جهت تهیه فایل WORD این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 12, No. 4, Winter. 2015, p. 718-726

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۲، شماره ۴ ، زمستان ۱۳۹۳، ص. ۷۲۶-۷۱۸

ارزیابی برهمکنش اسید سالیسیلیک و دمای بالا بر برخی صفات فیزیولوژیک ذرت (*Zea mays* L.)

محمود عطارزاده[۱*] - بنیامین ترابی[۲] - شهاب مداح حسینی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۵/۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۳/۴

چکیده

به منظور بررسی تاثیر برهمکنش اسید سالیسیلیک و گرما روی خصوصیات فیزیولوژیک ذرت (رقم سینگل کراس ۷۰۴)، آزمایش گلدانی در گلخانه دانشگاه ولی عصر رفسنجان انجام گرفت. این آزمایش به صورت فاکتوریل دو عاملی، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل پیش تیمار هورمون اسید سالیسیلیک در ۴ سطح غلظت صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومول و فاکتور دوم شامل اعمال تنش گرما با درجه حرارت ۴۰ درجه سانتی‌گراد در ۴ بازه‌ی زمانی صفر، ۸، ۱۶ و ۲۴ ساعت بود که به گیاهچه‌ها اعمال شدند. نتایج نشان داد که تیمار ۵۰ و ۱۰۰ میکرومول اسید سالیسیلیک باعث افزایش معنی‌داری در شاخص اسپد برگ ذرت گردیده است، اما کمترین اسپد در تیمار شاهد و ۲۰۰ میکرومول اسید سالیسیلیک بدست آمد. تیمار ۵۰ میکرومول اسید سالیسیلیک، با افزایش تنش گرما منجر به افزایش محتوای کلروفیل a، b و a+b ذرت گردید، اما در شرایط ۲۰۰ میکرومول اسید سالیسیلیک عکس این اتفاق مشاهده شد، به‌طوری‌که با افزایش مدت زمان تنش گرما منجر به کاهش کلروفیل a و a+b ذرت گردید. تیمارهای اسید سالیسیلیک و گرما، نتوانست نسبت Fv/Fm برگ و محتوای قند محلول ذرت را تحت تاثیر قرار دهد. تیمار ۲۰۰ میکرومول اسید سالیسیلیک باعث کاهش معنی‌داری در محتوای نسبی آب برگ ذرت گردید و افزایش مدت زمان تنش گرما، باعث افزایش معنی‌داری در محتوای نسبی آب برگ ذرت گردید. همچنین افزایش تنش گرما منجر به افزایش دمای برگ و محتوای پرولین گردید، به‌طوری‌که بیشترین میزان آن در تیمار ۲۴ ساعت تنش گرما بدست آمد.

واژه های کلیدی: دمای برگ، ذرت، کلروفیل، محتوای نسبی آب

مقدمه

اسید سالیسیلیک گروهی از هورمون‌های گیاهی است که به وسیله سلول‌های ریشه و میکروارگانیسم‌های مختلف تولید شده و به اشکال مختلف در هوا، سطح برگ و اطراف سلول‌های ریشه وجود دارد (۱۰). اسید سالیسیلیک یک ترکیب فنل طبیعی و از تنظیم کننده‌های درون‌زای رشد می‌باشد. ترکیبات فنلی، به عنوان موادی شناخته شده‌اند که دارای یک حلقه آروماتیک همراه با یک گروه هیدروکسیل یا مشتقات فعال آن می‌باشند. اسید سالیسیلیک در سراسر سلسله گیاهی به طور وسیعی پراکنده شده و در بیش از ۳۴ گونه گیاهی شناسایی شده است (۲۵). اسید سالیسیلیک نقش محوری در تنظیم فرایندهای فیزیولوژیکی مختلف مثل بسته شدن روزنه، افزایش میزان فتوسنتز و محتوای کلروفیل، ایفا می‌کند (۱۰). اسید سالیسیلیک گسترش، تقسیم و مرگ سلولی را تنظیم کرده، و در واقع بین رشد و پیری تعادل ایجاد می‌نماید (۲۴). اسید سالیسیلیک و دیگر سالیسیلات‌ها بر روی فعالیت‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی مختلف گیاهان اثر گذاشته و ممکن است نقش کلیدی در تنظیم رشد داشته باشند (۵). بسیاری از بررسی‌های انجام شده نشان داده است که کاربرد اسید سالیسیلیک به صورت خارجی در گیاهان تحت تنش می‌تواند اثرات تخریبی ناشی از تنش‌ها را کاهش دهد و فرآیندهای رشد را سریعا به حالت اول برگرداند (۱۶). در واقع اسید سالیسیلیک در تنش‌های محیطی نقش محافظتی داشته و موجب بهبود روند رشد در گیاه می‌شود (۱۱).

تنش گرمایی از مهم‌ترین پدیده‌های زیان بخش جوی است که مشکلات بسیاری را برای محصولات کشاورزی ایجاد می‌کند. تنش گرمایی باعث برخی تغییرات متابولیکی و در نهایت باعث از بین رفتن گیاه می‌شود. تنش گرمایی تابع پیچیده‌ای از شدت، مدت زمان و

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استادیاران گروه زراعت، دانشگاه ولی عصر رفسنجان
(*- نویسنده مسئول: Email: Attarzadeh2012@yahoo.com)

جهت تهیه فایل WORD این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

سرعت افزایش دما بوده و بستگی به احتمال دوره‌ای داشته که در آن دمای بالا اتفاق می‌افتد (۳). حفظ کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ تحت شرایط تنش از جمله شاخص‌های فیزیولوژیکی مقاومت به تنش است (۲۲). غلظت کلروفیل به عنوان یک شاخص برای ارزیابی قدرت منبع شناخته می‌شود، زیرا غلظت کلروفیل برگ‌ها یکی از عوامل کلیدی در تعیین سرعت فتوسنتز و تولید ماده خشک می‌باشد (۱۲). لذا کاهش آن در شرایط تنش می‌تواند به عنوان یک عامل محدود کننده غیر روزنه‌ای در فتوسنتز به حساب آید (۱۳). یکی از صفات فیزیولوژیک دیگر در شرایط تنش‌های محیطی اندازه‌گیری ترکیبات آلی می‌باشد، به‌طوری‌که گیاهان در تنش‌های محیطی از قبیل خشکی، شوری، گرما و غیره با ذخیره مواد تنظیم کننده اسمزی با این تنش‌ها مقابله می‌کنند. مواد تنظیم کننده اسمزی بیش‌تر شامل اسیدهای آمینه، قندها و برخی از یون‌های معدنی، هورمون‌ها و پروتئین‌ها هستند (۴). یکی از مهم‌ترین قندهای محلول مانیتول و سوربیتول می‌باشد، البته گیاه برای تولید این قندها انرژی زیادی مصرف می‌کند و در نتیجه رشد اندام‌های هوایی گیاه کاهش می‌یابد (۲۱). عمل فیزیولوژیک این قندها ممانعت از اتصال بین غشاهای مجاور هم در طول دوره تنش از طریق نگهداری لیپیدها در حالت سیالیت و پایداری پروتئین‌ها از طریق ایجاد پیوندهای هیدروژنی با دنباله‌های خطی پروتئین می‌باشد (۸). پرولین یکی از اسید آمینه‌های فعال در پدیده تنظیم اسمزی می‌باشد که در ایجاد و حفظ فشار اسمزی درون گیاه نقش بسزایی دارد. تجمع پرولین در تمام اندام‌های گیاه طی تنش وجود دارد. اما میزان تجمع آن در برگ‌ها سریع‌تر و بیش از سایر اندام‌ها می‌باشد. پرولین اسید آمینه‌ی ذخیره شده در سیتوپلاسم می‌باشد و احتمالا در حفاظت از ساختمان ماکرومولکول‌ها و هیدروکسی پرولین نیز در سنتز دیواره سلولی نقش دارد. پرولین از جمله ترکیبات آلی با وزن مولکولی کم است که به عنوان محافظ اسمزی از پروتئین‌های سلولی محافظت می‌کند. (۱). از آنجایی که تنش درجه حرارت بالا عامل محدود کننده‌ای برای بسیاری از گیاهان زراعی محسوب می‌شود، از طرف دیگر با توجه به گزارش‌هایی مبنی بر اثرات مثبت اسید سالیسیلیک به عنوان یک القا کننده افزایش تحمل به گرما، در پژوهش حاضر تصمیم گرفته شد تا خصوصیات فیزیولوژیک ذرت (*Zea mays* L.) در ارتباط با تاثیر پیش تیمار اسید سالیسیلیک در شرایط تنش گرما بررسی گردد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی عصر رفسنجان انجام گرفت. فاکتور اول شامل پیش تیمار هورمون اسید سالیسیلیک در چهار سطح صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومول و فاکتور دوم شامل اعمال تنش گرما با درجه حرارت ۴۰ درجه سانتی‌گراد در ۴ بازه‌ی زمانی صفر، ۸، ۱۶ و ۲۴ ساعت بود. ابتدا بذرهای ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ با هیپوکلریت سدیم ۱۰٪ به مدت ۱۵ دقیقه ضد عفونی و بعد چندین بار با آب مقطر استریل شستشو شدند. بذرها در محلول‌های اسید سالیسیلیک با غلظت مشخص در دمای $25\pm1^{\circ}C$ به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی خیسانده شدند. بعد از اعمال پیش تیمار بذرها، چند بار با آب مقطر استریل شستشو داده شدند و در نهایت در گلدان‌هایی در عمق ۱/۵ سانتی‌متری کشت شدند. بستر کشت شامل کوکوپیت، پرلیت و ماسه بادی بود که به ترتیب به نسبت ۱:۲:۱ با هم مخلوط شده و در گلدان‌ها ریخته شدند. از زمان کشت بذرها، آبیاری گلدان‌ها با آب مقطر صورت گرفت. در مرحله چهار برگی گیاهچه‌ها، برای هر تیمار به طور جداگانه به اتاقک رشد با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد در مدت زمان مشخص جهت اعمال تیمار گرما منتقل شدند. جهت اندازه‌گیری عدد اسپد یا شاخص سبزینگی، از هر گلدان ۵ برگ انتخاب و میزان سبزینگی با دستگاه SPAD-502 قرائت شد. برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل از دستگاه Chlorophyll Fluorimeter مدل Hansatech LTD Pocket PEA استفاده شد. به این منظور برگ‌های گیاهان به مدت ۱۵ دقیقه جهت سازگاری به تاریکی به وسیله گیره‌های مخصوص از تابش نور خورشید محافظت شدند. بعد از گذشت ۱۵ دقیقه سنسور دستگاه داخل گیره‌ها قرار داده شد و میزان فلورسانس کلروفیل برگ‌ها توسط دستگاه ثبت شد. عدد حاصل از این دستگاه نشان دهنده میزان بازدهی فتوسنتزی فتوسیستم دو یا همان Fv/Fm (نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر) می‌باشد. میزان کلروفیل a، b و a+b با استفاده از روش آرنون، (۶) با نمونه‌گیری تصادفی از برگ‌های بالغ و عصاره‌گیری با استون صورت گرفت. میزان جذب نور عصاره تهیه شده از نمونه ها در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Cintra 5, Australia) قرائت شد. جهت اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، از روش ویدرلی (۲۹) استفاده شد. اندازه‌گیری دمای برگ با استفاده از دماسنج مادون قرمز (Testo 810, Germany) در گیاهچه‌های گرما دیده پس از انتقال به گلخانه و در زمان دو روز پس از تنش گرما انجام شد. به منظور اندازه‌گیری میزان قند محلول، در نمونه‌های حاصل از برگ گیاه از روش نلسون (۱۹) استفاده شد و با توجه به منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های مختلف گلوکز، میزان قند محلول تعیین گردید. میزان پرولین برگ با استفاده از روش بیتس و همکاران (۷) اندازه‌گیری شد و نهایتا میزان پرولین برگ، با توجه به منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های مختلف پرولین، بر اساس واحد میکرومول بر گرم وزن تازه برگ تعیین شد. محاسبات آماری داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از رویه Proc GLM نرم افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

جهت تهیه فایل WORD این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شاخص سبزینگی برگ ذرت نشان داد که تنها اثر پیش تیمار اسید سالیسیلیک معنی‌دار بود (جدول ۱). تغییرات شاخص سبزینگی برگ ذرت ابتدا پس از یک روند افزایشی، با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک روند کاهشی را نشان داد، به‌طوری‌که تیمار ۵۰ و ۱۰۰ میکرومول اسید سالیسیلیک باعث افزایش معنی‌دار شاخص سبزینگی برگ ذرت شده است اما کمترین اسپد در تیمار شاهد و ۲۰۰ میکرومول اسید سالیسیلیک به دست آمد (شکل ۱). غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میکرومول اسید سالیسیلیک می‌تواند تاثیر مثبتی بر شاخص کلروفیل داشته باشد و به عنوان راهکار مناسبی جهت سازگاری گیاه به تنش استفاده شود، اگرچه با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک، تاثیری عکس داشت که نشان دهنده‌ی تاثیر متفاوت غلظت‌های تیمارهای اسید سالیسیلیک روی ذرت باشد. به نظر می‌رسد که کاربرد منابع خارجی اسید سالیسیلیک دارای اثرات مثبت و منفی بر گیاهان می‌باشد که به غلظت آن بستگی دارد. غلظت‌های بالاتر از آستانه تحمل اسید سالیسیلیک در گیاهان، سبب ایجاد اختلال شده و اثر بازدارندگی بر رشد و نمو گیاهان دارد (۲۷).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به نسبت Fv/Fm برگ ذرت نشان داد که اثر پیش تیمار اسید سالیسیلیک و گرما و برهمکنش آن‌ها نتوانست نسبت Fv/Fm برگ این گیاه را تحت تاثیر قرار دهد (جدول ۱). جریان الکترون در فتوسیستم شاخصی برای میزان کلی فتوسنتز می‌باشد و اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل تخمینی از نحوه عمل فتوسنتز را برای ما امکان پذیر می‌سازد. در واقع بررسی وضعیت فتوسنتز، یک معیار قابل قبول برای ارزیابی میزان سازگاری گیاهان نسبت به محیط اطرافشان می‌باشد. با توجه به نتایج این آزمایش، به نظر می‌رسد دلیل تحت تاثیر قرار نگرفتن فلورسانس کلروفیل، کافی نبودن غلظت پیش تیمار اسید سالیسیلیک و گرما و یا اینکه عدم تاثیر آنها بر روی این گیاه دانست. اما در تحقیقات دیگر توسط محققان تاثیر مثبت اسید سالیسیلیک بر کارایی نسبت Fv/Fm برگ خیار (*Cucumis sativus* L.) تحت تنش گرما (۲۷)، کنف (*Hibiscus cannabinus* L) تحت تنش کادمیوم (۲۶) و لوبیا (*Phasaeolous vulgaris*) تحت تنش خشکی (۱۸) گزارش شده است.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به کلروفیل a ذرت نشان داد که اثر پیش تیمار اسید سالیسیلیک و اثر متقابل اسید سالیسیلیک و گرما معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در شرایط ۵۰ میکرومول اسید سالیسیلیک، افزایش تنش گرما منجر به افزایش کلروفیل a ذرت گردید، به‌طوری‌که بیشترین میزان کلروفیل a در تیمار ۲۴ ساعت تنش گرما مشاهده شد، هر چند که با تیمار ۱۶ ساعت تنش گرما مشاهده نگردید (شکل ۲). همچنین در شرایط ۲۰۰ میکرومول اسید سالیسیلیک بیشترین میزان کلروفیل a در گرمای ۸ ساعت و کمترین آن در شرایط ۲۴ ساعت تنش گرما مشاهده شد (شکل ۲). نتایج به دست آمده دیگر حاکی از این است که میزان کلروفیل a ذرت در شرایط ۱۰۰ میکرومول اسید سالیسیلیک و شاهد تغییرات قابل توجهی در تیمارهای مختلف گرما صورت نگرفته است (شکل ۲). نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تنها اثر متقابل اسید سالیسیلیک و گرما کلروفیل b ذرت را تحت تاثیر خود قرار داد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در غلظت ۵۰ میکرومول اسید سالیسیلیک، افزایش تنش گرما منجر به افزایش کلروفیل b ذرت گردید، به‌طوری‌که بیشترین میزان کلروفیل b در تیمار ۲۴ ساعت تنش گرما مشاهده شد، هر چند که با تیمار ۱۶ ساعت اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (شکل ۳). نتایج به دست آمده دیگر حاکی از این است که میزان کلروفیل b ذرت در شرایط ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومول اسید سالیسیلیک و بدون اسید سالیسیلیک تغییرات قابل توجهی در تیمارهای مختلف گرما صورت نگرفته است (شکل ۳). نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به کلروفیل a+b ذرت نشان داد که اثر پیش تیمار اسید سالیسیلیک و گرما و اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در غلظت ۵۰ میکرومول اسید سالیسیلیک، افزایش تنش گرما منجر به افزایش کلروفیل a+b ذرت گردید، به طوری‌که بیشترین میزان کلروفیل a+b در تیمار ۲۴ ساعت تنش گرما مشاهده شد هر چند که با تیمار ۱۶ ساعت اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (شکل ۴). اما در شرایط ۲۰۰ میکرومول اسید سالیسیلیک عکس این اتفاق مشاهده شد، به‌طوری‌که افزایش تنش گرما منجر به کاهش کلروفیل a+b ذرت گردید و تیمار ۲۴ ساعت تنش گرما منجر به کاهش کلروفیل a+b گردید. نتایج بدست آمده دیگر حاکی از این است که میزان کلروفیل a+b ذرت در شرایط تیمار شاهد و ۱۰۰ میکرومول اسید سالیسیلیک تغییرات قابل توجهی در تیمارهای مختلف گرما صورت نگرفته است (شکل ۴). به نظر می‌رسد که برهمکنش غلظت ۵۰ میکرومول اسید سالیسیلیک همراه با افزایش گرما می‌تواند باعث تاثیر مثبتی بر ساختمان کلروفیل شود و به عنوان راهکار مناسبی جهت افزایش محتوای کلروفیل تحت تنش گرما استفاده گردد، هر چند که افزایش گرما در غلظت ۲۰۰ میکرومول اسید سالیسیلیک تاثیر منفی بر گیاه داشت، که نشان دهنده‌ی تاثیر متفاوت غلظت‌های تیمارهای اسید سالیسیلیک روی ذرت می‌باشد. ساخت کلروفیل یکی از فرایندهای حساس به دما محسوب می‌شود و به همین جهت در شناخت و بررسی تاثیر تنش گرما بر روی گیاهان از آن استفاده می‌شود (۲). نتایج محققان حاکی از این است که پرایمینگ بذر گندم (*Triticum aestivum*) در غلظت اسید سالیسیلیک ۳-۱ میلی‌مولار منجر به

حفاظت و جلوگیری از تخریب ساختمان کلروفیل در مقایسه با گیاهچه‌های تیمار نشده در شرایط تنش می‌شوند (۲۸). تاثیر محافظتی اسید سالیسیلیک روی ساختمان کلروفیل تحت تنش‌های محیطی، در مطالعه‌های مختلف به آن‌ها اشاره شده است (۱۰، ۱۵و ۲۳).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به محتوای نسبی آب برگ ذرت نشان داد که اثر پیش تیمار اسید سالیسیلیک و گرما معنی‌دار بود ولی این صفت تحت تاثیر اثر متقابل عوامل آزمایشی قرار نگرفت (جدول ۲). تغییرات محتوای نسبی آب برگ ذرت با افزایش سطوح مختلف گرما روند افزایشی را نشان می‌دهد، به‌طوری‌که بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ در تیمار ۲۴ ساعت تنش گرما مشاهده شد، هر چند که بین تنش گرمای ۱۶ و ۲۴ ساعت اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۵- الف). روند تغییرات محتوای نسبی آب برگ ذرت نشان داد که تیمار ۲۰۰ میکرومول اسید سالیسیلیک باعث کاهش معنی‌داری در محتوای نسبی آب برگ ذرت گردید و از طرف دیگر بین سطوح مختلف اسید سالیسیلیک اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (شکل ۵- ب). به نظر می‌رسد تیمار ۲۰۰ میکرومول اسید سالیسیلیک تاثیر منفی بر محتوای نسبی آب برگ ذرت داشت، که نشان دهنده‌ی کاهش توانایی گیاه برای حفظ تورژسانس بافت و فعالیت‌های فیزیولوژیکی می‌باشد. احتمالا کاهش محتوای نسبی آب برگ به معنای کاهش وضعیت آب گیاه است که می‌تواند منجر به بسته شدن روزنه‌ها شود، در نتیجه دی‌اکسیدکربن لازم برای فتوسنتز فراهم نشود و گیاه کاهش رشد نشان دهد. تحقیقات به دست آمده توسط محققان نشان داد که پرایمینگ بذر گندم در غلظت اسید سالیسیلیک ۳-۱ میلی‌مولار منجر به تولید گیاهچه‌هایی با محتوای نسبی آب برگ بالاتری در مقایسه با گیاهچه‌های تیمار نشده در شرایط تنش می‌شود (۲۸).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به دمای برگ ذرت نشان داد که تنها اثر تنش گرما معنی‌دار بود (جدول ۲). تغییرات دمای برگ ذرت با افزایش مدت زمان تنش گرما روند افزایشی را نشان داد، بطوری‌که در تیمار شاهد، دمای برگ ۲۲/۹ سانتی‌گراد بود، اما افزایش مدت زمان تنش گرما باعث افزایش معنی‌داری در دمای برگ گردید. همچنین در تیمار ۲۴ ساعت تنش گرما، منجر به افزایش دمای برگ به میزان ۲۴/۵ سانتی‌گراد مشاهده گردید. لازم به ذکر است که بین تیمار شاهد و ۸ ساعت تنش گرما اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۶- الف). بالاتر بودن دمای برگ در اثر تنش گرما نشان دهنده افزایش تنفس گیاه می‌باشد و به عنوان معیاری در تحمل تنش در نظرگرفته می‌شود. به‌طور کلی دمای برگ نشان دهنده توازن بین میزان گرمای ورودی به گیاه و بازتابش امواج گرمایی از آن است و از این‌رو رابطه نزدیکی با سرعت تنفس و تولید ATP دارد (۲).

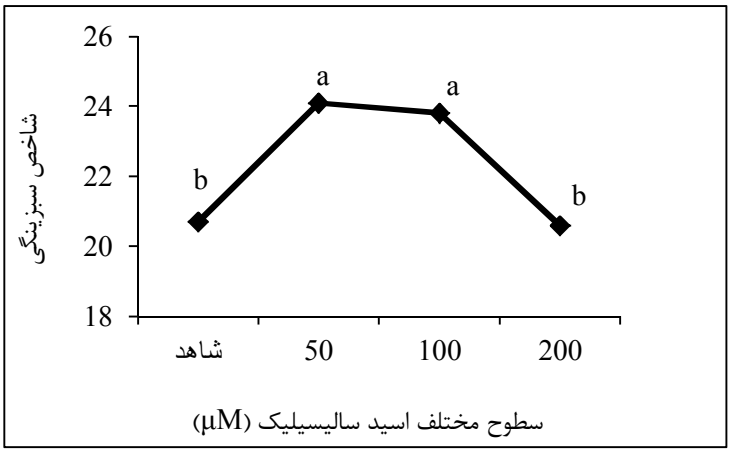
نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به محتوای قند محلول برگ ذرت نشان داد که اثر پیش تیمار اسید سالیسیلیک و گرما و اثر متقابل آن‌ها نتوانست محتوای قند محلول برگ این گیاه را تحت تاثیر قرار دهد (جدول ۲). عدم تاثیر معنی‌دار اسید سالیسیلیک، گرما و اثرات متقابل آن‌ها بر میزان قند محلول این گیاه شاید به علت مقاومت بالای این گیاه به شرایط تنش گرما باشد و یا گرمای اعمال شده در این آزمایش به اندازه‌ای نبوده که این مکانیزم در گیاه ذرت فعال شود. محتوای قند محلول ذخیره شده در اندام‌های رویشی در گونه‌های مختلف گیاهی طی تنش‌های محیطی متفاوت می‌باشد که می‌تواند به علت تفاوت ژنتیکی باشد (۲۰). این تفاوت‌ها می‌تواند در شرایط تنش، نتایج متفاوتی روی مواد تولید شده در گیاه داشته باشد. افزایش کربوهیدرات‌های محلول در اندام‌های رویشی، می‌تواند شرایط انطباق اسمزی گیاه تحت شرایط تنش را به نحو مطلوب‌تری فراهم سازد (۱۷).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به محتوای پرولین برگ ذرت نشان داد که تنها اثر تنش گرما معنی‌دار بود (جدول ۲). تغییرات پرولین برگ ذرت با افزایش مدت زمان تنش گرما روند افزایشی را نشان می‌دهد، به‌طوری‌که در تیمار شاهد، محتوای پرولین برگ ۰/۵ میکرومول در گرم برگ تازه بود، اما تیمار ۲۴ ساعت تنش گرما باعث افزایش معنی‌داری در محتوای پرولین برگ به میزان ۲ میکرومول در گرم برگ تازه ذرت گردیده است. هر چند که بین تیمار شاهد و ۸ ساعت تنش گرما اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۶- ب). اثر تنش گرما بر تجمع پرولین در تنباکو زراعی (*Nicutina tabaccum*) و گونه وحشی (*Nicotiana tabacum* L. cv. M51) مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که در مراحل اولیه تنش گرما (بعد از ۲ ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد)، تجمع پرولین در نوع وحشی افزایش یافته اما در گونه زراعی کاهش یافته است. اما بعد از ۶ ساعت از تنش گرما، موجب تحریک ژن‌های سنتز کننده‌ی پرولین می‌شود که در نتیجه تجمع پرولین در گونه زراعی، به ویژه در برگ‌های پایین‌تر مشاهده شد (۹). افزایش پرولین منجر به تنظیم اسمزی در طول تنش و حفظ ساختمان اولیهٔ ماکرومولکول‌ها و غشاءها در طول افزایش دهیدراسیون کمک می‌نماید، در نتیجه منجر به به بقاء فعالیت‌های سلولی می‌شود (۱۴).

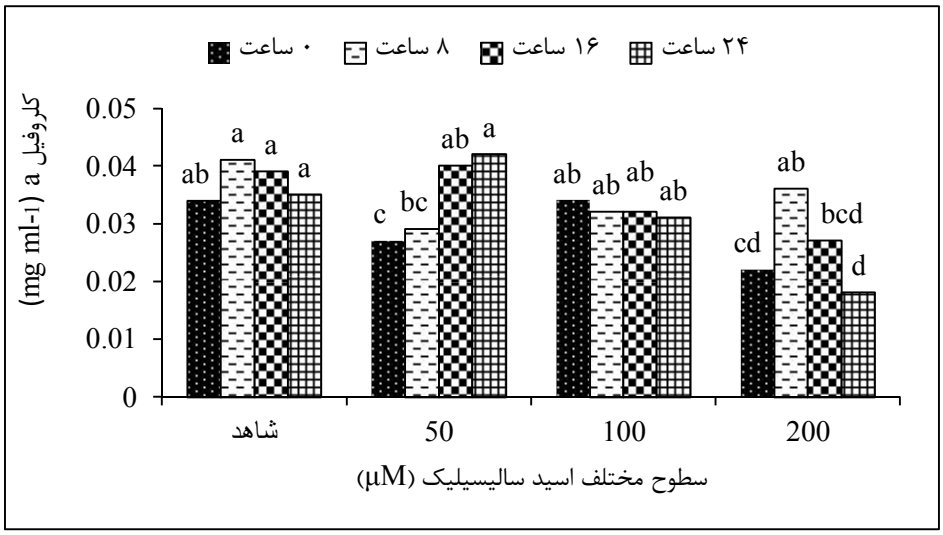
جدول۱- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) شاخص سبزینگی، نسبت Fv/Fm، غلظت کلروفیل a و b و a+b تحت تاثیر سطوح مختلف اسید سالیسیلیک و گرما

منابع تغییر	درجه آزادی	شاخص سبزینگی	نسبت Fv/Fm	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیلa+b
تکرار	۲	۲۳۱/۳ **	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۰۰۱ *	۰/۰۰۰۰۹ *	۰/۰۰۰۰۰۰۵ ns
اسید سالیسیلیک	۳	۴۵/۳ *	۰/۰۰۰۹ ns	۰/۰۰۰۲ **	۰/۰۰۰۰۰۳ ns	۰/۰۰۰۲ **
گرما	۳	۵/۶ ns	۰/۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۰۷ ns	۰/۰۰۰۰۰۷ ns	۰/۰۰۰۱ *
اسید سالیسیلیک × گرما	۹	۶/۱ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۱ **	۰/۰۰۰۰۰۵ *	۰/۰۰۰۱ **
خطا	۳۰	۱۳/۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۴
ضریب تغییرات	-	۱۶/۴	۱۱/۸	۱۸/۵	۱۳/۴	۱۳/۶

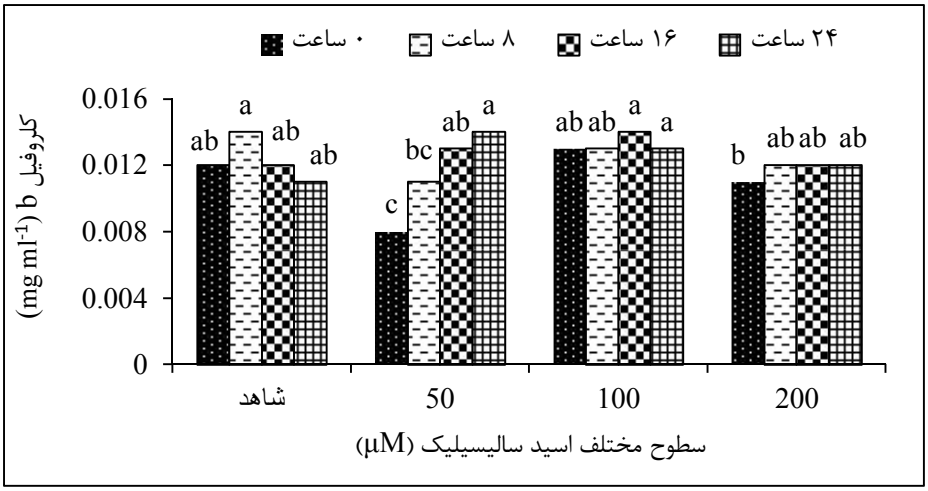
*، **- به ترتیب نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۰/۰۵ ، ۰/۰۱ و ns عدم تفاوت معنی دار



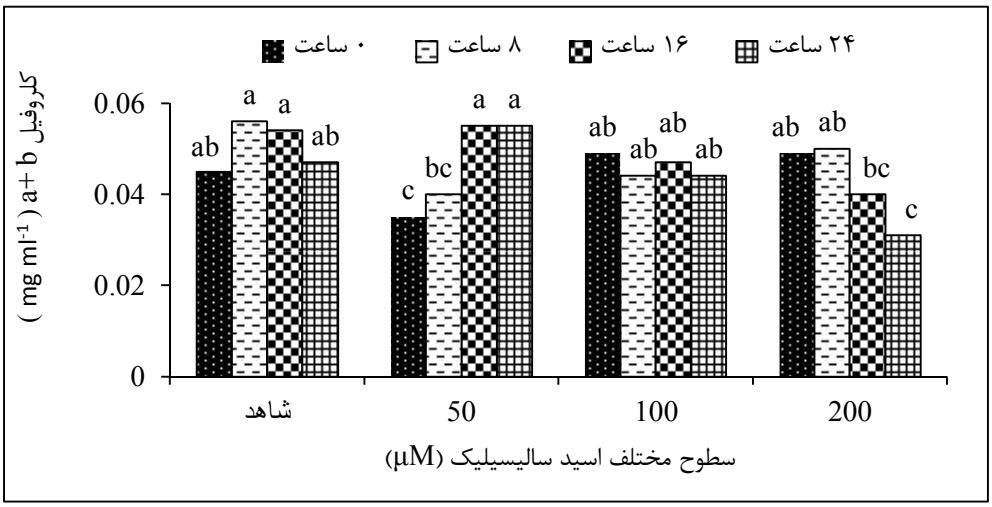
شکل ۱- تغییرات شاخص سبزینگی ذرت تحت سطوح مختلف اسید سالیسیلیک



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل اسید سالیسیلیک و گرما بر کلروفیل a ذرت



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل اسید سالیسیلیک و گرما بر کلروفیل b ذرت

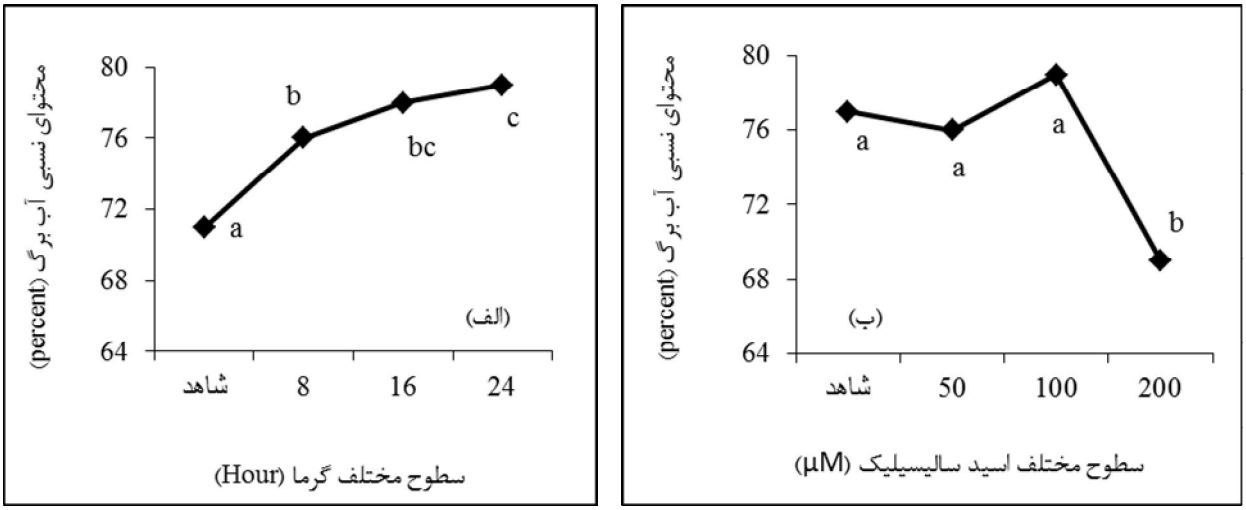


شکل ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل اسید سالیسیلیک و گرما بر کلروفیل a + b ذرت

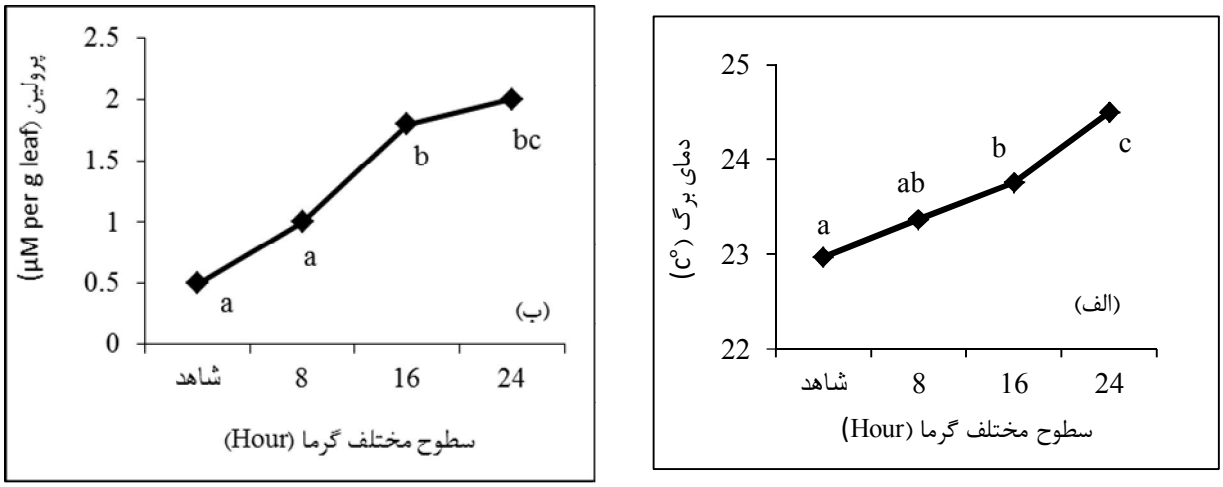
جدول۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) محتوای نسبی آب برگ، دمای برگ، قند محلول و پرولین تحت تاثیر سطوح مختلف اسید سالیسیلیک و گرما

منابع تغییر	درجه آزادی	محتوای نسبی آب برگ	دمای برگ	قند محلول	پرولین
تکرار	۲	۰/۰۵ **	۴/۷۰**	۰/۳۵ **	۰/۱۷ ns
اسید سالیسیلیک	۳	۰/۰۲۱ **	۰/۶۲ ns	۰/۰۴ ns	۰/۰۶ ns
گرما	۳	۰/۰۱۳ *	۱/۷۰ *	۰/۰۷ ns	۰/۲۷ *
اسید سالیسیلیک × گرما	۹	۰/۰۰۷ ns	۰/۷۴ ns	۰/۰۹ ns	۰/۱۱ ns
خطا	۳۰	۰/۰۰۴	۰/۷۴	۰/۲۶	۰/۳۲
ضریب تغییرات	-	۸/۴	۱۱/۱	۲۲/۷	۱۸

*، **- به ترتیب نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۰/۰۵ ، ۰/۰۱ و ns عدم تفاوت معنی دار



شکل ۵- تغییرات محتوای نسبی آب برگ ذرت تحت سطوح مختلف گرما (الف) و سطوح مختلف اسید سالیسیلیک (ب)



شکل ٦- تغییرات دما (الف) و پرولین (ب) برگ ذرت تحت سطوح مختلف گرما

نتیجه‌گیری

در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که برهمکنش غلظت‌های پایین اسید سالیسیلیک همراه با افزایش مدت زمان تنش گرما باعث تاثیر مثبتی بر ساختمان کلروفیل ذرت می‌گردد، هر چند که در غلظت بالای اسید سالیسیلیک باعث تخریب ساختمان کلروفیل گردید. افزایش مدت زمان تنش گرما بطور جداگانه باعث افزایش توانایی گیاه برای حفظ محتوای نسبی آب برگ و افزایش میزان دمای برگ شد، اما غلظت بالای اسید سالیسیلیک باعث اختلال در محتوای نسبی آب برگ گردید. همچنین با توجه به نتایج بدست آمده به نظر می‌رسد که ذرت در واکنش به تنش گرما، محتوای پرولین برگ را افزایش داده و از طریق تنظیم اسمزی، مقاومت خود را در برابر تنش بهبود می‌بخشد.

منابع

۱- آخوندی، م.، ع. صفرنژاد، و م. لاهوتی. ۱۳۸۵. اثر خشکی بر تجمع پرولین و تغییرات عناصر در یونجه‌های یزدی، نیک‌شهری و رنجر. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۰ (۱): ۱۷۴-۱۶۵.

۲- کافی، م.، ا. زند، ب. کامکار، ح. شریفی، و م. گلدانی. (مترجمان). ۱۳۷۹. فیزیولوژی گیاهی، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

۳- کوچکی، ع.، و م. نصیری محلاتی. ۱۳۷۱. اکولوژی کشاورزی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

۴- مجیدی هروان، ا. ۱۳۷۲. مکانیزم فیزیولوژیکی مقاومت به تنگناهای محیطی. چکیده مقالات اولین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران، دانشگاه تهران، ۱۳۴-۱۳۳.

5- Arberg, B. 1981. Plant growth regulators, Monosubstituted benzoic acid. Swedish Journal of Agricultural Research. 11, 93-105.

6- Arnon, D. E. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol oxidase (*Beta vulgaris*). Plant Physiology. 24: 1-15.

7- Bates, L. S., R. P. Waldren, and I. D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil. 39:205-207.

8- Bohnert, H. J., and R. G. Jensen. 1996. Metabolic engineering for increased salt tolerance the next step. Australian Journal of Plant Physiology. 59: 661-667.

9- Cvikrova, M., L.Gemperlova., J. Dobra, O. Martincov, I. T. Prasila, J. Gubis, and R. Vankova. 2012. Effect of heat stress on polyamine metabolism in proline-over-producing tobacco plants. Plant Science. 182: 49-58.

10- El-Tayeb, M. A. 2005. Response of barley Gains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Growth Regulation. 45: 215-225.

11- Eraslan, F., A. Inal, A. Gunes, and Alpaslan, M. 2007. Impact of exogenous salicylic acid on the growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity. Science Horticulture. 113: 120-128.

12- Ghosh, P. K., K. K. Ajay, M. C. yopadhyay, K. G. Manna, A. K. Mandal, and K. M. Hati. 2004. Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer-NPK on three cropping system in vertisols of semi-arid tropics. Dry matter yield, nodulation, chlorophyll content and enzyme activity. Bioresource Technology. 95: 85-93.

13- Hashem, A., M. N. Amin Mujadar, A. Hamid, and M. M. Hossain. 1998. Drought stress effects on seed yield, yield attributes, growth, cell membrane stability of synthesized *Brassica napus* L. Journal of Agronomy and Crop Science. 180: 129-136.

14- Hoekstra, F. A., E.V. Golovina, and J. Buitink. 2001. Mechanism of plant desiccation tolerance. Trends in Plant Science. 9: 431-439.

15- Korkmaz, A., M. Uzunlu, and Demirkairan A. R. 2007. Treatment with acetylsalicylic acid protects muskmelon seedlings against drought stress. Acta Physiologiae Plantarum. 29: 503-508.

16- Misra, N., and P. Saxena. 2009. Effect of salicylic acid on proline metabolism in lentil grown under salinity stress. Plant Science. 177: 181-189.

17- Munns, R., H. Greenway, R. Delane, and R. Gibbs. 1982. Ion concentration and carbohydrate statuse of theenlongation leaftissue of (*Hordeum vulgar* L.) growing at high external NaCl. Journal of Experimental Botany. 135: 574-583.

18- Nelson, B. M. N., and A. B. D. Maria. 2006. Physiological and biochemical response of common bean varieties treated with salicylic 22 acid under water stress. Crop Breeding and Applied Biotechnology 6: 269-277.

19- Nelson N. 1944. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of sugars. Journal of Biological Chemistry. 153:375-380.

20- Papakosta D. K., and A. A. Gagianas. 1991. Nitrogen and dry matter accumulation remobilization and losses for Mediteraneas wheat during grain filling. Agronomy Journal. 83:864-870.

21- Penuelas, J., R. Isla, I. Filella, and J. L. Araus. 1997. Visible and near- infrared reflectance assessment of salinity effects on barley. Crop Science, 37: 198-202.

22- Pessarakli, M. 1999. Hand book of plant and crop stress. Marcel Dekker Inc. 697 pages.

23- Popova, L. P., L. T. Maslenkova, R. Y. Yordanova, A. P. Ivanova, A. P. Krantev, G. Szalai, and Janda, T. 2009. Exogenous treatment with salicylic acid attenuates cadmium toxicity in pea seedlings. Plant Physiology and Biochemistry. 47:224-231.

24- Popova, L., T. Pancheva, and A. Uzunova. 1997. Salicylic acid: properties, biosynthesis and physiological role". Annual Review of Plant Physiology, 85-93.

25- Raskin, I. 1992. Role of salicylic acid in plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. 43:439–63.

26- Shi, G. R., Q. S. Cai, Q. Q. Liu, and L. Wu. 2009. Salicylic acid-mediated alleviation of cadmium toxicity in hemp plants in relation to cadmium uptake, photosynthesis, and antioxidant enzymes. Acta Physiologia Plantarum. 31: 969-977.

27- Shi, Q., Z. Bao, Z. Zhu, Q. Ying, and Q. Qian. 2006. Effects of different treatments of salicylic acid on heat tolerance, chlorophyll fluorescence and antioxidant enzyme activity in seedlings of *Cucumis sativa*. Plant Growth Regulation. 48: 127-135.

28- Singh, B., and K. Usha. 2003. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. Plant Growth Regulation. 39: 137-141.

29- Weatherely, P. E. 1950. Studies in water relation on cotton plants, the field measurement of water deficit in leaves. New Phytologist. 49: 81- 87.