

مطالعه اثرات سالیسیلیک اسید و گابا بر خصوصیات فیزیولوژیکی نشاء و عملکرد گوجه فرنگی رقم سیران (*Lycopersicon esculentum* cv. Seyran)

نجمه زینلی پور*، فاطمه عاقبتی، بهاره نژاد شاهرخ آبادی

بخش علوم و مهندسی باغبانی دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

چکیده

به منظور بررسی اثر سالیسیلیک اسید و گاما آمینوبوتیریک اسید بر خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نشاء گوجه فرنگی رقم سیران آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام گرفت. در این پژوهش گاما آمینوبوتیریک اسید (گابا) به عنوان عامل اول با سه سطح (صفر، ۵ و ۱۰ میلی گرم در لیتر) و اسید سالیسیلیک به عنوان عامل دوم با سه سطح (صفر، ۰/۵ و ۱/۵ میلی مولار) به صورت محلول پاشی برگی مورد استفاده قرار گرفتند و صفاتی نظیر؛ قطر ساقه نشاء، نشت یونی، محتوای آب نسبی، کلروفیل کل، عملکرد، هدایت روزنه‌ای، نرخ خالص فتوسنتز، کاتالاز، پراکسیداز، پرولین و مالون‌دی‌آلدئید اندازه‌گیری شدند. گابای ۱۰ میلی گرم در لیتر در ترکیب با سالیسیلیک اسید ۱/۵ میلی مولار سبب افزایش قطر ساقه نشاء، محتوای آب نسبی، نرخ خالص فتوسنتز، میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز شد. همچنین این تیمار سبب کاهش سه برابری نشت یونی در مقایسه با شاهد گردید. همچنین گابای ۱۰ میلی گرم در لیتر به همراه دو غلظت کاربردی سالیسیلیک اسید در این پژوهش (۰/۵ و ۱/۵ میلی مولار)، میزان کلروفیل کل و عملکرد را تا حدود دو برابر نمونه‌های شاهد افزایش داد. هدایت روزنه‌ای نیز در غلظت ۱/۵ میلی مولار سالیسیلیک اسید در تمام سطوح پیشنهادی گابا در بهترین میزان بود. بالاترین مقدار تجمع پرولین در تیمار ۱۰ میلی گرم در لیتر گابا در تمامی غلظت‌های کاربردی سالیسیلیک اسید رخ داد. مجموع نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که در اغلب صفات کاربرد غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر گاما آمینوبوتیریک اسید (گابا) و ۱/۵ میلی مولار سالیسیلیک اسید در بهبود صفات مورفولوژی، فیزیولوژی و بیوشیمیایی موجود در نشاء گوجه فرنگی مؤثرتر واقع شد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، گاما آمینوبوتیریک اسید، محلول پاشی برگی، نرخ خالص فتوسنتز.

مقدمه

گوجه فرنگی با نام علمی *Lycopersicon esculentum* از تیره سیب زمینی سانان (Solanaceae) است. در حال حاضر تقاضای بازار برای میوه گوجه فرنگی با کیفیت بالا در حال افزایش است (De Oliveira Silva et al., 2018). گوجه فرنگی با تولید ۱۸۶ میلیون تن در سال یکی از محبوب‌ترین و پر مصرف‌ترین محصولات سبزی در جهان است (FAO, 2020). این محصول یکی از مهم‌ترین سبزی‌های تولیدی در سراسر جهان می‌باشد که در چند دهه اخیر همواره روند رو به رشدی برای تولید و مصرف آن وجود داشته است. گوجه فرنگی به دلیل کالری کم، غنی بودن از آهن، ویتامین‌ها و برخی آنتی‌اکسیدان‌ها در سراسر دنیا مورد مصرف قرار می‌گیرد (Rai et al., 2013). همچنین به عنوان یک داروی طبیعی برای

حفظ سلامت استخوان‌ها، کاهش خطر ابتلا به سرطان‌های مختلف، بیماری‌های قلبی و عروقی، دیابت نوع دوم و بیماری عصبی در نظر گرفته می‌شود (Pinela et al., 2016؛ Nakamura et al., 2017).

در بسیاری از نقاط جهان، نشاکاری در کشت گوجه فرنگی روش مرسوم است و مدت زمان پرورش نشاء، بسته به فصول مختلف سال تحت تأثیر نور، دما، تغذیه گیاه و به طور کلی اندازه نشاء، بین سه تا پنج هفته می‌تواند متفاوت باشد (Peyvast, 2009). تغذیه صحیح گیاه می‌تواند منجر به بهبود کمی و کیفی محصول گردد. در کنار عوامل محیطی مانند نور و دما، تغذیه گیاهان از فاکتورهای مهم و مؤثر بر کیفیت نشاء به شمار می‌آید. از این نظر، استفاده مناسب از کودهای شیمیایی می‌تواند منجر به بهبود رشد، عملکرد و کیفیت نشاهای تولیدی گردد (Ghanbari et al., 2021). امروزه تولید نشاء به عنوان یک صنعت تخصصی و پر سود در سراسر دنیا مطرح است که تولید نشاهای سالم و قوی پیش نیاز رشد مناسب گیاه و تولید اقتصادی است. تولید گلخانه‌ای سبزی‌ها و همچنین تولید نشاء سبزی‌ها به عنوان فعالیت‌های کاملاً تخصصی، نقش مهمی در تولید و اقتصاد سبزی‌کاری دارند. تخصصی کردن فعالیت‌های مختلف در مسیر تولید سبزی‌ها باعث ساده شدن فرایند تولید و افزایش راندمان خواهد شد. این بدان معنا است که در دوران پرورش نشاء بایستی بهترین شرایط لازم برای رشد گیاهچه‌ها را فراهم نمود. در پرورش نشاء تغذیه از طریق محلول‌پاشی می‌تواند به عنوان روشی جهت رسیدن به حداکثر رشد گیاه مطرح باشد (Suri and Yaqoubi, 2017).

در سال‌های اخیر توجه مصرف‌کنندگان محصولات کشاورزی در بیشتر کشورهای دنیا به کیفیت سبزیجات و میوه‌ها افزایش یافته است. از این رو موضوع کیفیت غذایی محصولات کشاورزی مورد توجه بسیاری از محققان جهان است، به خصوص از آن جهت که استفاده بی‌رویه کودهای شیمیایی از کیفیت محصولات کشاورزی می‌کاهد (Salimi et al., 2021). علاوه بر آن، افزایش روز افزون قیمت کودهای شیمیایی در جهان، ضرورت اقتصادی بودن تولید، آلودگی آب‌های زیرزمینی و تخریب ساختمان خاک در اثر مصرف بی‌رویه و ناآگاهانه کودهای شیمیایی مشکلاتی را به وجود آورده است. جستجو برای روش‌های جدید دوست‌دار محیط زیست به ویژه در زمینه افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های زیستی و غیرزیستی از عوامل کلیدی در کشاورزی پایدار است (Shata et al., 2007). کاربرد کودهای شیمیایی در ترکیب با کودهای آلی باعث حفظ تعادل مواد غذایی خاک، افزایش مواد آلی خاک، توانایی در دسترسی مواد غذایی خاک برای گیاه، بهبود حاصلخیزی خاک، بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و کاهش تلفات کودی می‌شود و می‌تواند دلیل افزایش عملکرد محصولات، تجمع ماده خشک و جذب مواد غذایی شوند (Yang et al., 2004). افزایش عملکرد توسط کاربرد ترکیبی کود شیمیایی و آلی توسط پژوهشگران در اسفناج (Samih et al., 2010) و کلم بروکلی (Ouda and Mahahadeem, 2008) گزارش شده است. امروزه کاربرد ترکیبات طبیعی و ارگانیک در بخش‌های مختلف تولید و کشاورزی رو به افزایش است. یکی از این ترکیبات ارگانیک که دوست‌دار محیط زیست نیز می‌باشد، گاما آمینوبوتیریک اسید است که یک آمینو اسید چهار کربنه بوده که در طیف گسترده‌ای از موجودات مانند باکتری‌ها، گیاهان و حیوانات وجود دارد. در گیاهان اولین بار حدود ۶۰ سال پیش، گابا در غده سیب زمینی مشاهده شد و تا سال‌های زیادی نقش آن ناشناخته باقی ماند (Shelp et al., 2012). افزایش سریع و ناگهانی تجمع گابا در کمتر از چند دقیقه در گیاهانی که تحت تأثیر تنش‌های غیر زنده مانند دمای پایین و زخم قرار می‌گیرند، یک دلیل برای نقش سیگنالینگ گابا است (Li et al., 2018). به منظور کاهش مشکلات ناشی از مصرف کودهای شیمیایی، راهکارهای بیولوژیکی از جمله کاربرد ترکیباتی مانند گاما آمینوبوتیریک اسید می‌تواند مورد توجه قرار گیرد (Karlidag et al., 2007). کودهای زیستی به منظور کاهش مصرف کودهای شیمیایی و در نتیجه کاهش اثرات منفی زیست محیطی و افزایش عملکرد گیاهان در سیستم‌های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Abbaszadeh, 2005). از

نقش‌های احتمالی گابا می‌توان به کمک به تعادل کربن به نیتروژن، رشد و هدایت دانه‌گرده، تنظیم pH سیتوسولی، حفاظت در مقابل تنش اکسیداتیو، جلوگیری از تجمع گونه‌های فعال اکسیژن در تنش‌های مختلف محیطی، مشارکت در چرخه تری کربوکسیلیک اسید، متابولیسم نیتروژن و تنظیم اسمزی اشاره کرد (Nayyar et al., 2014).

سالیسیلیک اسید (۲-هیدروکسی بنزوئیک اسید) یک ترکیب فنولی طبیعی و از تنظیم‌کننده‌های درون‌زای گیاهی است که در بیشتر گیاهان وجود دارد و یک جزء مهم در مسیر انتقال سیگنال‌ها به شمار می‌آید. سالیسیلیک اسید یک اسید آروماتیک می‌باشد که به صورت آزاد و به صورت متیل استر در گیاهان وجود دارد (Senaranta et al., 2002). سالیسیلیک اسید در تنظیم روند رشد و تکامل گیاه، جوانه‌زنی، گلدهی، تولید اتیلن، باز و بسته شدن روزنه‌ها، تنفس، جذب و انتقال یون‌ها، فتوستنتز، حفظ یکپارچگی غشاء و سرعت رشد گیاه اثرگذار است. در اکثر پژوهش‌های انجام شده مهم‌ترین عمل اسید سالیسیلیک را پاسخ و مقاومت نسبت به برخی از تنش‌ها از قبیل؛ فلزات سنگین، گرما، سرما، خشکی، شوری و بیماری‌های گیاهی بیان کرده‌اند و نشان داده شده است که تا حدود زیادی اسید سالیسیلیک با تنظیم بیان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان باعث افزایش تحمل تنش در گیاهان می‌شود (Aftab et al., 2011).

ترکیبات اسید سالیسیلیک و گاما آمینوبوتیریک اسید در گیاهان مختلف در غلظت‌های متفاوت اثرات متنوعی ایجاد می‌کند. در یک بررسی کاربرد سالیسیلیک اسید در گیاهچه‌های خیار سبب بهبود خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی و در گیاه گوجه فرنگی نیز سبب افزایش میزان مواد جامد محلول نسبت به شاهد گردید (Rezaie Allolo et al., 2018). کاربرد اسید سالیسیلیک هم‌چنین باعث بهبود شاخص پایداری غشاء، عملکرد دستگاه فتوستنتزی، پتانسیل آب برگ و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز، کربنیک آنیدراز و نیترات ردوکتاز در گیاه گوجه فرنگی شد (Saheri et al., 2021). تیمار گابا باعث افزایش میزان پروتئین، پرولین، مالون‌دی‌آلدئید و نیز افزایش فعالیت آنزیم‌های پاداکسایشی در گیاه زعفران شد. هم‌چنین در صورت کاربرد گابا نرخ فتوستنتز خالص در گیاه ذرت و نیز محتوای پرولین در فلفل سیاه افزایش یافت (Sedighi Moshkenani et al., 2020).

هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف ترکیبات گاما آمینوبوتیریک و سالیسیلیک اسید بر خصوصیات فیزیولوژیکی، مؤلفه‌های فتوستنتزی و خصوصیات کیفی نشاء محصول گوجه فرنگی رقم سیران و معرفی بهترین غلظت این ترکیبات شبه هورمونی و هورمونی در شرایط این تحقیق بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در طی بهار و تابستان سال ۱۳۹۷ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان با میانگین دمایی ۲۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی حدود ۶۰ درصد، به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام شد. برقراری دما در طی روزهای تابستان و با میانگین حدود ۲۸ درجه سانتی‌گراد ممکن است تا حدودی به صورت واحدهای تنش گرمایی بسیار خفیف بر کشت گیاهچه‌های گوجه فرنگی رقم سیران اثرگذار باشد. خاک مورد استفاده نمونه ای مرکب از چهار قسمت خاک الک شده و یکنواخت و همگن شامل؛ پرلیت، پیت موس و کود دامی به نسبت ۱:۱:۱ بود. توده خاک تهیه شده به مدت یک هفته در معرض هوا قرار گرفت و هر روز چند بار مخلوط گردید تا به نسبت یکنواخت خشک شده و به رطوبت ثابتی دست یابد. بذور گوجه فرنگی رقم سیران تهیه شده از مؤسسه بذر و نهال کرج، قبل از کاشت

با قارچ کش ویتاواکس ۲ گرم بر لیتر ضد عفونی شدند. سپس در هر سلول سینی نشاء تعداد ۳ بذر کاشته شد و بعد از این که نشاها به مرحله سه تا چهار برگی رسیدند، به گلدان منتقل شده و به خوبی استقرار یافتند، سپس اولین محلول پاشی با کود کامل NPK ایدروفلورال پلاس با نسبت های ۱۸:۱۸:۱۸ که حاوی سایر ریز مغذی ها بود، انجام گرفت. تیمارهای کاربردی در این آزمایش شامل؛ گاما آمینوبوتیریک اسید و سالیسیلیک اسید تهیه شده از شرکت سیگماآلدریج بودند که در غلظت های مورد نظر با استفاده از آب مقطر محلول سازی صورت گرفت و محلول پاشی برگی انجام شد، پس از این که ۷۵ درصد گیاهچه ها به مرحله پنج برگی رسیدند، محلول پاشی تیمارها با گاما آمینوبوتیریک اسید با غلظت های ۰، ۵ و ۱۰ میلی گرم در لیتر و نیم ساعت بعد با سالیسیلیک اسید با غلظت های ۰، ۵/۰ و ۱/۵ میلی مولار انجام و پس از گذشت ۱۵ روز مراحل محلول پاشی دوم تیمارها تکرار شد. آبیاری نشاهای گوجه فرنگی هر دو روز یکبار و متناسب با مراحل رشد گیاهچه ها و به طور یکسان صورت گرفت. اندازه گیری پارامترهای مورد نظر در مرحله ۸ تا ۱۰ برگی نشاها انجام گرفت.

قطر ساقه گیاهچه های گوجه فرنگی در مرحله هفت تا هشت برگی به وسیله کولیس اندازه گیری شد. برای تعیین پایداری غشاء سلولی در برگ و میزان نشت یونی از روش (Kumar and Dey, 2011) استفاده گردید. درصد محتوای آب نسبی برگ هم به روش رایج و از طریق فرمول $(RWC = F_w - D_w / S_w - D_w \times 100)$ محاسبه شد (Galmes et al., 2007). برای سنجش میزان کلروفیل از روش (Lichtenthaler, 1987) استفاده گردید. عملکرد در بوته نیز با گذشت ۱۲۴ روز از کاشت بذور گوجه فرنگی رقم سیران در شرایط گلخانه در اواخر رشد بوته ها، عملکرد بوته ها در مجموع پنج برداشت و چند مرحله توزین به تدریج یادداشت برداری و ثبت گردید. پارامترهای هدایت روزنه ای و سرعت فتوسنتز خالص در برگ، با استفاده از برگ های کاملا توسعه یافته هفتم و هشتم پنج نمونه گیاهچه گوجه فرنگی از هر تیمار با موقعیت برگچه مشابه روی ساقه و با دستگاه کلروفیل فلوریمتر (مدل Hansatech LID Pocket) اندازه گیری شدند. برای سنجش آنزیم های کاتالاز و پراکسیداز از روش (Chance and Maehly, 1955)، برای اندازه گیری پرولین برگ از روش (Bates et al., 1973) و برای تعیین غلظت مالون دی آلدئید از روش (Heath and Packer, 1969) استفاده گردید.

تجزیه و تحلیل آماری طبق آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. مقادیر میانگین به روش چند دامنه ای دانکن مورد مقایسه قرار گرفتند. محاسبات تجزیه واریانس با نرم افزار SAS (Version 9.1) صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

قطر ساقه نشاء

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر ساده گابا و نیز اثر ساده سالیسیلیک اسید بر قطر ساقه نشاء در سطح یک درصد و اثر متقابل آن ها در سطح پنج درصد معنی دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسات میانگین نشان داد که بیشترین قطر ساقه نشاء در گابای ۱۰ میلی گرم در لیتر و با کاربرد توأم سالیسیلیک اسید ۱/۵ میلی مولار و کمترین قطر در شرایط عدم استفاده از گابا و مصرف سالیسیلیک اسید به میزان ۰/۵ میلی مولار حاصل شد (جدول ۳). در گزارشی آمده که کاربرد اسید سالیسیلیک ۴۵ روز پس از سبز شدن نشاهای گوجه فرنگی تأثیر معنی داری بر پارامترهای فتوسنتزی، پایداری غشاء سلولی، محتوای رطوبت نسبی، کلروفیل و فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز داشته و توانسته آثار خشکی بر گیاه را کاهش دهد (Hayat et al., 2008).

کاربرد سالیسیلیک اسید در گیاهچه‌های خیار باعث بهبود خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی شد (Rezaie Allolo *et al.*, 2018).

جدول ۱. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات تیمارهای گاما آمینوبوتیریک اسید و سالیسیلیک اسید بر برخی صفات نشاء گوجه فرنگی.

Table 1. Analysis of variance (mean square) of the effects of γ -aminobutyric acid and salicylic acid treatments on some traits of tomato seedlings.

Source of variation	Df	Mean of squares				
		Seedling Stem Diameter	Ion Leakage	Relative Water Content	Total Chlorophyll	Yield
S.O.V	درجه	قطر ساقه نشاء	نشست یونی	محتوای آب نسبی	کلروفیل کل	عملکرد میوه
منابع تغییر	آزادی					
GABA	2	0.76 **	113.85 **	153.77 **	73.55 **	295.54 **
SA	2	0.58 *	146.62**	157.94 **	60.13 **	261.80 **
GABA× SA	4	0.12 **	9.91 *	31.05 **	22.45 *	8390.8 **
Error	18	0.34	18.06	7.74	3.31	9.54
C.V. (%)	-	8.55	7.23	4.06	7.46	12.09

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ^{ns}: عدم معنی‌داری.
^{ns}, *, **: Non-significant and significant at 5 and 1% of probability levels, respectively.

نشست یونی

بررسی نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده گابا و سالیسیلیک اسید در سطح یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار است (جدول ۱). بر طبق نتایج مقایسه میانگین بیشترین نشست یون‌ها در نمونه شاهد اتفاق افتاده است و کمترین میزان نشست یونی مربوط به غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر گابا توأم با ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید می‌باشد (جدول ۳). به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که تیمار گابا می‌تواند با حفظ و نگهداری استحکام غشاء، باعث کاهش نشست یونی و مضرات آن در گیاه شود. گزارش شده که کاربرد تیمارهای گابا و کلسیم کلرید با حفظ استحکام غشاء، باعث کاهش درصد نشست یونی در گیاه برنج تحت تنش سرما شده است (Jia *et al.*, 2017). هم‌چنین استفاده از گاما آمینوبوتیریک اسید باعث کاهش میزان مالون‌دی‌آلدئید و نیز کاهش نشست یونی در میوه‌های موز نگهداری شده در انبار گردید (Wang *et al.*, 2014). به نظر می‌رسد که سالیسیلیک اسید با القای مکانیزم‌های آنتی‌اکسیدانی سبب افزایش حفظ و یکپارچگی غشاء و عملکردهای غشاء می‌شود (Aftab *et al.*, 2011). در گوجه فرنگی محلول‌پاشی برگ‌ی اسید سالیسیلیک باعث کاهش نشست

یونی گردید. همچنین اسید سالیسیلیک با کاهش میزان تولید اتیلن و مهار آنزیم‌های تخریب کننده دیواره سلولی، میزان نرم شدن میوه را کاهش داد که مشابه این نتایج در کیوی نیز از طریق کاهش میزان نشت یونی گزارش شده است (Rezaei *et al.*, 2020).

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات تیمارهای گاما آمینوبوتیریک اسید و سالیسیلیک اسید بر برخی صفات نشاء گوجه فرنگی.

Table 2. Analysis of variance (mean square) of the effects of γ -aminobutyric acid and salicylic acid treatments on some traits of tomato seedlings.

Source of variation	Df	Mean of squares					
		Stomatal Conductance	Net Photosynthesis Rate	Catalase	Peroxidase	Proline	Malon Di Aldehyde
S.O.V	درجه آزادی	هدایت روزنه‌ای	نرخ خالص فتوسنتز	کاتالاز	پراکسیداز	پرولین	مالون دی‌آلدئید
GABA	2	198.1 **	143.81 **	1.09 *	0.0028 **	198.27	562.64 **
SA	2	203.30 **	131.26 **	3.45*	0.000022 *	202.44	2240.39 *
GABA× SA	4	0.659 *	12.063 *	8.067 *	0.00028 **	33.95	30219.83 *
Error	18	11.00	7.01	12.34	0.000004	23	7.25
C.V. (%)	-	6.41	3.53	8.11	5.2186	13.15	3.025

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ns: عدم معنی‌داری.
ns, *, **: Non-significant and significant at 5 and 1% of probability levels, respectively.

محتوای آب نسبی

طبق نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده گابا و سالیسیلیک اسید و نیز برهمکنش این دو در سطح یک درصد معنی‌دار است (جدول ۱). بررسی نتایج مقایسه میانگین نشان داد که درصد محتوای آب نسبی در تیمار توأم گابای ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در بالاترین میزان خود بوده است و کمترین میزان این صفت در نمونه شاهد مشاهده گردید (جدول ۳). کنترل محتوای آب نسبی در شرایط تنش‌زا بخشی از فرایند مقاومت به شمار می‌آید. نتایج این پژوهش نشان داد که گابا سبب افزایش میزان محتوای آب نسبی گردیده است. در گزارشی آمده است که پیش تیمار گیاه فلفل سیاه با گابا باعث افزایش مقاومت این گیاه در برابر تنش اسمزی شد و همچنین سبب افزایش درصد رطوبت نسبی و کاهش بیشتر میزان پتانسیل سلولی گردید (Vijayakumari and Puthur, 2015). افزایش درصد محتوای آب نسبی توسط سالیسیلیک اسید و مشتقات آن می‌تواند به دلیل نقش سالیسیلیک اسید در افزایش قدرت سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی، کاهش تنش اکسیداتیو، افزایش همبستگی و پایداری غشاء، تعدیل و تنظیم اسمزی از طریق افزایش مقدار پتاسیم به عنوان یون بسیار مهم در حفظ

فشار تورژانس سلولی باشد (Korkmaz et al., 2007). محققان اظهار داشتند که کاربرد سالیسیلیک اسید سبب بهبود محتوای آب نسبی در دانه‌های ذرت هم در شرایط عادی و هم تحت تنش شوری شد (Efeoglu et al., 2009). کاربرد تیمار توأم گابا و اسید سالیسیلیک به طور معنی‌داری فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌های توت فرنگی تحت تیمار را نسبت به نمونه‌های شاهد افزایش داد و از طریق افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، کاهش از دست دهی آب محصول و تأخیر در پیری را سبب شد (Rezaei et al., 2020).

کلروفیل کل

بر اساس جدول تجزیه واریانس اثرات ساده گابا و سالیسیلیک اسید در سطح یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار شده است (جدول ۱). بررسی نتایج مقایسه میانگین بیانگر آن بود که غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر گابا در ترکیب با هر دو غلظت کاربرد سالیسیلیک اسید بیشترین مقدار کلروفیل را دارا بوده که در مقایسه با شاهد افزایش ۲/۵ برابری داشته است (جدول ۳). کلروفیل a و b رنگی‌های نقش مهمی در فتوسنتز ایفا می‌کنند و تغییر در مقدار سیستم رنگی‌های، تغییرات در فتوسنتز را مشخص می‌کند (Keshtehgar et al., 2013). گزارش شده که گابا در غلظت ۱ میلی‌گرم در لیتر روی گیاه نخود سیاه، محتوای کلروفیل را افزایش داده است (Islam et al., 2010). گابا با تأثیر بر کاهش تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن، از دستگاه فتوسنتزی و کلروفیل تحت شرایط تنش محافظت می‌کند و تخریب کلروفیل و پروتئین‌های دستگاه فتوسنتزی را کاهش می‌دهد (Vijayakumari and Puthur, 2015). در این تحقیق کاربرد سالیسیلیک اسید سبب افزایش کلروفیل گردید که غلظت ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید سبب افزایش بیشتر کلروفیل کل نسبت به عدم مصرف آن شده است. این واقعیت به خوبی به اثبات رسیده است که سالیسیلیک اسید پاسخ متابولیکی وسیعی در گیاهان ایجاد می‌کند و هم چنین پارامترهای فتوسنتزی و روابط آبی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. محلول‌پاشی گیاه کلزا با غلظت سالیسیلیک اسید ۵- ۱۰ مولار نیز به طور معنی‌داری مقدار کلروفیل را افزایش داد (Hayat et al., 2010). در گیاه خرفه نیز اسید سالیسیلیک با تنظیم متابولیسم کلروفیل و بهبود متابولیسم پرولین، باعث افزایش محتوای کلروفیل کل و تجمع پرولین و در نتیجه بهبود کارایی دستگاه فتوسنتز و محتوای آب نسبی برگ گردید (Saheri et al., 2021).

عملکرد میوه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده و متقابل گابا و سالیسیلیک اسید در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان‌دهنده افزایش دو برابری عملکرد در مقایسه با شاهد در صورت استفاده از ترکیب گابای ۱۰ میلی‌گرم در لیتر به همراه ۰/۵ و ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید می‌باشد (جدول ۳). کاربرد گابا در گیاهچه‌های برنج باعث افزایش قابل توجه رشد و سالم ماندن گیاهچه‌ها در تنش گرمایی شد که می‌تواند در ارتباط با اثر مثبت گابا در جلوگیری از صدمه دیدن غشاء، بهبود شرایط سلول، بهبود میزان کلروفیل، کارایی بهتر بیوشیمیایی ساقه و در نهایت افزایش عملکرد باشد (Nayyar et al., 2014). تیمار بوته‌های خیار با اسید سالیسیلیک باعث افزایش دو برابری مقدار عملکرد در مقایسه با شاهد شد (Azarmi, 2018). تیمار گیاهان با اسید سالیسیلیک تقسیم سلولی را در مریستم رأس ریشه افزایش داده و رشد گیاه را بالا می‌برد (Shevyakova, 2003). محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در غلظت‌های ۱، ۱۰ و ۱۰۰ میکرومولار روی گیاهان

دارویی ریحان و مرزنجوش باعث افزایش ارتفاع گیاه، سطح برگ، وزن و عملکرد گردید (Fatma, 2007). کاربرد اسید سالیسیلیک در گیاه گوجه فرنگی با افزایش مقدار کلروفیل، محتوای رطوبت نسبی، فعالیت آنزیم پراکسیداز، نرخ فتوسنتز و تعرق سبب بهبود رشد و عملکرد گیاه شد (Ghanbari et al., 2021).

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات تیمارهای گاما آمینوبوتیریک اسید و سالیسیلیک اسید بر برخی صفات نشاء گوجه فرنگی.

Table 3. Comparison of the average effects of γ -aminobutyric acid and salicylic acid treatments on some traits of tomato seedlings.

Treatments		Seedling Stem Diameter (mm)	Ion Leakage نشت یونی (%)	Relative Water Content محتوای آب نسبی (%)	Total Chlorophyll کلروفیل کل (mg/g FW)	Yield عملکرد میوه (kg/m ²)
GABA	SA					
	0	1.83 ^d	34.67 ^a	66.89 ^{cd}	15.49 ^e	17.54 ^e
0	0.5	1.66 ^e	31.92 ^b	69.31 ^c	22.57 ^d	17.05 ^e
	1.5	1.96 ^d	30.64 ^{ab}	70.25 ^c	22.36 ^d	21.45 ^d
	0	2.00 ^e	26.33 ^b	69.89 ^c	16.24 ^d	24.75 ^c
5	0.5	2.10 ^c	26.60 ^b	71.30 ^c	29.55 ^c	27.11 ^{bc}
	1.5	2.33 ^{bc}	23.62 ^c	80.71 ^{ab}	30.20 ^c	27.86 ^{bc}
	0	2.33 ^{bc}	11.08 ^{de}	85.67 ^b	35.06 ^b	28.50 ^b
10	0.5	2.35 ^{bc}	11.67 ^d	86.01 ^b	39.31 ^a	34.18 ^a
	1.5	2.86 ^a	10.73 ^e	87.01 ^a	39.01 ^a	34.67 ^a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد آزمون چنددامنه‌ای دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

In each column, the means followed by at least one common letter, are not statistically different based on Duncan's multiple range test at 5% of probability level.

هدایت روزه‌های برگ

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر ساده گابا و نیز اثر ساده سالیسیلیک اسید بر هدایت روزنه‌ای برگ در سطح یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین، بیشترین میزان هدایت روزنه‌ای برگ در غلظت ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در هر سه سطح کاربردی گابا مشاهده شده است (جدول ۴). مطالعات نشان داده که با اعمال تنش ابتدا هدایت روزنه‌ای، سپس رطوبت نسبی برگ و فتوسنتز کاهش می‌یابند (Khan et al., 2015). سالیسیلیک اسید با افزایش تجمع گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن و غیرفعال‌سازی کانال یون پتاسیم سبب بسته شدن روزنه‌ها می‌شود (Khokon et al., 2011). کاربرد سالیسیلیک اسید در گیاهان آویشن سبب افزایش فتوسنتز، کارایی مزوفیل و کارایی استفاده از آب گردید. همچنین نسبت تعرق و هدایت روزنه‌ای با حضور سالیسیلیک اسید بهبود یافت که در این گزارش غلظت ۴۵۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید مؤثر واقع شد (Najafian et al., 2009).

نرخ خالص فتوسنتز

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن بود که اثر ساده گابا و همچنین اثر ساده سالیسیلیک اسید در سطح یک درصد و برهمکنش این دو در سطح پنج درصد معنی‌دار شده است (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین، تیمار کاربرد ترکیبی گابای ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و سالیسیلیک اسید ۱/۵ میلی‌مولار دارای بالاترین نرخ خالص فتوسنتز بود (جدول ۴). اهمیت نرخ خالص فتوسنتز در این است که میزان فتوسنتز انجام شده توسط اندام‌های گیاهی می‌تواند سهم قابل ملاحظه‌ای در عملکرد محصول داشته باشد. بیش از ۵۰ درصد نیتروژن برگ به سیستم فتوسنتزی وابسته است و روابط نزدیکی بین ظرفیت فتوسنتزی و مقدار نیتروژن برگ وجود دارد. گابا با مشارکت در چرخه کرپس و تجمع مواد فتوسنتزی در گیاه باعث افزایش درصد ماده خشک گیاه از طریق افزایش فتوسنتز می‌شود (Pour Azar et al., 2014). افزایش نرخ فتوسنتز خالص در گیاه ذرت با کاربرد گابا به صورت محلول‌پاشی برگی مشاهده گردید (Sedighi Moshkenani et al., 2020). همچنین سالیسیلیک اسید از طریق افزایش میزان فتوسنتز و کمک به جذب بهتر مواد غذایی باعث تحریک رشد و عملکرد بهتر گیاهان می‌شود (Gharib, 2007).

کاتالاز

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده و متقابل گابا و سالیسیلیک اسید در سطح پنج درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۲). طبق نتایج به دست آمده از بررسی مقایسات میانگین، بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار توأم گابای ۱۰ میلی‌گرم در لیتر به همراه ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید رخ داده است و کمترین میزان این صفت در نمونه شاهد و عدم کاربرد گابا مشاهده گردید (جدول ۴). به نظر می‌رسد که گابا ممکن است فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی را تقویت کند تا از این طریق گونه‌های فعال اکسیژن را از بین ببرد. در گزارشی آمده است که گابا فعالیت‌های مختلف آنتی‌اکسیدان‌ها را برای از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) در گیاه *Caragana intermedia* تغییر داد (Shi et al., 2010). کاربرد سالیسیلیک اسید نیز سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز گردید. از آن جایی که سالیسیلیک اسید سبب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه می‌شود، می‌توان دلیل افزایش کاتالاز را مرتبط با این موضوع دانست. آنزیم کاتالاز مسئول حذف بخش عظیمی از مولکول‌های پراکسید هیدروژن (H_2O_2) است (Eyidogan and Tufanoz, 2007). غلظت بالا و سمی رادیکال‌های فعال اکسیژن باعث آسیب شدید به غشاء، ساختارهای پروتئینی و در نهایت مرگ ناگهانی سلول

می‌گردد (Gill and Tuteja, 2010). کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید سبب تنش اکسیداتیو در گیاه می‌شود که این فرایند همانند سازگار کردن گیاه می‌باشد زیرا افزایش سریع گونه‌های فعال اکسیژن ناشی از تنش اکسیداتیو باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه و حفظ گیاه در برابر خسارت‌های ناشی از تنش‌ها می‌شود (Horvath et al., 2007). افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در میوه‌های هلو و زردآلو تیمار شده با اسید سالیسیلیک نیز مشاهده شد (Rezaei et al., 2020).

جدول ۴. مقایسه میانگین اثرات تیمارهای گاما آمینوبوتیریک اسید و سالیسیلیک اسید بر برخی صفات نشاء گوجه فرنگی.

Table 4. Comparison of the average effects of γ -aminobutyric acid and salicylic acid treatments on some traits of tomato seedlings.

Treatments تیمارها	Stomatal Conductance هدایت روزنه‌ای (mol CO ₂ m ⁻² .s ⁻¹)		Net Photosynthesis نرخ فتوسنتز (μ mol CO ₂ m ⁻² .s ⁻¹)	Catalase کاتالاز (unit/mg FW)	Peroxidase پراکسیداز (unit/mg FW)	Proline پرولین (μ M/g FW)	Malon Di Aldehyde مالون دی‌آلدئید (μ M/g FW)
	GABA	SA					
0	0	0.16 ^f	14.03 ^d	2.02 ^e	48.21 ^c	42.50 ^d	1.94 ^a
	0.5	0.19 ^e	15.47 ^{cd}	2.06 ^e	45.10 ^d	43.70 ^d	1.89 ^b
	1.5	0.30 ^a	20.45 ^b	2.19 ^e	39.40 ^f	49.00 ^c	1.84 ^c
5	0	0.19 ^{de}	15.06 ^c	3.03 ^d	46.10 ^{cd}	52.30 ^b	1.11 ^d
	0.5	0.20 ^d	15.91 ^{cd}	4.34 ^c	48.00 ^c	52.20 ^b	1.08 ^d
	1.5	0.29 ^{ab}	20/24 ^b	4.18 ^d	49.52 ^c	54.90 ^{ab}	1.05 ^d
10	0	0.17 ^{ef}	15.96 ^d	5.03 ^b	52.12 ^b	58.50 ^a	1.10 ^d
	0.5	0.29 ^{ab}	16.31 ^c	5.05 ^b	52.25 ^b	59.70 ^a	0.84 ^f
	1.5	0.31 ^a	21/04 ^a	5.39 ^a	56.40 ^a	59.70 ^a	0.93 ^e

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد آزمون چنددامنه‌ای دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

In each column, the means followed by at least one common letter, are not statistically different based on Duncan's multiple range test at 5% of probability level.

پراکسیداز

نتایج تجزیه واریانس بیانگر آن بود که اثر ساده گابا و نیز برهمکنش گابا و سالیسیلیک اسید در سطح یک درصد معنی دار است و اثر ساده سالیسیلیک اسید در سطح پنج درصد معنی دار شده است ([جدول ۲](#)). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز در تیمار توأم گابای ۱۰ میلی گرم در لیتر و ۱/۵ میلی مولار سالیسیلیک اسید بود است ([جدول ۴](#)). نتایج نشان دهنده آن است که گابا و سالیسیلیک اسید سبب افزایش فعالیت پراکسیداز در گوجه فرنگی شدند. توانایی گابا در مهار کردن گونه‌های آزاد اکسیژن به طور قابل توجهی بالا است که این نشان می‌دهد که گابا به عنوان یک اسمولیت بسیار مؤثر، نقش مهمی در کاهش گونه‌های فعال اکسیژن دارد ([Liu et al., 2011](#)). با توجه به این که پراکسیداز به عنوان یک آنتی‌اکسیدان آنزیمی عمل می‌کند، می‌توان گفت سالیسیلیک اسید با فعال کردن سیستم آنتی‌اکسیدانی سبب از بین رفتن رادیکال‌های آزاد می‌شود ([Gao et al., 2010](#)). در مطالعه‌ای که روی گیاه فلفل سیاه انجام شده بود، پیش تیمار این گیاه با گابا باعث افزایش مقاومت در برابر تنش اسمزی و افزایش رطوبت نسبی شد و میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شبیه گایاکول پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در گیاهچه‌های پیش تیمار شده با گابا بیشتر بود ([Vijayakumari and Puthur., 2015](#)). از طرف دیگر محققان اظهار داشتند که تیمار سالیسیلیک اسید با تنظیم اجزای مهم آنزیمی و غیر آنزیمی شبکه آنتی‌اکسیدانی گیاه، منجر به تحمل تنش اکسیداتیو در گیاهان تحت تنش خشکی می‌شود ([Alam et al., 2013](#)). بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در انجیر کوهی در اثر تیمار کاتولین و سالیسیلیک اسید گزارش شده است که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد ([Brito et al., 2018](#)).

پرولین

طبق نتایج تجزیه واریانس، اثر ساده و متقابل گاما آمینوبوتیریک اسید و سالیسیلیک اسید بر صفت پرولین معنی دار نشد ([جدول ۲](#)). بررسی نتایج مقایسه میانگین بیانگر آن بود که بالاترین میزان تجمع پرولین در ترکیب تیمار گابای ۱۰ میلی گرم در لیتر به همراه هر یک از سه غلظت سالیسیلیک اسید رخ داده است ([جدول ۴](#)). پرولین به دلیل محافظت غشای تیلاکوئید از آسیب اکسیداتیو ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) اهمیت دارد. گزارش‌های متعددی نشان داده‌اند که پرولین محافظ آنزیم و غشاء بوده و همچنین یک ساختار داخلی سلول و یک منبعی از کربن و نیتروژن برای بازیافت سریع در شرایط تنش می‌باشد ([Hussein et al., 2006](#)). در گیاه توتون (*Nicotiana rustica*)، گابا در مقایسه با پرولین توانایی بیشتری در از بین بردن هیدروژن پراکسیداز در شرایط تنش آبی دارد ([Liu et al., 2011](#)). تیمار گابا سبب افزایش میزان پروتئین، پرولین، مالون‌دی‌آلدئید و نیز افزایش فعالیت آنزیم‌های پاداکسایشی در گیاه زعفران شد ([Sedighi Moshkenani et al., 2020](#)). کاربرد گابا در غلظت ۲۰ میلی مولار در میوه موز باعث تجمع پرولین و افزایش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی شد ([Rezaei et al., 2020](#)).

مالون‌دی‌آلدئید

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر ساده گابا در سطح یک درصد و اثر ساده سالیسیلیک اسید و نیز اثر متقابل این دو در سطح پنج درصد معنی دار شده است ([جدول ۲](#)). طبق نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین، بیشترین تجمع مالون‌دی‌آلدئید در

نمونه شاهد (عدم کاربرد گاما آمینوبوتیریک اسید و سالیسیلیک اسید) مشاهده شد و کمترین مقدار این صفت در تیمار توأم گابای ۱۰ میلی گرم در لیتر با سالیسیلیک اسید ۰/۵ میلی مولار حاصل شد (جدول ۴). در گزارشی آمده است که گابا از صدمات اکسیداتیو در دانه‌های جو به وسیله فعال کردن پاسخ‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانت و کاهش سطوح بالای از کربونیل‌های پروتئینی ناشی از رادیکال‌های آزاد جلوگیری کرده است. همچنین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش داده و میزان مالون‌دی‌آلدئید و تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن را نیز کاهش داده است. اثر حفاظتی گابا بر یکپارچگی غشاء با کنترل پراکسیداسیون لیپید نیز مشاهده شد (Song et al., 2010). گیاهان چند ساله چچم (*Lolium persicum*) تیمار شده با گابا در معرض تنش خشکی دارای میزان کمتری از مالون‌دی‌آلدئید در مقایسه با گیاهان شاهد بودند (Krishnan et al., 2013). گابا نقش مولکول سیگنالی‌نگ در غلظت‌های پایین داشته و در غلظت‌های بالاتر در فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی، متابولیسم، متابولیسم نسبت کربن به نیتروژن (C/N)، تنظیم اسمزی و حفاظت گیاهان در برابر آسیب‌های اکسیداتیو نقش دارد (Bouche's and Fromm, 2004). گابا در دانه‌های گوجه فرنگی که تحت تنش سرما قرار گرفته بودند، سبب کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدئید شد (Malekzadeh et al., 2014). در این پژوهش کاربرد سالیسیلیک اسید سبب کاهش میزان مالون‌دی‌آلدئید برگ شد که مشابه این نتایج در گیاه خرفه نیز گزارش شده است (Yazici et al., 2007).

نتیجه‌گیری

به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد گاما آمینوبوتیریک اسید به عنوان یک ترکیب زیستی و سالیسیلیک اسید به عنوان یک تنظیم کننده رشد، اثر مثبتی در صفات مورد مطالعه در نشاء گوجه فرنگی رقم سیران داشت و سبب افزایش قطر نشاء، محتوای آب، کلروفیل کل، عملکرد، پرولین و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز و کاهش نشت یونی و مالون‌دی‌آلدئید گردید. به نظر می‌رسد که بالاترین غلظت کاربردی گابا در این پژوهش (۱۰ میلی گرم در لیتر) و نیز بیشترین غلظت سالیسیلیک اسید (۱/۵ میلی مولار) بهترین نتایج را به همراه داشت و سبب بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی و کیفی نشاء گوجه فرنگی سیران و نیز حفظ بهتر عملکرد نهایی محصول شد.

منابع

- Abbaszadeh B. 2005, Effect of different levels and methods of nitrogen fertilizer application on the amount of lemon balm essential oil, Master Thesis, Islamic Azad University, Karaj Branch. (In Persian)
- Aftab T., Masroor M., Khan A., Teixeira Da Silva J.A., Idrees M., Naeem M., and Moinuddin M. 2011, Role of salicylic acid in promoting salt stress tolerance and enhanced artemisinin production in *Artemisia annua* L, Journal of plant growth regulation 30: 425-435.
- Alam M.M., Hasanuzzaman M., Nahar K., and Fujita M. 2013, Exogenous salicylic acid ameliorates short term drought stress in mustard (*Brassica juncea* L.) seedlings by up-regulating the antioxidant defense and glyoxalase system, Australian journal of crop sciences 7: 1053-1063.
- Azarmi R. 2018, Effect of salicylic acid on some vegetative and biochemical properties of cucumber (*Cucumis sativus* L.) under copper stress, Journal of plant process and function 9(33): 15-27. (In Persian with English abstract)

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

Bouche's N., and Fromm H. 2004, GABA in plants, Just a metabolite, *Trends in plant science* 9(1): 110-115.

Brito C., Dinis L.T., Silva E., Gonçalves A., Matos C., Rodrigues M.A., and Correia C. 2018, Kaolin and salicylic acid foliar application modulate yield, quality and phytochemical composition of olive pulp and oil from rainfed trees, *Journal of scientia horticulturae* 237: 176-183.

Chance B., and Maehly A.C. 1955, Assay of catalase and peroxidase, *Journal of methods in enzymology* 2(1): 764-775.

De Oliveira Silva F.M., Lichtenstein G., Alseekh S., Rosado Souza L., Conte M., Suguiyama V.F., Lira B.S., Fanourakis D., Usadel B., Bhering L.L., Da Matta F.M., Sulpice R., Araujo W.L., Rossi M., De Setta N., Fernie A.R., Carrari F., and Nunes Nesi A. 2018, The genetic architecture of photosynthesis and plant growth related traits in tomato, *Journal of plant, cell and environment* 41: 327-341.

Efeoglu B., Ekmekci Y., and Cicek N. 2009, Physiological responses of three maize cultivars to drought, *Journal of phytotherapy research* 16(3): 240-244.

Eyidogan F., and Tufanoz M. 2007, Effect of salinity on antioxidant responses of chickpea seedlings, *Journal of acta physiologia plantarum* 29(1): 485-493.

Fatma A.G. 2007, Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activities and oil content of basil and marjoram, *Journal of agricultural, biological* 1560(98530): 294-301.

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 soil* 290(4): 139-155.

Gao C., Wang Y., Liu G., Wang C., Jiang J., and Yang C. 2010, Cloning of ten peroxidase (POD) genes from *Tamarix hispida* and characterization of their responses to abiotic stress, *Journal of plant molecular and biological report* 28: 77-89.

Ghanbari F., Saidi M., Akbari S., and Gravand S. 2021, The effect of salicylic acid and kaolin on the growth, yield and some physiological responses of tomatoes under different irrigation cycles. *Journal of plant process and function* 10(44): 219-234. (In Persian with English abstract)

Gharib F.A.E. 2007, Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activities and oil content of basil and marjoram, *International journal of agriculture and biology* 9(2): 294-301.

Gill S., and Tuteja N. 2010, Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plant, *Journal of plant physiology and biochemistry* 48(12): 909-30.

Hayat Q., Hayat Sh., Irfan M., and Ahmad A. 2010, Effect of exogenous salicylic acid under changing environment, a review, *Journal of environmental and experimental botany* 68: 14-25.

Hayat S., Hasan S.A., Fariduddin Q., and Ahmad A. 2008, Growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in response to salicylic acid under water stress, *Journal of plant interactions* 3: 297-304.

Heath R.L., and Packer L. 1969, Photoperoxidation in isolated chloroplast, kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation, *Journal of biochemistry and biophysics* 125(1): 189-198.

Horvath E., Szalai G., and Janda T. 2007, Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling, *Journal of plant growth regulation* 26: 290-300.

<https://www.fao.org/worldfoodsituation>. (food and agriculture organization of the united nations).

- Hussein M.M., El-Geready N.H.M., and El-Desuki M. 2006, Role of putrescine in resistance to salinity of pea plants (*Pisum sativum* L.), Research journal of applied sciences 2(9): 598-604.
- Islam M.R., Prodhon A.K.M.A., Islam M.O., and Uddin M.K. 2010, Effect of plant growth regulator (GABA) on morphological characters and yield of black gram (*Vigna mungo* L.), Journal of agriculture research 48(1): 76-77.
- Jia Y., Zou D., Wang J., Sha H., Liu H., Inayat M., and Zhao H. 2017, Effects of γ -aminobutyric acid, glutamic acid, and calcium chloride on rice (*Oryza sativa* L.) under cold stress during the Early vegetative stage, Journal of plant growth regulation 36(1): 240-253.
- Karlıdag H., Esitken A., Turan M., and Sahin F. 2007, Effects of root inoculation of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient element contents of leaves of apple, Journal of scientia horticulture 114: 16-20.
- Keshtehgar A., Rigi K., and Vazirimehr M.R. 2013, Effects of salt stress in crop plants, International journal of agriculture and crop sciences 5(23): 2863-2867.
- Khan M.I.R., Fatma M., Per T.S., Anjum N.A., and Khan N.A. 2015, Salicylic acid induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants, Journal of frontiers in plant science 6: 462-468.
- Khokon M.A.R., Okuma E.I.J.I., Hossain M.A., Munemasa S., Uraji M., Nakamura Y., and Murata Y. 2011, Involvement of extracellular oxidative burst in salicylic acid induced stomatal closure in arabidopsis, Journal of plant, cell and environment 34: 434-443.
- Korkmaz A., Uzunlu M., and Demirkairan A.R. 2007, Treatment with acetylsalicylic acid protects muskmelon seedlings against drought stress, Journal of acta physiologia plantarum 29: 503-508.
- Krishnan S., Laskowski K., Shukla V., and Merewitz E. 2013, Mitigation of drought stress damage by exogenous application of a non protein amino acid γ -aminobutyric acid on perennial ryegrass, Journal of plant, soil, and microbial sciences 138(5): 358-366.
- Kumar S., and Dey P. 2011, Effects of different mulches and irrigation methods on root growth, nutrient uptake, water use efficiency and yield of strawberry, Journal of scientia horticulturae, 127(3): 318-324.
- Li E., Luo X., Liao S., Shen W., Li Q., Liu F., and Zou Y. 2018, Accumulation of γ -aminobutyric acid during cold storage in mulberry leaves, International journal of food science and technology 53: 2664-2672.
- Lichtenthaler H.K. 1987, Chlorophylls and carotenoids, pigments of photosynthetic biomembranes, Journal of methods in enzymology 148(34): 350-382.
- Liu C.L., Zhao L., and Yu G.H. 2011, The dominant glutamic acid metabolic flux to produce γ -aminobutyric acid over proline in *Nicotiana tabacum* leaves under water stress relates to its significant role in antioxidant activity, Journal of integrative plant biology 53(1): 608-618.
- Malekzadeh P., Khara J., and Heydari R. 2014, Alleviating effects of exogenous γ -aminobutyric acid on tomato seedling under chilling stress, Journal of physiology and molecular biology of plants 20(1): 133-137. (In Persian with English abstract)
- Najafian Sh., Khosh Khui M., Tavallali V., and Saharkhiz M.J. 2009, Effect of salicylic acid and salinity in thyme (*Thymus Vulgaris*), investigation on changes in gas exchange, water relations, and membrane stabilization and biomass accumulation, Australian journal of basic and applied science 3(3): 2620-2626.
- Nakamura A., Itaki C., Saito A., Yonezawa T., Aizawa K., Hirai A., Sukanuma H., Miura T., Mariya Y., and Haghdoost S. 2017, Possible benefits of tomato juice consumption, a pilot study on irradiated human lymphocytes from healthy donors, Journal of nutrition 16: 27-35.

Nayyar H., Kaur R., Kaur Simranjit., and 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, *Journal of plant growth regulation* 33: 408-419.

Ouda B.A., and Mahahadeem A.Y. 2008, Effect of fertilizers on growth, yield, yield components, quality and certain nutrient contents in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), *International journal of agriculture and biology* 10: 627-632.

Peyvast Gh. 2009, *Vegetable production*, Danesh pazir press 579. (In Persian)

Pinela J., Oliveira M.B.P.P., and Ferreira I.C.F.R. 2016, Bioactive compounds of tomatoes as health promoters, In *natural bioactive compounds from fruits and vegetables part II*, Bentham science publishers 48-91.

Pour Azar M.R., Tabatabaei J., and Boland Nazar S. 2014, The effect of injection of carbon dioxide to root environment on growth and accumulation of nitrate in two lettuce varieties of screw and oven (*Lactuca sativa* L. cv. *Capitata* and *sativa*), *Journal of horticultural science* 28(3): 295-302. (In Persian with English abstract)

Rai A.C., Singh M., and Shah K. 2013, Engineering drought tolerance tomato plants over expressing BcZAt12 gene encoding aC2H2 zinc finger transcription factor., *Journal of phytochemistry* 85: 44-50.

Rezaei A., Seyed Hajizadeh H., Farokhzad A., and Gholizadeh Vakilkandi F. 2020, Effect of postharvest treatments of GABA and salicylic acid in antioxidant quality and marketability of Strawberry, *Journal of plant process and function* 9(38): 114-127. (In Persian with English abstract)

Rezaie Allolo A., Kheiry A., Sanikhani M., and Araghavani M. 2018, 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, *Journal of plant process and function* 8(33): 359-371. (In Persian with English abstract)

Saheri F., Barzin G., Pishkar L., Mashhadi Akbar Boojar M., and Babaeekhou L. 2021, The effect of salicylic acid under drought stress on some physiological and biochemical traits of (*Portulaca oleracea* L.), *Journal of plant process and function* 11(47): 283-299. (In Persian with English abstract)

Salimi A., Arashi A., and Chavoshi M. 2021, Investigating the effect of gallic acid on the growth of Jaliz flower and the activity of antioxidant enzymes in tomato (*Lycopersicum esculentum*), *Journal of plant process and function* 10(42): 147-159. (In Persian with English abstract)

Samih M.A., Taleb R.A., Alzubi Y.A., Ammari T., and Tahboub A.B. 2010, Nitrate accumulation in spinach (*Spinacia oleracea* L.) tissues under different fertilization regimes, *Journal of food agriculture environment* 8(2): 778-780.

Sedighi Moshkenani F., Niknam V., Sharifi G., and Seifi Kalhor M. 2020, An investigation of GABA effect on drought stress tolerance improvement in cultivated saffron (*Crocus sativus* L.), *Journal of plant process and function* 9(39): 29-50. (In Persian with English abstract)

Senaranta T., Teuchell D., Bumm E., and Dixon K. 2002, Acetyl salicylic acid (asprin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomatoplants, *Journal of plant growth regulation* 30: 157-161.

Shata S.M., Mahmoud A., and Siam S. 2007, Improving calcareous soil productivity by integrated effect of intercropping and fertilizer, *Research journal of agriculture and biology sciences* 3(6): 733-739.

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, *Pathway structure of botany* 90: 651-668.

Shevyakova N.I. 2003, Metabolism and the physiological role of proline in plants under conditions of water and salt stress, *Journal of plant physiology* 30: 597-608.

Shi S.Q., Shi Z., Jiang Z.P., Qi L.W., Sun X.M., and Li C.X. 2010, Effects of exogenous GABA on gene expression of *Caragana intermedia* roots under NaCl stress, regulatory roles for H₂O₂ and ethylene production, *Journal of plant, cell and environment* 33(2): 149-162.

Song H., Xu X., Hua W., Wang H., and Tao Y. 2010, Exogenous γ -aminobutyric acid alleviates oxidative damage caused by aluminium and proton stresses on barley seedlings, *Journal of food agriculture science* 90(1): 1410-1416.

Suri M., and Yaqoubi F. 2017, Investigating the physiological characteristics of tomato seedlings under the influence of chemical and organic fertilizers, *Journal of science and techniques of greenhouse crops* 8(4): 67-76. (In Persian with English abstract)

Vijayakumari K., Puthur T. 2015, γ -aminobutyric acid (GABA) priming enhances the osmotic stress tolerance in *Piper nigrum* L plants subjected to PEG induced stress, *Journal of plant growth regulation* 24(6): 102-115.

Wang Y., Luo Z., and Huang H. 2014, Effect of exogenous γ -aminobutyric acid (GABA) treatment on chilling injury and antioxidant capacity in banana peel, *Journal of scientia horticulturae* 168: 132-137.

Yang C.M., Yang L.Z., Yang Y.X., and Zhu O.Y. 2004, Rice root growth and nutrient uptake as influenced by organic manure in continuously and alternately flooded paddy soils, *Journal of agricultural water management* 70: 67-81.

Yazici I., Turkan I., Sekmen A.H., and Demiral T. 2007, Salinity tolerance of purslane (*Portulaca oleraceae* L.) is achieved by enhanced antioxidative system, lower level of lipid peroxidation and proline accumulation, *Journal of environmental and experimental botany* 61(1): 49-57.

Study the Effects of Salicylic Acid and γ -Aminobutyric Acid on Some Physiological Characteristics of Seedling and Yield of *Lycopersicum esculentum* cv. Seyran

Introduction Recently, the market demand for high quality tomato fruit is increasing. This product is one of the most important vegetables produced all over the world, and in the last few decades, there has always been a growing trend for its production and consumption. Today, seedling production is considered as a specialized and profitable industry all over the world, which also has a good development speed in our country. The production of healthy and strong seedlings is a prerequisite for proper plant growth and economic production, and nutrition plays an important role in this. Today, the use of natural and organic compounds in various sectors of production and agriculture is increasing. One of these organic compounds, is γ -aminobutyric acid. Biofertilizers are used in order to reduce the consumption of chemical fertilizers and thus reduce the negative environmental effects and increase the yield of plants in agricultural systems. Salicylic acid is a natural phenolic compound and one of the endogenous plant regulators that exists in most plants and is an important component in the signaling pathway. Salicylic acid is effective in regulating the process of plant growth and development, germination, flowering, opening and closing of stomata, respiration, absorption and transfer of ions, photosynthesis, maintaining membrane integrity and plant growth rate. The aim of this research was to investigate the effect of different concentrations of γ -aminobutyric and salicylic acid compounds on the physiological characteristics, photosynthetic components and quality characteristics of the seedlings of *Lycopersicum esculentum* cv. Seyran and to introduce the best concentration of these hormonal and pseudo hormonal compounds in the conditions of this research.

Materials and Methods This experiment was conducted in 2017 in the research greenhouse of Shahid Bahonar University of Kerman as a factorial in a completely randomized design with three replications. *Lycopersicum esculentum* cv. Seyran seeds were planted and after the seedlings reached the stage of three to four leaves and were well established, the first foliar spraying was

done with complete NPK fertilizer containing other micronutrients. After 75 % of the seedlings reached the five leaf stage, foliar spraying of the treatments with γ -aminobutyric acid with concentrations of 0, 5 and 10 mg/l and half an hour later with salicylic acid with concentrations of 0, 0.5 and 1.5 mM was performed. After 15 days, the second foliar spraying steps of the treatments were repeated. Traits studied include; seedling stem diameter, ion leakage, relative water content, total chlorophyll, yield, stomatal conductance, net photosynthesis rate, catalase, peroxidase, proline and malondialdehyde.

Results and Discussion Based on the results of analysis of variance, the simple effect of GABA and the simple effect of salicylic acid on seedling diameter, ion leakage and total chlorophyll were significant at the level of one percent and their interaction was significant at the level of five percent. In the characteristics of relative water content and yield, the simple effects of GABA and salicylic acid, as well as the interaction of the two, were significant at the 1% level (Table 1). Results showed that the largest plant diameter and relative water content in GABA 10 mg/l and with the combined use of 1.5 mM salicylic acid and the lowest plant diameter and relative water content in the condition of not using GABA and using salicylic acid in the amount 0.5 mM was obtained. Also, the highest amount of ion leakage occurred in the control plants and the lowest amount of ion leakage is related to the treatment of 10 mg/l GABA combined with 1.5 mM salicylic acid. Investigations showed that a increase in performance compared to the control occurs when using the combination of GABA 10 mg/l along with 0.5 and 1.5 mM salicylic acid (Table 3). Based on the results of analysis of variance, the simple effect of GABA and the simple effect of salicylic acid on leaf stomatal conductance and net photosynthesis rate were significant at the level of one percent and their interaction was significant at the level of five percent. The results showed that the simple and mutual effects of GABA and salicylic acid on the level of catalase enzyme activity are significant at the five percent level. Also, the simple effect of GABA at the level of one percent and the simple effect of salicylic acid, as well as the mutual effect of these two on the trait of malondialdehyde at the level of five percent, are significant (Table 2). According to the average comparison results, the highest level of leaf stomatal conductance was observed in the concentration of 1.5 mM salicylic acid in all three application levels of GABA, and the interaction treatment of 10 mg/l GABA with 1.5 mM salicylic acid had the highest net photosynthesis rate and activity of catalase and peroxidase enzymes. The highest amount of proline accumulation occurred in the treatment combination of GABA 10 mg/l along with each of the three concentrations of salicylic acid. The highest accumulation of malondialdehyde was observed in the control sample (without the use of γ -aminobutyric acid and salicylic acid) and the lowest amount of this characteristic was obtained in the combined treatment of GABA 10 mg/l with 0.5 mM salicylic acid (Table 4).

Conclusions In sum, it can be concluded that the use of γ -aminobutyric acid as a biological compound and salicylic acid as a growth regulator had a positive effect on most of the traits studied in *Lycopersicum esculentum* cv. Seyran seedlings and increased the diameter of seedlings, relative water content, total chlorophyll, yield, activity of catalase and peroxidase enzymes, proline and reduction of ion leakage and malondialdehyde. It seems that the highest applied concentration of GABA in this study (10 mg/l) and the highest concentration of salicylic acid (1.5 mM) brought the best results and improved the production of seedling while maintaining its quality.

Keywords: γ -aminobutyric acid, Foliar application, Net photosynthesis rate, Proline.