تأثیر ۶-بنزیل‌آمینوپورین و متیل جاسمونات در بهبود عملکرد و کیفیت توت‌فرنگی رقم آلبیون

فرزاد عسگری[۱]، سپیده کلاته جاری*[۲]، بابک متشرع زاده[۳]، مرضیه قنبری جهرمی[٤] و وریا ویسانی[٥]

۱- دانشجوی دکتری، گروه تخصصی علوم باغبانی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲- استادیار، گروه تخصصی علوم باغبانی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۳- دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
٤- استادیار، گروه تخصصی علوم باغبانی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
٥- استادیار، گروه تخصصی علوم باغبانی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
* ایمیل نویسنده مسئول: kalatehjari@srbiau.ac.ir
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/٦/۱- تاریخ پذیرش: ۱٤۰۲/٦/۳۱)

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر ٦-بنزیل‌آمینوپورین (6-BAP) و متیل جاسمونات (MJ) بر ویژگی‌های مختلف کمی و کیفی توت-فرنگی رقم آلبیون، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه‌ای واقع در شهرستان دماوند اجرا شد. فاکتور اول، 6-BAP در دو سطح (شاهد و ۱۰۰ میلی‌گرم‌در لیتر) و فاکتور دوم، MJ در سه سطح (شاهد، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) بود. بوته‌ها در مرحله رشد رویشی دو بار با 6-BAP و در مرحلهٔ زایشی سه نوبت با MJ محلولپاشی شدند. بر اساس نتایج، کاربرد 6-BAP در مرحلهٔ رویشی، باعث تولید بوته‌هایی با تعداد برگ بیشتر و بزرگتر و طوقه‌هایی قطورتر شد. بالاترین تعداد و وزن میوه، شاخص سبزینگی برگ، شاخص طعم، آنتوسیانین کل و طول عمر میوه، مربوط به تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم‌در لیتر 6-BAP در شرایط استفاده از ۲۰۰ میکرومولار MJ بود. کاربرد سیتوکینین توأم با هر یک از غلظتهای MJ، باعث بهبود معنی‌دار عملکرد بوته و سفتی بافت میوه نسبت به شاهد شد. بنابراین، می‌توان بهره‌گیری پیش‌ازبرداشت از این تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی را برای افزایش میزان تولید، بهبود کیفیت میوه‌ها و افزایش عمر پس‌ازبرداشت این محصول آسیب‌پذیر پیشنهاد نمود.

واژه‌های کلیدی: محلولپاشی گیاه، محتوای آنتوسیانین کل، محتوای فنول کل، ماندگاری میوه

مقدمه

توت‌فرنگی (*Fragaria×ananassa* Duch.) متعلق به جنس *Fragaria* از تیرهٔ گلسرخیان (Rosaceae) است. نگهداری توت‌فرنگی طی دورهٔ پس‌ازبرداشت نسبتاً دشوار است که غالباً به‌دلیل حساسیت بالا به آسیب‌های مکانیکی و از دست رفتن آب محصول در نتیجهٔ بافت نرم میوه است (Da Silva *et al*., 2019). بیشترین تمرکز بر تحقق کشاورزی پایدار تاکنون مبتنی بر راهکارهای داخل مزرعه بوده است؛ به‌طوری که تقریباً دو سوم تحقیقات علمی منتشر شده در این زمینه، توصیه‌های مختلفی از جمله این که چه اقدامات مدیریتی باید انجام شود و به چه شکل صورت پذیرد تا سطح تولید محصولات کشاورزی افزایش یابد، ارائه داده‌اند (Velten *et al*., 2015).

امروزه استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد و هورمون‌های گیاهی در مزرعه یا گلخانه، به‌عنوان یک ابزار مدیریتی کارآمد در تنظیم صفات فیزیولوژیکی مختلف گیاهان و بهبود ویژگی‌های عملکردی و کیفی در محصولات خوراکی محسوب می‌شود (Zahedipour-Sheshglani & Asghari, 2020) که در صورت استفاده از غلظت مناسب، مزایای اقتصادی قابل توجهی برای تولیدکنندگان به‌همراه دارند. بعضی از هورمون‌های رشد، به طور طبیعی و درون‌زا تولید می‌شوند اما گاهی کاربرد خارجی آنها نیز به منظور بهبود میوه‌بندی، کیفیت و عملکرد مورد نیاز است (Tyagi *et al*., 2017).

۶-بنزیل‌آمینوپورین (6-BAP) یکی از سیتوکینین‌های مصنوعی است که در تقسیم سلولی، میوه‌بندی و تسریع رشد میوه، تشکیل شاخساره، بهبود عملکرد و افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌ها نقش مهمی ایفا می‌کند (Liu *et al*., 2019). کاربرد سیتوکینین‌ها در گیاه بامیه (*Abelmoschus esculentus* L.) باعث افزایش ارتفاع گیاه، تعداد و سطح برگها، اندازه و وزن میوه، عملکرد و کلروفیل کل بوده است (Mostafa & Brengi, 2018) و در گیاه سینگونیوم (*Syngonium podophyllum*) افزایش محتوای کلروفیل، کربوهیدرات کل، ارتفاع گیاه و تعداد برگ را در پی داشت (Kasem & Helaly, 2021). در آزمایشی بر روی توت‌فرنگی (*Fragaria×ananassa* Duch.)، محققین 6-BAP را به دو روش محلول‌پاشی برگی و خیس کردن بوته‌ها با غلظت‌های ۹۰۰، ۱۲۰۰ یا ۱۵۰۰ میلی‌گرم-در لیتر استفاده کردند. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی برگی در تولید ساقهٔ رونده نسبت به روش خیس کردن موثرتر بود و در مجموع میزان رشد و تعداد ساقه‌های روندهٔ تولید شده در تیمار محلول‌پاشی برگی با غلظت ۹۰۰ میلی‌گرم‌در لیتر بهترین نتیجه را به همراه داشت (Kim *et al*., 2017).

متیل جاسمونات (MJ) در فرایندهای فیزیولوژیکی متعددی دخالت دارد که عمدتاً شامل تنظیم پاسخ‌های دفاعی گیاه علیه پاتوژن‌ها و تنش‌های غیر زیستی است؛ همچنین نقش مهمی در رشد میوه ایفا می‌کند. اثر کاربرد MJ بر کیفیت میوه، بیشتر در تیمارهای پس‌ازبرداشت شناخته شده است. کاربرد MJ به عنوان تیمار پیش‌ازبرداشت، چندین اثر دارد که به گونه و رقم گیاه، دوز مصرفی و مرحلهٔ فنولوژیکی بستگی دارد (Zuñiga *et al*., 2020).

علاوه بر آن، سنتز کلروفیل و اثرگذاری بر ویژگی-های فیزیکی میوه مانند وزن، رنگ و سفتی بافت نیز از دیگر نقش‌های گزارش شدهٔ جاسمونات-هاست (Asghari, 2019; Saavedra *et al*. 2016). در یک آزمایش اثر کاربرد پیش‌ازبرداشت MJ با استفاده از سه تیمار بر روی توت‌فرنگی (*Fragaria×ananassa* Duch.) بررسی شد که شامل کاربرد ۲۵۰ میکرومول در لیتر MJ در مرحلهٔ گلدهی، میوهٔ سبز درشت و نیز میوهٔ رسیده بود. طبق نتایج، افزایش دفعات کاربرد MJ باعث افزایش آنتوسیانین در مقایسه با تیمار شاهد شد اما بر سفتی و وزن میوه تأثیر معنی‌داری نداشت (Zuñiga *et al*., 2020). در یک مطالعه نیز اثر محلول‌پاشی پیش‌ازبرداشت با غلظت‌های مختلفی از اسید سالیسیلیک، متیل‌جاسمونات و نیترات کلسیم بر روی گیاه توت‌فرنگی (*Fragaria×ananassa* Duch.) بررسی شد. طبق نتایج، میوه‌های حاصل از تیمار ۵۰ پی‌پی‌ام MJ، بالاترین محتوای مواد جامد محلول، پایین‌ترین درصد اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون و بالاترین نسبت قند به اسید را داشتند (Monica *et al*., 2019). شایان ذکر است که جاسمونات‌ها به عنوان ترکیباتی ایمن محسوب می‌شوند و کاربرد این مواد فیتوشیمیایی به عنوان یک افزودنی به محصولات خوراکی، توسط سازمان‌های بین‌المللی مورد قبول واقع شده است (Asghari, 2019).

با توجه به دشواری نگهداری توت‌فرنگی و آسیب‌پذیری بالای این محصول ارزشمند، استفاده از 6-BAP و MJ به عنوان ابزارهای مدیریتی برای کاهش ضایعات، مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، اثرات آنها بر میزان تولید محصول و چندین ویژگی کمی و کیفی گیاه نیز ارزیابی شد تا در صورت مشاهده اثرات مطلوب بر ویژگی‌های مورد بررسی، کاربرد پیش‌ازبرداشت این تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی پیشنهاد شود.

مواد و روش‌ها

مشخصات محل آزمایش و نحوه اجرای تیمارها

مطالعه حاضر در سال ۱٤۰۰ در گلخانهٔ هیدروپونیک آلبیون واقع در شهرستان دماوند استان تهران در منطقه‌ای با طول جغرافیایی ′۰۸ °۵۲ و عرض جغرافیایی ′٦٦ °۳۵ و ارتفاع ۱۹۵۵ متر از سطح دریا بر روی توت‌فرنگی رقم آلبیون با هدف بررسی اثر 6-BAP و MJ بر ویژگی‌های مختلف میوه و بوته توت‌فرنگی اجرا شد. طی مدت آزمایش در فصل پاییز، متوسط دمای روز/شب گلخانه ۲۵/ ۱۵ درجهٔ سلسیوس، رطوبت نسبی ٦۵ درصد و دورهٔ روشنایی طبیعی آن ۱۱ ساعت روز/ ۱۳ ساعت شب بود.

در اول مهرماه سال ۱٤۰۰ رانرهای جدا شده از بوته‌های مادری موجود در گلخانه به کیسه‌های کشت پلی‌اتیلنی ۸ لیتری به طول ۳۵، عرض ۲۰ و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر منتقل شدند. هر کیسه با بستری متشکل از کوکوپیت ریز وارداتی از کشور سریلانکا و پرلیت با قطر ۵-۳ میلیمتر (شرکت پرشیا پرلیت اصفهان) به نسبت کوکوپیت:پرلیت (٦۰ درصد: ٤۰ درصد) پر شد و در هر یک، ٤ رانر به فاصلهٔ ۱۰ سانتیمتر از یکدیگر کشت شد. پیش از نخستین تیمار محلول‌پاشی، غنچه‌ها و برگ‌های مسن‌تر حذف شدند و سه برگ بر روی هر بوته حفظ شد. آبیاری، یک روز در میان صورت گرفت و

کودآبیاری نیز با تغییراتی در محلول غذایی بسته به مرحلهٔ رشدی بوته‌ها انجام شد.

در مرحلهٔ رشد رویشی، بوته‌ها با تنظیم‌کنندهٔ رشد گیاهی 6-BAP (Sigma-Aldrich) محلولپاشی شدند. برای حل کردن آن از چند قطره اتانول ۹۶ درصد استفاده شد و توئین ۲۰ نیز به عنوان سورفکتانت به آن افزوده شد. رانرها ۲۱ روز پس از انتقال به کیسه‌ها و رشد مناسب ریشه‌ها، با ۱۰۰ میلی‌گرم‌در لیتر 6-BAP محلولپاشی شدند و یک هفته بعد (پیش از گل‌دهی)، محلولپاشی تکرار شد. در هر نوبت، نیمی از بوته‌ها با ۳۰ میلی‌لیتر 6-BAP به ازاء هر گیاه و نیمی دیگر با حجم مشابهی از آب مقطر به‌عنوان تیمار شاهد محلولپاشی شدند.

دو هفته پس از گلدهی در ابتدای مرحلهٔ میوهٔ سبز نارس، سپس در مرحلهٔ میوهٔ سبز درشت (۱۰ روز بعد از میوهٔ سبز نارس) و نوبت آخر، دو روز قبل از برداشت میوه، در مرحلهٔ میوهٔ قرمز رسیده، محلولپاشی با MJ (Sigma-Aldrich) که به آن ۰/۱ درصد توئین ۲۰ افزوده شده بود، بر روی هر دو گروه بوته‌های تیمار شده با 6-BAP و شاهد صورت گرفت.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی، شامل 6-BAP در دو سطح (صفر و ۱۰۰ میلی‌گرم‌در لیتر) و MJ در سه سطح (صفر، ۱۰۰ و۲۰۰ میکرومولار) با سه تکرار اجرا شد. مقایسه میانگین‌ها به کمک آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ صورت گرفت.

ویژگی‌های مورد ارزیابی

در ابتدای رشد زایشی، تعداد و سطح برگ، و قطر طوقه در بوته‌های تیمار شده با 6-BAP و گروه شاهد، اندازه‌گیری شد. قطر طوقه با کولیس دیجیتالی ارزیابی شد و سطح برگ پس از تصویربرداری با اسکنر، با استفاده از نرم-افزار ImageJ محاسبه شد. تعداد گل‌ها و میوه‌ها در طول آزمایش شمارش شد و وزن میوه‌ها پس‌از-برداشت در پایان آزمایش با استفاده از ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. بدین منظور، از هر بوته در هر تکرار، ۷ نمونه به‌طور تصادفی انتخاب و میانگین وزن برای یک میوه منفرد ثبت شد. وزن کل میوه‌های برداشت شده از هر بوته به‌عنوان عملکرد بوته ثبت شد.

شاخص سبزینگی برگ (SPAD)

در انتهای آزمایش، شاخص سبزینگی برگ به‌کمک یک کلروفیل‌متر دستی (Hansatech انگلستان، مدل CL-01) اندازه‌گیری شد. بدین صورت که محتوای کلروفیل روی سه برگ سالم در هر بوته اندازه‌گیری شده و میانگین آن ثبت شد.

شاخص طعم (TSS/TA)

در پایان آزمایش، میزان مواد جامد محلول (TSS) و اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون (TA)، بر روی میوه‌های چیده شده در مرحلهٔ بلوغ تجاری (قرمز کامل) بررسی شد. برای سنجش TSS، شاخص انکساری عصارهٔ میوه‌ها به‌کمک رفرکتومتر (TR Turoni s.r.l., Italy) اندازه‌گیری شد. برای سنجش TA، میوه‌ها با یک همزن کاملاً له شده و ۱۰ دقیقه در ۳۰۰۰rpm سانتریفیوژ شدند (Robles-Flores *et al.*, 2018) TA با تیتراسیون عصارهٔ میوه تا pH 8.1 با استفاده از NaOH ۰/۱ نرمال تعیین و به-صورت درصد اسید سیتریک بیان شد (Wei *et al.*,

(2018). در نهایت، با تقسیم TSS بر TA شاخص طعم محاسبه شد.

فنول کل میوه

برای ارزیابی میزان فنول کل میوه‌ها از سنجش (Fast FBBB Blue BB) در مرحلهٔ رسیدن کامل، در پایان آزمایش استفاده شد (Lester *et al*., 2012).

محتوای ویتامین C میوه

میزان ویتامین C در مرحلهٔ بلوغ تجاری، بلافاصله بعد از برداشت اندازه‌گیری شد. یک گرم میوه در ۵ میلی‌لیتر اسید متافسفریک ۵ درصد سرد شده با یخ، همگن شد و بعد در ۱۰۰۰۰×g (۱۵ دقیقه، ۲ درجهٔ سلسیوس) سانتریفیوژ شد و روشناور آن نگهداری شد. عصاره‌گیری رسوب حاصل دو بار دیگر صورت گرفت. در نهایت، از روشناور حاصل برای تعیین اسید اسکوربیک (AsA) آزاد و کل با روش اسپکتروفتومتری در طول موج ۵۲۵ نانومتر استفاده شد. غلظت AsA آزاد و کل با یک منحنی استاندارد تهیه شده از اسید اسکوربیک در حضور دی کلروایندوفنل ارزیابی شد. مجموع AsA آزاد و اسید دهیدرواسکوربیک برابر با AsA کل است (Lester *et al*., 2012).

آنتوسیانین کل

میزان آنتوسیانین میوه‌های در مرحلهٔ رسیدن کامل، در پایان آزمایش به روش pH افتراقی و مطابق روش Lee *et al*. (2005) و با کمی تغییرات انجام شد. به این صورت که ۱۵۰ میلی‌گرم از میوه با نیتروژن مایع آسیاب شد و سپس با EtOH/1.5 mN HCL (85/15, v/v) همگن شد و یک شب در تاریکی در دمای ٤ درجهٔ سلسیوس نگهداری شد. سپس نمونه‌ها در ۱۵۰۰۰×g طی ۱۰ دقیقه در ٤ درجهٔ سلسیوس سانتریفیوژ شدند. جذب در اسپکتروفتومتر (V-650 UV-Vis spectrophotometer, Jasco Inc., USA) در ۵۲۰ نانومتر تعیین شد (Garrido-Bigotes *et al*., 2018).

سفتی میوه

سفتی بافت توت‌فرنگی‌ها در مرحلهٔ بلوغ تجاری، به‌کمک دستگاه پنترومتر (FR-5120, LUTRON, Taiwan)، به‌صورت تصادفی در سه نقطه از هر میوه اندازه‌گیری و میانگین آن به نیوتن (N) گزارش شد.

طول عمر میوه پس‌ازبرداشت

توت‌فرنگی‌ها بر مبنای یکنواختی اندازه و رنگ و نبود آسیب سطحی انتخاب و سریعاً به آزمایشگاه مجاور گلخانه منتقل شدند. سپس، میوه‌ها را در محفظه‌های پلی‌اتیلنی پانچ‌دار در دمای ٦ درجه سلسیوس با رطوبت نسبی ۵۵–۵۰ درصد نگهداری کردیم. تعداد روزهای ماندگاری میوه‌ها در پایان آزمایش با توجه به کیفیت ظاهری آنها و عدم آلودگی قارچی یا باکتریایی ارزیابی شد.

نتایج و بحث

تعداد برگ، سطح برگ و قطر طوقه

مطابق جدول ۱، اثر 6-BAP بر تعداد برگ و سطح برگ و نیز قطر طوقه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد و هر یک از این ویژگی‌ها، در آغاز رشد زایشی، در بوته‌هایی که با ۱۰۰ میلی‌گرم‌در لیتر 6-BAP محلولپاشی شده بودند؛ به‌طور معنی-داری نسبت به شاهد بالاتر بود (جدول ۲). طبق

مطالعات، سیتوکینین‌ها پیش‌نیاز آغازش برگ هستند؛ چنان که پیشتر نیز افزایش تعداد برگ در توت‌فرنگی در نتیجهٔ کاربرد بنزیل‌آدنین گزارش شده است (Kour *et al*., 2017) همچنین، در غلظت بالا می‌توانند با تحریک سلول‌های برگ به اتساع، برگ‌های بزرگتری تولید کنند. بیش‌بیانی ژن *ANT* منجر به افزایش اندازهٔ برگ می‌شود. سطوح رونوشت *ANT* می‌تواند در پاسخ به کاربرد سیتوکینین خارجی افزایش یابد (Wu *et al*., 2021). تولید طوقه قطورتر نیز می‌تواند مربوط به ترغیب تقسیم سلولی توسط سیتوکینین باشد (Ragini *et al*., 2019). افزایش سطح برگ و قطر شاخه در زردآلو نیز در نتیجه کاربرد انواعی از سیتوکینین گزارش شده است (Medan & Al- Douri, 2021).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر 6-BAP بر تعداد و سطح برگ و قطر طوقه

		میانگین مربعات		
منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد برگ	سطح برگ	قطر طوقه
6-BAP	۱	۱۰/٦٦**	۲۳٥٦/۲۰**	٤۷۳/٤۸**
خطا	٤	۰/۱٦	۱/۹٥	۰/۱٦
CV (%)	–	٦/٤٤	۱/۱۹	۱/۷۲

**: معنی‌دار در سطح ۱ درصد

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر 6-BAP بر تعداد و سطح برگ و قطر طوقه

غلظت 6-BAP (میلی‌گرم‌در لیتر)	تعداد برگ	سطح برگ (سانتیمتر مربع)	قطر طوقه (میلیمتر)
۰	٥ b	۹۷/۳ b	۱٤/٥ b
۱۰۰	۷/٦ a	۱۳۷ a	۳۲/۳ a

* در هر ستون میانگین‌های با حروف غیر مشابه، در سطح احتمال ٥ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌داری دارند.

تعداد گل و میوه

از آن جا که تمام گل‌ها تبدیل به میوه شدند، نتایج تجزیه آماری فقط در مورد تعداد میوه آورده شده است (جدول ۳). طبق نتایج ارائه شده در این جدول، اثرات ساده و متقابل 6-BAP و MJ بر تعداد میوه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. مطابق جدول ٤، استفاده از 6-BAP و کاربرد MJ سبب افزایش معنی‌دار تعداد میوه شد و غلظت ۲۰۰ میکرومولار MJ نیز نتیجه بهتری نسبت به غلظت ۱۰۰ میکرومولار آن داشت؛ به‌طوری که تفاوت بین این دو غلظت نیز معنی‌دار بود.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر 6-BAP و MJ بر تعداد میوه، وزن میوه، عملکرد بوته و شاخص سبزینگی توت فرنگی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		تعداد میوه	وزن میوه	عملکرد بوته	شاخص سبزینگی برگ
تکرار	۲	۰/۳۸ ns	۰/۱۳ ns	٥٦۰/۲ ns	۰/۰۰۷ ns
6-BAP	۱	٥٤٤/٥۰**	۱۲۸/٥۳ **	۲۳۰۹۷۳/۳**	۲٦٦/۸۰**
MJ	۲	٥/۳٦**	۳۳/۹۹**	٦۸۸۰/۰۱**	۳٦/۷۳**
6-BAP × MJ	۲	۲/۳۷**	۱۲/۲۸**	٥۲٤۰/۹۹**	۱۰/۹٦**
خطا	۱۰	۰/۷٦	۰/٤۸	۱۱٤/۱۳	۰/۲٦
CV (%)	–	۲/۲۲	۲/۹۸	۲/۱۰	۲/۱۳

ns: غیر معنی‌دار **: معنی‌دار در سطح ۱ درصد

استفاده از سیتوکینین‌ها به‌منظور تقویت میوه‌بندی در گیاه توت‌فرنگی متداول است (Katel *et al.*, 2022). اثبات شده است که بین محتوای سیتوکینین و تشکیل گل‌آذین و تولید مریستم گل رابطه مثبتی وجود دارد که منتج به افزایش تولید میوه می‌شود (Aremu *et al.*, 2020). نتایج حاصل در خصوص اثر مثبت کاربرد MJ بر تعداد میوه با یافته‌های García-Pastor *et al.* (2019) مبنی بر افزایش تعداد میوهٔ انار در نتیجهٔ کاربرد پیش‌ازبرداشت MJ مطابقت دارد. افزایش محصول در آزمایش حاضر در اثر محلولپاشی MJ نیز ناشی از افزایش تعداد گل تولیدی بوده است .

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات متقابل 6-BAP و MJ بر تعداد میوه، وزن میوه، عملکرد بوته و شاخص سبزینگی توت فرنگی

6-BAP (میلی‌گرم‌در لیتر)	MJ (میکرومولار)	تعداد میوه (تعداد به ازاء هر بوته)	وزن میوه (گرم)	عملکرد بوته (گرم)	شاخص سبزینگی برگ (SPAD)
۰	۰	۱۲/۰۰ c	۲٤/٥۳ c	۸۰۹/٦۷ c	۲۷/٦٦ d
	۱۰۰	۱۲/٦٦ c	۲٥/۳۷ bc	۸٤۱/۰۰ b	۳۱/۷۰ c
	۲۰۰	۱۳/۰۰ c	۲٦/٦۱ b	۸۷۸/۷۸ b	۳۱/٥۳ c
۱۰۰	۰	۲۱/٦٦ b	۲۸/۰۳ b	۱۰۳۰/٦۷ a	۳۷/۸٦ b
	۱۰۰	۲۲/۲۲ b	۳۲/٦۸ a	۱۰۰۷/۳۳ a	٤۱/٦٤ a
	۲۰۰	۲۳/۸۸ a	۳٤/۰٦ a	۱۰۲۷/۰۰ a	٤۱/۸۰ a

* در هر ستون میانگین‌های با حروف غیر مشابه، در سطح احتمال ٥ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌داری دارند.

وزن میوه و عملکرد بوته

مطابق جدول ۳، اثرات ساده و متقابل 6-BAP و MJ بر وزن میوه و عملکرد بوته در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. به‌طوری که کاربرد سیتوکینین و استفاده از MJ، صرفنظر از غلظت آن، باعث افزایش معنی‌دار وزن میوه و عملکرد بوته شد (جدول ٤). هر چند که استفاده از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر 6-BAP

نیز به تنهایی اثر معنی‌داری بر بهبود عملکرد داشت. نتایج یک تحقیق بر روی گوجه‌فرنگی نشان داد که با کاهش سطح سیتوکینین درونی گیاه، از وزن میوه-ها کاسته شد و با کاربرد خارجی سیتوکینین‌های مختلف، افزایش وزن حاصل شد (Gan *et al.*, 2022). سیتوکینین‌ها معمولاً با اثرگذاری بر تقسیم سلولی و/یا اتساع سلول‌ها باعث افزایش اندازه و وزن میوه و بهبود عملکرد در طیف وسیعی از گیاهان می‌شوند و کاربرد پیش‌ازبرداشت آنها، کمیت و کیفیت را بهبود می‌بخشد (Aremu *et al.*, 2020). در تحقیقات پیشین نیز به افزایش عملکرد در گلابی پس از محلولپاشی با BA اشاره شده است (Aremu *et al.*, 2020). طبق یک گزارش نیز اندازه میوه و در نتیجه وزن آن، به‌طور معنی‌داری در بلوبری های (*Vaccinium corymbosum*) تیمار شده با سیتوکینین CPPU بالاتر از گروه شاهد بود (Aremu *et al.*, 2020). نتایج حاصل در خصوص اثر مثبت کاربرد MJ بر عملکرد نیز با یافته‌های García-Pastor *et al.* (2019) مبنی بر افزایش عملکرد انار در نتیجهٔ افزایش تعداد میوه تولیدی با کاربرد MJ مطابقت دارد. بر اساس یک گزارش دیگر نیز، حداکثر عملکرد در یک رقم توت‌فرنگی با کاربرد ۰/٦ میلی‌مولار MJ نسبت به شاهد حاصل شد (Lalnunzawma *et al.*, 2022). در آزمایش حاضر بهبود عملکرد، ناشی از افزایش تعداد و وزن میوه‌ها در اثر محلولپاشی با 6-BAP و MJ است.

شاخص سبزینگی برگ

بر اساس جدول ۳، اثرات ساده و متقابل 6-BAP و MJ بر شاخص سبزینگی برگ در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. استفاده از سیتوکینین و کاربرد هر یک از غلظت‌های ۱۰۰ یا ۲۰۰ میکرومولار MJ باعث بهبود معنی‌دار شاخص سبزینگی برگ نسبت به سایر تیمارها شد (جدول ٤). طبق نتایج یک تحقیق، کاربرد سیتوکینین CPPU با غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر نیز سبب افزایش شاخص سبزینگی برگ زردآلو شد (Medan & Al-Douri, 2021). در مورد 6-BAP گزارش شده است که این سیتوکینین به‌طور مؤثری از تجزیهٔ کلروفیل جلوگیری می‌کند (Zhang *et al.*, 2018). سیتوکینین‌ها، با ترغیب تمایزیابی اتیوپلاستها و تبدیل آنها به کلروپلاستها، بر افزایش تعداد کلروپلاستها اثر مثبتی دارند. در سطح غشای تیلاکوئیدی نیز باعث افزایش رنگدانه-های فعال فتوسنتزی می‌شوند (Hönig *et al.*, 2018). یافته‌های(Rezaei *et al.*, 2018) . نیز نشان داد که کاربرد MJ باعث افزایش غلظت کلروفیل و بهبود فتوسنتز گیاه خردل (*Brassica nigra* L.) شد. عنوان شده است که MJ در بیان مجموعه‌ای از آنزیم‌های کلیدی در بیوسنتز کلروفیل نقش دارد.

شاخص طعم (TSS/TA)

مطابق جدول ۵، در خصوص شاخص طعم میوه، اثر ساده 6-BAP در سطح ۵ درصد و اثر ساده MJ و اثر متقابل MJ × 6-BAP در سطح ۱ درصد معنی‌دار شدند. چنان که در جدول ٦ مشاهده می‌شود، بالاترین نسبت TSS/TA مربوط به تیمار کاربرد ۱۰۰ میلی-گرم‌در لیتر سیتوکینین و ۲۰۰ میکرومولار MJ بوده است.

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثر 6-BAP و MJ بر برخی ویژگی‌های کیفی میوه توت‌فرنگی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		شاخص طعم	فنول کل میوه	محتوای ویتامین C میوه	آنتوسیانین کل میوه	سفتی میوه	طول عمر میوه
تکرار	۲	۰/۰۱ ns	۰/۰۱ ns	۰/۱٤ ns	۷۰/۵۷ ns	۰/۰۰ ns	۰/۰۰ ns
6-BAP	۱	٦/۲۸*	۰/۰۳ ns	۷۱/۸۳**	۳۲/۵۹ ns	۲٤/۵۰**	۱٦۲/۰**
MJ	۲	۸/٤٦**	۰/۳۱**	۸۱/۰۹**	۱۸۱۷/۷۷**	۰/۲٦ns	۵۵/۹۳**
6-BAP × MJ	۲	۳/٦۸**	۰/۰۳ ns	۲۳/۸۲ns	۱۵٦/۲۰**	۰/٤۵**	۵/۵۱**
خطا	۱۰	۰/۵٦	۰/۰۱	٤/٦۵	٤۱/۵۷	۰/۰۸	۰/۲۵
CV (%)	–	۱/۱٤	۳/۱۲	۳/۲۸	۱/۰۱	۵/۲۳	۱/۵

ns: غیر معنی‌دار*:معنی‌دار در سطح ۵ درصد **: معنی‌دار در سطح ۱ درصد

طعم، یکی از مهمترین شاخصه‌های کیفیت میوهٔ توت‌فرنگی به‌شمار می‌آید (Han *et al*., 2019). در یک پژوهش، اثر محلولپاشی سیتوکینین CPPU بر TSS و TA توت‌فرنگی، بررسی شد. نتایج نشان داد میزان TSS طی رسیدن میوه افزایش یافت. همچنین، CPPU سطح TA را طی رسیدن میوه به‌طور معنی‌داری کاهش داد. CPPU با تنظیم متابولیسم هورمون سیتوکینین درونزا در میوه‌ها، در افزایش غلظت قندها در مرحله آخر نموی دخالت داشت (Li *et al*., 2016). به‌نظر می‌رسد اثر 6-BAP بر شاخص طعم میوه نیز به شیوه‌ای مشابه بوده باشد. نتیجهٔ ما در مورد MJ نیز با یکی از تحقیقات پیشین همخوانی دارد. طبق گزارش مذکور، کاربرد MJ، با افزایش نرخ خالص فتوسنتزی گیاه و تشدید تجمع قند، تأثیر قابل توجهی بر افزایش محتوای TSS میوهٔ لیمو در مرحلهٔ پس‌ازبرداشت نشان داد (Liao *et al*., 2022).

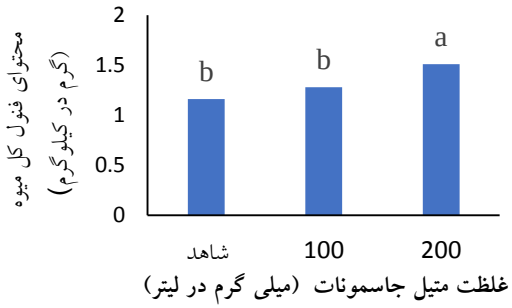
جدول ٦- مقایسه میانگین اثرات متقابل 6-BAP و MJ بر برخی ویژگی‌های کیفی میوه توت‌فرنگی

6-BAP (میلی‌گرم‌در لیتر)	MJ (میکرومولار)	شاخص طعم (TSS/TA)	آنتوسیانین کل میوه (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر)	سفتی میوه (نیوتن)	طول عمر میوه (روز)
۰	۰	۷/۳٦ d	۲۸/۳۳ d	٤/۱٦ b	۵/٦٦ d
	۱۰۰	۹/۱۸c	۳۱/۹۳ c	٤/۲۷ b	٦/۵۵ c
	۲۰۰	۱۰/۸۵bc	۳۵/٦ ab	٤/۳۵b	۷/۵۵ bc
۱۰۰	۰	۸/٤٦cd	۳۱/۵ c	۷/۰۰ a	۸/٦٦b
	۱۰۰	۱۱/۳۰b	۳٤/۵۳ b	٦/۲۰ ab	۹/٤٤b
	۲۰۰	۱٤/۵۳a	۳٦/٦۳a	٦/۲۲ ab	۱۱/۸۸a

* در هر ستون میانگین‌های با حروف غیر مشابه، در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌داری دارند

فنول کل میوه

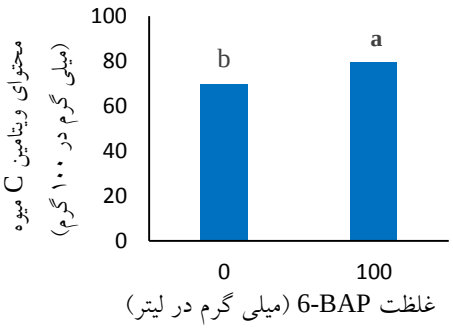
بر اساس جدول ۵، تنها اثر ساده MJ بر فنول کل میوه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. به‌طوری که کاربرد MJ با غلظت ۲۰۰ میکرومولار سبب افزایش معنی‌دار محتوای فنول (۱/۵۱ گرم در کیلوگرم) نسبت به شاهد (۱/۱٦ گرم در کیلوگرم) شد (شکل ۱). فنول‌ها از مهمترین گروه‌های ترکیبات فعال زیستی در توت‌فرنگی هستند که بر کیفیت حسی و ارزش غذایی میوه اثر شایان توجهی دارند (Kelebek and Selli, 2011). ثابت شده است که متیل جاسمونات در بعضی سیستم‌های انتقال سیگنال در گیاه مشارکت دارد که باعث القای آنزیم‌های خاصی می‌شود که واکنش‌های بیوسنتزی را برای تشکیل پلی‌فنول‌ها کاتالیز می‌کند (Yao and Tian, 2005).



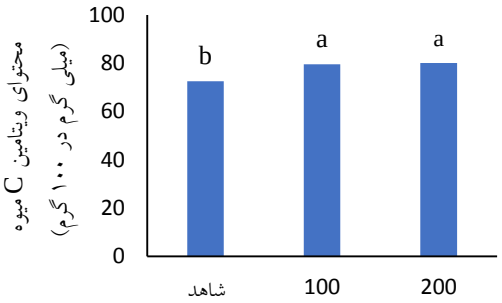
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر غلظت متیل جاسمونات بر محتوای فنول کل میوه توت‌فرنگی. ستون‌های دارای حروف غیر مشابه، در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌داری دارند.

محتوای ویتامین C میوه

مطابق جدول ۵، تنها اثرات ساده 6-BAP و MJ در سطح ۱ درصد بر محتوای ویتامین C میوه معنی‌دار شدند. به‌طوری که کاربرد 6-BAP محتوای ویتامین C میوه (۷۹/۵ میلی‌گرم‌در ۱۰۰ گرم) را به‌طور معنی‌داری نسبت به عدم کاربرد آن (٦۹/٤٦ میلی‌گرم‌در ۱۰۰ گرم) افزایش داد (شکل ۲). همچنین، در تیمار MJ با غلظت ۲۰۰ میکرومولار، محتوای ویتامین C (۸۰ میلی‌گرم‌در ۱۰۰ گرم) به‌طور معنی‌داری بالاتر از شاهد (۷۲/۵ میلی‌گرم‌در ۱۰۰ گرم) بود (شکل ۳).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر غلظت 6-BAP بر محتوای ویتامین C میوه. ستون‌های دارای حروف غیر مشابه، در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌داری دارند.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر غلظت MJ بر محتوای ویتامین C میوه. ستون-های دارای حروف غیر مشابه، در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌داری دارند.

طبق یک گزارش در گیاه فلفل، محلولپاشی با غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار BAP در فواصل زمانی هر ۱۰ روز یک بار از روز پنجم کاشت نشاء تا زمان برداشت، محتوای ویتامین C میوه را افزایش داد. این محققین یافته‌های خود را با نقش سیتوکینین‌ها در بیوسنتز اسید اسکوربیک در گیاه مرتبط دانستند (Shams *et al.*, 2018). احتمالاً در پژوهش حاضر نیز 6-BAP اثر مشابهی بر گیاه توت‌فرنگی داشته است. افزایش انباشت ویتامین C در گیاهان مختلف در نتیجه کاربرد JA نشان می-دهد که احتمالاً این هورمون نیز بیوسنتز اسید اسکوربیک را تقویت می‌کند (Asghari, 2019).

آنتوسیانین کل میوه

بر اساس جدول ۵، اثر ساده MJ و اثر 6-BAP × MJ در سطح ۱ درصد بر آنتوسیانین کل میوه معنی-دار شدند. طبق جدول ٦، بیشترین مقدار آنتوسیانین میوه مربوط به تیمار با ۱۰۰ میلی‌گرم‌در لیتر 6-BAP و ۲۰۰ میکرومولار MJ بود. محتوای آنتوسیانین کل در میوه‌های تیمار شاهد (بدون دریافت 6-BAP)، ۲۸/۳۳ میلی‌گرم‌در ۱۰۰ گرم وزن تر بود که بالاتر از مقدار گزارش شده در همین رقم (۲۲/٤۹ میلی‌گرم-در ۱۰۰ گرم وزن تر) توسط Sarwar *et al.* (2021) است. تفاوت در مقدار آنتوسیانین کل برای یک رقم خاص در منابع مختلف می‌تواند به‌دلیل تنوع در حلال‌های استخراج به‌کار رفته باشد (Da Silva *et al.*, 2007). در ارقام توت‌فرنگی، ارتباط نزدیکی بین ژن‌های مرحلهٔ آخر و محتوای آنتوسیانین در نتیجهٔ کاربرد جاسمونات‌ها گزارش شده است و نشان داده شد که در توت‌فرنگی، *MYB 10* اثر مثبتی بر تنظیم سنتز آنتوسیانین دارد (Zhang *et al.*, 2018). به نظر می‌رسد در آزمایش حاضر نیز MJ با اثرگذاری بر ژن‌های مرحله آخر، باعث افزایش محتوای آنتوسیانین میوه شده باشد.

سفتی میوه

مطابق جدول ۵، اثر ساده 6-BAP و اثر 6-BAP × MJ در سطح ۱ درصد بر سفتی میوه معنی‌دار شدند. بر اساس جدول ٦، میوه‌ها در نتیجه تیمار با ۱۰۰ میلی‌گرم‌در لیتر 6-BAP، به تنهایی، بالاترین سفتی

بافت را از خود نشان دادند؛ هر چند که این تیمار تفاوت معنی‌داری با تیمارهای کاربرد سیتوکینین و هر یک از دو غلظت MJ نداشت. اگرچه نرمی بافت میوه، بسته به گونه و رقم تا حدودی مطلوب است؛ اما نرمی بیش از اندازه سبب تسریع در پوسیدگی پس‌ازبرداشت و نارضایتی مصرف-کنندگان می‌شود (Aremu *et al*., 2020). در یک پژوهش، اثر مثبت کاربرد سیتوکینین CPPU در زمان پیدایش گل‌آذین‌های انگور بر سفتی میوه هنگام برداشت گزارش شد. این محققین، عنوان کردند CPPU با ایجاد تغییراتی در پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی باعث افزایش محتوای کلسیم و در نتیجه سفتی بیشتر میوه در هنگام برداشت شد (Rojas *et al*., 2021). احتمالاً 6-BAP نیز به روش مشابهی سبب افزایش سفتی میوه‌ها شده است. بر اساس یک گزارش، کاربرد پیش‌ازبرداشت MJ، باعث افزایش سفتی بافت میوه گیلاس شد. محققین دلیل این پدیده را اثرگذاری MJ بر القای فعالیت برخی آنزیمهای دخیل در بیوسنتز لیگنین و افزایش سفتی عنوان کردند. همچنین با کاربرد MJ، بیان ژنهای پلی‌گالاکتروناز و فعالیت آنزیم‌های مربوط به آن کاهش می‌یابد و نرم شدن دیواره سلولی به تأخیر افتاده و در نتیجه مقاومت به آسیب مکانیکی افزایش می‌یابد (Balbontín *et al*., 2018).

طول عمر میوه پس‌ازبرداشت

بر اساس جدول ۵، اثرات ساده و متقابل 6-BAP و MJ در سطح ۱ درصد بر طول عمر میوه معنی‌دار شدند. میوه‌های حاصل از تیمار با سیتوکینین و ۲۰۰ میکرومولار MJ بالاترین طول عمر را داشتند (جدول ٦). در یک پژوهش نیز افزایش ماندگاری میوه کیوی به مدت دو ماه با کاربرد سیتوکینین در مقایسه با میوه‌های شاهد گزارش شد. عنوان شده است که BA می‌تواند با حفظ سفتی بافت و تعویق نرم شدن میوه، ماندگاری میوه‌های برداشت شده را افزایش دهد (Aremu *et al*., 2020). با توجه به این که توت‌فرنگی‌ها در تیمارهایی که علاوه بر سیتوکینین، MJ نیز دریافت کرده بودند؛ بافت سفت‌تری داشتند؛ افزایش مقاومت آنها به آسیب-های مکانیکی و یا حمله پاتوژن‌ها پس‌ازبرداشت منطقی است که در نتیجه آن دوام و طول عمر میوه-ها بیشتر می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که استفاده از 6-BAP اثر معنی‌داری بر رشد رویشی بوته توت-فرنگی و صفات مرتبط با آن دارد که در نتیجه به کارگیری آن، بوته‌هایی با تعداد برگ بیشتر و درشت‌تر تولید می‌شود که طوقه‌های قویتری دارند. در مرحله رشد زایشی نیز اثرات ساده و/یا متقابل 6-BAP و MJ بر تمام صفات مورد مطالعه مثبت و معنی‌دار بود. هر چند که در مورد محتوای فنول کل میوه، تنها اثر MJ معنی‌دار شد. در تمام صفات، غلظت ۲۰۰ میکرومولار MJ نسبت به ۱۰۰ میکرومولار برتری نشان داد. در مجموع، می‌توان بهره‌گیری از این تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی را در مرحله پیش‌ازبرداشت، به‌منظور افزایش کیفیت و کمیت میوه تولیدی و افزایش عمر پس‌ازبرداشت و کاهش ضایعات این محصول آسیب‌پذیر و حساس توصیه نمود.

REFRENCES

Aremu, A. O., Fawole, O. A., Makunga, N. P., Masondo, N. A., Moyo, M., Buthelezi, N. M., Amoo, S.O., Spíchal, L. and Doležal, K. 2020. Applications of cytokinins in horticultural fruit crops: Trends and future prospects. *Biomolecules*, 10(9): 1222.

Asghari, M. 2019. Impact of jasmonates on safety, productivity and physiology of food crops. *Trends in Food Science & Technology*, 91:169-183.

Balbontín, C., Gutiérrez, C., Wolff, M. and Figueroa, C. R. 2018. Effect of abscisic acid and methyl jasmonate preharvest applications on fruit quality and cracking tolerance of sweet cherry. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 78: 3.

Da Silva, F. L., Escribano-Bailón, M. T., Alonso, J. J. P., Rivas-Gonzalo, J. C. and Santos-Buelga, C. 2007. Anthocyanin pigments in strawberry. *LWT-Food Science and Technology*, 40(2): 374-382.

Da Silva, I. S. V., Prado, N. S., De Melo, P. G., Arantes, D. C., Andrade, M. Z., Otaguro, H. and Pasquini, D. 2019. Edible coatings based on apple pectin, cellulose nanocrystals, and essential oil of lemongrass: improving the quality and shelf life of strawberries (*Fragaria ananassa*). *Journal of Renewable Materials*, 7(1): 73-87.

Gan, L., Song, M., Wang, X., Yang, N., Li, H., Liu, X. and Li, Y. 2022. Cytokinins are involved in regulation of tomato pericarp thickness and fruit size. *Horticulture research*, 9.

Garrido-Bigotes, A., Figueroa, P. M. and Figueroa, C. R. 2018. Jasmonate metabolism and its relationship with abscisic acid during strawberry fruit development and ripening. *Journal of plant growth regulation*, 37(1): 101-113.

Han, Y., Chen, C., Yan, Z., Li, J. and Wang, Y. 2019. The methyl jasmonate accelerates the strawberry fruits ripening process. *Scientia Horticulturae*, 249:250-256.

Hönig, M., Plíhalová, L., Husičková, A. and Doležal, K. (2018). Role of cytokinins in senescence, antioxidant defence and photosynthesis. *International journal of molecular sciences*, 19(12): 4045.

Kasem, M. M. and Helaly, A. A. E. 2021. Response of *Syngonium podophyllum* plant to some synthetic cytokinin types and concentrations as a foliar application. *Scientific Journal of Flowers and Ornamental Plants*, 8(3): 321-334.

Katel, S., Yadav, S.P. and Sharma, B. 2022 Impacts of plant growth regulators in strawberry plant: A review. *Heliyon*, 28:e11959.

Kelebek, H. and Selli, S. 2011. Characterization of phenolic compounds in strawberry fruits by RP-HPLC-DAD and investigation of their antioxidant capacity. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, 34:2495-2504.

Kim, Y. J., Kim, H. M., Kim, H. M. and Hwang, S. J. 2017. Growth and runner production of 'Maehyang' strawberry as affected by application method and concentration of cytokinin. *Protected Horticulture and Plant Factory*, 26(2): 72-77.

Kour, S., Kumar, R., Wali, V., Sharma, A. and Bakshi, P. 2017. Impact of benzyladenine and gibberellic acid on quality and economics of runner production in Chandler strawberry (*Fragaria× ananassa*) under subtropical climate. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 87: 964-967.

Lalnunzawma, K. K., Rani, R. and Mankar, A. 2022. Effect of methyl jasmonate on physical, biochemical and yield behavior of strawberry cv. Nabila. *The Pharma Innovation Journal*, 11(9): 2050-2056.

Lee, J., Durst, R. W., Wrolstad, R. E., and Collaborators: Eisele, T., Giusti, M. M., Hach. J., Hofsommer, H., Koswig, S., Krueger, D. A., Kupina, S., Martin, S. K., Martinsen, B. K., Miller, T. C., Paquette, F., Ryabkova, A., Skrede, G., Trenn, U. and Wightman, J. D. 2005. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study. *Journal of AOAC international*, 88(5): 1269-1278.

Lester, G. E., Lewers, K. S., Medina, M. B. and Saftner, R. A. 2012. Comparative analysis of strawberry total phenolics via Fast Blue BB vs. Folin–Ciocalteu: Assay interference by ascorbic acid. *Journal of Food Composition and Analysis*, 27(1): 102-107.

Li, L., Li, D., Luo, Z., Huang, X. and Li, X. 2016. Proteomic response and quality maintenance in postharvest fruit of strawberry (*Fragaria× ananassa*) to exogenous cytokinin. *Scientific reports*, 6(1):1-11.

Liao, L., Li, S., Li, Y., Huang, Z., Li, J., Xiong, B., Zhang, M., Sun, G. and Wang, Z. 2022. Pre-or post-harvest treatment with MeJA improves post-harvest storage of lemon fruit by stimulating the antioxidant system and alleviating chilling injury. *Plants*, 11:2840.

Liu, C., Guo, Z., Park, Y. G., Wei, H. and Jeong, B. R. 2019. PGR and its application method affect number and length of runners produced in ‘Maehyang’ and ‘Sulhyang’ strawberries. *Agronomy*, 9(2): 59.

Medan, R. A. and Al-Douri, E. F. S. 2021. Effect of foliar application of Sitofex, potassium and arginine on vegetative growth of “Zaghinia” apricot trees. In IOP conference series: *Earth and Environmental Science*, 761(1): p. 012053.

Mostafa, S. H. and Brengi, A. 2018. Growth, yield and chemical composition of okra as affected by three types and levels of synthetic cytokinins under high temperature conditions. *Alexandria Journal of Agricultural Sciences*, 63(6): 365-372.

Ragini, B. K., Chandrashekar, S. Y., Hemla, N. B., Shivaprasad, M. and Ganapathi, M. 2019. Effect of cytokinins (benzyl adenine and kinetin) on bulbous flower crops: A review. *International Journal of Chemical Studies*, 7(5): 2618-2622.

Rezaei, H., Saeidi-Sar, S., Ebadi, M. and Abbaspour, H. 2018. The effect of spraying of methyl jasmonate and Epi-brassinolide on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and leaf stomatal traits in black mustard (*Brassica nigra* L.) under salinity. *Journal of Plant Process and Function*, 7(25).

Robles-Flores, G. D. C., Abud-Archila, M., Ventura-Canseco, L. M. C., Meza-Gordillo, R., Grajales-Lagunes, A., Ruiz-Cabrera, M. A. and Gutiérrez-Miceli, F. A. 2018. Development and evaluation of a film and edible coating obtained from the *Cajanus*

cajan seed applied to fresh strawberry fruit. *Food and Bioprocess Technology*, 11(12): 2172-2181.

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. and Campos-Vargas, R. 2021. Pre-anthesis cytokinin applications increase table grape berry firmness by modulating cell wall polysaccharides. *Plants*, 10:2642.

Saavedra, G. M., Figueroa, N. E., Poblete, L. A., Cherian, S. and Figueroa, C. R. 2016. Effects of preharvest applications of methyl jasmonate and chitosan on postharvest decay, quality and chemical attributes of *Fragaria chiloensis* fruit. *Food chemistry*, 190: 448-453.

Sarwar, S., Netzel, G., Netzel, M.E., Mereddy, R., Phan, A.D., Hong, H.T., Cozzolino, D. and Sultanbawa, Y. 2021. Impact of curcumin-mediated photosensitization on fungal growth, physicochemical properties and nutritional composition in Australian grown strawberry. *Food Anal Methods*, 14:465-472.

Shams, M., Yildirim, E., Ekinci, M., Agar, G., Turan, M. and Kul, R. 2018. Exogenous cytokinin application increased the capsaicin and ascorbic acid content in pepper fruit. *Scientific Papers*, 62: 507-11.

Tyagi, S., Sahay, S., Imran, M., Rashmi, K. and Mahesh, S. S. (2017). Pre-harvest factors influencing the postharvest quality of fruits: A review. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 23(4): 1-12.

Velten, S., Leventon, J., Jager, N. and Newig, J., 2015. What is sustainable agriculture? A systematic review. *Sustainability*, 7(6): 7833-7865.

Wei, Y., Shao, X., Wei, Y., Xu, F. and Wang, H. 2018. Effect of preharvest application of tea tree oil on strawberry fruit quality parameters and possible disease resistance mechanisms. *Scientia Horticulturae*, 241: 18-28.

Wu, W., Du, K., Kang, X. and Wei, H. 2021. The diverse roles of cytokinins in regulating leaf development. *Horticulture Research*, 8.

Yao, H. and Tian, S. 2005. Effects of pre-and post-harvest application of salicylic acid or methyl jasmonate on inducing disease resistance of sweet cherry fruit in storage. *Postharvest Biology and Technology*, 35(3):253-262.

Zahedipour-Sheshglani, P. and Asghari, M. 2020. Impact of foliar spray with 24-epibrassinolide on yield, quality, ripening physiology and productivity of the strawberry. *Scientia Horticulturae*, 268, 109376.

Zhang, Y., Liu, Y., Hu, W., Sun, B., Chen, Q. and Tang, H. 2018. Anthocyanin accumulation and related gene expression affected by low temperature during strawberry coloration. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40(11): 1-8.

Zuñiga, P. E., Castañeda, Y., Arrey-Salas, O., Fuentes, L., Aburto, F. and Figueroa, C. R. 2020. Methyl jasmonate applications from flowering to ripe fruit stages of strawberry (*Fragaria*× *ananassa* 'Camarosa') reinforce the fruit antioxidant response at post-harvest. *Frontiers in Plant Science*, 11: 538.

Sustainable Agricultural Science Research /Vol. 3/No. 2/Summer 2023/P: 35 -50

https://www.sarj.iauk.ac.ir

Effect of 6-benzylaminopurine and Methyl jasmonate on Yield and Quality Improvement of the Strawberry 'Albion'

Farzad Asgari[1], Sepideh Kalateh Jari[2], Babak Motesharezadeh[3], Marzieh Ghanbari Jahromi and Weria Weisany[5]

[1]Ph.D. Candidate, Department of Horticultural Science and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

[2*]Assistant Professor, Department of Horticultural Science and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

[3]Associate Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

[4] Assistant Professor, Department of Horticultural Science and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

[5]Assistant Professor, Department of Horticultural Science and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

[*]Corresponding Author's Email: kalatehjari@srbiau.ac.ir

(Received: August. 23, 2023 – Accepted: September. 22, 2023)

ABSTRACT

To study the effects of 6-benzylaminopurine (6-BAP) and methyl jasmonate (MJ) on various quantitative and qualitative characteristics of the Albion strawberry, a factorial experiment based on randomized complete blocks design was carried out with three replications in a greenhouse located in Damavand county. The first factor was 6-BAP at two levels (control and 100 mg/L) and the second factor was MJ at three levels (control, 100 and 200 µM). Plants were sprayed twice with 6-BAP and thrice with MJ, during the vegetative and the reproductive growth phases, respectively. Application of 6-BAP during the vegetative stage, resulted in production of plants with more and larger leaves and increased crown diameter. The highest fruit count and weight, SPAD, flavor index, total anthocyanin and fruit shelf-life, was related to the 100 mg/L 6-BAP + 200 µM MJ treatment. Using cytokinin combined with each of the MJ concentrations, resulted in significant improvement of the plant yield and fruit firmness compared to the control. Therefore, pre-harvest application of these plant growth regulators can be suggested for increasing production rates, improving the quality, and the shelf-life of this vulnerable fruit and also reducing its waste.

Keywords: Plant spraying, Total anthocyanin content, Total phenolic content, Fruit longevity