشی از مولکول کلروفیل را تشکیل می‌دهد (لیو و همکاران، ۲۰۲۰). از طرف دیگر، اسیدهای آمینه‌ها با قرارگیری بر روی سلول‌های برگ (مثلاً از طریق محلول‌پاشی)، تحریک‌کننده رشد و فعالیت‌های متابولیکی گیاه بوده و از این طریق می‌توانند منجر به افزایش فتوستز شوند (کاظم‌پور و همکاران، ۱۴۰۲).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرهای اسید آسپارتیک، اسید گلوتامیک و اثر متقابل آن‌ها بر ویژگی‌های مورفولوژیک بادرنجبویه تحت تنش سرب

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک شاخساره	ارتفاع گیاه	تعداد برگ
سرب	2	11**	43**	0.051**
اسید آسپارتیک	2	50**	146**	2.25**
سرب × اسید آسپارتیک	4	0.306**	0.82**	0.007*
اسید گلوتامیک	2	31**	113**	14**
سرب × اسید گلوتامیک	4	1.08**	0.605**	0.011**
اسید گلوتامیک × اسید آسپارتیک	4	0.599**	1.37**	0.328**
سرب × اسید آسپارتیک × اسید گلوتامیک	8	0.262**	1.37**	0.005*
خطا	54	0.043	0.601	0.002
ضریب تغییرات (%)		4.56	1.25	1.8

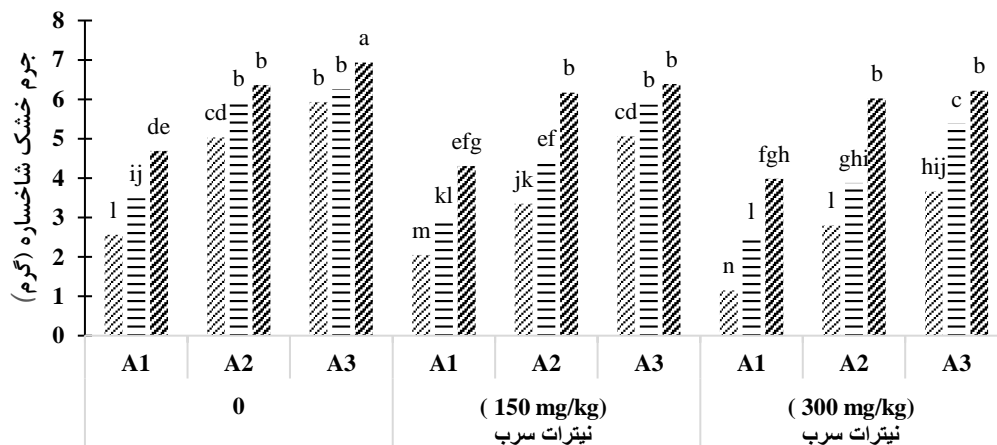
ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح پنج و یک درصد را نشان می‌دهد.

وزن خشک شاخساره

نتایج مقایسه میانگین داد که، بیشترین وزن خشک شاخساره (۶/۹۳ گرم در بوته) با کاربرد ۲۰۰ میلی-مولار اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک و بدون سرب حاصل شد. این دو اسید آمینه پیش‌ساز یا فعال‌کننده فیتوهورمون‌ها و عوامل رشدی گیاه بوده و با تأثیر بر بیوسنتز جیبرلین، موجب رشد و متابولیسم گیاهی و افزایش وزن خشک گیاه می‌شوند (جهانی و همکاران، ۱۳۹۶).

کمترین وزن خشک شاخساره بادرنجبویه (۱/۱ گرم در بوته) نیز در شرایط تنش شدید سرب (۳۰۰ میلی-گرم در کیلوگرم سرب) و بدون کاربرد اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک به‌دست آمد. بطورکلی، از اولین پاسخ‌های

گیاهان نسبت به عوامل تنش‌زای محیطی، کاهش ویژگی‌های مورفولوژیک گیاه است. به‌عبارت دیگر، سرب با کاهش فتوسنتز و جذب عناصر غذایی و یا اختلال در تعادل آبی، سبب کاهش پارامترهای رشدی و از جمله کاهش وزن خشک اندام‌های هوایی می‌گردد (حسین و همکاران، ۲۰۱۷). همچنین، از آثار غیرمستقیم سمیت سرب در گیاهان، ایجاد اختلال در تغذیه معدنی گیاه است. به‌عبارت دیگر، سرب موجب کاهش جذب برخی عناصر ضروری مانند آهن و منیزیم و در نتیجه کاهش میزان فتوسنتز می‌شود (ذوالفقار و همکاران، ۲۰۱۹). اسیمیلایون خالص CO₂ از طریق فرایند فتوسنتز، اولین مرحله تولید زیست‌توده است. این به معنای تبدیل CO₂ به مولکول‌های آلی چون قندها و نشاسته است.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثرهای متقابل سرب، اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک بر جرم خشک شاخساره بادرنجبویه از ارتفاع گیاه

متابولیسم و به دنبال آن کاهش جذب عناصر غذایی ضروری مثل پتاسیم، آهن و روی شده و از این طریق باعث کاهش رشد عمومی و ارتفاع گیاه می‌شوند (ژو و همکاران، ۲۰۱۸).

تعداد برگ

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که، کمترین تعداد برگ (۸۲ برگ در بوته) در تیمار ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سرب و بدون کاربرد اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک به دست آمد. جذب و سمیت سرب در گیاهان می‌تواند موجب کاهش جذب عناصر غذایی ضروری، کاهش فتوسنتز و رشد برگ‌ها شود. همین‌طور، فلزات سنگین با کاهش تورژسانس سلولی، باعث کاهش تقسیم و رشد سلولی می‌شوند. به عبارتی، تجمع این فلزات در دیواره سلولی یا ورود به سیتوپلاسم، سبب اختلال در متابولیسم طبیعی سلول و در نهایت کاهش رشد و یا ریزش برگ می‌شوند (نیازی، ۲۰۱۸).

بیشترین تعداد برگ (۱۴۱ برگ در بوته) نیز در تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک و بدون سرب حاصل شد. محلول‌پاشی گیاه با تیمارهای اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک موجب افزایش نیتروژن گیاه و مصرف آن برای ساخت پروتئین و تولید متابولیت‌های ثانویه گردیده و همین‌طور، با افزایش سطح کربن‌گیری و سنتز

بیشترین ارتفاع گیاه (۲۵/۱ سانتی‌متر) در تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک و بدون سرب به دست آمد. یعنی محلول‌پاشی گیاه بادرنجبویه با تیمارهای اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک موجب افزایش ارتفاع گیاه، حتی در شرایط سمیت سرب شد. این امر به دلیل سنتز و تولید بیشتر پروتئین در گیاه بوده که به دنبال آن، رشد عمومی و از جمله ارتفاع گیاه بیشتر می‌شود (جهانی و همکاران، ۱۳۹۶). همچنین، وجود نیتروژن در ساختار این دو اسید آمینه، نقش مهمی در افزایش ساخت اسیدهای نوکلئیک و آمیدهای موثر در فرایند تکثیر سلولی دارد (لیو و همکاران، ۲۰۲۰).

همچنین، نتایج نشان داد که، کمترین ارتفاع گیاه (۱۴/۸ سانتی‌متر) در تیمار ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سرب و عدم کاربرد اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک به دست آمد. فلزات سنگین و از جمله سرب با جلوگیری از تقسیم سلولی، افزایش پراکسیداسیون لیپیدها و یا کاهش سنتز کلروفیل، باعث کاهش رشد طولی گیاهان می‌شوند (کشته-گر و همکاران، ۱۳۹۳). به عبارتی، فلزات سنگین با تأثیر بر دیواره سلولی و تیغه میانی و سپس افزایش پیوند عرضی بین ترکیبات دیواره سلولی، باعث کاهش تقسیم سلولی می‌شوند (کومار و همکاران، ۲۰۱۹).

همین‌طور، گزارش شده است که سرب به دلیل تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن، از قبیل سوپراکسید، هیدروژن پراکسید و هیدروکسیل، موجب اختلال در فرایندهای

طول و حجم ریشه (در سطح یک درصد) و بر وزن خشک آن (در سطح پنج درصد) معنی‌دار شده است (جدول ۴).

مواد هیدروکربنه، رشد و تکثیر سلولی و تعداد برگ گیاه بیشتر می‌شود (جهانی و همکاران، ۱۳۹۶).

اثرهای اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک بر ویژگی‌های رشدی ریشه بادرنجبویه تحت تنش سرب

بر طبق نتایج تجزیه واریانس، اثرهای اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک بر ویژگی‌های مورفولوژیکی بادرنجبویه تحت تنش سرب، اثرهای متقابل تیمارها بر

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرهای اسید آسپارتیک، اسید گلوتامیک و اثر متقابل آن‌ها بر ویژگی‌های ریشه بادرنجبویه تحت تنش سرب

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک ریشه	طول ریشه	حجم ریشه
سرب	2	0.496**	45.03**	504**
اسید آسپارتیک	2	2.2**	118**	46**
سرب × اسید آسپارتیک	4	0.006*	0.39**	3.3**
اسید گلوتامیک	2	13**	87.1**	7.7**
سرب × اسید گلوتامیک	4	0.009**	0.8**	1.05**
اسید گلوتامیک × اسید آسپارتیک	4	0.332**	3.12**	1.6**
سرب × اسید آسپارتیک × اسید گلوتامیک	8	0.005*	0.31**	0.6**
خطا	54	0.002	0.05	0.131
ضریب تغییرات (%)		2.94	3.02	4.65

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح پنج و یک درصد را نشان می‌دهد.

طول، حجم و وزن خشک ریشه

نتایج مقایسه میانگین اثرهای اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک بر ویژگی‌های ریشه بادرنجبویه تحت تنش سرب نشان می‌دهد که، کمترین مقادیر وزن خشک، طول و حجم ریشه (به ترتیب ۱/۱ گرم، ۴/۸ سانتی‌متر و ۲۱/۳ سانتی‌متر مکعب) در تیمار ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سرب و بدون کاربرد اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک به دست آمد به عبارتی، نسبت به سطح ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم

سرب و عدم کاربرد این دو اسید آمینه، برای وزن خشک ریشه ۷۲/۲ درصد، طول ریشه ۳۶/۱۳ درصد و حجم ریشه ۱۴/۵۶ درصد کاهش نشان می‌دهد. عناصر سنگین از عوامل اصلی محدودکننده رشد و توسعه ریشه در خاک محسوب شده که البته، کاهش رشد سایر بخش‌های گیاه را نیز در بر می‌گیرد. به عبارتی، عدم رشد و گسترش سیستم ریشه تحت تأثیر تنش سرب، باعث کاهش سطوح جذب‌کننده آب و مواد غذایی می‌شود.

علت دیگر افزایش صفات ریشه، ممکن است به واسطه ساختار نیتروژنی اسیدهای آمینه باشد که زمینه جذب بیشتر سایر عناصر غذایی را فراهم می‌کنند (صبوری و همکاران، ۲۰۱۴).

نتیجه گیری

بطور کلی، نتایج بیانگر اثر سرب، به‌عنوان یک فلز سنگین مهم در کاهش ویژگی‌های رشدی گیاه مثل ارتفاع، وزن خشک شاخساره و ریشه، تعداد برگ، طول و حجم ریشه و نیز ایجاد یک سری تغییرات فیزیولوژیکی در گیاه مثل افزایش پرولین و قندهای محلول و کاستن رنگیزه‌های گیاهی در بادرنجبویه است. در مقابل، کاربرد اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک به‌صورت اسپری برگی موجب افزایش ویژگی‌های رشدی گیاه گردید. به‌عبارت دیگر، استفاده از این دو اسید آمینه توانست به‌طور قابل ملاحظه-ای، اثرهای مضر سرب بر ویژگی‌های رشدی گیاه را کاهش دهد. بنابراین، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که کاربرد این عوامل کلات‌کننده یک راه حل مناسب برای کاهش اثر تنش سرب در گیاه بادرنجبویه است.

بنابراین، سرب با تجمع در دیواره سلولی ریشه، باعث لیگنینی شدن دیواره سلولی و کاهش قابلیت ارتجاعی و نفوذپذیری آن و در ادامه، کاهش جذب آب و عناصر از خاک و رشد طولی ریشه می‌شود (هانگ و همکاران، ۲۰۱۹).

بیشترین مقادیر وزن خشک، طول و حجم ریشه (به ترتیب برابر ۲/۴۸ گرم، ۱۳/۳۸ سانتی‌متر و ۳۲/۱۳ سانتی‌متر مکعب) در شرایط کاربرد ۲۰۰ میلی‌مولار اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک (بالاترین سطوح کاربردی) و بدون سرب حاصل گردید. البته تنش سرب در سطوح ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم (با همان سطوح اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک یعنی ۲۰۰ میلی‌مولار)، موجب کاهش وزن خشک ریشه به مقدار ۲۵/۲ و ۳۱/۱ درصد، طول ریشه ۱۷/۶ و ۳۹/۶ درصد و برای حجم ریشه ۶/۷ و ۱۳/۴ درصد شد.

اثرهای اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک در افزایش صفات رشدی ریشه می‌تواند به‌دلیل نقش این اسیدهای آمینه در سنتز پروتئین‌های حیاتی گیاه باشد که خود رشد و نمو بخش‌های مختلف و از جمله طول و حجم ریشه را موجب می‌شوند (کاظم‌پور و همکاران، ۱۴۰۲).

فهرست منابع

- جهانی، رحیمه؛ حسنی، عباس و صمدی، عباس (۱۳۹۶). تأثیر محلول‌پاشی اوره، اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک بر ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه آگاستاکه (*Agastache foeniculum*). تحقیقات کاربردی خاک، ۵(۲)، ۹۵-۱۰۷.
- غفاری‌نژاد، سیدعلی؛ نورقلی‌پور، فریدون و غیبی، محمدنبی (۱۳۹۹). محرک‌های رشد گیاهی، نقش آن‌ها در فیزیولوژی گیاه، جذب عناصر غذایی و مقابله با تنش‌های محیطی. نشریه مدیریت اراضی، ۸(۱)، ۴۸-۶۷.
- قربانلی، مه‌لقا و کیاپور، عادل (۱۳۹۳). اثرات غلظت‌های مختلف سرب و مس بر مقدار مالون-دآلدئید، پرولین و فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز در گیاه دارویی خرفه (*Portulaca oleracea L.*). تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۳۰(۱)، ۶۸-۸۳.
- کاظم‌پور، علی؛ شرقی، یونس؛ مدرس‌ثانوی، سیدعلی‌محمد؛ زاهدی، حسین و سفیدکن، فاطمه (۱۴۰۲). اثر محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس آویشن دنیایی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. فرآیند و کارکرد گیاهی، ۱۲(۵۳)، ۷۱-۹۰.

۵. کشته‌گر، مهدی؛ صفی‌پور افشار، اکبر و نعمت‌پور، فاطمه سعید (۱۳۹۳). اثر فلزات سنگین مس و سرب بر برخی صفات رشدی، میزان پرولین و پراکسیداسیون لیپیدی در دو رقم ماش. *اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۸(۳۱)، ۳۶۳-۳۷۴.
۶. کوچکی، علیرضا؛ نصیری محلاتی، مهدی و نجفی، فرزاد (۱۳۸۳). تنوع زیستی گیاهان دارویی و معطر در بوم نظام‌های زراعی ایران. *مجله پژوهش‌های زراعی ایران*، ۲(۲)، ۲۰۸-۲۱۵.
7. Abdelkader, S. M., Elkhishin, I. A., Mesallam, D., and Abdelwahab, M. (2023). Lemongrass (*Cymbopogon Citratus*): Health beneficial perspective. *European Chemical News*, 12(1), 3422-3426.
8. Bates, L. S., Waldren, R. P., and Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 29, 205-207.
9. Gurrieri, L., Merico, M., Trost, P., Forlani, G., and Sparla, F. (2020). Impact of drought on soluble sugars and free proline content in selected arabidopsis mutants. *Biology*, 9 (11), 367. <https://doi.org/10.3390/biology9110367>
10. Huang, X., Luo, D., Chen, X., Wei, L., Liu, Y., Wu, Q., Xiao, T., Mai, X., Liu, G., and Liu, L., (2019). Insights in to heavy metals leakage in chelator-induced phytoextraction of Pb-and Ti contaminated soil. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(8), 1328. <https://doi.org/10.3390/ijerph16081328>
11. Hussain, I., Siddique, A., Ashraf, M., Rasheed, R., Ibrahim, M., Iqbal, M., Akbar, S., and Imran, M. (2017). Does exogenous application of ascorbic acid modulate growth, photosynthetic pigments and oxidative defense in okra (*Abelmos chusesculentus* L.) under lead stress? *Acta Physiologiae Plantarum*, 39, 144. <https://doi.org/10.1007/s11738-017-2439-0>
12. Khan, I., Iqbal, M., Ashraf, M. Y., Ashraf, M. A., and Ali, S. (2016). Organic chelates-mediated enhanced lead (Pb) uptake and accumulation is associated with higher activity of enzymatic antioxidants in spinach (*Spinace aoleracea* L.). *Journal of Hazardous Materials*, 317, 352-361. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.06.007>
13. Klute, A. (1986). *Methods of soil analysis: Part 1 and 2, Physical and chemical methods*. 2nd Edition, American Society of Agronomy; Soil Science Society of America, Madison, Wis., USA. ISBN: 9780891180883, 0891180885
14. Kocal, N., Sonnewald, U., and Sonnewald, S. (2008). Cell wall-bound invertase limits sucrose export and is involved in symptom development and inhibition of photosynthesis during compatible interaction in tomato. *Plant Physiology*, 148, 1523-36. <https://doi.org/10.1104/pp.108.127977>
15. Kochert, G. (1978). *Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method*. In: Hellebust, J.A., & Craigie, J.S., (Ed) Handbook of Phycological Methods, Physiological and Biochemical Methods. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 95-97
16. Kumar, V., Sing H. J., and Kumar, P. (2019). Heavy metals, accumulation in crop plants: sources, response mechanisms, stress tolerance and their effects. 38-57. In: *Contaminants in Agriculture and Environment: Health Risks and Remediation*, Chapter: 4. Publisher: Agro Environ Media, Haridwar, India. <https://doi.org/10.26832/AESA-2019-CAE-0161-04>

17. Lichtenthaler, H. K., and Wellburn, A. R. (1983). Determination of total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extract in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11, 591–592. <https://doi.org/10.1042/bst0110591>
18. Liu, L., Luo, D., Yao, G., Huang, X., Wei, L., Liu, Y., Wu, Q., Mai, X., Liu, G., and Xiao, T. (2020). Comparative activation process of Pb, Cd and Tl using chelating agents from contaminated red soils. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17 (2), 497. <https://doi.org/10.3390/ijerph17020497>
19. Mahdavian, K., Ghaderian, S. M., and Schat, H. (2016). Pb accumulation, tolerance, antioxidants, thiols, and organic acids in metallicolous and non-metallicolous *Peganum harmala* under Pb exposure. *Environmental and Experimental Botany*, 126, 21-31. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.01.010>
20. Masoudi, F., Shirvani, M., Shariatmadari, H., and Sabzalian, M. R. (2020). Performance of new biodegradable chelates in enhancing phytoremediation of heavy metals from a contaminated calcareous soil. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 18, 655-664. <https://doi.org/10.1007/s40201-020-00491-y>
21. Mousavi, S. M., Brodie, G., Payghamzadeh, K., Raiesi, T., and Strivastava, A. K. (2022). Lead bioavailability in the environment: Its exposure and effects. *Journal of Advances in Environmental Health Research*, 10(1), 1-14. <https://doi.org/10.32598/JAEHR.10.1.1256>
22. Mousavi, S. M., Motesharezadeh, B., Hosseini, H. M., Alikhani, H., and Zolfaghari, A. A. (2018). Root-induced changes of Zn and Pb dynamics in the rhizosphere of sunflower with different plant growth promoting treatments in a heavily contaminated soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 147, 206-216. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.08.045>
23. Niazy, M. M. (2018). Role of biochar di-ammonium phosphate and aspartic acid on lead uptake in lettuce (*Lactuca satival* L.) under lead stress, *Egypt Journal of Applied Science*, (1) 33,1-16.
24. Saburi, M., Haj Seyed Hadi, M., and Taghi Darzi, M. (2014). Effects of amino acids and nitrogen fixing bacteria on quantitative yield and essential oil content of basil (*Ocimum basilicum*). *Agriculture Science Developments*, 3 (8), 265-268.
25. Shafie, F., Bayat, H., Aminifard, M. H. and Daghighi, S. (2021). Biostimulant effects of seaweed extract and amino acids on growth, antioxidants, and nutrient content of yarrow (*Achillea millefolium* L.) in the field and greenhouse conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52, 964-975. <https://doi.org/10.1080/00103624.2021.1872596>
26. Sofy, M. R., Seleiman, M. F., Alhammad, B. A., Alharbi, B. M., and Mohamed, H. I. (2020). Minimizing adverse effects of Pb on maize plants by combined treatment with jasmonic, salicylic acids and proline. *Agronomy*, 10 (5), 699. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050699>
27. Zhou, J., Zhang, Z., Zhang, Y., Wei, Y., and Jiang, Z. (2018). Effects of lead stress on the growth, physiology, and cellular structure of privet seedlings. *PloS one*, 13 (3), 137-140. <https://doi.org/10.1371/journal.0191139>
28. Zulfiqar, U., Farooq, M., Saddam H., and Anjum, M. (2019). *Journal of Environmental Management*, 10 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109557>

Effects of Glutamic Acid and Aspartic Acid in Reducing Lead Stress in Lemongrass (*Melissa officianalis*)

Zahra Ramazani¹, Aliashraf Amirinejad ², and Mokhtar Ghobadi³

1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran.

E-mail: zahra.ramezani49400@gmail.com

2. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran.

E-mail: a.amirinejad@razi.ac.ir

3. Department of Plant Genetics and Production, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: ghobadi.m@razi.ac

Research Article 

Received: August 3, 2024 and Accepted: October 16, 2024

Abstract

The use of chelating agents has been introduced as a suitable strategy to reduce the detrimental effect of heavy metals in plants. To investigate the impacts of aspartic acid (AA) and glutamic acid (GA) in alleviating lead (Pb) stress in lemongrass (*Dracocephalum ruyschiana*), a factorial experiment was conducted based on a completely randomized design with three replications, in the greenhouse of Razi University, in 2023. The treatments included Pb contamination at three levels (0, 150, and 300 mg.kg⁻¹ soil as Pb (NO₃)₂), aspartic acid (AA) at three levels (0, 100, and 200 mM), and glutamic acid (GA) at three levels (0, 100, and 200 mM). Both acids were used as foliar application. The results showed that the K L J K H V W S U R O L Q H F R O W H Q W P R O were obtained in 300 mg.kg⁻¹ of Pb, without AA and GA, which shows an increase of 320% and 285%, respectively, compared to the control (without Pb and chelating agents). Also, the highest amount of shoot and root dry weights, plant height, root length, and volume were found in the treatment of 200 mM of AA and GA, and without Pb. In general, AA and GA, as foliar spray could significantly reduce the adverse effects of Pb on the crop growth characteristics. Thus, application of these chelating agents is a convenient method to diminish the effect of Pb stress on lemongrass.

Keywords: Chelating agents, Heavy metal, Plant growth characteristics, Proline