The University of Tehran Press

Iranian Journal of Horticultural Science

Online ISNN: 2008-482X

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

Effect of LED Light and Stem Training Methods on Morphological and Biochemical Characteristic of Greenhouse Grafted Tomato

Hamideh Nikkhah Amirabad [1], Seyyed Abdullah Eftekhari[2]✉, Reza Salehi[3] and Mokhtar Heidari[4]

1. Department of Horticultural Science, College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Khuzestan, Iran. E-mail: Hamideh.nikkhah884@yahoo.com
2. Corresponding Author, Department of Horticultural Science, College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Khuzestan, Iran. E-mail: eftekhari@scu.ac.ir
3. Department of Horticultural Science, College of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail. salehir@ut.ac.ir
4. Department of Horticultural Science, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran. E-mail: mkheidari@asnrukh.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 7 March 2024

Received in revised form: 9 July 2024

Accepted: 13 July 2024

Published online: Atumn 2024

Keywords:

Blue light,

Pruning,

Red light,

Stock,

Tomato,

Vegetable Grafting.

ABSTRACT

Vegetable grafting is an emerging management technique extensively employed to mitigate biotic and abiotic stresses in greenhouse-grown fruits and vegetables. In this study, the 'SV4129TH' tomato cultivar was grafted onto the 'Emperdor' rootstock. Grafted seedlings with two and three stems, as well as non-grafted control seedlings, were grown for 30 days in a controlled environment under four different LED light treatments: pure red, pure blue, white (full spectrum), and a combination of red and blue (30% and 70%, respectively). The findings indicate that the combination of red and blue light (RB) is the most effective light source for enhancing the quality of grafted tomato seedlings. After 30 days under these light conditions, evaluations revealed significant increases in morphological traits for grafted multi-stemmed plants compared to non-grafted single-stemmed plants, with height, stem diameter, and number of leaves increasing by 10.28%, 13.16%, and 65%, respectively. The yield and average fruit size in two-stem and three-stem grafted plants were 3.2-4.1% and 16.17-27% higher than those in non-grafted single-stemmed plants. Biochemical attributes such as lycopene, soluble solids, and vitamin C were 30%, 9.1%, and 9.58% higher in grafted plants, respectively, compared to non-grafted plants. Non-grafted plants had an acidity level of 0.67%, which was higher than that of grafted plants. Overall, the most productive and efficient option was the three stemmed grafted tomatoes, which produced 11.9 kg per plant.

Cite this article: Nikkhah Amirabad, H., Eftekhari, S. A., Salehi, R. & Heidari, M. (2024). Effect of LED Light and Stem Training Methods on Morphological and Biochemical Characteristic of Greenhouse Grafted Tomato. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 55 (3), 457-474. DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.373618.2159

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.373618.2159

Extended Abstract

Introduction

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is a crucial horticultural crop worldwide. To boost yields, farmers use methods such as hybrid varieties, controlled environments, and soilless culture. Extending the production period in greenhouses can increase yield but also subjects plants to biotic and abiotic stresses. The repeated use of chemicals to manage these stresses poses environmental risks, leading to a shift towards sustainable methods like grafting. Grafting combines the characteristics of two plants, with a strong rootstock supporting the shoot of a valuable but stress-sensitive plant. This technique enhances stress tolerance, water and nutrient efficiency, yield, and fruit quality. Grafting improves resistance to salinity, water stress, soil-borne diseases and environmental stresses. Successful grafting depends on the effective healing

of the wound at the graft junction. Another important practice is stem training, which optimizes plant management to increase yield and quality. Various training methods affect plant physiology and performance, with double-stemmed grafted plants showing better results. Light, crucial for photosynthesis, affects grafting success and plant growth. Studies show that a combination of red and blue light leads to better grafting results and overall growth. More research is needed on training methods and light effects on grafted tomatoes to fully realize their potential in soilless cultivation systems.

Materials and Methods

From autumn 2022 through spring 2023, a study was conducted at the research greenhouse, Department of Horticultural Sciences, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. The research focused on tomato plants, specifically utilizing the SV4129TH variety as the scion and the Emperador variety as the rootstock. Employing a factorial design within completely randomized blocks, the experiment investigated the effects of different light spectra (red, blue, white, and a combination of red and blue light) on seedlings, alongside various plant training methods. Seeds were initially sown in trays filled with cocopeat and perlite (3:1 ratio). After three weeks, once the stem diameter reached 2 mm, the seedlings underwent splice grafting and were subsequently transferred to a controlled grafting chamber with a humidity level of 95% and a temperature maintained between 28-30°C. Over time, the humidity in the chamber was gradually reduced, while light intensity was incrementally increased to facilitate the acclimatization of the grafted seedlings. Once the seedlings developed three true leaves, they were trained either as two-stemmed or three-stemmed plants and then moved into growth cubes. During a one-month period, the seedlings were exposed to different light spectra using 18-watt LED wall washers, providing an intensity of 75 ± 5 µmol/m^2/Sec. Upon the appearance of the first flower cluster, the plants were transplanted into cocopeat grow bags. The greenhouse maintained a diurnal temperature range of 23-24°C and a nocturnal range of 17-18°C, alongside a relative humidity of 65-70% and natural lighting. The plants were irrigated using a drip system with a modified Hoagland nutrient solution. Throughout the four-month growth period in the greenhouse, data on plant performance were collected during the final three months. Harvesting occurred at the ripened (red) stage of the fruits, which were promptly transported to the laboratory for comprehensive measurements. Parameters assessed included fruit dimensions (length, diameter), weight, yield, average weight, firmness, total soluble solids (TSS), ascorbic acid content, total titratable acidity, and lycopene levels. Additionally, measurements were taken for plant height, root volume, and the fresh and dry weights of stems, leaves, and roots.

Results and Discussion

It was found that stem training had a significant influence on yield, fruit weight, fruit dry matter, and fruit firmness. Fruit shape index was unaffected by the stem training methods. Conversely, light treatments and their interaction with stem training methods did not show significant effects on these measured indices. Concerning yield, grafted tomato plants trained with three stems produced higher yields (9.11 kg) compared to plants trained with two stems (8.18 kg) and non-grafted single-stem plants (3.2 kg). This represents yield increases of 27% and 17%, respectively, over non-grafted single-stem plants. Regarding fruit characteristics, the stem training method influenced average fruit weight, with plants grafted with two stems exhibiting higher weights (185.83 g) than those with three stems (162.97 g) and non-grafted single-stem plants (131.51 g). Similarly, grafted plants having two stems showed higher fruit dry matter percentages (16.13%) compared to plants with three stems (11.78%) and non-grafted plants (11.36%). The study also emphasized significant variations in vegetative growth indices such as stem weight, leaf weight, root weight, root volume, plant height, and stem diameter across different stem training methods. These findings underscore the crucial role of stem training methods in influencing both the quality of fruit and the vegetative growth of tomato plants, particularly under varying light conditions.

The research investigated how different light spectra affected grafted tomato plants with either two or three stems. Despite exposing the plants to red, blue, white light, and combinations thereof, there was no significant impact observed on root growth, above-ground parts, or fruit quality metrics. This could be attributed to the completion of graft healing processes before the light treatments were administered. Earlier studies have emphasized the role of light in graft uptake and plant physiological processes. The study proposes that future research should delve into light spectra and other environmental factors such as temperature to gain deeper insights into their effects on grafted tomato plants. Overall, the study reaffirmed that grafted plants, particularly those trained with two or three stems, exhibit enhanced fruit quality and yield compared to non-grafted plants with single stems, consistent with prior research highlighting the advantages of grafting in tomato cultivation.

Conclusion

The study found that light treatments (red, blue, white, red-blue mix) post-grafting didn't affect tomato plant growth or fruit quality significantly. Future research should explore light effects during graft establishment or adjust light intensity/wavelengths from grafting to pre-flowering. Moreover, grafting methods (two or three stems) significantly influenced tomato growth and fruit biochemistry compared to non-grafted single-stem plants. Further investigations using diverse rootstock/scion combos and training methods (single-stem, two-stem, three-stem) are needed to better understand their interactions and impact on tomato physiology and fruit quality.

نشریه علوم باغبانی ایران، دوره ۵۵، شماره ۳

انتشارات دانشگاه تهران

شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۷۹۳۰

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

تأثیر طیف نور ال‌ای‌دی و روش تربیت بوته بر صفات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی گوجه‌فرنگی پیوندی گلخانه‌ای

حمیده نیکخواه امیرآباد[۱] | سیدعبداله افتخاری[۲]✉ | رضا صالحی [۳]| مختار حیدری[۴]

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، خوزستان، ایران. رایانامه: Hamideh.nikkhah884@yahoo.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، خوزستان، ایران. رایانامه: eftekhari@scu.ac.ir

۳. گروه مهندسی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: salehir@ut.ac.ir

۴. گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران. رایانامه: mkheidari@asnrukh.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۲۳

تاریخ انتشار: پاییز ۱۴۰۳

کلیدواژه‌ها:

پایه، پیوند سبزی‌ها، کیفیت، گوجه‌فرنگی، نور قرمز، نور آبی، هرس.

چکیده

پیوند سبزی‌ها یک استراتژی مدیریتی نوین است که به‌طور گسترده با هدف جلوگیری از تنش‌های زیستی و غیر زیستی در سبزی‌های میوه‌ای در گلخانه‌ها به کار گرفته می‌شود. برای این منظور گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای رقم SV4129TH به‌عنوان پیوندک، روی گوجه‌فرنگی رقم امپرادور (به‌عنوان پایه) پیوند شد. نشاهای پیوند شده دو و سه ساقه‌ای همراه با نشاهای غیر پیوندی به‌عنوان شاهد (تک ساقه بدون تربیت بوته) به مدت ۳۰ روز در محیط کاملاً کنترل‌شده تحت چهار تیمار نور ال ای دی (LED) شامل نورهای قرمز، آبی، سفید (طیف کامل) و ترکیب نورهای قرمز و آبی (۷۰ به ۳۰ درصد) در طبقات مجزا قرار داده شدند. نشاهای رشد یافته زیر نور ال ای دی ، بعد از ۳۰ روز به گلخانه با شرایط طبیعی انتقال یافتند. نتایج نشان داد که ارتفاع گیاه و قطر ساقه در گیاهان چند ساقه‌ای پیوندی نسبت به گیاهان تک ساقه‌ای غیر پیوندی به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند (به ترتیب ۱۰/۲۸، ۱۳/۱۶ و ۶۵ درصد). همچنین، باردهی (میانگین تک میوه و عملکرد در بوته) در گیاهان پیوندی نسبت به گیاهان تک ساقه غیر پیوندی افزایش نشان دادند (به ترتیب ۴/۱ – ۲/۳ و ۲۷ – ۱۷/۱۶ درصد). ویژگی‌های بیوشیمیایی مانند لیکوپن، کل مواد جامد محلول و اسید آسکوربیک در میوه گیاهان پیوندی افزایش نشان دادند (به ترتیب ۳۰، ۹/۱ و ۹/۵۸ درصد بیشتر از گیاهان غیر پیوندی). میزان اسیدیته میوه در گیاهان غیر پیوندی برابر با ۰/۶۷ درصد بود که در مقایسه با گیاهان پیوندی بیشتر بود.

استناد: نیکخواه امیرآباد، حمیده؛ افتخاری، سیدعبداله؛ صالحی، رضا و حیدری، مختار (۱۴۰۳). تأثیر طیف نور ال‌ای‌دی و روش تربیت بوته بر صفات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی گوجه¬فرنگی پیوندی گلخانه‌ای. *نشریه علوم باغبانی ایران*، ۵۵ (۳)، ۴۷۴-۴۵۷. DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.373618.2159

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.373618.2159

مقدمه

گوجه‌فرنگی[1] از مهم‌ترین محصولات باغی جهان است. کشاورزان برای به دست آوردن عملکرد بالا در کشت و پرورش گوجه‌فرنگی، روش‌های مختلفی مانند استفاده از ارقام هیبرید، تولید در شرایط کنترل‌شده و کشت در بسترهای بدون خاک را مورداستفاده قرار می‌دهند. افزایش دوره تولید گوجه‌فرنگی (از پاییز تا تابستان بعدی) با کشت در گلخانه یکی از روش‌های رایج افزایش عملکرد در گوجه‌فرنگی است. بااین‌حال، گیاه گوجه‌فرنگی در طول چنین دوره کشت طولانی، به‌ویژه در گلخانه‌های خورشیدی، تحت تنش‌های مختلف زیستی (مانند دما و شوری شدید) و تنش زیستی (مانند پاتوژن‌ها و نماتدهای موجود در خاک) قرار می‌گیرد (Lee *et al*., 2010). یکی از روش‌های کاهش اثرات عوامل تنش‌زای زنده، استفاده مکرر از قارچ‌کش‌ها و آفت‌کش‌هاست که به نوبه خود منجر به تهدیدی برای محیط‌زیست محسوب می‌شود. افزایش نگرانی در مورد اثرات مواد شیمیایی مورداستفاده در تولید محصولات کشاورزی بر سلامت مصرف‌کننده و محیط زیست، همچنین وضع قوانین محدودکننده کاربرد برخی مواد شیمیایی در کشاورزی مانند محدودیت استفاده از متیل بروماید برای ضدعفونی خاک یا بستر کاشت موجب افزایش توجه به روش‌های مناسب برای کنترل عوامل تنش‌زای زنده و غیرزنده گردیده است.

یکی از راه‌های بهبود مقاومت گیاه به تنش‌های زنده و یا غیرزنده استفاده از گیاهان پیوندی است (Lee *et al*., 2010). پیوند امکان استفاده از ویژگی‌های دو گیاه را فراهم می‌سازد و سیستم ریشه‌ای یک گیاه، رشد شاخساره گیاه دیگر باارزش اقتصادی بالا اما حساس به یک یا چند عامل تنش‌زا را حمایت می‌کند. برای افزایش کارایی گیاهان پیوندی، گیاهان مورداستفاده به‌عنوان پایه باید از ژنوتیپ‌هایی با ویژگی‌های متمایز مانند تحمل به یک یا چند عامل محیطی خاص، سیستم ریشه توسعه‌یافته‌تر و قوی‌تر، مقاوم به عوامل بیماری‌زا و متحمل به شرایط مختلف محیطی نامناسب انتخاب شوند (Gaion *et al*., 2018). با انتخاب پایه مناسب، امکان افزایش تحمل تنش‌های زنده و غیرزنده، افزایش کارایی استفاده از آب و عناصر معدنی، افزایش عملکرد و بهبود کیفیت میوه فراهم می‌گردد (Hu, 2016). پیوند در سبزی‌ها در اوایل قرن ۲۰ میلادی در شرق آسیا برای کنترل بیماری‌های خاکزاد در تولید هندوانه مورداستفاده قرار گرفت (Sakata *et al*., 2008). با مشخص شدن کارایی پیوند در کنترل عوامل بیماری‌زا و تنش‌های محیطی، توجه به پیوند سبزی‌ها افزایش یافت و پیوند در گیاهان تیره‌های سیب‌زمینی و کدوئیان در اروپا، آمریکا و آسیا رایج گردید (Hu, 2016). پیوند در گوجه‌فرنگی در کشورهای مختلف مانند چین، آمریکا، ایتالیا، اسپانیا و سایر کشورها موردتوجه قرارگرفته است (Singh *et al*., 2017). این روش یک استراتژی مؤثر برای غلبه بر چالش‌های تولید گوجه‌فرنگی ناشی از تنش‌های زیستی و بیماری‌ها محسوب می‌گردد. افزایش تحمل به شوری و تنش کمبود آب (Al-Harbi *et al*., 2017)، افزایش مقاومت در برابر بیماری‌های خاکزاد مانند پژمردگی‌های باکتریایی، پوسیدگی فوزاریومی طوقه، پوسیدگی چوب‌پنبه‌ای ریشه، پژمردگی ورتیسیلیومی و نماتد ریشه (Rivard & Louws, 2008; Rivard *et al*., 2010) تولید برخی پایه‌های پر رشد با توانایی تحمل تنش‌های محیطی (درجه حرارت نامناسب، شوری، غرقاب) (Schwarz *et al*., 2010)، و افزایش کارایی استفاده از آب و عناصر معدنی (Djidonou *et al*., 2013) برخی از مزایای پیوند در گوجه‌فرنگی هستند. یکی از عوامل مهم در پیوند، بهبود زخم در محل اتصال پیوند است که بقا گیاه پیوندی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. فرآیند بهبود زخم در محل پیوند شامل اتصال اولیه سلول‌ها، تولید کالوس (پینه)، تشکیل پلاسمودسماتای جدید، تمایزیابی دستجات آوندی و تشکیل ارتباط آوندی بین پایه و پیوندک است که به برهمکنش‌های پیچیده بین سلول‌های پایه و پیوندک بستگی دارد (Yang *et al*., 2016). بنابراین، بررسی عوامل مؤثر بر گیرایی پیوند اهمیت دارد.

از چالش‌های مهم در کشت و پرورش گوجه‌فرنگی در شرایط کنترل‌شده، عدم دستیابی به ظرفیت کامل تولید به دلیل مدیریت ضعیف تولید است که ناشی از ماهیت ویژگی‌های سیستم پرتراکم در شرایط کنترل‌شده است (Mngoma, 2020). به همین دلیل روش‌های مختلفی برای افزایش تعداد میوه، بهبود اندازه میوه و عملکرد مورداستفاده قرار می‌گیرد. تنک میوه، مدیریت جمعیت گیاه، انتخاب رقم مناسب و تربیت ساقه، برخی از روش‌های مورداستفاده برای افزایش عملکرد در گلخانه‌های

1. *Solanum lycopersicum* L.

گوجه‌فرنگی هست(Maboko & Du Plooy, 2008). تربیت ساقه یکی از مهم‌ترین روش‌های مدیریت گیاهان باغبانی است که برای افزایش عملکرد و بهبود کیفیت میوه استفاده می‌شود (Ara *et al.*, 2007). تربیت ساقه، تعداد ساقه‌هایی است که تولیدکننده اجازه می‌دهد طی دوره رشد به‌صورت شاخه پیشرو روی گیاه باقی بماند. برای تولید گوجه‌فرنگی در تونل‌های پلاستیکی و گلخانه‌ها از روش‌های مختلف تربیت ساقه استفاده می‌شود که شامل تربیت گیاه به‌صورت تک ساقه، دو گیاه در یک گلدان و تربیت گیاه به‌صورت دو ساقه است. روش‌های تربیت اثرات مختلفی بر فیزیولوژی گیاه و عملکرد محصول دارند (Mngoma, 2020). گیاهان پیوندی را می‌توان مشابه گیاهان دانهالی با تعداد ساقه‌های بیشتری نسبت به گیاهان غیر پیوندی مدیریت کرد که منجر به افزایش سودآوری و کاهش هزینه‌ها می‌شود. با تربیت نشاءهای پیوندی به‌صورت تولید گیاهان دارای دو ساقه یا سه ساقه، با حفظ تراکم ساقه در هر مترمربع، کاهش یک‌دوم و یک‌سوم درصدی تعداد بوته‌ها امکان‌پذیر می‌شود، اما مقدار تولید در هر سطح مانند گیاهان کشت‌شده با یک ساقه حفظ می‌شود (Mourão *et al.*, 2017,).

اگرچه تحقیقات متعددی در زمینه اثر عامل پیوند یا تعداد ساقه‌های گیاه بر رشد یا شاخص‌های فیزیولوژیکی در گوجه‌فرنگی منتشر شده است (Mngoma, 2020)، در زمینه اثر روش تربیت و تعداد ساقه در گیاهان گوجه‌فرنگی پیوندی به تحقیقات بیشتری نیاز است. با توجه به عدم وجود اطلاعات کافی در مورد اثر نور بر رشد و کیفیت میوه گوجه‌فرنگی پیوندی در ایران، هدف از این پژوهش ارزیابی اثرات پیوند و تعداد ساقه بر رشد، عملکرد میوه و کیفیت میوه‌های گوجه‌فرنگی در سیستم کشت بدون خاک بود.

پیشینهٔ پژوهش

نور یک عامل محیطی ضروری و منبع اصلی انرژی برای فتوسنتز و عامل دخالت کننده در فتومورفوژنز است که از طریق مکانیسم‌های مختلف بر رشد و نمو و پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاهان تأثیر می‌گذارد (Ilić & Fallik, 2017). شدت نور ، طول دوره نوری و کیفیت نور موارد مهمی هستند که فتوسنتز و رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Jing *et al*., 2018). شدت نور با تراکم فوتون‌های نور تابشی و کیفیت نور با طول‌موج نور یا رنگ نور در ارتباط است. ترکیب طول‌موج نور و شدت نور موجب ایجاد یک طیف از تابش نور در محیط اطراف گیاه می‌گردد که رشد و نمو گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Carmach *et al*., 2023).

بررسی اثر عوامل مختلف مانند درجه حرارت، رطوبت نسبی و نور بر ایجاد اتصال در محل پیوند در سبزی‌ها نشان داده است که نور یکی از عوامل محیطی مؤثر در گیرایی پیوند است (Lee *et al*. 2016). در نشاهای پیوندی گوجه‌فرنگی نور ترکیبی (قرمز و آبی) بهترین اثر را بر گیرایی پیوند و تغییرات مورفو–فیزیولوژیکی داشته است (Yousef *et al*., 2021 a, 2021 b). همچنین، افزودن ۳۰ درصد نور سبز به نور آبی و قرمز موجب تسریع ایجاد اتصال در محل پیوند، بهبود رشد و ایجاد اثرات مثبت در نمو و عملکرد نشاهای پیوندی گوجه‌فرنگی می‌شود (Li *et al*., 2021). استفاده از فیلتر نور سبز اثرات مثبتی در کاهش تنش اکسیداتیو و تغییرات آناتومیکی در محل پیوند در طول دوره اتصال پیوند و رشد کلی نشاهای گوجه‌فرنگی پیوندی دارد (Carmach *et al*. 2023). بررسی اثر طیف‌های نور LED (نور سفید، قرمز، نور آبی، ۷۰٪ نور قرمز+ ۳۰ ٪ نور آبی) بر رشد و محتوای عناصر معدنی نشاهای پیوندی و غیر پیوندی گوجه‌فرنگی روی پایه Maxifort نشان داده است که قطر ساقه، وزن‌تر و خشک‌ریشه، سطح برگ، وزن خشک شاخساره و وزن خشک کل تحت تأثیر تیمارهای نور قرار می‌گیرد و کاربرد نور قرمز (۷۰ ٪) و نور آبی (۳۰ ٪) می‌تواند موجب بهبود رشد رویشی و جذب عناصر معدنی در نشاهای گوجه‌فرنگی شود (سلطانی و همکاران، ۱۴۰۱). در نشاهای هندوانه پیوندی تیمار مخلوط نور آبی و قرمز موجب کاهش رشد ریشه و تیمار نور قرمز موجب افزایش میزان کربوهیدرات‌ها و کاهش کلروفیل شد ولی نور آبی میزان کلروفیل و کارایی فتوسنتز را افزایش داد (Moosavi-Nezhad *et al*., 2021).

بررسی اثر روش‌های تربیت در نشاهای پیوندی مشخص نموده است که پیوند اثر مثبتی بر رشد رویشی و عملکرد گوجه-فرنگی پیوندی دو ساقه نسبت به غیر پیوندی تک ساقه دارد (Soare *et al.*, 2018) و عملکرد آنها را تا ۲۶/۵ درصد افزایش می یابد (Lhamo *et al.*, 2022). همچنین، نتایج یک تحقیق نشان دهنده تأثیر معنی‌دار پیوند و تعداد ساقه بر عملکرد و میانگین تک میوه بود اما کل مواد جامد محلول میوه تحت تأثیر پیوند قرار نگرفت (Perin *et al.*, 2023). بررسی رشد، عملکرد و خصوصیات کیفی میوه گوجه‌فرنگی پیوندی و غیر پیوندی با دو روش تربیت یک ساقه و دو ساقه و تیمار تنک میوه نشان داد که عملکرد گیاهان پیوندی در روش تربیت تک ساقه و دو ساقه به ترتیب ۲۷ و ۳۲ درصد افزایش یافت و سرعت رشد محصول و توزیع ماده خشک تحت تأثیر تیمارهای پیوند و تربیت قرار گرفت (Rahmatian *et al.*, 2014).

روش‌شناسی پژوهش

این آزمایش از پاییز ۱۴۰۱ تا بهار ۱۴۰۲ در گلخانه‌های تحقیقاتی گروه مهندسی باغبانی و فضای سبز دانشگاه تهران واقع در پردیس کشاورزی کرج انجام شد. پیوندک گوجه‌فرنگی رقم SV4129TH و پایه رقم Emperador بود. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با تیمارهای تابش طیف نور روی نشاها (نور قرمز، نور آبی، نور سفید، ترکیب نور قرمز و آبی) و روش تربیت بوته (گیاه تک ساقه غیر پیوندی به‌عنوان شاهد، گیاه پیوندی با دو ساقه، گیاه پیوندی با سه ساقه) در سه تکرار و چهار بوته در هر واحد آزمایشی انجام شد تیمارها شامل موارد زیر بودند: P1، شاهد غیر پیوندی (گیاه تک ساقه بدون تربیت بوته) رقم SV4129TH؛ P2، گیاهان پیوندی دو ساقه شامل پیوندک SV4129TH و پایه Emperador؛ P3، پیوندی سه ساقه شامل پیوندک SV4129TH و پایه Emperador. هر تیمار با سه تکرار (هر تکرار چهار بوته) انجام شد.

بذرها در هفته اول آبان ۱۴۰۱ در سینی‌های کشت دارای بستر مخلوط کوکوپیت و پرلیت (٪۷۵ کوکوپیت، ۲۵ ٪ پرلیت) کاشته شدند. سه هفته بعد از کشت، پس از رسیدن قطر ساقه به دو میلی‌متر، نشاها به روش نیمانیم پیوند زده شدند. نشاهای پیوندی به اتاقک پیوند با رطوبت نسبی ۹۵ درصد و دمای ۲۸ تا ۳۰ درجه سلسیوس با شرایط کاملاً کنترل‌شده منتقل شدند. به‌تدریج رطوبت نسبی اتاقک پیوند کاهش‌یافته و شدت نور برای سازگاری نشاهای پیوند شده افزایش داده شد. سپس نشاهای دارای سه برگ حقیقی به‌صورت دو ساقه (P2) و سه ساقه (P3) تربیت‌شده و به مکعب‌های رشد انتقال داده شدند. نشاها به مدت یک ماه در زیر طیف‌های مختلف نوری (۱۰۰ درصد نور قرمز، ۱۰۰ درصد نور آبی، ۱۰۰ درصد نور سفید و ترکیب نور قرمز و آبی به نسبت۱ به ۳) قرار گرفتند. نور موردنیاز از طریق وال واشرهای LED، ۱۸ وات تأمین شد. شدت نور نیز برای تمام تیمارها ۵ ± ۷۵ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه بود. بعد از مشاهده اولین خوشه گل، گیاهان جوان به کیسه های کشت حاوی کوکوپیت در گلخانه با پوشش شیشه انتقال داده شدند. تراکم بوته‌ها در گلخانه ۲/۵ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. دمای گلخانه در طول روز ۲۴–۲۳ و در شب ۱۸–۱۷ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۷۰–۶۵ درصد و تأمین نور طبیعی بود. تغذیه گیاهان با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای و محلول غذایی هوگلند تغییریافته انجام شد. طول دوره رشد گیاهان در گلخانه چهار ماه بود و داده‌برداری عملکرد مربوط به سه ماه پایان دوره رشد بود. برداشت میوه‌ها در مرحله رسیده (مرحله قرمز) انجام شد. میوه‌ها بلافاصله پس از برداشت به آزمایشگاه انتقال یافتند. طول و قطر میوه با استفاده از کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد و شکل میوه با تقسیم طول بر قطر میوه محاسبه گردید. وزن هر میوه با ترازوی حساس اندازه‌گیری شد و بر اساس مجموع وزن میوه‌های برداشت‌شده در هر گیاه، عملکرد میوه در گیاه محاسبه گردید. با تقسیم وزن کل میوه‌های برداشت‌شده از هر گیاه بر تعداد میوه‌ها، میانگین وزن میوه محاسبه شد. سفتی بافت میوه با استفاده از دستگاه سفتی سنج دستی با قطر دهانه پیستون چهار میلی‌متر در سه نقطه در امتداد محور استوایی هر میوه ثبت شد.

پس از شستشوی میوه‌ها با آب مقطر مقداری از هر میوه نمونه‌برداری شد و برای خشک‌کردن به آون با دمای ۴۵ درجه سلسیوس منتقل گردید. بقیه میوه‌ها در مخلوط‌کن له‌شدند و پس از عبور دادن از صافی، آب‌میوه گوجه‌فرنگی برای سایر اندازه‌گیری‌ها استفاده شد.

کل مواد جامد محلول (TSS) با استفاده از رفراکتومتر دیجیتالی تعیین شد و به‌صورت درصد بریکس در دمای ۲۰ درجه سلسیوس بیان شد. برای اندازه‌گیری اسید آسکوربیک از روش تیتراسیون با ید در یدور پتاسیم استفاده شد. مقدار ده میلی‌لیتر عصاره میوه به۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۲ میلی‌لیتر محلول نشاسته یک درصد اضافه شد. تیتراسیون با ید در یدور پتاسیم تا مرحله ایجاد رنگ ارغوانی مایل به بنفش انجام شد. بر اساس حجم یدور پتاسیم، میزان اسید آسکوربیک بر اساس رابطه ۱ محاسبه شد (Afrashteh *et al*., 2021):

رابطه ۱) اسیدآسکوربیک(میلی‌گرم در صد گرم وزن تازه) = (حجم ید در یدور پتاسیم) × ۰/۸۸ × ۱۰۰/۲

برای اندازه‌گیری اسید کل قابل تیتراسیون، مقدار ۵ میلی‌لیتر آب گوجه‌فرنگی به ۴۵ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه گردید و تیتراسیون با محلول هیدروکسید سدیم (NaOH) ۰/۱ نرمال تا رسیدن pH به ۸/۳ انجام شد. اسید کل قابل تیتراسیون با استفاده از میزان سود مصرفی محاسبه شد (National Canners Association, 1968).

برای اندازه‌گیری لیکوپن، به ۰/۳ گرم از پودر خشک میوه، مقدار پنج میلی‌لیتر استون حاوی ۰/۰۵ درصد بوتیل هیدروکسی تولوئن[1](BHT)، پنج میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد و ۱۰ میلی‌لیتر هگزان اضافه شد و بعد در سانتریفیوژ یخچال‌دار در دمای چهار درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه با دور ۴۰۰ قرار داده شد. بعد از آن، ۳ میلی‌لیتر آب مقطر به نمونه‌ها اضافه شد و به مدت ۵ دقیقه در دمای آزمایشگاه تا تشکیل دو فاز مجزا نگه‌داری شد، با بخش رویی میزان لیکوپن با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۰۳ نانومتر اندازه‌گیری شد. غلظت لیکوپن بر اساس میزان جذب و رابطه ۲ محاسبه گردید (Pathak *et al*., 2020).

رابطه ۲) میزان لیکوپن = (A_{503} × ۳۱/۲)/ وزن نمونه (گرم)

برای اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک گیاه، ارتفاع بوته با خط‌کش و قطر ساقه با کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد. پس از بیرون آوردن گیاهان از خاک، حجم ریشه به روش غوطه‌ور کردن در آب و تغییر حجم آب اندازه‌گیری گردید. وزن‌تر ساقه، برگ و ریشه با ترازوی حساس اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها در پاکت کاغذی به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۲ درجه سلسیوس قرار داده‌شده و وزن خشک نمونه‌ها با استفاده از ترازوی حساس اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام شد.

یافته‌های پژوهش

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای روش تربیت ساقه و نور بر عملکرد گیاه و خصوصیات کمی میوه نشان داد که اثر تیمار روش تربیت ساقه بر عملکرد گیاه، میانگین وزن تک میوه، درصد ماده خشک میوه و سفتی بافت میوه در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار بود، اما بر شاخص شکل میوه معنی‌دار نبود. اثر تیمار نور و اثرات متقابل نور و تیمار روش تربیت ساقه بر شاخص‌های فوق معنی‌دار نبود(جدول ۱).

[1] Butylated hydroxytoluene

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر تیمارهای نور و روش تربیت ساقه بر عملکرد میوه گوجه‌فرنگی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		عملکرد گیاه	میانگین وزن تک میوه	شاخص شکل میوه	درصد ماده خشک میوه	سفتی بافت میوه
بلوک	۲	۳۸۶۹۹/۰۴ ns	۷۸۳/۳ ns	۰/۰۰۶ ns	۰/۱۴۲۲ns	۰/۳۸ ns
نور	۳	۲۲۶۰۴/۳ ns	۳۲۴/۶۴ ns	۰/۰۰۰۷ ns	۰/۰۰۴ ns	۰/۰۰۰۹ ns
تربیت ساقه	۲	۲۳۲۱۱۸۱۲۸۰/۲**	۶۷۶۳/۳۴**	۰/۰۰۰۲ ns	۱۰/۳۵**	۱/۱**
نور× تربیت ساقه	۶	۳۴۴۲۰/۸ ns	۲۱۹/۵۴ ns	۰/۰۰۶۴ ns	۰/۰۰۱۷ ns	۰/۰۰۲ ns
خطا	۲۶	۱۶۷۱۲۸/۶	۲۳۷/۶۴	۰/۰۰۱۷	۱/۷۴	۰/۰۵
ضریب تغییرات (درصد)		۵/۱۲	۹/۷۸	۱۰/۶	۱۰/۸۸	۵/۰۴

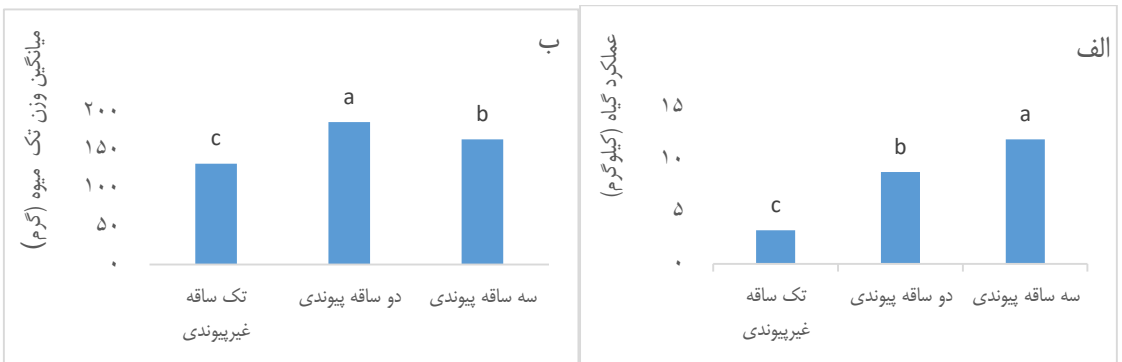
** و ns به ترتیب نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و عدم اختلاف معنی‌دار

عملکرد گیاه: بررسی اثر روش تربیت ساقه بر عملکرد گیاه (شکل ۱- الف) نشان داد که عملکرد گیاه در هر سه تیمار روش تربیت تفاوت معنی‌داری داشت. عملکرد گیاهان پیوندی تربیت‌شده به روش سه ساقه (۹/۱۱کیلوگرم) به‌طور معنی‌داری بیشتر از عملکرد گیاهان دو ساقه و گیاه تک ساقه غیر پیوندی (به ترتیب ۸/۸ و ۲/۳ کیلوگرم) بود. روش تربیت دو ساقه و سه ساقه موجب افزایش عملکرد گیاه نسبت به گیاه تک ساقه غیر پیوندی شد (به ترتیب ۲۷ و ۱۷/۶ درصد).

وزن تک میوه: مقایسه میانگین وزن تک میوه در تیمارهای تربیت ساقه نشان داد که روش تربیت ساقه گیاهان گوجه‌فرنگی پیوندی موجب افزایش وزن میوه در گیاهان پیوندی دو ساقه (۴/۱ درصد) و سه ساقه (۲/۳ درصد) نسبت به گیاه تک ساقه غیر پیوندی شد. میانگین وزن تک میوه گیاهان پیوندی تربیت‌شده به روش دو ساقه (۱۸۵/۸۳ گرم) به‌طور معنی‌داری بیشتر از وزن تک میوه گیاهان سه ساقه و گیاه تک ساقه غیر پیوندی (به ترتیب ۱۶۲/۹۷ و ۱۳۱/۵۱ گرم) بود(شکل ۱-ب).

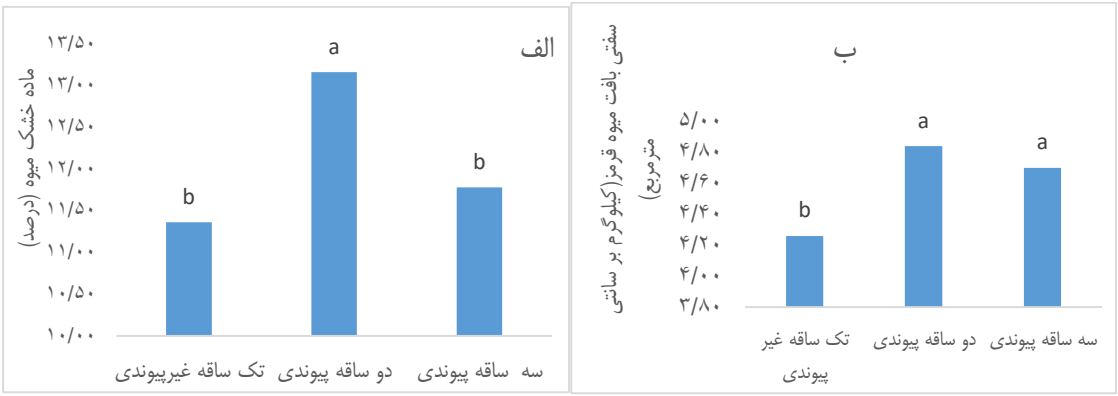
ماده خشک میوه: ماده خشک میوه در گیاه پیوندی تربیت‌شده به روش دو ساقه (۱۳/۱۶ درصد) به‌طور معنی‌داری بیشتر از ماده خشک میوه در گیاهان تربیت‌شده به روش سه ساقه (۱۱/۷۸ درصد) و گیاهان غیر پیوندی (۱۱/۳۶ درصد) بود (شکل ۲-الف).

سفتی میوه: مقایسه سفتی میوه گوجه‌فرنگی در تیمارهای مختلف تربیت ساقه گیاهان پیوندی نشان داد که سفتی بافت میوه قرمز گیاهان پیوندی تربیت‌شده به روش دو ساقه و سه ساقه (به ترتیب ۴/۸۴ و ۴/۷۰ کیلوگرم بر مترمربع) به‌طور معنی‌داری بیشتر از سفتی بافت میوه گیاهان تک ساقه و غیر پیوندی (۴/۲۶ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع) بود(شکل ۲- ب).



شکل ۱. مقایسه اثر روش تربیت ساقه بر عملکرد گیاه (الف) و وزن تک میوه گوجه‌فرنگی (ب)

*میانگین‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۲. مقایسه اثر روش تربیت ساقه بر میزان ماده خشک میوه (الف) و سفتی بافت میوه (ب)
*میانگین‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

شاخص‌های رشد رویشی گیاه گوجه‌فرنگی

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای روش تربیت ساقه و نور بر صفات رشد رویشی گیاهان گوجه‌فرنگی (جدول ۲) نشان داد که اثر تیمار پیوند بر وزن‌تر و خشک ساقه، وزن‌تر و خشک برگ در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار بود، درحالی‌که اثر تیمار نور و اثرات متقابل تیمار نور و تیمار روش تربیت ساقه بر شاخص‌های فوق معنی‌دار نبود.

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر تیمارهای نور و روش تربیت ساقه بر وزن‌تر و خشک ساقه و برگ گیاه گوجه‌فرنگی

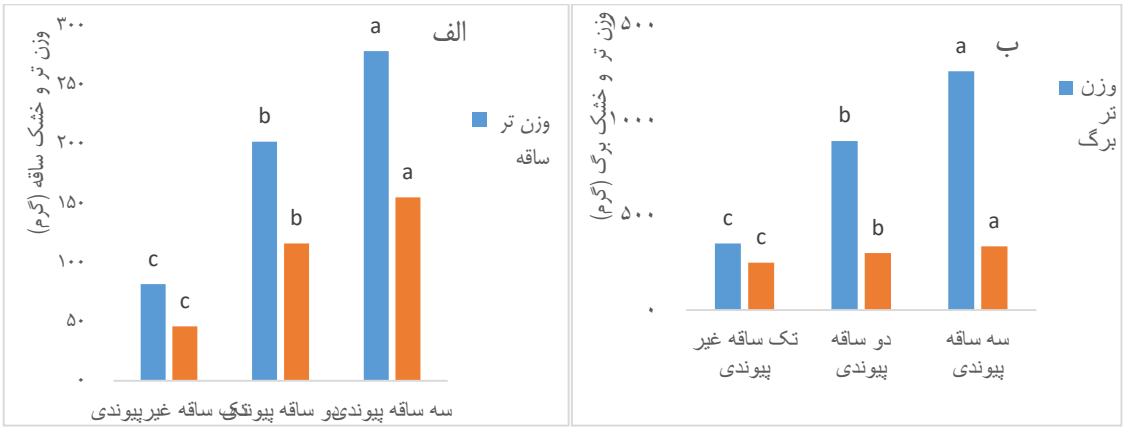
		میانگین مربعات			
منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن‌تر ساقه	وزن خشک ساقه	وزن‌تر برگ	وزن خشک برگ
بلوک	۲	ns۴۳۹/۱۸	ns۴۰۶/۱۳	ns۱۰۲۷۰۲/۴۴	ns۱۶۴۹/۶۸
نور	۴	ns۵۵/۶۶	ns۰/۰۹	ns۱۲۴۹/۷۱	ns۵۸۸/۵
تربیت ساقه	۳	**۱۱۵۷۱۰/۱۷	**۳۵۷۰۲/۹۸	**۲۲۸۶۹۲۵/۹۵	**۲۲۵۵۱/۸۲
نور× تربیت ساقه	۱۲	ns۲۳۷/۲۹	ns۰/۲۴۱	ns۵۸۵۱/۸۹	ns۱۰۵۴/۶۹
خطا	۲۶	۱۴۵/۰۱	۸۳/۳۲	۱۵۶۴/۱۵	۸۶۷/۵۵
ضریب تغییرات (درصد)		۶/۴۱	۸/۶۲	۷/۶	۹/۹۴

** و ns به ترتیب نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و عدم اختلاف معنی‌دار.

وزن ساقه: بررسی اثر روش تربیت ساقه بر وزن‌تر ساقه (شکل ۳- الف) نشان داد که وزن‌تر ساقه در هر سه تیمار تربیت ساقه تفاوت معنی‌داری داشت. وزن‌تر ساقه گیاهان پیوندی تربیت‌شده به روش سه ساقه (۱۲۵۹ گرم) به‌طور معنی‌داری بیشتر از وزن‌تر گیاهان دو ساقه و گیاه تک ساقه غیر پیوندی بود (به ترتیب ۸۹۱/۵۸ و ۳۵۲/۲۵ گرم). وزن‌تر ساقه در گیاهان غیر پیوندی به‌طور معنی‌داری کمتر از این شاخص در سایر تیمارها بود. بیشترین وزن خشک ساقه در گیاهان پیوندی تربیت‌شده به روش سه ساقه و کمترین وزن خشک ساقه در گیاهان غیر پیوندی (به ترتیب ۳۳۶/۹۸ و ۳۰۰/۷۵ گرم) مشاهده شد (شکل ۳-ب).

وزن برگ: وزن‌تر برگ در هر سه تیمار تربیت ساقه تفاوت معنی‌داری داشت و در گیاهان پیوندی سه ساقه ۴۸/۳ درصد و در گیاهان پیوندی دو ساقه پیوندی ۲۷/۸ درصد بیشتر از گیاهان تک ساقه غیر پیوندی بود (به ترتیب ۲۷۸/۸۸ و ۲۰۲/۳۵ گرم در مقایسه با ۸۱/۷ گرم). همچنین، وزن خشک برگ در هر سه تیمار تربیت ساقه تفاوت معنی‌داری داشت. بیشترین و کمترین وزن خشک برگ در گیاهان پیوندی تربیت‌شده به روش سه ساقه و گیاهان تک ساقه غیر پیوندی بود (به ترتیب

۱۵۵/۱۷ و ۴۶/۱۱ گرم). وزن خشک برگ در گیاهان پیوندی تربیت‌شده به روش سه ساقه ۶/۵ درصد و در گیاهان دو ساقه ۳/۸ درصد بیشتر از گیاهان تک ساقه غیر پیوندی بود(شکل ۳- ب).



شکل ۳. مقایسه اثر روش تربیت ساقه بر وزن‌تر و خشک ساقه (الف) و وزن‌تر و خشک برگ (ب) گیاه گوجه‌فرنگی
میانگین‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

بررسی نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد اثر تیمار تربیت ساقه بر وزن‌تر و خشک‌ریشه، حجم ریشه و ارتفاع گیاه در سطح احتمال ۰/۰۱ و بر قطر ساقه در سطح احتمال ۰/۰۵ معنی‌دار بود. اثر تیمار نور یا اثرات متقابل نور و پیوند بر این صفات معنی‌دار نبود.

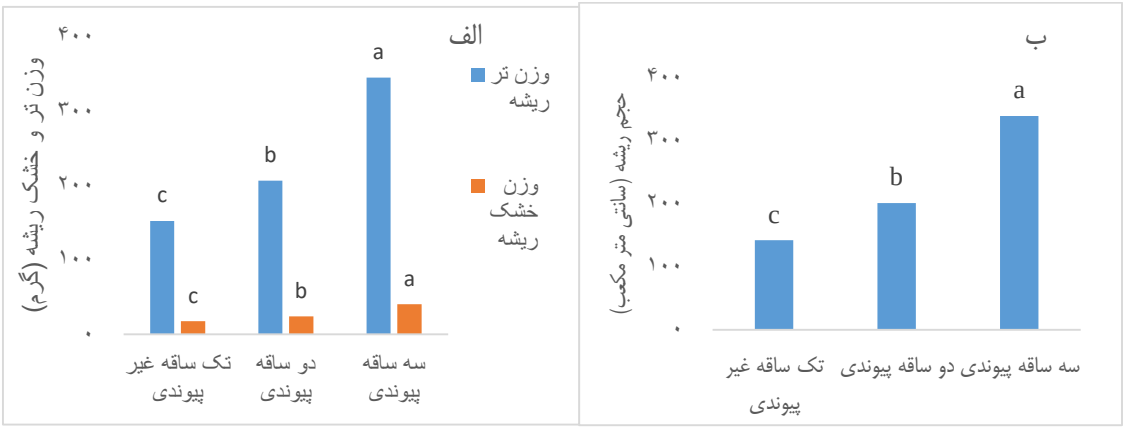
وزن ریشه: بررسی اثر تیمار تربیت گیاه بر وزن‌تر و خشک‌ریشه (شکل ۴- الف) نشان داد وزن‌تر و خشک‌ریشه در هر سه تیمار تربیت تفاوت معنی‌داری داشتند. وزن‌تر و خشک ساقه در گیاهان غیر پیوندی تک ساقه (به ترتیب ۱۵۲/۴۱ و ۱۷/۹۳ گرم) به‌طور معنی‌داری کمتر از گیاهان تربیت‌شده به روش سه ساقه و دو ساقه بود. گیاهان پیوندی تربیت‌شده به روش سه ساقه بیشترین وزن‌تر ریشه (۳۴۵/۲۷ گرم) و بیشترین وزن خشک‌ریشه (۴۰/۶۲ گرم) را داشتند.

حجم ریشه: حجم ریشه گیاهان پیوندی تربیت‌شده به روش سه ساقه (۶۲/۳۳۹ سانتی‌متر مکعب) به‌طور معنی‌داری بیشتر از حجم ریشه گیاهان دو ساقه و گیاه تک ساقه غیر پیوندی بود (به ترتیب ۲۵/۲۰۱و ۴۱/۱۴۲ سانتی‌متر مکعب) ولی حجم ریشه گیاهان دو ساقه و گیاه تک ساقه غیر پیوندی تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۴- ب).

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر تیمارهای روش تربیت ساقه و نور بر برخی شاخص‌های رشد گیاه گوجه‌فرنگی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		وزن‌تر ریشه	حجم ریشه	وزن خشک‌ریشه	ارتفاع گیاه	قطر ساقه
بلوک	۲	۱۶۲/۵ ns	۷۸/۳۸ ns	۲/۴۲ ns	۲۵۵۲/۳۳ ns	۰/۱۴ ns
نور	۴	۳/۹ ns	۸۳/۹۶ ns	۰/۰۸ ns	۴/۱ ns	۰/۰۰۴ ns
تربیت ساقه	۳	۱۱۸۶۶/۵ **	۱۲۳۰۰۰/۲۵ **	۱۶۴۰/۲۸ **	۱۶۹۴۴/۵ **	۱۰/۳۵ *
نور× تربیت ساقه	۱۲	۱۴۴/۹۳ ns	۲۱۶/۸۳ ns	۲/۱۱ ns	۲۴/۶۱ ns	۰/۰۱ ns
خطا	۲۶	۱۸۳/۶۸	۱۹۸/۶۳	۲/۵۴	۱۳۷۴/۴۸	۱/۷۴
ضریب تغییرات (درصد)		۵/۷	۶/۱۸	۵/۷	۸/۳۹	۱۰/۸۸

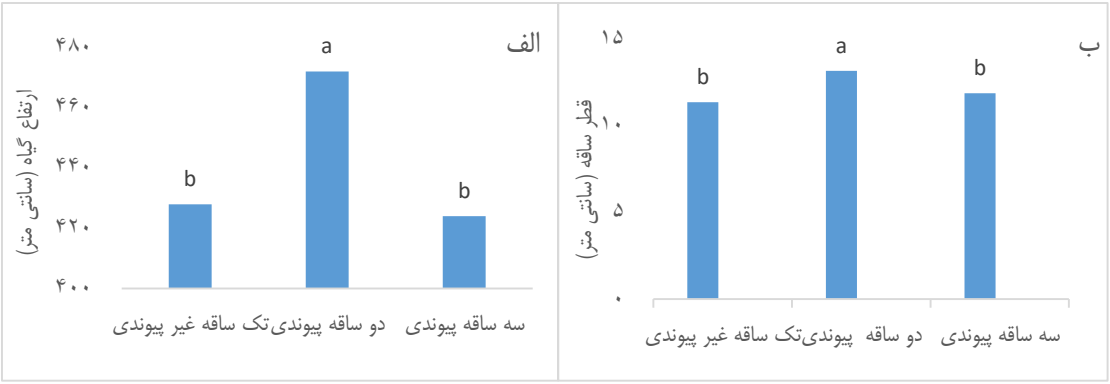
**، * و ns به ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و عدم اختلاف معنی‌دار



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر روش تربیت ساقه بر وزن‌تر و خشک (الف) و حجم ریشه (ب) در گیاه گوجه‌فرنگی
*میانگین‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

ارتفاع گیاه: مقایسه ارتفاع گیاه در تیمارهای تربیت ساقه (شکل ۵– الف) نشان داد که ارتفاع گیاهان پیوندی تربیت‌شده به روش دو ساقه (۴۲۴ سانتی‌متر) به‌طور معنی‌داری بیشتر از ارتفاع گیاهان سه ساقه و گیاه تک ساقه غیر پیوندی بود (به ترتیب ۴۲۴ و ۴۲۸ سانتی‌متر). ارتفاع گیاهان سه ساقه و گیاه تک ساقه غیر پیوندی تفاوت معنی‌داری نداشتند.

قطر ساقه: مقایسه قطر ساقه در تیمارهای تربیت ساقه (شکل ۵–ب) مشخص نمود ارتفاع گیاهان سه ساقه و گیاه تک ساقه تفاوت معنی‌داری نداشتند ولی به‌طور معنی‌داری کمتر از قطر ساقه در گیاهان تربیت‌شده به روش دو ساقه بودند (به ترتیب ۱۱/۵۸ و ۱۱/۳۶ در مقایسه با ۱۳/۱۶ میلی‌متر).



شکل ۵. مقایسه اثر روش تربیت ساقه بر ارتفاع گیاه (الف) و قطر ساقه (ب) گیاه گوجه‌فرنگی
*میانگین‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۰/۰۵ آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

صفات بیوشیمیایی

بررسی نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای تربیت و نور بر صفات بیوشیمیایی میوه گوجه‌فرنگی (جدول ۴) نشان داد که اثر تیمار تربیت ساقه بر میزان لیکوپن، اسیدآسکوربیک، اسیدیته میوه و کل مواد جامد محلول در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار بود. اثر تیمار نور یا اثرات متقابل نور و پیوند بر صفات بیوشیمیایی میوه معنی‌دار نبود.

جدول ۴. تجزیه واریانس اثر تیمارهای روش تربیت ساقه و نور بر برخی صفات بیوشیمیایی میوه گوجه‌فرنگی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		لیکوپن	اسید آسکوربیک	اسیدیته میوه	کل مواد جامد محلول (TSS)
بلوک	۲	^{ns}۰/۰۰۵	^{ns}۱۲/۶۷	^{ns}۰/۰۳۲	^{ns}۱/۷۹
نور	۴	^{ns}۰/۰۰۰۰۱	^{ns}۰/۳۸	^{ns}۰/۰۰۱	^{ns}۰/۱
تربیت ساقه	۳	**۰/۰۳	**۲۶/۲۸	**۰/۰۴	**۰/۰۹۹
نور× تربیت ساقه	۱۲	^{ns}۰/۰۰۰۱	^{ns}۱/۰۹	^{ns}۰/۰۰۱	^{ns}۰/۰۰۹
خطا	۲۶	۰/۰۰۱۵	۳/۳۳	۰/۰۰۶۸	۰/۰۸۸
ضریب تغییرات(٪		۸/۳	۵/۹	۱۳/۶۶	۴/۵۵

** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و عدم اختلاف معنی‌دار

اسید آسکوربیک: در میوه‌های گوجه‌فرنگی برداشت‌شده از گیاهان پیوندی سه ساقه میزان اسید آسکوربیک (۳۲/۵۷ میلی‌گرم در صد گرم) به‌طور معنی‌داری بیشتر از میزان اسید آسکوربیک در میوه برداشت‌شده از گیاهان دو ساقه و گیاهان تک ساقه غیر پیوندی بود (به ترتیب ۳۰/۴۶ و ۲۹/۷۲ میلی‌گرم در صد گرم). میزان اسید آسکوربیک در میوه برداشت‌شده از گیاه پیوندی دو ساقه با تیمار شاهد (گیاهان تک ساقه غیر پیوندی) اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۶-الف).

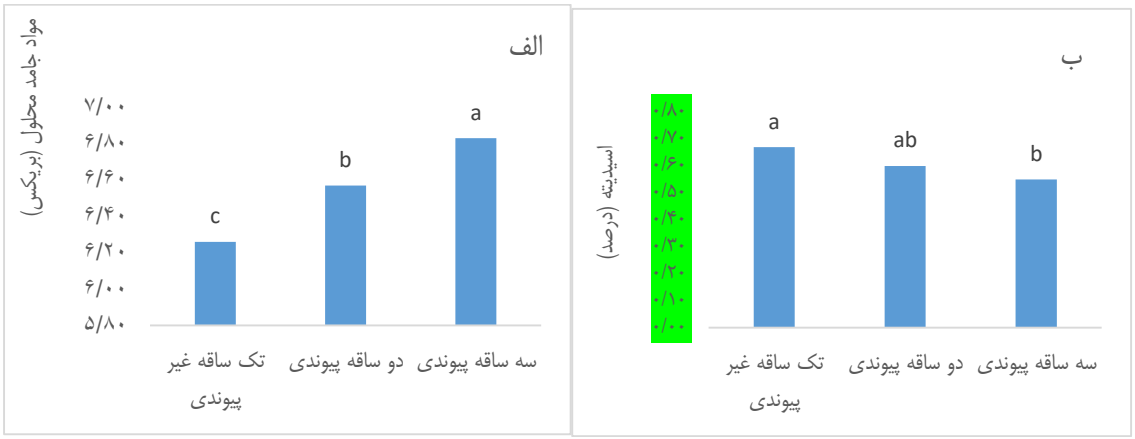
لیکوپن: میزان لیکوپن در میوه گیاهان پیوندی تربیت‌شده دو ساقه (۰/۵۲ میلی‌گرم در صد گرم بافت تازه) به‌طور معنی‌داری بیشتر از لیکوپن گیاهان تربیت‌شده سه ساقه و یا گیاهان تک ساقه غیر پیوندی بود (به ترتیب ۰/۴۵ و ۰/۴ میلی‌گرم در صد گرم بافت تازه). میزان لیکوپن میوه در گیاهان پیوندی سه ساقه و تک ساقه غیر پیوندی تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۶-ب).

کل مواد جامد محلول: میزان کل مواد محلول جامد در میوه‌های برداشت شده از هر سه تیمار تربیت ساقه تفاوت معنی‌داری داشتند (شکل ۷-الف). میزان کل مواد محلول جامد در میوه گیاهان پیوندی تربیت‌شده سه ساقه (۶/۸۳ درصد بریکس) به‌طور معنی‌داری بیشتر از مواد جامد محلول میوه گیاهان پیوندی دو ساقه و میوه گیاهان تک ساقه غیر پیوندی بود (به ترتیب ۶/۵۷ و ۶/۲۶ درصد بریکس).

اسیدیته کل میوه: اسیدیته کل در میوه گیاهان تک ساقه غیر پیوندی (۰/۶۷ درصد) با اسیدیته کل میوه گیاهان پیوندی تربیت‌شده دو ساقه (۰/۶۰ درصد) تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۷-ب) ولی به‌طور معنی‌داری بیشتر از اسیدیته کل در گیاهان تربیت‌شده سه ساقه (۰/۵۵ درصد) بود.

شکل ۶. مقایسه اثر روش تربیت ساقه بر میزان اسید آسکوربیک (الف) و لیکوپن (ب) میوه گوجه‌فرنگی

*میانگین‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۷. مقایسه اثر روش تربیت ساقه بر میزان کل مواد جامد محلول (الف) و اسیدیته کل (ب) میوه گوجه‌فرنگی
*میانگین‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

بحث

در این تحقیق بوته‌های گوجه‌فرنگی‌های پیوندی تربیت‌شده به‌صورت دو ساقه و سه ساقه، پس از بهبود زخم پیوند و در مرحله سازگاری، تحت تیمار تابش طیف‌های نوری قرمز، آبی، سفید و ترکیب نور قرمز و آبی قرارگرفتند و پس از رسیدن به مرحله تولید سه برگ حقیقی پس از شروع گلدهی به گلخانه انتقال‌یافتند و اثر برخی شاخص‌های رشد رویشی گیاه و کیفیت میوه موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تیمار تابش طیف‌های نور یا برهمکنش تیمارهای تابش طیف‌های نور و روش تربیت ساقه بر شاخص‌های رشد ریشه و بخش هوایی و یا خصوصیات کمی و کیفی میوه اثر معنی‌داری نداشتند. در تحقیقات انجام‌شده قبلی، اثر نور بر گیرایی پیوند در گوجه‌فرنگی (Yousef *et al*., 2021 a, Carmach *et al*. 2023) و هندوانه (Moosavi-Nezhad *et al*., 2021) مورد تائید قرارگرفته است. همچنین، گزارش شده است که تابش نور در طول دوره گیرایی پیوند، بر فعالیت آنزیم‌های اکسیداتیو مانند سوپر اکسید دیسموتاز، پراکسیداز، پراکسیداسیون چربی (میزان مالون دی آلدهید) و در نتیجه شدت تنش اکسیداتیو موثر است، علاوه‌بر این تغییرات آناتومیکی در محل زخم مانند پرآوری سلولی و تمایز یابی بافتهای آوندی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Carmach *et al*. 2023). به نظر می‌رسد که در تحقیق ما، عدم تأثیر تیمارهای طیف نور مورداستفاده بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده به دلیل کامل شدن فرآیندهای بهبود زخم محل پیوند در زمان دریافت تیمارهای نور و دریافت تیمارهای تابش نور پس از پایان فعالیت‌های بهبود زخم محل پیوند بوده است. همچنین، با توجه به اینکه فرآیند گلدهی گوجه‌فرنگی پیچیده است و یک عامل محیطی به‌تنهایی روی گلدهی تأثیر نمی‌گذارد و به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم توسط برهمکنش عوامل مختلف مانند نور، درجه حرارت، دی‌اکسید کربن، تغذیه، رطوبت نسبی و تنظیم‌کننده‌های رشد قرار می‌گیرد (Heuvelink, 2005)، به نظر می‌رسد در آزمایش حاضر، طیف‌های نور تابش یافته در طول مدت‌زمان رشد گیاه تا قبل از ظهور اولین گل (مرحله انتقال به بستر کاشت اصلی)، بر فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان گوجه‌فرنگی مرتبط با رشد رویشی و رشد میوه مؤثر نبوده است. بررسی اثرات طیف‌های نور و سایر عوامل محیطی مانند درجه حرارت می‌تواند در آینده اطلاعات بیشتری از پاسخ گیاهان پیوندی گوجه‌فرنگی با روش‌های مختلف تربیت ساقه در اختیار قرار دهد.

نتایج این تحقیق مشخص نمود که عملکرد بوته و شاخص‌های کیفی میوه گوجه‌فرنگی تحت تأثیر سیستم تربیت گیاه پیوندی قرار گرفت و بین گیاهان پیوندی تربیت‌شده به روش دو ساقه و سه ساقه با گیاهان غیر پیوندی تک ساقه تفاوت معنی‌دار وجود داشت(شکل ۱-ب). یافته‌های پژوهش‌های قبلی نیز نشان داده است که گوجه‌فرنگی‌های پیوندی بهره‌وری بالاتری نسبت به گیاهان غیر پیوندی دارند (Soare *et al*., 2018 & Karaca *et al*., 2012; Turhan *et al*., 2011) و تولید میوه‌های گوجه‌فرنگی علاوه بر پیوندک (رقم) و پایه تحت تأثیر تعداد ساقه در هر بوته (یک ساقه یا دو ساقه) نیز قرار می‌گیرد

(Pulgar *et al*., 1998). افزایش عملکرد در گیاهان پیوندی گوجه‌فرنگی تربیت‌شده به‌صورت دو ساقه و سه ساقه (Lamptey & Koomson, 2014; Rahmatian *et al*., 2021) نیز مورد تائید قرارگرفته است. افزایش وزن میوه یکی از عوامل مؤثر بر عملکرد است. نتایج این بررسی نشان‌دهنده اثر مثبت پیوند بر تغییر وزن میوه گوجه‌فرنگی است که در تحقیقات قبلی نیز مورد تائید قرارگرفته است (Turhan *et al*., 2011). همچنین، افزایش وزن میوه در گیاهان تربیت‌شده به روش دو ساقه نسبت به گیاهان تربیت‌شده به روش سه ساقه (شکل ۱–الف). نشان‌دهنده اهمیت تأثیر تربیت ساقه بر وزن میوه گوجه‌فرنگی بود. اثر روش تربیت‌شده دو ساقه بر افزایش وزن میوه گوجه‌فرنگی در تحقیقات قبلی نیز مشخص‌شده است (Lamptey & Koomson, 2021).

نتایج نشان‌دهنده عدم تأثیر تیمارهای نور و روش تربیت گیاهان پیوندی بر شاخص شکل میوه بود (جدول ۱). شکل میوه (نسبت طول به قطر میوه) توسط دو عامل طول و قطر میوه تعیین می‌شود. اثر روش تربیت گیاهان به‌صورت دو ساقه بر تغییر طول و قطر میوه گزارش شده است(Lamptey & Koomson, 2014).

یافته‌های این تحقیق نشان‌دهنده افزایش وزن‌تر و خشک برگ و ساقه (شکل ۳) و وزن‌تر و خشک‌ریشه (شکل ۴) در گیاهان پیوندی تربیت‌شده به روش دو ساقه و سه ساقه بود. به‌طور مشابهی، در یک تحقیق وجود تفاوت در وزن‌تر و خشک برگ در گیاهان پیوندی دو و سه ساقه بیشتر نسبت به گیاهان تک ساقه غیر پیوندی گزارش‌شده است (Edelstein *et al*., 2004). به نظر می‌رسد افزایش تعداد برگ‌ها و افزایش امکان دریافت نور و در نتیجه بهبود فتوسنتز در نتیجه افزایش سطح برگ با افزایش وزن خشک بخش هوایی و ریشه در ارتباط است و منجر به افزایش عملکرد و وزن میوه شده است. همچنین، جذب بهتر آب و مواد معدنی توسط سیستم ریشه نیز در این زمینه مؤثر است. گزارش شده است که در گیاه گوجه‌فرنگی افزایش عملکرد میوه در گوجه‌فرنگی پیوندی با تغییرات سیستم ریشه پایه در ارتباط است (Lee and Oda, 2003).

نتایج نشان داد که ترکیبات بیوشیمیایی موثر در کیفیت میوه گوجه‌فرنگی ، تحت تأثیر روش تربیت گیاهان پیوندی قرار گرفتند. افزایش معنی‌دار میزان اسید آسکوربیک میوه در گیاهان تربیت‌شده به روش سه ساقه نسبت به گیاهان پیوندی دو ساقه و گیاهان غیر پیوندی و افزایش ۹/۵۸ درصد میزان اسید آسکوربیک در میوه نسبت به گیاهان تک شاخه غیر پیوندی (شکل ۶) نشان می‌دهد شاخص‌های کیفی میوه گوجه‌فرنگی می‌تواند تحت تأثیر پیوند و روش تربیت ساقه‌ها قرار گیرد. در تحقیقات قبلی نیز مشخص گردیده است که انتخاب پایه پیوند مناسب در پیوند از عواملی است که باعث افزایش محتوای اسید آسکوربیک میوه گوجه‌فرنگی می‌شود (Zhang *et al*., 2019). اسید آسکوربیک یک ترکیب آنتی اکسیدانتی است و میوه گوجه‌فرنگی دارای میزان قابل‌توجهی اسید آسکوربیک است (Sablani *et al*., 2006). بنابراین، بالاتر بودن میزان اسید آسکوربیک در میوه گیاهان پیوندی تربیت‌شده به‌صورت سه ساقه می‌تواند نشان‌دهنده اثر پیوند و روش تربیت ساقه‌ها بر تغییر وضعیت آنتی اکسیدانتی گیاه باشد که میزان ترکیبات آنتی اکسیدانتی مانند اسیدآسکوربیک میوه را نیز تحت تأثیر قرار داده است. احتمالاً تغییر سایر ترکیبات بیوشیمیایی در میوه گیاهان پیوندی به روش سه ساقه نیز بر میزان اسید آسکوربیک تأثیر داشته است. با توجه به اینکه پیشنهاد گردیده است دسترسی به مواد کربوهیدراتی برای بیوسنتز برخی ترکیبات گیاهی دارای ارزش غذایی مانند اسیدآسکوربیک موردنیاز است (Farneti, 2014)، احتمالاً افزایش انتقال قند به میوه در گیاهان پیوندی سه ساقه که بر اساس میزان مواد جامد محلول مشخص می‌گردد (شکل ۷) یکی از دلایل افزایش اسید آسکوربیک در گیاهان پیوندی سه ساقه است.

افزایش میزان کل مواد جامد محلول و کاهش میزان اسیدیته کل میوه در گیاهان تربیت‌شده به روش سه ساقه نسبت به گیاهان پیوندی دو ساقه و گیاهان غیر پیوندی (شکل‌های ۶ و ۷) نشان می‌دهد که طعم و شاخص‌های کیفی میوه گوجه‌فرنگی می‌تواند تحت تأثیر پیوند و روش تربیت ساقه‌ها قرار گیرد. گزارشات قبلی نیز نشان می دهد که پیوند و نوع پایه بر افزایش محتوای مواد کل مواد جامد محلول میوه گوجه‌فرنگی موثر است(Pugalendhi *et al*., 2021). محتوای ماده خشک محلول یکی از مهم‌ترین پارامترهای کیفیت گوجه‌فرنگی است. بخش زیادی از کل مواد جامد محلول در میوه گوجه‌فرنگی (۶۵–۵۰

درصد) را قندهای گلوکز و فروکتوز تشکیل می‌دهد و میزان و نسبت آن‌ها بر خواص ارگانولپتیک، عطر (طعم)، رنگ و چگونگی حفظ کیفیت میوه‌ها در طول زمان تأثیر می‌گذارد (Purkayastha & Mahanta, 2011). مقایسه میزان اسیدیته در میوه‌های گیاهان پیوندی تربیت‌شده و گیاهان غیر پیوندی (شکل ۷) نشان داد میزان اسیدیته میوه در گیاهان غیر پیوندی بیشتر بود. اگرچه در گزارشی آمده است که اسیدیته مهم‌ترین شاخص بیوشیمیایی تعیین‌کننده کیفیت میوه گوجه‌فرنگی است (Fernandez-Garcia *et al.*, 2004)، ولی در مورد اثر پیوند بر میزان اسیدیته میوه گوجه‌فرنگی گزارش‌های متفاوتی منتشر گردیده است. نتایج این تحقیق بیان کننده کاهش اسیدیته میوه در گیاهان پیوندی بود که با نتایج ارائه‌شده قبلی مبنی بر اثر مثبت پیوند بر اسیدیته میوه گوجه‌فرنگی (Flores *et al.*, 2004) و یا عدم اثر معنی‌داری پیوند یا پایه‌های مختلف متفاوت بود (Fernandez-Garcia *et al.*, 2004; Turhan *et al.*, 2011)

رنگ میوه گوجه‌فرنگی عامل مهم دیگری است که بر کیفیت میوه ازنظر مصرف‌کنندگان تأثیر می‌گذارد. رنگ میوه گوجه‌فرنگی رسیده با نسبت دو رنگ‌دانه لیکوپن و بتاکاروتن تعیین می‌شود (Buajaila *et al.*, 2018). لیکوپن، عامل رنگ قرمز میوه گوجه‌فرنگی یک کاروتنوئید است که در مرحله رسیدن میوه تشکیل می‌شود (Tepic *et al.*, 2006) اگرچه، گزارشاتی از عدم وجود تفاوت معنی‌دار در میزان لیکوپن میوه‌های گوجه‌فرنگی پیوندی و غیر پیوندی (Turhan *et al.*, 2011) و یا کاهش میزان لیکوپن در میوه‌های گوجه‌فرنگی پیوندی (Mohammed *et al.*, 2009) وجود دارد، نتایج این تحقیق نشان داد که پیوند یکی از عواملی است که میزان لیکوپن میوه گوجه‌فرنگی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، زیرا میزان لیکوپن در میوه گیاهان دو ساقه پیوندی نسبت به تک ساقه غیر پیوندی و تربیت‌شده سه ساقه پیوندی افزایش معنی‌داری داشت.

نتیجه‌گیری

نتایج این بررسی نشان داد که تیمار نور در طیف‌های قرمز، آبی، سفید و ترکیب نور قرمز و آبی در مرحله پس از گیرایی پیوند تا رسیدن به مرحله تولید اولین گل، بر شاخص‌های رشد گیاه و خصوصیات کیفی میوه گوجه‌فرنگی اثر معنی‌داری نداشت. با توجه به اینکه زمان انجام تیمارها پس از پایان مرحله بهبود پیوند بوده است، این موضوع نشان می‌دهد تیمارهای نوری مورداستفاده بر تغییر فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاهان پیوندی گوجه‌فرنگی مؤثر نبوده است و لازم است در تحقیقات بعدی اثرات تیمارها در طول دوره بهبود پیوند بررسی شود و یا شدت و ترکیب طول‌موج نورهای مورداستفاده در مرحله پس از بهبود پیوند تا قبل از گلدهی تغییر یابد. همچنین، نتایج آزمایش نشان داد که شاخص‌های رشد رویشی و ترکیبات بیوشیمیایی میوه در گیاهان پیوندی تربیت‌شده به‌صورت دو ساقه یا سه ساقه با گیاهان غیر پیوندی رشد یافته به‌صورت تک ساقه (بدون تربیت ساقه) تفاوت معنی‌داری داشتند. این موضوع نشان‌دهنده اثر سیستم تربیت و پیوند بر رشد بوته گوجه‌فرنگی است که منجر به بروز تغییرات در کیفیت میوه می‌شود. انجام تحقیقات بیشتر با استفاده از ارقام مختلف برای پایه و پیوندک و ترکیب‌های مختلف آنها در سیستم های تربیتی تک ساقه، دو ساقه و سه ساقه می‌تواند اطلاعات بیشتری در مورد برهمکنش پایه و پیوندک و سیستم تربیت در اختیار قرار دهد.

سپاسگزاری

این مقاله از پایان‌نامه دوره دکتری دانشگاه شهید چمران اهواز نویسنده اول تهیه گردیده است. از همکاری معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز در تامین‌هزینه‌های انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

سلطانی، سیدرضا؛ آروئی، حسین؛ صالحی، رضا و نعمتی، سید حسین. (۱۴۰۱). تأثیر طیف‌های مختلف نور LED بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و محتوای عناصر معدنی در نشاهای پیوندی و غیر پیوندی گوجه‌فرنگی. *نشریه علوم باغبانی ایران*، ۵۴(۵۳)، ۹۷۷-

۹۸۸. https://doi.org/10.22059/ijhs.2022.340135.2010

رحمتیان، امیر؛ دلشاد. مجتبی؛ صالحی محمدی، رضا و موسوی رحیمی، مسعود. (۱۳۹۱). بررسی رشد و عملکرد گوجه‌فرنگی گلخانه ایی رقم سیندا تحت تأثیر پیوند، روش تربیت و تنگ میوه در کشت هیدروپونیک. *نشریه علوم باغبانی ایران*، ۴۳(۴)، ۴۲۳-۴۳۵. https://doi.org/10.22059/ijhs.2012.29377

REFERENCES

Afrashte, S., Rusta, H., & Zamani Bahramabadi, A. (2021). The effect of type and concentration of nutrient solution on the physiological and morphological characteristics of strawberries in hydroponic cultivation. *Journal of Soil and Plant Interactions*, 12 (2), 63-75. http://dx.doi.org/10.47176/jspi.12.1.20072

Al-Harbi, A., Hejazi, A., & Al-Omran, A. (2017). Responses of grafted tomato (*Solanum lycopersiocon* L.) to abiotic stresses in Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24 (6), 1274–1280. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.01.005

Ara, N., Bashar, M. K., Begum, S., & Kakon, S. S. (2007). Effect of spacing and stem pruning on the growth and yield of tomato. *International Journal of Sustainable Crop Production* 2, 35-39.

Buajaila, F. A., Devi, P., & Miles, C. A. (2018). Effect of environment on survival of eggplant, pepper, and tomato in a small-scale healing chamber. *HortTechnology*, 28 (5), 668–675. http://dx.doi.org/10.21273/HORTTECH04103-18

Carmach, C., Castro, M., Peñaloza, P., Guzmán, L., Marchant, M. J., Valdebenito, S., & Kopaitic, I. (2023). Positive effect of green photo-selective filter on graft union formation in tomatoes. *Plants*, 12, 3402. https://doi.org/10.3390/ plants12193402

Djidonou, D., Zhao, X., Simonne, E. H., Koch, K. E. & Erickso, J. E. (2013). Yield, water-, and nitrogen-use efficiency in field-grown, grafted tomatoes. *HortScience*, 48 (4), 485-492. http://dx.doi.org/10.21273/HORTSCI.48.4.485

Edelstein, M., Burger, Y., Horev, C., Porat, A., Meir, A., & Cohen, R. (2004). Assessing the effect of genetic and anatomic variation of *Cucurbita* rootstocks on vigor, survival and yield of grafted melons. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*. 79, 370-374. https://doi.org/10.1080/14620316.2004.11511775

Farneti, B. (2014). *Tomato quality: from the field to the consumer interactions between genotype, cultivation and postharvest conditions*. [Doctoral dissertation, Wageningen University].

Fernandez-Garcia, N., Martinez, V. & Carvajal, M. (2004). Effect of salinity on growth, mineral composition, and water relations of grafted tomato plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Sci*ence. 167, 616– 622. http://dx.doi.org/10.1002/jpln.200420416

Flores, B. F., Sanchez-Bel, P., Estan, M. T., Martinez-Rodriguez, M. M., Moyano, E., Morales, B., Campos, J. F., Garcia-Abellan, J. O., Egea, M. I., Fernandez-Garcia, N., Romojaro, F., & Bolarin, M. C. (2010). The effectiveness of grafting to improve tomato fruit quality. *Scientia Horticulturae*, 125(3), 211–217. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.03.026

Gaion, L. A., Braz, L. T., & Carvalho, R. F. (2018). Grafting in vegetable crops: a great technique for agriculture. *International Journal of Vegetable Science*, 24 (1), 85–102. https://doi.org/10.1080/19315260.2017.1357062

Heuvelink, E., (2005). Developmental processes. In: Heuvelink, E. (Ed.), *Tomatoes* (pp. 53–83). Crop Production Science in Horticulture Series 13. CABI Pub., Wallingford, Oxfordshire,

Hu, B. (2016). *Improved tomato grafting technologies*. [Doctoral dissertation, Ohio State University].

Ilić, Z. S., & Fallik, E. (2017). Light quality manipulation improves vegetable quality at harvest and postharvest: A review. *Environmental and Experimental Botany*, 139, 79–90. http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.04.006

Jing, X., Wang, H., Gong, B., Liu, S., Wei, M., Ai, X., Li, Y., & Shi, Q. (2018). Secondary and sucrose metabolism regulated by different light quality combinations involved in melon tolerance to powdery mildew. *Plant Physiology and Biochemistry*, 124, 77–87.

https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.12.039 .

Karaca, F., Yetişir, H., Solmaz, İ., Candir, E., Kurt, Ş., Sari, N., & Güler, Z. (2012). Rootstock potential of Turkish *Lagenaria siceraria* germplasm for watermelon: plant growth, yield and quality. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 36 (2), 167–177. http://dx.doi.org/10.3906/tar-1101-1716

Lamptey, S., & Koomson, E. (2021). The role of staking and pruning methods on yield and profitability of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) production in the guinea savanna zone of Ghana. *Advances in Agriculture*, 2021 (3&4), 1-7. https://doi.org/10.1155/2021/5570567

Lee J. M., & Oda, M. (2003). Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. *Horticultural Reviews*, 28, 61–124. https://doi.org/10.1002/9780470650851.ch2

Lee, J. M., Kubota, C., Tsao, S. J., Bie., Z., Echevarria, P. H., Morra, L., & Oda, M. (2010). Current status of vegetable grafting: diffusion, grafting techniques. *Scientia Horticulturae* 127, 93-105. http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2010.08.003

Lee, K. M., Lim, C. H., Muneer, S., & Jeong, B.R. (2016). Functional vascular connections and light quality effects on tomato grafted unions. *Scientia Horticulturae*, 201, 306–317. http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2016.02.013.

Lhamo, T., Gyalmo, T., Pem, T., & Bajgai, Y. (2022). Effect of different pruning systems on yield and quality of tomato grown under greenhouse. *Bhutanese Journal of Agriculture*, 5(1), 71–82. https://doi.org/10.55925/btagr.22.5106

Li, F., Li, Y., Li, S., Wu, G., Niu, X., & Shen, A. (2021). Green light promotes healing and root regeneration in double-root-cutting grafted tomato seedlings. *Scientia Horticulturae*. 289, 110503 https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110503

Maboko, M. M., & Du Plooy, C. P. (2008). Effect of pruning on yield and quality of hydroponically grown cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). *South African Journal of Plant and Soil*, 25 (3), 178-181. http://dx.doi.org/10.1080/02571862.2008.10639914

National Canners Association. (1968). *Laboratory manual for food canners and processors*. (3d ed.) AVI Publishing Company. Westport, Conn.

Mngoma, M. F. (2020). Investigating the effect of trellising and stem training methods on the horticultural performance of indeterminate tomatoes grown in dome shape tunnels. [Master of Science thesis, University of KwaZulu-Natal, Pietermaritzburg, South Africa].

Mohammed, S. M. T., Humidan, M., Boras, M., & Abdalla, O. A. (2009). Effect of grafting tomato on different rootstocks on growth and productivity under glasshouse conditions. *Asian Journal of Agricultural Research*, 3(2), 47-54. http://dx.doi.org/10.3923/ajar.2009.47.54

Moosavi-Nezhad, M., Salehi, R., Aliniaeifard, S., Tsaniklidis, G., Woltering, E. J., Fanourakis, D., Zuk-Gołaszewska, K., & Kalaji, H. M. (2021). Blue light improves photosynthetic performance during healing and acclimatization of grafted watermelon seedlings. *International Journal of Molecular Sciences*, 22,8043. https://doi.org/10.3390/ijms22158043

Mourão, I., Brito, L. M., & Moura, L. (2017). The effect of pruning systems on yield and fruit quality of grafted tomato. *Horticultura Brasileira*, 35, 247-251. http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620170215

Pathak, S., Akhade, P., Gajanan Bhojane, K., Sadar, D., Folane, P., Biyani, K. R., & Pathak, S. S. (2020). A review on recent techniques of extraction and isolation of lycopene from tomato. *International Journal of Research and Review*, 7(4), 478-490.

Perin, L., Peil, R. M. N., Signorini, C., Grolli, P. R., Streck, E. A., da Rosa, D. S. B., Neutzling, C., Marques, G. N., & Wieth, A. R. (2023). Effect of grafting and number of stems on plant growth, yield and fruit quality of soilless tomatoes. *Australian Journal of Crop Science*, 17(1), 99–106. https://doi.org/10.21475/ajcs.23.17.01.p3813

Pugalendhi, L., Bharathi, S., Priya, R. S., & Velmurugan, M. (2021). Biochemical and quality attributes of grafted tomato (*Solanum lycopesicum* L.). *The Pharma Innovation Journal*, 10 (8), 333–338.

Pulgar, G., Rivero, R. M., Moreno, D. A., Lopez-Lefebre, L. R., Villora, G., Baghour, M., & Romero, L. (1998). Micronutrientes en hojas de sandía injertadas. *VII Simposio Nacional-III Ibérico*

Sobre Nutrición Mineral de Las Plantas. Gárate A. (Ed.), Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, 255–260.

Purkayastha, M. Das, & Mahanta, C. L. (2011). Physicochemical properties of five different tomato cultivars of Meghalaya and their suitability in food processing. *Journal of Food Science*, 5(12), 657–667.

Rahmatian, A., Delshad, M., & Salehi, R. (2014). Effect of grafting on growth, yield and fruit quality of single and double stemmed tomato plants grown hydroponically. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 55(2), 115–119. https://doi.org/10.1007/s13580-014-0167-6

Rivard, C.L. & F. J. Louws. (2008). Grafting to manage soilborne diseases in heirloom tomato production. *HortScience*, 43(7), 2104-2111. http://dx.doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.2104

Rivard, C. L., O'Connell, S., M. M., Peet, & Louws, F. J. (2010). Grafting tomato with interspecific rootstock to manage diseases caused by *Sclerotium rolfsii* and southern root-knot nematode. *Plant Disease*. 94(8), 1015-1021. http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-94-8-1015

Sablani, S. S., Opara, L. U., & Al-Balushi, K. (2006). Influence of bruising and storage temperature on vitamin C content of tomato fruit. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 4 (1), 54-56.

Sakata, Y., Ohara, T. & Sugiyama, M. 2008. The history of melon and cucumber grafting in Japan. *Acta Horticulturae*. 767, 217–228. http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.767.22

Schwarz, D., Rouphael, Y., Colla, G. & Venema, J. H. (2010). Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: Thermal stress, water stress and organic pollutants. *Scientia Horticulturae*, 127(2), 162-171. http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.016

Singh, H., Kumar, P., Chaudhari, S., & Edelstein, M. (2017). Tomato grafting: a global perspective. *HortScience*, 52(10), 1328-1336. http://dx.doi.org/10.21273/HORTSCI11996-17

Soare, R., Dinu, M., & Babeanu, C. (2018). The effect of using grafted seedlings on the yield and quality of tomatoes grown in greenhouses. *Horticultural Science*, 45 (2), 76–82 http://dx.doi.org/10.17221/214/2016-HORTSCI

Tepic, A. N., Vejicic, B. L., Takac, A. J., Kristic, B. D., & Calic L. J. (2006). Chemical heterogeneity of tomato inbred lines. *Acta Periodica Technologica*, 37, 45-50. http://dx.doi.org/10.2298/APT0637045T

Turhan, A., Ozmen, N., Serbeci, M. S., & Seniz, V. (2011). Effects of grafting on different rootstocks on tomato fruit yield and quality. *Horticultural Science*, 38(4), 142–149. http://dx.doi.org/10.17221/51/2011-HORTSCI

Yang, X., Hu, X., Zhang, M., Xu, J., Ren, R., Liu, G., & Chen, X. (2016). Effect of low night temperature on graft union formation in watermelon grafted onto bottle gourd rootstock. *Scientia Horticulturae*, 212, 29-34. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.010

Yousef, A. F., Ali, M. M., Rizwan, H. M., Ahmed, M. A. A., Ali, W. M., Kalaji, H. M., Elsheery, N., Wróbel, J., Xu, Y., & Chen, F. (2021 a). Effects of light spectrum on morphophysiological traits of grafted tomato seedlings. *PLOS ONE*, 16, e0250210. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250210

Yousef, A. F., Ali, M. M., Rizwan, H. M., Gad, A. G., Liang, D., Binqi, L., Kalaji, H. M., Wróbel, J., Xu, Y., & Chen, F. (2021 b). Light quality and quantity affect graft union formation of tomato plants. *Scientific Reports*, 11(1), 9870. https://www.nature.com/articles/s41598-021-88971-5

Zhang, Z., Cao, B., Gao, S., & Xu, K. (2019). Grafting improves tomato drought tolerance through enhancing photosynthetic capacity and reducing ROS accumulation. *Protoplasma*, 256(4), 1013–1024. https://link.springer.com/article/10.1007/s00709-019-01357-3