

پاسخ ریخت‌شناسی و فیزیولوژیک برگ چنار و کاج تهران به آلودگی محیط شهری در تهران

اسماعیل خسروپور^۱، پدram عطارد^{۲*}، انوشیروان شیروانی^۳، ویلما بایرام‌زاده^۴، مظاهر معین‌الدینی^۵ و لیلا حکیمی^۶

^۱ دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
^۲ دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
^۳ دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
^۴ دانشیار گروه علوم صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج
^۵ استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
^۶ استادیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه، ساوه

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۰۱)

چکیده

آلودگی محیط شهری صدمات زیادی را بر گیاهان و جانوران وارد می‌آورد. در گیاهان، برگ از حساس‌ترین اندام‌ها به این آلودگی‌ها به‌ویژه آلودگی هواست و در محیط آلوده، ممکن است از نظر ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی تغییراتی داشته باشد. مطالعه حاضر به‌منظور بررسی تأثیر تجمع فلزات سنگین در برگ درختان چنار و کاج تهران و پاسخ ریخت‌شناسی (سطح، رطوبت و سطح ویژه برگ) و فیزیولوژیک (مالون دی‌آلدئید، پرولین و آنزیم کاتالاز) این گونه‌ها در منطقه آلوده (مرکز تهران) و منطقه کم‌آلوده (پارک جنگلی چیتگر) انجام پذیرفت. به این منظور، ۲۰ اصله درخت سالم، متقارن و یکسان از نظر سن و قطر و ارتفاع، انتخاب و ۳ برگ از جهت غربی تاج هر درخت (۱۰ اصله در منطقه کم‌آلوده و ۱۰ اصله در منطقه کم‌آلوده) نمونه‌برداری شد. غلظت سرب، کادمیم و کروم به‌طور معنی‌داری در برگ‌های چنار بیشتر از کاج تهران و در منطقه آلوده بیشتر از منطقه کم‌آلوده به‌دست آمد ($p \leq 0.05$)، درحالی که غلظت روی در منطقه آلوده کمتر از منطقه کم‌آلوده و در چنار بیشتر از کاج تهران به‌دست آمد. سطح برگ و سطح ویژه برگ چنار منطقه آلوده کمتر از منطقه کم‌آلوده به‌دست آمد، ولی تفاوت معنی‌داری برای کاج تهران مشاهده نشد. درصد رطوبت برگ در هر دو گونه در منطقه آلوده کمتر از منطقه کم‌آلوده به‌دست آمد. محتوای پرولین و مالون دی‌آلدئید در منطقه آلوده بیشتر از منطقه کم‌آلوده و در چنار نیز بیشتر از کاج تهران گزارش شد و بیشترین فعالیت کاتالاز نیز در چنار منطقه آلوده مشاهده شد. با توجه به نتایج تحقیق، می‌توان بیان کرد که کاج تهران به‌نسبت مقاوم‌تر بوده است، ولی از طرف دیگر، مقدار تجمع آلاینده نیز در این گونه کمتر از چنار است. علت احتمالی تأثیرپذیری بیشتر چنار، جذب زیاد آلاینده‌ها توسط این گونه در مقایسه با کاج تهران است. در نتیجه می‌توان گفت چنار، گونه‌ای با بیش‌انباشت زیاد آلاینده‌هاست ولی به‌شدت از نظر ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی شهری، پرولین، سطح ویژه برگ، مالون دی‌آلدئید.

مقدمه

بدون شک فضای سبز و محیط زیست از اساسی‌ترین عوامل پایداری حیات طبیعی و انسان است. ایجاد فضای سبز مناسب در مناطق شهری و صنعتی با رعایت اصول و قواعد علمی، سبب کاهش اثرات زیان‌آور آلودگی‌های محیطی می‌شود. یکی از این اصول مهم در ایجاد فضای سبز شهری، استفاده از درختان و درختچه‌های مقاوم به آلاینده‌های محیطی است که علاوه بر پدیده تصفیه هوا، آب و خاک، در جلوگیری از پراکندگی صداها، ناهنجار و زیبایی هرچه بیشتر مناطق شهری و صنعتی تأثیر بسزایی دارند. از جمله این آلاینده‌های محیطی می‌توان به سولفات‌ها، نیترات‌های اسیدز، دی‌اکسید گوگرد، گاز ازن و فلزات سنگین موجود در محیط اشاره کرد که عوامل اصلی زوال گیاهان به‌خصوص در مناطق شهری و صنعتی‌اند (Leghari & Zaidi, 2013).

هوای آلوده آسیب‌های زیادی به انسان، گیاهان و جانوران وارد می‌آورد. در گیاهان، برگ‌ها حساس‌ترین اندام به آلودگی هوا هستند (Leghari & Zaidi, 2013) که ممکن است در محیط آلوده از نظر مورفولوژیکی، یعنی اندازه، طول، عرض و مقدار رطوبت تغییر کنند (Dineva, 2004). مقدار آب موجود در اندام‌های مختلف گیاه از جمله برگ از عوامل مهم در انجام گرفتن همه فعالیت‌های گیاهی از جمله فتوسنتز است (Jafari, 2014). آلودگی می‌تواند گیاه را از نظر فیزیولوژیک نیز تحت تأثیر قرار دهد. برای مثال، پراکسیداسیون^۱ لیپیدهای غشا توسط گونه‌های فعال اکسیژن، موجب آسیب‌دیدگی غشاها، افزایش نفوذپذیری غشا و کاهش پایداری آن می‌شود. مالون دی‌آلدئید در اثر پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع توسط گونه‌های فعال اکسیژن تولید می‌شود. تغییر در پراکسیداسیون لیپیدها، شاخص شدت خسارت اکسایشی در موجودات زنده محسوب می‌شود. به‌نظر می‌رسد دلیل اصلی خسارت شدید به غشای سلولی تولید رادیکال‌های سوپراکسید ($O_2^{\cdot-}$),

پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و رادیکال هیدروکسیل (OH^{\cdot}) باشد که در نهایت به پراکسیداسیون لیپیدهای غشای سلولی می‌انجامد. افزایش نفوذپذیری و کاهش پایداری غشا ممکن است سبب افزایش نشت الکترولیت‌ها^۲ به فضای بین‌سلولی شود. از این رو به‌منظور بررسی شدت خسارت وارد شده به غشای سلولی، مقدار مالون دی‌آلدئید تشکیل شده، تعیین شده و به‌عنوان شاخص تعیین شدت خسارت تحت شرایط تنش استفاده می‌شود (Borsani et al., 2001). همچنین پرولین به‌عنوان یک اسمولیت مهم در تعدیل فشار اسمزی سلول، تحت تنش‌هایی مانند آلودگی، خشکی، شوری، نقش اساسی دارد. افزایش این ماده در شرایط تنش اسمزی علاوه بر گیاهان، در دامنه وسیعی از موجودات دیگر مثل باکتری‌ها، مخمرها، بی‌مهرگان دریایی و جلبک‌ها مشاهده شده است. در واقع پرولین سبب پایداری فرم طبیعی پروتئین‌ها می‌شود و از به هم خوردن شکل طبیعی ترکیبات آنزیمی ممانعت می‌کند. کاتالاز آنزیمی است که در همه موجودات زنده از جمله سلول‌های گیاهی، جانوری و میکروارگانیسم‌های هوازی یافت می‌شود و به‌عنوان یکی از مهم‌ترین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ایفای نقش می‌کند (Preston et al., 2001; Bloch et al., 2007) و تأثیر مهمی در پاکسازی H_2O_2 تولیدشده به‌وسیله فرایندهایی هم‌چون بتا-اکسیداسیون اسیدهای چرب، اکسیداسیون در حین تنفس نوری و انتقال الکترون در زنجیره تنفسی میتوکندری‌ها دارد (Preston et al., 2001). بررسی‌ها نشان داده‌اند که در اثر تنش، کاتالاز در بیشتر گیاهان افزایش می‌یابد (Luna et al., 2004) و در موارد زیادی هم ثابت می‌ماند یا حتی کاهش پیدا می‌کند (Turkan et al., 2005).

از طرف دیگر، افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز (Hakimi, 2015; Pandey et al., 2013) و محتوای مالون دی‌آلدئید و پرولین (Ding et al., 2004;

^۱ Peroxidation^۲ Electrolytes

ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی این دو گونه به آلودگی‌های محیط شهری در تهران انجام گرفت.

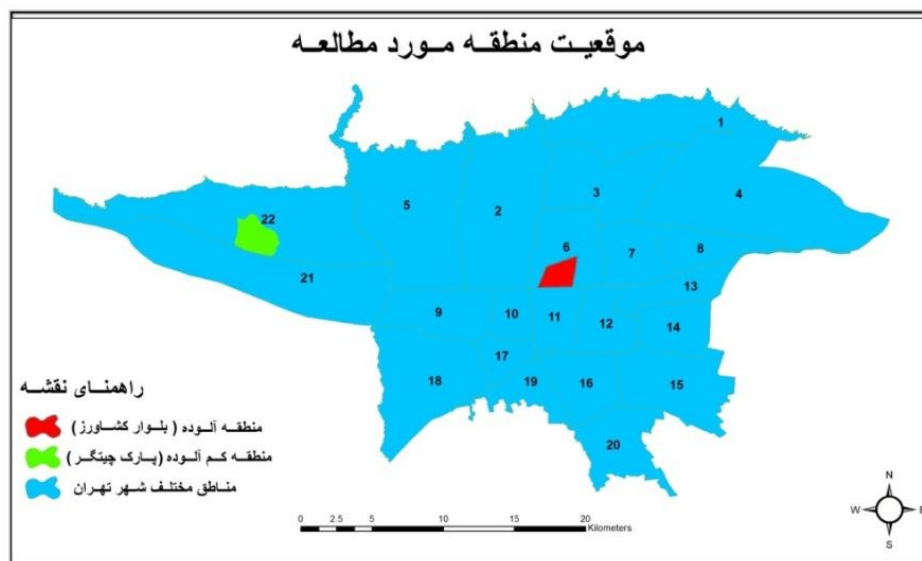
مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

تحقیق حاضر در دو منطقه آلوده (بلوار کشاورز) و کم‌آلوده (پارک جنگلی چیتگر) انجام گرفت (شکل ۱). بنابر آمار سازمان کنترل کیفیت هوای تهران (AQCC, 2014)، بر اساس شاخص‌های کیفیت هوا از جمله ذرات معلق و آلاینده‌های گازی، مناطق مرکزی شهر از جمله بلوار کشاورز، از آلوده‌ترین نقاط و مناطق غربی شهر از جمله پارک جنگلی چیتگر از پاک‌ترین مناطقند (جدول ۱).

(Nadgorska-Socha et al., 2011; Singh et al., 2012) تحت تنش آلودگی گزارش شده است. همچنین کاهش اندازه برگ (Dineva, 2004; Pourkhabaz et al., 2010) و درصد رطوبت برگ (Chauhan, 2010) تحت آلودگی شهری بیان شده است.

یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کاشت درختان در محیط شهری، مقاوم بودن به آلودگی‌های شهری است. آگاهی از اینکه درختان چقدر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیکی خود را برای حذف آثار ناشی از تنش تغییر می‌دهند، به ما در انتخاب گونه مناسب کمک می‌کند. در شهر تهران، درختان چنار (*Platanus orientalis*) و کاج تهران (*Pinus eldarica*) از مهم‌ترین گونه‌های درختی فضای سبز شهری اند که سطح چشمگیری را پوشش داده‌اند. بنابراین مطالعه حاضر با هدف شناسایی پاسخ



شکل ۱- موقعیت بلوار کشاورز (منطقه آلوده) و پارک جنگلی چیتگر (منطقه کم‌آلوده) در تهران

جدول ۱- میانگین غلظت سالیانه آلاینده‌های هوا در ایستگاه‌های هوا و مقدار استاندارد تعریف‌شده آنها برای ایران

ایستگاه	SO ₂ (ppm)	CO (ppm)	PM ₁₀ (ug/m ³)	O ₃ (ppb)	NO ₂ (ppb)
بلوار کشاورز	۲۱	۲/۶	۷۲	۳۲	۵۹
پارک جنگلی چیتگر	۱۴	۱/۸	۷۵	۳۱	۳۲
استاندارد	۷	۴	۲۰	۵۰	۲۱

روش پژوهش

نمونه‌برداری

نمونه‌برداری برگ‌های چنار در شهریور ۱۳۹۴ انجام گرفت. به این منظور، ۲۰ اصله درخت سالم و متقارن انتخاب و ۳ برگ از جهت جنوبی تاج هر درخت (۱۰ اصله در منطقه آلوده و ۱۰ اصله در منطقه کم‌آلوده) نمونه‌برداری شد. متوسط سن، ارتفاع و قطر برابر سینه برای کاج تهران به ترتیب ۴۶ سال، ۸/۸ متر و ۲۱ سانتی‌متر و برای چنار به ترتیب ۵۲ سال، ۱۹/۶ متر و ۳۸ سانتی‌متر است. نمونه‌های برگ با پوششی از فویل در نیتروژن مایع تثبیت و بی‌درنگ به فریزر ۸۰- درجه سانتی‌گراد منتقل شدند.

روش هضم و اندازه‌گیری نمونه‌های برگ

۰/۲۵ گرم از پودر هر نمونه را بشر ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته و ۴ میلی‌لیتر اسید سولفوریک به نمونه اضافه شد؛ بشر پس از چند بار تکان دادن به داخل دستگاه Digesdahl انتقال داده شد (دمای مورد نظر دستگاه Digesdahl برای عصاره‌گیری، ۴۴۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد) و وقتی دمای دستگاه به درجه مورد نظر رسید، بشر حاوی نمونه به داخل آن انتقال داده شد. در این مرحله نمونه‌ها ۵ دقیقه درون دستگاه نگهداری شدند؛ سپس ۱۳ میلی‌لیتر آب اکسیژنه از قسمت بالای دستگاه به آن اضافه شد و پس از مصرف کامل آب اکسیژنه از قسمت بالای دستگاه به ترتیب متعلقات آن بیرون آورده شد و در نهایت بشر حاوی نمونه از دستگاه Digesdahl خارج شد. عصاره به‌دست‌آمده پس از سرد شدن، با استفاده از آب مقطر دوبار تقطیر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسید و در نهایت از کاغذ صافی عبور داده شد. محلول به‌دست‌آمده برای سنجش مقدار کروم، نیکل، روی، مس، سرب و کادمیم با دستگاه ICP (Agilent 4500 Series، آمریکا) به کار گرفته شد.

اندازه‌گیری صفات ریخت‌شناسی

سطح برگ با کاغذ میلی‌متری شفاف (کالکی) اندازه‌گیری شد. درصد رطوبت برگ از اختلاف وزن تر

و خشک برگ تقسیم بر وزن تر برگ مطابق رابطه ۱ به‌دست آمد.

$$\text{رابطه ۱} \quad = \text{درصد رطوبت} \\ 100 \times \left\{ \frac{\text{وزن تر برگ}}{\text{وزن خشک برگ}} - \text{وزن تر برگ} \right\}$$

سطح ویژه برگ^۱ از نسبت سطح برگ به وزن خشک برگ به‌دست آمد (رابطه ۲).

$$\text{رابطه ۲} \quad \text{وزن خشک برگ} / \text{سطح برگ} = \text{SLA}$$

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی

- اندازه‌گیری پرولین

به‌منظور اندازه‌گیری اسید آمینه پرولین، از روش Bates et al. (1973) استفاده شد. نمونه‌ها به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شدند.

- اندازه‌گیری مقدار پراکسیداسیون لیپیدی براساس تجمع مالون دی‌آلدهید (MDA)

۰/۲ گرم نمونه برگ در ۲ میلی‌لیتر بافر استخراج (TCA ۱ درصد) هموزن شد و به‌مدت پانزده دقیقه در سانتریفیوژ با سرعت ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه قرار گرفت. ۱ میلی‌لیتر از سوپرناتانت به‌دست‌آمده با ۲ میلی‌لیتر محلول تیوباربیتوریک اسید (TBA ۵ درصد) حاوی اسید تری‌کلرواستیک (TCA ۲۰ درصد) مخلوط شد و ۳۰ دقیقه در حمام آب جوش (۹۵ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفت. سپس نمونه‌ها در آب یخ قرار گرفتند و با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ده دقیقه سانتریفیوژ شدند، تجمع نمونه در طول موج ۵۳۲ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین شد. غلظت MDA با استفاده از ضریب تصحیح 0.155 μmol-1cm-1 محاسبه و براساس واحد μmolg⁻¹FW بیان شد (Heath & Packer, 1968).

- اندازه‌گیری کمی آنزیم کاتالاز

فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از روش

¹ Specific leaf area (SLA)

تصادفی انجام پذیرفت. داده‌ها در نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل شدند و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج

غلظت کادمیم، سرب، روی و کروم

نتایج تجزیه واریانس عناصر کادمیم، سرب، روی و کروم برای کاج تهران و چنار در منطقه کم‌آلوده و آلوده نشان داد که این عناصر در سطح گونه و منطقه معنی دارند، ولی اثر متقابل آنها فقط برای کروم معنی دار بود (جدول ۲).

(Eising & Gerhardt 1998) اندازه‌گیری شد. برای این منظور از ۱۰۰ میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۱ میلی‌مولار و ۲۰۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۳ درصد برای تهیه بافر نهایی کار استفاده شد. سپس ۲ میلی‌لیتر بافر نهایی در کووت ریخته شد و ۱۰ میکرولیتر عصاره به آن اضافه شد. در نهایت تجمع هر نمونه پس از ۱ دقیقه قرائت در دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۴۰ نانومتر و براساس واحد Unit/mg FW محاسبه و گزارش شد.

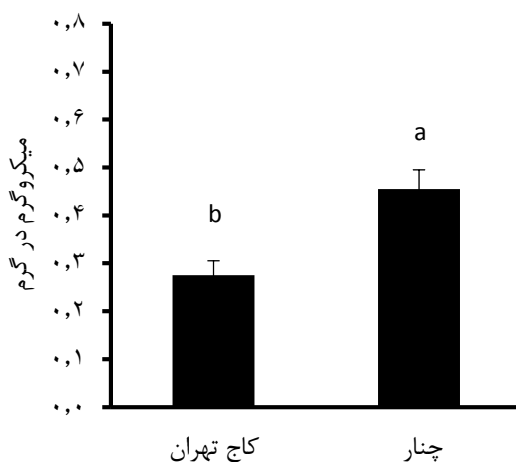
روش تحلیل

این تحقیق به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً

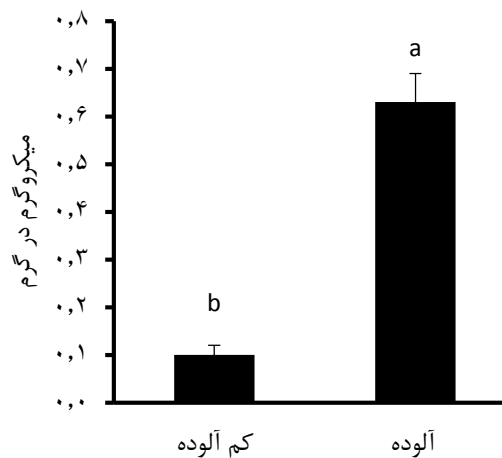
جدول ۲- تجزیه واریانس کادمیم، سرب، روی و کروم برای کاج تهران و چنار در مناطق کم‌آلوده و آلوده

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییرات
کروم	روی	سرب	کادمیم		
۵/۸۸**	۱۹۲*	۱۹۷/۶**	۰/۸۴**	۱	منطقه
۹/۷۲**	۸۱۱۲**	۲۷/۶*	۰/۱۰۵*	۱	گونه
۱/۹۲**	۴۸ ^{ns}	۱۰/۵ ^{ns}	۰/۰۱۹ ^{ns}	۱	گونه×منطقه
۰/۲۷	۳۰	۳/۴۴	۰/۰۱۱	۳۶	خطا

منطقه آلوده (۰/۶ میکروگرم در گرم) بیشتر از منطقه کم‌آلوده (۰/۱ میکروگرم در گرم) به دست آمد (شکل ۲).



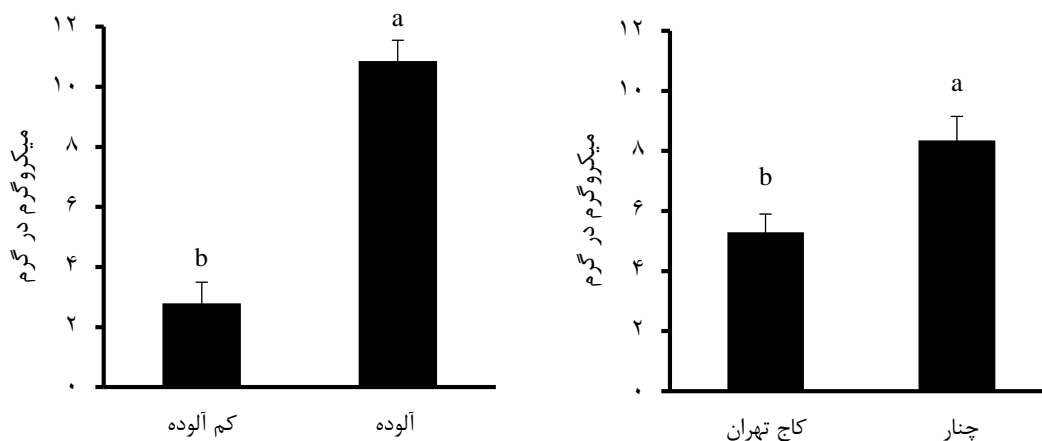
غلظت کادمیم در چنار (۰/۴۵ میکروگرم در گرم) بیشتر از کاج تهران (۰/۲۷ میکروگرم در گرم) و در



شکل ۲- مقایسه غلظت کادمیم در برگ‌های چنار و کاج تهران و در مناطق کم‌آلوده و آلوده

نیز بیشتر از منطقه کم‌آلوده (۲/۸ میکروگرم در گرم) به‌دست آمد (شکل ۳).

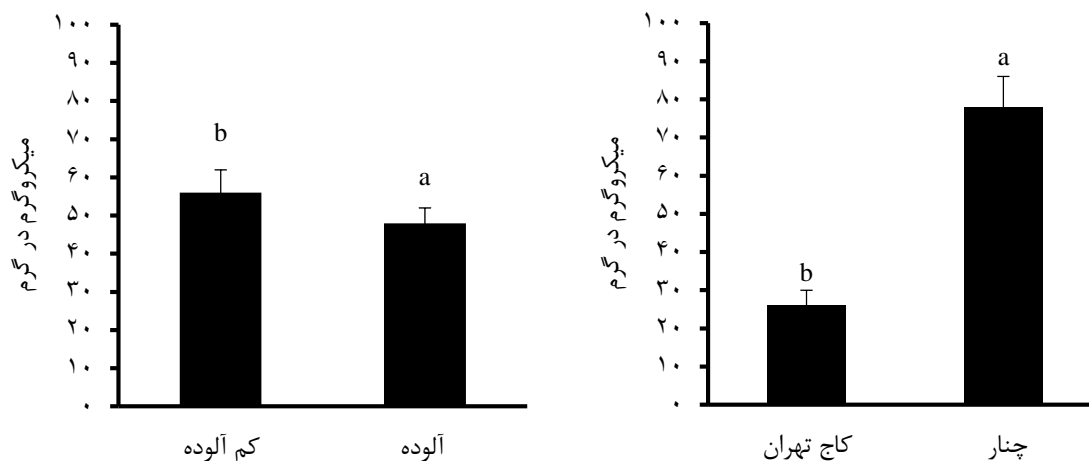
غلظت سرب در چنار (۸/۳ میکروگرم در گرم) به‌طور معنی‌داری بیشتر از کاج تهران (۵/۲ میکروگرم در گرم) و در منطقه آلوده (۱۰/۸ میکروگرم در گرم)



شکل ۳- مقایسه غلظت سرب در برگ‌های چنار و کاج تهران و در مناطق کم‌آلوده و آلوده

منطقه آلوده با ۴۸ میکروگرم در گرم کمتر از منطقه کم‌آلوده با ۵۶ میکروگرم در گرم بود (شکل ۴).

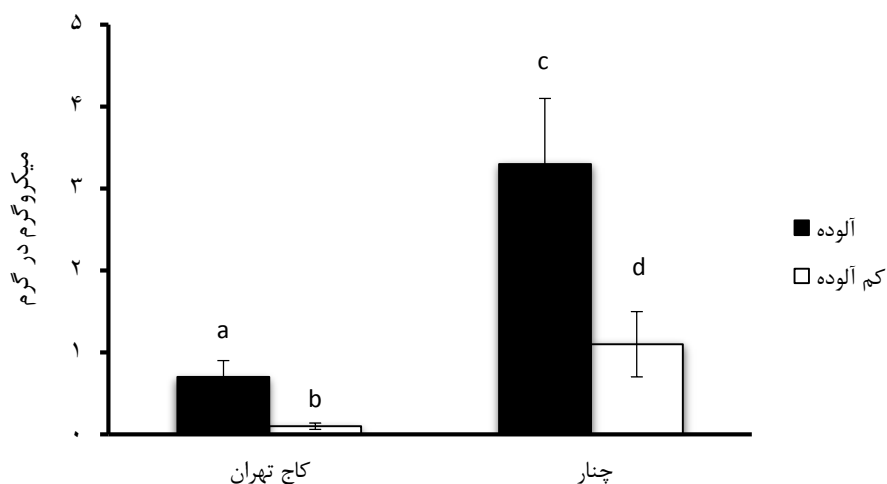
غلظت روی در چنار با ۷۸ میکروگرم در گرم بیشتر از کاج تهران با ۲۶ میکروگرم در گرم و در



شکل ۴- مقایسه غلظت روی در برگ‌های چنار و کاج تهران و در مناطق کم‌آلوده و آلوده

کاج تهران منطقه کم‌آلوده بود (شکل ۵).

بیشترین و کمترین کروم به‌ترتیب با ۳/۳ و ۰/۱ میکروگرم در گرم مربوط به چنار منطقه آلوده و



شکل ۵- مقایسه غلظت کروم در برگ‌های چنار و کاج تهران در مناطق کم‌آلوده و آلوده

معنی‌دار بودند ($p \leq 0.05$) و اثر متقابل گونه و منطقه برای مالون دی‌آلدهید و پرولین معنی‌دار نبود (جدول ۳).

صفات ریخت‌شناسی (سطح برگ، سطح ویژه برگ و درصد رطوبت برگ)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که همه صفات به جز فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح گونه و منطقه

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیک در مناطق آلوده و کم‌آلوده

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		مالون دی‌آلدهید	پرولین	کاتالاز	سطح برگ	درصد رطوبت برگ
گونه	۱	۵۲/۰۸**	۲۰/۸**	۰/۰۰۰۰۰۶**	۱۴۸۳۳۹/۹**	۳۳۸۶/۹**
منطقه	۱	۱۸/۷۵**	۲۹/۴۵**	۰/۰۰۰۰۱۸ ^{ns}	۹۱۸/۴۳**	۱۱۹**
گونه * منطقه	۱	۴/۰۸ ^{ns}	۵/۶ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۲۶**	۹۱۹/۰۶**	۱۸/۷۵**
خطا	۳۶	۳/۵	۱/۲۵	۰/۰۰۰۰۰۰۳	۱۰/۲۵	۰/۴۵
CV %		۲۶/۴۱	۳۴/۲۷	۰/۰۰۰۱۸	۲/۸۷	۱/۴

به‌دست آمد، ولی تفاوت معنی‌داری برای کاج تهران بین دو منطقه آلوده و کم‌آلوده مشاهده نشد. درصد رطوبت برگ چنار در منطقه آلوده (۵۹/۸ درصد) به‌طور معنی‌داری کمتر از منطقه کم‌آلوده (۶۸/۶ درصد) به‌دست آمد. این مقدار برای کاج تهران در منطقه آلوده و غیرآلوده به‌ترتیب ۲۸/۷ و ۳۲/۵ درصد بود (جدول ۴).

سطح برگ برای چنار در منطقه آلوده (۲۰۵ سانتی‌متر مربع) کمتر از منطقه کم‌آلوده (۲۴۰ سانتی‌متر مربع) به‌دست آمد، ولی تفاوت معنی‌داری برای کاج تهران بین منطقه آلوده (۰/۱۳۱ سانتی‌متر مربع) و منطقه کم‌آلوده (۰/۱۳۷ سانتی‌متر مربع) مشاهده نشد (جدول ۳). سطح ویژه برگ چنار در منطقه آلوده (۱۳۳/۷ سانتی‌متر مربع بر گرم) کمتر از منطقه کم‌آلوده (۱۳۳/۷ سانتی‌متر مربع بر گرم)

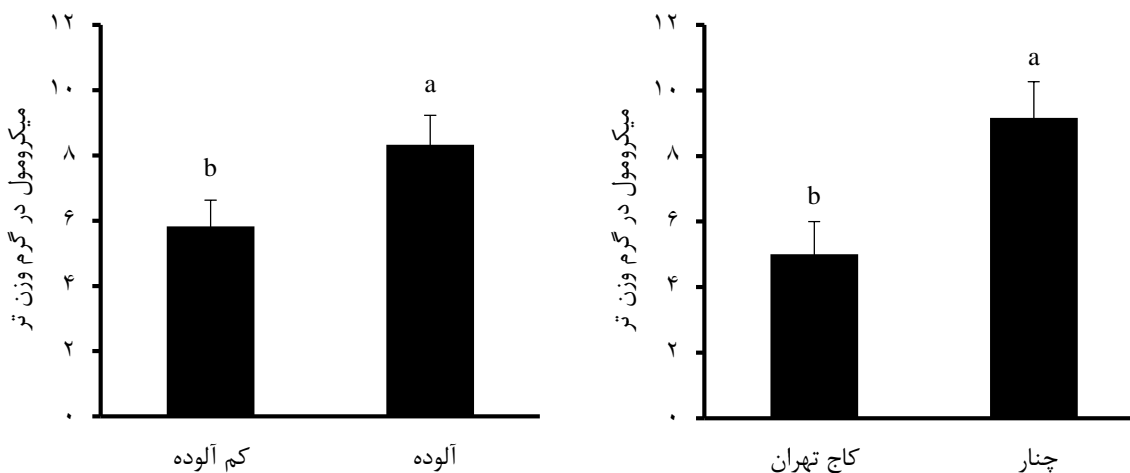
جدول ۴- صفات ریخت‌شناسی چنار و کاج تهران در مناطق آلوده و کم‌آلوده (پارک جنگلی چیتگر)

پارامتر	چنار آلوده	چنار کم‌آلوده	کاج آلوده	کاج کم‌آلوده
سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	**۲۰۵	۲۴۰	ns. ۰/۱۳۱	۰/۱۳۷
رطوبت برگ (درصد)	**۵۹/۸	۶۸/۶	**۲۸/۷	۳۲/۵
سطح ویژه برگ (سانتی‌متر مربع بر گرم)	**۱۳۳/۷	۱۴۲/۵	ns. ۰/۰۵۱	۰/۰۵۵

صفات فیزیولوژیک (مالون دی‌آلدهید، پرولین و فعالیت کاتالاز)

غلظت مالون دی‌آلدهید در چنار (۹/۱) میکرومول در گرم وزن تر) به‌طور معنی‌داری بیشتر از کاج تهران (۵ میکرومول در گرم وزن تر) و در منطقه آلوده (۸/۳)

میکرومول در گرم وزن تر) نیز بیشتر از منطقه کم‌آلوده (۵/۸) میکرومول در گرم وزن تر) به‌دست آمد (شکل ۶).

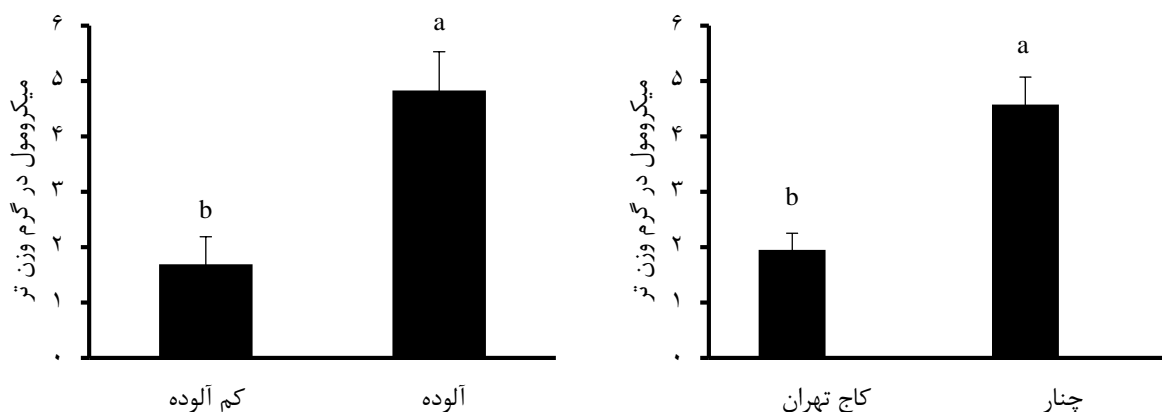


شکل ۶- محتوای مالون دی‌آلدهید (MDA) در کاج تهران و چنار در مناطق کم‌آلوده و آلوده

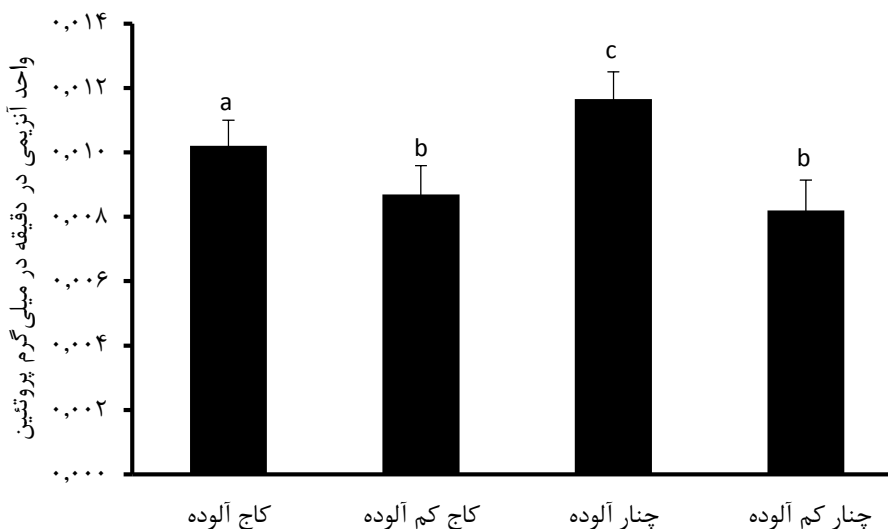
پروتئین) کمتر از منطقه آلوده بود (۰/۰۱۰۲ واحد آنزیمی در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین)؛ این مقدار برای چنار نیز در منطقه کم‌آلوده (۰/۰۰۸۲ واحد آنزیمی در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) کمتر از منطقه آلوده (۰/۰۱۱۶ واحد آنزیمی در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) گزارش شد (شکل ۸).

غلظت پرولین در چنار با ۴/۵ میکرومول در گرم وزن تر، بیشتر از کاج تهران با ۲۶ میکرومول در گرم وزن تر و در منطقه آلوده با ۴۸ میکرومول در گرم وزن تر، کمتر از منطقه کم‌آلوده با ۵۶ میکرومول در گرم وزن تر بود (شکل ۷).

فعالیت آنزیم کاتالاز کاج تهران در منطقه کم‌آلوده (۰/۰۰۸۶ واحد آنزیمی در دقیقه در میلی‌گرم



شکل ۷- غلظت پراکسیداز در کاج تهران و چنار در مناطق کم آلوده و آلوده



شکل ۸- فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) در کاج تهران و چنار در مناطق کم آلوده و آلوده

کادمیم در گیاهان ۰/۱ تا ۰/۵ میکروگرم در گرم گزارش شده است (Bowen, 1979; Kabata-Pendias, 1984). در مطالعه حاضر، مقدار تجمع کادمیم در برگ‌های منطقه کم آلوده در حد خطرناک نیست و در دامنه طبیعی آن برای گیاهان است، اما در منطقه آلوده بیشتر از حد طبیعی است. این افزایش مقدار کادمیم در منطقه آلوده نسبت به منطقه کم آلوده، می‌تواند سبب تغییرات نامناسبی در جذب دیگر عناصر مورد نیاز گیاه شود و گیاه را با مشکل

بحث

تجمع فلزات سنگین

در تحقیق حاضر، مقدار کادمیم در منطقه آلوده بیشتر از منطقه کم آلوده به دست آمد. منبع اصلی کادمیم در شهر تهران وسایل نقلیه است. Reeves & Baker (2000) نشان دادند در جایی که مقدار تجمع کادمیم در برگ درختان بیش از حد طبیعی باشد، تجمع سایر عناصر مغذی با مشکل مواجه می‌شود. در مطالعات پیشین، غلظت طبیعی

سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و محتوای پرولین در برگ‌های *Solanum nigrum* شد، در حالی که غلظت کم کروم، سبب روند مشابهی در *Parthenium hysterophorus* شد.

پاسخ ریخت‌شناسی

درخت برای مقابله با تنش آلودگی سطح برگ‌های خود را کاهش می‌دهد تا تبخیر تعرق کمتری از سطح برگ‌ها انجام گیرد (Jiroodnezhad, 2011). پارامتر سطح برگ برای چنار در منطقه آلوده کمتر از منطقه کم‌آلوده بود. (Songsri et al., 2009) بیان کردند که گیاهان مقاوم‌تر به تنش، SLA کمتری دارند؛ آنان تنش محیطی را عامل محیطی موجد تغییر در اندازه سطح ویژه برگ برشمردند. سطح ویژه برگ شاخصی از ضخامت برگ است که اغلب در شرایط تنش کاهش می‌یابد (Jochner et al., 2015). کاهش سطح برگ در چنار منطقه آلوده هم‌راستا با نتایج مطالعات انجام‌گرفته است، ولی در کاج تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. کاهش سطح ویژه برگ در شرایط تنش به دلیل مقاومت و پایداری گیاه در برابر این شرایط است (Songsri et al., 2009). در شرایط تنش، میزان فتوسنتز گیاه کاهش می‌یابد و از آنجا که برگ‌های ضخیم‌تر، به‌طور معمول تراکم بیشتری از کلروفیل و پروتئین در هر واحد سطح برگ دارند و همچنین از میزان حجم فتوسنتزی بیشتری نسبت به برگ‌های نازک‌تر برخوردارند (Liu & Stutzel., 2004)، در این شرایط ضخامت برگ افزایش و سطح ویژه برگ کاهش پیدا می‌کند. گیاهان دارای سطح ویژه کمتر، حجم نیتروژن بیشتر و سلول‌های مزوفیل بیشتری در هر واحد سطح دارند که موجب آسیمیلاسیون بیشتری از دی‌اکسیدکربن می‌شود که به تولید بیشتر زی‌توده می‌انجامد. کاهش درصد رطوبت برگ در منطقه آلوده نسبت به منطقه کم‌آلوده در چنار و کاج تهران از دیگر راهکارهای این گونه‌های درختی برای مقابله با آلودگی محیط شهری است. مقدار کاهش

مواجه کند (Küpper & Leitenmaier, 2013). سرب از سمی‌ترین فلزات سنگین است که کاهش جوانه‌زنی و رشد گیاهچه در اثر سمیت آن مشاهده شده است. افزایش حدود چهاربرابری سرب در منطقه آلوده نسبت به منطقه کم‌آلوده مشاهده شد. منبع اصلی سرب در شهر تهران، سوختن بنزین سرب‌دار در ماشین‌هاست (Khosropour et al., 2013). جابه‌جایی و حرکت سرب در گیاه کم است، یعنی حرکت و انتقال سرب از ریشه به اندام هوایی خیلی ضعیف است و اغلب از طریق روزنه‌ها وارد گیاه می‌شود (Günthardt-Goerg & Vollenweider, 2007). بنابراین، آنچه در برگ‌های کاج تهران و چنار مشاهده می‌شود به مقدار سرب موجود در هوا مربوط است. (Pourkhabaz et al., 2010) نشان داد که مقدار تجمع سرب در برگ‌های چنار در منطقه شهری (آلوده) و روستایی (کم‌آلوده) تفاوت معنی‌داری دارد که با نتایج تحقیق حاضر همسوست. (Kord et al., 2010) کاهش معنی‌داری را در مقدار سرب در منطقه شاهد نسبت به منطقه آلوده برای گونه کاج تهران مشاهده کردند. کروم موجود در محیط که از طریق فعالیت‌های صنعتی (Dixit et al., 2002) و فعالیت انسانی ایجاد می‌شود، از جمله نگرانی‌های اصلی زیست‌محیطی است، زیرا تخلیه کروم به محیط زیست خیلی سریع‌تر از سرب و کادمیم است (Zayed & Terry, 2003). گزارش شده است که غلظت زیاد کروم در گیاه فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش و مقدار محتوای کلروفیلی را کاهش می‌دهد (Qin et al., 2014). مقدار کروم در منطقه آلوده بیشتر از حد طبیعی (۰/۱ تا ۰/۵ میکروگرم در گرم) گزارش شده برای گیاه است؛ یکی از دلایل اصلی تغییر پارامترهای ریخت‌شناسی و فیزیولوژیک این گونه‌ها در تهران، افزایش زیاد این عنصر در اثر فعالیت‌های صنعتی است. (Uddin et al., 2015) بیان کردند که گونه‌های مختلف، واکنش متفاوتی به مقدار تجمع آلاینده دارند. آنها نشان دادند که غلظت زیاد کروم

پروکلین با سمیت‌زدایی ROS سبب تحمل گیاه به آلاینده‌ها می‌شود تقویت می‌کند. بنابراین تجمع پروکلین می‌تواند به‌عنوان شاخصی از تحمل به تنش فلزات سنگین مطرح شود.

افزایش مقدار MDA در منطقه آلوده نسبت به منطقه کم‌آلوده گزارش شد که نشان‌دهنده تولید ROS و پراکسیداسیون لیپیدی بیشتر در این سطح از تنش است. مطالعات نشان داده که در صورت بروز تنش در گیاه، اولین محل درک تنش غشاهای سلولی‌اند و در نتیجه اولین خسارت‌های ایجادشده در گیاه و به تبع آن اولین پاسخ‌ها به تنش را نیز می‌توان در غشاهای سلولی مطالعه کرد. از جمله تغییرات صورت‌گرفته در غشای سلولی می‌توان به تغییر فشار اسمزی غشا و در نتیجه پتانسیل غشایی اشاره کرد. در این صورت توازن تبادل یون‌ها از غشای سلولی به هم می‌خورد و خروج یون‌ها از محیط سیتوپلاسمی به محیط آپوپلاستی افزایش می‌یابد که این اتفاق سبب چروکیدگی سلول می‌شود و در صورت طولانی شدن تنش، مرگ گیاه را به‌همراه دارد. نشت الکتروولت‌ها ضمن آسیب زدن به غشای سلولی، ممکن است پراکسیداسیون لیپیدی را نیز در پی داشته باشد. پراکسیداسیون لیپیدی آسیبی اکسیداتیو است که بر غشاهای سلولی، لیپوپروتئین‌ها و سایر مولکول‌های حاوی لیپید تحت شرایط تنش اکسیداتیو تأثیر می‌گذارد. پراکسیداسیون لیپیدی به‌دلیل واکنش رادیکال‌های آزاد با اسیدهای چرب غیراشباع غشای سلولی رخ می‌دهد. این پدیده سیال بودن غشاهای بیولوژیکی را کاهش می‌دهد که نتیجه آن افزایش نفوذپذیری برای یون‌های تک و دوارزشی^۲ و غیرفعال شدن آنزیم‌های غشایی است (Jovanović et al., 2013). مالون دی‌آلدید محصول نهایی اکسید شدن لیپیدهای غشاست و زمانی که

رطوبت (۸/۸ درصد) در چنار بیشتر از کاج تهران (۴/۸ درصد) بود. یعنی واکنش چنار به تنش آلودگی در محیط شهری در راستای کاهش آب محتوای سلولی سریع‌تر از کاج تهران است و به این تنش حساس‌تر است. آب تأثیر مهمی در واکنش‌های فیزیولوژیکی گیاه دارد. گیاه در حالت تنش آلودگی مقدار آب موجود در برگ‌ها را کاهش می‌دهد تا انرژی کمتری برای کنش‌ها و واکنش‌های داخل سلولی صرف کند، ولی این امر تا اندازه‌ای سبب کاهش رشد گیاه می‌شود (Sawidis et al., 2011). Joshi & Swami (2007) تأثیرپذیری رطوبت برگ و مقدار کلروفیل در گونه‌های *Mangifera indica* و *Tectonia grandis*، *Eucalyptus citriodora* و *Shorea robusta* از آلودگی شهری را در طول سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ بررسی کردند. بیشترین ضریب مقاومت به آلودگی هوا (APTI) مربوط به گونه *S. robusta* و کمترین آن مربوط به گونه *M. indica* به ترتیب با ۹/۰۲ و ۶/۷۶ بود.

پاسخ فیزیولوژیک

پروکلین نوعی آمینواسید و آنتی‌اکسیدانی غیرآزمی است که در موجودات زنده به‌خصوص در گیاهان تحت تنش‌های محیطی تجمع می‌یابد (Cvikrová et al., 2013). القای تجمع پروکلین در پاسخ به تنش‌های غیرزنده ممکن است به‌دلیل افزایش سنتز مجدد^۱ یا کاهش تجزیه آن باشد (Verslues et al., 2014). مقدار تغییر معنی‌دار در منطقه آلوده نشان‌دهنده درک تنش توسط چنار و کاج تهران و استفاده از آنتی‌اکسیدانی غیرآزمی (پروکلین) برای دفع سمیت آلاینده‌هاست. در گیاهان مختلف نتایجی مبنی بر افزایش پروکلین تحت تنش فلزات سنگین گزارش شده است (Hayat et al., 2012; Hayat et al., 2013; Sheetal et al., 2016). در تحقیق حاضر، افزایش تجمع پروکلین به‌عنوان نوعی آنتی‌اکسیدان در سطوح بالای تنش، این فرضیه را که

^۱ de novo synthesis

^۲ uni- and divalent ions

آب را کاتالیز می‌کند. در تحقیق حاضر، فعالیت کاتالاز در منطقه آلوده بیشتر از منطقه کم‌آلوده برای چنار و کاج تهران گزارش شد. در مطالعه گیاهان تحت تنش، زیرواحدهای کاتالاز در سیتوپلاسم یافت شده‌اند، در حالی که سنتز آنزیم در پراکسیزوم کامل می‌شود. بیان ایزوآنزیم‌های (آیزوآنزیم‌ها) ویژه‌ای از کاتالازها برای مقابله با تنش اکسیداتیو ناشی از تنش‌های محیطی، مهم و ضروری است و در این صورت باید انتظار داشت فعالیت کاتالاز طی تنش افزایش یابد تا ساختار دفاعی را در گیاه حفظ کند. تنش آلودگی هوای شهری در تهران سبب تجمع H_2O_2 می‌شود که چنار و کاج تهران برای جلوگیری از تجمع و غلظت زیاد H_2O_2 و دیگر ROSها در سلول، فعالیت ایزوآنزیم‌های کاتالاز را افزایش می‌دهند. (Hakimi, 2015) نشان داد که فعالیت کاتالاز تحت تنش سرب و کادمیم در گونه‌های ارغوان و زرشک به شدت افزایش یافت. با توجه به نتایج تحقیق می‌توان بیان کرد که کاج تهران به نسبت مقاوم‌تر است، ولی از طرف دیگر مقدار تجمع آلاینده نیز در این گونه کمتر از چنار است. تأثیرپذیری بیشتر چنار، ممکن است به دلیل جذب زیاد آلاینده‌ها توسط این گونه نسبت به کاج تهران باشد. در نتیجه می‌توان گفت چنار، گونه‌ای با بیش‌انباشت زیاد آلاینده‌هاست، ولی به شدت از نظر ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

گیاهان با تنش‌های اکسیداتیو روبه‌رو می‌شوند تجمع می‌یابد. غلظت MDA اغلب به‌عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپیدی در سطوح تنش مطرح می‌شود (Ding et al., 2004; Osma et al., 2016). غشاهای سلولی گیاه به‌عنوان جایگاه‌های اولیه صدمات ناشی از فلزات مطرح می‌شوند (Ding et al., 2004). در این تحقیق افزایش مقدار فلزات سنگین در برگ، سبب افزایش مقدار MDA شد. نتایج مشابهی در گیاه *Lonicera japonica* در تنش کادمیم (Jia et al., 2013) و گیاهان زرشک و ارغوان در تنش کادمیم و سرب (Hakimi, 2015) گزارش شده است. تحقیقات نشان داده است که سرب احتمالاً به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم مقادیر ROS را افزایش و سیستم آنتی‌اکسیدانی دفاع سلولی را کاهش می‌دهد که نتیجه آن، نبود تعادل بین رادیکال‌های آزاد و آنتی‌اکسیدان‌هاست. علاوه بر این، سرب می‌تواند به‌صورت مستقیم به دیواره سلولی متصل شود و حساسیت غشا به پراکسیداسیون لیپیدی را افزایش دهد (Jovanović et al., 2013). مقدار تجمع MDA در کاج تهران تحت تنش کمتر از چنار است. توان بیشتر گیاه برای مقابله با ROS تولیدشده در شرایط تنش و حفظ ساختار و عمل غشاهای سلولی می‌تواند دلیل این موضوع باشد. آنزیم کاتالاز تجزیه پراکسید هیدروژن به اکسیژن و

References

- Bloch, K., Shichman, E., Vorobeychik, M., Bloch, D., & Vardi, P (2007). Catalase expression in pancreatic alpha cells of diabetic and non-diabetic mice. *Histochemistry and cell biology*, 127(2), 227-232.
- Borsani, O., Valpuesta, V., & Botella, M.A. (2001). Evidence for a role of salicylic acid in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in Arabidopsis seedlings, *Plant physiology*, 126(3), 1024-1030.
- Bowen, H. (1979). *Environmental chemistry of the elements*. Academic press.
- Chauhan, A. (2010). Tree as bioindicator of automobile pollution in Dehradun city: A case study. *New York Science Journal*, 3(6), 88-95.

- Cvikrová, M., Gemperlová, L., Martincová, O., & Vanková, R. (2013). Effect of drought and combined drought and heat stress on polyamine metabolism in proline-over-producing tobacco plants. *Plant physiology and biochemistry*, 73, 7-15.
- Dineva, S.B. (2004). Comparative studies of the leaf morphology and structure of white ash *Fraxinus americana* L. and London plane tree *Platanus acerifolia* Willd growing in polluted area. *Dendrobiology*, 52, 3-8.
- Ding, H.D, Wan, Y.H., Qi, N.M., Zhu, W.M., Yang, X.F., & Shao, Y.C. (2004). Effects of Cd²⁺ And Zn²⁺ stress on antioxidant enzyme system of tomato seedlings. *Acta Agriculturae Shanghai*, 20, 79-82.
- Dixit, V., V. Pandey, & Hyam, R. (2002). Chromium ions inactivate electron transport and enhance superoxide generation in vivo in pea (*Pisum sativum* L. cv. Azad) root mitochondria. *Plant Cell Environment*, 25, 687-693.
- Eising R., Gerhardt, B. (1989). Catalase synthesis and turnover during peroxisome transition in the cotyledons of *Helianthus annuus* L. *Plant Physiology*, 89, 1000-1005.
- Günthardt-Goerg, M.S., & Vollenweider, P. (2007). Linking stress with macroscopic and microscopic leaf response in trees: new diagnostic perspectives. *Environmental Pollution*, 147, 467-488.
- Hakimi, L. (2005). Assessing the phytoremediation and physico-enzymatic activities of *erberis integerrima* and *Cercis siliquastrum* to Pb and Cd stress. Ph. D dissertation, Islamic Azad university, Tehran, p. 161.
- Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M.N., & Ahmad, A. (2013). Proline enhances antioxidative enzyme activity, photosynthesis and yield of *Cicer arietinum* L. exposed to cadmium stress. *Acta Botanica Croatica*, 72(2): 323-335.
- Hayat, S., Hayat, Q. Alyemeni, M.N., Wani, A.S., Pichtel, J. & Ahmad, A. (2012). Role of proline under changing environments: a review. *Plant signaling and behavior*, 7(11), 1456-1466.
- Heath, R.L., & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Arch of Biochemistry and Biophysics*, 125, 189-198.
- Jafari, A. (2014). *Plant Anatomy*, Ferdowsi University press. pp. 640.
- Jia, L., He, X., Chen, W., Liu, Z., Huang, Y., & Yu, S. (2013). Hormesis phenomena under Cd stress in a hyperaccumulator—*Lonicera japonica* Thunb. *Ecotoxicology*, 22(3), 476-485.
- Jiroodnezhad, R., Bayramzadeh, V., Shirvany, A., Ahmadi, T., Jalali, J., & Shahpouri, Z. (2011). The reaction of *Acer velutinum* to soil contamination. *The Science and Engineering of Forest*, 1(2), 71-80.
- Jochner, S., Markevych, I., Beck, I., Traidl-Hoffmann, C., Heinrich, J., & Menzel, A. (2015). The effects of short-and long-term air pollutants on plant phenology and leaf characteristics, *Environmental Pollution*, 206: 382-389.
- Kabata-pendias, A., & Pendias, H. (1984). *Trace elements in soils and plants*, CRC, Florida, 448 pp.
- Khosropour, E., Attarod, P., Shirvany, A., Matinizadeh, M., & Fathizadeh, O. (2013). Lead and cadmium concentrations in Throughfall of *Pinus eldarica* and *Cupressus arizonica* plantations in a semi-arid polluted area (Case study: Chitgar Forest Park). *Caspian Journal of Environmental Science*, 11, 141-150
- Kord, B., Mataji, A., & Babaie, S. (2010). Pine (*Pinus Eldarica* Medw.) needles as indicator for heavy metals pollution. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 7(1): 79-84.
- Küpper, H., & Leitenmaier, B. (2013). *Cadmium-accumulating plants*, In *Cadmium: From toxicity to essentiality* (pp. 373-393). Springer Netherlands.
- Laspina, N.V., Groppa, M.D., Tomaro, M.L., & Benavides, M.P. (2005). Nitric oxide protects sunflower leaves against Cd-induced oxidative stress. *Plant Science*, 169(2), 323-330.

- Leghari, S.K., & Zaidi, M.A. (2013). Effect of air pollution on the leaf morphology of Common plant species of Quetta city. *Pakistan Journal of Botany*, 45, 447-454.
- Liu, F., & Stützel, H. (2004). Biomass partitioning, specific leaf area, and water use efficiency of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp.) in response to drought stress. *Scientia horticulturae*, 102(1), 15-27.
- Luna, C.M., C.A. Gonzalez, and V.S. Trippi, 1994. Oxidative damage caused by an excess of copper in oat leaves. *Plant and Cell Physiology*, 35(1), 11-15.
- Nadgorska-Socha, A., Kandziora-Ciupa, M., Ciepal, R., & Walasek, K. (2011). Effects of Zn, Cd, Pb on Physiological Response of *Silene vulgaris* plants from selected populations. *Polish Journal of Environmental Studies*, 3, 599-604.
- Osma, E., Elveren, M., & Karakoyun, G. (2016). Heavy metal accumulation affects growth of Scots pine by causing oxidative damage. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 1-8.
- Pandey, S., Barai, P.K., & Maiti, T.K. (2013). Influence of heavy metals on the activity of antioxidant enzymes in the metal resistant strains of *Ochrobactrum* and *Bacillus* sp. *Journal of Environmental Biology*, 34(6), 1033.
- Pourkhabbaz A., Rastin N., Olbrich, A., Langenfeld-Heyser, R., & Polle, A. (2010). Influence of environmental pollution on leaf properties of urban plane trees, *Platanus orientalis* L. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 85, 251-255.
- Preston, T.J., Muller, W.J. & Singh, G. (2001). Scavenging of extracellular H₂O₂ by catalase inhibits the proliferation of HER-2/Neu-transformed rat-1 fibroblasts through the induction of a stress response. *Journal of Biological Chemistry*, 276(12), 9558-9564.
- Reeves, R.D., & Baker, A.J. (2000). Metal-accumulating plants. Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment. *Wiley, New York, 2000*, 193-229.
- Sawidis T., Breuste, J., Mitrovic, M., Pavlovic, & Tsigaridas, K. (2011). Trees as bioindicator of heavy metal pollution in three European cities. *Environmental pollution*, 159, 3560-3570.
- Sheetal, K.R., Singh, S.D., Anand, A., & Prasad, S. (2016). Heavy metal accumulation and effects on growth, biomass and physiological processes in mustard. *Indian Journal of Plant Physiology*, 21(2), 219-223.
- Singh, R.S., Awasthi, S.K., Porwal, A., Mishra, M.P., Katiyar, S., & Yadav, M. (2012). Correlation of free radicals and reactive oxygen species in oral premalignant and malignant lesions and their suppression by antioxidants. *Researches of Environmental Life Science*, 5(3), 121-124.
- Songsri, P., Jogloy, S., Holbrook, C.C., Kesmla, T., Vorasoot, N., Akkasaeng, C., & Patanothai, A. (2009). Association of root, specific leaf area and SPAD chlorophyll meter reading to water use efficiency of peanut under different available soil water. *Agricultural water management*, 96(5), 790-798.
- Tehran Air Quality Control Company (AQCC) (2014). *The annual report of air quality in Tehran*, Tehran municipality press.
- Türkan, İ., Bor, M., Özdemir, F., & Koca, H. (2005). Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. *Plant Science*, 168(1): 223-231.
- UdDin I., Bano, A., & Masood, (2015). Chromium toxicity tolerance of *Solanum nigrum* L. and *Parthenium hysterophorus* L. plants with reference to ion pattern, antioxidation activity and root exudation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 113, 271-278.
- Verslues, P.E., Lasky, J.R., Juenger, T.E., Liu, T.W., & Kumar, M.N. (2014). Genome-wide association mapping combined with reverse genetics identifies new effectors of low water potential-induced proline accumulation in Arabidopsis. *Plant physiology*, 164(1), 144-159.
- Zayed, A.M., & Terry, N. (2003). Chromium in the environment: factors affecting biological remediation. *Plant & Soil*, 249, 139-156.



Morphological and physiological properties of *Platanus orientalis* and *Pinus eldarica* leaves to urban pollution in Tehran

E. Khosropour¹, P. Attarod^{2*}, A. Shirvani³, V. Bayramzadeh⁴, M. Moeinaddini⁵, and L. Hakimi⁶

¹Ph.D of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I.R. Iran

² Associate Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I.R. Iran

³ Associate Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I.R. Iran

⁴Associate Prof., Faculty of Agriculture and Natural Resources, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, I.R. Iran

⁵Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I.R. Iran

⁶Assistant Prof., Islamic Azad University, Saveh Branch, Saveh, I.R. Iran

(Received: 11 June 2016; Accepted: 22 August 2016)

Abstract

Urban pollution can damage animals and plants. Leaf is one of the most sensitive organs to air pollution, which can be changed morphologically and physiologically under pollution stress. The present study was conducted to evaluate the accumulation of heavy metals in *Platanus orientalis* and *Pinus eldarica* leaves and also their morphological (leaf area, leaf moisture and specific leaf area) and physiological (malondialdehyd, proline and catalase) responses in the polluted (Center of Tehran) and non-polluted area (Chitgar Forest Park). For this purpose, 20 healthy trees (10 trees of polluted area and 10 trees of non-polluted area) with same age, height and DBH were selected. The results showed the concentration of lead, cadmium, and chromium in the urban area was higher than those obtained in non-polluted area for *Platanus orientalis* and *Pinus eldarica*. Zinc concentration in *Platanus orientalis* leaves of polluted area was less than that in non-polluted area, while there was not observed a significant difference between these areas for Zn in *Pinus eldarica* needles. Leaf moisture of *Platanus orientalis* in polluted area was less than that in non-polluted area, but there was not found a significant difference for leaf area and specific leaf area. Proline and catalase activity in polluted area were more than those in non-polluted area for both *Platanus orientalis* and *Pinus eldarica*, whereas malondialdehyd in polluted area was more in respect to non-polluted area only for *Platanus orientalis*. There was found an increase for malondialdehyd in *Platanus orientalis* leaves in polluted area compared to non-polluted area, but this value was not significant for *Pinus eldarica*. According to the findings, it can be said that *Pinus eldarica* is relatively more tolerate in respect to *Platanus orientalis*, but *Platanus orientalis* is more stronger in accumulating pollutants, which is the main reason of large variations of *Platanus orientalis* compared to *Pinus eldarica*.

Keywords: Malondialdehyd, Proline, Specific Leaf Area, Urban Pollution.

