بهینه سازی نور در گلخانه و سایر محیط‌های کنترل شده جهت به حداکثر رساندن تولید و کیفیت محصولات گلخانه ای

ساسان علی نیائی فرد
مسئول آزمایشگاه فتوسنتز و واکنشهای نوری، گروه علوم باغبانی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
aliniaeifard@ut.ac.ir

چکیده

توسعه گسترده گلخانه‌ها در جهان و بویژه در ایران جهت افزایش تولید محصولات و بهینه‌سازی مصرف منابع صورت گرفته است. با وجود پوشش روی گلخانه شدت و کیفیت نور ساطع شده از خورشید در محیط گلخانه متفاوت از محیط بیرون خواهد بود. از طرفی در سالیان اخیر تمایل برای کشت گیاهان در محیط‌های تجهیز شده با نور مصنوعی گسترش چشمگیری داشته است. نور به‌عنوان منبع انرژی برای فتوسنتز عامل تعیین کننده رشد، مورفولوژی، نمو و عملکرد گیاهان می‌باشد. شدت، طیف و دوره نوری واکنش‌های گیاهی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در مجموعه تحقیقاتی که در شش سال گذشته در آزمایشگاه فتوسنتز و واکنش‌های نوری پردیس ابوریحان دانشگاه تهران در مورد تاثیر نور (شدت، طیف و دوره نوری) بر محصولات مختلف گلخانه‌ای از جمله: گوجه‌فرنگی، کاهو، ریحان، مرزه، رز، داوودی، اطلسی، آنتوریوم، ژربرا، میخک، همیشه بهار شاخه بریده و تیپ‌های مختلف برومیلیاها با متابولیسم‌های فتوسنتزی متفاوت صورت گرفت نشان داده شد که خصوصیات مختلف نور اثرات شگرفی بر رشد، فیزیولوژی و عملکرد محصولات ذکر شده دارد و حتی میزان مقاومت گیاه به تنش‌های مختلف غیرزیستی از جمله شدت نور بالا، آلاینده‌های گازی، شوری و خشکی تحت تأثیر نور دریافت شده توسط گیاه قرار می‌گیرد. نتایج تحقیقات نشان داد که طیف نوری بین ۶۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر باعث افزایش رشد و عملکرد در اکثر گیاهان ذکر شده می‌گردد و از طرف دیگر رشد گیاهان تحت طیف نوری بین ۴۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر غالبا محدود می‌باشد. با وجود اثرات مثبت طیف نور ۶۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر بر رشد گیاه ولی به دلیل اثرات منفی که این محدوده طیفی بر فتوسنتز و همچنین بر مرفولوژی گیاه می‌گذارد (سندرم نور قرمز)، این طیف نور باید در ترکیب با طیف نوری ۴۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر مورد استفاده قرار گیرد. از طرفی تحقیقات صورت گرفته نشان داد که شدت و کیفیت نور نقش بارزی در میزان حساسیت گیاه به تنش‌های مختلف (از جمله خشکی، آلاینده‌های گازی، شوری و سرما) ایفا می‌نماید. طیف نور قرمز دور، موجب طویل شدن میانگره گیاه شده و غالبا اثرات منفی بر رشد و کیفیت گیاه ولی اثرات مثبت بر مقاومت گیاه به تنش‌ها می‌گذارد. بخش دیگر از تحقیقات صورت گرفته نشان داد که علی‌رغم تصور غیرعلمی به شدت نور در کشور، استفاده از نور بصورت تکمیلی بر محصولات گلخانه‌ای از جمله گوجه فرنگی، فلفل دلمه‌ای، رز، کاهو و بسیاری از محصولات دیگر اثرات شگرفی بر میزان تولید و کیفیت محصول تولید شده دارد و یا با افزایش طول دوره نوری می‌توان رشد و عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار داد. همچنین عمر و کیفیت پس از برداشت محصول گلخانه‌ای تولید شده نیز تحت تاثیر طیف و شدت نور در هر دو مرحله قبل و پس از برداشت قرار دارد و این امر برای محصولات مختلف متفاوت می‌باشد. به‌عنوان مثال طیف نور فرابنفش در شدت نور کم در مرحله قبل از برداشت اثرات مثبت بر کیفیت پس از برداشت کاهو دارد و یا این طیف نور در مرحله پس از برداشت باعث افزایش اسانس گیاهان داروئی می‌شود. برای گیاهانی مثل گل شاخه بریده میخک بهترین کیفیت پس از برداشت تحت نور آبی حاصل شد، حال آنکه در مورد گیاهانی مثل رز و آنتوریوم (در شرایط سرما) بهترین کیفیت تحت نور قرمز و یا درصد بالای محدوده طیفی نور قرمز حاصل گردید. در نتیجه مجموعه تحقیقات صورت گرفته در آزمایشگاه فتوسنتز بر محصولات متنوع گلخانه‌ای نشان‌دهنده اهمیت مدیریت نور در گلخانه و سایر مکانهای تولید محصولات گلخانه‌ای در کشور می‌باشد.

کلمات کلیدی: نور، شدت نور، کیفیت نور، دوره نوری، فتوسنتز، محصولات گلخانه‌ای، محیط‌های کنترل شده

مقدمه

نور دریافتی درون گلخانه بسیار متفاوت از خصوصیات نوری بیرون از گلخانه می‌باشد. خصوصیات مختلف گلخانه از جمله نوع پوشش، نوع و سنگینی سازه، نوع محصول، پروفایل عمودی محصول و برخی موارد دیگر همگی بر شدت و کیفیت نور درون گلخانه اثرگذار هستند. فتوسنتز مهمترین فرایند گیاهی است که بصورت مستقیم تحت تأثیر خصوصیات نور دریافتی توسط گیاه قرار می‌گیرد. در حالت کلی مقدار فتوسنتز در یک گیاه تحت تاثیر ویژگیهای مختلف نور دریافتی از جمله: کیفیت نور، شدت آن و طول مدت دریافت نور می‌باشد. فقط مقداری از انرژی خورشیدی کل در فتوسنتز مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مقدار قابل استفاده بعنوان نور فعال فتوسنتزی شناخته شده است . در این طیف نوری نیز فوتونهای طول موجهای مختلف دارای اثر مشابه بر فتوسنتز نمی‌باشند (Bayat *et al.*, 2018). در طیف نوری ۵۰۰–۶۰۰ نانومتر (رنگ سبز) نور توسط کلروفیل جذب نمی‌شود (قسمتی از آن را منعکس می‌کند) که باعث ایجاد رنگ سبز در برگ گیاهان می‌شود. طیف جذبی رنگدانه‌های فتوسنتزی نمایانگر اینست که پیک اصلی جذب در نواحی قرمز و آبی طیف نوری قرار دارد که این امر بخاطر جذب نور توسط کاروتنوئیدهای همراه کلروفیل در غشای کلروپلاست می‌باشد. نور قرمز هم برای فتوسنتز موثرتر از نور آبی می‌باشد (Hosseini *et al.*, 2019). در لایه‌های پایینی محصول پرورش یافته در گلخانه نور سبز بیشتری نسبت به لایه‌های بالایی وجود دارد که باعث اثرگذاری بر مقدار محصول نهایی خواهد شد (Castilla, 2013).

واکنش فتوسنتز به نور در برگهای منفرد یک واکنش اشباعی می‌باشد، در صورتی که دیگر عوامل از جمله دی‌اکسید کربن و یا دما حدود کننده نباشند. در شدت نور کم تنفس ممکن است بیشتر از فتوسنتز باشد. مقدار فتوسنتز و تنفس در نقطه‌ای مساوی هم می‌شوند که این مقدار را نقطه جبران نوری می‌نامند. در صورتی که شدت نور برای مدت طولانی کم باشد، گیاه قادر به زنده ماندن برای مدت طولانی در شرایط زیر نقطه جبرانی نمی‌باشد. در شدت نور بالا بعد از اینکه فتوسنتز به حد ماکزیمم رسید افزایش بیشتر شدت نور باعث افزایش فتوسنتز نمی‌شود به این نقطه اشباع نوری گفته می‌شود. در شرایط گلخانه موقعی که شدت نور بسیار پایین باشد استفاده از نور تکمیلی مصنوعی جهت بهبود فتوسنتز موثرتر می‌باشد (Castilla, 2013).

با توجه به اثر مستقیم نور بر فتوسنتز و به تبع آن بر رشد و عملکرد گیاهان، مجموعه تحقیقات حاضر با هدف بررسی شرایط نوری بر رشد، کیفیت و فتوسنتز محصولات گلخانه‌ای صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

نشای محصولات گلخانه‌ای مختلف در شرایط نوری مختلف از لحاظ شدت، کیفیت و طول مدت در محیط‌های کنترل شده و یا در گلخانه تحت طیف‌های مختلف نور پرورش داده شدند. در برخی از آزمایشها اثرات شرایط نوری مختلف بر رشد، فتوسنتز و عملکرد این محصول مورد ارزیابی قرار گرفت و در بخش دیگر از آزمایش‌های صورت گرفته در آزمایشگاه فتوسنتز و واکنش‌های نوری پردیس ابوریحان دانشگاه تهران اثرات تنش‌های مختلف غیرزیستی (از جمله خشکی، شوری، و آلاینده های گازی) تحت شرایط نوری مختلف بر فتوسنتز این گیاه مورد بررسی قرار گرفت. اندازه‌گیری فلئورسنس کلروفیل a با دستگاه‌های فلئورکم (جهت عکسبرداری) و فلئورپنFP 100-MAX و در قالب تست‌های OJIP، LC و NPQ در برگ‌های جوان توسعه یافته که حداقل ۲۰ دقیقه در تاریکی سازگار شده بودند، انجام گرفت. القای لحظه‌ای فلئورسنس کلروفیل با استفاده از OJIP به وسیله اندازه‌گیری سیگنال‌های فلئورسنس کلروفیل a در فواصل زمانی کوتاه، از ۳۰ تا ۵۰ میکروثانیه و در انتها کمتر از یک ثانیه صورت گرفت. بعد از سازگاری در تاریکی، قرائت‌های اصلی بعد از ۵۰ µs (F_o)، ۳ ms (مرحله J)، ۳۰ ms (مرحله I) و ۳۰۰ ms (مرحله P) انجام شد و در نهایت محاسبات با استفاده از نرم افزار PAR-Fluorpen انجام شد.

واکنش منحنی نوری فتوسنتزی (LC) به مدت ۱۵۰ ثانیه و تابش شدت‌های نوری مختلف ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه می‌باشد. منحنی واکنش شدت نور نمونه‌ای از پروتکل‌های کلاسیک در مطالعات اکوفیزیولوژیکی را نشان می‌دهد. در مورد فلئورسنس کلروفیل، از پارامترهای ثبت شده در پاسخ به افزایش تدریجی شدت نور استفاده می‌شود. منحنی واکنش شدت نور را می‌توان برای مطالعه انعطاف پذیری فیزیولوژیکی دستگاه فتوسنتزی در پاسخ به تغییرات در شدت نور استفاده کرد. این

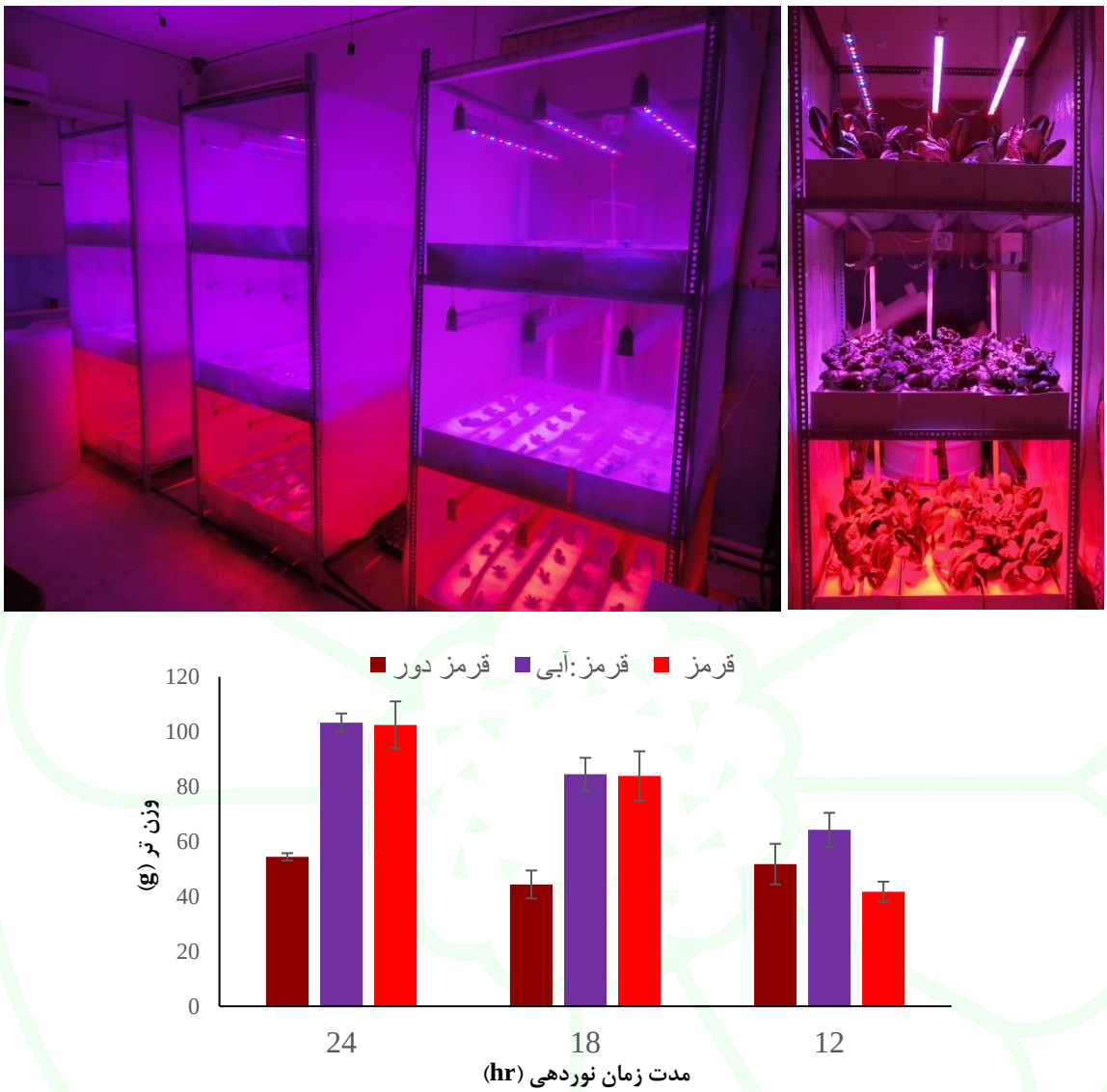
منحنی‌های نوری اطلاعات مفیدی ارائه می‌دهند که به ارزیابی دقیق فیزیولوژیکی محیطی گیاه و پاسخ‌های فتوسنتزی گیاه به عنوان تابعی از وضعیت فیزیولوژیکی آن‌ها کمک می‌کند (Kalaji et al. 2017). فرونشست غیرفتوشیمیایی (NPQ) به مدت ۱۶۰ ثانیه با استفاده از دستگاه فلئورکم و فلئورپن اندازه‌گیری شد. فرونشست غیر فتوشیمیایی به عنوان شاخص اتلاف حرارتی انرژی بیش از حد نور در آنتن‌های PSII استفاده می‌شود. مقادیر NPQ به طور خطی با اکسیداسیون زانتوفیل در چرخه زانتوفیل در ارتباط است (Kalaji et al. 2017).

نتایج

با توجه به گسترده بودن نتایج آزمایش‌های صورت گرفته بر رشد، عملکرد و فتوسنتز گل داودی و کاهو ارائه می‌گردد. در داودی که تحت شدت نورهای ۷۵، ۱۵۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه تحت دو غلظت دی اکسید کربن (۴۰۰ و ۱۰۰۰ پی پی ام) پرورش یافته بودند، بیشترین رشد گیاه در شدت نورهای بالا یعنی ۶۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه و در غلظت ۴۰۰ پی پی ام دی اکسید کربن و بیشترین گلدهی گیاه در همین شدت نور ولی غلظت بالای دی اکسید کربن بود و کمترین میزان آن در شدت‌های پائین نور و بویژه در غلظت ۴۰۰ پی پی ام دی اکسید کربن مشاهده شد (شکل ۱).

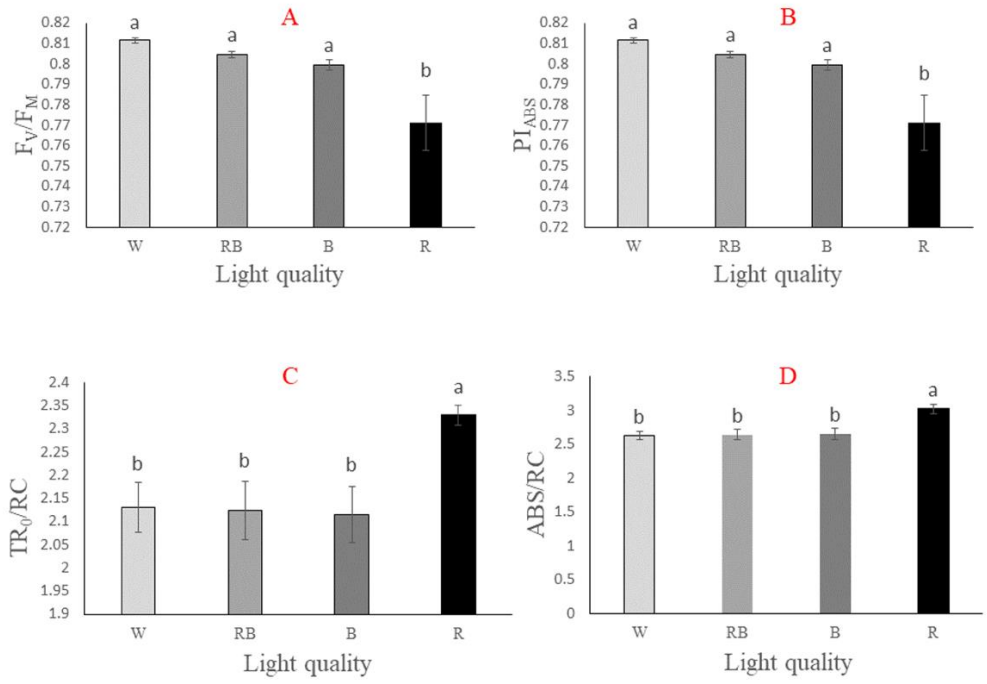
شکل ۱- اثر شدت نور و غلظت لیتروژن دی اکسید کربن بر رشد و گلدهی گل داودی. شدت نورهای ۷۵، ۱۵۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه و دو غلظت ۴۰۰ و ۱۰۰۰ پی پی ام دی اکسید کربن بکار برده شد

در شکل دو رشد گیاه کاهو تحت طیف‌ها و فتوپریودهای مختلف نوری نشان داده شده است. با افزایش فتوپریود رشد کاهو نیز افزایش یافت همچنین بیشترین رشد تحت طیف‌ها قرمز تک طیف و نور ترکیبی قرمز و آبی مشاهده شد.



شکل ۲- اثر طیف‌ها و فتوپریودهای مختلف نوری بر رشد گیاه کاهو در سیستم طبقاتی. گیاهان تحت طیفهای قرمز تک طیف، قرمز و آبی و قرمز آبی همراه با طیف قرمز دور پرورش یافته بودند

در شکل ۳ مشاهده می‌شود که زنجیره انتقال الکترون به شدت وابسته به طیف نور می‌باشد. در بین طیف‌های مختلف نوری، نور قرمز باعث افزایش جذب نور (شکل ۳D) و به دام انداختن نور (شکل ۳C) توسط هر مرکز واکنش می‌شود که همین امر موجب می‌شود که ظرفیت فتوسنتزی گیاه بویژه حداکثر پتانسیل کوانتومی فتوسیستم دو (شکل ۳A) و شاخص عملکرد جذب فوتون (شکل ۳B) کاهش یابد.



شکل ۳- اثر طیف‌های مختلف نور (W: سفید، RB: نور ترکیبی قرمز و آبی (۷۰ به ۳۰)، B: آبی و R: قرمز) بر حداکثر پتانسیل کوانتومی فتوسیستم دو (A)، شاخص عملکرد جذب فوتون (B)، جذب نور (D) و به دام انداختن نور (C) توسط هر مرکز واکنش

بحث

یکی از مهمترین مزایایLED ، پتانسیل ترکیب طیف های روشنایی با انتخاب فقط طول موجهای نوری کارآمد از نظر فیزیولوژیکی، جلوگیری از اتلاف انرژی برای تولید رنگ، مانند رنگ های سبز و زرد بود. بهره وری نور دیگر با پاسخ یک برگ ارزیابی نمی شود، بلکه پاسخ کل کانوپی گیاه، با توزیع نور در لایه های مختلف کانوپی، نشان دهنده اهمیت طیف نوری گسترده برای رشد و نمو گیاه است (Bugbee, 2016; Snowden *et al.*, 2016). یک طیف نوری کلی برای فتوسنتز، که توسط مک کری (۱۹۷۱) نزدیک به نیم قرن پیش پیشنهاد شد، نشان داد که نور قرمز و نارنجی کارآمدترین هستند، در حالی که نور سبز در مقایسه با نور های قرمز و آبی دارای کارایی پایین تر هستند (Bugbee, 2016)، علاوه بر رنگدانه های کلروفیل، سایر رنگدانه های گیاهی مانند کاروتنوئیدها و آنتوسیانین ها نیز قادر به برداشت نور هستند. همه این رنگدانه ها طیف جذب مختلفی دارند و به گیاهان اجازه می دهد طیف ترکیبی وسیعی از نور را جذب کنند (Ouzounis *et al.*, 2015). نتیجه پژوهش‌های صورت گرفته در گیاهان مختلف نشان می‌دهد که کاربرد طیف‌های مختلف نور در ترکیب با هم و یا به صورت تکی فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند و همچنین تنش خشکی با بستن روزنه‌ها گیاهان را به سمت تنش اکسیداتیو و تنفس نوری هدایت می‌کند. بنابراین گیاهان به منظور کاهش انرژی مازاد، از پاسخ‌های محافظتی مانند چرخه زانتوفیل و لوتئین استفاده می‌کنند. نور قرمز به عنوان یکی از طیف‌های مهم در تابش فعال فتوسنتزی در شرایط طبیعی باعث افزایش رشد، کاهش رادیکال‌های فعال اکسیژن، افزایش کارایی فتوسنتز و تحریک توسعه کلروپلاست می‌شود. همچنین نور آبی با تأثیر روی روزنه‌ها باعث باز شدن روزنه‌ها، افزایش هدایت هیدرولیکی برگ نسبت به نور قرمز، افزایش کارایی کلروپلاست، افزایش فعالیت آنزیم‌های مهار کننده رادیکال‌های اکسیژن، افزایش سنتز فلاونوئیدها و کاروتنوئیدها از طریق تأثیر روی چرخه زانتوفیل و افزایش رشد ریشه‌های سطحی، باعث بهبود عملکرد گیاه می‌شود. در نهایت ترکیب این دو طیف مهم نوری که در ترکیب با یکدیگر که طیف‌های مهم در تابش فعال فتوسنتزی هستند باعث کارایی بهتر گیاه می‌شود. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که با ترکیب دو طول موج قرمز و آبی، فتوسنتز خالص افزایش پیدا کرده و هدایت روزنه‌ای بواسطه

تنظیم دهانه روزنه افزایش می‌یابد و باعث بهبود مقاومت به تنش‌ها بواسطه افزایش غلظت آنتوسیانین‌ها و پتانسیل آنتی‌اکسیدانتی می‌شود (Savvides *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2012).

نور به عنوان منبع اصلی انرژی برای فتوسنتز، به عنوان سیگنال هایی در فرآیندهای بیان ژن، فیزیولوژی، مورفولوژی و متابولیسم نیز نقش دارد. پاسخ گیاهان به محیط نور با عملکرد گیرنده های نوری مشخص مشخص می شود. مسیرهای سیگنالینگ فیتوکروم ها، کریپتوکروم ها، فوتوتروپین ها و حسگرهای UVR8 برای تنظیم دقیق وضعیت رشد و فتوسنتز در گیاه یکپارچه شده اند (Ouzounis *et al.*, 2015). درک پاسخ های خاص هر گیاه و همچنین هم افزایی بین گیرنده های نوری و شبکه های سیگنالینگ فتوسنتز در انتخاب و زمان بندی تیمار های نور LED برای تنظیم رشد کمک می کند (Pocock, 2015). در سال ۲۰۱۴ Carvalho و Folta این مفاهیم را تعمیم داده و مفهوم "ارگانیسم های اصلاح شده زیست محیطی" را پیشنهاد داده اند: با تنظیم پارامترهای قابل کنترل محیطی (از جمله نور)، می توان صفات گیاه را در حد پتانسیل ژنتیکی آن تنظیم کرد و در مدت زمان کوتاه تری از اصلاح گیاهان یا سایر تغییرات ژنتیکی تغییرات مطلوبی در بهره وری، رشد و نمو گیاهان ایجاد کرد (Carvalho and Folta, 2014).

تشکر و قدردانی

از دانشجویان کارشناسی ارشد گروه باغبانی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران آقایان فرداد دیداران، محمدرضا خرم، مهدی سیف و خانم مارال حسین زاده قدردانی می‌شود.

منابع

Bayat, L., Arab, M., Aliniaeifard, S., Seif, M., Lastochkina, O. & Li, T. (2018). Effects of growth under different light spectra on the subsequent high light tolerance in rose plants. *AoB Plants* 10(5): ply052.

Bugbee, B. (2016).Toward an optimal spectral quality for plant growth and development: the importance of radiation capture. In *VIII International Symposium on Light in Horticulture 1134*, 1-12.

Carvalho, S. D. & Folta, K. M. (2014). Environmentally modified organisms–expanding genetic potential with light. *Critical Reviews in Plant Sciences* 33(6): 486-508.

Castilla, N. (2013). Greenhouse technology and management. Cabi.

Hosseini, A., Mehrjerdi, M. Z., Aliniaeifard, S. & Seif, M. (2019). Photosynthetic and growth responses of green and purple basil plants under different spectral compositions. *Physiology and Molecular Biology of Plants* 25(3): 741-752.

Li, H., Tang, C., Xu, Z., Liu, X. & Han, X. (2012). Effects of different light sources on the growth of non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* L.). *Journal of Agricultural Science* 4(4): 262.

Ouzounis, T., Razi Parjikolaei, B., Fretté, X., Rosenqvist, E. & Ottosen, C.-O. (2015). Predawn and high intensity application of supplemental blue light decreases the quantum yield of PSII and enhances the amount of phenolic acids, flavonoids, and pigments in Lactuca sativa. *Frontiers in plant science* 6: 19.

Pocock, T. (2015). Light-emitting diodes and the modulation of specialty crops: light sensing and signaling networks in plants. *HortScience* 50(9): 1281.۱۲۸۴-

Savvides, A., Fanourakis, D. & van Ieperen, W. (2012). Co-ordination of hydraulic and stomatal conductances across light qualities in cucumber leaves. *Journal of Experimental Botany* 63(3): 1135-1143.

Snowden, M. C., Cope, K. R. & Bugbee, B. (2016). Sensitivity of seven diverse species to blue and green light: interactions with photon flux. *PLoS One* 11(10): e0163121.

Optimization of lighting condition of controlled environments to maximize production and quality of greenhouse crops

Sasan Aliniaeifard
Head of Photosynthesis and Light Reactions Laboratory, Department of Horticultural Sciences, Aburaihan Campus, University of Tehran
aliniaeifard@ut.ac.ir

Abstract
Vast development in greenhouses production of crops all over the world and especially in Iran has been done to improve crop production and to optimize resource use efficiency. Greenhouse cover influences the intensity and quality of light inside the greenhouse. Furthermore, the tendency to produce crops in controlled environments that equipped with artificial light has been increased nowadays. Light as an energy source for photosynthesis determines the growth, morphology, development and yield of crops. Different characteristics of light including intensity, spectrum and photoperiod are the determining factors for the growth, morphology and yield of greenhouse crops. In a series of researches done in the photosynthesis and light reactions laboratory of University of Tehran on the role of different lighting conditions on diverse greenhouse crops such as: tomato, lettuce, basil, savory, rose, chrysanthemum, petunia, anthurium, gerbera, carnation, marigold and different types of bromeliads with various photosynthetic metabolisms, it were shown that different properties of light have significant effects on growth, physiology and yield of the mentioned crops. Furthermore, plant's resistance to various abiotic stresses, including high light intensity, gaseous pollutants, salinity and drought were also affected by growth lighting environment. The results showed that the light spectrum in the range of 600 to 700 nm increases the growth and yield of most of the mentioned crops and on the other hand the growth of plants exposed to the waveband range of 400 to 500 nm is often restricted. Despite the positive effects of the light spectrum in the range of 600 to 700 nm on plant growth, due to the negative effects of this spectrum range on photosynthesis and plant morphology (red light syndrome), lighting environment with red region waveband should be combined with the light spectrum range of 400 to 500 nm. Far red light region of the spectrum caused elongation of internodes. Despite of the negative effects of far red light on the growth and quality of crops, it positively affected the response of plants to stresses. Intensity and quality of light play a significant role in the sensitivity of the plant to diverse abiotic stresses (including drought, gaseous pollutants, salinity and cold). Also, it was found that extending the photoperiod or use of supplemental light on greenhouse crops positively influenced production and quality of the harvested product. The quality of the greenhouse crops was also affected by the spectrum and intensity of the lighting environment. For example, low intensity of ultraviolet light in preharvest stage caused positive impact on postharvest quality of lettuce. Furthermore, application of ultraviolet light on savory plants resulted in an increase in the amount of essential oil. In cut carnation flowers, the best post-harvest quality was obtained under blue light, while for plants such as roses and anthuriums (during cold storage), the best quality was obtained under red light or a high percentage of the red light spectral range. In conclusion, based on the findings obtained from the photosynthesis and light reactions lab highlights the importance of light management in the greenhouses and other controlled environments for production of greenhouse crops.
Keywords: Light, Light Intensity, Light Quality, Photoperiod, Photosynthesis, Greenhouse Crops, Controlled Environments