

تأثیر ایندول استیک اسید بر میزان رشد، پروتئین، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در گیاه سویا (*Glycine max* (L.) Merr) تحت تنش آلومینیوم کلراید

فرزانه نجفی و فرزانه محمدی*

تهران، دانشگاه خوارزمی، دانشکده علوم، گروه زیست‌شناسی

تاریخ دریافت: ۹۱/۷/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۲۹

چکیده

در مطالعه حاضر، تأثیر ایندول استیک اسید بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاه سویا (*Glycine max* (L.) Merr) تحت تنش آلومینیوم کلراید مطالعه شد. بذرها پس از استریل شدن در ظروف پتری کشت شدند. سپس گیاهک‌های ۶ روزه به گلدان‌های حاوی شن شسته شده منتقل شدند و توسط محلول غذایی هوگلند در شرایط کنترل شده (۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی، دما 25°C در روز 18°C در شب) آبیاری گردیدند. گیاهان ۱۴ روزه با غلظت‌های مختلف آلومینیوم کلراید (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میکرومولار) و ایندول استیک اسید (۰، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) تیمار شدند و برداشت گیاهان ۱۵ روز پس از آغاز تیماردهی انجام شد. با افزایش غلظت آلومینیوم کلراید، میزان ماده سازی خالص، میزان نسبی برگ، محتوای نسبی آب برگ و میزان پروتئین و قندهای محلول کاهش یافت، در حالی که سطح ویژه برگ و فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز افزایش یافت. با افزودن ایندول استیک اسید به محیط کشت محتوای آلومینیوم کلراید، کاهش بیشتر میزان قندهای محلول و تعدیل میزان دیگر شاخص‌ها مشاهده گردید. همچنین با افزایش غلظت کلرور آلومینیوم در محیط کشت در هر دو حالت بدون اکسین و با اکسین افزایش میزان قندهای نامحلول مشاهده شد. بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده بنظر می‌رسد ایندول استیک اسید در غلظت‌های پایین با اثرات مخرب آلومینیوم مقابله کرده و به رشد گیاهان در شرایط نامطلوب کمک می‌کند.

واژه‌های کلیدی: ایندول استیک اسید، آلومینیوم کلراید، پراکسیداز، کاتالاز، کربوهیدرات.

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۲۱-۸۸۸۴۸۹۴۰، پست الکترونیکی: farzanemohammadi90@yahoo.com

مقدمه

آلومینیوم یکی از فاکتورهای مهم محدود کننده رشد و تولیدات گیاه در خاک‌های اسیدی سراسر جهان محسوب می‌شود. امروزه حدود ۵۰٪ زمین‌های قابل کشت جهان را خاک‌های اسیدی اشغال کرده اند و سمیت ناشی از آلومینیوم یکی از مشکلات اصلی در این خاک‌هاست (۴۸). از جمله عوامل اسیدی شدن خاک می‌توان به افزایش فعالیت‌های صنعتی و باران‌های اسیدی اشاره نمود. آلومینیوم در آب، خاک و هوا وجود دارد ولی بخش اعظم آن به صورت آلومینوسیلیکات (Al_2SiO_4) جزء مواد کانی خاک می‌باشد، البته مقدار کمی نیز به صورت پتاسیم آلومینیوم سولفات ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) و اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) در طبیعت وجود دارد. در شرایط اسیدی آلومینیوم به کاتیون‌های Al^{3+} هیدرولیز شده و به فاکتور محدود کننده رشد و محصولات گیاه تبدیل می‌شود (۴۰). مهار رشد ریشه اولین نشانه سمیت آلومینیوم است (۱۱). شاید به این دلیل است که بیشترین تحقیقات بر سیستم ریشه گیاه متمرکز شده اند. تحت تنش آلومینیوم ریشه‌ها معمولاً کوتاه، شکننده و قهوه‌ای رنگ می‌شوند که در

فعالیت بیشتر آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی همانند پراکسیداز و کاتالاز برای ایجاد مقاومت در گیاه به شرایط تنش مهم می‌باشند. در کل، تغییر در محتوای آنتی‌اکسیدانت، یکی از پاسخ‌های گیاه برای تنظیم شرایط فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی به تنش‌ها می‌باشد (۴). همچنین آلومینیوم تغییر در میزان رشد، پروتئین و قندها را القا می‌کند که این تغییرات نیز از جمله نشانه‌های تنش‌های محیطی می‌باشند.

رشد تمامی گیاهان به برخی عوامل محیطی مانند محتوای مواد غذایی در دسترس و برخی عوامل درونی مانند میزان هورمون‌های داخلی گیاه بستگی دارد. احتمالاً سطوح بالای برخی از شاخص‌ها است که به طور قطع می‌تواند یک پاسخ مناسب بیولوژیکی و کشاورزی نسبت به عوامل محیطی باشد. در مطالعه حاضر تأثیر برهم‌کش آلومینیوم کلراید (Aluminum chloride) و ایندول‌استیک‌اسید (Indoleacetic acid) بر رشد و برخی شاخص‌های بیوشیمیایی گیاه سویا مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روشها

مواد گیاهی و شرایط رشد: بذرهای گیاه سویا (*Glycine max* L. Merr Var. williams) از مؤسسه بذرونهال کرج تهیه شده و برای جلوگیری از آلودگی قارچی توسط هیپوکلریت سدیم ۴ درصد به مدت ۱۰ دقیقه ضد عفونی گردیدند. پس از جوانه زنی، ظروف پتری به نور منتقل شدند. گیاهک‌های ۶ روزه به گلدان‌های حاوی شن مرطوب و شرایط نوری مناسب انتقال یافتند و با محلول غذایی هوگلند به مدت ۱۴ روز آبیاری گردیدند. سپس گیاهان ۱۶ روزه تحت تیمار با آلومینیوم کلراید در پنج سطح (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میکرومولار) و تیمار ایندول‌استیک‌اسید در سه سطح (۰، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) قرار گرفتند. در طول دوره تیماردهی، هفته‌ای دوبار گلدان‌ها با محلول غذایی مورد نظر آبیاری شدند. طول دوره روشنایی و تاریکی به ترتیب ۱۶ و ۸ ساعت تنظیم شد و pH در تمام محلول‌های غذایی تهیه شده در

جذب آب و مواد غذایی کم بازده می‌باشند (۴۰). مهار فعالیت H^+ -ATPase در غشای پلاسمایی سلول‌های نوک ریشه (۲۸)، تغییرات سطح و ترکیب لیپید غشای پلاسمایی (۲۰)، افزایش تنش اکسیداتیو (۸)، تشکیل و تجمع کالوز (۳)، اختلال در پویایی اسکلت سلولی و تعامل با کالمدولین (۱۵) از نشانه‌های سمیت آلومینیوم در ریشه‌ها هستند. در اندام هوایی می‌توان به تغییرات سلولی و فرا ساختاری در برگ‌ها، کاهش منافذ روزنه‌ای، کاهش فعالیت فتوسنتزی که منجر به کلروزه و نکروزه شدن برگ‌ها می‌شود، اشاره نمود (۴۶). برخی از نشانه‌های سمیت آلومینیوم در ریشه‌ها و برگ‌های گیاه سویا نیز دیده شد. همانطور که می‌دانید این گیاه در کاهش کلسترول و جلوگیری از سرطان، دیابت، چاقی و محافظت از بیماری‌های کلیوی نقش مؤثری ایفا می‌کند (۲۷).

بررسی‌ها نشان می‌دهند که یون‌های چند ظرفیتی Al^{3+} در دو لایه لیپیدی غشا غیر قابل حل می‌باشد (سدی برای Al^{3+} است)، با وجود این برخی از یون‌های Al^{3+} می‌توانند از غشا عبور کنند. یک راه عبور $Fe(III)$ -فیتوسیدورفور است (۱۳). راه دیگر مشابهت شعاع یونی با یون‌های Mg^{2+} و Fe^{2+} می‌باشد (۷) مطابق با بررسی‌های کلمیر و همکاران (۲۴) ناحیه گذار ریشه (Distal transition zone)، اولین ناحیه در ریشه گیاه ذرت است که حساس به آلومینیوم می‌باشد. مهار رشد ریشه، از طریق مهار انتقال وزیکول‌هایی که شامل PIN2 (Pin-formed) هستند از غشای پلاسمایی به اندوزوم‌ها صورت می‌گیرد (۴۰). همچنین گزارش شده است هورمون‌های گیاهی از جمله اکسین نقش مهمی را در تعدیل رشد گیاه بازی می‌کنند و کاربرد ایندول‌استیک‌اسید در ناحیه طویل شدن (Elongation zone)، مهار رشد ریشه القا شده از طریق آلومینیوم را تعدیل می‌کند (۴۱). بنابراین نتیجه گرفته شد که احتمالاً ایندول‌استیک‌اسید در محافظت گیاه در برابر تنش‌ها نقش ایفا می‌کند.

حد ۵/۸ (با توجه به مقاله مورد مطالعه) تنظیم گردید. گیاهان ۳۵ روزه برای سنجش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی برداشت شدند.

آنالیز رشد: وزن تر اندام‌های گیاهی مانند برگ، ساقه و ریشه و سطح برگ گیاهان ۳۵ روزه محاسبه شد. برای تعیین وزن تر، ۴ گیاه از هر نمونه به دقت از گلدان‌ها برداشت شده و وزن و میانگین آنها محاسبه گردید. وزن خشک نمونه‌ها، پس از خشک شدن آنها در آون در دمای 105°C به مدت ۲۴ ساعت محاسبه گردید. میزان ماده سازی خالص ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$)، میزان رشد نسبی ($\text{g kg}^{-1} \text{d}^{-1}$)، میزان رشد نسبی برگ ($\text{cm}^2 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$)، محتوای آب در واحد سطح برگ ($\text{g (H}_2\text{O m}^{-2}$) و سطح ویژه برگی ($\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$) با استفاده از فرمول‌های ارائه شده توسط واتسون (۴۴) و ایوان و همکاران (۱۴) محاسبه گردیدند.

سنجش پروتئین کل: اندام هوایی تازه گیاه پس از توزین، با دو میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۱ مولار (pH ۶/۸) به صورت هموژن درآمد. سپس سانتریفیوژ نمونه‌ها در سرعت g ۱۵۰۰۰ به مدت ۱۲ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتیگراد انجام شد. از بخش رویی عصاره برای سنجش غلظت پروتئین کل عصاره‌های گیاهی استفاده شد. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۹۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد و غلظت پروتئین بر حسب میلی‌گرم در یک گرم وزن تر بیان گردید (۹).

سنجش آنزیم‌ها: فعالیت آنزیم کاتالاز از طریق روش دیزی و همکاران (۱۲) محاسبه گردید. مخلوط واکنش شامل بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH ۷) و پراکسید هیدروژن ۱۵ میلی‌مولار بود. واکنش با افزودن ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی در حجم نهایی ۳ میلی‌لیتر آغاز گردید. تغییرات جذب در ۲۴۰ نانومتر به مدت ۳ دقیقه ثبت شد. میزان فعالیت آنزیم به صورت $\Delta\text{OD}_{240} \text{min}^{-1} \text{g}^{-1}$ بیان گردید.

فعالیت آنزیم کاتالاز مطابق با روش دیزی و همکاران (۱۲) محاسبه گردید. مخلوط واکنش شامل بافر پتاسیم فسفات ۲۵ میلی‌مولار (pH ۸۶) و پراکسید هیدروژن ۴۰ میلی‌مولار و گایاکول ۲۰ میلی‌مولار بود. واکنش با افزودن ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی در حجم نهایی ۳ میلی‌لیتر آغاز گردید. افزایش جذب به وسیله تشکیل تترآگایاکول در طول موج ۴۷۰ نانومتر به مدت ۳ دقیقه ثبت شد. میزان فعالیت آنزیم به صورت $\Delta\text{OD}_{240} \text{min}^{-1} \text{g}^{-1}$ بیان گردید. فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز از طریق روش ناکانو و آسادا (۲۹) محاسبه گردید. فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز با بررسی میزان پراکسیداسیون آسکوربات با افزایش جذب در طول موج ۲۹۰ نانومتر انجام شد. مخلوط واکنش شامل بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH ۷)، اسید آسکوربیک ۰/۵ میلی‌مولار، پراکسید هیدروژن ۱/۲ میلی‌مولار و EDTA، ۰/۱ میلی‌مولار بود. واکنش با افزودن ۲۰۰ میکرومولار عصاره آنزیمی در حجم نهایی ۳ میلی‌لیتر آغاز گردید. با اضافه کردن پراکسید هیدروژن فعالیت آنزیمی شروع شد. میزان فعالیت آنزیم به صورت $\Delta\text{OD}_{240} \text{min}^{-1} \text{g}^{-1}$ بیان گردید.

سنجش کربوهیدرات‌ها: برای سنجش قندهای محلول و نشاسته، ۰/۱ گرم ماده خشک گیاهی (اندام هوایی) به دقت توزین شده و پس از همگن شدن با ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۸۰٪، در حمام آب گرم (60°C)، به مدت ۱۰ دقیقه حرارت داده شدند. پس از خارج کردن فالكون‌ها و سرد شدن، محتویات آنها با کاغذ صافی واتمن شماره دو صاف گردیدند. کاغذ صافی‌های محتوای رسوب‌ها در آون با حرارت ۷۰ درجه سانتیگراد قرار داده شدند تا کاملاً رطوبت خود را از دست بدهند. محلول صاف شده برای سنجش قندهای محلول و رسوب حاصل برای سنجش قندهای نامحلول مورد استفاده قرار گرفتند.

بررسی میزان قند های محلول از طریق روش سوموگی (۳۹) انجام شد، به این صورت که محلول‌های صاف شده

لیتر اسید سولفوریک غلیظ اضافه گردید. به علت حرارت زیادی که در نتیجه انجام واکنش ایجاد می‌شود این عمل درون بشر محتوای آب انجام شد. جذب نمونه‌ها در طول موج ۴۸۵ نانومتر ثبت گردید و در نهایت غلظت قند‌های محلول و نامحلول هر دو بر حسب میلی‌گرم در یک گرم وزن خشک بیان گردیدند.

تعیین محتوای نسبی آب برگ‌ها (RWC): قطعات برگ‌گی پس از تعیین وزن تر بین دو کاغذ صافی درون ظروف پتری محتوای آب مقطر قرار گرفتند. پتری‌ها به مدت ۲۰ ساعت در دمای ۴ درجه سانتیگراد و در تاریکی قرار داده شدند. سپس وزن برگ‌ها که در حالت تورژسانس کامل بودند، اندازه‌گیری شدند. نمونه‌های تر برگ در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و پس از آن وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد و در نهایت میزان محتوای نسبی آب برگ‌ها از رابطه زیر محاسبه گردید (۴۵).

$$RWC(\%) = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100$$

محاسبات آماری: در هر سنجش برای هر نمونه ۴ تکرار در نظر گرفته شد. بررسی آماری اطلاعات با استفاده از کتاب اصول آمار زیستی (۱) انجام شده است. بررسی‌های آماری براساس آنالیز واریانس دو عاملی توسط نرم افزار SPSS و پیرایش ۱۷، در سطح احتمال $P < 0.05$ انجام گردید.

نتایج

در این پژوهش کاهش رشد گیاهان سویا تحت تیمار آلومینیوم مشاهده شد. نتایج مربوط به تاثیر آلومینیوم کلراید و ایندول‌استیک‌اسید بر میزان رشد در جدول ۱ ارائه شده است. آلومینیوم وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه گیاهان را در مقایسه با شاهد کاهش داد و نسبت R/S (وزن خشک ریشه در مقایسه با بخش هوایی) در تیمارهای آلومینیوم کاهش یافت. اثرات کاهشی آلومینیوم بر رشد در گیاهان تحت تیمار برهم کنش به طور معنی

که حاوی قندهای محلول در اتانول بود را درون ظروف پتری ریخته شد تا اتانول آنها تبخیر شود. سپس به باقیمانده ۲ میلی لیتر آب مقطر اضافه گردید و محلول‌های حاصل به درون فالكون‌ها منتقل شدند. برای جدا کردن رنگیزه‌ها، به هر نمونه ۵ میلی لیتر هیدروکسید باریم ۰/۳ نرمال و ۵ میلی لیتر سولفات روی ۵ درصد اضافه شد. مخلوط فوق در سرعت ۳۰۰۰ g به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس بخش رویی به یک بالن ژوژه ۱۰۰ میلی لیتری انتقال یافت و حجم آن با آب مقطر به ۱۰۰ میلی لیتر رسانده شد. سپس یک میلی‌لیتر از عصاره را در لوله آزمایش ریخته و به آن یک میلی‌لیتر محلول کوئیوروسدیک اضافه کرده و به خوبی تکان داده شد و به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار داده شد. سپس لوله‌ها را سرد کرده تا به دمای اتاق برسند. به هر لوله یک میلی‌لیتر محلول آرسنومولیدات اضافه کرده و حجم آنها را به وسیلهی آب مقطر به ۱۲/۵ میلی‌لیتر رسانده و جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۰۰ نانومتر ثبت گردید.

بررسی میزان قند‌های نامحلول از روش هلوبوس و کرایجی (۱۹) انجام شد، به این صورت که رسوب‌های خشک شده حاصل از عصاره‌گیری الکل را درون فالكون ریخته و به آن حدود ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد، سپس به مدت ۱۰ دقیقه درون حمام آب گرم قرار داده شد. پس از این مدت محتویات ارلن را با کاغذ صافی صاف کرده و رسوب‌های حاصل روی کاغذ صافی به فالكون برگردانده شد و دوباره با ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر و به مدت ۱۰ دقیقه جوشانده و صاف شد. محلول صاف شده را با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده و از آن برای سنجش قندهای نامحلول استفاده شد. برای سنجش قندهای نامحلول از روش فنل سولفوریک اسید استفاده گردید. ۰/۵ میلی لیتر از هر یک از عصاره‌های مربوطه را درون لوله آزمایش ریخته و حجم لوله‌ها را با آب مقطر به ۲ میلی‌لیتر رسانده و به هر لوله یک میلی‌لیتر فنل ۵ درصد افزوده و به خوبی تکان داده شد. سپس به هر لوله ۵ میلی-

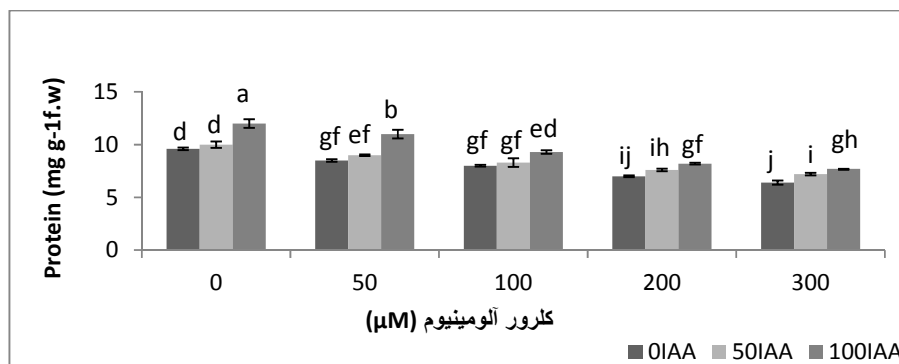
حضور آن موجب کاهش میزان قندهای محلول در برگ گردید که این تغییرات در تیمارهای برهم‌کنش معنی‌دار نمی‌باشد. در تیمار اکسین به تنهایی نیز، کاهش معنی‌داری مشاهده گردید. میزان قند نامحلول (نشاسته) در حضور آلومینیوم و نیز در تیمار برهم‌کنش افزایش معنی‌داری را نشان داده است. افزایش معنی‌داری قندهای نامحلول در گیاهان تحت تیمار اکسین به تنهایی نیز مشاهده گردید.

داری ($P \leq 0.05$) تعدیل گردید. به عنوان مثال NAR (Net Assimilation rate) و LWCA (Leaf water content per unit area) گیاهان تحت تنش $300 \text{ Al}^{3+} + 100 \text{ IAA}$ محیط برهم‌کنش حدود $1/0.3$ و $1/15$ برابر گیاهان تحت تیمار 300 Al^{3+} بودند.

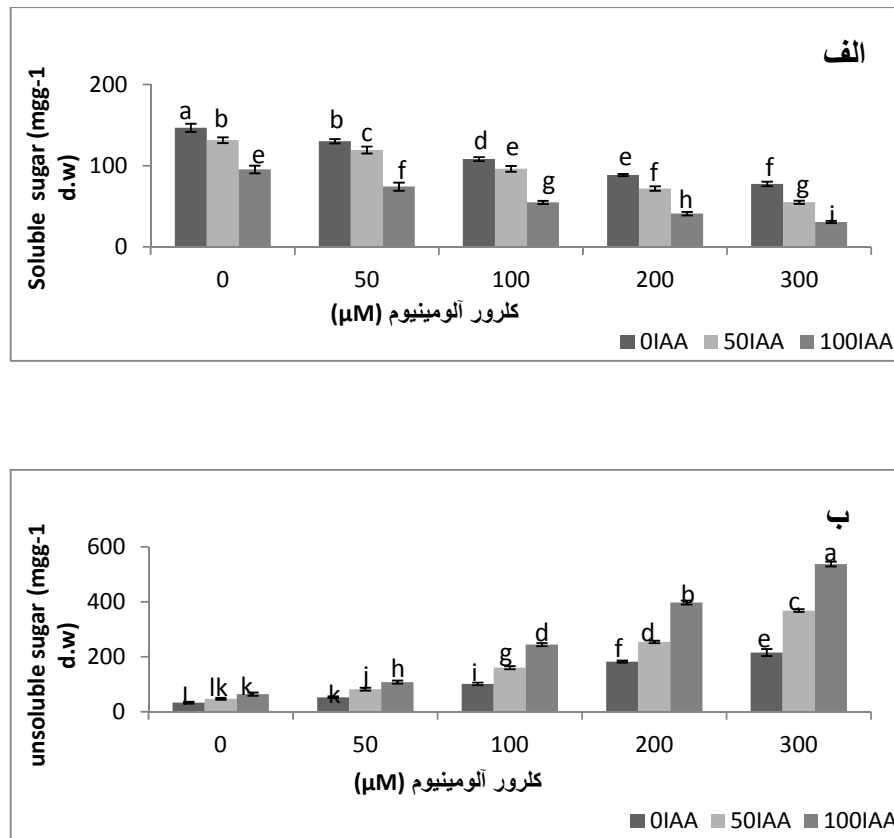
نتایج مربوط به تاثیر آلومینیوم کلراید و ایندول استیک اسید بر میزان قندهای محلول و نامحلول در شکل ۲ (الف و ب) ارائه شده اند. آلومینیوم در حضور اکسین و در عدم

جدول ۱. تغییرات میزان NAR, RGR, RLGR, LWCA و SLA در تیمارهای مختلف کلرور آلومینیوم و ایندول استیک اسید در گیاه سویا (داده‌ها $\bar{X} \pm SE$ را نشان می‌دهند. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح $P < 0.05$ می‌باشد).

$\text{AlCl}_3 (\mu\text{M})$	$\text{IAA} (\mu\text{M})$	NAR ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	RGR ($\text{g kg}^{-1} \text{d}^{-1}$)	RLGR ($\text{cm}^2 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	LWCA ($\text{g(H}_2\text{O)} \text{m}^{-2}$)	SLA ($\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$)
0	0	$3/25 \pm 0/136^a$	$75/18 \pm 0/794^a$	$70/4/14 \pm 2/13/a$	$39/35 \pm 1/97/a$	$50/12 \pm 0/382^d$
0	50	$3/17 \pm 0/159^a$	$74/81 \pm 1/27^{ba}$	$70/1/13 \pm 1/92^a$	$37/39 \pm 2/07^{ba}$	$49/13 \pm 0/377^e$
0	100	$3/10 \pm 0/110^{ba}$	$72/18 \pm 0/944^b$	$699/19 \pm 1/93^a$	$35/32 \pm 2/19^{bc}$	$48/09 \pm 0/376^{ef}$
0	0	$2/64 \pm 0/078^c$	$69/81 \pm 0/894^{ba}$	$632/12 \pm 4/34^c$	$32/92 \pm 1/50^c$	$59/10 \pm 0/401^c$
50	50	$2/75 \pm 0/193^{bc}$	$70/42 \pm 0/750^c$	$645/18 \pm 6/37^b$	$34/73 \pm 1/92^{bc}$	$48/19 \pm 0/397^{ef}$
50	100	$2/74 \pm 0/301^{bc}$	$69/71 \pm 0/818^{dc}$	$644/20 \pm 1/25^b$	$32/32 \pm 1/97^c$	$47/14 \pm 0/371^f$
50	0	$2/10 \pm 0/054^c$	$66/42 \pm 0/862^{fc}$	$597/16 \pm 9/37^{fc}$	$26/41 \pm 0/07^{fe}$	$56/17 \pm 0/436^b$
100	50	$2/57 \pm 0/072^c$	$68/68 \pm 0/272^{dce}$	$611/24 \pm 4/57^c$	$29/37 \pm 2/20^{de}$	$47/13 \pm 0/361^f$
100	100	$2/44 \pm 0/182^c$	$67/47 \pm 0/946^{dfe}$	$609/16 \pm 1/25^{fc}$	$27/66 \pm 2/11^{fe}$	$48/08 \pm 0/399^{ef}$
100	0	$1/55 \pm 0/037^f$	$59/76 \pm 0/703^h$	$588/27 \pm 6/39^f$	$20/24 \pm 0/368^g$	$59/18 \pm 0/428^a$
200	50	$2/06 \pm 0/110^c$	$65/36 \pm 0/903^{gf}$	$602/18 \pm 3/05^{ed}$	$25/44 \pm 2/10^{fe}$	$48/16 \pm 0/445^{ef}$
200	100	$1/95 \pm 0/072^e$	$63/68 \pm 1/119^g$	$600/16 \pm 1/26^{edf}$	$23/54 \pm 1/60^f$	$49/16 \pm 0/439^{ed}$
200	0	$1/27 \pm 0/049^f$	$55/48 \pm 1/119^i$	$562/15 \pm 3/32^h$	$15/52 \pm 0/86^h$	$60/20 \pm 0/410^a$
300	50	$1/53 \pm 0/080^f$	$60/59 \pm 0/694^h$	$576/17 \pm 3/56^g$	$19/61 \pm 2/05^g$	$49/11 \pm 0/403^{ed}$
300	100	$1/38 \pm 0/089^f$	$59/60 \pm 0/832^h$	$574/26 \pm 1/15^g$	$17/87 \pm 2/12^{hg}$	$56/09 \pm 0/428^d$



شکل ۱- اثر متقابل آلومینیوم و ایندول استیک اسید بر تغییرات میزان پروتئین در گیاه سویا (داده‌ها $\bar{X} \pm SE$ را نشان می‌دهند. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح $P < 0.05$ می‌باشد).



شکل ۲- اثر متقابل آلومینیوم و ایندول استیک اسید بر تغییرات میزان قندهای محلول (الف) و قندهای نامحلول (ب) در گیاه سویا (داده‌ها $\bar{X} \pm SE$ را نشان می‌دهند. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح $P < 0.05$ می‌باشد).

در گیاهان کنترل میزان پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز (شکل ۳ الف، ب و ج) با افزایش تنش آلومینیوم، به تدریج افزایش نشان دادند. میزان آلومینیوم هم در حضور اکسین و هم در فقدان آن موجب افزایش معنی‌دار ($P \leq 0.05$) این پارامترها گردید. این میزان به طور معنی‌داری در گیاهان تیمار شده با $Al^{3+} + 100 IAA$ بالاتر بودند و گایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز به ترتیب حدود ۶/۴۱، ۱۲/۴۴ و ۵/۳۳ برابر بیشتر از گیاهان کنترل بودند. در کل تاثیر آلومینیوم و اکسین افزایشی بودند.

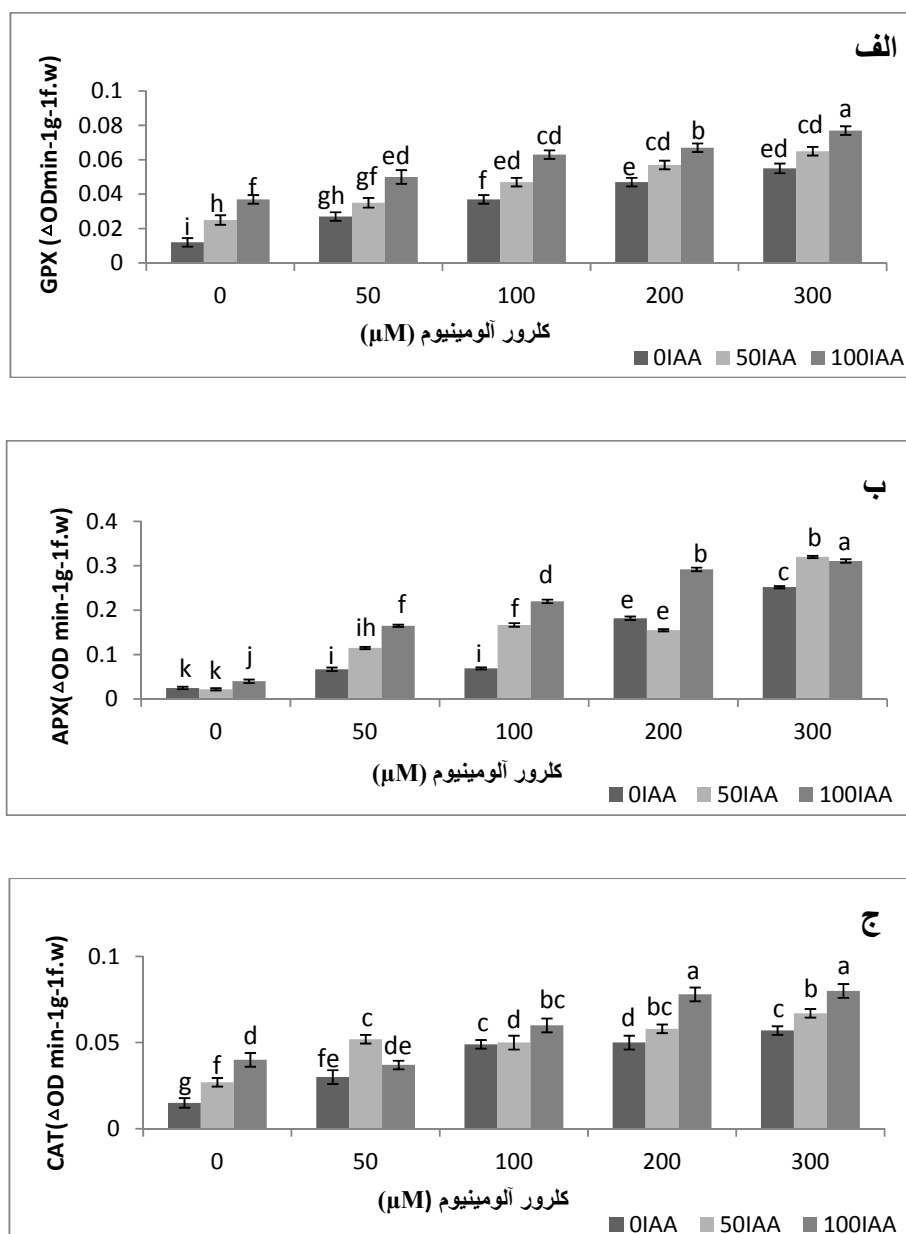
نتایج مربوط به تاثیر آلومینیوم کلراید و ایندول استیک اسید بر میزان محتوای نسبی آب برگ‌ها در شکل ۴ ارائه شده

نتایج مربوط به تاثیر آلومینیوم کلراید و ایندول استیک اسید بر میزان پروتئین در شکل ۱ ارائه شده است در برگ با افزایش غلظت آلومینیوم میزان پروتئین نسبت به تیمار شاهد کاهش معنی‌دار و با افزایش اکسین به محیط حاوی آلومینیوم افزایش معنی‌دار میزان پروتئین مشاهده گردید. در تیمار برهم‌کنش افزایش این میزان نسبت به تیمار آلومینیوم به تنهایی دیده شد که نقش تعدیلی اکسین را نشان می‌دهد.

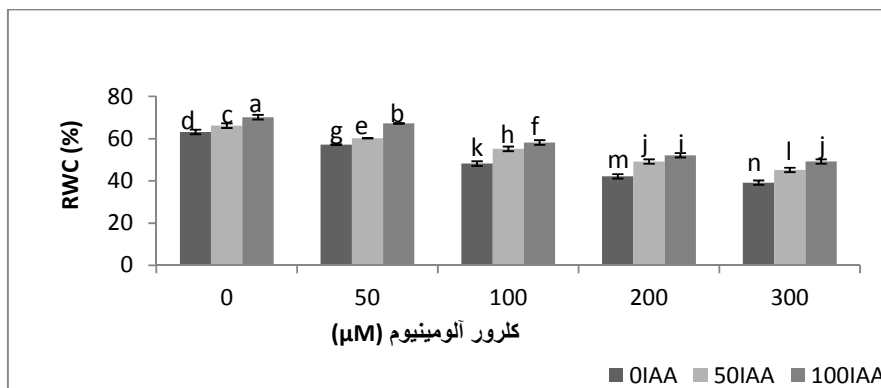
این نتایج با یافته‌های پالما و همکاران (۳۵) مطابقت داشت که این محققین کاهش غلظت پروتئین را در *B. juncea* تحت شرایط تنش نشان دادند.

برهم‌کنش افزایش معنی‌دار این میزان نسبت به تیمار آلومینیوم به تنهایی دیده شد که نقش تعدیلی اکسین را نشان می‌دهد.

است. با افزایش غلظت آلومینیوم میزان محتوای نسبی آب برگ‌ها نسبت به تیمار شاهد کاهش معنی‌دار و با افزایش اکسین به محیط حاوی آلومینیوم افزایش معنی‌دار میزان محتوای نسبی آب برگ‌ها مشاهده گردید. در تیمار



شکل ۳- اثر متقابل آلومینیوم و ایندول استیک اسید بر تغییرات میزان فعالیت آنزیم‌های CAT (الف)، GPX (ب) و APX (ج) در گیاه سویا (داده‌ها $\bar{X} \pm SE$ را نشان می‌دهند. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح $P < 0.05$ می‌باشد).



شکل ۴- اثر متقابل آلومینیوم و ایندول استیک اسید بر تغییرات RWC در گیاه سویا (داده‌ها $\bar{X} \pm SE$ را نشان می‌دهند. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح $P < 0.05$ می‌باشد).

بحث

همچنین یک پاسخ دفاعی است که ورود عناصر سمی را به ریشه محدود می‌کند و پاسخ‌های دفاعی با منع رشد همراه هستند (۱۸). همان‌طور که اشاره شد آلومینیوم بیشترین آسیب را به ریشه وارد می‌کند و کاهش R/S می‌تواند دلیلی بر این موضوع باشد. بخش هوایی نسبت به ریشه کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد و دلیل آن ممکن است به حرکت آهسته‌تر عناصر به ساقه‌ها باشد.

آلومینیوم از طریق تخریب مسیرهای ترانسپورت علامت، جلوگیری از تقسیم سلول و شارش یون‌ها، تخریب پویایی اسکلت سلولی و تخریب ایستایی و عملکرد غشای پلاسمایی و چند عامل دیگر منجر به کاهش رشد گیاهان می‌شود (۲۶). همچنین گزارش شده است که Al^{3+} از جذب P به درون سلول جلوگیری می‌کند و مخصوصاً باعث کاهش تولید زیتوده می‌شود (۳۵). محتوای آب در واحد سطح برگ تحت تنش آلومینیوم، کاهش نشان داد و این نشان دهنده آن است که گیاه قادر به جذب آب به حد کافی حتی با بسته شدن روزنه‌ها و کم شدن تعرق نبوده است. اکسین اثرات مضر آلومینیوم را اندکی تعدیل می‌دهد که موجب اندکی افزایش در این شاخص‌ها نسبت به تیمار آلومینیوم به تنهایی می‌شود.

آلومینیوم فعالیت اکسین اکسیداز را افزایش می‌دهد (۲) و از طریق کاهش در بیوسنتز فاکتورهای رشد یا جلوگیری از انتقال آنها از مریستم ریشه به ناحیه طویل شدن موجب

مقدار SLA در تیمار آلومینیوم افزایش نشان داد ولی تیمار اکسین و همچنین تیمار برهم‌کنش اختلاف زیادی با تیمار شاهد نشان ندادند. گزارش‌های مشابهی در مورد برخی از گونه‌های گیاهی تحت تنش عناصر سنگین ارائه شده است (۴۳ و ۴۷) که علت آن می‌تواند اتصال Al^{3+} به دیواره سبب تغییر پتانسیل غشا بوده که نتیجه آن فعال‌سازی یک سری کانال‌های کلسیمی است. نتیجه افزایش Ca^{2+} سیتوپلاسمی دو عمل تخریبی در سلول است:

۱- تشکیل کالوز ۲- تخریب اسکلت سلولی (۳۳). تشکیل کالوز القا شده بوسیله Al^{3+} در نوک ریشه‌ها ارتباط مستقیمی با مهار رشد ریشه دارد (۸). به این دلیل که تشکیل کالوز باعث نفوذپذیری کم به آب می‌شود و پلاسمودسماتا را بلوکه می‌کند و بدین وسیله تبادلات سلول به سلول را مهار می‌کند (۲۱) کالوز ممکن است از شل شدن دیواره و از این رو از طویل شدن دیواره سلول جلوگیری کند. همچنین گزارش شده است که Al^{3+} به طور زیادی مقدار اسیدهای فرولیک و دی‌فرولیک را در دیواره سلولی افزایش داده که موجب سختی و ضخیم شدن دیواره می‌شود، زیرا این دو اسید در فرآیند چوبی شدن شرکت کرده که متعاقب آن مهار رشد ریشه را سبب می‌شوند. چوبی شدن و چوب پنبه‌ای شدن دیواره سلول

کاهش رشد می‌شود (۶). به همین دلیل در تیمار برهم‌کنش با افزایش اکسین تا حدودی کاهش رشد جبران می‌شود. تیمار برهم‌کنش $IAA+Al^{3+}$ اثرات تخریبی آلومینیوم را تا حدودی تعدیل نموده و رشد را افزایش می‌دهد (جدول ۱).

اکسین سنتز آنزیم ADP-گلوکز فسفریلاز را القا می‌نماید (از طریق تأثیر بر ژن APS) که یک آنزیم کلیدی در سنتز نشاسته است و بازدارنده عمل آنزیم بتا-آمیلاز ($At\beta-$ Amy) می‌باشد. همچنین بازدارنده ساخت زیر واحد کوچک آنزیم رویسکواست (از طریق تأثیر بر آنزیم RBCS که کد کننده زیر واحد کوچک آنزیم رویسکو است) و در نتیجه کاهش میزان فتوسنتز اتفاق می‌افتد (۳۱) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد (شکل ۲). میزان همگون‌سازی دی‌اکسید کربن ارتباط تنگاتنگی با قدرت مخزن ریشه‌های گیاه حساس به آلومینیوم دارد. در این گیاهان ممکن است که عدم به کارگیری سوکروز از طریق کاهش فعالیت آنزیم سوکروز اسید اینورتاز صورت گیرد که نقش مهمی در بارگیری و تخلیه فلوئمی سوکروز به وسیله ی شیب غلظت سوکروز دارند. همان طور که می‌دانید ساخت سوکروز، تریوزفسفات مهیا برای ساخت و ذخیره نشاسته را کاهش می‌دهد و این عدم به کارگیری، باعث تجمع نشاسته در برگ (۱۷) و کاهش در میزان همگون‌سازی دی‌اکسید کربن (۳۲) از طریق مهار فیدبکی فتوسنتز می‌شود. کاهش میزان فتوسنتز، کاهش میزان قند محلول گیاه را به دنبال دارد که با نتایج بدست آمده از این پژوهش مطابقت دارد (شکل ۲). همچنین آلومینیوم به ترکیبات فسفات پیوند می‌یابد و بنابراین دسترسی آنزیم رویسکو به فسفات را کاهش می‌دهد و کاهش میزان فعالیت آنزیم رویسکو را سبب می‌شود. همانطور که می‌دانید رویسکو آنزیم کلیدی سنتز کربوهیدرات‌های محلول می‌باشد (۱۱).

کاهش میزان پروتئین می‌تواند به دلیل افزایش در فعالیت پروتئازها باشد که تحت شرایط تنش مقدارشان افزایش می‌یابد. همچنین ممکن است که عناصر سنگین القا کننده پراکسیداسیون لیپیدها و تکه‌تکه شدن پروتئین‌ها شود که از اثرات سمی گونه‌های از اکسیژن فعال نتیجه شده است و منجر به کاهش مقدار پروتئین‌ها می‌شود (۲۲). اکسین به طور قابل ملاحظه‌ای موجب افزایش پیش‌سازهای RNA و پروتئین تمام بخش‌های درون سلولی می‌گردد و سنتز RNA و پروتئین را افزایش می‌دهد که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد (۳۷). (شکل ۱). اکسین افزایش دهنده اورئیک اسید (۳۶٪) و لوسین (۱۳٪) است و از این طریق افزایش دهنده RNA (از ۶ به ۲۶٪) و پروتئین (از ۱۳ به ۳۴٪) می‌باشد (۳۴). افزایش در میزان RNA و پروتئین را می‌توان از طریق افزایش اتیلن نیز به اثبات رساند زیرا اکسین القا کننده سنتز اتیلن است (۳۴).

در میان اثرات متعدد فلزات سمی بر گیاهان تولید انواع گونه‌های اکسیژن فعال القا شده به وسیله فلز شناخته شده است که برای تعدادی از اجزای سلولی مثل: پروتئین‌های اجزای سلولی و لیپیدهای غشا و اسیدهای نوکلئیک و رنگیزه‌های کلروپلاست مخرب می‌باشند. آلومینیوم، اکسیداسیون ترکیبات فنلی را افزایش می‌دهد که نتیجه آن تولید O_2^{0-} و گونه‌ای دیگر اکسیژن فعال است. همچنین شاید افزایش تشکیل O_2^{0-} به سبب تأثیر عناصر سنگین بر افزایش فعالیت NADPH اکسیداز است (۳۳). یک راه دیگر ایجاد O_2^{0-} ، اکسیداسیون عناصر فعال در اکسایش-کاهش مثل Fe^{2+} یا Cu^+ ، که نتیجه‌اش تولید O_2^{0-} و به دنبال آن H_2O_2 و OH° از طریق واکنش‌های فنتون است. از دست دادن یک الکترون از در زنجیره انتقال الکترون یک منبع معمول تولید است (۳۸).

برای مقابله با تنش اکسیداتیو، سلولهای گیاه، آنزیم‌های سمیت‌زدایی رادیکال اکسیژن از قبیل سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز سنتز می‌کنند (۲۳). افزایش

هیدراته در اطراف آنها تشکیل می‌دهند که این نیرویی برای سهولت جذب آب و نیز دلیلی برای افزایش محتوای نسبی آب برگ‌ها است (شکل‌های ۱ و ۲ و ۴). اکسین احتمالاً نفوذپذیری غشا را برای انتشار آب افزایش می‌دهد که این عمل را یا از طریق فعال‌سازی پروتئین‌های موجود یا سنتز از نو (Denovo) آنزیم‌های هیدرولیتیک انجام می‌دهد. هورمون‌های گیاهی از جمله اکسین نقش القای ژن‌های ویژه در سنتز پروتئین‌ها را دارند (شکل ۱). همچنین افزایش میزان پرولین به وسیله هورمون دلیلی برای افزایش میزان محتوای نسبی آب برگ‌ها می‌باشد. زیرا افزایش میزان پرولین و گلایسین بتائین در گیاه که باعث افزایش مقاومت گیاه به شرایط تنش می‌شود نیز به عنوان یک تنظیم‌کننده اسمزی عمل می‌کند (۳۶) افزایش این متابولیت‌ها در این تحقیق نیز مشاهده شد و با یافته‌های بارکت و همکاران نیز موافق بود. مطالعات نشان دادند که کاهش جذب آب می‌تواند به دلیل تاثیر بر آنزیم مسئول در تجزیه پروتئین‌ها و کاهش سطح جذب باشد (۱۶) (شکل ۴).

تجمع گایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز در گیاهان سویا تحت تیمار آلومینیوم در شکل ۳ نشان داده شده است. گزارشات مشابهی برای بسیاری از گونه‌های گیاهی تحت تنش عناصر سنگین ارائه شده است (۱۰ و ۴۲ و ۴۹) که می‌تواند ناشی از اثرات عناصر سنگین بر تولید گونه‌هایی از اکسیژن فعال و بیان برخی از ژن‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت باشد (۳۰). عناصر سنگین می‌توانند روی فعالیت NADPH اکسیداز اثر گذاشته و افزایش O_2^{0-} و نهایتاً H_2O_2 را سبب شده و افزایش POX باعث افزایش چوبی شدن ریشه و کاهش H_2O_2 می‌شود، که چوبی شدن ریشه از ورود کنترل نشده عناصر به سلول جلوگیری می‌کند (۲۵). شکل ۳ نشان دهنده افزایش میزان گایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز در گیاهان سویا در معرض اکسین می‌باشد. افزایش این شاخص‌ها می‌تواند به دلیل افزایش بیان ژن‌های این آنزیم‌ها باشد (۵).

گروه‌های هیدروفیل گوناگون مانند: OH ، NH_3 و $COOH$ که در پروتئین‌ها و قندهای سلول موجود می‌باشند، مولکول‌های دو قطبی آب را جذب می‌کنند و یک لایه

منابع

- ۱ - خاوری‌نژاد، رمضانعلی؛ (۱۳۷۵). اصول آمار زیستی. انتشارات امید.
- 2- Abdalla MM. 2008. Physiological aspects of Aluminum toxicity on some metabolic and hormonal contents of *Hordeum vulgare* seedlings. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 2: 549-560.
- 3- Ahn SJ, Sivaguru M, Chung GC, Rengel Z, and Matsumoto H. 2002. Aluminum- induced growth inhibition is associated with impaired efflux and influx of H^+ across the plasma membrane in root apices of squash (*Cucurbita pepo*). Journal of Experimental Botany, 53:1959-1966.
- 4- Ali B, Rani I, Hayat S, and Ahmad A. 2007. Effect of 4-Cl-indole-3-acetic acid on the seed germination of *Cicer arietinum* exposed to cadmium. Acta Botanica Croatica, 66: 57-65.
- 5- Balestrasse KB, Gardey L, Gallego SM, and Temaro ML. 2001. Response of antioxidant defense system in soybean nodules and roots subjected to cadmium stress. Australian Journal of Plant Physiology, 28: 497-504.
- 6- Barcelo J, and Poshenrieder C. 2002. Fast root growth responses, root exudates and internal detoxification as clues to the mechanism of aluminum toxicity and resistance: a review. Environmental and Experimental Botany, 48: 75-92.
- 7- Bertsch PM, Thomas GW, and Barnhisel RI. 1986. Characterization of hydroxy- aluminum solutions by aluminum-27 nuclear magnetic resonance spectroscopy. Soil Science of Society America, 50: 825-830.

- 8- Bhuja P, McLachlan K, Stephens J, and Taylor G. 2004. Accumulation of 1,3- β -D-glucans, in response to aluminum and cytosolic calcium in *Triticum aestivum*. *Plant & Cell Physiology*, 45: 543-549.
- 9- Bradford MM. 1976. A rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principles of protein- dye binding. *Annales of Biochemistry*, 72: 225-260.
- 10- Cakmak I, Horst W J. 1991. Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities in root trips of soybean (*Glycine max*). *Physiologica Plantarum*, 83: 463-468.
- 11- Chen L-S. 2006. Physiological responses and tolerance of plant shoot to aluminum toxicity. *Journal of Plant Physiology Molecular Biology*, 32: 143-155.
- 12- Dazy M, Jung V, Ferard JF, Masfarau JF. 2008. Ecological recovery of vegetation on a coke-factory soil: role of plant antioxidant enzymes and possible implication in site restoration. *Chemosphere*, 74:57-63.
- 13- Dimkpa CO, Svatos A, Dabrowska P, Schmit A, Boland W and Kothe E. 2008. Involvement of siderophores in the reduction of metal- induced inhibition of auxin synthesis in *Sterptomyces* spp. *Chemosphere*, 74: 19-25.
- 14- Evans DE, Briars SA, Williams LE. 1991. Active calcium transport by plant cell membranes. *Journal of Experimental Botany*, 42: 285-303.
- 15- Fargione J, Hill J, Tilman, D, Polasky S, Hawthorne P, and Xianyong. 2010. Aluminum-induced changes in reactive oxygen species accumulation, lipid peroxidation and antioxidative capacity in root tips of two wheat genotypes differing in aluminum tolerance. *National Natural Science Foundation of China*, 1-14.
- 16- Gadallah, MAA. 2000. Effect of indole-3-acetic and zinc on the growth, osmotic potential and soluble carbon and nitrogen components of soybean plants growing under water deficit. *Journal of Arid Environments*, 44: 451-467.
- 17- Gucci R, and Flore JA. 1989. The effect of fruiting or fruit removal on leaf photosynthesis and dry matter distribution of tomato. *Advance Horticultural Science*, 3: 120-125.
- 18- Haluskova L, Valentovicova K, Huttova J, Mistrik I, and Tamas L. 2010. Effect of heavy metals on root growth and peroxidase activity in barley root tip. *Acta Physiologiae Plantarum*, 32: 59-65.
- 19- Hellubus JA, and Craigie JS. 1978. Hand book of physiological methods. *Physiological and Biochemical methods*, Cambridge University Press.
- 20- Horst WJ, Wang Y, and Eticha D. 2010. The role of the root apoplast in aluminum-induced inhibition of root elongation and in aluminum resistance of plant: a review", *Annlas of Botany*, 106-185-197.
- 21- Ishikawa H, and Evans ML. 1995. Specialized zones of development in roots. *Plant Physiology*, 109: 725-727.
- 22- John R, Ahmad P, Gadgil K. Sharma, S. 2009. Heavy metal toxicity: effect on plant growth, biochemical parameters and metal accumulation by *Brassica juncea* L.", *Int. Journal of Plant Production*, 3: 65-7.
- 23- Kachout SS, Mansoura AB, Leclerc JC, Mechergui R, Rejeb M N, and Ouerghi Z. 2009. Effect of heavy metals on antioxidant activities of *Atriplex hortensis* and *A. rosea*. *Electronic Journal of Environmental Agricultural Food Chemistry*, 9: 444-457.
- 24- Kollmeier M, and Horst W J. 2000. Geotypical difference in aluminum resistance of maize are expressed in the distal parts of transition zone. Is reduced basipetal auxin flow involved in inhibition of root elongation by aluminum? *Plant Physiology*, 122: 945-956.
- 25- Haluskova L, Valentovicova K, Huttova J, Mistrik I, and Tamas L. 2010. Effect of heavy metals on root growth and peroxidase activity in barley root tip. *Acta Physiologiae Plantarum*, 32: 59-65.
- 26- Ma JF. 2000. Aluminum tolerance genes on the short arm of chromosome 3R are linked to organic acid release in triticale", *Plant Physiology*, 122 : 687-694.
- 27- Manavalan LP, Gutticola LS, Lam-Son PT, and Nquyen HT. 2009. Physiological and molecular approaches to improve drought resitance in soybean. *Plant Cell Physiology*, 50: 1260-1276.
- 28- Mossor-Pietraszewska, T., Kwit, M. and Eeiewicz, M. 1997. The influence of aluminium ions on activity changes of some dehydrogenases and aminotransferases in yellow. *Lupine Biological Bulletin of Poznan*, 34: 47-48.
- 29- Nakano Y, and Asada K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific

- peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant & Cell Physiology*, 22>Issue 5>: 867-880.
- 30- Neill SJ, Desikan R, Clarke A, Hurst RD, and Hancock JT. 2002. Hydrogen peroxide and nitric oxide as signalling molecules in plants. *Journal of Experimental Botany*, 53: 1237-1247.
- 31- Ohto MA, Hayashi S, Sawa S, Hashimoto- ohta A, and Nakamura K. 2006. Involvement of HLS₁ in sugar and auxin signaling in *Arabidopsis* leaves. *Plant & Cell Physiology*, 47: 1603-1611.
- 35- Palma JM, Sandalio LM, Javier Corpas F, Romero- Puertas MC, McCarthy I, and del Rio LA. 2002. Plant proteases, PROTEIN protein degradation and oxidative stress: role of peroxisomes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 40: 521-530.
- 32- Peixoto PHP, Cambraia J, Sant AR, Mosquim PR, and Moreira MA. 2002. Responses of the photosynthetic apparatus to aluminum stress in tow sorghum cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, 25: 821-832.
- 33- Rengel Z, and Zhang WH. 2003. Role of dynamics of intracellular calcium in aluminum-toxicity syndrome. *New Phytologist*, 159: 295-314.
- 33- Romero-Puertas MC, Rodriguez-Serrano M, Corpas FJ, Gomez M, Delrio LA, and Sandalio LM. 2004. Cadmium induced subcellular accumulation of O₂⁻ and H₂O₂ in pea leaves. *Plant Cell Environmental*, 27: 1122-1134.
- 34- Sacher JA, and Salminen SO. 1969. Comparative studies of effect of auxin on permeability and synthesis of RNA and protein. *Plant Physiology*, 44: 1371-1377.
- 35- Shamsi IH, Wei K, Jilani G, Zhang GP. 2007. Interactions of cadmium and aluminum toxicity in their effect on growth and physiological parameters in soybean. *Journal of Zhejiang University Science B*. 8: 181-188.
- 36- Sharma SS, and Dietza K. 2006. The significance amino acids and amino acid-derived molecules in plant responses and adaptation to heavy metal stress. *Journal of Experimental Botany*, 57: 711-726.
- 37- Shraiy, AM, and Hegazi AM. 2009. Effect of acetyl salicylic acid, Indole-3-Butric acid and Gibberlic acid on plant growth and yield of pea (*Pisum Sativum* L.). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3: 3514-3523.
- 38- Sigaud-Kutner TCS, Leitao MAS, and Okamoto OK. 2003. Heavy metal – induced oxidative stress in algae: Review. *Journal of Phycology*, 39: 1008-1018.
- 39- Somogyi M. 1952. *Journal of Biological Chemistry*, 200-245.
- 40- Sun P, Tian Q Y, Chen J, and zhang W H. 2010. Aluminium-induced inhibition of root elongation in *Arabidopsis* is mediated by ethylene and auxin. *Journal of Experimental Botany*, 61: 347-356.
- 41- Swarup R, Perry P, Hagenbeek D, Straeten DVD, Beemster ST, Sandberg G, Bhalerao R, Ljung K, and Bennett M J. 2007. Ethylene upregulates auxin biosynthesis in *Arabidopsis* seedlings to Enhance Inhibition of root cell elongation. *The Plant Cell*, 19: 2186- 2196.
- 42- Szollosi R, Kalman E, Medvegy A, Peto A, and Varga SI. 2011. Studies on oxidative stress caused by Cu and Zn excess in germinating seeds of Indian mustard (*Brassica juncea*). *Acta Biologica Szegediensis*, 55: 175-178.
- 43- Vassilev A, Lidon FC, Matos M, Ramalho JC, and Yordano I. 2002. Photosynthetic performance and content of some nutrients in cadmium and copper treated barley plants. *Journal of Plant Nutrition*, 25: 2343-2360.
- 44- Watson DJ. 1952. The physiological basi of variation in yield. *Advance Agronomy*, 4:101-145.
- 45- Weatherley PE. 1950. “ Studies in the water relations of the cotton plant: I-the field measurement of water deficits in leaves. *New Phytologist*, 49: 81-97.
- 46- Williams LE, Pittman JK, Hall JL. 2000. Emerging mechanisms for heavy metal transport in plants. *Biochemica et Biophysica Acta*, 1465: 104-126.
- 47- Yamamoto Y, Kobayashi Y, Devi SR, Rikiishi S, and Matsumoto H. 2003. Oxidative stress triggered by aluminium in plant roots. *Plant and Soil*, 255: 239- 243.
- 48- Yin L, Mano J, Wang S, Tsuji W, Tanaka K. 2010. The involvement of lipid peroxide-derived aldehydes in aluminum toxicity of *Tobacco* roots. *Plant Physiology*, 152: 1406-1417.
- 49- Zhang FQ, Wang YS, Lou ZP, and Dong JD 2007. Effect of heavy metal stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of two mangrove plant seedlings (*Kandelia candel* and *Bruguiera gymnorhiza*). *Chemosphere* , 67: 44- 50.

Effect of indole acetic acid on growth, protein content and activities of catalase and peroxidase in soybean plant (*Glycine max* (L.) Merr) under aluminum chloride stress.

Najafi F. and Mohammadi F.

Faculty of Biological Sciences, Kharazmi University, Tehran, I.R. of Iran

Abstract

In the present study, the effect of indole acetic acid (IAA) on certain physiological and biochemical parameters in *Glycine max* (L.) Merr under aluminum chloride (AlCl_3) stress was studied. Seeds were sterilized and cultured in petri-dishes. Six-day old seedlings were transferred to pots containing washed sand, and then they were irrigated with Hoagland solution in a growth chamber (with 16 h light per day and day/night temperatures of 25/18). Fourteen day-old plants were treated with different concentrations of AlCl_3 (0, 50, 100, 200 and 300 μM) and IAA (0, 50 and 100 μM). Plants were harvested 15 days after treatment. With increase in aluminum concentration, NAR, RLGR, RWC, protein and soluble sugars contents decreased. However, SLA and peroxidase and catalase activities increased. With addition of IAA to culture solutions containing aluminum, the plants showed further decrease in the amount of soluble sugars, but the other parameters were adjusted. Also, with enhancing aluminum concentration in culture solutions with and without IAA, insoluble sugars increased. Eventually it was found that exogenous indole acetic acid counteracted the deleterious effects of Al^{3+} stress and helped plants grow successfully under these unfavorable conditions.

Key words: indole acetic acid, aluminum chloride, peroxidase, catalase, carbohydrate.