مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۱ شماره ۴ صفحه‌های ۴۳۹ تا ۴۴۸ (۱۳۹۹)
مقاله پژوهشی

تاثیر مس و محلول‌پاشی برگی عصاره جلبک (*Ascophyllum nodosum*) بر رشد، محتوای عنصرها و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شاهی[1]

Effect of Cu and Foliar Application of *Ascophyllum nodosum* Extract on the Growth, Elemental Content and Antioxidant Enzymes Activity of *Lepidium sativum* L.

لمیا وجودی مهربانی* و مهسا پیمایی[2]

چکیده

آلودگی خاک به فلزهای سنگین یکی از چالش‌های جدی محیط زیست می‌باشد. به‌منظور بررسی تاثیر غلظت‌های صفر، ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر مس موجود در آب آبیاری و محلول‌پاشی با غلظت‌های صفر، ۲ و ۴ میلی‌گرم در لیتر عصاره جلبک دریایی *Ascophyllum nodosum* بر رشد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک شاهی آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر مبنای طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. محتوای مالون دی‌آلدئید زیر تاثیر ۶۰ میلی‌گرم در لیتر مس قرار گرفت. وزن خشک گیاه، محتوای فنول کل، پرولین، مس، پتاسیم، منیزیم، آهن، فعالیت آنزیم پراکسیداز و کاتالاز تحت تاثیر برهمکنش تیمارهای آزمایشی قرار گرفت. تیمار بدون مس با محلول‌پاشی دو و چهار میلی‌گرم در لیتر عصاره جلبک موجب افزایش محتوای پرولین شد. کمترین محتوای فنول کل در تیمار شاهد مشاهده شد. تیمار ۶۰ میلی‌گرم در لیتر مس بدون تیمار محلول‌پاشی موجب افزایش محتوای پراکسیداز و غلظت مس گیاه شد. محلول‌پاشی ۲ میلی‌گرم در لیتر عصاره جلبک در تیمار بدون مس و تیمار ۳۰ میلی‌گرم در لیتر مس موجب افزایش وزن‌خشک گیاه شد. در کل عصاره جلبک به‌دلیل فراهم نمودن برخی ماده‌های غذایی مورد نیاز گیاه موجب بهبود برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک شاهی تحت تنش مس گردید.

واژه‌های کلیدی: پراکسیداز، فنول کل، عنصرهای غذایی، کاتالاز، مالون دی‌آلدئید.

مقدمه

تیره شب‌بو شامل ۳۰۰ جنس و ۱۵۰۰ گونه ازانواع گیاهان دارویی، خوراکی، ادویه‌ای و زینتی می‌باشد (۲). شاهی با نام علمی *Lepidium sativum* L. گیاهی علفی، یک ساله با برگ‌های بدون کرک می‌باشد (۲). امروزه با افزایش جمعیت و نیاز به تولید مقادیر بالایی از سبزی‌ها لازم است تا سطح زیرکشت محصول‌ها افزایش یابد. توسعه صنایع مختلف موجب ورود انواع آلاینده‌ها به خاک و آب شده است. آلودگی به فلزهای سنگین به‌دلیل دوام بلند مدت بیولوژیکی این فلزها در خاک به یکی از مشکلات عمده زیست‌محیطی تبدیل شده است که موجب کاهش عملکرد و کیفیت محصول شده و با ورود به زنجیره غذایی انسان موجب بروز انواع دشواری‌های مرتبط با سلامتی بشر می‌شود (۶ ، ۹). میزان دسترسی به این فلزها بستگی به نوع گیاه، میزان مورد نیاز آن‌ها توسط گیاه به‌عنوان عنصرهای کم‌مصرف و قابلیت گیاه برای استفاده از این فلزها برای تنظیم فعالیت‌های سوخت و سازی، ترشح اسیدهای آلی به محیط ریشه و تحرک عنصرهای غذایی در خاک دارد (۴). مس از عنصرهای غذایی کم‌مصرف مورد نیاز گیاه بوده که کمبود آن سوخت و ساز گیاه را زیر تاثیر قرار می‌دهد. عنصر مس از فاکتورهای مهم در فرایندهای فیزیولوژیکی مانند فرایندهای اکسیداسیون و احیا، انتقال الکترون، فرایند فتوسنتز، تنفس و لیگنینی شدن دیواره یاخته می‌باشد.

۱- تاریخ دریافت: ۹۸/۶/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۹/۶/۶

۲- به‌ترتیب، دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات و دانشجوی پیشین کارشناسی گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (vojodilamia@gmail.com).

چرخه رداکس میان CU^{2+} و CU^{+} موجب تولید رادیکال‌های هیدروکسیل بسیار سمی از راه واکنش فنتون می‌شود که تاثیر مخرب بر اسیدهای نوکلئیک، پروتئین و چربی دارد. مقدار زیاد این عنصر موجب ایجاد مسمومیت در گیاه از طریق ایجاد گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود (۶، ۱۲). گیاهان رشد کرده تحت شرایط تنش فلزهای سنگین به‌دلیل دائمی بودن اثرات یون‌های سمی آسیب ناشی از سمیت تجمعی یون را تجربه می‌کنند (۶، ۱۲). میزان سمیت مس در گیاهان مختلف بسته به گونه گیاهی متفاوت بوده و برای اغلب گیاهان سطح بحرانی آن در برگ‌ها حدود ۳۰-۲۰ میکروگرم بر گرم وزن‌خشک است. نشانه‌های متفاوت مشاهده شده در گیاهان رشد کرده تحت شرایط تنش نشانه‌ای از درجه‌های مختلف سازگاری گیاه به محیط‌های آلوده به فلزهای سنگین است (۴، ۶).

افزایش محتوای مالون دی‌آلدئید در برگ گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط تنش مس به‌دلیل آسیب به دستگاه فتوسنتزی، کاهش قدرت احیاکنندگی آنتی‌اکسیدان‌ها و کاهش انرژی متابولیکی یاخته می‌باشد (۶). استفاده از عصاره جلبک دریایی قهوه‌ای (آسکوفیلیوم ندوسوم[۱]) به‌عنوان محرک زیستی در کشاورزی مدرن موجب کاهش اثر تنش‌های زیستی و غیرزیستی به گیاه می‌شود. در مناطقی که با کمبود خاک مناسب و آب مواجه هستند؛ اغلب کشاورزان از آب فاضلاب یا منابع آلوده آب یا خاک آلوده به فلزات سنگین برای آبیاری یا احداث مزارع استفاده می‌کنند. منابع آبی و خاکی آلوده به فلزهای سنگین یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی می‌باشد که رشد و عملکرد گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. با توجه به مصرف بالای سبزی‌ها لازم است تا شیوه تاثیر منابع آبی آلوده به فلزهای سنگین بر رشد گیاهان مورد بررسی قرار گیرد. در بررسی انجام شده توسط Santaneillo و همکاران (۲۲) مشخص شد که استفاده از عصاره آسکوفیلیوم ندوسوم در شرایط تنش آبی در گیاه آرابیدوپسیس موجب بقای گیاه در شرایط تنش کم‌آبی شد که این عمل از راه تغییر در میزان بیان ژن‌های مرتبط با اسید آبسیزیک و سیستم دفاع آنتی اکسیدانی گیاه می‌باشد. تیمار با عصاره جلبک موجب کارایی بهتر حرکات روزنه‌ای گیاه و کارایی آب نسبی گیاه شد (۲۲). با توجه به اثرهای زیان‌بار سطوح بالای مس بر گیاه و نیز با توجه به تاثیر مثبت محلول‌پاشی با عصاره جلبک دریایی بر رشد و نمو گیاه هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی اثرهای عصاره جلبک دریایی بر کاهش ضررهای زیادی مس در گیاه شاهی (رقم بومی اصفهان) بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تاثیر سطوح سولفات مس (صفر، ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر) موجود در آب آبیاری و محلول‌پاشی با آسکوفیلیوم ندوسوم بر رشد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه شاهی (رقم بومی اصفهان) آزمایشی در گلخانه پژوهشی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان و آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان در طی سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۹۶ اجرا شد. بدین منظور بذرهای شاهی در گلدان‌های ۵ لیتری حاوی خاک (ویژگی‌های خاک: pH: 7.8، EC: 1.7 دسی‌زیمنس بر متر، آهن ۰/۶ میلی‌گرم به کیلوگرم، منگنز ۱/۵ میلی‌گرم به کیلوگرم، روی ۱/۳ میلی‌گرم به کیلوگرم، پتاسیم ۰/۷٪، فسفر ۰/۶٪ و نیتروژن ۰/۰۵٪ بود) کشت شدند. از ابتدای آزمایش آبیاری گیاهان با آب حاوی سطوح مختلف مس هر سه روز یک‌بار انجام شد. بعد از یک ماه از کشت گیاهان محلول‌پاشی با عصاره جلبک دریایی [(ویژگی‌های جلبک دریایی: منیزیم ۰/۱ درصد، بر ۱۶ ٪، کلسیم ۰/۰۶ درصد، آهن ۲۵ ٪، سیتوکنین ۰/۰۱ ٪، نیتروژن ۰/۱ ٪، اسید فسفریک ۰/۰۵ ٪ و پتاسیم محلول ۴/۲ ٪] انجام شد. ۱۵ روز بعد، محلول‌پاشی دوم گیاهان با همان غلظت تکرار شد. چهل روز بعد از دومین محلول‌پاشی گیاهان برای اندازه‌گیری ویژگی‌های مورد مطالعه بعد از پایان مرحله گلدهی برداشت شدند. به‌منظور اندازه‌گیری وزن‌خشک گیاه، گیاهان برداشت شده در دمای اتاق خشک شدند سپس وزن آن‌ها با ترازوی دیجیتال (BB141, Boero, Germany) اندازگیری شد. برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیولوژیک نمونه‌ها بی‌درنگ بعد از برداشت در فویل آلومنیومی پیچیده و در نیتروژن مایع به آزمایشگاه منتقل و تا زمان انجام آزمایش در فریزر ۷۰- درجه سلسیوس نگهداری شدند.

سنجش غلظت مالون دی آلدئید، پراکسیداز و کاتالاز

غلظت مالون دی‌آلدئید با استفاده از تیوباربیتوریک اسید به روش Valentovic و همکاران (۲۵) اندازه‌گیری شد. از اتانول ۹۵٪ برای برای استخراج استفاده شد. در مرحله بعد از ۰/۲ درصد اسید تیوباربیتوریک و ۱۰ درصد تری‌کلرو استیک اسید برای

۱- *Ascophyllum nodosu*m

استخراج اسیدهای چرب غیراشباع (مالون‌دی‌آلدئید) استفاده شد محتوای مالون دی‌آلدئید در طول موج‌های ۴۴۰، ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر به‌کمک اسپکتروفوتومتر (T80,China) اندازه‌گیری شد.

به‌منظور اندازه‌گیری کاتالاز و پراکسیداز ابتدا عصاره آنزیمی به روش Mac-Adam و همکاران (۱۳) تهیه شد. برای تهیه عصاره آنزیمی ابتدا محلول‌های ۰/۸ مولار کلریدپتاسیم و ۰/۱ مولار بافر فسفات پتاسیم (pH=7) به‌صورت جداگانه تهیه شد. در مرحله بعد از هر محلول جداگانه ۵۰ میلی‌لیتر برداشته شد و با هم مخلوط شدند. از این محلول ۱۰ میلی‌لیتر برداشته شد و روی ۰/۱ گرم برگ تازه در هاون چینی ریخته شد و به خوبی سائیده شد. مخلوط حاصل با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. از محلول رویی حاصل برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیمی استفاده شد.

فعالیت کاتالاز با استفاده از روش Chance (۷) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری فعالیت کاتالاز ۵۰ میکرولیتر از عصاره استخراج شده با یک میلی‌لیتر محلول اندازه‌گیری کاتالاز که شامل ۵۰ میلی‌مول بافر فسفات پتاسیم (pH=7) و ۱۵ میلی‌مول پراکسید هیدروژن است، مخلوط شد و جذب نمونه‌ها در ۲۴۰ نانومتر در مدت یک دقیقه خوانده شد. لازم به ذکر است که یک واحد آنزیمی برابر با تجزیه یک میلی‌مولار پراکسید هیدروژن در یک دقیقه است.

فعالیت پراکسیداز نمونه‌ها به روش Mac-Adam و همکاران (۱۳) تعیین شد. روی عصاره آنزیمی حاصل، ۳ میلی‌لیتر محلول بافر فسفات‌سدیم ۰/۱ مولار و ۵۰ میکرولیتر گایاکول اضافه شد. روی محلول، ۵۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۳ درصد اضافه شد و بی‌درنگ تغییرهای جذب نوری در طول موج ۴۳۶ نانومتر به فواصل زمانی ۱۵ ثانیه به مدت ۳ دقیقه به کمک اسپکتروفوتومتر (T80,China) اندازه‌گیری شد.

محتوای ماده‌های جامد محلول کل

محتوای قند محلول با استفاده از قندسنج دستی (Erma, Tokyo, Japan) اندازه‌گیری شد.

تعیین میزان پرولین

از روش Bates و همکاران (۳) برای اندازه‌گیری غلظت پرولین نمونه‌ها استفاده شد. برای این منظور، نیم گرم از برگ، پس از انجماد در ازت مایع، پودر گردید و ۱۰ میلی لیتر اسید سولفوسالسیلیک ۳٪ به آن اضافه شد. عصاره حاصل با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه و در دمای ۴ درجه سلسیوس سانترفیوژ و فاز مایع جدا شد. دو میلی‌لیتر از فاز رونشین ناین‌هیدرین با دو میلی‌لیتر اسید استیک خالص مخلوط شد. سپس نمونه ها همراه با محلول‌های استاندارد پرولین (بین صفر تا ۱۰۰ میکرومول در لیتر) به مدت یک ساعت در حمام آب ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها در حمام یخ به مدت ۵ دقیقه قرار گرفتند. به نمونه‌ها و هم‌چنین محلول‌های استاندارد، ۲ میلی‌لیتر تولوئن اضافه شد. محلول‌ها به مدت ۳۰ ثانیه تکان داده شده و به مدت ۳۰ دقیقه به حالت سکون قرار گرفتند تا بخش قرمز رنگی در بالای لوله تشکیل شود. از این رونشین حدود ۱۰۰۰ میکرولیتر برای اندازه‌گیری پرولین در طول موج ۵۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتر استفاده شد.

محتوای فنول کل

از معرف فولن سیکالتو[۱] به روش Kim و همکاران (۱۱) برای اندازه‌گیری فنول کل استفاده شد. پنج گرم از برگ‌های خشک شده به مدت ۱۲ ساعت (در دمای اتاق) با متانول عصاره‌گیری شد. عصاره متانولی در تاریکی در مجاورت هوا خشک شد. به ماده خشک حاصل دوباره متانول افزوده شد. روی یک میلی‌لیتر از عصاره حاصل ۰/۲ میلی‌لیتر از معرف فولن سیکالتو و ۱ میلی‌لیتر کربنات‌سدیم ۲ درصد اضافه شد و به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ (۱۳۰۰۰ دور در دقیقه) شد. جذب محلول شفاف رونشین پس از گذشت ۳۰ دقیقه، در طول موج ۷۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. محتوای فنول کل برحسب میلی‌گرم اسید گالیک بر گرم ماده خشک بیان شد.

محتوای عنصرها

غلظت عنصرهای سدیم و پتاسیم با استفاده از فلیم فتومتر (410 Corning, England) و عنصرهای مس، فسفر، منیزیم و آهن با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Shimadzu AA6300, Japan) به روش Jones (۱۰) تعیین گردید. یک گرم از نمونه‌های خشک شده برگی در کوره الکتریکی در دمای ۴۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۳ ساعت به خاکستر تبدیل شد. به هر نمونه، ۲۰

۱- Folin Ciocalteu

میلی‌لیتر اسید نیتریک یک نرمال اضافه شد. سپس نمونه‌ها به دمای ۹۰ درجه سلسیوس منتقل شدند تا اسید تبخیر شود. در مرحله آخر با آب مقطر دوبار تقطیر شده حجم نمونه‌ها به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد و از صافی عبور داده شد. از نمونه صاف شده برای اندازه‌گیری عنصرها استفاده شد.

طرح آزمایشی و واکاوی آماری داده‌ها

آزمایش حاضر به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. برای تجزیه داده‌ها از برنامه‌آماری SPSS (version 9.8) استفاده شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

وزن خشک گیاه

وزن خشک گیاه زیر تاثیر برهمکنش تیمارهای آزمایشی قرار گرفت. بالاترین عملکرد گیاه در تیمار صفر مس و محلول‌پاشی با دو میلی‌گرم در لیتر عصاره جلبک و تیمار ۳۰ میلی‌گرم در لیتر مس با محلول‌پاشی دو میلی‌گرم در لیتر عصاره جلبک مشاهده شد. کمترین وزن خشک گیاه در تیمار ۳۰ میلی‌گرم در لیتر مس بدون تیمار محلول‌پاشی مشاهده شد (جدول ۱). در بررسی انجام شده در شاهی مشخص شد که شاهی می‌تواند مقادیر بالایی از فلزهای سنگین را در گیاه تجمع دهد بدون آنکه تغییرهای روشنی در عملکرد فیزیولوژیک گیاه اتفاق بیفتد (۱۵). در پژوهش انجام شده توسط Fan و همکاران (۸) مشخص شد که محلول‌پاشی با عصاره جلبک دریایی تاثیر مثبتی بر وزن خشک اسفناج داشت. در تحقیق انجام شده توسط Sofy و همکاران (۲۴) مشخص شد که استفاده از عصاره سورگوم موجب افزایش عملکرد جو شد. در بررسی حاضر چنین به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی با دو میلی‌گرم در لیتر عصاره جلبک موجب بهبود عملکرد گیاه شد. به‌نظر می‌رسد یکی از دلایل عدم تغییر معنی‌دار در وزن‌خشک گیاه در بررسی حاضر مربوط به ویژگی خود گیاه شاهی به عنوان گیاه پالایشگر فلزات سنگین باشد که می‌تواند مقادیر اضافی مس را بدون کاهش قابل توجه در عملکرد گیاه در خود تجمع دهد.

تعداد برگ

تعداد برگ در گیاه زیر تاثیر برهمکنش تیمار مس و محلول‌پاشی با عصاره جلبک قرار گرفت. بیشترین تعداد برگ در تیمار صفر مس در سطوح محلول‌پاشی دو و چهار میلی‌گرم در لیتر عصاره جلبک دریایی مشاهده شد. با افزایش غلظت مس به ۶۰ میلی‌گرم در لیتر آب آبیاری در محیط کشت از تعداد برگ گیاه کاسته شد (جدول ۱). نتیجه‌های مشابهی در خصوص کاهش عملکرد گیاه برنج در اثر وجود غلظت بالای مس در محیط توسط Mostafa و همکاران (۱۴) گزارش شده است. محلول‌پاشی تاثیر مثبت بر تعداد برگ داشت و نتیجه‌های حاصل از بررسی حاضر با نتیجه‌های پژوهش‌های Fan و همکاران (۸) و Salah El-Din و همکاران (۲۱) درخصوص تاثیر مثبت محلول‌پاشی با عصاره جلبک بر عملکرد گیاه همخوانی داشت.

محتوای ماده‌های جامد محلول

برهمکنش تیمار مس و محلول‌پاشی با عصاره جلبک در سطح احتمال ۵٪ محتوای ماده‌های جامد محلول را زیر تاثیر قرار داد. بیشترین میزان ماده‌های جامد محلول در تیمار صفر مس در چهار میلی‌گرم در لیتر عصاره جلبک و تیمار ۳۰ میلی‌گرم در لیتر مس با ۲ میلی‌گرم در لیتر عصاره جلبک مشاهده شد (جدول ۱). سیتوکینین موجود در گیاه و عصاره جلبک تاثیر مثبت در از بین بردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن از راه بازداری از اکسیداسیون گزانتین دارد و از این راه موجب بهبود رشد و عملکرد گیاه می‌شود (۱۴). بررسی انجام شده در گیاه باقلا نشان داد که تیمار گیاه باعصاره جلبک *Sargassum latifolium* و *Halimeda opuntia* موجب افزایش محتوای ماده‌های جامد محلول شد (۲۱). شاید یکی از دلایل افزایش ماده‌های جامد محلول در بررسی حاضر به‌دلیل وجود عنصرهای غذایی و سیتوکینین موجود در عصاره جلبک مورد استفاده باشد که با بهبود فتوسنتز گیاه موجب افزایش ماده‌های جامد محلول در گیاه گردید.

محتوای فنول کل

برهمکنش تیمارهای محلول‌پاشی و فلز سنگین تاثیر مثبت در افزایش محتوای فنول کل داشت و کمترین محتوای فنول کل در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۱). نتیجه‌های حاصل از بررسی حاضر با نتیجه‌های پژوهش‌های Ghorbanli and Kiapour (۹) درخصوص افزایش محتوای ترکیب‌های فنولی گیاه خرفه در اثر افزایش محتوای مس محیط کشت همخوانی

داشت. افزایش محتوای ترکیب‌های فلاونوئیدی آویشن به‌دلیل افزایش محتوای مس موجود در خاک توسط Kulbat و Leszezynska گزارش شده است (۱۲). در پژوهش انجام شده در گیاه اسفناج مشخص شد که استفاده از عصاره جلبک قهوه‌ای موجب افزایش محتوای ترکیب‌های فنولی گیاه شد (۸). چنین به‌نظر می‌رسد که تحت شرایط تنش، گیاه با تشکیل شبکه‌ای از ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانی با وزن مولکولی کم (ترکیب‌های فنولی، اسکوربات و گلوتاتیون) موجب تحریک فعالیت سیستم دفاعی غیرآنزیمی گیاه می‌شود. ترکیب‌های فنولی به ویژه فلاونول‌ها در هر دو فاز آبی و چربی یاخته وجود دارد و توانا به پاکسازی رادیکال‌های آزاد اکسیژن به ویژه پراکسید هیدروژن از یاخته می‌باشد (۹). وجود حلقه‌های آروماتیک و اجزای متنوع دیگر در ساختار ترکیب‌های فنولی آن‌ها را به جاروکننده‌های مناسب رادیکال‌های آزاد اکسیژن تبدیل نموده است. گروه‌های هیدروکسیل و کربوکسیل ترکیب‌های فنولی می‌توانند به مس و آهن متصل شوند. همچنین ذکر شده که ترکیب‌های فنولی و آنتوسیانین‌ها، گزینه اصلی جهت مقابله با رادیکال‌های آزاد در تنش‌های مرتبط با فلزهای سنگین می‌باشد (۱۷). در پژوهش انجام شده در گیاه جو مشخص شد که محلول‌پاشی تاثیر مثبتی در افزایش محتوای ترکیب‌های فنولی گیاه داشت (۲۴).

فعالیت آنزیم پراکسیداز

بالاترین فعالیت آنزیم در تیمار ۶۰ میلی‌گرم در لیتر مس بدون محلول‌پاشی با عصاره جلبک مشاهده شد (جدول ۱) که نشان دهنده افزایش ۴۶ درصدی در فعالیت این آنزیم نسبت به تیمار شاهد بود. در پژوهش انجام شده توسط Asadi Karam و همکاران (۲b) در گیاه شاهی و Ghorbanli and Kiapour (۹) در گیاه خرفه مشخص شد که با افزایش تنش مس بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در گیاه افزوده شد. افزایش فعالیت پراکسیداز آپوپلاستی به‌دلیل تجمع مس موجب اتصال گلیکوپروتئین‌های غنی از هیدروکسی پرولین با اسیدهای فنولی شده و با افزایش ضخامت دیواره یاخته موجب کاهش رشد یاخته می‌شود. پراکسیدازها به‌عنوان آنزیم‌های تنش در گیاهان شناخته شده و فعالیت پراکسیداز می‌تواند به‌عنوان شاخص ارزیابی سمیت فلز در گونه‌های گیاهی تحت تیمار به کار رود (۱۹). نتیجه‌های حاصل از بررسی حاضر نشان داد که کاربرد عصاره جلبک تاثیری در افزایش محتوای پراکسیداز نداشت.

فعالیت آنزیم کاتالاز

برهمکنش تیمارهای آزمایشی فعالیت آنزیم کاتالاز را زیر تاثیر قرار داد. بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمارهای ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر مس بدون تیمار محلول‌پاشی و تیمار ۳۰ میلی‌گرم در لیتر مس در تیمار چهار میلی‌گرم در لیتر عصاره جلبک مشاهده شد. کمترین محتوای آنزیم در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۱). افزایش در محتوای کاتالاز در اثر تنش مس توسط Asadi Karam و همکاران (۲b) گزارش شد. چنین به نظر می‌رسد که گیاه با بالا نگه داشتن محتوای آنزیم کاتالاز مانع از ایجاد آسیب به یاخته می‌شود (۲b). در بررسی انجام شده در گیاه خلر مشخص شد که تحت تنش مس فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گلوتاتیون پراکسیداز در گیاه افزایش می‌یابد (۴). در پژوهش انجام شده در گیاه جو مشخص شد که استفاده از عصاره جلبک موجب کاهش تنش شوری در گیاه از راه افزایش فعالیت کاتالاز شد (۲۴). نتیجه‌های بررسی حاضر نشان دهنده افزایش آنزیم کاتالاز در گیاه به منظور کاهش تنش اکسیداتیو وارد شده به گیاه می‌باشد.

محتوای مالون دی‌آلدئید

محتوای مالون دی آلدئید زیر تاثیر تیمار فلز سنگین مس قرار گرفت ($P\leq 1\%$) و با افزایش غلظت مس تا ۶۰ میلی‌گرم در لیتر بر محتوای مالون دی‌آلدئید افزوده شد و کمترین غلظت آن در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۲). رادیکال‌های آزاد اکسیژن با پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع موجب تولید مالون دی‌آلدئید می‌شود (۱۱). نتیجه‌های مشابهی توسط Mostofa و همکاران (۱۴) در برنج و توسط chamseddine و همکاران (۶) در گوجه‌فرنگی گزارش شد. فلزات سنگین موجب پراکسیداسیون شدید چربی از راه برداشت گروه هیدروژن توسط رادیکال‌های آزاد از اسیدهای چرب غیراشباع شده و موجب تشکیل رادیکال‌های چربی می‌شود. یون مس با واکنش با آب موجب ایجاد رادیکال‌های آزاد هیدروکسیل شده و از این راه موجب پراکسیداسیون غشای یاخته می‌شود (۱۴). در بررسی حاضر محلول‌پاشی تاثیری در کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدئید در گیاه نداشت که نشان دهنده ناکارآمدی عصاره جلبک در کاهش خطر فلز سنگین مس بر تخریب غشای یاخته‌ی در غلظت بالای مس بود.

جدول ۱- مقایسه میانگین برهمکنش محلول‌پاشی با *Ascophyllum nodosu*m و سطح‌های مختلف مس موجود در آب آبیاری بر برخی ویژگی‌های زیست‌شیمیایی، تعداد برگ و وزن خشک شاهی.

Table 1. Mean comparison for the interaction effects of *Ascophyllum nodosu*m foliar application and different levels of Cu in irrigation water on some biochemical compounds, leaf number and plant dry weight of *Lepidium sativum* L.

تیمار مس Cu treatment (mg L^{-1})	محلول‌پاشی عصاره جلبک *A. nodosum* foliar application (ml L^{-1})	وزن خشک گیاه (گرم) Plant dry weight (g)	ماده‌های جامد محلول کل Total soluble solid content (^{0} Brix)	تعداد برگ Leaf number	محتوای فنول کل Total phenolic content (mg GAg^{-1} Dwt)	محتوای پراکسیداز Peroxidase content (µmol H_2O_2 mg^{-1} protein min^{-1})	محتوای کاتالاز CAT content (µmol H_2O_2 Mg-1 protein min^{-1})	محتوای پرولین Proline content (µmol g^{-1} Fwt)
شاهد (Control)	0	0.37^{b}	3.6^{bc}	4.6^{bc}	72.33^{b}	0.60^{d}	0.17^{c}	0.13^{d}
شاهد (Control)	2	0.58^{a}	3.9^{bc}	6.3^{ab}	104.7^{a}	0.60^{d}	0.19^{b}	2.7^{ab}
شاهد (Control)	4	0.39^{b}	5.1^{a}	7.3^{a}	110.0^{a}	0.58^{d}	0.20^{b}	3.4^{a}
۳۰میلی‌گرم در لیتر مس (Cu) 30 mg L^{-1}	0	0.15^{c}	3.7^{c}	4.6^{bc}	95.67^{a}	0.78^{b}	0.26^{a}	0.47^{cd}
۳۰ میلی‌گرم در لیتر مس (Cu) 30 mg L^{-1}	2	0.44^{ab}	5.7^{a}	4.3^{bc}	112^{a}	0.77^{b}	0.20^{b}	2.3^{b}
۳۰ میلی‌گرم در لیتر مس (Cu) 30 mg L^{-1}	4	0.35^{b}	4.5^{b}	3.67^{c}	110^{a}	0.68^{c}	0.23^{ab}	2.3^{b}
۶۰ میلی‌گرم در لیتر مس (Cu) 60 mg L^{-1}	0	0.37^{b}	4.4^{b}	3.6^{c}	97^{a}	0.88^{a}	0.23^{a}	0.743^{cd}
۶۰ میلی‌گرم در لیتر مس (Cu) 60 mg L^{-1}	2	0.33^{b}	4.5^{b}	3^{c}	94.33^{a}	0.78^{b}	0.19^{b}	1.4^{bc}
۶۰ میلی‌گرم در لیتر مس (Cu) 60 mg L^{-1}	4	0.33^{b}	4.4^{b}	3^{c}	96.67^{a}	0.80^{b}	0.19^{b}	1.5^{bc}

In each column, mean values with similar letters are not significantly different based on LSD test. Plant dry weight, leaf number and total phenolic content are significant at $P\leq0.01$. Total soluble solid content, peroxidase, catalase and proline content are significant at $P\leq0.05$.

در هر ستون، میانگین‌های با حرف مشترک، بدون اختلاف معنادار آماری برمبنای آزمون LSD می‌باشند. ویژگی‌های وزن خشک گیاه، تعداد برگ و محتوای فنول کل در سطح احتمال یک درصد و ویژگی‌های محتوای پرولین، کاتالاز، پراکسیداز و ماده‌های جامد محلول در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شده است.

جدول ۲- مقایسه میانگین تیمار مس موجود در آب آبیاری بر محتوای مالون دی‌آلدهاید در شاهی.

Table 2. Mean comparison for Cu treatment in irrigation water on MDA content of *Lepidium sativum* L.

تیمارمس Cu treatment (mg L^{-1})	محتوای مالون دی‌آلدئید MDA content (µmol g^{-1} FW)
شاهد (control)	2.18 [b]
مس ۳۰ میلی‌گرم در لیتر (Cu 30 mg L^{-1})	3.8 [b]
مس ۶۰ میلی‌گرم در لیتر (Cu60 mg L^{-1})	5.1[a]

در هر ستون، میانگین‌های با حرف مشترک، بدون اختلاف معنادار آماری برمبنای آزمون LSD می‌باشند ($P\leq0.01$).

Similar letters in the column are non-significant based on LSD test ($P\leq0.01$)

محتوای پرولین

محتوای پرولین در سطح احتمال ۵٪ زیرزیر تاثیر برهمکنش تیمارهای آزمایشی قرار گرفت. بالاترین محتوای پرولین با محلول‌پاشی دو و چهار میلی‌گرم در لیتر عصاره جلبک دریایی در تیمار بدون تنش مس مشاهده شد (جدول ۱). پرولین ترکیبی اسمزی در یاخته‌یاخته است که موجب حفظ ساختار و فعالیت آنزیمی یاخته تحت تنش می‌شود (1a). پرولین مهم‌ترین ترکیب در یاخته است که با کاهش نیتروژن مانع از رشد سریع گیاه تحت شرایط تنش می‌شود و با حفظ ساختار یاخته و فعالیت آنزیمی به بقای یاخته کمک می‌کند (1a). در پژوهش انجام شده در گیاه لوبیا مشخص شد که تیمار گیاهان با عصاره جلبک موجب افزایش محتوای پرولین نسبت به گیاهان رشد کرده تحت تنش آبی گردید (۵). در بررسی حاضر تنش مس موجب افزایش معنی‌دار محتوای پرولین نشد. چنین به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی تاثیر مثبت در افزایش محتوای پرولین در گیاه داشت.

محتوای آهن

برهمکنش تیمارهای آزمایشی محتوای آهن گیاه را زیر تاثیر قرار داد. بالاترین محتوای آهن در تیمار بدون تنش مس با محلول‌پاشی ۲ میلی‌گرم در لیتر عصاره جلبک دریایی و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر مس بدون تیمار محلول‌پاشی مشاهده شد (جدول ۳). با افزایش غلظت مس در گیاه به تدریج این عنصر جایگزین عنصر آهن در جایگاه‌های فعال آن شده که موجب ایجاد کلروز و رنگ پریدگی برگ به‌دلیل تخریب کلروفیل و توقف فعالیت آنزیم مرتبط با زیست‌ساخت کلروفیل می‌شود، که دلیل آن به هم خوردن تعادل در بازگشت پروتئین‌های کمپلکس سیستم نوری دو می‌باشد. فلزهای سنگین موجب مهار زیست‌ساخت کلروفیل از راه مهار فعالیت آنزیم دلتا-آمینولوولینیک اسید دهیدروژناز و پروتوکلروفیلاید ردوکتاز می‌شود (۱۸). در بررسی انجام شده در گیاه اسفناج مشخص شد که استفاده از عصاره جلبک قهوه‌ای موجب افزایش محتوای آهن در گیاه شد (۸).

محتوای منیزیم

بالاترین محتوای این عنصر در تیماربدون کاربرد مس در چهار میلی‌گرم در لیتر عصاره جلبک (به میزان ۳۴۹۵ میلی‌گرم در کیوگرم وزن خشک گیاه) و تیمار ۳۰ میلی‌گرم در لیتر مس با دو میلی‌گرم در لیتر عصاره جلبک (۳۶۰۱ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه) مشاهده شد (جدول ۳). در بررسی انجام شده توسط Asadi Karam و همکاران (1a) مشخص شد که وجود مقادیر بالای مس در محیط رشد گیاه موجب کاهش محتوای آهن، منیزیم و روی اندام هوایی گیاه شد. در بررسی انجام شده در گیاه جو مشخص شد که استفاده از عصاره سورگوم موجب افزایش محتوای منیزیم گیاه شد (۲۴). محلول‌پاشی تاثیر مثبت در کاهش اثرات منفی مس در گیاه داشت و موجب افزایش محتوای منیزیم در گیاه شاهی شد.

محتوای پتاسیم

محتوای پتاسیم زیر تاثیر برهمکنش تیمارهای آزمایشی قرار گرفت. بالاترین محتوای پتاسیم در تیمار بدون تنش مس با محلول‌پاشی دو میلی‌گرم در لیتر عصاره جلبک مشاهده شد که نشان‌دهنده افزایش ۶۱ درصدی پتاسیم نسبت به تیمار ۶۰ میلی‌گرم در لیتر مس بدون محلول‌پاشی بود (جدول ۳). در بررسی انجام شده در گیاه جو (۲۴) و باقلا (۲۱) مشخص شد که محلول‌پاشی با عصاره جلبک موجب افزایش محتوای پتاسیم در گیاه شد (۲۴).

جدول ۳- مقایسه میانگین برهمکنش محلول‌پاشی با m*Ascophyllum nodosu* و سطح‌های مس موجود در آب آبیاری بر محتوای عنصرها در گیاه شاهی.

Table 3. Mean comparison for the interaction effects of *Ascophyllum nodosu*m foliar application and Cu concentration in irrigation water on elemental content of *Lepidium sativum* L.

تیمار مس Cu treatment (mg L^{-1})	محلول‌پاشی با عصاره جلبک *A. nodosum* foliar application (ml L^{-1})	محتوای آهن Fe content (mg/kg)	محتوای منیزیم Mg content (mg/kg)	محتوای پتاسیم K content (mg/kg)	محتوای فسفر P content (mg/kg)	محتوای مس Cu content (mg/kg)
شاهد (Control)	0	222^{c}	3591^{bc}	29480^{h}	2534^{f}	0.24^{e}
شاهد (Control)	2	244^{ab}	3514^{bcd}	43290^{a}	2708^{c}	0.5^{bc}
شاهد (Control)	4	121^{f}	3495^{a}	39830^{b}	2829^{a}	0.51^{b}
۳۰میلی‌گرم در لیتر مس (Cu 30 mg L^{-1})	0	251^{a}	3506^{b}	33320^{e}	2689^{b}	0.45^{bc}
۳۰میلی‌گرم در لیتر مس (Cu 30 mg L^{-1})	2	241^{b}	3601^{abc}	36330^{d}	2714^{c}	0.42^{bc}
۳۰میلی‌گرم در لیتر مس (Cu 30 mg L^{-1})	4	134^{e}	3318^{d}	32260^{f}	2654^{d}	0.53^{b}
۶۰ میلی‌گرم در لیتر مس (Cu 60 mg L^{-1})	0	161^{d}	3434^{cd}	26800^{I}	2597^{e}	0.79^{a}
۶۰ میلی‌گرم در لیتر مس (Cu 60 mg L^{-1})	2	135^{e}	3409^{cd}	31460^{g}	2524^{f}	0.43^{bc}
۶۰ میلی‌گرم در لیتر مس (Cu 60 mg L^{-1})	4	91.7^{g}	3531^{bc}	38350^{c}	2758^{bc}	0.48^{bc}

در هر ستون میانگین‌هایی با حرف مشترک، فاقد اختلاف معنادار آماری براساس آزمون LSD می‌باشند ($P\leq0.01$).

Similar letters in the column are non-significant based on LSD test ($P\leq0.01$).

محتوای فسفر

بیشترین میزان این عنصر در تیمار بدون تنش مس در چهار میلی‌گرم در لیتر عصاره جلبک مشاهده گردید و کمترین میزان فسفر در تیمار ۶۰ میلی‌گرم در لیتر مس در شرایط بدون محلول‌پاشی به میزان ۲۵۹۷ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن‌خشک گیاه ثبت شد (جدول ۳). پژوهش انجام شده در گیاه باقلا (۲۱) و جو (۲۴) نشان داد که استفاده از عصاره جلبک دریایی و سورگوم تاثیر مثبت بر محتوای فسفر گیاه داشت. در بررسی حاضر چنین به‌نظر می‌رسد که عصاره جلبک مورد استفاده به‌دلیل دارا بودن فسفر تاثیر مثبت در جذب این عنصر داشت.

محتوای مس

برهمکنش تیمارهای فلز مس و سطوح محلول‌پاشی با عصاره جلبک محتوای مس نمونه را زیر تاثیر قرار داد. بالاترین غلظت مس در تیمار ۶۰ میلی‌گرم در لیتر مس در تیمار بدون محلول‌پاشی مشاهده شد (جدول ۳) که نشان‌دهنده افزایش ۷۵ درصدی مس نسبت به تیمار ۳۰ میلی‌گرم در لیتر مس بدون محلول‌پاشی با عصاره جلبک بود. در پژوهش انجام شده در برنج مشخص شدکه با افزایش غلظت مس در محیط رشد گیاه، محتوای مس در برگ افزوده شد و موجب کاهش رشد گیاه گردید. تحرک مس در آوند چوبی بستگی به میزان تبخیر و تعرق گیاه و پی‌اچ شیره خام دارد که با افزایش تعرق در گیاهان به تجمع مس در اندام‌های هوایی گیاه افزوده می‌شود. افزایش غلظت مس در درون یاخته موجب ایجاد رادیکال‌های آزاد اکسیژن و پراکسید هیدروژن از راه واکنش تسریع شده با فلز به نام هابر-ویس می‌شود (۱۶) که در این شرایط گیاه مجبور به تولید مکانیسم‌های حمایتی در مقابل گونه‌های فعال اکسیژن مانند پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز می‌شود. سوپراکسید تولید شده توسط آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به پراکسید هیدروژن تبدیل شده که در مرحله بعدی توسط آنزیم کاتالاز تجزیه و به آب و اکسیژن تبدیل می‌شود (۱۴) و به‌این راه از ایجاد آسیب به یاخته جلوگیری می‌کند.

نتیجه‌گیری

نتیجه‌های بررسی انجام شده نشان داد که در شرایط تنش فلز سنگین مس، محلول‌پاشی با عصاره جلبک آسکوفیلیوم ندوسوم موجب افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز، کاتالاز و محتوای فنول کل در گیاه شد. افزایش غلظت مس تا ۳۰ میلی‌گرم در لیتر به همراه محلول‌پاشی با ۲ میلی‌گرم در لیتر عصاره جلبک موجب افزایش وزن‌خشک گیاه گردید. با افزایش غلظت مس تا ۶۰ میلی‌گرم در لیتر بر محتوای مالون دی‌آلدئید در گیاه افزوده شد. افزایش در محتوای مالون دی‌آلدئید در غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر مس ممکن است به‌دلیل تخریب غشای یاخته‌ای موجب کاهش عملکرد نهایی گیاه شود. چنین به‌نظر می‌رسد که کاهش اثرهای تنش در اثر محلول‌پاشی با عصاره جلبک دریایی به‌دلیل وجود عنصرهای غذایی و تنظیم‌کننده‌های رشد موجود در عصاره جلبک *Ascophyllum nodosum* باشد که موجب تعدیل اثرهای تنش فلز سنگین در گیاه از راه کمک به جذب عنصرهای غذایی و تنظیم هورمونی در گیاه باشد.

منابع

References

1. Asadi Karam, E., Z. Asrar, and B. Keramat. 2016 a. Effect of methyl jasmonate on proline content and absorption Cu, Fe, Zn and Mg in *Lepidium sativum* L. subjected to copper toxicity. J. Plant Res. 29(2): 243-253. (In Persian).
2. Asadi Karam E., Z. Asrar and Keramat, B. 2016 b. Impact of methyl jasmonate on reducing of oxidative stress in Garden cress (*Lepidium sativum* L.) under copper stress. J. Plant Res. 28(4): 684-694. (In Persian).
3. Bates, L.S., R.P. Wardren and I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil. 39: 205-207.
4. Beladi, S.M., A. Rasshani, D. Habbibi, F. Pak-nejhad, I. NadAli. 2010. Investigation of the catalase and glutathione peroxidase activity under the Pb and Cu toxicity in *Lathyrus sativus*. Crop Prod. Environ. Stress. 2: 89-103. (In Persian)
5. Carvalho, M.E.A., P.R.C. Castro, S.A. Gaziola, R.A. Azevedo. 2018. Is seaweed extract an elicitor compound? Changing proline content in drought-stressed bean plants. Camm. Sci. 992: 292-297.
6. Chamseddine, M., B.A. Wided, H. Guy, C. Marie-Edith and J. Fatma. 2009. Cadmium and copper induction of oxidative stress and antioxidative response in tomato (*Solanum lycopersicon*) leaves. Plant Growth Regul. 57:89–99.
7. Chance, C.M. 1995. Assay of catalase and peroxidases. Methods Enzymol. 11: 764 -775.

8. Fan, D., D.M. Hodges, A.T. Critchley and B. Prithiviraj. 2013. A commercial extract of brown macroalga (*Ascophyllum nodosum*) affects yield and the nutritional quality of spinach in vitro. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 44: 1873–1884.
9. Ghorbanli, L.M., and A. Kiapour. 2012. Copper-induced changes on pigments and activity of non-enzimatic and enzymatic defense systems in *Portulaca oleracea*. Iran. J. Med. Aromat. Plants. 28 (2): 235-247. (In Persian)
10. Jones, J.B. 1977. Elemental analysis of soil extracts and plant tissue ash by plasma emission spectroscopy. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 8: 349-365.
11. Kim, K.H., R. Tsao-Yang and S.W. Cui. 2006. Phenolic acid profiles and antioxidant activities of wheat bran extracts and the effect of hydrolysis conditions. Food Chem. 95: 466–473.
12. Kulbat, K. and J. Leszezynska. 2015. Antioxidants as a defensive shield in thyme (*Thymus vulgaris* L.) grown on the soil contaminated with heavy metals. Biotechnol. Food Sci. 75(2): 109-117.
13. Mac-Adam, J.W., C.J. Nelson and R.E. Sharp. 1992. Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue. Plant Physiol. 99(3):872-878. doi: https://doi.org/10.1104/pp.99.3.879.
14. Mostofa, M.G., M. AnwarHossin, M. Fujita and L. Phan Tran. 2015. Physiological and biochemical mechanisms associated with trehalose-induced copper-stress tolerance in rice. doi: 10.1038/srep11433.
15. Nalcaci, O.O., S. Ozgen, B. Ovez. 2010. Metal contamination characteristics of *Lepidium sativum* in phosphate saline and nitrate contaminated media. J. Environ. Eng. 136(11): 1260-1266.
16. Palma, J.M., M. Gomez, J. Yanez and L.A. del Rio. 1987. Increased levels of peroxisomal active oxygen related enzymes in copper tolerant pea plants. Plant Physiol. 85(2): 570-574.
17. Posmyk, M.M., R. Kontek and k.M. Janas. 2009. Antioxidant enzymes activity and phenolic compounds content in red cabbage seedlings exposed to copper stress. Ecotox. Environ. Safe. 72(2): 596-602.
18. Prasad, M.N.V. 1998. Metal-biomolecule complexes in plants: Occurrence, functions, and applications. Analusis. 26: 25-28.
19. Radotic, k., T. Ducic and D. Mutavdzic. 2000. Changes in peroxidase activity and isoenzymes in spruce needles after exposure to different concentrations of cadmium. Environ. Exp. Bot. 44: 105-113.
20. Rezakhani, L., E. Golchin and S. Taseei. 2012. Effect of different rates of Cd and Cu on growth and chemical composition of spinach. Iran. J. Agron. Plant Breed. 8(1): 87-100. (In Persian)
21. Salah El-Din, R.A., A.A. Elbakry, S.M. Ghazi and D. Abdel Hamid. 2008. Effect of seaweed extract on the growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). Egypt. J. Physiol. 9: 25- 38.
22. Santaneillo, A., A. Scartazza, F. Gresta, A. Loreti, A. Biasone, D. Tommaso, O. Piaggesi and P. Perata. 2017. *Ascophyllum nodosum* seaweed extract alleviates drought stress in *Arabidopsis* by affecting photosynthetic performance and related gene expression. Front. Plant Sci. doi: 10.3389/fpls.2017.01362.
23. Selvam, G.G. and K. Sivakumar. 2014. Influence of seaweed extract as an organic fertilizer on the growth and yield of *Arachis hypogea* L. and their elemental composition using SEM–Energy Dispersive Spectroscopic analysis. Asian Pacific. J. Reprod. 3(1): 18-22.
24. Sofy, M.R., M. Elmone, M.A. Sharaf, S. Osman and A.R. Sofy. 2017. Physiological changes, antioxidant activity, lipid peroxidation and yield characters of salt stressed barely plant in response to treatment with Sargassum extract. Int. J. Adv. Res. Biol. Sci. 4(2): 90-109.
25. Valentovic, P., M. Luxova, L. Kolarovi and O. Gasparikora. 2006. Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membranes stability and water relation in two maizes. Plant Soil Environ. 52 (4):186-191.

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 21 (4): 439 - 448 (2020)
Research article

Effect of Cu Metal and Foliar Application of *Ascophyllum nodosum* Extract on the Growth, Elemental Content and Antioxidant Enzymes Activity of *Lepidium sativum* L.

L. Vojodi Mehrabani and M. Peymaei[1]

Heavy metal contamination has become a serious environmental problem. The effects of 0, 30 and 60 mgL^{-1} Cu in the irrigation water and, 0, 2 and 4 mgL^{-1} sea algal extract (*Ascophyllum nodosum*) foliar applications on the growth and some physiological characteristics of *Lepidium sativum* were studied. The experiment was factorial based on RCBD. Malondialdehyde content was affected by 60 mgL^{-1} Cu treatment. Plant dry weight, total phenolic content and proline, Cu^{2+}, K^{+}, Mg^{2+}, Fe^{2+} contents as well as catalase and peroxidase activity were influenced by the interaction effects of Cu treatment and foliar application of *A. nodosum*. For proline content, $Cu_{control}$ × 2 and 4 mgL^{-1} foliar application of algal extract was the treatment of choice. The lowest amount of total phenolics content was recorded with control plants. Peroxidase and Cu^{2+} content hold the top quantities at Cu of 60 mgL^{-1} × non foliar applications. Plant dry weight had the highest data for $Cu_{control}$ × 2 mgL^{-1} foliar application and Cu of 30 mgL^{-1} × 2 mgL^{-1} algal foliar application. The data clearly shows that algal extract; due to the abundance of some nutritional elements reduces the toxic effects of Cu metals on plants.

Keywords: Catalase, Malondialdehyde, Nutritional elements, Peroxidase, Total phenolic compound.

1. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding and Former BSc. Student of Medicinal Plant, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran, respectively.
* Corresponding author, Email: (vojodilamia@gmail.com).