تأثیر نوردهی نور قرمز در پایان روز بر ویژگی‌های مورفولوژیک، عملکرد و کیفیت میوه توت‌فرنگی رقم کوین الیزا در شرایط روز کوتاه

مریم نوروزی[۱]، حسن ساری‌خانی[۱*]، منصور غلامی[۱] و سید مرتضی زاهدی[۱]

(تاریخ دریافت:۱۳۹۳/۱۱/۱۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۱۸)
DOI: 10.18869/acadpub.ejgcst.7.4.175

چکیده

یکی از محدودیت‌های مؤثر در کشت زمستانه توت‌فرنگی در شرایط گلخانه، طول روز کوتاه می‌باشد. به منظور بررسی تأثیر کیفیت نور در پایان روز بر ویژگی‌های رویشی، عملکرد و کیفیت میوه توت‌فرنگی (رقم کوئین الیزا) پژوهشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تیمار در زمستان سال ۱۳۹۲ اجرا گردید. بوته‌های توت‌فرنگی تحت تیمارهای نور قرمز (به مدت ۲، ۴ و ۸ ساعت نوردهی) با استفاده از منبع نور ال ای دی (طول موج ۶۶۰ نانومتر، شدت ۱۲ میکرومول بر متر مربع در ثانیه) از ساعت ۶ عصر قرار گرفتند و با گیاهان شاهد (بدون نوردهی نور قرمز) مقایسه شدند. نتایج نشان داد که تیمار ۸ ساعت نور قرمز موجب افزایش معنی‌داری در تعداد برگ، طول دمبرگ، طول و عرض برگ و سطح برگ گیاهان شد. وزن تر و خشک بوته و همچنین وزن و طول میوه توت‌فرنگی رقم کوین الیزا در تیمارهای نوردهی نور قرمز افزایش یافت. همچنین، نور قرمز موجب افزایش مواد جامد محلول میوه در تیمارهای نوردهی و به ویژه در تیمار ۸ ساعت نور قرمز شد. اما اسیدیته و پ-هاش میوه تحت تأثیر نور قرمز قرار نگرفت. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که افزایش طول روز با استفاده از ال ای دی قرمز سبب بهبود ویژگی‌های مورفولوژیک، رشد، عملکرد و کیفیت میوه توت‌فرنگی رقم کوئین الیزا شد.

کلمات کلیدی: طول روز، ال ای دی، کارآیی فتوسنتزی

مقدمه

توت‌فرنگی به دلیل عطر، طعم و محتویات سرشار از ویتامین جایگاه مهمی را در رژیم غذایی میلیون‌ها نفر در جهان دارد (۸ و ۲۳). ایران به دلیل دارا بودن شرایط اقلیمی مناسب می‌تواند به عنوان یکی از تولیدکنندگان مهم توت‌فرنگی مطرح باشد. سطح زیر کشت توت‌فرنگی در ایران بر اساس آمار فائو در سال ۲۰۱۲، حدود ۲۴ هزار هکتار گزارش شده است که از این سطح حدود ۳۲۰۰۰۰ تن توت‌فرنگی با میانگین عملکرد ۱۳/۳ تن در هکتار تولید شده است (۷). بخش اصلی تولید توت‌فرنگی کشور در فضای باز و به صورت مزرعه‌ای صورت می‌گیرد.

تولید تجاری توت‌فرنگی در گلخانه، به‌ویژه در مناطقی با زمستان‌های معتدل، جهت تولید توت‌فرنگی خارج از فصل، با کیفیت مناسب، برای تازه‌خوری در حال افزایش است. نور یکی

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: sarikhani@basu.ac.ir

از عوامل محیطی مهم در فرایندهای فیزیولوژیک رشد و نمو، گل‌دهی و کیفیت میوه توت‌فرنگی می‌باشد (۲۴). نور از جنبه‌های مختلفی مانند طول مدت تابش و کیفیت روی اندازه برگ، نمو ریشه و طوقه، نمو ساقه، تشکیل ساقه رونده، تشکیل میوه، اندازه میوه و عملکرد و همچنین فیزیولوژی توت‌فرنگی مؤثر است (۲۶). برخی ارقام مورد کشت توت‌فرنگی از نظر گل‌انگیزی روزکوتاه هستند. اما برای رشد رویشی و زایشی مطلوب، به طول روز بلند نیاز دارند (۸). تغییر در کیفیت و کمیت نور دریافتی توسط گیاه می‌تواند میزان تاج گیاه را تغییر دهد و در نتیجه از این طریق ادامه روند رشدی گیاه و همچنین کیفیت میوه را تحت تأثیر قرار دهد (۱). تغییر در میزان فتوسنتز، کربوهیدرات‌ها و آنتوسیانین از جمله صفاتی هستند که تحت تأثیر کیفیت و کمیت نور دریافتی توسط گیاه قرار می‌گیرند (۵ و ۲۶).

کیفیت نور اغلب توسط طول موج فوتون‌های نوری و نسبت آن‌ها تعیین می‌شود (۱۵). اغلب از نور قرمز برای افزایش طول روز استفاده می‌گردد. نور قرمز به فتوسنتز گیاه نسبت داده می‌شود. کارآیی فتوسنتزی نور آبی و قرمز متفاوت است. به طوری که میانگین کارآیی فتوسنتزی نور قرمز (۶۶۰ نانومتر) در برگ توت‌فرنگی ۲/۵ برابر بیشتر از نور آبی است (۲۵ و ۲۸).

در گلخانه‌ها، یا محیط‌های تولیدی گیاهان توت‌فرنگی، به دلیل نیاز به رشد رویشی قوی برای تولید گل و میوه در زمانی که نور کافی وجود ندارد، یا طول مدت روز کوتاه است، نیازمند استفاده از نور مصنوعی می‌باشند. به‌طور کلی، برای تأمین نیاز نوری بوته توت‌فرنگی در تولید بوته‌های با کیفیت بالا در خارج از فصل در شرایط با روز کوتاه (پاییز و زمستان) از منابع نوری مختلف، به‌ویژه لامپ‌های سدیمی، استفاده می‌شود که به دلیل بازده پایین انرژی در مواردی کاربرد آنها توجیه اقتصادی ندارد و به‌همین دلیل اخیراً ال ای دی‌ها (Light emitting diods, LEDs) به‌دلیل قابلیت‌های فراوان، جایگزین این نوع لامپ‌ها گردیده‌اند (۱۶ و ۲۲). کارایی زیاد، هزینه کم و عمر طولانی منابع نور مصنوعی به کار رفته در تولید محصولات باغبانی اهمیت بسیار زیادی در انتخاب نوع منبع نوری دارد. پژوهش‌های زیادی در ارتباط با سیستم‌های نوین نوردهی مانند استفاده از دیودهای ساطع کننده نور (ال ای دی) که طیف مناسب نور را فراهم می‌کنند، صورت گرفته است. این نوع منابع دارای مزایایی مانند طول عمر زیاد، ایجاد طول موج ویژه، هدررفت کم انرژی و قابلیت تنظیم شدت نور نسبت به منابع دیگر روشنایی هستند. این مزایا باعث شده که استفاده از این منابع نوری در محیط‌های کنترل شده مانند اتاقک رشد و گلخانه به عنوان منبع نور مورد بررسی قرار گیرد (۳، ۱۰ و ۱۶).

گزارش‌های فراوانی در زمینه اثر کیفیت نور و همچنین تیمار نوردهی پایان روز بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و مورفولوژی گیاهان شده است که می‌توان با تغییر در شرایط نوری، کنترل گیاه را در اختیار گرفت (۹، ۱۰، ۱۲، ۱۳، ۱۸، ۲۲ و ۲۹). در توت‌فرنگی، اثر نوردهی تکمیلی در طول روز در فصل زمستان با منابع نوری ال ای دی و فلورسنت (۹)، نوردهی در طول شب با منابع نوری فلورسنت قرمز و قرمز دور (۱۸) و نوردهی با ال ای دی قرمز و ترکیب ال ای دی قرمز و آبی در فیتوترون (۲۲) برای افزایش رشد و همچنین افزایش طول روز بررسی شده است. با اینکه اثر مثبت نوردهی نور قرمز بر رشد و فتوسنتز برخی از ارقام توت‌فرنگی مشخص شده (۲۲)، اما اثر مدت نوردهی، حداقل زمان نوردهی و واکنش متفاوت ارقام توت‌فرنگی در شرایط تولید مانند گلخانه بررسی نشده است. همچنین، با توجه به نیاز به شدت نور کم و افزایش دسترسی به ال ای دی با کارآیی زیاد، تیمار نوردهی پایان روز ممکن است روشی اقتصادی جهت کنترل رشد گیاه بدون استفاده از مواد شیمیایی باشد.

توت‌فرنگی رقم کوئین الیزا یک گیاه روزکوتاه اختیاری است که هم گل انگیزی و هم رشد رویشی آن تحت تأثیر طول روز و دما قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه آگاهی از اثر نور بر کنترل رشد و نمو گیاه، واکنش‌های فیزیولوژیک و تولید ضروری به نظر می‌رسد، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر مدت نور در پایان روزکوتاه حاصل از دیودهای ساطع کننده

نور (ال ای دی) بر ویژگی‌های مورفولوژیک، عملکرد و کیفیت میوه توت‌فرنگی رقم روزکوتاه کوئین الیزا انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در زمستان سال ۱۳۹۲ در گلخانه‌های پژوهشی گروه علوم باغبانی دانشگاه بوعلی سینا انجام شد. نشاهای توت‌فرنگی رقم کویین الیزا از نهالستانی خصوصی در شهرستان مریوان در استان کردستان تهیه شدند. گیاهان پس از تیمار ریشه‌ها با قارچ‌کش بنومیل (به نسبت ۱ در هزار) در گلدان‌های ۴ کیلوگرمی حاوی مخلوط خاک زراعی، ماسه و کود دامی به نسبت ۱:۱:۱ کشت شدند. در ابتدای زمستان، پس از اطمینان از آغازش گل و برطرف شدن نیاز سرمایی در بوته‌ها، از تیمار نوردهی نور قرمز استفاده شد. آزمایش در قالب چهار تیمار شامل شاهد (بدون نوردهی تکمیلی)، دو، چهار و هشت ساعت نوردهی نور قرمز در پایان روز از ساعت ۶ عصر به مدت ۱۰۵ روز انجام شد. دوره نوردهی تا زمان تشکیل میوه و رسیدن آن‌ها ادامه یافت. از لامپ‌های ال ای دی نور قرمز با شدت حدود ۱۲ میکرومول بر متر مربع در ثانیه و طول موج ۶۶۰ نانومتر استفاده گردید. فاصله منبع نور تا سطح برگ گیاهان حدود ۳۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. برای جلوگیری از تداخل نوردهی بین تیمارها، از لایه‌های آلومینیومی استفاده گردید. در پایان آزمایش، ویژگی‌های رویشی، کمی و کیفی میوه مورد ارزیابی قرار گرفت. به همین جهت، پس از پایان اعمال تیمارهای نوری، گیاهان از گلدان خارج شده و پس از تمیزکردن گل و لای، وزن هر گیاه به وسیله ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. سپس، گیاهان درون پاکت‌های کاغذی قرار داده شده و درون آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت قرار گرفتند. پس از گذشت این زمان، گیاهان از آون خارج شده و وزن خشک نمونه‌ها به وسیله ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. تعداد برگ‌های هر گیاه در هر تکرار شمارش و سپس میانگین گرفته شد. همچنین، سطح برگ گیاهان با استفاده از نرم‌افزار Image-J اندازه‌گیری شد. طول دمبرگ و طول و عرض برگ‌ها با خط‌کش اندازه‌گیری شده و سپس میانگین آن‌ها در هر گیاه محاسبه گردید.

برای اندازه‌گیری ویژگی‌های کمی، میوه‌های رسیده به مرور برداشت گردید. وزن هر میوه پس از برداشت و انتقال به آزمایشگاه به‌وسیله ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. برای محاسبه میانگین وزن میوه در هر بوته، تمام میوه‌های چیده شده در هر برداشت وزن شده و در نهایت وزن کل میوه‌های هر گلدان بر تعداد میوه آن تقسیم شد. طول و قطر میوه برای هر بوته با استفاده از کولیس دستی با دقت ۰/۰۲ میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل، از روش پرا (۲۰) استفاده شد. بدین صورت که ابتدا مقدار ۲۰۰ میلی‌گرم از شاخساره‌های گیاه پس از وزن شدن در هاون چینی قرار گرفت و با استفاده از ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ له گردید. سپس، به مدت ۵ دقیقه با ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. بخش رویی برداشته شد و به قسمت باقیمانده ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ اضافه گردید و پس از له کردن با شرایط ذکر شده سانتریفیوژ گردید. بخش رویی برداشته شده به بخش رویی قبلی اضافه گردید. این عمل تا بی‌رنگ شدن کامل بخش رویی ادامه یافت. در نهایت، حجم بخش رویی با استون ۸۰٪ به ۲۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس، جذب نمونه‌ها در طول موج‌های ۶۶۴ و ۶۴۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل کری۱۰۰، واریان، آمریکا) اندازه‌گیری شد و با استفاده از روابط ۱ تا ۳ میزان کلروفیل a، b و کل بر اساس میکروگرم در میلی‌گرم محاسبه شد:

$$Chla = 12.25\ A_{664} - 2.55\ A_{645} \quad [۱]$$

$$Chlb = 20.31\ A_{645} - 4.91\ A_{664} \quad [۲]$$

$$Chl(a+b) = 7.34\ A_{664} + 12.76\ A_{645} \quad [۳]$$

که در آنها *Chla* محتوای کلروفیل a، *Chlb* محتوای کلروفیل b، A_{664} جذب محلول در طول ۶۶۴ نانومتر و A_{645} جذب محلول در طول ۶۴۵ نانومتر است.

برای تعیین میزان مواد جامد محلول از دستگاه رفراکتومتر دستی (مدل N1، آتاگو، ساخت کشور ژاپن) استفاده شد. میزان

جدول ۱. اثر مدت تابش نور قرمز در پایان روز کوتاه بر وزن تر و وزن خشک بوته توت‌فرنگی رقم کوپین الیزا

زمان نوردهی	وزن تر بوته (گرم در بوته)	وزن خشک بوته (گرم در بوته)
شاهد (بدون نوردهی تکمیلی)	۲۶/۷۸b	۹/۰۵ b
۲ ساعت	۳۲/۵۶ ab	۱۱/۱۲ab
۴ ساعت	۳۶/۷۸ a	۱۳/۲۵ a
۸ ساعت	۳۵/۱۷ ab	۱۲/۵۲a

حروف یکسان در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشد.

جدول ۲. اثر مدت تابش نور قرمز در پایان روز کوتاه بر صفات مورفولوژیک توت‌فرنگی رقم کوپین الیزا

زمان نوردهی	تعداد برگ (در هر گیاه)	طول دمبرگ (cm)	طول برگ (cm)	عرض برگ (cm)	سطح برگ (mm2)
شاهد (بدون نوردهی تکمیلی)	۸/۳۸ b	۴/۳۳ b	۳/۸۵ b	۶/۱۹b	۷۸۸/۰ b
۲ ساعت	۸/۸۶ ab	۴/۶۸ b	۳/۷۱ b	۶/۲۵ b	۸۵۴/۵ b
۴ ساعت	۱۰/۰۰ ab	۴/۶۴ b	۴/۰۹ ab	۷/۲۱ ab	۱۰۹۲/۹ a
۸ ساعت	۱۰/۴۳ a	۵/۸۴ a	۴/۷۳ a	۸/۲۲ a	۱۰۹۴/۲a

حروف یکسان در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشد.

پ-هاش آب میوه با استفاده از پ-هاش‌متر مدل متراُهم، ساخت کشور سوئیس، اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری میزان اسیدیته کل میوه، ۲ میلی‌لیتر آب میوه داخل ارلن ریخته شد و مقدار ۲۰ میلی لیتر آب مقطر به آن اضافه گردید. اسیدیته قابل تیتراسیون با استفاده از تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن به پ-هاش نهایی ۸/۱ ±۰/۱ تیتر شد. مقدار سود مصرفی را در رابطه زیر قرار داده و اسیدیته اندازه‌گیری گردید:

$$100 = (N \times Vb \times E / Vj) \times acidity \qquad [۴]$$

که N نرمالیته، V_b حجم سود مصرفی، E اکی‌والان اسید سیتریک و V_j حجم نمونه آب میوه است.

آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار و ۳ گلدان در هر تکرار انجام گرفت. داده‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ تجزیه شده و میانگین‌ها نیز با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪ مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نوردهی با استفاده از نور قرمز اثر معنی‌داری بر وزن تر و خشک بوته توت‌فرنگی داشت. در بوته‌های در معرض نور قرمز، در مقایسه با بوته‌های شاهد، با افزایش مدت نوردهی، میزان وزن‌تر و وزن خشک بوته افزایش یافت، به گونه‌ای که بیشترین وزن‌تر و وزن خشک بوته در تیمار ۴ ساعت نوردهی نور قرمز مشاهده شد. اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری بین تیمارهای ۴ و ۸ ساعت نوردهی مشاهده نشد (جدول ۱).

نتایج آزمایش نشان داد که تعداد برگ توت‌فرنگی رقم کوئین الیزا در تیمار نوردهی نور قرمز افزایش یافت (جدول ۲). تیمار ۸ ساعت نوردهی نور قرمز بهترین تیمار در افزایش تعداد برگ بود که نسبت به شاهد افزایش نشان داد. علاوه بر این، در این پژوهش، ۸ ساعت نوردهی نور قرمز باعث افزایش معنی‌دار طول دمبرگ، طول و عرض برگ و سطح برگ در مقایسه با شاهد شد (جدول ۲).

جدول ۳. اثر مدت تابش نور قرمز در پایان روز کوتاه بر عملکرد و ابعاد میوه توت‌فرنگی رقم کوین الیزا

زمان نوردهی	تعداد میوه	وزن شاه میوه (گرم)	میانگین وزن میوه (گرم)	طول میوه (cm)	قطر میوه (cm)
شاهد (بدون نوردهی تکمیلی)	۳/۰۰ a	۱۲/۳۵ c	۸/۹۰b	۳/۰۱b	۲/۵۱ a
۲ ساعت	۳/۰۰ a	۱۳/۸۶ b	۹/۱۱b	۳/۳۷ab	۲/۶۰ a
۴ ساعت	۳/۵۰ a	*	۸/۴۲b	۳/۱۶ ab	۲/۴۳ a
۸ ساعت	۲/۸۸ a	۱۴/۰۵ a	۱۱/۵۰a	۳/۴۵ a	۲/۶۹ a

حروف یکسان در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشد.

* میوه‌های این تیمار قبل از وزن کردن از بین رفتند.

جدول ۴. اثر مدت تابش نور قرمز در پایان روز کوتاه بر ویژگی‌های کیفی توت‌فرنگی رقم کوین الیزا

زمان نوردهی	مواد جامد محلول (°Brix)	اسیدیته قابل تیتراسیون (٪)	پ-هاش
شاهد (بدون نوردهی تکمیلی)	۶/۷۵ b	۰/۹۲ a	۳/۷۹ a
۲ ساعت	۹/۰۸ab	۱/۰۲ a	۳/۷۰ a
۴ ساعت	۸/۰۸ ab	۰/۸۷ a	۳/۶۷ a
۸ ساعت	۹/۴۸ a	۱/۱۵a	۳/۶۳a

حروف یکسان در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشد.

اثر نوردهی نور قرمز و مدت آن بر محتوای کلروفیل‌های a، b و کل معنی‌دار نشد (میانگین‌ها آورده نشده‌اند). نتایج مربوط به تأثیر نور قرمز در روز کوتاه بر تعداد میوه، وزن شاه میوه یا اولین میوه، میانگین وزن میوه، طول و قطر میوه توت‌فرنگی رقم کوئین الیزا در جدول ۳ آمده است. تیمار ۸ ساعت نوردهی نور قرمز موجب افزایش میانگین وزن میوه در مقایسه با شاهد شد، به طوری که از ۸/۹۰ گرم در تیمار شاهد به ۱۱/۵۰ گرم در تیمار ۸ ساعت نوردهی نور قرمز رسید. با افزایش مدت نوردهی قرمز، طول میوه نیز افزایش یافت که این افزایش برای ۸ ساعت نوردهی نور قرمز نسبت به شاهد معنی‌دار بود (جدول ۳).

بیشترین مواد جامد محلول در تیمار ۸ ساعت نوردهی نور قرمز (۹/۴۸ درجه بریکس) مشاهده شد که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری را با تیمارهای نوردهی نور قرمز نداشت. کمترین مواد جامد محلول در تیمار شاهد (۶/۷۵ درجه بریکس) مشاهده شد. اندازه‌گیری دیگر ویژگی‌های کیفی میوه شامل اسیدیته قابل تیتر و پی‌اچ میوه نشان داد که نوردهی نور قرمز اثر معنی‌داری بر فاکتورهای یاد شده نداشت (جدول ۴).

در پژوهش حاضر، افزایش وزن تر و خشک بوته در تیمارهای نوردهی نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. نور عامل مهمی در فتوسنتز و تولید ترکیبات آلی در گیاهان می‌باشد. یکی از فاکتورهای اصلی در رشد و نمو گیاهان، دسترسی به ترکیبات آلی می‌باشد و افزایش انتقال ترکیبات آلی به سمت بخش‌های جوان به شدت فتوسنتز ربط دارد. نور قرمز، علاوه بر افزایش فتوسنتز، تجمع تولیدات فتوسنتزی و ماده خشک را تحریک می‌کند. مشخص شده است که نور قرمز در مقایسه با تاریکی، از طریق تحریک تولید و جذب بیشتر ترکیبات آلی توسط شاخساره جوان، باعث بهبود رشد و نمو گیاه می‌گردد (۱۴). به نظر می‌رسد که نور قرمز با افزایش سرعت فتوسنتز، افزایش رشد گیاه و تخصیص کربوهیدرات بیشتر در دسترس بوته

توت‌فرنگی سبب افزایش وزن‌تر و وزن خشک بوته توت‌فرنگی رقم کوپین الیزا شده است. نتایج پژوهش حاضر با نتایج لی و همکاران (۱۳) در ارتباط با افزایش وزن‌تر، وزن خشک ساقه و ریشه و تجمع ماده خشک دانهال‌های کلم چینی در تیمار نور قرمز و همچنین ساموئلین و همکاران (۲۲) در ارتباط با افزایش نسبت طوقه به ریشه و همچنین وزن خشک کل بوته تحت تیمار نور قرمز در بوته‌های توت‌فرنگی رقم الکات مطابقت دارد.

در پژوهش حاضر، با اعمال تیمار نور قرمز و ایجاد شرایط روز بلند، تعداد برگ در تیمارهای نوردهی افزایش یافت. علاوه بر این، در تیمارهای طولانی‌تر نور قرمز، سطح برگ و طول دمبرگ نیز افزایش یافت. اگرچه توت‌فرنگی برای تحریک رشد زایشی، بسته به رقم، به دامنه مشخصی از طول روز نیاز دارد، اما در بیشتر ارقام آن، در شرایط روزبلند و دمای زیاد، سرعت تولید برگ و رشد رویشی افزایش می‌یابد که در این بین طول روز اثر بیشتری را نسبت به دما برای افزایش رشد رویشی و سطح برگ دارد (۸). در اکثر ارقام توت‌فرنگی، تشکیل ساقه رونده، افزایش طول دمبرگ، سطح برگ و عملکرد با افزایش طول روز افزایش می‌یابد (۲۳). مورفولوژی و رشد دانهال‌ها مانند طول ساقه، سطح برگ و وزن دانهال‌ها به وسیله کیفیت نور کنترل می‌شود (۲۷). مشخص شده است که تعداد برگ و مورفولوژی آن نیز تحت تأثیر کیفیت نور قرار می‌گیرد و نور قرمز تولید برگ را افزایش می‌دهد (۱۸). وو و همکاران (۲۶) در نتایجی مشابه، افزایش طول برگ و سطح برگ توت‌فرنگی رقم تویونوکا را در تیمار نور قرمز گزارش کردند. نتایج این پژوهش با گزارش‌های نیشیاما و همکاران (۱۸)، وو و همکاران (۲۶)، ساموئلین و همکاران (۲۲) که نشان دادند نور قرمز موجب افزایش رشد رویشی می‌شود، مطابقت دارد.

افزایش میانگین وزن میوه تحت تیمار ۸ ساعت نوردهی ال ای دی قرمز موجب افزایش عملکرد محصول گردید. بنابراین، افزایش وزن مشاهده شده تحت تیمار ۸ ساعت نوردهی قرمز را می‌توان به تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی به میوه نسبت داد. افزایش سطح برگ و تعداد آن به طور معنی‌داری با سرعت رشد گیاه ارتباط دارد. گیاه با سطح برگ بیشتر، میزان کربن بیشتری را مورد استفاده قرار داده و رشد سریع‌تر اتفاق می‌افتد (۲۲). نور قرمز با فعالیت دستگاه فتوسنتزی و انتقال آسیمیلات‌ها ارتباط دارد (۲). کربوهیدرات‌ها ممکن است در همه اندام‌های گیاه به‌طور موقت ذخیره شوند. برای دستیابی به عملکرد زیاد، تخصیص کربوهیدرات بیشتر به میوه مهم است. مشخص شده است که محتوای کربوهیدرات تحت نور قرمز افزایش می‌یابد (۱۳). تمایزیابی جوانه گل و نمو میوه به میزان زیادی کربوهیدرات نیاز دارد و محتوای کربوهیدرات محلول در نوک تاج، برگ‌ها و ریشه‌های گیاهان روزکوتاه توت‌فرنگی ممکن است نقش مهمی در تمایزیابی جوانه گل بازی کند (۶). نیشیزاوا و شیشیدو (۱۹) گزارش کردند که کربوهیدرات ذخیره شده در ریشه توت‌فرنگی برای حمایت از رشد گل‌آذین، میوه و نمو برگ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به افزایش رشد رویشی تحت تأثیر نور قرمز، به نظر می‌رسد مواد فتوسنتزی بیشتری تولید شده و با انتقال به میوه موجب افزایش وزن میوه و در نتیجه عملکرد توت‌فرنگی رقم کوپین الیزا گردید. توسعه سلول‌های نهنج در طول نمو میوه توت‌فرنگی، فاکتور مهمی در تعیین اندازه میوه است. روسوس (۲۱) گزارش کرد که اندازه میوه به وسیله تأمین کربوهیدرات بیشتر در دسترس میوه افزایش می‌یابد. ساموئلین و همکاران (۲۲) گزارش کردند که اندازه میوه توت‌فرنگی رقم الکات در تیمار نور تک‌رنگ قرمز، در مقایسه با ترکیب چند طیف نوری، کاهش یافت. ممکن است نور قرمز با افزایش رشد بوته و تأمین کربوهیدرات بیشتر در دسترس میوه موجب رشد و توسعه بیشتر سلول‌های نهنج شده باشد که در نتیجه سبب افزایش طول میوه شده است. بررسی نتایج نشان داد که تیمار نور قرمز پایان روز بر تعداد میوه، وزن شاه میوه و قطر میوه اثر معنی‌داری نداشت. علت معنی‌دار نشدن اثر نور قرمز بر این صفات در پژوهش حاضر می‌تواند به دلیل واکنش رقم باشد (۸).

غلظت قند یکی از فاکتورهای بسیار مهم برای کیفیت میوه توت‌فرنگی است. در بسیاری از مناطق دنیا، در فصل زمستان،

برای افزایش تولید و ازدیاد میزان قند در میوه از نـور مصـنوعی استفاده مـی‌کننـد (۱۷). کیفیـت نـور، متابولیسـم کربوهیـدرات گیاهان عالی را تنظیم می‌کند و محتوای کربوهیدرات تحت نـور قرمز افزایش می‌یابد (۱۳). به همین دلیل نیز استفاده از نور قرمز به عنوان تیماری مؤثر جهت افزایش طول روز، در پایان روز در شرایط روزکوتاه توصیه می‌شود (۲۵). نتایج مربوط بـه افـزایش مواد جامد محلول که با شیرینی میوه ارتباط دارد به دلیل تجمـع بیشتر مواد فتوسنتزی تحت نور قرمز می‌باشـد. لـی و همکـاران (۱۳) بیان داشتند که قندهای محلول در دانهال‌های کلـم چینـی در تیمار نور قرمز افزایش یافت. در ارتباط با تـأثیر طیـف‌هـای مختلـف نـوری، هیـداکا و همکـاران (۹) افـزایش مـواد جامـد محلول میوه توت‌فرنگی را در تیمار نور ال ای دی با میزان زیاد نور سبز گزارش کردند. از سایر عوامل کیفی میوه کـه بـر طعـم میوه مؤثر می‌باشند میزان پ–هاش و اسـیدیته قابـل تیتراسـیون می‌باشند. علی رغم این که این صفات در این آزمایش معنـی‌دار نبودند، اما گزارش‌هایی مبنی بر تأثیر کیفیت نور بـر میـزان ایـن صفات وجـود دارد (۴). کسـپربائور و همکـاران (۱۱) گـزارش دادند که تغییر در میزان نور قرمز بـه قرمـز دور، بـا تغییـر نـوع فیتوکروم، می‌تواند باعث فعال شـدن برخـی آنـزیم‌هـا گشـته و منجر به تغییرات شیمیایی شود و کیفیت میوه را تحت تأثیر قرار دهد.

نتیجه‌گیری

با توجه به کوچک بودن و تاج متراکم در بوته‌های توت‌فرنگـی، به منظور رسیدن به عملکرد مناسـب و بـا کیفیـت، بـه‌ویـژه در روزهای کوتاه، نور نسبتاً زیادی نیاز دارند. نوردهی تکمیلـی بـا سیستم نوردهی ال ای دی، به‌ویـژه در شـرایط زمسـتان بـا روز کوتاه و شدت نور کم، به لحاظ اقتصادی مقرون به صـرفه بـوده و به‌طور مؤثری فتوسنتز برگ را افـزایش مـی‌دهـد کـه موجـب تسریع رشد گیاه، بهبود کیفیت میوه و افزایش عملکرد میوه‌های توت‌فرنگی می‌شود. با توجه به نتایج به دست آمده از پـژوهش حاضر، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کاربرد نـور قرمـز بـه مـدت حداقل دو ساعت در شرایط طول روز زمستانه شهر همـدان در پایان روز، با استفاده از دیودهای ساطع کننده نـور در گلخانـه و تونل‌های پلاستیکی، می‌تواند به عنوان ابزاری برای کنترل رشـد گیاه، بهبود کیفیت رشدی گیاه، افزایش عملکرد و کیفیـت میـوه در اختیار پرورش‌دهندگان جهت تولید خارج از فصل این میوه، بدون استفاده از مواد شیمیایی، باشد. عـلاوه بـر ایـن، براسـاس نتایج حاضر، افزایش مدت نوردهی بیش از دو ساعت، تا هشت ساعت، نیز می‌تواند سبب بهبود ویژگی‌هـای رشـدی و کیفیـت میوه گردد.

منابع مورد استفاده

1. Aphalo, P.J., D. Gibson and A.H. Di Benedetto. 1991. Responses of growth, photosynthesis, and leaf conductance to white light irradiance and end-of-day red and far-red pulses in *Fuchsia magellanica* Lam. New Phytol. 117: 461-471.
2. Baroli, I., G.D. Price, M.R. Badger and S. Caemmerer. 2008. The contribution of photosynthesis to the red light. Plant Physiol. 146: 737-747.
3. Bourget, C.M. 2008. An introduction to light-emitting diodes. HortSci. 43(7): 1944-1946.
4. Casierra-Posada, F., E. Fonseca and R. Vaughan. 2011. Fruit quality in strawberry (*Fragaria* sp.) grown on colored plastic mulch. Agron. Colomb. 29: 407-413.
5. Damayanthi Ranwala, N.K., D.R. Decoteau, A.P. Ranwala and W.B. Miller. 2002. Changes in soluble carbohydrates during phytochrome-regulated petiole elongation in watermelon seedlings. Plant Growth Reg. 38: 157-163.
6. Eshghi, S., E. Tafazoli, Sh. Dokhani M. Rahemi and Y. Emam. 2007. Changes in carbohydrate contents in shoot tips, leaves and roots of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) during flower-bud differentiation. Sci. Hort. 113: 255-260.
7. FAO. 2013. Fao statistical programme of work. faostat.fao.org/site/567/default.aspx #ancor.
8. Hancock, J. 1999. Strawberries. CABI Publishing, Wallingford, UK.

9. Hidaka, K., K. Dan, Y. Miyoshi, M. Kitano and M. Okimura. 2013. Effect of supplemental lighting from different light sources on growth and yield of strawberry. Environ. Control Biol. 51(1): 41-47.
10. Jeong, S.W., S. Park, J.S. Jin, Y.H. Kim and W.S. Lee. 2012. Influences of for different light emitting diode lights on flowering and polyphenol variations in the leaves of chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium*). J. Agric. Food Chem. 60: 9793-9800.
11. Kasperbauer, M., J. Loughrin and S. Wang. 2001. Light relected from red mulch to ripening strawberries afects aroma, sugar and organic acid concentrations. Photochem. Photobiol. Sci. 74(1): 103-107.
12. Kotiranta, S. 2013. The effect of light quality on tomato (*Solanum lycopersicum* L. cv Efialto) growth and drought tolerance. MSc. Thesis, University of Helsinki, 84 p.
13. Li, H., C. Tang, Z. Xu, X. Liu, and X. Han. 2012. Effects of different light sources on the growth of non-heading chinese cabbage (*Brassica campestris* L.). J. Agric. Sc. 4: 262-273.
14. Maas, F.M. and E.J. Bakx. 1995. Effects of light on growth and flowering of *Rosa* hybrids 'Mercedes'. J. Am. Soc. Hort. Sci. 120(4): 571-576.
15. Marcuvitz, S. and R. Turkington. 2000. Differential effects of light quality, provided by different grass neighbours, on the growth and morphology of *Trifolium repens* L. (white clover). Oecologia 125: 293-300.
16. Massa, G.D., H.H. Kim, R.M. Wheeler and C.A. Mitchell. 2008. Plant productivity in response to LED lighting. HortSci. 43(7): 1951-1955.
17. Morgan, L. 2006. Hydroponic Strawberry Production: A Technical Guide to the Hydroponic Production of Strawberries. Suntec, 117 p.
18. Nishiyama, M. and K. Kanahama. 2009. Effect of light quality on growth of everbearing strawberry plants. Acta Hort. 842: 151-154.
19. Nishizawa, T. and Y. Shishido. 1998. Changes in sugar and starch concentrations of forced June bearing strawberry plants as influenced by fruiting. J. Am. Soc. Hort. Sci. 123(1): 52-55.
20. Porra, R.J. 2002. The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls *a* and *b*. Photosyn. Res. 73: 149 - 156.
21. Roussos, P.A., N.K. Denaxa and T. Damcakaris. 2009. Strawberry fruit quality attributes after application of plant growth stimulating compounds. Sci. Hort. 119: 138-146.
22. Samuoliene, G., A. Brazaityte, A. Urbonaviciute and G. Sabajeviene. 2010. The effect of red and blue light component on the growth and development of frigo strawberries. Zemdirbyste-Agric. 97: 99-104.
23. Sharma, R.R. 2002. Growing strawberries. First Edition, International Book Distributing Co., 164 p.
24. Sonsteby, A., N. Opstad and O.M. Heide. 2013. Environmental manipulation for establishing high yield potential of strawberry forcing plants. Sci. Hort. 157: 65-73.
25. Takeda, F., D.M. Glenn and G.W. Stutt. 2010. Delaying flowering in short day strawberry transplants with photoselective nets. Int. J. Fruit Sci. 10: 134-142.
26. Wu, C.C., Y.H. Yen, M.Y. Chang and W. Fang. 2012. Effects of light quality and CO_2 concentration on diurnal photosynthetic characteristics of strawberry. Acta Hort. 956: 247-254.
27. Wu, M.C., C.Y. Hou, C.Y. Wang and H.M. Chang. 2007. A novel approach of LED radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings. Food Chem. 101: 1753-1758.
28. Yanagi, T., K. Okamoto and S. Takita. 1996. Effect of blue and red light intensity on photosynthetic rate of strawberry leaves. Acta Hort. 440: 371-376.
29. Yang, Z.C., C. Kubota, P.L. Chia and M. Kacira. 2012. Effect of end-of-day far-red light from a movable LED fixture on squash rootstock hypocotyl elongation. Sci. Hort. 136: 81-86.