Archive of SID

زیست‌شناسی گیاهی ایران، سال هشتم، شماره بیست و هشتم، تابستان ۱۳۹۵، صفحه ۶۳-۷۸
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۷/۱۵
تاریخ بررسی مجدد: ۱۳۹۵/۰۲/۲۷
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۴/۱۹

برخی پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بادام (*Prunus amygdalus*) به آلودگی هوای منطقه صنعتی شازند

مهری عسکری مهرآبادی *، فریبا امینی و گلریز فرجی
گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اراک، کد پستی ۸۳۴۹-۸-۳۸۱۵۶، اراک، ایران

چکیده

در دنیای امروز که زندگی انسان بسیار به صنعت وابسته است، در کنار دستاوردهای روزافزون در زمینه کارهای صنعتی مشکلاتی نیز به زندگی انسان تحمیل می‌شود. یکی از مشکلات چالش‌برانگیز، ورود آلاینده‌ها به هوا است که بر زندگی انسان و محیط پیرامون او به ویژه گیاهان آثار مخربی دارد. گیاهان در برابر آلاینده‌های هوا پاسخ‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند. پاسخ گیاهان با توجه به شرایط آب و هوایی، جغرافیایی و گونه گیاهی می‌تواند متفاوت باشد. در پژوهش حاضر، میزان تأثیر آلاینده‌های هوای منطقه صنعتی پالایشگاه، پتروشیمی و نیروگاه شازند واقع در استان مرکزی بر گیاه بادام بررسی شده است. بدین منظور، از برگ بادام در مناطق هفتادقله (منطقه شاهد)، شازند (نزدیکترین شهر به منطقه صنعتی) و کزاز (مجاور منطقه صنعتی) نمونه‌برداری انجام شد. همچنین، نمونه‌های خاک هر سه منطقه جهت تعیین مقادیر سرب و روی موجود در خاک، جمع‌آوری شدند. نتایج، افزایش معنی‌دار پرولین، گوگرد، عناصر سنگین سرب، روی و پراکسیداسیون لیپید را در گیاهان مناطق کزاز و شازند در قیاس با هفتادقله نشان داد در حالی که مقدار رنگیزه‌ها، پروتئین، فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های کاتالاز، گایاکول پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز تغییر معنی‌داری در سه منطقه مورد بررسی نداشت. افزایش میزان گوگرد برگ و عناصر روی و سرب خاک در منطقه کزاز و شازند می‌تواند یکی از دلایل اثبات حضور آلاینده‌ها در این مناطق باشد. افزایش پراکسیداسیون لیپید نشان‌دهنده آسیب‌دیدگی گیاه در برابر آلودگی هوا است. سازوکار دفاعی گیاه در برابر تنش، افزایش آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی پرولین است. عدم تغییر مقدار کلروفیل‌ها و پروتئین مقاومت گیاه را نسبت به تنش منعکس می‌کند.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، پالایشگاه نفت، فلزات سنگین، کزاز، هفتادقله

مقدمه

گیاه درختی بادام *Prunus amygdalus* متعلق به تیره Rosaceae و از دولپه‌ای‌ها است. این درخت اندازه‌ای متوسط، برگ‌های نیزه‌ای با حاشیه دندانه‌دار و

* نگارنده مسؤول: نشانی پست الکترونیک: m-askary@araku.ac.ir، شماره تماس: ۰۸۶۳۴۱۷۳۴۰۱

Copyright©2016, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/BY-NC-ND/4.0), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

www.SID.ir

Archive of SID

دارای گل در اوایل بهار است. پراکندگی آن در ایران در شمال غرب و غرب است (Ghahreman, 1993).

به هر نوع تغییر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی عناصر تشکیل‌دهنده هوا، آلودگی هوا می‌گویند که شامل هر نوع آلاینده اعم از جامد، مایع، گاز و پرتوهای زیانبار است که زندگی جانداران را به خطر می‌اندازد (Nasrollahi and Ghaffari Goolak, 2010). آلودگی هوا در کشورهای در حال توسعه در نتیجه استفاده روزافزون از سوخت‌های فسیلی، مولدها و نیروگاه‌های حرارتی و فعالیت پالایشگاه‌ها و صنایع دیگر ایجاد می‌شود (Assadi *et al*., 2011). آلاینده‌های خطرناک مناطق صنعتی شامل دی اکسید گوگرد (SO_2)، اکسیدهای نیتروژن (NO_X)، مونوکسیدکربن (CO)، اوزون (O_3)، فلزات سنگین و ذرات معلق است. مهم‌ترین آلاینده‌های هوای پالایشگاه‌ها و صنایع با سوخت فسیلی شامل SO_2، NO_2، CO، H_2S و ذرات معلق هستند (Assadi *et al*., 2011).

استان مرکزی از جمله استان‌های صنعتی کشور ایران است که به علت وجود سازه‌های صنعتی مانند پالایشگاه، نیروگاه حرارتی و پتروشیمی جزو استان‌هایی است که آلودگی هوای بالایی دارد (Tulabi *et al*., 2011). به خوبی مشخص شده است که آلودگی هوای صنعتی و شهری یک تهدید جدی برای رشد محصولات گیاهی در مجاورت مناطق صنعتی و شهری است (Avnish and Joshi, 2010). در این راستا، امروزه تلاش‌های بسیاری در جهت یافتن راه‌هایی برای کاهش آلودگی هوا و بررسی آثار آلاینده‌ها بر گیاهان انجام شده است که از این طریق می‌توان میزان آسیب یا مقاومت گیاهان در برابر آلودگی هوا را بررسی کرد و گیاهانی را معرفی نمود که علاوه بر مقاومت در محیط آلوده می‌توانند در پالایش هوا و کاهش آلودگی نقش اساسی را ایفا کنند. برخی گیاهان می‌توانند نقش مهمی را در بهبود کیفیت هوا در مناطق شهری بازی کنند (Yin *et al*., 2011).

آلاینده‌های هوا به طور منفی فرآیندهای شیمیایی گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند و ظرفیت عمل آنها را به دیگر تنش‌ها کاهش می‌دهند (Rai *et al*., 2011). توزیع انواع گیاهان در مناطق شهری به وجود آلاینده‌های هوا و حساسیت گیاهان نسبت به تنش وابسته است (Seyyednejad *et al*., 2011). تنش‌های زیستی و غیرزیستی مانند آلودگی هوا سبب افزایش میزان رادیکال‌های آزاد از جمله گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) می‌شود که همگی آثار مخربی بر مولکول‌های آلی دارند (Tiwari *et al*., 2006؛ Gill and Tuteja, 2010). از جمله نشانه‌های تنش در سطح سلولی، پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی است که نتیجه اثر رادیکال‌های آزاد هستند. بنابراین، محتوای مالون‌دی‌آلدهید حاصل از پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی، می‌تواند به عنوان شاخصی برای آسیب‌های اکسیداتیو استفاده شود (Demiral and Turkan, 2005). تنش سبب پراکسیداسیون لیپیدها، افزایش نفوذپذیری و تراوایی غشای سلولی و در نتیجه تراوش اسمولیت‌ها در گیاهان حساس می‌شود (Elkahoui *et al*., 2005). تنش‌های اکسیداتیو مانند آلودگی هوا با افزایش ROS، سبب آسیب‌های جدی به درشت‌مولکول‌های آلی مثل پروتئین‌ها می‌شوند. تخریب و شکستن پروتئین‌های موجود در گیاه به آمینواسیدهای سازنده‌شان، مهم‌ترین علت کاهش میزان پروتئین در آلودگی هوا است (Tripathi and

www.SID.ir

Archive of SID

.Gautam, 2007)

شرایط فیزیولوژیک گیاهان، با میزان رنگیزه‌های آنها قابل تشخیص است. تغییرات میزان رنگیزه‌ها وابسته به نوع و میزان آلاینده‌ها و گونه گیاهی متفاوت است (Agbaire and Esiefarienrhe, 2009). در مطالعه‌ای، گیاه *Prosopis guliflira* به عنوان حساس‌ترین گونه به آلودگی هوا شناخته شد که میزان کلروفیل آن تحت تنش کاهش یافت، در حالی که میزان کلروفیل گیاهانی مانند *Eucalyptus camaldulensis* و *Albizzia lebbeck* افزایش یافت (Assadi *et al*., 2011؛ Seyyednejad *et al*., 2011). کاروتنوئیدها وظایف متعددی از جمله نقش ساختاری، جاذب نور، محافظت از سیستم فتوسنتزی و کمک به حفظ پایداری پروتئین‌های جمع‌کننده نور را در گیاهان برعهده دارند اما مهم‌ترین عملکرد آنها حفاظت از سلول‌های گیاه در مقابل آسیب‌های مربوط به رادیکال‌های آزاد است. بنابراین، کاهش کاروتنوئیدها می‌تواند تهدیدی جدی برای رنگیزه‌های کلروفیل باشد (Fleschin *et al*., 2003؛ Joshi and Swami, 2009). کاهش مقدار کاروتنوئید به علت تشکیل سولفوریک اسید پس از ترکیب دی اکسید گوگرد با آب در بافت‌های گیاهی است که به دنبال آن این اسید به H^+ و HSO_3^- تجزیه می‌شود و در نهایت، موجب تخریب رنگیزه‌ها می‌گردد (Irshad *et al*., 2011).

گیاهان در برابر رادیکال‌های آزاد دارای سازوکارهای دفاعی آنتی‌اکسیدانی هستند (Gill and Tuteja, 2010). کاتالازها آنزیم‌های تترامریک حاوی گروه هِم هستند که توانایی دیسموتاسیون مستقیم هیدروژن پراکسید به آب و اکسیژن را دارند و برای سمّ‌زدایی اکسیژن‌های واکنش‌گر فعال ضروری هستند (Garg and Manchanda, 2009). پرولین از جمله آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی است (Gill and Tuteja, 2010). نقش‌های فیزیولوژیک متعددی برای تجمع پرولین در واکنش به تنش گزارش شده است که مهم‌ترین آنها تأکید بر نقش پرولین به عنوان یک ماده تنظیم‌کننده اسمزی و عامل حفاظت‌کننده آنزیم‌های سیتوپلاسمی و ساختمان غشا است (Levitt, 1980). تجمع پرولین می‌تواند در سلول‌ها به علت کاهش تخریب پرولین، افزایش سنتز پرولین یا هیدرولیز پروتئین‌ها رخ دهد (Assadi *et al*., 2011). پرولین می‌تواند برطرف‌کننده گونه‌های فعال اکسیژن و محافظ مولکولی برای حفظ ساختار پروتئین باشد (Gill and Tuteja, 2010).

یکی از راه‌های اصلی ورود و تجمع عناصر در برگ، جذب از طریق روزنه‌ها یا کوتیکول برگ‌های بالایی یا هر دو است. ورود فلزات به درون گیاهان از طریق برگ‌ها به علت رسوب گرد و غبار روی آنها محتمل‌تر است (Gostin, 2009). میزان انباشت فلزات در گیاهان با فاصله آنها از محل انتشار آلودگی رابطه عکس دارد (Gostin, 2009). تغییرات فیزیولوژیک گیاهان تحت تأثیر آلاینده‌ها ممکن است پیش از علایم ظاهری اتفاق بیافتد و اگر تغییرات فیزیولوژیک به درستی مورد پایش قرار بگیرند، می‌توانند به عنوان شاخص اولیه برای بررسی آثار زیان‌آور آلودگی هوا بر گیاهان مورد استفاده قرار گیرند. وقتی آلاینده‌ها توسط گیاهان جذب می‌شوند باعث تغییراتی در محتوای کلروفیل، کاروتنوئید، کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، پرولین و عناصر گیاه می‌شوند. بنابراین، بررسی این شاخص‌ها و سایر شاخص‌های بیوشیمیایی می‌تواند اطلاعات ارزشمندی

www.SID.ir

Archive of SID

در مورد وضعیت فیزیولوژیک گیاهان در معرض آلودگی هوا مهیا کنند (Assadi *et al*., 2011). هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر آلاینده‌های هوا بر شاخص‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی فوق در گیاه بادام است.

مواد و روش‌ها

در مطالعه حاضر، آثار آلودگی هوا بر گیاه درختی بادام *Prunus amygdalus* در مناطق هفتادقله، شازند و کزاز بررسی گردید. شازند یکی از شهرستان‌های استان مرکزی در ۳۳ کیلومتری جنوب غربی اراک است و دارای صنایع مهمی از جمله پالایشگاه، پتروشیمی، نیروگاه برق، کارخانه قند و کارخانه رنگ‌سازی روناس است. روستای کزاز در مجاورت منطقه صنعتی پالایشگاه، پتروشیمی و نیروگاه شازند اراک واقع در ۲۵ کیلومتری غرب اراک در موقعیت جغرافیایی ۴۹ درجه و ۲۷ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی و با ارتفاع ۱۸۹۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. منطقه حفاظت شده هفتادقله واقع در ۳۵ کیلومتری شرق شهر اراک با توجه به اطلاعات سازمان حفاظت محیط زیست به عنوان منطقه هفتادقله با شاهد انتخاب گردید. این منطقه دارای اقلیم خشک بیابانی معتدل و نیمه خشک سرد است و در موقعیت جغرافیایی ۵۰ درجه و ۸ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی و با ارتفاع ۱۷۵۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است.

نمونه‌های برگی (برگ‌های جوان سرشاخه‌ها) در خردادماه ۱۳۹۲ از هر سه منطقه: هفتادقله، شازند و کزاز در دو روز متوالی در سه تکرار به صورت کاملاً تصادفی برداشت شد. گیاهان مورد مطالعه تا حد امکان هم‌سن و در یک مرحله رویشی انتخاب شدند. نمونه‌ها در مجاورت یخ و در دمای ۴ درجه سانتیگراد به سرعت به آزمایشگاه منتقل و برگ‌ها از دمبرگ و ساقه جدا شد. سطوح برگ‌ها ابتدا با آب معمولی از خاک و سایر آلودگی‌ها پاک شد، سپس با آب مقطر شسته و کاملاً خشک گردید. برای اندازه‌گیری تعدادی از شاخص‌های فیزیولوژیک از نمونه‌های تازه استفاده شد. برای اندازه‌گیری سایر شاخص‌ها، نمونه‌ها در فریزر ۸۰- درجه سانتیگراد نگهداری شد. تعدادی از نمونه‌ها نیز به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتیگراد قرار داده شد و پس از خشک شدن نمونه‌ها توسط هاون چینی به صورت پودر درآمد و درون ظروف تیره و به دور از رطوبت نگهداری شد که این نمونه‌های خشک شده جهت اندازه‌گیری شاخص‌هایی از قبیل عناصر استفاده گردید. همچنین، از هر سه منطقه هفتادقله، شازند و کزاز از خاک منطقه جهت اندازه‌گیری عناصر نمونه‌برداری شد.

به منظور اندازه‌گیری کلروفیل از روش Arnon (۱۹۴۹) و برای اندازه‌گیری کاروتنوئید از روش Lichtenthaler و Wellburn (۱۹۸۳) استفاده شد. اندازه‌گیری پروتئین به روش Bradford (۱۹۷۶) انجام شد که یک روش ارزیابی ساده پروتئین بر اساس طیف‌سنجی است. برای اندازه‌گیری پراکسیداسیون لیپید غلظت مالون‌دی‌آلدهید (MDA) با استفاده از روش Heath و Parker (۱۹۶۸) به عنوان محصول شاخص واکنش پراکسیداسیون اسیدهای چرب غشا سلول اندازه‌گیری شد. فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (GPOX) بر اساس روش Polle و همکاران (۱۹۹۴)، فعالیت آنزیم کاتالاز نیز با استفاده از روش Cakmak و Marschner (۱۹۹۲) و فعالیت آنزیم

www.SID.ir

Archive of SID

سوپراکسید دیسموتاز با روش Giannopolitis و Ries (۱۹۷۷) محاسبه شد.

اندازه‌گیری پرولین با روش Battes و همکاران (۱۹۷۳) استفاده گردید. بر اساس این روش آمینو اسید آزاد پرولین با معرف نین‌هیدرین در شرایط اسیدی و دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد واکنش داده و تولید ماده رنگی به نام دی کتو هیدرین دی لیدین (dicetohydrindylidene) می‌کند، این ترکیب رنگی به کمک حلال آلی غیرقطبی مثل تولوئن تخلیص می‌شود، در نتیجه از شدت رنگ و میزان جذب می‌توان میزان پرولین را محاسبه کرد.

اندازه‌گیری عناصر سنگین سرب و روی: ۰/۲ گرم از ماده خشک برگی توزین و به هر کدام ۴ میلی‌لیتر نیتریک اسید ۶۵ درصد اضافه و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار داده شد، سپس به مدت ۵ تا ۶ ساعت در آون ۹۰ درجه سانتیگراد قرار گرفته تا NO_2 تبخیر شود. پس از خنک شدن، نمونه‌ها با کاغذ صافی، صاف شده و با آب مقطر به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شدند. برای اندازه‌گیری همین عناصر در خاک، ۲ گرم از خاک مورد مطالعه پس از خشک و الک شدن (الک ۲ میلی‌متری) با ۲/۵ میلی‌لیتر نیتریک اسید غلیظ و ۷/۵ میلی‌لیتر کلریدریک اسید غلیظ به مدت یک شب به حال خود گذاشته شد سپس به دمای ۷۰ تا ۸۰ درجه سانتیگراد منتقل و در نهایت پس از ته‌نشینی رسوبات با نیتریک اسید ۱ درصد به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. محلول‌های استاندارد نیترات روی ($N_2O_2Zn.\ 4H_2O$) و نیترات سرب (N_2O_2Pb) تهیه شد و جذب آنها به همراه نمونه‌ها توسط دستگاه جذب اتمی (مدل AA680، شرکت Shimadzu، ژاپن) خوانده شد. سپس، مقادیر مجهول محاسبه گردید (Celik *et al.*, 2004). اندازه‌گیری گوگرد با روش Hijano و همکاران (۲۰۰۵)، اندازه‌گیری عناصر سدیم و پتاسیم با روش شعله‌سنجی (Wang and Zhao, 1995) و فسفر با روش اسپکتروفتومتری (Kohler *et al.*, 2007) انجام شد.

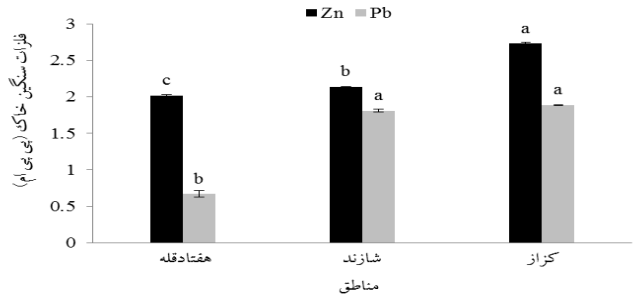
آزمایش‌های انجام شده در سه تکرار و در طرح کاملاً تصادفی انجام شد. برای تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ و برای مقایسه میانگین‌ها از روش آزمون دانکن و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج

اطلاعات مربوط به عناصر سنگین موجود در خاک هر سه منطقه کزاز، شازند و هفتادقله در شکل ۱ نشان داده شده است. مطابق شکل ۱ مقدار عنصر روی موجود در خاک منطقه کزاز و شازند به ترتیب ۳۵ و ۶ درصد نسبت به منطقه حفاظت شده هفتادقله افزایش نشان می‌دهد. بیشترین مقدار عنصر سرب ppm ۱/۸۹ در خاک ناحیه کزاز و کمترین مقدار این عنصر ppm ۰/۶۷ در خاک منطقه حفاظت‌شده هفتادقله اندازه‌گیری شد. مقدار عنصر سرب اندازه‌گیری شده در خاک منطقه کزاز و شازند به ترتیب ۱۸۲ و ۱۷۰ درصد نسبت به منطقه هفتادقله افزایش نشان می‌دهد. بین مقدار سرب منطقه شازند و کزاز اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. با توجه به نتایج آنالیز عناصر سنگین خاک مناطق کزاز، شازند و هفتادقله می‌توان منطقه کزاز را منطقه آلوده، منطقه شازند را منطقه‌ای با آلودگی متوسط و منطقه هفتادقله را با آلودگی کمتر به عنوان منطقه حفاظت شده و شاهد در نظر گرفت.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- تغییرات میزان عناصر سنگین روی Zn و سرب Pb خاک مناطق هفتادقله، شازند و کزاز. خطوط نشان‌دهنده خطای استاندارد SE و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن است. مقایسه برای هر فلز جداگانه انجام شده است.

با توجه به جدول آنالیز واریانس، بین مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، نسبت کلروفیل a/b، کاروتنوئید، پروتئین، فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های کاتالاز، گایاکول پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز تغییرات معنی‌داری بین سه منطقه مشاهده نمی‌شود، اما بین میزان پرولین و پراکسیداسیون لیپید (در سطح ۰/۰۵)، گوگرد، سدیم، پتاسیم، فسفر، عناصر سنگین روی و سرب (سطح ۰/۰۱) اختلافات معنی‌داری بین مناطق کزاز، شازند و هفتادقله مشاهده می‌شود (جدول‌های ۱ و ۲).

جدول ۱- آنالیز واریانس اثر آلودگی هوا بر میزان پرولین، پروتئین، رنگیزه‌های فتوسنتزی و عنصر سدیم در گیاه بادام در سه منطقه هفتادقله، شازند و کزاز. مقایسه هر ستون جداگانه انجام شده است. ns: معنی‌دار نیست *: معنی‌دار در سطح ۰/۰۵، ** : معنی‌دار در سطح ۰/۰۱

منابع تغییر	کلروفیل a	کلروفیل b	نسبت کلروفیل a/b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	پروتئین	پرولین	سدیم
آلودگی هوا	۱/۲۵^{ns}	۰/۶۰۲^{ns}	۱/۰۷۳^{ns}	۰/۹۲۹^{ns}	۰/۲۷۹^{ns}	۰/۴۵۲^{ns}	۶/۶۸۵*	۱۴/۳۵۷**

جدول ۲- آنالیز واریانس اثر آلودگی هوا بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های کاتالاز، گایاکول پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداسیون لیپید، عناصر گوگرد، سرب، روی و پتاسیم درگیاه بادام در سه منطقه هفتادقله، شازند و کزاز. ns: معنی‌دار نیست *: معنی‌دار در سطح ۰/۰۵، ** : معنی‌دار در سطح ۰/۰۱

منابع تغییر	پتاسیم	(CAT)	(GPOX)	(SOD)	(MDA)	S	Pb	Zn	فسفر
آلودگی هوا	۱۲/۳۳۰**	۰/۰۴۲^{ns}	۴/۸۵۰^{ns}	۱/۸۸۵^{ns}	۷/۸۰۷*	۷۰/۶۷۲**	۵۱/۶۱۵**	۸۵/۸۴۸**	۲۵/۶۸۶**

پرولین در برگ گیاه بادام در سه منطقه کزاز، شازند و هفتادقله به ترتیب دارای میانگین‌های ۷/۵۳، ۹/۱۰ و ۳/۸۶ میکرومول بر گرم وزن تر برگ اندازه‌گیری شد که تحلیل آماری داده‌ها نشان می‌دهد میانگین پرولین برگ گیاه بادام در مناطق کزاز و شازند نسبت به منطقه هفتادقله افزایش معنی‌داری (در سطح ۰/۰۵) دارد. درصد افزایش پرولین در برگ گیاه بادام رشد یافته در منطقه کزاز و شازند به ترتیب ۱۷۲/۸ و ۱۵۱/۲۹ درصد مقدار پرولین منطقه هفتادقله به دست آمد (جدول ۳).

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی و تحلیل داده‌ها نشان داد که آلودگی هوا در منطقه کزاز و شازند نسبت به منطقه هفتادقله باعث تغییرات معنی‌داری (در سطح ۰/۰۵) در پراکسیداسیون لیپید در برگ گیاه بادام شده است. در گیاه بادام آلودگی هوا باعث افزایش معنی‌دار پراکسیداسیون لیپید در برگ گیاهان رشد یافته در مناطق شازند و کزاز در مقایسه با منطقه هفتادقله گردید که افزایش فوق به صورت درصد به ترتیب برابر با ۲۵۲/۹۴ و ۱۴۴/۱۱ درصد است (جدول ۳).

میانگین مقدار سدیم در برگ گیاه بادام در مناطق هفتادقله، شازند و کزاز به ترتیب برابر با: ۱۸/۶۶، ۱۵ و ۱۳/۳۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ محاسبه شد. بنابراین، مقدار سدیم برگ گیاه بادام در مناطق شازند و کزاز به ترتیب ۱۹/۶۱ و ۲۸/۵۶ درصد نسبت به منطقه هفتادقله کاهش یافته است (جدول ۳). در گیاه بادام میزان پتاسیم برگ در منطقه شازند و کزاز در مقایسه با منطقه هفتادقله به ترتیب ۲۲/۲۲ و ۲۷/۴۲ درصد کاهش یافته است (جدول ۳). مقدار فسفر فقط در برگ گیاهان رشد یافته در منطقه شازند نسبت به مقدار پتاسیم برگ گیاهان منطقه هفتادقله، افزایش معنی‌دار را نشان می‌دهد. این افزایش برابر با ۷۳/۸۹ درصد است (جدول ۳).

در گیاه بادام بر اساس تحلیل داده‌ها می‌توان بیان نمود که مقدار گوگرد در گیاهان رشد یافته در مناطق شازند و کزاز نسبت به منطقه هفتادقله افزایش معنی‌داری (سطح ۰/۰۱) نشان داد، به طوری که این افزایش به ترتیب برابر با ۳۶۹/۶ و ۵۱۲ درصد است (شکل ۳-A).

بر اساس تحلیل داده‌ها میزان سرب موجود در برگ گیاهان بادام مناطق شازند و کزاز در مقایسه با منطقه هفتادقله تغییرات معنی‌داری (سطح ۰/۰۱) نشان می‌دهد. بیشترین مقدار سرب برابر با ۰/۱۰۹ در برگ گیاهان منطقه شازند و کمترین مقدار ۰/۰۷۳ در برگ گیاهان بادام منطقه هفتادقله اندازه‌گیری شد که تغییرات به صورت افزایش ۴۹/۳ درصد و ۴۱ درصد مقدار سرب برگ در مناطق شازند و کزاز به ترتیب نسبت به منطقه هفتادقله است. بین مقدار سرب موجود در برگ گیاهان بادام منطقه شازند و کزاز اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (شکل ۳-B).

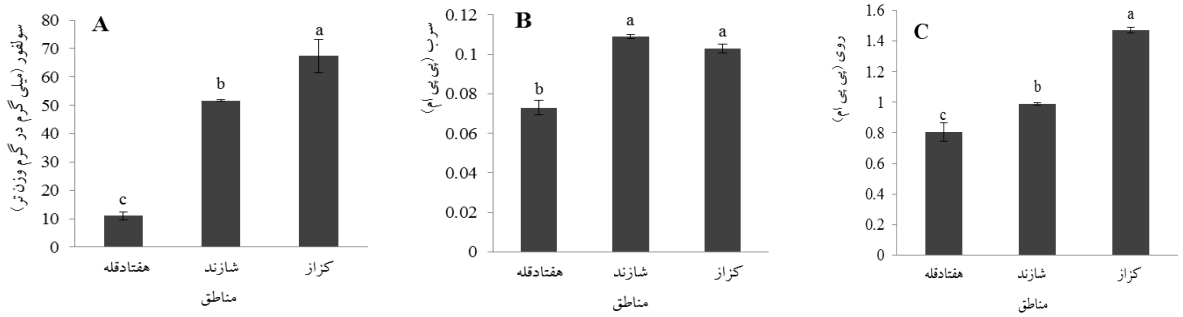
اختلاف معنی‌داری بین مقدار عنصر روی در برگ گیاه بادام در سه منطقه مورد مطالعه (سطح ۰/۰۱) مشاهده می‌شود. میزان افزایش عنصر روی در برگ گیاهان بادام منطقه شازند ۱/۲ برابر و در برگ گیاهان بادام منطقه کزاز ۱/۸ برابر منطقه هفتادقله بود (شکل ۳-C).

جدول ۳- میانگین تأثیر آلودگی هوا بر میزان پرولین و مقدار پراکسیداسیون لیپید (مالون‌دی‌آلدهید (µmole gr^{-1} FW))، مقدار پتاسیم، سدیم و فسفر (وزن خشک برگ (میلی‌گرم بر گرم)) گیاه بادام در سه منطقه هفتادقله، شازند و کزاز. داده‌ها میانگین ۳ تکرار ± خطای استاندارد است. حروف یکسان نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها مطابق آزمون دانکن است. مقایسه برای هر شاخص (هر ستون) جداگانه انجام شده است.

مناطق مورد بررسی	پرولین (µmole gr^{-1} FW)	مالون‌دی‌آلدهید (µmole gr^{-1} FW)	سدیم (mg/gDW)	پتاسیم (mg/gDW)	فسفر (mg/gDW)
منطقه هفتادقله	۳/۸۶^{b}±۰/۳۳	۰/۳۴^{b}±۰/۰۸	۱۸/۶۶ ^{a}± ۰/۸۸۱	۴۵/۰۰ ^{a}±۱/۱۵۴	۰/۲۲۶ ^{b}±۰/۰۱۷
منطقه شازند	۹/۷۰^{a}±۰/۱	۱/۲^{a}±۰/۱۷	۱۵/۰۰ ^{b}±۰/۵۷۷	۳۵/۰۰ ^{b}±۱/۵۲۷	۰/۳۹۳ ^{a}±۰/۰۳۵
منطقه کزاز	۱۰/۵۳^{a}±۲/۴	۰/۸۳^{ab}±۰/۱۸	۱۳/۳۳ ^{b}±۰/۶۶۶	۳۲/۶۶ ^{b}±۲/۶۰۳	۰/۱۵۳ ^{b}±۰/۰۱۴

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- تغییرات میزان گوگرد بر حسب میلی‌گرم بر گرم A) وزن تر برگ، B) عنصر سرب و C) روی بر حسب ppm در برگ گیاه بادام در سه منطقه هفتادقله، شازند وکزاز، خطوط نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE) و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن است.

بحث

آلودگی هوا در کشورهای در حال توسعه در نتیجه استفاده‌ی روزافزون از سوخت‌های فسیلی، مولدها و نیروگاه‌های حرارتی و فعالیت پالایشگاه‌ها و صنایع دیگر ایجاد می‌شود (Assadi *et al*., 2011). توزیع انواع گیاهان در مناطق شهری به وجود آلاینده‌های هوا و حساسیت گیاهان نسبت به این تنش وابسته است (Seyyednejad *et al*., 2011). برگ گیاه نسبت به عوامل خارجی از جمله آلاینده‌های هوا از همه قسمت‌های گیاه حساس‌تر است. گیاهان منطقه وسیع برگی را برای برخورد، جذب و تجمع آلاینده‌های هوا مهیا می‌کنند تا سطح آلاینده‌ها را در محیط کاهش دهند (Shannigrahi *et al*., 2004). از طرفی، برگ به علت فراوانی روزنه‌ها مستعدترین قسمت گیاه برای آسیب‌های حاد در تنش آلودگی هوا است (Rai *et al*., 2011).

در این مطالعه، در میزان کلروفیل a، کلروفیل b، نسبت کلروفیل a/b، کلروفیل کل و کاروتنوئید برگ گیاه بادام رشد یافته در مناطق شازند و کزاز نسبت به گیاهان مربوط به منطقه هفتادقله تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج مشابه در گونه‌های گیاه *Bougaihvillea* مشاهده شده است (Akram and El-Yemeni, 2010). شرایط فیزیولوژیک گیاهان، به وسیله میزان رنگیزه‌های آنها و به ویژه کلروفیل به خوبی قابل تشخیص است. از نظر پژوهشگران، حفظ کلروفیل گیاه تحت تنش آلودگی هوا نشانه مقاومت و تحمل گیاه در برابر آلودگی هوا است (Singh and Verma, 2007). میزان کاروتنوئید برگ‌های گیاه *Bougaihvillea* spp. که در مکان‌هایی با آلودگی بالای هوا رشد کرده بودند، نسبت به منطقه شاهد تغییر معنی‌داری نکرده است و رنگیزه‌های گیاه تغییر زیادی نداشته‌اند (Akram and El-Yemeni, 2010). با توجه به این که کاروتنوئیدها در برابر فرآیندهای فتواکسیداتیو خطرناک از بخش‌های فتوسنتزی محافظت می‌کنند (Joshi and Swami, 2009)؛ بنابراین، چنین پاسخ‌هایی در گیاه نوعی سازگاری آن به آثار نامطلوب آلودگی هوا است (Abedi *et al*., 2009).

در مطالعه حاضر، نتایج نشان داد که میزان پروتئین موجود در برگ گیاه بادام در سه منطقه هفتادقله، شازند

www.SID.ir

Archive of SID

و کزاز اختلاف معنی‌داری نداشت. مشابه تأثیر آلودگی دی اکسید گوگرد بر محتوای پروتئین در گیاهان یونجه و شبدر که تغییر معنی‌داری ایجاد نکرد (Murray, 1985). تنش‌های اکسیداتیو مختلف مانند آلودگی هوا ممکن است میزان ROS را بالا ببرند که موجب ایجاد آسیب‌های جدی به درشت‌مولکول‌های آلی مثل پروتئین‌ها می‌شود. برای مثال، آلاینده‌هایی از قبیل دی اکسید گوگرد، دی اکسید نیتروژن و اوزون از طریق تولید ROS باعث کاهش پروتئین گیاه می‌شوند (McCord, 2000). بنابراین، عدم تغییر میزان پروتئین در برگ گیاه بادام در سه منطقه مورد مطالعه را می‌توان در نتیجه مقاومت این گیاه در برابر تنش آلودگی هوا به حساب آورد (Murray, 1985).

در مطالعه حاضر، میزان پرولین در برگ گیاه بادام در مناطق کزاز و شازند در مقایسه با منطقه حفاظت‌شده هفتادقله افزایش معنی‌داری را نشان داد. تحقیقات زیادی افزایش آمینو اسید پرولین را تحت تنش آلودگی هوا نشان داده است. در یک مطالعه روی گیاه *Eucalyptus camaldulensis* رشد یافته در منطقه آلوده، مقدار پرولین در گیاهان منطقه آلوده نسبت به منطقه شاهد ۳۵۵/۶۲ درصد افزایش نشان داد (Seyyednejad *et al*., 2011). در یک بررسی روی گیاهان یونجه و لوبیا در منطقه پالایشگاه شازند اراک نتایج نشان داد که آلودگی هوا باعث افزایش معنی‌دار پرولین برگ و ریشه گیاهان یونجه و لوبیا شد (Amini *et al*., 2015). بیان شده است که پرولین می‌تواند به عنوان یک عامل جمع‌آوری کننده رادیکال‌های آزاد برای حفاظت از گیاهان از آسیب‌های تنش اکسیداتیو عمل کند و یک اسمولیت تجمع‌یافته در پاسخ به تنش‌های متعدد است و امکان دارد در واکنش‌های دفاعی گیاه نیز نقش داشته باشد (Khattab, 2007). افزایش میزان پرولین در دو گونه و *Populus hybrid* و *P. robusta* تحت آلودگی هوا نیز گزارش شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که این افزایش به علت آزاد شدن مقادیر فراوان یون‌های سمّی از جمله آمونیوم است و واکنش آمونیوم با آلفا کتو گلوتارات و تشکیل حدواسط گلوتامات قسمتی از مسیر سنتز پرولین است (Karolewski, 1989). تجمع پرولین در سلول‌ها ممکن است به علت کاهش در تجزیه پرولین، افزایش در سنتز پرولین و هیدرولیز پروتئین‌ها نیز رخ دهد (Fikriye and Omer, 2005). مطالعه اثر آلودگی هوا بر برخی عوامل زیستی در گیاه *Prosopis juliflora*، با انتخاب دو منطقه شاهد و آلوده (اطراف یکی از واحدهای نفتی جنوب کشور)، نشان داد که در گیاهانی که در تماس با آلودگی هوا بودند، مقدار پرولین به طور معنی‌داری افزایش یافته است. این تغییرات، دلیلی بر فعال‌سازی سازوکار محافظتی در این گیاهان در پاسخ به شرایط تنش آلودگی هوا است (Abedi *et al*., 2009). با توجه به این موضوع می‌توان گفت افزایش معنی‌دار مقدار پرولین در گیاه بادام می‌تواند سازوکار حافظتی این گیاه در برابر آلودگی هوا باشد. این افزایش و تجمع پرولین نشان دهنده مقاومت قابل قبول این گیاه در برابر آلودگی هوا در منطقه آلوده است (Assadi *et al*., 2011).

در مطالعه اخیر، مقدار عنصر فسفر برگ گیاهان بادام در مناطق آلوده نسبت به هفتادقله افزایش معنی‌داری را نشان داد. مشخص شده است گیاهانی که به آلودگی هوا مقاوم‌تر هستند مقدار بیشتری از عناصر

www.SID.ir

Archive of SID

را در بافت‌های خود انباشته می‌کنند (Kazmierczakowa, 1975). آلودگی هوا با توجه به انواع آلاینده‌ها موجب تغییر در محتوای عناصر در برگ و ریشه گیاه می‌شود (Carlson, 1979). فسفر یکی از عناصر مورد نیاز گیاهان است که به دلیل این که به شکل معدنی نامحلول یا آلی در خاک وجود دارد، دسترسی گیاه به آن کم است. فسفات‌های معدنی نامحلول به صورت فسفات‌های آلومینیوم، کلسیم و آهن وجود دارند. مقدار فسفات معدنی قابل استفاده برای گیاه به اسیدیته خاک وابسته است، به طوری که بیشترین میزان فسفر معدنی قابل استفاده برای گیاه در اسیدیته ۵/۵ تا ۷ است (Ahemad and Kibret, 2014). اسیدیته بالای خاک مناطق آلوده (به علت باران اسیدی) و به طور خاص در مناطق صنعتی برای در دسترس بودن فسفر مناسب است. این عنصر به خوبی قابل تبادل و انتقال است و غلظت آن در برگ با فعالیت فیزیولوژیک بالا در شروع دوره رشد ارتباط دارد. از آنجا که در گونه‌های گیاهی مقاوم به آلودگی هوا تنفس بالاتری مشاهده شده است، می‌توان گفت که تجمع فسفر در برگ‌های گیاهان آلوده با مصرف انرژی بیشتر برای فرآیندهای سازگاری نیز مرتبط است. مشاهده شده است که در غلظت‌های پایین آلاینده‌ها معمولاً مقدار فسفر در گیاهان آلوده افزایش، در صورتی که در غلظت‌های بالای آلاینده‌ها مانند SO_2 مقدار فسفر کاهش می‌یابد (Tzvetkova and Kolarov, 1996).

در رابطه با مقدار گوگرد نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که مقدار گوگرد در برگ‌های گیاه بادام که از مناطق کزاز و شازند جمع‌آوری شدند نسبت به منطقه هفتادقله افزایش داشت. کاربرد گاز دی اکسید گوگرد بر رشد و نمو گیاه *Eucalyptus rudis* نشان داد که غلظت بالای این گاز به طور معنی‌داری محتوی کل سولفور را افزایش داد (Clarke and Murray, 1990). تحقیقات نشان داده است که گیاهان محتوای کلی سولفور خود را با قرار گرفتن مداوم در معرض گاز دی اکسید گوگرد افزایش می‌دهند. گیاهان عالی می‌توانند محتوای کل سولفور خود را از طریق ایجاد تعادل میان سولفیت و سولفات تنظیم نمایند. این تعادل از راه تشکیل سولفیت در حضور نور و با تشکیل سولفات در تاریکی با روشی مشابه ایجاد می‌شود. قسمتی از SO_2 تجمع یافته توسط گیاه با ذرات معدنی ترکیب شده و به سولفات تبدیل می‌شود که قسمتی از آن در ساختار ذرات آلی مانند آمینو اسیدها و پروتئین‌های شامل سولفور استفاده می‌شود و قسمتی دیگر به عنوان SO_2 و SH_2 توسط عمل تبادل گازی طبیعی حذف می‌شود (Hijano *et al.*, 2005). از این رو، افزایش میزان گوگرد در گیاه بادام غلظت بالای این عنصر در محیط را نشان می‌دهد، همچنین می‌تواند بیانگر نقش پالایندگی این گیاه در برابر آلودگی هوا به ویژه SO_2 باشد. مشاهده شده است که گاز دی اکسید گوگرد می‌تواند پس از این‌که از طریق روزنه‌ها وارد گیاه شد به SO_4^{2-} تبدیل شده و در مسیر تثبیت گوگرد قرار بگیرد و به سولفید احیا شده و در تولید سیستئین و ترکیبات گوگرددار شرکت کند (Swanepoel *et al.*, 2007). البته لازم به ذکر است که گاز SO_2 هوا در غلظت‌های پایین دارای آثار مثبتی بر رشد و نمو گیاه است و به عنوان یک منبع تامین‌کننده گوگرد مورد نیاز گیاه محسوب می‌شود (Seyyednejad *et al.*, 2011).

www.SID.ir

Archive of SID

گیاهان به علت استفاده از آب، خاک و هوا، در تغییر شرایط بوم‌شناختی مشارکت مهمی دارند و می‌توان از آنها برای پاک‌سازی بوم‌نظام‌های آلوده به انواع آلاینده‌ها نظیر فلزات سنگین استفاده نمود (Zoufan *et al*., 2013). مقدار عناصر روی و سرب در گیاه بادام افزایش معنی‌داری را در نمونه‌های رشد یافته در مناطق شازند و کزاز نسبت به هفتادقله نشان داد. گفته می‌شود ورود فلزات به درون برگ گیاهان به دلیل رسوب گرد و غبار روی آنها است (Gostin, 2009). حضور سرب و روی در گیاه بادام نشان‌دهنده توانایی این گیاه در تجمع و انباشت عناصر سنگین در برگ است.

در گیاهان بادام که در مناطق کزاز و شازند رشد یافته بودند، پراکسیداسیون لیپید به طور معنی‌داری در مقایسه با منطقه هفتادقله افزایش یافت. در گیاهانی که در معرض آلودگی SO_2 قرار داشتند علایمی مانند تخریب رنگیزه‌ها، کاهش لیپیدهای سلولی و پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع مشاهده شده است (Sha *et al*., 2010). پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی که نتیجه آثار رادیکال‌های آزاد هستند، نشان‌دهنده آسیب تنش در سطح سلولی است. بنابراین، محتوای MDA حاصل از پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی، بیشتر به عنوان یک شاخص برای آسیب‌های اکسیداتیو به کار می‌رود (Demirnal and Turkan, 2005). بنابراین، می‌توان گفت گیاهان بادام بررسی شده در پژوهش حاضر تحت تأثیر صدمات ناشی از تنش اکسیداتیو است.

اغلب تنش‌های محیطی بر تولید گونه‌های فعال اکسیژنی در گیاهان اثر می‌گذارند و سبب تنش اکسیداتیو می‌شوند. در بررسی‌ها مشخص گردیده است که تعادل میان تولید و پالایش گونه‌های فعال اکسیژنی توسط تنش‌های زیستی و غیرزیستی مختلف از جمله آلودگی هوا برهم می‌خورد که این امر موجب بالا رفتن ناگهانی ROS می‌شود. در وضعیت پایدار مولکول‌های ROS توسط سازوکارهای آنتی‌اکسیدانی گیاه برطرف می‌شوند (Gill and Tuteja, 2010). گونه‌های گیاهی که تنش SO_2 را تحمل می‌کنند، دارای سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی کارآمدتری نسبت به گونه‌های حساس هستند (Bernardi *et al*., 2001). نتایج به دست آمده از این بررسی در مورد فعالیت آنتی‌اکسیدانی کاتالاز، گایاکول پراکسیداز و سوپراکسیداز اختلاف معنی‌داری را در سه منطقه مورد مطالعه در گیاه بادام نشان نداد. بسیاری از پژوهشگران فعالیت اضافی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را در طیف گسترده‌ای از انواع گیاهان تحت تنش‌های غیرزیستی گزارش داده‌اند (El-Beltagi *et al*., 2011). مشخص شده است که فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و گایاکول پراکسیداز در تنش‌ها و گونه‌های گیاهی مختلف، متفاوت است (Gill and Tuteja, 2010).

جمع‌بندی

افزایش میزان پرولین، افزایش مالون‌دی‌آلدهید و پراکسیداسیون لیپید، افزایش گوگرد (نشان‌دهنده حضور SO_2 در هوا)، افزایش حضور فلزات سنگین سرب و روی هم در خاک و هم در برگ گیاهان بادام مورد مطالعه از جمله دلایل آلودگی مناطق کزاز و شازند است. افزایش مالون‌دی‌آلدهید ناشی از پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی، کاهش جذب عناصری مانند پتاسیم

www.SID.ir

Archive of SID

می‌تواند از جمله صدمات ناشی از تنش آلودگی هوا بر گیاه بادام در نظر گرفته شوند. عدم تغییر در مقدار کلروفیل‌ها، مقدار کاروتنوئید و پروتئین نیز مقاومت گیاه را در برابر تنش نشان می‌دهد. گیاه بادام با تنش مربوط با افزایش مقدار آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی پرولین مقابله کرده است یعنی سازوکار گیاه برای مقابله با تنش آلودگی هوا افزایش میزان پرولین بوده است.

سپاسگزاری

نگارندگان از مسؤولان محترم دانشگاه اراک که حمایت مالی و اجرایی این تحقیق را به عهده داشتند صمیمانه تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

Abedi, I., Ghorbanli, M., Seyyednejad, S. M. and Kezemi, M. (2009) A study on resistance of *Dodonea viscose* to industrial air pollution by using assay of soluble sugar and some antioxidant enzymes. Proceedings of the 1st Local Symposium in Medicinal plant role in economic and social development of Zagros. Agriculatural Jahad and Islamic Azad University, Ilam.

Agbaire, P. O. and Esiefarienrhe, E. (2009) Air pollution tolerance indices (apti) of some plants around Otorogun gas plant in Delta state, Nijeria. Journal of Apllied Sciences and Environmental Management 13(1): 11-14.

Ahemad, M. and Kibret, M. (2014) Review: Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. Journal of King Saud University Science 26(1): 1-20.

Akram, A. and El-Yemeni, M. (2010) Atmospheric air pollution effects on some exhibited plants at aljubail industrial city, Ksa. I-physiological characteristics and antioxidant enzymes. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 4(6): 1251-1263.

Amini, F., Hoseinabadi, S. and Askary, M. (2015) Study on effect of atmospheric pollutants on proline, protein and some elements in *Medicago sativa* and Phaseolus vulgaris (case study: Arak Oil Refinery). Journal of Plant Process and Function 4(11): 79-86 (in Persian).

Arnon, D. I. (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24: 1-5.

Assadi, A., Ghasemipirpaluti, A., Malekpoor, F. and Teimori, N. (2011) Impact of air pollution on physiological and morphological characteristics o *Eucalyptus camaldulensis* den. Journal of Food, Agriculture and Enviroment 9(2): 676-679.

Avnish, C. and Joshi, P. C. (2010) Effect of ambient air pollutants on wheat and mustard crops growing in the vicinity of urban and industrial areas. New York Science Journal 3(2): 52-60.

Battes, L. S. Waldren, R. P. and Teare, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil 39(1): 205-207.

Bernardi, R., Nali, C., Gargiulo, R., Pugliesi, C., Lorenzini, G. and Durante, M. (2001) Protein pattern and Fe-superoxide dismutase activity of bean plants under sulphure dioxide stress. Journal of Phytopathology 149(7-8): 477-480.

Bradford, M. M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry 72(1-2): 248-254.

Cakmak, I. and Marschner, H. (1992) Magnesium deficiency and high light intensity enhance of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean leaves. Plant Physiology 98(4): 1222-1227.

www.SID.ir

Archive of SID

Carlson, R. W. (1979) Reduction of photosynthetic rate of *Acer*, *Quercus* and *Fraxinus* species caused by sulphur dioxide and ozone. Environmental Pollution 18(2): 159-170.

Celik, A., Kartal, A. A., Akdogan, A. and Kaska, Y. (2005) Determining the heavy metal pollution in Denizli (Turkey) by using *Robinio pseudo-acacia* L.. Environment International 31(1): 105-112.

Clarke, K. and Murray, F. (1990) Stimulatory effects of SO_2 on growth of *Eucalyptus rudis* Endl. New Phytology 115: 633-637.

Demiral, T. and Turkan, I. (2005) Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. Environmental and Experimental Botany 53(3): 247-257.

El-Beltagi, H. S., Salama, Z. A. and El-Hariri, D. M. (2011) Variations in oil and some phytochemical contents in flax seed cultivars (*Linum usitatissimum* L.). Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry 10(8): 2711-2721.

Elkahoui, S., Hernandez, J. A., Abdelly, C., Ghrir, R. and Limam, F. (2005) Effects of salt on lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities of *Catharanthus roseus* suspension cells. Plant Science 168(3): 607-613.

Fikriye, K. Z. and Omer, M. (2005) Effects of some heavy metals on content of chlorophyll, proline and some antioxidant chemicals in Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings. Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica 47(2): 157-164.

Fleschin, S., Fleschin, M., Nhta, S., Pavel, E. and Mageara, V. (2003) Free radicals mediate protein oxidation in biochemistry. Roumanian Biotechnological Letters 5: 479-495.

Garg, N. and Manchanda, G. (2009) ROS generation in plants: boon or bane? Plant Biosystems 143: 81-96.

Ghahreman, A. (1993) Plant systematics, cromophytes of Iran. Iran University Press, Tehran (in Persian).

Giannopolitis, C. N. and Ries, S. K. (1977) Superoxide dismutase: I. occurrence in higher plants. Plant Physiology 59: 309-314.

Gill, S. S. and Tuteja, N. (2010) Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry 48(12): 909-930.

Gostin, I. (2009) Air pollution effects on the leaf structure of some Fabaceae species. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 37(2): 57-63.

Heath, R. L. and Packer, L. (1968) Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics 125(1): 189-198.

Hijano, C. F., Dominguez, M. D. P., Gimenez, R. G., Sanche, P. H. and Garcia, I. S. (2005) Higher plants as bioindicators of sulphur dioxide emissions urban environments. Environmental Monitoring and Assessment 111: 75-88.

Irshad, A. H., Fayaz Ahmad, S. and Sultan, P. (2011) Effect of sulphur dioxide on the biochemical parameters of spinach (*Spinacea oleracia*). Trakia Journal of Sciences 9(1): 24-27.

Joshi, P. C. and Swami, A. (2009) Air pollution induced changes in the photosynthetic pigments of selected plant species. Journal of Environmental Biology 30(2): 295-298.

Karolewski, P. (1989) Free proline content and susceptibility of poplar (*Populus*) cuttings to the action of SO_2, NaCl and PEG at different temperatures. Environmental Pollution 57: 307-315.

Kazmierczakowa, R. (1975) Correlation between the amount of industrial dust fall and lead and zinc accumulation in some plant species. Bulletin Serie des Sciences Biologiques 23(9): 611-621.

www.SID.ir

Archive of SID

Khattab, H. (2007) The deffence mechanism of cabbage plant against phloem- stitching aphid (*Brevicoryne brassicae* L.). Australian Journal Basic Applied Sciences 1(1): 56-62.

Kohler, J., Caravaca, F. and Roldan, A. (2007) Interactions between a plant growth promoting rhizobacterium, an AM fungus and a phosphate-solublising fungus in the rhizosphere of *Lactuca sativa*. Applied Soil Ecology 35(3): 480-487.

Levitt, J. (1980) Salt and ion stresses. In: Response of plant to environmental stresses 2: 365-488. Academic Press, New York.

Lichtenthaler, H. K. and Wellburn, A. R. (1983) Determination of total carotenoids and chlorophylls *a* and *b* of leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions 11: 591-592.

McCord, J. M. (2000) The evolution of free radicals and oxidative stress. The American Journal of Medicine 108(8): 652-659.

Murray, F. (1985) Changes in growth and quality characteristics of Lucerne (*Medicago sativa* L.) in response to sulphur dioxide exposure under field conditions. Journal Experimental Botany 36: 449-457.

Nasrollahi, Z. and Ghaffari Goolak, M. (2010) Air pollution and affecting factor. Journal Economic Research 10(3): 75-95 (in Persian).

Polle, A., Otter, T. and Seifert, F. (1994) Apoplastic peroxidases and lignifications in needles of Norway spruce (*Picea abies* L.). Plant Pysiology 106(1): 53-56.

Rai, R., Rajput, M. and Agrawal, M. and Agrawal, S. B. (2011) Gaseous air pollutants: a review on current and future trends of emission and impact on agriculature. Journal of Scientific Research 55: 77-102.

Seyyednejad, S. M., Niknejad, M. and Koochak, H. (2011) A review of some different effects of air pollution on plants. Research journal of environmental sciences 5(4): 302-309.

Sha, C., Wang, T. and Lu, J. (2010) Relative sensitivity of Wetland plants to SO_2 pollution. Wetlands 30(6): 1023-1030.

Shannigrahi, A. S., Fukushima, T. and Sharma, R. C. (2004) Anticipated air pollution tolerance of some plant species considered for green belt development in and around an industrial/ urban area in India: an overview. International Journal of Environmental Studies 61(2): 125-137.

Singh, S. N. and Verma, A. (2007) Phytoremediation of air pollutants: a review. In: Environmental bioremediation technology (Eds. Singh, S. N. and Tripathi, R. D.) 293-314. Springer, Berlin.

Swanepoel, J. W. Kruger, G. H. J. and Heerden, P. D. R. (2007) Effects of sulphur dioxide on photosynthesis in the succulent *Augeacapensis thumb*. Journal of Arid Environments 70: 208-221.

Tiwari, S., Agrawal, M. and Marshal, F. M. (2006) Evalution of ambient air pollution impact on carrot plants at a suburban site using open top chambers. Environmental Monitoring and Assessment 119(1-3): 15-30.

Tripathi, A. K. and Gautam, M. (2007) Biochemical parameters of plants as indicators of air pollution. Journal of Environmental Biology 28(1): 127-131.

Tulabi, A., Zare, M., Zare, M., Shahriari, A., Sarkhosh, M. and Rahmani, A. (2012) Assessment of air quality index in proximity of Bandar Abbas oil refinery. Bimonthly Journal of Hormozgan University of Medical Sciences 16(2): 123-133 (in Persian).

Tzvetkova, N. and Kolarov, D. (1996) Effect of air pollution on carbohydrate and nutrients concentrations in some deciduous tree species. Bulgarian Journal of Plant Physiology 22: 53-63.

www.SID.ir

Archive of SID

Wang, B. S. and Zhao, K. F. (1995) Comparison of extractive methods of Na^+, K^+ in wheat leaves. Plant Physiology Communications 31(1): 50-52.

Yin, S., Shen, Z., Zhou, P., Zou, X., Che, S. and Wang, W. (2011) Quantifying air pollution attenuation within urban parks: an experimental approach in Shanghai, China. Enviromental Pollution 159(8-9): 2155-2163.

Zoufan, P., Saadatkhah, A. and Rastegharzadeh, S. (2013) Comparison of potentiality of heavy metals accumulation in the plants surrounding steel industries in the Mahshahr-Bandar Imam road, Ahvaz. Iranian Journal of Plant Biology 5(16): 41-56 (in Persian).

www.SID.ir

Archive of SID

Some of physiological and biochemical responses of *Prunus amygdalus* to air pollution of the Shazand industrial area

Mehri Askari Mehrabadi *, Fariba Amini and Golriz Faraji
Department of Biology, Faculty of Sciences, Arak University, Arak 38156-8-8349, Iran

Abstract
In today's world where human life is dependent on the industry, the problems impose in the human life along with theachievement of growing in the field of industrial works. One of the challenging problems is entry of pollutants into air that has the destructive effects on human life and environment especially plants. Plants show different responses against the air pollutants. Plant responses can be vary due to climate, geography and plant species. In this study, the effects of air pollutants in the Shazand industrial area (refinery, petrochemical and thermal power) stationin Markazi province has been checked on almond. For this purpose, the leaves of almond in Haftadgholle (control area), Shazand (closest city to industrial zone) and Kazaz (adjacent industrial zone) were collected. Also, soil samples were collected from three areas to determine lead and zinc amounts in soil. Results showed that proline, sulfur, heavy metals (lead and zinc) and lipid peroxidation enhanced significantly in Kazaz and Shazand in compared with Haftadgholle, while antioxidant activity of catalase, superoxide dismutase and guaicol peroxidase didn't significant changes in three areas. The increase of sulfur amount in leaves, lead and zinc in soil of the Kazaz and Shazand regions could be one of the reasons to prove the presence of pollutants in these areas. The increase of lipid peroxidation indicative plant damage against the air pollution. The plant defense mechanism against of stress is the increase of non-enzymatic antioxidant proline. No change in chlorophylls and protein contents reflects increased resistance to the stress.
Key words: Antioxidant, Haftadgholle, Heavy metal, Kazaz, Refinery

* m-askary@araku.ac.ir

Copyright©2016, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/BY-NC-ND/4.0), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

www.SID.ir