

اثر محلول پاشی روی (Zn) و اکسین (IBA) بر فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در ذرت دانه‌ای

بهنام زند، علی سروش‌زاده^{۱*}، فائزه قناتی^۲ و فؤاد مرادی^۳
^۱ گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
^۲ گروه علوم گیاهی دانشکده علوم پایه دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
^۳ پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی، تهران، ایران

چکیده

به منظور بررسی سطح فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در گیاه ذرت در واکنش به محلول‌پاشی عنصر روی و ماده تنظیم‌کننده رشد اکسین (ایندول بوتریک اسید) طرحی با استفاده از ۸ ترکیب محلول‌پاشی در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار به اجرا در آمد. در این مطالعه سطوح فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دسموتاز، پراکسیداز، پلی‌فنل اکسیداز و اکسین اکسیداز بررسی شد. نتایج نشان داد که کاربرد ترکیبات مختلف عنصر روی و همچنین تنظیم‌کننده رشد اکسین، موجب افزایش سطح فعالیت آنزیم‌های ذکر شده گردید و بنابراین محلول‌پاشی دو ترکیب سولفات و کلات روی با اکسین و حتی بدون اکسین، قادر است سیستم آنتی‌اکسیدانتی آنزیمی گیاه را تقویت نموده، گیاه را نسبت به بروز شرایط تنش، مانند تنش کمبود آب متحمل‌تر سازد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم، آنتی‌اکسیدانت، اکسین، ذرت، روی، محلول‌پاشی

مقدمه

ویژه‌ای داشته و کمبود آن در کنار برخی دیگر از ریزمغذی‌ها، مانند آهن در مقیاس جهانی قابل مشاهده است (Malakoti and Tehrani, 2001). از سوی دیگر، در میان گیاهان زراعی، ذرت از جمله گیاهانی است که بیشترین حساسیت را به کمبود عنصر روی به دلیل نیازهای بیوشیمیایی دارد (Marschner, 1995). از تأثیرات معمولی تنش خشکی همانند سایر تنش‌های محیطی ایجاد

هر یک از عناصر کم مصرف نقش خاصی را در گیاه ایفا می‌کنند و وجود این عناصر در حد کفایت برای کامل کردن چرخه زندگی و رشد گیاه لازم است. نقش این عناصر از واکنش‌های بسیار ساده تا خیلی پیچیده را در بر می‌گیرد و نقش یک عنصر ریزمغذی را عنصر دیگر نمی‌تواند به عهده بگیرد. در این میان، عنصر روی جایگاه

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در واکنش به محلول‌پاشی‌ها بررسی گردید.

اکسین‌ها گروه کوچکی از هورمون‌های گیاهی هستند که نقش محوری در تنظیم رشد و نمو گیاه ایفا می‌کنند (Sen, 2000) و با توجه به اینکه رشد و نمو ریشه تحت تاثیر هورمونی است و رشد طولی محور اصلی و آغاز رویش ریشه‌های فرعی در درجه نخست به‌وسیله اکسین سرچشمه گرفته از بخش هوایی گیاه تحریک می‌گردد (Marschner, 1995)، از این رو، با توسعه سیستم ریشه، گیاه قادر خواهد بود نسبت به جذب بهینه عنصر روی که در شرایط کمبود رطوبت با کاهش تحرک روبه‌رو بوده، اقدام نماید و از سوی دیگر، به ذخایر بیشتر رطوبتی خاک دسترسی داشته باشد.

عنصر روی برای ساخت اکسین (IAA) از اسید آمینه تریپتوفان و از راه تریپتامین مورد نیاز است و از سویی میزان تریپتوفان در گیاهانی که دچار کمبود عنصر روی باشند، در حد پایینی قرار دارد، که پایین بودن میزان اکسین در گیاهانی که کمبود عنصر روی دارند، ممکن است در نتیجه فعالیت زیاد آنزیم IAA-اکسیداز باشد. ایندول بوتریک اسید (IBA) نیز از جمله اکسین‌های طبیعی است که ابتدا صرفاً به عنوان یک ترکیب ساختگی شناخته می‌شد، ولی این ترکیب از بذر و برگ‌های ذرت و برخی گونه‌های گیاهی استخراج شده است (Epstein et al., 1980).

اندول بوتریک اسید (IBA) به طور گسترده‌ای به عنوان یکی از ترکیبات اکسین جهت القای ریشه‌دهی در گیاهان و قلمه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، زیرا:

۱- به علت توانایی بالای این ترکیب در القای ریشه‌زایی (Weisman et al., 1988)

آسیب‌های اکسیداتیو است. از جمله خسارت‌های اکسیداتیو که بر اثر رادیکال‌های اکسیژن ایجاد می‌گردد، می‌توان به خسارت اکسیداتیو به لیپیدها، پروتئین‌ها و DNA اشاره نمود و در این خصوص تولید گونه‌های اکسیژن فعال منجر به پراکسیداسیون لیپیدها (Chen et al., 2000) و از بین رفتن پروتئین (Jiang and Huang, 2001) می‌گردد، اما در برابر بروز چنین خسارت‌هایی، گیاهان به منظور حفاظت در برابر گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، به دفاع آنتی‌اکسیدانتی مانند ترکیبات آنزیم‌های سوپر اکسید دسموتاز (SOD) و کاتالاز (CAT) مجهز هستند (Agarwal et al., 2005).

در گیاهان تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) برای تطابق و سازگاری و تحمل آنها به انواع تنش‌های زنده و غیرزنده به شمار می‌روند (Dat et al., 2009) و در این میان، فعالیت آنزیم‌هایی مانند کاتالاز (CAT)، پراکسیداز (POD) و سوپر اکسید دسموتاز (SOD) موجب خنثی سازی فعالیت ROS تولید شده در سلول‌ها می‌گردد و تولید ROS در سلول‌های گیاهی موجب تحریک و افزایش فعالیت آنزیم‌های اشاره شده، شامل: کاتالاز، پراکسیداز، سوپر اکسید دسموتاز و اسکوربات پراکسیداز می‌شود (Dat et al., 2009).

مصرف خاکی ریز مغذی‌ها، علاوه بر پایین بودن راندمان انتقال آن به گیاه، از لحاظ اقتصادی نیز بسیار پرهزینه است و از این رو، می‌توان از روش‌های جایگزین مانند محلول‌پاشی بهره جست. همچنین، در بخشی از مطالعه نگارندگان بر روی تأثیرات محلول‌پاشی عنصر روی و اکسین بر برخی صفات کمی و کیفی ذرت دانه‌ای در شرایط کمبود آب افزایش احتمالی سطح فعالیت برخی از

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیرات ناشی از محلول پاشی عنصر روی و تنظیم کننده رشد اکسین (اندول بوتریک اسید) در بخش هوایی گیاه (برگ‌ها) بر روی تغییرات برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت گیاه ذرت دانه‌ای، طرحی در شرایط گلخانه با استفاده از ۸ تیمار به شرح جدول ۱ در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار به اجرا درآمد.

۲- مسمومیت ضعیف و همچنین پایداری بالای این ترکیب در مقایسه با سایر ترکیبات اکسین، مانند نفتالین استیک اسید و اندول استیک اسید. (Blazich, 1988, Hartmann *et al.*, 1990)

اگر چه اکسین‌ها به طور گسترده‌ای جهت ریشه‌زایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، ولی اطلاعات ناچیزی پیرامون نحوه عمل اختصاصی آنها و تأثیرات متقابل آنها با دیگر ترکیبات داخلی گیاه وجود دارد (Gaspar *et al.*, 1997).

جدول ۱- تیمارهای محلول پاشی در مطالعه فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت گیاه ذرت دانه‌ای

شماره تیمار	تیمار محلول پاشی
۱	سولفات روی + اکسین (IBA) + Tween 20
۲	سولفات روی + Tween 20
۳	کلات روی + اکسین (IBA) + Tween 20
۴	کلات روی + Tween 20
۵	اکسین (IBA) + Tween 20
۶	ماده مومی (سورفکتانت) Tween 20
۷	آب
۸	بدون محلول پاشی

همچنین، جهت انحلال بهتر تنظیم کننده اندول بوتریک اسید در آب از الکل استفاده شد. محلول پاشی تیمارهای مختلف عنصر روی در ساعات اولیه صبح صورت گرفت؛ یعنی در زمانی که درجه حرارت پایین بوده، ترکیبات بلافاصله تبخیر نگردند و از سوی دیگر، با توجه به تأثیرات سوء عامل نور بر روی تنظیم کننده اکسین، محلول پاشی‌ها در آستانه غروب خورشید و حداقل شدت روشنایی صورت گرفت تا بدین شکل هم از تأثیرات سوء نور جلوگیری شده باشد و هم تا هنگام صبح مدت زمان مناسبی جهت جذب بهینه محلول توسط گیاهان وجود داشته باشد. جهت نمونه گیری از بوته‌ها، ۲ هفته پس از

محلول پاشی در آستانه ظهور گل‌های تاجی؛ یعنی در مرحله ۳/۵ بر اساس تقسیم‌بندی هانوی (Hanway, 1971) در سه نوبت با فواصل زمانی ۲ روز تکرار گردید. غلظت عنصر روی در محلول به صورت ۵ در هزار (۵ گرم در لیتر) و غلظت اندول بوتریک اسید نیز ۱۰ میلی گرم در لیتر در نظر گرفته شد. محلول پاشی عنصر روی و اندول بوتریک اسید با فاصله زمانی ۲۴ ساعت و به صورت غیرمخلوط انجام شد تا از احتمال اختلال در جذب جلوگیری گردد. به منظور افزایش مدت زمان ماندگاری ترکیبات مختلف محلول پاشی بر روی بوته‌ها، از ماده‌ای چسبنده و مومی به نام توین ۲۰ با نسبت ۰/۵ درصد حجمی استفاده گردید و

دور 12000×20 دقیقه سانتریفیوژ شد (مراحل فوق در ۴ درجه سانتی‌گراد انجام شد). از این عصاره برای سنجش آنزیم‌های زیر استفاده شد. با استفاده از روش فتوشیمیایی (Cakmak and Horst, 1991) سنجش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (CAT) و سوپراکسید دیسموتاز (SOD) به ترتیب در طول موج‌های ۲۴۰ و ۵۶۰ نانومتر با اسپکتروفوتومتر قرائت شد. فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (POD) نیز با استفاده از روش فتوشیمیایی (Morita et al., 2006) با جذب نوری ۴۷۰ نانومتر تعیین شد. در نهایت، برای سنجش آنزیم پلی فنل اکسیداز (PPO) از روش (Khan, 1975) استفاده شد که جذب نوری عصاره آنزیمی نیز در طول موج ۴۱۰ نانومتر قرائت شد. جهت سنجش آنزیم اکسین-اکسیداز (IAA-Oxidase) از روش (Beffa et al., 1990) با جذب نوری ۵۳۵ نانومتر استفاده شد.

انجام محلول‌پاشی برگ‌های ۳ بوته از هر یک از تیمارهای مختلف از ساقه جدا و از آنها نمونه‌ای مرکب تهیه گردید و از این نمونه‌ها جهت سنجش سطوح فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت استفاده شد. با توجه به اینکه انجام هر یک از مراحل سه‌گانه محلول‌پاشی احتمالاً بر روی سطوح فعالیت و مقادیر آنزیم‌ها مؤثر است، لذا پس از هر یک از نوبت‌های محلول‌پاشی، نمونه‌گیری از بوته‌ها تهیه شد و بلافاصله آنها در مخزن نیتروژن مایع قرار گرفته و سپس به آزمایشگاه منتقل و در دمای -80°C درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

روش عصاره‌گیری و استخراج آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی

نمونه‌های فریز شده (200 میلی‌گرم وزن تر)، در 3 میلی‌لیتر بافر تریس 0.1 میلی‌مولار ($\text{pH}=7.5$) ساییده و با

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی عنصر روی و تنظیم‌کننده رشد اکسین بر فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در برگ ذرت

میانگین مربعات (MS)					درجه آزادی	منبع تغییرات
اکسین اکسیداز (Aux-Oxi)	پلی فنل اکسیداز (PPO)	فعالیت سوپراکسید دسموتاز (SOD)	فعالیت پراکسیداز (POD)	فعالیت کاتالاز (CAT)	d.f	S.O.V
۰/۳۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۰۲ ^{ns}	۲۴/۳۷ ^{ns}	۰/۱۷ ^{ns}	۰/۰۳۰۱ ^{ns}	۲	تکرار
۱/۸۳ ^{**}	۰/۰۰۰۰۰۸ ^{**}	۳۵/۶۷ ^{**}	۴/۷۲ ^{**}	۰/۵۷۵ ^{**}	۷	نوع محلول‌پاشی
۰/۱۹۶۳	۰/۰۰۰۰۰۰۶	۶/۳۲	۰/۲۸۵	۰/۰۱۴	۱۴	تکرار \times نوع محلول‌پاشی
۳۱/۲۰ ^{**}	۰/۰۰۰۰۰۴ ^{**}	۱۰۴۲/۵۴ ^{**}	۶/۴۳ ^{**}	۳/۰۲ ^{**}	۲	نوبت محلول‌پاشی
۱/۲۴۴ ^{**}	۰/۰۰۰۰۰۴ ^{**}	۲۲/۱۰ ^{**}	۲/۰۸ ^{**}	۰/۴۷۵ ^{**}	۱۴	نوع محلول‌پاشی \times نوبت
۰/۰۹۹	۰/۰۰۰۰۰۱	۷/۵۷	۰/۳۶	۰/۰۲۹	۴	محلول‌پاشی
۸/۸۷	۳۹/۲۷	۷/۱۶	۱۳/۰۹	۱۹/۵۱	-	تکرار \times نوبت محلول‌پاشی
ضریب تغییرات (% CV)						

** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱٪ و غیر معنی‌دار

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر نوع محلول پاشی عنصر روی و تنظیم کننده رشد اکسین بر روی فعالیت تعدادی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در برگ‌های ذرت دانه‌ای

نوع تیمار محلول پاشی spraying treatments no.	کاتالاز (CAT) Δ Abs ۲۴۰/mg protein	پراکسیداز (POD) Δ Abs ۴۷۰/mg Protein	سوپراکسید دسموتاز (SOD) Δ Abs ۵۶۰/mg protein	پلی فنل اکسیداز (PPO) Δ Abs ۴۱۰/mg protein	اکسین اکسیداز (Aux-Oxi) Δ Abs /mg protein
سولفات روی + اکسین + توین ۲۰	۰/۹۲۱ a	۴/۸۰۲ a	۲۰/۹۵ c	۰/۰۰۰۹ c	۳/۸۵ e
سولفات روی + توین ۲۰	۰/۶۷۶ b	۵/۲۳۹ a	۲۴/۰۸ ab	۰/۰۰۳۲ a	۴/۹۵ a
کلات روی + اکسین + توین ۲۰	۱/۱۰۶ a	۴/۸۱۹ a	۲۴/۳۸ ab	۰/۰۰۳ a	۴/۹۰ ab
کلات روی + توین ۲۰	۰/۵۴۴ bc	۴/۷۰۴ a	۲۳/۸۵ ab	۰/۰۰۱۳ c	۳/۷۵ e
اکسین + توین ۲۰	۰/۴۹۰ bc	۵/۱۸۰ a	۲۳/۹۷ ab	۰/۰۰۳ a	۴/۱۱ cde
توین ۲۰	۰/۵۸۰ bc	۳/۵۳۰ b	۱۹/۷۴ c	۰/۰۰۲۴ ab	۴/۵۹ abc
آب	۰/۹۵۰ a	۳/۷۰۰ b	۲۵/۹۶ a	۰/۰۰۱۵ bc	۴/۵۸ abc
بدون محلول پاشی	۰/۴۰۲ c	۳/۵۶۰ b	۲۳/۳۵ b	۰/۰۰۰۶ c	۴/۳۷ bcd

میانگین‌های دارای حرف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال آزمون F تفاوت معنی دار ندارند.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تعداد نوبت محلول پاشی عنصر روی و تنظیم کننده رشد اکسین بر روی فعالیت تعدادی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی در برگ‌های ذرت دانه‌ای

تعداد نوبت محلول پاشی spraying times	فعالیت پراکسیداز (POD) Δ Abs 470/mg protein	فعالیت سوپراکسید دسموتاز (SOD) Δ Abs 560/mg protein	فعالیت اکسین اکسیداز (Aux-Oxi) Abs /mg protein Δ	فعالیت کاتالاز (CAT) Δ Abs 240/mg protein
۱	۴/۰۲ b	۱۹/۵۴ b	۴/۰۰ b	۰/۴۴ c
۲	۴/۲۹ b	۱۹/۴۲ b	۳/۴۹ c	۰/۵۷ b
۳	۵/۰۲ a	۳۰/۹۰ a	۵/۶۷ a	۱/۱۱ a

میانگین‌های دارای حرف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال آزمون F تفاوت معنی دار ندارند.

نتیجه‌گیری و بحث

محلول پاشی نیز بر روی فعالیت آنزیم‌ها به استثنای سطح فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز تأثیرات معنی‌داری داشته است. اثر متقابل نوع و نوبت محلول پاشی نیز بر روی فعالیت کلیه آنزیم‌های مورد مطالعه معنی دار بود. بنابراین، در خصوص آنزیم‌های مورد بررسی سطوح فعالیت آنها عموماً متأثر از تیمارهای محلول پاشی و همچنین دفعات محلول پاشی گردیده است و در این میان، تنها سطوح فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز است که نسبت به نوبت‌های محلول پاشی واکنشی نشان نداده است.

با توجه به جدول تجزیه واریانس اثر تیمارهای محلول پاشی عنصر روی (Zn) و تنظیم کننده رشد اکسین (IBA) بر روی صفات مورد بررسی، چنین مشاهده می‌گردد که اثر نوع محلول پاشی بر روی سطوح فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دسموتاز، پلی فنل اکسیداز و اکسین اکسیداز اثر معنی دار داشت. در میان آنزیم‌های مورد بررسی، فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز نسبت به سایر آنزیم‌های مطالعه شده کمتر تحت تأثیر قرار گرفته است؛ هر چند این اثر معنی دار بود. نوبت‌های

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع و نوبت محلول‌پاشی عنصر روی و تنظیم‌کننده رشد اکسین بر روی تعدادی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در برگ‌های ذرت دانه‌ای

نوع محلول‌پاشی spraying treatments	نوبت محلول‌پاشی spraying times	کاتالاز (CAT) Δ Abs 240/mg protein	پراکسیداز (POD) Δ Abs 470/mg protein	سوپر اکسید دسموتاز (SOD) Δ Abs 560/mg protein	پلی فنل اکسیداز (PPO) Δ Abs 410/mg protein	اکسین اکسیداز (AUX-OXI) Δ Abs /mg protein
سولفات روی + اکسین + توین ۲۰	۱	۰/۸۷ cde	۴/۳۷ Cde	۱۷/۶۶ f	۰/۰۰۵ a	۳/۸۷ ef
سولفات روی + اکسین + توین ۲۰	۲	۰/۹۸ cd	۴/۰۴ Cdef	۱۷/۹۱ F	۰/۰۰۲ b.g	۳/۲۹ f
سولفات روی + اکسین + توین ۲۰	۳	۰/۹۱ cd	۵/۹۹ ab	۲۷/۲۸ cd	۰/۰۰۰۴fg	۴/۴۰ cde
سولفات روی + توین ۲۰	۱	۰/۲۸ h	۴/۴۴ Cde	۱۷/۹۲ F	۰/۰۰۲ b.g	۳/۹۰ ef
سولفات روی + توین ۲۰	۲	۰/۸۶ cde	۵/۲۶ abc	۲۰/۹۶ ef	۰/۰۰۲ b.g	۳/۵۸ ef
سولفات روی + توین ۲۰	۳	۰/۸۹ cde	۵/۰۲ ab	۳۳/۳۷ B	۰/۰۰۲ b.g	۷/۲۸ a
کلات روی + اکسین + توین ۲۰	۱	۰/۴۳ gh	۴/۸۸ bcd	۲۱/۴۷ Ef	۰/۰۰۳b..e	۳/۹۴ ef
کلات روی + اکسین + توین ۲۰	۲	۰/۵۱ fgh	۴/۴۲ cde	۱۹/۶۴ ef	۰/۰۰۲ b.g	۳/۶۱ ef
کلات روی + اکسین + توین ۲۰	۳	۲/۳۷ a	۵/۱۶ bcd	۳۲/۰۳ b	۰/۰۰۴b	۷/۱۴ a
کلات روی + توین ۲۰	۱	۰/۲۲ h	۳/۹۶ defg	۲۰/۳۷ Ef	۰/۰۰۲۴ b..f	۳/۷۰ ef
کلات روی + توین ۲۰	۲	۰/۳۶ gh	۴/۹۰ bcd	۲۰/۰۳ Ef	۰/۰۰۱۳ d..g	۳/۳۹ ef
کلات روی + توین ۲۰	۳	۱/۰۶ c	۵/۲۶ abc	۳۱/۱۴ bc	۰/۰۰۰۴ fg	۴/۱۷ ef
اکسین + توین ۲۰	۱	۰/۴۶ fgh	۳/۹۹ cdefg	۱۸/۶۵ f	۰/۰۰۱۱ efg	۳/۸۷ ef
اکسین + توین ۲۰	۲	۰/۳۱ h	۵/۱۰ abcd	۱۹/۱۸ Ef	۰/۰۰۳b..e	۳/۳۰ f
اکسین + توین ۲۰	۳	۰/۶۹ defg	۶/۴۴ a	۳۴/۰۸ ab	۰/۰۰۳۵bc	۵/۱۵ bcd
توین ۲۰	۱	۰/۴۸ fgh	۲/۷۸ fg	۱۷/۴۷ f	۰/۰۰۳۲ bcd	۴/۰۸ ef
توین ۲۰	۲	۰/۴۶ fgh	۴/۰۸ cdef	۱۷/۶۳ F	۰/۰۰۱۲d.g	۳/۶۲ ef
توین ۲۰	۳	۰/۸۰ cdef	۳/۷۵ defg	۲۴/۱۳ De	۰/۰۰۳b..e	۶/۰۵ b
آب	۱	۰/۵۲ fgh	۲/۸۰ fg	۲۰/۹۷ Ef	۰/۰۰۱۶ c..g	۴/۲۸ def
آب	۲	۰/۵۶ efg	۳/۳۵ efg	۱۸/۵۰ f	۰/۰۰۰۶fg	۳/۷۲ ef
آب	۳	۱/۷۶ b	۴/۹۴ bcd	۳۸/۴۰ A	۰/۰۰۲ b.g	۵/۷۶ b
بدون محلول‌پاشی	۱	۰/۲۷ h	۴/۹۳ bcd	۲۱/۸۰ ef	۰/۰۰۰۷fg	۴/۳۹ cde
بدون محلول‌پاشی	۲	۰/۵۳ fgh	۳/۱۷ efg	۲۱/۵۲ ef	۰/۰۰۰۹fg	۳/۴۱ ef
بدون محلول‌پاشی	۳	۰/۴۱ gh	۲/۵۹ g	۲۶/۷۴ cd	۰/۰۰۰۲g	۵/۳۱ bc

میانگین‌های دارای حرف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال آزمون F تفاوت معنی‌دار ندارند.

داده‌اند و در واقع، تیمارهای محلول‌پاشی ذکر شده قادرند با افزایش سطح فعالیت این آنزیم سطح تحمل گیاه ذرت را نسبت به بروز شرایط کمبود آب ارتقا دهند که در این رابطه Jung و همکاران (۲۰۰۶) به نقش CAT در افزایش سطح تحمل به تنش در موتانت‌های ذرت در مواجهه با تنش پس از گرده‌افشانی اشاره داشته‌اند و در تحقیقی

بر اساس جدول ۳ اثر محلول‌پاشی عنصر روی و تنظیم‌کننده رشد اکسین (IBA) چنین مشاهده می‌گردد که در رابطه با سطوح فعالیت آنزیم کاتالاز تیمارهای محلول‌پاشی کلات روی + اکسین + توین ۲۰ (تیمار ۳)، آب (تیمار ۷) و تیمار سولفات روی + اکسین + توین ۲۰ (تیمار ۱) به ترتیب، بیشترین سطح فعالیت این آنزیم را نشان

تعدادی از پراکسیدازهای سطحی نیز به گونه‌ای مستحکم با غشای پلازما پیوند برقرار نموده‌اند (Matters and Scandalios, 1987). البته، اعتقاد بر این است که بیوسنتز و تراوش پراکسیدازها ایوپلاستی که در ابتدا موجود است، امکان دارد از طریق تغییر شرایط محیطی تنظیم گردد (Dat et al., 2000).

به نظر می‌رسد پراکسیدازها عموماً به عنوان آنزیم‌های مسمومیت زدای گونه‌های اکسیژن فعال عمل می‌کنند، زیرا هیدروژن پراکسید (H_2O_2) ماده‌ای است که برای دامنه گسترده‌ای از واکنش‌های وابسته به پراکسیداز به عنوان ماده پذیرنده الکترون عمل می‌کند.

در این میان، پراکسیدازها در امر شکستن H_2O_2 از طریق چندین ساز و کار مختلف عمل می‌کنند (Kawano, 2003). بنابراین چنین استنباط می‌گردد که محلول پاشی تیمارهای برتر از لحاظ سطوح فعالیت آنزیم پراکسیداز موجب شکسته شدن هیدروژن پراکسید در سلول خواهد شد. بدین شکل از تولید ROS ها جلوگیری می‌نماید و بنابراین، با بالا رفتن سطوح فعالیت این آنزیم گیاه کمتر مورد تهاجم ROS ها قرار می‌گیرد، زیرا اصولاً آنزیم‌های CAT و POD به عنوان اصلی‌ترین آنزیم‌های از بین برنده H_2O_2 شناخته شده‌اند.

نوع تیمارهای محلول پاشی که بیشترین سطح فعالیت POD را نشان دادند، حاکی از آن است که اکسین و ترکیبات آن بر فعالیت POD اثرگذار است و برعکس سطوح فعالیت POD نیز در تنظیم سطوح اکسین دخالت دارند. از سوی دیگر، به علت نقش اکسین در امر ریشه‌زایی در گیاه و به ویژه ریشه‌های جانبی، این امکان وجود دارد که تغییر در فعالیت‌های آنزیمی با تجمع مواد سنتزی در

دیگر، بالا بودن سطح CAT و SOD در ارقام مقاوم نسبت به ارقام حساس گندم در برابر شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Feng et al., 2004).

Jiang و Huang (۲۰۰۱) در بررسی اثر آبسیسیک اسید (ABA) بر گونه‌های فعال اکسیژن (AOS) سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانتی و خسارت اکسیداتیو در برگ گیاهچه‌های ذرت را با غلظت‌های مختلف ABA بررسی و چنین مشاهده نمودند که با افزایش سطح غلظت ABA مقادیر فعالیت‌های آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دسموتاز، اسکوربات پراکسیداز و گلوکاتایون ریداکتاز افزایش نشان داده که در واقع، نقش تعدیل‌کنندگی خسارت را بر عهده دارند. با این دیدگاه، چنین استنباط می‌گردد که ۳ تیمار محلول پاشی مورد اشاره توانسته‌اند با افزایش سطح فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) گیاه را در سطح مطلوبتری از تحمل به کمبود آب قرار دهند. در واقع CAT به عنوان یک آنزیم آنتی‌اکسیدانت به سرعت H_2O_2 را از بین می‌برد و این در شرایطی است که افزایش غلظت اکسین (اندول بوتریک اسید) می‌تواند از طریق اثر بر غلظت ABA در بافت گیاهی اثر گذار باشد.

تیمارهای سولفات روی + اکسین + توین ۲۰ (تیمار یک)، سولفات روی + توین ۲۰ (تیمار دو)، کلات روی + اکسین + توین ۲۰ (تیمار سه)، کلات روی + توین ۲۰ (تیمار چهار) و اکسین + توین ۲۰ (تیمار پنج) در مجموع به‌طور مشابهی به ترتیب بالاترین سطح فعالیت آنزیم پراکسیداز را نشان دادند. ظاهراً دیواره سلولی محل اصلی تجمع تعدادی از ایزوآنزیم‌های پراکسیداز است. در این میان، برخی از ایزوآنزیم‌های پراکسیداز نیز با سطح سلول پیوند برقرار نموده‌اند که می‌توانند به سادگی تحت شرایط مختلف تنش آزاد شده، وارد محلول آپوپلاست گردند.

روی + اکسین + توین ۲۰ نسبت به سایر تیمارهای اعمال شده، بالاترین سطح را نشان داده و در گروه‌بندی جداگانه‌ای نیز قرار گرفته است و سایر تیمارهای محلول‌پاشی تفاوتی از لحاظ سطح فعالیت این آنزیم نشان نداده‌اند. پلی فنل اکسیداز در بیشتر گیاهان عالی یافت می‌گردد و وظیفه اصلی آن کاتالیز نوعی کوئینون از فنل‌ها و در مجاورت مولکول اکسیژن است. البته، هم شرایط رشد (مانند بروز شرایط تنش) و هم نوع ژنوتیپ بر فعالیت پلی فنل اکسیداز اثر می‌گذارد.

از جمله نقش‌های اصلی این آنزیم، تأثیرات آن بر تشکیل ریشه‌های نابجا و سازماندهی و نمو ریشه است که در این رابطه (Yilmaz *et al.*, 2003) در مطالعه‌ای بر روی فعالیت پلی فنل اکسیداز در طی مراحل ریشه‌دهی در قلمه‌های انگور به آن اشاره داشته‌اند. همچنین، از نقش‌های حساس این آنزیم در تقسیم سلولی، تمایز و نمو اولیه است (Huystee and Cairns, 1982).

Basak و همکاران (۲۰۰۰) در بررسی واکنش ریشه‌دهی در قلمه‌های ساقه از ۵ گونه درختان مانگرو با محوریت اثر اکسین‌ها و فعالیت آنزیم‌ها چنین نتیجه گرفتند که افزایش چشمگیر صورت گرفته PPO با ریشه‌دهی برخی از این گونه‌ها ارتباط داشته است. آنها همچنین اظهار داشته‌اند که قابل استفاده بودن IAA داخلی گیاه که بستگی به سطح فعالیت آنزیم اکسین اکسیداز (IAA-Oxidase) در آن بافت گیاهی دارد، ممکن است از طریق عمل دو آنزیم اکسیداتیو POD و PPO به صورت پنهان باقی بماند.

با توجه به جدول‌های ۲ و ۳ چنین مشاهده می‌گردد که تأثیرات نوع محلول‌پاشی بر روی سطوح فعالیت آنزیم اکسین اکسیداز اثرگذار بوده است و در میان تیمارهای

ساقه در مراحل پس از محلول‌پاشی تنظیم‌کننده رشد اکسین (IBA) در ارتباط باشد (Quddoury and Amssa, 2004). اصولاً آنزیم‌های اکسیداتیو مانند POD که به‌طور گسترده‌ای در گیاهان عالی وجود دارند، اثر غیرمستقیمی بر طی مراحل آغازین ریشه‌زایی دارند. قابلیت اثرگذاری کاربرد خارجی اکسین (IBA) که خود بستگی به سطح فعالیت آنزیم اکسین اکسیداز (Aux. Oxi.) دارد، ممکن است از طریق عمل دو آنزیم اکسیداتیو POD و پلی فنل اکسیداز (PPO) پنهان باقی بماند (Basak *et al.*, 2000)، بنابراین، با اعمال تیمارهای محلول‌پاشی با ترکیبات اشاره شده، انتظار می‌رود بر میزان تحمل گیاه با فعالیت بیشتر آنزیم‌های دفاعی و مقادیر بالاتر آنتی‌اکسیدانت‌های آنزیمی افزوده گردد. نتایج مشابهی بر روی گیاهان ذرت، خیار، ارزن و سیب‌زمینی نیز مشاهده شده است و در ارقام حساس به سرمازدگی فعالیت این گروه از آنزیم‌ها در طی ساعات اولیه بروز تنش به‌طور درخور توجهی کاهش یافته است (Liu *et al.*, 1996).

علاوه بر تیمارهای محلول‌پاشی محتوی اکسین، کلیه تیمارهای محتوی عنصر روی اعم از سولفات و کلات روی هم در حضور و هم در غیاب تنظیم‌کننده رشد اکسین موجب افزایش سطوح فعالیت پراکسیداز گردیده‌اند.

SOD دارای ایزوزایم‌های مختلفی است که شامل SOD-1 (در کلروپلاست)، SOD-2 و SOD-4 در سیتوزول و SOD-3 در میتوکندری قرار دارد و با افزایش اکسیژن در این اندامک‌ها تولید می‌شوند (Matters and Scandalios, 1987).

بر طبق جدول ۲ اثر نوع محلول‌پاشی بر روی سطوح فعالیت پلی فنل اکسیداز (PPO)، چنین مشاهده می‌گردد که سطوح فعالیت این آنزیم با اعمال محلول‌پاشی سولفات

افزایش در سطوح اکسین درونی گیاه گویای آن است که اکسین جهت القای ریشه‌دهی ضروری است (Lukatkin, 2002).

اثر نوبت‌های محلول پاشی بر روی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت

با توجه به نتایج تجزیه واریانس و مقایسه‌های میانگین نوبت‌های محلول (جدول ۴) حاکی از عدم واکنش سطوح فعالیت آنزیم PPO نسبت به تعداد نوبت محلول پاشی است، اما سایر آنزیم‌های مورد بررسی به تعداد محلول پاشی واکنش نشان داده‌اند، بویژه آنکه در خصوص آنزیم‌های CAT، POD، SOD و AUO تعداد حداکثر نوبت محلول پاشی (۳ نوبت) توانسته است حداکثر فعالیت را در کلیه آنزیم‌های مورد بررسی القا نماید. بنابراین، به احتمال زیاد تکرار تعداد دفعات محلول پاشی توانسته است با افزایش غیرمستقیم در غلظت محلول پاشی، موجب تشدید فعالیت آنزیم‌های فوق گردد، بویژه آنکه کلیه آنزیم‌ها به استثنای AUO به‌طور مستقیم تحت تأثیر تعداد نوبت‌های محلول پاشی قرار گرفته‌اند و تعداد ۱، ۲ و ۳ نوبت محلول پاشی به ترتیب بیشترین سطح فعالیت آنزیم‌ها را ایجاد نمودند.

تأثیرات متقابل نوع محلول پاشی و نوبت‌های محلول پاشی بر میزان فعالیت آنزیم‌ها

جدول‌های ۲ و ۵ به ترتیب نتایج تجزیه واریانس و مقایسات میانگین اثر متقابل نوع محلول پاشی و نوبت محلول پاشی را بر روی سطوح فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت را در برگ ذرت دانه‌ای نشان می‌دهد. بر این اساس، اثر متقابل دو عامل ذکر شده بر روی فعالیت

مورد بررسی، تیمارهای سولفات روی + اکسین + توین ۲۰ (تیمار یک)، کلات روی + توین ۲۰ (تیمار چهار) و اکسین + توین ۲۰ (تیمار پنج) در مقایسه با سایر تیمارهای محلول پاشی، پایین‌ترین سطح فعالیت این آنزیم را نشان داده‌اند. با توجه به تأثیرات اکسیدکنندگی و تجزیه‌کنندگی این آنزیم بر روی مقادیر IAA در بافت‌های گیاهی تیمارهای محلول پاشی فوق بیشترین سطح هورمون IAA را نشان دادند. با توجه به گروه‌بندی صورت گرفته بر روی سطوح فعالیت آنزیم اکسین اکسیداز چنین مشاهده می‌گردد که تیمار محلول پاشی سولفات روی + اکسین + توین ۲۰ پایین‌ترین سطح فعالیت این آنزیم را نشان داد و از سوی دیگر، همین تیمار بالاترین غلظت تجمع هورمون IAA را در مطالعات تکمیلی نشان داد. بنابراین، در مقایسه بین غلظت IAA تیمارهای مختلف و سطوح فعالیت آنزیم اکسین اکسیداز نشان‌دهنده رابطه عکس آنهاست. در این رابطه Quddoury و Amssa (۲۰۰۴) در بررسی تأثیرات محلول پاشی اندول بوتریک اسید بر تشکیل ریشه و پراکسیداز و فعالیت آنزیم AUO و میزان ترکیبات فنولیک در قلمه‌های خرما به این نکته اشاره می‌نمایند که کاربرد خارجی IBA ممکن است تغییراتی را در آنزیم‌های POD و AUO ایجاد نماید که این تغییرات به تعادل هورمونی داخلی گیاه کمک می‌نماید. بعلاوه، این نکته مورد تأکید بسیاری از محققان قرار گرفته است که کاربرد اکسین‌ها تغییراتی را در متابولیسم خود این هورمون در گیاه القا نموده است که عمده آن از طریق پیوندهای هورمونی و از طریق دیگر هورمون‌ها مانند سیتوکینین ایجاد می‌شود (Gaspar et al., 1997). کاهش در فعالیت AUO و

تیمارهای محتوی عنصر روی و تنظیم‌کننده اکسین این برتری به روشنی قابل مشاهده است، به ویژه آنکه در بیشتر موارد، تکرار سه نوبت محلول‌پاشی به‌طور مؤثری سطح فعالیت آنزیم POD را افزایش داده است.

در خصوص سطوح فعالیت آنزیم SOD نیز محلول‌پاشی با آب و محلول‌پاشی با تنظیم‌کننده رشد اکسین + توین ۲۰ در نوبت سوم محلول‌پاشی موجب افزایش سطح فعالیت SOD شده است.

واکنش میزان فعالیت آنزیم PPO نشان‌دهنده تأثیرات بسیار چشمگیر محلول‌پاشی سولفات روی + توین ۲۰ (تیمار ۲ محلول‌پاشی) در نوبت سوم بر میزان فعالیت این آنزیم است و سایر تیمارهای مورد مقایسه اختلاف معنی‌داری نشان ندادند.

تیمار محلول‌پاشی کلرات روی + اکسین + توین ۲۰ (تیمار ۳ محلول‌پاشی) نیز در نوبت سوم محلول‌پاشی به همراه تیمار محلول‌پاشی سولفات روی + توین ۲۰ (تیمار ۲ محلول‌پاشی) در نوبت سوم به‌طور مشابهی موجب بالاترین سطح فعالیت آنزیم اکسین‌اکسیداز گردید و بنابراین، چنین انتظار می‌رود که این دو تیمار محلول‌پاشی موجب کاهش سطح غلظت هورمون IAA در بافت گیاهی گردد که علت آن تجزیه هورمون IAA ناشی از فعالیت آنزیم AUO است.

فعالیت دو آنزیم CAT و POD به‌عنوان دومین سازوکار تدافعی در برابر تنش اکسیداتیو مطرح هستند (Sanita and Gabbrieli, 1999) عنصر روی می‌تواند به عوان تثبیت‌کننده و محافظ غشاهای حیاتی در برابر تنش اکسیداتیو و خسارت پراکسیداتیو عمل کند. همچنین، از

کلیه آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت مورد بررسی معنی‌دار بوده است که در واقع، بیان‌کننده نوعی رابطه میان دو صفت نوع و نوبت محلول‌پاشی است.

با توجه به جدول ۵ مقایسه‌های میانگین اثر متقابل نوع و نوبت محلول‌پاشی چنین برداشت می‌گردد که تیمار محلول‌پاشی کلرات روی + اکسین + توین ۲۰ (تیمار ۳ محلول‌پاشی) در نوبت سوم بالاترین سطح فعالیت آنزیم CAT را نشان داده است و پس از آن تیمار محلول‌پاشی با آب در نوبت سوم قرار دارد. در واقع، عامل تکرار محلول‌پاشی همان‌گونه که پیشتر به آن اشاره شد، با افزایش غیرمستقیم در غلظت تیمار محلول‌پاشی قادر به تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانتی گیاه گردید.

در خصوص تیمار محلول‌پاشی با آب به علت تکرار در نوبت‌های محلول‌پاشی، جذب آب از سطح اپیدرمی گیاه موجب افزایش پتانسیل آب شده است و به همین جهت، گیاه از لحاظ محتوای نسبی آب در شرایط بهینه ای قرار می‌گیرد. در رتبه بعد، تیمار محلول‌پاشی کلرات روی + توین ۲۰ (تیمار ۴ محلول‌پاشی) در نوبت سوم بیشترین سطح فعالیت آنزیم CAT را نشان داده است که از این رو حاکی از کارایی بهتر کلرات روی در مقایسه با سولفات روی است. همچنین، با بررسی اثر نوبت‌های محلول‌پاشی که پیشتر در رابطه با اثرات منفرد نوبت‌های محلول‌پاشی به آن پرداخته شد، گویای تأثیرات مهم تکرار محلول‌پاشی است.

فعالیت آنزیم POD نیز بر اثر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده اکسین + توین ۲۰ (تیمار ۵ محلول‌پاشی) در نوبت سوم بالاترین میانگین را نشان داده است و در خصوص

کاربرد عنصر روی، موجب بهبود سطح فعالیت آنزیم‌های CAT، POD، SOD و PPO شد، که به نظر می‌رسد با افزایش غلظت این عنصر در برگ‌های گیاه ذرت در ارتباط باشد. این نکته در خصوص رابطه افزایش غلظت عنصر آهن و سطح فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت اشاره شده مورد توجه برخی محققان نیز قرار گرفته است (Kumawat *et al.*, 2006; Sitbone and Parrot, 1997).

جمع‌بندی

بنابراین، در یک جمع‌بندی کلی، کاربرد ترکیبات مختلف عنصر روی و همچنین، تنظیم‌کننده اکسین موجب افزایش سطح فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت گردیده، با علم به اینکه اکثر بخش‌های سلولی پتانسیل تولید گونه‌های فعال اکسیژن ناشی از شرایط تنش را دارد، لذا اعمال تیمارهای این مطالعه توانست موجب تقویت سیستم تدافعی در گیاه گردد و از این رو، می‌توان انتظار داشت که با کاربرد این تیمارها سطوح تحمل گیاه در برابر انواع تنش‌ها بهبود یابد.

طریق عدم پیوستگی غشای پلاسما و همچنین تغییر نفوذپذیری غشاء تأثیرات عنصر روی (Zn) اعمال می‌گردد (Hassan *et al.*, 2005).

با توجه به اینکه SOD رادیکال‌های هیدروکسیل را خنثی می‌نماید، CAT و POD آنزیم‌های اصلی سم زدایی H_2O_2 در گیاهان است و بنا به اظهارات (Tewari, 2005) آنزیم SOD در گیاه ذرت با کمبود عنصر آهن رابطه مستقیم داشته، در واقع با افزایش غلظت آهن مصرفی میزان فعالیت SOD کاهش می‌یابد. بنابراین، این احتمال وجود دارد که کاربرد عنصر روی با ایجاد اثر بر روی جذب و غلظت سایر عناصر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت را تحت تأثیر قرار دهد.

با توجه به اینکه عنصر روی در میان آنزیم‌های مختلف SOD در گیاه ذرت در ساختمان این آنزیم (Cu/ZnSOD) شرکت دارد لذا می‌تواند بر فعالیت آن تأثیر بگذارد. بنابراین، کمبود عنصر روی (Zn) در گیاهان می‌تواند موجب تولید ROS گردیده، از سنتز پروتئین جلوگیری نماید.

منابع

- auxin-oxidases and peroxidases from maize roots. *Plant Physiology* 94: 485-491.
- Cakmak, I. and Horst, W. J. (1991) Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase, and peroxidase activities in root tips of soybean (*Glycine max*) *Plant Physiology* 83: 463-468.
- Chen, W. P., Li, P. H. and Chen, T. H. H. (2000) Glycinebetaine increases chilling tolerance and reduces chilling induced lipid peroxidation in *Zea mays* L. *Plant Cell Environment* 23: 609-618.
- Agarwal, S., Sairam, R. K., Srivatava, G. C. and Meena, R. C. (2005) Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. *Biologia Plantarum* 49 (4): 541-550.
- Basak, U. C., Das, A. B. and Das P. (2000) Rooting response in stem cuttings from five species of mangrove trees: effect of auxins and enzyme activities. *Marine Biology* 136: 185-189.
- Beffa, R. Martin, H. V. and Pilet. P. E. (1990) *In vitro* oxidation of indoleacetic acid by soluble

- Kumawat, R. N., Rathore, P. S., Nathawat, N. S. and Mahata, M. (2006) Effect of sulfur and iron on enzymatic activity chlorophyll content of Mungbean. *Journal of Plant Nutrition* 29: 1451-1467.
- Liu, Z. H., Hsiao, I. C. and Pan, Y. W. (1996) Effect of naphthalene-acetic acid on endogenous indole-3-acetic acid, peroxidase and auxin oxidase in hypocotyls cuttings of soyeam during root formation. *Botanical Bulletin of Academia Sinia* 37: 247-253.
- Lukatkin, A. S. (2002) Contribution of Oxidative stress to the Development of cold-Induced Damage to leaves of chilling-sensitive plants: 2. the Activity of Antioxidant Enzymes during plant chilling. *Russian Journal of Plant Physiology* 6: 782-788.
- Malakoti, M. J. and Tehrani, M. M. (2001) Effects of micronutrients on the yield and quality of agricultural products. Micro- nutrients with macro- nutrients. 2nd Ed, Tarbiat Modarres University Press, Tehran.
- Marschner, H. (1995) Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Ed, Academic Press, London.
- Matters, G. L. and Scandalios, J. G. (1987) Synthesis of isozymes of superoxide dismutase in maize leaves in response to O₃SO₂ and elevated O₂. *Journal Experimental Botany* 38: 842-852.
- Mika, A., and Luthje, S. (2003) Properties of guaiacol peroxidase activities isolated from corn root plasma membranes. *Plant Physiology* 132: 1489-1498.
- Minibayeva F., Mika, A. and Luthje, S. (2003) Salicylic acid changes the properties of extracellular peroxidase activity secreted from wounded wheat (*Triticum aestivum*) roots. *Protoplasma* 22: 67-72.
- Quddoury, A. and Amssa, M. (2004) Effect of exogenous indole butyric acid on root formation and peroxidase and indole-3-acetic acid oxidase activities and phenolic contents in date palm offshoots. *Botanical Bulletin Academic Sinia* 45: 127-131.
- Roy, B. N. Basu, R. N, Bose, T. K. (1972) Interaction of auxins with growth-retarding, inhibiting and ethylene-producing chemicals in rooting of cuttings PI. *Cell Physiology* 13: 1123-1127.
- Dat, J., Vandenabeele, S., Vranová, E., Van Montagu, M., Inzé, D., Van Breusegem, F. (2000) Dual action of active oxygen species during plant stress responses. *Cellular and Molecular Life Science* 57: 779-795
- Fecht-Christoffers M. M., Braun H. P, Lemaitre-Guiller C., Van Dorsslaer A., Horst, W. J. (2003) Effect of manganese toxicity on the proteom of leaf apoplast in cowpea. *Plant Physiology* 133: 1935-1946.
- Feng, Z., Jin-Kui, G., Ying-Li, Y., Wen-Liang, H. and Li-in, Z. (2004) Changes in the pattern of antioxidant exzymes in wheat exposed to water deficit and rewatering. *Acta Physiologiae Plantarum* 3: 345-352.
- Gaspar, T., Kevers, C. and Hausman, J. F. (1997) Indissociable chief factors in the in ductive phase of adventitious rooting. In: *Biology of Root Formation and Development* (eds. Altman A. and waisel, Y.) 55-63. Plenum Press, New York.
- Giannopolitis, C. N., Ries, S. K. (1977) Superoxide dismutase I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology* 59: 309-314.
- Hanway, J. J. (1971) How a corn plant develops. Iowa State University Coop. Extension Service Special Report 48.
- Hassan , M. J., Zhang, G., WU, F., Wei, K., and Chen, Z. (2005) Zinc alleviates growth inhibition and oxidative stress caused by cadmium in rice. *Journal of Plant Nutrition Soil Science* 168: 255-261.
- Huystee, R. B. and Cairns, W. L. (1982) Progreo and prospects in the use of peroxidase to study cell development. *Phytochemistry* 21:1843-1847.
- Jiang, Y. and Huang, B. (2001) Drought and heat stress injury to two coll-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. *Crop Science* 41: 436-442.
- Jung, S., Chon, S. U. and Kuk, Y. I. (2006) Differential antioxidant responses in catalase deficient maize mutants exposed to norflurazon. *Biologia Plantarum* 50 (3): 383-388.
- Kawano, T. (2003) Roles of the reactive oxygen species-generating peroxidase reactions in plant defense and growth in duction. *Plant Cell Reproduction* 21: 829-837.
- Khan, V. (1975) Polyphenol oxide activity and browning of three Avocado varieties. *Journal of Food Agriculture* 26: 1319-1324.

- Tiwari, R. K., Kumar, P., Neetu, and Sharma, P. N. (2005) Sign of oxidative stress in the chlorotic leaves of iron starved plants. *Plant Science* 169: 1037-1045.
- Yilmaz, H. Taskin, T. and Otludil, B. (2003) Polyphenol oxidase activity during rooting in cuttings of grape (*Vitis vinifera* L.) varieties. *Turkish Journal of Botany* 27: 495-498.
- Sanita di Toppi, L. and Gabbrieli, R. (1999) Response to cadmium in higher plants. *Environmental and Experimental Botany* 41: 105-130.
- Sen Raychaudhuri, S. (2000) The role of superoxide dismutase in combating oxidative stress in higher plants, *Botany Review* 66: 89-98.
- Sitbone, F. and Parrot-Rechenmann, C. (1997) Expression of auxin-regulated genes. *Physiologia Plantarum* 100: 443-455.

Archive of SID

Effect of zinc and auxin foliar application on some anti-oxidant enzymes activity in corn leaf

Behnam Zand, ^{1*}Ali Soroosh zadeh, ²Faezeh Ghanati and ³Foad Moradi

^{1*} Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University of Tehran, Iran

² Department of Plant Biology, Faculty of Biological Sciences, Tarbiat Modares University of Tehran, Iran

³ Institute of Agriculture Biotechnology, Karaj, Iran

Abstract

An experiment (under controlled condition) was implemented applying randomized complete block design in three replications and eight spraying compound treatments at the agricultural experiment center of Tehran located in Varamin region, in order to investigate the effects of zinc and auxin (IBA) foliar on some anti-oxidant activity, consisting of catalase, super oxide dismutase, peroxidase, poly phenol oxidase and auxin oxidase. Results showed that, of various compounds of zinc (Zinc Sulphate and Zn EDTA) and auxin foliar application were increased level of anti-oxidant enzymatic activities, so it seems that foliar application of zinc and auxin enhance corn tolerance against drought stress via promoting of root growth.

Key words: Enzyme, Anti-oxidant, Auxin, Corn, Zinc, Spraying

* Corresponding Author: soroosh@modares.ac.ir