

اثر محلول پاشی سالیسیلیک اسید، گلاسیسین بتائین و گاما آمینوبوتیریک اسید بر خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه دارویی کارلا (*Momordica charantia* L.) تحت تنش کم آبی

افسون رضایی علولو، عزیزاله خیری*، محسن ثانی خانی و مسعود ارغوانی

گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۲۹، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۷/۲۹)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر محلول پاشی سطوح مختلف سالیسیلیک اسید، گلاسیسین بتائین و گاما آمینوبوتیریک اسید بر خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه دارویی کارلا (*Momordica charantia* L.) تحت تنش کم آبی آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۶ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح آبیاری (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) به عنوان فاکتور اصلی و دو سطح سالیسیلیک اسید (۲ و ۴ میلی مولار)، گلاسیسین بتائین (۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار) و گاما آمینوبوتیریک اسید (۱۰ و ۲۰ میلی مولار) به همراه شاهد به عنوان فاکتور فرعی به کار برده شدند. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل کل (۱/۷۲ میلی گرم بر گرم) در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی با ۵۰ میلی مولار گلاسیسین بتائین حاصل شد. کاربرد برگری ۵۰ میلی مولار گلاسیسین بتائین در سطح آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بیشترین میزان کاروتنوئید (۰/۷۹ میلی گرم بر گرم) و آنتوسیانین (۵/۵۱ میکرومول بر گرم) را موجب شد. حداکثر مقدار فنل (۲۰/۱۱ میلی گرم بر گرم) و فلاونوئید کل (۴/۴۱ میلی گرم بر گرم) در تنش کم آبی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی با ۱۰۰ میلی مولار گلاسیسین بتائین به دست آمد. کاربرد ۴ میلی مولار سالیسیلیک اسید در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی حداکثر مقدار ویتامین ث (۶۵/۴۵ میلی گرم بر گرم) میوه را موجب شد. بیشترین مقدار مواد جامد محلول (۷/۱۸٪) با محلول پاشی ۱۰۰ میلی مولار گلاسیسین بتائین در تنش کم آبی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد. با توجه به نتایج به دست آمده کاربرد سطوح مختلف گلاسیسین بتائین در شرایط تنش کم آبی جهت تعدیل شرایط تنش و بهبود خصوصیات فیزیولوژیک گیاه کارلا پیشنهاد می شود.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، فنل کل، خربزه تلخ، گابا، ویتامین C

مقدمه

دارد (Luqman *et al.*, 2013). برخلاف سایر سبزیجات تیره کدوئیان که طعم تلخ آنها مربوط به کوکوروبیتاسین است طعم تلخ خربزه تلخ به دلیل وجود آلکالوئید موموردیسین و گلیکوزیدهای تری‌ترپنی (L and K momrdicoside) است (Tusar *et al.*, 2010).

تنش‌های محیطی از مهمترین عوامل کاهش دهنده عملکرد

گیاه دارویی کارلا با نام انگلیسی Bitter melon، از تیره کدوئیان (Cucurbitaceae)، یک ساله، با میوه‌های تخم‌مرغی شکل، خاردار و گوشتی شکوفا با سه شیار نامنظم است (Anliakumar *et al.*, 2015). مرکز اصلی منشأ آن در شرق هند و جنوب چین می‌باشد. ولی تنوع گونه زیادی در آفریقا

* نویسنده مسؤول، نشانی پست الکترونیکی: kheiry@znu.ac.ir

گیاهان زراعی در جهان هستند. خشکی به‌عنوان یکی از مهمترین عوامل محدودکننده رشد و تولید گیاهان زراعی شناخته‌شده و موجب تغییر در برخی خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک رشد گیاه می‌شود. تنش کم‌آبی می‌تواند از برخی فعالیت‌های فیزیولوژیکی مانند تعرق، فتوسنتز، طویل شدن بافت‌ها و اندام‌ها ممانعت نموده و یا حتی باعث توقف آنها شود (دلفانی و همکاران، ۱۳۹۴).

از جمله ترکیباتی که در شرایط تنش‌های غیرزیستی در جاروب‌کردن رادیکال‌های آزاد و گونه‌های فعال اکسیژن نقش ایفا می‌کنند، ترکیبات فنلی هستند که متابولیت‌های غنی از کربن و به‌عنوان گروه بزرگی از متابولیت‌های ثانویه گیاهی است (Dicko *et al.*, 2005). آسکوربیک اسید یا ویتامین ث نیز از ترکیباتی است که به‌وفور در گیاهان یافت می‌شود و دارای چندین نقش فیزیولوژیکی در گیاهان است به‌عنوان مثال در فرایندهای رشد، تمایز و متابولیسم شرکت دارد. آسکوربیک اسید قادر است در جاروب‌کردن رادیکال‌ها شرکت کند (قربانلی، ۱۳۸۷).

سالیسیلیک اسید ترکیبی فنلی است که به‌عنوان شبه هورمون دارای اثراتی بر متابولیسم، بیوسنتز، فعالیت‌های اکسیداتیو و فعالیت‌های زیستی نظیر رشد و نمو، فتوسنتز، تنفس، جذب و انتقال یون‌ها، تغییر فعالیت برخی آنزیم‌های مهم و ساختار کلروپلاست است (Borsani *et al.*, 2001). در یک بررسی کاربرد سالیسیلیک اسید در گیاهچه‌های خیار باعث بهبود خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی شد. علاوه بر این اثرات مخرب خشکی بر روی گیاه با کاربرد سالیسیلیک اسید کاهش پیدا کرد (بیات و همکاران، ۱۳۹۰).

گلاسیسین‌بتائین به‌طور کلی یک ترکیب مشتق‌شده از اسید آمینه گلاسیسین است که در بسیاری از میکروارگانیزم‌ها، گیاهان عالی و حیوانات یافت می‌شود. گلاسیسین‌بتائین یک متابولیت آلی کوچکی است که در آب بسیار قابل حل است و در غلظت‌های بالا غیرسمی است. به‌طور کلی میزان تجمع گلاسیسین‌بتائین با میزان تحمل به تنش‌ها همبستگی نشان می‌دهد. گلاسیسین‌بتائین بر روی تثبیت یا ثبات ساختار آنزیم‌ها،

کمپلکس‌های پروتئینی، حفظ و نگهداری غشاها در دماهای غیرفیزیولوژیکی و تنش شوری مؤثر است. محلول‌پاشی یا کاربرد آن از طریق برگ‌ها سبب می‌شود که این محلول به سرعت توسط بافت‌های برگ‌ها جذب شوند. همچنین این محلول از طریق ریشه نیز جذب می‌گردد (Chen and Murata, 2008). در یک بررسی مشاهده شد که تیمار بوته‌های انگور با گلاسیسین‌بتائین تحت شرایط تنش کم‌آبی باعث افزایش میزان کربوهیدرات‌های محلول و همچنین افزایش تحمل به خشکی گردید (زمانی و همکاران، ۱۳۹۱).

گاما آمینوبوتیریک اسید (GABA، گابا) یک اسید آمینه چهار کربنه غیرپروتئینی است که جزء اصلی منبع آمینو اسیدهای آزاد در اکثر پروکاریوت‌ها و یوکاریوت‌ها است. از لحاظ ساختاری یک مولکول انعطاف‌پذیر است که می‌تواند در حالت محلول چندین ساختار از جمله ساختار حلقوی شبیه به اسید آمینه پرولین را از خودش نشان دهد (Shelp *et al.*, 1999). گابا یک تنظیم‌کننده رشد گیاهی است که می‌تواند رشد و عملکرد را در محصولات مختلف کنترل کند و اثر قابل توجهی روی تنظیم رشد داشته باشد. گابا سبب افزایش سطح هورمون‌های درونی گیاه می‌شود که در نتیجه بر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد کل مؤثر است (Hoque, 2002). هدف از پژوهش حاضر بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیک گیاه کارلا به کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید، گلاسیسین‌بتائین و گاما آمینوبوتیریک اسید در شرایط تنش کم‌آبی است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در بهار و تابستان سال ۱۳۹۶ به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان واقع در طول جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی، عرض جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۴ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۵۹۶/۳۷ متر از سطح دریا اجرا شد. قبل از اجرای تحقیق، از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری نقاط مختلف خاک مزرعه نمونه‌برداری و برای تعیین خواص فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شد که نتایج آزمایش خاک در

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

| pH | EC | ماده آلی نیتروژن | | کلسیم | فسفر | پتاسیم | بافت خاک | شن | سیلت | رس |
|-----|------|------------------|------|-------|------|--------|----------|----|------|----|
| | | درصد | | | | | | | | |
| ۷/۴ | ۱/۴۹ | ۰/۰۷ | ۰/۱۲ | ۰/۰۱۶ | ۰/۲۰ | ۰/۹۴ | لوم رسی | ۲۵ | ۳۸ | ۳۷ |

جدول ۱ ارائه شده است.

سانتی‌گراد منتقل گردید. پس از مشخص شدن درصد رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی مزرعه، تنش کم‌آبی در سه سطح ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی تعیین گردید. به منظور کنترل رطوبت خاک هر روز از عمق توسعه ریشه از سطح خاک تا عمق ۳۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری گردید. پس از گذاشتن نمونه‌ها در آون و در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد، میزان رطوبت موجود در خاک مشخص شده و در صورت نیاز به آبیاری اقدامات لازم صورت گرفت. میزان آب تعیین شده در حد ظرفیت زراعی برای هر سطح تنش کم‌آبی در هر بار آبیاری با قراردادن بشر مدرج زیر یکی از سوراخ‌های تیپ در هر سطح آبیاری اندازه‌گیری شد. اعمال تنش کم‌آبی یک هفته بعد از اولین محلول‌پاشی در سه سطح (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) اعمال شد. همچنین بوته‌ها دو نوبت نیز در فاز زایشی (گلدهی) با فاصله ۱۰ روز با غلظت‌های تعیین شده محلول‌پاشی شدند. ۱۰ روز بعد از آخرین محلول‌پاشی از هر واحد آزمایشی با حذف اثر حاشیه‌ای از ۴ بوته نمونه‌برداری و برای اندازه‌گیری صفات مورد نظر به آزمایشگاه دانشگاه زنجان منتقل شد.

معادله (۱)

= درصد رطوبت در ظرفیت زراعی

$100 \times \frac{\text{وزن خاک خشک}}{\text{وزن خاک خشک} - \text{وزن خاک تر}}$

صفات مورد اندازه‌گیری: برای اندازه‌گیری کلروفیل کل و

کاروتنوئید از روش Arnon (۱۹۶۷) استفاده شد. ابتدا ۰/۱ گرم از بافت تازه برگ وزن شد و با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد در هاون چینی ساییده شد و پس از سانتریفوژکردن با دور پنج هزار به مدت ده دقیقه مقدار جذب در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵، ۵۱۰ و ۴۸۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل SAFAS MONACO (RS 232) خوانده شد و در نهایت

تیمارهای آزمایش شامل سه سطح آبیاری (۱۰۰) (شاهد)، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) به عنوان فاکتور اصلی و تیمارهای سالیسیلیک اسید دو سطح (۲ و ۴ میلی‌مولار)، گاما آمینوبوتیریک اسید (۱۰ و ۲۰ میلی‌مولار) و گلایسین‌بتائین (۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) به همراه شاهد، فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. در بهار بعد از انجام عملیات تهیه زمین در ۱۰ خرداد بذرهای خریزه تلخ رقم PALEE F1 که از شرکت EAST-WEST SEED توسط جهاد کشاورزی زابل تهیه شده بودند برای تسریع در جوانه‌زنی به مدت ۲۴ ساعت خیس‌انده شدند و سپس به صورت مستقیم در زمینی از قبل آبیاری شده در ۶۳ واحد آزمایشی با فاصله ۱/۵۰ متری بین ردیف‌ها و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۷۵ سانتی‌متر در ردیف‌هایی به طول ۵ متر در عمق ۲ سانتی‌متری کشت شدند. فاصله بین سطوح تنش کم‌آبی ۲ متر در نظر گرفته شد. آبیاری بذرها به روش قطره‌ای و با استفاده از تیپ، به مدت چهار روز به‌طور روزانه و تا مرحله چهار برگی به صورت یک روز در میان و تا استقرار کامل گیاه آبیاری به صورت سه روز در میان صورت گرفت. مبارزه با علف‌های هرز در طول دوره رشد به صورت دستی انجام شد. پس از استقرار کامل گیاه در خاک اولین محلول‌پاشی در مرحله ۱۰-۱۲ برگی انجام شد. برای تعیین میزان رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی از معادله (۱) استفاده شد. روش کار به این صورت بود که ابتدا همه ردیف‌های کاشت به یک اندازه آبیاری شدند و حجم آب مصرفی با قراردادن بشر مدرج زیر یکی از سوراخ‌های تیپ اندازه‌گیری شد. بعد از گذشت ۲۴ ساعت از آبیاری از عمق توسعه ریشه (۰-۳۰ سانتی‌متری) نمونه‌برداری گردید. نمونه‌های برداشت‌شده توزین و به آون با دمای ۱۰۰ درجه

دقیقه و در ۶۰۰۰ دور سانتریفوژ گردید. جذب محلول‌های فاز رویی در طول موج‌های ۵۵۰ نانومتر خوانده شد. از محلول متانول اسیدی ۱ درصد به‌عنوان شاهد استفاده شد. میزان آنتوسیانین برای هر عصاره بر حسب میکرومول بر گرم با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید که (A) مقدار جذب، (ε) ضریب خاموشی معادل ۳۳۰۰۰ بر مول بر سانتی‌متر، (b) عرض کوت برابر یک سانتی‌متر و (c) مقدار آنتوسیانین را نشان می‌دهد (Mancinelli et al., 1998).

$$A = \epsilon b c$$

برای اندازه‌گیری آسکوربیک اسید (ویتامین ث) از روش AOAC (۲۰۰۰) با اندکی تغییر استفاده شد. ابتدا متافسفریک ۱ درصد تهیه شد (۱۰ گرم در یک لیتر). ۰/۱ گرم از بافت میوه با ۶ سی‌سی از محلول متافسفریک به‌خوبی ساییده شد و در ۶۰۰۰ دور به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتیگراد سانتریفوژ شد. سپس محلول رویی جمع‌آوری گردید. ۵۰ میلی‌گرم از پودر دی‌کلرو ایندوفنل در ۲۰۰ سی‌سی آب گرم حل شد و به آن ۴۲ میلی‌گرم بی‌کربنات سدیم اضافه شد. این ماده رنگی داخل فویل و در یخچال به مدت کوتاه نگهداری شد. سپس ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره استخراج شده به دو میلی‌لیتر از محلول رنگی اضافه شد و جذب محلول حاصل در طول موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد. غلظت ویتامین C با استفاده از منحنی استاندارد تهیه‌شده از غلظت‌های مختلف آسکوربیک اسید در حضور دی‌کلرو ایندوفنل و بر حسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن خشک بیان شد.

مواد جامد محلول (TSS) آب‌میوه با دستگاه رفاکتومتر چشمی مدل ATAGO Brixo-32 به روش McGlone و همکاران (۲۰۰۴) بر حسب درجه بریکس خوانده شد.

آنالیز داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزار SAS V9 و مقایسه میانگین داده‌ها از طریق آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۱ درصد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار آبیاری بر کلروفیل کل، کاروتنوئید، آنتوسیانین، فنل و فلاونوئید کل، ویتامین ث و

با استفاده از فرمول‌های زیر میزان کلروفیل کل و کاروتنوئید بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه به‌دست آورده شد. در این رابطه (V) حجم نهایی عصاره، (A) جذب نور در طول موج‌های مشخص، (W) وزن تر نمونه بر حسب گرم است.

$$\text{Total Chl} = [20.2 (A645) + 8.02 (A663)] \times V / (W \times 1000)$$

$$\text{Car} = [7.6 (A480) - 1.49 (A510)] \times V / (W \times 1000)$$

میزان فلاونوئید کل به روش رنگ سنجی آلومینیوم کلراید با استفاده از کوئرسیتین به‌عنوان استاندارد به روش Chang و همکاران (۲۰۰۲) اندازه‌گیری شد. ۰/۱ گرم از بافت تازه برگ با ۱۰ سی‌سی متانول اسیدی در هاون چینی ساییده شد. به ۰/۵ میلی‌لیتر عصاره صاف‌شده ۱/۵ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد، ۱۰۰ میکرولیتر آلومینیوم کلراید ۱۰ درصد، ۱۰۰ میکرولیتر استات پتاسیم ۱ مولار و ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد و مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه نگهداری شد. میزان جذب نوری در طول موج ۴۱۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر خوانده شد. با قراردادن مقدار جذب نمونه‌ها در معادله مربوط به منحنی استاندارد مقدار فلاونوئید کل موجود در عصاره‌ها محاسبه شد و محتوای فلاونوئید بر حسب معادل اکی‌والان‌های کوئرسیتین بر گرم وزن عصاره تر محاسبه شد.

میزان فنل کل براساس روش فولین سیو کالتیو با استفاده از گالیک اسید به‌عنوان استاندارد به روش Meda و همکاران (۲۰۰۵) اندازه‌گیری شد. به ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره صاف‌شده ۲ میلی‌لیتر کربنات سدیم ۲ درصد، ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر و ۱۰۰ میکرولیتر معرف فولین سیو کالتیو ۵۰ درصد اضافه شد و نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی و در دمای اتاق نگهداری شدند. میزان جذب در طول موج ۷۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر خوانده شد. با قراردادن مقدار جذب نمونه‌ها در معادله مربوط به منحنی استاندارد، مقدار فنل کل موجود در عصاره‌ها محاسبه شد در نهایت داده‌ها براساس معادل میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم وزن تر گیاه محاسبه شد.

برای اندازه‌گیری آنتوسیانین کل مقدار ۰/۱ گرم از پوشش ژله قرمز رنگ اطراف بذر با ۵ میلی‌لیتر محلول متانول اسیدی ۱ درصد در یک هاون چینی ساییده شد. محلول به مدت ۲۴ ساعت در یخچال نگهداری شد. سپس محلول به مدت ۱۵

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف آبیاری گابا (GA)، گلاسیسین بتائین (GB) و سالیسیلیک اسید (SA) بر برخی صفات فیزیولوژیک کارلا

| میانگین مربعات | | | | | | | df | منابع تغییرات |
|-----------------|-----------|--------------|---------|------------|---------------|------------|----|---------------------|
| مواد جامد محلول | ویتامین ث | فلاونوئید کل | فنل کل | آنتوسیانین | کاروتنوئید کل | کلروفیل کل | | |
| ۰/۹۶ | ۵/۷۵ | ۰/۰۱ | ۰/۱۳ | ۰/۰۲ | ۰/۰۰۰۴ | ۰/۰۰۱ | ۲ | تکرار |
| ۱۵/۰۸** | ۲۶۲۸/۹۳** | ۲۰/۸۵** | ۸۲/۸۷** | ۱/۳۲** | ۰/۰۸۳** | ۰/۱۰** | ۲ | آبیاری |
| ۰/۱۵ | ۵/۴۱ | ۰/۰۳ | ۰/۱۸ | ۰/۰۵ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۰۵ | ۴ | خطای کرت اصلی |
| ۸/۶۷** | ۲۸۹/۵۶** | ۲/۲۰** | ۹/۰۹** | ۴/۹۶** | ۰/۰۷۲** | ۰/۳۷** | ۶ | محلول پاشی |
| ۰/۶۲** | ۲۶/۷۴** | ۰/۲۴** | ۱/۱۸** | ۰/۵۳** | ۰/۰۰۹** | ۰/۰۱* | ۱۲ | آبیاری × محلول پاشی |
| ۰/۱۹ | ۵/۷۰ | ۰/۰۲ | ۰/۰۶ | ۰/۰۴ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۲ | ۳۶ | خطای کرت فرعی |
| ۹/۲۴ | ۵/۱۱ | ۶/۲۳ | ۱/۵۴ | ۴/۷۱ | ۶/۱۱ | ۳/۴۵ | | ضریب تغییرات (درصد) |

**،* و ns به ترتیب معنی داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم معنی داری

به دست آمد (شکل ۲).

آنتوسیانین: طبق نتایج حاصل اعمال تنش کم آبی موجب افزایش مقدار آنتوسیانین کل گردید و مقدار این رنگیزه از ۱/۹۲ میکرومول بر گرم در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به ۳/۷۰ میکرومول بر گرم در سطح آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی رسید. در برهمکنش آبیاری با محلول پاشی بیشترین مقدار آنتوسیانین (۵/۵۱ میکرو مول بر گرم) در سطح آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی با ۵۰ میلی مولار گلاسیسین بتائین به دست آمد (شکل ۳).

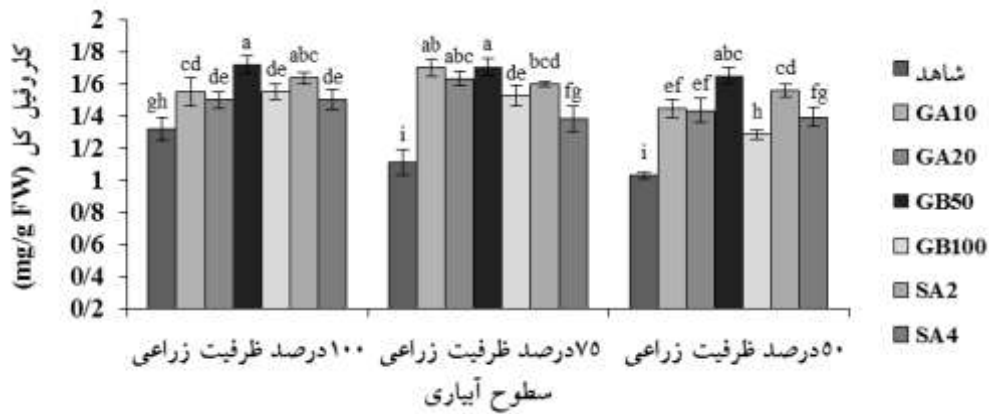
فنل کل: نتایج نشان داد که افزایش شدت تنش کم آبی باعث افزایش میزان فنل کل از ۱۲/۲۶ میلی گرم بر گرم در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به ۱۶/۵۹ میلی گرم بر گرم در سطح آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی شد. بیشترین مقدار فنل کل (۲۰/۱۱ میلی گرم بر گرم) با ۱۰۰ میلی مولار گلاسیسین بتائین در تنش کم آبی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد (شکل ۴).

فلاونوئید کل: مطابق با نتایج با افزایش شدت تنش کم آبی میزان فلاونوئید کل از ۰/۵۱ میلی گرم بر گرم در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به ۲/۹۰ میلی گرم بر گرم در سطح آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی افزایش پیدا کرد. بیشترین

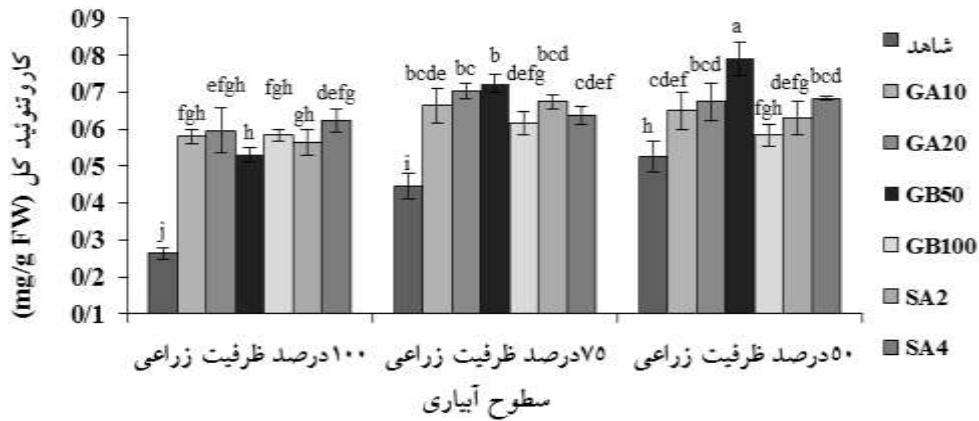
مواد جامد محلول (TSS) در سطح احتمال ۱ درصد معنی داری بود. محلول پاشی سالیسیلیک اسید، گلاسیسین بتائین و گابا افزایش معنی دار تمام صفات مورد اندازه گیری را سبب شدند. برهمکنش رژیم آبیاری و محلول پاشی بر همه صفات در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۲).

کلروفیل کل: طبق نتایج مقایسه میانگین داده ها با افزایش شدت تنش کم آبی میزان کلروفیل کل به شدت کاهش یافت به طوریکه مقدار آن از ۱/۳۲ میلی گرم بر گرم در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به ۱/۰۳ میلی گرم بر گرم در تنش کم آبی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی رسید. در برهمکنش آبیاری با محلول پاشی بیشترین مقدار کلروفیل کل (۱/۷۲ میلی گرم بر گرم) در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی با کاربرد ۵۰ میلی مولار گلاسیسین بتائین حاصل شد (شکل ۱).

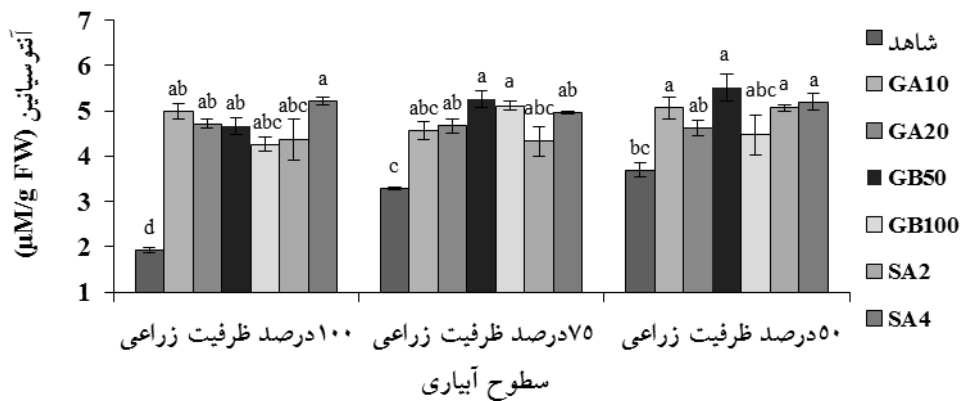
کاروتنوئید کل: طبق نتایج با افزایش شدت تنش کم آبی میزان کاروتنوئید کل از ۰/۲۶ میلی گرم بر گرم در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به ۰/۵۲ میلی گرم بر گرم در سطح آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی افزایش یافته بود. در برهمکنش رژیم های مختلف آبیاری با الیستورها حداکثر مقدار کاروتنوئید (۰/۷۹ میلی گرم بر گرم وزن تر) با ۵۰ میلی مولار گلاسیسین بتائین در تنش کم آبی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی



شکل ۱- اثر متقابل تنش کم آبی و سالیسیلیک اسید (SA)، گلیاسین بتائین (GB)، گاما آمینوبوتیریک اسید (GA) بر میزان کلروفیل کل. ستون‌های دارای حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است.



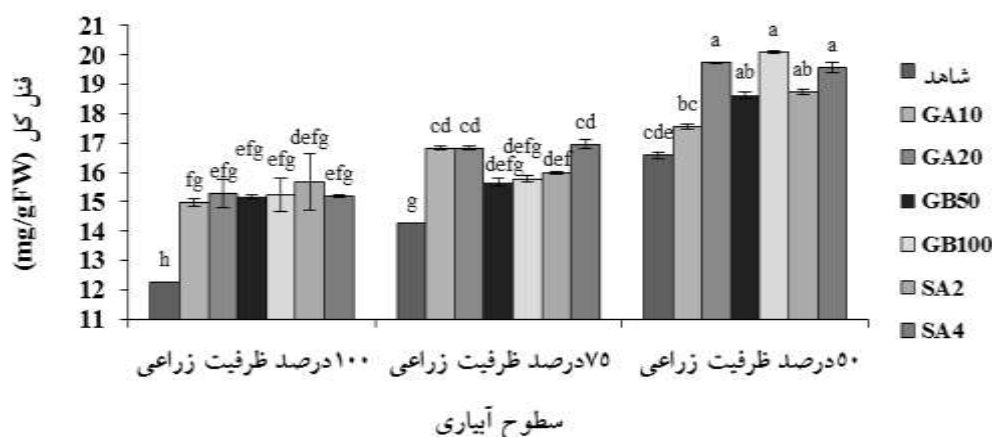
شکل ۲- اثر متقابل تنش کم آبی و سالیسیلیک اسید (SA)، گلیاسین بتائین (GB)، گاما آمینوبوتیریک اسید (GA) بر میزان کلروفیل a. ستون‌های دارای حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است.



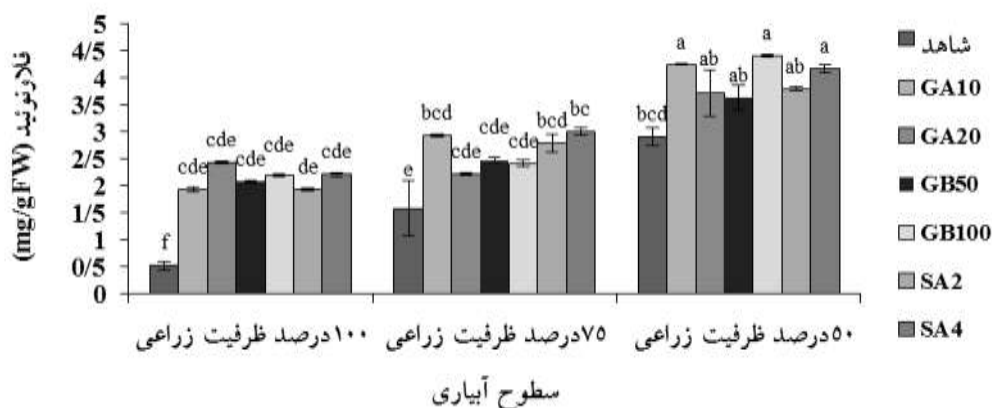
شکل ۳- اثر متقابل تنش کم آبی و سالیسیلیک اسید (SA)، گلیاسین بتائین (GB)، گاما آمینوبوتیریک اسید (GA) بر میزان آنتوسیانین. ستون‌های دارای حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است.

مقدار فلاونوئید کل (۴/۴۱ میلی گرم بر گرم) در تنش کم- حاصل شد (شکل ۵).

آبی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی با گلیاسین بتائین ۱۰۰ میلی مولار ویتامین ث: مطابق با نتایج مقایسه میانگین داده‌ها با



شکل ۴- اثر متقابل تنش کم آبی و سالیسیلیک اسید (SA)، گلاسیسین بتائین (GB)، گاما آمینوبوتیریک اسید (GA) بر میزان فنل کل. ستون‌های دارای حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است.



شکل ۵- اثر متقابل تنش کم آبی و سالیسیلیک اسید (SA)، گلاسیسین بتائین (GB)، گاما آمینوبوتیریک اسید (GA) بر میزان فلاونوئید کل. ستون‌های دارای حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است.

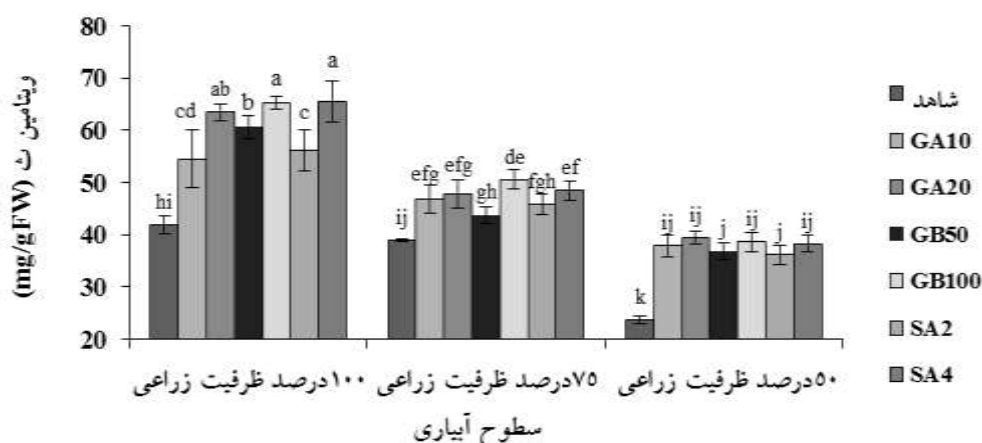
سطح آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی با ۱۰۰ میلی مولار گلاسیسین حاصل شد (شکل ۷).

بحث

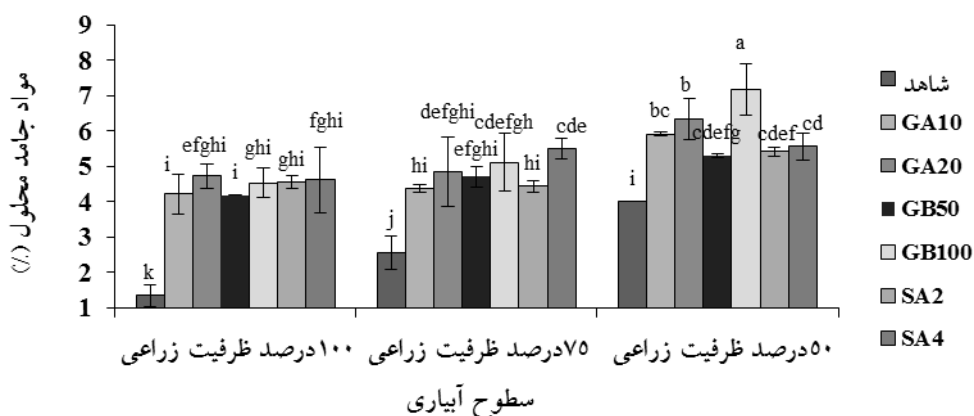
طبق نتایج حاصل، تنش کم آبی باعث کاهش محتوای کلروفیل کل و افزایش مقدار کاروتنوئیدها و آنتوسیانین گردید. کاهش میزان کلروفیل می‌تواند به دلیل تغییر متابولیسم نیتروژن در رابطه با ساخت ترکیباتی مانند پرولین باشد. شرایط تنش موجب می‌شود تا گلوتامات که پیش‌ماده ساخت کلروفیل و پرولین است، کمتر در مسیر بیوسنتز کلروفیل قرار گیرد (حیدری شریف‌آباد، ۱۳۸۰). یکی از صدمات اکسیداتیوی مهمی که در شرایط تنش خشکی ایجاد می‌شود تخریب

افزایش شدت تنش کم آبی میزان ویتامین ث میوه از ۴۱/۸۱ میلی‌گرم بر گرم در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به ۲۳/۸۰ میلی‌گرم بر گرم در سطح آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی کاهش پیدا کرد. مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و سطوح مختلف تیمارها نشان داد که بیشترین مقدار ویتامین ث متعلق به محلول پاشی با ۴ میلی مولار سالیسیلیک اسید در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی است (شکل ۶).

مواد جامد محلول: نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش کم آبی میزان مواد جامد محلول نیز افزایش پیدا کرد به طوریکه مقدار آن از ۱/۳۴٪ در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به ۴/۰۰٪ در سطح آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی افزایش پیدا کرد. حداکثر مقدار مواد جامد محلول در



شکل ۶- اثر متقابل تنش کم آبی و سالیسیلیک اسید (SA)، گلیاسین بتائین (GB)، گاما آمینوبوتیریک اسید (GA) بر میزان ویتامین ث ستون‌های دارای حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است.



شکل ۷- اثر متقابل تنش کم آبی و سالیسیلیک اسید (SA)، گلیاسین بتائین (GB)، گاما آمینوبوتیریک اسید (GA) بر مواد جامد محلول. ستون‌های دارای حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است.

عمل می‌کنند و موجب محافظت گیاهان در برابر تنش‌های اکسیداتیو می‌شوند باشد (Lin-Wang et al., 2010). افزایش آنتوسیانین در *Sempreflorens begonia* در شرایط تنش گزارش شده است که به علت نقش محافظت نوری آنها در حذف مستقیم گونه‌های فعال اکسیژن هنگام تنش اکسیداتیو است (Zhang et al., 2010). در بررسی حاضر محلول‌پاشی گابا موجب افزایش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی گردید که مطابق با پژوهشی بود که کاربرد گابا باعث توسعه بیوستتاز کلروفیل در گیاهچه‌های ذرت شده بود، این افزایش را این‌گونه توجیه کردند که گابا قادر است سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی و کاروتنوئیدها را توسعه بخشد که می‌تواند در بهبود کارایی

کلروفیل است که به دنبال این تخریب رنگیزه‌های محافظتی مانند کاروتنوئیدها و آنتوسیانین افزایش می‌یابد (Chalker-Scott, 2002) که در مطالعه حاضر نیز تنش خشکی سبب کاهش مقدار کلروفیل کل و افزایش مقدار کاروتنوئیدها و آنتوسیانین شد.

افزایش کاروتنوئیدها در اثر تنش کم آبی به دلیل این است که آنها در محافظت از غشاهای تیلاکوئیدی و جلوگیری از اکسیداسیون نوری کلروفیل‌ها مؤثر است (Lawlor and Cornic, 2002). افزایش شدت تنش کم آبی سبب افزایش مقدار آنتوسیانین‌ها شد که می‌تواند به دلیل نقش محافظتی رنگیزه‌های آنتوسیانین که به عنوان گیرنده‌های رادیکال‌های آزاد

می‌توانند در سلول به‌عنوان آنتی‌اکسیدان عمل کنند (Sakihama et al., 2002). طبق بررسی Abdel hamid و همکاران (۲۰۱۶) تنش خشکی باعث افزایش محتوای فنل کل در ارقام گوجه‌فرنگی و گیاه شبلیله شد.

افزایش میزان فلاونوئیدها تحت تنش آبی ممکن است به‌علت القای فعالیت آنزیمی مرتبط با تولید ترکیبات مختلف فلاونوئیدها در شرایط تنش باشد (Tarek et al., 2017). در بررسی حاضر نیز افزایش مقدار فلاونوئیدها در تنش کم‌آبی مشاهده شد. کاربرد گابا در این بررسی موجب افزایش مقدار فنل کل و فلاونوئیدها نسبت به تیمار شاهد (آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) شد. که با نتایج تحقیق Soleimani و همکاران (۲۰۱۵) که تیمار گابا سبب افزایش قابل توجه مقدار فنل کل و فلاونوئیدها در میوه هلو شد مطابقت دارد. این افزایش را این‌گونه توجیه کردند که گابا موجب تحریک فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیلایز (PAL) و راه اندازی مسیر فنیل پروپانوید می‌شود. افزایش مشاهده شده در مقدار فنل و فلاونوئید کل در تیمار با سالیسیلیک اسید با افزایش شدت تنش کم‌آبی را این‌گونه می‌توان توضیح داد که سالیسیلیک اسید سبب افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیلایز (PAL) می‌شود. در واقع آنزیم فنیل آلانین آمونیلایز امکان تبدیل فنیل آلانین به ترانس-سینامیک اسید را فراهم ساخته و سبب ادامه چرخه فنیل پروپانویدی و تولید مواد فنلی می‌شود. ترانس سینامیک اسید پیش‌ماده اصلی فلاونوئیدها و لیگنین‌هاست و بنابراین فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیلایز سبب افزایش تولید مواد فنیل پروپانویدی می‌گردد (Bagal, 2012). افزایش فنل کل در گیاه گشنیز با تیمار سالیسیلیک اسید گزارش شده است (Divya et al., 2014).

کاربرد خارجی حلال‌های سازگار مانند گلاسیسین بتائین می‌تواند سطح ترکیبات فنلی را در گیاه ذرت تحت تنش خشکی افزایش دهد (Ali and Ashraf, 2011). محلول‌پاشی گلاسیسین بتائین سبب افزایش در مقدار فلاونوئید کل شد که چنین اثرات کاربرد خارجی این اسمولیت‌ها در افزایش این ترکیبات ممکن است به‌دلیل نقش تنظیم‌کنندگی یا مولکول

فتوستتوز مفید باشد (Li et al., 2016). در مطالعه Vijayakumari و Puthur (۲۰۱۶) افزایش قابل توجهی در فعالیت فتوسیستم I و II در گیاه فلفل سیاه (*Piper nigrum*) با تیمار گابا مشاهده شد.

در برهمکنش گلاسیسین بتائین با آبیاری گلاسیسین توانست میزان رنگیزه‌های فتوستتوزی و غیرفتوستتوزی را افزایش دهد که به‌دلیل توانایی گلاسیسین بتائین در کندترکردن سرعت تجزیه کلروفیل و کاروتنوئیدها و یا افزایش بیوستتوز آنها باشد. علاوه بر این بتائین می‌تواند کلروپلاست و غشاها را از اثرات منفی تنش خشکی و تنش اکسیداتیو ناشی از آن محافظت کند و همبستگی غشاها را حفظ نماید (Hussain et al., 2008). طبق بررسی Korkmaz و همکاران (۲۰۱۲) مصرف گلاسیسین بتائین میزان فتوستتوز و غلظت کلروفیل را در گیاه فلفل تحت تنش شوری در مقایسه با شاهد افزایش و زیان‌های ناشی از تنش شوری را کاهش داد که مطابق با نتایج بررسی حاضر بود. با توجه به اینکه گلاسیسین بتائین به‌عنوان یک محافظ اسمزی در برابر تنش خشکی عمل می‌کند، کاربرد آن به‌منظور تنظیم اسمزی سلول همراه با افزایش کاروتنوئید که در محافظت از غشاها تیلاکوئیدی نقش دارد، انجام می‌گیرد (Lawlor and Cornic, 2002).

در بررسی حاضر سالیسیلیک اسید سبب افزایش مقدار کلروفیل کل گردید که می‌تواند به‌دلیل افزایش توان آنتی‌اکسیدان‌های سلولی و سنتز پروتئین‌های جدیدی باشد که از دستگاه‌های فتوستتوزی حمایت می‌کند (Alfonso and Martin, 2007). کاربرد سالیسیلیک اسید در گیاه کلزای تحت تنش خشکی باعث افزایش تجمع اسمولیت‌های از قبیل پرولین و پروتئین‌های محلول جهت حفظ محتوای آب نسبی می‌شود که حاصل این امر افزایش رنگدانه‌های فتوستتوزی در شرایط تنش خشکی است (Ullah et al., 2012).

ترکیبات فنلی در تنش کم‌آبی به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافتند که این افزایش با ظرفیت آنتی‌اکسیدانی این ترکیبات ارتباط مستقیم دارد (Kim et al., 1997) که از طریق دادن الکترون به آنزیم‌ها و سم‌زدایی آب اکسیژنه تولیدشده

برنج تحت تنش شوری شده است (Demiral and Turkan., 2004). یکی از وظایف مهم گیاه طی تنش خشکی حفظ آماس سلولی از طریق تنظیم اسمزی است که این عمل به وسیله یک فرایند فعال تجمع مواد قابل حل مناسب طی رشد و در زمان تنش آب رخ می‌دهد (Blum, 1988) که در مطالعه حاضر نیز تنش کم‌آبی سبب افزایش تجمع مواد جامد محلول گردید. سالیسیلیک اسید به علت افزایش نفوذپذیری غشا میزان جذب و کاربرد مواد کانی را بهبود می‌بخشد که در نتیجه منجر به افزایش وزن و مواد جامد محلول می‌گردد (Javaheri et al., 2012). محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید روی گیاه گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum*) نشان داد که میزان مواد جامد محلول نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (Yildirim and Dursun, 2009).

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد با کاهش آبیاری از ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به ۵۰ درصد، مقدار کلروفیل کل و ویتامین ث کاهش یافت. اما این تنش موجب افزایش آنتوسیانین، فنل و فلاونوئید کل، کاروتنوئید و مواد جامد محلول گردید. کاربرد سطوح مختلف گلیسین‌بتائین تحت تنش‌های مختلف کم‌آبی توانست بیشتر صفات فیزیولوژیکی مورد اندازه‌گیری را افزایش دهد. لذا به نظر می‌رسد استفاده از گلیسین‌بتائین می‌تواند از طریق افزایش تولید موادی با خاصیت آنتی‌اکسیدانی قوی مانند فنل و فلاونوئید موجب تعدیل تنش کم‌آبی و افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش کم‌آبی گردد. ویتامین ث یکی از فاکتورهای مهم در تعیین کیفیت میوه کارلا است که بیشترین مقدار آن با کاربرد ۴ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به دست آمد. با توجه به اهمیت این فاکتور و نیز ارزان قیمت بودن سالیسیلیک اسید و نداشتن تأثیر سو زیست محیطی می‌توان از آن جهت افزایش کیفیت میوه کارلا استفاده نمود. در حالت کلی کاربرد تیمارهای آزمایشی سبب بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی و افزایش مقاومت گیاه کارلا در برابر تنش کم‌آبی شدند.

سیگنال‌دهندگی آنها در بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی، همچنین فرایندهای انطباق گیاه در شرایط تنش باشد (Ashraf and Foolad, 2007).

با افزایش شدت تنش مقدار ویتامین ث به شدت کاهش یافت که این کاهش را این گونه می‌توان توضیح داد که ویتامین ث از اسیدهای آلی است که به دلیل دمای زیاد ایجاد شده ناشی از تنش کم‌آبی، تنفس افزایش یافته و بنابراین اسیدها به عنوان سوبسترا در پدیده تنفسی شرکت می‌کنند این امر باعث کاهش اسید و در نتیجه کاهش ویتامین ث در تنش کم‌آبی می‌شود (Munger and Robinson, 1991). با کاربرد گابا مقدار ویتامین ث نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری پیدا کرد. افزایش آسکوربیک اسید در میوه‌های هلو نیز تحت تیمار با گابا مشاهده شد که ممکن است به دلیل فعال‌شدن سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی یا مهار فعالیت آنزیم آمینو اگزاکتیک اسید (AAO) باشد (Soleimani et al., 2015). افزایش مشاهده شده در مقدار ویتامین ث با کاربرد گلیسین‌بتائین را این گونه می‌توان توجیه کرد که گلیسین‌بتائین فعالیت مونو دهیدرو آسکوربات ردوکتاز (MDHAR) و دهیدرو آسکوربات ردوکتاز (DHAR) افزایش می‌دهد که به دنبال آن مقدار آسکوربات نیز افزایش می‌یابد (Hoque et al., 2008).

با افزایش شدت تنش مقدار ویتامین ث به شدت کاهش یافت ولی با تیمار سالیسیلیک اسید افزایش چشم‌گیری در میزان ویتامین ث مشاهده شد که می‌تواند به دلیل تأثیر غیرمستقیم سالیسیلیک اسید از طریق افزایش کربوهیدرات‌هایی مانند گلوکز و ساکارز باشد. این قندها فاکتورهای کلیدی مسیر آنزیمی هستند که در طی آن گلوکز به آسکوربات تبدیل می‌شود (Jahangir et al., 2009). نتایج مشابه در گیاه توتون تحت تنش شوری مشاهده شده است (Hoque et al., 2008). گزارشی مبنی بر تأثیر سالیسیلیک اسید بر افزایش میزان ویتامین ث در گوجه‌فرنگی وجود دارد (Kalarani et al., 2002).

کاربرد خارجی بتائین باعث افزایش فعالیت دو آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX) و گلوکاتایون ردوکتاز (GR) که در چرخه‌ی آسکوربات - گلوکاتایون (ASC - GSH) در گیاه

منابع

- بیات، ح.، مردانی، ح.، آرویی، ح. و سلاح‌ورزی، ی. (۱۳۹۰) تأثیر سالیسیلیک اسید بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی دانه‌های خیار (*Cucumis sativus* cv. Super Dominus) تحت تنش خشکی. مجله پژوهش‌های تولید گیاهی ۳: ۱-۱۴.
- حیدری شریف‌آباد، ح. (۱۳۸۰) گیاه و شوری. انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع ۳۴-۳۶.
- دلفانی، م.، براری، م.، ملک‌ملکی، ف.، صفری‌زارچ، م.، قاضی‌زاده، م.، معصومی، ا. و جهان‌بین، س. (۱۳۹۴) نقش گلیسین‌بتائین در بهبود تحمل به تنش خشکی در گیاهان. سیزدهمین همایش ملی آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر، کرمان.
- زمانی، م.، ربیعی، و نجاتیان، م. ع. (۱۳۹۱) تأثیر کاربرد پرولین و گلیسین‌بتائین بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی انگور در شرایط تنش خشکی. مجله علوم باغبانی ایران ۴۳: ۳۹۳-۴۰۱.
- قربانلی، م. (۱۳۸۷) جذب و انتقال در گیاهان. انتشارات دانشگاه پیام نور.
- AOAC (2000) Association of Official Analytical Chemists. Washington D. C.
- Abdel hamid, E. M., Mervat, Sh. and Tawfik, M. M. (2016) Physiological response of Fenugreek plant to the application of proline under different water regimes. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences 7: 580-594.
- Alfonso, L. V. and Martin Mex, R. (2007) Effects of salicylic acid on the bioproductivity of plants. In: Salicylic Acid: A Plant Hormone (eds. Hayat, S. and Ahmad, A.) Pp.15-23. Springer, Dordrecht.
- Ali, Q. and Ashraf, M. (2011) Exogenously applied glycine betaine enhances seed and seed oil quality of maize (*Zea mays* L.) under water deficit conditions. Environmental and Exprimental Botany 71: 249-259.
- Anliakumar, K. R., Kumar, G. P. and Ilaiyaraja, N. (2015) Nutritional, pharmacological and medicinal properties of *Momordica charantia*. International Journal of Nutrition and Food Sciences 4: 75-83.
- Arnon, A. N. (1967) Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal 23: 112-121
- Ashraf, M. and Foolad, M. R. (2007) Role of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Exprimental Botany 59: 206-216.
- Bagal, U. R., Lee bens mack, J. H., Walter Lorenz, W. and Dean, J. F. D. (2012) The phenyl alanine ammonia lyase (PAL) gene family shows a gymnosperm specific lineage. BioMed Central Genomics 13: 1471-2164.
- Blum, A. (1988) Plant Breeding for Stress Environments. CRC Press.
- Borsani, V., Valpuesta, V. and Bottela, A. M. (2001) Evidence for a role of salicylic acid in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in Arabidopsis seedlings. Plant Physiology 126: 1024-1030
- Chalker-Scott, L. (2002) Do anthocyanins function as osmoregulators in leaf tissues? Advances in Botanical Research 37: 103-106.
- Chang, C., Yang, M., Wen, H. and Chern, J. (2002) Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. Journal of Food and Drug Analysis 10: 178-182.
- Chen, T. H. and Murata, N. (2008) Glycinebetaine an effective protectant against abiotic stress in plants. Trends in Plant Science 13: 499-505.
- Demiral, T. and Turkan, I. (2004) Does exogenous glycine betaine affect anti oxidative system of rice seedlings under Na Cl treatment? Journal of Plant Physiology 161: 1089-100.
- Dicko, M. H., Gruppen, H., Barro, C., Traore, A. S., van Berkel, W. J. H. and Voragen, A. G. J. (2005) Impact of phenolic compounds and related enzymes in sorghum varieties for resistance and susceptibility to biotic and abiotic stresses. Journal of Chemical Ecology 31: 2671-2688.
- Divya, P., Puthusseri, B. and Neel warne, B. (2014) The effect of plant regulators on the concentration of caretonoids and phenolic compound in foliage of Coriander. Food Science and Technology 56: 101-110
- Hoque, M. A., Banu, M. N. A., Nakamura, Y., Shimoishi, Y. and Murata, Y. (2008) Proline and glycine betaine enhance antioxidant defense and methylglyoxal detoxification systems and reduce NaCl-induced damage in cultured tobacco cells. Plant Physiology 165: 813-824.
- Hoque, M. M. (2002) Effect of CI-IAA, GABA and TNZ-303 on growth, yield and contributing characters of wheat. MS Thesis, Department of Crop Botany, Bangladesh Agriculture University, Mymensingh.
- Hussain, M., Malik, M. A., Farooq, M., Ashraf, M. Y., and Cheema, M. A. (2008) Improving drought tolerance by exogenous application of glycinebetaine and salicylic acid in sunflower. Journal of Agronomy and Crop Science 194: 193-199.
- Jahangir, M., Bayoumi Abdel-Farid, I., Kim, H., Chio, Y. and Verpoorte, R. (2009) Healthy and unhealthy plants. The effect of stress on the metabolism of Brassicaceae. Enviromental and Exprimental Botany 67: 23-33.

- Javaheri, M., Mashayekhi, K., Dadkhah, A. and ZakerTavallae, F. (2012) Effects of salicylic acid on yield and quality characters of tomato fruit (*Lycopersicon esculantum* Mill). *International Journal of Agriculture and Crop Science* 4: 1184-1187.
- Kalarani, M. K., Thangaraj, M., Sivakumar, R. and Mallika, R. (2002) Effects of salicylic acid on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) productivity. *Journal of Crop Research* 23: 486-492.
- Kim, B. J., Kim, J. H., Kim, H. P. and Heo, M. Y. (1997) Biological screening of 100 plant extracts for cosmetic use (II): Anti oxidative activity and free radical scavenging activity. *Cosmetic Science* 19: 299-307.
- Korkmaz, A., Sirikci, R., Kocacinar, F., Deger, O. and Demirkırtan, A. R. (2012) Alleviation of salt-induced adverse effects in pepper seedlings by seed application of glycine betaine. *Scientia Horticulturae* 148: 197-205.
- Lawlor, D. W. and Cornic, G. (2002) Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plants, Cell and Environment* 25: 275-294.
- Li, Wu., Jianhua, Liu., Gaoke, Li., Yuliang, Li. Wenjia, Lu. Lei, Gao. Fuguang, Han. and Jianguang, Hu. (2016) exogenous γ -aminobutyric acid (GABA) application improved early growth, net photosynthesis, and associated physio-biochemical events in maize. *Frontiers in Plant Science* 7: 919.
- Lin-Wang, K., Bolitho, K., Grafton, K., Kortstee, A., Karunairtnam S., McGhie, T., Espley, R., Hellens, R. and Allan, A. (2010) An R2R3 MYB transcription factor associated with regulation of the anthocyanin biosynthetic pathway in Rosaceae. *BioMed Central Plant Biology* 10: 50.
- Luqman, M., Shahbaz, B., Ali, T. and Iftikhar, M. (2013) Critical analysis of rural development initiatives in Pakistan: implications for sustainable development. *Spanish Journal of Rural Development* 4: 67-74.
- Mancinelli, A. L., Hoff, A. M. and Cottrell, M. (1998) Anthocyanin production in Chl-rich and Chl-poor seedling. *Plant Physiol* 86: 652-654.
- McGlone, V. A., Jordan, R. B., Seelye, R. and Martinsen, P. J. (2004) Comparing density and NIR methods for measurement of Kiwifruit dry matter and soluble solids content. *Journal of the Postharvest Biology and Technology* 26: 191-198
- Meda, A., Lamien, C. E. Romito, M. Millogo, J. and Nacoulma, O. G. (2005) Determination of the total phenolic, flavonoid and pralin contents in Burkina Fasan honey, as well as their scavenging activity. *Food Chemistry* 91: 571-577.
- Munger, H. M. and Robinson, R. W. (1991) Nomenclature of (*Cucumis melo* L). *Cucurbit Genetics Cooperative Reputation* 14: 53-64.
- Sakihama, Y., Cohen, M. Grace, S. and Yamasaki, H. (2002) Plant phenolic antioxidant and pro oxidant activities phenolic-induced oxidative damage mediated by metals in plant. *Toxicology* 177: 67-80.
- Shelp, B. J., Bown, A. W. and Michael, M. D. (1999) Metabolism and functions of gamma-aminobutyric acid. *Trends in Plant Science* 4: 446-452.
- Soleimani, A. M., Razavi, F. and Karamneghad, F. (2015) Maintaining the postharvest nutritional quality of peach fruits by L-Aminobutyric Acid 5: 1457-1463.
- Tarek, A. E., Mervat, Sh. S. and Ahmed, M. S. (2017) Proline treatment improves physiological responses in quinoa plants under drought stress. *Bioscience Research* 14: 21-33
- Tusar, K., Behera, S. B. and Bharathi, L. K. (2010) Bitter Gourd: Botany, Horticulture, Breeding. *Horticultural Reviews* 37: 101-141
- Ullah, F., Bano, A. and Nosheen, A. (2012) Effects of plant growth regulators on growth and oil quality of canola (*Brassica napus* L.) under drought stress. *Pakistan Journal of Botany* 44: 1873-1880.
- Vijayakumari, K. and Puthur, J. T. (2016) γ -aminobutyric acid (GABA) priming enhances the osmotic stress tolerance in piper nigrum Linn. Plants subjected to peg-induced stress. *Plant Growth Regulation* 78: 57-67.
- Yildirim, E. and Dursun, A. (2009) Effect of foliar salicylic acid application in plant growth and yield of tomato under greenhouse condition. *Acta Horticulture* 807: 395-400.
- Zhang, K. M., Yu, H. J., Shi, K., Zhou, Y. H., Yu, J. Q. and Xia, X. J. (2010) Photoprotective roles of anthocyanins in *Begonia semperflorens*. *Plant science* 179: 202-208.

Effect of salicylic acid, glycine betaine and gamma amino butyric acid as foliar application on physiological indices of bitter melon (*Momordica charantia* L.) under water deficit Stress

Afsoon Rezaie Allolo, *Azizollah Kheiry, Mohsen Sanikhani, Masoud Araghavani
Horticultural science Department, Faculty of Agriculture, Universit of Zanjan, Iran
(Received: 18/04/2018, Accepted: 21/10/2018)

Abstract

In order to investigate the effect of foliar application of salicylic acid, glycine betaine and gamma amino butyric acid on the physiological characteristics of bitter melon (*Momordica charantia* L.) under water deficit stress, a split plot experiment was conducted as randomized complete block design with three replications at Zanjan University in 2017. The treatments consisted of three levels of irrigation (50, 75 and 100% field capacity) as the main factor and two levels of salicylic acid (2 and 4 mM), glycine betaine (50 and 100 mM) and gamma amino butyric acid (10 and 20 mM) with control, as sub factor. The results showed that increased water deficit decreased total chlorophyll content and vitamin C content. While increasing in water deficit increased the amount of anthocyanin, carotenoids, total phenol, flavonoids and soluble solids. The highest total chlorophyll (1.62 mg/g) content was obtained in irrigation level of 100% field capacity with 50 mM glycine betaine. Application of 50 mM glycine betaine in 50% of field capacity irrigation produced the highest levels of carotenoids (0.79 mg/g) and anthocyanins (5.51 μ M/g). The maximum amount of phenol (20.11 mg/g) and flavonoid (4.41 mg/g) was obtained in 50% field capacity and 100% glycine betaine, respectively. Application of 4 mM salicylic acid at irrigation level of 100% of field capacity increased significantly in vitamin C (65.45 mg/g) content. The highest amount of soluble solids (7.18%) was obtained in 100 mM glycine betaine in 50% field capacity water deficit. According to the results, application of different levels of glycine betaine in stress conditions is recommended to redress water deficit stress and improve the physiological properties of bitter melon.

Keywords: Anthocyanin, total phenol, bitter melon, GABA, vitamin C.

Corresponding author, Email: kheiry@znu.ac.ir