

## اثر برهمکنش تری‌اکونتانول و آرسنیک بر رشد و برخی خصوصیات بیوشیمیایی و

### فیزیولوژیکی در گیاه سویا (*Glycine max* L.)

الهام اسدی کرم<sup>۱\*</sup>، بتول کرامت<sup>۱</sup> و حسین مظفری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> کرمان، دانشگاه باهنر کرمان، دانشکده علوم، گروه زیست‌شناسی

<sup>۲</sup> کرمان، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، پژوهشکده علوم محیطی

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۱۰

تاریخ دریافت: ۹۴/۵/۲۳



#### چکیده

تری‌اکونتانول، تنظیم کننده رشد گیاهی هستند که اثرات فیزیولوژیک قابل توجهی بر رشد و نمو گیاهان دارند از جمله باعث افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی می‌شوند. در این پژوهش اثر غلظت‌های (۰، ۵ و ۱۰ میکرومولار) تری‌اکونتانول در تغییرات فیزیولوژیک القا شده توسط تیمار (۰ و ۳۰۰ میکرومولار) آرسنیک در گیاهان سویا در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. پس از اندازه‌گیری شاخص‌های رشد (وزن خشک ریشه و اندام هوایی، سطح برگ و ارتفاع گیاه)، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل کل و کاروتنوئیدها)، محتوای پروتئین، قند محلول، پروتئین و میزان مالون‌دی‌آلدئید در برگ مشخص شد که تری‌اکونتانول تاثیر زیادی روی این شاخص‌ها در غیاب آرسنیک داشته، و در حضور آرسنیک، تری‌اکونتانول شاخص‌های رشد، محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، محتوای پروتئین و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و گایاکول پراکسیداز را تا حدودی افزایش و در مقابل میزان مالون‌دی‌آلدئید در برگ‌ها را کاهش داده است. بنابراین تری‌اکونتانول با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه از طریق حفظ تمامیت غشاهای زیستی و کاهش محتوای گونه‌های فعال اکسیژن آستانه تحمل گیاه را در برابر آرسنیک اسید افزایش می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** آرسنیک، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، تری‌اکونتانول، سویا.

\* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۳۹۸۸۲۹۳۹۹، پست الکترونیکی: Asadikaram-e2007@yahoo.com

#### مقدمه

سویا با نام علمی (*Glycine max* L.)، گیاهی از تیره بقولات، یکساله، روزکوتاه و خودگشن می‌باشد. این گیاه با دارا بودن ۴۲-۸۲ درصد پروتئین و ۷۱ درصد روغن در دانه، یکی از مهمترین دانه‌های روغنی می‌باشد که مورد استفاده زیادی در کشاورزی و صنعت دارد. به دلیل افزایش مصرف سویا در تغذیه به ویژه در کشورهای توسعه یافته و مصرف شیر سویا به جای شیر مادر در تغذیه نوزادان، و همچنین به خاطر اهمیت آن در تغذیه دام، کشت این گیاه در بین سایر لگوم‌ها بیشتر مورد توجه قرار گرفته است و امروزه در بسیاری مناطق صنعتی آلوده به برخی فلزات سنگین نیز کشت می‌شود (2). یکی از خطرناکترین فلزات سنگینی که امروزه توجه بسیاری از محققین را به خود جلب نموده و اثرات مضر بر سلامت انسان دارد، آرسنیک (As) می‌باشد. آرسنیک بعنوان یک شبه فلز برای گیاهان جزء عناصر غیرضروری محسوب شده و در سیستم‌های فیزیولوژیکی و متابولیسمی گیاه کاربردی ندارد (68). این عنصر در آب نامحلول بوده ولی در ترکیب با برخی نمک‌ها بصورت محلول در آب در می‌آید. آرسنیک در محیط‌های اکولوژیکی مختلف پراکندگی وسیعی دارد و حلالیت آن در آب تحت تاثیر اسیدیته و حضور برخی

سویا با نام علمی (*Glycine max* L.)، گیاهی از تیره بقولات، یکساله، روزکوتاه و خودگشن می‌باشد. این گیاه با دارا بودن ۴۲-۸۲ درصد پروتئین و ۷۱ درصد روغن در دانه، یکی از مهمترین دانه‌های روغنی می‌باشد که مورد استفاده زیادی در کشاورزی و صنعت دارد. به دلیل افزایش مصرف سویا در تغذیه به ویژه در کشورهای توسعه یافته و مصرف شیر سویا به جای شیر مادر در تغذیه نوزادان، و همچنین به خاطر اهمیت آن در تغذیه دام، کشت این گیاه در بین سایر لگوم‌ها بیشتر مورد توجه قرار گرفته است و امروزه در بسیاری مناطق صنعتی آلوده به برخی فلزات

شدن سلول، افزایش تقسیم سلول و نفوذ پذیری غشا بازی می‌کند (19). همچنین در تنظیم فرایندهای متابولیک مختلف گیاهان مانند افزایش نرخ فتوسنتز (23)، فعالیت آنزیم‌ها (44) و سیالیت غشاهای کلروپلاست و پروپلاست مزوفیل برگ (25) نقش دارد. TRIA می‌تواند اثرات موثری در طی مراحل مختلف رشد و در همه جنبه‌های رشد، رنگدانه‌های فتوسنتزی، مواد تغذیه‌ای برگها، پروتئین و محتوای کربوهیدرات‌ها، کیفیت و کمیت باردهی گیاهان، اعمال کند (63). به هر حال غلظت‌های اپتیمم TRIA و سن گیاه از فاکتورهای مهمی هستند که رشد و محصول نهایی گونه‌های گیاهی را کنترل می‌کند (58). کاربرد برگی TRIA در کاهش اثرات تنش‌های گوناگون غیرزیستی (خشکسالی، سیل، آب، شوری، فلزات سنگین، رطوبت اسیدی و تنش سرما) گزارش شده است و با توجه به اینکه مطالعات اندکی در زمینه اثر این ترکیب بر تنش فلزات سنگین صورت گرفته است از این رو، هدف از مطالعه حاضر بررسی نقش احتمالی TRIA در تنظیم متابولیسم ROS و مکانیسم عمل فیزیولوژیکی TRIA برون‌زا در تحمل به تنش آرسنیک در برگ‌های گیاه سویا است.

### مواد و روشها

در این پژوهش بذرها از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. برای این منظور ابتدا بذرهای یکسان با سدیم هیپوکلریت ۰/۵ درصد به مدت یک دقیقه ضدعفونی شده و سپس در گلدان‌های پلاستیکی ۱۲ سانتی‌متر حاوی پرلیت کشت شدند. برای هر تیمار ۳ گلدان به عنوان ۳ تکرار در نظر گرفته شد. گلدان‌ها پس از کشت در گلخانه، تحت شرایط نوری (۱۶:۸) (نور/ تاریکی) با شدت نور حدود ۱۵۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه، رطوبت ۷۵ درصد و دمای ۱۶ درجه سانتی‌گراد (تاریکی/نور) قرار گرفتند. در حدود دو هفته، گلدانها فقط با آب مقطر آبیاری شدند. پس از آن، یک روز در میان و به مقدار ۲۰ میلی لیتر از محلول غذایی هوگلند ۱/۲ با pH تقریبی  $5.7 \pm$

ترکیبات شیمیایی تغییر می‌کند. بطور معمول آرسنیک به سه حالت محلول در آب، باند شونده به آلومینیم و باند شده به آهن وجود دارد که تغییرات اسیدیته نسبت اینها را تغییر می‌دهد. بررسی آبهای زیرزمینی در بخش‌های شمالی و شمال شرقی آسیا نشان می‌دهد که در این مناطق رهاسازی آرسنیک از فاز جامد خاک تحت شرایط بی‌هوازی، آبهای زیرزمینی را آلوده نموده است (17). قرار گرفتن گیاهان در معرض آرسنیک موجب القای تنش محسوس در گیاه که شامل مهار سریع رشد، بهم ریختگی فرایندهای فیزیولوژیکی و در نهایت مرگ گیاه است. آرسنات به عنوان ترکیب مشابه با فسفر از طریق ناقین فسفات وارد گیاه شده و بنابراین جذب فسفر توسط گیاه را کاهش می‌دهد در حالی‌که آرسنیت از طریق آکوآگلیسرپورین‌ها وارد ریشه گیاهان می‌گردد. آرسنیک سیستم جذب فسفات را با میل ترکیبی بالا در غشای سلولی متوقف کرده و باعث اختلال در جریان انرژی سلول‌ها می‌شود (17). در عین حال نظر اکثر محققین بر این است که آرسنیک با اثر تقابل با گروه‌های سولفیدریل در ساختار ماکرومولکول‌های زیستی و جایجایی گروه‌های فسفات در ساختار ملکول ATP موجب اختلال در بیشتر فرایندهای متابولیکی در گیاهان می‌شود (17; 62). برخی نیز بر این عقیده‌اند که آرسنیک با اختلال در متابولیسم فسفر و تقلیل فعالیت برخی آنزیم‌های حیاتی موجب افزایش تجمع رادیکال‌های آزاد از جمله  $H_2O_2$  در گیاه می‌شود (63).

تری‌اکونتانول (TRIA) یک الکل اولیه زنجیره طویل ( $C_{30}H_{61}OH$ ) است که برای اولین بار توسط رایس و همکاران در سال ۱۹۷۷ در گیاهان آلفا آلفا (*Medicago sativa L.*) کشف شد و به عنوان یک تنظیم کننده رشد گیاهی شناخته شد که در بهبود رشد و باردهی چندین گونه محصول مانند برنج، گندم، ذرت، گوجه فرنگی، نخود سبز، بادام زمینی، قهوه و نعناع وحشی نقش دارد (44; 53). TRIA نقش مهمی در جذب آب، طویل

و Heath انجام شد. برای اندازه‌گیری پرولین از روش Bates (3) استفاده شد. محتوای قندهای محلول نمونه‌ها با استفاده از معرف آنزیم و براساس روش Roe (56) تعیین گردید.

**سنجش مقدار پروتئین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان:** سنجش مقدار پروتئین از روش Bradford (6) استفاده شد. سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) (EC 1.11.1.6) با استفاده از محاسبه کاهش جذب  $H_2O_2$  (کاهش مقدار  $H_2O_2$  در  $240$  نانومتر و با روش Dhindsa و همکاران (14) انجام شد. سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز (POD) (EC 1.11.1.7) با استفاده از گایاکل و اندازه‌گیری میزان جذب تترایاکل تشکیل شده از گایاکل در نتیجه فعالیت پراکسیداز، در  $470$  نانومتر انجام گرفت. در این سنجش از روش Plewa و همکاران (49) استفاده شد. سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX) (EC 1.11.1.1) با روش Nakano و Asada (45) صورت گرفت.

**آنالیز آماری:** این تحقیق در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار در هر تیمار انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۱۸ و آزمون ANOVA صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۰ انجام پذیرفت.

## نتایج

**پارامترهای رشد:** نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، با افزایش غلظت آرسنیک در محلول غذایی میزان سطح برگ، ارتفاع گیاه و همچنین وزن خشک اندام هوایی و ریشه به ترتیب ۳۹٪، ۱۸٪، ۶۸٪ و ۶۰٪ کاهش یافت در این شرایط کاربرد TRIA توانست پارامترهای رشد را در شرایط تیمار آرسنیک نسبت به گیاهان تحت تیمار آرسنیک به طور معنی‌داری افزایش دهد (جدول ۱).

آبیاری شدند. پس از اینکه گیاهان به رشد کافی رسیدند (مرحله چهار برگی)، به مدت یک هفته به صورت یک روز در میان، تیمار آرسنیک شروع شد. به منظور تهیه محلول‌هایی با غلظت‌های ۰ و ۳۰۰ میکرومولار آرسنیک، مقدار مناسبی از استوک میلی‌مولار آرسنیک از نمک آرسنیک اسید هیدروژن دی سدیم ( $Na_2HAsO_4$ ) تهیه شده است به محلول هوگلند اضافه گردیده و pH محلول‌ها با استفاده از اسیدکلریدریک و سود یک میلی‌مولار تنظیم شد. محلول‌ها به صورت یک روز در میان به گلدان‌ها اضافه و در فواصل بین تیمارها به منظور مرطوب نگه داشتن خاک و ممانعت از تجمع بیش از حد نمک در گلدان‌ها از آب مقطر استفاده می‌شد. محلول‌پاشی گیاهان توسط TRIA نیز با غلظت‌های ۰، ۵ و ۱۰ میکرومولار همزمان با تیمار آرسنیک شروع شد و به مدت یک هفته هر روز ادامه داشت و در نهایت نمونه‌ها برداشت شدند ضمناً به دلیل اینکه جذب TRIA از طریق برگ بیشتر و مطمئن تر است روش محلول‌پاشی انتخاب شد (47).

**اندازه‌گیری پارامترهای رشد:** برای اندازه‌گیری وزن خشک ریشه و اندام هوایی پس از جدا کردن ریشه‌ها از اندام هوایی، نمونه‌ها در فویل آلومینیومی پیچیده شده و به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای  $70^{\circ}C$  خشک شدند. سپس وزن خشک نمونه‌ها با ترازوی با دقت  $0.001$  گرم اندازه‌گیری شد. طول ساقه از یقه تا قسمت انتهایی ساقه و طول ریشه از یقه تا انتهای ریشه در نظر گرفته شد. سطح برگ با کپی برداری کاغذی اندازه‌گیری شده و براساس سانتی‌متر مربع گزارش گردید.

**اندازه‌گیری مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی و پارامترهای بیوشیمیایی:** اندازه‌گیری مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل کل و کاروتنوئیدها (کاروتنوئید و گزانتوفیل) با استفاده از روش Lichtenthaler (33) انجام پذیرفت. اندازه‌گیری مالون دآلدئید (MDA) به روش Packer (21)

جدول ۱- تاثیر تری‌اکونتانول بر برخی از پارامترهای رشد در گیاه سویا تحت تنش آرسنیک.  $p > 0.05$  به عنوان اختلاف معنی‌دار در نظر گرفته شد. حروف متفاوت نشانه معنی‌دار بودن و میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند.

تیما	سطح برگ (سانتی متر مربع)	ارتفاع گیاه (سانتی متر)	وزن خشک اندام هوایی (گرم در گلدان)	وزن خشک ریشه (گرم در گلدان)
شاهد	۵۶۲/۲۱a	۲۸/۲۴c	۱/۳۲a	۰/۹۷a
تری اکونتانول ۵ میکرومولار	۵۷۳/۳۳a	۳۰/۶۱b	۱/۲۸a	۰/۹۰ab
تری اکونتانول ۱۰ میکرومولار	۵۵۰/۱۴b	۳۴/۲۸a	۱/۱۱b	۰/۸۴a
آرسنیک ۳۰۰ میکرومولار	۳۴۱/۶۷e	۲۲/۹۶d	۰/۴۲d	۰/۳۸c
تری اکونتانول ۵+ آرسنیک ۳۰۰	۴۸۶/۵۴c	۲۸/۳۵c	۰/۷۵c	۰/۵۴bc
تری اکونتانول ۱۰+ آرسنیک ۳۰۰	۴۰۲/۴۲cd	۲۷/۶۹c	۰/۶۹c	۰/۳۹c

که از افزایش ۳۲ درصدی محتوای مالون دالدئید و ۴۷ درصدی میزان پرولین در اندام هوایی مشخص است. در این شرایط، کاربرد برگی TRIA خسارت غشایی القا شده توسط تنش اکسیداتیو را کاهش داد، بنابراین به طور معنی‌داری محتوای مالون دالدئید و پرولین نسبت به شرایط تیمار آرسنیک کاهش یافت (جدول ۲).

پارامترهای بیوشیمیایی: در پژوهش حاضر، تیمار آرسنیک محتوای کلروفیل، کاروتنوئید و قند محلول اندام هوایی گیاه سویا را به ترتیب ۲۸٪، ۳۲٪ و ۳۸٪ کاهش داد در حالی که تیمار ۱۰ میکرومولار TRIA باعث افزایش این موارد در شرایط سمیت آرسنیک شد. همچنین تنش آرسنیک باعث ایجاد استرس اکسیداتیو را در گیاه سویا شد

جدول ۲- تاثیر تری‌اکونتانول بر برخی پارامترهای بیوشیمیایی در گیاه سویا تحت تنش آرسنیک.  $p > 0.05$  به عنوان اختلاف معنی‌دار در نظر گرفته شد. حروف متفاوت نشانه معنی‌دار بودن و میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند.

تیما	کلروفیل کل (میلی گرم بر گرم وزن تر)	کاروتنوئید (میلی گرم بر گرم وزن تر)	قند محلول (میلی گرم بر گرم وزن تر)	مالون دالدئید (میلی گرم بر گرم وزن تر)	پرولین (میلی گرم بر گرم وزن تر)
شاهد	۱۶/۹۵b	۳/۳۴ab	۱/۲۲۴b	۰/۴۳۶b	۰/۵۷b
تری اکونتانول ۵ میکرومولار	۲۰/۳۳a	۳/۶۱a	۱/۲۸۴b	۰/۳۶۲c	۰/۶۰b
تری اکونتانول ۱۰ میکرومولار	۲۲/۱۱a	۳/۲۵ab	۱/۰۱۸c	۰/۱۹۴e	۰/۳۸c
آرسنیک ۳۰۰ میکرومولار	۱۲/۱۵e	۲/۲۶d	۰/۷۵۱d	۰/۵۷۶a	۰/۸۴a
تری اکونتانول ۵+ آرسنیک ۳۰۰	۱۵/۵۱c	۲/۹۵c	۰/۹۸۳c	۰/۴۱۱bc	۰/۴۱c
تری اکونتانول ۱۰+ آرسنیک ۳۰۰	۱۳/۴۲cd	۲/۶۹c	۱/۳۴۰a	۰/۳۰۲d	۰/۳۶cd

آنزیم های آنتی‌اکسیدانی: تیمار ۳۰۰ میکرومولار آرسنیک، فعالیت آنزیم‌های CAT، GPX و APX را به طور معنی‌داری نسبت به گیاهان شاهد افزایش داده است. تیمار گیاهان با غلظت‌های ۵ و ۱۰ میکرومولار TRIA، فعالیت آنزیم های GPX و CAT را در شرایط تنش آرسنیک به طور معنی‌داری نسبت به گیاهان تیمار نشده افزایش داد که این افزایش به صورت (۲۳۵-۳۲۸ درصد) و (۱۸۳-۱۱۱ درصد) است (جدول ۳).

آنزیم های آنتی‌اکسیدانی: تیمار ۳۰۰ میکرومولار آرسنیک، فعالیت آنزیم‌های CAT، GPX و APX را به طور معنی‌داری نسبت به گیاهان شاهد افزایش داده است. تیمار گیاهان با غلظت‌های ۵ و ۱۰ میکرومولار TRIA، فعالیت آنزیم های GPX و CAT را در شرایط تنش آرسنیک به طور معنی‌داری نسبت به گیاهان تیمار نشده افزایش داد که این افزایش به صورت (۲۳۵-۳۲۸ درصد) و (۱۸۳-۱۱۱ درصد) است (جدول ۳).

جدول ۳- تاثیر تری‌اکونتانول بر میزان پروتئین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه سویا تحت تنش آرسنیک.  $p > 0.05$  به عنوان اختلاف معنی‌دار در نظر گرفته شد. حروف متفاوت نشانه معنی‌دار بودن و میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند.

تیمار	گایاکول پراکسیداز (واحد بر میلی گرم پروتئین)	آسکوربات پراکسیداز (واحد بر میلی گرم پروتئین)	کاتالاز (واحد بر میلی گرم پروتئین)	پروتئین (میلی گرم بر گرم وزن تر)
شاهد	۴۸/۲۱c	۰/۸۱e	۳/۶۱c	۲۶/۱۸a
تری اکونتانول ۵ میکرومولار	۴۶/۱۳c	۰/۹۸e	۳/۱۲c	۲۳/۸۳a
تری اکونتانول ۱۰ میکرومولار	۱۴۷/۴۵b	۲/۲۸d	۹/۸۵a	۱۳/۱۲c
آرسنیک ۳۰۰ میکرومولار	۱۷۸/۴۶a	۶/۱۴a	۷/۵۵b	۱۷/۹۱b
تری اکونتانول ۵+ آرسنیک ۳۰۰	۱۶۱/۸۷ ab	۴/۸۶c	۱۰/۲۳a	۱۰/۵۶d
تری اکونتانول ۱۰+ آرسنیک ۳۰۰	۲۰۶/۷۳a	۵/۳۸ b	۷/۶۴b	۱۳/۵۵c

### بحث

سورگوم توسط سطوح بالای آرسنات گزارش کرده‌اند (59). افزودن کودهای فسفر به خاک اثرات مضر آرسنیک بر گیاه را کاهش می‌دهد گزارشی وجود دارد که اضافه کردن فسفر به محیط اثرات سمیت آرسنیک بر کاهش بیوماس گیاه را تخفیف می‌بخشد (48). کاهش رشد در اثر سمیت فلز سنگین می‌تواند به علت افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن از جمله پراکسید هیدروژن در واکنش‌های نوری فتوسنتز باشد (18). مهار پمپ پروتون و کاهش جذب مواد غذایی نیز از دیگر علت‌های احتمالی کاهش رشد توسط فلزات سنگین است (9). کاربرد TRIA وزن خشک گیاه، محتوای پروتئین، کلروفیل و نرخ خالص فتوسنتز در گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) را افزایش داد (11). به طور مشابه، کاربرد خارجی TRIA اثر مثبتی بر رشد، محتوای کلروفیل، کارایی فتوسیستم دو و ویژگی‌های تبادل گازی در گیاهچه های برنج (40;30)، ذرت و گندم (53) را نشان می‌دهد. همچنین Skogen و همکاران (64) افزایش رشد، افزایش تعداد گل آذین و کیفیت گل‌های تحت تیمار با TRIA در گل داوودی (*Chrysanthemum morifolium*) گزارش کردند. اسپری برگی TRIA وزن خشک نهال برنج رشد یافته در محیط مغذی و وزن خشک گیاهان ذرت، جو و گوجه فرنگی را افزایش داده است (53). اثرات بهبود رشد TRIA بر صفات مختلف، به ویژه قد و وزن تر و خشک، سطح برگ و گره سازی ریشه، در گیاهان دارویی مختلف به وسیله محققان بسیاری بررسی شده است (8; 40).

در مورد اثر آرسنیک بر گیاهان بسته به نوع آرسنیک و گونه گیاهی مورد نظر گزارشات متقاضی وجود دارد نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، تیمار آرسنیک باعث کاهش سطح برگ، ارتفاع گیاه و همچنین کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه گردید (جدول ۱). مطالعه در گیاه گندم نشان داده است که جوانه زنی دانه، طول و زی توده ریشه و اندام های هوایی در غلظت‌های بالای آرسنیک کاهش می‌یابد (9). همچنین، در گیاه خردل هندی نیز مشاهده شده است که مقادیر بالای آرسنیک باعث کاهش معنی دار وزن خشک هر دو ریشه و اندام هوایی گیاه می‌گردد (28) حضور غلظت‌های بحرانی آرسنیک در آب‌های آبیاری و یا در خاک علاوه بر اثر مضر بر سلامت انسان‌ها موجب اختلال در رشد و علائم سمیت از جمله کاهش بیوماس در گیاهان می‌گردد (7). گزارشات زیادی مبنی بر اثر آرسنیک بر کاهش وزن تر و خشک ریشه و اندام‌های هوایی، کاهش محصول و تولید میوه و تغییرات مورفولوژیکی در گیاهان وجود دارد (17; 59). علاوه بر این Miteva (35) گزارشات کرد آرسنیک در غلظت‌های بالا موجب کاهش رشد و تغییرات پارامترهای مورفولوژیکی مانند سطح برگ در گوجه فرنگی شده ولی غلظت کم آن موجب تحریک رشد گیاه می‌گردد. Shaibur و همکاران (59) نیز کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه در

TRIA وزن تر و خشک، سطح برگ، تعداد برگ و وزن خشک گرهک در گیاه لوبیا سنبل (*Lablab purpureus*) را بهبود می‌دهد (42; 43). در پژوهش حاضر کاربرد TRIA پارامترهای رشد را در شرایط تیمار آرسنیک نسبت به گیاهان تیمار شده با آرسنیک به طور معنی‌داری افزایش داد. افزایش در رشد گیاه می‌تواند اساساً به علت یک افزایش ناگهانی القا شده توسط TRIA در فتوسنتز باشد زیرا گزارش شده که TRIA در افزایش بیان بسیاری از ژن‌های درگیر در فرایندی از قبیل فتوسنتز دخیل است (10). کلروز برگ‌ها معمولاً به عنوان یکی از علائم اصلی سمیت فلزات سنگین در گیاهان مطرح می‌شود (60). در این پژوهش تیمار آرسنیک میزان کلروفیل را کاهش داد در حالی که تیمار ۱۰ میکرومولار TRIA باعث افزایش این میزان در شرایط سمیت آرسنیک شد (جدول ۲). گزارشات متعددی مبنی بر اثر منفی آرسنیک بر محتوای کلروفیل و کاروتنوئید وجود دارد (59). کاهش مقدار کلروفیل و کاروتنوئید در اثر تیمار آرسنیک در گیاه جو (66)، برنج (65)، گندم (12) و سورگوم (59) گزارش شده است. برخی محققین معتقدند فلز آرسنیک از راه کاهش فعالیت آنزیم پروتوکلروفیلید ردوکتاز، بعنوان یکی از کلیدی‌ترین آنزیم‌ها در مسیر سنتز کلروفیل در گیاهان، موجب کاهش محتوای کلروفیل در گیاه می‌شود. این اثر آرسنیک را، به اتصال محکم آن با گروه‌های بازی سولفیدریل در ساختار پروتئینی این آنزیم و مهار فعالیت آن نسبت می‌دهند. همچنین آرسنیک با جایگزینی با کاتیون‌های  $Zn^{2+}$ ،  $Fe^{2+}$  و  $Mg^{2+}$  در بخش‌های مختلف موجب تخریب ساختار و عملکرد کلروپلاست در گیاه شده و از این طریق نیز رشد گیاه را کاهش می‌دهد (12). بهبود فتوسنتز به عنوان یک پاسخ مهم گیاه به TRIA است (15) و افزایش رشد و وزن خشک گیاهان را به بهبود فتوسنتز و افزایش تجمع از محصولات فتوسنتزی نسبت می‌دهند. تعدادی از مطالعات افزایش نرخ تثبیت  $CO_2$  در انواع از گونه‌های گیاهی که تحت تیمار غلظت نانومولار TRIA بودند نشان داده‌اند

Houtz (20; 50). و همکاران (23) پیشنهاد کردند که TRIA منجر به تحریک در افزایش فعالیت‌های خاص در آنزیم رویسکو و فسفوانول پیرووات کربوکسیلاز می‌شود. علاوه بر این، TRIA چندین سیستم آنزیمی دیگر به خصوص ATPase متصل به غشاء وابسته به Ca/Mg را تحت تاثیر قرار می‌دهد (31). گزارش شده است TRIA سرعت آسیمبلاسیون  $CO_2$  را از طریق افزایش فعالیت آنزیم رویسکو افزایش می‌دهد (15)، همچنین بر کمپلکس جمع‌کننده نور در فتوسیستم یک و دو اثر مثبت دارد (38) و بیان ژن‌های مربوط به تنش را کم می‌کند (11). اکثر محققین عامل اصلی اثرات سمی آرسنیک بر گیاهان را افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROS) در گیاه تحت تنش می‌دانند. بنابراین افزایش پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی، کاهش فتوسنتز و تنفس از طریق تخریب غشاهای کلروپلاست و میتوکندری، کاهش رشد و در نتیجه تغییر بیوماس، کاهش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی و بطور کلی القای تنش اکسیداتیو در گیاهان آلوده شده به آرسنیک امری اجتناب‌ناپذیر است. نتایج برخی پژوهش‌ها در این زمینه نیز این موضوع را تایید می‌کند (27; 28; 32). در پژوهش حاضر تنش آرسنیک استرس اکسیداتیو را در گیاه سویا افزایش داد (جدول ۲) در حالیکه کاربرد برگی TRIA خسارت غشایی القا شده توسط تنش اکسیداتیو را کاهش می‌دهد که از کاهش معنی‌دار محتوای مالون دالدئید مشخص است. القای تنش اکسیداتیو و افزایش مالون‌دالدئید در اثر تیمار آرسنیک در گیاهان ذرت (67)، برنج (62)، گندم (Chun-Xi et al., 2007) و لوبیا (69) گزارش شده است. کاربرد TRIA پراکسیداسیون لیپید را در اسفناج (*Spinacea oleracea* L.) (52)، گندم (47) و برگ‌های بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) (70) مهار می‌کند و تمامیت غشا را به وسیله تعدیل موقعیت لیپید غشا بهبود می‌بخشد. در این پژوهش بهبود ایجاد شده توسط TRIA ممکن است به علت اثر بر عملکرد آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تحت تنش آرسنیک باشد (16; 47).

فروکتوز را افزایش داده و آنزیم‌های سازنده سوکروز مانند سوکروز فسفات سنتتاز را مهار می‌کند. همچنین فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده سوکروز مانند اینورتاز و سوکروز سینتاز در اثر آرسنیک افزایش یافته است. بنابراین، آرسنیک احتمالاً با مهار فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده نشاسته مانند آمیلازها و تحریک آنزیم‌های تجزیه‌کننده سوکروز باعث تجمع نشاسته و کاهش حجم مخزن سوکروز در گیاه می‌شود (26) که می‌تواند توجیهی بر افزایش قندهای محلول در اثر آرسنیک در پژوهش حاضر باشد. در زمینه اثر TRIA بر محتوای قند گزارش شده است که کاربرد TRIA در گیاه بادام زمینی باعث افزایش میزان قندهای محلول گردید (70). تحقیقات زیادی نقش مثبت TRIA در افزایش رشد، محصول، فتوسنتز، تثبیت نیتروژن، فعالیت آنزیم‌ها، اسیدهای آمینه آزاد، قندهای محلول گیاهان را گزارش می‌دهد (4; 24; 44). بنابراین TRIA به دلیل افزایش در میزان فتوستتوز و فرآورده‌های فتوستتزی می‌تواند باعث افزایش محتوای قندهای محلول در گیاهان تحت تنش آرسنیک شود و می‌توان نقش TRIA را در ایجاد مقاومت گیاه در برابر استرس موثر دانست. در این پژوهش تیمار آرسنیک فعالیت آنزیم‌های GPX، CAT و APX را نسبت به گیاهان شاهد افزایش داده است (جدول ۳). با این وجود چنین بنظر می‌رسد که این افزایش برای جبران افزایش  $H_2O_2$  و تنش اکسیداتیو ناشی از تجمع گونه‌های فعال اکسیژن در اثر سمیت آرسنیک کافی نبوده و میزان تولید گونه‌های فعال اکسیژن از ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان بیشتر بوده است. افزایش فعالیت GPX در اثر تیمار با شبه فلز آرسنات در گیاه برنج گزارش شده است (63). تحریک فعالیت CAT توسط آرسنیک در برگ‌های گیاه خردل هندی (28) و برنج (63) گزارش شده است. تیمار گیاهان با TRIA فعالیت آنزیم GPX و CAT را در شرایط تنش آرسنیک به طور معنی‌داری نسبت به گیاهان تیمار نشده افزایش داد (جدول ۳). گزارشات متعددی در مورد افزایش فعالیت CAT و GPX در گیاهان تیمار شده با TRIA تحت

افزایش محتوای پروتئین در گونه‌های گیاهی مختلف تحت تیمار TRIA توسط Verma و همکاران (70)، Kumaravelu و همکاران (30) و Muthuchelian و همکاران (40) گزارش شده است. Krishnan و Kumari (29) افزایش محتوای پروتئین در تیمار TRIA تحت تنش شوری را گزارش کردند. علاوه بر این کاربرد TRIA به طور معنی‌داری تجمع پروتئین‌های محلول را در نخود سبز در شرایط رشد نرمال افزایش داد (30)

نتایج حاصل از سنجش پرولین در گیاه سویا نشان داد که تیمار آرسنیک باعث افزایش معنی‌دار مقدار پرولین شد در حالی که کاربرد TRIA در شرایط سمیت آرسنیک، به طور معنی‌داری میزان پرولین را در اندام هوایی گیاه کاهش داد (جدول ۲). مشاهده شده است که میزان پرولین در برگ و ریشه گیاه ریحان تحت تنش آرسنیک افزایش یافته است (1). همچنین گزارش شده که تیمار TRIA باعث کاهش محتوای پرولین در گیاه سویا تحت تنش شوری شده است (29). نتایج به دست آمده در این بررسی نشان می‌دهد که TRIA می‌تواند از طریق تاثیر بر کاهش تنش ناشی از فلز سنگین بر محتوای پرولین اثر گذارد.

در این پژوهش تیمار آرسنیک، میزان قند محلول در گیاه را افزایش داد همچنین تیمارهای ۵ و ۱۰ میکرومولار TRIA در غلظت ۱۵۰ و ۳۰۰ میکرومولار آرسنیک باعث افزایش محتوای قند نسبت به نمونه شاهد گردید (جدول ۲). در مورد اثر تنش فلز سنگین گزارش شده است که در گیاهچه‌های موز (*Musa acuminata*)، با افزایش غلظت مس محتوای قند در اندام هوایی گیاهان تحت تیمار افزایش یافته است که این احتمال می‌دهد که تنش ناشی از مس را خنثی می‌کند (13). همچنین در گیاهان ریحان تحت تنش آرسنیک افزایش در میزان قندهای محلول و احیاکننده مشاهده شده است (1). نتایج پژوهش Dubey و Jha (26) نشان داده است که، در گیاه برنج آرسنیک تبدیل قندهای غیر احیایی مانند سوکروز به قندهای احیایی مانند گلوکز و

فعالیت CAT و APX را در گیاه بادام زمینی افزایش داده است (70). در این پژوهش TRIA محتوی مالون‌دآلدئید را به طور معنی‌داری در گیاهان تحت تنش کاهش داد بنابراین احتمالاً TRIA از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیداتیو گیاه را در مقابل آسیب‌های ناشی از سمیت آرسنیک محافظت می‌نماید.

تنش‌های مختلف وجود دارد. گزارش شده است که تیمار TRIA در گیاهان ریحان تحت تنش سرما باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز و در نتیجه مقاومت این گیاهان به تنش سرما شده است (5). همچنین خیساندن بذرهای گندم با TRIA باعث افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در این گیاهان تحت تنش شوری شده است (46). تیمار TRIA

## منابع

- ۱- زارع‌ده‌آبادی، س.، اسرار، ز.، شوشتری، ع. و پورسیدی، ش. ۱۳۹۲. بررسی نقش حفاظتی نیتریک اکسید در کاهش آثار سمیت آرسنیک اسید در اندام هوایی و ریشه گیاه ریحان سبز changes in response to triacontanol in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Growth Regul* 40: 249-256.
- ۲- مجنون حسینی، ن. ۱۳۷۵. حیوانات در ایران. مؤسسه نشر جهاد وابسته به جهاد دانشگاهی، قم، ۲۴۰ صفحه.
- 3- Bates, L.S., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil* 39: 205-207.
- 4- Borowski, E., Blamowski, Z.K., Michalek, W., 2000. Effects of tomatex/triacontanol on chlorophyll fluorescence and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) yields. *Acta Physiologiae Plantarum* 22:271-274.
- 5- Borowski, E. and Blamowski, Z.K., 2009. The effects of triacontanol 'TRIA' and Asahi SL on the development and metabolic activity of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) plants treated with chilling. *Acta Horticulturae* 21/1:39-48.
- 6- Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Ana Biochem.* 72: 248-254.
- 7- Carbonell-Barrachina, A.A., Burlo, F., Valero, D., Lopez, E., Martinez- Romero, D., Martinez-Sanchez, F., 1999. Arsenic toxicity and accumulation in turnip as affected by As chemical speciation. *Agric. Food Chem.* 47: 2288-2294.
- 8- Chaudhary, B.R., Sharma, M.D., Shakya, S.M. and Gautam, D.M. 2006. Effect of plant growth regulators on growth, yield and quality of chilli (*Capsicum annum* L.) at Rampur, Chitwan. *J Inst Agric Animal Sci* 27:65-68.
- 9- Chen, B.D., Christie, P., Zhu, Y.G., Smith, F.A., Xie, Z.M. and Smith, S.E., 2007. The arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* gives contradictory effects on phosphorous and arsenic acquisition by *Medicago sativa*. *Sci. Total Environ.* 379: 226-234
- 10- Chen, X., Yuan, H., Chen, R., Zhu, L. and He, G., 2003. Biochemical and photochemical changes in response to triacontanol in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Growth Regul* 40: 249-256.
- 11- Chen, X., Yuan, H., Chen, R., Zhu, L., Du, B., Weng, Q. and He, G., 2002. Isolation and characterization of triacontanol regulated genes in rice (*Oryza sativa* L.): Possible role of triacontanol as a plant growth stimulator. *Plant Cell Physiol* 43:869876.
- 12- Chun-xi, L., Shu-li, F., Yan, S.H., Li-na, J., Xu-yang, L. and Xiao-li, H., 2007. Effects of arsenic on seed germination and physiological activities of wheat seedlings. *Journal Environ Science* 19: 725-732.
- 13- Deo, B. and Nayak, P.K., 2011. Study of copper phytotoxicity on in vitro culture of *Musa acuminata* cv. 'Bantala'. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development* 3(8): 136-140.
- 14- Dhindsa, R.S., Plumb-Dhindsa, P. and Thrope, T.A., 1981. Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid per oxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *J. Exp. Bot.* 32: 43-101.
- 15- Eriksen, A. B., Selldén, G., Skogen, D. and Nilsen, S., 1981. "Comparative analyses of the effect of triacontanol on photosynthesis, photorespiration and growth of tomato (C3-plant) and maize (C4-plant). *Planta* 152:44-49.
- 16- Ertani, A., Schiavon, M., Muscolo, A. and Nardi, S., 2012. Alfalfa plant derived biostimulant stimulate short-term growth of salt stressed *Zea mays* L. plants. *Plant and Soil* 364: 145-158.
- 17- Garg, N. and Singla, P., 2011. Arsenic toxicity in crop plants: physiological effects and tolerance mechanisms. *Environment Chemistry Letter* 9: 303-321.



- 18- Gunes, A., Pilbeam, D.J. and Inal, A., 2009. Effect of arsenic- phosphorus interaction on arsenic-induced oxidative stress in chickpea plants. *Plant Soil*. 314: 211-220
- 19- Hangarter, R. and Ries, S., 1978. Effect of triacontanol on plant cell cultures *in vitro*. *Plant physiology* 61: 855-857.
- 20- Haugstad, M., Ulsaker, L.K., Ruppel, A. and Nilsen, S., 1983. The effect of triacontanol on growth, photosynthesis and photorespiration in *Chlamydomonas reinhardtii* and *Anacystis nidulans*. *Physiol Plant* 58:451-456.
- 21- Heath, R. L. and Packer, L., 1969. Photo peroxidation in isolated chloroplast: kinetic and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archive of Biochemistry and Biophysics* 125: 189-198.
- 22- Herbinger, K., Tausz, M., Wonisch, A., Soja, G., Sorger, A. and Grill, D., 2002. Complex interactive effects of drought and ozone stress on the antioxidant defense systems of two wheat cultivars. *Plant Physiology and Biochemistry* 40: 691-696.
- 23- Houtz, R. L., Ries, S.K. and Tolbert, N.E., 1985. Effect of triacontanol on *Chlamydomonas* I. Stimulation of growth and photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation. *Plant physiology* 79:357364.
- 24- Idrees, M., Khan, M.M.A., Aftab, T. and Naeem, M., 2010. Synergistic effects of gibberellic acid and triacontanol on growth, physiology, enzyme activities and essential oil content of *Coriandrum sativum* L. *The Asian Australasian Journal Plant Science Biotechnology* 4:2429.
- 25- Ivanov, A.G. and Angelov, M.N., 1997. Photosynthesis response to triacontanol correlates with increased dynamics of mesophyll protoplast and chloroplast membranes. *Plant Growth Regulation* 21:145152.
- 26- Jha, A. B. and Dubey, R. S., 2004. Carbohydrate metabolism in growing rice seedling under arsenic toxicity. *Plant Physiology* 161: 867-872.
- 27- John, R., Ahmad, P., Gadgil, K. and Sharma, S., 2009. Heavy metal toxicity: Effect of plant growth, biochemical parameters and metal accumulation by *Brassica juncea* L. *Plant Product*. 3 (3): 65-75
- 28- Khan, I., Ahmad, A. and Iqbal, M., 2009. Modulation of antioxidant defence system for arsenic detoxification in Indian mustard. *Ecotox and Environ Saf*. 72: 626-634
- 29- Krishnan, R.R. and Kumari, B.D.R., 2008. Effect of n-triacontanol on the growth of salt stressed soyabean plants. *Bioscience* 19: 53-56.
- 30- Kumaravelu, G., Livingstone, V.D. and Ramanujam, M.P., 2000. Triacontanol-induced changes in the growth, photosynthetic pigments, cell metabolites, flowering and yield of green gram. *Biol Plant* 43: 287-290.
- 31- Lesniak, A.P., Huag, A. and Ries, S.K., 1986. Stimulation of ATPase activity in barely (*Hordeum vulgare*) root plasma membrane after intact tissues and cell free extracts with triacontanol. *Physiol Plant* 68:2026.
- 32- Li, W.X., Chen, T.B., Huang, Z.C., Lei, M. and Liao, X.Y., 2006. Effect of arsenic on chloroplast ultrastructure and calcium distribution in arsenic hyperaccumulator *Pteris vittata* L. *Chemos*. 62: 803-809
- 33- Lichenthaler, H. K., 1987. Chlorophyll and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Method Enzymol* 148: 350-382.
- 34- Meirs, S., Philosophhad, S. and Aharoni, N., 1992. Ethylene increased accumulation of fluorescent lipid peroxidation products detected during senescence of parsley by a newly developed method. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 117:128-132.
- 35- Miteva, E., 2002. Accumulation and effect of arsenic on tomatoes. *Comm. Soil Sci. Plant Anal*. 33(11): 1917-1926
- 36- Mithofer, A., Schulze, B. and Boland, W., 2004. Biotic and heavy metal stress response in plants: evidence for common signals. *FEBS Letters* 566: 1-5.
- 37- Mittler, R., 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Science* 7: 405-410.
- 38- Moorthy, P. and Kathiresan, K., 1993. "Physiological responses of mangrove seedling to triacontanol," *Biologia Plantarum* 35: 577-581.
- 39- Morel, F. M. M., 2008. The co-evolution of phytoplankton and trace element cycle in the oceans. *Geobiology* 6: 318-24.
- 40- Muthuchelian, K., Murgan, C., Harigovindan, R., Nedunchezian, N. and Kulandaivelu, G., 1995. Effect of triacontanol in flooded *Erythrina variegata* seedlings. I. Changes in growth, photosynthetic pigments and biomass productivity. *Photosynthetica* 31:269-275.
- 41- Muthuchelian, K., Velayutham, M. and Nedunchezian, N., 2003. Ameliorating effect of triacontanol on acidic mistreated *Erythrina variegata* seedlings changes in growth and photosynthetic activities. *Plant Science* 165:12531257.
- 42- Naeem, M. and Khan, M.N., 2005. Effect of foliar spray of triacontanol on growth performance of hyacinth bean. *Bionotes* 7:62.
- 43- Naeem, M., Idrees, M., Aftab, T., Khan, M., Moinuddin, M.A., 2010. Changes in

- photosynthesis, enzyme activities and production of anthraquinone and sennoside content of coffee senna (*Senna occidentalis* L.) by triacontanol. International Journal Plant Development Biology 4:5359.
- 44- Naeem, M., Khan, M., Moinuddin, M.A., Idrees, M. and Aftab, T., 2011. Triacontanol-mediated regulation of growth and other physiological attributes, active constituents and yield of *Mentha arvensis* L. Plant Growth Regulation 65:195206.
- 45- Nakano, Y., and K. Asado., 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant Cell Physiol. 22(5): 867-880.
- 46- Perveen, S., Shahbaz, M. and Ashraf, M., 2010. Regulation in gas exchange and quantum yield of photosystem II (PS II) in salt-stressed and non-stressed wheat plants raised from seed treated with triacontanol. Pakistan Journal of Botany 42:30733081.
- 47- Perveen, Sh., Shahbaz, M. and Ashraf, M., 2014. Triacontanol-induced changes in growth, yield, leaf water relations, oxidative defense system, minerals, and some key osmoprotectants in *Triticum aestivum* under saline conditions. Turkish Journal of Botany 38: 896-913.
- 48- Pigna, M., Cozzolino, V., Violante, A. and Meharg, A.A., (2009) Influence of phosphate on the arsenic uptake by wheat (*Triticum durum* L.) irrigated with arsenic solutions at three different concentrations. Water Air Soil Pollut. 197: 371 - 380
- 49- Plewa, M.J., S.R. Smith, and E.D. and Wanger., 1991. Diethylthiocarbamate suppresses the plant activation of aromatic amines into mutagens by inhibiting tobacco cell peroxidase. Mutant Res. 247: 57-64.
- 50- Popova, L.P., Zheleva, D.J. and Vaklinova, S.G., 1989. Effect of triacontanol on growth, photosynthesis and photorespiration in barely seedlings. Dokl Bolg AN 42:9598.
- 51- Rajasekaran, L.R. and Blake, T.J., 1999. New plant growth regulators protect photosynthesis and enhance growth under drought of *Jack Pine* seedlings. Plant Growth Regulation 18:175181.
- 52- Ramanarayan, K., Bhat, A., Shripathi, V., Sivakumar Swamy, G. and Sankara, Rao, K., 2000. Triacontanol inhibits both enzymatic and nonenzymatic lipid peroxidation. Phytochemistry 55: 59-66.
- 53- Ries, S., 1991. Triacontanol and its second messenger 9-b (L)-adenosine as plant growth substances. Plant Physiol 95:986-989.
- 54- Ries, S.K. and Wert, V.F., 1977. Growth response of rice seedlings to triacontanol in light and dark. Planta 135:77-82.
- 55- Robe, E., 1990. The functional significance of the accumulation of nitrogen-containing compounds. Horticultural Sciences 65:231-243.
- 56- Roe, J.H., 1955. The determination of sugar in blood and spinal fluid with anthrone reagent. J. Biol. Chem. 212: 335-343.
- 57- Roy, P. and Saha, A., 2002. Metabolism and Toxicity of Arsenic: A Human Carcinogen. Current Science 82: 38-45.
- 58- Sagaral, E.G., Orcutt, D.M. and Foy, C.L., 1978. Influence of time and rate of triacontanol applications on the growth and yields of selected plants. In: Abdel-Rehman M, editor. Proceedings of the 5<sup>th</sup> Annual Meeting of Plant Growth Regulator Working Group. Blacksburg, VA, USA: Plant Growth Regulator Working Group, p. 115.
- 59- Shaibur, M.R., Kitajima, N., Sugawara, R., Kondo, T., Alam, Sh., Imamul-Huq, S.M. and Kawai, Sh., 2008. Critical toxicity level of arsenic and elemental composition of arsenic-Induced chlorosis in *hydroponic sorghum*. Water Air and Soil Pollution 191: 279-292.
- 60- Shaibur, M.R., Kitajima, N., Sugawara, R., Kondo, T., Imamul-Huq, S.M. and Kawai, S., 2006. Physiological and mineralogical properties of arsenic-induced chlorosis in rice seedlings grown hydroponically. Soil Science and Plant Nutrition 52: 691-700.
- 61- Sharma, P. and Dubey, R. S., 2005. Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. Plant Growth Regulation 46: 209-221.
- 62- Shri, M., Kumar, S., Chakrabarty, D., Trivedi, P. K., Mallick, S., Misra, P., Shukla, D., Mishra, S., Srivastava, S., Tripathi, R. D. and Tuli, R., 2009. Effect of arsenic on growth, oxidative stress, and antioxidant system in rice seedlings. Ecotoxicology and Environmental Safety 72: 1102-1110.
- 63- Singh, H. P., Kaur, S., Batish, D. R., Sharma, V. P. and Sharma, N., 2009. Nitric oxide alleviates arsenic toxicity by reducing oxidative damage in the roots of *Oryza sativa* (rice). Nitric Oxide 20: 289-297.
- 64- Skogen D, Eriksen AB, Nilsen S. 1982. Effects of triacontanol on production and quality of flowers of *Chrysanthemum morifolium* Ramat. Sci Hort 18:87-92.
- 65- Stancheva, I., Kaloianova, N. and Atanasova, E., 1999. Effect of copper and arsenic on the yield and plastid pigment content of rice inoculated with *Azospirillum Brasilense*. Soil Science 39(4-5): 140-143.
- 66- Stoeva, N. and Bineva, T., 2003. Oxidative changes and photosynthesis in oat plants grown

- in As-contaminated soil. *Bulg. Journal Plant physiology* 29 (1-2): 87-95.
- 67- Stoeva, N., Berova, M. and Zlatez, Z., 2004. Physiological response of maize to arsenic contamination. *Planta* 47(3): 449-452.
- 68- Tu, C., and Ma, L. Q., 2003. Effects of arsenate and phosphate on their accumulation by an arsenic hyperaccumulator *Pteris vittata* L. *Plant Soil*. 249: 373-382.
- 69- Vazquez, S., Esteban. E. and Carpena, R.O., 2008. Evolution of arsenate toxicity in nodulated white lupine in a long-term culture. *Journal Agriculture and Food Science* 56(18): 8580-8587.
- 70- Verma, A., Malik, Ch. P., Gupta, V. K. and Bajaj, B. K., 2011. Effects of in vitro triacontanol on growth, antioxidant enzymes, and photosynthetic characteristics in *Arachis hypogaea* L. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 23(4): 271-277.

## Effect of interaction Triacontanol and arsenic on the growth and some biochemical and physiologic properties of soybean (*Glycine max* L)

Asadi Karam E.<sup>1</sup>, Keramat B.<sup>1</sup> and Mozafari H.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Biology Dept., Faculty of Science, Shahid Bahonar University, Kerman, I.R. of Iran

<sup>2</sup> Ecology Dept., Institute of Environmental Sciences, Kerman Graduate University of Advanced Technology, Kerman, I.R. of Iran

### Abstract

Triacontanol (TRIA), as a plant growth regulators has significant biological effects on plant growth and development, Including increased resistance of plants to environmental stresses. The effect of concentration as (0, 5 and 10  $\mu$ M TRIA) in physiological changes induced by treatment (300  $\mu$ M) of arsenic in soybean plants were studied in a completely randomized design. After measuring the rate of growth (dry weight of roots and shoots, leaf area and plant height), the photosynthetic pigments (chlorophyll and carotenoids), proline content, soluble sugar, protein and MDA in leaf was found that much of an impact TRIA these indicators have been in the absence of arsenic, and in the presence of arsenic, growth, photosynthetic pigments content, protein content and antioxidant activities of catalase, ascorbate peroxidase and guaiacol peroxidase somewhat increased while the amount of substance in the leaves is reduced. So TRIA by increasing the activity of antioxidant enzymes to maintain the integrity of biological membranes of plants and reduce the content of reactive oxygen species. This promoting plant tolerance to arsenic acid.

**Key words:** Arsenic, Antioxidant enzymes, Triacontanol(TRIA), Soybean.