



## به‌زراعی کشاورزی

دوره ۱۹ ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۳۹۶

صفحه‌های ۸۶۵-۸۵۳

# اثر اسیدسالیسیلیک بر برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی کدوی طبی (*Cucurbita pepo* L. var. *Styriaca*) تحت تنش خشکی

حسین ربی‌انگورانی<sup>۱\*</sup>، جابر پناهنده‌بنگجه<sup>۲</sup>، صاحبعلی بلندنظر<sup>۳</sup>، جلال صبا<sup>۳</sup>، فریبرز زارع‌نهندی<sup>۲</sup>

۱. دکتری، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۲. دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۳. استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۰۵

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۴/۲۸

### چکیده

یکی از مهمترین پیامدهای تنش خشکی تنش اکسیداتیو است. اسیدسالیسیلیک ترکیبی فنلی است که به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد در القاء مقاومت به خشکی عمل می‌کند. در این مطالعه به منظور بررسی تأثیر اسیدسالیسیلیک بر برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و برخی صفات بیوشیمیایی گیاه کدوی طبی تحت تنش، آزمایشی در سال ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان اجرا شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار شامل تنش خشکی در چهار سطح شاهد (آبیاری کامل) ۱۰۰ درصد، تنش ملایم ۸۵ درصد، تنش متوسط ۷۰ درصد و تنش شدید ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه و اسیدسالیسیلیک به صورت محلول‌پاشی برگ‌گی در چهار سطح صفر = محلول‌پاشی با آب مقطر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر بود. صفات مورد ارزیابی شامل آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز محتوی پرولین و مالون‌دی‌آلدئید (شاخص پراکسیداسیون غشایی)، بتاسیتوسترول و عملکرد روغن بودند. نتایج نشان داد که افزایش سطوح تنش خشکی عملکرد روغن را کاهش داد اما در مقابل موجب افزایش بتاسیتوسترول و پراکسیداسیون غشایی و نشت یونی و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نظیر کاتالاز و پراکسیداز شد. از طرف دیگر اسیدسالیسیلیک در سطوح ۰/۵ و ۱ میلی‌گرم در لیتر از طریق افزایش بیشتر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز و تجمع پرولین، تنش اکسیداتیو و پراکسیداسیون غشایی و نشت یونی را کاهش داد ولی موجب افزایش متوازن عملکرد روغن و بتاسیتوسترول در شرایط تنش ملایم و متوسط شد. این نتایج بیانگر افزایش مقاومت گیاه به خشکی در نتیجه کاربرد اسیدسالیسیلیک است.

**کلیدواژه‌ها:** بتاسیتوسترول، پراکسیداز، پرولین، تنش اکسیداتیو، عملکرد روغن.

## ۱. مقدمه

کدوی طبی یا کدوی پوست کاغذی (*Cucurbita pepo*) کدویان است [۲] که روغن و ماده مؤثره آن (بتاسیتوسترول) کاربرد وسیعی در پیشگیری از سرطان پروستات و درمان سوزش مجاری ادراری دارد [۳ و ۴]. تنش خشکی از مهمترین عوامل محیطی کاهش رشد و عملکرد گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا محسوب می‌شود [۳۳]. خشکی از ویژگی‌های بارز جغرافیای کشور ایران است و اکثر کشت‌های مهم کشور در مناطقی تحت تأثیر کم آبی قرار دارند [۲]. آثار این تنش در گیاهان دارویی شامل کاهش قطعی عملکرد اقتصادی است که در بیشتر موارد همراه با افزایش کمیت و کیفیت مواد مؤثره است [۲]. لذا می‌توان با بهره‌برداری صحیح از منابع آب به همراه شیوه‌های صحیح به‌زراعی و بررسی آثار مواد تنظیم‌کننده رشد بین عملکرد اقتصادی و افزایش کیفیت مواد مؤثره تعادل ایجاد کرد و تهدید تنش خشکی را به فرصتی برای افزایش متوازن تولید و کیفیت مواد مؤثره کرد [۲]. لذا به نظر می‌رسد شرایط تنش باعث شکل‌گیری رادیکال سوپر اکسید  $O_2$  و پراکسید هیدروژن  $H_2O_2$  و رادیکال هیدروکسیل OH می‌شوند که گونه‌های فعال اکسیژن<sup>۱</sup> (ROS) نامیده می‌شوند [۲۷]. فعالیت این گونه‌ها باعث بروز صدماتی همچون اکسید شدن چربی‌ها و تغییر ساختار غشاء و از هم پاشیدگی یکپارچگی آن می‌شود [۱۶] و همچنین تغییر ساختار پروتئین‌ها و غیرفعال شدن آنزیم‌ها، بی‌رنگ شدن یا از بین رفتن رنگدانه‌هایی مثل کلروفیل و اختلال در آنها می‌شود [۲۴]. تنش خشکی تعادل بین تولید گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن و از بین بردن آن‌ها را به هم می‌زند. مقدار ROS در سلول بستگی به سرعت تولید شدن آن‌ها، سرعت واکنش آن‌ها با

مولکول‌های هدف نظیر پروتئین‌ها، لیپیدها یا اسیدهای نوکلئیک، سرعت تجزیه، و یا خنثی شدن آن‌ها توسط آنزیم‌ها یا مولکول‌های آنتی‌اکسیدان غیر آنزیمی دارد [۴۰]. گیاهان برای مقابله با ROS دارای سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی هستند که در شرایط طبیعی بین میزان تولید ROS و فعالیت مکانیسم‌های از بین برنده ROS تعادل وجود دارد، اما در تنش‌های محیطی این تعادل به هم می‌خورد و موجب تنش‌اکسیداتیو در گیاهان می‌شود [۶]. کاهش تنش‌اکسیداتیو و افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی اغلب به یک سیستم دفاع آنتی‌اکسیدان قوی مرتبط است [۱۸].

اسیدسالیسیلیک تنظیم‌کننده رشد درون‌زا (اندوژن) است که ماهیت فنلی دارد [۲۰] و نقش مهمی در جذب و انتقال یون‌ها و میزان فتوسنتز ایفا می‌کند که سنتز ترکیبات آنتی‌اکسیدان را طی تنش‌های محیطی تنظیم می‌کند [۳۷]. این امر در ایجاد تحمل برابر تنش خشکی در گیاهان مؤثر است [۱۶]. با توجه به تأثیر سیستم آنتی‌اکسیدان در فرآیند خنثی‌سازی آثار تنش‌اکسیداتیو ناشی از خشکی در دو گیاه لوبیا و گوجه‌فرنگی نشان دادند که کاربرد اسیدسالیسیلیک به‌صورت خارجی در شرایط تنش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از جمله سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز را بهبود می‌بخشد [۳۵]. محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک در شرایط تنش خشکی در گیاه رازیانه، افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و عملکرد اسانس و کاهش خسارت اکسیداتیو را به دنبال داشته است [۴]. با توجه به اینکه احتمال دارد که کاربرد برون‌زای اسیدسالیسیلیک نیز بتواند در کاهش تنش خشکی نقش داشته باشد. لذا هدف این تحقیق بررسی اثر محلول‌پاشی با اسیدسالیسیلیک بر فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، عملکرد روغن و ماده مؤثره گیاه کدوی طبی در شرایط تنش خشکی بود.

1. Reactive oxygen speices(ROS)

## ۲. مواد و روش‌ها

تیمارهای مختلف، محاسبه شد [۳۰]، به منظور اطمینان از صحت محاسبه مقادیر رطوبت خاک، به صورت موردی از روش وزنی نیز استفاده شد [۵]. محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک در زمان گلدهی ۸۵ درصد از گل‌های مزرعه در ساعات نخستین صبح پس از نایلون‌کشی کرت‌های مجاور برای عدم اختلاط تیمارها انجام شد [۱۹] و مقدار آن به اندازه‌ای بود که به حد ریزش قطرات محلول بعد از خیسگی کامل برگ‌ها رسید [۱۵، ۶، ۲۰]، لازم به ذکر است در طول آزمایش تمامی عوامل زراعی به صورت یکنواخت اعمال شده و از سیستم آبیاری قطره‌ای در کنترل و مدیریت بهتر آبیاری استفاده شد [۲۴]. نمونه‌برداری از برگ ۷۲ ساعت بعد از تیمار با اسید سالیسیلیک از برگ مقابل گره ۱۴ گیاهان انتخاب شد [۳۴] و به سرعت در نیتروژن مایع منجمد شدند و تا زمان تجزیه و بررسی در دمای  $-80^{\circ}\text{C}$  درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند [۱۳ و ۲۴].

### عصاره‌گیری به منظور سنجش فعالیت آنزیمی

۰/۱ گرم از نمونه برگ را در هاون چینی با نیتروژن مایع به طور کامل پودر کرده و ۱ میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم (اسیدیته ۷ و ۵۰ میلی مولار) حاوی پلی وینیل پیرولیدین در صد، EDTA ۱ میلی مولار، ۱/۰ درصد Tritox x-100 و ۵ میلی مولار آسکوربات به آن اضافه شد. محلول حاصل به مدت ۱۵ دقیقه دمای  $4^{\circ}\text{C}$  درجه سانتیگراد در  $10000$  دور سانتریفیوژ و محلول شفاف رویی به عنوان عصاره آنزیمی توسط کاغذ صافی فیلتر و جدا شدند سنجش‌های آنزیمی در مایع رویی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر 25 usa uv/vis (perkinelmer, lambada) در دمای  $25^{\circ}\text{C}$  درجه سانتیگراد اتاق انجام پذیرفت [۱۳].

در این تحقیق از رقم کدوی طی کاکایی شرکت دارویی زردبند با منشاء کشور مجارستان استفاده شد، آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان با خاکی با بافت لومی رسی واقع در عرض شمالی  $36^{\circ}$  درجه و  $41^{\circ}$  دقیقه و طول شرقی  $48^{\circ}$  درجه و  $21^{\circ}$  دقیقه و ارتفاع  $1620$  متر از سطح دریا، در سه تکرار با بررسی اثر دو عامل هر یک در  $4$  سطح، (مجموعاً ۱۶ تیمار) طراحی شد، هر کرت شامل پنج خط کاشت چهار متری با فاصله کاشت  $150$  در  $50$  سانتی متر و عمق کاشت سه سانتی متر در تاریخ دهم خرداد کشت شد (فواصل کرت‌ها از هم دو متر و تکرارها چهار متر بود) و عامل اسیدسالیسیلیک شامل محلول پاشی برگ (صفر=محلول پاشی با آب مقطر،  $0/5$ ،  $1/5$  میلی گرم در لیتر) [۶، ۱۹ و ۴۰] و تنش خشکی نیز در (شاهد= $100$  درصد ظرفیت زراعی آبیاری کامل)، (تنش ملایم= $85$  درصد ظرفیت زراعی)، (تنش متوسط= $70$  درصد ظرفیت زراعی) و (تنش شدید= $55$  درصد ظرفیت زراعی) [۲۴]، که معادل پتانسیل ماتریک‌های  $-0/1$ ،  $-0/5$ ،  $-1$  و  $-1/5$  مگاپاسکال تنظیم شده بودند [۲۲ و ۳۰]. اعمال تیمار تنش خشکی با شروع ظهور گل‌ها صورت گرفت و برای دستیابی به سطوح مختلف تنش خشکی در خاک، از روش پرهیز از آبیاری استفاده شد [۲۲]. بدین صورت که کرت‌های آزمایشی پس از انجام آبیاری و رسیدن مقدار رطوبت خاک به سطح ظرفیت مزرعه، دیگر آبیاری نشدند، برای اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک و تعیین زمان آبیاری مقدار آب قابل دسترس موجود در خاک با اندازه‌گیری رطوبت حجمی به وسیله دستگاه تی‌دی‌آر<sup>۱</sup> و به استناد به منحنی‌های رطوبت خاک، تعیین و بر مبنای آن، مقدار آب موجود در خاک بر اساس ظرفیت زراعی مزرعه برای

### ۱.۲. اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز

گرفت. میزان جذب این ماده در طول موج ۵۳۲ نانومتر تعیین و جذب ناویژه در ۶۰۰ نانومتر از آن کسر شد. تعیین غلظت مالون‌دی‌آلدئید با استفاده از ضریب تصحیح ( $\mu$ )  $\epsilon = 155 \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  محاسبه و براساس واحد میکرومول بر گرم وزن تر ( $\mu\text{mol g}^{-1} \text{ FW}$ ) بیان شد [۱۸].

مخلوط واکنش برای تعیین فعالیت آنزیم پراکسیداز شامل بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار، ۱۰ میلی‌مول گایاکول و ۱۵ میلی‌مول پراکسید هیدروژن و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. میزان جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر به مدت دو دقیقه قرائت شد. محلول شاهد شامل تمامی این مواد به جز عصاره آنزیمی بود. فعالیت آنزیم پراکسیداز به عنوان میزان تترآگایاکول تشکیل شده در یک دقیقه در هر میلی‌گرم پروتئین و با استفاده از ضریب خاموشی ( $\text{mM}^{-1} \epsilon = 26/6 \text{ cm}^{-1}$ ) محاسبه شد [۱۳].

### ۵.۲. درصد نشت الکترولیت

به این منظور نمونه‌های یک گرمی برگ بلافاصله بعد از برداشت به آزمایشگاه منتقل و پس از خرد شدن و شستشو با آب مقطر، ۱۰ سی‌سی آب مقطر به هر نمونه در ویال‌های جداگانه اضافه و آنها را در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت در داخل انکوباتور قرار داده و پس از طی زمان و رساندن دمای نمونه‌ها به دمای تعادل آزمایشگاه میزان هدایت الکتریکی  $L_T$  هر نمونه با استفاده از دستگاه هدایت سنج اندازه‌گیری شد، در مرحله بعد نمونه‌ها در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه اتوکلاو شده و سپس نمونه‌ها از اتوکلاو خارج و پس از رسیدن به دمای تعادل آزمایشگاه میزان هدایت الکتریکی  $L_0$  نمونه‌ها مجدداً اندازه‌گیری شد و سپس با استفاده از رابطه ذیل میزان نشت الکترولیت محاسبه شد [۲۵].

$$\text{درصد نشت الکترولیت [EL]} = \frac{L_T}{L_0} \times 100$$

### ۶.۲. استخراج روغن و اندازه‌گیری عملکرد روغن

#### و محتوی بناسیتوسترول

از نمونه بذرهای برداشت شده پس از آسیاب کردن ۱۰ گرم نمونه بذر تصادفی از هر تیمار عمل استخراج روغن توسط دستگاه سوکسوله و حلال ان‌هگزان انجام گرفت، پس از محاسبه درصد روغن عملکرد روغن از حاصلضرب عملکرد دانه کرت (پس از حذف حاشیه‌ها) به درصد روغن و تبدیل آن به هکتار برحسب کیلوگرم در هکتار گزارش شد. هر نمونه برای تعیین یکی از مهمترین مواد مؤثره روغن کدو

### ۲.۲. اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز

مخلوط واکنش برای تعیین فعالیت کاتالاز شامل بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار، ۱۵ میلی‌مولار پراکسید هیدروژن و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. پس از اضافه کردن عصاره آنزیمی میزان جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر به مدت دو دقیقه توسط اسپکتروفتومتر ثبت شد. فعالیت کاتالاز با استفاده از ضریب خاموشی ( $\text{mM}^{-1} \epsilon = 39.4 \text{ cm}^{-1}$ ) به صورت میکرومول پراکسید هیدروژن تجزیه شده در دقیقه در هر میلی‌گرم پروتئین بیان شد [۷].

### ۳.۲. پرولین

برای سنجش محتوی پرولین برگ نمونه‌ها بعد از آماده‌سازی هم‌زمان با نمونه‌های استاندارد در دستگاه اسپکتروفتومتر قرار گرفتند و جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد. غلظت پرولین برحسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد [۹].

### ۴.۲. پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی [تعیین محتوی

#### مالون‌دی‌آلدئید]

برای اندازه‌گیری این صفت از مالون‌دی‌آلدئید به‌عنوان فرآورده نهایی پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی انجام

تخم کاغذی محتوی بتا سیتوسترول طیف جذبی نمونه روغن ها به وسیله استاندارد بتا سیتوسترول و دی کلرومتان خالص در طول موج ۲۳۱/۵ نانومتر قرائت شد [۱۱].

### محاسبات آماری

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، از نرم افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ استفاده شد و مقایسه های میانگین ها با استفاده از آزمون چنددامنه ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام گرفت.

## ۳. نتایج و بحث

### ۱.۳. فعالیت آنزیم پراکسیداز

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) تنش خشکی و محلول پاشی اسیدسالیسیلیک و اثر متقابل این دو فاکتور در سطح یک درصد اثر معناداری بر فعالیت این آنزیم داشتند. با افزایش سطوح تنش خشکی میزان فعالیت افزایش یافت (جدول ۲). به طوری که بیشترین فعالیت آنزیم در اعمال تنش شدید در سطح ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه حاصل شد. از طرفی محلول پاشی گیاهان با اسیدسالیسیلیک توانست تأثیر مثبتی بر فعالیت آنزیم داشته باشد به نحوی که کاربرد خارجی ۰/۵ و ۱ میلی گرم در لیتر اسیدسالیسیلیک فعالیت آنزیم پراکسیداز را در سطوح تنش خشکی ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه بیشتر از گیاهانی که فقط تحت تنش خشکی بودند افزایش داد (جدول ۲). آنزیم پراکسیداز تجزیه پراکسید هیدروژن به آب و اکسیژن نقش دارد [۲۷]. به نظر می رسد افزایش میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز نشان دهنده تلاش گیاه در غلبه بر پراکسید هیدروژن است [۲۷]، ولی فعالیت آنزیم در کاربرد تیمار ۱/۵ میلی گرم در لیتر اسیدسالیسیلیک با کاهش نسبت به تیمارهای قبل همراه بود که احتمالاً ناشی از سمیت این ماده در غلظت بالا است. تأثیر سیستم آنتی اکسیدان در فرآیند خنثی سازی آثار تنش اکسیداتیو ناشی از خشکی با بکار بردن اسیدسالیسیلیک به صورت خارجی در شرایط تنش فعالیت

آنزیم های آنتی اکسیدان از جمله پراکسیداز را در گیاه لوبیا و گوجه فرنگی بهبود بخشید [۳۵]، مشخص شده است کاربرد اسیدسالیسیلیک در گیاهان گوجه فرنگی تحت تنش شوری و نخود تحت تنش گرما با تأثیر بر فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان مانند کاتالاز، سوپر اکسید دیسموتاز، پراکسیدازها و متابولیت هایی مانند اسکوربیک اسید آثار ناشی از تنش را کاهش داد [۱۲ و ۳۶].

### ۲.۳. فعالیت آنزیم کاتالاز

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) تنش خشکی و محلول پاشی اسیدسالیسیلیک هر کدام در سطح آماری ۱ درصد و اثر متقابل این دو فاکتور در سطح ۵ درصد اثر معناداری بر فعالیت این آنزیم کاتالاز داشتند. با افزایش شدت تنش فعالیت آنزیم کاتالاز روند افزایشی داشت. به طوری که بیشترین فعالیت آنزیم در تیمار تنش در ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه حاصل شد (جدول ۲).

محلول پاشی گیاهان با اسیدسالیسیلیک توانست تأثیر مثبتی بر فعالیت آنزیم داشته باشد به نحوی که کاربرد خارجی ۰/۵ و ۱ میلی گرم در لیتر اسیدسالیسیلیک فعالیت آنزیم کاتالاز را در سطح ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه بیشتر از گیاهانی که فقط تحت تنش خشکی بودند افزایش دهد ولی فعالیت در سطح ۱/۵ میلی گرم در لیتر با کاهش نسبت به تیمارهای قبل همراه بود. به نظر می رسد که اسیدسالیسیلیک سنتز ترکیبات آنتی اکسیدان را طی تنش های محیطی در بهبود پاسخ گیاه به تنش تنظیم می کند که در ایجاد تحمل در برابر تنش خشکی در گیاهان مؤثر است [۱۷ و ۲۰] این یافته ها با نتایج محلول پاشی گیاه رازیانه با اسیدسالیسیلیک در شرایط تنش خشکی که با افزایش آنزیم های آنتی اکسیدان موجب کاهش خسارت اکسیداتیو، مطابقت دارد [۴]، همچنین در تیمار اسیدسالیسیلیک در شرایط تنش خشکی در گیاه گوجه فرنگی نیز نتایج یافته ها مشابه بود [۳۱].

جدول ۱. تجزیه واریانس مربوط به تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی و اسیدسالیسیک بر آنزیم‌های آنتی اکسیدان و برخی صفات فیزیولوژیکی گیاه کدوی طی

M.S. میانگین مربعات									
بتاستوسترون	عملکرد روشن	نشت الکترولیت	نشت آلدئید	مالون دی آلدئید	پروپین	کاتالاز	پروکسیداز	درجه آزادی df	منابع تغییر S.S.V
۰/۰۱۴۱	۱۰۰۸۹/۸	۰/۲۵	۰/۲۰۶	۴۰/۵۴	۰/۰۱۸	۰/۰۰۳۱	۲	تکرار	
۰/۲۶۳۴ <sup>***</sup>	۱۰۶۳۷/۹ <sup>***</sup>	۳۸۸/۵۲ <sup>***</sup>	۴۳۰/۱۴ <sup>***</sup>	۴۸۸/۷۷ <sup>***</sup>	۰/۵۹۷ <sup>***</sup>	۰/۴۰۷۸ <sup>***</sup>	۳	تنش خشکی (A)	
۰/۷۳۷۸ <sup>***</sup>	۳۸۱۳۰/۸ <sup>***</sup>	۶۵/۴۷۹ <sup>***</sup>	۱/۸۹۲۱ <sup>***</sup>	۵۱۳/۶۶ <sup>***</sup>	۰/۷۳۳۲ <sup>***</sup>	۰/۴۷۸۲ <sup>***</sup>	۳	سالیسیک اسید (B)	
۰/۰۲۶۵ <sup>***</sup>	۶۱۱۷/۳ <sup>***</sup>	۵۷/۸۰۹ <sup>***</sup>	۰/۱۱۴۴ <sup>***</sup>	۶۹/۱۹ <sup>***</sup>	۰/۰۳۳۳ <sup>***</sup>	۰/۰۳۱۳ <sup>***</sup>	۹	اثر متقابل (A×B)	
۰/۰۰۹۸	۳۳۰۶/۱	۳۵/۰۱	۰/۰۶۵۳	۲۳/۸۹	۰/۰۱۸۶	۰/۰۰۳۷	۳۰	اشتباه (Error)	
۱۰/۹۰	۱۵/۰۹	۸/۱۴	۱۱/۳۲	۱۰/۳۳	۱۰/۷۷۶	۱۰/۱۱۴	-	ضریب تغییرات (CV) (%)	

\*\*\* و \*\* به ترتیب غیر معنادار در سطح پنج درصد و یک درصد

جدول ۲. مقایسه میانگین مربوط به آثار متقابل مختلف تنش خشکی و اسیدسالیسیلیک بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و برخی صفات فیزیولوژیکی گیاه کدوی طی

تیمار	پرسیداز ( $\mu\text{mol}^* \text{min}^{-1} \text{ml}^{-1}$ )		کاتالاز ( $\mu\text{mol}^* \text{min}^{-1} \text{ml}^{-1}$ )	پروکسیداز ( $\mu\text{mol.g}^{-1} \text{F.W}^{-1}$ )	مالون دی‌آلدئید ( $\text{nmol.g}^{-1} \text{F.W}^{-1}$ )	تنش الکترولیت (درصد)	عملکرد روغن ( $\text{kg/ha}$ )	در هنگام ( $\text{kg/ha}$ )	بسامیتوسترول (درصد)	سالیسیلیک اسید
	شاگرد (ظرفیت مزرعه)	شاگرد (ظرفیت مزرعه)								
صفر میلی‌گرم در لیتر	۰/۲۷۸۳ f	۰/۶۸۳۸ i	۳۲/۱۵۹ j	۱/۹۳۸۴ gh	۶۸/۶۲۴ ef	۳۰/۰۷ def	۰/۴۳۹۵۴ g	۰/۴۳۹۵۴ g	۰/۴۳۹۵۴ g	صفر میلی‌گرم در لیتر
۸۵ درصد ظرفیت مزرعه	۰/۳۳۴۱۲ ef	۰/۸۳۱۸ hi	۳۷/۶۹۱ i	۲/۷۸۸۷ c	۷۱/۹۳۴ ede	۲۶۶/۹۲ def	۰/۴۷۴۰۸ g	۰/۴۷۴۰۸ g	۰/۴۷۴۰۸ g	۸۵ درصد ظرفیت مزرعه
۷۰ درصد ظرفیت مزرعه	۰/۴۷۸۴۲ de	۱/۰۷۸ fg	۴۴/۸۴۷ efg	۳/۳۵۴۷ b	۸۱/۳۲۳ b	۲۵۶/۰۱ ef	۰/۴۷۵۷۷ ef	۰/۴۷۵۷۷ ef	۰/۴۷۵۷۷ ef	۷۰ درصد ظرفیت مزرعه
۵۵ درصد ظرفیت مزرعه	۰/۵۸۰۳۵ bc	۱/۰۷۸۷ fg	۴۸/۱۵۸ def	۳/۷۲۶۸ a	۸۵/۶۴۹ a	۲۱۸/۰۹ f	۰/۸۱۸۱۸ c	۰/۸۱۸۱۸ c	۰/۸۱۸۱۸ c	۵۵ درصد ظرفیت مزرعه
شاگرد (ظرفیت مزرعه)	۰/۶۶۴۳۵ bc	۱/۱۴۶۱ efg	۴۱/۵۸۵ ghi	۱/۷۳۸۴ h	۶۴/۴۷۷ g	۴۴۴/۲۲ a	۱/۰۵۳۰۲ cd	۱/۰۵۳۰۲ cd	۱/۰۵۳۰۲ cd	۰/۵ میلی‌گرم در لیتر
۸۵ درصد ظرفیت مزرعه	۰/۷۳۱۵ h	۱/۳۳۳۲ def	۵۷/۹۲۴ ab	۲/۰۱۳۵ fg	۷۲/۸۸۵ cd	۴۳۳/۰۷ ab	۱/۳۲۰۴۶ a	۱/۳۲۰۴۶ a	۱/۳۲۰۴۶ a	۰/۵ میلی‌گرم در لیتر
۷۰ درصد ظرفیت مزرعه	۰/۹۱۴۵۷ a	۱/۷۶۳۵ a	۶۳/۱۲ a	۲/۴۱۱۵ de	۷۵/۶۲۹ c	۳۸۳/۸۳ abc	۱/۲۰۴۳۳ ab	۱/۲۰۴۳۳ ab	۱/۲۰۴۳۳ ab	۰/۵ میلی‌گرم در لیتر
۵۵ درصد ظرفیت مزرعه	۰/۷۶۲۴۶ b	۱/۵۴۵۱ b	۶۲/۸۲۵ a	۲/۷۳۰۳ c	۷۶/۱۲۹ c	۳۱۲/۵ cde	۱/۰۹۵۵۶ bcd	۱/۰۹۵۵۶ bcd	۱/۰۹۵۵۶ bcd	۰/۵ میلی‌گرم در لیتر
شاگرد (ظرفیت مزرعه)	۰/۶۷۳۴۱ bc	۱/۱۸۹ efg	۴۲/۴۵۴ fgh	۱/۴۱۴۱ i	۶۴/۱۶۴ g	۳۵۴/۴۳ bcd	۱/۰۴۶۱۶ d	۱/۰۴۶۱۶ d	۱/۰۴۶۱۶ d	۰/۵ میلی‌گرم در لیتر
۸۵ درصد ظرفیت مزرعه	۰/۷۶۱۵۲ b	۱/۳۷۱۱ ede	۴۴/۳۲۹ fgh	۱/۸۵۱۴ gh	۶۹/۲۲۱ def	۳۳۱/۳۸ cde	۱/۰۱۷۳۹ bc	۱/۰۱۷۳۹ bc	۱/۰۱۷۳۹ bc	۰/۵ میلی‌گرم در لیتر
۷۰ درصد ظرفیت مزرعه	۰/۹۵۷۷ a	۱/۸۵۴۴ a	۵۰/۵۳ cde	۲/۵۴۹۴ ef	۷۲/۲۴۳ cde	۳۵۳/۰۷ bcd	۱/۰۴۷۵۴ d	۱/۰۴۷۵۴ d	۱/۰۴۷۵۴ d	۰/۵ میلی‌گرم در لیتر
۵۵ درصد ظرفیت مزرعه	۰/۷۵۵۵۶ b	۱/۴۲۸ bcd	۵۶/۰۲۷ bc	۲/۵۷۰۴ cd	۷۵/۵۲۴ c	۳۲۴/۳۳ cde	۱/۰۲۸۲۷ d	۱/۰۲۸۲۷ d	۱/۰۲۸۲۷ d	۰/۵ میلی‌گرم در لیتر
شاگرد (ظرفیت مزرعه)	۰/۳۳۳ ef	۱/۰۳۶۲ gh	۳۹/۳۱۸ hi	۱/۱۹۴۲ i	۶۶/۳۳۳ fg	۲۹۳/۸۵ def	۰/۵۴۰۴۵ g	۰/۵۴۰۴۵ g	۰/۵۴۰۴۵ g	۰/۵ میلی‌گرم در لیتر
۸۵ درصد ظرفیت مزرعه	۰/۴۷۰۱۵ de	۱/۳۰۸۴ cde	۴۲/۳۸۳ ghi	۱/۷۴۱۵ h	۷۰/۸۳۷ de	۳۰۵/۰۵ def	۰/۶۴۶۵۸ f	۰/۶۴۶۵۸ f	۰/۶۴۶۵۸ f	۰/۵ میلی‌گرم در لیتر
۷۰ درصد ظرفیت مزرعه	۰/۴۷۱۱۱ de	۱/۲۱۵۲ def	۴۶/۹۸۴ efg	۲/۷۲۴۵ c	۳۸۵/۳۷ cd	۲۵۶/۶۶ def	۰/۶۵۶۷۸ f	۰/۶۵۶۷۸ f	۰/۶۵۶۷۸ f	۰/۵ میلی‌گرم در لیتر
۵۵ درصد ظرفیت مزرعه	۰/۴۳۱۸۸ c	۱/۴۷۳۷ bc	۵۳/۸۰۹ bcd	۲/۶۰۹۳ cd	۷۵/۱۶۳ c	۲۲۰/۲۲ f	۰/۹۷۴۳ d	۰/۹۷۴۳ d	۰/۹۷۴۳ d	۰/۵ میلی‌گرم در لیتر

۴. در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشابهی هستند از لحاظ آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد معنادار نبوده‌اند.

### ۳.۳. تجمع پرولین

به نقش اسیدسالیسیلیک در توسعه ریشه و متابولیسم نیتروژن، می‌توان افزایش تجمع پرولین را از آثار اسیدسالیسیلیک در نظر گرفت [۱۷ و ۴۰].

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) تنش خشکی و محلول پاشی اسیدسالیسیلیک و اثر متقابل این دو فاکتور در سطح ۱ درصد اثر معناداری بر میزان پرولین مشاهده شد (جدول ۲). با افزایش شدت تنش خشکی میزان تجمع پرولین روند افزایشی داشت به طوری که بیشترین مقادیر در دو سطح ۵۵ و ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه حاصل شد. از طرفی محلول پاشی گیاهان با اسیدسالیسیلیک توانست تأثیر مثبتی بر تجمع پرولین داشته باشد به نحوی که کاربرد خارجی ۰/۵ میلی گرم در لیتر اسیدسالیسیلیک در تیمارهای تنش ۵۵ و ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه، مقدار پرولین را بیشتر از گیاهانی که فقط تحت تنش خشکی بودند افزایش داد ولی با این حال در کاربرد غلظت‌های اسیدسالیسیلیک ۱ و ۱/۵ میلی گرم در لیتر پرولین روند نزولی داشت. ولی از نظر آماری نسبت به گیاهان تحت تنش بدون تیمار با اسیدسالیسیلیک برتری داشت. پرولین اسید آمینه قابل حل در آب است که دو نقش اساسی در شرایط تنش دارد. نخست اینکه افزایش سنتز و تجمع آن پاسخ متابولیکی گیاه تحت تنش است [۹]. همچنین افزایش پرولین محلول در شرایط تنش نشانه سازگاری و افزایش مقاومت گیاه است که با کمک در تنظیم روابط آبی درون سلولی مخزن نیتروژن پتانسیل اسمزی سیتوپلاسم را کاهش می‌دهد و همچنین غشاءها و پروتئین‌ها را از آسیب غلظت‌های بالای گونه‌های فعال اکسیژن محافظت می‌کند [۹]. سنتز پرولین در برگ‌ها تحت شرایط پتانسیل آبی کم، ناشی از ترکیب افزایش بیوسنتز و اکسیداسیون آهسته در میتوکندری است [۲۸]. همچنین به پرولین آزاد برخی نقش‌های فیزیولوژیکی از قبیل تثبیت ماکرومولکول‌ها، مخزنی برای عامل احیاء کننده اضافی و ذخیره کربن و نیتروژن برای استفاده پس از ترمیم کمبود آب نسبت داده شده است [۳۹]. پرولین در ادامه مسیر متابولیسم نیتروژن ساخته می‌شود و منبع مهم نیتروژن در شرایط تنش به شمار می‌رود. با توجه

### ۴.۳. مالون‌دی‌آلدئید

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس تنش خشکی و محلول پاشی اسیدسالیسیلیک و اثر متقابل این دو فاکتور در سطح ۱ درصد اثر معناداری بر میزان مالون‌دی‌آلدئید داشته است (جدول ۱). با افزایش شدت تنش خشکی مالون‌دی‌آلدئید به عنوان محصول نهایی پراکسیداسیون لیپیدی غشاء روندی افزایشی داشت. بیشترین افزایش در سطح تنش ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه حاصل شد. محلول پاشی گیاهان با اسیدسالیسیلیک توانست تأثیر مثبتی بر کاهش تولید مالون‌دی‌آلدئید در تمام سطوح بدون تنش خشکی داشته باشد. گونه‌های فعال اکسیژن عامل اصلی پراکسیداسیون لیپیدی هستند [۴۰]. پراکسیداسیون لیپید و تولید مالون‌دی‌آلدئید شاخصی برای میزان خسارت تنش‌های اکسیداتیو به کار می‌رود [۲۱ و ۳۹]. تجمع آن نشان دهنده آثار مخرب رادیکال‌های آزاد اکسیژن است. میزان این بیومارکر با افزایش تنش خشکی بیشتر می‌شود [۱۴]. با کاربرد اسیدسالیسیلیک در گیاهان تحت تنش تولید این ماده نسبت به گیاهان تحت تنش در تمام تیمارها کاهش یافت. محلول پاشی در سطح ۱ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک و سطح ۸۵ درصد ظرفیت مزرعه موجب بیشترین کاهش تجمع مالون‌دی‌آلدئید نسبت به گیاهانی که فقط تحت تنش خشکی بودند شد. ولی در غلظت‌های اسید سالیسیلیک ۱ و ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر روند تقریباً ثابت یا در برخی تیمارها با کمی افزایش بود که با نتایج بدست آمده از کاربرد غلظت بالای اسیدسالیسیلیک در گیاه آویشن تحت شرایط شوری [۲۹] و نتایج گزارش شده از گیاه تاج خروس تحت تنش خشکی مطابقت داشت [۱۴].



### ۵.۳. نشت الکترولیت

غشاءهای بیولوژیکی نخستین هدف بسیاری از تنش‌های غیرزنده هستند. حفظ و ثبات غشاءها تحت تنش آبی، جزء اصلی تحمل خشکی در گیاهان است [۱۰]. پایداری غشاء سلولی و متعاقب آن آسیب به غشاء سلولی در شرایط تنش شاخص فیزیولوژیکی است که به‌طور گسترده‌ای برای ارزیابی تحمل به خشکی به کار می‌رود [۳۲]. طبق نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) تنش خشکی و محلول پاشی اسیدسالیسیلیک هرکدام در سطح ۱ درصد و اثر متقابل این دو فاکتور در سطح ۵ درصد اثر معناداری بر این صفت داشتند، به‌طوری‌که با افزایش شدت تنش خشکی نشت الکترولیت افزایش یافت که بیانگر کاهش پایداری غشاء بود و بیشترین مقدار آن در سطح ۵۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه ملاحظه شد (جدول ۲). نشت الکترولیت در محلول پاشی گیاهان بدون تنش با اسیدسالیسیلیک در سطوح ۰/۵ و ۱ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافت ولی در سطح ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر این صفت افزایش یافت که با نتایج به دست آمده از افزایش میزان نشت الکترولیت در گیاه آویشن تحت تنش شوری در کاربرد غلظت بالای اسیدسالیسیلیک مطابقت داشت [۲۹]. از طرف دیگر در اثر متقابل محلول پاشی گیاهان تحت تنش با اسیدسالیسیلیک موجب کاهش نشت الکترولیت نسبت به گیاهان تحت تنش در بیشترین تیمارها شد. بیشترین تیمارها نشت الکترولیت در محلول پاشی گیاهان در سطح تنش ۸۵ درصد ظرفیت مزرعه در محلول پاشی ۱ میلی‌گرم در لیتر اسیدسالیسیلیک نسبت به گیاهانی که فقط تحت تنش خشکی بودند ملاحظه شد (جدول ۲) که می‌تواند بیانگر تأثیر این ماده بر روی بهبود وضعیت غشاهای سلولی در برابر آسیب‌گونه‌های فعال اکسیژن باشد. در نتایج مشابه اسیدسالیسیلیک میزان نشت الکترولیت گیاه گوجه فرنگی را ۳۲ درصد کاهش داده بود [۳۶].

### ۶.۳. عملکرد روغن

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) تنش خشکی و محلول پاشی اسیدسالیسیلیک هرکدام در سطح یک درصد و اثر متقابل این دو فاکتور در سطح پنج درصد اثر معناداری بر این صفت داشتند، افزایش سطوح تنش خشکی موجب کاهش عملکرد روغن شد. کمترین مقدار آن در تیمار تنش ۵۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه بود. در گیاهان بدون تنش خشکی محلول پاشی با اسیدسالیسیلیک در سطح ۰/۵ و ۱ میلی‌گرم در لیتر موجب افزایش عملکرد روغن شد. ولی در سطح ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر این صفت روند نزولی داشت (جدول ۲). در اثر متقابل محلول پاشی گیاهان تحت تنش با اسیدسالیسیلیک موجب افزایش عملکرد روغن نسبت به گیاهان تحت تنش در بیشتر تیمارها شد و محلول پاشی در سطح ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر اسیدسالیسیلیک در سطح تنش ۸۵ درصد ظرفیت مزرعه بیشترین افزایش عملکرد روغن نشان داد. ولی در غلظت‌های اسیدسالیسیلیک ۱ و ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر روند نزولی همراه بود (جدول ۲) که مشابه نتایج یافت شده در کاهش عملکرد روغن دانه در گیاه ماریتیغال تحت تنش خشکی [۲۶]، کاهش عملکرد روغن گیاه کلزای تحت تنش خشکی [۸] و افزایش عملکرد روغن در دانه‌های ذرت با محلول پاشی اسیدسالیسیلیک بود، درحالی‌که غلظت‌های بالاتر اسیدسالیسیلیک مقادیر این ترکیبات را کاهش داد [۳۸].

### ۷.۳. ماده مؤثره (بتاسیتوسترول)

فیتواسترول‌ها مخصوصاً بتاسیتوسترول از متابولیت‌های ثانویه گیاهی مانند سایر استرول‌ها در ادامهٔ تنفس در مسیر اسیدمولونیک با منشاء استیل کوآنزیم A ساخته می‌شوند. و تولیدات این مسیر در ارتباط با مواد تنظیم‌کنندهٔ رشد هستند. استروئیدها مشتقات تری‌ترین‌ها بوده که همراه با فسفولیپیدها از اجزای غشاء پلاسمایی به حساب می‌آیند [۳۷]. طبق نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) تنش

بتاسیتوسترول می شود، با به کارگیری این دو عامل آثار کاهش عملکرد روغن تحت تأثیر تنش خشکی در سطوح اسید سالیسیلیک جبران شد که ناشی از تأثیر این ماده در کاهش آثار تنش اکسیداتیو به وسیله افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و نقش آن در مسیر متابولیسم نیتروژن و افزایش مقدار متابولیت‌های سازگاری مانند پرولین و تأثیر در پایداری غشاهای سلولی که محل تجمع فیتواسترول‌ها به ویژه بتاسیتوسترول بود، بهترین نتایج در تیمارهایی با سطوح ۰/۵ و ۱ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک و (تنش ملایم معادل ۸۵ درصد ظرفیت زراعی، تنظیم شده در پتانسیل ماتریک ۰/۵- مگاپاسکال) و (تنش متوسط معادل ۷۰ درصد ظرفیت زراعی، تنظیم شده در پتانسیل ماتریک ۱/۰- مگاپاسکال) بدست آمد.

#### منابع

۱. آروبی ح. (۱۳۷۹) تأثیر آماده سازی بذر، تنش شوری و تغذیه ازتی بر برخی صفات کمی و کیفی کدوی تخمه کاغذی. رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.
۲. امیدبگی ر. (۱۳۷۶) تولید و فرآوری گیاهان دارویی. انتشارات آستان قدس رضوی، ۳ (۲): ۳۹۷.
۳. برقی لشکری س. (۱۳۸۱) کدوی تخم کاغذی و بیماری‌های پیرتروفی خوش‌خیم پروستات. نشریه رازی. ۱۳۸. ص ۳۳.
۴. سالارپورغریبا ف.، فرحبخش ح. (۱۳۹۴) تأثیر کم‌آبایی و اسیدسالیسیلیک بر اسانس و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه رازیانه. مجله به‌زراعی کشاورزی. ۷۱۳-۷۲۷.
۵. محمودی سورستانی م. (1389) اثر تنش خشکی بر برخی صفات مورفولوژی، میزان عملکرد اسانس گیاه گل مکزیکی. رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.

خشکی و محلول پاشی اسیدسالیسیلیک و اثر متقابل این دو فاکتور در سطح یک درصد معنادار بود، با افزایش تنش خشکی میزان بتاسیتوسترول افزایش یافت (جدول ۲) که با افزایش مقدار فیتواسترول‌ها به ویژه بتاسیتوسترول در مواجهه گیاه برنج با تنش خشکی [۲۳] و همچنین با نتایج افزایش بتاسیتوسترول در گیاه کدوی تخمه کاغذی تحت تنش شوری مطابقت داشت [۱]. که نشان دهنده تأثیر کاربرد رژیم‌های رطوبتی خاص در افزایش متابولیت‌های ثانویه در برخی گیاهان دارویی است [۳۳]، بیشترین مقدار در اعمال تنش در سطح ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه حاصل شد، از طرف دیگر تیمار ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر اسیدسالیسیلیک تأثیر مثبتی بر افزایش مقدار بتاسیتوسترول نسبت به گیاهانی که فقط تحت تنش خشکی بودند داشت، ولی محلول‌پاشی در سطح ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک با کاهش بتاسیتوسترول به تیمارهای قبل همراه بود (جدول ۲) که با نتایج گزارش شده از محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک بر گیاه رازیانه تحت تنش خشکی مطابقت داشت که افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و عملکرد اسانس و کاهش خسارت اکسیداتیو را در پی داشت [۶]. از طرفی محلول‌پاشی گیاهان تحت تنش خشکی با اسیدسالیسیلیک توانست تأثیر مثبتی بر مقدار بتاسیتوسترول داشته باشد به نحوی که کاربرد خارجی ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر اسیدسالیسیلیک در سطوح ۷۰ و ۸۵ درصد ظرفیت مزرعه مقدار بتاسیتوسترول را بیشتر از گیاهانی که فقط تحت تنش خشکی بودند افزایش داد ولی در غلظت‌های اسیدسالیسیلیک ۱ و ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر نسبت به تیمار ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر روند کاهش داشت (جدول ۲).

#### نتیجه‌گیری نهایی

اعمال تنش خشکی و محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک موجب توسعه متوازن عملکرد روغن و افزایش ماده ارزشمند

6. Abdel-lateefgharib F. (2006) Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activities and oil content of basil and marjoram. International journal of agriculture and biology. 8(4):485-492.
7. Aebi H. (1984) Catalase in vitro. Methods in Enzymology. 105: 121-126.
8. Ashraf M. and Mc Neilly T. (2004) Salinity tolerance in brassica oil seeds. Critical Reviews in Plant Science. 23(2): 157-174.
9. Bates LS., Waldern RP. and Tear ID. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil. 39:205-207.
10. Bajji M., Kinet J. and Lutts S. (2002) The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat, Plant Growth Regulation. 36: 61-70.
11. Bladon P., Henbest H.B. and Wood G.W. (1952) Studies in sterol group. Part LV. Ultra-violet Absorption spectra of Ethylenic centres. Journal of Chemical society. 30: 27-37.
12. Chakraborty U. and Tongden C. (2005) Evaluation of heat acclimation and salicylic acid treatments as potent inducers of thermotolerance in *Cicer arietinum* L. Current Science. 89: 384-389.
13. Chance B. and Maehly A.C. (1955) Assay of catalases and peroxidase. Methods in Enzymology. 2: 764-775.
14. Cunhua S., Joui-jie S., Dan W., Wei B and Sun Dong L. (2011) Effects on physiological and biochemical characteristic of medicinal plant pigweed by drought stress. Journal of Medicinal Plants Research Vol. 5(17):4041-4048.
15. El-Yazeid A. (2011) Effect of foliar application of salicylic acid and chelated zinc on growth and productivity of sweet pepper (*Capsicum annum* l.) under autumn planting. Research journal of agriculture and biological sciences. 7(6): 423-433.
16. Habibi D.M., Boojar M.A., Mahmodi A., Ardakani M.R. and Taleghani D. (2004) Antioxidative enzyme in sunflower subjected to drought stress 4th international Crop science Congress, Brisbane, Australia, 26 September -1 October. pp1-4.
17. Hayat Q., Hayat S., Irfan M. and Ahmad A. (2010) Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. Environmental and Experimental Botany. 68: 14-25 .
18. Heath R.L. and Parker L. (1968) Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Arch Biochem Biophys. 125: 189-198.
19. Hesami S., Nabizadeh E., Rahimi A. and Rokhzadi A. (2012) Effects of salicylic acid levels and irrigation intervals on growth and yield of coriander (*Coriandrum sativum*) in field conditions. Environmental and Experimental Biology. 10: 113-116.
20. Horvath E., Szalai G. and Janda T. (2007) Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling. Journal of Plant Growth Regulation. 26: 290-300.
21. Vinita J. and Sujata B. (1995) Variation in the Antioxidant Metabolism of Drought Tolerant and Drought Susceptible Varieties of (*Sorghum Bicolor* L.) Moench. Exposed to High Light, Low Water and High Temperature Stress. Journal of Plant Physiology. 145:195-197.
22. Krizek D.T. (1985) Methods of inducing water stress in plants. HortScience. 20(6): 1027-1038.
23. Kumar M.S., Ali K., Dahuja A. and Tyagi A. (2015) Role of phytosterols in drought stress tolerance in rice. Plant Physiology and Biochemistry. 96: 83-89.
24. Liu C., Liu Y., Guo K., Fan D., Li G., Zheng Y., Yu L. and Yang R. (2011) Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst

- habitats of southwestern China. *Environmental and Experimental Botany*. 71:174–183.
25. Lutts S., Kinet J.M. and Bouharmount J. (1996) NaCl- induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) Cultivars differing in salinity resistance. *ann.bot.*78:389-398.
26. Malekzadeh M., Mirmazloun S.I., Rabbi Anguorani H., Mortazavi S.N. and Panahi M. (2011) The physicochemical properties and oil constituents of milk thistle (*Silybum marianum*) under drought stress. *Journal of Medicinal Plants Research*.5 (8): 1485-1488.
27. Mittler R. (2002) Oxidative stress antioxidant and stress tolerance. *Plant Science*.405:415-417
28. Mohanty N. (2003) Photosynthetic characteristics and enzymatic antioxidant capacity of flag leaf and the grain yield in two cultivars of (*Triticum aestivum* L.) Exposed to warmer growth conditions. *Journal of Plant Physiology*.71: 74-160.
29. Najafian S.H., Khoshkhui M., Tavallali V. and Saharkhiz M.J. (2009) Effect of Salicylic Acid and Salinity in Thyme (*Thymus Vulgaris* L.): Investigation on Changes in Gas Exchange, Water Relations, and Membrane Stabilization and Biomass Accumulation. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*.3:2620-2626.
30. Noborio K., Horton R. and Tan C.S. (1999) Time domain reflectometry probe for simultaneous measurement of soil matric potential and water content. *Soil Science Societies American Journal*. 63:1500–1505.
31. Popova L., Ananieva, Hristova V., Christov K., Georgieva K., Alexieva V. and Stoinova Z.H. (2003) Salicylic acid-and Methyl jasmonate–induced protection on photosynthesis to paraquat oxidative stress. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*. 14: 133-152.
32. Premachandra G.S., Saneoka H., Kanaya M., Ogata S. (1991) Cell membrane stability and leaf surface wax content as affected by increasing water deficits in maize. *Journal of Experiment Botany*. 42:167–171.
33. Reddy A.R., Chaitanya K.Y., Vivekanandan M. (2004) Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*: 1189:161-1202.
34. Robonson R.W. and Decker\_walters D.S. (1997) Cucurbits. CAB.International. Cambridge. pp:226.
35. Senaratna T., Touchell D., Bunn E, and Dixon K. (2000) Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. *Plant Growth Regulation*. 30: 157-161.
36. Stevens J., Senaratna T. and Sivasithamparam K. (2006) Salicylic Acid Induces Salinity Tolerance in Tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Roma): Associated Changes in Gas Exchange, Water Relations and Membrane Stabilisation. *Journal of Plant Growth Regulation*. 49: 77-83.
37. Taiz L. and Zeiger E. (2002). *Plant Physiology* (Third edition). Sinauer Associates, Inc. 690p.
38. Wahed MS, Amin A, and Rashed, M (2006) Physiological effect of some chemical constituents of yellow maize plants. *World Journal of Agricultural Sciences*. 2:149-155.
39. Yazici I, Turkan F, Sekmen AH and Demiral T (2007) Salinity tolerance of purslane (*Portulaca oleracea* L.) is achieved by enhanced antioxidative system, lower level of lipid peroxidation and proline accumulation. *Environmental Experimental Botany*. 61(1): 49-57.
40. Yordanova R and Popova L (2007) Effect of exogenous treatment with salicylic acid on photosynthetic activity and antioxidant capacity of chilled wheat plants, *General and Applied Plant Physiology*.33: 155-170.



## Crops Improvement

(Journal of Agricultural Crops Production)

Vol. 19 ■ No. 4 ■ Winter 2017

### Effects of salicylic acid on some physiological and biochemical attributes of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L. var. *Styriaca*) under drought stress

*Hossein Rabbi Anguran*<sup>1\*</sup>, *Jaber Panahendeh Yengejeh*<sup>2</sup>, *Sahebali Boland Nazar*<sup>2</sup>, *Jalal Saba*<sup>3</sup>, *Fariborz Zare Nahand*<sup>2</sup>

1. Ph.D., Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

2. Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

3. Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding Science, Faculty of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran

Received: July 18, 2016

Accepted: October 26, 2016

#### Abstract

Oxidative stress is one of the most important consequences of drought stress. Salicylic acid is a phenolic compound which serves as a growth regulator in the induction of resistance to drought. In order to investigate the role of salicylic acid on some anti-oxidant enzymes and some biochemical attributes of medicinal pumpkin under drought stress, an experiment was designed 2014 in Zanjan University's Research Farm, Iran. The study was arranged as factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications including drought stress at four level; control, mild stress, moderate stress, and severe stress have been arranged in four levels including (100, 85, 70 and 55% FC). Salicylic acid treatments included salicylic acid were applied as foliar application spray in four levels: 0 mg/l (solution spray with distilled water), 0.5, 1, and 1.5 mg/l. *Measured* traits included peroxidase, catalase, Beta-sitosterol and oil yield proline, electrolyte leakage, malondialdehyde (membrane peroxidation index) content. The results showed that increasing drought stress levels reduced the oil yield, but in contrast, increasing the Beta-sitosterol, membrane peroxidation, electrolyte leakage, anti-oxidant enzymes such as catalase and peroxidase, while application of salicylic acid at 0.5 and 1 mg/l decreased oxidative stress, membrane peroxidation and Electrolyte leakage through increasing the anti-oxidant enzymes activities such as catalase and peroxidase and proline which led to a balanced rise in oil yield and Beta-sitosterol in mild and moderated stress. These results show an increase in plant resistance to drought as a result of salicylic acid application.

**Keywords:** Beta-sitosterol, oil yield, oxidative stress, peroxidase, proline.