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

Abstract

Grafting of vegetables is a new management technique that is widely used with the aim of preventing biotic and abiotic stresses in fruit and vegetables in greenhouses. For this purpose, 'SV4129TH' the cultivar was used as a scion grafted onto the 'Emperdor' rootstock. Two- and three-stem grafted seedlings along with non-grafted ones (control) for 30 days in a completely controlled environment under four LED light treatments including pure red, pure blue, white (full spectrum) and the combination of red and Blue (30% to 70%) were placed in separate tiers. Results reveal that the combination of red and blue light (RB) is the most suitable light source for increasing the quality of grafted tomato seedlings. Seedlings were grown for 30 days under different sub-spectrums of LED light and evaluated. The results showed that morphological traits such as height, stem diameter and number of leaves were significantly increased by 10.28, 13.16 and 65% respectively in grafted multi-stemmed plants compared to non-grafted single-stemmed plants. The yield and average of single fruit in two-stem and three-stem grafted plants, were 3.2 – 4.1% and 16.17-27% higher than non-grafted single stem plants. Biochemical characteristics such as lycopene, soluble solids and vitamin C increased by 30, 9.1 and 9.58% in grafted plants, respectively, compared to non-grafted plants. The amount of acidity in non-transplanted plants was equal to 0.67%, which was higher than that of grafted plants. The best option in terms of productivity and production was the grafted tomatoes with three-stems, which yielded 11.9 kg per plant.

Keywords: Blue light, Pruning, Red light, Stock, Tomato, Vegetable Grafting

Extended Abstract

Introduction

Grafting of vegetables is a new management technique that is widely used with the aim of preventing biotic and abiotic stresses in fruit and vegetables in greenhouses. For this purpose, 'SV4129TH' the cultivar was used as a scion grafted onto the 'Emperdor' rootstock. Vegetable grafting is an advanced approach to create climate resilience or minimize soil degradation and loss of natural resources, thereby improving long-term vegetable production.

Materials and Methods

This experiment was carried out in the fall of 2023 in order to determine the effect of the stem training methods on morphological and biochemical characteristic of greenhouse grafted tomato at the University of Tehran. For this purpose, 'SV4129TH' the cultivar was used as a scion grafted onto the 'Emperdor' rootstock. Three weeks after planting, the seedlings were grafted using the Nimanim method. One week after grafting, the seedlings were trained as two stems (P2) and three stems (P3) and transferred to the cubes. The following measurements were recorded for each plant:Morphological traits such as height, stem diameter, number of leaves and leaf area index . Biochemical properties such as lycopene, soluble solids, vitamin C and acidity

Results and Discussion

The results of the experiment showed that the yield and average of single fruit in grafted plants with two stems and three stems were higher than non-grafted single stem plants. Morphological traits such as height, stem diameter, number of leaves and leaf area index were more in grafted plants than non-grafted ones. Biochemical properties such as lycopene, soluble solids and vitamin C were more significant in grafted plants. But the amount of acidity was higher in non-grafted plants.

Conclusions

grafting of tomato plant had a significant effect on morphological characteristics, biochemical characteristics and production. The plant yield in two-stemmed and three-stemmed plants increased the most compared to non-grafted single-stemmed plants. The difference in production between grafted and non-grafted plants is due to the root system of the emperadora root system, which is a fast-growing root and tolerates salinity and low soil temperature, and fills a larger volume of soil compared to the non-grafted plant. The index of leaf area in grafted plants was higher than that of non-grafted plants, which will increase photosynthesis and yield. Vegetable grafting is an advanced approach to create climate resilience or minimize soil degradation and loss of natural resources, thereby improving long-term vegetable production.

تاثیر طیف نور ال ای دی و روش تربیت بوته بر صفات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی گوجه‌فرنگی پیوندی گلخانه‌ای

چکیده

پیوند سبزی‌ها یک استراتژی مدیریتی نوینی است که به طور گسترده‌ای با هدف جلوگیری از تنش‌های زیستی و غیرزیستی در سبزی‌های میوه‌ای در گلخانه‌ها به کار گرفته می‌شود. برای این منظور گوجه فرنگی گلخانه‌ای رقم SV4129TH به عنوان پیوندک، روی گوجه فرنگی رقم امپرادور (به عنوان پایه) پیوند شد. نشاهای پیوند شده دو و سه ساقه‌ای همراه با نشاهای غیرپیوندی به عنوان شاهد(تک ساقه بدون تربیت بوته) به مدت ۳۰ روز در محیط کاملا کنترل شده تحت چهار تیمار نور ال ای دی (LED) شامل نور قرمز، نور آبی، نور سفید (طیف کامل) و ترکیب نور قرمز و آبی (۷۰ به ۳۰ درصد) در طبقات مجزا قرار داده شدند. نشاهای رشد یافته زیر نور ال ای دی (LED)، بعد از ۳۰ روز به گلخانه با شرایط طبیعی انتقال یافتند. نتایج نشان داد ارتفاع گیاه، قطر ساقه در گیاهان چند ساقه پیوندی نسبت به گیاهان تک ساقه غیرپیوندی به طور معنی‌داری افزایش یافتند (به ترتیب ۱۰/۲۸، ۱۳/۱۶ و ۶۵ درصد). هم چنین باردهی (میانگین تک میوه و عملکرد در بوته) در گیاهان پیوندی نسبت به گیاهان تک ساقه غیرپیوندی 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 غیرپیوندی). میزان اسیدیته میوه در گیاهان غیرپیوندی برابر با ۰/۶۷ درصد بود که در مقایسه با گیاهان پیوندی بیشتر بود.

نتیجه گیری کلی

کلمات کلیدی: پایه، پیوند سبزی ها، هرس،کیفیت، گوجه فرنگی، نور قرمز،نور آبی،

مقدمه

گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) یکی از مهم ترین محصولات باغی در جهان است. کشاورزان برای به دست آوردن عملکرد بالا در کشت و پرورش گوجه فرنگی، روش های مختلفی مانند ارقام هیبرید، تولید در شرایط کنترل شده و کشت در بسترهای بدون خاک را مورد استفاده قرار می‌دهند. افزایش دوره تولید گوجه فرنگی (از پاییز تا تابستان بعدی) با کشت در گلخانه ها یکی از روش‌های رایج افزایش عملکرد در گوجه فرنگی می‌باشد. با این حال، گیاه گوجه‌فرنگی در طول چنین دوره کشت طولانی، به ویژه در گلخانه‌های خورشیدی، تحت تنش‌های مختلف زیستی (مانند دما و شوری شدید) و تنش زیستی (مانند پاتوژن‌ها و نماتدهای موجود در خاک قرار می‌گیرند (Lee *et al.*, 2010). یکی از روش‌های کاهش اثرات عوامل تنش زای زنده، استفاده مکرر از قارچ-کش‌ها و آفت‌کش‌ها است که به نوبه خود منجر به تهدیدی برای محیط زیست می‌باشد. افزایش نگرانی در مورد اثرات مواد شیمیایی مورد استفاده در تولید محصولات کشاورزی بر سلامت مصرف کننده و یا زیست محیطیو یا 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 تنش زای زنده و غیر زنده گردیده است.

یکی از راه‌های بهبود مقاومت گیاه به تنش‌های زنده و یا غیر زنده استفاده از گیاهان پیوندی است (Lee *et al.*, 2010). پیوند امکان استفاده از ویژگی‌های دو گیاه را فراهم می‌سازد و سیستم ریشه یک گیاه، رشد شاخساره گیاه دیگر با ارزش اقتصادی بالا اما حساس به یک یا چند عامل تنش زا را حمایت می‌کند. برای افزایش کارایی گیاهان پیوندی، باید گیاهان مورد استفاده به عنوان پایه از ژنوتیپ‌هایی با ویژگی‌های متمایز مانند تحمل به یک یا چند عامل محیطی خاص، سیستم ریشه توسعه یافته‌تر 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 غیر زنده، 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 مورد استفاده قرار گرفت (Sakata *et al*., 2008). با مشخص شدن کارایی پیوند در کنترل عوامل بیماری‌زا و تنش‌های محیطی، توجه به پیوند سبزی‌ها در حال افزایش یافت و پیوند در گیاهان خانواده های سولاناسه و کدوئیان در اروپا، آمریکا و آسیا رایج گردید(Hu, 2016). پیوند در گوجه فرنگی در کشورهای مختلف مانند چین، آمریکا، ایتالیا، اسپانیا و سایر کشورها مورد توجه قرار گرفته است (Singh *et al*., 2017). پیوند به عنوان یک استراتژی موثر برای غلبه بر چالش‌های تولید گوجه فرنگی ناشی از تنش-های زیستی و بیماری ها محسوب می‌گردد. افزایش تحمل به شوری و تنش کمبود آب (Al-Harbi *et al*., 2017)، افزایش مقاومت در برابر بیماری‌های خاکزاد مانند پژمردگی های باکتریایی، پوسیدگی فوزاریومی طوقه، پوسیدگی چوب پنبه‌ای ریشه، پژمردگی ورتیسیلیومی و نماتد ریشه (Rivard and Louws, 2008; Rivard *et al*., 2010, 2012) تولید برخی پایه‌های پر رشد که می-توانند تنش‌های محیطی (درجه حرارت نامناسب، شوری، غرقاب) را تحمل نمایند (Schwarz *et al*., 2010) و افزایش کارایی استفاده از آب و عناصر معدنی (Djidonou *et al*., 2013) برخی از مزایای پیوند در گوجه فرنگی می‌باشد. یکی از عوامل مهم در پیوند، بهبود زخم در محل اتصال پیوند می‌باشد که بقا گیاه پیوندی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. فرآیند بهبود زخم در محل پیوند شامل اتصال اولیه سلول‌ها، تولید کالوس (پینه)، تشکیل پلاسمودسماتای جدید و تمایزیابی دستجات آوندی، تشکیل ارتباط آوندی بین پایه و پیوندک می‌باشد که به برهمکنش‌های پیچیده بین سلول‌های پایه و پیوندک بستگی دارد (Yang *et al*., 2016). بنابراین بررسی عوامل موثر بر گیرایی پیوند اهمیت دارد.

یک از موارد مهمی که در کشت و پرورش گوجه فرنگی در شرایط کنترل شده مطرح می‌باشد، عدم دستیابی به ظرفیت کامل تولید به دلیل مدیریت ضعیف تولید می‌باشد که ناشی از ماهیت ویژگی‌های سیستم پرتراکم در شرایط کنترل شده است (Mngoma, 2020). به همین دلیل روش‌های مختلفی برای افزایش تعداد میوه و بهبود اندازه میوه و عملکرد مورد استفاده قرار می‌گیرد. تنک میوه، مدیریت جمعیت گیاه، انتخاب رقم مناسب و تربیت ساقه برخی از روش‌های مورد استفاده برای افزایش عملکرد در گلخانه‌های گوجه فرنگی می‌باشد(Maboko and du Plooy, 2008). تربیت ساقه یکی از مهم ترین مدیریت روش های مدیریت گیاهان باغبانی است که برای افزای عملکرد و بهبود کیفیت میوه استفاده می‌گردد (Ara *et al*., 2007). تربیت ساقه، تعداد ساقه‌هایی است که تولیدکننده اجازه می‌دهد طی دوره رشد به صورت شاخه پیشرو روی گیاه باقی بماند. روش‌های مختلف تربیت ساقه برای تولید گوجه فرنگی در تونل‌های پلاستیکی و گلخانه ها مورد استفاده قرار می‌گیرد که شامل تربیت گیاه به صورت تک ساقه، دو گیاه در یک گلدان و تربیت گیاه به صورت دو ساقه می‌باشد. 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 غیرپیوندی مدیریت کرد که منجر به افزایش سود آوری و کاهش هزینه‌ها می‌گردد. با تربیت نشاءهای پیوندی به صورت تولید گیاهان دارای دو ساقه یا سه ساقه، با حفظ تراکم ساقه در هر متر مربع، کاهش یک دوم و یک سوم درصدی تعداد بوته‌ها امکان پذیر می‌گردد، اما مقدار تولید در هر سطح مانند گیاهان کشت شده با یک ساقه حفظ می‌شود (Mourão *et al*., 2017,).

اگرچه تحقیقاتی در زمینه اثر عامل پیوند یا تعداد ساقه‌های گیاه بر رشد یا شاخص‌های فیزیولوژیکی در گوجه فرنگی منتشر گردیده است(Mngoma, 2020) ولی در زمینه اثر روش تربیت و تعداد ساقه در گیاهان گوجه فرنگی پیوندی نیاز به تحقیقات می-باشد. با توجه به عدم وجود اطلاعات کافی در مورد اثر نور بر رشد و کیفیت میوه گوجه فرنگی پیوندی در ایران، هدف این پژوهش ارزیابی اثرات پیوند و تعداد ساقه بر رشد، عملکرد میوه و کیفیت میوه‌های گوجه‌فرنگی در سیستم کشت بدون خاک می‌باشد.

پیشینهٔ پژوهش

نور به عنوان یک عامل محیطی ضروری، منبع اصلی انرژی برای فتوسنتز و عامل دخالت کننده در فتومورفوژنز است و 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 و را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Jing *et al*., 2018). شدت نور با تراکم

فوتون‌های نور تابشی و کیفیت نور با طول موج نور یا رنگ نور در ارتباط است. ترکیب طول موج نور و شدت نور موجب ایجاد یک اسپکتروم از تابش نور در محیط اطراف گیاه می‌گردد که رشد و نمو گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Carmach *et al*., 2023).

در مورد اثر عوامل مختلف مانند درجه حرارت، رطوبت نسبی و نور بر ایجاد اتصال در محل پیوند در سبزی ها گزارش‌هایی منتشر گردیده است و مشخص گردیده نور یکی از عوامل محیطی موثر در گیرایی پیوند می‌باشد (Lee *et al*. 2016). در مورد اثر کیفیت نور بر گیرایی محل پیوند گزارش‌هایی منتشر گردیده است. بررسی اثر کیفیت‌های مختلف نور بر گیرایی پیوند نشان داد نور ترکیبی (قرمز و آبی) دارای بهترین اثر بر گیرایی پیوند و تغییرات مورفو–فیزیولوژیکی در نشاهای پیوندی گوجه فرنگی بود (Yousef *et al*., 2021 a, 2021 b). نتایج یک تحقیق در مورد مقایسه اثر افزودن نور سبز (شدت های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد) به نور قرمز و آبی بدون تغییر شدت نور بر گیرایی پیوند گوجه فرنگی مشخص نمود 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 گوجه فرنگی گردید (Li *et al*., 2021). نتایج یک تحقیق انجام شده در نشاهای پیوندی گوجه فرنگی نیز مشخص نموده استفاده از فیلتر نورسبز روی کاهش تنش اکسیداتیو، تغییرات آناتومیکی در محل پیوند در طول دوره اتصال پیوند و رشد کلی نشاهای گوجه فرنگی پیوندی اثرات مثبتی دارد (Carmach *et al*. 2023).

بررسی اثر تیمارهای نور (تاریکی، نور سفید، نور آبی، قرمز، اختلاط نورهای آبی و قرمز) بر بهبود زخم پیوند و سازگاری در نشاهای هندوانه مشخص نمود تیمار مخلوط نورآبی و قرمز موجب کاهش رشد ریشه و تیمار نور قرمز موجب افزایش میزان کربوهیدرات ها و کاهش کلروفیل در نشاهای هندوانه پیوندی شد ولی نور آبی موجب افزایش میزان کلروفیل و کارایی فتوسنتز شد (Moosavi-Nezhad *et al*., 2021).

بررسی اثر روش های تربیت در نشاهای پیوندی مشخص نمود پیوند اثر مثبتی بر رشد رویشی و عملکرد گوجه‌فرنگی پیوندی دوساقه نسبت به تک ساقه غیرپیوندی داشت (Soare *et al*., 2018). بررسی اثر تربیت گیاه بر عملکرد و کیفیت میوه گوجه‌فرنگی پیوندی نشان داد که گیاهان پیوندی دو ساقه افزایش عملکرد ۲۶/۵ درصد داشتند (Lhamo *et al*., 2022). هم چنین نتایج یک تحقیق دیگر نشان داد تاثیر پیوند و تعداد ساقه بر عملکرد و میانگین تک میوه معنی‌دار بود اما مواد کل مواد جامد محلول میوه تحت تاثیر پیوند قرار نگرفت (Perin *et al*., 2023).

روش‌شناسی پژوهش

این آزمایش از پاییز ۱۴۰۱ تا بهار ۱۴۰۲ در گلخانه های تحقیقاتی گروه مهندسی باغبانی و فضای سبز دانشگاه تهران واقع در پردیس کشاورزی کرج انجام شد. پیوندک گوجه فرنگی رقم SV4129TH و پایه رقم Emperador بود. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کاملا تصادفی با تیمارهای تابش طیف نور روی نشاها (نورقرمز، نور آبی، نور سفید، ترکیب نور قرمز و آبی) و روش تربیت بوته (گیاه تک ساقه غیر بدون پیوندی به عنوان شاهد، گیاه پیوندی با دوساقه، گیاه پیوندی با سه ساقه) در سه تکرار و چهار بوته در هر واحد آزمایشی انجام شد تیمارهای 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 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 میلی متر، نشاها به روش نیمانیم پیوند زده شدند. نشاهای پیوندی به اتاقک پیوند با رطوبت نسبی ۹۵ درصد و دمای ۲۸ تا ۳۰ درجه سانتیگراد با شرایط کاملا کنترل شده منتقل شدند. به تدریج رطوبت نسبی اتاقک پیوند کاهش یافته و شدت نور برای سازگاری نشاهای پیوند شده افزایش داده شد. سپس نشاها دارای سه برگ حقیقی به صورت دو ساقه (P2) و سه ساقه (P3) تربیت شده و به مکعب های 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، نسبت نور قرمز به آبی ۳:۱) قرار گرفتند. نور مورد نیاز از طریق وال واشرهای LED، ۱۸ وات تامین شد. شدت نور نیز برای تمام تیمارها ۵ ± ۷۵ میکرومول بر مترمربع در ثانیه بود. بعد از

مشاهده اولین خوشه گل، گیاهان جوان به گروبک‌های 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 سانتیگراد، رطوبت نسبی ۷۰–۶۵ درصد و تامین نور طبیعی بود. تغذیه گیاهان با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای و محلول غذایی هوگلند تغییر یافته انجام شد. طول دوره رشد گیاهان در گلخانه ۴ ماه بود و داده برداری عملکرد مربوط به سه ماه پایان دوره رشد بود. برداشت میوه ها در مرحله رسیده (مرحله قرمز) انجام شد. میوه ها بلافاصله پس از برداشت به آزمایشگاه انتقال یافتند. طول و قطر میوه با استفاده از کولیس دیجیتال اندازه گیری شده و شکل میوه با تقسیم طول بر قطر میوه محاسبه گردید. وزن هر میوه با ترازوی حساس اندازه گیری شده و بر اساس مجموع وزن میوه های برداشت شده در هر گیاه، عملکرد میوه در گیاه محاسبه گردید و با تقسیم وزن کل میوه‌های برداشت شده از هر گیاه بر تعداد میوه ها، میانگین وزن میوه محاسبه شد. سفتی بافت میوه با استفاده از دستگاه سفتی سنج دستی با قطر دهانه پیستون ۴ میلی‌متر در ۳ نقطه در امتداد محور استوایی هر میوه ثبت شد.

پس از شستشوی میوه ها با آب مقطر مقداری از هر میوه نمونه برداری ده و برای خشک کردن به آون با دمای ۴۵ درجه سلسیوس منتقل گردید. بقیه میوه ها در مخلوط کن له شده و پس از عبور دادن از صافی، آب میوه گوجه فرنگی برای اندازه گیری‌ها استفاده گردید.

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

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 را به ۴۵ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه گردید و تیتراسیون با محلوله 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 (Marshall, 1969).

برای اندازه‌گیری لیکوپن، به ۰/۳ گرم از پودر خشک میوه، مقدار ۵ میلی لیتر استون حاوی ۰/۰۵ درصد بوتیل هیدروکسی تولوئن[1] (BHT)، ۵ میلی لیتر اتانول ۹۵٪ و ۱۰ میلی‌لیتر هگزان اضافه شد و بعد در سانتریفیوژ یخچال‌دار در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه با دور ۴۰۰ قرار داده شد. بعد از پایان سانتریفیوژ، ۳ میلی لیتر آب مقطر به نمونه‌ها اضافه شد و به مدت ۵ دقیقه در دمای آزمایگاه قرار داده شد. بعد از تشکیل دو فاز مجزا، بخش رویی حاوی هگزان و لیکوپن با سمپلر برداشته و میزان لیکوپن با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۰۳ نانومتر اندازه‌گیری شد. غلظت لیکوپن بر اساس میزان جذب محاسبه گردید (Pathak *et al*., 2020):

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

برای اندازه گیری صفات مورفولوژیک گیاه، ارتفاع بوته با خط‌کش و قطر ساقه با کولیس دیجیتال اندازه گیری شد. پس از بیرون آوردن گیاهان از خاک، حجم ریشه به روش فرو بردن در آب و تغییر حجم آب اندازه گیری گردید. وزن تر ساقه، برگ و ریشه با ترازوی حساس اندازه‌گیری شد. نمونه ها در پاکت کاغذی به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۲ درجه سلسیوس قرار داده شده و وزن خک نمونه ها با استفاده از ترازوی حساس اندازه گیری شد. تجزیه و تحلیل‌ها با نرم افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام شد.

[1] Butylated hydroxytoluene

یافته‌های پژوهش

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

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

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

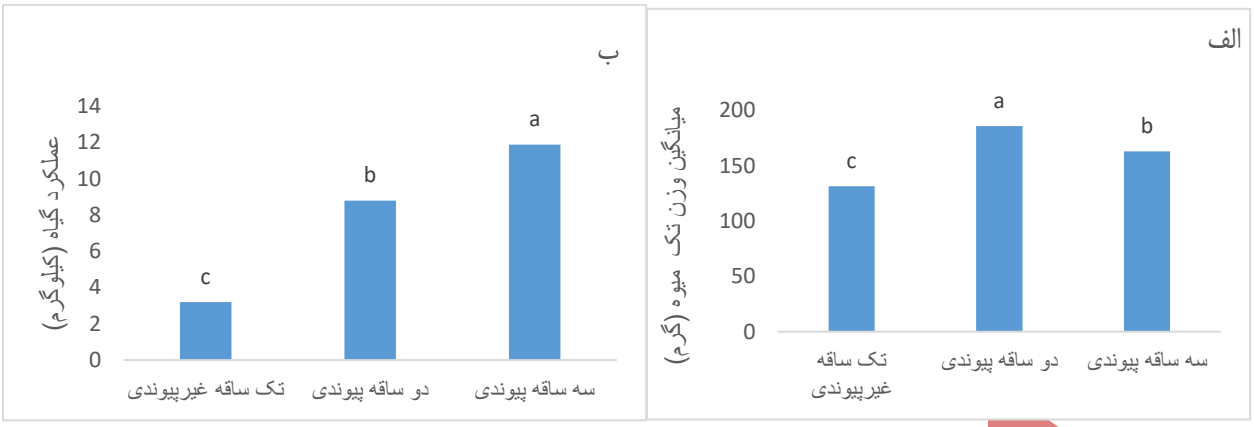
**** و ns به ترتیب تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد و عدم اختلاف معنی‌دار**

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

وزن تک میوه: مقایسه میانگین وزن تک میوه در تیمارهای تربیت ساقه (شکل ۱-ب) نشان داد روش تربیت ساقه گیاهان گوجه فرنگی پیوندی موجب افزایش وزن میوه در گیاهان پیوندی دو ساقه و سه ساقه نسبت به گیاه تک ساقه غیرپیوندی (به ترتیب ۴/۱ و ۲/۳ درصد) شد. میانگین وزن تک میوه گیاهان پیوندی تربیت شده به روش دو ساقه (۱۸۵/۸۳ گرم) به طور معنی داری بیشتر از وزن تک میوه گیاهان سه ساقه و گیاه تک ساقه غیرپیوندی بود (به ترتیب ۱۶۲/۹۷ و ۱۳۱/۵۱ گرم).

ماده خشک میوه: ماده خشک میوه در گیاه پیوندی تربیت شده به روش دو ساقه (۱۳/۱۶ درصد) به طور معنی داری بیشتر از ماده خشک میوه در گیاهان تربیت شده به روش سه ساقه و گیاهان غیرپیوندی بود (به ترتیب ۱۱/۷۸ و ۱۱/۳۶ درصد) (شکل ۲-الف).

سفتی میوه: مقایسه سفتی میوه گوجه فرنگی در تیمارهای مختلف تربیت ساقه گیاهان پیوندی (شکل ۲- ب) نشان داد سفتی بافت میوه قرمز گیاهان پیوندی تربیت شده به روش دو ساقه و سه ساقه (به ترتیب ۴/۸۴ و ۴/۷۰ کیلوگرم بر متر مربع)به طور معنی داری بیشتر از سفتی بافت میوه گیاهان تک ساقه و غیرپیوندی بود (۴/۲۶ کیلوگرم بر سانتی متر مربع)



شکل ۱.مقایسه میانگین اثر روش تربیت ساقه بر عملکرد گیاه و وزن تک میوه گوجه‌فرنگی

*میانگین های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۰/۰۵ آزمون دانکن تفاوت معنی داری ندارند.

شکل ۲. مقایسه میانگین اثر روش تربیت ساقه بر ماده خشک میوه و سفتی بافت میوه

*میانگین های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۰/۰۵ آزمون دانکن تفاوت معنی داری ندارند.

شاخص های رشد رویشی گیاه گوجه‌فرنگی

نتایج تجزیهٔ واریانس مربوط به اثر تیمارهای روش تربیت ساقه و نور بر صفات رشد رویشی گیاهان گوجه فرنگی (جدول ۲) نشان داد اثر تیمار پیوند بر وزن تر و خشک ساقه، وزن تر و خشک برگ در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار بود. اثر تیمار نور و اثرات متقابل تیمار نور و تیمار روش تربیت ساقه بر شاخص های فوق معنی‌دار نبود.

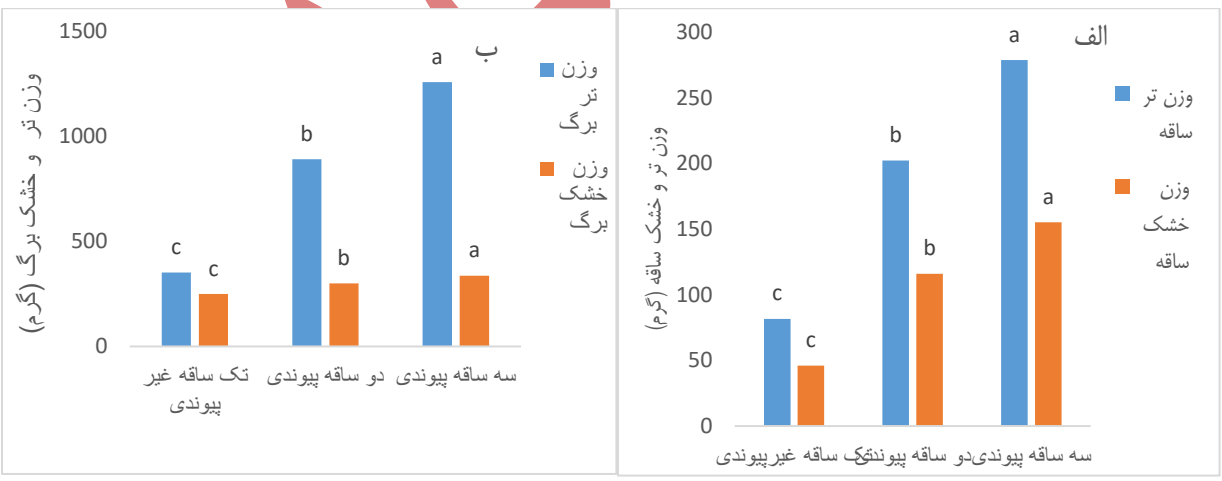
جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای نور و روش تربیت ساقه بر وزن ساقه و برگ گیاه گوجه‌فرنگی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		وزن تر ساقه	وزن خشک ساقه	وزن تر برگ	وزن خشک برگ
بلوک	۲	۴۳۹/۱۸ns	۴۰۶/۱۳ns	۱۰۲۷۰۲/۴۴ns	۱۶۴۹/۶۸ns
نور	۴	۵۵/۶۶ns	۰/۰۹ns	۱۲۴۹/۷۱ns	۵۸۸/۵ns
تربیت ساقه	۳	۱۱۵۷۱۰/۱۷**	۳۵۷۰۲/۹۸**	۲۲۸۶۹۲۵/۹۵**	۲۲۵۵۱/۸۲**
نور× تربیت ساقه	۱۲	۲۳۷/۲۹ns	۰/۲۴۱ns	۵۸۵۱/۸۹ns	۱۰۵۴/۶۹ns
خطا	۲۶	۱۴۵/۰۱	۸۳/۳۲	۱۵۶۴/۱۵	۸۶۷/۵۵
ضریب تغییرات(٪)		۶/۴۱	۸/۶۲	۷/۶	۹/۹۴

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

وزن ساقه: بررسی اثر روش تربیت ساقه بر وزن تر ساقه (شکل ۳- الف) نشان داد وزن تر ساقه در هرسه تیمار تربیت ساقه تفاوت معنی داری داشت. وزن تر ساقه گیاهان پیوندی تربیت شده به روش سه ساقه (۱۲۵۹ گرم) به طور معنی داری بیشتر از وزن تر گیاهان دو ساقه و گیاه تک ساقه غیرپیوندی بود (به ترتیب ۸۹۱/۵۸ و ۳۵۲/۲۵ گرم). وزن تر ساقه در گیاهان غیرپیوندی به طور معنی داری کمتر از این شاخص در سایر تیمارها بود. تفاوت معنی دار وزن خشک ساقه نیز مشابه وزن تر ساقه بود (شکل ۳- ب) و بیشترین وزن خشک ساقه در گیاهان پیوندی تربیت شده به روش سه ساقه و کمترین وزن خشک ساقه در گیاهان غیر پیوندی بود (به ترتیب ۳۳۶/۹۸ و ۳۰۰/۷۵ گرم).

وزن برگ: بررسی اثر روش تربیت ساقه بر وزن تر برگ (شکل ۳- ب) نشان داد وزن تر برگ در هرسه تیمار تربیت ساقه تفاوت معنی داری داشت. وزن تر برگ در گیاهان پیوندی سه ساقه ۴۸/۳ درصد و در گیاهان پیوندی دو ساقه پیوندی ۲۷/۸ درصد بیشتر از گیاهان تک ساقه غیرپیوندی بود (به ترتیب ۲۷۸/۸۸ و ۲۰۲/۳۵ گرم در مقایسه با ۸۱/۷ گرم). هم چنین وزن خشک برگ در هرسه تیمار تربیت ساقه تفاوت معنی داری داشت. بیشترین و کمترین وزن خشک برگ در گیاهان پیوندی تربیت شده به روش سه ساقه و گیاهان تک ساقه غیرپیوندی بود (به ترتیب ۱۵۵/۱۷ و ۴۶/۱۱ گرم). وزن خشک برگ در گیاهان پیوندی تربیت شده به روش سه ساقه ۶/۵ درصد و در گیاهان دو ساقه ۳/۸ درصد بیشتر از گیاهان تک ساقه غیرپیوندی بود.



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر روش تربیت ساقه بر وزن تر و خشک برگ گوجه‌فرنگی

*میانگین های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۰/۰۵ آزمون دانکن تفاوت معنی داری ندارند.

بررسی نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد اثر تیمار تربیت ساقه بر وزن تر و خشک ریشه، 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.

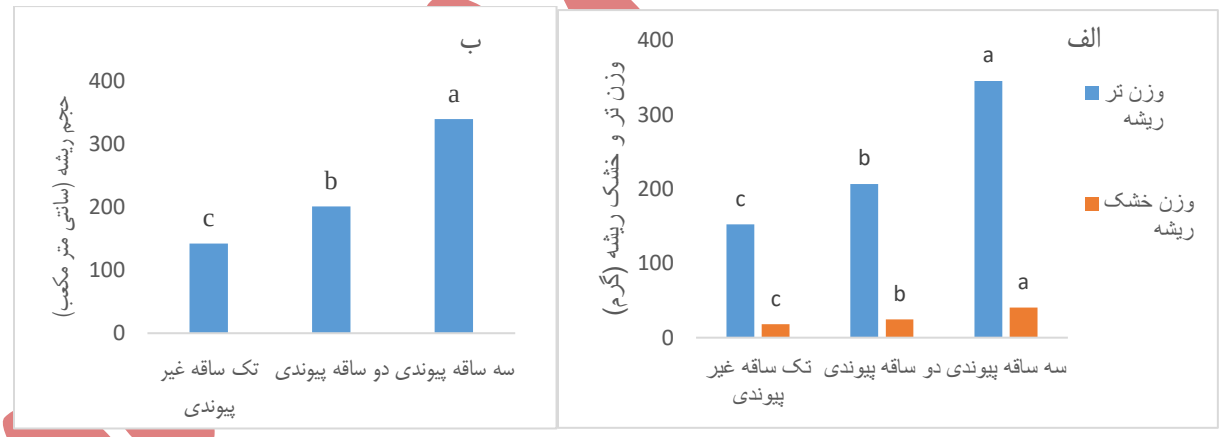
وزن ریشه: بررسی اثر تیمار تربیت گیاه بر وزن تر و خشک ریشه (شکل ۴- الف) نشان داد وزن تر و خشک ریشه در هر سه تیمار تربیت تفاوت معنی داری داشتند. وزن تر و خشک ساقه در گیاهان غیر پیوندی تک ساقه (به ترتیب ۱۵۲/۴۱ و ۱۷/۹۳ گرم) به طور معنی داری کمتر از گیاهان تربیت شده به روش سه ساقه و دوساقه بود. گیاهان پیوندی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

حجم ریشه: حجم ریشه گیاهان پیوندی تربیت شده به روش سه ساقه (۶۲/۳۳۹ سانتی متر مکعب) به طور معنی داری بیشتر از حجم ریشه گیاهان دو ساقه و گیاه تک ساقه غیر¬پیوندی بود (به ترتیب ۲۵/۲۰۱و ۴۱/۱۴۲ سانتی متر مکعب) ولی حجم ریشه گیاهان دو ساقه و گیاه تک ساقه غیرپیوندی تفاوت معنی داری نداشتند (شکل ۴- ب).

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای روش تربیت ساقه و نور بر برخی شاخص های رشد گیاه گوجه فرنگی

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

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



شکل ٤. مقایسه میانگین اثر روش تربیت ساقه بر وزن تر و خشک و حجم ریشه درگیاه گوجه‌فرنگی

*میانگین های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۰/۰۵ آزمون دانکن تفاوت معنی داری ندارند.

ارتفاع گیاه: مقایسه ارتفاع گیاه در تیمارهای تربیت ساقه (شکل ۵- الف) نشان داد ارتفاع گیاهان پیوندی تربیت شده به روش دو ساقه (۴۲۴ سانتی متر) به طور معنی داری بیشتر از ارتفاع گیاهان سه ساقه و گیاه تک ساقه غیرپیوندی بود (به ترتیب ۴۲۴ و ۴۲۸ سانتی متر). ارتفاع گیاهان سه ساقه و گیاه تک ساقه غیرپیوندی تفاوت معنی داری نداشتند.

قطر ساقه: مقایسه قطر ساقه در تیمارهای تربیت ساقه (شکل ۵-ب) مشخص نمود ارتفاع گیاهان سه ساقه و گیاه تک ساقه تفاوت معنی داری نداشتند ولی به طور معنی داری کمتر از قطر ساقه در گیاهان تربیت شده به روش دو ساقه بودند (به ترتیب ۱۱/۵۸ و ۱۱/۳۶ در مقایسه با ۱۳/۱۶ میلی متر).

شکل ۵. مقایسه میانگین اثر روش تربیت ساقه بر ارتفاع گیاه و قطر ساقه گیاه گوجه‌فرنگی

*میانگین های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۰/۰۵ آزمون دانکن تفاوت معنی داری ندارند.

صفات بیوشیمیایی

بررسی نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای تربیت و نور برصفات بیوشیمیایی میوه گوجه فرنگی (جدول ۴) نشان داد اثر تیمار تربیت ساقه بر میزان لیکوپن، اسیداسکوربیک، 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 ٤. نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات اثر پیوند و نور بر صفات بیوشیمیایی میوه گوجه‌فرنگی

		میانگین مربعات			
منابع تغییرات	درجه آزادی	لیکوپن	اسید آسکوربیک	اسیدیته میوه	کل مواد جامد محلول(tss)
بلوک	۲	۰/۰۰۵ns	۱۲/۶۷ns	۰/۰۳۲ns	۱/۷۹ns
نور	۴	۰/۰۰۰۰۱ns	۰/۳۸ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۱ns
تربیت ساقه	۳	۰/۰۳**	۲۶/۲۸**	۰/۰۴**	۰/۰۹۹**
نور× تربیت ساقه	۱۲	۰/۰۰۰۰۱ns	۱/۰۹ns	۰/۰۰۱ns	۰/۰۰۹ns
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 اسکوربیک: در میوه های گوجه فرنگی برداشت شده از گیاهان پیوندی سه ساقه میزان اسید اسکوربیک (۳۲/۵۷ میلی‌گرم در صد گرم) به طور معنی داری بیشتر از میزان اسید اسکوربیک در میوه برداشت شده از گیاهان دو ساقه و گیاهان تک ساقه غیر-پیوندی بود (به ترتیب ۳۰/۴۶ و ۲۹/۷۲ میلی گرم در صد گرم). میزان اسید اسکوربیک در میوه برداشت شده از گیاه پیوندی دو ساقه با تیمار شاهد (گیاهان تک ساقه غیرپیوندی) اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۶-الف).

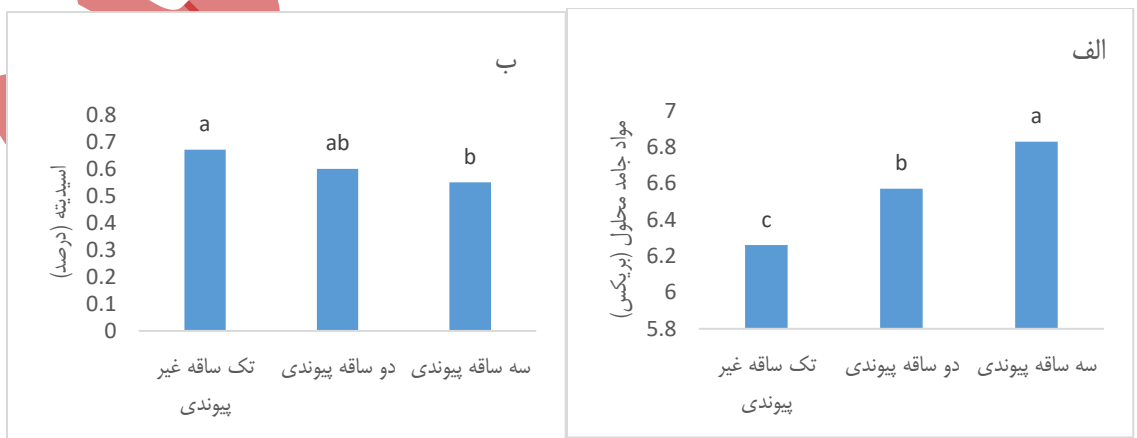
ویراستاری نشده

لیکوپن: میزان لیکوپن در میوه گیاهان پیوندی تربیت شده دو ساقه (۵۲/۰ میلی گرم در صد گرم بافت تازه) به طور معنی داری بیشتر از لیکوپن گیاهان تربیت شده سه ساقه و یا گیاهان تک ساقه غیر پیوندی بود (به ترتیب ۴۵/۰ و ۴/۰ میلی گرم در صد گرم بافت تازه). میزان لیکوپن میوه در گیاهان پیوندی سه ساقه و تک ساقه غیر پیوندی تفاوت معنی داری نداشتند (شکل ۶–ب).

کل مواد جامد محلول: میزان کل مواد محلول جامد در میوه های بردات ده از هر سه تیمار تربیت ساقه تفاوت معنی داری داشتند (شکل ۷–الف). میزان کل مواد محلول جامد در میوه گیاهان پیوندی تربیت شده سه ساقه (۶/۸۳ درصد بریکس) به طور معنی داری بیشتر از مواد جامد محلول میوه گیاه پیوندی دو ساقه و میوه گیاه 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 تربیت شده دو ساقه (۰/۶۰ درصد) تفاوت معنی داری نداشت نداشتند (شکل ۷–ب). ولی به طور معنی داری بیشتر از اسیدیته کل در گیاهان تربیت شده سه ساقه (۵۵/۰درصد).

شکل ٦. مقایسه میانگین اثر روش تربیت ساقه بر میزان اسید آسکوربیک و لیکوپن میوه گوجه فرنگی
*میانگین های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۰/۰۵ آزمون دانکن تفاوت معنی داری ندارند.



شکل ۷شکل. مقایسه میانگین اثر روش تربیت ساقه بر میزان کل مواد جامد محلول و اسیدیته کل میوه گوجه فرنگی
*میانگین های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۰/۰۵ آزمون دانکن تفاوت معنی داری ندارند.

بحث

در این تحقیق بوته های گوجه فرنگی های پیوندی تربیت شده به صورت دوساقه و سه ساقه، در مرحله پس از بهبود زخم پیوند و در مرحله سازگاری تحت تیمار تابش طیف های نور قرمز، نور آبی، نور سفید، ترکیب نور قرمز و آبی قرار گرفته و تا رسیدن به مرحله تولید سه برگ حقیقی پس از شروع گلدهی به گلخانه انتقال یافته و اثر برخی شاخص های رشد رویشی گیاه و کیفیت میوه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد تیمار تابش طیف های نور یا برهمکنش تیمارهای تابش طیف های نور و روش تربیت ساقه بر شاخص های رشد ریشه و بخش هوایی و یا خصوصیات کمی و کیفی میوه اثر معنی داری نداشتند. در تحقیقات انجام شده قبلی، اثر نور بر گیرایی پیوند در گوجه فرنگی (Yousef *et al*., 2021 a, 2021 Carmach *et al*. 2023) و هندوانه (Moosavi-Nezhad *et al*.,, 2021) مورد تایید قرار گرفته است. هم چنین گزارش گردیده تابش نور در طول دوره گیرایی پیوند، فعالیت آنزیم های اکسیداتیو مانند سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز، پراکسیداسیون چربی (میزان مالون دی آلدهید) و در نتیجه شدت تنش اکسیداتیو و هم چنین تغییرات آناتومیکی در محل زخم مانند پرآوری سلولی و تمایز یابی بافت های آوندی را تحت تاثیر قرار می دهد (Carmach *et al*. 2023). به نظر می رسد در تحقیق حاضر، عدم تاثیر تیمارهای طیف نور مورد استفاده بر شاخص های اندازه گیری شده، به دلیل کامل شدن فرآیندهای بهبود زخم محل پیوند در زمان دریافت تیمارهای نور و دریافت تیمارهای تابش نور پس از پایان فعالیت های بهبودی زخم محل پیوند بوده است. هم چنین با توجه به اینکه فرآیند گلدهی گوجه فرنگی پیچیده است و یک عامل محیطی به تنهایی روی گلدهی تاثیر نمی گذارد و به صورت مستقیم یا غیرمستقیم توسط برهمکنش عوامل مختلف مانند نور، درجه حرارت، دی اکسید کربن، تغذیه، رطوبت نسبی و تنظیم کننده های رشد قرار می گیرد (Heuvelink, 2005)، به نظر می رسد در آزمایش حاضر، طیف های نور تابش یافته در طول مدت زمان رشد گیاه تا قبل از ظهور اولین گل (مرحله انتقال به بستر کاشت اصلی)، بر فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان گوجه فرنگی مرتبط با رشد رویشی و رشد میوه موثر نبوده است. به نظر می رسد در تحقیقات بعدی بررسی اثرات طیف های نور و سایر عوامل محیطی مانند درجه حرارت می تواند اطلاعات بیشتری در مورد پاسخ گیاهان پیوندی گوجه فرنگی با روش های مختلف تربیت ساقه را نسبت به طیف نور و سایر عوامل محیطی در اختیار قرار دهد.

نتایج تحقیق حاضر مشخص نمود عملکرد بوته و شاخص های کیفی میوه گوجه فرنگی تحت تاثیر سیستم تربیت گیاه پیوندی قرار گرفت و بین گیاهان پیوندی تربیت شده به روش دو ساقه و سه ساقه با گیاهان غیر پیوندی تک ساقه تفاوت معنی داری وجود داشت(شکل ۱–ب). یافته های پژوهش های قبلی نیز نشان داده است گوجه‌فرنگی‌های پیوندی بهره‌وری بالاتری نسبت به گیاهان غیر پیوندی دارند (soare *et a*l., 2018 & Karaca *et al*., 2012; Turhan *et al*., 2011) و تولید میوه‌های گوجه فرنگی علاوه بر پیوندک (رقم) و پایه تحت تأثیر تعداد ساقه در هر بوته (یک ساقه یا دو ساقه) نیز قرار می گیرد(Pulgar *et al*., 1998). افزایش عملکرد در گیاهان پیوندی گوجه فرنگی تربیت شده به صورت دو ساقه و سه ساقه پیوند شده (Rahmatian *et al*., 2014) و یا گیاهان تربیت شده به روش دو ساقه (Lamptey and Koomson, 2014) نیز مورد تایید قرار گرفته است. افزایش وزن میوه یکی از عوامل موثر بر عملکرد می باشد. نتایج آزمایش حاضر در مورد افزایش وزن میوه در گیاهان پیوندی تربیت شده به روش دوساقه و سه ساقه نسبت به گیاهان غیر پیوندی نشاندهنده اثر مثبت پیوند بر تغییر وزن میوه گوجه فرنگی می باشد که در تحقیقات قبلی نیز مورد تایید قرار گرفته است (Turhan *et al*., 2011;). هم چنین افزایش وزن میوه در گیاهان تربیت شده به روش دوساقه نسبت به گیاهان تربیت شده به روش سه ساقه (شکل ۱–الف). نشاندهنده اهمیت تاثیر تربیت ساقه بر وزن میوه گوجه فرنگی می باشد. اثر روش تربیت شده دو ساقه بر افزایش وزن میوه گوجه فرنگی در تحقیقات قبلی نیز مشخص شده است (Lamptey and Koomson, 2014).

نتایج آزمایش حاضر نشان دهنده عدم تاثیر 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 می شود. اثر روش تربیت گیاهان به صورت دو ساقه بر تغییر طول و قطر میوه مورد تایید قرار گرفته است (Lamptey and Koomson, 2014).

یافته های تحقیق حاضر نشاندهنده افزایش وزن تر و خشک برگ و ساقه (شکل ۳) و وزن تر و خشک ریشه (شکل ۴) در گیاهان پیوندی تربیت شده به روش دو ساقه و سه ساقه بود. به طور مشابهی، در یک تحقیق انجام شده قبلی نیز وجود تفاوت در وزن تر و خشک برگ در گیاهان پیوندی دو و سه ساقه بیشتر نسبت به گیاهان تک ساقه غیرپیوندی گزارش شده است (Edelstein *et al.*, 2004). به نظر می رسد 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 گردیده است. هم چنین جذب بهتر آب و مواد معدنی توسط سیستم ریشه نیز در این زمینه موثر است. در یک تحقیق انجام شده در مورد گیاه گوجه فرنگی نیز عنوان گردید افزایش عملکرد میوه در گوجه‌فرنگی پیوندی با تغییرات سیستم ریشه پایه در ارتباط است (Lee and Oda, 2003).

بخش دیگری از نتایج آزمایش حاضر مشخص نمود برخی ترکیبات بیوشیمیایی که در تعیین کیفیت میوه گوجه فرنگی نیز دخالت دارند، تحت تاثیر روش تربیت گیاهان پیوندی قرار گرفتند. افزایش معنی دار میزان اسید اسکوربیک میوه در گیاهان تربیت شده به روش سه ساقه نسبت به گیاهان پیوندی دوساقه و گیاهان غیرپیوندی و افزایش ۹/۵۸ درصد میزان اسید اسکوربیک در میوه نسبت به گیاهان تک شاخه غیرپیوندی (شکل ۶) نشان می دهد شاخص های کیفی میوه گوجه فرنگی می تواند تحت تاثیر پیوند و روش تربیت ساقه ها قرار گیرد. در تحقیقات قبلی نیز مشخص گردیده پیوند با پایه مناسب یکی از عواملی است که باعث افزایش محتوای اسید آسکوربیک میوه گوجه فرنگی می شود (Zhang *et al.*, 2019). اسید آسکوربیک یک ترکیب آنتی اکسیدانتی است و میوه گوجه فرنگی دارای میزان قابل توجهی اسید آسکوربیک می باشد (Sablani *et al.*, 2006). بنابراین بالاتر بودن میزان اسید آسکوربیک در میوه گیاهان پیوندی تربیت شده به صورت سه ساقه می تواند نشاندهنده اثر پیوند و روش تربیت ساقه ها بر تغییر وضعیت آنتی اکسیدانتی گیاه باشد که میزان ترکیبات آنتی اکسیدانتی مانند اسیداسکوربیک میوه را نیز تحت تاثیر قرار داده است. احتمالا تغییر سایر ترکیبات بیوشیمیایی در میوه گیاهان پیوندی به روش سه ساقه نیز بر میزان اسید آسکوربیک تاثیر داشته است. با توجه به اینکه پیشنهاد گردیده است دسترسی به موادکربوهیدراتی برای بیوسنتز برخی ترکیبات گیاهی دارای ارزش غذایی مانند اسیداسکوربیک مورد نیاز می باشد (Farneti, 2014)، احتمالا افزایش انتقال قند به میوه در گیاهان پیوندی سه ساقه که بر اساس میزان مواد جامد محلول مشخص می گردد (شکل ۷) یکی از دلایل افزایش اسید اسکوربیک در گیاهان پیوندی سه ساقه می باشد.

نتایج آزمایش حاضر در مورد افزایش میزان کل مواد جامد محلول و کاهش میزان اسیدیته کل میوه در گیاهان تربیت شده به روش سه ساقه نسبت به گیاهان پیوندی دوساقه و گیاهان غیرپیوندی (شکل های ۶ و ۷) نشان می دهد طعم و شاخص های کیفی میوه گوجه فرنگی می تواند تحت تاثیر پیوند و روش تربیت ساقه ها قرار گیرد. اثر پیوند و نوع پایه برافزایش محتوای مواد کل مواد جامد محلول میوه گوجه فرنگی مورد تایید قرار گرفته 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٪) را قندهای گلوکز و فروکتوز تشکیل می دهد و میزان و نسبت آنها بر خواص ارگانولپتیک، عطر (طعم)، رنگ و همچنین چگونگی حفظ کیفیت میوه‌ها در طول زمان تاثیر می‌گذارد (Purkayastha & Mahanta, 2011). مقایسه میزان اسیدیته در میوه های گیاهان پیوندی تربیت شده و گیاهان غیرپیوندی (شکل ۷) نشان داد میزان اسیدیته میوه در گیاهان غیر پیوندی بیشتر بود. اگر چه پیشنهاد گردیده اسیدیته مهم ترین شاخص بیوشیمیایی تعیین کننده کیفیت میوه گوجه فرنگی است (Fernndez-Garcia *et al.*, 2004) ولی در مورد اثر پیوند بر میزان اسیدیته میوه گوجه فرنگی گزارشهای متفاوتی منتشر گردیده است. نتایج آزمایش حاضر در مورد کاهش اسیدیته میوه در گیاهان پیوندی، متفاوت با نتایج ارائه شده قبلی در مورد اثر مثبت پیوند بر اسیدیته میوه گوجه فرنگی (Floers *et al.*, 2004) و یا عدم اثر معنی داری پیوند یا پایه های مختلف می باشد (Fernndez-Garcia *et al.*, 2004; Turhan *et al.*, 2011)

رنگ میوه گوجه فرنگی عامل مهم دیگری است که بر کیفیت میوه از نظر مصرف کنندگان تأثیر می‌گذارد. رنگ میوه گوجه‌فرنگی رسیده با نسبت دو رنگدانه لیکوپن و بتاکاروتن تعیین می‌شود (Buajaila *et al*., 2018). لیکوپن یک کاروتنوئید است که در مرحله رسیدن میوه تشکیل می شود و رنگ قرمز میوه گوجه فرنگی به دلیل وجود لیکوپن است (Tepic *et al*., 2006) در این تحقیق میزان لیکوپن در میوه گیاهان دوساقه پیوندی نسبت به تک ساقه غیرپیوندی و تربیت شده به صورت سه ساقه پیوندی افزایش معنی‌داری داشت که مشخص می نماید پیوند یکی از عواملی است که میزان لیکوپن میوه گوجه فرنگی را تحت تاثیر قرار می دهد. این نتایج با گزارش ارائه شده در مورد عدم وجود تفاوت معنی دار در میزان لیکوپن میوه های گوجه فرنگی پیوندی و غیر پیوندی (Turhan *et al*., 2011) و یا کاهش میزان لیکوپن در میوه های گوجه فرنگی پیوندی (Mohammed *et al*., 2009) تفاوت دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش حاضر نشان داد تیمار نور در طیف های نورقرمز، نور آبی، نور سفید، ترکیب نور قرمز و آبی در مرحله پس از گیرایی پیوند تا رسیدن به مرحله تولید اولین گل، بر شاخص های رشد گیاه و خصوصیات کیفی میوه گوجه فرنگی اثر معنی داری نداشت. با توجه به اینکه زمان انجام تیمارها پس از پایان مرحله بهبود پیوند بوده است، این موضوع نشان می دهد تیمارهای نوری مورد استفاده بر تغییر فعالیت های فیزیولوژیکی گیاهان پیوندی گوجه فرنگی موثر نبوده و در آزمایش های بعدی لازم است اثرات تیمارها در طول دوره بهبود پیوند بررسی گردیده و یا شدت و ترکیب طول موج نورهای مورد استفاده در مرحله پس از بهبود پیوند تا قبل از گلدهی تغییر یابد. همچنین نتایج آزمایش نشان داد در گیاهان پیوندی تربیت شده به صورت دو ساقه یا سه ساقه با گیاهان غیرپیوندی رشدیافته به صورت تک ساقه (بدون تربیت ساقه) شاخص های رشد رویشی و ترکیبات بیوشیمیایی میوه تفاوت معنی داری داشتند. این موضوع نشاندهنده اثر سیستم تربیت و پیوند بر رشد بوته گوجه فرنگی است که منجر به بروز تغییرات در کیفیت میوه می گردد. در آزمایش های بعدی، استفاده از ارقام مختلف برای پایه و پیوندک و ایجاد ترکیب های مختلف پایه و پیوندک و هم چنین سیستم تربیت تک ساقه، دوساقه و سه ساقه می تواند 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 تامین هزینه های انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می گردد.

References

Afarashte, 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.

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.

Ara, N; Bashar, MK; Begum, S; Kakon, SS. (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.

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 2023, 12, 3402. https://doi.org/10.3390/ plants12193402.

Djidonou, D., X. Zhao, E.H. Simonne, K.E. Koch, and J.E. Erickson. (2013). Yield, water-, and nitrogen-use efficiency in field-grown, grafted tomatoes. HortScience 48(4):485-492

Edelstein, M., Y. Burger, C. Horev, A. Porat, A. Meir, and R. Cohen. (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.

Farneti, B. (2014). Tomato quality: from the field to the consumer Interactions between genotype, cultivation and postharvest conditions. Ph D., Thesis. Wageningen University. 206 p.

Fernandez-Garcia, N., Martinez, and M. Carvajal. 2004. Effect of salinity on growth, mineral composition, and water relations of grafted tomato plants. J. *Plant Nutr. Soil Sci*. 167:616– 622.

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*, 126: 211–217.

Gaion, L. A., Braz, L. T., & Carvalho, R. F. (2018). Grafting in Vegetable Crops: A Great Technique for Agriculture. In *International Journal of Vegetable Science* (Vol. 24, Issue 1, pp. 85–102). https://doi.org/10.1080/19315260.2017.1357062

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

Hu, B. 2016. Improved Tomato Grafting Technologies. Ph.D. Thesis. Ohio State University. USA.150 p.

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.

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.

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, 1-7.

Lee J.M. & Oda M. (2003). Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. *Horticultural Reviews*, 28: 61–124.

Lee, J.M.; Kubota, C.; Tsao, SJ.; Bie., Z; Echevarria, PH.; Morra, L; Oda, M. (2010). Current status of vegetable grafting: diffusion, grafting techniques. *Scientia Horticulturae* 127: 93-105.

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. doi.org/10.1016/j.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.

Marshall, R. B. (1969). Laboratory Manual for Food Canners and Processors. In *Canadian Institute of Food Technology Journal* (Vol. 2, Issue 4). AVI Publishing Company. https://doi.org/10.1016/s0008-3860(69)74415-4

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. MSc. Thesis. University of KwaZulu-Natal, Pietermaritzburg, South Africa. 154 p.

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.

Moosavi-Nezhad, M.; Salehi, R.; Aliniaeifard, S.; Tsaniklidis, G.; Woltering, E.J.; Fanourakis, D.; Z˙ uk-Gołaszewska, K.; Kalaji, H.M. (2021). Blue Light Improves Photosynthetic Performance during Healing and Acclimatization of Grafted Watermelon Seedlings. Int. J. Mol. Sci. 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. doi - 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 (Ijrrjournal.Com)*, *7*, 4.

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. and F.J. Louws. (2008). Grafting to manage soilborne diseases in heirloom tomato production. HortScience 43(7):2104-2111.

Rivard, C.L., S. O'Connell, M.M. Peet, and F.J. Louws. (2010). Grafting tomato with interspecific rootstock to manage diseases caused by Sclerotium rolfsii and southern root-knot nematode. Plant Dis. 94(8):1015-1021.

Rivard, C.L., S. O'Connell, M.M. Peet, R.M. Welker, and F.J. Louws. (2012). Grafting tomato tomanage bacterial wilt caused by Ralstonia solanacearum in the southeastern United States. Plant Dis. 96(7):973-978.

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.

Sakata, Y., T. Ohara, and M. Sugiyama. 2008. The history of melon and cucumber grafting in Japan. Acta Hort. 767:217–228.

Schwarz, D., Y. Rouphael, G. Colla, and J.H. Venema. (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.

Singh, H., Kumar, P., Chaudhari, S., & Edelstein, M. (2017). Tomato grafting: a global perspective. HortScience, 52(10), 1328-1336.

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. https://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.

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. https://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*(5 May), 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://doi.org/10.1038/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://doi.org/10.1007/s00709-019-01357-3

ویراستاری نشده