

اثر پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک و پلی‌آمین‌ها بر فعالیت بیوشیمیایی و فیزیولوژیک گیاه بامیه در شرایط تنش دمای پایین

سمیه بهادری^۱، بهروز اسماعیل پور^{*}^۲، مختار حیدری^۳، سرور خرم دل^۳، پریسا شیخ زاده^۴، نصیبه توکلی حور^۴ و علیرضا قبری^۱
^۱گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ^۲گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه کشاورزی رامین، اهواز، ^۳گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ^۴گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

(تاریخ دریافت: ۱۲/۲۵/۱۳۹۳، تاریخ پذیرش نهایی: ۰۸/۲۰/۱۳۹۴)

چکیده:

تنش دمای پایین، یکی از عوامل محیطی محدود کننده در توسعه کشت و تولید بامیه است. در این پژوهش اثر اسپرمین، اسپرمیدین و اسید سالیسیلیک بر افزایش مقاومت گیاهچه‌های بامیه به تنش دمای پایین بررسی گردید. تیمارهای آزمایش شامل پیش‌تیمار بذر با آب مقطّر، سالیسیلیک‌اسید (۰/۱ میلی‌مolar)، اسپرمین (۰/۵ میلی‌مolar) و اسپرمیدین (۰/۵ میلی‌مolar) و شاهد (بدون اعمال پیش‌تیمار) بود. آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۳ اجرا شد. گیاهچه‌های شاهد و پیش‌تیمار شده با آب و تنظیم کننده‌های رشد در مرحله شش‌برگی در شرایط تنش دمای پایین (دمای ۸ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۷۰ دقیقه در چهار روز متوالی) قرار گرفتند. پس از اعمال تنش سرما رنگیزه‌های فتوسترزی، کربوهیدرات‌کل، پرولین، ثبات غشنا، مقدار پروتئین کل، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پلی‌فلن اکسیداز و پراکسیداز اندازه‌گیری شد. مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که کمترین مقدار نشت مواد یونی (۱۰ درصد) مربوط به اسپرمین بود. بیشترین مقدار کلروفیل کل (۱۷/۲۴ میلی‌گرم وزن تازه برگ)، حداقل پرولین (۲/۹ میکروگرم بر گرم وزن تازه برگ)، کربوهیدرات کل (۱۰/۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ) و حداقل فعالیت آنزیم کاتالاز (۲۲/۶ تغییرات در جذب میلی‌گرم وزن تازه برگ) در اسید سالیسیلیک به دست آمد. همچنین، بیشترین مقدار پروتئین (۲۰۴/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ) و فعالیت آنزیم پلی‌فلن اکسیداز (۹۱ تغییرات در جذب میلی‌گرم وزن تازه برگ) از اسپرمین و اسید سالیسیلیک حاصل شد. پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک و پلی‌آمین‌ها به طور معنی‌داری موجب افزایش میزان کربوهیدرات‌های محلول، اسید سالیسیلیک حاصل شد. تنش و آسیب‌ها در گیاهچه‌های تیمار شده توسط اسید سالیسیلیک را نشان می‌دهد، بنابراین پیشنهاد می‌شود که پیش‌تیمار بذر با سایر غلظت‌های اسید سالیسیلیک و پلی‌آمین‌ها به منظور بهبود مقاومت نسبت به تنش دمایی پایین در گیاه بامیه مورد مطالعه قرار گیرد.

کلمات کلیدی: اسپرمین، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، پرولین، نشت مواد یونی

مقدمه:

کاهش می‌دهد. بامیه یک گیاه یک‌ساله، گرسنگی با نام علمی

(*Hibiscus esculentus* L.) یا (*Abelmoschus esculentus* L.)

متعلق به تیره گیاهشناسی ختمی‌سانان یا پنیرک‌سانان

توسعه غذاهایی با پروتئین بالا با منشأ گیاهی در کشورهای در

حال توسعه ضروری است، زیرا قیمت بالای پروتئین حیوانی را

جهش در مواد ژنتیکی مانند DNA را سبب می‌شوند که این امر به مختل شدن متابولیسم طبیعی گیاه و در نهایت مرگ سلول‌ها منجر می‌شود (Esfandiari *et al.*, 2007; Pennycooke *et al.*, 2004). گیاهان مکانیزم‌های حفاظتی مختلفی را برای تجزیه یا کاهش رادیکال‌های فعال اکسیژن دارند که در کاهش خسارت تنش‌های محیطی مؤثر است. سیستم‌های آنزیمی آنتی‌اکسیدان یکی از این مکانیزم‌های حفاظتی می‌باشد. گیاهانی که از سطوح بالاتری از آنتی‌اکسیدان‌ها برخوردار هستند، مقاومت بیشتری به آسیب‌های اکسیداتیو نشان می‌دهند. دو آنزیم کاتالاز و پراکسیداز از مهمترین آنتی‌اکسیدان‌ها می‌باشند که باعث شکسته شدن پراکسیدهیدروژن به آب و اکسیژن می‌گردند (قربانی و همکاران، ۱۳۸۲؛ Yong *et al.*, 2005؛ Janda *et al.*, 2008).

گیاهان در مقابل تنش‌های محیطی، مانند سرما و یخبدان در مرحله سازگاری، با افزایش تولید مواد تنظیم‌کننده اسمزی، مقاومت به دمای پایین را افزایش می‌دهند. مواد تنظیم‌کننده فشار اسمزی بیشتر شامل اسیدهای آمینه (مانند پرولین)، کربوهیدرات، و پروتئین‌ها و برخی یون‌های معدنی هستند (جعفری و همکاران، ۱۳۸۵). پرولین یکی از مهم‌ترین ترکیبات تنظیم‌کننده اسمزی می‌باشد که از دو مسیر گلوتامات و اورنیتین سنتز می‌شود و در شرایط تنش سرما سنتز آن به مقدار زیادی افزایش می‌یابد (Allen and Ort, 2001). از روش‌هایی که در سال‌های اخیر برای کاهش اثرات تنش‌های محیطی روی گیاهان مختلف استفاده شده است کاربرد مواد شیمیایی خارجی به منظور کاهش خسارت‌های تنش است (Yuan and Lin, 2008). از جمله این مواد می‌توان به اسید‌سالیسیلیک اشاره کرد، که یک ترکیب فنلی شبه‌هورمون می‌باشد که به عنوان یک تنظیم‌کننده داخلی نقش مهمی را در مکانیزم‌های دفاع در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده دارد (Szalai *et al.*, 2000). اسید سالیسیلیک به‌طور مستقیم و غیرمستقیم آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را فعال می‌کند. یکی از مولکول‌های پیام‌رسان مهم است و باعث تحریک بروز عکس العمل گیاه در برابر تنش‌های محیطی می‌شود و همانند یک آنتی‌اکسیدان

(Malvaceae) است (دانشور، ۱۳۸۷). مصرف محصولاتی مانند بامیه نقش مهمی را در مبارزه با سوء‌تغذیه، که یک مشکل جدی در این کشورها می‌باشد، ایفا می‌کند (Aminigo and Akingbala, 2004) ویتامین‌های A، B و C و عناصر معدنی مانند کلسیم، پتاسیم بوده و هم‌چنین غنی از پروتئین می‌باشد (دانشور، ۱۳۸۷). گیاهان برای رشد بهینه به محدوده دمایی خاصی احتیاج دارند و خارج شدن از این محدوده به عنوان یک تنش محسوب می‌شود. در بیشتر گیاهان پس از قرارگیری در دماهای بین صفر تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد قرار گیرد، تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی مختلفی به وجود می‌آید (Seppanen, 2000). در گیاهان حساس به دمای پایین مانند گیاهان گرم‌سیری، نتیجه این تغییرات فیزیولوژیک ممکن است به صورت آسیب‌های قابل برگشت و غیرقابل بروز نماید. آسیب‌های اولیه اختلالاتی هستند که در واکنش‌های متابولیسمی به صورت موقعی ایجاد می‌شوند و معمولاً در صورت رفع عامل تنش‌زا قابل برگشت می‌باشند، ولی آسیب‌های ثانویه اختلالات متابولیسمی هستند که معمولاً پس از رفع تنش به حالت اولیه برنمی‌گردند (Allen and Ort, 2001).

پژوهش‌ها نشان داده است که با تغییر خصوصیات غشاء در حین تنش سرما، تعادل متابولیسمی مختل شده و با افزایش متابولیت‌های سمی، آسیب‌های ثانوی در گیاه ایجاد می‌شود (Seppanen, 2000). یکی از مهم‌ترین تغییرات بیوشیمیایی در گیاهان که تحت تنش‌های سرما و یخبدان ایجاد می‌شود، تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن در کلروپلاست و میتوکندری‌ها است (Bakalova *et al.*, 2004؛ Rahimizadeh *et al.*, 2007). رادیکال‌های فعال اکسیژن، در فرآیندهای فیزیولوژیک مهم مانند تنفس نوری، فتوستز و تنفس تولید می‌شوند. رادیکال سوپراکسید در طی فتوستز در صورت اختلال در تجزیه آب در واکنش هیل و عدم انتقال الکترون به فتوسیستم II تشکیل می‌شود (Bhattacharjee, 2005). گونه‌های فعال اکسیژن شدیداً با بیومولکول‌های زیستی مانند پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک واکنش داده و پراکسیداسیون لبید، تغییر ساختار پروتئین و

رویش اصفهان تهیه گردید. ابتدا در مرحله جوانه‌زنی، به‌منظور تعیین مدت زمان و غلظت مواد مورد استفاده آزمایشات مقدماتی انجام شد. سپس آزمایشی به صورت طرح کاملاً تصادفی با پنج تیمار شامل خیساندن بذرها در آب مقطر (به مدت ۲۴ ساعت)، اسید سالیسیلیک (غلظت ۰/۱ میلی‌مولار به مدت ۲۴ ساعت)، اسپرمین و اسپرمیدین (غلظت ۰/۵ میلی‌مولار به مدت ۱۲ ساعت) و تیمار شاهد (بدون اعمال پیش‌تیمار) در سه تکرار انجام گردید. جهت اعمال پیش‌تیمار بذرها در داخل پتری‌دیش بین ۲ عدد کاغذ واتمن شماره ۱ قرار داده شدند و محلول‌های تهیه شده برای پیش‌تیمار به مقدار مساوی به پتری‌دیش‌ها افروده شد، بذرهای بامیه پس از پیش‌تیمار در مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق خشک شدند، در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و مدت روشنایی ۱۲ ساعت در پتری‌دیش بین ۲ عدد کاغذ واتمن شماره ۱ در ژرمنیتور انجام شد. پس از جوانه‌زنی، یذور دارای حداقل دو میلی‌متر ریشه‌چه، بذور جوانه‌زده به به گلدان‌های پلاستیکی یکبار مصرف، با ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر و قطر دهانه ۱۰ سانتی‌متر حاوی پیت‌ماس و پرلیت (نسبت چهار به یک حجمی) منتقل شده و به گلخانه ای با دمای 20 ± 2 درجه سانتی‌گراد انتقال یافتند. آبیاری گلدان‌ها هر دو روز یکبار صورت گرفت. در مرحله دو تا سه برگی، گیاهچه‌ها به گلدان‌های بزرگتر با قطر ۱۵ سانتی‌متر انتقال یافتند. گلدانها حاوی خاک، ماسه و کود دامی به نسبت ۲:۱:۱ بودند.

برای جلوگیری از شوک سرمایی، گیاهچه‌ها قبل از اعمال تنش سرما در شرایط دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد به مدت دو روز نگهداری شده و سپس تنش سرما اعمال گردید. به‌منظور اعمال تنش سرما، گلدان‌ها چهار روز متوالی و هر روز به مدت ۲۷۰ دقیقه در داخل اتاقک رشد با نور کم و دمای ۸ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. دو ماه بعد از کاشت و پس از اعمال تنش اندازه‌گیری طول ساقه و ریشه انجام شد.

اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوستتری (کلروفیل و کارتنتوئیدها) بر اساس روش پیشنهادی Arnone (۱۹۴۹) انجام شد. در این روش رنگیزه‌ها با استفاده از استون ۸۰ درصد استخراج شدند و

غیرآنزیمی نقش مهمی را در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیک در گیاهان در شرایط تنش ایفا می‌کند (Arfan *et al.*, 2007). با توجه به مطالعات انجام شده توسط Hayata و همکاران (۲۰۱۰) اسید سالیسیلیک باعث کاهش آثار سرما در هویج، گوجه‌فرنگی و همچنین باعث کاهش اثرات تنش اکسیداتیو در گیاهچه آرابیدوپسیس گردید (Waseem *et al.*, 2006). پیش‌تیمار بذر در محلول نیترات پتاسیم سه درصد حاوی ۰/۱ میلی‌مول اسید سالیسیلیک می‌تواند در جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه بادمجان تحت درجه حرارت پایین موثر باشد (Zhang *et al.*, 2011).

پلی‌آمین‌ها پلی‌کاتیون‌های مهمی هستند که در مراحل مختلف فیزیولوژیک و نموی گیاهان نقش دارند (Kasukabe *et al.*, 2004). اخیراً نقش پلی‌آمین‌ها در افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های غیرزیستی، از جمله شوری و خشکی مورد توجه قرار گرفته است (Groppa and Benavides, 2008) در بسیاری از موارد، تنش‌های محیطی منجر به تجمع پلی‌آمین‌های آزاد منجر می‌گردد، که نشان دهنده اهمیت بیوسترنز پلی‌آمین‌ها به عنوان پاسخ‌های مهم بیوشیمیایی گیاهان در شرایط تنش می‌باشد (Kasukabe *et al.*, 2004). پلی‌آمین‌ها با جلوگیری از پراکسیده شدن چربی‌های غشا، موجب حفظ سیالیت و ثبات آن شده و از بروز سرمازدگی جلوگیری می‌کنند (Mirdehghan *et al.*, 2007). با توجه به اینکه بامیه یک محصول فصل گرم است و در مناطق سردسیری به علت دمای پایین رشد و نمو آن به تاخیر می‌افتد و از توسعه کشت آن در این مناطق جلوگیری می‌شود این آزمایش به منظور بررسی اثر پیش‌تیمار بذر با آب مقطر، اسپرمین، اسپرمیدین و اسید سالیسیلیک بر برخی فعالیت‌های آنزیمی و شاخص‌های بیوشیمیایی گیاه بامیه به‌منظور کاهش تنش دمای پایین بررسی گردید.

مواد و روش‌ها:

این آزمایش در سال ۱۳۹۳ در گروه باطنی دانشگاه محقق اردبیلی (شهر اردبیل) انجام شد. بذرهای بامیه رقم بسنطی که در این آزمایش مورد استفاده قرار گرفت، از شرکت سپاهان

آنزیم کاتالاز: ۶۰ میکرولیتر از عصاره پروتئینی را در ۲/۵ میلی لیتر بافر تریس ۵۰ میلی مولار با pH=۷ و ۰/۳ میلی لیتر آب اکسیژنه ۵ میلی مولار در حمام بخ اضافه نموده و منحنی تغییرات جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر قرائت شد. فعالیت آنزیم به ازای هر میکرو گرم بر میلی گرم پروتئین بافت تازه گیاهی به دست آمد.

آنزیم پلی فنل اکسیداز: ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره پروتئینی را در ۱/۵ میلی لیتر تریس ۲۰/۲ مولار و ۰/۳ میلی لیتر پیروگالل ۴۰/۲ مولار حل نموده و میزان جذب در طول موج ۴۲۰ نانومتر یادداشت شد.

آنزیم پراکسیداز: ۵۰ میکرولیتر عصاره پروتئینی را در ۲/۵ میلی لیتر بافر استخراج که شامل بافر تریس ۱۰۰ میلی مولار و آب اکسیژنه ۵ میلی مولار و پیروگالل ۱۰ میلی مولار بود، منحنی تغییرات در طول موج ۴۲۵ نانومتر قرائت شد. داده های آزمایش با نرم افزار آماری SAS ۹/۱ تجزیه آماری شده و مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث:

طول اندام هوایی و ریشه: نتایج تجزیه واریانس طول اندام هوایی و ریشه دانهال های بامیه رقم بسطنی نشان داد که اثر تیمارها بر طول اندام هوایی در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود، ولی بر طول ریشه معنی دار نبود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین طول اندام هوایی (جدول ۲) نشان داد بیشترین طول اندام هوایی در پیش تیمار بذور بامیه با اسپر مین در غلاظت ۰/۵ میلی مولار وجود داشت (۱۳/۱۶ سانتی متر) که به طور معنی داری بیشتر از طول اندام هوایی در تیمار شاهد و یا تیمار ۰/۵ میلی مولار اسپر میدین بود (به ترتیب ۱۰/۹ و ۱۰/۸۳ سانتی متر). به طور مشابه کاهش رشد گیاه گوجه فرنگی تحت تنش سرما گزارش گردیده است (Allen and Ort, 2001). همچنین بهبود طول ریشه چه و ساقه چه برنج پس از پیش تیمار بذر با پلی آمین ها گزارش گردیده است (Farooq *et al.*, 2008).

پیشنهاد گردیده است پلی آمین ها در القا و افزایش تقسیم سلولی نقش کلیدی دارند و نتایج آزمایش حاضر در مورد

غلاظت آنها براساس روابط زیر محاسبه گردید. نتایج حاصل از اندازه گیری مقدار رنگیزه های فتوستزی بر حسب میلی گرم بر گرم وزن تر محاسبه و ارائه می گردد.

$$Chla = (۱۲/۲۵) (A663/2) - (۲/۷۹۸) (A646/8)$$

$$Chb = (۲۱/۲۱) (A646/8) - (A663/2)$$

$$ChLT = Chla + Chlb$$

$$Cartenoide = (1000 A470 - 1/8 Chla - 85/۰۲ Chlb) ۰/۰۰۰۱۹۸$$

اندازه گیری مقدار پرولین با استفاده از معرف ناین هیدرین بر اساس روش پیشنهادی Bates (۱۹۷۳) انجام گرفت. در این روش از معرف ناین هیدرین و اسیداستیک گلاسیال برای اندازه گیری پرولین استفاده شد و نتایج بر حسب میکرومول بر گرم وزن تازه گزارش گردید.

اندازه گیری کربوهیدرات های محلول با استفاده از روش Irigoyen و همکاران (۱۹۹۲) انجام شد. ابتدا از ۰/۵ گرم از بافت برگی عصاره الكلی تهیه شد. سپس میزان قند های محلول با استفاده از آنtron و اسید سولفوریک ۷۲ درصد و با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه شد.

اندازه گیری ثبات غشا (نشست مواد یونی) بر اساس روش پیشنهادی Redmann و همکاران (۱۹۸۶) استفاده شد. ابتدا از برگ کاملاً توسعه یافته دیسک هایی تهیه شد. نمونه ها در ظرف سربسته حاوی ۱۰ میلی لیتر آب دی یونیزه قرار گرفت و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد قرار داده شد و توسط دستگاه شیکر تکان داده شد. پس از پایان زمان مورد نظر، قرائت در طول موج ۲۸۰ نانومتر انجام شود (L₀). نمونه به محلول برگردانیده شد، سپس نمونه و محلول در اتوکلاو قرار داده شد و سپس قرائت در طول موج ۲۸۰ نانومتر انجام شود (L_t).

$$\text{معادله (۵)} \quad 100 \times (L_t / L_0) = \text{نشست مواد محلول} (\%)$$

جهت اندازه گیری کمی پروتئین بر اساس روش پیشنهادی Bradford (۱۹۷۶) انجام شد. که مقدار ۰/۲ گرم از بافت برگ تر در هاون چینی سرد و در ظرف بخ با ۲ میلی لیتر بافر فسفات ۱/۰ مولار با اسیدیته ۶/۸ هموزن و سانتریفیوز گردید و جذب نمونه در طول موج ۵۹۵ با دستگاه اسپکترو فوتومتر قرائت گردید. برای اندازه گیری فعالیت آنزیم های کاتالاز، پلی فنل اکسیداز و پراکسیداز از روش Kara و Mishra (۱۹۷۶) استفاده شد:

جدول-۱- تجزیه واریانس اثربخش تیمار بر مقدار رنگیزهای فتوستتری، صفات بیوشیمیایی و ثبات خواهای تحقیق تنش دمای پایین

میانگین مرتعات									
فعالیت آزمیم	نشست مواد	بروکرین	کارتوونید	کلروفیل	کلروفیل				
پراکسیداز	پراکسیداز	آنژرم کاتالاز	آنژرم کاتالاز	آنژرم پلی	آنژرم	گروههای مذکور	آنژرم	آنژرم	آنژرم
۳۱۲۳ ^a	۳۱۶۴ ^b	۷۷۷۰ ^a	۸۷۷۰ ^a	۱۴۱۴ ^a	۱۴۰۰ ^a	۱۳۵۰ ^a	۲۷/۵ ^a	۲۷/۵ ^a	۲۷/۵ ^a
۱۹۱۳ ^a	۱۰۱ ^a	۳/۲ ^a	۱/۹ ^a	۲/۴۸۲ ^a	۰/۰۰۶ ^a	۰/۰۱ ^a	۰/۰۸ ^a	۰/۰۸ ^a	۰/۰۸ ^a
۱۷/۲ ^a	۱۷/۴ ^a	۱/۷۸ ^a	۱/۶۵ ^a	۱/۶۷۶ ^a	۱/۳۷۶ ^a	۱/۳۵ ^a	۱/۷۳ ^a	۱/۷۳ ^a	۱/۷۳ ^a

* و ** و *** به ترتیب معنی داردن در سطح اختصاری ۵ درصد، ۱ درصد و عدم تفاوت معنی داری است.

جدول-۲- تجزیه واریانس اثربخش تیمار بر مقدار رنگیزهای فتوستتری، صفات بیوشیمیایی و ثبات خواهای تحقیق تنش دمای پایین

میانگین مرتعات									
فعالیت	فعالیت	فعالیت	فعالیت	فعالیت	نشست مواد	بروکرین	کارتوونید	کلروفیل	کلروفیل
آنژرم	آنژرم	آنژرم	آنژرم	آنژرم	مواد	آنژرم	آنژرم	آنژرم	آنژرم
۷۶/۹ ^b	۷۶/۸ ^a	۷/۸۹ ^b	۷/۸۹ ^b	۰/۰۵ ^b	۰/۰۳ ^a				
۲۶۴ ^a	۲۶۴ ^a	۲/۷۸ ^a	۲/۷۸ ^a	۰/۰۷ ^a					
۲۵۷ ^a	۲۵۷ ^a	۱/۰ ^a	۱/۰ ^a	۰/۰۹ ^b					
۲۵۰ ^a	۲۵۰ ^a	۰/۸۴ ^b	۰/۸۴ ^b	۰/۰۱ ^b					

میانگین مرتعات									
(تغییرات در جذب میلی گرم وزن نازه)					(میلی گرم بر گرم وزن نازه)				
شاهد (بدون اعمال تیمار)	شاهد (بدون اعمال تیمار)	شاهد (بدون اعمال تیمار)	شاهد (بدون اعمال تیمار)	شاهد (بدون اعمال تیمار)	شاهد (بدون اعمال تیمار)	شاهد (بدون اعمال تیمار)	شاهد (بدون اعمال تیمار)	شاهد (بدون اعمال تیمار)	شاهد (بدون اعمال تیمار)
۱/۰۹ ^a	۱/۰۵ ^c	۱/۰۴ ^a	۰/۰۴ ^d	۰/۰۴ ^d	۰/۰۴ ^b	۰/۰۴ ^b	۰/۰۴ ^b	۰/۰۴ ^b	۰/۰۴ ^b
۰/۰۸ ^b	۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a				
۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a
۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a
۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a	۰/۰۷ ^a

میانگینها حروف مشترک در هر سمعون از لحاظ آماری در سطح اختصاری ۵ درصد تفاوت معنی داری را موساس آورون دانکن نشان نمی دهد.

میانگینها حروف مشترک در هر سمعون از لحاظ آماری در سطح اختصاری ۵ درصد تفاوت معنی داری را موساس آورون دانکن نشان نمی دهد.

محلول کاهش می‌یابد (Hsanuzzaman *et al.*, 2013). در تنش دمای پایین، علت اصلی تشکیل رادیکال‌های فعال اکسیژن عدم تعادل بین دریافت نور و فتوستز می‌باشد. همچنین کاهش دما در حضور نور خطر اکسیداسیون نوری را افزایش می‌دهد. ولی در گیاهان مقاوم به تنش سرما، تشکیل رادیکال‌های فعال اکسیژن کترول شده و تعدیل می‌گردد (Allen and Ort, 2001). نتایج این پژوهش نشان داد اسید سالیسیلیک اثر معنی‌داری بر بهبود رنگیزه‌های فتوستزی در شرایط تنش سرما داشت و سبب ایجاد اختلاف معنی‌دار در میزان کلروفیل *a*، کلروفیل کل و کارتنتوئید برگ گیاه بامیه شد. نتایج مطالعه‌ای در ذرت نیز نشان داده است کاربرد اسید سالیسیلیک موجب افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل *a* و *b* گردید (El-Khalla et al., 2009).

همچنین گزارش گردیده است اسید سالیسیلیک باعث افزایش مقدار کلروفیل و کارتنتوئید و میزان فتوستز گیاه ذرت شد، که این افزایش ناشی از اثر اسید سالیسیلیک بر افزایش میزان فتوستز بهدلیل بهبود فعالیت رویسکو و مقدار کلروفیل می‌باشدند (Vazirimehr and Rigi, 2014). گزارش شده است در گیاه کدو، پیش تیمار بذر با اسید سالیسیلیک در غلظت کم باعث بهبود کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کارتنتوئید و در نتیجه افزایش فتوستز در شرایط تنش شوری گردید (Rafique et al., 2011).

تخرب کلروپلاست‌ها و کاهش میزان کلروفیل یکی از مهم‌ترین اثرات تنش‌های محیطی در گیاهان می‌باشد. بهنظر می‌رسد بخشی از کاهش میزان کلروفیل بهدلیل عدم تولید کلروفیل و همچنین تخریب کلروفیل‌های موجود بر اثر افزایش اتیلن در شرایط تنش باشد (Misra and Sricastatva, 2000).

نتایج آزمایش حاضر در مورد اثر مثبت پلی‌آمین‌ها بر رنگدانه‌های فتوستزی گیاه بامیه در شرایط تنش سرما می‌تواند با اثر پلی‌آمین‌ها بر تولید اتیلن در ارتباط باشد. برای سنتز پلی‌آمین‌ها پیش‌ماده S-آدنوزیل متیونین نیاز می‌باشد که برای سنتز اتیلن نیز همین پیش‌ماده لازم است، بنابراین با افزایش سنتز پلی‌آمین‌ها و یا افزایش غلظت آنها در گیاه، سنتز اتیلن کاهش می‌یابد (Alcazar et al., 2006).

صفات بیوشیمیابی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر

بهبود رشد گیاهچه احتمالاً به دلیل افزایش تقسیم سلولی ناشی از افزایش مقدار پلی‌آمین‌ها در مریستم انتهایی می‌باشد (Farooq et al., 2008).

رنگیزه‌های فتوستزی: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد اثر پیش‌تیمار بذر بر کلروفیل *a* برگ در سطح ادرصد و بر کلروفیل کل و کارتنتوئیدهای برگ بامیه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود اما بر مقدار کلروفیل *b* اثر معنی‌داری نداشت.

نتایج مقایسه میانگین مربوط به رنگدانه‌های فتوستزی (جدول ۲) نشان داد بیشترین میزان کلروفیل *a* برگ بامیه در پیش‌تیمار بذر با غلظت ۰/۰ میلی‌مولا ر اسید سالیسیلیک وجود داشت (۱۱/۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) که به طور معنی‌داری بیشتر از کلروفیل برگ در تیمار شاهد بود (۵/۴۳) ولی یا کلروفیل *a* برگ در سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت.

بیشترین میزان کلروفیل کل برگ نیز در تیمار ۰/۰ میلی‌مولا ر اسید سالیسیلیک وجود داشت (۱۷/۲۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) که به طور معنی‌داری بیشتر از کلروفیل کل برگ در تیمار شاهد یود (۹/۶۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) یا کلروفیل کل برگ در سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت. کاربرد تیمارهای اسیدسالیسیلیک، اسپرمیدین و اسپرمین باعث افزایش معنی‌دار میزان کارتنتوئیدهای کل برگ نسبت به تیمار شاهد (به ترتیب ۴/۸۵، ۴/۱۹ و ۳/۷۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در مقایسه با ۲/۱) شد (جدول ۲).

دمای پایین می‌تواند موجب تخریب غشای تبلakoئید کلروپلاست، تورم پلاستید و تیغه تیلاکوئید، تجمع قطرات چربی و سرانجام باعث بهم ریختگی کل پلاستید شود. سیستم نوری دو (PSII) اولین نقاطی در کلروپلاست است که آسیب درجه حرارت پایین به آن وارد می‌شود (Allen and Ort, 2001). علاوه بر این، با توجه به مطالعه انجام شده توسط Allen و Ort (۲۰۰۱) تنش دمای پایین موجب کاهش فعالیت آنزیم‌های جذب کربن مانند آنزیم چرخه کالوین، ATP‌ستاز می‌شود، همچنین بازسازی رویسکو و فسفریلاسیون و انتقال کربن تثیت شده از برگ را کاهش می‌دهد و در نتیجه تجمع کربوهیدرات‌های

سالیسیلیک وجود داشت ($1/0.2$ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) وجود داشت که به طور معنی‌داری بیشتر از میزان کربوهیدرات‌های محلول برگ در تیمار شاهد (0.31 میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و سایر تیمارها بود. گیاهان در مرحله سازگاری به تنفس دمای پایین با تجمع آب‌سیزیک اسید در برگ‌های خود موجب فعالیت برخی از ژن‌ها و بروز تغییرات در میزان کربوهیدرات‌های محلول می‌شوند که در نتیجه تنظیم فشار اسمزی، تحمل پذیری گیاهان نسبت به تنفس دمای پایین را افزایش می‌دهد (Gusta *et al.*, 2005). گزارش شده است که نقش ترکیبات کربوهیدراتی در ایجاد تحمل نسبت به دماهای پایین می‌تواند بیشتر از سایر محافظت‌کننده‌های سرمایی باشد. ساکارز یک ترکیب ضروری است که می‌تواند باعث افزایش تحمل گیاهان نسبت به تنفس‌های محیطی مانند تنفس دمای پایین شود. گلوکز دارای کنترل مستقیم و گستردگی بر بیوستتر هورمون اسید‌آب‌سیزیک می‌باشد به طوری که غلاظت بالای گلوکز در سلول منجر به سطوح بالای اسید‌آب‌سیزیک درون سلولی می‌گردد، زیرا نسخه برداری ژن‌های بیوستتر کننده اسید‌آب‌سیزیک را افزایش می‌دهد. ساکارز نیز همانند گلوکز یکی از ترکیبات اساسی در خالت کننده در بیوستتر اسید‌آب‌سیزیک می‌باشد (Yadeghari *et al.*, 2008).

نتایج این آزمایش نشان داد میزان کربوهیدرات‌های محلول برگ بامیه در شرایط تنفس سرما تحت تاثیر پلی‌آمین‌ها قرار گرفت و پیش‌تیمار بذرها با غلاظت $0/5$ میلی‌مولار اسپرمین یا اسپرمیدین به طور قابل توجهی میزان کربوهیدرات‌های محلول برگ را افزایش داد (جدول ۲). در گیاه گندم نیز پیش‌تیمار بذر پلی‌آمین‌ها موجب میزان قندهای محلول نسبت به تیمار شاهد شد (Farooq *et al.*, 2011).

ثبات غشا (نشست مواد محلول): نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۲) نشان داد بیشترین نشت مواد محلول ($55/7$) و $54/2$ درصد) به ترتیب مربوط به پیش‌تیمار بذر با آب مقطر به مدت 24 ساعت و شاهد بود که به طور معنی‌داری بیشتر از نشت مواد محلول در سایر تیمارها بود. کمترین نشت مواد محلول از سلول (بیشترین ثبات غشا) در تیمارهای $0/5$

پیش‌تیمار بذر بر میزان پرولین، کربوهیدرات‌های حلول، ثبات غشا، پروتئین کل و فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح احتمال 1 درصد و بر فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز در سطح احتمال 5 درصد معنی‌دار شد ولی بر فعالیت آنزیم پراکسیداز معنی‌دار نشد (جدول ۱).

پرولین: نتایج مقایسه میانگین نشان داد در شرایط تنفس سرما، بیشترین میزان پرولین آزاد برگ ($2/9$ میکرو‌گرم بر گرم وزن تازه) در پیش‌تیمار بذر با غلاظت $0/1$ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک وجود داشت که به طور معنی‌داری بیشتر از پرولین برگ در تیمار شاهد و سایر تیمارها بود (جدول ۲). کمترین میزان پرولین ($1/25$ میکرو‌گرم بر گرم وزن تازه) در تیمار شاهد وجود داشت که به طور معنی‌داری کمتر از میزان پرولین در سایر تیمارها بود (جدول ۲). گیاهان در مقابل تنفس‌های محیطی مکانسیم‌های دفاعی مختلفی از جمله تولید ترکیبات تنظیم‌کننده اسمزی دارند. در شرایط تنفس سرما، افزایش تجمع ترکیبات تنظیم‌کننده اسمزی در گیاهان انجام می‌شود. این ترکیبات در غلاظت‌های بالا غیر سالم بوده و بدون تغییر در pH فیزیولوژیک باعث حفظ فشار اسمزی و همچنین ثبت ساختار پروتئین و غشا تحت تنفس می‌شوند و در نتیجه نقش مهمی در سازگاری سلول‌ها به تنفس‌های محیطی دارند (Allen and Ort, 2001). نتایج آزمایش در مورد افزایش پرولین برگ پس از کاربرد پلی‌آمین‌ها در شرایط تنفس سرما، با این نتایج مشابهت دارد که کاربرد اسپرمین و اسپرمیدین باعث افزایش مقدار پرولین گیاه بادمجان تحت تنفس سرما گردید (Yan-ping *et al.*, 2010). همچنین گزارش گردیده است استفاده از اسید سالیسیلیک باعث افزایش پرولین تحت شرایط دمای پایین در هندوانه گردید (Sayyari *et al.*, 2013). پیشنهاد گردیده است اسید سالیسیلیک با دخالت اسید‌آب‌سیزیک می‌تواند باعث القا تجمع پرولین شود (Sakhabutdinova *et al.*, 2003). در شرایط تنفس کمبود آب، در اثر تجزیه پروتئین، سنتز پرولین افزایش می‌یابد (Johari Pireivatlou, 2010).

کربوهیدرات‌های محلول: بیشترین مقدار کربوهیدرات‌های محلول برگ در پیش‌تیمار بذر غلاظت $0/1$ میلی‌مولار اسید

(۱۳۹۰). نتایج آزمایش حاضر در مورد اثر مثبت اسید سالیسیلیک بر کاهش نشت مواد محلول با نتایج گزارش شده در مورد کاهش نشت الکتریکی برگ هندوانه پس از کاربرد Sayyari et al., 2013) پیشنهاد گردیده است کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط تنفس سرما مشابه است. این اسید سالیسیلیک در شرایط تنفس شوری، میزان پلی‌آمین‌های پوترسین، اسپرمیدین و اسپرمین را در گیاه افزایش می‌دهد که می‌تواند به یکپارچگی و حفظ غشا کمک کند (Nemeth et al., 2002).

mekanisim دیگر اسید سالیسیلیک با حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن ارتباط دارد زیرا گزارش گردیده است کاربرد اسید سالیسیلیک با القای پاسخ‌های آنتی‌اکسیدانی و جذب کلسیم، گیاه خیار را از آسیب‌های اکسیداتیو محافظت نموده و با افزایش تجمع کلسیم ب ثبات غشا را افزایش داد (Vazirimehr and Rigi, 2014).

پروتئین کل: نتایج این پژوهش نشان داد در شرایط تنفس سرما، کمترین مقدار پروتئین کل در تیمار شاهد بود (۸۲ میلی-گرم بر گرم وزن تازه) و میزان پروتئین کل در تمامی تیمارها نسبت به شاهد به طور معنی‌دار افزایش یافت (جدول ۲). تغییر در بیان، تجمع و ستز پروتئین در پاسخ به تنفس‌های محیطی از مکانیسم‌های مهم گیاهان در جهت حفاظت از متابولیسم سلولی و ایجاد سازگاری محسوب می‌شود. پروتئین‌ها جز متابولیت‌هایی هستند که به طور متفاوت در پاسخ به تنفس سرما بیان می‌شوند. پروتئین‌ها در فرآیندهایی همچون ترارسانی علامتی، فرآیندهای مریبوط به RNA، ترجمه، فتوستتر، تنفس نوری، متابولیسم کربن، نیتروژن، سولفور و انرژی نقش دارند (Heidarvand et al., 2010). تنفس سرما، مواد پروتئینی غشا را پس از تغییر ماهیت، رسوب می‌دهد و باعث از بین بردن لایه محافظ آب و بار الکتریکی غشاء می‌شود و این امر باعث انعقاد پروتئین می‌شود. انعقاد پروتئین باعث تغییر ماهیت غشاء می‌شود. در اثر تنفس سرما، کاهش اتصال پیوندی پروتئین‌ها، سبب تجزیه آنزیم کلیدی فسفوanol پیروات کربوکسیلаз در گیاهان می‌شود و با افزایش دوباره نیز به حالت اولیه خود برنمی‌گردد (جلیلی مرندی، ۱۳۸۹). نتایج آزمایش حاضر در

میلی‌مولار اسپرمیدین و اسپرمین وجود داشت (۱۳ و ۱۰ درصد) که به طور معنی‌داری کمتر از نشت مواد محلول در تیمار شاهد و سایر تیمارها بود. یکی از خسارت‌های تنفس دمای پایین، وارد آمدن آسیب به ساختار غشا سلول است. این خسارت ناشی از تولید رادیکال‌های آزاد در درون سلول و آسیب این رادیکال‌های آزاد به اسیدهای چرب غشا شده و در نتیجه پراکسیداسیون چربی‌ها، رادیکال‌های پراکسی و هیدروپراکسی تولید می‌شود. رادیکال‌های جدید تولید شده می‌توانند واکنش‌های اکسیداسیون لیپیدها را افزایش داده و منجر به افزایش تولید مالوندی‌آلدئید (شاخص پراکسیداسیون چربی) شود. تداوم این امر موجب تخریب بیشتر غشا سلول و خروج آب و مواد محلول از درون سلول به فضای بین سلولی شده که نتیجه این وضعیت، بروز پدیده آب گرشد (Water core) و افزایش نشت یونی است و در نهایت منجر به کاهش توانایی سلول‌ها برای حفظ آب و کاهش محتوای آب برگ خواهد شد (Erslues et al., 2006). نتایج آزمایش حاضر نشان داد از بین تیمارهای بکار رفته، پلی‌آمین‌های اسپرمین و اسپرمیدین بیشترین اثر را در کاهش نشت مواد محلول و افزایش ثبات غشا داشت. نتایج مطالعه‌ای دیگر نیز نشان داد کاربرد پلی‌آمین‌های اسپرمین و اسپرمیدین موجب ایجاد مقاومت گیاه بادمجان به دمای پایین از طریق کاهش نفوذپذیری غشا شد (Yan-ping et al., 2010). پلی‌آمین‌ها با ایجاد ثبات در ساختار دو لایه چربی (Lipid bilayer) در غشا سلول از طریق ایجاد پیوند با ترکیبات آنیونی غشاء از تخریب غشا ناشی از تنفس سرما ممانعت می‌کنند (جلیلی مرندی، ۱۳۸۹). هم‌چنین پلی‌آمین‌ها به دلیل دارا بودن توانایی آنتی‌اکسیدانی، در خشی‌سازی رادیکال‌های آزاد نقش داشته و موجب پایداری دیواره‌ی سلولی و غشا می‌شود (Hussein et al., 2006). مکانیسم دیگر اثر پلی‌آمین‌ها بر ثبات غشا ناشی از اثر پلی‌آمین‌ها بر فعالیت آنزیم‌های حذف کننده رادیکال‌های آزاد و در نتیجه موجب کاهش در محتوای رادیکال‌های سوپراکسید و پراکسیدهیدروژن گردیده و هم‌چنین از فعالیت آنزیم لیپوکسی‌ژناز و تجزیه اسیدهای چرب غشاء جلوگیری می‌کند (نوح پیشه و منوچهری کلانتری،

یونجه، گوجه‌فرنگی و نخود بیشتر از ارقام حساس به سرما می‌باشد (Hsanuzzaman *et al.*, 2013). پیش‌تیمار بذر بادمجان با اسپرمین و اسپرمیدین از طریق افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز، موجب مقاومت به تش دمای پایین گردیدند (Yan-ping *et al.*, 2010). تنش سرما فعالیت آنزیم کاتالاز در زعفران را کاهش داد. با این حال، این تغییرات به طور قابل توجهی با کاربرد اسپرمیدین و پوترسین باعث افزایش تحمل گیاه به سرما گردید (Hsanuzzaman *et al.*, 2013).

نتیجه‌گیری کلی:

باتوجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش، می‌توان چنین اظهار داشت که تنش سرما پایداری غشاء سلولی را کاهش می‌دهد، اما پیش‌تیمار بذر بامیه با اسپرمین، اسپرمیدین و اسید سالیسیلیک تفاوت آشکاری با شاهد از لحاظ تاثیر بر پایداری غشاء نشان دادند. در حقیقت پیش‌تیمار با تنظیم کننده‌های رشد میزان خسارت غشا را کاهش می‌دهد. طی تنش دمایی مورد بررسی در پیش‌تیمار بذور با اسید سالیسیلیک و اسپرمین میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پلی‌فنل اکسیداز افزایش یافت و در کل فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز بیشتر از کاتالاز بود که نقش اصلی این آنزیم را در کاهش خسارت در بامیه نشان می‌دهد. بیشترین میزان کلروفیل کل، پرولین، کربوهیدرات محلول و پروتئین کل در پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک حاصل شد. بنابراین، پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک در افزایش توانایی گیاه در مقابله با تنش دمای پایین پیش‌تیمار با موثر است. همچنین از آنجا که اسید سالیسیلیک قادر به تاثیرگذاری بر بسیاری از فرآیندهای متابولیک و بیوشیمیایی است، پیشنهاد می‌شود که پیش‌تیمار بذر با سایر غلظت‌های اسید سالیسیلیک و پلی‌آمین‌ها به منظور بهبود مقاومت نسبت به تنش دمایی پایین در گیاه بامیه مورد مطالعه قرار گیرد.

موردن اثر مثبت پلی‌آمین‌ها بر افزایش پروتئین برگ در شرایط تنش سرما، با نتایج بررسی اثر اسپرمین و اسپرمیدین بر افزایش مقدار پروتئین گیاه بادمجان تحت تنش سرما نسبت به شاهد مشابه دارد (Yan-ping *et al.*, 2010). اسپرمیدین در تجزیه رادیکال‌های فعال اکسیژن نقش داشته و ماکرومولکول‌هایی مانند DNA و پروتئین را از این رادیکال‌های واکنش‌پذیر اکسیژن حفظ می‌کند (Kasukabe *et al.*, 2004). پیشنهاد گردیده اسپرمیدین احتمالاً با از بین بردن رادیکال‌های فعال اکسیژن در کاهش تجزیه و افزایش بیوسنتر پروتئین در برگ‌های گیاه فلفل نقش دارد (نوح پیشه و منوچهری کلانتری، ۱۳۹۰). هم‌چنین گزارش گردیده است در گیاهان گوجه‌فرنگی و فلفل پس از تیمار با متیل جاسمونات و متیل‌سالیسیلات، مقاومت بافت‌ها به سرما را از طریق تحریک بیان ژن پروتئین-های شوک گرمایی افزایش یافت (جلیلی مرندی، ۱۳۸۹؛ Horvath *et al.*, 2004).

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان: نتایج نشان داد در تمام تیمارها فعالیت آنزیم کاتالاز در برگ گیاه بامیه تحت تنش سرما نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌دار داشت (جدول ۱)، درحالی‌که فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در تیمارهای اسپرمین و اسپرمیدین تنها نسبت به پیش‌تیمار بذر با آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت افزایش معنی‌دار داشت. اثر تنش سرما بر افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در سایر گیاهان نیز گزارش گردیده است (Tasgin *et al.*, 2006). در شرایط تنش دمای پایین به علت تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در محیط سلول، احتمال وقوع تنش اکسیداتیو (به عنوان تنش ثانویه) وجود دارد که باعث اختلال در اعمال فیزیولوژیک سلول می‌شود. گیاهان برای خنثی کردن اثر سمی رادیکال‌های فعال اکسیژن، از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و یا افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی استفاده می‌کنند (Chen *et al.*, 2006). فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در ارقام مقاوم به سرما ذرت، برنج،

منابع:

جعفری، ر..، منوچهری کلانتری، خ. و ترک‌زاده، م. (۱۳۸۵) بررسی اثرات پاکلوبوترازول بر افزایش مقاومت به سرما در نهال‌های

- گوجه‌فرنگی، مجله زیست‌شناخت ایران ۱۹: ۲۹۰-۲۹۸.
- جعفری، ر.، منوچهری کلانتری، خ. و احمدی موسوی، ع. (۱۳۸۶) اثر پاکلوبوترازول بر تجمع آنتی‌اکسیدان‌ها در نهال‌های گوجه-فرنگی تحت تنفس سرما، مجله زیست‌شناخت ایران ۲۰: ۲۱۶-۲۰۶.
- جلیلی مرندی، ر. (۱۳۸۹) فیزیولوژی تنفس در گیاهان با غبانی. انتشارات جهاد دانشگاهی ارومیه. ۱۱۰۰ صفحه.
- دانشور، م. ح. (۱۳۸۷) پژوهش سبزی، اهواز، انتشارات دانشگاه شهید چمران. ۴۶۱ صفحه.
- قربانی، خ.، ساطعی، م. و مقیسه، ا. (۱۳۸۲) اثر مقادیر متفاوت شوری بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و نیترات ردوکتاز در ریشه و برگ‌های ارقام کلزا، مجله پژوهش و سازندگی ۴۳: ۱۶۰-۱۵۳.
- نوح پیشه، ز. و منوچهری کلانتری، خ. (۱۳۹۰) اثرات کاربرد متقابل اسپرمیدین و تنفس شوری در گیاه فلفل، مجله زیست‌شناخت ایران ۲۴: ۸۵۷-۸۴۸.
- Alcazar, R., Marco, F., Cuevas, J. C., Patron, M., Ferrando, A., Carrasco, P., Tiburcio, A. F. and Altabella, T. (2006) Involvement of polyamines in plant response to abiotic stress. *Biotechnology Letters* 28: 1867-1876.
- Allen, D. J. and Ort, D. R. (2001) Impacts of chilling temperatures on photosynthesis in warm-climate plants. *Trends In Plant Science* 6:36-41.
- Aminigo, E. R. and Akingbala, J. O. (2004) Nutritive composition and sensory properties of ogi fortified with okra seed meal. *Journal of Applied Science and Environment* 8: 23-28.
- Arfan, M., Athar, H. R. and Ashraf, M. (2007) Does exogenous application of salicylic acid through the rooting medium modulate growth and photosynthetic capacity in two differently adapted spring wheat cultivars under salt stress. *Journal of Plant Physiology* 164: 685-694.
- Arnone, D. T. (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol oxidase in beta vulgaris. *Plant Physiology* 24: 1-15.
- Ashraf, M. and Foolad, M. R. (2007) Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany* 59: 206-216.
- Bakalova, S., Nikolova, A. and Nedeva, D. (2004) Isoenzyme profiles of peroxidase, catalase and superoxide dismutase as affected by dehydration stress and ABA during germination of wheat seeds. *Journal of Plant Physiology* 30: 64-77.
- Bates, L. S. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil* 39: 205-207.
- Bhattacharjee, S. (2005) Reactive oxygen species and oxidative burst: Role in stress, senescence and signal transduction in plants. *Journal of Current Science* 89: 1113-1121.
- Bradford, M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. *Annual Biochemistry* 72: 248-254.
- Chen, Y., Zhang, M., Chen, T., Zhang, Y. and An, L. (2006) The relationship between seasonal changes in anti-oxidative system and freezing tolerance in the leaves of evergreen woody plants of *Sabina*. *South Afrcan Journal of Botany* 72: 272-279.
- El-Khallas, S. M., Hathout, T. A., Ashour, A. A. and Kerrit, A. A. (2009) Brassinolide and salicylic acid induced growth, biochemical activities and productivity of maize plants grown under salt stress. *Journal of Agriculture and Biological Science* 5: 380- 390.
- erslues, P.E., Agrawal, M., Katiyar-Agrwal, S., Zhu, J., and Zhu, J. K. (2006) Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. *The Plant of Journal* 45:523-539.
- Esfandiari, E., Shekari, F. and Esfandiari, M. (2007) The effect of salt stress on antioxidant enzymes' activity and lipid peroxidation on the wheat seedling. *Journal of Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 35: 48-56.
- Farooq, M., Aziz, T., Rehman, H., Rehman, A., Alam, S. and Aziz, C.T. (2011) Evaluating surface drying and re-drying for wheat seed priming with polyamines: effects on emergence, early seedling growth and starch metabolism. *Acta Physiolca Plantarum* 33: 1707-1713.
- Farooq, M., Shahzad, M. A., Basra, H. and Rehman, M. (2008) Seed priming with olyamines improves the germination and early seedling growth in fine rice. *Journal of New Seed* 9: 145-155.
- Groppa, M. D. and Benavides, M. P. (2008) Polyamines and abiotic stress: recent advances.
- Gusta, L.V., Trischuk, R. and Weiser, C. J. (2005) Plant cold acclimation: the role of abscisic acid. *Journal of Plant Growth Regulation* 24: 308 - 318.
- Hayata, Q., Hayat, S., Irfan, M. and Ahmad, A. (2010) Effect of exogenous salicylic acid under changing environment. *Environmental and Experimental Botany* 68: 14-25.

- Heidarvand, L. and Maali Amiri, R. (2010) What happens in plant molecular responses to cold stress. *Acta Physiogae Plantarum* 32: 419–431.
- Horvath, E., Szalai, G. and Janda, T. (2007) Induction of abiotic stresses tolerance by salicylic acid signaling. *Journal of Plant Growth Regulation* 26: 290 – 300.
- Hsanuzzaman, M., Nahar, K. and Fujita, M. (2013) Extreme temperature responses, oxidative stress and antioxidant defense in plants. *Abiotic Stress - Plant Responses and Applications in Agriculture* 169 - 204.
- Hussein, M. M., EL-Gereadly, H. M. and EL-Desuki, M. (2006) Role of putrescine in resistance to salinity of pea plants (*Pisum sativum* L.). *Applied Science Research* 2: 598- 604.
- Irigoyen, J.J., Emerich, D. W. and Sanchez-Diaz, M. (1992) Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa* L.) plants. *Plant Physiology* 84: 55-60.
- Janda, T., Kosa, E. L., Szalai, G. and Paldi, E. (2005) Investigatin of antioxidant activity of maize during low temperature stress. *Journal of Plant Physiology* 49: 53-54.
- Janda, T., Szalai, G., Tari, I. and Paldi, E. (1999) Hydroponic treatment with salicylic acid decreases the effects of chilling injury in maize (*Zea mays* L.) plants. *Planta* 208: 175 - 180.
- Johari Pirevatlou, M. (2010) Effect of soil water stress on yield and proline content of four wheat lines. *African Journal of Biotechnology* 9: 036 – 040.
- Kara, M. and Mishra. (1976) Catalase, peroxidase and polyphenol oxidase activities rice leaf senescence. *Plant Physiology* 57:315.
- Kasukabe, Y., He, L., Nada, K., Misawa, S., Ihara, I. and Tachibana, S. (2004) Overexpression of spermidine synthase enhances tolerance to multiple environmental stresses and up-regulated genes in transgenic *Arabidopsis Thaliana*. *Plant Cell Physiology* 45: 712–7.
- Misra, A. and Srivastava, N. K. (2000) Influence of water stress on Japanese mint. *Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants* 7: 51-58.
- Nemeth, M., Janda, T., Horvarth, E., Paldi, E. and Szali, G. (2002) Exogenous salicylic acid increases polyamine content but may decrease drought tolerance in maize. *Plant Science* 162: 569-574.
- Pennycooke, J. C., Cox, S. and Stushnoff, C. (2004) Relatiohsip of cold acclimation, total phenolic content and antioxidant capacity with chilling tolerace in petunia (*Petunia hybrida*). *Journal of Environmental and Experimental Botany* 53: 225-232.
- Rafique, N., Raza, S.H., Qasim, M. and Iqbal, N. (2011) Pre-sowing application of ascorbic acid and salicylic acid to seed of pumpkin and seedling and seedling response to salt. *Pakistan Journal of Botany* 43: 2677-2682.
- Rahimizadeh, M., Habibi, D., Madani, H., Mohammadi, H., Mehraban, A. and Sabet, A. M. (2007) The effect of micronutrients on antioxidant enzymes metabolism in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress. *Journal of Helia* 47: 167-174.
- Redmann, R. E., Haraldson, J. and Gusta, L. V. (1986) Leakage of UV-absorbing substances as a measure of salt injury in leaf tissue of woody species. *Physiologia Plantarum* 67: 87-91.
- Sakhabutdinova, A. R., Fatkhutdinova, D. R., Bezrukova, M. V. and Shakirova, F. M. (2003) Salicylic acid prevents the damaging action of stress factors on whea plants. *Bulgarian Journal of Plant Physioogy (Special Issue)*: 314-319.
- Sayyari, M., Ghanbari, F., Fatahi, S. and Bavandpour, F. (2013) Chilling tolerance improving of watermelon seedling by salicylic acid seed and foliar application. *Notulae Scientia Biologicae* 5: 67-73.
- Seppanen, M. M. (2000) Characterize of freezing tolerance in *Solanum (Commersonii dun.)* with special reference of the relationship between and oxidative stress. *University of Helsinki Department of Production Section of Crop Husbandry* 56:4-44.
- Szalai, G., Tari, I., Janda, T., Pestenácz, A. and Pálđi, E. (2000) Effects of cold acclimation and salicylic acid on changes in ACC and MACC contents in maize during chilling. *Biology Plant* 43: 637-640.
- Tasgin, E., Atici, O., Nalbantoglu, B. and Petrova, L. (2006) Effects of salicylic acid and cold treatment on protein levels and on the activities of antioxidant enzymes in the apoplast of winter wheat leaves. *Journal of Phytochemistry* 67: 710-715.
- Vazirimehr, M.R. and Rigi, K. 2014. International Journal of Plant, Animal and Environmental sciences 4: 291-296.
- Waseem, M., Ur-Rehman Athar, H. and Ashraf, M. 2006. Effect of salicylic acid applied through rooting medium on drought tolerance of wheat. *Pakistan Journal of Botany* 38(4): 1127-1136.
- Yadeghari, L. Z., Heidari, R. and Carapetian J. (2008) The influence of cold acclimation on proline, malondialdehyd (MDA), Total protein and pigments contents in soybean (*Glycine max*) seedlings. *Research Journal of Biological Sciences* 3(1): 74-79.
- Yan-ping, Z., Hai-he, L., Shu-xing, S., Cheng-he, Z. and Xin-e, H. (2010) Effect of polyamine priming on seed vigor and seedling chilling tolerance in eggplant. *Acta Horticulturae Sinica* 37: 1783–1788.
- Yong, Z., Hao-Ru, T. and Ya, L. (2008) Variation in antioxidant enzyme activities of two strawbreey cultivars with short-term low temperature stress. *Journal of Agricultural Sciences* 4: 456-462.
- Yuan, S. and Lin, H.H. (2008) Role of salicylic acid in plant abiotic stress. *Z. Naturforsch* 63: 313-320.

Effects of seed priming with Salicylic acid and polyamines on physiological and biochemical characteristics of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) under low temperature stress

Somayeh bahadoori¹, Behrooz esmaelpour^{1*}, Mokhtar heidari², Surur khorramdel³, Parisa shiekhzadeh mosadegh⁴, Nasibeh tavakoli-hassankeloo⁴ and Alireza Ghanbari¹

¹Horticultural Science, Faculty of Agricultural Science, Mohaghegh Ardabili University,
²Horticultural Science, Faculty of Agricultural Science, Ramin University, ³Agronomy, Faculty of Agricultural Science, Ferdoosi Mashhad University, ⁴Agronomy, Faculty of Agricultural Science, Mohaghegh Ardabili University

(Received: 16 March 2015, Accepted: 11 November 2015)

Abstract:

Low temperature stress is one of the limiting environmental factors for development of okra cultivation and production. In order to investigate the effects of seed priming by plant growth regulators (such as salicylic acid, spermine and spermidine) on some physiological and biochemical characteristics of okra (*Abelmoschus esculentus* cv. Basenti) under low temperature stress, a completely randomized design was conducted with three replications during 2014. Experimental treatments included priming of okra seeds with distilled water, 0.1 mM concentration of Salicylic Acid, 0.5 mM of Spermine and Spermidine and control (non-primed seeds). Seedlings with primed and none-primed seeds were kept in greenhouse until six-leaf growth stage then seedlings subjected were to low temperature stress (8°C temperature for 270 minutes on four consecutive days). After exposing the seedling to low temperature stress photosynthetic pigments, total carbohydrates, protein, proline, antioxidant enzyme activity, membrane integrity and chlorophyll contents of leaves of okra were measured. Results indicated that the lowest forionic leakage (10 percent) was achieved by seed priming with Spermin. The highest value for total chlorophyll (17.24 mg/g leaf fresh weight), proline (2.9 µg/g leaf fresh weight), total carbohydrate (1.02 mg/g leaf fresh weight) and catalase enzyme activity (22.6 variation in absorbance mg leaf fresh weight) was obtained by seed priming with salicylic acid. Also, the highest amount of protein (204.5 mg/g leaf fresh weight), and poly phenol oxidase enzyme activity contents (91 variation in absorbance mg leaf fresh weight) were observed in seed priming by Salicylic Acid and Spermine. Seed priming by salicylic acid and polyamines increased soluble carbohydrates, proline, antioxidant enzymes activity contents, which enhanced memberane integrity and decreased membrane damages. With considering the improved seedlings treated by Salicylic Acid at low tempertature, it suggested that priming with different Salicylic Acid concentrations and Plyamyns to be studied for plant resistance improvement at low temperatures in Okra.

Keywords: Antioxidant enzyme, Ionic leakage, Low temperature stress, Proline, Salicylic Acid, Spermine.

*corresponding author, Email: bsmaielpoor2008@gmail.com