مقاله پژوهشی

اثر جیبرلیک اسید بر برخی صفات و شاخص‌های فلورسنس کلروفیل نشاء سیکلمن *Cyclamen persicum* Mill. در رژیم‌های نوری مختلف

بدری غلامیان دهکردی، سعید ریزی* و مسعود قاسمی قهساره

گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

(تاریخ دریافت:۱۴۰۰/۰۷/۱۸، تاریخ پذیرش نهایی:۱۴۰۱/۰۱/۱۵)

چکیده

کاربرد تنظیم‌کنندهای رشد و تغییر کیفیت نور یکی از روش‌های بهبود عملکرد گیاهان است. لذا آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از سه رژیم نوری (نور گلخانه (شاهد) و نور LED ترکیبی سفید: قرمز: آبی با نسبت‌های ۷۰: ۲۰:۱۰ و ۴۰: ۴۰: ۲۰ درصد) و جیبرلیک اسید (GA_3) در چهار غلظت (صفر، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر) انجام شد. از مرحله ظهور برگ لپه‌ای، برای چهار ماه دانهال‌ها زیر نورهای LED و گلخانه قرار گرفتند. جیبرلیک اسید از اواخر ماه سوم رشد، در سه نوبت روی برگ‌ها محلول‌پاشی شد. براساس نتایج، در مرحله ۶ تا ۸ برگی، بیشترین شار انرژی ذخیره‌شده (TR_0/RC) در نور گلخانه و بیشترین شار انتقال الکترون در هر مرکز واکنش (ET_0/RC) در کمترین غلظت GA_3 و نور گلخانه مشاهده شد. کمترین شدت فلورسنس نور در ۵۰ میکرو ثانیه و ۲ میلی‌ثانیه (F_0 و F_j) در کمترین غلظت GA_3 زیر رژیم نوری ۴۰: ۴۰: ۲۰ و کمترین شدت فلورسنس در ۶۰ میلی‌ثانیه، فلورسنس متغیر و حداکثر (F_i، F_v و F_m) در همین رژیم نوری بدست آمد. بیشترین مقدار کلروفیل b و کل در رژیم نوری ۴۰: ۴۰: ۲۰ و بیشترین مقدار وزن تر و خشک و طول و حجم ریشه در گلخانه و بیشترین سطح برگ در گلخانه و غلظت ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر GA_3 مشاهده شد. اگرچه کاربرد رژیم‌های نور LED و غلظت‌های بالای جیبرلیک اسید در بهبود برخی صفات فیزیولوژیکی و شاخص‌های فلورسنس سودمند بود اما در حالت کلی نور طبیعی گلخانه برای پرورش سیکلمن در مرحله نشاء کفایت می‌کند.

واژه‌های کلیدی: فلورسنس کلروفیل، کلروفیل کل، وزن تر و خشک ریشه، F_v/F_m

مقدمه

تولید نشاهای باکیفیت باعث افزایش عملکرد محصولات در مراحل بعدی رشد می‌شود (محمدی و همکاران، ۱۳۹۳). سیکلمن (گل نگونسار) با نام علمی *Cyclamen persicum* Mill. از تیره Primulaceae به‌دلیل داشتن گل‌های معطر و زیبا و برگ‌های جذاب، به‌عنوان یک گل زمستانه در صنعت گلکاری ارزش اقتصادی زیادی دارد (Anderson, 2006). نور فاکتور مورد نیاز گیاهان از جوانه‌زنی تا تولید گل و بذر است که از منبع خورشید یا نورهای مصنوعی تأمین می‌شود (Runkle and Blanchard, 2010). خشکسالی، تغییرات آب و هوایی، سیل، طوفان و همچنین آفات و بیماری‌ها به‌عنوان تهدیداتی جدی برای کشاورزی در محیط‌های سر باز هستند و استفاده از دیودهای ساطع‌کننده نور، زمینه‌ساز کشاورزی در محیط‌های سرپوشیده است و امروزه تغییر کیفیت نور، به‌ویژه

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: sreezi57@yahoo.com

از طریق استفاده از منابع نور مصنوعی در محیط‌های کنترل‌شده جهت تغییر در کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی امکانپذیر شده است (Li *et al.*, 2013). با نوآوری تولید لامپ‌های LED فرصتی برای مطالعه تأثیر فیزیولوژیکی طیف‌های اختصاصی نور بر گیاهان بدست آمده است (Heydarizadeh *et al.*, 2013). کیفیت نور از نظر رنگ و طول‌موج، می‌تواند ساختار مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و شاخص‌های فلورسنس کلروفیل گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد و بیشترین تأثیر مربوط به رنگ‌های قرمز و آبی است که در رشد گیاهان نقش مثبت ایفا می‌کنند (قاسمی قهساره و کافی، ۱۳۹۰). از مزایای لامپ‌های LED در مقایسه با سایر لامپ‌ها راندمان بالای تبدیل الکتریسیته به نور، تولید گیاهان باکیفیت بهتر، نیاز کمتر به آفت‌کش‌ها و نداشتن اشعه مضر UV است (Wollaeger and Runkle, 2014). رشد و گلدهی سیکلمن به‌مقدار زیادی تحت تأثیر برهمکنش دما و نور قرار می‌گیرد به‌طوریکه هر گاه دما کمتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد باشد باید نور را افزایش دهیم (قاسمی قهساره و کافی، ۱۳۹۰). گیاهان سیکلمن کشت‌شده در فتوپریودهای ۱۰، ۱۶ و ۲۰ ساعت با شدت نور یکسان، تعداد گل یکسانی داشته‌اند. گرچه در زمستان بیش از تشکیل ساختارهای رویشی در مقایسه با آنهایی که در تابستان پرورش داده شده بودند، برگ بیشتری تولید کردند. از سوی دیگر شدت‌های بیش از ۸۰۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه ممکن است به‌برگ‌ها آسیب بزند و لازم است با سایه‌دهی از آسیب برگی و دمای زیاد جلوگیری کرد (Dole and Wilkins, 2004). در پژوهشی اثر برهمکنش طیف‌های مختلف نور LED و جیبرلیک اسید روی چند رقم از گل کوکب (*Dahlia* sp.) شامل Karma serena، Kobold و Yello Cocotte بررسی شد. تیمار LED شامل طیف‌های قرمز + قرمز دور + سفید و قرمز + سفید و جیبرلیک اسید شامل غلظت‌های ۴۰ تا ۳۴۰ میلی‌گرم بر لیتر برای *Yello Cocotte* و ۵۰ تا ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر برای Kobold و ۵۰ تا ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر برای Karma Serena بود. نتیجه نشان داد برهمکنش نور و جیبرلیک اسید باعث افزایش تعداد گل و افزایش ارتفاع و وزن ساقه در گونه Karma Serena و افزایش تعداد گل و قطر آن در Yello Cocotte شد. در گونه Kobold نیز گلدهی دو هفته زودتر اتفاق افتاد (Taylor *et al.*, 2019). تنظیم‌کننده‌های رشد، مواد آلی هستند که نقش مهمی در تنظیم رشد گیاه داشته و با توجه به غلظت مورد استفاده و ویژگی‌های ژنتیکی گیاه به‌عنوان یک محرک یا بازدارنده رشد عمل می‌کنند (Mihaiela *et al.*, 2020). رشدونمو گیاه توسط هورمون‌های مختلفی تنظیم می‌شود که به شکل جداگانه یا همراه با هم عمل می‌کنند. جیبرلین‌ها (GAs) گروهی از ترکیبات هستند که براساس ساختار شیمیایی خود تعریف می‌شوند. انواع جیبرلین بیشتر به خاطر اثرات شدید بر طویل‌شدن میانگره در گندمیان و گونه‌های پاکوتاه و خزنده رشد شناخته می‌شوند. این ترکیبات در جوانه‌زنی بذر، رشد اندام هوایی، رسیدن به گلدهی، نمو بساک، رشد لوله گرده، نمو گل، میوه‌بندی و نمو بعدی میوه و بذر نقش دارند (Taiz and Zeiger, 2002). جیبرلیک اسید فرآیندهای فتوسنتز و رشد را حتی تحت شرایط تنش‌های محیطی افزایش داده و بر فیزیولوژی و متابولیسم گیاه تأثیر دارد (Iqbal *et al.*, 2011). تولید نشاء گیاهان زینتی با کیفیت بالا از عوامل درآمدزا برای تولیدکننده است که تأمین نور با کیفیت بهینه به‌عنوان یکی از فاکتورهای مهم رشد می‌تواند آن را محقق سازد. کوتاه‌شدن دوره نونهالی و رسیدن به تعداد برگ مشخص در گیاهانی مثل سیکلمن، تاج‌الملوک و گل حنا نشان‌دهنده بلوغ تجاری آن است و استفاده از جیبرلیک اسید می‌تواند این دوره را تسریع و دوره نونهالی را کاهش دهد (Dole and Wilkins, 2004). بنابراین با توجه به‌دوره رشد طولانی سیکلمن و براساس اثرهای مثبت ذکرشده نور و جیبرلیک اسید، به‌منظور سرعت بخشیدن به رشد این گیاه، اثر طیف‌های مختلف نور و غلظت‌های مختلف جیبرلیک اسید بر شاخص‌های رشد و فلورسنس کلرفیل این گیاه مورد آزمایش قرار گرفت.

مواد و روش

این آزمایش در بهار و تابستان ۱۳۹۷ در اتاقک طراحی شده به این منظور (که عوامل محیطی تا حد امکان در آن تحت کنترل بود) و گلخانه (برای گیاهان شاهد) در مجموعه گلخانه‌های تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد انجام گرفت. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل سه رژیم نوری (نور گلخانه (شاهد) و نور LED ترکیبی از رنگ‌های سفید: قرمز: آبی با نسبت‌های ۷۰: ۲۰:۱۰ و ۴۰: ۴۰: ۲۰ درصد با شدت یکسان (۱۰۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه (اندازه‌گیری شده با پارمتر مدلApogee MQ500))) و چهار غلظت محلول‌پاشی جیبرلیک اسید (صفر، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر) بود. در شروع آزمایش (۱۲ اردیبهشت) ۲۵۰ عدد بذر نسل دوم سیکلمن سری Halios کد FANTASIA 2311 قرمز گل درشت در سینی نشاء ۱۰۵ خانه‌ای با بستر حاوی ۷۵٪ پیت‌ماس و ۲۵٪ پرلیت شکری کشت و سپس یک ماه در تاریکی نگهداری شدند. در مرحله ظهور برگ لپه‌ای، نیمی از نشاها در اتاقک‌های رشد با میانگین دمای حداقل و حداکثر به‌ترتیب ۲۳ و ۲۶ درجه سانتی‌گراد و میانگین رطوبت نسبی ۵۵٪ به‌مدت چهار ماه تحت تأثیر دو طیف نور LED با فتوپریود ۱۶ ساعته قرار گرفتند. نیمی دیگر از نشاها در گلخانه با متوسط نور ۲۷۵ مول بر مترمربع بر روز، معادل ۱۴۸۵۰ لوکس و میانگین دمای حداقل و حداکثر به‌ترتیب ۲۲ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین رطوبت نسبی ۶۰٪ قرار گرفتند. علیرغم بالاتربودن شدت نور در گلخانه در مقایسه با اتاقک سعی شد دمای اطراف گیاه با سیستم فن و پد موجود پایین و در حد دمای اتاقک رشد تنظیم و کنترل شود. هورمون جیبرلیک اسید (از شرکت مرک آلمان) از اواخر ماه سوم رشد (مرحله ۴-۵ برگی) در سه نوبت به فواصل ۱۰ روز از هم روی نشاءها در ساعت‌های اولیه صبح محلول‌پاشی شد. دور آبیاری در اتاقک و گلخانه به‌طور منظم و هر دو روز یک‌بار انجام شد. pH و EC آب آبیاری به‌ترتیب ۷/۴۲ و ۰/۳۴ (ds/m) بود. برای تغذیه نشاها هر ۱۰ روز یکبار کود NPK (با نام تجاری گرین‌مور و حاوی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم) با نسبت ۱۰-۵۲-۱۰ به‌صورت محلول ۰/۵ در ۱۰۰۰ (گرم کود در میلی‌لیتر آب) استفاده شد و پس از سه ماه از زمان کاشت بذر و انتقال نشاها به سینی ۵۰ تایی، کوددهی به‌صورت دو بار در هفته تا زمان استقرار کامل ریشه‌ها ادامه یافت. سپس تا رسیدن نشاها به‌مرحله پنج برگ کامل باز شده از کود ۲۰-۱۹-۲۰ (با نام تجاری یونی‌گرین و حاوی عناصر پتاسیم به شکل نیترات پتاسیم، آهن، منگنز، مس و روی به‌صورت کلات‌های EDTA و عاری از سدیم و کلر) یک‌بار در هفته با غلظت ۰/۷۵ در ۱۰۰۰ (گرم کود در میلی‌لیتر آب) استفاده شد. در مرحله ۶ تا ۸ برگی (در دهه اول مهرماه یعنی مرحله انتقال نشا به گلدان (پنج ماه بعد از کاشت بذر) به‌ترتیب برخی شاخص‌های فلورسنس کلروفیل، صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی نشاء (با روش‌های ذیر) و به فاصله ۲-۳ روز از هم تعیین گردید.

اندازه‌گیری شاخص‌های فلورسنس کلروفیل: در مرحله ۶-۸ برگی نشاء با کمک دستگاه Photon) FluorPen FP 100 (Systems Instruments, Drasov, Czech Republic شاخص‌های مربوط به عملکرد سیستم فتوسنتزی (F_0، F_j، F_i، F_v، F_m، F_v/F_m، ET_0/RC و TR_0/RC) اندازه‌گیری شد (جدول ۱). اصول کار این دستگاه تاباندن نوری با طول‌موج ۶۵۰ نانومتر و شدت ۳۰۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع در ثانیه به‌مدت ۱۰ ثانیه روی برگ‌هایی است که به‌مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی نگهداری شدند (به‌وسیله گذاشتن کلیپس روی برگ‌ها و بدون تخریب گیاه) (اورسجی و همکاران، ۱۳۹۴). با استفاده از این دستگاه، القای سریع فلورسنس کلروفیل (سرنوشت الکترون برانگیخته‌شده در فتوسیستم II)، اندازه‌گیری می‌شود (Strasser, 1995).

اندازه‌گیری مقادیر کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید: میزان رنگیزه‌های کلروفیل به روش Lichtenthaler و Wellburn (۱۹۸۳) تعیین شد. ۰/۵ گرم از از برگ‌های میانی نشاء (تازه و بالغ) وزن و در هاون چینی همراه با استون ۸۰٪ کوبیده و سپس آمیخته بدست آمده در فالکون مدرج، با استون ۸۰٪ به حجم ۱۰ سی‌سی رسانده شد. نمونه‌ها به‌مدت ۱۰ دقیقه در

جدول ۱- فرمول‌های مربوط به شاخص‌های فلورسنس کلروفیل

شاخص	فرمول
F_0	F_0= F50µs, fluorescence intensity at 50 µs
F_j	F_j= fluorescence intensity at Jstep (at 2 ms)
F_i	F_i= fluorescence intensity at istep (at 60 ms)
F_m	F_m= maximal fluorescence intensity
F_v	F_v= F_mF_0 (maximal variable fluorescence)
TR_0/RC	TR_0/RC= M_0× $(1/V_j)$
ET_0/RC	ET_0/RC= M_0× $(1/V_J)$ × y_0
F_v/F_m	

۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. سپس جذب نوری محلول رویی با دستگاه اسپکتروفتومتر (GENWAY63200) در طول‌موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a و ۶۴۶ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ نانومتر برای کاروتنوئید خوانده شد. در نهایت از فرمول‌های زیر برای محاسبه مقادیر کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید استفاده شد.

Chl a (mg/g) = ((12.21×663nm) - (2.81×646nm)) V/1000W

Chl b (mg/g) = ((20.13×646nm) - (5.03×663nm)) V/1000W

Total Chl. (mg/g) = Chl a + Chl b

Car (mg/g) = ((1000×470 nm) - (3.27×Chl a) - (104×Chl b))/227

V= حجم استون استفاده شده به میلی‌لیتر، W= وزن بافت برگ مورد استفاده به گرم

اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی: برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک ریشه، در پایان دوره رشد نشاء (در دهه اول مهرماه، مرحله ۶-۸ برگی شدن نشاء و زمان انتقال نشا به گلدان (پنج ماه بعد از کاشت بذر)) بعد از جداکردن اندام هوایی از محل طوقه، ریشه‌ها با آب شسته شده و پس از حذف رطوبت سطحی وزن شدند. سپس برای تعیین وزن خشک، در پاکت‌های کاغذی و در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند. حجم ریشه‌ها به روش تغییر حجم آب در استوانه مدرج مشخص شد (شعبان و همکاران، ۱۳۹۰). سطح برگ نشاها پس از گستراندن روی سطح صاف و عکس‌برداری با استفاده از نرم‌افزار Digimizer version 5.4.3 تعیین گردید.

تجزیه واریانس داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۳) انجام و میانگین‌ها از طریق آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ مقایسه شدند.

نتایج و بحث

F_0، F_j، F_i، F_m و F_v (شاخص‌های مربوط به شدت فلورسنس نور در ۵۰ میکرو ثانیه، ۲ میلی‌ثانیه، ۶۰ میلی‌ثانیه، فلورسنس حداکثر و متغیر) و F_v/F_m: نتایج تجزیه واریانس نشان داد برهمکنش فاکتورهای نوری و جیبرلیک اسید در سطح ۵٪ بر F_0 و F_j و اثر نور در سطح ۱٪ بر F_i، F_m و F_V معنی‌دار شد ولی هیچ کدام از فاکتورها اثر معنی‌داری بر F_v/F_m نداشتند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین اعداد بدست آمده برای شاخص‌های F_0 و F_j در نور گلخانه و در نبود جیبرلیک اسید به‌ترتیب ۶۴۷۹/۰ و ۱۹۶۹۰/۷ و کمترین اعداد از برهمکنش رژیم نوری ۴۰: ۴۰: ۲۰ درصد و نبود جیبرلیک اسید به‌ترتیب ۵۰۸۱/۷ و ۱۵۱۴۱/۳ معادل ۲۱٪ و ۲۳٪ کاهش در مقایسه با برهمکنش نور گلخانه و عدم حضور جیبرلیک اسید حاصل شد (جداول ۳ و ۴). همچنین بالاترین اعداد بدست آمده برای F_i (۲۶۳۳۱/۲)، F_m (۳۱۱۸۷/۱) و F_v (۲۴۹۹۱/۱) تحت نور گلخانه و کمترین مقادیر آنها تحت رژیم نوری۴۰: ۴۰: ۲۰ درصد به‌ترتیب، ۲۳۵۱۶/۲، ۲۷۶۴۵/۴ و ۲۲۴۵۶/۶ معادل ۱۱٪، ۱۱٪ و ۱۰٪ کاهش در مقایسه با نور گلخانه بدست آمد (جدول ۵).

فلورسنس در لغت به معنی بازتاب نور و راهی برای توصیف نمونه‌های فتوسنتزی روی صفحه نمایش دستگاه‌های Fluorpen است (Spol and Drasov, 2012). سلطانی (۱۳۸۳)

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر کیفیت نور، جیبرلیک اسید و برهمکنش آنها بر F_0، F_j، F_i، F_m و F_v

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		F_0	F_j	F_i	F_m	F_v	F_v/F_m
نور	۲	۱۰۰۹۴۲۴/۳**	۱۱۸۶۴۲۷۶/۱***	۲۴۳۶۱۷۳۱/۲***	۴۰۰۷۳۶۹۸/۴***	۲۰۵۹۴۳۳۷/۵***	۰/۰۰۰۰۱۸^{ns}
GA_3	۳	۱۵۶۵۰۴/۶^{ns}	۱۵۰۶۰۳۷/۴^{ns}	۱۰۲۴۸۱۳/۹^{ns}	۱۷۶۲۳۷۴/۴^{ns}	۹۰۰۵۷۰/۹^{ns}	۰/۰۰۰۰۳۵^{ns}
نور×GA_3	۶	۵۶۱۴۴۹/۷*	۴۸۴۷۷۱۷/۴*	۳۹۷۹۴۵۵/۹^{ns}	۴۹۷۰۷۰۰/۰^{ns}	۱۷۴۴۳۹۳/۹^{ns}	۰/۰۰۰۰۵۶^{ns}
خطا	۲۴	۱۷۰۱۷۸/۵	۱۶۳۳۱۸۵/۴	۲۶۳۰۸۷۰/۱۰	۳۵۶۵۴۳۹/۱	۲۰۱۱۱۲۹/۷	۰/۰۰۰۰۴۲
ضریب تغییرات (٪)		۷/۳۹	۷/۴۸	۶/۵۴	۶/۴۸	۶/۰۳	۰/۷۲

ns، * و * به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد**

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر برهمکنش کیفیت نور و جیبرلیک اسید بر F_0

تیمار	جیبرلیک اسید (صفر میلی‌گرم بر لیتر)	جیبرلیک اسید (۲۰ میلی‌گرم بر لیتر)	جیبرلیک اسید (۴۰ میلی‌گرم بر لیتر)	جیبرلیک اسید (۶۰ میلی‌گرم بر لیتر)
نورگلخانه	۶۴۷۹/۰^{a}	۵۵۶۷/۰$^{b-d}$	۵۷۷۵/۳$^{a-d}$	۵۷۹۶/۰$^{a-d}$
۷۰: ۲۰: ۱۰	۵۳۵۴/۰$^{b-d}$	۵۳۶۷/۳$^{b-d}$	۶۰۰۸/۰^{ab}	۵۲۱۴/۷$^{b-d}$
۴۰: ۴۰: ۲۰	۵۰۸۱/۷^{d}	۵۲۱۱/۰$^{b-d}$	۵۱۸۷/۷^{cd}	۵۹۰۸/۳$^{a-c}$
مقدار LSD		۶۹۵/۲۲		

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD هستند.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر برهمکنش کیفیت نور و جیبرلیک اسید بر F_j

تیمار	جیبرلیک‌اسید (صفر میلی‌گرم بر لیتر)	جیبرلیک اسید (۲۰ میلی‌گرم بر لیتر)	جیبرلیک اسید (۴۰ میلی‌گرم بر لیتر)	جیبرلیک اسید (۶۰ میلی‌گرم بر لیتر)
نورگلخانه	۱۹۶۹۰/۶۷^{a}	۱۶۷۴۶/۶۷^{bc}	۱۸۰۷۳/۳۳^{ab}	۱۸۰۶۸/۰۰^{ab}
۷۰: ۲۰: ۱۰	۱۶۲۲۱/۰^{bc}	۱۶۸۷۹/۷^{bc}	۱۸۱۶۶/۰^{a}	۱۶۲۹۴/۳^{bc}
۴۰: ۴۰: ۲۰	۱۵۱۴۱/۳^{c}	۱۵۹۲۵/۷^{bc}	۱۵۷۲۶/۳^{bc}	۱۷۹۳۱/۰^{ab}
مقدار LSD		۲۱۵۳/۶۸		

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD هستند.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر کیفیت نور بر F_i، F_m و F_v

رژیم نوری	F_i	F_m	F_v
نور گلخانه	۲۶۳۳۱/۲^{a}	۳۱۱۸۷/۱^{a}	۲۴۹۹۱/۱^{a}
۷۰: ۲۰: ۱۰	۲۴۵۳۹/۹^{b}	۲۸۶۳۴/۷^{b}	۲۳۱۴۸/۷^{b}
۴۰: ۴۰: ۲۰	۲۳۵۱۶/۲^{b}	۲۷۶۴۵/۴^{b}	۲۲۴۵۶/۶^{b}
مقدار LSD	۲۷۳۳/۴۶	۳۱۸۲/۱۵	۲۳۸۹/۹۳

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD هستند.

گزارش کرد فلورسنس کلروفیل ناشی از بازتاب نور با طول‌موج بلندتر (۷۴۰–۶۸۰ نانومتر) توسط مولکول‌های کلروفیل مستقر در غشاء تیلاکوئید و مراکز واکنش است که فقط در فتوسیستم II اتفاق می‌افتد، لذا تجزیه و تحلیل آن اطلاعات مفیدی از ساختار و عملکرد دستگاه فتوسنتزی گیاه و ارزیابی نحوه واکنش گیاهان به تغییرات محیط، تنوع ژنتیکی و اکولوژیکی ارائه می‌دهد (Strasser and Stirbet, 2001). بروز پدیده فلورسنس کلروفیل شامل مراحل O، J، I و P است. این مراحل فلورسنس کلروفیل را در زمان‌های صفر، ۲، ۳۰ و ۶۰ میلی‌ثانیه بعد از قرارگرفتن در معرض نور نشان می‌دهد (Strasser, 1995). باغبانی آرانی و همکاران (۱۳۹۸) گزارش کردند به‌طورکلی افزایش شاخص‌های F_0، F_j، F_i، F_v، F_m و F_v/F_m نشانه وجود تنش‌های محیطی است، لذا کاهش آنها نشان‌دهنده وجود تیمار و شرایط بهتری برای گیاه است. طول‌موج و شدت نور دو ویژگی اصلی نور هستند. کسب داده‌های زیست‌محیطی مهم و کنترل طیف گسترده‌ای از فرآیندهای مولکولی، سلولی و فیزیولوژیکی درون سلول‌های گیاهی به‌وسیله طول‌موج نور انجام می‌شود (Chen *et al.*, 2018). ترکیب نور سفید با آبی و قرمز طیف نوری متعادلی را برای گیاهان ایجاد می‌کند، ضمن اینکه نور قرمز با اثر بر پیش‌سازهای کلروفیل مثل ۵–آمینولئونیک، پرتوکلروفیلید و پرتوپورفیرین باعث تأثیر بیشتر بر شاخص‌های فتوسنتزی، حفظ رنگدانه‌ها و بیوسنتز کلروفیل می‌شود (Fan *et al.*, 2013). نکته قابل‌توجه برای محققان این است که درصد جذب نور آبی یا قرمز توسط برگ گیاهان به تقریب ۹۰٪ است درنتیجه نمو و فیزیولوژی گیاه به‌شدت تحت تأثیر نور قرمز یا آبی قرار می‌گیرد (خزائی و همکاران، ۱۳۹۹). در پژوهش مؤذنی و همکاران روی گیاه گلوکسینیا (*Sinningia speciose*) ثابت شد فعالیت‌های مطلوب فتوسنتزی در رابطه با اکثر شاخص‌های فلورسنس کلروفیل، زیر نور خورشید اتفاق نمی‌افتد (Moazzeni *et al.*, 2020)

نتایج نشان داد کمترین مقدار F_0 و F_j در برهمکنش رژیم نوری ۴۰: ۴۰: ۲۰ درصد و نبود جیبرلیک اسید بدست آمد. در گیاهچه‌های رز رقم سامورایی که تحت تیمارهای نور LED با طیف‌های رنگی قرمز، آبی و قرمز + آبی قرار گرفتند، بالاترین میزان F_0 در نور قرمز تکی و کمترین آن در نور آبی و قرمز + آبی بدست آمد. بالاترین میزان F_j در ۲ میلی‌ثانیه از تابش نور آبی و کمترین آن در نور قرمز مشاهده شد (بیات و همکاران، ۱۳۹۹). افزایش شاخص F_0 در گیاه زراعی برنج نشان‌دهنده آسیب به زنجیره انتقال الکترون در فتوسیستم II و کاهش ظرفیت کوئینون A و عدم اکسیداسیون کامل آن به‌دلیل جریان کند الکترون در طول مسیر فتوسیستم II و درنهایت غیرفعال شدن آن است (حسنی و همکاران، ۱۳۹۳). فلورسنس کلروفیل اگرچه به بخش بسیار کوچکی از انرژی هدررفته از دستگاه فتوسنتزی مربوط می‌شود ولی به‌طور گسترده برای درک ساختار و توابع سیستم فتوسنتز گیاه به‌کار می‌رود (Strasser and Stirbet, 2001). افزایش F_j به‌دلیل کاهش فرم اکسید ناقل‌های الکترون در بخش دهنده فتوسیستم II یا تجمع ناقل‌های کوئینون A و کوئینون B در بخش گیرنده آن است که در اثر شرایط نامساعد محیطی مثل شدت نور بالا یا با کیفیت نامناسب اتفاق می‌افتد (Goncalves *et al.*, 2007). لامپ‌های LED مؤثرترین تشعشعات را برای گیاهان تولید و طیف تولیدشده توسط آنها شامل فوتون‌های مؤثر بر شاخص‌های فلورسنس کلروفیل و عملکرد فتوسنتز است. برخی تیمارهای تک‌رنگ نور LED باعث کاهش عملکرد فلورسنس کلروفیل به سبب کاهش انتقال الکترون و افزایش آنزیم‌های چرخه کالوین می‌شوند (Su *et al.*, 2012). نور آبی + قرمز + سفید LED طیف مناسب‌تری را برای تحریک رشد و نمو، عملکرد دستگاه فتوسنتز و تولید زیست‌توده گیاهی فراهم می‌آورد (Li *et al.*, 2013). گزارش شده در سه رقم گندم (میرونواسکایا، بزوستایا و سیرال) در مرحله ورود به فاز زایشی، جیبرلیک اسید در هیچ غلظتی تأثیری بر شاخص‌های فلورسنس کلروفیل ندارد (Skalicky *et al.*, 2020).

براساس نتایج این پژوهش کمترین میزان F_i، F_m و F_v در رژیم نوری ۴۰: ۴۰: ۲۰ درصد بدست آمد. در گیاهچه‌های رز رقم سامورایی تحت تیمارهای نور LED با طیف‌های مختلف

و شدت ۱۵۰۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه، کمترین میزان F_i در نور آبی و بیشترین آن در نور قرمز بدست آمد. در این پژوهش همه طیف‌ها در شدت نور بالا (۱۵۰۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) موجب ایجاد فلورسنس حداکثری شدند (بیات و همکاران، ۱۳۹۹). نتایج بدست آمده روی گل داودی (*Chrysanthemum morifolium*) تحت چهار کیفیت مختلف نور LED شامل قرمز (۶۳۵–۶۶۵ نانومتر)، آبی (۴۵۰ نانومتر)، سفید (۴۰۰–۷۳۰ نانومتر) و ترکیب (قرمز + آبی) نشان داد نور تک رنگ قرمز و آبی منجر به نقص انتقال الکترون و فلورسنس کلروفیل شده درحالیکه تحت طیف ترکیبی قرمز+ آبی و نور سفید با طیف کامل زنجیره انتقال الکترون عملکرد طبیعی دارد (Seifi *et al.*, 2018). وقتی نمونه فتوسنتزی از تاریکی به نور منتقل می‌شود F_i تغییرات در شدت فلورسنس کلروفیل را نشان می‌دهد (Strasser and Stirbet, 2001). بخش اعظم فلورسنس کلروفیل از فتوسیستم II منشاء می‌گیرد و به‌عنوان ابزاری برای ارزیابی عملکرد دستگاه فتوسنتزی استفاده می‌شود. وقتی تمام کوئینون A احیاء شود فلورسنس F_m یا حداکثر وجود دارد و این زمانی اتفاق می‌افتد که گیاه نور زیادی دریافت کند (Strasser *et al.*, 2004).

در بررسی فلورسنس کلروفیل گیاه سویا مشخص شد مقدار F_v وقتی پذیرنده الکترون در حالت احیاء بوده و درنتیجه میزان فلورسنس کلروفیل بالا باشد افزایش می‌یابد، ولی اگر کوئینون A در حالت اکسیداسیون باشد میزان فلورسنس کلروفیل کم شده و مقدار F_v نیز کاهش می‌یابد (میرآخوری و همکاران، ۱۳۹۸). شاخص‌های F_i، F_v و F_m از موارد بسیار مهم در مطالعات فیزیولوژیکی تنش هستند زیرا به فعالیت کلروفیل در مراکز واکنش در فتوسیستم I و II، سالم‌بودن غشاء تیلاکوئید و کارآیی نسبی انتقال الکترون از فتوسیستم II به فتوسیستم I اشاره دارند (باغبانی آرانی و همکاران، ۱۳۹۸). به‌طورکلی کیفیت نور بر عملکرد دستگاه فتوسنتزی گیاه با تأثیر بر آنزیم‌های چرخه کالوین مؤثر است. نور قرمز با تجمع کربوهیدرات‌ها از کلروپلاست‌ها، فاکتور مهمی در توسعه سیستم فتوسنتزی گیاه است. از طرفی نور آبی بر تشکیل کلروفیل و بازشدن روزنه و تولید ماده خشک، بهبود خواص بیوشیمیایی فتوسنتز در برگ‌ها مانند نسبت‌های کلروفیل a/b، فتوسیستم II و انتقال الکترون فتوسنتزی و محتویات ساکارز مؤثر است (Madhu Sudhan Poudel, 2013).

F_v/F_m یا QYMax حداکثر کارآیی کوآنتومی در فتوسیستم II در مرحله سازگار با تاریکی است. این نسبت برای بررسی وضعیت فتوسیستم II در موجودات فتوسنتزکننده که برای مدت زمان کوتاهی تحت تنش‌های محیطی مثل نور یا گرما قرار داشتند استفاده می‌شود. نسبت F_v/F_m در گیاهان آوندی ۰/۸۳ است که بین ۰/۷۵ تا ۰/۸۵ متغیر است. برای اکثر طیف‌های نوری LED پارامتر F_v/F_m بالاتر از مقدار مطلوب ۰/۸۳ است چون این پارامتر تحت تأثیر تنوع در طیف نوری قرار نمی‌گیرد و مقدار F_v/F_m در گیاهان سازگار با تاریکی نیز عملکرد کوانتومی بالقوه فتوسیستم II را نشان می‌دهد. در واقع همبستگی خوبی بین توقف فتوسنتز و کاهش نسبت F_v/F_m وجود دارد. (Maxwell and Gohnson, 2000). در ضمن معنی‌دار نشدن اثر فاکتورهای این پژوهش بر شاخص F_v/F_m نیز که حداکثر بازده کوآنتومی فتوسیستم II را نشان می‌دهد شاید به‌دلیل ارتباط فعالیت آن با رنگدانه کلروفیل a باشد که هر دو شاخص در این پژوهش تحت تأثیر فاکتورها قرار نگرفتند (Moazzeni *et al.*, 2020).

ET_0/RC و TR_0/RC (شاخص‌های مربوط به شار انتقال الکترون و شار انرژی ذخیره‌شده در هر مرکز واکنش): نتایج تجزیه واریانس نشان داد، رژیم نور در سطح ۱٪ بر شاخص TR_0/RC و اثر نور در سطح ۱٪ و جیبرلیک اسید در سطح ۵٪ بر ET_0/RC معنی‌دار بود (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین مقدار بدست آمده برای شاخص‌های TR_0/RC و ET_0/RC تحت نور گلخانه به‌ترتیب اعداد ۱/۸۲ و ۰/۹۲ و کمترین مقادیر مربوط به رژیم نوری ۷۰: ۲۰: ۱۰ درصد، به‌ترتیب اعداد ۱/۶۸ و ۰/۸۶ بود که به‌ترتیب ۸٪ و ۷٪ کاهش را در مقایسه با نور گلخانه نشان می‌دهد (جدول ۷). همچنین بیشترین مقدار ET_0/RC در نبود جیبرلیک اسید برابر با ۰/۹۲ و کمترین مقدار در غلظت ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر

جدول ۶- تجزیه واریانس اثر کیفیت نور، جیبرلیک اسید و برهمکنش آنها بر TR_0/RC و ET_0/RC.

منابع تغییر	درجه آزادی	TR_0/RC	ET_0/RC
نور	۲	۰/۰۸۰***	۰/۰۱۵***
GA_3	۳	۰/۰۱۴ns	۰/۰۱۰*
نور×GA_3	۶	۰/۰۰۹ns	۰/۰۰۱ns
خطا	۲۴	۰/۰۰۸	۰/۰۰۲
ضریب تغییرات (٪)		۵/۱۷	۵/۰۶

ns و * به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر کیفیت نور بر TR_0/RC و ET_0/RC.

رژیم نوری	TR_0/RC	ET_0/RC
نور گلخانه	۱/۸۲a	۰/۹۳a
۷۰: ۲۰: ۱۰	۱/۶۸b	۰/۸۶b
۴۰: ۴۰: ۲۰	۱/۶۹b	۰/۸۷b
مقدار LSD	۰/۱۵	۰/۰۷۴

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD هستند.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف جیبرلیک اسید بر ET_0/RC

جیبرلیک اسید (میلی‌گرم بر لیتر)	۰	۲۰	۴۰	۶۰
ET_0/RC	۰/۹۲a	۰/۸۸b	۰/۸۴b	۰/۹۰b
مقدار LSD	۰/۰۷۴			

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD هستند.

جیبرلیک اسید برابر با ۰/۸۴ حاصل شد که ۹٪ کاهش را در مقایسه با نبود جیبرلیک اسید نشان می‌دهد (جدول ۸).

طبق نتایج بدست آمده از این پژوهش بیشترین مقدار TR_0/RC در نور گلخانه برابر ۱/۸۲ بدست آمد. TR_0/RC نشان‌دهنده میزان به‌دام انداختن انرژی به‌ازای هر واحد مقطع عرضی برگ است (اسفندیاری و عنایتی، ۱۳۹۲). در گیاهچه‌های گل رز تحت تیمارهای نور LED با دو شدت نوری (۱۵۰۰ و ۲۵۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) و طیف‌های قرمز ، آبی و قرمز+ آبی، کمترین اتلاف گرمایی در طیف قرمز و شدت نور پایین‌تر دیده شد. بالاترین مقدار TR_0/RC در طیف نوری قرمز+ آبی در شدت نور پایین، اما کمترین میزان این شاخص در طیف ترکیبی قرمز+ آبی در شدت نور بالاتر دیده شد. در واقع در شدت نور بالا الکترون‌ها بیشتر برانگیخته شده و درنتیجه مقدار شاخص ذکرشده افزایش یافته است و در مواردی هم که اختلاف کمی در میزان شاخص، قبل و بعد از تغییر شدت نور مشاهده شده به‌دلیل سازگاری گیاه با شرایط به وجود آمده است (بیات و همکاران، ۱۳۹۹). TR_0/RC طبق شیب اولیه منحنی القا فلورسنس بین ۵۰

و ۳۰۰ میلی‌ثانیه اندازه‌گیری شده و حداکثر فلورسنس متغیر در این مرحله، برابر با $F_m - F_0$ خواهد بود (Strasser *et al.*, 2000).

براساس نتایج بیشترین مقدار شاخص ET_0/RC در نور گلخانه برابر ۰/۹۳ بدست آمد. همچنین تیمار جیبرلیک اسید بر این شاخص مؤثر بود و بیشترین مقدار در نبود جیبرلیک اسید برابر ۰/۹۲ حاصل شد و غلظت‌های بالاتر آن را کاهش داد. ET_0/RC شاخص جریان الکترون به‌ازای مراکز واکنش است (اسفندیاری و عنایتی، ۱۳۹۲). در گیاهچه‌های گل رز تحت تیمارهای نور LED با دو شدت (۱۵۰۰ و ۲۵۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) و طیف‌های قرمز، آبی و قرمز+ آبی، بیشترین میزان ET_0/RC در شدت نور کمتر، در طیف آبی و در شدت نور بیشتر در نور قرمز و ترکیب قرمز+ آبی مشاهده شد، که علت آن برانگیخته‌شدن بیشتر الکترون‌ها تحت تأثیر شدت‌ها و کیفیت‌های مختلف نور است (بیات و همکاران، ۱۳۹۹). استفاده از نور تک‌رنگ LED در طول رشد گیاهان در مقایسه با طیف مرئی کامل (نور سفید) یا ترکیب نورهای قرمز و آبی، منجر به نقص در زنجیره انتقال الکترون می‌شود (seifi *et al.*, 2018). لامپ‌های LED قرمز و آبی تأثیر زیادی در رشد گیاه دارند زیرا حاوی دو طیف اصلی نور برای تثبیت CO_2 فتوسنتزی در گیاهان هستند (Kasajima *et al.*, 2008). اعمال تیمار نور با شدت یا کیفیت نامناسب یا هورمون در غلظت بسیار کم یا هر تنش محیطی دیگر به خاطر کم‌شدن تراکم مولکول‌های آنتن یا تعداد کلروفیل باعث کاهش میزان شاخص ET_0/RC می‌شود (Strasser, 1995).

در شرایط نامناسب نور از نظر شدت و کیفیت، فعالیت فتوسیستم I و II در انتقال انرژی کاهش یافته و درنتیجه فلورسنس کلروفیل و دریافت نور توسط کلروپلاست‌ها با مشکل مواجه شده و کاهش می‌یابد. این موارد باعث کاهش عملکرد سیستم فتوسنتزی (P_I) گیاه و در مورد محصولات زراعی و باغی باعث کاهش محصول نهایی می‌شود که دلیل این کاهش، تخریب پروتئین‌های D_1 در فتوسیستم II است (راهداری، ۱۳۹۰). اسفندیاری و عنایتی (۱۳۹۲) گزارش کردند P_I شاخص عملکرد دستگاه فتوسنتز است که در شرایط نامناسب محیطی کاهش می‌یابد و علت آن بازدارندگی نوری است.

کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد رژیم‌های نوری و جیبرلیک اسید بر محتوای کلرفیل a اثری نداشتند اما اثر نور در سطح ۱٪ روی کلروفیل b و در سطح ۵٪ روی کلروفیل کل معنی‌دار بود. اثر جیبرلیک اسید و برهمکنش نور و جیبرلیک اسید بر کاروتنوئید معنی‌دار نبود (جدول ۹). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین مقدار کلروفیل b و کلروفیل کل به‌ترتیب ۰/۳۳ و ۰/۷۵ میلی‌گرم در گرم تحت رژیم نوری ۴۰: ۴۰: ۲۰ درصد بدست آمد که به‌ترتیب ۷۴٪ و ۲۹٪ افزایش را در مقایسه با نور گلخانه (شاهد) نشان می‌دهد. کمترین مقادیر آنها به‌ترتیب ۰/۱۹ و ۰/۵۸ میلی‌گرم در گرم تحت نور گلخانه بدست آمد (جدول ۱۰).

مقادیر کلروفیل گیاهچه گندم تحت تیمار نور LED که میزان بیشتری از نور قرمز نسبت به آبی دارد افزایش نشان می‌دهد (Gautam, 2012). Su و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند مقدار کلروفیل کل در گل داودی رشدیافته تحت نور LED با طیف‌های آبی تکی و قرمز + آبی بیشتر است ولی تحت تیمار نور قرمز تنها کاهش می‌یابد، که تا حدودی همسو با نتایج این پژوهش است. همچنین گزارش شده است نور قرمز در افزایش میزان کلروفیل نقش مهمی ایفا می‌کند (Kobota *et al.*, 1996). می‌توان نتیجه گرفت نور قرمز، سفید و آبی در کنار هم می‌توانند موجب افزایش میزان کلروفیل شوند، اما باید در نظر گرفت پاسخ دقیق هر گیاه به کیفیت نور در جنس‌ها و رقم‌های مختلف متفاوت است (Moazzeni *et al.*, 2020). در آزمایش ما جایگزین‌کردن بخشی از نور سفید با نورهای قرمز و آبی باعث افزایش محتوای کلرفیل برگ شده است. از سوی دیگر میزان نور دریافتی از طیف‌های مختلف در یک ترکیب نوری، از طریق تغییر در آرایش کلروپلاست‌های درون سلول گیاه، مقادیر کلروفیل برگ را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به‌طوریکه آرایش کلروپلاست‌ها نسبت به زاویه تابش

جدول ۹- تجزیه واریانس اثر کیفیت نور، جیبرلیک اسید و برهمکنش آنها بر کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید.

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید
نور	۲	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۰۶۲***	۰/۰۴۹*	۰/۲۵۱^{ns}
GA_3	۴	۰/۰۱۳^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۹^{ns}	۰/۴۷۴^{ns}
نور×GA_3	۶	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۵^{ns}	۰/۳۷۶^{ns}
خطا	۲۴	۰/۰۱۸	۰/۰۰۲	۰/۰۱۴	۰/۹۱۸
ضریب تغییرات (٪)		۲۰/۷۸	۱۷/۰۲	۱۴/۴۷	۲۳/۹۹

ns، * و * به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد**

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثر کیفیت نور بر کلروفیل b و کلروفیل کل

رژیم نوری	کلروفیل b (میلی‌گرم در گرم)	کلروفیل کل (میلی‌گرم در گرم)
نورگلخانه	۰/۱۹^{b}	۰/۵۸^{b}
۷۰: ۲۰: ۱۰ (سفید: قرمز: آبی)	۰/۲۷^{ac}	۰/۷۲^{ac}
۴۰: ۴۰: ۲۰ (سفید: قرمز: آبی)	۰/۳۳^{a}	۰/۷۵^{a}
مقدار LSD	۰/۰۷	۰/۲

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD هستند.

و دیواره سلول باعث تغییر در مقادیر کلروفیل می‌شود (عباس‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۶). در مورد پایین‌بودن میزان کلروفیل نشاء سیکلمن در گلخانه می‌توان گفت شدت بالای نور خورشید در مراحل اولیه رشد، نشاء را دچار تنش کرده و گیاه به‌منظور جبران آثار تنش، انرژی خود را صرف تحمل آن کرده و تولید کلروفیل و بهره‌وری از فتوسنتز به‌احتمال به‌دلیل تشکیل رادیکال‌های اکسیژن و بازدارندگی نوری، در آنها کاهش یافته است (Hodge *et al.*, 2001).

سطح برگ، وزن تر و خشک شاخساره، وزن تر و خشک ریشه، طول و حجم ریشه: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثر نور و جیبرلیک اسید در سطح ۵٪ روی سطح برگ و اثر نور در سطح ۱٪ روی وزن تر و خشک ریشه، طول و حجم ریشه معنی‌دار بود (جدول ۱۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین سطح برگ، وزن تر و خشک ریشه، طول و حجم ریشه نشاء سیکلمن به‌ترتیب ۹/۹۹ سانتی‌متر مربع، ۲/۶۰ گرم، ۰/۱۲ گرم، ۶/۵۰ سانتی‌متر، ۲/۳۳ سانتی‌متر مکعب تحت نور گلخانه و کمترین وزن خشک ریشه و طول ریشه به‌ترتیب ۰/۰۸ گرم و ۴/۴۲ سانتی‌متر تحت رژیم نوری ۷۰: ۲۰: ۱۰ درصد بدست آمد که به‌ترتیب ۳۲٪ و ۳۳٪ نسبت به شاهد کمتر است. کمترین سطح برگ، وزن تر ریشه، حجم ریشه برابر ۸/۲۲ سانتی‌متر مربع، ۱/۶۱ گرم، ۱/۱۷ سانتی‌متر مکعب تحت رژیم نوری ۴۰: ۴۰: ۲۰ درصد بدست آمد که به‌ترتیب ۱۸٪، ۳۸٪ و ۵۰٪ کمتر از شاهد است (جدول ۱۲). همچنین بیشترین سطح برگ در غلظت ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر جیبرلیک اسید برابر ۱۰/۰۸ و کمترین مقدار مربوط به غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر برابر ۷/۸۶ سانتی‌متر مربع بود که ۲۰٪ کاهش در سطح برگ را در مقایسه با عدم مصرف جیبرلیک اسید نشان می‌دهند (جدول ۱۳).

نتایج این پژوهش نشان داد بیشترین سطح برگ نشاء در نور گلخانه و غلظت ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر جیبرلیک اسید بدست آمد. در پژوهشی اثر نور LED با شدت ۱۰۰ میکرومول بر

جدول ۱۱- تجزیه واریانس اثر کیفیت نور، جیبرلیک اسید و برهمکنش آنها بر سطح برگ، وزن تر و خشک شاخساره، وزن تر و خشک ریشه، طول و حجم ریشه.

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		سطح برگ	وزن تر شاخساره	وزن خشک شاخساره	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	طول ریشه	حجم ریشه
نور	۲	۱۱/۳۰۳*	۱/۲۷ns	۰/۰۱۳ns	۰/۳۷***	۰/۰۱۶**	۱۴/۷۱۱***	۰/۵۸۱***
GA3	۳	۹/۱۷۲*	۰/۷۶ns	۰/۰۰۵ns	۰/۰۶ns	۰/۰۰۷ns	۰/۴۹۴ns	۰/۱۰۴ns
نور×GA3	۶	۱/۹۹۱ns	۰/۷۶ns	۰/۰۰۶ns	۰/۰۷ns	۰/۰۰۲ns	۱/۰۹۱ns	۰/۰۴۹ns
خطا	۲۴	۲/۵۰۳	۰/۵۷	۰/۰۰۴	۰/۰۴	۰/۰۰۳	۰/۵۰۲	۰/۰۵۰
ضریب تغییرات (٪)		۱۶/۹۴	۱۷/۵۷	۱۰/۱۱	۱۳/۸۶	۱۷/۹۳	۱۳/۵۲	۱۷/۷۶

ns، * و * به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد**

جدول ۱۲- مقایسه میانگین اثر کیفیت نور بر سطح برگ، وزن تر و خشک ریشه، طول و حجم ریشه.

رژیم نوری	سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	طول ریشه (سانتی-متر)	حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب)
نورگلخانه	۹/۹۹a	۲/۶۰a	۰/۱۲a	۶/۵۰a	۲/۳۳a
۷۰: ۲۰: ۱۰	۹/۸۱b	۱/۹۲b	۰/۰۸b	۴/۴۲b	۱/۵۰b
۴۰: ۴۰: ۲۰	۸/۲۲b	۱/۶۱b	۰/۰۹b	۴/۸۱b	۱/۱۷b
مقدار LSD	۲/۶۶	۰/۳۳	۰/۰۹۳	۱/۲	۰/۳۷

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD هستند.

جدول ۱۳- مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف جیبرلیک اسید بر سطح برگ

جیبرلیک اسید (میلی‌گرم بر لیتر)	۰	۲۰	۴۰	۶۰
سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	۹/۸۵b	۷/۸۶b	۱۰/۰۸a	۹/۵۸b
مقدار LSD	۲/۶۶			

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD هستند.

مترمربع بر ثانیه و طیف ۲۰٪ آبی + ۸۰٪ قرمز روی گل رز گونه *Rosa × hybrida* بررسی شد و نتیجه نشان داد نور قرمز در بهبود عملکرد روزنه نقش داشته ولی سطح برگ تحت تأثیر این طیف از نور LED قرار نگرفت (Madhu Sudhan Poudel, 2013). از آنجا که شدت نور موجود در گلخانه به‌تقریب دو برابر شدت نور اتاقک بوده و سرعت رشد نشاء مربوط به فتوسنتز و آن هم مربوط به سنتز کلروفیل است، می‌توان گفت میزان تشعشع بالاتر در گلخانه از یک طرف باعث سنتز کلروفیل و از طرف دیگر به‌صورت تنش باعث تخریب آن شده، ولی توانسته سطح برگ نشاء را در زمان انجام فتوسنتز و تولید زیست‌توده گسترش دهد و این سطح برگ دلیلی بر جذب بهتر و بیشتر جیبرلیک اسید شده است. در واقع سطوح بالای تشعشع در گلخانه و طیف کامل آن باعث تکثیر و ازدیاد نقاط رشد و تحریک رشد جوانه‌های جانبی می‌شود (عباس‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۶).

رشد مناسب گیاهان متأثر از کمیت نور و ترکیبات طیفی

آن در سطح برگ (شدت جریان فوتون فتوسنتزی (PPFD) در میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه) است (Pinho *et al.*, 2004). استفاده مطلوب از نور خورشید توسط گیاه زمانی رخ می‌دهد که حداکثر تشعشع توسط بافت‌های سبز گیاه و به‌ویژه برگ‌ها جذب شود (احمدی و همکاران، ۱۳۹۶). تولید هورمون گیاهی موسوم به متاتوپولین که سبب تقسیم سلولی و گسترش برگ است درنتیجه جذب میزان بالایی از نور قرمز توسط گیرنده‌های گیاهی انجام می‌شود (Steele, 2004). در آزمایشی جیبرلیک اسید در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر روی برخی ارقام سیکلمن در مراحل ابتدایی رشد محلول‌پاشی شد و نتایج نشان داد در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ، طول ریشه و رشد غده بهتر بود. به‌طورکلی جیبرلیک اسید به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشد سازگار با محیط‌زیست، برای بهبود خصوصیات فنوتیپی برخی گل‌های زینتی مانند گل کاغذی، شمعدانی، رز چینی و ... استفاده شده و بر جوانه‌زنی بذر و کیفیت زینتی برخی ارقام سیکلمن هم در رژیم‌های نوری مختلف مؤثر است. میزان اثربخشی آن به غلظت استفاده شده، زمان کاربرد و گونه گیاهی بستگی دارد (Mihaiela *et al.*, 2020). جیبرلین‌ها باعث تسریع در جوانه‌زنی و تسریع دوره رویشی گیاه می‌شوند و این کار را از طریق تأثیر بر سنتز و فعالیت آنزیم‌های هیدرولیز منابع ذخیره‌ای انجام می‌دهند (Khan *et al.*, 2013). جیبرلیک اسید در بافت‌های در حال رشد، برگ‌های جوان و گل‌ها، تقسیم و توسعه سلول‌ها را تحریک و بر افزایش سطح برگ مؤثر است (Punetha *et al.*, 2018). سرعت طویل‌شدن سلول برای افزایش سطح برگ می‌تواند تحت تأثیر دو عامل: قابلیت انعطاف دیواره سلولی و سرعت جذب آب که متأثر از نیروی اسمزی است قرار گیرد. GA تأثیری بر عوامل اسمزی ندارد اما همیشه مشاهده شده که موجب افزایش قابلیت انعطاف مکانیکی دیواره سولی و رهایی از فشار دیواره سلول‌های زنده می‌شود، ضمن آنکه آنزیم زیلوگلوکان اندو ترانس گلوکوزیداز / هیدرولاز (xyloglucan endo trans glucosidase / hydrolase: XTH) در گسترش دیواره سلولی تحت تأثیر GA دخالت دارد. ممکن است کارکرد آنزیم XTH تسهیل نفوذ پروتئین‌های اکسپنسین (Expensein) به‌داخل دیواره سلولی باشد. اکسپنسین‌ها پروتئین‌های دیواره سلولی هستند که با سست‌کردن پیوندهای هیدروژنی بین پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی در شرایط اسیدی، موجب سست‌شدن این دیواره می‌شوند و نیز تا حدودی در طویل‌شدن تحت تأثیر GA نقش دارند (Taiz and Zeiger, 2002).

براساس نتایج بیشترین وزن تر و خشک ریشه نشاء سیکلمن در نور گلخانه حاصل شد. وزن تر و خشک ریشه بادرنجبویه تحت طیف‌های مختلف LED نسبت به نور گلخانه کاهش نشان داد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۶) که همسو با نتایج این پژوهش است. بهبود تجمع ماده خشک (ریشه یا ساقه) در اثر افزایش جذب نور و توزیع بهتر آن در کانوپی و سرعت بیشتر فتوسنتز است (عباس‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۶). نور خورشید به‌عنوان یک منبع انرژی پایدار با طیف کامل نیاز نوری گیاهان را مرتفع می‌کند. البته در اواخر پاییز و زمستان و در صورت تأمین‌نشدن فتوپریود مورد نیاز گیاه و به‌منظور افزایش طول مدت روز می‌توان از نورهای مصنوعی (مانند لامپ‌های LED) و با در نظر گرفتن دمای محیط استفاده کرد، هر چند نوع گیاه و سایر شرایط محیطی در نحوه استفاده از نورهای مصنوعی در کیفیت مختلف تأثیرگذار بوده و همین نورها گاهی اگر با شدت یا کیفیت مناسب به‌کار نروند تعادل نوری مورد نیاز گیاه را به‌هم زده و موجب کاهش رشدونمو شده یا بر آن‌ها تأثیری ندارند (Afrasiab, 1999). به‌طورکلی واکنش‌های مختلف رشد به منابع مختلف نور، به‌دلیل تفاوت در عملکرد گیرنده‌های نوری آنها مانند فیتوکروم‌ها، کریپتوکروم‌ها و فیتوتروپین‌ها است که تنظیم‌کننده پاسخ‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی به کیفیت نور هستند (Doi *et al.*, 2004). برای افزایش عملکرد و بهبود خصوصیات فنوتیپی در بسیاری از گیاهان زینتی از جیبرلیک اسید استفاده می‌شود، اما آنها تنها در برخی گیاهان نقش مهمی در رشد ریشه دارند (Mihaiela *et al.*, 2020).

براساس نتایج، بیشترین طول ریشه نشاء سیکلمن در نور گلخانه حاصل شد. Olschowski و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند طول ریشه در گیاه *Calibrachoa* تحت تیمار نور سفید LED با طیف کامل (مشابه نور گلخانه) در مقایسه با طیف قرمز + آبی بیشتر شد، که همسو با نتایج این پژوهش است. افزایش CO_2 در گلخانه منجر به افزایش اثر نور بر عملکرد و توسعه گل داودی و افزایش نور باعث افزایش فتوسنتز و افزایش رشد ریشه در آن شد (عباس‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۶). کیفیت نور در مراحل اولیه رشد گیاه تأثیر زیادی بر طول و حجم ریشه دارد و نور خورشید با طیف کامل در مقایسه با طیف‌های LED باعث رشد بیشتر آنها می‌شود (Moazzeni *et al.*, 2020). تأثیر جیبرلیک اسید بر افزایش طول ریشه در برخی گیاهان، ضمن تأیید تأثیر ژنوتیپ گونه گیاهی، مربوط به تحریک تقسیم میتوزی سلول‌های ریشه برای جذب بهتر مواد غذایی و آب است (Salachna *et al.*, 2020).

بر اساس نتایج بیشترین حجم ریشه نشاء سیکلمن در نور گلخانه حاصل شد. در آزمایشی تأثیر کیفیت‌های مختلف نور LED شامل قرمز+ آبی با نسبت‌های ۱:۴ و ۱:۸، قرمز + آبی + بنفش با نسبت ۱:۱:۸ و قرمز + آبی + بنفش + سبز با نسبت‌های ۱:۱:۱:۶ و ۱:۱:۱:۸ بر ویژگی‌های مختلف ریشه *Cunninghamia lanceolata* در کشت‌بافت نشان داد؛ میزان ریشه‌زایی، متوسط تعداد ریشه، طول ریشه، سطح ریشه و فعالیت کلی ریشه تحت تیمارهای قرمز + آبی + بنفش + سبز با نسبت‌های ۱:۱:۱:۶ و ۱:۱:۱:۸ بیشتر بود. ریشه گیاه *C. lanceolata* تحت تیمارهای قرمز + آبی + بنفش + سبز با نسبت‌های ۱:۱:۱:۶ و ۱:۱:۱:۸ دارای سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و کاتالاز (CAT) بیشتری بود. SOD و CAT فعالیت‌های مثبتی با شاخص‌های رشد ریشه دارند (Yuanyuan *et al.*, 2019).

در مجموع برتری نور گلخانه (طیف کامل) نسبت به رژیم‌های نور LED در این پژوهش به احتمال مربوط به نفوذ بهتر نور در اندام‌های گیاه و تأثیر بیشتر بر خصوصیات فنوتیپی و تولید زیست‌توده است (Moazzeni *et al.*, 2020). در واقع با افزایش میزان تشعشع و به‌دنبال آن افزایش جذب CO_2 توسط گیاه، فتوسنتز به‌دلیل افزایش میزان بازشدن روزنه‌ها و تثبیت بیشتر CO_2 افزایش می‌یابد و درنتیجه برخی صفات مورفولوژیکی (ذکرشده در بالا) جهت استفاده از شرایط به وجود آمده بهبود می‌یابد (عباس‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۶).

یکسان‌نبودن تأثیر نورهای LED روی صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی در این پژوهش شاید به این دلیل است که در گیاهانی که تحت شرایط نور مصنوعی پرورش داده می‌شوند، وقایع فتوسنتزی تغییر می‌کنند چرا که لامپ‌ها به‌طور معمول قادر به فراهم کردن شدت و طول‌موج نوری خورشید نیستند و حتی کیفیت تأثیر آنها در مراحل مختلف رشد گیاه متفاوت است (خزائی و همکاران، ۱۳۹۹).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد در مورد صفات کلروفیل b و کلروفیل کل، رژیم نوری ۴۰: ۴۰: ۲۰ درصد LED تأثیر بهتری گذاشته است. از آنجا که بیشترین میزان جذب نور توسط کلروفیل در طیف نوری قرمز و آبی صورت می‌گیرد، رژیم ۴۰: ۴۰: ۲۰ درصد نسبت به رژیم دیگر نور LED با مقادیر بیشتر نور قرمز و آبی بهتر است. برای صفات سطح برگ، وزن تر و خشک ریشه، طول و حجم ریشه، نور گلخانه بهترین تأثیر را داشته است. افزایش دو شاخص ET_0/RC و TR_0/RC تحت نور گلخانه که موجب جریان الکترون در مراکز واکنش و انباشت انرژی نوری بیشتری در هر واحد سطح مقطع عرضی برگ و افزایش سطح آن به‌عنوان شاخص مهم در افزایش زیست‌توده و فتوسنتز تحت همین منبع نوری می‌شود، اهمیت نور خورشید را تأیید می‌کند. در مورد شاخص‌های F_0، F_j، F_i، F_v و F_m کمترین مقدار آنها تحت رژیم نوری ۴۰: ۴۰: ۲۰ درصد بدست آمده است. مقادیر کمتر این شاخص‌ها تأثیر مثبت آنها را بر عملکرد دستگاه فتوسنتزی (P_I) سیکلمن در مرحله نشاء نشان می‌دهد. شاخص P_I نشان‌دهنده فتوسنتز نرمال و درنتیجه بالابودن کیفیت رشد گیاه است. تحقیقات پیشین نشان داده است ژنوتیپ گونه گیاهی با اثرگذاری

طیف‌های اختصاصی نور و غلظت‌های مختلف جیبرلیک اسید یا برهمکنش آنها بر کیفیت رشد گیاه در تمام صفات (فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی) ارتباط مستقیم داشته و به الزام نمی‌توان تأثیرات خاصی از کیفیت نور یا هورمون را بر گیاه خاصی، از قبل تعیین کرد. لازم به ذکر است شاخص‌های فلورسنس کلروفیل از نظر تأثیر بر عملکرد فتوسنتز (P_I) از یکدیگر مستقل عمل کرده و نبود تأثیر معنی‌دار تیمارها یا برهمکنش آنها بر برخی شاخص‌ها به احتمال ارتباطی با میزان تأثیرگذاری سایر شاخص‌ها بر سیستم فتوسنتزی گیاه ندارد. در پایان توجه به این نکته لازم است که اگر چه کاربرد رژیم‌های نور LED در این پژوهش تأثیری بر صفات مورفولوژیکی نشاء نداشته است ولی یکی از اهداف مهم در استفاده از اتاقک‌های رشد وکشت‌های طبقاتی زیر این نورها کاهش مصرف آب (با توجه به شرایط خشکسالی موجود) است.

منابع

اورسجی، ز.، راشد محصل، م. ح.، نظامی، ا.، عباسپور، م. و نصیری محلاتی، م. (۱۳۹۴) بررسی منحنی کاتسکی و پارامترهای فلورسنس کلروفیل تحت تأثیر دو علف‌کش کلودینافوپ Dicamba+2, 4-D. نشریه حفاظت گیاهان. علوم و صنایع کشاورزی ۳۲: ۳۲-۲۹.

اسفندیاری، ع. و عنایتی، و. (۱۳۹۲) بررسی تغییرات پارامترهای فلورسنس کلروفیل a در دو رقم گندم دوروم در پاسخ به شوری. مجله پژوهش‌های گیاهی ۲۶: ۳۸۶-۳۷۵.

احمدی، ت.، شبانی، ل. و سبزعلیان، م. ر. (۱۳۹۶) بررسی طیف‌های مختلف نور LED بر شاخص‌های رشد و محتوای رزمارینیک اسید در (*Melissa officinalis* L.). فرآیند و کارکرد گیاهی ۶: ۲۲۲-۲۱۳.

بیات، ل.، عرب، م. و نیائی‌فرد، س. ع. (۱۳۹۹) اثربخشی طیف‌های مختلف نوری بر مهار تنش نور شدید در گل رز رقم سامورایی. فرآیند و کارکرد گیاهی ۹: ۱۰۳-۹۳.

باغبانی‌آرانی، ا.، مدرس‌ثانوی، س. ع. م.، مشهدی‌اکبربوجار، م.، اداوی، ظ. و دهقان‌زاده‌جزی، ح. (۱۳۹۸) اثر تنش کم آبی بر شاخص‌های فلورسنس کلروفیل، رنگدانه‌های فتوسنتزی، تریگونلین و عملکرد دانه شنبلیله در واکنش به زئولیت و نیتروژن. مجله یافته‌های نوین در علوم زیستی ۶: ۲۴۰-۲۲۹.

حسنی، ز.، نوری، م. ز.، یعقوبیان، ی. و پیردشتی، ه. (۱۳۹۳) کاربرد تکنیک فلورسنس کلروفیل برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به سرمای هوا و آب در گیاه برنج (*Oryza sativa* L.). مجله سلول و بافت (علمی- پژوهشی) ۵: ۳۹۵-۲۰۲.

خزائی، م.، رفیعی، ف.، سبزعلیان، م. ر. و هوشمند، س. (۱۳۹۹) تأثیر طیف‌های دیودهای ساطع‌کننده نور بر صفات مورفولوژیک و الگوی بیان برخی ژن‌های مؤثر در مسیر بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه در گونه‌های نعناع. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهرکرد. شهرکرد. ایران.

سلطانی، ا. (۱۳۸۳) فلورسنس کلروفیل و کاربرد آن. انتشارات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

شعبان، م.، منصوری‌فر، س.، قبادی، م. و اشرفی‌پارچین، ر. (۱۳۹۰) اثر تنش خشکی و کود نیتروژنه آغازگر بر خصوصیات ریشه و عملکرد چهار ژنوتیپ نخود. مجله زراعی نهال و بذر ۲: ۳۷-۳۶.

عباس‌نژاد، ر.، جبارزاده، ز. و رضوی، م. (۱۳۹۶) اثر سطوح مختلف شدت نور بر برخی ویژگی‌های ظاهری و فیزیولوژیکی گل شب‌بو. مجله پژوهش‌های گیاهی ۳۰: ۴۱۹-۴۰۸.

قاسمی قهساره، م. و کافی، م. (۱۳۹۰) گلکاری علمی و عملی. جلد ۲. انتشارات مؤلف.

راهداری، پ. (۱۳۹۰) میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی، فعالیت فتوسنتزی و فلوئورفلورسنس در گیاه (*Triticam aestivum* L.) تحت تنش نور بالا و کمبود آب. فصلنامه علمی تخصصی اکوسیستم طبیعی ایران ۳: ۵۴-۴۷.

محمدی، ح.، تبریزی، ل. و صالحی، ر. (۱۳۹۳) اثر نسبت‌های مختلف ورمی‌کمپوست در بستر کشت بر رشد نشاء عروسک پشت‌پرده (*Physalis peruviana*). علوم باغبانی ایران ۴: ۳۹۰-۳۸۳.

میرآخوری، م.، پاک‌نژاد، ف.، مرادی، ف.، اردکانی، م. ر.، ناظری، پ. و اسماعیل‌پور جهرمی، م. (۱۳۹۸) بررسی تأثیر تنش کم آبی و محلول‌پاشی متانول بر پارامترهای فلورسنس کلروفیل، محتوای آب نسبی سلول و محتوای کلروفیل برگ سویا (*Glycine max* L. var. L 17) ۸: ۵۴۱-۵۳۱.

Anderson, N. O. (2006) Flowering Breeding and Genetics. Springer.

Afrasiab, R. (1999) Plant Physiology. Parivar Publications.

Chen, B., Han, M. Y. Y., Peng, K., Zhou, S. L. L., Shao, l., Wu, X. F. F. and Chen, G. Q. Q. (2018) Global land-water nexus: Agricultural land and freshwater use embodied in worldwide supply chains scrence of the total environment Science of The Total Environment 613-614: 931-943.

Doi, M. A., Shigenaka, T. E., Kinoshita, T. and Shimazaki, K. (2004) A transgene encoding a blue-light receptor, phot1, restores blue-light responses in the Arabidopsis phot1 phot2 double mutant. Journal of Experimental Botany 55: 517-523.

Dole, J. M. and Wilkins, H. F. (2004) Floriculture Principles and Species. 2nd Ed. Prentice Hall.

Fan, X. X., Xu, Z. G., Liu, X. Y., Tang, C. M., Wang, L. W. and Han, X. L. (2013) Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. Scientia Horticulturae 153: 50-55.

Gautam, P. (2012) Effect of light quality in the regulation of morphology and flowering of petunia (*Petunia × hybrida*). Department of Plant and Environmental Sciences (IPM) 25.

Goncalves, J. F. C., Santos, U. M., Nina, A. and Chevreuil, L. R. (2007) Energetic flux and performance index in copaiba (*Copaifera multijuga*) and mahogany (*Swietenia macrophylla*) seedling grown under two irradiance environments. Brazilian Journal of Plant Physiology 19: 171-184.

Heydarizadeh, P., Zahedi, M., Sabzalian, M. R. and Ataii, E. (2013) Mycorrhizal infection, essential oil content and morpho-phenological of the methanol extract from *Mentha suaveolens* Ehrh. Phytotherapy Research 16: 10-13.

Hodge, A., Campbell, C. D. and Fitter, A. H. (2001) Arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen directly from organic material. Nature 413: 297-299.

Iqbal, N., Nazar, R., Iqbal, M., Khan, R., Masood, A. and Khan, N. A. (2011) Role of gibberellins in regulation of source–sink relations under optimal and limiting environmental conditions Current Science 100: 7-10.

Kasajima, S. Y., Inoue, N., Mahmud, R. and Kato, M. (2008) Developmental responses of wheat cv. norin 61 to fluence rate of green light. Plant Production Science 11: 76-81.

Khan, F. N., Rahman, M. M. and Hossain, M. M. (2013) Effect of benzyladenine and gibberellic acid on daormancy breaking, growth and yield of gladiolus corms over different storage periods. Journal of Ornamental and Horticulture of Plants 3: 59-71.

Kobota, C., Rajapakse, N. C. and Young, R. E. (1996) Low-Temperature storage of micropropagated plantlets under selected light environments. Hort Science 31: 449-452.

Li, H., Tang, C. and Xu, Z. (2013) The effects of different light qualities on rapeseed (*Brassica napus* L.) plantlet growth and morphogenesis in vitro. Scientia Horticulturae 150: 117-124.

Lichtenthaler, H. K. and Wellburn, A. R. (1983) Determination of total carotenoids and chlorophylls an and b of leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions 11: 591-592.

Mihaiela, C. C., Doru, P. C., Radu, S. and Rodica, M. (2020) Gibberellic acid can improve seed germination and ornamental quality of selected *Cyclamen* species grown under short and long days. Agronomy 1-19.

Maxwell, K. and Johnson, G. N. (2000) Chloroohyll fluorescence- a practical guide. Journal of Experimental Botany 345: 659-668.

Madhu, S. P. (2013) Responses of air humidity and light quality on growth and stomata function of greenhouse grown *Rosa × hybrid*. Horticulture 1-46.

Moazzeni, M., Reezi, S. and Ghasemi Ghehsareh, M. (2020) Growth and chlorophyll fluorescence characteristics of *Sinningia* speciose under red, blue and white lightemitting diodes and sunlight. Advances in Horticultural Science 34: 419-430.

Olschowski, S., Geiger, E. M., Herrmann, J. V., Sander, G. and Gruneberg, H. (2016) Effects of red, blue and white LED irradiation on root and shoot development of Calibrachoa cuttings in comparison to hight pressure sodium lamps. Anti-Counterfeiting Trade Agreement (Acta). Horticulturae 11: 33-34.

Pinho, P., Moisio, O., Terti, E. and Halonen, L. (2004) Photobiological aspects of crops plants grown under light emitting diodes. In Proceedings of the CIE Symposium. On LED light source: Physical measurments and visual and photobiological assessment. Tokyo. Japan.

Punetha, P., Rawat, T., Bohra, M. and Trivedi, H. (2018) Effects of various concentrations of GA_3 and NAA on cuttings of hydrangea under shade net conditions. Journal of Hill Agriculture 9: 260-264.

Runkle, E. and Blanchard, M. (2010) Use of lighting to accelerate crop timing. Greenhouse Grower, Available at: http:// www.flor.hrt.msu.edu/assets/Pdf Attachments/Runkle-Blanchard-UseofLighting.pdf. (Visited 14 November 2018).

Strasser, B. J. (1995) Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: The JIP test. Photosynthesis: From Light to Biosphere 977-980.

Steele, R. (2004) Understanding and measuring the shelf-life of food. Woodhead Publishing.

Salachna, P., Mikiciuk, M., Zawadzi, A., Piechocki, R., Ptak, P., Mikiciuk, G., Pietrak, A. and Lopusiewicz, L. (2020) Changes in growth and physiological parameters of amarine following an exogenous application of gibberellic acid and methyl jasmonate. Agronomy 2-13.

Spol, S. and Drasov, (2012) Photon systems instruments (PSI). Czech Republic 1-42.

Strasser, R. J., Srivastava, A. and Tsimilli-Michael, M. (2000) The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples in probing photosynthesis mechanisms regulation and adaption. Taylor and Francis 443-480.

Seifi, M., Aliniaeifard, S., Arab, M. and Zare, M. (2018) Effect of light qualities on photosynthetic electron transport chain in chrysanthemum leaves. International Symposium on Innovation and New Technologies in Protected Cultivation. SHS Acta Horticulturae.

Strasser, R. J. and Stirbet, A. D. (2001) Estimiation of the energetic connectivity of PSII centres in plants using the fluorescence rise O-J-I-P. Fitting of experimental data to three different PSII models. Mathematics and Computers in Simulation 56: 451-461.

Su, N. N., Wu, Q. and Cui, J. (2012) Effects of supplemental lighting with led light quality on growth and photosynthetic characteristics of cucumber seedlings. China Vegetables 1: 48-54.

Strasser, R. J., Tsimilli, M. and Srivastava, A. (2004) Analysis of the chorophyll fluorescence transient. In: Chlorophyll Fluorescence: A Signature of Photosynthesis, Advances in Photosynthesis and Respiration (ed. papageorgiou, G. C.) Pp. 321-362. Springer, Dordrecht. The Netherlands.

Skalicky, M., Kubes, J., Vachova, P., Hajihashemi, S., Martinkova, J. and Hejnak, V. (2020) Effect of gibberellic acid on growing-point development of non-vernalized wheat plants under long-ay conditions. Plants 2-14.

Taiz, L. and Zeiger, E. (2002) Plant Physiology. 3rd Ed. Sinauer Associates, Inc. Publishers, Massachusetts, USA.

Taylor, M., Bruce, L. D., Niels, M. and Mark, P. (2019) Effect of LED lighting and gibberellic acid supplementation on potted ornamentals. Horticulturae 1-10.

Wollaeger, H. and Runkle, E. (2014) Growing seedings under LEDs: part two. Greenhouse Grower. Available at: https://www.greenhousegrower.com/production/plant-culture/growing-seedlings-under-leds-part-two. (Visited 20 November 2018).

Yuanyuan, X., Yuyao, L. and Mei, Y. (2019) Effects of composite LED light on root growth and antioxidant capacity of *Cunninghamia lanceolata* tissue culture seedlings. Scientific Reports 1-9.

Effect of gibberellic acid on some fluorescence and chlorophyll characteristics of *Cyclamen persicum* Mill. seedlings under different light regimes

Badri Gholamian Dehkordi, Saeed Reezi*, Masoud Ghasemi Ghehsareh

Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahrekord University
(Received: 10/10/2021, Accepted: 14/03/2022)

Abstract

The use of growth regulators and light quality change are two methods to improve plant performance. Therefore, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design. Factors included three light modes (greenhouse light (control) and LED combination light of white: red: blue as 70: 10: 20 and 40: 40: 20 ratios) and gibberellic acid in four concentrations (0, 20, 40 and 60 mg/l). At the stage of cotyledon emergence, the seedlings were exposed to LED and greenhouse light for 4 months. Gibberellic acid was sprayed on the leaves three times from the end of the third growing month. Based on the results, in the 6- to 8-leaf stage, the highest amount of trapped energy flux (TR_0 / RC) was related to greenhouse light and the highest electron transfer flux in each reaction center (ET_0 / RC) was observed at the lowest concentration of gibberellic acid (zero) in greenhouse light. The lowest light fluorescence intensity at 50 µs and 2 milliseconds (F_0 and F_j) at the lowest gibberellic acid concentration under 40: 40: 20 and the lowest light fluorescence intensity at 60 ms, variable and maximum fluorescence (F_i, F_V and F_m) were obtained in the same light regime. The highest content of chlorophyll b and total chlorophyll was obtained in 40: 40: 20 light mode and the highest amount of root fresh and dry weight, root length and volume in the greenhouse and the highest leaf area in the greenhouse and a concentration of 40 mg/l gibberellic acid were observed. Although the use of LED light regimes and high concentrations of gibberellic acid was beneficial in improving some physiological traits and fluorescence indices, in general, natural greenhouse light was sufficient for growing Cyclamen in the seedling production stage.

Keywords: Fluorescence chlorophyll, Total chlorophyll, Wet and dry root weight, F_v/F_m.

Corresponding author, Email: lshabani@gmail.com