University of Tehran Press

Iranian Journal of Horticultural Science

Online ISNN: 2008-482X

Homepage: http:// ijhs.ut.ac.ir/

Effect of Pre-harvest Application of Benzyladenine and Phytoncide Nanoemulsion on Vegetative and Reproductive Characteristics of the Strawberry (Fragaria×ananassa Duch. 'Albion') and Marketability of the Fruit

Farzad Asgari[1], Sepideh Kalatejari [2], Babak Motesharezadeh✉[3], Marzieh Ghanbari Jahromi[4], Weria Weisany[5]

1. Department of Horticultural Science and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: farzadasgari70@yahoo.com
2. Department of Horticultural Science and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: kalatehjari@srbiau.ac.ir
3. Corresponding Author, Department of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: moteshare@ut.ac.ir
4. Department of Horticultural Science and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: ghanbari@srbiau.ac.ir
5. Department of Horticultural Science and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: w.weisany@srbiau.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 16 October 2022

Received: 6 March 2023

Accepted: 11 March 2023

Published online: 21 March 2023

Keywords:

Cytokinin,

Essential oil,

Pre-harvest spraying.

ABSTRACT

In order to investigate the effect of benzyladenine and a kind of natural phytoncide on various quantitative and qualitative traits related to the marketing value of the strawberry (Fragaria×ananassa Duch.) plant a factorial experiment, based on a randomized complete block design was carried out with three replications in the Albion greenhouse, located in Damavand county. The first factor was benzyladenine (6-BAP) at two levels (0 and 100 mg/l) and the second, phytoncide nanoemulsion (PNE) at three levels (0, 0.75% and 1.5%). Young plants were sprayed twice with 6-BAP during the vegetative growth phase and thrice during the reproductive phase with PNE, which was comprised of the essential oils of Pinus nigra and Picea spp. Application of 6-BAP during the vegetative stage resulted in production of more leaves and higher leaf area. Also, 6-BAP increased crown diameter significantly, compared to control plants, and had a positive effect on all the studied traits at the reproductive stage, as well. This kind of cytokinin improved taste and other quality attributes of the fruits, along with plant yield. PNE was effective on increasing the fruit firmness and longevity. Furthermore, it had a significant effect on delaying the fruit weight loss and maintaining the appearance quality of the fruits for a longer time. Based on the results, taking advantage of 6-BAP and the studied PNE during pre-harvest phase is recommended for improving strawberry fruit characteristics.

Cite this article: Asgari, F., Kalatejari, S., Motexharezadeh, B., Ghanbari Jahromi, M., Weisany, W. (2023). Effect of Pre-harvest Application of Benzyladenine and Phytoncide Nanoemulsion on Vegetative and Reproductive Characteristics of the Strawberry (Fragaria×ananassa Duch. 'Albion') and Marketability of the Fruit. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 54 (1), 137-156. DOI: http//doi.org/10.22059/IJHS.2023.346594.2050

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/IJHS.2023.346594.2050

Extended Abstract

Introduction

Strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) is one of the most delicious and nourishing fruits of the world, with the highest production among other berries. Several factors influence the consumers' choice of strawberry fruit, including size, flavor, flesh firmness, and fruit color. Nowadays, the use of plant growth regulators is an efficient tool for improving the quantitative and qualitative properties of edible products, and if appropriate concentration is used brings great economic benefits to growers. Improving the quality of the fruit helps to increase the shelf life of the product. On the other hand, the inhibitory effect of essential oils with phytoncide

properties, against plant pathogens has been proven in various plant species. Most studies to date have examined the effects of phytoncide essential oils on post-harvest period and under laboratory conditions, while pre-harvest treatment of the plant is an effective strategy in controlling post-harvest diseases of strawberries.

Material and methods

The current study aimed to investigate the pre-harvest application of a plant growth regulator named benzyladenine and a kind of natural phytoncide on various quantitative and qualitative traits related to the marketing value of strawberry (*Fragaria×ananassa* Duch.) plant. Unlike most of the previous researches, this study examines the effect of phytoncide nanoemulsion use during the crop production period. A factorial experiment, based on randomized complete block design was carried out with three replications in the Albion greenhouse, located in Damavand county. The first factor was benzyladenine (6-BAP) at two levels (0 and 100 mg/l) and the second, phytoncide nanoemulsion (PNE) at three levels (0, %0.75 and %1.5). Young plants were sprayed twice with 30 ml 6-BAP during the vegetative growth phase. The first time was 21 days after transferring the runners to grow bags, and the second 7 days later. Moreover, they were later sprayed thrice with PNE, which was comprised of the essential oils of *Pinus nigra* and *Picea* spp., during the reproductive phase at the stages of small green, big green and completely red fruits.

Results and discussion

Application of 6-BAP during the vegetative stage, resulted in production of more leaves and higher leaf area. Also, 6-BAP increased crown diameter significantly, compared to control plants, and had a positive effect on all the studied traits at the reproductive stage, as well. This kind of cytokinin improved taste and other quality attributes of the fruits, along with plant yield. PNE was effective on increasing the fruit firmness and longevity. Furthermore, it had a significant effect on delaying the fruit weight loss and maintaining the appearance quality of the fruits for a longer time. However, there was no significant difference between the two tested concentrations of phytoncide in relation to the investigated traits.

Conclusion

Based on the results, taking advantage of 6-BAP and the studied PNE during pre-harvest phase is recommended for improving various characteristics of strawberry fruit and extending its post-harvest life.

نشریه علوم باغبانی ایران، دوره ۵۴، شماره ۱

انتشارات دانشگاه تهران

شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۷۹۳۰

Homepage: http://ijhs.ut.ac.ir//

اثر کاربرد پیش از برداشت بنزیل‌آدنین و نانوامولسیون فیتونسید بر صفات رویشی و زایشی گیاه و بازارپسندی میوه توت‌فرنگی (Fragaria×ananassa Duch. 'Albion')

فرزاد عسگری[۱] | سپیده کلاته جاری[۲] | بابک متشرع‌زاده[۳]✉ | مرضیه قنبری جهرمی[۴] | وریا ویسانی[۵]

۱. گروه تخصصی علوم باغبانی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: farzadasgari70@yahoo.com

۲. گروه تخصصی علوم باغبانی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: kalatehjari@srbiau.ac.ir

۳. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: moteshare@ut.ac.ir

۴. گروه تخصصی علوم باغبانی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: ghanbari@srbiau.ac.ir

۵. گروه تخصصی علوم باغبانی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: w.weisany@srbiau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۴
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۱/۰۱

کلیدواژه‌ها:
اسانس، سیتوکینین ، محلول‌پاشی پیش از برداشت.

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر بنزیل‌آدنین و نوعی فیتونسید طبیعی بر ویژگی‌های مختلف کمی و کیفی مرتبط با بازارپسندی توت‌فرنگی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه آلبیون واقع در شهرستان دماوند اجرا شد. عامل اول، بنزیل‌آدنین (۶- BAP) در دو سطح (صفر و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و عامل دوم، نانوامولسیون فیتونسید (PNE) در سه سطح (صفر، ۰/۷۵ درصد و ۱/۵ درصد) بود. بوته‌های جوان در مرحله رشد رویشی دو نوبت با BAP-۶ و در مرحلهٔ زایشی سه نوبت با PNE، که متشکل از اسانس‌های دو گیاه کاج و نوئل بود، محلول‌پاشی شدند. کاربرد BAP-۶ در مرحلهٔ رویشی باعث تولید تعداد برگ بیشتر و افزایش سطح برگ شد. همچنین، قطر طوقه‌ها را نسبت به گیاهان شاهد به‌طور معنی داری افزایش داد و بر تمام صفات مطالعه شده در مرحلهٔ زایشی نیز اثر مثبتی داشت. این سیتوکینین، ضمن افزایش عملکرد بوته، طعم و سایر ویژگی‌های کیفی میوه را بهبود بخشید. PNE بر افزایش سفتی و ماندگاری میوه موثر بود. علاوه براین، در به تعویق انداختن کاهش وزن میوه و حفظ کیفیت ظاهری آن به مدت طولانی تر اثر معنی‌داری داشت. بنابر نتایج، بهره-گیری از BAP-۶ و فیتونسید مطالعه شده در مرحله پیش از برداشت به‌منظور بهبود ویژگی‌های میوه توت‌فرنگی توصیه می‌شود.

استناد: عسگری، فرزاد؛ کلاته جاری، سپیده؛ متشرع‌زاده، بابک؛ قنبری جهرمی، مرضیه؛ و ویسانی، وریا (۱۴۰۲). ب اثر کاربرد پیش از برداشت بنزیل‌آدنین و نانوامولسیون فیتونسید بر صفات رویشی و زایشی گیاه و بازارپسندی میوه توت‌فرنگی (Fragaria×ananassa Duch. 'Albion'). *نشریه علوم باغبانی ایران*، ۵۴ (۱)، ۱۵۶-۱۳۷.
DOI: http//doi.org/10.22059/IJHS.2023.346594.2050

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: http//doi.org/10.22059/IJHS.2023.346594.2050

مقدمه

توت‌فرنگی (*Fragaria×ananassa* Duch.) متعلق به جنس *Fragaria* از تیرهٔ گلسرخیان[1] است که طوقهٔ آن دارای تعداد متغیری میانگره است و به یک گل‌آذین گرزن دو سویه ختم می‌شود. محور گل‌آذین بهٔ یک گل اولیه منتهی می‌شود و دو انشعاب جانبی که منشأ گل‌های ثانویه هستند از آن خارج می‌شوند. دو انشعاب دیگر هم از انشعابات ثانویه خارج شده و هر کدام به یک گل سوم ختم می‌شوند. وجود یک انشعاب دیگر نیز معمول است که منشأ گل‌های چهارم می‌شود (Savini *et al*., 2005). گل‌ها کامل، معمولاً خودبارور و متشکل از تعداد زیادی مادگی هستند. هر مادگی پس از گرده‌افشانی و باروری به یک فندقه نمو پیدا می‌کند (Chandler *et al*., 2012). این گیاه علاوه بر ارزش تغذیه‌ای بالا، بازده اقتصادی سریعتر و بیشتری را در واحد سطح فراهم می‌کند و امکان تولید توت‌فرنگی تازه در سراسر سال وجود دارد (Ather-uz-Zaman *et al*., 2018). چندین عامل در انتخاب میوهٔ توت‌فرنگی توسط مصرف‌کنندگان تأثیرگذار است که از آن جمله می‌توان به اندازه، طعم، سفتی گوشت (Hancock *et al*., 2008) و رنگ میوه اشاره نمود (Zhang *et al*., 2018). رقم Albion، که یک رقم روزخنثی (همیشه بار) محسوب می‌شود، در سال ۲۰۰۶ توسط محققین دانشگاه Davis کالیفرنیای آمریکا پرورش یافت. از خصوصیات بارز این رقم میوه‌های درشت آن است که غالباً مخروطی شکل هستند. همچنین، دارای عطر و طعم مطبوع و عملکرد بالا است (Shaw & Larson, 2006). برخی تغییرات نامطلوب در مرحلهٔ پس از برداشت، مانند از دست رفتن آب میوه، کاهش سفتی گوشت، آسیب‌های مکانیکی و پوسیدگی قارچی بر کاهش بازارپسندی توت‌فرنگی تاثیر می‌گذارند (Liu *et al*., 2018).

امروزه، استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به‌عنوان ابزاری کارآمد در بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی محصولات خوراکی کاربرد دارد (Zahedipour & Asghari, 2020)، که در صورت استفاده از غلظت مناسب مزایای اقتصادی قابل توجهی را برای پرورش‌دهندگان به‌همراه دارد (Tyagi *et al*., 2017).

ارتقاء کیفی میوه به افزایش ماندگاری محصول نیز کمک می‌کند (Sun *et al*., 2020). ماندگاری توت‌فرنگی تازه در دمای اتاق به ۱ تا ۲ روز محدود می‌شود (Bal & Ürün, 2021). اکثر بیماری‌هایی که پس از برداشت ظاهر می‌شوند در اثر آلودگی توسط پاتوژن‌ها در مرحلهٔ پیش از برداشت در مزرعه یا گلخانه اتفاق می‌افتند (Pétriacq *et al*., 2018). بنابراین، تیمار پیش از برداشت راهبرد مؤثری در کنترل بیماری‌های پس از برداشت توت‌فرنگی است (Wei *et al*., 2018). فیتونسیدها[3] نیز ترکیبات ارگانیک فرّار با خواص ضدمیکروبی هستند که از گیاهان مختلف منتشر می‌شوند. از نظر شیمیایی، ترکیبات عمدهٔ فیتونسیدها ارتباط نزدیکی با اسانس‌های تولید شده توسط گیاهان دارد (Cheng *et al*., 2009). ماهیت شیمیایی آنها بسیار متنوع است، اما معمولاً از گروه ترکیبات گلیکوزیدی، ترپن‌ها، رنگدانه‌ها و متابولیت‌های ثانویه هستند. قابلیت ضدمیکروبی فیتونسید شامل ویژگی‌های ضدقارچی و ضدباکتریایی، اختصاصی گونهٔ گیاهی است (Tatiana *et al*., 2020). استفاده از نانوامولسیون سبب افزایش پایداری این ترکیبات فرّار می‌شود (Seifi *et al*., 2014). نانوامولسیون‌ها پایداری فیزیکی بالاتری در برابر گرانش و مقاومت بیشتری در برابر لخته‌شدن ذرات نسبت به امولسیون‌ها دارند (Shahavi *et al*., 2016).

اثر بازدارندهٔ اسانس‌های گیاهی دارای خواص فیتونسیدی، علیه پاتوژن‌های گیاهی در مطالعات مختلف اثبات شده است (Kurinka *et al*., 2020). لازم به ذکر است که اغلب تحقیقات انجام شده در مورد پتانسیل آنتی‌اکسیدانی و کاربرد اسانس‌های فیتونسیدی در کنترل زیستی علیه پاتوژن‌های بیماری‌زا در دورهٔ پس از برداشت در گیاهان مختلف بوده است، در صورتی که نقش آنها در رشد گیاه همچنان نامشخص مانده است (Souri & Bakhtiarizade, 2019).

بنابراین، در پژوهش حاضر اثر بنزیل‌آدنین[4] در تقویت رشد رویشی گیاه به‌منظور کمک به افزایش عملکرد و کیفیت میوه مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، بر خلاف اکثر تحقیقات پیشین که اثر اسانس‌های فیتونسیدی پس از برداشت محصول و

1Rosaceae
2dichasial cyme
3phytoncides
4Benzyladenine

در شرایط آزمایشگاهی مطالعه شده‌اند، اثر کاربرد نانوامولسیون فیتونسید در دورهٔ پرورش محصول بر ویژگی‌های مختلف توت‌فرنگی که در بازارپسندی آن نقش دارند مطالعه شد.

پیشینه پژوهش

۶-بنزیل‌آمینوپورین (6-BAP) نخستین نسل از سیتوکینین‌های سنتزی است که در تقسیم سلولی، تسریع رشد میوه، تشکیل شاخساره، میوه‌بندی، افزایش عملکرد و بهبود مقاومت گیاه نسبت به تنش‌ها نقش مهمی دارد (Liu *et al.*, 2019).

کاربرد مکرر قارچ‌کش‌ها، که از مؤثرترین تیمارها برای کاهش پوسیدگی پس از برداشت هستند، منجر به گسترش سویه‌های مقاوم شده است. تیمار کوتاه‌مدت آب گرم با دمای بالا نیز می‌تواند منجر به کاهش وزن میوه، رنگ‌زدایی و تغییر طعم و عطر آن شود. پرتودهی کوتاه‌مدت با اشعهٔ گاما نیز بسته به دوز تابش، تغییراتی در کیفیت محصول ایجاد می‌کند. یک تیمار جایگزین می‌تواند کاربرد اسانس‌ها باشد که ترکیبات طبیعی تولیدی توسط گیاهان هستند، هر چند که به‌شدت فرّارند (Martínez *et al.*, 2018).

اثر مثبت محلول‌پاشی سیتوکینین‌ها بر گیاهان مختلفی گزارش شده است که در سینگونیوم به‌صورت افزایش محتوای کلروفیل، کربوهیدرات کل، ارتفاع گیاه و تعداد برگ (Kasem & Helaly, 2021) و در گیاه بامیه شامل افزایش ارتفاع گیاه، تعداد برگها، سطح برگ، اندازه و وزن میوه، عملکرد و کلروفیل کل (Mostafa & Brengi, 2018) بوده است. همچنین، کاربرد خارجی بنزیل‌آدنین (BA) تعداد رانرهای تشکیل شده در توت‌فرنگی را افزایش داد (Li *et al.*, 2020). در آزمایش دیگری با تزریق 6-BAP درون طوقه، تعداد ساقه‌های رونده و برگهای هر بوته افزایش یافت و ساقه‌های قوی‌تری تولید شد (Liu *et al.*, 2019).

در گیاهان انیسون، ریحان، مریم‌گلی، میخک هندی، یاسمن، ارس، اسطوخودوس، رز، رزماری، گشنیز و درخت چای درجات مختلفی از فعالیت ضدقارچی تأئید شده است (Kurinka *et al.*, 2020). اثرات برخی از اسانس‌ها، از جمله اسانس‌های فیتونسیدی برگ کاج (Kim *et al.*, 2014)، دارچین، آویشن، نعناع، زنجبیل و چمن معطر نیز بر بهبود ویژگی‌های کیفی و عمر پس از برداشت میوه‌های مختلف بررسی شده است (Mahajan *et al.*, 2018). در آزمایشی، تأثیر اسانس ریحان (*O.basilicum* L.) به‌صورت در زیوه[1] بر روی توت‌فرنگی بررسی شد؛ اسانس در همهٔ غلظت‌ها در مقایسه با شاهد به‌طور قابل ملاحظه‌ای از رشد قارچ جلوگیری نمود. میوه‌های تیمار شده با غلظت‌های۶۰ و ۲۵۰ میکرولیتر بر لیتر اسانس دارای بافت سفت‌تر، رنگ بهتر و میزان مواد جامد محلول بالاتری نسبت به میوه‌های شاهد بودند، درحالی‌که غلظت‌های بالای اسانس (۵۰۰ و ۱۰۰۰ میکرولیتر بر لیتر) باعث سوختگی کاسبرگها شد. در تمامی غلظت‌های استفاده شده اسانس، طعم میوه را تحت تأثیر قرار داد (Asghari Marjanlu *et al.*, 2009).

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش در سال ۱۴۰۰ در گلخانهٔ هیدروپونیک توت‌فرنگی آلبیون واقع در شهرستان دماوند استان تهران بر روی رقم Albion با هدف بررسی اثر بنزیل‌آدنین و نانوامولسیون فیتونسید (PNE) بر ویژگی‌های مختلف میوه و بوته توت‌فرنگی اجرا شد. در زمان انجام آزمایش، متوسط دمای روز گلخانه ۲۵ و دمای شب گلخانه ۱۵ درجهٔ سلسیوس بود. همچنین، رطوبت نسبی ۶۵ درصد و دورهٔ روشنایی طبیعی آن ۱۱ ساعت/ ۱۳ ساعت (روز/ شب) بود.

در ابتدای آزمایش، از نشاهای حاصل از جداسازی رانرهای بوته‌های مادری موجود در گلخانهٔ آلبیون استفاده شد. این رانرها پس از دو هفته، در اول مهرماه سال ۱۴۰۰ به کیسه‌های کشت پلی‌اتیلنی ۸ لیتری به طول ۳۵، عرض ۲۰ و ارتفاع ۱۵ سانتیمتر

1 in vivo

منتقل شدند. در هر کیسه، ۴ رانر به فاصلهٔ ۱۰ سانتیمتر از یکدیگر در بستری با ترکیب کوکوپیت ریز (وارداتی از کشور سریلانکا) و پرلیت سایز ۵-۳ میلیمتر (تهیه شده از شرکت پرشیا پرلیت اصفهان) به نسبت حجمی کوکوپیت:پرلیت (۶۰ درصد: ۴۰ درصد) کشت شد. قبل از اجرای نخستین تیمار محلول‌پاشی با حذف برگ‌های مسن‌تر تنها سه برگ بر روی هر بوته حفظ شد و حذف غنچه‌ها نیز صورت گرفت. آبیاری، یک روز در میان و با استفاده از سیستم نواری صورت گرفت. تغذیهٔ بوته‌ها نیز به‌صورت کودآبیاری با تغییراتی در فرمولاسیون محلول غذایی، بسته به مرحلهٔ رشدی بوته‌ها انجام شد. از زمان کاشت، آزمایش ۷۸ روز طول کشید.

تیمارهای آزمایشی

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، شامل بنزیل‌آدنین در دو سطح (صفر و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و نانوامولسیون اسانس فیتونسید در سه سطح (صفر، ۰/۷۵ درصد و ۱/۵ درصد) با سه تکرار اجرا شد.

نحوه و زمان محلول‌پاشی

محلول‌پاشی با بنزیل‌آدنین در مرحلهٔ رشد رویشی با استفاده از تنظیم‌کنندهٔ رشد گیاهی 6-BAP (Sigma-Aldrich) انجام شد. برای حل کردن آن از چند قطره اتانول ۹۶ درصد و توئین ۲۰ به عنوان سورفکتانت استفاده شد[1]. رانرها ۲۱ روز پس از انتقال به کیسه‌های کشت و تغذیه و رشد ریشه‌ها، با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر 6-BAP محلول‌پاشی شدند و ۷ روز بعد (پیش از گل‌دهی)، محلول‌پاشی مجددا تکرار شد. نیمی از بوته‌ها با 6-BAP تیمار شدند و نیمی دیگر با آب مقطر به‌عنوان تیمار شاهد محلول‌پاشی شدند. حجم محلول مصرفی به ازاء هر گیاه در هر نوبت ۳۰ میلی‌لیتر در نظر گرفته شد. در پژوهش حاضر، از فیتونسید تهیه شده از شرکت Life Together کرهٔ جنوبی استفاده شد که متشکل از اسانس‌های دو گیاه کاج (*Pinus nigra*) و نوئل (*Picea* spp.) بود. پیش از تهیهٔ نانوامولسیون، ترکیبات اسانس فیتونسید، توسط GC-MS (Hewlett-Packard Hp 6890) آنالیز شد. برای تهیه فرمولاسیون نانوامولسیون فیتونسید روش Pandey *et al.* (2020) با اندکی تغییرات استفاده شد. نانوامولسیون به‌کمک دستگاه سونیکاتور با فرکانس ۲۰ کیلوهرتز و روش فراصوت با انرژی بالا سنتز شد. سپس، محلول‌پاشی در مرحلهٔ رشد زایشی و در سه نوبت انجام شد. نخست، 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، ۴۸ ساعت قبل از برداشت میوه، در مرحلهٔ میوهٔ قرمز رسیده (۱۷ روز بعد از مرحلهٔ سبز نارس) محلول‌پاشی بر روی بوته‌های تیمار شده با 6-BAP و بوته‌های شاهد صورت گرفت.

صفات مورد بررسی و نحوه اندازه‌گیری آنها

تعداد برگ در بوته، سطح برگ، سطح ویژه برگ و قطر طوقه بوته‌ها در شروع رشد زایشی در بوته‌های تیمار شده با سیتوکینین و بوته‌های تیمار نشده اندازه‌گیری شد. قطر طوقه با کولیس دیجیتالی (دقت ۰/۰۱ میلی‌متر) ارزیابی شد. سطح برگ پس از تصویربرداری توسط اسکنر، به‌کمک نرم‌افزار ImageJ محاسبه شد. سطح ویژه برگ، پس از خشک کردن نمونه‌ها در آون ۷۰ درجهٔ سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت، از رابطه ۱ محاسبه شد (Capozzi *et al.*, 2020):

$$\text{سطح ویژهٔ برگ } (cm^2/\text{g}) = \frac{\text{سطح برگ}}{\text{وزن خشک برگ}} \qquad \text{رابطه ۱)}$$

1Tween 20
2surfactant
3sonicator

تعداد میوه در طول آزمایش ثبت شد. طول، قطر و وزن میوه‌ها پس از برداشت در انتهای آزمایش بررسی شد. مجموع وزن میوه‌های برداشت شده از هر بوته نیز به‌عنوان عملکرد بوته در هر تیمار درنظر گرفته شد.

وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی با نمونه‌برداری تخریبی در پایان آزمایش انجام شد. پس از سنجش وزن تر با ترازوی دیجیتال، این اندام‌ها ۴۸ ساعت در آون با دمای ۸۰ درجهٔ سلسیوس قرار داده شدند و وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد.

شاخص طعم میوه (TSS/TA): میزان مواد جامد محلول (TSS) و اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون (TA) در انتهای آزمایش بر روی میوه‌های برداشت شده در مرحلهٔ بلوغ تجاری، یعنی رسیدن کامل (قرمز کامل) بررسی گردید. برای سنجش TSS، شاخص انکساری عصارهٔ میوه‌ها با استفاده از دستگاه رفرکتومتر (refractometer, TR Turoni s.r.l., Italy) در دمای اتاق اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری TA، میوه‌های خرد شدهٔ توت‌فرنگی با یک همزن کاملاً له شده و به‌مدت ۱۰ دقیقه در ۳۰۰۰rpm سانتریفیوژ شدند (Robles-Flores *et al*., 2018). TA با تیتراسیون ۵۰ میلی‌لیتر از عصارهٔ میوه تا pH 8.1 با استفاده از NaOH ۰/۱ نرمال تعیین شد و به‌صورت درصد اسید سیتریک بیان شد (Wei *et al*., 2018). شاخص طعم با تقسیم TSS بر TA محاسبه شد (Ali *et al*., 2021).

محتوای اسید اسکوربیک میوه: مقدار اسید اسکوربیک (AsA) میوه‌های برداشت شده در مرحلهٔ بلوغ تجاری در پایان آزمایش، بلافاصله بعد از برداشت اندازه‌گیری شد. یک گرم میوهٔ توت‌فرنگی در ۵ میلی‌لیتر متا–فسفریک اسید ۵ درصد (وزن/حجم) سرد شده با یخ همگن شد. سپس، در ۱۰۰۰۰×g به مدت ۱۵ دقیقه در ۲ درجهٔ سلسیوس سانتریفیوژ، و بعدازآن روشناور به آرامی جمع‌آوری و نگهداری شد. رسوب توت‌فرنگی دو بار دیگر هم عصاره‌گیری شد تا به حجم نهایی ۱۵ میلی‌لیتر برسد. در نهایت، از روشناور حاصل برای تعیین AsA آزاد و کل به 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 دی‌کلرواویندوفنل سنجیده شد. AsA کل برابر است با AsA آزاد به‌علاوهٔ دهیدرواسکوربیک اسید (DasA) (Lester *et al*., 2012).

رنگ میوه: رنگ میوه در تیمارهای مختلف در پایان آزمایش بر روی میوه‌های قرمز رسیده ارزیابی شد. اندازه‌گیری کمّی رنگ، با دستگاه اسپکتروفتومتر (UltraScan VIS color measurement spectrophotometer, USA) و به‌کمک فضارنگ CIE $L^* a^* b^*$ انجام شد. در این فضا، مولفه L^* در محور عمودی، با روشنایی یا درخشندگی میوه یا سبزیجات ارتباط دارد و بین ۰ (سیاه) و ۱۰۰ (سفید) متغیر است. کاهش L^* به‌معنی تیره‌تر بودن رنگ است. مقدار منفی a^* در محور مربوط بیانگر رنگ سبز و مقدار مثبت آن نشان‌دهندهٔ رنگ قرمز است. مقدار منفی b^* در محور مربوط بیانگر رنگ آبی و مقدار مثبت آن بیانگر رنگ زرد است (Azadshahraki, & Kaffashan, 2017). با اندازه‌گیری a^* و b^* میزان خلوص رنگ C^* (Chroma) طبق رابطهٔ ۲، و زاویهٔ فام (h°) نیز از رابطهٔ ۳ محاسبه شد (Garrido-Bigotes *et al*., 2018).

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$ رابطه ۲)

$$h° = \arctan (b^*/ a^*)$$ رابطه ۳)

میزان کلروفیل برگ (SPAD): سنجش میزان کلروفیل برگ در تمام تیمارها در پایان آزمایش انجام شد. محتوای سبزینگی با دستگاه کلروفیل‌متر پرتابل (Hansatech انگلستان، مدل CL-01) اندازه‌گیری شد. برای سنجش کلروفیل a و b از روش (Abdi *et al*., 2016) استفاده شد. هر ۱ گرم نمونه از بافت تازهٔ برگ در هاون، پس از افزودن ۵۰ میلی‌لیتر استون ۱۰۰ درصد (حجم/حجم)، کوبیده شد و در ۳۵۰۰×g به مدت ۱۰ دقیقه در ۴ درجهٔ سلسیوس سانتریفیوژ شد. پس از جداسازی روشناور، جذب آن در اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۶۲ نانومتر برای کلروفیل a و در ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b خوانده شد و مقدار کلروفیل a و b طبق روابط زیر محاسبه شد:

$$Chl\ a = 11.75 \times A_{662} - 2.35 \times A_{645}$$ رابطه ۴)

$$Chl\ b = 18.61 \times A_{645} - 3.96 \times A_{662}$$ رابطه ۵)

سفتی بافت میوه: سفتی بافت میوه‌ها در انتهای آزمایش در مرحلهٔ بلوغ تجاری با استفاده از دستگاه سفتی‌سنج میوه (penetrometer, FR-5120, LUTRON, Taiwan) مجهز به نوک ۳ میلیمتری، در سه نقطه از میوه به‌طور تصادفی اندازه‌گیری و میانگین آن به نیوتن (N) بیان شد.

ماندگاری میوه: تعداد روزهای ماندگاری میوه‌ها پس از برداشت در انتهای آزمایش با توجه به کیفیت ظاهری میوه‌ها بررسی شد. بدین‌صورت‌که میوه‌ها بر اساس یکنواختی رنگ، اندازه و عدم آسیب سطحی انتخاب و بلافاصله به آزمایشگاه مجاور گلخانه منتقل شدند. سپس، توت فرنگی‌ها در ظروف پلی‌اتیلنی پانچ‌دار و در دمای ۱/۰±۶ درجه سلسیوس با رطوبت نسبی ۵۵–۵۰ درصد نگهداری شدند.

کاهش وزن میوه: جهت بررسی کاهش وزن، میوه ها در پایان آزمایش با ترازوی دیجیتال سنجیده شدند. کاهش وزن، حاصل تفاوت بین وزن اولیه میوه پیش از انبارمانی و وزن آن پس از فواصل زمانی ۳ روزه بود که طبق رابطه ۶ محاسبه گردید (Nguyen *et al*., 2020):

$$\text{کاهش وزن (درصد)} = \frac{m_0 - m}{m_0} \times ۱۰۰$$ رابطه ۶)

در این رابطه، m_0 نشان دهنده وزن نمونه پیش از انبارمانی (g) و m بیانگر وزن نمونه پس از فواصل انبارمانی (g) است.

کیفیت ظاهری میوه: این ویژگی بر اساس میزان پوسیدگی و چروکیدگی میوه‌ها با استفاده از معیار امتیازدهی از ۱ تا ۵، در فواصل زمانی ۳ روزه به شرح زیر ارزیابی شد:

۵) کیفیت عالی، صفر درصد پوسیدگی، کاسهٔ گل سخت و سبز، بدون نشانهٔ چروکیدگی، میوه کاملاً تازه؛ ۴) کیفیت خوب، صفر درصد پوسیدگی، کاسهٔ گل سبز است، اما نسبت به زمان برداشت از استحکام کمتری برخوردار است. نشانه‌های خفیف چروکیدگی دیده می‌شود؛ ۳) کیفیت قابل قبول، صفر درصد پوسیدگی، کاسهٔ گل ظاهر خشک یا پژمرده پیدا می‌کند؛ ۲) کیفیت ضعیف، ۱ تا ۵ درصد پوسیدگی، میوه شروع به خشک شدن می‌کند، کاسهٔ گل به‌وضوح چروکیده شده است؛ ۱) کیفیت بسیار ضعیف، بیش از ۱۰ درصد پوسیدگی، کاسهٔ گل خشک شده و رنگی مایل به زرد یا سبز– قهوه‌ای پیدا می‌کند. امتیاز ۳، کمترین کیفیت قابل قبول را پیش از غیرقابل فروش شدن داشت (Nguyen *et al*. 2020).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام گرفت و نمودارها توسط نرم‌افزار اکسل [1] رسم شدند. مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

یافته‌های پژوهش

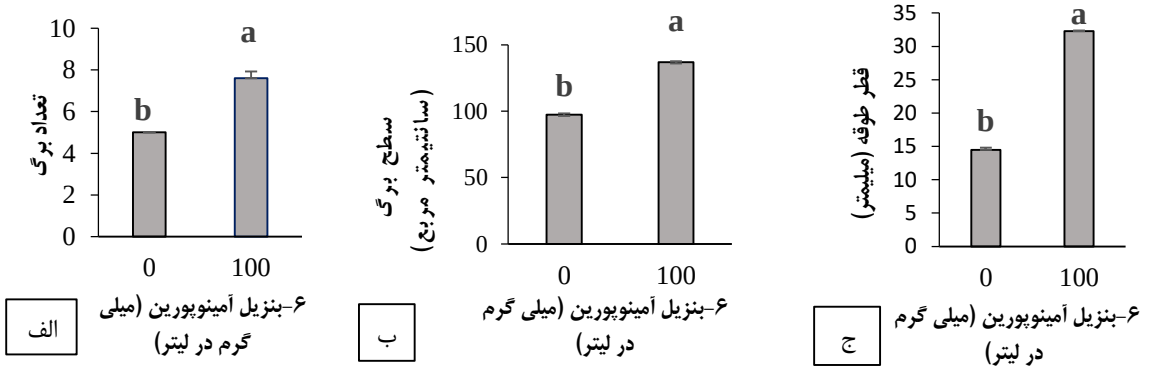
ترکیبات موجود در فیتونسید

[1]. Excel

عمده ترکیبات شناسایی شده در فیتونسید توسط GC-MS شامل آلفا–پینن (α-pinene)، میرسین (myrcene)، سابینیل استات (sabinyl acetate)، کارین (carene)، فنیل‌اتانول (phenylethanol)، نونادکان (Nonadecane)، دودکان (Dodecane)، آیکوزان (Eicosane)، پی–سیمن (p-cimene) و ترامتیل بنزن (tetramethylbenzene) بود.

تعداد برگ، سطح برگ و قطر طوقه

در شروع رشد زایشی، تعداد برگ، سطح برگ و قطر طوقه بوته‌هایی که با ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر 6-BAP محلول‌پاشی شده بودند به ترتیب، ۷/۶، ۱۳۷ سانتیمتر مربع و ۳۲/۳ میلیمتر بود که به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود (شکل ۱). سطح ویژه برگ در بوته‌های تیمار شده اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت.



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر سیتوکینین 6-BAP بر الف) تعداد برگ، ب) سطح برگ، و ج) قطر طوقه گیاه توت‌فرنگی. (منبع: یافته‌های تحقیق)

عملکرد بوته، تعداد، وزن، طول و قطر میوه‌ها

اثر سیتوکینین بر عملکرد بوته در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). بوته‌های تیمار شده با 6-BAP عملکرد بالاتری (۱۰۴۵ گرم میوه به ازاء هر بوته) در مقایسه با شاهد (۸۱۸/۴ گرم) داشتند (جدول ۲). اثر کاربرد سیتوکینین بر تعداد میوه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). بوته‌هایی که با ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر 6-BAP محلول‌پاشی شده بودند به‌طور متوسط تعداد میوه بیشتری به ازاء هر بوته (۴۲/۲) در مقایسه با شاهد (۳۱/۲) تولید کردند (جدول ۲). در خصوص وزن میوه نیز سیتوکینین اثر معنی‌داری در سطح ۱ درصد نشان داد (جدول ۱) و نیز میوه‌های تحت تیمار 6-BAP از متوسط وزن بالاتری (۳۰/۷۶ گرم) در مقایسه با گیاهان شاهد (۲۵/۴۲ گرم) برخوردار بودند (جدول ۲). اثر سیتوکینین بر طول میوه در سطح ۱ درصد و بر قطر آن در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). میوه‌های تیمار شده با 6-BAP از متوسط طول و قطر بالاتری (به ترتیب ۶/۳۲ و ۳/۷۳ سانتیمتر) نسبت به شاهد (به ترتیب ۴/۰۴ و ۳/۴۰ سانتیمتر) برخوردار بودند (جدول ۲). اثر PNE بر هیچ یک از صفات مذکور معنی‌دار نشد (جدول ۱).

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر سیتوکینین و نانوامولسیون فیتونسید (PNE) بر صفات مختلف گیاه توت‌فرنگی

		میانگین مربعات								
منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد گیاه	تعداد میوه	وزن میوه	طول میوه	قطر میوه	وزن تر شاخساره	وزن خشک شاخساره	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه
تکرار	۲	۵۶۰/۲ ns	۰/۳۸ ns	۰/۱۳ ns	۰/۰۰۱ns	۰/۰۲ ns	۰/۱۱ ns	۰/۰۲ ns	۰/۱۵ ns	۰/۰۸ ns
CK	۱	۲۳۰۹۷۳/۳**	۵۴۴/۵۰**	۱۲۸/۵۳ **	۲۳/۳۴**	۰/۵۰ *	۷۲/۰۰**	۲/۶۴**	۶۸/۰۵*	۱/۰۲ *
PNE	۲	۲۱۰/۰ns	۰/۳۸ ns	۱۴/۷۷ ns	۰/۰۱ ns	ns ۰/۰۰۵	۰/۴۰ ns	۰/۰۰۳ ns	۱/۴۳ ns	۰/۰۲ ns
CK×PNE	۲	۲۲/۳ns	۰/۵۰ ns	۷/۱۵ ns	۰/۰۰ ns	۰/۰۱ ns	۰/۰۱ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۷۷ ns	۰/۰۱ ns
خطا	۱۰	۲۵۱/۶	۰/۴۵	۰/۵۳	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۶	۰/۵۹	۰/۰۱	۲/۷۱	۰/۰۳
CV (%)	–	۱/۷۰	۱/۸۳	۲/۶۰	۱/۶۱	۲/۱۷	۲/۳۴	۱/۷۷	۲/۱۲	۴/۰۱

*، ** و ns: به ترتیب، تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار. (منبع: یافته‌های تحقیق)

CK : سیتوکینین؛ PNE : نانوامولسیون فیتونسید

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر سیتوکینین بر صفات مختلف گیاه توت‌فرنگی

تیمار		عملکرد گیاه (گرم)	تعداد میوه (تعداد به ازاء هر بوته)	وزن میوه (گرم)	طول میوه (سانتیمتر)	قطر میوه (سانتیمت ر)	وزن تر شاخساره (گرم)	وزن خشک شاخساره (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)
6-BAP (mg/l)	۰	۸۱۸/۴ b	۳۱/۲ b	۲۵/۲۴ b	۴/۰۴ b	۳/۴۰ b	۳۱/۰۱ b	۶/۲۴ b	۲۳/۶۰ b	۴/۲ b
	۱۰۰	۱۰۴۵/۰ a	۴۲/۲ a	۳۰/۷۶ a	۶/۳۲ a	۳/۷۳ a	۳۵/۰۱ a	۷/۰۱ a	۲۶/۴۸ a	۴/۷ a

در هر ستون میانگین‌های با حروف غیر مشابه، در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌داری دارند. (منبع: یافته‌های تحقیق)

6- BAP : ۶- بنزیل آمینوپورین

وزن تر و خشک شاخساره و ریشه

اثر سیتوکینین بر وزن تر و خشک شاخساره در سطح ۱ درصد و بر وزن تر و خشک ریشه در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد، اما اثر PNE بر این صفات معنی‌دار نبود (جدول ۱). کاربرد 6-BAP، به‌طور معنی‌داری وزن تر و خشک اندام‌ها را بهبود بخشید (جدول ۲).

طعم میوه (TSS/TA) و محتوای اسید اسکوربیک

اثر سیتوکینین بر شاخص طعم میوه در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). در میوه‌های تیمار شده با 6-BAP نسبت مواد جامد محلول (TSS) به اسیدهای قابل تیتر (TA) افزایش نشان داد (جدول ۴). اثر سیتوکینین بر محتوای اسید اسکوربیک میوه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). همچنین، بوته‌های تیمار شده با 6-BAP، از اسید اسکوربیک بالاتری (۷۷/۳ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) نسبت به بوته‌های تیمار نشده (۶۷/۶۶ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) برخوردار بودند (جدول ۴). PNE اثر معنی‌داری بر هیچ یک از این دو صفت نداشت (جدول ۳).

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر سیتوکینین و نانوامولسیون فیتونسید بر صفات مختلف گیاه توت‌فرنگی

منابع تغییرات	df	میانگین مربعات						
		TSS/TA	اسید اسکوربیک (AsA)	رنگ میوه				
				L	a	b	Chroma	Hue (h°)
تکرار	۲	۰/۰۱ ns	۰/۱۴ ns	۰/۱۱ ns	۰/۰۲ ns	۰/۱۱ ns	۰/۰۶ ns	۰/۲۲ ns
CK	۱	۱/۲۸*	۷۱/۸۳**	۱۲/۰۵*	۶/۳۶*	۱۹/۷۴*	۱۸/۹۳*	۱۹/۹۹*
PNE	۲	۱/۲۸*	۱۲/۶۳ ns	۰/۰۵ ns	۰/۱۰ ns	۰/۲۴ ns	۰/۰۷ ns	۰/۷۴ ns
CK×PNE	۲	۰/۰۲ ns	۹/۲۱ ns	۰/۱۱ ns	۰/۰۱ ns	۰/۰۲ ns	۰/۰۳ ns	۰/۰۱ ns
خطا	۱۰	۰/۰۰۷	۰/۴۱	۰/۱۶	۰/۰۲	۰/۱۰	۰/۰۵	۰/۲۳
CV (%)	–	۱/۰۹	۶/۵	۱/۳۱	۰/۵۷	۱/۹۹	۰/۶۸	۱/۶۹

*، ** و ns: به ترتیب، تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار. (منبع: یافته‌های تحقیق)

CK : سیتوکینین؛ PNE : نانوامولسیون فیتونسید

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر سیتوکینین بر صفات مختلف گیاه توت‌فرنگی

تیمار		TSS/TA	AsA (میلی‌گرم/ ۱۰۰ گرم وزن تر)	رنگ میوه				
				L*	a*	b*	Chroma	Hue (h°)
6-BAP (mg/l)	۰	۷/۷۰b	۶۷/۶۶b	۲۹/۷۷b	۲۹/۴۴b	۱۵/۴۹b	۳۳/۲۶b	۲۷/۷۵b
	۱۰۰	۸/۲۳a	۷۷/۳۳a	۳۱/۴۱a	۳۰/۶۳a	۱۷/۵۹a	۳۵/۳۱a	۲۹/۸۶a

* در هر ستون میانگین‌های با حروف غیر مشابه، در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌داری دارند. (منبع: یافته‌های تحقیق)

6- BAP : ۶- بنزیل آمینوپورین

رنگ میوه

سیتوکینین بر تمام مولفه‌های رنگ میوه در سطح ۵ درصد موثر بود، اما اثر PNE بر رنگ میوه معنی‌دار نشد (جدول ۳) و برتری در گیاهان تیمار شده با 6-BAP حاصل شد (جدول ۴).

محتوای کلروفیل برگ

در رابطه با کلروفیل کل، کلروفیل a و b، تنها اثر سیتوکینین معنی‌دار شد (جدول ۵). در تمام موارد، بوته‌های تیمار شده با 6-BAP برتری معنی‌داری نسبت به شاهد نشان دادند (جدول ۶).

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس اثر سیتوکینین و نانوامولسیون فیتونسید بر صفات مختلف گیاه توت‌فرنگی

		میانگین مربعات				
منابع تغییرات	df	کلروفیل کل	کلروفیل a	کلروفیل b	سفتی میوه	ماندگاری
تکرار	۲	۰/۰۰۷ ns	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۰۰۲ ns	۰/۰۰ ns	۰/۰۰ ns
CK	۱	۲۶۶/۸۰**	۰/۴۵**	۰/۱۳**	۲۴/۵۰**	۱۶۲/۰**
PNE	۲	۶/۹۷ ns	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۳۷*	۸۵/۵**
CK×PNE	۲	۱۲/۳۵ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۲۹*	۱۳/۵**
خطا	۱۰	۰/۳۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۶	۰/۰۰
CV (%)	–	۱/۶۵	۴/۱۹	۳/۳۹	۴/۴۲	۰

*، ** و ns: به ترتیب، تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار. (منبع: یافته‌های تحقیق)

CK : سیتوکینین؛ PNE : نانوامولسیون فیتونسید

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر سیتوکینین بر صفات مختلف گیاه توت‌فرنگی

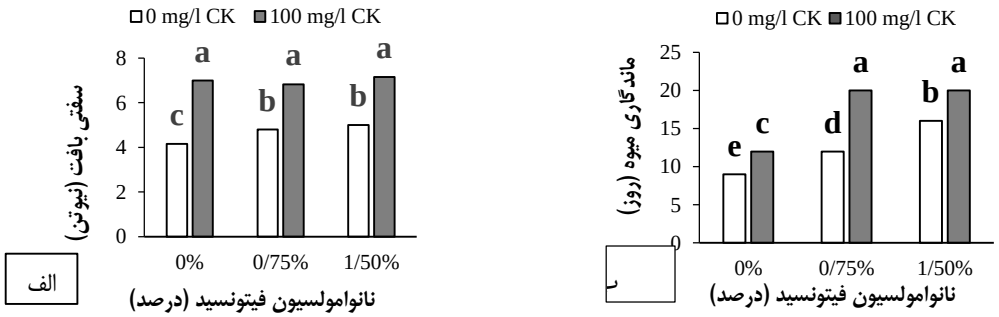
تیمار		کلروفیل کل (SPAD)	کلروفیل a (میلی‌گرم/ گرم وزن تر)	کلروفیل b (میلی‌گرم/ گرم وزن تر)	سفتی میوه (N)	ماندگاری (روز)
6-BAP (mg/l)	۰	۲۹/۹۴b	۱/۰۳b	۰/۲۴b	۴/۶۶b	۱۳b
	۱۰۰	۳۷/۶۴a	۱/۳۵a	۰/۴۱a	۷/۰۰a	۱۷a

در هر ستون میانگین‌های با حروف غیر مشابه، در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌داری دارند. (منبع: یافته‌های تحقیق)

6- BAP : ۶- بنزیل آمینوپورین

سفتی بافت و ماندگاری میوه

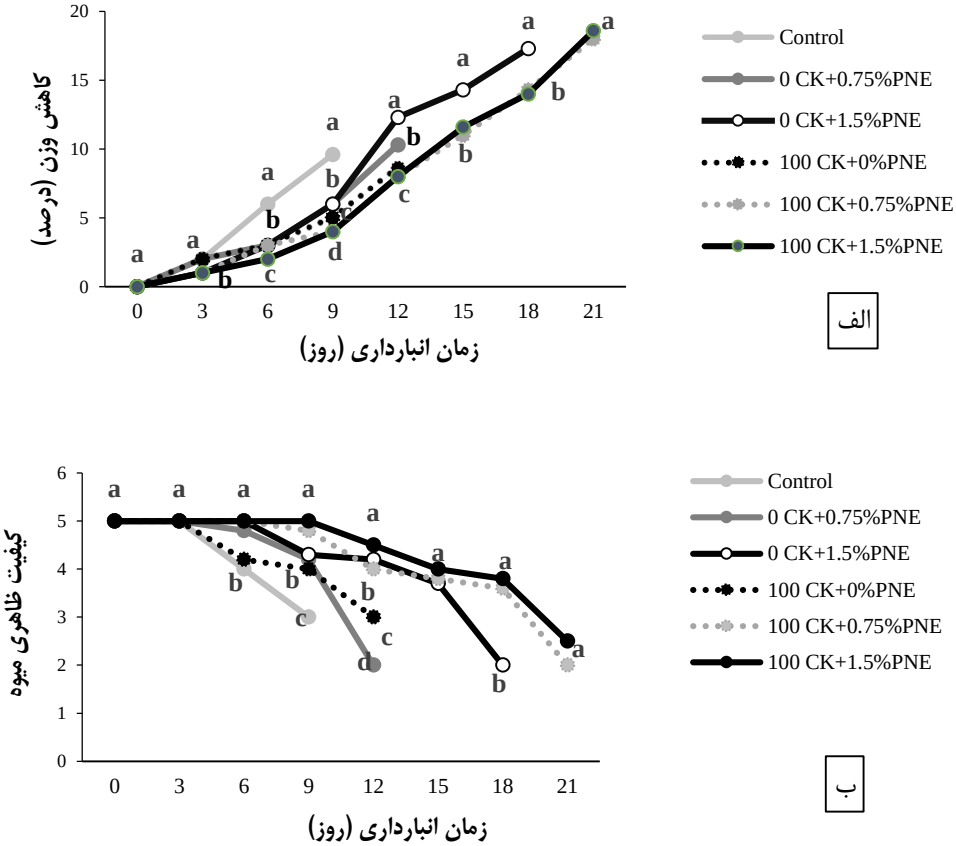
اثر سیتوکینین در سطح ۱ درصد، اثر PNE در سطح ۵ درصد و اثر متقابل آنها نیز در سطح ۵ درصد بر سفتی میوه معنی‌دار شد (جدول ۵). استفاده از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر 6-BAP توأم با کاربرد هر یک از غلظت‌های PNE (۰، ۰/۷۵ درصد و ۱/۵ درصد) برتری معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها، با تولید میوه‌های دارای بافت سفت‌تر، نشان داد (شکل ۲). اثر سیتوکینین، PNE و نیز اثر متقابل آنها بر مدت ماندگاری میوه پس از برداشت در سطح ۱ درصد موثر بود (جدول ۵)، به‌طوری‌که کاربرد 6-BAP ماندگاری میوه‌ها را نسبت به گروه شاهد ۴ روز افزایش داد (جدول ۶). استفاده از 6-BAP توأم با غلظت‌های ۰/۷۵ درصد یا ۱/۵ درصد از PNE باعث شد تا طول عمر میوه‌ها به ۲۰ روز برسد که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها داشته و ماندگاری میوه را نسبت به شاهد ۱۱ روز افزایش داد (شکل ۲).



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل سیتوکینین 6-BAP و PNE بر الف) سفتی میوه و ب) ماندگاری میوه توت‌فرنگی.
(منبع: یافته‌های تحقیق)

کاهش وزن میوه، کیفیت ظاهری میوه

طبق شکل ۳–الف، کاهش وزن در تمام تیمارها در طول دوره انبارداری مشهود بود و در هر یک از بازه‌های زمانی اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده شد. ترکیب ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیتوکینین 6-BAP توأم با ۰/۷۵ درصد و یا ۱/۵ درصد PNE اثر بهتری در تعویق کاهش وزن میوه‌ها نسبت به سایر تیمارها داشت. طبق شکل ۳–ب، از روز ششم کیفیت ظاهری میوه‌ها بین تیمارهای مختلف به‌طور معنی‌داری اختلاف پیدا کرد. در تیمارهایی که 6-BAP توأم با ۰/۷۵ درصد و یا ۱/۵ درصد PNE استفاده شد میوه‌ها تا روز بیستم از کیفیت قابل قبولی برخوردار بودند.



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر الف) کاهش وزن و ب) کیفیت ظاهری میوه توت‌فرنگی در فواصل سه روزه طی دوره انبارداری.
(منبع: یافته‌های تحقیق)

بحث

تعداد برگ، سطح برگ و قطر طوقه

تحقیقات انجام شده نشان‌دهنده افزایش تعداد برگ در توت‌فرنگی، در نتیجهٔ کاربرد بنزیل‌آدنین (Kour *et al*., 2017) و افزایش سطح برگ و قطر شاخه‌ها در زردآلو (Medan & Al- Douri, 2021)، پس از کاربرد انواعی از سیتوکینین می‌باشند. طبق مطالعات، سیتوکینین‌ها پیش‌نیاز آغازش برگ هستند و در این فرایند دو نقش را برعهده دارند: ۱) ترغیب رشد مریستم‌ها برای فراهم کردن منبعی از سلول‌های بنیادین به‌عنوان پیش‌نیاز آغازش برگ و ۲) تأثیرگذاری بر تنظیم بیوسنتز و انتقال اکسین. احتمالاً افزایش تعداد برگ در آزمایش حاضر نیز ناشی از نقش 6-BAP در فرایند آغازش برگ به شیوه‌ای مشابه بوده است. اندازه یک برگ بالغ توسط تعداد سلول‌های برگ و اندازه آنها تعیین می‌شود، و سیتوکینین‌ها اندازه برگ را با تنظیم تقسیم سلولی و بزرگ‌شدن سلول‌ها کنترل می‌کنند. سیتوکینین‌ها به‌همراه اکسین‌ها تکثیر سلولی را فعال می‌کنند و در چند

مکانیسم مرتبط با اندازه سلول مشارکت دارند (Wu *et al*., 2021). افزایش قطر طوقه در آزمایش حاضر نیز می‌تواند مرتبط با ترغیب تقسیم سلولی توسط سیتوکینین‌ها باشد (Ragini *et al*., 2019).

عملکرد بوته، تعداد، وزن، طول و قطر میوه‌ها

غالباً، محتوای سیتوکینین درون سلولی با افزایش تشکیل گل‌آذین و تولید مریستم گل همبستگی دارد و این مسئله از گزارش کاربرد سیتوکینین‌ها برای تقویت تولید میوه حمایت می‌کند (Aremu *et al*., 2020)، درحالیکه طبق نتایج به دست آمده از یک تحقیق بر روی فلفل دلمه‌ای با افزایش غلظت BAP از ۵۰ به ۱۰۰ میکرومولار تعداد میوه به ازاء هر بوته کاهش یافت (Shams *et al*., 2018). در تحقیق دیگری بر روی گیاه *Sapium sebiferum* مشخص شد که استفاده از هر یک از سیتوکینین-های 6-BA و یا تیدیازورون (TDZ) تا غلظت ۲۰۰ میکرومولار در افزایش تعداد میوه در بوته موثر بودند، اما با افزایش غلظت به ۵۰۰ میکرومولار، تعداد میوه تولیدی کاهش یافت (Ni *et al*., 2018). اثر مثبت سیتوکینین‌های مختلف بر وزن میوه در گیاه بامیه (Mostafa & Brengi, 2018) و گوجه‌فرنگی نیز تأیید شده است، به‌طوری که با کاهش سطح سیتوکینین درونی گیاه کاهش وزن میوه‌های گوجه‌فرنگی و با کاربرد خارجی سیتوکینین‌های مختلف افزایش وزن مشاهده شد (Gan *et al*., 2022). کاربرد سیتوکینین فورکلرفنورون (CPPU) در توت‌فرنگی نیز افزایش معنی‌دار وزن میوه را سبب شد (Li *et al*., 2016). سیتوکینین‌ها معمولاً از طریق افزایش تقسیم سلولی و/یا اتساع سلول‌ها باعث افزایش اندازه و وزن میوه می‌شوند (Aremu *et al*., 2020). نتایج آزمایش حاضر حاکی از تأثیر بیشتر 6-BAP بر افزایش طول میوه نسبت به قطر آن بود. گزارش شده است سیتوکینین‌های مختلف نسبت طول به قطر میوه را افزایش می‌دهند (Aremu *et al*, 2020). همچنین، کاربرد انواعی از سیتوکینین، باعث افزایش طول و قطر میوه بامیه شد (Mostafa & Brengi, 2018). نتایج یک گزارش دیگر بر روی گوجه‌فرنگی نشان داد که سیتوکینین درونزا نقش مهمی در تقسیم سلولی و اتساع بافت فرابر (pericarp) در مراحل اولیه نمو میوه دارد که در نتیجه آن اندازه میوه افزایش می‌یابد (Gan *et al*., 2022). احتمالاً کاربرد خارجی 6-BAP در آزمایش حاضر نیز اثر مشابهی بر بافت میوه داشته است. علاوه‌براین، افزایش عملکرد پس از کاربرد سیتوکینین‌های مختلف در گیاه بامیه (Mostafa & Brengi, 2018) و نیز در گلابی با محلول‌پاشی BA (Aremu *et al*., 2020) گزارش شده است. سیتوکینین‌ها باعث بهبود عملکرد در طیف وسیعی از گیاهان می‌شوند و کاربرد پیش از برداشت آنها کمیت و کیفیت را بهبود می‌بخشد (Aremu *et al*., 2020). در آزمایش حاضر، با توجه به افزایش میانگین تعداد میوه‌ها و اندازه و وزن آنها در اثر محلول‌پاشی با 6-BAP افزایش عملکرد قابل توجیه است.

وزن تر و خشک شاخساره و ریشه

در گزارشی، 6-BAP سبب افزایش وزن تر و خشک ساقه‌های رونده توت‌فرنگی شد (Liu *et al*., 2019). در گیاه سینگونیوم نیز محلول‌پاشی با ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر کینتین (kinetin) باعث افزایش وزن تر و خشک برگساره، و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر BAP سبب تولید بالاترین وزن تر و خشک ریشه نسبت به دیگر سیتوکینین‌ها شد (Kasem & Helaly, 2021). کاربرد کینتین باعث افزایش وزن تر شاخساره در گیاهان بامیه، خیار و گوجه‌فرنگی شد که به عقیده محققین علت آن افزایش قطر ساقه بوده است (Mostafa & Brengi, 2018). در یک آزمایش، افزایش وزن بوته فلفل به علت افزایش TSS و در نتیجه بهبود رشد گیاه عنوان گردیده است (Taheri & Haghighi, 2018). در آزمایش حاضر نیز احتمالاً 6-BAP با افزایش قطر طوقه، تعداد و سطح برگ بوته‌ها و میزان TSS، افزایش وزن بوته را باعث شده است.

طعم میوه (TSS/TA) و محتوای اسید اسکوربیک

در آزمایشی بر روی توت‌فرنگی، کاربرد پیش از برداشت سیتوکینین CPPU بر TSS و TA بررسی شد. طبق[1] نتایج، محتوای TSS طی رسیدن میوه افزایش یافت. CPPU توانست متابولیسم هورمون درونزای سیتوکینین را در میوه‌ها تنظیم کند که در افزایش غلظت قندها در مرحله آخر نموی دخالت داشت. به‌علاوه، CPPU به طور معنی‌داری سطح TA را طی رسیدن میوه کاهش داد (Li *et al*., 2016). به‌نظر می‌رسد در آزمایش حاضر 6-BAP نیز احتمالاً تأثیر مشابهی داشته است. طبق نتایج یک آزمایش، محلول‌پاشی گیاه فلفل (*Capsicum annum*) با غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار BAP در فواصل زمانی هر ۱۰ روز یک بار، که از روز پنجم کاشت نشاء تا زمان برداشت انجام شده بود، نیز محتوای اسید اسکوربیک میوه را نسبت به شاهد افزایش داد. این آزمایش، به نقش سیتوکینین‌ها در بیوسنتز اسید اسکوربیک در گیاه فلفل اشاره داشته است (Shams *et al*., 2018). به‌نظر می‌رسد 6-BAP در آزمایش حاضر نیز اثر مشابهی بر گیاه توت‌فرنگی داشته است. L- اسید اسکوربیک (AsA) نام متداول برای L- ترئو-هگز-۲-انونو-۱،۴-لاکتون[2] است. انسان‌ها و تعداد کمی از سایر پستانداران قادر نیستند AsA را سنتز کنند. این ترکیب که به‌نام ویتامین C شناخته می‌شود، دارای کارکردهای مهم آنتی‌اکسیدانی و متابولیکی است، به‌طوری که وجود آن در رژیم غذایی انسان ضروری است. گیاهان منبع اصلی ویتامین C هستند و میوهٔ توت‌فرنگی منبعی غنی از این ویتامین به‌شمار می‌آید (Cruz-Rus *et al*., 2011).

رنگ میوه

در یک آزمایش، محلول‌پاشی پیش از برداشت با BA و GA_{4+7} بر رنگ میوه گلابی موثر بود. BA با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر برتری معنی‌داری در رابطه با L^*، a^*، b^* و C نسبت به سایر تیمارها ایجاد کرد و در غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر h° برتری نشان داد (Canli & Pektas, 2015) که با نتایج به دست آمده از آزمایش حاضر همخوانی دارد. طبق بررسی های انجام شده، سیتوکینین‌های مختلف (CPPU، BA و TDZ[3]) رنگ میوه را در محصولات مختلف بهبود می‌بخشند (Aremu *et al*., 2020). افزایش مقدار a^* در آزمایش حاضر نشانگر افزایش رنگ قرمز در میوه‌های تیمار شده است.

محتوای کلروفیل برگ

در آزمایشی محلول‌پاشی گیاه سینگونیوم با سیتوکینین 2ip در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش محتوای کلروفیل کل، a و b شد (Kasem & Helaly, 2021). کاربرد سیتوکینین CPPU در غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر نیز افزایش محتوای کلروفیل کل در زردآلو را در پی داشت (Medan & Al-Douri, 2021). کلروفیل a عامل ایجاد رنگ سبز متمایل به آبی و کلروفیل b عامل تولید رنگ سبز مایل به زرد است (Palta, 1990). سیتوکینین‌ها در سطح سلولی باعث ترغیب تمایزیابی اتیوپلاستها و تبدیل آنها به کلروپلاستها شده و نیز در تقسیم و افزایش تعداد کلروپلاستها اثر مثبتی دارند. همچنین، در سطح غشای تیلاکوئیدی سبب افزایش محتوای رنگدانه‌های فعال فتوسنتزی می‌شوند (Hönig *et al*., 2018).

سفتی بافت و ماندگاری میوه

اگرچه درجاتی از نرمی بافت میوه، بسته به گونه و رقم، مطلوب است، اما نرمی بیش از حد منجر به تسریع در پوسیدگی پس از برداشت و عدم رضایت مشتریان می‌شود (Aremu *et al*., 2020). اثر مثبت کاربرد CPPU در زمان ظهور گل‌آذین‌های

---

1. *N*-(2-chloro-4-pyridyl)-*N*′-phenylurea
2. L-threo-hex-2-enono-1,4-lactone
3. Thidiazuron
4. etioplasts

انگور بر سفتی میوه هنگام 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). احتمالاً 6-BAP نیز به شیوه‌ای مشابه باعث افزایش سفتی میوه‌ها شده است. اثر مثبت برخی از اسانس‌های فیتونسیدی نیز بر سفتی میوه توت‌فرنگی با استفاده از غلظت‌های مختلفی از اسانس‌های سیر و رزماری (Hosseini *et al*., 2020)، اسانس درخت چای (Wei *et al*., 2018) و اسانس ریحان (Asghari Marjanlu *et al*., 2009) گزارش شده است، به‌طوری که کاربرد پیش از برداشت اسانس درخت چای سبب شد تا بتا–گالاکتوزیداز و اکسپنسین که با متابولیسم[1] دیوارهٔ سلولی[2] مرتبط هستند در میوه‌های تیمار شده به مقدار کمتری یافت شوند. متابولیسم دیوارهٔ سلولی مستقیماً با نرم شدن بافت میوه ارتباط داشته و منجر به کاهش سفتی بافت و تسهیل آلودگی توسط عوامل بیماری‌زا می‌شود. طبق نتایج گزارش شده، اسانس درخت چای در جلوگیری از بیان ژن و فعالیت آنزیم‌های دخیل در تجزیهٔ دیوارهٔ سلولی، شامل بتا–گالاکتوزیداز و اکسپنسین نقش داشته است (Wei *et al*., 2018). در آزمایش حاضر نیز، احتمالاً PNE مورد استفاده با پایین– تنظیمی[3] پروتئین‌های مسئول در متابولیسم دیوارهٔ سلولی باعث سفتی بیشتر میوه‌های تیمار شده نسبت به گروه شاهد شده است. در آزمایشی دیگر نیز افزایش ماندگاری میوه کیوی به مدت دو ماه در نتیجه کاربرد سیتوکینین در مقایسه با میوه‌های شاهد گزارش شد (Aremu *et al*., 2020). همچنین، محلول‌پاشی پیش از برداشت گیاه توت‌فرنگی با اسانس درخت چای عمر قفسه‌ای میوه را بهبود بخشید که به عقیده محققین افزایش سفتی میوه عامل آن بوده است (Wei *et al*., 2018). در آزمایش حاضر نیز افزایش سفتی میوه در نتیجه کاربرد 6-BAP و PNE حاصل شد که به نظر می‌رسد عامل بهبود ماندگاری میوه باشد.

کاهش وزن میوه، کیفیت ظاهری میوه

کاهش وزن عمدتاً ناشی از تبخیر آب در نتیجه تعرق و تنفس میوه است (Nguyen *et al*., 2020). با توجه به‌این‌که تیمار با 6-BAP و PNE در آزمایش حاضر سبب افزایش سفتی بافت و ماندگاری بیشتر میوه شد، لذا به‌نظر می‌رسد تعویق در کاهش وزن میوه‌ها قابل توجیه باشد. به‌علاوه، برخی پوشش‌های ایجاد شده بر روی میوه به‌صورت سدی در مقابل اکسیژن، دی‌اکسید کربن و رطوبت عمل کرده و باعث کاهش در تنفس، واکنش اکسیداسیون و از دست رفتن آب می‌شوند (Nguyen *et al*., 2020). احتمالاً پوشش حاصل از محلول‌پاشی میوه توت‌فرنگی با فیتونسید حاوی اسانس‌های روغنی نیز به همین صورت عمل کرده است.

اگرچه در روز بیستم از درخشندگی ظاهری میوه‌ها و بازارپسندی آنها کاسته شده بود، اما همچنان به‌عنوان محصول درجه دو از بازاریابی خوبی برخوردار بودند. پس از آن، با نرم شدن بیشتر بافت میوه‌ها علائم بیماری‌های قارچی و باکتریایی نیز در آنها نمایان شد. طبق یک گزارش، استفاده از اسانس روغنی درخت چای در حفظ کیفیت ظاهری میوه توت‌فرنگی اثر مثبتی داشت و پوسیدگی میوه را به‌مدت بیشتری به تعویق انداخت. طبق این گزارش، تیمار با فیتونسید باعث افزایش سطوح پروتئین-های PR-10 و آنزیم جاسمونات O-متیل ترنسفراز (JMT) می‌شود که در افزایش مقاومت به بیماری و کاهش پوسیدگی پس از برداشت نقش موثری دارند (Wei *et al*., 2018). در آزمایش حاضر نیز احتمالاً اختلاف بین کیفیت ظاهری میوه‌ها در تیمارهای مختلف در مدت زمان انبارداری ناشی از اثر مثبت PNE مورد استفاده بر افزایش مقاومت میوه به بیماری بوده است. علاوه‌برآن، سفتی بالاتر میوه‌های تیمار شده با فیتونسید نیز می‌تواند به جلوگیری از آلودگی توسط پاتوژن‌ها کمک نموده، و مقاومت میوه‌ها را افزایش دهد که در نتیجهٔ آن کیفیت ظاهری میوه‌ها برای مدت زمان بیشتری حفظ می‌شود.

---

[1]. β-galactosidase

۲ expansin

۳ down-regulation

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این آزمایش نشان داد کاربرد پیش از برداشت 6-BAP به‌طور قابل توجهی بر بهبود تمام صفات مورد مطالعه در توت‌فرنگی موثر بود. در نتیجه، کاربرد این سیتوکینین می‌تواند ابزار کارآمدی در بهبود کمی و کیفی ویژگی‌های مختلف گیاه توت‌فرنگی محسوب شده و بازارپسندی و ارزش تغذیه‌ای آن را از نظر محتوای ویتامین C افزایش دهد. بین دو غلظت مورد آزمایش فیتونسید تفاوت معنی‌داری در رابطه با صفات بررسی شده مشاهده نشد. اگرچه PNE استفاده شده بر اکثر صفات مورد مطالعه اثر معنی‌داری نشان نداد، اما با تأثیر بر سفتی بافت میوه به ماندگاری و حفظ کیفیت پس از برداشت آن کمک شایانی نمود. با توجه به‌این‌که پیشتر نیز فیتونسیدها عمدتاً به‌عنوان ترکیباتی با خواص ضدمیکروبی و دارای اثرات بازدارنده بر پاتوژن-های گیاهی شناخته شده‌اند، عدم تأثیرگذاری این فیتونسید بر سایر صفات مورد بررسی در آزمایش حاضر منطقی به‌نظر می‌رسد. بنابراین، می‌توان این فیتونسید طبیعی را جایگزین قارچ‌کش‌های شیمیایی نمود و ضمن کمک به ماندگاری میوه از مضرات بقایای سموم در بافت میوه نیز جلوگیری نمود.

منابع

– اصغری مرجانلو، ابوالفضل؛ مستوفی، یونس؛ شعیبی، شهرام و مقومی، مهشاد (۱۳۸۷). تاثیر اسانس ریحان بر کنترل پوسیدگی خاکستری و کیفیت پس از برداشت توت فرنگی (سلوا). *فصلنامه گیاهان دارویی*، ۸(۲۸)، ۱۳۱–۱۳۹.

– آزادشهرکی، فرزاد و کفاشان، جلال. (۱۳۹۶). *شاخص‌های کیفی محصولات باغی و روش‌های اندازه‌گیری آن‌ها*. چاپ اول، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت ترویج، نشر آموزش کشاورزی، کرج.

– سیفی، فرزانه؛ فرزانه، محسن؛ رفعتی، حسن و رضادوست، حسن. (۱۳۹۳). بررسی خاصیت ضدقارچی نانو امولسیون اسانس برخی گیاهان دارویی در کنترل پوسیدگی نرم توت‌فرنگی ناشی از *Rhizopus stolonifer*. *مهار زیستی در گیاه‌پزشکی*، ۲(۱)، ۷۹–۶۹.

REFERENCES

Abdi, S., Abbaspur, N., Avestan, S., & Barker, A. V. (2016). Sana physiological responses of two grapevine (*Vitis vinifera* L.) cultivars to Cycocel™ treatment during drought. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 91(3), 211-219.

Ali, M. M., Anwar, R., Malik, A. U., Khan, A. S., Ahmad, S., Hussain, Z., Ul Hasan, M., Nasir, M. & Chen, F. (2021). Plant growth and fruit quality response of strawberry is improved after exogenous application of 24-epibrassinolide. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-14.

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

Asghari Marjanlu, A., Mostofi, Y., Shoeibi, S. H. & Maghoumi, M. (2009). Effect of basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oil on gray mold control and postharvest quality of strawberry (cv. Selva). *Journal of Medicinal Plants*, 8(28), 131-139. (In Persian)

Ather-uz-Zaman, Al-Khayri J.M. & Islam R. (2018). Genetic improvement of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duchesne). In: Al-Khayri J., Jain S., Johnson D. (eds) *Advances in Plant Breeding Strategies: Fruits*. Springer, Cham.

Azadshahraki, F. & Kaffashan, J. (2017). *Qualitative indices of horticultural crops and their measurement methods* (1st Ed.). Agricultural research, Education and extension organization, Karaj. (In Persian)

Bal, E., & Ürün, B. A. (2021). Effects of chitosan coating with putrescine on bioactive compounds and quality of strawberry cv. San Andreas during cold storage. *Erwerbs-Obstbau*, 63(1), 7-14.

Canli, F. A., & Pektas, M. (2015). Improving fruit size and quality of low yielding and small fruited pear cultivars with benzyladenine and gibberellin applications. *European Journal of Horticultural Science*, 80(3), 103-108.
Capozzi, F., Sorrentino, M. C., Di Palma, A., Mele, F., Arena, C., Adamo, P., Spagnuolo, V. & Giordano, S. (2020). Implication of vitality, seasonality and specific leaf area on PAH uptake in moss and lichen transplanted in bags. *Ecological Indicators*, 108, 105727.
Chandler, C. K., Folta, K., Dale, A., Whitaker, V. M., & Herrington, M. (2012). Strawberry. In: Badenes, M., Byrne, D. (Eds), *Fruit breeding*. 305-325. Springer, Boston, MA.
Cheng, W. W., Lin, C. T., Chu, F. H., Chang, S. T., & Wang, S. Y. (2009). Neuropharmacological activities of phytoncide released from *Cryptomeria japonica*. *Journal of Wood Science*, 55(1), 27-31.
Cruz-Rus, E., Amaya, I., Sanchez-Sevilla, J. F., Botella, M. A., & Valpuesta, V. (2011). Regulation of L-ascorbic acid content in strawberry fruits. *Journal of Experimental Botany*, 62(12), 4191-4201.
Gan, L., Song, M., Wang, X., Yang, N., Li, H., Liu, X., & Li, Y. (2022). Cytokinins are involved in regulation of tomato pericarp thickness and fruit size. *Horticulture research*, 9.
Garrido-Bigotes, A., Figueroa, P. M., & 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.
Hancock J., Sjulin T., Lobos G. (2008) Strawberries. In: Hancock J.F. (Ed) *Temperate fruit crop breeding*. Springer, Dordrecht.
Hönig, M., Plíhalová, L., Husičková, A., & Doležal, K. (2018). Role of cytokinins in senescence, antioxidant defense and photosynthesis. *International journal of molecular sciences*, 19(12), 4045.
Hosseini, S., Amini, J., Saba, M. K., Karimi, K., & Pertot, I. (2020). Preharvest and postharvest application of garlic and rosemary essential oils for controlling anthracnose and quality assessment of strawberry fruit during cold storage. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1855.
Kasem, M. M., & 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.
Kim, D. H., Kim, H. B., Chung, H. S., & Moon, K. D. (2014). Browning control of fresh-cut lettuce by phytoncide treatment. *Food Chemistry*, 159, 188-192.
Kour, S., Kumar, R., Wali, V., Sharma, A., & 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.
Kurkina, Y., Esina, E., & Barskova, A. (2020). Phytoncidal activity of essential oils of medicinal plants to some strains of mold fungi. *Journal of Agriculture and Environment*, 1(13):21-24.
Lester, G. E., Lewers, K. S., Medina, M. B., & 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, Y., Hu, J., Xiao, J., Guo, G., & Jeong, B. R. (2021). Foliar thidiazuron promotes the growth of axillary buds in strawberry. *Agronomy*, 11(3), 594.
Li, Y., Hu, J., Wei, H., & Jeong, B. R. (2020). A long-day photoperiod and 6-benzyladenine promote runner formation through upregulation of soluble sugar content in strawberry. *International journal of molecular sciences*, 21(14), 4917.
Li, L., Li, D., Luo, Z., Huang, X., & Li, X. (2016). Proteomic response and quality maintenance in postharvest fruit of strawberry (*Fragaria× ananassa*) to exogenous cytokinin. *Scientific reports*, 6(1),1-11.
Liu, C., Guo, Z., Park, Y. G., Wei, H., & 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.
Liu, C., Zheng, H., Sheng, K., Liu, W., & Zheng, L. (2018). Effects of melatonin treatment on the postharvest quality of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 139, 47-55.

Mahajan, B.V.C., Tandon, R., Swati, K. & Sidhu, M.K. (2018). Natural coatings for shelf-life enhancement and quality maintenance of fresh fruits and vegetables - A review. *Journal of Postharvest Technology*, 6(1): 12–26.
Martínez, K., Ortiz, M., Albis, A., Gilma Gutiérrez Castañeda, C., Valencia, M. E., & Grande Tovar, C. D. (2018). The effect of edible chitosan coatings incorporated with *Thymus capitatus* essential oil on the shelf-life of strawberry (*Fragaria x ananassa*) during cold storage. *Biomolecules*, 8(4), 155.
Medan, R. A., & 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. IOP Publishing.
Mostafa, S. H., & 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.
Nguyen, V. T., Nguyen, D. H., & Nguyen, H. V. (2020). Combination effects of calcium chloride and nano-chitosan on the postharvest quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Postharvest Biology and Technology*, 162, 111103.
Ni, J., Shah, F. A., Liu, W., Wang, Q., Wang, D., Zhao, W., Lu, W., Huang, S., Fu, S. & Wu, L. (2018). Comparative transcriptome analysis reveals the regulatory networks of cytokinin in promoting the floral feminization in the oil plant *Sapium sebiferum*. *BMC plant biology*, 18(1), 1-16.
Palta, J. P. (1990). Leaf chlorophyll content. *Remote sensing reviews*, 5(1), 207-213
Pandey, S., Giri, V. P., Tripathi, A., Kumari, M., Narayan, S., Bhattacharya, A., Srivastava, S. & Mishra, A. (2020). Early blight disease management by herbal nanoemulsion in *Solanum lycopersicum* with bio-protective manner. *Industrial Crops and Products*, 150, 112421.
Pétriacq, P., López, A., & Luna, E. (2018). Fruit decay to diseases: can induced resistance and priming help?. *Plants*, 7(4), 77.
Ragini, B. K., Chandrashekar, S. Y., Hemla, N. B., Shivaprasad, M., & 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.
Robles-Flores, G. D. C., Abud-Archila, M., Ventura-Canseco, L. M. C., Meza-Gordillo, R., Grajales-Lagunes, A., Ruiz-Cabrera, M. A., & 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. & Campos-Vargas, R. (2021). Pre-anthesis cytokinin applications increase table grape berry firmness by modulating cell wall polysaccharides. *Plants*, 10(12), 2642.
Savini, G., Neri, D., Zucconi, F., & Sugiyama, N. (2005). Strawberry growth and flowering: an architectural model. *International Journal of Fruit Science*, 5(1), 29-50.
Seifi, F., Farzaneh, M., Rafati, H. & Rezadoost, H. (2014). Antifungal potency of some medicinal plants essential oils nanoemulsions to control soft rot in strawberry fruit caused by *Rhizopus stolonifer*. *Biocontrol in Plant Protection*, 2(1), 69-79. (In Persian)
Shahavi, M. H., Hosseini, M., Jahanshahi, M., Meyer, R. L., & Darzi, G. N. (2016). Clove oil nanoemulsion as an effective antibacterial agent: Taguchi optimization method. *Desalination and Water Treatment*, 57(39), 18379-18390.
Shams, M., Yildirim, E., Ekinci, M., Agar, G., Turan, M., & Kul, R. (2018). Exogenous cytokinin application increased the capsaicin and ascorbic acid content in pepper fruit. *Sci Papers*, 62, 507-11.
Shaw, D.V. & Larson, K.D. (2006). Strawberry plant named 'Albion'. U.S. Patent No. US PP16,228 P3, 31 January 2006.
Souri, M. K., & Bakhtiarizade, M. (2019). Biostimulation effects of rosemary essential oil on growth and nutrient uptake of tomato seedlings. *Scientia Horticulturae*, 243, 472-476.

Sun, Y., Asghari, M., & Zahedipour-Sheshgelani, P. (2020). Foliar spray with 24-epibrassinolide enhanced strawberry fruit quality, phytochemical content, and postharvest life. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-10.

Taheri, M., & Haghighi, M. (2018). Benzyl adenine is more effective than potassium silicate on decreasing the detrimental effects of heat stress in pepper (*Capsicum annum* cv. PS301). *Iran Agricultural Research*, 37(1), 89-98.

Tatiana, P., Odagiu, A., Mălinaş, C., & Balint, C. (2020). The potential phytoncide effect of *Allium cepa* L. extracts. *ProEnvironment Promediu*, 13(44),133-136.

Wei, Y., Shao, X., Wei, Y., Xu, F., & 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., & Wei, H. (2021). The diverse roles of cytokinins in regulating leaf development. *Horticulture Research*, 8.

Zahedipour-Sheshglani, P., & 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., & Tang, H. (2018). Anthocyanin accumulation and related gene expression affected by low temperature during strawberry coloration. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40(11), 1-8.