of SID

تأثیر محلول‌پاشی گاما-آمینو بوتیریک اسید بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی گوجه‌فرنگی رقم نامیب تحت تنش شوری

لولاو زارعی[۱]، محمود کوشش صبا[۲]*، یاور وفایی[۳] و تیمور جوادی[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۲-***نویسنده مسئول:** دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران (m.saba@uok.ac.ir)

۳- استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۴- دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۲۷

چکیده

تنش شوری و تجمع املاح در سطح خاک، یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی محدودکننده تولید محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران می‌باشد. یکی از روش‌های به حداقل رساندن اثرات مضر تنش شوری استفاده از محلول‌پاشی برگی برخی مواد شیمیایی مانند گاما-آمینوبوتیریک اسید (گابا) برای افزایش تحمل به شوری گیاه است. این پژوهش با هدف بررسی تغییرات فیزیولوژیکی گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری و تیمار گابا صورت گرفت. تیمار شوری در دو سطح صفر (شاهد) و ۵۰ میلی‌مولار و تیمار گابا در سه غلظت صفر، ۱۰ و ۲۰ میلی‌مولار به‌صورت محلول‌پاشی برگی اعمال شد. خصوصیات فیزیولوژیکی شامل محتوای نسبی آب برگ، شاخص پایداری غشاء سلولی، پرولین، پروتئین محلول کل و فعالیت آنزیم‌ها، کلروفیل a، b و کل و میزان قندهای محلول اندازه‌گیری شدند. گابا سبب افزایش در محتوای نسبی آب برگ، پایداری غشاء سلولی، میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل، کاروتنوئید، کربوهیدرات‌های محلول کل، پرولین، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز نسبت به گوجه‌فرنگی تیمار شاهد گردید. بنابراین، در شرایط تنش شوری استفاده از گابا به‌عنوان یک اسمولیت سازگار که موجب بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی گوجه‌فرنگی شده، توصیه می‌شود.

کلید واژه‌ها: فعالیت آنزیمی، کربوهیدرات‌های محلول کل، محتوای نسبی آب برگ، میزان پرولین آزاد

مقدمه

تنش شوری یکی از جدی‌ترین عوامل محدودکننده رشد محصول و تولید در مناطق خشک است به‌طوری‌که حدود ۲۳ درصد اراضی کشاورزی جهان شور و ۳۷ درصد سدیمی است و به‌طور میانگین آب‌های موجود در کره زمین حاوی ۳۰ گرم در لیتر نمک می‌باشند (Khan and Duke, 2001؛ Sotripopoulos, 2007). شوری می‌تواند بر رشد گیاه تأثیر بگذارد زیرا غلظت بالای نمک در محلول خاک در جذب متعادل عناصر ضروری توسط گیاهان تداخل ایجاد می‌کند (Tester and Davenport, 2003). مطالعات بیوشیمیایی و مولکولی نشان داده‌اند که تنش شوری در گیاهان باعث افزایش قابل توجه گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، شامل سوپراکسید (O^{-}_{2})، رادیکال هیدروکسیل (OH) و پراکسید هیدروژن (H_2O_2) می‌شود (Tanou *et al.*, 2009). تنش شوری سرعت فتوسنتز را از طریق راه‌های مختلفی، از جمله کاهش عرضه CO_2 به روزنه‌ها، سمیت نمک، کاهش نفوذپذیری غشاء سلول به CO_2 و افزایش پیری کاهش می‌دهد (Kafi and Rahimi, 2011). در شرایط تنش شوری میزان پرولین و قندهای محلول افزایش

www.SID.ir

Archive of SID

می‌یابد (Houimli *et al.*, 2010). یکی از روش‌های به حداقل رساندن اثرات مضر تنش شوری استفاده از محلول‌پاشی برگی برخی مواد شیمیایی برای افزایش تحمل به شوری گیاه با کاهش سدیم و کلر است (El-Fouly *et al.*, 2000).

گوجه‌فرنگی با نام علمی *Lycopersicon esculentum* متعلق به خانواده سولاناسه[1] می‌باشد. تولید جهانی این محصول در حال حاضر ۱۶۳ میلیون تن میوه تازه از ۴/۷ میلیون هکتار است (FAO, 2013). گوجه‌فرنگی یکی از سبزیجات مورد علاقه و پرمصرف در ایران است که میوه آن سرشار از مواد معدنی، ویتامین‌ها و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی بوده و از مهم‌ترین محصولات باغبانی جهان در ارتباط با سلامت انسان به شمار می‌آید (Dorais *et al.*, 1998). در حال حاضر این محصول ۲۵ درصد از کل تولیدات سبزی جهان را به خود اختصاص داده است. گوجه‌فرنگی می‌تواند برای مطالعه تأثیر زمین‌های شور و استفاده از آب‌های دارای املاح از طریق بررسی خصوصیات فیزیولوژیکی و ژنتیکی این گونه مورد استفاده قرار گیرد.

گاما-آمینو بوتیریک اسید [2] (گابا) یک آمینواسید چهار کربنه است که در باکتری‌ها، گیاهان و جانوران مشاهده شده است (Fait *et al.*, 2006). چندین مطالعه گزارش کرده‌اند که گابا اغلب در گیاهان در پاسخ به تنش‌های زنده و غیرزنده شامل خشکی، شوری، زخم، کمبود اکسیژن، شوک گرمایی و آلودگی عوامل بیماری‌زا سریعاً تجمع می‌یابد (Deewatthanawong *et al.*, 2010). گابا یک سیگنال مولکولی خارجی است که نقش مهمی در تنظیم پاسخ به تنش، رشد و توسعه گیاه دارد (Song *et al.*, 2010). تجمع گابا در پاسخ به CO_2 بالا و یا O_2 پایین انبار در توت‌فرنگی و گوجه‌فرنگی گزارش شده‌است (Yin *et al.*, 2005). Shi *et al.* (2010) گزارش کردند که گابا در تولید اتیلن و پراکسید هیدروژن در ریشه‌های *Caragana intermedia* تحت تنش شوری نقش دارد. در گیاهان چند نقش سیگنالی از جمله دخالت در تنظیم pH، ذخیره‌سازی نیتروژن، رشد گیاه و دفاع در برابر تنش‌های غیرزنده مانند خشکسالی، تنش اکسیداتیو، شوری و تنش سرمایی به گابا نسبت داده شده است (Shelp *et al.*, 2012). تیمار خارجی گابا آسیب اکسیداتیو ناشی از سمیت H^+ و AL_3 در جو و آسیب سرمایی در میوه هلو را توسط القای تجمع پرولین و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاهش داده است (Song *et al.*, 2010؛ Shang *et al.*, 2011). نقش گابا در رابطه با واکنش‌های تنشی به دلیل تجمع آن در گیاه پس از قرار گرفتن در معرض طیف وسیعی از تنش‌ها از جمله آسیب‌های مکانیکی، شوری، گرما، سرما و خشکی پیشنهاد شده است (Kinnersley and Turano, 2000). هدف از انجام این آزمایش بررسی تیمار گابا بر خصوصیات فیزیولوژیکی گوجه فرنگی رقم نامیب تحت تنش شوری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی

بذر گوجه‌فرنگی رقم نامیب در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی دانشگاه کردستان در ظرف‌های یکبار مصرف در مخلوطی از پرلیت، ورمی‌کولیت و کوکوپیت به نسبت ۱:۱:۱ در ماه خرداد ۱۳۹۴ کاشته شد. نشای دو ماهه با ۱۵ سانتی‌متر طول به گلدان‌های ۱۰ لیتری حاوی محیط کشت کوکوپیت و پرلایت به نسبت ۱ به۱ منتقل شد. نشاها به‌صورت یک روز در میان آبیاری (۵۰۰ میلی لیتر) و یا با محلول غذایی هوگلند (۵۰۰ میلی‌لیتر) تغذیه شدند. دو هفته بعد از استقرار بوته‌ها و با ظهور اولین خوشه گل تیمار شوری در دو سطح صفر (شاهد) و ۵۰ میلی‌مولار و تیمار گابا در سه غلظت صفر، ۱۰، ۲۰ میلی‌مولار به‌صورت محلول‌پاشی برگی (به‌صورت یکنواخت و به گونه‌ای که تمام سطح برگ‌ها را فرا گیرد) در سرتاسر بوته‌ها اعمال شد. جهت تهیه تیمار محلول‌پاشی مقدار مشخص گابا توزین و در آب مقطر حل گردید و به همه محلول‌ها ۰/۵ درصد توین-۲۰ اضافه گردید. محلول‌پاشی گابا به فاصله دوهفته یک بار سه بار انجام شد. از برگ‌ها در اواخر شهریور ۱۳۹۴

1- Solanaceae
2- Gamma-aminobutyric acid

www.SID.ir

Archive of SID

نمونه‌گیری شد و در یخچال منفی ۷۰ درجه سلسیوس نگهداری شدند، هم‌چنین خصوصیات فیزیولوژیکی شامل محتوای نسبی آب برگ، شاخص پایداری غشاء سلولی، پرولین، پروتئین محلول کل و فعالیت آنزیم‌ها، کلروفیل a، b و کل و میزان قندهای محلول در نمونه‌های برگی اندازه‌گیری شد.

محتوای نسبی آب برگ (RWC)

به منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ[1]، برگ‌های کاملاً توسعه‌یافته را قطع کرده و پس از توزین تکه‌های برگ به کمک ترازوی دیجیتالی (با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم)، وزن تر آن‌ها محاسبه شد. تکه‌های برگ وزن شده به پتری‌دیش‌های درب‌دار حاوی آب مقطر منتقل شده و به مدت ۲۴ ساعت در یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد) و در تاریکی قرار داده شدند. پس از خارج کردن نمونه‌های برگی از آب مقطر جهت حذف رطوبت اضافی، آن‌ها را در بین دو لایه دستمال کاغذی خشک نموده و سپس برای به دست آوردن وزن آماس، دوباره وزن شدند. پس از تعیین وزن آماس، قطعات برگی را به آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد منتقل کرده و پس از ۲۴ ساعت، وزن خشک آن‌ها تعیین شد. در نهایت محتوای نسبی آب برگ با استفاده از رابطه زیر به‌صورت درصد محاسبه شد (Galmes *et al.*, 2007).

RWC = [(وزن خشک – وزن تر)/ (وزن خشک – وزن تورژسانس ×۱۰۰)]

شاخص پایداری غشاء سلولی (MSI)

به منظور اندازه‌گیری شاخص پایداری غشاء سلولی[2]، دیسک‌هایی از برگ قطع شده و ۰/۴ گرم از دیسک‌ها با آب مقطر شسته شده و در لوله‌های حاوی ۱۰ میلی‌متر آب مقطر قرار داده شدند. لوله‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم ۴۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند و هدایت الکتریکی آن‌ها پس از سرد شدن تا دمای ۲۵ درجه سلسیوس با دستگاه هدایت‌سنج قرائت شد (C1). سپس فالکن‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در آب ۱۰۰ درجه سلسیوس نگهداری شدند و هدایت الکتریکی آن‌ها پس از سرد شدن تا ۲۵ درجه سلسیوس قرائت شد (C2). شاخص پایداری غشاء سلولی با استفاده از رابطه زیر به‌صورت درصد محاسبه شد (Sairam *et al.*, 2002).

$$MSI = (1-(C1-C2)) \times 100$$

C1 = هدایت الکتریکی پس از قرار گرفتن در معرض دمای ۴۰ درجه و C2 = هدایت الکتریکی پس از قرار گرفتن در معرض دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس

اندازه‌گیری میزان کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید

جهت اندازه‌گیری میزان کلرفیل، ۰/۱ گرم نمونه برگ وزن کرده و با ازت مایع پودر شدند سپس در هاون چینی حاوی ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد (حجمی حجمی) و ۰/۱ گرم منیزیم اکسید کاملاً ساییده شدند و به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه در دستگاه سانتریفیوژ (HERMLE Z206A) قرار داده شدند. سپس توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (UV- S2100) میزان جذب آن‌ها در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر قرائت گردید و با استفاده از روابط زیر میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید محاسبه شدند. میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و میزان کاروتنوئید برحسب میلی‌گرم در گرم وزن تازه بیان شد (Lichtenthaler and Buschmann, 2001).

$$Chl_a\,(mg\ mL^{-1}) = (12.25 \times A\,663) - (2.79 \times A\,646)$$

$$Chl_b\,(mg\ mL^{-1}) = (21.21 \times A\,646) - (5 \times A\,663)$$

$$Ch_{total}\,(mg\ mL^{-1}) = Chl_a + Ch_b$$

$$Cartenoid\,(mg\ mL\text{-}1) = ((1000 \times A\,470) - (1.8 \times Chla) - (85.02 \times Chlb))/198$$

میزان پرولین آزاد

برای اندازه‌گیری میزان پرولین آزاد بافت برگ ابتدا ۰/۵ گرم از بافت تازه برگ توزین شده و در هاون چینی در ۱۰ میلی‌لیتر محلول آبی اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد به خوبی سائیده شد و سپس مخلوط هموژنیزه شده به مدت ۵ دقیقه با دور ۶۰۰۰ سانتریفیوژ شد. سپس ۲ میلی‌لیتر از محلول روشناور را به لوله‌های درب‌دار منتقل نموده و به تمام لوله‌ها ۲ میلی‌لیتر معرف نین هیدرین و ۲

1- Relative Water Content (RWC)
2- Membrane Stability Index (MSI)

www.SID.ir

Archive of SID

میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال اضافه شد. سپس نمونه‌ها به مدت یک ساعت در حمام آب ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند و بلافاصله پس از خارج کردن از حمام آب به مدت چند دقیقه در حمام یخ قرار گرفتند. سپس به هر لوله آزمایش ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه شده و نمونه‌ها تکان داده شدند تا کاملاً یکنواخت شوند. سپس در داخل لوله آزمایش ۲ فاز رویی و زیرین کاملاً از هم قابل تشخیص شده و فاز رویی را که به رنگ قرمز و حاوی پرولین محلول در تولوئن بود برداشته و در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد (Bates *et al.*, 1973). غلظت پرولین بر حسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ بیان شد.

کربوهیدرات‌های محلول کل برگ

جهت اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول کل برگ، ۰/۱ گرم از بافت برگ توزین شده و با ازت مایع در هاون چینی پودر کرده و با ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد کاملاً ساییده شد و سپس عصاره رویی را در فالکن ریخته و ته‌مانده برگی دوباره با ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد ساییده و به فالکن اضافه گردید. سپس در دستگاه سانتریفیوژ با ۳۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس ۱ میلی‌لیتر از عصاره الکلی را برداشته و در لوله فالکن ریخته و ۳ میلی‌لیتر آنترون تازه تهیه‌شده (۱۵۰ میلی‌گرم آنترون + ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۷۲ درصد) به آن افزوده شد. جهت ایجاد فاز رنگی، لوله‌های فالکن به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند و بعد از سرد شدن ۱/۵ میلی‌لیتر از فاز رویی با ۱/۵ میلی‌لیتر محلول کالیبره (۱ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد + ۳ میلی‌لیتر آنترون) را در کووت ریخته و میزان جذب در طول موج ۶۲۵ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت گردید (Irigoyen *et al.*, 1992). غلظت کربوهیدرات‌های محلول کل بر حسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ بیان شد.

اندازه‌گیری پروتئین‌های محلول کل

به منظور سنجش غلظت پروتئین‌های محلول کل، ۰/۲ گرم نمونه برگی را وزن کرده در هاون چینی ریخته و همزمان ازت مایع اضافه شد؛ و در حین خردکردن برگ ۲۰ میلی‌گرم (پلی وینیل پروپیلیدین) PVP به آن اضافه شد و در حین هم‌زدن ۱/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم (pH =۷) حاوی سدیم متابی سولفیت (۰/۰۱۹ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر بافر) به آن اضافه شد. ترکیب حاصله به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۱۵۰۰۰ دور و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در سانتریفیوژ یخچال‌دار (HETTCH, MICRO, Germany) سانتریفیوژ گردید. پس از اتمام سانتریفیوژ، فاز رویی را که حاوی پروتئین‌های محلول نمونه بود، با سمپلیرخارج نموده و ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره با ۱۷۵ میکرولیتر گلیسرول ۵۰ درصد مخلوط شد. برای اندازه‌گیری غلظت پروتئین، ۳۰ میکرولیتر عصاره استخراج شده را به همراه ۷۲۰ میکرولیتر محلول برادفورد مخلوط نموده و پس از ۵ دقیقه، میزان جذب نوری محلول در طول موج ۵۹۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر UV- 2100 قرائت شد. جهت رسم منحنی استاندارد از سرم آلبومین گاوی (BSA) استفاده شد (Bradford, 1976). با توجه به منحنی استاندارد و میزان جذب نوری در طول موج ۵۹۵ نانومتر، پروتئین نمونه‌ها برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر ارائه شد.

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز

به منظور سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز از مواد زیر استفاده شد: ۷۸۰ میکرولیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار pH= ۶/۶، ۹۰ میکرولیتر گایاکول ۱ درصد، ۹۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۰/۳ درصد. مواد فوق را در بستر یخ در یک کووت (۱ میلی‌لیتری) باهم مخلوط کرده و بلافاصله ۲۰ میکرولیتر عصاره پروتئینی استخراج شده از برگ گوجه‌فرنگی که حاوی آنزیم‌های گیاهی است به کووت اضافه گردید (Hemeda and Kelin, 1990). منحنی تغییرات جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (Analytik JENA, SPECIRD210) در مدت ۶۰ ثانیه قرائت شده و درنهایت فعالیت آنزیم پراکسیداز برحسب میکرومول پراکسید هیدروژن تجزیه شده در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه گزارش شد.

www.SID.ir

Archive of SID

$$\text{Activity (u/ml)} = \Delta A290 \times 0.5 \times Vt \times df / \varepsilon \times l \times t \times Vs$$

ضریب مولکولی اجزای واکنش = ۰/۵

Vt = حجم مخلوط واکنش، df = فاکتور رقیق‌کننده (آب مقطر استریل)، Vs = حجم عصاره آنزیمی، ε = ضریب خاموشی ($8\ mM^{-1}cm^{-1}$)، t = زمان (۶۰ ثانیه) و l = طول مسیر عبور نور از مخلوط واکنش

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD)

به منظور سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز، ۲۵ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار pH = ۷/۸ را تهیه نموده سپس ۰/۰۳۵ گرم ال- متیونین، ۰/۰۰۴ گرم NBT و ۷/۵ میکرولیتر تریتون 100X را به آن اضافه نموده و به‌طور جداگانه ۰/۰۰۱۱ گرم ریبوفلاوین را در ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر حل نمودیم، سپس ۱ میلی‌لیتر از بافر فسفات پتاسیم، ۱۰ میکرولیتر ریبوفلاوین و ۲۰ میکرولیتر از عصاره پروتئینی استخراج شده را باهم مخلوط و در میکرو تیوب ریخته شدند. میکروتیوب‌ها در فاصله ۳۵ سانتی‌متری از لامپ فلورسنت ۱۵ وات به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده شدند. در این آزمایش یک نمونه شاهد مورد استفاده قرار گرفت که بدون عصاره آنزیمی بود. جذب در طول‌موج ۵۶۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Beyer and Fridovich, 1987). میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز برحسب واحد در دقیقه به ازای میلی‌گرم پروتئین محاسبه شد.

$$\text{فعالیت SOD} = [(\frac{Amax-A560}{Amax}\times 100)] \ / \ \text{protein}$$

A_{max} = جذب در نمونه شاهد

تجزیه و تحلیل اطلاعات

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل با دو عامل شوری (در دو سطح) و گاما-آمینوبوتریک اسید (در سه سطح) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد و آنالیز داده‌ها با نرم‌افزار MSTATC، مقایسه میانگین‌ها با روش حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) صورت گرفت. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel 2016 استفاده شد.

نتایج و بحث

محتوای نسبی آب برگ (RWC)

اثر متقابل تنش شوری و گابا بر محتوای نسبی آب برگ در این آزمایش معنی‌دار بود، به گونه‌ای که بیشترین محتوای نسبی آب برگ مربوط به تیمارهای گابا ۱۰ و ۲۰ میلی‌مولار بدون تنش شوری و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار شوری ۵۰ میلی‌مولار بدون گابا بود (شکل A-۱). محتوای نسبی آب، وضعیت روزنه‌ها و تعرق برگ‌ها را بهتر نشان می‌دهد. گیاهان تیمار شده با گابا دارای محتوای نسبی آب برگ بیشتری نسبت به تیمارهای شاهد در شرایط تنش شوری بودند. قبلا نیز گابا به‌عنوان یک اسمولیت سازگار تحت تنش اسمزی گزارش شده است (Shelp *et al*., 1990). در نتیجه، تجمع این اسمولیت در سلول‌های گیاهی منجر به حفظ تورژسانس سلولی و هم‌چنین محافظت از غشای سلولی، پروتئین و سوخت‌وساز گیاه از طریق جلوگیری از هدر رفت آب سلول می‌گردد. تحقیقات روی آرابیدوپسیس (*Arabidopsis thaliana*) نشان داد که گابا به‌عنوان یک مولکول سیگنال دهنده در هماهنگی با هورمون‌های گیاهی مانند اسید آبسیزیک و اتیلن عمل می‌کند (Krishnan *et al*., 2013)؛ بنابراین می‌توان اظهار داشت که گابا با افزایش تجمع آبسیزیک اسید می‌تواند باعث کاهش اندازه منافذ روزنه در عکس‌العمل به تنش گردد و درنهایت موجب کاهش هدر رفت آب، کاهش هدایت روزنه‌ای و تحمل بیشتر تنش گردد.

شاخص پایداری غشاء سلولی (MSI)

اثر متقابل تنش شوری و گابا بر شاخص پایداری غشاء سلولی معنی‌دار بود، به‌طوری‌که بیشترین میزان آن مربوط به تیمار گابا ۲۰ میلی مولار بدون شوری وگابا ۲۰ میلی‌مولار به علاوه شوری ۵۰ میلی‌مولار بود و کمترین مقدار آن در تیمار شوری ۵۰ میلی مولار مشاهده گردید (شکل B-۱).

تنش خشکی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ و افزایش میزان مالون دی آلدئید در گیاهان چچم چند ساله گردیده و کاربرد خارجی گابا (با غلظت ۵۰ میلی‌مولار)

www.SID.ir

Archive of SID

باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ و کاهش میزان مالون دی آلدئید از طریق حفظ پایداری غشاء گردیده است (Krishnan *et al.*, 2013). گابا احتمالاً از طریق افزایش آنزیم‌های ضداکسایشی همانند پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداسیون لیپیدی را کاهش داده و در نتیجه سبب افزایش پایداری غشاء سلولی می‌شود. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی گابا به‌طور قابل توجهی از کاهش پایداری غشاء سلولی تحت تنش شوری جلوگیری کرده است.

میزان کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید

اثر متقابل تنش شوری و محلول‌پاشی گابا بر میزان کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود، به‌طوری‌که بیشترین میزان کلروفیل a (شکل A-۲) و کاروتنوئید (شکل D-۲) در تیمار شاهد و غلظت ۱۰ میلی‌مولار گابا بدون تنش شوری و کمترین مقدار آن‌ها در تنش شوری ۵۰ میلی‌مولار بدون کاربرد گابا مشاهده گردید. بیشترین میزان کلروفیل b در تیمار بدون شوری با غلظت ۱۰ میلی‌مولار گابا مشاهده شد و بین سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل B-۲). کلروفیل کل در تیمار ۱۰ میلی‌مولار گابا بدون تنش شوری بیشترین مقدار را داشت و بین سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل C-۲). نتایج نشان می‌دهد که محلول‌های غذایی شامل نمک به خصوص کلرید سدیم می‌تواند باعث کاهش غلظت کلروفیل برگ شود. در اثر تنش شوری و خشکی میزان کلروفیل کاهش می‌یابد، زیرا گلوتامات که ماده پیش ساخته کلروفیل و پرولین می‌باشد، صرف تولید پرولین می‌شود (Molazem *et al.*, 2010). دلیل دیگر کاهش کلروفیل مصرف نیتروژن در سنتز پرولین است. پرولین در حفظ فشار اسمزی و آنزیم‌های سیتوپلاسمی، نقش اصلی دارد و با حذف رادیکال‌های آزاد، مانع آسیب رسیدن به غشاء سلولی می‌شود (Sivritepe *et al.*, 2010). افزایش در تولید اتیلن در رابطه با افزایش نمک سبب کاهش سنتز کلروفیل می‌شود (Shaha, 2007). تأثیر گابا را چنین می‌توان توجیه کرد که گابا با افزایش سطوح آنتی‌اکسیدانی در گیاه و بالا بردن ظرفیت ضد اکسایشی، باعث حذف رادیکال‌ها ومانع از تخریب بافت غشای سلولی و از جمله غشاء کلروپلاست می‌گردد.

میزان پرولین آزاد

نتایج حاصل نشان داد که اثر متقابل تنش شوری و تیمار گابا بر میزان پرولین آزاد معنی‌دار بود. بیشترین مقدار پرولین در تیمار ۱۰ و ۲۰ میلی‌مولار گابا تحت تنش شوری مشاهده گردید و بین سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل A-۳). در شرایط تنش شوری میزان پرولین و قندهای محلول افزایش می‌یابد (Houimli *et al.*, 2010). پرولین منبعی برای ذخیره کربن، نیتروژن و تصفیه‌کننده رادیکال‌های آزاد می‌باشد، هم‌چنین سبب حفظ ساختار غشای سلول و پروتئین‌ها می‌گردد (Jalili marandi *et al.*, 2009). در تنش خشکی و شوری آنزیم گلوتامات لیگاز[1] برای تبدیل گلوتامین به پرولین فعال می‌گردد، پرولین در حفظ فشار اسمزی و آنزیم‌های سیتوپلاسمی، نقش اصلی دارد و با حذف رادیکال‌های آزاد، مانع آسیب رسیدن به غشاء سلولی می‌شود (Kavikishore *et al.*, 2005). Shang *et al.* (2011) گزارش کردند که تیمار پس از برداشت میوه هلو با گابا موجب افزایش فعالیت OAT (اورنیتین گاما آمینو ترانسفراز)، P5CS (پرولین-۵-کربوکسیلاز سنتتاز) و کاهش فعالیت PDH (پرولین دی هیدروژن)، در میوه هلو و افزایش در میزان پرولین می‌گردد. متابولیت‌هایی مانند گابا و سایر قندها یا قندهای الکلی مانند سوربیتول و مانیتول، اسیدهای آمینه و آمین‌ها، تحت تنش در گونه‌های گیاهی مختلف تجمع می‌یابند. این متابولیت‌ها می‌توانند به‌عنوان اسمولیت‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها به گیاهان برای تحمل تنش کمک کنند (Krishnan *et al.*, 2013).

کربوهیدرات‌های محلول کل

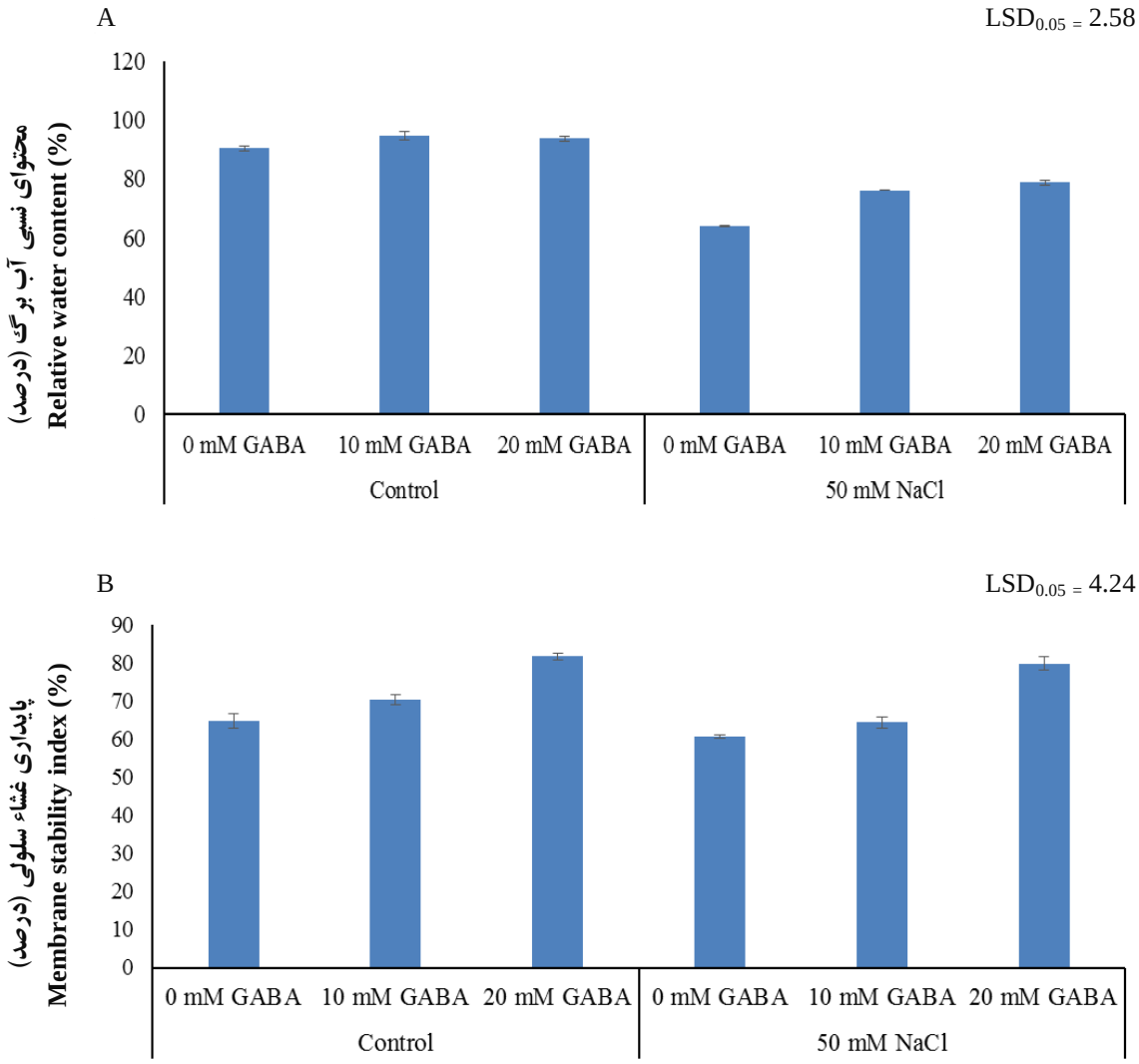
اثر متقابل تنش شوری و گابا بر میزان کربوهیدرات‌های محلول کل معنی‌دار بود. نتایج آزمایش نشان داد که تنش شوری سبب افزایش مقدار کربوهیدرات‌های محلول کل می‌شود، به‌طوری‌که بیشترین میزان کربوهیدرات در تیمار ۱۰ و ۲۰ میلی‌مولار گابا تحت تنش شوری

1- Glutamate ligase

www.SID.ir

Archive of SID

و کمترین مقدار آن در تیمار بدون شوری با غلظت‌های صفر، ۱۰ و ۲۰ میلی‌مولار گابا مشاهده شد (شکل B-۳). در سلول‌های گیاهان برای جلوگیری از پلاسمولیز و برقراری آماس سلولی، تحت شرایط تنش‌های محیطی مانند شوری و خشکی، مولکول‌های درشت مانند نشاسته و ساکارز به مولکول‌های کوچک‌تر نظیر گلوکز و فروکتوز شکسته می‌شوند که سبب منفی‌تر شدن پتانسیل آب در سلول‌ها و تنظیم اسمزی می‌شود. عامل دیگر افزایش غلظت قند در سلول کاهش مصرف قند می‌باشد (Jalili marandi *et al.*, 2009). تنش‌های محیطی مانند شوری و خشکی موجب افزایش قندهای محلول نظیر ساکارز، گلوکز و فروکتوز در برگ‌ها می‌شود (Sotripopoulos, 2007)، زیرا قندها از اسمولیت‌های سازگار هستند و در تنظیم اسمزی، برای حفظ آماس سلول‌ها و پایداری پروتئین‌ها و غشاء سلولی نقش عمده دارند (Ashraf, 2004). تجمع کربوهیدرات‌های محلول در پاسخ به تنش‌های محیطی در ارتباط با حفاظت غشاهای سلولی و یا احتمالاً تنظیم اسمزی می‌باشد.

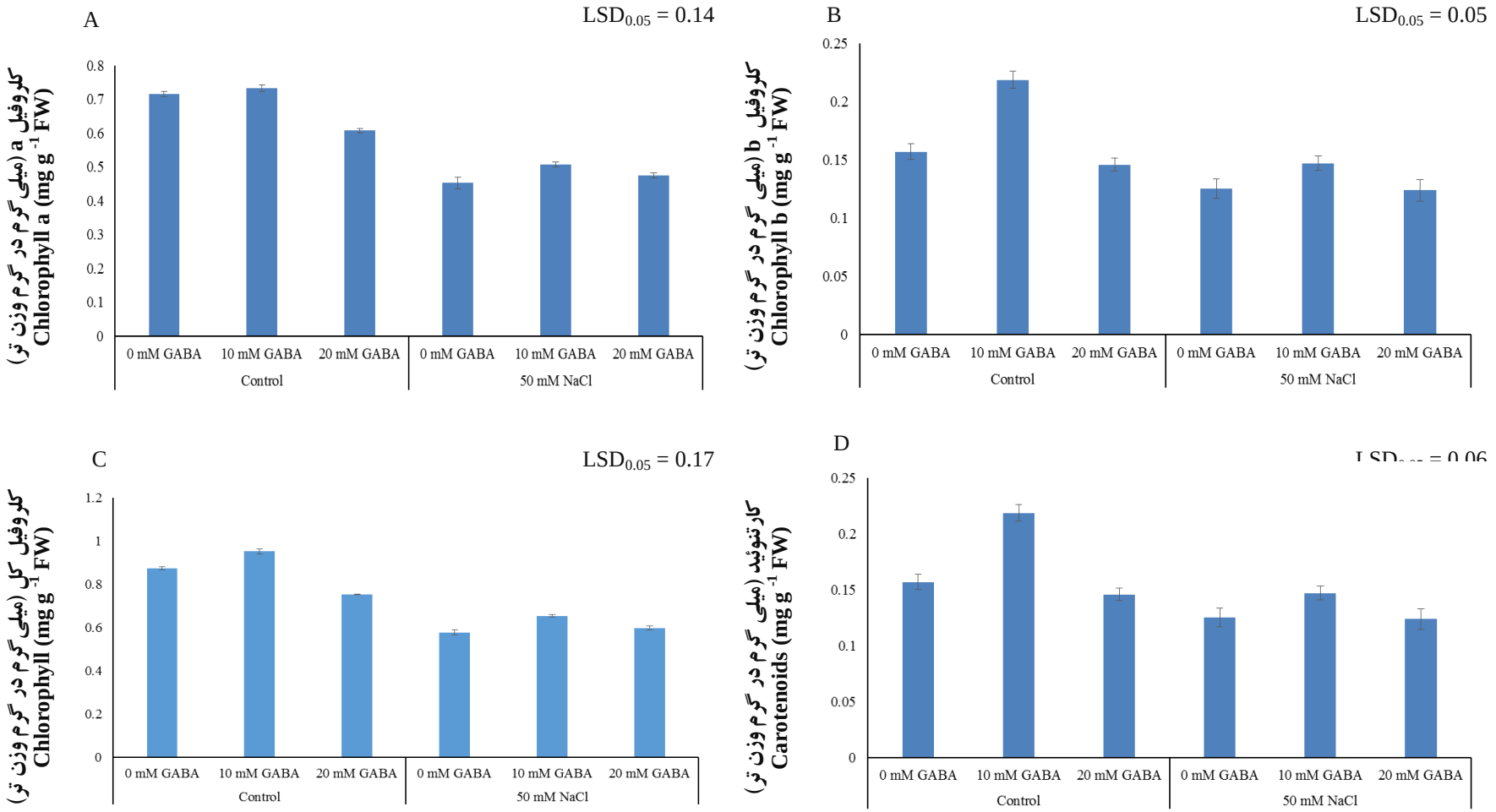


شکل ۱- تغییرات محتوای نسبی آب برگ (A) و شاخص پایداری غشاء سلولی (B) در برگ‌های گوجه‌فرنگی رقم نامیب تیمار شده با گابا (صفر، ۱۰ و ۲۰ میلی‌مولار) تحت تنش شوری (صفر و ۵۰ میلی‌مولار). داده‌ها بیانگر میانگین ± خطای استاندارد (n=3)

Figure. 1 Relative water content (A) and membrane stability index (B) changes in tomato CV Namib leaf treated with 0, 10 and 20 mM GABA under salinity condition (0 and 50 mM NaCl). Data represent means ± SE (n=3)

www.SID.ir

Archive of SID

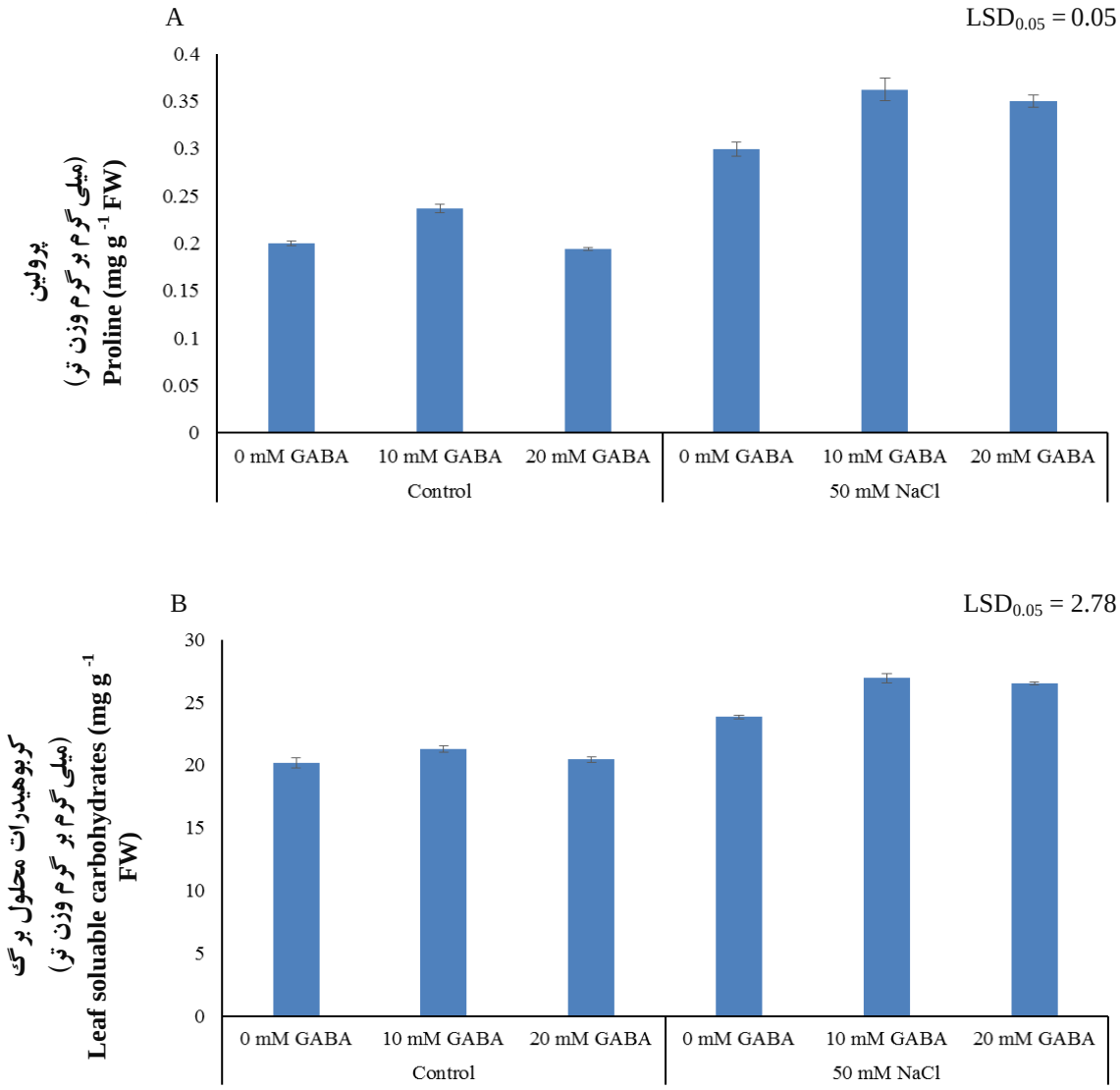


شکل ۲- تغییرات میزان کلروفیل a (A)، کلروفیل b (B)، کلروفیل کل (C) و میزان کاروتنوئید (D) در برگ‌های گوجه‌فرنگی رقم نامیب تیمار شده با گابا (صفر، ۱۰ و ۲۰ میلی‌مولار) تحت تنش شوری (صفر و ۵۰ میلی‌مولار). داده‌ها بیانگر میانگین ± خطای استاندارد (n=3)

Figure 2. Chlorophyll a (A), chlorophyll b (B), total chlorophyll (C) and carotenoids (D) changes in tomato CV Namib leaf treated with 0, 10 and 20 mM GABA under salinity condition (0 and 50 mM NaCl). Data represent means ± SE (n=3)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- تغییرات میزان پرولین (A) و کربوهیدرات‌های محلول برگ (B) در برگ‌های گوجه‌فرنگی رقم نامیب تیمار شده با گابا (صفر، ۱۰ و ۲۰ میلی‌مولار) تحت تنش شوری (صفر و ۵۰ میلی‌مولار). داده‌ها بیانگر میانگین ± خطای استاندارد (n=3)

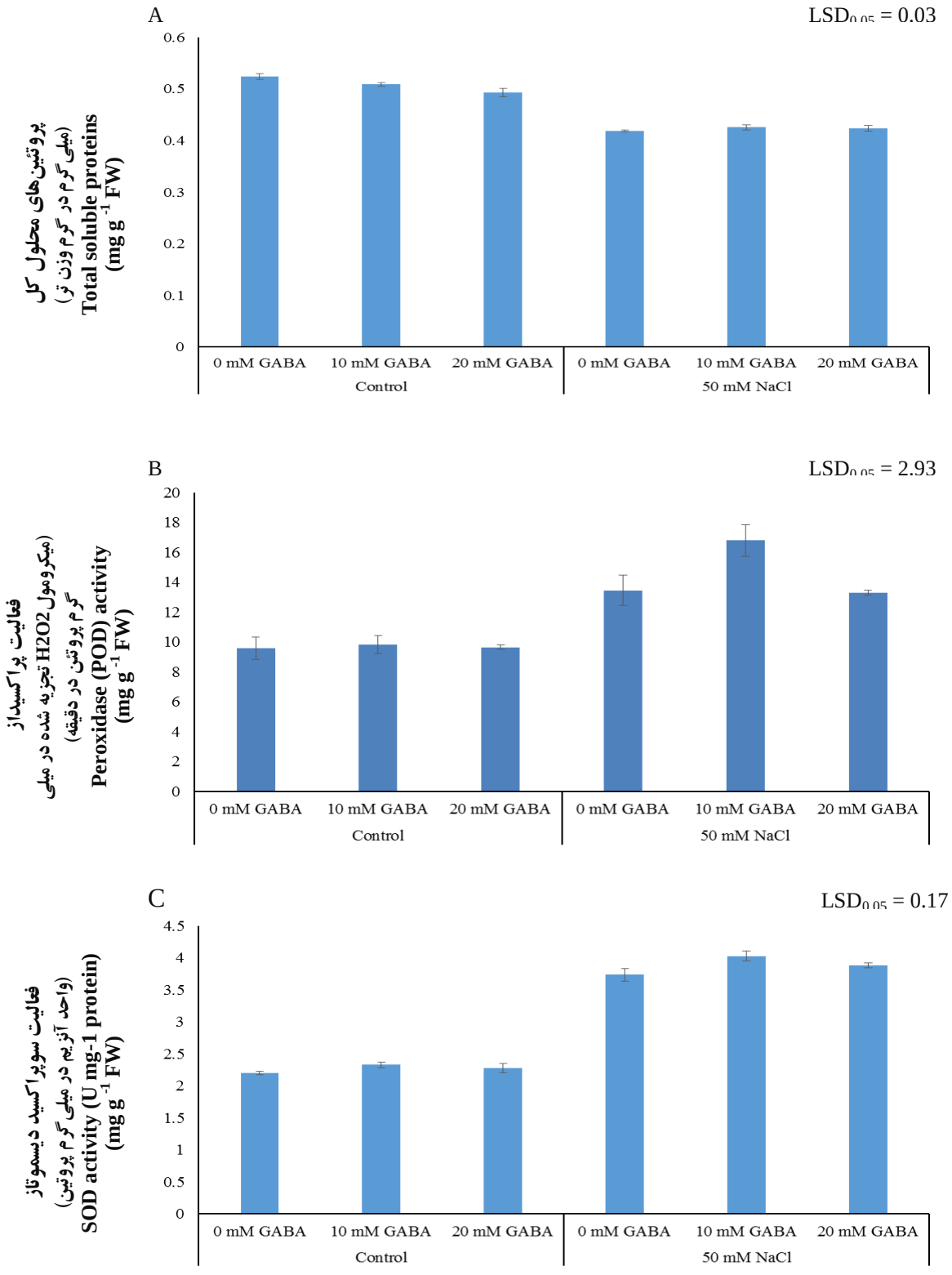
Figure 3. Proline (A) and total soluble carbohydrates (B) changes in tomato CV Namib leaf treated with 0, 10 and 20 mM GABA under salinity condition (0 and 50 mM NaCl). Data represent means ± SE (n=3)

میزان پروتئین‌های محلول کل و فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش شوری و محلول‌پاشی گابا، بر میزان پروتئین، آنزیم پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز معنی‌دار بوده است. میزان پروتئین تحت تنش شوری کاهش یافت و بین غلظت‌های گابا تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل A-۴). تحت تنش شوری میزان فعالیت پراکسیداز افزایش یافت و بیشترین مقدار آن در تیمار ۱۰ میلی‌مولار گابا مشاهده شد و در تیمار بدون شوری بین تیمارها اختلاف معنی‌داری یافت نشد (شکل B-۴). تنش شوری سبب افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز شد و بیشترین میزان آن در غلظت ۱۰ و ۲۰ میلی‌مولار گابا تحت تنش شوری مشاهده گردید و در شرایط بدون شوری بین غلظت‌های گابا تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل C-۴).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٤- تغییرات مربوط به پروتئین های محلول کل (A)، فعالیت پراکسیداز (B) و فعالیت سوپراکسید دیسموتاز (C) در برگ‌های گوجه‌فرنگی رقم نامیب تیمار شده با گابا (صفر، ۱۰ و ۲۰ میلی‌مولار) تحت تنش شوری (صفر و ۵۰ میلی‌مولار). داده‌ها بیانگر میانگین ± خطای استاندارد (n=3)

Figure 4. Total soluble proteins (A), peroxidase (POD) activity (B) and SOD activity (C) changes in tomato CV Namib leaf treated with 0, 10 and 20 mM GABA under salinity condition (0 and 50 mM NaCl). Data represent means ± SE (n=3)

www.SID.ir

Archive of SID

کاربرد گابا در غلظت ۵۰ میلی‌مولار باعث افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز در گیاهان چچم چندساله تحت تنش خشکی شد (Krishnan *et al.*, 2013). گابا می‌تواند در مهار رادیکال‌های آزاد برای محافظت از غشاء نقش داشته باشد که علت این امر، فعال کردن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌تواند باشد. آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با تولید پراکسید هیدروژن، آنیون سوپراکسید را حذف می‌کند. سپس پراکسید هیدروژن تولید شده توسط آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز حذف شده و سلول، سم‌زدایی می‌گردد. این آنزیم‌ها در کاهش آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از تنش (پراکسیداسیون لیپیدی غشاء و پراکسید هیدروژن) مداخله می‌کنند و به همین علت پروتئین در بهبود اثرات تنش در گیاه مؤثر است.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش شوری و گابا بر خصوصیات فیزیولوژیکی گوجه‌فرنگی رقم نامیب مؤثر بودند. گاما-آمینو بوتریک اسید می‌تواند باعث افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی از جمله تنش شوری گردد. در این پژوهش کاربرد گابا سبب افزایش در محتوای نسبی آب برگ، پایداری غشاء سلولی، میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل، کاروتنوئید، کربوهیدرات‌های محلول کل، پرولین، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز نسبت به گوجه‌فرنگی تیمار شاهد گردید. بنابراین در شرایط تنش شوری استفاده از این ماده به‌عنوان یک اسمولیت سازگار از طریق بهبود خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی توصیه می‌شود.

References

Ashraf, M. (2004). Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. Flora, 199(5), 362-376.

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.

Beyer, W. F. and Fridovich, I. (1987). Assaying for superoxide dismutase activity: some large consequences of minor changes in conditions. Analytical biochemistry, 161(2), 559-566.

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Journal of Analytical Biochemistry, 72(1-2), 248-254.

Deewatthanawong, R., Nock, J. F. and Watkins, C. B. (2010). γ-Aminobutyric acid (GABA) accumulation in four strawberry cultivars in response to elevated CO_2 storage. Postharvest Biology and Technology, 57(2), 92-96.

Dorais, M., Dorval, R., Demers, D., Micevic, D., Turcotte, G., Hao, X., Papadopoulos, A. P., Ehret, D. L. and Gosselin, A. (1998). Improving tomato fruit quality by increasing salinity: effects on ion uptake, growth and yield. XXV International Horticultural Congress, Part 1: Culture Techniques with Special Emphasis on Environmental Implications, 511, 185-196.

El-Fouly, M. M., Moubarak, Z. M. and Salama, Z. A. (2000). Micronutrient foliar

www.SID.ir

Archive of SID

application increases salt tolerance of tomato seedlings. International Symposium on Techniques to Control Salination for Horticultural Productivity, 573, 467-474.

Fait, A., Yellin, A. and Fromm, H. (2006). GABA and GHB neurotransmitters in plants and animals. In Baluska, F., Mancuso, D., Volkmann, D. Communication in plants (pp. 171-185). Berlin: Springer.

FAO. (2013). Statistics for Perennial Crops and Fruits. FAO Publication, Rome, Italy.

Galmes, J., Flexas, J., Save, R. and Medrano, H. 2007. Water relations and stomatal characteristics of Mediterranean plants with different growth forms and leaf habits: responses to water stress and recovery. Journal of Plant and Soil, 290(1-2), 139-155.

Hemeda, H. M. and Kelin, B. P. (1990). Effects of naturally occurring antioxidants on peroxidase activity of vegetables extracts. Journal of Food Science, 55(1), 184-185.

Houimli, S. I. M., Denden, M. and Mouhandes, B. D. (2010). Effects of 24-epibrassinolide on growth, chlorophyll, electrolyte leakage and proline by pepper plants under NaCl-stress. EurAsian Journal of BioSciences, 4, 96-104.

Irigoyen, J. J., Einerich, D. W. and Sanchez-Diaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Journal of Physiologia Plantarum, 84(1), 55-60.

Jalili marandi, R., Jalil doost ali, P. and Hasani, A. (2009). Determination of tolerance of two apple rootstocks to different concentrations of sodium chloride under in vitro conditions. Iranian Journal of Horticultural Sciences, 40(2), 29-36. [In Farsi]

Kafi, M. and Rahimi, Z. (2011). Effect of salinity and silicon on root characteristics, growth, water status, proline content and ion accumulation of purslane (*Portulaca oleracea* L.). Soil Science and Plant Nutrition, 57(2), 341-347.

Kavikishore, P. B., Songam, S., Amr, R. N. and Naidu, S. (2005). Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: Its implications in plant grow than abiotic stress tolerance. Current Science, 88(3), 424-438.

Khan, M. A. and Duke, N. C. (2001). Halophytes–A resource for the future. Wetlands Ecology and Management, 9(6), 455-456.

Kinnersley, A. M. and Turano, F. J. (2000). Gamma aminobutyric acid (GABA) and plant responses to stress. Critical Reviews in Plant Sciences, 19(6), 479-509.

Krishnan, S., Laskowski, K., Shukla, V. and 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 Science, 138(5), 358-366.

Lichtenthaler, H. K. and Buschmann, C. (2001). Extraction of phtosynthetic tissues:

www.SID.ir

Archive of SID

Chlorophylls and carotenoids. Current Protocols in Food Analytical Chemistry: John Wiley & Sons, Inc.

Molazem, D., Qurbanov, E. M. and Dunyamaliyev, S. A. (2010). Role of proline, Na and chlorophyll content in salt tolerance of corn (*Zea mays* L.). American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science, 9(3), 319-324.

Sairam, R. K., Rao, K. V. and Srivastava, G. C. (2002). Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. Plant Science, 163(5), 1037-1046.

Shaha, S. H. (2007). Effects of salt stress on mustard as affected by gibberellic acid application. General and Applied Plant Physiology, 33(1-2), 97-106.

Shang, H., Cao, S., Yang, Z., Cai, Y. and Zheng, Y. (2011). Effect of exogenous γ-aminobutyric acid treatment on proline accumulation and chilling injury in peach fruit after long-term cold storage. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 59(4), 1264-1268.

Shelp, B. J., Bown, A. W. and McLean, M. D. (1999). Metabolism and functions of gamma-aminobutyric acid. Trends in Plant Science, 4(11), 446-452.

Shelp, B. J., Bozzo, G. G., Trobacher, C. P., Chiu, G. and Bajwa, V. S. (2012). Strategies and tools for studying the metabolism and function of γ-aminobutyrate in plants. I. Pathway Structure. Botany, 90(8), 651-668.

Shi, S. Q., Shi, Z., Jiang, Z. P., Qi, L. W., Sun, X. M., Li, C. X., Liu, J. F., Xiao, W. F. and Zhang, S. G. (2010). Effects of exogenous GABA on gene expression of Caragana intermedia roots under NaCl stress: Regulatory roles for H_2O_2 and ethylene production. Plant, Cell and Environment, 33(2), 149-162.

Sivritepe, N., Sivritepe, H. O., Celik, H. and Katkat, A.V. (2010). Salinity responses of grafted grapevines: Effects of scion and rootstock genotypes. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 38(3), 193-201.

Song, H., Xu, X., Wang, H., Wang, H. and Tao, Y. (2010). Exogenous γ-aminobutyric acid alleviates oxidative damage caused by aluminium and proton stresses on barley seedlings. Journal of the Science of Food and Agriculture, 90(9), 1410-1416.

Sotripopoulos, T. E. (2007). Effect of NaCl and $CaCl_2$ on grown and contents of minerals, chlorophyll, proline and sugar in the apple rootstock M4 cultured in vitro. Biologia Plantrum, 51(1), 177-180.

Tanou, G., Molassiotis, A. and Diamantidis, G. (2009). Induction of reactive oxygen species and necrotic death-like destruction in strawberry leaves by salinity. Environmental and Experimental Botany, 65(2), 270-281.

Tester, M. and Davenport, R. (2003). Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants. Annals of Botany, 91(5), 503-527.

www.SID.ir

Archive of SID

Yin, C., Wang, X., Duan, B., Luo, J. and Li, C. (2005). Early growth, dry matter allocation and water use efficiency of two sympatric Populus species as affected by water stress. Environmental and Experimental Botany, 53(3), 315-322.

www.SID.ir

Archive of SID

Effect of Gamma-Amino-Butyric Acid Foliar Application on Physiological Characters of Tomato (cv. Namib) under Salinity Stress

L. Zarei[1], M. Koushesh Saba[2]*, Y. Vafaee[3] and T. Javadi[4]

1- M.Sc. Student of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
2- ***Corresponding Author:** Associate Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran (m.saba@uok.ac.ir)
3- Assistant Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
4- Associate Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Received: 30 June, 2016 Accepted: 17 May, 2017

Abstract

Background and Objectives

Salinity and salt accumulation in the soil surface is one of the most important abiotic stresses that limit agricultural crop production in the arid and semi-arid regions of Iran. Thus, finding an alternative production technique or materials to alleviate stress condition is a research priority. One way to decrease the harmful effects of salinity is the foliar application of some chemicals such as Gamma-amino butyric acid (GABA) to increase plant tolerance to salinity. GABA is often accumulated in plants in response to live and non-live stresses such as drought, salinity, oxygen deficit, heat shocks and contamination of pathogens.

Materials and Methods

The current study was carried out to monitor the GABA effects on tomato physiological changes under salinity stress. The plants were grown in hydroponic system and received 0 and 50 mM NaCl as control and salinity stress, respectively. GABA at three concentrations 0, 10 and 20 mM was applied as a foliar application in either control or salinity treatments. Physiological characteristics of relative water content (RWC), membrane stability index (MSI), proline, total soluble protein (TSP) and enzymes activity, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and total soluble carbohydrates (TSC) were measured.

Results

The results showed that salinity stress and GABA were effective on the physiological characteristics of tomato. GABA can increase the tolerance of plants to environmental stresses, including salinity stress. MSI, chlorophyll a, total chlorophyll, carotenoids in salinity treatments were lower than control while TSC, proline, peroxidase and SOD increased. RWC, MSI, proline, TSC of GABA treated plant were greater than untreated in either salinity or control conditions. Also, SOD and peroxidase activity elevated in GABA treated plant under salinity stress.

Discussion

GABA increased antioxidant capacity in the plant and thus might eliminate radicals and prevents the destruction of cell membrane tissue, including the chloroplast membrane. In general, the results showed that in salinity stress conditions, GABA application as a compatible osmolytes might improve the tomatoes physiological performance and alleviate salinity stress.

Keywords: Enzyme activity, Free proline, Relative water content, Total soluble carbohydrates

www.SID.ir