تاثیر تیمار قبل و پس از برداشت گاما آمینو بوتیریک اسید (GABA) بر کنترل سرمازدگی گل شاخه بریده آنتوریوم (*Anthurium andraeanum* L.)

مرتضی سلیمانی اقدم، روح انگیز نادری*، محمدعلی عسکری سرچشمه و مصباح بابالار

ایران، کرج، دانشگاه تهران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز

تاریخ دریافت: ۹۴/۸/۴ تاریخ پذیرش: ۹۶/۸/۸

چکیده

بدلیل حساسیت گل‌های شاخه بریده آنتوریوم به سرمازدگی، دمای بهینه نگهداری آنها ۱۲/۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در این پژوهش، تاثیر تیمار گاما آمینوبوتیریک اسید (GABA) در غلظت‌های صفر (شاهد)، ۱، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی مولار بصورت اسپری قبل از برداشت و غوطه‌وری انتهای ساقه پس از برداشت (۱۵ دقیقه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد) بر سرمازدگی پس از برداشت گل شاخه بریده آنتوریوم رقم سیریون نگهداری شده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد بمدت ۲۱ روز مورد ارزیابی قرار گرفت. سرمازدگی در گل شاخه بریده آنتوریوم با قهوه‌ای شدن اسپات بهمراه افزایش نشت یونی و تجمع مالون دی آلدئید (MDA) همراه بود. تیمار GABA در غلظت‌های ۱ و ۵ میلی مولار، بترتیب قبل و پس از برداشت، موجب کاهش قهوه‌ای شدن اسپات گردید و افزایش نشت یونی و تجمع MDA را بتاخیر انداخت. تیمار GABA کاهش محتوای نسبی آب (RWC) در اسپات گل های شاخه بریده آنتوریوم در طول ۲۱ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی گراد را بتاخیر انداخت. علاوه بر این، در طول ۲۱ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی گراد، تیمار GABA کاهش آنتوسیانین را کندتر نموده و گل‌های شاخه بریده آنتوریوم تیمارشده با GABA دارای سطوح بالای آنتوسیانین بودند. تیمار GABA موجب افزایش تجمع گلایسین بتائین (GB) در گل‌های شاخه بریده آنتوریوم در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار GABA در غلظت‌های ۱ و ۵ میلی مولار، بترتیب قبل و پس از برداشت، سرمازدگی گل‌های شاخه بریده آنتوریوم را کنترل نموده است و می‌تواند بعنوان یک تکنولوژی امیدبخش در سطح تجاری مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: آنتوریوم، سرمازدگی، آنتوسیانین، پس از برداشت، گلایسین بتائین.

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۱۶۱۴۱۵۹، پست الکترونیکی: rnaderi@ut.ac.ir

مقدمه

انبار با دمای پایین (LTS= Low temperature storage) بطور گسترده برای بتاخیر انداختن پیری در سبزی‌ها و گل‌های شاخه بریده و رسیدن میوه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد که موجب افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت پس از برداشت آنها می‌گردد، اما کاربرد LTC برای میوه‌ها، سبزی‌ها و گل‌های شاخه بریده که منشاء گرمسیری و نیمه گرمسیری دارند مانند گل آنتوریوم (*Anthurium andraeanum*) به علت حساسیت آنها به سرمازدگی (CI= Chilling injury) محدودیت دارد. علایم سرمازدگی در گل شاخه بریده آنتوریوم مانند قهوه ای شدن اسپات زمانی ظاهر می‌گردد که گل‌های شاخه بریده در دمای کمتر از ۱۲ درجه سانتی گراد نگهداری شوند یا جابجایی آنها در این دما صورت گیرد. با افزایش روزافزون کاربرد دمای پایین در جابجایی پس از برداشت محصولات باغبانی، توسعه تکنیک‌های مقرون بصرفه برای کاهش سرمازدگی پس از برداشت در محصولات حساس به

سرمازدگی مانند گل شاخه بریده آنتوریوم در اولویت می‌باشد (۲۲). سرمازدگی گل شاخه بریده آنتوریوم همراه با کاهش بازارپسندی آن می‌باشد و لذا پژوهش در جهت افزایش مقاومت به سرمازدگی پس از برداشت آن می‌تواند در جهت معرفی روشی برای استفاده عملی با هدف نگهداری طولانی مدت یا جابجایی در دمای پایین مفید باشد.

تغییر فاز غشای سلولی از کریستالی مایع انعطاف پذیر به ژل جامد که در دمای سرمازدگی اتفاق می‌افتد منجر به کاهش سیالیت غشای سلولی و افزایش نشت یونی می‌گردد. علاوه بر تاثیر مستقیم سرما بر کاهش انسجام غشای سلولی، سرمازدگی بطور غیر مستقیم از طریق افزایش تولید گونه های فعال اکسیژن (ROS= Reactive oxygen species) موجب اکسید شدن اسیدهای چرب غیر اشباع غشای سلولی شده و کاهش انسجام غشای سلولی را در پی دارد (۲۵). میزان نشت یونی و تجمع مالون دی آلدئید (MDA= Malondialdehyde) که محصول نهایی پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیر اشباع غشای سلولی می‌باشد بعنوان شاخص‌های آسیب غشا سلولی بطور گسترده توسط پژوهشگران برای اندازه گیری غیر مستقیم انسجام غشای سلولی مورد استفاده قرار گرفته و می‌توانند برای تعیین وقوع CI مورد استفاده قرار گیرند (۱۰).

پرومیو و همکاران (۲۲) گزارش کردند که نگهداری گل های شاخه بریده آنتوریوم در دمای ۴ درجه سانتی گراد منجر به ایجاد CI می‌گردد که با افزایش قهوه ای شدن اسپات، کاهش وزن تر گل شاخه بریده و افزایش نشت یونی و تجمع MDA همراه می‌باشد. تیمار اسید سالیسیلیک (دو میلی مولار بمدت ۱۵ دقیقه) باعث کاهش CI گل های شاخه بریده آنتوریوم می‌گردد که با کاهش نشت یونی و میزان MDA و کاهش فعالیت آنزیم لیپوکسیژناز (LOX= Lipoxygenase) و افزایش فعالیت آنزیم های کاتالاز (CAT= Catalase) و سوپراکسید دیسموتاز (SOD= Superoxide dismutase) همراه می‌باشد. کاهش میزان MDA و فعالیت LOX که مسئول پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیر اشباع غشا می‌باشد همراه با افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان CAT و SOD در گل های شاخه بریده آنتوریوم تیمار شده با اسید سالیسیلیک نشان می‌دهد که کاهش CI با افزایش انسجام غشای سلولی در اثر افزایش فعالیت سیستم آنتی اکسیدانی می‌باشد. پرومیو و کستا (۲۱) گزارش گردند که سرمازدگی پس از برداشت از طریق تحریک پیری گل شاخه بریده آنتوریوم باعث کاهش عمر پس از برداشت آن در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد می‌گردد.

گاما آمینو بوتیریک اسید (GABA= γ-Aminobutyric acid) یک اسید آمینه غیر پروتئینی ۴ کربنه می‌باشد که بعنوان یک مولکول سیگنالی نقش مهمی در پاسخ به تنش های پس از برداشت مانند CI بازی می‌کند (۳۰،۲۸،۲۶). تاثیر سودمند تیمار GABA در کاهش سرمازدگی پس از برداشت میوه هلو (۳۰،۲۶) و موز (۲۸) بهمراه تاثیر سودمند تجمع GABA درونی در کاهش سرمازدگی پس از برداشت میوه ازگیل ژاپنی در اثر تیمار متیل جاسمونات (۵) و میوه چریمویا تحت تیمار با CO_2 بالا (۱۷) گزارش شده است. بنابراین، هدف این پژوهش مطالعه تاثیر کاربرد قبل و پس از برداشت GABA بر کنترل سرمازدگی پس از برداشت گل شاخه بریده آنتوریوم می‌باشد که می‌تواند امکان نگهداری یا جابجایی گل شاخه بریده آنتوریوم بدون ایجاد سرمازدگی که موجب کاهش بازارپسندی و ارزش اقتصادی آن می‌گردد را فراهم سازد.

مواد و روشها

برای تیمار قبل از برداشت، GABA در غلظت‌های صفر (شاهد)، ۱، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی مولار بر روی بوته‌های آنتوریوم رقم سیریون (**Sirion**) تا زمانیکه محلول بر روی گل‌ها و برگ‌ها بحالت آب چک درآید محلول پاشی گردید. ماده GABA از شرکت سیگما خریداری گردید و

برای تهیه غلظت های مورد نیاز از آب مقطر استفاده شد. سه مرحله محلول‌پاشی هر ۷ روز یکبار انجام گردید. گل‌های آنتوریومی که ۷ روز پس از آخرین محلول‌پاشی در مرحله برداشت تجاری یعنی مرحله ای که ۵۰-۴۰ ٪ گل‌های واقعی روی اسپادیکس بطور کامل باز شده بودند (۲۲) برداشت شده و انتهای ساقه هر گل در داخل ظرف پلاستیکی ۲۵ میلی لیتری دارای آب قرار گرفت و به گروه مهندسی علوم باغبانی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی منتقل گردیدند. ساقه گل‌ها به طول ۳۰ سانتی متر برش داده شد. پس از نمونه برداری از تیمارها بعنوان زمان برداشت، گل‌های تیمار شده به سردخانه با دمای ۱±۴ درجه سانتی‌گراد با رطوبت نسبی ۹۰-۸۵ درصد برای ۲۱ روز منتقل گردیدند. پس از هر ۷ روز میزان قهوه‌ای شدن اسپات گل‌های تیمار شده با GABA و شاهد بعنوان شاخص سرمازدگی ارزیابی گردید و اسپات گل‌ها با ازت مایع فریز و در فریزر منفی ۸۰ درجه سانتی‌گراد تا انجام آنالیزهای بیوشیمیایی نگهداری گردیدند.

برای تیمار پس از برداشت، انتهای ساقه گل‌های آنتوریوم رقم سیریون که در مرحله برداشت تجاری یعنی مرحله ای که ۵۰-۴۰ ٪ گل‌های واقعی روی اسپادیکس بطور کامل باز شده بودند (۲۲) بمدت ۱۵ دقیقه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد در محلول‌های GABA در غلظت‌های صفر (شاهد)، ۱، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی مولار قرار داده شد و سپس گل‌های تیمار شده به سردخانه با دمای ۱±۴ درجه سانتی‌گراد با رطوبت نسبی ۹۰-۸۵ درصد برای ۲۱ روز منتقل گردیدند. پس از هر ۷ روز میزان قهوه‌ای شدن اسپات گل‌های تیمار شده با GABA و شاهد بعنوان شاخص سرمازدگی ارزیابی گردید و اسپات گل‌ها با ازت مایع فریز شده و در فریزر منفی ۸۰ درجه سانتی‌گراد تا انجام آنالیزهای بیوشیمیایی نگهداری گردیدند. از روی نتایج قهوه‌ای شدن اسپات غلظت بهینه تیمار GABA در کاهش سرمازدگی انتخاب گردید و میزان نشت یونی و MDA بعنوان شاخص‌های انسجام غشای سلولی، محتوای نسبی آب (RWC) اسپات بهمراه میزان آنتوسیانین و گلایسین بتائین (GB= **Glycine betaine**) آن در تیمار بهینه GABA اندازه گیری و با شاهد مورد مقایسه قرار گرفت.

شاخص سرمازدگی: شاخص سرمازدگی بر اساس میزان قهوه‌ای شدن سطح اسپات ۱۰ شاخه گل بر اساس اسکوربندی ۱ تا ۵ براساس روش پرومیو و همکاران (۲۲) مورد ارزیابی قرار گرفت. اسکور یک برای بدون سرمازدگی که سطح اسپات قهوه‌ای نشده باشد، اسکور دو برای سرمازدگی کم که ۱ تا ۲۰ درصد سطح اسپات قهوه‌ای شده باشد، اسکور سه برای سرمازدگی متوسط که ۲۱ تا ۵۰ درصد سطح اسپات قهوه‌ای شده باشد، اسکور چهار برای سرمازدگی شدید که ۵۱ تا ۸۰ درصد سطح اسپات قهوه‌ای شده باشد و اسکور پنج برای سرمازدگی خیلی شدید که ۸۱ تا ۱۰۰ درصد سطح اسپات قهوه‌ای شده باشد. سپس شاخص سرمازدگی بر اساس فرمول زیر محاسبه گردید:

(تعداد کل گل در آن گروه / (تعداد گل در Σ = شاخص سرمازدگی
آن شماره اسکور سرمازدگی × شماره اسکور سرمازدگی)

اندازه گیری میزان نشت یونی: نشت یونی با روش پرومیو و همکاران (۲۲) مورد ارزیابی قرار گرفت. ۱۰ عدد دیسک به ضخامت ۲ میلی متر و قطر ۱۵ میلی متر با استفاده از یک چوب پنبه سوراخ کن از اسپات ۵ شاخه گل جدا و پس از شستن با ۵۰ میلی لیتر آب مقطر در داخل ۵۰ میلی لیتر محلول چهار دهم مولار مانیتول قرار گرفت و با سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه بمدت سه ساعت بهم زده شد و سپس هدایت الکتریکی محلول (L_1) اندازه گیری گردید. سپس محلول بمدت یک ساعت در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد اتوکلاو شده و هدایت الکتریکی آن (L_2) اندازه گیری گردید. نشت یونی بر اساس نسبت L_1 به L_2 و بر اساس درصد بیان گردید.

اندازه گیری میزان مالون دی آلدئید (MDA): برای اندازه گیری میزان MDA با روش هادگز و همکاران (۱۱) با استفاده از تیو باربیتوریک اسید (TBA)، یک گرم از بافت اسپات در ۲۵ میلی لیتر از تری کلرو استیک اسید (TCA) ۵ درصد (وزنی به حجمی) هموژن و سپس برای ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ گردید. میزان MDA با اضافه کردن دو و نیم میلی لیتر از TBA نیم درصد در TCA ۱۵ درصد به ۱/۵ میلی لیتر روشناور اندازه گیری گردید. محلول واکنش بمدت ۳۰ دقیقه در داخل حمام آب گرم قرار گرفته سپس سریع با یخ سرد شده و در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه بمدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ می‌گردد. جذب روشناور در ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر اندازه گیری شده و میزان MDA بر اساس نانومول بر گرم وزن تر اسپات بیان گردید.

$$\text{میزان MDA} = ۶/۴۵ \times (OD_{۵۳۲} - OD_{۶۰۰}) - ۰/۰۵۶ \times OD_{۴۵۰}$$

اندازه گیری محتوای نسبی آب (RWC): برای اندازه گیری محتوی نسبی آب اسپات بر اساس روش نیبر و همکاران (۲۰)، هشت دیسک از اسپات تهیه و سریعا وزن تر آنها تعیین گردید. سپس دیسک های اسپات در فالکون های ۱۵ میلی لیتری حاوی آب مقطر در دمای اتاق در تاریکی بمدت ۲۴ ساعت نگهداری گردیدند. پس از این مدت دیسک های اسپات از آب مقطر خارج و سطح آنها به آرامی توسط دستمال کاغذی خشک و سریعاً وزن آماس آنها تعیین گردید. سپس دیسک های اسپات بمدت ۲۴ ساعت در داخل آون ۷۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند و در نهایت وزن خشک آنها مشخص گردید و سپس RWC بر اساس درصد بیان گردید.

اندازه گیری میزان آنتوسیانین کل (TA): برای اندازه گیری میزان TA با روش گوپالچان و همکاران (۹)، یک گرم از بافت اسپات در ۵ میلی لیتر از متانول:استیک اسید هموژن و سپس برای ۱۰ دقیقه در ۱۶۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ گردید. میزان TA با اندازه گیری جذب سوپرناتانت در طول موج های ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر در بافر HCl-KCl با pH برابر با ۱ و بافر استیک اسید–سدیم استات با pH برابر با ۴/۵ اندازه گیری گردید و با استفاده از ضریب خاموشی ۲۹۶۰۰ برای سیانیدین–۳–گلوکوزاید بعنوان آنتوسیانین غالب آنتوریوم بر اساس میلی گرم سیانیدین–۳–گلوکوزاید بر گرم وزن تر اسپات بیان گردید.

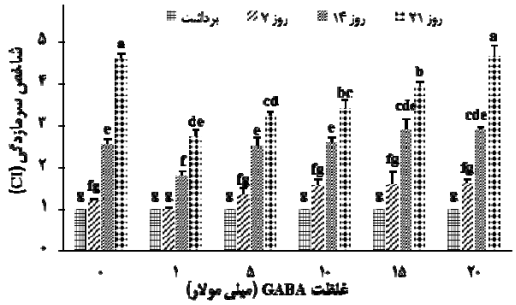
اندازه گیری میزان گلایسین بتائین (GB): برای اندازه گیری میزان GB با روش بسییرز و همکاران (۴)، دو گرم از بافت اسپات در ۸ میلی لیتر از متانول:کلرفرم هموژن و سپس برای ۲۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ گردید و فاز آبی از کاغذ صافی عبور داده شد. پس از رقیق شدن با ۸ میلی لیتر هیدروکسید آمونیوم ۶ میلی مولار، با گاز نیتروژن در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد خشک و در ۲ میلی لیتر متانول حل گردید. میزان GB با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) اندازه گیری و بر اساس نانومول بر گرم وزن تر اسپات بیان گردید.

آنالیز آماری داده ها: تیمار قبل از برداشت بصورت کرت‌های خرد شده برای زمان بر پایه طرح کاملاً تصادفی با کرت اصلی زمان‌های نمونه برداری و کرت فرعی غلظت‌های GABA با سه تکرار انجام گردید. هر تکرار شامل ۴۰ شاخه گل و در هر زمان نمونه برداری ۱۰ شاخه گل از هر تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد انجام گردید. تیمار قبل از برداشت گل‌های آنتوریوم رقم سیریون در گلخانه‌های آنتوریوم شرکت پارس فلور واقع در پاکدشت و تیمار سرمازدگی در سردخانه گروه علوم باغبانی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام گردید. تیمار پس از برداشت بصورت کرت‌های خرد شده برای زمان بر پایه طرح کاملاً

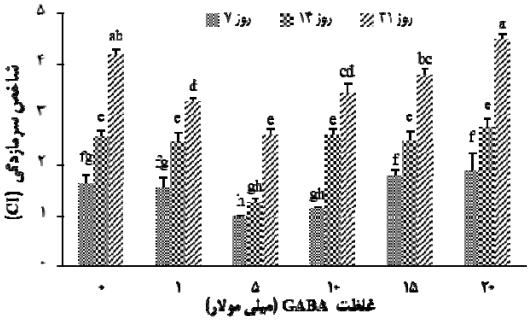
تصادفی با کرت اصلی زمان‌های نمونه برداری و کرت فرعی غلظت‌های GABA با سه تکرار انجام گردید. هر تکرار شامل ۳۰ شاخه گل و در هر زمان نمونه برداری ۱۰ شاخه گل از هر تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد انجام گردید. گل‌های شاخه بریده آنتوریوم رقم سیریون مورد استفاده در این پژوهش از گلخانه‌های آنتوریوم شرکت پارس فلور واقع در پاکدشت تهیه شد و تیمار پس از برداشت GABA بهمراه تیمار سرمازدگی در سردخانه گروه علوم باغبانی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام گردید.

نتایج

شاخص سرمازدگی: شاخص سرمازدگی در طول نگهداری گل شاخه بریده آنتوریوم در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و تیمار قبل و پس از برداشت GABA باعث بتاخیر افتادن افزایش شاخص سرمازدگی گردید (شکل ۱ و ۲، P<0.01). علایم سرمازدگی در اسپات گل شاخه بریده آنتوریوم در طول ۷ روز اول نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد ظاهر گردید. تیمار قبل از برداشت GABA در غلظت یک میلی مولار و پس از برداشت GABA در غلظت ۵ میلی مولار کمترین میزان شاخص سرمازدگی (P<0.01) را در روز ۲۱ نشان دادند، در حالیکه تیمار قبل و پس از برداشت GABA در غلظت ۲۰ میلی مولار موجب افزایش شاخص سرمازدگی در اسپات گل شاخه بریده آنتوریوم در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد گردید. بنابراین، می‌توان بیان داشت که تاثیر تیمار GABA بصورت قبل و پس از برداشت در کاهش سرمازدگی گل شاخه بریده آنتوریوم رقم سیریون وابسته به غلظت GABA می‌باشد. بر اساس این نتایج، غلظت ۱ میلی مولار GABA برای تیمار قبل از برداشت و غلظت ۵ میلی مولار GABA برای تیمار پس از برداشت برای آنالیزهای بیوشیمیایی انتخاب گردیدند.



شکل ۱- تاثیر تیمار قبل از برداشت GABA در غلظت‌های صفر (شاهد)، ۱، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی مولار بر شاخص سرمازدگی گل شاخه بریده آنتوریوم نگهداری شده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد بمدت ۲۱ روز. داده ها میانگین سه تکرار (n=۳) و شاخص بالای هر ستون نشان دهنده خطای استاندارد (±SE) می‌باشد. حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد آزمون توکی تفاوت معنی داری ندارند.



شکل ۲- تاثیر تیمار پس از برداشت GABA در غلظت‌های صفر (شاهد)، ۱، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی مولار بر شاخص سرمازدگی گل شاخه بریده آنتوریوم نگهداری شده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد بمدت ۲۱ روز. داده ها میانگین سه تکرار (n=۳) و شاخص بالای هر ستون نشان دهنده خطای استاندارد (±SE) می‌باشد. حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد آزمون توکی تفاوت معنی داری ندارند.

انسجام غشای سلولی: نشت یونی و تجمع MDA: نشت یونی در گل‌های شاخه بریده آنتوریوم در طول ۲۱ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت اما در گل‌های شاخه بریده آنتوریوم تیمار شده با GABA در غلظت‌های ۱ و ۵ میلی مولار بترتیب در دوره قبل و پس از برداشت روند افزایش نشت یونی کندتر بوده و گل‌های تیمار شده با GABA دارای نشت یونی پایین‌تری بودند (جدول ۱ و ۲، P<0.01).

جدول ۱- تاثیر تیمار قبل از برداشت GABA در غلظت‌های صفر (شاهد) و ۱ میلی مولار بر نشت یونی، میزان MDA و گلایسین بتائین گل شاخه بریده آنتوریوم نگهداری شده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد بمدت ۲۱ روز

زمان (روز)	تیمار	انسجام غشایی		
	GABA (میلی مولار)	نشت یونی (٪)	مالون دی آلدئید (نانو مول بر گرم وزن تر اسپات)	گلایسین بتائین (نانو مول بر گرم وزن تر اسپات)
برداشت	۰	۱۵/۸۵ ± ۰/۵۷ e	۱۳/۸۵ ± ۰/۳۲ d	۳۵/۳۰ ± ۰/۵۷ f
	۱	۱۲/۰۷ ± ۰/۴۳ e	۱۳/۶۴ ± ۰/۵۹ d	۴۳/۳۶ ± ۰/۲۸ f
۷	۰	۲۰/۵۲ ± ۰/۶۱ d	۱۸/۵۲ ± ۰/۲۸ c	۴۳/۱۷ ± ۰/۵۸ f
	۱	۱۵/۳۵ ± ۰/۶۶ e	۱۷/۷۳ ± ۰/۱۳ c	۶۴/۸۲ ± ۰/۹۲ e
۱۴	۰	۲۶/۳۳ ± ۱/۳۴ c	۲۳/۲۲ ± ۱/۱۱ b	۹۷/۳۴ ± ۰/۹۵ d
	۱	۲۲/۴۷ ± ۰/۶۰ d	۲۰/۵۵ ± ۰/۵۶ bc	۱۱۲/۲۴ ± ۰/۷۴ c
۲۱	۰	۴۰/۱۹ ± ۰/۷۹ a	۲۸/۶۴ ± ۰/۶۳ a	۱۹۰/۶۶ ± ۰/۱۴ b
	۱	۳۰/۵۱ ± ۰/۵۸ b	۲۳/۲۷ ± ۱/۲۴ b	۲۱۲/۴۸ ± ۰/۷۵ a
معنی‌داری	درجه آزادی			
زمان	۳	**	**	**
تیمار	۱	**	*	**
زمان × تیمار	۳	**	*	ns
CV%	-	۵/۸۹۰	۶/۱۲۰	۴/۹۱۱

ns: عدم اختلاف معنی دار؛ * و **: بترتیب معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱۰ درصد

میانگین ها با حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد آزمون توکی تفاوت معنی داری ندارند.

جدول ۲- تاثیر تیمار پس از برداشت GABA در غلظت‌های صفر (شاهد) و ۵ میلی مولار بر نشت یونی، میزان MDA و گلایسین بتائین گل شاخه بریده آنتوریوم نگهداری شده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد بمدت ۲۱ روز

زمان (روز)	تیمار	انسجام غشایی		
	GABA (میلی مولار)	نشت یونی (٪)	مالون دی آلدئید (نانو مول بر گرم وزن تر اسپات)	گلایسین بتائین (نانو مول بر گرم وزن تر اسپات)
۰	-	۱۲/۴۶ ± ۰/۶۹	۱۲/۳۱ ± ۰/۵۷	۳۸/۳۰ ± ۰/۶۷
۷	۰	۱۵/۷۳ ± ۰/۵۰ d	۱۶/۷۶ ± ۰/۳۳ d	۴۹/۳۴ ± ۰/۴۷ e
	۵	۱۲/۴۴ ± ۰/۷۲ d	۱۴/۵۶ ± ۰/۲۰ e	۶۴/۳۶ ± ۰/۴۰ d
۱۴	۰	۳۲/۲۹ ± ۰/۷۰ b	۲۰/۳۹ ± ۰/۱۴ b	۶۱/۵۶ ± ۰/۴۱ d
	۵	۲۴/۶۳ ± ۰/۶۸ c	۱۷/۷۲ ± ۰/۰۹ c	۹۲/۳۵ ± ۰/۱۰ b
۲۱	۰	۴۳/۵۲ ± ۱/۶۴ a	۲۵/۶۳ ± ۰/۳۵ a	۷۹/۰۴ ± ۰/۵۳ c
	۵	۳۰/۹۲ ± ۰/۶۴ b	۱۹/۶۳ ± ۰/۰۳ b	۱۱۶/۷۴ ± ۰/۳۹ a
معنی‌داری	درجه آزادی			
زمان	۲	**	**	**
تیمار	۱	**	**	*
زمان × تیمار	۲	**	**	**
CV%	-	۶/۳۵۲	۲/۱۹۴	۲/۸۵۱

ns: عدم اختلاف معنی دار؛ * و **: بترتیب معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱۰ درصد

میانگین ها با حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد آزمون توکی تفاوت معنی داری ندارند.

همزمان با افزایش نشت یونی، میزان MDA در گل‌های شاخه بریده آنتوریوم در طول ۲۱ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت اما در مقایسه با گل‌های شاخه بریده آنتوریوم تیمار شاهد، گل‌های شاخه بریده آنتوریوم تیمار شده با GABA در غلظت‌های ۱ و ۵ میلی مولار بترتیب در دوره قبل و پس از برداشت روند افزایش MDA کندتر بوده و گل‌های تیمار شده با GABA دارای میزان MDA پایین‌تری بودند (جدول ۱ و ۲، P<0.01).

میزان گلایسین بتائین، آنتوسیانین کل و RWC: میزان GB در گل‌های شاخه بریده آنتوریوم در طول ۲۱ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و تیمار GABA در غلظت‌های ۱ و ۵ میلی مولار بترتیب در دوره قبل و پس از برداشت موجب افزایش تجمع GB گردید و گل‌های تیمار شده با GABA دارای GB بالاتری بودند (جدول ۱ و ۲، P<0.01). در این پژوهش، میزان آنتوسیانین کل در گل های آنتوریوم در طول ۲۱ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد کاهش می یابد و تیمار GABA در غلظت‌های ۱ و ۵ میلی مولار بترتیب در دوره قبل و پس از برداشت موجب بتاخیر افتادن کاهش آنتوسیانین کل گردیده و گل‌های تیمار شده با GABA دارای آنتوسیانین کل بالاتری بودند (جدول ۳ و ۴، P<0.01). RWC در گل‌های شاخه بریده آنتوریوم در طول ۲۱ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت (جدول ۳ و ۴) اما در گل‌های شاخه بریده آنتوریوم تیمار شده با GABA در غلظت‌های ۱ و ۵ میلی مولار بترتیب در دوره قبل و پس از برداشت روند کاهش RWC کندتر بوده و گل‌های تیمار شده با GABA دارای RWC بالاتری بودند (جدول ۳ و ۴، P<0.01).

جدول ۳- تاثیر تیمار قبل از برداشت GABA در غلظت‌های صفر (شاهد) و ۱ میلی مولار بر RWC و میزان آنتوسیانین کل گل شاخه بریده آنتوریوم نگهداری شده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد بمدت ۲۱ روز

زمان (روز)	تیمار	RWC و میزان آنتوسیانین	
	GABA (میلی مولار)	RWC (٪)	آنتوسیانین کل (میلی گرم بر گرم وزن تر اسپات)
برداشت	۰	۸۹/۳۳ ± ۰/۳۶ bc	۰/۲۳ ± ۰/۰۱ d
	۱	۹۱/۴۸ ± ۰/۷۰ a	۰/۴۱ ± ۰/۰۲ d
۷	۰	۸۷/۴۳ ± ۰/۱۴ de	۰/۲۶ ± ۰/۰۱ c
	۱	۹۰/۵۹ ± ۰/۰۶ ab	۰/۵۳ ± ۰/۰۱ c
۱۴	۰	۸۵/۷۵ ± ۰/۴۰ e	۰/۲۱ ± ۰/۰۲ b
	۱	۸۸/۶۸ ± ۰/۲۶ cd	۰/۳۹ ± ۰/۰۳ bc
۲۱	۰	۸۰/۹۸ ± ۰/۴۹ f	۰/۰۹ ± ۰/۰۱ a
	۱	۸۵/۱۷ ± ۰/۱۶ e	۰/۳۴ ± ۰/۰۱ b
معنی‌داری	درجه آزادی		
زمان	۳	**	**
تیمار	۱	**	**
زمان × تیمار	۳	*	*
CV%	-	۰/۷۶۶	۳/۲۷۸

ns: عدم اختلاف معنی دار؛ * و **: بترتیب معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱۰ درصد

میانگین ها با حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد آزمون توکی تفاوت معنی داری ندارند.

جدول ۴- تاثیر تیمار پس از برداشت GABA در غلظت‌های صفر (شاهد) و ۵ میلی مولار بر RWC و میزان آنتوسیانین کل گل شاخه بریده آنتوریوم نگهداری شده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد بمدت ۲۱ روز

زمان (روز)	تیمار	RWC و میزان آنتوسیانین	
	GABA (میلی مولار)	RWC (٪)	آنتوسیانین کل (میلی گرم بر گرم وزن تر اسپات)
۰	–	۹۲/۱۸ ± ۰/۴۲	۰/۴۱ ± ۰/۰۲
۷	۰	۸۸/۳۷ ± ۰/۵۶ b	۰/۴۵ ± ۰/۰۲ c
	۵	۹۲/۲۷ ± ۱/۳۱ a	۰/۵۲ ± ۰/۰۵ c
۱۴	۰	۸۴/۶۶ ± ۰/۸۸ c	۰/۵۱ ± ۰/۰۴ b
	۵	۸۷/۲۱ ± ۰/۸۷ bc	۰/۶۴ ± ۰/۰۳ bc
۲۱	۰	۷۹/۹۹ ± ۰/۱۳ d	۰/۳۹ ± ۰/۰۳ a
	۵	۸۴/۳۲ ± ۰/۵۲ c	۰/۴۴ ± ۰/۰۲ b
معنی‌داری	درجه آزادی		
زمان	۲	**	**
تیمار	۱	**	**
زمان × تیمار	۲	ns	ns
CV%	–	۱/۵۳۰	۷/۰۰۵

ns: عدم اختلاف معنی دار؛ * و **: بترتیب معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱۰ درصد

میانگین ها با حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد آزمون توکی تفاوت معنی داری ندارند.

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار GABA موجب کاهش سرمازدگی پس از برداشت گل شاخه بریده آنتوریوم در طول ۲۱ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد می‌گردد که با کاهش نشت یونی و تجمع MDA همراه می‌باشد. تغییر در ساختار غشای سلولی بعنوان اولین پاسخ محصولات باغبانی به سرمازدگی می‌باشد که مستقیماً از طریق تغییر فیزیکی فاز غشای سلولی موجب کاهش انسجام غشا و افزایش نفوذپذیری آن می‌گردد که با افزایش نشت یونی همراه می‌باشد. علاوه بر تاثیر مستقیم سرمازدگی بر ساختار فیزیکی غشای سلول، کاهش انسجام غشای سلولی می‌تواند در اثر تنش اکسیداتیو باشد. سرمازدگی بعنوان یک تنش اکسیداتیو موجب تجمع ROS می‌گردد که با پراکسیداسیون اسیدهای چرب غشای سلولی همراه می‌باشد (۲۵). تنش اکسیداتیو که در اثر افزایش سطوح ROS در اثر سرمازدگی بوجود می‌آید بعنوان دومین پاسخ محصولات باغبانی به سرمازدگی می‌تواند غیر مستقیم از طریق افزایش پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع غشا که موجب افزایش تجمع MDA می‌گردد باعث کاهش انسجام غشای سلولی گردد (۱، ۲). MDA محصول نهایی پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع غشا می‌باشد و بعنوان یک نشانگر تنش اکسیداتیو نشان دهنده آسیب وارده بر غشای سلولی می‌باشد (۲۹). درصد نشت یونی و میزان MDA بعنوان نشانگرهای فیزیولوژیکی کاهش قدرت نفوذپذیری انتخابی غشای سلولی و پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع آن بطور گسترده توسط پژوهشگران برای ارزیابی غیر مستقیم انسجام غشای سلولی مورد استفاده قرار می‌گیرند و می‌توانند برای تعیین شدت سرمازدگی مفید واقع شوند (۲۵).

مونوز و همکاران (۱۹) گزارش کردند که نگهداری میوه چریمویا (*Annona cherimola*) در دمای سرمازدگی ۶

درجه سانتی‌گراد موجب کاهش pH سیتوپلاسمی می‌گردد. در طول دمای سرمازدگی جداشدن زیرواحد V_1 آنزیم تونوپلاستی V-ATPase که مسئول هیدرولیز ATP می‌باشد از زیرواحد V_0 که مسئول پمپ H^+ می‌باشد موجب غیرفعال شدن آنزیم V-ATPase می‌گردد. غیرفعال شدن آنزیم V-ATPase موجب برهم خوردن تعادل pH بین سیتوپلاسم و واکوئل گردیده و در نتیجه بر اثر تجمع H^+ در سیتوپلاسم pH سیتوپلاسم اسیدی می‌گردد. کاهش pH سیتوپلاسمی موجب فعال شدن آنزیم گلوتامات دکربوکسیلاز (GAD= Glutamate decarboxylase) و در نتیجه افزایش بیوسنتز GABA می‌گردد. GABA توسط آنزیم GAD بصورت غیر قابل برگشت از گلوتامات با مصرف H^+ و آزاد کردن مولکول CO_2 بیوسنتز می‌شود. مصرف H^+ توسط GAD برای بیوسنتز GABA از طریق تنظیم pH سیتوپلاسمی می‌تواند بعنوان یک مکانیسم دفاعی در برابر تنش سرمازدگی که منجر به اسیدی شدن سیتوپلاسم می‌گردند عمل نماید (۸). لیو و همکاران (۱۶) گزارش کردند که در تنش کم آبی به علت بالا بودن بیان ژن و فعالیت آنزیم GAD1 نسبت به پیرولین ۵-کربوکسیلات سنتاز ۱ (P5CS1= Pyrroline-5-carboxylate synthase 1) گلوتامات بیشتر برای بیوسنتز GABA مصرف می‌شود تا بیوسنتز پرولین. لیو و همکاران (۱۶) پیشنهاد کردند که در تنش کم آبی GABA علاوه بر محافظ اسمزی بعنوان جاروب کننده ROS عمل می‌نماید و توانایی GABA در جاروب کردن O_2^- و H_2O_2 بیشتر از پرولین می‌باشد. کاهش اسیدی شدن سیتوپلاسم بهمراه فعالیت آنتی اکسیدانی مولکول GABA می تواند در کاهش تنش اکسیداتیو سرمازدگی موثر باشد (۱، ۲).

افزایش مقاومت به سرمازدگی پس از برداشت در گل‌های شاخه بریده آنتوریوم تیمار شده با GABA که همراه با کاهش نشت یونی و تجمع MDA می‌باشد نشان می‌دهد که تیمار GABA گل‌های شاخه بریده آنتوریوم نگهداری شده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد را از تنش اکسیداتیو و آسیب ناشی از آن بر غشای سلولی محافظت می‌نماید که با حفظ انسجام غشای سلولی همراه می‌باشد. یانگ و همکاران (۳۰) گزارش کردند که تیمار GABA سرمازدگی پس از برداشت میوه هلو را کاهش می‌دهد. تیمار میوه هلو با GABA علاوه بر بتاخیر انداختن کاهش ATP و ADP و افزایش AMP در طول نگهداری میوه هلو در انبار با دمای سرمازدگی که موجب می‌گردد میوه‌های هلو دارای سطوح بالای انرژی باشند، فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان را نیز افزایش می‌دهد. یانگ و همکاران (۳۰) پیشنهاد کردند که کاهش سرمازدگی در میوه هلو می‌تواند در اثر افزایش فعالیت سیستم آنتی اکسیدانی بهمراه حفظ سطوح انرژی سلول باشد که موجب حفظ انسجام غشای سلولی در دمای سرمازدگی می‌گردد. بنابراین، حفظ انسجام غشای سلولی در گل‌های شاخه بریده آنتوریوم تیمار شده با GABA را که با کاهش نشت یونی و MDA همراه می‌باشد می‌توان به افزایش فعالیت سیستم آنتی اکسیدانی و یا حفظ سطوح انرژی سلول نسبت داد.

بیوسنتز محافظ اسمزی GB در گیاهان از کولین از طریق بتائین آلدئید (BA= Betaine aldehyde) انجام می‌شود. در کلروپلاست کولین توسط کولین مونواکسیژناز (CMO= Choline monooxygenase) به BA تبدیل می‌گردد و BA توسط BA دهیدروژناز (BADH= Betaine aldehyde dehydrogenase) به GB تبدیل می‌گردد (۱۵). GB علاوه بر شرکت در تنظیم اسمزی، مسئول حفظ پایداری پروتئین‌ها و انسجام غشاهای سلولی در برابر تنش‌های محیطی می‌باشد که از طریق افزایش تولید ROS موجب پراکسیداسیون اسیدهای چرب غشاهای سلولی می‌گردند. GB بعنوان یک چاپرون مولکلولی عمل نموده و مسئول حفظ پایداری آنزیم‌های تثبیت کننده CO_2 مانند روبیسکو، روبیسکو اکتیواز، فروکتوز-۱و۶-بیس فسفاتاز و آلدولاز می‌باشد که موجب حفظ ظرفیت و توانایی تثبیت CO_2 تحت تنش می‌گردد که با کاهش تولید و تجمع ROS همراه می‌باشد. GB بیان ژن‌های کد کننده آنزیم‌های آنتی

اکسیدان را افزایش داده و موجب کاهش سطوح ROS می‌گردد (۱۵). مرحله اول بیوسنتز GB، اکسیداسیون کولین به BA توسط CMO، نیاز به فردوکسین احیا دارد که می‌تواند توسط ماشین فتوسنتزی تامین گردد. از آنجاییکه بیوسنتز GB با مصرف الکترون‌های تولید شده توسط فتوسنتز بصورت فردوکسین احیا شده همراه می‌باشد، از احیای بیش از حد زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی تحت تنش جلوگیری نموده و احتمال تولید ROS را کاهش می‌دهد (۱۵). جین و همکاران (۱۳) گزارش کردند که تیمار آماده سازی در دمای پایین (LTC= Low temperature conditioning) از طریق افزایش فعالیت آنزیم BADH موجب افزایش سطوح درونی GB می‌گردد منجر به کاهش سرمازدگی میوه لاکوآت می‌گردد که با کاهش نشت یونی و MDA همراه می‌باشد. رودریگز-زاپاتا (۲۴) گزارش کردند که تیمار قبل از برداشت GB از طریق کاهش فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز (PPO= Polyphenol oxidase) همراه با کاهش سطوح فنل کل منجر به کاهش قهوه‌ای شدن میوه موز در دمای سرمازدگی پس از برداشت می‌گردد که با کاهش نشت یونی، کاهش تجزیه کلروفیل و افزایش بیوسنتز کارتنوئید همراه می‌باشد. حفظ انسجام غشایی در گل‌های شاخه بریده آنتوریوم در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد تحت تیمار GABA که با کاهش نشت یونی و تجمع MDA همراه می‌باشد را می‌توان به افزایش میزان GB اسپات نسبت داد.

آنتوسیانین ها مولکول های آنتی اکسیدان غیر آنزیمی می‌باشند که نقش مهمی در دفاع در برابر تنش های اکسیداتیو بازی می‌کنند. فنیل آلانین آمونیالیاز (PAL= Phenylalanine ammonia lyase) بعنوان آنزیم کلیدی در مسیر فنیل پروپانوئید تبدیل فنیل آلانین به ترانس سینامیک اسید را کاتالیز می‌نماید و بعنوان آنزیم رابط متابولیسم اولیه (مسیر اسید شیکمیک) و متابولیسم ثانویه (مسیر فنیل پروپانوئید) محسوب می‌گردد (۷). در حالت کلی افزایش فعالیت PAL در میوه‌های نگهداری شده در دمای سرمازدگی بعنوان یک مکانیسم برای کاهش سرمازدگی پذیرفته شده است (۲۳) و تیمار گرمایی با افزایش فعالیت آنزیم PAL موجب کاهش سرمازدگی در میوه موز می‌گردد (۴). PAL آنزیم کلیدی مسیر فنل پروپانوئید می‌باشد که افزایش فعالیت آن با افزایش تجمع فنل ها همراه می‌باشد (۳). افزایش میزان آنتوسیانین کل در گل‌های شاخه بریده آنتوریوم در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد تحت تیمار GABA می‌تواند در اثر افزایش فعالیت PAL و یا کاهش فعالیت آنزیم PPO باشد. جیانگ و همکاران (۱۲) گزارش کردند که آنتوسیانین ها می‌توانند در قهوه ای شدن پریکارپ میوه لیچی مشارکت داشته باشد. در این مسیر ابتدا آنتوسیانین توسط آنتوسیاناز هیدرولیز شده و موجب تشکیل آنتوسیانیدین می‌گردد و سپس اکسیداسیون آنتوسیانیدین توسط آنزیم PPO موجب قهوه ای شدن پریکارپ میوه لیچی می‌گردد. افزایش آنتوسیانین در اسپات گل‌های شاخه بریده آنتوریوم تحت تیمار GABA همراه با کاهش قهوه ای شدن می‌باشد و نشان می‌دهد که تیمار GABA می‌تواند با کاهش فعالیت آنزیم PPO موجب کاهش مشارکت آنتوسیانین در قهوه ای شدن اسپات گردد.

آنتوسیانین ها دارای فعالیت جاروب کنندگی ROS می‌باشند (۱۸). زو و همکاران (۳۱) گزارش کردند که برگ های مرکزی (CL) گیاهچه های نیشکر در مقایسه با برگهای کاملا توسعه یافته (FL= Fully expanded leaves) در پاسخ به تنش سرما دارای فعالیت سیستم آنتی اکسیدانی پایینی می‌باشد، اما تجمع بالای آنتوسیانین در آنها موجب افزایش مقاومت به سرمازدگی می‌گردد. آنتوسیانین ها و SOD می‌توانند O_2^- تولید شده توسط استرس اکسیداتیو را جاروب نمایند که همراه با اکسیداسیون گلوتاتیون احیا به گلوتاتیون اکسید (GSH به GSSG) (Reduced glutathione to oxidized glutathione) می‌باشد. GSSG می‌تواند توسط آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز (Glutathione reductase=GR) برای تولید GSH در چرخه AA/GSH مورد استفاده قرار گیرد. GSH می‌تواند

توسط آنزیم دهیدروآسکوربات ردوکتاز برای تولید آسکوربات (AA= Ascorbic acid) مورد استفاده قرار گیرد. در حالت کلی افزایش میزان آنتوسیانین از طریق افزایش فعالیت چرخه AA/GSH که منجر به افزایش نسبت های AA/DHA و GSH/GSSG می‌گردد موجب کاهش تنش اکسیداتیو و افزایش مقاومت به سرما گردد. کاهش تنش اکسیداتیو در گل‌های شاخه بریده آنتوریوم در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد تحت تیمار GABA که با کاهش نشت یونی و تجمع MDA همراه می‌باشد را می‌توان به افزایش میزان آنتوسیانین کل نسبت داد.

نیبر و همکاران (۲۰) گزارش کردند که تنش گرما موجب کاهش رشد ریشه و شاخه و در نتیجه کاهش زنده مانی گیاهچه‌های برنج می‌گردد. تیمار GABA در غلظت ۱ میلی مولار مقاومت گیاهچه‌های برنج به تنش گرما را از طریق افزایش تجمع اسمولیت‌های پرولین، تری‌هالوز و GABA که منجر به بهبود RWC و هدایت روزنه ای و در نتیجه حفظ تورگر برگ می‌گردند افزایش می‌دهد (۲۰). کریشنان و همکاران (۱۴) گزارش کردند که تیمار GABA در غلظت ۵۰ میلی مولار از طریق افزایش فعالیت آنزیم آنتی اکسیدان پراکسیداز که منجر به کاهش نشت یونی و میزان MDA می‌گردد موجب افزایش مقاومت چمن به تنش خشکی می‌گردد که با حفظ RWC و کیفیت چمن همراه می‌باشد. ویجیاکامورا و پوترا (۲۷) گزارش کردند که تیمار GABA در غلظت ۲ میلی مولار موجب افزایش مقاومت به تنش اسمزی در فلفل می‌گردد که با بتاخیر افتادن پژمردگی گیاه در اثر حفظ RWC همراه می‌باشد. گیاه فلفل تیمار شده با GABA تحت تنش اسمزی دارای سطوح بالای پرولین و قند کل بهمراه GABA درونی و فعالیت بالای آنزیم آنتی اکسیدان SOD می‌باشد که منجر به کاهش MDA می‌گردد. تیمار GABA در غلظت ۱ و ۵ میلی مولار مقاومت گل‌های شاخه بریده آنتوریوم به تنش سرمازدگی پس از برداشت را از طریق افزایش تجمع اسمولیت GB که منجر به بهبود RWC اسپات می‌گردد افزایش می‌دهد.

نتیجه گیری نهایی

تیمار گل آنتوریوم با GABA در غلظت ۱ میلی مولار قبل از برداشت و ۵ میلی مولار پس از برداشت موجب حفظ انسجام غشای سلولی می‌گردد که با کاهش نشت یونی و تجمع MDA همراه می‌باشد. در این پژوهش، حفظ انسجام غشای سلولی در گل شاخه بریده آنتوریوم نگهداری شده در دمای ۴ درجه سانتی گراد را می‌توان به افزایش میزان آنتوسیانین کل که دارای فعالیت آنتی اکسیدانی می‌باشد، نسبت داد. تیمار GABA در غلظت ۱ میلی مولار قبل از برداشت و ۵ میلی مولار پس از برداشت موجب تجمع GB در گل شاخه بریده آنتوریوم نگهداری شده در دمای ۴ درجه سانتی گراد می‌گردد که با حفظ RWC همراه می‌باشد. نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌کند که تیمار GABA می‌تواند بعنوان یک تکنولوژی امیدبخش برای افزایش مقاومت گل‌های شاخه بریده آنتوریوم به سرمازدگی پس از برداشت از طریق افزایش تجمع GB و آنتوسیانین کل که موجب حفظ انسجام غشای سلولی می‌گردند مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

۱- اقدم، م.س.، اصغری، م.، خرسندی، ا.، مراد بیگی، ه.، محمدخانی، ن.، مهیجی، م.، حسن پور اقدم، م.ب. ۱۳۹۳. سازوکارهای احتمالی تاثیر اسید سالیسیلیک بر کاهش سرمازدگی پس از برداشت میوه گوجه فرنگی. مجله پژوهش های گیاهی (مجله زیست شناسی ایران). ۲۷(۲): ۲۲۷-۲۱۶.

۲- اقدم، م.س.، اصغری، م. ۱۳۹۳. کاهش سرمازدگی پس از برداشت میوه گوجه فرنگی با تیمار براسینواستروئید. مجله پژوهش های گیاهی (مجله زیست شناسی ایران). ۲۷(۳): ۴۲۷-۴۳۹.

3- Aghdam, M. S. & Bodbodak, S. (2013). Physiological and biochemical mechanisms regulating chilling tolerance in horticultural crops under postharvest salicylates and jasmonates treatments. Scientia Horticulturae, 156, 73-85.

4- Bessieres, M. A., Gibon, Y., Lefeuvre, J. C. & Larher, F. (1999). A single step purification for glycine betaine determination in plant extracts by isocratic HPLC. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 47, 3718−3722.

5- Cao, S., Cai, Y., Yang, Z. & Zheng, Y. (2012). MeJA induces chilling tolerance in loquat fruit by regulating proline and γ-aminobutyric acid contents. Food Chemistry, 133, 1466-1470.

6- Chen, J.Y., He, L.H., Jiang, Y.M., Wang, Y., Joyce, D.C., Ji, Z.L. & Lu, W.J. (2008). Role of phenylalanine ammonia-lyase in heat pretreatment-induced chilling tolerance in banana fruit. Physiologia Plantarum, 132, 318-328.

7- Dixon, R.A. & Paiva, N.L. (1995). Stress-Induced Phenylpropanoid Metabolism. Plant Cell, 7, 1085-1097.

8- Fait, A., Fromm, H., Walter, D., Galili, G., Fernie, A.R., 2007. Highway or byway: the metabolic role of the GABA shunt in plants. Trends Plant. Sci. 13, 14–19.

9- Gopaulchan, D., Umaharan, P. & Lennon, A.M. (2014). A molecular assessment of the genetic model of spathe color inheritance in *Anthurium andraeanum* (Hort.). Planta 239, 695– 705.

10- Hernández, M.L., Padilla, M.N., Sicardo, M.D., Mancha, M. & Martínez-Rivas, J.M. (2011). Effect of different environmental stresses on the expression of oleate desaturase genes and fatty acid composition in olive fruit. Phytochem, 72, 178-187.

11- Hodges, D.M., DeLong, J.M., Forney, C.F. & Prange, R.K. (1999). Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. Planta, 207, 604-611.

12- Jiang, Y., Duan, X., Joyce, D., Zhang, Z. & Li, J. (2014). Advances in understanding of enzymatic browning in harvested litchi fruit. Food Chemistry, 88, 443-446.

13- Jin, P., Zhang, Y., Shan, T., Huang, Y., Xu, J. & Zheng, Y. (2015). Low-temperature conditioning alleviates chilling injury in loquat fruit and regulates glycine betaine content and energy status. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 63, 3654-3659.

14- Krishnan, S., Laskowski, K., Shukla, V. & Merewitz, E.B. (2013). Mitigation of drought stress damage by exogenous application of a non-protein amino acid γ– aminobutyric acid on perennial ryegrass. Journal of the American Society for Horticultural Sciences, 138, 358-366.

15- Kurepin, L., Ivanov, A., Zaman, M., Pharis, R., Allakhverdiev, S., Hurry, V. & Hüner, N.A. (2015). Stress-related hormones and glycinebetaine interplay in protection of photosynthesis under abiotic stress conditions. Photosynthetic Research, 1-15.

16- Liu, C., Zhao, L., Yu, G., 2011. The dominant glutamic acid metabolic flux to produce gamma-amino butyric acid over proline in Nicotiana tabacum leaves under water stress relates to its significant role in antioxidant activity. J. Int. Plant Biol. 53, 608-618.

17- Merodio, C., Muñoz, M. T., Cura, B. D., Buitrago, D., Escribano, M. & Isabel, I. A. (1998). Effect of high CO_2 level on the titres of γ-aminobutyric acid, total polyamines and some pathogenesis-related proteins in cherimoya fruit stored at low temperature. Journal of Experimental Botany, 49, 1339-1347.

18- Mittler, R., 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends in Plant Science, 7, 405–410.

19- Muñoz, T., Ruiz-Cabello, J., Molina-García, A.D., Escribano, M.I., Merodio, C., 2001. Chilling Temperature Storage Changes the Inorganic Phosphate Pool Distribution in Cherimoya (*Annona cherimola*) Fruit. Journal of the American Society for Horticultural Science 126, 122-127.

20- Nayyar, H., Kaur, R., Kaur, S. & Singh, R. (2014). γ-Aminobutyric acid (GABA) imparts partial protection from heat stress injury to rice seedlings by improving leaf turgor and upregulating osmoprotectants and antioxidants. Plant Growth Regulation, 33, 408-419.

21- Promyou, S. & Ketsa, S. (2014). Cultivar difference in sensitivity to chilling injury of anthurium flowers (*Anthurium andraeanum*) during low temperature storage. Acta Horticulture, 1025, 179-186.

22- Promyou, S., Ketsa, S. & van Doorn, W.G. (2012). Salicylic acid alleviates chilling injury in anthurium (*Anthurium andraeanum* L.) flowers. Postharvest Biology and Technology, 64, 104-110.

23- Rinaldo, D., Mbéguié-A-Mbéguié, D. & Fils-Lycaon, B. (2010). Advances on polyphenols and their metabolism in sub-tropical and tropical fruits. Trends in Food Science and Technology, 21, 599-606.

24- Rodríguez-Zapata, L., Espadas y Gil, F., Cruz-Martínez, S., Talavera-May, C., Contreras-Marin, F., Fuentes, G., Sauri-Duch, E. & Santamaría, J. (2015). Preharvest foliar applications of glycine-betaine protects banana fruits from chilling injury during the postharvest stage. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 2, 1-10.

25- Sevillano, L., Sanchez-Ballesta, M.T., Romojaro, F. & Flores, F.B. (2009). Physiological, hormonal and molecular mechanisms regulating chilling injury in horticultural species. Postharvest technologies applied to reduce its impact. Journal of the Science of Food and Agriculture, 89, 555-573.

26- Shang, H., Cao, S., Yang, Z., Cai, Y. & Zheng, Y. (2011). Effect of exogenous gamma-aminobutyric acid treatment on proline accumulation and chilling injury in peach fruit after long-term cold storage. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 59, 1264-1268.

27- Vijayakumari, K. & Puthur, J. (2015). γ-Aminobutyric acid (GABA) priming enhances the osmotic stress tolerance in Piper nigrum Linn. plants subjected to PEG-induced stress. Plant Growth Regulation, 1-11.

28- Wang, Y., Luo, Z., Huang, X., Yang, K., Gao, S. & Du, R. (2014). Effect of exogenous γ-aminobutyric acid (GABA) treatment on chilling injury and antioxidant capacity in banana peel. Scientia Horticulturae,168, 132-137.

29- Wise, R.R. & Naylor, A.W. (1987). Chilling-enhanced photophylls. Chilling-enhanced photooxidation - the peroxidative destruction of lipids during chilling injury to photosynthesis and ultrastructure. Plant Physiology, 83, 272-277.

30- Yang, A., Cao, S., Yang, Z., Cai, Y. & Zheng, Y. (2011). γ-Aminobutyric acid treatment reduces chilling injury and activates the defence response of peach fruit. Food Chemistry, 129, 1619-1622.

31- Zhu, J.J., Li, Y.R. & Liao, J.X. (2013). Involvement of anthocyanins in the resistance to chilling induced oxidative stress in *Saccharum officinarum* L. leaves. Plant Physiology and Biochemistry, 7, 427-433.

Impact of pre and postharvest γ-aminobutyric acid (GABA) treatment on postharvest chilling injury in anthurium cut flowers (*Anthurium andraeanum* L.)

Soleimani Aghdam M., Naderi R.A., Askari Sarcheshmeh M.A. and Babalar M.

Dept. of Horticultural Science, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. of Iran

Abstract

The optimum temperature storage of anthurium flowers is 12.5–20 ºC because they are very sensitive to chilling injury (CI). In this study, the effects of 0, 1, 5, 10, 15 and 20 mM γ-aminobutyric acid (GABA) treatment applied by preharvest spraying or postharvest stem-end dipping (15 min at 20 ºC) on CI of anthurium flowers (cv. Sirion) stored at 4 ºC for 21 days was investigated. CI symptoms were accompanied by spathe browning and increase in electrolyte leakage as well as malondialdehyde (MDA) content. GABA treatment at 1 and 5 mM by pre and postharvest treatment, respectively, delayed spathe browning and increases in electrolyte leakage and MDA accumulation. Also, GABA treatments delayed decrease in total anthocyanins leading to significantly higher total anthocyanins content in GABA treated anthurium cut flowers during storage at 4 ºC for 21. GABA treatment at 1 and 5 mM by pre and postharvest treatment, respectively, delayed decrease in spathe RWC. Also, glycine betaine (GB) content in anthurium cut flowers treated with GABA was significantly higher than control flowers during storage. These results showed that GABA treatment at 1 and 5 mM by pre and postharvest treatment, respectively, ameliorated chilling injury of anthurium cut flowers, which can be used as promising technology at commercial scale.

Key words: Anthurium cut flowers; Chilling injury; Anthocyanin; Postharvest; Glycine betaine