پاسخ فیزیولوژیکی گیاهچه‌های ذرت (*Zea mays* "Mv500") به دماهای خارج از آستانه گیاه در غلظت‌های سالیسیلیک اسید

نرگس دولتمند شهری*[۱]، ایرج طهماسبی[۲] و مسعود حق شناس[۳]

۱) دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.
۲) استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.
۳) دانشجوی دکتری گروه باغبانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

*نویسنده مسئول: **nargesdolatmand@yahoo.com**

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۰۱ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۰۵**

چکیده

به‌منظور بررسی پاسخ فیزیولوژیکی گیاهچه‌های ذرت به دماهای خارج از آستانه گیاه در غلظت‌های سالیسیلیک اسید، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار (شرایط کنترل شده اتاقک رشد) در آزمایشگاه فیزیولوژی دانشگاه کردستان در سال ۱۳۹۲ اجرا شد. عامل اول پنج سطح دما (۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سلسیوس) و عامل دوم چهار سطح محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید (صفر، ۱/۵، ۲/۵ و ۵ میلی مولار) بود. نتایج بیانگر اثر معنی‌دار سالیسیلیک اسید، دما ($P<0.01$) و برهم‌کنش این دو عامل بر ظرفیت فتوسنتزی (سطح و وزن خشک برگ، رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل)) و صفات بیوشیمیایی (نشت یونی برگ و پرولین) بود. محتوای نسبی رطوبت برگ تحت برهمکنش دما و سالیسیلیک اسید قرار نگرفت. با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید محتوای نسبی رطوبت برگ روندی افزایشی و با افزایش دما روندی کاهشی داشت. بر اساس نتایج برهم‌کنش تحت دماهای بالاتر از ۳۵ درجه سلسیوس (۴۰ و ۴۵ درجه سلسیوس) ظرفیت فتوسنتزی و محتوای نسبی رطوبت برگ کاهش و نشت یونی و پرولین افزایش یافت. نتایج همچنین نشان داد تا دمای ۳۵ درجه سلسیوس افزایش غلظت سالیسیلیک اسید تا پنج میلی‌مولار و تحت دماهای ۴۰ و ۴۵ درجه سلسیوس، تا ۲/۵ میلی‌مولار باعث بهبود سطح برگ، رنگیزه‌های فتوسنتزی و افزایش پرولین بود. با توجه به نتایج کلی تحت دماهای خارج از آستانه تحمل، گیاهچه‌های ذرت دچار تنش شدید شدند و سالیسلیک اسید تا غلظت ۲/۵ میلی‌مولار تا حدودی باعث تعدیل تنش گرمایی شد. پیشنهاد می‌شود این آزمایش پس از چند بار تکرار آزمایشگاهی در سطح مزرعه تحت تاریخ‌های مختلف کشت از نظر دمایی اجرا شود.

واژه‌های کلیدی: پرولین، تنش دمای بالا، رنگیزه‌های فتوسنتزی و سالیسیلیک اسید.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2024-12-29]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.38.7.9]

مقدمه

غلات، مهم‌ترین گیاهان زراعی کره زمین و تأمین کننده ۷۰ درصد غذای مردم جهان هستند (امام، ۱۳۸۵). ذرت (*Zea mays* L.) گیاهی چهارکربنه (C_4) از غلات مهم مناطق گرمسیری و معتدل جهان می‌باشد که از نظـر سطح زیر کشت بعد از گندم دومین و از نظر تولید اولـین غلـه در جهان در سال ۲۰۱۳ بوده است (FAO, 2013). ذرت گیاهی است که در شرایط مناسب محیطی و رشدی دارای کارایی بالا بوده، اما بسیار حساس به خشکی و گرمای زیاد می‌باشد. مناسب‌ترین محدوده دمایی برای رشد مطلوب و دستیابی به پتانسیل عملکرد گیاه ذرت، ۳۰- ۲۵ درجه سلسیوس است، اما به‌طور متوسط ۲۰- ۱۵ درصد پتانسیل تولید ذرت جهان هرساله به علت تنش‌های آب و هوایی وابسته به دما کاهش می‌یابد (Chen *et al*., 2012). دمای جهانی هوا در اثر فعالیت‌های انسان، تغییر در غلظت CO_2 و گازهای گلخانه‌ای همچون متان، کلروفلورو کربن و نیتروس اکسیداز در قرن اخیر به میزان تقریبی ۰/۵ درجه سلسیوس افزایش یافته و پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۱۰۰ این میزان به ۱/۸ تا ۴/۵ درجه سلسیوس برسد (Khan *et al*., 2013a). طی پژوهشی محققان روند داده‌های ماهانه، فصلی و سالانه‌ی حداقل و حداکثر دما را برای غرب کشور ایران بررسی کردند و بیان داشتند کـه در اکثر این ایستگاه‌ها روند افزایشی دما مشاهده شد (Tabari *et al*., 2011). این تغییرات دمایی که اغلب با تابش زیاد، خشکی و باد شدید همراه است منجر به ایجاد تنش گرما و سبب بروز مشکلات عدیده‌ای در زمینه کشاورزی همچون شور شدن زمین‌های زراعی، خشکسالی، عدم دسترسی به مواد مغذی، سمیت فلزی و تغییرات آب و هوایی در سراسر جهان شد (Devasirvatham *et al*., 2012; Anjum *et al*., 2014). تنش گرمایی با ایجاد تغییرات غیر قابل برگشت در گیاه، سبب تغییرات مورفولوژیکی، آناتومیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان می‌شود که این عوامل رشد و نمو گیاهان را تحت اثر قرار داده و ممکن است عملکرد اقتصادی محصول را نیز کاهش دهند (Wahid *et al*., 2007; Siboza *et al*., 2014). ذرت دارای آستانه تحمل بالایی در مقابل گرما می‌باشد، به‌طوری‌که بیش‌ترین رشد ذرت را در محیط‌هایی می‌توان انتظار داشت که شب خنک و دمای برگ در روز ۳۳- ۳۰ درجه سلسیوس می‌باشد، اما درصورتی‌که گیاه ذرت در معرض دما بالاتر قرار گیرد، تنفس گیاه بیش‌تر شده و تولید مواد فتوسنتزی کاهش می‌یابد (احمدی و میرحاجی، ۱۳۹۱) و یا با قرار دادن کوتاه مدت ذرت تحت دمای ۴۰ درجه سلسیوس ممکن است در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه اختلال ایجاد شود (Dinler *et al*., 2014). طی پژوهشی محققان اظهار داشتند که قرار دادن ژنوتیپ-های ذرت و برنج تحت تنش دمای بالا (۳۵-۳۰، ۴۰-۳۵، ۴۵-۴۰ درجه سلسیوس) برای ۱۱ روز مانع از رشد گیاه، کاهش آب برگ و محتوای کلروفیل شد و نشت یونی را افزایش داد (Kumar *et al*., 2012). با این حال جهت تعدیل تنش دمایی در گیاه سازوکارهای ملکولی و بیان ژن القاء می‌شود (Siboza *et al*., 2014; Kazemi-Shahandashti *et al*., 2014).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2024-12-29]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.38.7.9]

تجمع پرولین یکی از سازوکارهای درگیر در انطباق گیاهان با تنش می‌باشد، افزایش پرولین در شرایط تنش باعث محافظت غشای سلولی، پروتئین‌ها، آنزیم‌های سیتوپلاسمی و مهار گونه‌های فعال اکسیژن و حذف رادیکال‌های آزاد شد (Liang *et al*., 2013). مطالعه‌های انجام شده بر مرحله گیاهچه‌ای سورگوم (*Sorghum bicolor*) نشان داد که محتوای پرولین افزایش معنی‌داری طی تنش گرمایی داشت (Gosavi *et al*., 2014). دستگاه فتوسنتزی در گیاهان حساس به گرما می‌باشد، بیوسنتز کلروفیل، سرعت فتوسنتز خالص، فعالیت آنزیم روبیسکو و مرکز فتوسیستم II اولین هدف از آسیب های دمایی در گیاهان هستند (Sinsawat *et al*., 2004). کاهش و تغییر در میزان کلروفیل گیاه تحت تنش گرمایی در گیاهچه‌های ذرت گزارش شده است (عطارزاده و همکاران، ۱۳۹۶). طبق بررسی‌های دیگری بر ذرت، میزان کلروفیل a و b برگ با افزایش دما از ۳۵ به ۴۰ درجه سلسیوس کاهش معنی‌داری داشت (Yuzbasioglu *et al*., 2017). تنظیم کننده-های رشد گیاه نقش مهمی در تنظیم فرآیندهای رشد گیاهان و شبکه‌های سیگنال دهنده ایفا می‌کنند، زیرا آن‌ها به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در طیف گسترده‌ای از پاسخ و تحمل به تنش‌های زنده و غیر زنده در گیاهان دخیل هستند (Khan *et al*., 2012; Asgher *et al*., 2015). سالیسیلیک اسید (SA) ترکیب فنولی است که در تنظیم فرآیندهای مهم فیزیولوژیکی گیاهی همچون فتوسنتز، متابولیسم نیتروژن، متابولیسم پرولین، تولید گلیسین بتائین، سیستم دفاعی آنتی اکسیدانی، اثر بر تنفس، تمامیت غشاها و روابط آبی گیاه در شرایط تنش‌های زیستی و غیرزیستی نقش دارد (Khan *et al*., 2014; Rajeshwari and Bhuvaneshwari, 2017). گزارش‌های متعددی مبنی بر نقش سالیسیلیک اسید بر کاهش اثر منفی ناشی از تنش‌های خشکی (Fayez and Bazaid, 2014)، گرما (Wang *et al*., 2010)، سرما (Siboza *et al*., 2014)، شوری (Nazar *et al*., 2015) و فلزات سنگین (Zhang *et al*., 2015) در دسترس می‌باشد. عطارزاده و همکاران (۱۳۹۳) در آزمایشی مربوط به اثر تنش دما و اسید سالیسیلیک بر صفات فیزیولوژیک ذرت اعلام نمودند که محتوای کلروفیل برگ با کاربرد ۵۰ میکرومول سالیسیلیک اسید تحت تنش دمایی افزایش معنی‌داری داشت و تنش گرمایی باعث افزایش محتوای پرولین برگ شد. بررسی‌های دیگری نشان داد که سالیسیلیک اسید باعث افزایش پارامترهای رشد و رنگیزه‌های فتوسنتزی ذرت در شرایط تنش دمای بالا شد (Hayat *et al*., 2009). با توجه به تغییرات اقلیمی در ایران به‌ویژه در مناطق غرب کشور و افزایش دما این مناطق به بالاتر از آستانه تحمل گیاه، هم‌چنین از طرفی دیگر با توجه به گزارش‌های موجود بر نقش سالیسیلیک اسید در ایجاد مقاومت به تنش‌های زیستی و غیر زیستی، آزمایشی به‌صورت کنترل شده در اتاقک رشد با هدف بررسی پاسخ فیزیولوژیکی گیاهچه‌های ذرت به دماهای خارج از آستانه گیاه در غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید انجام گرفت. با توجه به تغییرات اقلیمی در ایران به‌ویژه در مناطق غرب کشور و افزایش دما این مناطق به بالاتر از آستانه تحمل گیاه و با توجه به اینکه در مناطق سردسیر همچون

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2024-12-29]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.38.7.9]

کردستان ذرت به‌صورت گیاهی علوفه‌ای یکساله تابستانه در اواخر خرداد و یا اوایل تیر بعد از برداشت گیاهان زمستانه کشت می‌شود، ممکن است مرحله گیاهچه‌ای گیاه با دمای بالاتر از تحمل گیاه مصادف باشد. هم‌چنین از طرفی دیگر با توجه به گزارش‌های موجود بر نقش سالیسیلیک اسید در ایجاد مقاومت به تنش‌های زیستی و غیر زیستی، آزمایشی به‌صورت کنترل شده در اتاقک رشد با هدف بررسی پاسخ فیزیولوژیکی گیاهچه‌های ذرت به دماهای خارج از آستانه گیاه در غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت کنترل شده در اتاقک رشد (ژرمیناتور) در آزمایشگاه فیزیولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان به منظور بررسی پاسخ فیزیولوژیکی گیاهچه‌های ذرت (*Zea mays* L.) به دماهای خارج از آستانه در غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید، به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار طراحی و اجرا شد (جدول ۱). فاکتور اول پنج سطح دما ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سلسیوس و فاکتور دوم شامل چهار سطح محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید (SA) شامل غلظت‌های یک و نیم، دو و نیم و پنج میلی‌مولار به همراه یک تیمار شاهد (بدون کاربرد سالیسیلیک اسید) بود. هیبرید ذرت کشت شده سینگل کراس ”Mv500“ از گروه متوسط رس تولید مجارستان بود که از شرکت قاصدک سبز کرمانشاه تهیه شد.

جدول ۱: بیشینه دمای گرم‌ترین ماه‌های سال در استان کردستان طی سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۸۵ (سازمان هواشناسی کشور)

سال	۱۱ خرداد - ۹ تیر		۱۰ تیر – ۹ مرداد		۱۰ مرداد – ۹ شهریور	
	روز	دما	روز	دما	روز	دما
۱۳۸۵	۱۶	۳۹	۲۰	۴۱/۶	۵	۴۱/۸
۱۳۸۶	۱۶	۳۹	۱۴	۳۹/۶	۱۰	۴۰
۱۳۸۷	۲۸	۴۰/۲	۱۲	۴۲	۴	۴۲/۲
۱۳۸۸	۳۰	۳۹/۶	۱۳	۴۰/۸	۱۹	۴۰/۶
۱۳۸۹	۱۴	۳۹/۶	۸	۴۲	۲۱	۴۰/۲
۱۳۹۰	۱۸	۳۸/۶	۹	۴۲/۷	۳	۴۱/۴
۱۳۹۱	۱۶	۳۷/۴	۲۲	۴۰	۱۵	۴۱/۸
۱۳۹۲	۱۶	۳۹/۸	۱۶	۴۲	۱۸	۳۹/۸
۱۳۹۳	۲۹	۳۹/۶	۱۷	۴۲	۱۱	۴۱/۲
۱۳۹۴	۳۰	۴۱	۱	۴۲/۶	۲۰	۴۱/۸
۱۳۹۵	۲۸	۳۸/۴	۲۴	۴۱/۸	۱۰	۴۱

جهت اجرای آزمایش ابتدا تعداد ۱۲-۱۰ عدد بذر ذرت درگلدان‌های پلاستیکی (حجم دو لیتری)، حاوی خاک از جنس لومی شنی (جدول۲) کشت و در ژرمیناتور یا اتاقک رشد (ساخت شرکت GROUC تهران) تحت شرایط نوری (۱۶: ۸) (نور/تاریکی) با شدت نور ۱۷۰۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه، رطوبت نسبی ۲±۶۵ درصد، و دمای (۲±۱۶: ۲±۲۳) درجه سلسیوس (تاریکی/ نور) نگهداری و هر روز آبیاری شدند (جدول ۲). به‌دلیل زمان کوتاه آزمایش و نیاز به مرحله

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2024-12-29]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.38.7.9]

گیاهچه‌ای ذرت جهت آزمایش هیچ گونه کودی به گلدان‌ها اضافه نشد. بعد از ۱۰ روز نگهداری گیاهچه‌ها با ارتفاع ۲۵-۲۰ سانتی‌متر در مرحله سه برگی، تحت تیمارهای مورد نظر به مدت سه روز قرار گرفتند، به این صورت که ابتدا توسط سالیسیلیک اسید محلول‌پاشی شده و سپس جهت اعمال دماهای بالاتر از ۲۵ درجه سلسیوس مجدداً به اتاقک رشد منتقل و روزانه سه ساعت (اوج دمای بالا در روز بین ساعات ۱۵-۱۲ بعدازظهر) در معرض دماهای مورد نظر قرار گرفتند. با توجه به اینکه در مزرعه دما برای هر تیمار نمی‌تواند مشخص و کنترل شود و چون در این بررسی آزمایش تحت برهمکنش سالیسیلیک اسید و دما قرار گرفته باید ابتدا جهت کاهش درصد خطای بیش‌تر در اتاقک رشد انجام گیرد و سپس بعد از چند بار تکرار به‌صورت مزرعه‌ای اجرا شود، زیرا انجام دماهای مختلف در مزرعه کار پیچیده‌ای است و درصد خطا بسیار افزایش می‌یابد.

جدول ۲: ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک گلدان‌ها

عمق (سانتی-متر)	نیتروژن (درصد)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	pH	Ec (دسی زیمنس بر متر)	کربن آلی (درصد)	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	مس (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	روی (میلی-گرم بر کیلوگرم)	شن (درصد)	لای (درصد)	رس (درصد)
۰-۳۰	۰/۰۷	۶/۸	۲۶۰	۸/۰۵	۰/۷۰	۰/۷۰	۹/۳۸	۱/۱۳	۶/۷	۴۴	۳۱	۲۵

اندازه‌گیری‌ها

سطح و وزن خشک برگ

جهت اندازه‌گیری سطح برگ و وزن خشک برگ، ابتدا سه گیاهچه از هر گلدان از سطح خاک قطع و پس از اندازه-گیری سطح برگ گیاهچه‌ها توسط دستگاه سطح برگ سنج (Li-Cor, Model 7 Li-1300; USA) میانگین‌گیری و به عنوان سطح برگ هر بوته در هر واحد آزمایشی ثبت شد. سپس برگ‌های هر تیمار داخل آون با دمای ۷۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند و بعد از توزین و میانگین‌گیری هر سه بوته به عنوان وزن خشک برگ هر بوته در هر واحد آزمایشی محاسبه شد.

کلروفیل a و b و کل

جهت سنجش کلروفیل a، b و کلروفیل کل، از برگ‌های کاملاً توسعه یافته بالغ از هر واحد آزمایشی به‌طور تصادفی نمونه‌برداری و ۰/۵ گرم از نمونه‌ها پس از هضم توسط استن ۸۰ درصد و سانتریفوژ نمودن، مقدار جذب هر نمونه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (UV/VIS Lambda25) در طول موج‌های ۶۶۳/۲، ۶۴۶/۸ نانومتر به ترتیب برای

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2024-12-29]

[DOR: 20.1001.1.20084403.1397.10.38.7.9]

کلروفیل a و b قرائت و بر اساس رابطه‌های (۱، ۲ و ۳) مقادیر رنگیزه‌ها برحسب میکروگرم بر گرم وزن‌تر محاسبه شد (Lichtenthaler and Wellburn, 1983).

رابطه ۱: $\text{Chlorophyll a} = (12.25 \times A_{663.2}) - (2.79 \times A_{646.8})$

رابطه ۲: $\text{Chlorophyll b} = (21.21 \times A_{646.8}) - (5.1 \times A_{663.2})$

رابطه ۳: $\text{Total Chlorophyll (a+b)} = (7.15 \times A_{663.2} + 18.71 \times A_{646.8})$

محتوای نسبی آب (RWC)[1]

رای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب چهار یا پنج قطعه از برگ تازه به قطر یک سانتی‌متر برش و توزین شدند (FW)[2]، سپس نمونه‌ها در پتری‌دیش همراه مقداری آب مقطر به میزان ۱۰ سی‌سی به مدت چهار ساعت در انکوباتور در دمای چهار درجه سلسیوس قرار داده شده و مجدداً توزین شدند (TW)[3] در انتها نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در آون در دمای ۷۲ درجه سلسیوس قرار داده و مجدداً توزین شد (DW)[4]. سپس با استفاده از رابطه ۴ محتوای نسبی آب برگ محاسبه شد (Ritchie *et al*., 1990).

رابطه ۴: $RWC = (FW-DW)/(TW-DW) \times ۱۰۰$

نشت یونی برگ

برای اندازه‌گیری نشت یونی برگ، یک گرم از بافت تازه برگ پس از شستشو با آب دوبار تقطیر و خردکردن به فالکون حاوی ۲۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر منتقل و پس از ۲۴ ساعت (در شرایط بدون نور و دمای ۲۵ درجه سلسیوس) هدایت الکتریکی محلول یا نشت یونی نمونه‌ها (EL_1) با دستگاه EC متر (Aqualytic sensdirect, CD24) قرائت شد. سپس نمونه‌ها به‌مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس اتوکلاو شده و پس از خنک شدن مجدد هدایت الکتریکی یا نشت یونی محلول (EL_2) قرائت و درصد نشت یونی برگ بر اساس رابطه ۵ محاسبه شد (Luttos *et al*., 1996).

رابطه ۵: $EL\ (\%) = (EL_1/EL_2) \times 100$

پرولین

جهت سنجش میزان پرولین ۰/۱ گرم از بافت تر برگ را در ۱۰ میلی‌لیتر محلول سه درصد اسید سولفوسالیسیلیک ساییده و عصاره حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در ۴۰۰۰ دور سانتریفیوژ (Hermle Z216 MK)، شد. سپس دو میلی‌لیتر از مایع رویی را با دو میلی‌گرم معرف نین هیدرین و دو میلی‌لیتر اسید استیک خالص مخلوط کرده و یک ساعت در دمای

[1] Relative water content
[2] Fresh Weight
[3] Turgur Weight
[4] Dry Weight

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2024-12-29]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.38.7.9]

۱۰۰ درجه سلسیوس حمام آب گرم، قرار گرفت. بعد از این مدت، جهت قطع انجام کلیه واکنش‌ها، لوله‌های محتوی مخلوط را در حمام یخ، سرد شد، سپس چهار میلی‌لیتر تولوئن به مخلوط اضافه شد و لوله‌ها میکس شده بعد از ۲۰- ۱۵ ثانیه، دو لایه کاملاً مجزا در آن‌ها تشکیل شدند. از لایه رنگی فوقانی که حاوی تولوئن و پرولین بود، برای اندازه‌گیری غلظت پرولین استفاده شد. جذب مقدار مشخصی از این ماده رنگی در طول موج ۵۲۰ نانومتر تعیین شد و مقدار پرولین در هر نمونه با استفاده از منحنی استاندارد، تعیین شد (Bates *et al*., 1973).

محاسبه‌های آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.2 و آزمون مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. شکل‌ها نیز توسط برنامه Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر اثر معنی‌دار دما، سالیسیلیک اسید ($P<0.01$) و برهمکنش این دو عامل ($P<0.05$) بر سطح برگ بود (جدول ۳).

جدول ۳: نتایج تجزیه واریانس اثر سالیسیلیک اسید و دما بر ویژگی‌های برگ، رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل) و صفات بیوشیمیایی (محتوای نسبی آب برگ، پایداری غشای سلول، پرولین) گیاهچه‌های ذرت رقم "Mv500"

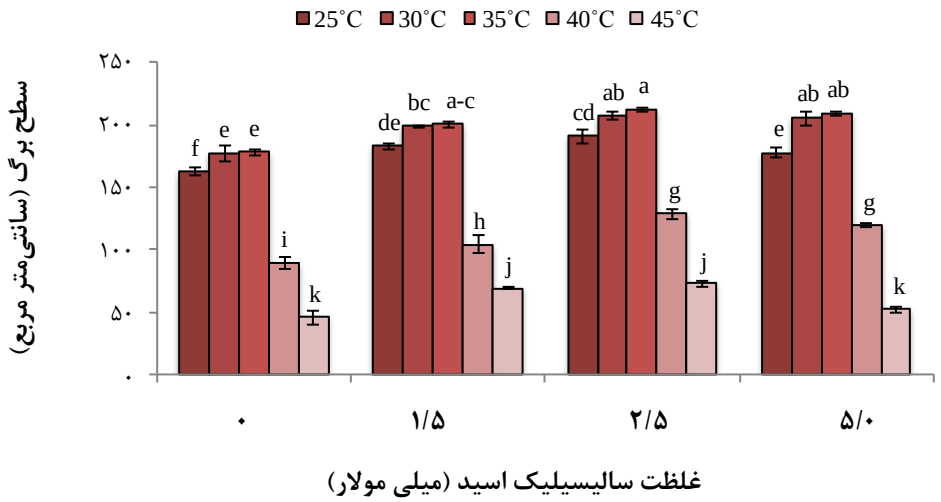
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		سطح برگ	وزن خشک برگ	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	محتوای نسبی آبی برگ	پایداری غشای سلول	پرولین
دما	۴	۴۵۴۰۱/۰۱**	۰/۷۷**	۵۰/۴۴**	۱۰/۷۷**	۱۰۹/۶**	۳۸۳۳/۰۲**	۱۰۶۵۹/۷**	۲۴۴۲/۸**
سالیسیلیک اسید	۳	۲۶۳۱/۶۴**	۰/۱۱**	۳/۷۲**	۰/۳۷**	۶/۳۳**	۴۲/۰۴**	۱۴۰/۲**	۱۳۸/۰**
دما× سالیسیلیک اسید	۱۲	۱۰۷/۱۹*	۰/۰۱**	۰/۴۷**	۰/۰۶۷**	۰/۸۶**	۱/۹ ^{ns}	۲۱/۲*	۲۳/۵**
خطای آزمایشی	۴۰	۴۴/۶۱	۰/۰۰۲	۰/۰۴۱	۰/۰۲۴	۰/۰۶۵	۵/۲۰	۹/۳	۰/۷۴
ضریب تغییرات (cv)		۴/۴۸	۸/۲۶	۶/۴۸	۱۲/۴۴	۵/۷۷	۳/۷۵	۵/۵	۳/۵

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

بر اساس مقایسه میانگین تیمارها در هر سطح از غلظت سالیسیلیک اسید با افزایش دما تا ۳۵ درجه سلسیوس سطح برگ روندی افزایشی داشت، اما گیاهچه‌ها تحت دمای بیش‌تر از ۳۵ درجه سلسیوس کاهش معنی‌داری داشتند، به‌طوری‌که در دمای ۴۵ درجه سلسیوس گیاهچه‌ها دارای کم‌ترین سطح برگ بودند. نتایج هم‌چنین نشان داد که در هر دما با کاربرد و افزایش غلظت سالیسیلیک اسید سطح برگ افزایش معنی‌داری نسبت به غلظت صفر داشت. البته ناگفته نماند که در دمای ۴۵ درجه سلسیوس تا غلظت ۲/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید افزایش و در غلظت پنج میلی‌مولار کاهش یافت، طوری‌که با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری از نظر سطح برگ نداشت (شکل ۱). تنش در دماهای بالاتر از حد آستانه تحمل

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2024-12-29]
[DOR: 20.1001.1.20084403.1397.10.38.7.9]

گیاه باز دارنده رشد و نمو گیاه است (Wahid, 2007). افزایش دمای محیط باعث تبخیر بیش‌تر آب از گیاه شده به‌طوری‌که با بهم خوردن تعادل بین جذب و دفع آب از گیاه، روزنه‌ها بسته و آب کم‌تری جذب گیاه می‌شود. جلوگیری از رشد همراه با بسته شدن روزنه‌ها جزء اولین پاسخ‌های گیاهان به خشکی و کمبود آب است (Klamkowski and Treder, 2006)، زیرا با کاهش جذب آب، فشار تورژسانس سلولی تقلیل یافته که کاهش رشد و توسعه سلول به‌ویژه در برگ‌ها (شکل ۱) را به دنبال خواهد داشت. با توجه به نتایج به‌دست آمده از این بررسی کاهش سطح برگ در دمای ۴۵ درجه سلسیوس تا غلظت ۲/۵ میلی مولار سالیسیلیک اسید بهبود یافت، سالیسیلیک اسید با حفظ روابط آبی گیاه و عملکرد روزنه‌ها (Barkosky and Einhellig, 1993)، می‌تواند سطح برگ در گیاه را افزایش دهد. طی بررسی‌های عبداللهی و شکاری (۱۳۹۳) بر گندم، کاربرد سالیسیلیک اسید موجب بهبود وضعیت آبی گیاه و افزایش محتوای نسبی آب شد که نتیجه در توسعه سطح برگ داشت، نتایج این پژوهشگران هم راستا با نتایج حاصل از این بررسی بود. سالیسیلیک اسید از طریق افزایش آسیمیالت‌های محلول همچون پرولین در سلول باعث افزایش محتوای نسبی آب شده و با حفظ فشار اسمزی منجر به افزایش فتوسنتز و رشد گیاه شد (Hasegawa *et al*., 2000). اثر تحریکی سالیسیلیک اسید بر رشد می‌تواند به‌دلایلی مانند افزایش میزان تقسیم در مناطق مریستمی و رشد سلولی باشد (Shakirova *et al*., 2003). وقتی سلول‌های برگ به‌طور موقت آب خود را از دست بدهند. با گذشت ز مان سرعت تقسیم و طویل شدن سلول‌ها کاهش یافته و در نتیجه، این تغییرات منجر به کوچک‌تر شدن اندازه نهایی برگ‌ها خواهد شد (Munns, 2002).



شکل ۱: مقایسه میانگین برهم‌کنش سالیسیلیک اسید در دما بر سطح برگ ذرت رقم "Mv500"

میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون، بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد می‌باشند.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2024-12-29]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.38.7.9]

وزن خشک برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده اثر معنی‌دار ($P<0.01$) دما، سالیسیلیک اسید و هم‌چنین برهم‌کنش این دو عامل بر وزن خشک برگ بود (جدول ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین تیمارها در هر سطح از غلظت سالیسیلیک اسید تا دمای ۳۵ درجه سلسیوس وزن خشک برگ افزایش معنی‌داری داشت، اما در دمای بیش‌تر از ۳۵ درجه سلسیوس وزن خشک برگ کاهش معنی‌داری داشت، طوری‌که در دمای ۴۵ درجه سلسیوس گیاهچه‌ها کم‌ترین وزن خشک برگ را داشتند. نتایج هم‌چنین نشان داد که در دمای ۳۵ درجه وزن خشک برگ تا غلظت پنج میلی‌مولار افزایش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد داشت، اما وزن خشک برگ تحت دماهای ۴۰ و ۴۵ درجه سلسیوس تا ۲/۵ میلی مولار افزایش و با غلظت ۵ میلی‌مولار کاهش داشت (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد برهم‌کنش غلظت بالای اسید سالیسیلیک همراه با افزایش تنش گرما اثر منفی بر گیاه داشته که نشان دهنده‌ی تخریب ساختمان کلروفیل برگ ذرت در تیمارهای مورد استفاده و عدم تولید مواد فتوسنتزی می‌باشد. تولید ماده خشک گیاه وابستگی قوی با سطح برگ و فتوسنتز دارد و برای رسیدن به وزن خشک بیش‌تر باید سطح برگ گیاه جهت فتوسنتز بیش‌تر حفظ شود. با توجه به نتایج پژوهش حاضر با افزایش دما به بالاتر از تحمل گیاه سطح برگ کاهش یافت که نتیجه در کم شدن وزن خشک برگ (جدول ۴) داشت. بنابراین سطح برگ بیش‌تر نقش مهمی در طول دوره تنش دارد، زیرا کربن بیش‌تری جهت فتوسنتز و تولید کربوهیدارت جذب می‌شود (Porwanto, 2003). از طرفی دیگر با افزایش دما و بسته شدن روزنه‌ها نیز جذب کربن و تولید کربوهیدارت کاهش می‌یابد. سالیسیلیک در شرایط دمای بالا با حفظ رطوبت از طریق افزایش محتوای نسبی آب برگ (شکل ۲ب)، در توسعه و رشد سطح برگ (شکل ۱) مؤثر بوده و به ثبات فتوسنتز در این شرایط کمک می‌کند که نتیجه در تولید ماده خشک بیش‌تر دارد. نتایج بررسی‌های محققان نشان داد محلول‌پاشی ذرت شیرین با سالیسلیک اسید باعث کاهش تنش خشکی و تعدیل و افزایش وزن خشک گیاه شد حبیب پور و همکاران (۱۳۹۴)، که با نتایج حاصل از این بررسی در یک راستا بود. طی پژوهشی محققان اظهار داشتند که سالیسیلیک اسید با افزایش جذب دی اکسید کربن و میزان فتوسنتز در افزایش وزن خشک گیاه مؤثر بوده است (Fariduddin *et al*., 2003).

رنگیزه‌های فتوسنتزی

اثر دما، سالیسیلیک اسید و برهمکنش آن‌ها بر کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل معنی‌داری ($P<0.01$) شد (جدول ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین تیمارها، مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در هر سطح از غلظت سالیسیلیک اسید تا دمای ۳۵ درجه سلسیوس افزایش معنی‌داری داشت، اما با افزایش دما به ۴۰ و ۴۵ درجه سلسیوس دچار کاهش شد. هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تا دمای ۳۵ درجه سلسیوس افزایش غلظت سالیسیلیک اسید تا پنج میلی-

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2024-12-29]

[DOR: 20.1001.1.20084403.1397.10.38.7.9]

مولار باعث افزایش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی شد، اما تحت دماهای بالاتر مقدار رنگیزه‌ها تا غلظت ۲/۵ میلی مولار سالیسیلیک اسید افزایش داشت و با غلظت بیش‌تر کاهش یافت (جدول ۴). فتوسنتز یکی از مهم‌ترین فرایندهای فیزیولوژیکی حساس به تنش گرمایی در گیاهان سبز می‌باشد (Weis and Berry, 1988). که واکنش فتوشیمیایی در غشای تیلاکوئید استروما کلروپلاست به‌عنوان مکان‌های اولیه صدمه در دمای بالا بیان شده است (Wise *et al*., 2004). طی پژوهشی محققان کاهش محتوای کلروفیل a و b برگ را تحت افزایش دما از ۳۵ به ۴۵ درجه سلسیوس در ذرت گزارش کردند (Yuzbasioglu *et al*., 2017)، که با نتایج حاصل از این بررسی (جدول ۴) مطابقت دارد. به‌نظر می‌رسد که گیاهچه‌های ذرت طی دماهای بالاتر از آستانه تحمل (۴۰ و ۴۵ درجه سلسیوس)، جهت جلوگیری از تبخیر هرچه بیش‌تر آب گیاه و حفظ محتوای نسبی آب برگ، در طی سه ساعته دمای بالا روزنه‌های خود را بسته نگه می‌دارند که با بسته شدن روزنه‌ها انتقال الکترون در فتوسیستم II دچار اختلال شده که در این وضعیت الکترون اضافی ناشی از فتولیز آب، باعث تولید اکسیژن فعال و خسارت به غشای سلولی از طریق پراکسید شدن چربی‌ها، پروتئین‌ها و کاهش محتوای کلروفیل گیاه شد. یکی دیگر از عوامل کاهش دهنده مقدار کلروفیل تحت تنش می‌تواند به‌دلیل رقابت بین آنزیم کاتالیز کننده پرولین (گلوتامات لیگاز) و اولین آنزیم مسیر بیوسنتز کلروفیل باشد که سبب شده که تا پیش ساز گلوتامات بیش‌تر به مصرف پرولین برسد و در نتیجه بیوسنتز کلروفیل با محدودیت مواجه شود (رامک و همکاران، ۱۳۸۴). بنابراین با توجه به نقش فتوسنتز در تداوم رشد گیاه، دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ در شرایط تنش از جمله شاخص‌های فیزیولوژیک متحمل به تنش محسوب می‌شود. سالیسیلیک اسید به‌عنوان یک تنظیم کننده رشد گیاهی، اثر مثبتی در آنزیم‌های دخیل در فتوسنتز و افزایش ظرفیت فتوسنتزی دارد (Khan *et al*, 2003). نقش اسید سالیسیلیک در حفاظت از ساختمان کلروفیل تحت تنش‌های محیطی در مطالعه‌های مختلفی گزارش شده است (Popova *et al*., 2009; Idrees *et al*., 2010). اثرات سالیسیلیک اسید بر گیاهان تحت اثر غلظت‌های مختلف آن تغییر می‌کند، به‌طوری‌که در غلظت‌های مناسب با کاهش تخریب رنگیزه‌های فتوسنتزی، افزایش توان آنتی‌اکسیدانی سلول و سنتز پروتئین‌های جدید از دستگاه فتوسنتزی حمایت می‌کند (Popova *et al*., 2003). با توجه به نتایج این بررسی همان‌گونه که ذکر شد سالیسیلیک اسید تحت دمای خارج از آستانه تحمل گیاه غلظت بیش‌تر از ۲/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید اثر معنی‌داری بر مقدار کلروفیل نداشت. در تأیید نتایج حاضر محققان دیگری نیز اظهار داشتند که غلظت پایین سالیسیلیک اسید باعث بهبودی ویژگی-های فتوسنتزی می‌شود (Nazar *et al*., 2011). زیرا با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید، چرخه کلوین با کاهش سنتز روبیسکو و افزایش تجمع NADPH، فنوسنتز را مهار می‌کند (Janda *et al*., 2012).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2024-12-29]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.38.7.9]

جدول ۴: مقایسه میانگین برهمکنش سالیسیلیک اسید در دما بر وزن خشک برگ و رنگیزه‌های فتوسنتزی ذرت رقم "Mv500"

سالیسیلیک اسید (میلی‌مول)	دما (سلسیوس)	وزن خشک برگ (گرم)	کلروفیل a (میلی گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل b (میلی گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل کل (میلی گرم بر گرم وزن تر)
	۲۵	۰/۴۸±۰/۰۶ †† d	۳/۱۱±۱/۴۷ h	۱/۴۷±۰/۱۵ c	۴/۶۲±۰/۱۷ f
	۳۰	۰/۶۳±۰/۰۳ c	۳/۸۱±۱/۵۶ g	۱/۵۶±۰/۱۲ c	۵/۴۱±۰/۱۳ e
صفر (شاهد)	۳۵	۰/۶۵±۰/۰۰۶ c	۳/۹۱±۱/۶ g	۱/۵۹±۰/۱ c	۵/۵۵±۰/۰۴ e
	۴۰	۰/۳۹±۰/۰۵ e	۰/۸۷±۰/۲۵ k	۰/۲۵±۰/۰۴ de	۱/۱۳±۰/۱۱ i
	۴۵	۰/۲۲±۰/۰۰۸ g	۰/۶۸±۰/۱۳ kl	۰/۱۳±۰/۰۳ de	۰/۸۲±۰/۱۳ ij
	۲۵	۰/۷۱±۰/۰۴ bc	۴/۴۸±۱/۸۶ ef	۱/۸۶±۰/۱۳ b	۶/۴±۰/۰۱ d
	۳۰	۰/۸۶±۰/۰۱a	۴/۸۵±۲/۰۶d	۲/۰۶±۰/۱۳ab	۶/۹۷±۰/۱۶bc
۱/۵	۳۵	۰/۸۹±۰/۰۱ a	۵/۲۳±۲/۲۱ a-c	۲/۲۱±۰/۱۸ a	۷/۵۱±۰/۳۳ a
	۴۰	۰/۴۶±۰/۰۰۸ d	۱/۳۸±۰/۲۸ j	۰/۲۸±۰/۰۱ de	۱/۶۷±۰/۰۶ h
	۴۵	۰/۲۷±۰/۰۵ fg	۰/۲۷±۰/۸۹ k	۰/۱۸±۰/۰۰۶ de	۱/۰۸±۰/۰۰۷ i
	۲۵	۰/۷۶±۰/۰۳ bc	۴/۹۲±۱/۸۶ cd	۱/۸۶±۰/۰۷ b	۶/۸۴±۰/۱۵ c
	۳۰	۰/۸۹±۰/۰۰۵ a	۵/۱۵±۲/۱ b-d	۲/۱±۰/۰۵ ab	۷/۳۱±۰/۰۷ ab
۲/۵	۳۵	۰/۹۲±۰/۰۰۵ a	۵/۵۸±۰/۱۸ a	۲/۱۲±۰/۰۷ ab	۷/۷۷±۰/۱۴ a
	۴۰	۰/۴۸±۰/۰۱ d	۱/۹۷±۰/۰۷ i	۰/۴۱±۰/۰۵ d	۲/۴±۰/۱۱ g
	۴۵	۰/۲۹±۰/۰۰۳ fg	۰/۵۸±۰/۰۴ kl	۰/۰۹±۰/۰۰۹ e	۰/۶۸±۰/۰۵ ij
	۲۵	۰/۷۴±۰/۰۰۸ b	۴/۲۶±۰/۱۹ f	۱/۹۹±۰/۱ ab	۶/۳۱±۰/۲۹ d
	۳۰	۰/۸۴±۰/۰۴ a	۴/۷۹±۰/۱ de	۲/۰۶±۰/۰۹ ab	۶/۹۱±۰/۱۶ bc
۵	۳۵	۰/۸۷±۰/۰۱ a	۵/۴۱±۰/۱۷ ab	۲/۲±۰/۰۵ a	۷/۶۷±۰/۱۹ a
	۴۰	۰/۳۳±۰/۰۰۶ ef	۰/۷۱±۰/۰۶ kl	۰/۲۱±۰/۰۱ de	۰/۹۳±۰/۰۶ ij
	۴۵	۰/۲۲±۰ g	۰/۴۳±۰/۰۱ l	۰/۰۸±۰/۰۰۲ e	۰/۵۲±۰/۰۱ j

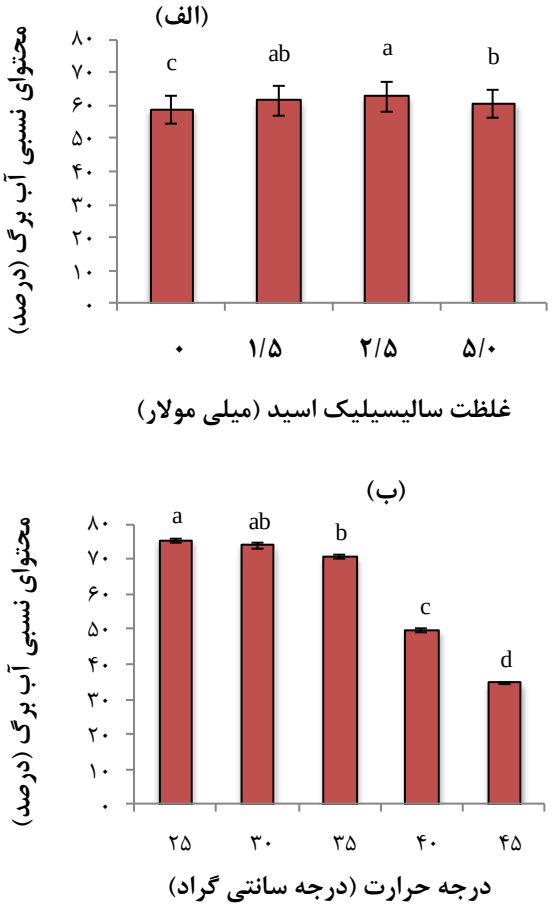
† میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون، بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد می‌باشند.
†† بیانگر خطای استاندارد (Mean ±SEM) می‌باشد.

محتوای نسبی آب برگ

با توجه به نتایج جدول تجریه واریانس داده‌ها، محتوای نسبی آب برگ به‌طور معنی‌داری ($P<0.01$) در واکنش به دما و سالیسیلیک اسید قرار گرفت، این در حالی بود که برهم‌کنش این دو عامل اثری بر این صفت نداشت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین تیمارها نشان می‌دهد که با کاربرد و افزایش غلظت سالیسیلیک اسید تا ۲/۵ میلی‌مولار محتوای نسبی برگ افزایش ۶/۴۲ درصدی و معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد داشت، اما با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید از ۲/۵ تا پنج میلی‌مولار محتوای نسبی رطوبت برگ دارای کاهش ۳/۴ درصدی و معنی‌داری بود (شکل ۲الف). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها با افزایش دمای نگهداری گیاهچه‌ها محتوای نسبی آب برگ ابتدا تغییری نداشت، اما از دمای ۳۵ درجه سلسیوس دارای روندی کاهشی بود، به‌طوری‌که تحت دمای ۴۵ درجه سلسیوس کاهش ۵۳/۸۵ درصدی و معنی‌داری نسبت به دمای ۲۵ درجه سلسیوس داشت (شکل ۲ب). تنش دمای به‌شدت پتانسل آبی گیاه را تحت اثر قرار می‌دهد (Mavi and Tupper, 2004)، به‌طوری‌که با افزایش دما تبخیر و تعرق گیاه روند صعودی پیدا کرده و بدان جهت بر نیروی ترمودینامکی محیط ریشه در جذب آب افزوده می‌شود، اما در دماهای خارج از آستانه تحمل گیاه با تخریب ساختار و مکانیسم‌های خود تنظیمی سلول و افزایش نشت الکترولیت (شکل ۳) و بسته شدن روزنه‌ها، تعادل میان آب جذب شده

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2024-12-29]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.38.7.9]

و آب از دست رفته (شیب هیدروستاتیک)، به‌هم خورده و گیاه دچار تنش آبی نیز شد. بنابراین حتی در صورت ثبات فراهمی آب، محیط ریشه و مطلوب بودن رطوبت نسبی هوا، تنش دمایی باعث کاهش بیش‌تر آب گیاه شد (Wahid *et al*., 2007). طی بررسی‌های انجام شده توسط محققان محتوای نسبی آب برگ و وزن تر گیاه تحت تنش دمای بالا کاهش معنی‌داری داشت (Rodriguez *et al*., 2015) که با نتایج حاصل از این بررسی مطابقت دارد. محققان طی آزمایشی بر روی ذرت نتیجه گرفتند که مصرف ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک در شرایط تنش موجب افزایش محتوای آب نسبی شد، در حالی که با مصرف ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر این مقدار کاهش یافت (Rao *et al*., 2012). در مطالعه دیگری بر گندم پژوهشگران دریافتند که محتوای نسبی آب با تیمار توسط سالیسیلیک اسید افزایش یافت (Agarwal *et al*., 2005)، که با نتایج حاصل از این بررسی مبنی بر افزایش محتوای نسبی آب برگ تحت تیمار سالیسیلیک اسید نسبت به تیمار شاهد، مطابقت دارد. افزایش محتوای نسبی آب ممکن است وابسته به نقش سالیسیلیک اسید در تجمع آسیمیلات‌های سازگار در گیاهان تحت شرایط تنش باشد (Hasegawa *et al*., 2000).



شکل ۲: نتایج مقایسه میانگین اثر سالیسیلیک اسید (الف) و دما (ب) بر محتوای نسبی آب برگ ذرت رقم "Mv500"

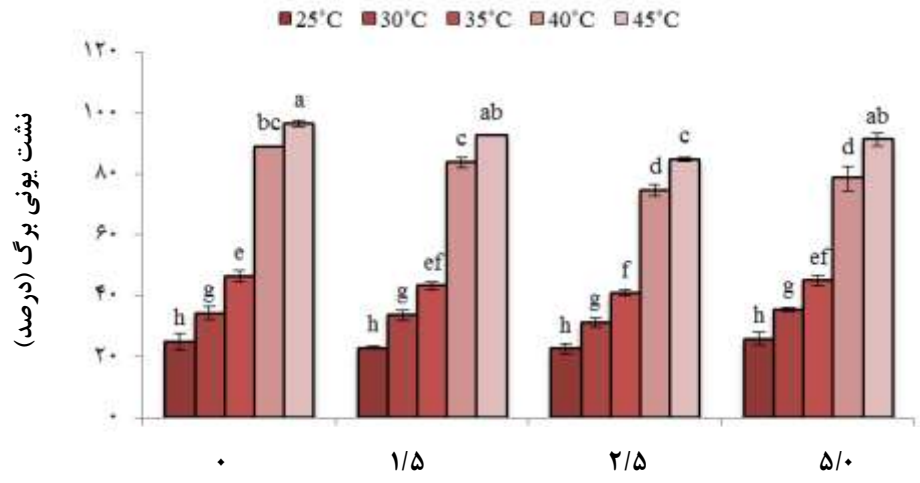
میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون، بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد می‌باشند.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2024-12-29]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.38.7.9]

نشت یونی برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان دهنده اثر معنی‌دار دما و سالیسیلیک اسید ($P<0.01$) و هم‌چنین برهم‌کنش این دو عامل ($P<0.05$) بر نشت یونی برگ بود (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین تیمارها بیش‌ترین نشت یونی برگ مربوط به عدم استفاده از سالیسیلیک اسید و دمای ۴۵ درجه سلسیوس با ۹۶/۴۸ درصد بود. با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش در هر سطح از غلظت سالیسیلیک اسید با افزایش دما نشت یونی برگ افزایش معنی‌داری داشت و گیاهچه-های نگهداری شده تحت دمای ۴۵ درجه سلسیوس بیش‌ترین نشت یونی را در برگ‌های خود داشتند. نتایج هم‌چنین نشان‌داد که تا دمای ۳۵ درجه سلسیوس کاربرد و افزایش غلظت سالیسیلیک اسید اثر معنی‌داری بر کاهش نشت یونی برگ نداشت. اما در دمای ۴۰ درجه سلسیوس با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید نشت یونی برگ کاهش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد داشت. در دمای ۴۵ درجه سلسیوس نیز با مصرف ۲/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید نشت یونی برگ کاهش ۱۲/۲۳ درصدی و معنی‌داری نسبت به عدم مصرف سالیسیلیک اسید داشت (شکل ۳).



شکل ۳: مقایسه میانگین برهم‌کنش سالیسیلیک اسید در دما بر نشت یونی برگ ذرت رقم "Mv500"

میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون، بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد می‌باشند.

از نظر فیزیولوژیکی نشت یونی مربوط به دیواره سلولی می‌باشد که تحت دمای مطلوب رشد گیاه تغییری نداشته و شاید در دراز مدت تحت اثر قرار گیرد. عدم اثر معنی‌دار سالیسیلیک اسید تا دمای ۳۵ درجه سلسیوس بر نشت یونی برگ می‌تواند به‌دلیل شرایط مطلوب دمایی برای ذرت باشد، که نشت یونی صورت نگرفته که سالیسیلیک اسید مانع از نشت یونی شد. تحت تنش گرمایی غشاء سلولی یکی از اولین بخش‌های گیاهی است که آسیب می‌بینند که در اثر آن، نشت-پذیری غشای سلولی افزایش می‌یابد (Liu and Huang, 2000). در این پژوهش همان‌گونه که مشاهده شد تحت دمای

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2024-12-29]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.38.7.9]

۴۵ درجه سلسیوس بدون استفاده از سالیسیلیک اسید برگ‌ها دارای بیش‌ترین مقدار نشت الکترولیت بودند (شکل ۳). نشت الکترولیت می‌تواند به‌واسطه انرژی جنبشی و حرکت مولکول‌ها در عرض غشای سلولی و گسستگی باندهای شیمیایی درون غشاهای بیولوژیکی باشد که موجب افزایش سیالیت غشای سلولی می‌شود. پایداری غشای سلولی به‌عنوان ابزاری جهت تعیین مقاومت در برابر تنش‌های محیطی مطرح می‌شود (Saneoka *et al*., 2004). آسیب به غشاهای سلولی در تنش‌های مختلف محیطی از جمله گرما به‌دلیل افزایش پراکسیداسیون لیپیدها می‌باشد (Wahid, 2007). تیمار گیاهان توسط سالیسلیک اسید قبل از اعمال تنش، می‌تواند موجب کاهش سطح پراکسیداسیون لیپید و نشت الکترولیتی غشاء شود (Shakirova, 2007). محققان طی بررسی‌هایی نشان دادند که تحت تنش بالای خشکی مصرف سالیسیلیک اسید باعث کاهش ۲۰ درصدی نشت یونی برگ ذرت شد نقی زاده و کبیری (۱۳۹۵) که با نتایج حاصل از این بررسی مبنی بر اثر مثبت سالیسیلیک اسید بر کاهش نشت الکترولیتی غشای سلول تحت تنش‌های محیطی مطابقت دارد. به‌نظر می‌رسد سالیسیلیک اسید از طریق اثر بر روی پلی آمین‌هایی نظیر پوترسین، اسرمین و اسپرمیدین و هم‌چنین ایجاد کمپلکس‌های پایدار از غشاء محافظت کرده و مانع از آسیب به غشای سلولی می‌شود (Nemeth *et al*., 2002).

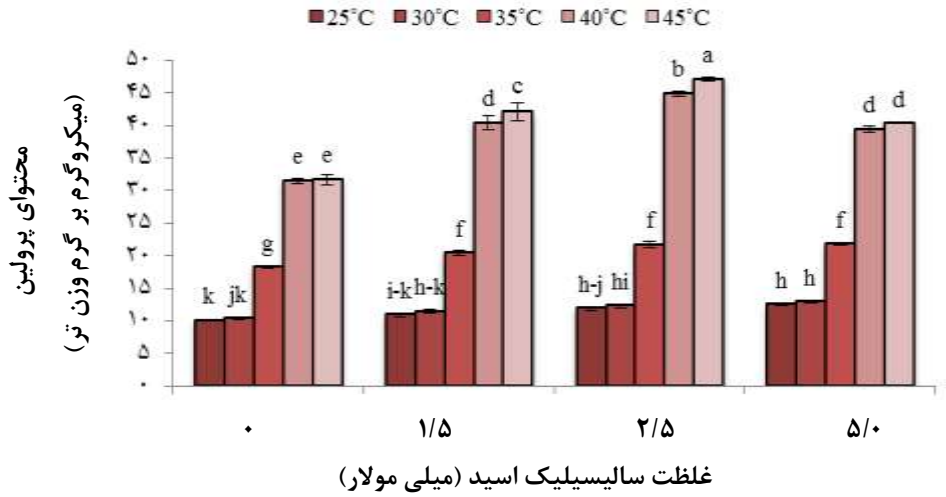
پرولین

محتوای پرولین برگ با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها به‌طور معنی‌داری ($P<0.01$) تحت اثر دما و سالیسیلیک اسید و برهم‌کنش این دو عامل قرار گرفت (جدول ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین تیمارها برگ گیاهچه‌های محلول-پاشی شده با غلظت ۲/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید تحت دمای ۴۵ درجه سلسیوس نگهداری دارای بیش‌ترین میزان پرولین (۴۷/۱۳ میکروگرم بر گرم وزن تر) بودند. در هر سطح از غلظت سالیسیلیک اسید با افزایش دمای نگهداری به ۴۰ و ۴۵ درجه محتوای پرولین برگ افزایش زیاد و معنی‌داری نسبت به عدم مصرف سالیسیلیک اسید داشت. هم‌چنین با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها تحت دماهای ۲۵ و ۳۰ درجه سلسیوس محتوای پرولین گیاهچه‌ها با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید تغییر معنی‌داری نداشت. اما در دماهای ۴۰ و ۴۵ درجه سلسیوس با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید تا ۲/۵ میلی مولار میزان پرولین افزایش و با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید به ۵ میلی مولار کاهش معنی‌داری داشت (شکل ۴). افزایش پرولین در گیاهان به هنگام تنش، نوعی سازوکار دفاعی محسوب می‌شود. طی مطالعاتی همبستگی مثبتی بین تجمع پرولین و مقاومت به تنش‌های محیطی گزارش شده است (Saruhan *et al*., 2012). پرولین با تنظیم اسمزی، جلوگیری از تخریب آنزیم، حفظ و سنتز پروتئین مقاومت گیاه را در برابر تنش‌ها بالا می‌برد (Maggio *et al*., 2002; Ashraf and Foolad, 2007). کاربرد اسید سالیسیلیک در مقابل تنش می‌تواند باعث افزایش میزان پرولین در گیاه شد (Khosravi *et al*., 2011). طی بررسی‌های متعددی توسط محققان محتوای پرولین برگ تحت تنش خشکی، با

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2024-12-29]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.38.7.9]

کاربرد سالیسیلیک اسید افزایش یافت (Mafakheri *et al*., 2010; Pospisilova, 2011). که با نتایج حاصل از این بررسی بر ذرت تحت تنش گرمایی مطابقت دارد. تجمع پرولین ناشی از سالیسیلیک اسید، گیاهان را از تنش گرمایی توسط افزایش پتاسیل آب از طریق افزایش پتانسیل اسمزی و کاهش تنش اکسیداتیو ناشی از تنش گرما محافظت می‌کند (Khan *et al*., 2013b) و با حفظ فشار اسمزی منجر به افزایش فتوسنتز و رشد گیاه شد.



شکل ۴: مقایسه میانگین برهم‌کنش سالیسیلیک اسید در دما بر محتوای پرولین برگ ذرت رقم "Mv500"

میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون، بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد می‌باشند.

نتیجه گیری

با توجه به نتایج کلی از این بررسی تحت دماهای خارج از آستانه تحمل، گیاهچه‌های ذرت دچار تنش گرمایی شدند و سالیسلیک اسید تا غلظت ۲/۵ میلی مولار با افزایش محتوای پرولین برگ و از طریق افزایش تنظیم اسمزی باعث بهبود محتوای نسبی شده و با اثر بر ظرفیت فتوسنتزی منجر به تحمل گیاه در برابر تنش گرمایی شد و از این طریق تا حدودی کاهش رشد تحت دمای بالا را جبران کرد. با توجه به این که این پژوهش در سطح کنترل شده آزمایشگاه و در سطح خیلی کوچکی انجام گرفته، توصیه می‌شود که در سطح بزرگ‌تر و در مزرعه تحت تاریخ‌های مختلف کشت از نظر دمایی جهت کسب نتیجه دقیق‌تر صورت گیرد.

منابع

احمدی، م. و میرحاجی، ه. ۱۳۹۱. ارزیابی تأثیرات تنش‌های گرمایی در کشت ذرت (مطالعه موردی استان قزوین)، مجله علوم محیطی، سال نهم، شماره ۳، ص ۱۲۸-۱۱۹.

امام، ی. ۱۳۸۵. زراعت غلات. انتشارات دانشگاه شیراز. ۱۹۰ صفحه.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2024-12-29]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.38.7.9]

حبیب‌پور، س. س.، نادری، ا.، لک، ش.، فرجی، ه. و مجدم، م. ۱۳۹۴. اثر سالیسیلیک اسید بر عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی هیبریدهای ذرت شیرین در شرایط تنش کمبود آب. مجله فیزیولوژی و بیوشیمیایی گیاهی ایران، دوره ۱، شماره ۲، ص ۱۵-۱.

رامک، م.، خاوری نژاد، ر.، حیدری شریف آباد، ح.، رفیعی، م. و خادمی، ک. ۱۳۸۴. تأثیر تنش آب بر میزان ماده خشک و رنگیزه‌های فتوسنتزی در دو گونه اسپرس. فصلنامه پژوهشی تحقیقات ژنتیک و اصلاح گیاهان مرتعی و جنگلی ایران، سال چهاردهم، شماره ۲، ص ۹۱-۸۰.

عبداللهی، م. و شکاری، ف. ۱۳۹۳. تغییرات فیزیولوژیک در گیاهان گندم بر اثر تیمار بذری با سالیسیلیک اسید تحت شرایط کشت دیر هنگام. فصلنامه علمی پژوهشی زیست شناسی کاربردی، دوره ۲۷، شماره ۱، ص ۶۲-۴۵.

عطارزاده، م.، بلوچی، ح. ر.، رجایی، م. و پولادی، ف. ۱۳۹۶. تأثیر پیش تیمار آبسزیک اسید در القای تحمل به تنش گرما در گیاهچه‌های ذرت (*Zea may*s L.). مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی، جلد ۱۰، شماره ۴، ص ۶۵۳-۶۴۱.

عطارزاده، م.، ترابی، ب. و مداح حسینی، ش. ۱۳۹۳. ارزیابی برهم‌کنش اسید سالیسیلیک اسید و دمای بالا بر برخی صفات فیزیولوژیک ذرت (*Zea mays* L.). نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، جلد ۱۲، شماره ۴، ص ۷۲۶-۷۱۸.

مهدویان، ک. ۱۳۹۶. اثر غلظت‌های متفاوت سالیسیلیک اسید بر تحمل شوری گیاهچه جو (*Hordeum vulgare* L.). فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، سال نهم، شماره ۳۶، ص ۱۳۶-۱۲۱.

نقی‌زاده، م. و کبیری، ر. ۱۳۹۵. اثر برگ‌پاشی با سالیسیلیک اسید بر برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیکی ذرت (*Zea mays* L.) در شرایط تنش خشکی. فصلنامه تنش‌های محیطی در علوم زراعی، جلد ۹، شماره ۴، ص ۳۲۷-۳۱۵.

Agarwal, S., Sairam, K. R., Srivastava, G. C., Aruna, T. and Meena, C. R. 2005. Role of ABA, Salicylic acid, calcium and hydrogen peroxide on antioxidant enzyme induction in wheat seedlings. Plant Science, 169 (3): 559-570.

Anjum, N. A., Gill, S. S. and Gill, R. 2014. Plant adaptation to environmental change: significance of amino acids and their derivatives, 1st Edn. Wallingford: CABI. 344 p.

Asgher M., Khan, M. I. R., Anjum, N. A. and Khan, N. A. 2015. Minimizing toxicity of cadmium in plants–role of plant growth regulators. Protoplasma, 252(2): 399–413.

Ashraf, M. and Foolad, M. R. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany, 59(2): 206–216.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2024-12-29]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.38.7.9]

Barkosky, R. R. and Einhellig, F. A. 1993. Effects of salicylic acid on plant-water relationships. Journal of Chemical Ecology, 19 (2): 237–247.

Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil, 39(1): 205–207.

Chen, J., Xu, W., Velten, J., Xin, Z. and Stout, J. 2012. Characterization of maize inbred lines for drought and heat tolerance. Journal of Soil and Water Conservation, 67 (5): 354-364.

Devasirvatham, V., Gaur, P. M., Mallikarjuna, N., Raju, T. N., Trethowan, R. M. and Tan, D. K. Y. 2012. Effect of high temperature on the reproductive development of chickpea genotypes under controlled environments. Funnctional Plant Biology, 39 (12): 1018-1009.

Dinler, B. S., Demir, E. and Kompe, Y. O. 2014. Regulation of auxin, abscisic acid and salicylic acid levels by ascorbate application under heat stress in sensitive and tolerant maize leaves. Acta Biologica Hungarica, 65 (4): 469-80.

FAO. 2013. Agricultural production statistics. 2013. Available online at:http://faostat3.fao.org/compare/E.

Fayez, K. A. and Bazaid, S. A. 2014. Improving drought and salinity tolerance in barley by application of salicylic acid and potassium nitrate. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 13 (1): 45–55.

Fariduddin, Q., Hayat, S. and Ahmad, A. 2003. Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity, and seed yield in Brassica juncea. Photosynthetica, 41(2): 281-284.

Gosavi, G. U., Jadhav, A. S., Kale, A. A., Gadakh, S. R., Pawar, B. D. and Chimote, V. P. 2014. Effect of heat stress on proline, chlorophyll content, heat shock proteins and antioxidant enzymes activity in sorghum (*Sorghum bicolor*) at seedling stage. Indian Journal of Biotechnology, 13:356-63.

Hasegawa, P. M., Bressan, R. A., Zhu, J. K. and Bohnert, H. J. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 51: 463–499.

Hayat, S., Masood, A., Yusef, M., Fariduddin, Q. and Ahmad, A. 2009. Growth of Indian *Zea mayz* in response to salicylic acid under hight-temperature stress. Braz Journal Plant Physiology, 21(3):187- 195.

Idrees, M., Khan, M. M. A., Aftab, T., Naeem, M. and Hashmi, N. 2010. Salicylic acid-induced physiological and biochemical changes in lemongrass varieties under water stress. Journal of Plant Interactions, 5(4): 293–303.

Janda, K., Hideg, E., Szalai, G., Kovacs, L. and Janda, T. 2012. Salicylic acid may indirectly influence the photosynthetic electron transport. Journal of Plant Physiology, 169(10): 971–978.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2024-12-29]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.38.7.9]

Kazemi-Shahandashti, S. S., Maali-Amiri, R., Zeinali, H., Khazaei, M., Talei, A., Ramezanpour, S. S. 2014. Effect of short-term cold stress on oxidative damage and transcript accumulation of defense-related genes in chickpea seedlings. Journal of Plant Physiology, 171 (13): 1106–1116.

Khan, W., Prithiviraj, B. and Smith, D. L. 2003. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. Journal of Plant Physiology, 160 (5): 485-492.

Khan, M. I. R., Iqbal, N., Masood, A. and Khan N. A. 2012. Variation in salt tolerance of wheat cultivars: role of glycinebetaine and ethylene. Pedosphere, 22(6): 746–754.

Khan, M. I. R., Asgher, M. and Khan, N. A. 2013a. Rising temperature in the changing environment: a serious threat to plants. Climate Change and Environmental Sustainability, 1 (1): 25–36.

Khan, M. I. R., Iqbal N., Masood A., Per T. S. and Khan N. A. 2013b. Salicylic acid alleviates adverse effects of heat stress on photosynthesis through changes in proline production and ethylene formation. Plant Signaling and Behavior, 8 (11): e26374.

Khan, M. I. R., Asgher M. and Khan N. A. 2014. Alleviation of salt-induced photosynthesis and growth inhibition by salicylic acid involves glycinebetaine and ethylene in mungbean (*Vigna radiata* L.). Plant Physiology and Biochemistry, 80 (1): 67–74.

Khosravi, S., Baghizadeh, A. and Nezami, M. T. 2011. The salicylic acid effect on the Salvia officianlis L. sugar, protein and proline contents under salinity (NaCl) stress. Journal Stress Physiology Biochemistry, 7 (4): 80-87.

Klamkowski, K. and Treder, W . 2006. Morphological and physiological responses of strawberry plants to water stress. Agriculturae Conspectus Scientificus, 71 (4): 159-165.

Kumar, S., Gupta, D. and Nayyar, H. 2012. Comparative response of maize and rice genotypes to heat stress: status of oxidative stress and antioxidants. Acta Physiologia Plantarum, 34: 75-86.

Liang, X., Zhang, L., Natarajan, S. K. and Becker, D. F. 2013. Proline Mechanisms of Stress Survival. Antioxid Redox Signal 20, 19 (9): 998–1011.

Lichtenthaler, H. and Wellburn, A. 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls b of leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions, 11(5): 591–592.

Liu, X. and Huang. B. 2000. Heat stress injury in relation to membrane lipid peroxidation in creeping Bentgras. Crop Science, 40 (2): 503-510.

Luttos, S., Kinet, J. M. and Bouharmont, J. 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*oryza sativa* L.). Cultivars differing in salinity resistance. Annals of Botany, 78(3): 389 – 398.

Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P. C. and Sohrabi, Y. 2010.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2024-12-29]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.38.7.9]

Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chick pea cultivars. Australian Journal of Crop Science, 4(8): 580–585.

Maggio, A., Miyazaki, S., Veronese, P., Fujita, T., Ibeas, J. I., Damsz, B., Narasimhan, M. L., Hasegawa, P. M., Joly R. J. and Bressan R. A. 2002. Does proline accumulation play an active role in stress-induced growth reduction? Plant Journal, 31(6):699-712.

Mavi, H. S. and Tupper, G. J. 2004. Agrometeorology: principles and applications of climate studies in agriculture. New York: Haworth Press, 50-64.

Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell and Environment, 25(2): 239-250

Nazar, R., Iqbal, N., Syeed, S. and Khan, N. A. 2011. Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under salt stress by enhancing nitrogen and sulfur assimilation and antioxidant metabolism differentially in two mungbean cultivars. Journal of Plant Physiology, 168(8): 807–815.

Nazar, R., Umar, S. and Khan, N. A. 2015. Exogenous salicylic acid improves photosynthesis and growth through increase in ascorbate-glutathione metabolism and S assimilation in mustard under salt stress, Plant Signaling and Behavior. 10(3): e1003751.

Nemeth, M., Janda, T., Horvath, E., Páldi, E. and Szalai, G. 2002. Exogenous salicylic acid increases polyamine content but may decrease drought tolerance in maize. Plant Science, 162(4): 569-574.

Popova, L., Ananieva, E., Haristova, V., Christov, K., Georgiera, K., Alexieva, E. and Stoinova, Zh. 2003. Salicylic acid and methyl jasmonate-induced protection on photosynthesis to paraquat oxidative stress. Bulgarian Journal of Plant Physiology, 133-152.

Popova, L. P., Maslenkova, L. T., Yordanova, R. Y., Ivanova, A. P., Krantev, A. P., Szalai, G. and Janda, T. 2009. Exogenous treatment with salicylic acid attenuates cadmium toxicity in pea seedlings. Plant Physiology and Biochemistry, 47(3): 224-231.

Porwanto, E. 2003. Photosynthesis activity of soybean (*Glycin max* L.) under drought stress. Agronomy Journal, 5 (1): 1-18.

Pospisilova, J. 2011. Responses of transgenic tobacco plants with increased proline content to drought and/or heat stress. American Journal of Plant Sciences, 2: 318–324.

Rao, R., Qayyum, A., Razzaq, A., Ahmad, M., Mahmood, I. and Sher, A. 2012. Role of foliar application of salicylic acid and l- tryptophan in droughe tolerance of maze. Journal of Animal & Plant Sciences, 22 (3): 768-772.

Rajeshwari, V. and Bhuvaneshwari, V. 2017. Salicylic acid induced salt stress tolerance in plants. International Journal of Plant Biology and Research, 5 (3): 1067-1072.

Ritchie, S. W., Nguyen, H. T. and Scott Holaday, A. 1990. Leaf water content and gas-

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2024-12-29]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.38.7.9]

exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science, 30(1): 105–111.

Rodriguez, V. M., Soengas, P. M., Villaverde, V. A., Sotelo, T., Cartea, M. E. and Velasco, P. 2015. Effect of temperature stress on the early vegetative development of *Brassica oleracea* L. BMC Plant Biology, 15 (145): 2-9.

Saneoka, H., Moghaieb, R. E. A., Premachandra, G. S. and Fujita, K. 2004. Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in agrostis palustris huds. Environmental and Experimental Botany, 52 (2): 131-138.

Saruhan, N., Saglam, A. and Kadioglu, A. 2012. Salicylic acid pretreatment induces drought tolerance and delays leaf rolling by inducing antioxidant systems in maize genotypes. Acta Physiologiae Plantarum, 34 (1): 97–106.

Shakirova, F. M. 2007. Role of hormonal system in the manifestation of growth promoting and antistress action of salicylic acid. In: S. Hayat, and A. Ahmad, eds. Salicylic Acid – A Plant Hormone. pp. 69–89 Springer, Dordrecht, the Netherlands.

Shakirova, F. M., Sakhabutdinova, A. R., Bezrukova, M. V., Fathutdinova, R. A. and Fathutdinova, D. R. 2003. Changes in hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. Plant Science, 164 (3): 317–322.

Siboza, X. I., Bertling, I. and Odindo, A. O. 2014. Salicylic acid and methyl jasmonate improve chilling tolerance in cold-stored lemon fruit (*Citrus limon*). Journal of Plant Physiology, 171 (18): 1722-1731.

Sinsawat, V., Leipner, J., Stamp, P. and Fracheboud, Y. 2004. Effect of heat stress on the photosynthetic apparatus in maize (*Zea mays* L.) grown at control or high temperature. Environmental and Experimental Botany, 52 (2): 123– 129.

Tabari, H. and Hosseinzadeh-Talaee, P. 2011. Recent trends of mean maximum and minimum air temperatures in the western half of Iran. Journal of Meteorological Atmosphere Physics, 111 (3-4): 121–131.

Wahid, A. 2007. Physiological implications of metabolites biosynthesis in net assimilation and heat stress tolerance of sugarcane (*Saccharum officinarum*) sprouts. Journal of Plant Research, 120 (2):219-28.

Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M. and Foolad, M. R. 2007. Heat tolerance in plants: An overview. Environmental and Experimental Botany, 61 (3):199-223.

Wang, L. J., Fan, L., Loescher, W., Duan, W., Liu, G. J., Cheng, J. S., Luo, H. B. and Li, S. H. 2010. Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under heat stress and accelerates recovery in grapevine leaves. BMC Plant Biology, 10 (34): 2-10.

Weis, E. and Berry, J. A. 1988. Plants and high temperature stress. in: long, S.P. and

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2024-12-29]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.38.7.9]

woodward, F.I., eds., plants and temperature, the company of biologists ltd., Cambridge. 329-346.

Wise, R. R., Olson, A. J., Schrader, S. M. and Sharkey, T. D. 2004. Electron transport is the functional limitation of photosynthesis in field-grown Pima cotton plants at high temperature. Plant Cell Environment, 27 (6): 717–724.

Yuzbasioglu, E., Dalyan, E. and Akpinar, I. 2017. Changes in photosynthetic pigmants, anthocyanin content and antioxidant enzyme activities of maize (*Zea mays* L.) seedlings under high temperature stress conditions, Trakya University Journal of Natural Sciences, 18 (2): 97-104.

Zhang, Y., Xu, S., Yang, S. and Chen, Y. 2015. Salicylic acid alleviates cadmium-induced inhibition of growth and photosynthesis through upregulating antioxidant defense system in two melon cultivars (*Cucumis melo* L.). Protoplasma, 252(3): 911–924.http://www.irimo.ir/far/wd/2703.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2024-12-29]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.38.7.9]