اثر کاربرد برگی ۵-آمینولولینیک اسید بر رشد و برخی فاکتورهای فیزیولوژیکی و عملکرد فلفل شیرین (*Capsicum annuum* L.) در شرایط تنش خشکی

زهرا خزائی[1]* و محمد سیاری[2]

[1] **ایلام، دانشگاه ایلام، دانشکده کشاورزی**

[2] **همدان، دانشگاه بوعلی سینا همدان، دانشکده کشاورزی**

تاریخ دریافت:۹۲/۹/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۳/۵/۲۶

چکیده

به منظور مطالعه اثر ۵- آمینولولینیک اسید بر برخی پاسخ‌های فیزیولوژیکی فلفل شیرین (*Capsicum annuum* L .cv. Red Bell Pepper) تحت تنش خشکی آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در گلخانه انجام شد. این آزمایش با دو فاکتور ۵-آمینولولینیک اسید در چهار غلظت ۰، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار و تنش خشکی در سه سطح در حد ظرفیت مزرعه، ۶۰٪ ظرفیت مزرعه و ۳۰٪ ظرفیت مزرعه به اجرا در آمد. کاربرد خارجی (اسپری برگی) ۵-آمینولولینیک اسید در مرحله سه تا چهار برگی توانست فلفل را در برابر تنش خشکی محافظت کند که این اثر حفاظتی به تنظیم آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مربوط می‌شود. کاربرد ۵-آمینولولینیک اسید بر میزان عملکرد، فنل کل، قند محلول، فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنل‌اکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز، غلظت رادیکال پراکسید هیدروژن و شاخص‌های سطح برگ، شکل میوه، عملکرد و مقاومت به تنش اثر داشته است. تنش خشکی محتوای فنل کل، قند محلول، رادیکال پراکسید هیدروژن، فعالیت آنزیم‌های پلی فنل‌اکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در برگ‌ها را افزایش داد، هر چند که پارامترهای رشدی را کاهش داد. به این ترتیب می‌توان اظهار داشت که تیمار گیاه فلفل با ۵-آمینولولینیک اسید می‌تواند فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و ترکیباتی مانند قند محلول و فنل کل را بهبود بخشیده و اثر تنش خشکی بر پارامترهای فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی را تعدیل کند.

واژه‌های کلیدی: پلی‌فنل‌اکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز، فنل کل، قند محلول

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۶۳۴۴۹۲۶۶، پست الکترونیکی: Zahrakhazaei55@yahoo.com

مقدمه

ترکیب‌های فنلی گیاهان از بهترین منابع آنتی‌اکسیدان طبیعی می‌باشند که نقش مهمی در حفاظت گیاهان در مقابل اثرهای اکسیدکنندگی گونه‌های فعال اکسیژن تولید شده در شرایط تنش ایفا می‌کنند. رابطه مستقیمی بین مقدار ترکیبات فنلی، آنتوسیانین‌ها و فلاونوئیدها با خاصیت آنتی-اکسیدانی گیاه گزارش شده است (۴) که به وفور ترکیبات فوق در میوه‌های فلفل دلمه‌ای وجود دارند. فلفل (*Capsicum annuum* L.) یکی از گیاهان مهم تیره سیب زمینی (Solanaceae) است که با توجه به ارزش غذایی بالا، تمایل به مصرف میوه‌های آن رو به افزایش است (۱۸).

تنش خشکی یکی از مهمترین عوامل محدود کننده رشد و تولید محصول در سراسر دنیا به شمار می‌آید، این تنش از طریق ایجاد تغییرات آناتومیک، مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بر جنبه‌های مختلف رشد و نمو گیاه اثر می‌گذارد (۱۲). تنش خشکی موجب افزایش تولید انواع اکسیژن واکنش‌گر و در نتیجه افزایش دفاع آنتی‌اکسیدانی می‌شود (۹). همبستگی بین تنش خشکی و میزان آنتی-

اکسیدان‌های محلول در آب درون سلولی گزارش شده است (۳۹). آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند پلی‌فنل‌اکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در پاکسازی رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول نقش ایفا می‌کنند (۱۰).

۵-آمینولولینیک اسید (5-ALA)، یک کتو آمینو اسید پنج کربنه با وزن مولکولی ۱۳۱، از مواد طبیعی گیاهی بوده که در رشد و نمو و پاسخ‌های دفاعی گیاهی نقش مهمی را ایفا می‌کند (۴۴). ۵-آمینولولینیک اسید پیش ماده کلیدی در بیوسنتز همه ترکیبات پورفیرینی است و پتانسیل کاربردی زیادی در افزایش بازدهی تولیدات کشاورزی دارد. کاربرد خارجی ALA فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیر آنزیمی را تنظیم می‌کند و در نهایت مقاومت گیاهان به تنش سرما، نور کم، علف‌کش‌ها، شوری و خشکی را افزایش داده و باعث کاهش اثر سوء تنش‌های محیطی می‌گردد (۴۴). واتنب و همکاران در انگور گزارش کردند که کاربرد برگی 5-ALA سطح برگ را افزایش می‌دهد (۴۱). کاربرد 5-ALA عملکرد را در گیاهان تربچه، لوبیا، سیر، سیب زمینی و جو افزایش داده است (۱۶). 5-ALA در غلظت بیشتر از ۵ میلی مولار خاصیت علف‌کشی دارد (۲۳) که در بررسی اثر آن بر رشد گیاه تربچه به اثبات رسیده است. زمانی که 5-ALA با غلظت ۶ میلی مولار به کار رفت نیمی از برگ‌ها صدمه دیدند که ممکن است به دلیل ویژگی علف‌کشی آن باشد. از این‌رو هدف از اجرای این تحقیق ارزیابی تأثیر کاربرد برگی 5-ALA با غلظت‌های پایین بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاهچه‌های فلفل در شرایط تنش خشکی بود.

مواد و روشها

مواد گیاهی و تیمار با 5-ALA: این آزمایش در پاییز سال ۱۳۸۹ انجام شد. بذرهای فلفل شیرین (*Capsicum annuum* L .cv. Red Bell Pepper) پس از ضد عفونی با هیپوکلریت سدیم دو درصد، به مدت ۵ دقیقه، با آب مقطر سترون شستشو داده شدند. بذرهای ضد عفونی شده، سپس در یک شاسی به مساحت یک مترمربع در گلخانه با شرایط میانگین دمای حداقل و حداکثر ۱۷/۸۲ و ۳۶/۵ درجه سانتی‌گراد و میزان رطوبت نسبی ۲۲ تا ۳۱ درصد و شدت نور تقریبی ۱۰۰۰۰ لوکس در سطح گیاه، کاشته شدند و هنگامی‌که بوته‌ها چهار برگی شدند به لیوان‌های یکبار مصرف انتقال و پس از سازگاری با محیط، به گلدان‌هایی با قطر دهانه ۲۰ و ارتفاع گلدان ۲۳ سانتی‌متر انتقال داده شدند. مخلوط خاک مورد استفاده در گلدان‌ها به نسبت‌های مساوی از خاک مزرعه، ماسه بادی و خاک برگ پوسیده تهیه شد. در مرحله ۳-۴ برگی (حدود یک ماه پس از کاشت)، تیمار 5-ALA (خریداری شده از شرکت مرک آلمان) به صورت افشانه برگی اعمال شد و ۷۲ ساعت پس از تیمار، تنش خشکی آغاز گردید و تا پایان آزمایش ادامه یافت. برای اعمال تنش خشکی ظرفیت زراعی خاک مورد استفاده با استفاده از روش وزنی معادل ۳۲ درصد (۳۲ گرم آب در ۱۰۰ گرم خاک) تعیین شد. پس از مشخص شدن درصد رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی، میزان رطوبت مورد نیاز برای اعمال تیمارهای تنش خشکی نیز مشخص گردید. با توجه به وزن اولیه خاک گلدان‌ها (۷ کیلوگرم) به ترتیب مقدار ۲۲۴۰، ۱۳۴۴ و ۶۷۲ میلی‌لیتر آب نیاز بود تا میزان رطوبت خاک گلدان‌ها در حد ۱۰۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه باشد. تیمارهای آبیاری با توزین روزانه گلدان‌ها و اضافه نمودن آب مصرفی بر اثر تبخیر و تعرق (میزان کاهش وزن گلدان‌ها) اعمال شد.

اندازه گیری صفات مورد بررسی: صفات مربوط به شاخص سطح برگ، شاخص برداشت، شاخص تحمل و عملکرد به ترتیب بر اساس روش‌های مورد استفاده توسط (۳۳)، (۱)، (۲۱)، (۶) انجام شد.

شاخص برداشت براساس کیلوگرم میوه به ازای هر بوته، از تقسیم وزن خشک به وزن تر کل محصول حاصل از هر تک بوته محاسبه شد. شاخص تحمل شاخه و ریشه از تقسیم وزن خشک شاخساره یا ریشه در شرایط تنش به

وزن خشک شاخساره یا ریشه در شرایط شاهد به دست آمد. برای بدست آوردن عملکرد تعداد و وزن میوه‌های برداشت شده از هر بوته در کل دوره محاسبه شد.

تعیین مقدار کربوهیدرات محلول: نیم گرم نمونه برگی توزین شد. سپس به هاون چینی که حاوی اتانول ۹۵ درصد بود اضافه شد. قسمت بالای محلول جدا شده و با اتانول ۷۰ درصد مجدداً استخراج عصاره بر روی رسوبات باقی مانده ادامه یافت. عصاره استخراج شده سانتریفوژ شد و به ۱۰۰ میلی لیتر از محلول روشناور ۳ میلی لیتر معرف انترون اضافه شد و در حمام آب جوش قرار گرفت و جذب محلول در طول موج ۶۲۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر(Apel, PD, UV-303) قرائت شد (۲۵).

تعیین مقدار **فنل:** یک گرم نمونه برگی در هاون چینی با کمک نیتروژن مایع آسیاب گردید. سپس ۱۰ میلی‌لیتر متانول خالص برای استخراج ترکیبات فنلی به آن اضافه شد. برای قرائت میزان جذب عصاره میوه، ۱۲۵ میکرولیتر عصاره میوه را با آب مقطر به حجم ۵۰۰ میکرولیتر رسانده، سپس به آن ۲۵۰۰ میکرولیتر فولین اضافه شد. پس از ۵ دقیقه از افزودن فولین، مقدار ۲۰۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم اضافه گردید و نمونه‌ها در شرایط تاریکی قرار داده شدند. پس از ۱/۵ ساعت نگه داری در دمای اتاق و شرایط تاریکی، میزان جذب عصاره قرائت شد (۳۸). منحنی استاندارد بر اساس گالیک اسید با غلظت‌های متفاوت محاسبه شده و میزان ترکیبات فنلی معادل گالیک اسید در هر گرم وزن تر اندازه‌گیری شد (mgGAE/gFW).

نحوه تهیه عصاره آنزیم‌ها: ۰/۲ گرم از نمونه‌های برگی در بافر فسفات پتاسیم ۰/۰۲ مولار، با pH =۶/۸ در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد عصاره‌گیری شدند و بعد محلول یکنواخت حاصل در ۱۲۰۰۰ دور در دمای ۴-۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ شده و محلول رویی برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز مورد استفاده قرار گرفت (۲۰).

سنجش فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز: برای اندازه گیری آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز نیز مخلوط واکنش شامل ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی، ۵۰۰ میکرولیتر آب اکسیژنه و ۵۰۰ میکرولیتر متیل کاتکول در ۱۹۰۰ میکرولیتر بافر فسفات پتاسیم با pH= ۶/۱ بود. افزایش در جذب در طول موج ۴۱۰ نانومتر در مدت ۳ دقیقه اندازه گیری شد (۲۰).

سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز: سه میلی‌لیتر مخلوط واکنش شامل فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷/۸)، متیونین ۱۳ میلی‌مولار، نیترو بلوتترازولیوم کلراید ۷۵ میکرومولار، اتیلن دی آمین تترا استیک اسید ۰/۱ میلی‌مولار، ریبوفلاوین ۳۶۰ میکرومولار و ۳۰ میکرولیتر عصاره خام بود. پس از آن که مخلوط به هم زده شد، سل‌های اسپکتروفتومتر به مدت ۱۰ دقیقه در زیر یک لامپ فلورسنت ۱۵ وات به فاصله ۳۵ سانتی‌متر قرار داده شد و جذب مخلوط واکنش در ۵۶۰ نانومتر خوانده شد. یک واحد فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز، مقدار آنزیمی در نظر گرفته شد که توانست تا ۵۰٪ مانع از احیای نوری نیتروبلو تترازولیوم کلراید گردد (۱۱).

سنجش محتوای رادیکال پراکسید هیدروژن: ۰/۵ گرم اندام هوایی گیاه در ۳۰ میلی لیتر تری کلرو استیک اسید ۰/۱ درصد در داخل یخ ساییده شد. عصاره در سانتریفوژ در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد g ۱۰۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ شد، سپس ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول رویی به ۰/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰ میلی‌مولار و یک میلی‌لیتر یدید پتاسیم یک مولار اضافه گردید و جذب در طول موج ۳۹۰ نانومتر خوانده شد (۴۰).

تجزیه آماری: آزمایش به صورت فاکتوریل و بر پایه طرح کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. داده‌های به دست آمده از آزمایش، با استفاده از نرم افزار SAS و MSTAT-C مورد تجزیه آماری قرار گرفتند. رسم نمودارها با نرم-افزار Excel انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر تنش خشکی و 5-ALA و نیز اثر متقابل آنها بر اکثر صفات مورد بررسی معنی‌دار بود (جدول ۱).

سطح برگ: تجزیه آماری نشان داد با افزایش سطح خشکی سطح برگ کاهش معنی‌داری پیدا کرده است (جدول۲) که با نتایج شعبانی و همکاران (۵) همخوانی دارد. که می‌توان دلیل آن را کاهش فشار اسمزی داخل سلول و در نتیجه کاهش تقسیم سلولی یا کاهش اندازه سلول دانست (۱۹). در این تحقیق با استفاده از 5-ALA اسید سطح برگ نسبت به شاهد افزایش نشان داده است (جدول۲). که این با نتایج واتنب و همکاران (۴۱) در انگور مطابقت دارد. بالاترین سطح برگ در شرایط فاقد تنش و غلظت ۰/۵ میلی مولار 5-ALA و اسید پایین‌ترین سطح برگ در شرایط تنش شدید و تیمار شاهد (بدون کاربرد 5-ALA) مشاهده شده است (جدول ۳).

شاخص تحمل: با افزایش سطح خشکی شاخص تحمل کاهش معنی‌داری پیدا کرده است، به طوری که گیاهان تحت شرایط فاقد تنش (شاهد) بیشترین میزان و در شرایط تنش شدید خشکی کمترین میزان را داشته‌اند (جدول ۲). بالاترین شاخص تحمل در شرایط فاقد تنش و غلظت ۰/۵ میلی مولار 5-ALA و پایین‌ترین شاخص تحمل در شرایط تنش شدید و تیمار شاهد (بدون کاربرد 5-ALA) مشاهده شده است (جدول ۳).

شاخص شکل: نتایج این آزمایش نشان داد که با افزایش سطح خشکی شاخص شکل کاهش معنی‌داری پیدا کرده است (جدول۲). بالاترین شاخص شکل در شرایط فاقد تنش و غلظت یک میلی مولار 5-ALA و پایین‌ترین شاخص شکل در شرایط تنش شدید و تیمار شاهد (بدون کاربرد 5-ALA) مشاهده شده است (جدول ۳).

شاخص برداشت: شاخص برداشت بیان کننده توزیع نسبی مواد فتوسنتزی بین مخزن‌های اقتصادی و سایر مخازن موجود در گیاه می‌باشد. کمبود آب ازجمله عوامل محدود کننده رشد و نمو گیاه می باشد که علاوه بر کاهش ماده خشک تولیدی، موجب اختلال در تسهیم کربوهیدرات‌ها به دانه و در نتیجه کاهش شاخص برداشت می‌شود (۳۷). بین شاخص برداشت و عملکرد دانه یک رابطه مثبت گزارش شده است (۱۴). بنابراین شاخص برداشت نیز عامل مهمی در افزایش عملکرد محسوب می‌گردد (۳۲).

نتایج نشان داده است که با افزایش سطح خشکی شاخص برداشت کاهش معنی‌داری پیدا کرده است (جدول۲)، این نتیجه با نتایج تحقیق (۱۷) که تنش خشکی با کاربرد 5-ALA اسید باعث افزایش شاخص برداشت شد، مطابقت دارد. این مسئله می‌تواند به این دلیل باشد که در شرایط کمبود 5-ALA و تنش آب نه تنها مواد تولید شده در کل اندام گیاه کمتر بوده بلکه اختصاص مواد فتوسنتزی به اندام اقتصادی نیز به همان نسبت کاهش می‌یابد (۳). بالاترین میزان شاخص برداشت در شرایط فاقد تنش و غلظت یک میلی مولار 5-ALA و پایین‌ترین آن در شرایط تنش شدید و تیمار شاهد (بدون کاربرد 5-ALA) مشاهده شده است (جدول ۳).

مقدار کربوهیدرات: بر اساس نتایج به دست آمده، با افزایش سطح خشکی کربوهیدرات افزایش معنی‌داری پیدا کرده است (جدول۲). در مجموع افزایش قندهای محلول در زمان تنش را می‌توان به علت توقف رشد یا سنتز این ترکیبات از مسیرهای غیر فتوسنتزی و همچنین تخریب قندهای نامحلول که باعث افزایش قندهای محلول نیز می‌شود، بیان کرد. نتایج تحقیقات بر روی نخود (*Cicer arietinum* L.) (۳۵) و کلزا (*Brassica napus*) (۷) نشان داد که با افزایش اعمال تنش خشکی، بر میزان قندهای محلول نیز افزوده می‌شود که با نتایج به دست آمده در این تحقیق مطابقت دارد. در این تحقیق با استفاده از 5-ALA میزان کربوهیدرات نسبت به شاهد افزایش نشان داده است

(جدول ۲)، که با نتایج به دست آمده در کلزا (۲۹) مطابقت دارد. بیشترین مقدار کربوهیدرات در شرایط فاقد تنش و غلظت یک میلی مولار 5-ALA و کمترین مقدار آن در شرایط تنش شدید و تیمار شاهد (بدون کاربرد 5-ALA) مشاهده شده است (جدول ۳).

عملکرد: میزان عملکرد با افزایش سطح خشکی کاهش معنی‌داری پیدا کرده است (جدول۲). تنش خشکی طی کاهش سطح برگ و بسته شدن روزنه‌ها، باعث کاهش مقدار مواد فتوسنتزی گردید، همچنین از طریق القای زودرسی، زمان لازم برای رشد بیشتر گیاه و انتقال بهینه تولیدات فتوسنتزی به دانه‌ها را محدود کرده، لذا عملکرد دانه کاهش می‌یابد (۲۴). ایرل و داویس (۲۰۰۳) گزارش کردند که اثر منفی تنش خشکی بر عملکرد ذرت دانه‌ای به دلیل کاهش سطح برگ و شاخص برداشت می‌باشد (۱۳). در این تحقیق با استفاده از 5-ALA میزان عملکرد نسبت به شاهد افزایش نشان داده است (جدول۲)، که با نتایج زو و همکاران (۴۳) مطابقت می‌کند. البته بیشترین عملکرد در شرایط فاقد تنش و غلظت ۰/۵ میلی مولار 5-ALA و پایین‌ترین میزان آن در شرایط تنش شدید و تیمار شاهد (بدون کاربرد 5-ALA) مشاهده شده است (جدول ۳).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر 5-ALA و تنش خشکی بر برخی صفات مورد بررسی در فلفل دلمه‌ای

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات										
		سطح برگ	شاخص تحمل	شاخص شکل	شاخص برداشت	میزان کربوهیدرات	عملکرد	آنزیم پلی فنل‌اکسیداز	فنل‌کل	سوپراکسید دیسموتاز	رادیکال پراکسیدهیدروژن
تکرار	۳	۱۳/۰۵^{ns}	۰/۲۲^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۵/۲۶^{ns}	۱۸۷۴۱/۴۷^{ns}	۱۷۱/۹۶^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۱^{ns}
AlA	۳	۲۱۶/۲۱***	۲/۳۸***	۰/۱۸***	۰/۱۱***	۴۴/۴۵**	۲۲۱۷۴۷۱/۷۶***	۱۷۸۷/۳۳***	۰/۱**	۰/۱۸***	۰/۰۰۰۲***
خشکی	۲	۱۵۵۹/۹۵***	۵۱۶/۵۵***	۰/۱۲***	۰/۰۱*	۲۵/۹۶**	۶۲۴۴۳۰۶۰/۹۸***	۴۷۲۸/۷۱***	۰/۸۹**	۰/۰۴**	۰/۰۰۰۲***
ALA×خشکی	۶	۲۲/۷۸**	۲/۰۷***	۰/۰۶***	۰/۰۲***	۱۶/۱۱**	۵۹۶۸۶۸/۹***	۵۲۹/۸۷**	۰/۰۶**	۰/۱۲***	۰/۰۰۰۱***
خطای آزمایشی	۳۳	۴/۵۷	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۰۰۲	۲/۷	۱۸۹۶۷/۹۱	۱۰۵/۳۹	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰۰۰۱***
C.V (درصد)		۴/۳۳	۸/۹۲	۶/۲۷	۸/۴۷	۱۴/۱۲	۱۸/۵	۱۳/۸۵	۱۱/۳۸	۲۰	۱۷/۲۳

ns: بدون اثر معنی‌دار، *، ** و***: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵، ۱ و ۰/۰۰۱ درصد (بسیار معنی‌دار)

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر 5-ALA و تنش خشکی بر برخی صفات مورد بررسی در فلفل دلمه‌ای

تیمارهای آزمایش	آنزیم‌پلی‌فنل اکسیداز (Unit Min^{-1})	فنل‌کل (mg g^{-1} FW)	کربوهیدرات (mg g^{-1} FW)	عملکرد (گرم)	سطح برگ (سانتی متر)	شاخص برداشت	شاخص شکل	شاخص تحمل	سوپراکسید دیسموتاز (Ug^{-1}FW)	پراکسید هیدروژن (µM g^{-1}FW)
5-ALA (میلی مولار)										
۰	۵۹/۸۹^{c}	۱/۰۶^{b}	۹/۲۴^{c}	۲۸۹/۳۵^{d}	۴۴/۰۴^{c}	۰/۴۶^{c}	۱/۱۶^{c}	۳/۴۴^{c}	۰/۳۱^{c}	۰/۰۲^{a}
۰/۲۵	۷۳/۳۹^{b}	۱/۱۵^{ab}	۱۱/۱۱^{b}	۴۹۷/۹۹^{c}	۴۷/۹۲^{b}	۰/۴۷^{c}	۱/۲۲^{b}	۴/۰۱^{b}	۰/۳۶^{c}	۰/۰۱۳^{b}
۰/۵	۷۳/۵۶^{b}	۱/۲۳^{a}	۱۲/۳۶^{b}	۹۵۲/۸۳^{b}	۵۲/۹^{a}	۰/۵۱^{b}	۱/۲۵^{b}	۴/۴۹^{a}	۰/۵۰^{b}	۰/۰۱۲^{b}
۱	۸۹/۷۲^{a}	۱/۲۵^{a}	۱۳/۷۸^{a}	۱۲۳۷/۴۹^{a}	۵۲/۷^{a}	۰/۶۷^{a}	۱/۴۳^{a}	۴/۲۲^{ab}	۰/۵۸^{a}	۰/۰۰۱^{c}
تنش خشکی										
بدون تنش	۵۷/۱۴^{c}	۰/۹۵^{c}	۱۰/۳۴^{c}	۱۴۵۹/۵۴^{a}	۵۹/۳۸^{a}	۰/۵۴^{a}	۱/۳۵^{a}	۱۰/۶^{a}	۰/۳۸^{b}	۰/۰۱^{c}
تنش-متوسط	۷۳/۷۵^{b}	۱/۱۴^{b}	۱۱/۶۴^{b}	۴۶۸/۳۴^{b}	۴۹/۱۵^{b}	۰/۵۴^{a}	۱/۲۷^{b}	۰/۸۷^{b}	۰/۴۴^{ab}	۰/۰۱۴^{b}
تنش‌شدید	۹۱/۵۲^{a}	۱/۴۲^{a}	۱۲/۸۹^{a}	۳۰۵/۳۶^{c}	۳۹/۶۴^{c}	۰/۵^{b}	۱/۱۷^{c}	۰/۵۴^{c}	۰/۴۸^{a}	۰/۰۱۷^{a}

حروف یکسان در هر ستون نشانه عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد در آزمون دانکن می‌باشد.

جدول ۳- اثر متقابل تنش خشکی و ۵- آمینولو**لینیک** اسید بر برخی صفات مورد بررسی در فلفل دلمه‌ای

تنش خشکی	5-ALA (میلی‌مولار)	آنزیم پلی‌فنل کسیداز (Unit Min^{-1})	فنل کل (mg g^{-1} FW)	کربوهیدرات (mg g^{-1} FW)	عملکرد (گرم)	سطح‌برگ (سانتی متر)	شاخص برداشت	شاخص شکل	شاخص تحمل	سوپراکسید دیسموتاز (Ug^{-1}FW	پراکسید هیدروژن (µM g^{-1}FW)
	۰	۳۵/۷۵^{f}	۰/۸۱^{g}	۶/۲۶^{f}	۴۵۳/۵^{de}	۵۲/۳۸^{d}	۰/۵^{cde}	۱/۲۸^{bc}	۸/۹۷^{d}	۰/۱۶^{f}	۰/۰۲^{a}
بدون تنش	۰/۲۵	۵۹/۵۸^{e}	۰/۸۳^{g}	۱۰/۲۳^{de}	۱۰۶۴/۳^{c}	۵۶/۶^{c}	۰/۴۷^{efg}	۱/۳۳^{b}	۱۰/۴۱^{c}	۰/۲۸^{def}	۰/۰۱^{b}
	۰/۵	۶۸/۵۸^{cde}	۱/۰۷^{ef}	۱۳/۳۷^{abc}	۲۰۳۷/۴^{b}	۶۶/۳۲^{a}	۰/۴۵^{fg}	۱/۲۸^{bc}	۱۱/۷۴^{a}	۰/۴۴^{cd}	۰/۰۱^{b}
	۱	۶۲/۱۷^{de}	۱/۱۰^{def}	۱۱/۵۲^{cd}	۲۲۸۳^{a}	۶۲/۲۲^{b}	۰/۷۵^{a}	۱/۴۹^{b}	۱۰/۷۸^{b}	۰/۶۴^{ab}	۰/۰۱^{b}
	۰	۶۷/۵۰^{de}	۰/۹۳^{fg}	۱۱/۲۵^{cde}	۲۷۹^{ef}	۴۶/۴۲^{fg}	۰/۵۲^{cd}	۱/۲۵^{bc}	۰/۹۱^{e}	۰/۲۶^{ef}	۰/۰۲^{a}
تنش متوسط	۰/۲۵	۷۸/۱۷^{bcd}	۱/۱۴^{de}	۹/۰۴^{e}	۲۷۹/۷^{ef}	۴۸/۲^{ef}	۰/۴۹^{def}	۱/۲۸^{bc}	۰/۸۸^{e}	۰/۴۴^{cd}	۰/۰۲^{a}
	۰/۵	۶۸/۵۹^{cde}	۱/۲۷^{bcd}	۱۱/۷۲^{bcd}	۴۰۹/۳^{de}	۵۰/۳^{de}	۰/۵۳^{cd}	۱/۲۱^{c}	۰/۷۶^{e}	۰/۳۶^{de}	۰/۰۱^{b}
	۱	۸۵/۷۵^{be}	۱/۲۳^{cd}e	۱۴/۵۷^{a}	۹۰۵/۳^{c}	۵۱/۶۵^{d}	۰/۶۲^{h}	۱/۳۳^{b}	۰/۸۹^{e}	۰/۷۲^{a}	۰/۰۱^{b}
	۰	۷۳/۹۲^{bcde}	۱/۴۵^{ab}	۱۰/۲۴^{de}	۱۳۵/۵	۳۳/۳۲^{j}	۰/۳۷^{h}	۰/۹۰^{e}	۰/۵۲^{e}	۰/۵۲^{bc}	۰/۰۲^{a}
تنش شدید	۰/۲۵	۸۷/۴۲^{b}	۱/۴۱^{a}	۱۴/۰۶^{ab}	۱۴۹/۹	۳۸/۹۲^{i}	۰/۴۴^{g}	۱/۰۶^{d}	۰/۵۸^{e}	۰/۳۴^{de}	۰/۰۲^{a}
	۰/۵	۹۱^{b}	۱/۳۴^{cde}	۱۲/۰۱^{bcd}	۴۱۱/۷^{de}	۴۲/۰۸^{h}	۰/۵۴^{c}	۱/۲۶^{bc}	۰/۵۳^{e}	۰/۷۱^{a}	۰/۰۲^{a}
	۱	۱۱۸/۷۵^{a}	۱/۴۸^{abc}	۱۵/۲۶^{a}	۵۲۴/۲^{d}	۴۴/۲۲^{gh}	۰/۶۴^{b}	۱/۴۸^{a}	۰/۶۱^{e}	۰/۳۷^{cde}	۰/۰۱^{b}

حروف یکسان در هر ستون نشانه عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد در آزمون دانکن می‌باشد.

آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز: نتایج این تحقیق نشان داده که با افزایش سطح خشکی فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز افزایش معنی‌داری پیدا کرده است (جدول۲)، که با نتایج (۱۵) همخوانی دارد. پلی‌فنل‌اکسیدازها در اکسیداسیون فنل‌ها به کوئینون ها و تشکیل لیگنین در سلول‌های گیاهی نقش مؤثری دارند (۲۸). پلی‌فنل‌اکسیدازها آنزیم‌هایی هستند که گیاهان را در برابر بیماری‌ها، تنش‌ها و حشرات گیاهخوار حفاظت می‌کنند (۳۸). در این تحقیق با استفاده از 5-ALA میزان آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز نسبت به شاهد افزایش نشان داده است (جدول۲)، که این با نتایج ژنگ و همکاران (۴۴) مطابقت می‌کند. بالاترین میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در شرایط تنش شدید و غلظت یک میلی مولار 5-ALA و پایین‌ترین میزان آن در شرایط فاقد تنش و تیمار شاهد (بدون کاربرد 5-ALA) مشاهده شده است (جدول ۳).

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز: سوپراکسید دیسموتاز از آنزیم‌هایی هستند که در سیتوپلاسم، کلروپلاست، میتوکندری و پروکسی‌زوم قرار دارد و با تبدیل رادیکال سوپر اکسید به پراکسید هیدروژن به عنوان اولین مرحله از سیستم دفاعی در برابر رادیکال‌های فعال، نقش مهمی را در حفاظت از سلول‌ها در مقابل اثرات زیانبخش غیرمستقیم ناشی از این رادیکال‌ها بر عهده دارند (۲۷). تجزیه آماری نشان داده است که با افزایش سطح خشکی این آنزیم افزایش معنی‌داری پیدا کرده است (جدول۲)، که با نتایج به دست آمده در گندم (۴۴) و ذرت (۲) مطابقت دارد. اثر تنش خشکی بر فعالیت آنزیم‌های ضداکسیداتیو مانند کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز در گیاه گندم منجر به افزایش آنزیم‌های مذکور شده است (۴۴). در سیستم‌های آنزیمی، آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، سوپراکسید را به پراکسید هیدروژن و اکسیژن کاتالیز می‌کند. در این تحقیق با استفاده از 5-ALA میزان آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نسبت به شاهد افزایش نشان داده است (جدول ۲)، که این با نتایج به دست آمده در اسفناج مطابقت می‌کند (۳۰). بالاترین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در شرایط تنش متوسط و غلظت یک میلی مولار 5-ALA و پایین‌ترین میزان آن در شرایط فاقد تنش و تیمار شاهد (بدون کاربرد 5-ALA) مشاهده شده است (جدول ۳).

رادیکال پراکسید هیدوژن: تجزیه آماری نشان داده که با افزایش سطح خشکی محتوای این رادیکال افزایش معنی داری پیدا کرده است (جدول۲)، که با نتایج به دست آمده در گوجه فرنگی مطابقت دارد (۸). تحت شرایط تنش مقدار گونه‌های فعال اکسیژن افزایش می‌یابند که حضور این گونه‌ها برای گیاه مضر بوده و موجب آسیب به ساختارهای سلولی مثل غشا، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌شود (۲۶)، که افزایش مقدار پراکسید هیدروژن تحت تنش خشکی در این مطالعه می‌تواند به این دلیل باشد. پراکسید هیدروژن در غلظت‌های بالا سمی است و به وسیله آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز چرخه آنتی اکسیدانی آسکوربات – گلوتاتیون از بین می‌رود، اما در غلظت‌های پایین می‌تواند نقش پیام را در گیاه داشته باشد (۳۱). در این تحقیق با استفاده از 5-ALA میزان پراکسید هیدروژن نسبت به شاهد کاهش نشان داده است (جدول ۲)، که این با نتایج به دست آمده در آفتابگردان (۳۰) مطابقت می‌کند. بالاترین اثر متقابل رادیکال پراکسید هیدروژن در شرایط تنش شدید و غلظت یک میلی مولار 5-ALA و پایین‌ترین میزان رادیکال پراکسید هیدروژن در شرایط فاقد تنش و تیمار شاهد (بدون کاربرد 5-ALA) مشاهده شده است (جدول ۳).

فنل کل: تجزیه آماری نشان داده است که با افزایش سطح خشکی پلی‌فنل افزایش معنی‌داری پیدا کرده است (جدول ۲)، بررسی روی اکالیپتوس نشان داد که تحت شرایط تنش آبی ترکیب‌های فنلی در گیاه افزایش می‌یابد (۳۶)، افزایش میزان ترکیب‌های فنلی بر اثر افزایش تنش خشکی مشاهده شد که این امر ارتباط مستقیم با ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آنها دارد (۲۲) که از طریق دادن الکترون به آنزیم‌ها و سم‌زدایی آب اکسیژنه تولید شده می‌توانند در سلول به عنوان آنتی-اکسیدان عمل کنند (۳۴). در این تحقیق با استفاده از 5-ALA میزان پلی‌فنل نسبت به شاهد افزایش نشان داده است (جدول ۲)، که با نتایج زو و همکاران (۴۲) مطابقت می‌کند. بالاترین میزان پلی‌فنل در شرایط تنش شدید و غلظت یک میلی مولار 5-ALA و پایین‌ترین میزان آن در شرایط فاقد تنش و تیمار شاهد (بدون کاربرد 5-ALA) مشاهده شده است (جدول ۳).

نتیجه‌گیری: به طورکلی استفاده از 5-ALA باعث بهبود خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در گیاه فلفل دلمه‌ای شد. علاوه بر این، اثرهای مخرب تنش خشکی بر روی گیاه با کاربرد 5-ALA کاهش پیدا کرد. بر طبق نتایج به دست آمده از این تحقیق کاربرد 5-ALA به منظور کاهش اثرات مخرب تنش خشکی در گیاهچه‌های فلفل دلمه‌ای قابل توصیه می‌باشد.

منابع

۱. حقیقی، مریم، ۱۳۸۹. تأثیر خشکی موضعی منطقه ریشه (PRD) بر روابط آبی، رشد، عملکرد و برخی ویژگی‌های کیفی گوجه-فرنگی، علوم و فنون کشت های گلخانه، ۱ (۲): ۹ – ۱۸.

۲. دولت آبادیان، آ، سید علی محمد مدرس ثانوی، مظفر شریفی، ۱۳۸۸. اثر تنش کم آبی و محلول پاشی اسید آسکوربیک بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان و برخی تغییرات بیوشیمیایی در برگ ذرت دانه‌ای (*Zea maize* L.)، مجله زیست شناسی ایران، ۲۲ (۳).

۳. رحمانی، نوید، توفیق طاهرخانی، جهانفر دانشیان، ۱۳۸۸. تاثیر کاربرد نیتروژن بر شاخص‌های فیزیولوژیک عملکرد در گیاه

دارویی همیشه بهار (*Calendula Officinalis* L.) تحت شرایط تنش خشکی، یافته‌های نوین کشاورزی، ۳ (۴): ۳۵۵ – ۳۶۵.

۴. سپهری‌فر، روشنک، طاهره حسنلو، ۱۳۸۸. بررسی ترکیبات پلی-فنلی، آنتوسیانین‌ها و فلاونوئیدهای تام وخواص آنتی‌اکسیدانی گیاه دارویی قره‌قاط (*Vaccinium arctostaphylos* L.) جمع آوری شده از چهار منطقه مختلف ایران، فصلنامه گیاهان دارویی، ۹ (۱): ۶۶ – ۷۴.

۵. شعبانی، علی، علی اکبر کامکار حقیقی، علیرضا سپاسخواه ، یحیی امام، تورج هنر، ۱۳۸۸. اثر تنش آبی بر ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه کلزا، مجله علوم آب و خاک، ۴۹.

۶. عقدک، پروان، ۱۳۸۷. تاثیر بسترهای مختلف کاشت بر رشد و کیفیت محصول فلفل گلخانه‌ای. پایان نامه کارشناسی ارشد باغبانی، ۱۲۵ صفحه.

۷. میرزایی، م، احمد معینی، فائزه قناتی، ۱۳۹۲. اثر تنش خشکی بر میزان پرولین و قندهای محلول گیاهچه‌های کلزا (*Brassica napus*)، مجله زیست شناسی ایران، ۲۶ (۱).

۸. نصیبی، فاطمه، خسرو منوچهری‌کلانتری، منصوره خداشناس، ۱۳۸۸. اثر پیش تیمار سدیم نیتروپروساید (SNP) بر برخی عوامل بیوشیمیایی گیاهچه گوجه فرنگی، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۶ (۲).

۹. نورانی آزاد، حمید، داریوش چوبینه، ۱۳۸۷. مطالعه تنش آبی بر بیوماس، قندهای محلول، پرولین، آنزیم‌ها و یون‌ها در گیاه آفتابگردان (*Helianthus annus* L.)، فصلنامه (دانش زیستی ایران)،۳ (۲): ۱۹ – ۲۶.

10. Agarwal, S., and Pandey, V. 2004. Antioxidant enzyme resposes to NaCl stress in *Cassia angustifolia*. Plant Biology. 48: 555-560.

11. Dhindsa, R. A., Plumb-Dhindsa, P., and Thorpe, T. A. 1981. Leaf senescence: correlated with increase levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of dismutase and catalase. Experimental Botany. 126: 93-101.

12. Du, Y. C., Nose, A., Wasano, K., and Uchida, Y. 1998. Responses to water stress of enzyme activities and metabolite levels in relation to sucrose and starch synthesis, the Calvin cycle and the C_4 pathway in sugarcane (*Saccharum* sp.) leaves. Plant Physiology. 25: 253-260.

13. Earl, H.J. and Davis, R.F. 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use eficiency and yield of maize. Agronomy. 95: 688-696.

14. Fischer, R.A., Rees, D., and Sayer, K.D. 1998. Wheat yield progress associated whit higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. Crop Science. 38: 1467-1475.

15. Frank, G. L., and Kiraly, Z. 1962. Role of phenolic compound in the physiology of plant diseases and disease. Phytopathology. 44(2): 105-150.

16. Hotta, Y., Tanaka, T., Takaoka, H., Takeuchi, Y., and Konnai, M. 1997. Promotive effects of 5-aminolevulinic acid on the yield of several crops. Plant Growth Regulation. 22: 109-114

17. Hopkins, W. G. 1995. Introduction to plant physiology. John Wiley and Sons, Inc., New York, USA. P 464.

18. Howard, L. R., Talcott, S. T., Brenes, C. H., and Villalon, B. 2000. Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars as influenced by maturity. Food Chemistry. 48: 1713-1720.

19. Jaleel, C., Gopi, R., Kishorekumar, A., Manivannan, P., Sankar, B., and Panneerselvam, R. 2008. Interactive effects of triadimefon and salt stress on antioxidative status and ajmalicine accumulation in *Catharanthus roseus*. Acta Physiology of Plantarum. 30(3): 287-292.

20. Kahn, V. 1975. Polyphenol oxidase activity and browning othree avocado varieties. Science of Food and Agriculture. 26(9): 1319-I324.

21. Khavari-nejad, R.A., and Chaparzadeh, N. 1998. The effects of NaCl and $CaCl_2$ on photosynthesis and growth of alfalfa plants. Photosynthetica. 35: 461-466.

22. Kim, B.J., Kim, J. H., Kim, H.P., and Heo, M.Y. 1997. Biological screening of 100 plant extracts forcosmetic use (II): Antioxidative activity and freeradical scavenging activity. Cosmetic Science. 19(6): 299-307.

23. Korkmaz, A., Korkmaza, Y., and Demirkıranb, A.R. 2010. Enhancing chilling stress tolerance of pepper seedlings by exogenous application of 5-aminolevulinic acid. Environmental and Experimental Botany. 67: 495–501.

24. Kumar, J., and Abbo, S. 2001. Genetics of flowering time in chickpea and its bearing on productivity in semi-arid environments. Advances in Agronomy. 72: 107-138.

25. Marais, J. P., Wit, J. L. D., and Quicke, G. V. 1952. A critical examination of the Nelson – Somogyi method for the determination of reduce sugar. Analytical Biochemistry. 15(3): 373-381.

26. Laspina, N.V., Groppa, M.D., Tomaro, M.L., and Benavides, M.P. 2005. Nitric oxide protects sunflower leaves against Cd-induced oxidative stress. Plant Science. 169: 323-330

27. Luis, A., Del Rio, D., Lyon, I., Bruce, G., and Marvinl, S. 1983. Immunocyto chemical evidence for a peroxisomal localization of manganese superoxide dismutase in leaf protoplasts from a higher plant. Planta. 158: 216-224.

28. Mohammadi, M., and Kazemi, H. 2002. Changesin peroxidase and polyphenol oxidase activities in susceptible and resistance wheat heads inoculated with *fusarium graminearum* and induced resistance. Plant Science. 162: 491-498.

29. Naeem, M.S., Rasheed, M., Liu, D., Jin, Z. L., Ming, D. F., Yoneyama, K., Takeuchi, Y., and Zhou, W.J. 2011. 5- aminolevulinic acid ameliorates salinity- induced metabolic, water related and biochemical changes in *Brassica napus* L. Acta Physiol Plant. 33: 517- 528.

30. Nishihara, E., Kondo, K., Parvez, M.M., Takahashi, K., Watanabe, K., and Tanaka, K. 2003. Role of 5- aminolevulinic acid (ALA) on active oxygen-scavenging system in NaCl-treated spinach (*Spinacia oleracea*). Plant Physiology. 160: 1085-1091.

31. Qinghua, S. H., and Zhujun, Z. 2008. Effect of exogenous salicylic acid on manganese toxicity, element contents andantioxidative system in cucumber. Environmental and Experimental Botany. 63: 317-326.

32. Reynold, M.P., and Rajarm, S. 1999. Physiological and genetic changes of irrigated wheat in the postgreen reviluton period and approaches for metting projected global demand. Crop Science. 39: 1611-1621.

33. Rossini, A., and Rodrigues, D. 2004. Leaf area prediction models for Zinnia elegans Jacq., *Zinnia haageana* regel and profusion cherry. Scientia Agricola. 61: 67-74.

34. Sakihama, Y., Cohen, M., Grace, S., and Yamasaki, H. 2002. Plant phenolic antioxidant and prooxidant activities phenolic-induced oxidative damage mediated by metals in plant. Toxicology. 177: 67-80.

35. Schubert, S., Serraj, R., and Balzer, P.E. 1995. Effect of drought stress on growth, sugar concentrations and amino acid accumulation in N-2-fixiy alfalfa. Plant Physiology. 146(4): 541-546.

36. Schwambach, J., Ruedell, C.M., Almeida, M.R., Penchel, R.M., Araújo, E.F., and Neto, A.G. 2008. Adventitious rooting of *Eucalyptus glubus× maidennii* mini-cutting derived from mini- stumps grown in sand bed and intermittent flooding trays: a comparative study. New Forests. 36(3): 261-271.

37. Setter, T.L. 1990. Transport / harvest index: Photosynthetic partitioning in stressed plants. P 17-36. Stress responses in plant: Adaptation and accumulation mechanism. Wiley-Liss, Inc. New York. p 14853.

38. Singleton, V.L., Orthofer, R., and Lamuela-Raventos, R.M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidant activity by means of Folin- Ciocateu reagent. Methods in Enzymology. 299: 152-178.

39. Tsugane, K., Koboyashi, K., Niwa, Y., Ohba, Y. W., and Koboyashi, H. 1999. A recessive Arabidobsis mutant that grows photoautotrophically under salt stress shows enhancedactive oxygen detoxification. Plant and Cell. 11: 1195-1206.

40. Velikova, V., Yordanov, I., and Edreva, A. 2000. Oxidative stress and some antioxidant system in acid- rain treated bean plants. Protective role of exogenous polyamines. Plant Science. 151: 59-66.

41. Watanabe, K., Nishihara, E., Watanabe, S., Tanaka, T., Takahashi, K., and Takeuchi, Y. 2006. Enhancement of growth and fruit maturity in 2- year- old grapevines cv. Delaware by 5-aminolevulinic acid. Plant Growth Regulation. 49: 35-42.

42. Xu, F., Cheng, SH., Zhu, J., Zhang, W., and Wang, Y. 2011. Effects of 5-Aminolevulinic acid on Chlorophyll, Photosynthesis, Soluble Sugar and Flavonoids of *Ginkgo biloba*. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 39(1): 41-47.

43. Xu, F., Weiling, W., and Dan, Y. 2012. Effect of 5-aminolevulinic acid on yield and quality of lettuce in sunlit greenhouse. African Biotechnology. 11(53): 11591-11594.

44. Zhang, Z.J., Li, H.Z., Zhou, W.J. Takeuchi, y., and Yoneyama, k. 2006. Effect of 5-aminolevulinic acid on development and salt tolerance of potato (*Solanum tuberosum* L.) microtubers *in vitro*. Plant Growth Regulation. 49: 27–34.

Effect of foliar application of 5- aminolevulinic acid on growth, some physiological factors and yield of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) under drought stress

khazaei Z.[1] and Sayyari M.[2]

[1] College of Agriculture, University of Ilam, Ilam, I.R. of Iran

[2] Facultyof Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, I.R. of Iran

Abstract

To study the effect of 5- aminolevulinic acid (ALA) on some physiological responses of *Capsicum annuum* under drought stress, a factorial experiment in randomized complete block design in four replications was carried out in greenhouse. This study was conducted with two main factors, 5-aminolevulinic acid in four concentrations (0, 0.25, 0.5, and 1 mM) and drought stress in three levels (irrigation at 100, 60 and 30% of field capacity). Exogenous application of 5- aminolevulinic acid protected pepper against drought stress that its protective effect was related to regulation of antioxidant enzymes. 5- aminolevulinic acid had significant effects on yield, total phenols, soluble sugars, polyphenol oxidase and superoxide dismutase activities, hydrogen peroxide concentration and leaf area, tolerance and harvest indices. In drought stress condition, total phenol content, soluble sugar contents, free radicals, hydrogen peroxide and activities of superoxide dismutase and polyphenol oxidase enzymes in leaves increased while growth parameters decreased. Thus it can be stated that the pepper plant treated with 5 - aminolevulinic acid the activity of antioxidant enzymes and compounds such as soluble sugar and total phenol improve and amend the effect of drought stress on the morphological and physiological characteristics.

Key words: polyphenol oxidase, soluble sugar, superoxide dismutase, total Phenols