

The effect of foliar application of gamma aminobutyric acid (GABA) and forchlorfenuron (CPPU) on some physiological and biochemical characteristics of strawberry cv. Camarosa

DOI: [10.22055/ppd.2024.47877.2199](https://doi.org/10.22055/ppd.2024.47877.2199)

Naeimeh Soukht Saraei¹ , Feryal Varasteh² , Hamid Reza Sadeghipour³ 

1. Ph.D. Student, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

2. Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

3. Associate Professor, Department of Biology, Faculty of Sciences, Golestan University, Gorgan, Iran.

Extended Abstract

Introduction

Strawberry is one of the most popular fruits, accordingly, its maintenance and increased quality without using harmful chemical compounds is of great concern. Gamma-aminobutyric acid (GABA) is a four-carbon non-protein amino acid that affects plant growth activities, tricarboxylic acid cycle, production of primary and secondary metabolites, and response to biotic and abiotic stresses. Growth hormones, especially those growth regulators that increase photosynthesis and plant function, have good potential for agricultural development. The plant hormone cytokinin plays an effective role in controlling many vital processes, including plant growth and flowering. Cytokinins cause an increase in cell division, and therefore, if they are used in the initial stage of the sigmoid curve of fruit growth, when cell division is underway, they may increase the number of cells in each fruit.

Materials and Methods

The well-developed and consistent strawberry plantlets of the Camarosa cultivar were planted during October 2022 in Ramian County, Golestan province, Iran (UTM: 318446, 4092385). The foliar application of GABA solutions at 10 and 20 mM as well as control (water) was carried out at the flowering stage and 10 days later and the foliar application of forchlorfenuron (CPPU) solutions at 5 and 10 mg/L was carried out at the flowering stage. This research was conducted in the form of a complete randomized blocks design in three replications. Fruits were collected when they reached a consistent ripening stage, as characterized by change of fruit's surface color to red by more than 75% and were promptly transported to the laboratory for analysis. Root volume and weight, total sugar and leaf photosynthetic pigments, length, diameter and shape of fruit, percentage of malformed fruit, fruit firmness, total sugar, fruit color, total weight of harvested fruit and fruit cytokinin were assessed. Data analysis was done using SAS version 9.1 software and comparison of means was done through Duncan's multiple range test at the 1% probability level.

Results and Discussion

The analysis of variance of the data showed that the effect of GABA treatment at the probability level of 1% on root volume and weight, carotenoid and chlorophyll b of leaf, fruit firmness and the total weight of the harvested fruit at the probability level of 1% and on the total chlorophyll of

leaf and percentage of malformed fruit at the probability level of 5% was significant. Leaf area, chlorophyll a, total leaf sugar, fruit length, diameter and length-to-diameter ratio were not affected by GABA spraying. Also, the effect of CPPU treatment was significant at 1% probability level on root volume and weight, leaf area, leaf carotenoid, fruit length and firmness, and percentage of malformed fruits, and at 5% probability level on chlorophyll a and total, fruit length to diameter ratio. Total sugar and chlorophyll b of leaf, fruit diameter and total weight of harvested fruit were not affected by CPPU solution. GABA treatment (20 mM) could increase the total weight of the harvested fruits from each experimental unit by 17%. Plants sprayed with CPPU had more leaf area compared to the control non-sprayed plants. The total chlorophyll amount of leaf increased with increasing GABA and CPPU concentration, and the highest leaf total chlorophyll was found in 20 mM GABA (1.384 mg/g) and 10 mg/L CPPU (1.430 mg/g). 10 mg/L CPPU treatment caused 107 and 59% increase in root volume and weight compared to the control, respectively. The highest fruit length (65.51 mm) and fruit length to diameter ratio (1.69) were obtained in plants sprayed with 10 mg/L CPPU. The highest firmness of the fruit tissue (1.96 N/cm²) was observed in plants sprayed with 20 mM GABA. Accordingly, GABA and CPPU treatments could significantly reduce the malformed fruit and the lowest was observed in CPPU treatment at a concentration of 10 mg/L. Also, both GABA and CPPU treatments had a significant effect on fruit color brightness index and total fruit sugar.

Conclusion

GABA and CPPU can act as a regulatory factor for plant growth and development. In general, the fruits obtained from plants sprayed with GABA and CPPU were of higher quality. Finally, according to the results, foliar spraying of Camarosa strawberry plants with 20 mM GABA and 10 mg/L CPPU is recommended in order to produce high-quality and long-lasting fruit.

Keywords: Cytokinin, Fruit firmness, Photosynthetic pigments, Quality

اثر کاربرد برگی گاما آمینوبوتیریک اسید (GABA) و فور کلرفنورون (CPPU) بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی توت‌فرنگی رقم کاماروسا

نعیمه سوخت‌سرای^۱، فریال وارسته^۲، حمیدرضا جنادقی پور^۳

۱. دانشجوی گروه علوم باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۲. نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۳. دانشیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران.

چکیده

کاربرد ترکیبات طبیعی و غیرمضر برای سلامت انسان و محیط زیست در افزایش عملکرد و کیفیت توت‌فرنگی اهمیت زیادی دارد. یکی از مهم‌ترین و گسترده‌ترین ارقام توت‌فرنگی مورد کشت در جهان رقم کاماروسا است که به دلیل تولید اول فصل، عملکرد زیاد، میوه‌های جذاب همراه با سفتی بالا و کیفیت حمل‌ونقل و عمر پس از برداشت خوب، یک رقم مناسب برای تولیدکنندگان است. در این پژوهش بوته‌های توت‌فرنگی رقم کاماروسا در گلخانه‌ای تونلی با پوشش

پلاستیک پلی اتیلنی و بدون استفاده از سیستم گرمایشی در شهرستان رامیان، استان گلستان در گلدان‌های پلی اتیلنی با بستر کشت کوکویت و پرلیت در آبان ماه سال ۱۴۰۰ کشت شدند. بوته‌ها در دو مرحله (ابتدای گلدهی و ۱۰ روز بعد) با گاما آمینوبوتیریک اسید (GABA) با غلظت ۱۰ و ۲۰ میلی‌مولار و یک مرحله (ابتدای گلدهی) با فورکلرفنورون (CPPU) با غلظت ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر محلول‌پاشی شدند. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی GABA و CPPU توانست به‌طور معنی‌داری رشد و نمو ریشه، سطح برگ، کلروفیل کل، کاروتنوئید برگ، سفتی میوه و مجموع وزن میوه برداشت شده را افزایش و درصد میوه بدشکل را کاهش دهد. تیمار GABA ۲۰ میلی‌مولار مجموع وزن میوه برداشت شده را ۱۷ درصد افزایش داد و بیشترین سفتی میوه (۱/۹۶ نیوتن بر سانتی‌متر مربع) در بوته‌های محلول‌پاشی شده با ۲۰ میلی‌مولار GABA مشاهده شد. میزان کلروفیل کل برگ با افزایش غلظت GABA و CPPU افزایش یافت و بیشترین میزان کلروفیل کل برگ (۱/۳۸۴ میلی‌گرم بر گرم) در تیمارهای ۲۰ میلی‌مولار GABA و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر CPPU (۱/۴۳۰ میلی‌گرم بر گرم) ثبت شد. تیمار ۱۰ میلی‌گرم در لیتر CPPU به ترتیب ۱۰۷ و ۵۹ درصد افزایش در حجم و وزن ریشه را سبب شد. بیشترین طول میوه (۶۵/۵۱ میلی‌متر) و نسبت طول به قطر میوه (۱/۶۹) در بوته‌های محلول‌پاشی شده با ۱۰ میلی‌گرم در لیتر CPPU به‌دست آمد. همچنین هر دو تیمار GABA و CPPU بر شاخص درخشندگی رنگ میوه و قند کل میوه تاثیر معنی‌داری داشتند. در این میان، تیمار GABA بر طول، قطر، نسبت طول به قطر میوه و قند برگ در زمان برداشت اثر معنی‌داری نداشت. به‌علاوه تیمار CPPU توانست قطر میوه، قند برگ و مجموع وزن میوه برداشت شده را در زمان برداشت تحت تاثیر قرار دهد. محلول‌پاشی CPPU بر محتوای سیتوکینین میوه تاثیر معنی‌داری داشت و بیشترین مقدار این هورمون گیاهی در تیمار ۱۰ میلی‌گرم در لیتر CPPU ثبت شد. در نهایت با توجه به نتایج به‌دست آمده، محلول‌پاشی بوته‌های توت‌فرنگی رقم کاماروسا با ۲۰ میلی‌مولار GABA و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر CPPU به‌منظور تولید میوه با کیفیت و ماندگاری بالا توصیه می‌شود.

کلید واژه‌ها: رنگیزه‌های فتوسنتزی، سفتی میوه، سیتوکینین، کیفیت

مقدمه

توت‌فرنگی (*Fragaria × ananasa*) یکی از میوه‌هایی است که به دلیل عطر و طعم، ظاهر زیبا، جذابیت رنگ و ارزش غذایی دارای محبوبیت جهانی است (Aghaeifard *et al.*, 2015). این میوه دارای ترکیبات متنوعی به‌ویژه ویتامین ث و مواد معدنی است و از نظر تغذیه‌ای و پزشکی بسیار ارزشمند می‌باشد. منبع خوبی از منگنز، ید، منیزیم، مس، آهن و فسفر و حاوی ترکیبات فنلی و آنتوسیانین نیز می‌باشد. همچنین، غنی از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی بوده و فعالیت رادیکال‌های آزاد را کاهش می‌دهد (Miller *et al.*, 2019, Soukht *et al.*, 2019, 2024). یکی از مهم‌ترین و گسترده‌ترین ارقام مورد کشت در جهان رقم کاماروسا است که طی یک سری برنامه‌های اصلاحی دانشگاه کالیفرنیا

به‌دست آمد و به‌عنوان یک رقم روز کوتاه معرفی شد (Hadadmejad *et al.*, 2020). این رقم دارای میوه مخروطی و زودرس بوده، سفتی میوه آن زیاد و بافت بیرونی و درونی آن قرمز رنگ است. به‌باران مقاوم بوده و کیفیت حمل‌ونقل و جابه‌جایی مناسبی دارد. از نظر باردهی در مناطق نیمه‌گرمسیری و خشک، دوره باردهی طولانی‌تری دارد و این ویژگی‌های خوب، این رقم را برای تولیدکنندگان مناسب کرده است (Nankali *et al.*, 2014).

به‌طور معمول برای تضمین عملکرد و کیفیت این میوه، یک برنامه محلول‌پاشی گسترده تنظیم می‌شود که گاهی اوقات تهدیدی جدی برای سلامت مصرف‌کننده است. با این حال، توسعه استراتژی‌های سازگار با محیط زیست، اقتصادی و ایمن‌تر همیشه در کانون توجه بخش

تحقیق و توسعه بوده است (Anwar et al., 2018). گاما آمینوبوتریک اسید (GABA) یک اسید آمینه غیر-پروتئینی چهار کربنه بوده که با مکانیزم تنظیم کنندگی بر فرآیندهای مختلف گیاه تاثیر می گذارد. این ترکیب علاوه بر تنظیم فعالیت های رشدی گیاه، در حفظ تعادل کربن-نیتروژن، فعالیت چرخه کربس، تولید متابولیت های اولیه و ثانویه و پاسخ به تنش های زیستی و غیرزنده نقش دارد و می تواند به سرعت و به مقدار زیاد در برابر افزایش دی اکسید کربن و تنش هایی مانند آسیب های مکانیکی، شوری، کمبود اکسیژن، خشکی و درجه حرارت های پایین در گیاه انباشته شود (Abd El-Gawad et al., 2021) بر اساس مطالعات انجام شده در سلول های گیاهی، GABA توسط دو مسیر مختلف آنزیمی ساخته می شود: مسیر اول بیوسنتز GABA (مسیر اصلی تولید آن در بسیاری از گیاهان) از طریق گلو تامات و تبدیل آن به سوکسینات است که به مسیر گابا-شانت معروف است و با وساطت آنزیم گلو تامات دکربوکسیلاز فعال می شود. مسیر دوم از طریق مسیر تجزیه پلی آمین و توسط فعالیت آنزیم پلی آمین اکسیداز انجام می شود. در مسیر گابا-شانت، فعالیت GABA ترانس آمیناز می تواند تنش های اکسیداتیوی را با فراهم آوردن NADH و سوکسینات وارد چرخه تری-کربو کسلیک اسید و زنجیره انتقال الکترون میتوکندریایی جهت تولید ATP کافی، کاهش داده و تجمع H_2O_2 را تحت تنش محیطی به حداقل برساند. مسیر تخریب GABA نیز می تواند در تنظیم میزان آن در سلول ایفای نقش کند. تخریب، توسط آنزیم GABA ترانس آمیناز به صورت واکنش برگشت پذیر منجر به سنتز سوکسینیک سمی آلدئید شده که سوکسینیک اسید نیز برای حفظ چرخه کربن-نیتروژن وارد چرخه کربس می شود (Li et al., 2021). در گلابی کاربرد GABA منجر به افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز و در نهایت باعث افزایش مقاومت این محصول به *Penicillium expansum* شده است (Yu et al., 2014).

کاربرد برون زای GABA در گیاهچه های برنج باعث افزایش قابل توجه رشد و سالم ماندن گیاهچه ها در تنش گرمایی شد که این می تواند در ارتباط با اثر مثبت GABA در جلوگیری از صدمه دیدن غشاء، بهبود شرایط سلول و میزان کلروفیل ساقه باشد (Nayyar et al., 2014).

هورمون های رشد، مخصوصا آن دسته از تنظیم کننده های رشد که موجب افزایش فتوسنتز و کارکرد گیاهی می شوند، پتانسیل خوبی برای توسعه کشاورزی دارند. یکی از اهداف کاربرد تجاری هورمون های رشد گیاهی طی دوره زایشی، افزایش فعالیت فتوسنتزی برگ برای انتقال مواد فتوسنتزی بیشتر به میوه و دانه است. سیتوکینین در کنترل فرآیندهای متعدد و حیاتی از جمله رشد و نمو و گلدهی گیاه نقش موثر دارد. گزارش هایی مبنی بر نقش سیتوکینین ها در حفظ کلروفیل از طریق کاهش بیان ژن های تجزیه کننده کلروفیل مانند کلروفیلاز و پراکسیداز وجود دارد که با جلوگیری از اتلاف آب بافت، موجب حفظ سفتی میوه ها می شود (Davani et al., 2016., Massolo et al., 2014). فورکلرفنورون (CPPU) دارای فعالیت شبه سیتوکینین است که برای افزایش تشکیل میوه، بهبود اندازه، وزن و کیفیت میوه کیوی، انگور، سیب، هلو و بادام زمینی به کار رفته است (Banyal et al., 2020). این ترکیب همچنین سبب افزایش کیفیت محصول انگور، از طریق افزایش استحکام جبه، جرم جبه و خوشه (Zabada and Bukovac, 2006)، و حفظ کیفیت جبه ها از طریق کاهش کم شدن وزن آن ها در زمان پس برداشت شده است (Patil et al., 2006). محلول-پاشی CPPU درختان سیب رقم آنا با غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر در زمان گلدهی، تشکیل میوه و یک ماه قبل از برداشت به طور قابل توجهی تشکیل میوه و کیفیت میوه را افزایش داد (Taha and Abd El Ghany, 2016). همچنین نتایج مطالعات نشان داد که محلول-پاشی هورمون CPPU حدود دو هفته بعد از تشکیل میوه

مواد و روش‌ها

برای انجام پژوهش حاضر گلخانه‌ای تونلی با پوشش پلاستیک پلی‌اتیلنی و بدون استفاده از سیستم گرمایشی در روستای دارکلاته از توابع شهرستان رامیان در استان گلستان انتخاب، و نشاهای توت‌فرنگی رقم کاماروسا با قطر طوقه یکسان (حدود یک سانتی‌متر) در گلدان‌های پلی‌اتیلنی با بستر کشت کوکوپیت و پرلیت در آبان ماه سال ۱۴۰۰ کشت شدند. محلول‌پاشی CPPU در مرحله گلدهی در سه سطح (غلظت صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر) و محلول‌پاشی GABA در مرحله گلدهی و ۱۰ روز بعد در سه سطح (غلظت صفر، ۱۰ و ۲۰ میلی‌مولار) انجام شد. این پژوهش در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. در هنگام بلوغ تجاری زمانی که سه چهارم سطح میوه‌های هر تیمار به قرمز تغییر رنگ داد (Gross et al., 2016)، میوه‌ها به‌طور جداگانه برداشت شده و بلافاصله به آزمایشگاه فیزیولوژی منتقل شدند. پس از به پایان رسیدن دوره برداشت میوه‌ها، بوته‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفتند.

صفات مورد ارزیابی گیاه حجم و وزن ریشه

در انتهای دوره‌ی برداشت چهار بوته از هر تکرار برداشت شده و مواد اضافی به آرامی تحت فشار کم آب از روی ریشه‌ها شسته و حذف شدند. سپس گیاهان به دو بخش شاخساره (ساقه و برگ‌ها) و ریشه‌ها تقسیم شدند. تعداد برگ و سطح برگ با استفاده از سطح برگ‌سنج^۱ در تمامی گیاهان هر تیمار اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری حجم ریشه با روش جابه‌جایی آب در استوانه مدرج انجام شد. سپس در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد تا زمانی که به یک وزن ثابت مورد نظر از توده ماده خشک برسد، قرار گرفت و حجم و وزن ریشه به ازای هر بوته بیان گردید (Álvarez et al., 2011).

باعث تولید میوه‌های درشت‌تر و با کیفیت‌تر در کیوی شد و در ضمن بقایای آن تنها شش روز بعد از کاربرد در میوه باقی‌ماند و سپس ناپدید گردید (Ainalidou et al., 2015). با توجه به نتایج به‌دست آمده از تحقیقات پژوهشگران می‌توان انتظار داشت که استفاده از سیتوکینین مصنوعی CPPU در توت‌فرنگی سبب بهبود ویژگی‌های کیفی آن گردد.

GABA به‌عنوان مکمل غذایی در صنایع غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. GABA توسط میکروارگانیسم‌های مختلف به‌ویژه باکتری‌های لاکتیک اسید تولید می‌شود و تولید غذای فراسودمند حاوی GABA به‌دلیل دارابودن خواص زیستی و کاربردی مهم GABA از جمله کاهش فشارخون، تسکین‌دهندگی، ضد تنش، بهبود سرعت سنتز پروتئین در مغز و غلظت هورمون‌های رشد، جلوگیری از شرایط دیابتیک و... به‌طور قابل‌توجهی مورد توجه محققین قرار گرفته است. استفاده از آن هیچ عوارض جانبی بر بدن نخواهد داشت و حتی در رژیم غذایی ورزشکاران نیز گنجانده می‌شود (Nouvrozi and Esmaeili, 2013). به‌علاوه حداکثر سطح باقی‌مانده CPPU در محصولات مطابق استاندارد اروپا ۰/۰۱ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد و طبق تحقیقات انجام شده مشخص شده است که در روز ۲۵ ام پس از محلول‌پاشی CPPU با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر، مقدار باقی‌مانده در میوه توت‌فرنگی کمتر از حد مجاز بوده و نیمه عمر آن در توت‌فرنگی بین ۴/۴ تا ۷/۲ روز است. بنابراین با توجه به فاصله زمانی شروع گلدهی تا اولین برداشت محصول، کاربرد CPPU برای مصرف‌کننده عوارض جانبی نخواهد داشت (Li et al., 2016a).

با در نظر گرفتن اهمیت صفات فیزیولوژیکی گیاه در تولید عملکرد کمی و کیفی توت‌فرنگی و از طرف دیگر نبود اطلاعات کافی در مورد اثر کاربرد خارجی CPPU و GABA قبل از برداشت بر صفات فیزیولوژیک گیاه، این پژوهش با هدف بررسی برخی صفات فیزیولوژیک و کیفی میوه توت‌فرنگی تحت تأثیر محلول‌پاشی CPPU و GABA انجام شد.

¹ Leaf area meter

$$Car \left(\frac{mg}{g} \right) = 7.6(A480) - 1.49(A510) \times \frac{V}{1000}$$

برای اندازه‌گیری میزان قند محلول کل، نمونه برگ‌های بالغ انتخاب شدند. بافت برگ جمع‌آوری شده در نیتروژن مایع ساییده شده و در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. سپس قند محلول کل از روش فنل سولفوریک اسید پس از اندازه‌گیری میزان جذب نور در طول موج ۴۹۲ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد و میزان قند کل برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه گردید (Moralesa et al., 2013).

رنگی‌های فتوسنتزی برگ

در این روش ابتدا ۰/۵ گرم از بافت تازه برگ را خرد کرده و در داخل لوله آزمایش ریخته سپس ۱۰ سی‌سی دی‌متیل سولفو کسید اسید خالص به آن اضافه کرده و بعد به مدت سه ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا رنگی‌ها استخراج و بافت برگ کاملاً بی‌رنگ گردد. سپس بعد از صاف کردن نمونه‌ها با کاغذ صافی واتمن، یک میلی‌لیتر از محلول صاف شده را برداشته به حجم ۵ میلی‌لیتر رسانده و میزان جذب محلول به دست آمده با استفاده از اسپکتروفتومتر، در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵، ۴۸۰ و ۵۱۰ نانومتر قرائت و میزان رنگی‌های فتوسنتزی با استفاده از روابط ۱ تا ۴ برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه محاسبه گردید (Soukht Saraei et al., 2024).

رابطه ۱

$$Chl a \left(\frac{mg}{g} \right) = 12.7(A663) - 2.69(A645) \times \frac{V}{1000} \times W$$

رابطه ۲

$$Chl b \left(\frac{mg}{g} \right) = 22.9(A645) - 4.68(A663) \times \frac{V}{1000} \times W$$

رابطه ۳

$$Chl total \left(\frac{mg}{g} \right) = 20.2(A645) + 8.02(A663) \times \frac{V}{1000} \times W$$

رابطه ۴

صفات مورد ارزیابی میوه طول، قطر و نسبت طول به قطر میوه (شکل میوه)

ابتدا از هر تکرار پنج میوه به‌طور تصادفی برداشت شد. طول و قطر میوه با استفاده از کولیس دیجیتال تعیین و میانگین آنها ثبت گردید.

درصد میوه‌های بدشکل

میوه‌هایی که شکل آن‌ها خارج از حالت عادی و فرم میوه توت‌فرنگی بوده به‌عنوان میوه‌های بدشکل در نظر گرفته شده و درصد آن‌ها محاسبه شد.

سفتی بافت میوه

برای سنجش بافت میوه از دستگاه سفتی‌سنج، مدل Wagner ساخت کشور ایتالیا استفاده شد. از هر واحد آزمایش سه میوه انتخاب شد و هر کدام از میوه‌ها دو بار و به‌صورت متقابل مورد سنجش بر اساس نیروی لازم برای نفوذ میله سفتی‌سنج قرار گرفتند. سپس سفتی بافت برحسب نیوتن بر سانتی‌متر مربع بیان گردید.

مجموع وزن میوه برداشت شده

در طول دوره میوه‌دهی (از ۱۵ فروردین لغایت ۱۵ اردیبهشت ماه) میوه‌های هر واحد آزمایش (شامل ۱۲ گلدان و هر گلدان یک بوته) برداشت و با ترازوی دیجیتال توزین شد. مجموع وزن میوه‌ها به‌عنوان وزن میوه برداشت شده در نظر گرفته شد.

رنگ میوه

ابتدا تصاویری از سطح میوه با استفاده از اسکنر (Canon-MF-210) استخراج گردید. سپس از تصاویر استخراج شده، مقادیر a ، b و L به طور جداگانه توسط برنامه فتوشاپ (CC2015) دریافت گردید. شاخص L نشان دهنده میزان درخشندگی (روشنایی) می باشد و میزان آن از صفر (سیاه) تا ۱۰۰ (سفید) متغیر است. دامنه تغییرات شاخص a از ۶۰+ (قرمز) تا ۶۰- (سبز) می باشد. دامنه تغییرات شاخص b از ۶۰- (آبی) تا ۶۰+ (زرد) می باشد که میزان رنگ آبی از ۶۰- و رنگ زرد از ۶۰+ به سمت مرکز دیاگرام رنگ (صفر) کاهش می یابد. شاخص کروما^۲ شدت و یا خلوص رنگ را مشخص می کند و میزان آن در مرکز دیاگرام رنگ صفر است و با فاصله از مرکز افزایش می یابد. شاخص کروما بر اساس رابطه ۵ محاسبه شد. زاویه هیو (h°) که در فارسی به آن رنگ یا فام گفته می شود و در یک مختصات ۳۶۰ درجه بیان می شود (قرمز-صورتی = 0° ، زرد = 90° ، سبز = 180° ، آبی = 270°) و با استفاده از رابطه ۶ محاسبه شد (Pathare et al., 2013).

رابطه ۵:

$$C = \sqrt{a^2 + b^2}$$

رابطه ۶:

$$\text{Hue angle} = \text{Arctan} \left(\frac{b}{a} \right)$$

قند کل میوه

برای اندازه گیری قند کل ۰/۲ میلی لیتر از عصاره تغلیظ شده با ۳ میلی لیتر معرف آنترون مخلوط و سپس به مدت ۲۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار گرفته و میزان جذب نور هر یک از نمونه ها پس از سرد شدن در طول موج ۶۲۰ نانومتر اندازه گیری شد (McCready et al., 1950).

محتوای سیتوکینین میوه

میزان سیتوکینین موجود در میوه با استفاده از روش کروماتوگرافی با کارایی بالا (HPLC) تعیین شد. برای استخراج فیتوهورمون، ۲ گرم از بافت نمونه ها، با متانول ۸۰ درصد سرد ساییده و همگن، سپس با ۳۰ میلی لیتر متانول ۸۰ درصد سرد در دمای ۴ درجه سانتی گراد و تاریکی استخراج انجام شد. عصاره به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۵۰۰۰ دور سانتریفیوژ شده و مایع رویی جمع آوری شد (Shindy, 1975., Tang et al., 2001). آنالیز فیتوهورمون با روش (Ma et al., 2008) و (Ge et al., 2004) و با استفاده از سیستم کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (Unicam, Crystal 200, England) که به یک سیستم PAD متصل شده است، انجام شد. ۱۰ میکرولیتر از محلول به یک ستون فاز معکوس C_{18} با طول ۱۵۰ میلی متر و قطر ۲/۱ میلی-متر تزریق و ترموستات ستون در دمای ۲۵ درجه سانتی-گراد تنظیم گردید. در شرایط جداسازی تمام ترکیبات در مدت ۴۵ دقیقه با موفقیت جدا شدند.

تجزیه و تحلیل داده ها

آنالیز داده ها با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین ها از طریق آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال یک درصد انجام شد.

نتایج و بحث

اثر تیمار گاما آمینوبوتیریک اسید (GABA) بر ویژگی های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه توت فرنگی

حجم و وزن ریشه

بیشترین حجم ریشه (۳۷/۰۳ سانتی متر مکعب) در تیمار ۲۰ میلی مولار GABA مشاهده شد (شکل ۱) در حالی که تیمار شاهد و ۱۰ میلی مولار GABA با یکدیگر اختلاف معنی داری نداشتند (جدول ۱). همچنین مشخص شد که تیمارهای GABA باعث افزایش معنی داری در میزان وزن ریشه شدند. تیمار ۲۰ میلی مولار GABA با ۱۸/۵۸ گرم، بیشترین وزن ریشه را به خود

² Chroma

اختصاص داد. چگالی ریشه با افزایش غلظت GABA به طور معنی داری کاهش یافت و بیشترین چگالی در تیمار شاهد ثبت گردید (جدول ۱). کاربرد خارجی GABA می تواند به عنوان یک عامل تنظیم کننده برای رشد و توسعه گیاهی عمل نماید. این امر با افزایش سطح GABA درون زاء، اسید آمینه و هورمون از طریق تنظیم مجدد ژن های حیاتی درگیر در هورمون های گیاهی به دست می آید (Hayat et al., 2023) و با فراهم کردن محیط مناسب برای رشد ریشه ها، می تواند به افزایش سرعت و توسعه ریشه ها کمک کند. از طرف دیگر GABA ممکن است توانایی افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاهان را داشته باشد و متابولیسم نیتروژن و کربن را تنظیم نماید، و به عنوان یک عامل مقاومت در برابر تنش های محیطی عمل کند. با فراهم کردن محلول حاوی GABA، گیاهان ممکن است بهترین پاسخ را در برابر تنش های محیطی مانند خشکی یا نور کم داشته باشند که این می تواند رشد و توسعه ریشه ها را تسهیل کند (Heli et al., 2022). نتایج محققین نشان می دهد که کاربرد GABA منجر به افزایش عملکرد رویشی در گیاه خرفه و افزایش رشد ریشه و اندام هوایی گیاهچه های ذرت شده است، Zeinali Pour and Aghebati, (2022., Li et al., 2016b).

سطح و قند کل برگ

محدوده سطح برگ بوته ها بین ۱۹۵ تا ۲۰۷ سانتی متر مربع بود که البته از لحاظ آماری با یکدیگر اختلاف معنی دار نداشتند (جدول ۱). محدوده قند برگ تیمارهای مختلف نیز بین ۰/۱۲۰ تا ۰/۱۲۲ میلی گرم بر گرم وزن تر متغیر بود که البته از لحاظ آماری با یکدیگر اختلاف معنی داری را نشان ندادند (جدول ۱).

رنگیزه های برگ

در حالی که تیمار شاهد (۱/۱۴۳ میلی گرم بر گرم) و ۱۰ میلی مولار GABA (۱/۳۲۱ میلی گرم بر گرم) با یکدیگر اختلاف معنی داری از نظر کلروفیل کل نداشتند، بیشترین کلروفیل کل در بوته های محلول پاشی

شده با ۲۰ میلی مولار GABA (۱/۳۸۴ میلی گرم بر گرم) به دست آمد (شکل ۲). همچنین در بین تیمارها، تیمار ۲۰ میلی مولار GABA بیشترین میزان کلروفیل b (۰/۵۳۷ میلی گرم بر گرم) را به خود اختصاص داد و پس از آن تیمار ۱۰ میلی مولار GABA (۰/۴۸۶ میلی گرم بر گرم) و تیمار شاهد (۰/۴۰۹ میلی گرم بر گرم) قرار داشتند. به علاوه تیمار ۱۰ میلی مولار GABA بیشترین میزان کاروتنوئید (۰/۵۶۱ میلی گرم بر گرم) را به خود اختصاص داد و پس از آن به ترتیب تیمار ۲۰ میلی مولار GABA (۰/۵۲۱ میلی گرم بر گرم) و تیمار شاهد (۰/۴۶۵ میلی گرم بر گرم) قرار داشتند (شکل ۲). همان طور که ذکر شد GABA ممکن است بر تنظیم فعالیت های هورمونی گیاه تأثیر بگذارد. تنظیم هورمونی مناسب می تواند باعث افزایش فرایندهای فتوسنتزی شود که در نتیجه منجر به افزایش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید در برگ ها می شود. همچنین، GABA در گیاه ذرت تحت تنش غرقابی سبب افزایش کلروفیل و در نتیجه بهبود فتوسنتز شده است که احتمالاً به دلیل حفظ تورژسانس سلولی است که سنتز کلروفیل را تقویت می کند (Salah et al., 2019). علاوه بر این، GABA به عنوان یک ماده آنتی اکسیدان می تواند در حفظ و حمایت از سلول ها در برابر تنش های اکسیداتیو موثر باشد. این مسئله می تواند باعث حفظ کلروفیل و کاروتنوئیدها در برابر تخریب شود. ناشی از فعالیت های اکسیداتیو شود. نتایج پژوهش های محققین در تأثیر محلول پاشی GABA بر ویژگی های فیزیولوژیکی گوجه فرنگی تحت تنش شوری نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل a، کلروفیل کل و کاروتنوئید در تیمار GABA به دست آمد (Zarei et al., 2018).

اثر تیمار فورکلرفنورون (CPPU) بر ویژگی های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه توت-

فرنگی

حجم و وزن ریشه

گرم، بیشترین وزن ریشه را به خود اختصاص دادند و کمترین میزان در بوته‌های محلول‌پاشی نشده (۱۵/۶۴ گرم) به دست آمد (شکل ۱).

هر دو تیمار ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر CPPU توانستند به‌طور معنی‌داری میزان حجم ریشه را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دهند. همچنین مشخص شد تیمارهای ۱۰ و ۵ میلی‌گرم در لیتر CPPU به ترتیب با ۲۴/۸۶ و ۲۲/۲۶

Table 1. The effect of preharvest GABA and CPPU application on the root and leaf characteristics of strawberry cv. Camarosa

	Root volume (cm ³)	Root weight (g)	Root density (g/cm ³)	Leaf area (cm ²)	Leaf total sugar (mg/g)
GABA (mM)					
P value	0.004	0.006	<0.001	0.202	0.985
0	22.63 b	15.64 b	0.692 a	195 a	0.120 a
10	25.63 b	13.35 c	0.521 b	202 a	0.120 a
20	37.03 a	18.85 a	0.503 b	207 a	0.122 a
CPPU (mg/L)					
P value	<0.001	<0.001	0.002	0.015	1
0	22.63 c	15.64 c	0.693 a	195 b	0.120 a
5	38.70 b	22.26 b	0.521 b	205 a	0.121 a
10	46.86 a	24.86 a	0.503 b	211 a	0.120 a

For each trait, different letters indicate significant differences according to Duncan's multiple range test.

نشان ندادند (جدول ۱). CPPU می‌تواند با افزایش فعالیت سیگنال‌دهی سیتوکینین، تقسیم سلولی را در برگ‌ها تحریک کند. افزایش تقسیم سلولی منجر به تولید سلول‌های برگ بیشتر و در نتیجه افزایش سطح برگ می‌شود. سیتوکینین‌ها در غلظت‌های مناسب موجب افزایش سطح برگ و تحریک رشد کلروپلاست می‌شوند همچنین با کاهش مقاومت روزنه‌ای ورود دی‌اکسید کربن به برگ را افزایش داده که موجب افزایش فعالیت کربوکسیلازی آنزیم روپیکو می‌شود و مجموع این عوامل فتوسنتز را افزایش و رشد گیاه را بهبود می‌بخشد (Fathi *et al.*, 2013). نتایج تحقیقات روی سیب‌زمینی نیز نشان داد که محلول‌پاشی CPPU به‌طور قابل توجهی بیشتر پارامترهای رشد گیاه را بهبود بخشید (El-Shraiy and Hegazi, 2010).

رنگیزه‌های برگ

بیشترین میزان کلروفیل a برگ (۰/۹۱۰ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار ۱۰ میلی‌گرم در لیتر CPPU به دست آمد. در حالی که تیمار شاهد و ۵ میلی‌گرم در لیتر CPPU به ترتیب با میزان کلروفیل a ۰/۷۳۳ و ۰/۷۵۳ میلی‌گرم بر گرم با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۳).

چگالی ریشه در تیمار شاهد با اختلاف معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۱). استفاده از سیتوکینین‌ها می‌تواند تقسیم سلولی را تحریک و موجب ساخته شدن برخی پروتئین‌ها شود (Baghalzadeh Koocheh (Baghalzadeh Koocheh, 2015). این امر منجر به افزایش تعداد سلول‌ها و در نتیجه افزایش رشد و نمو گیاه می‌شود. همچنین، سیتوکینین‌ها می‌توانند با افزایش بیان ژن‌های مربوط به برخی فرآیندهای متابولیکی سلولی و همچنین با افزایش فعالیت آنزیم‌های دخیل در افزایش تقسیم سلولی باعث چنین تأثیراتی گردند. از طرف دیگر، سیتوکینین می‌تواند سنتز DNA و RNA را در سلول‌ها افزایش دهد. این امر برای تکثیر سلولی و رشد و نمو گیاه ضروری است (John and Zhang, 2001; Park *et al.*, 2021).

سطح برگ و قند کل برگ

بوته‌های محلول‌پاشی شده با غلظت‌های ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر تیمار CPPU در مقایسه با بوته‌های محلول‌پاشی نشده از سطح برگ بیشتری برخوردار بودند (جدول ۱). مقدار قند کل برگ تیمارهای مختلف نیز بین ۰/۱۲۰ تا ۰/۱۲۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر متغیر بود (جدول ۱) که البته از لحاظ آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌داری را

می‌توانند فعالیت آنزیم‌های کلیدی درگیر در مسیر سنتز کلروفیل را افزایش دهند. همچنین، سیتوکینین‌ها می‌توانند بیان ژن‌های مسئول تولید آنزیم‌های دخیل در مسیر تجزیه کلروفیل را کاهش دهند و تخریب کلروپلاست را به تاخیر اندازند (Zubo *et al.*, 2008). Liu *et al.*, (2017) در راستای نتایج این پژوهش، CPPU توانست محتوای کلروفیل برگ را در درختان خرمالو افزایش دهد (Fathi *et al.*, 2011).

اثر تیمار گاما آمینوبوتیریک اسید (GABA) بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و بیوشیمیایی میوه توت‌فرنگی

صفات مورفولوژیکی میوه

محلول‌پاشی GABA طول، قطر و نسبت طول به قطر میوه را تحت تأثیر قرار نداد (جدول ۲).

همچنین میزان کلروفیل b برگ بین ۰/۴۱۰ تا ۰/۵۲۰ میلی‌گرم بر گرم متغیر بود (شکل ۳). همچنین تیمار شاهد (۱/۱۴۶ میلی‌گرم بر گرم) و ۵ میلی‌گرم در لیتر CPPU (۱/۱۹۶ میلی‌گرم بر گرم) با یکدیگر اختلاف معنی‌داری از نظر کلروفیل کل نداشتند و بیشترین کلروفیل کل در بوته‌های محلول‌پاشی شده با ۱۰ میلی‌گرم در لیتر CPPU (۱/۴۳۰ میلی‌گرم بر گرم) ثبت شد (شکل ۳). هر دو تیمار ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر CPPU توانستند به‌طور معنی‌داری میزان کاروتنوئید را در مقایسه با بوته‌های محلول‌پاشی نشده افزایش دهند (شکل ۳).

نشان داده شده است که سیتوکینین‌ها نقش موثری در بیوسنتز کلروفیل و توسعه کلروپلاست ایفا می‌کنند و



Figure 1. The effect of preharvest GABA and CPPU application on the root volume of strawberry cv. Camarosa (a: control, b: GABA 10mM, c: GABA 20mM, d: control, e: CPPU 5 mg/L, f: CPPU 10 mg/L)

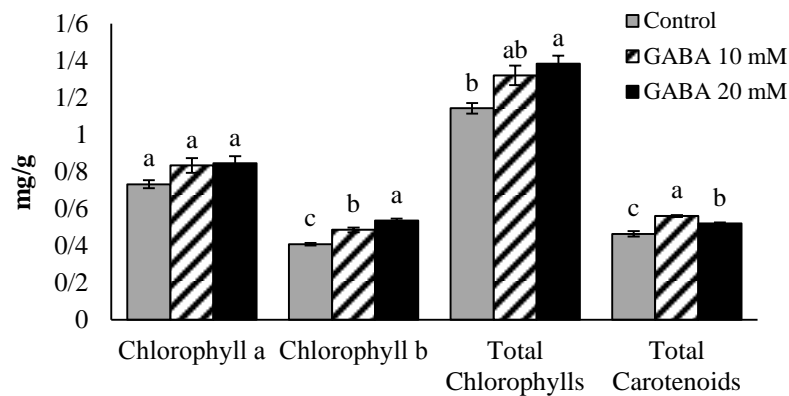


Figure 2. The effect of preharvest GABA application on the leaf pigments of strawberry cv. Camarosa

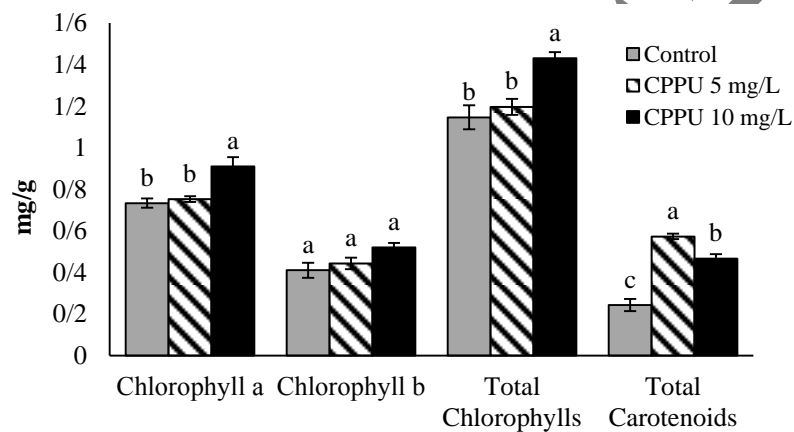


Figure 3. The effect of preharvest CPPU application on the leaf pigments of strawberry cv. Camarosa

به دست آمد (جدول ۲). در حالی که تیمار شاهد (۶۸۰ گرم) و ۱۰ میلی مولار GABA (۷۱۷ گرم) با یکدیگر اختلاف معنی داری از نظر مجموع وزن میوه برداشت شده از هر واحد آزمایش نداشتند، بیشترین مجموع وزن میوه برداشت شده در بوته های محلول پاشی شده با ۲۰ میلی مولار GABA (۷۹۵ گرم) ثبت شد (جدول ۲).

همان طور که قبلا ذکر گردید GABA می تواند باعث رشد گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد محصول شود. در واقع GABA با تاثیر بر فعالیت های هورمونی گیاه می تواند منجر به بهبود ساختار و کیفیت بافت میوه ها گردد. فعالیت هورمونی مناسب به رشد و توسعه سلول های بافت میوه کمک کرده و سبب افزایش سفتی

مقایسه میانگین ها نشان داد طول و قطر میوه به ترتیب از ۳۹/۳۷ تا ۴۵/۳۱ و از ۲۹/۴۸ تا ۳۰/۴۷ میلی متر در تیمارهای مختلف متغیر بود. همچنین نسبت طول به قطر میوه در محدوده ۱/۲۹ تا ۱/۵۴ بود (جدول ۲). تیمارهای ۱۰ و ۲۰ میلی مولار GABA به طور معنی داری توانستند درصد میوه های بدشکل را کاهش دهند و بیشترین تعداد در تیمار شاهد (۳/۳۴ درصد) و کمترین در هر دو غلظت GABA (۲ درصد) مشاهده گردید (شکل ۴). همچنین هر دو تیمار GABA به طور معنی داری توانستند سفتی بافت میوه را در مقایسه با میوه بوته های محلول پاشی نشده افزایش دهند. بیشترین سفتی بافت میوه با محلول پاشی ۲۰ میلی مولار GABA (۱/۹۶ نیوتن بر سانتی متر مکعب)

مهم ارزیابی ظاهری در محصولات تازه خوری باغی می- باشد. تنش های محیطی بر شرایط رنگ میوه موثر است و افزایش روشنایی رنگ در میوه های تیمار شده با GABA می تواند به دلیل خاصیت ضد تنشی آن باشد.

اثر تیمار فورکلرفنورون (CPPU) بر ویژگی- های مورفولوژیکی و بیوشیمیایی میوه توت- فرنگی

صفات مورفولوژیکی میوه

بیشترین طول میوه در تیمار ۱۰ میلی گرم در لیتر CPPU مشاهده شد در حالی که تیمار شاهد و ۵ میلی گرم در لیتر CPPU با یکدیگر اختلاف معنی داری نداشتند. همچنین قطر میوه در محدوده ۲۹/۹۷ تا ۳۰/۵۸ میلی متر متغیر بود. بیشترین نسبت طول به قطر میوه در تیمار ۱۰ میلی گرم در لیتر CPPU به دست آمد. CPPU به عنوان یک سیتو کینین، می تواند به تحریک رشد سلولی در بافت های میوه کمک کند. تحریک تقسیم سلولی در لایه پریکلینال موجب تولید تعداد زیاد سلول می شود. همسو با نتایج این پژوهش، در انگور کاربرد CPPU در افزایش طول و قطر جبهه ها موثر بود (Baghalzadeh Fathi et al., 2015). (Koocheh Baghi et al., 2015) و Assad (2013) نتایج مشابهی از محلول پاشی CPPU با غلظت های ۵ و ۱۰ میلی گرم در لیتر بر اندازه و شکل میوه های آلو و خرمالو گزارش کردند. همچنین CPPU باعث افزایش طول میوه توت- فرنگی گردید که در مطابقت با نتایج این پژوهش، در گزارش های قبلی نیز استفاده از CPPU سبب افزایش طول میوه کیوی گردیده است (Ainalidou et al., 2015).

تیمارهای ۵ و ۱۰ میلی گرم در لیتر CPPU به طور معنی داری توانستند درصد میوه های بد شکل را کاهش دهند. کمترین درصد میوه بد شکل (صفر) در تیمار ۱۰ میلی گرم در لیتر CPPU ثبت گردید که احتمالاً به دلیل تاثیر مثبت سیتو کینین در تشکیل میوه می باشد (شکل ۴)

آن ها می شود. همچنین، GABA ممکن است توانایی تقویت دیواره های سلولی را افزایش دهد با افزایش قدرت دیواره های سلولی، بافت میوه ها می توانند ساختار بهتری داشته و سفتی آن ها افزایش یابد. GABA با فعال کردن آنزیم هایی که در استحکام دیواره سلول نقش دارند از نرم شدن میوه جلوگیری می کند. (Hayat et al., 2023., Yu et al., 2014). همسو با نتایج این پژوهش، غوطه وری توت فرنگی در محلول GABA باعث افزایش سفتی بافت میوه شد (Seyedhajizadeh et al., 2020). نتایج تحقیقات پیشین نشان داده است که محلول پاشی میوه لیمو و انار با GABA به صورت وابسته به غلظت، در افزایش اندازه و عملکرد میوه موثر بوده است (Badiche et al., 2023., Lorente- Mento et al., 2023).

قند کل میوه

محلول پاشی GABA منجر به افزایش میزان قند کل میوه شد. در حالی که تیمار شاهد و ۱۰ میلی مولار GABA اختلاف معنی داری با هم نداشتند، غلظت ۲۰ میلی مولار بیشترین قند کل (۸/۵۶ میلی گرم بر گرم) را به خود اختصاص داد (جدول ۲). گلوکز، فروکتوز و ساکارز قندهای غالب در توت فرنگی می باشند. یافته های قبلی نشان می دهد تیمار GABA در طول دوره انبارداری میوه هایی مانند انگور و توت فرنگی سطح قند محلول بالاتری را به خود اختصاص داد (Zhang et al., 2024., Asgarian et al., 2022). افزایش قند کل را می توان به عملکرد GABA در بهبود شرایط رشد و تنظیم فرآیندهای متابولیکی گیاه نسبت داد.

شاخص های رنگ میوه

شاخص درخشندگی میوه (L) نیز تحت تاثیر تیمار GABA قرار گرفت و میوه های محلول پاشی شده با غلظت ۲۰ میلی مولار GABA از درخشندگی بالاتری برخوردار بودند (جدول ۲). به علاوه شاخص کروما از ۳۸/۸۵ تا ۴۵/۶۰ و زاویه هیو از ۲۵/۹۹ تا ۳۱/۱۹ در تیمارهای مختلف متفاوت بود. رنگ میوه از شاخص های

(Banyal and Banyal, 2020). همچنین سفتی بافت میوه در مقایسه با میوه بوته‌های محلول‌پاشی نشده افزایش یافت (جدول ۲). اثر مثبت تیمار CPPU در زمان ظهور گل آذین‌های انگور، بر سفتی بافت میوه در زمان برداشت گزارش شده است. طبق این بررسی CPPU منجر به تغییراتی در پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی شد که با افزایش محتوای کلسیم و در نتیجه سفتی بیشتر میوه در هنگام برداشت مرتبط بود (Rojas et al., 2021). تیمار CPPU نتوانست مجموع وزن میوه برداشت شده از بوته‌های توت‌فرنگی را تحت تأثیر قرار دهد و مجموع وزن میوه برداشت شده از هر واحد آزمایش بین ۶۷۵ تا ۷۰۲ گرم متغیر بود. احتمالاً به دلیل تأثیر CPPU در تأخیر رسیدن میوه‌های توت‌فرنگی، تعداد میوه‌های برداشت شده در مجموع کاهش یافته و کاربرد آن تأثیری در مجموع وزن میوه برداشت شده نداشت.

قند کل میوه

تیمار CPPU نتوانست میزان قند کل میوه توت‌فرنگی را تحت تأثیر قرار دهد و بیشترین قند کل در غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر CPPU به دست آمد (جدول ۲). CPPU نتوانست متابولیسم هورمون درون‌زای سیتوکینین را در میوه‌های توت‌فرنگی تنظیم کند که در افزایش غلظت قندها در مرحله آخر نمو دخالت داشت. به علاوه، CPPU به طور معنی‌داری سطح اسیدپتیک قابل‌تیترا را طی رسیدن میوه کاهش داد (Li et al., 2016a).

شاخص‌های رنگ میوه

شاخص درخشندگی رنگ میوه و b نیز تحت تأثیر تیمار CPPU قرار گرفت و بیشترین درخشندگی در تیمار ۵ میلی‌گرم در لیتر و بیشترین شاخص b در تیمار شاهد ثبت شد (جدول ۲). محلول‌پاشی CPPU نتوانست شاخص a، کرومای و زاویه هیو رنگ میوه را تحت تأثیر قرار دهد و میزان شاخص کروما از ۳۷/۱۶ تا ۴۹/۲۴ و زاویه هیو از ۲۴/۷۷ تا ۳۱/۱۹ در تیمارهای مختلف متغیر بود. CPPU با تأثیر در افزایش کربوهیدرات محلول به

احتمال زیاد زمینه را برای تسریع واکنش‌های مایلارد در مقابل نور آفتاب در طول دوره رشد و نمو میوه فراهم می‌کند و در نهایت موجب تغییر رنگ میوه می‌شود (Baghalzadeh Koocheh Baghi et al., 2015).

محتوای سیتوکینین میوه

تیمار CPPU نتوانست در سطح احتمال یک درصد میزان سیتوکینین میوه توت‌فرنگی را تحت تأثیر قرار دهد (شکل ۵). CPPU عملاً یک آنالوگ ساختاری سیتوکینین است. بنابراین وقتی به بافت‌ها می‌رسد عملکرد سیتوکینین را تقلید می‌کند و با اتصال به گیرنده‌های سلولی سیتوکینین آن‌ها را تحریک می‌کند (Gerald., 2005).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج نشان داد که محلول‌پاشی بوته‌های توت‌فرنگی رقم کاماروسا توسط گاما آمینوبوتیریک اسید (GABA) نتوانست به طور معنی‌داری رشد و نمو ریشه، کلروفیل کل و کاروتنوئید برگ، سطح برگ، مجموع وزن میوه برداشت شده، سفتی بافت میوه، قند کل میوه و درخشندگی رنگ آن را افزایش و درصد میوه بدشکل را کاهش دهد. در این میان تیمار GABA بر طول، قطر، نسبت طول به قطر میوه و قند برگ در زمان برداشت اثر معنی‌داری نداشت. همچنین مشخص شد که محلول‌پاشی فورکلرفنورون (CPPU) نتوانست به طور معنی‌داری رشد و نمو ریشه، کلروفیل کل و کاروتنوئید برگ، سطح برگ، طول و نسبت طول به قطر میوه، سفتی بافت میوه، قند کل و درخشندگی رنگ میوه را افزایش و درصد میوه بدشکل را کاهش دهد. در این میان تیمار CPPU نتوانست قطر میوه و قند برگ در زمان برداشت را تحت تأثیر قرار دهد. در مجموع میوه‌های حاصل از بوته‌های محلول‌پاشی شده با GABA و CPPU از کیفیت بالاتری برخوردار بودند. در نهایت با توجه به نتایج به دست آمده، محلول‌پاشی بوته‌های توت‌فرنگی رقم کاماروسا با ۲۰ میلی‌مولار GABA و ۱۰ میلی‌گرم در

لیتر CPPU به منظور تولید میوه با کیفیت بالا و عملکرد بیشتر، پیشنهاد می شود.

سپاسگزاری

نویسندگان از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به دلیل در اختیار قرار دادن امکانات برای انجام پژوهش حاضر قدردانی می نمایند.

Table 2. The changes of some physicochemical characteristics of strawberry fruit cv. Camarosa in response to preharvest GABA and CPPU application

	Fruit length (mm)	Fruit diameter (mm)	Length/diameter	Fruit firmness (N/cm ²)	The total weight of harvested fruit (g)	Fruit total sugar (mg/g)	L Value	b Value
GABA (mM)								
P value	0.181	0.138	0.121	<0.0001	0.022	0.009	0.022	0.180
0	39.37 a	30.47 a	1.29 a	1.00 c	680 b	7.46 b	24.66 b	23.67 a
10	44.70 a	30.41 a	1.47 a	1.43 b	717 b	7.70 b	28.66 a	18.33 a
20	45.31 a	29.48 a	1.54 a	1.96 a	795 a	8.56 a	29.66 a	19.00 a
CPPU (mg/L)								
P value	0.078	0.939	0.088	<0.001	0.742	0.009	0.024	0.028
0	37.39 b	30.47 a	1.30 b	1.00 c	680 a	7.46 b	24.66 b	24.00 a
5	45.14 ab	29.97 a	1.51 ab	1.23 b	702 a	8.63 a	33.00 a	23.67 a
10	65.51 a	30.58 a	1.69 a	1.30 a	675 a	8.26 a	28.00 b	15.67 b

For each trait, different letters indicate significant differences according to Duncan's multiple range test.

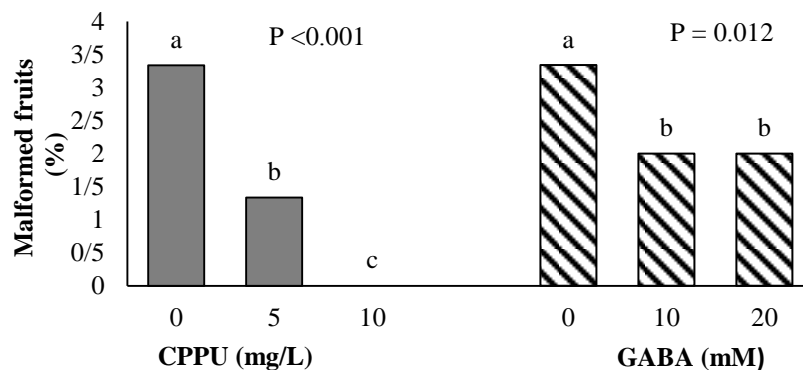


Figure 4. The effect of preharvest GABA and CPPU application on the malformed fruit of strawberry cv. Camarosa

$P < 0.001$

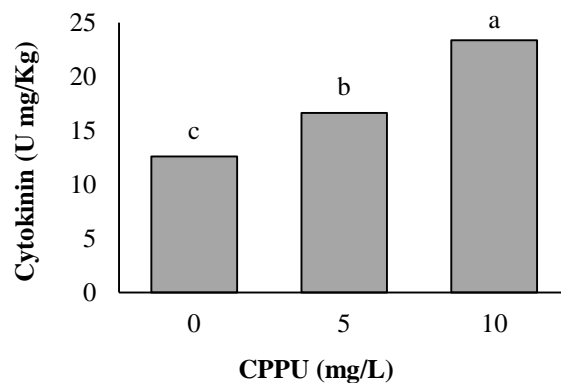


Figure 5. The effect of preharvest CPPU application on the fruit cytokinin content of strawberry cv. Camarosa

References

- Abd El-Gawad, H. G., Mukherjee, S., Farag, R., Abd Elbar, O. H., Hikal, M., El-Yazied, A. A., Abdelhady, S. A., Helal, N., ElKelish, A., Nahhas, N. E., Azab, E., Ismail, I. A., Mbarki, S., & M. Ibrahim, M. F. (2021). Exogenous γ -aminobutyric acid (GABA)-induced signaling events and field performance associated with mitigation of drought stress in *Phaseolus vulgaris* L. *Plant Signaling & Behavior*, 16(2), 1853384. <https://doi.org/10.1080/15592324.2020.1853384>
- Aghaeifard, F., Babalar, M., & Ahmadi, A. (2015). The effect of salicylic acid foliar spraying on qualitative characters of strawberry fruit (*Fragaria x ananassa* cv. Camarosa). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 45(4), 325-334. <https://doi.org/10.22059/ijhs.2015.53482>. (In Persian)
- Ainalidou, A., Karamanoli, K., Menkissoglu-Spiroudi, U., Diamantidis, G., & Matsi, T. (2015). CPPU treatment and pollination: Their combined effect on kiwifruit growth and quality. *Scientia Horticulturae*, (193), 147-154.
- Álvarez, S., Navarro, A., Nicolás, E., & Sánchez-Blanco, M. J. (2011). Transpiration, photosynthetic responses, tissue water relations and dry mass partitioning in callistemon plants during drought conditions. *Scientia Horticulturae*, 129(2), 306-312.
- Anwar, R., Gull, S., Nafees, M., Amin, M., Hussain, Z., Khan, A. S., & Malik, A. U. (2018). Pre-harvest foliar application of oxalic acid improves strawberry plant growth and fruit quality. *Journal of Horticultural Science and Technology*, 1(1), 35-41.
- Asgarian, Z. S., Karimi, R., Ghabooli, M., & Maleki, M. (2022). Biochemical changes and quality characterization of cold-stored 'sahebi' grape in response to postharvest application of GABA. *Food chemistry*, 373, Article 131401. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131401>
- Assad, S. A. (2013). Effect of CPPU on fruit set, drop, yield and fruit quality of Hollywood and Santarosa plum cultivars. *Egyptian Journal of Horticulturae*, 40(2), 187-204.
- Badiche, F., Valverde, J.M., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Serrano, M., & Valero, D. (2023). Preharvest use of γ -Aminobutyric Acid (GABA) as an innovative treatment to enhance yield and quality in lemon fruit. *Horticulturae*, (9), 93.
- Baghalzadeh Koocheh Baghi, A., Zaare Nahandi, F., & Naghshband Hassani, R. (2015). Effect of CPPU and GA3 on fruit quality and quantity traits of Sultanina grape. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 46(2), 259-268. doi: 10.22059/ijhs.2015.54621. (In Persian)
- Banyal, A. K., & Banyal, S. K. (2020). Forchlorfenuron (CPPU): A promising plant growth regulator augments fruit size, fruit weight, quality and yield of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) cv. Hayward. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(5), 2091-2101.
- Davani, D., Nabipour, M., & Roshanfekar Dezfuli, H. (2016). Different effects of cytokinin and auxin on yield and yield components of grain corn (*Zea mays* L.) under saline conditions. *Plant Productions*, 40(1), 69-80. doi: 10.22055/ppd.2016.12433. (In Persian)
- El-Shraiy, M., & Hegazi, A. M. (2010). Influence of JA and CPPU on Growth, Yield and α - Amylase Activity in Potato Plant (*Solanum tuberosum* L.). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(2), 160-170.
- Fathi, M. A., Mohamed, A. I., & Abd El-Bary, A. (2011). Effect of Sitofex (CPPU) and GA3 spray on fruit set, fruit quality, yield and monetary value of "Costata" Persimmon. *Nature and Science*, 9(8), 40-49.
- Fathi, Q. A., Jalilvand, P., & Ismailpour, B. (2013). Plant growth regulating substances: principles and application. Translation, second edition. Academic Jihad Publications (Mashhad Ferdowsi University). 280 pages. (In Persian)

- Ge, L., Yong, J. W., Tan, S. N., Yang, X. H., & Ong, E. S. (2004). Analysis of some cytokinins in coconut (*Cocos nucifera* L.) water by micellar electrokinetic capillary chromatography after solid-phase extraction. *Journal of chromatography.A*, 1048(1), 119-126. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.07.031>
- Gerald, L. 2005. Plant hormones. *Academic Press*, 568 pages.
- Gross, C. K., Wang, C. Y., & Saltveit, M. (2016). The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. Agriculture Handbook 66, United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 780 p.
- Hadadinejad, M., Ghasemi, K., Shadmehri, F., & Izadyar, H. (2020). Growth and yield comparison of two strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch) cultivars in open field under soil and soilless cultures. *Horticultural Plants Nutrition*, 2(2), 142-157. <https://doi.org/10.22070/hpn.2019.3197.1013>. (In Persian)
- Hayat, F., Khan, U., Li, J., Ahmed, N., Khanum, F., Iqbal, S., Altaf, M. A., Ahmad, J., Javed, H. U., Peng, Y., Ma, X., Tu, P., Chen, J., & Shahid, M. A. (2023). γ aminobutyric acid (GABA): A key player in alleviating abiotic stress resistance in horticultural crops: Current insights and future directions. *Horticulturae*, 9(6), 647. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9060647>.
- Heli, Z., Hongyu, C., Dapeng, B., Shin, T. Y., Yejun, Z., Xi, Z., & Yingying, W. (2022). Recent advances of γ -aminobutyric acid: Physiological and immunity function, enrichment, and metabolic pathway. *Frontiers in Nutrition*, (9), 1076223.
- John, P. C. L., & Zhang, K. (2001). Cytokinin control of cell proliferation in plant development. In D Francis, ed, *The plant cell cycle and its interfaces*, CRC Press, Boca Raton, FL, pp 190–21.
- Li, C., Zhu, J., Sun, L., Cheng, Y., Hou, J., Fan, Y., & Ge, Y. (2021). Exogenous γ -aminobutyric acid maintains fruit quality of apples through regulation of ethylene anabolism and polyamine metabolism. *Plant physiology and biochemistry: ppb*. (169), 92–101.
- Li, L., Li, D., Luo, Z., Huang, X., & Li, X. (2016a). Proteomic response and quality maintenance in postharvest fruit of strawberry (*Fragaria × ananassa*) to exogenous cytokinin. *Scientific Repots*, 6, 27094.
- Li, W., Lin, J., Ashraf, U., Li, G., Li, Y., Lu, W., Gao, L., Han, F., & Hu, J. (2016b). Exogenous γ -aminobutyric Acid (GABA) application improved early growth, net photosynthesis, and associated physio-biochemical events in maize. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1–13.
- Liu, X., Li, Y., & Zhong, S. (2017). Interplay between light and plant hormones in the control of arabidopsis seedling chlorophyll biosynthesis. *Frontiers in Plant Science*, 8, 291813. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01433>
- Lorente-Mento, J. M., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Carrión-Antoli, A., Valero, D., & Serrano, M. (2023). γ -Aminobutyric acid treatments of pomegranate trees increase crop yield and fruit quality at harvest. *Scientia Horticulturae*, 309, 111633.
- Ma, Z., Ge, L., Lee, A. S., Yong, J. W., Tan, S. N., & Ong, E. S. (2008). Simultaneous analysis of different classes of phytohormones in coconut (*Cocos nucifera* L.) water using high-performance liquid chromatography and liquid chromatography-tandem mass spectrometry after solid-phase extraction. *Analytica chimica acta*, 610(2), 274-281. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2008.01.045>
- Massolo, J. F., Lemoine, M. L., Chaves, A. R., Concellón, A., & Vicente, A. R. (2014). Benzyl-aminopurine (BAP) treatments delay cell wall degradation and softening, improving quality maintenance of refrigerated summer squash. *Postharvest Biology and Technology*, (93), 122-129.
- McCready, R. M., Guggolz, J., Silveira, V., & Owens, H. S. (1950). Determination of starch and amylase in vegetables. *Analytical Chemistry*, 22, 1156-1158.
- Miller, K., Feucht, W., & Schmid, M. (2019). Bioactive compounds of strawberry and blueberry and their potential health effects based on human intervention studies: A brief overview. *Nutrients*, 11, 1510.
- Moralesa, C. G., Pinob, M. T., & Del Pozoc, A. (2013). Phenological and physiological responses to drought stress and subsequent rehydration cycles in two raspberry cultivars. *Scientia Horticulture*, 162, 234-241.
- Nankali, A., Karami, F., & Sarseifi, M. (2014). Evaluation of new strawberry cultivars for Iran. *Acta Horticulture*, 1049, 423-430.
- 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. *Journal of Plant Growth Regulation*, 33(2), 408–419.
- Nouvrozi, N., & Esmaeili, M. (2013). The production of Functional food containing GABA. The twenty-first National Congress of Food Science and Technology, Shiraz University, 320-327. (In Persian)

- Park, J., Lee, S., Park, G., Cho, H., Choi, D., Umeda, M., Choi, Y., Hwang, D., & Hwang, I. (2021). Cytokinin-responsive growth regulator regulates cell expansion and cytokinin-mediated cell cycle progression. *Plant Physiology*, 186,1734-46. doi: 10.1093/plphys/kiab180
- Pathare, P. B., Opara, L. U., & Al-Said, A. F. (2013). Colour measurement and analysis in fresh and processed food: A review. *Food Bioprocess Technology*, 6(1), 36-60.
- Patil, H. G., Ravindran, C., Jayachandran, K. S., & Jaganath, S. (2006). Influence of CPPU, TDZ and GA₃ on the postharvest quality of grape (*Vitis vinifera* L.) cultivares 'Anab-e-shahi' and 'Dilkush'. *Acta Horticulturae*, 727, 489-494.
- Rojas, B., Suárez-Vega, F., Saez-Aguayo, S., Olmedo, P., Zepeda, B., Delgado-Rioseco, J., Defilippi, B.G., Pedreschi, R., Meneses, C., Pérez-Donoso, A.G., & Campos-Vargas, R. (2021). Pre-anthesis cytokinin applications increase table grape berry firmness by modulating cell wall polysaccharides. *Plants*, 10(12), 2642.
- Salah, A., Zhan, M., Cao, C., Han, Y., Ling, L., Liu, Z., Li, P., Ye, M., & Jiang, Y. (2019). γ -Aminobutyric acid promotes chloroplast ultrastructure, antioxidant capacity, and growth of waterlogged maize seedlings. *Scientific Reports*, (9)484. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36334-y>
- Seyedhajizadeh, H., rezaei, A., farokhzad, A., gholizadeh vakilkandi, F. (2020). Effect of Postharvest treatments of GABA and salicylic acid in antioxidant quality and marketability of Strawberry. *Plant Process and Function*; 9 (38), 113-128. (In Persian)
- Shindy, W. W., & Smith, O. E. (1975). Identification of plant hormones from cotton ovules. *Plant physiology*, 55(3), 550-554. <https://doi.org/10.1104/pp.55.3.550>
- Soukht Saraei, N., Varasteh, F., & Alizadeh, M. (2024). The effect of foliar application of ascorbic acid and oxalic acid on the physiological responses of strawberry cv. Camarosa. *Journal of Horticultural Science*, 37(4), 1073-1086. <https://doi.org/10.22067/jhs.2023.81120.1240>. (In Persian)
- Taha, N. M., & Abd El Ghany, K. M. (2016). Some horticultural and pathological studies to reduce fruit decay of "Anna" apple and increase fruit set, yield and improve fruit quality and storability. *The Journal of American Science*, 12(1), 104-122.
- Tang, Y., Wang, L., Ma, C., Liu, J. & Huanxiu. (2011). The Use of HPLC in Determination of Endogenous hormones in anthers of bitter melon. *Journal of Life Sciences*, 5, 139-142.
- Yu, C., Zeng, L., Sheng, K., Chen, F., Zhou, T., Zheng, X., & Yu, T. (2014). γ -Aminobutyric acid induces resistance against *Penicillium expansum* by priming of defense responses in pear fruit. *Food Chemistry*, 159, 29-37.
- Zabadal, T. J., & Bukovac, M. J. (2006). Effect of CPPU on fruit development of seedless and seeded grape cultivars. *HortScience*, 41, 154-157.
- Zarei, L., Sorah Saba, M., Vafai, Y., & Javadi, T. (2018). Effect of gamma-amino-butyric acid foliar application on physiological characters of tomato (cv. Namib) under salinity stress. *Plant Productions*, 41(1), 15-28. doi: 10.22055/ppd.2018.13547 (In Persian)
- Zeinali Pour, N., & Aghebati, F. (2022). The Effect of Gamma amino butyric acid on improving dehydration stress tolerance in *Portulaca oleracea*. *Journal of Horticultural Science*, 36(3), 683-691. (In Persian)
- Zhang, Y., Lin, B., Tang, G., Chen, Y., Deng, M., Lin, Y., o Li, M., He, W., Wang, Y., Zhang, Y., Luo, Y., Chen, Q., Wang, X., & Tang, H. (2024). Application of γ -aminobutyric acid improves the postharvest marketability of strawberry by maintaining fruit quality and enhancing antioxidant system, *Food Chemistry*, 21,101252, ISSN 2590-1575.
- Zubo, Y. O., Yamburenko, M. V., Selivankina, S. Y., Shakirova, F. M., Avalbaev, A. M., Kudryakova, N. V., Zubkova, N. K., Liere, K., Kulaeva, O. N., Kusnetsov, V. V., & Börner, T. (2008). Cytokinin stimulates chloroplast transcription in detached barley leaves. *Plant Physiology*, 148(2), 1082-1093. <https://doi.org/10.1104/pp.108.122275>.