منابع نور در اتاقک رشد: دیودهای ساطع کننده نور(LED)

حسن ساری‌خانی
عضو هیات علمی، گروه علوم باغبانی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

در بسیاری از دستگاه‌های مورد استفاده برای رشد و نمو گیاهان مانند اتاقک رشد و همچنین انکوباتور و ژرمیناتور از منابع نور مصنوعی مانند لامپ‌های فلورسنت و در برخی موارد از لامپ‌های رشته‌ای یا کم مصرف استفاده می‌گردد. با اینکه لامپ‌های رشته‌ای طیف مناسبی از نور را تولید می‌کنند، به دلیل بازده پایین، استفاده از آنها معمول نیست و به جای آنها از لامپ‌های فلورسنت (خنک) استفاده می‌شود. با گسترش روز افزون استفاده از LED و بهبود دانش تولید آن، LED می‌تواند جایگزین ارزانتر و با دوام‌تری برای منابع نور شود. LED اختصار واژه دیود ساطع کننده نور است. در این دیودها با گذر جریان از آنها مقداری انرژی به صورت نور ساطع می‌شود. LEDها تا اواخر دهه گذشته فقط می‌توانستند سه نور آبی، سبز و قرمز تولید کنند که این موضوع باعث کاربرد محدود آنها بود، اما اکنون به آسانی با تغییر در ساختار فیزیکی و مواد تشکیل‌دهندهLED، نور در رنگ‌ها و شدت‌های مختلف و با طول موج مشخص با رنگ خالص تولید می‌شود. همچنین LEDها فاقد پرتوهای مادون قرمز و فرابنفشی هستند که سایر منابع روشنایی ایجاد می‌کنند و به همین دلیل امواج مضر را نداشته و به سلامت چشم و محیط آسیب نمی‌رسانند. LEDها تنوع بسیار زیادی از نظر کیفیت نور، زاویه تابش نور و مسافتی نوردهی دارند. هرچه زاویه تابش نور بسته تر باشد مسافتی که نوردهی رخ می دهد طولانی تر است. به همین دلیل در چراغ های راهنما از انواع با زاویه بسته استفاده می شود. اما برای استفاده در اتاقک رشد انواع با زاویه باز یا بسیار باز مورد نیاز هستند. در حال حاضر LED مزایای زیادی نسبت به منابع دیگر نور دارد. علاوه بر طول عمر طولانی LED، اندازه کوچک آنها، طول موج های ویژه ای که ایجاد می کنند، هدر رفت کم انرژی، قابل تنظیم بودن شدت و کیفیت نور از مزایای دیگر LED می‌باشند. این مزایا،LED را به عنوان یک منبع نور کامل برای رشد گیاهان در شرایط کنترل شده مانند کشت بافت و اتاقک های رشد به شمار می‌رود. از نور LED در موارد متعددی در شرایط گلخانه یا فیتوترون و در اتاقک رشد برای گیاهان کشت بافتی به عنوان منبع نور استفاده شده است.

مقدمه

در بسیاری از دستگاه‌های مورد استفاده برای رشد و نمو گیاهان مانند اتاقک رشد و همچنین انکوباتور و ژرمیناتور از منابع نور مصنوعی استفاده می شود. در این دستگاه‌ها، به طور معمول از لامپ‌های فلورسنت و در برخی موارد از لامپ‌های رشته‌ای یا کم مصرف استفاده می‌گردد. با اینکه لامپ‌های رشته‌ای طیف مناسبی از نور را تولید می‌کنند، به دلیل بازده پایین، استفاده از آنها معمول نیست و به جای آنها از لامپ‌های فلورسنت (خنک) استفاده می‌شود. اما مشکلی که در استفاده از این منابع نوری وجود دارد این است که این لامپ‌ها نیز بازده مصرف انرژی پایینی دارند و مقداری گرما تولید می‌کنند که با توجه به بسته بودن محیط اتاقک رشد تجمع گرمای بالایی صورت می‌گیرد. همچنین عمر آنها محدود بوده و نیاز به تعویض مداوم دارند. علاوه بر این موارد، طیف نور تولیدی این لامپ‌ها در بسیاری از موارد برای بسیاری از فعالیت‌های گیاهی مطلوب نبوده و برطرف کننده تمامی طول موج نوری مورد نیاز گیاهان نیستند. همچنین حجیم بودن و احتمال شکستن لامپ‌های مختلف حبابدار از دیگر معایب این لامپ‌ها می‌باشد.

با گسترش روز افزون استفاده از LED، به زودی LED خواهد توانست جایگزین ارزانتر و با دوام‌تری برای منابع کنونی شود. LED اختصار واژه دیود ساطع کننده نور (Light Emitting Diode) است (اکاموتو و همکاران، 1996). در ابتدا LEDها فقط به رنگ قرمز و سبز بودند اما یک تغییر بسیار عظیم در این صنعت در دهه 90 میلادی باعث شد که LED سفید رنگ تولید شود. هم اکنون به آسانی با تغییر

در ساختار فیزیکی و مواد تشکیل‌دهنده LEDها، می توان نور را در رنگ‌ها و شدت‌های مختلف و با طول موج مشخص و با رنگ کاملاً خالص تولید کرد. LEDهای سفید قابلیت تولید همه نوع رنگ را داشته و علاوه بر آن از انرژی بسیار کمی برای تولید روشنایی استفاده می‌کنند. اما برخلاف لامپ‌های معمولی، آنها فیلامانی که بسوزد ندارند و به ویژه اینکه گرم نمی‌شوند و فقط با حرکت الکترون‌ها در یک ماده نیمه هادی نور می‌دهند. از سوی دیگر با توجه به اینکه LEDها قابلیت تغذیه هم با جریان AC و هم جریان DC با مصرف کم را دارند، لذا می‌توانند از منابع انرژی خورشیدی و یا باطری نیز جهت تامین انرژی خود استفاده کنند. از دیگر فواید LEDها، عمر مفید طولانی آنها و عدم استفاده از مواد سمی و کشنده مانند جیوه است که دربرخی لامپ‌های تابان و فلورسنت‌ها کاربرد دارند (بولا و همکاران، 1991؛ اکاموتو و همکاران، 1996؛ زو و همکاران 2009).

به طور معمول در کشت بافت گیاهی و در اتاقک های رشد، شدت نور بین 15 تا 65 میکرومول بر متر مربع در ثانیه استفاده می‌شود. البته شدت نور مورد نیاز در دوره‌های مختلف کشت بافت متفاوت است اما شدت نور بسیار بالا (بالاتر از 315 میکرومول بر متر مربع در ثانیه) به طور معمول به دلیل اثرات منفی نور و تخریب اکسیداتیو نور باعث تخریب دستگاه فتوسنتزی می شود (کودیم و زاپاتا-اریاز، 1999). از آنجایی که استفاده از منابع مورد استفاده نور مصنوعی در اتاقک رشد بین 30 تا 95 درصد اتلاف انرژی و ایجاد گرما دارد که خود باعث بروز مشکلاتی از قبیل افزایش هزینه خنک کردن، به ویژه در فصل تابستان، ایجاد می‌کند، به نظر می‌رسد با استفاده از نور حاصل از LED در اتاقک رشد آزمایشگاه کشت بافت، بتوان نور مورد نیاز را تامین نموده و گیاهان را در اتاقک رشدی پرورش داد که از نور LED برای روشنایی آن استفاده شده است.

دیودهای ساطع کننده نور (LED)

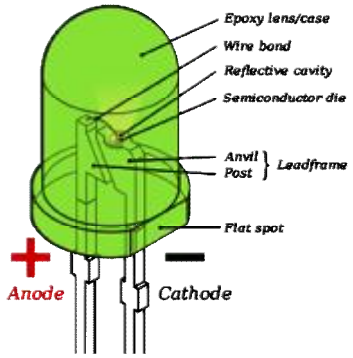
دیودهای ساطع کننده نور در واقع جزء خانواده دیودها هستند. در این دیودها با گذر جریان از آنها مقداری انرژی به صورت نور ساطع می‌شود. LEDها تا اواخر دهه گذشته فقط می‌توانستند سه نور آبی، سبز و قرمز تولید کنند که این موضوع باعث کاربرد محدود آنها بود، اما اخیرا LED هایی با رنگ آبی وارد بازار شده‌اند که می‌توانند نور سفید با هاله‌ای از رنگ آبی تولید کنند. LEDها که از دهه‌های گذشته در الکترونیک مورد استفاده قرار می‌گرفتند، بیشتر برای نمایش خاموش یا روشن بودن نمایشگرها در لوازم مولتی مدیا مورد استفاده قرار گرفتند. اما درحال‌حاضرLED ها به نحوی ساخته می‌شوند که نور را در جهت خاصی متمرکز می‌کنند. در ابتدا بزرگ‌ترین مشکل لامپ‌های LED رنگ آن‌ها بود. اما اکنون به آسانی با تغییر در ساختار فیزیکی و مواد تشکیل‌دهندهLED، نور در رنگ‌ها و شدت‌های مختلف و با طول موج مشخص با رنگ خالص تولید می‌شود. همچنین LEDها فاقد پرتوهای مادون قرمز و فرابنفشی هستند (جدول 1) که سایر منابع روشنایی ایجاد می‌کنند و به همین دلیل امواج مضر را نداشته و به سلامت چشم و محیط آسیب نمی‌رسانند (بارتا و همکاران، 1992؛ اکاموتو و همکاران، 1996).

LED فرم ویژه ای از دیودهای نیمه هادی است که شامل یک تراشه از مواد نیمه هادی بوده که اتصال آند-کاند را ایجاد می‌کنند. جریان الکترون به راحتی به صورت یکطرفه از طرف آند به طرف کاتد جریان می‌یابد ولی در مسیر مقابل انتقال نمی‌یابد. وقتی یک الکترون به یک حفره برخورد می‌کند به سطح انرژی پایین‌تری سقوط می‌کند و مقداری انرژی را به صورت فوتون آزاد می‌کند. رنگ (طول موج) نور ساطع شده به انرژی باندی مواد تشکیل دهنده اتصال آند-کاند ارتباط دارد (شکل 1). مواد تشکیل دهنده یک LED می‌توانند طول موج‌های مختلفی را از نزدیک مادون قرمز، بخش مرئی تا نزدیک ماورای بنفش را ایجاد کنند. LEDها تنوع بسیار زیادی از نظر کیفیت نور، زاویه تابش نور و مسافتی نوردهی دارند. هرچه زاویه تابش نور بسته تر باشد مسافتی که نوردهی رخ می دهد طولانی

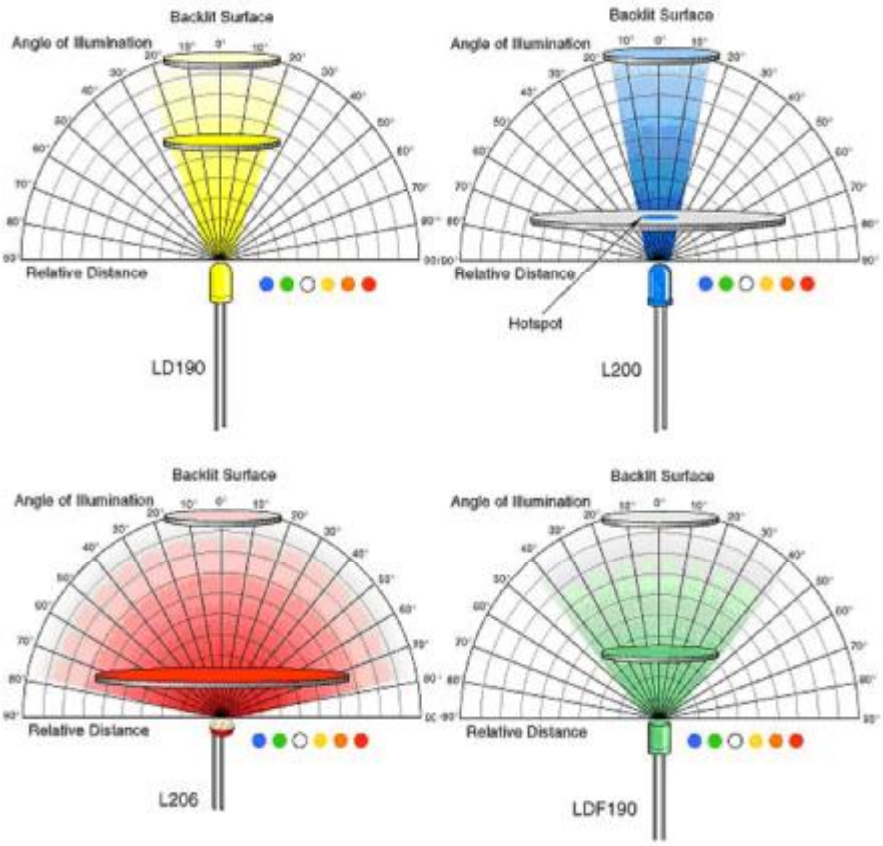
تر است. به همین دلیل در چراغ های راهنما از انواع با زاویه بسته استفاده می شود. اما برای استفاده در اتاقک رشد انواع با زاویه باز یا بسیار باز مورد نیاز هستند (شکل 2).

جدول 1- ویژگی‌های طیفی منابع مختلف نوری (بارتا و همکاران، 1992).

نوع منبع نوری	درصد فوتون های خروجی با طول موج (نانومتر)				
	300 تا 400	400 تا 500	500 تا 600	600 تا 700	700 تا 1100
LED قرمز	0/0	0/0	0/1	98/9	1/0
سدیمی پرفشار	0/3	4/0	23/2	31/8	40/7
متال هالید	6/5	14/5	38/2	14/7	26/0
فلورسنت سفید خنک	2/4	18/7	49/2	23/5	6/2



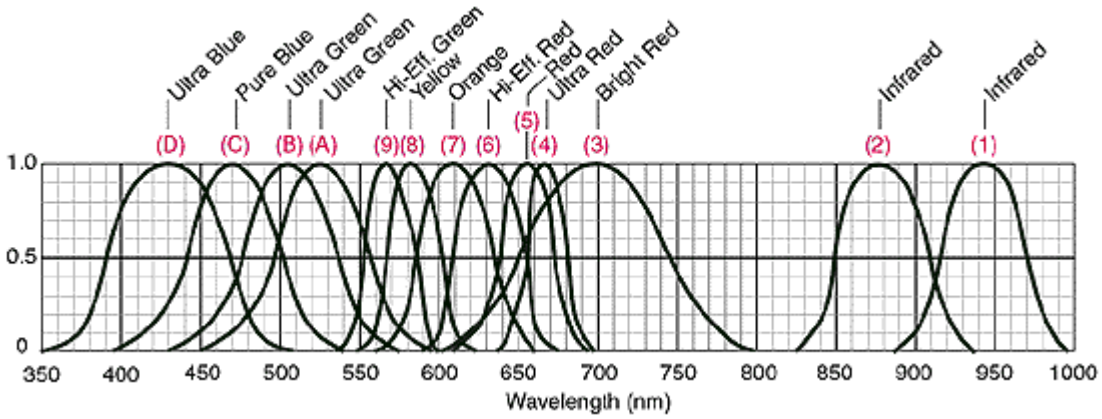
شکل 1- ساختار کلی LED



شکل 2- زاویه تابش و مسافت نوردهی در LED های مختلف. الف) LED با زاویه تابش باریک (بین 8 تا 20 درجه) که مسافت نوردهی طولانی را دارد، ب) LED با زاویه تابش متوسط (بین 30 تا 45 درجه) که مسافت نوردهی متوسط را دارد، ج) LED با زاویه تابش باز (120 درجه) که مسافت نوردهی کم را دارد و د) LED با زاویه تابش خیلی باز (160 درجه) که مسافت نوردهی خیلی کوتاه را دارد.

در حال حاضر LED مزایای زیادی نسبت به منابع دیگر نور دارد. علاوه بر طول عمر طولانی LED، اندازه کوچک آنها، طول موج های ویژه ای که ایجاد می کنند، هدر رفت کم انرژی، قابل تنظیم بودن شدت و کیفیت نور از مزایای دیگر LED می‌باشند (اکاموتو و همکاران، 1996). شکل 3 تنوع کیفیت نور LED های مختلف را نشان می دهد. این مزایا،LED را به عنوان یک منبع نور کامل برای رشد گیاهان در شرایط کنترل شده مانند کشت بافت و اتاقک های رشد به شمار می‌رود. در آزمایش وو و همکاران (2007) محتوای کلروفیل و وزن تازه در شرایط نور LED بیشتر از لامپ فلورسنت مشاهده گردید.

از LED در موارد متعددی در اتاقک رشد برای گیاهان کشت بافتی به عنوان منبع نور استفاده شده است(میاشیتا و همکاران، 1997؛ لیان و همکاران، 2002؛ دوانگ و همکاران، 2002؛ هیو و همکاران، 2002؛ نات و همکاران، 2003؛ کیم و همکاران، 2004؛ زو و همکاران 2009؛ لیو و لیو، 2009؛ ساسانی‌هما، 1390). هیو و همکاران (2002) مشاهده کردند که کیفیت متفاوت نور روی مدت زمان لازم برای گلدهی موثر است. در نور آبی و قرمز در صورتی که جداگانه استفاده شوند، گلدهی مشاهده نکردند. آنها همچنین نتیجه گیری کردند که LED قابلیت استفاده برای گیاهچه‌های جعفری و مریم گلی در اتاقک رشد را دارد.



شکل 3- شدت نسبی و طول موج LED های مختلف.

واکنش گیاهان به کیفیت نور

رشد و مورفولوژی

مشخص شده است که نور آبی برای رشد طبیعی دانهال های کاهوی رشد کرده تحت نور LED قرمز ضروری است. در صورتی که نور آبی کم باشد برگها کشیده شده و باریک می شوند. به کار بردن نور آبی در شرایطی که نور قرمز وجود داشته باشد باعث افزایش سطح برگ در کاهو می شود (داگر و باگ بی، 2004). اکاموتو و همکاران (1996) تاثیر نوردهی مصنوعی با LEDهای قرمز و آبی را بر رشد و نمو گیاهان بررسی کردند و نتیجه گرفتند که بسیاری از گیاهان می‌توانند تحت LEDهای قرمز و آبی رشد کنند و نسبت مناسب بین نور قرمز و آبی روی رشد آنها موثر است. یاناگی و اکاموتو (1997) اثر شدت‌های مختلف نور حاصل از LED های آبی و قرمز را بر میزان فتوسنتز توت فرنگی بررسی کردند و نتیجه گیری کردند که بازده فتوسنتزی تحت نور قرمز تنها 2/5 برابر بیشتر از نور آبی تنها است. همچنین آنها نتیجه گیری کردند که بازده فتوسنتزی نورهای آبی و قرمز با هم متفاوت است. اپیلگرن (1991) نتیجه گرفت که کیفیت نور روی مورفولوژی و رشد گیاه شمعدانی در شرایط درون شیشه‌ای موثر است. نسبت نور قرمز به قرمز دور در کشیده شدن طول ساقه موثر است. در زمانی که نور قرمز تنها به گیاه تابیده می‌شود نسبت نور قرمز به قرمز دور افزایش می‌یابد و به همین دلیل کشیده شدن ساقه بیشتر می‌شود. در نور آبی کشیده شدن طول ساقه مشابه نور سفید است. در نور آبی غالبیت انتهایی کاهش یافت و باعث افزایش تولید شاخه‌های فرعی گردید (چی و پول، 1989).

عملکرد و وزن خشک

براون و همکاران (1995) رشد و وزن خشک گیاهان فلفل رشد کرده در شرایط نور LED های قرمز را با گیاهان مشابه رشد کرده در شرایط LED قرمز که با نورهای آبی یا قرمز دور ترکیب شده بودند را مقایسه کردند. وزن تازه فلفل زمانی که در نور قرمز بدون نور آبی قرار گرفته بود در مقایسه با گیاهان رشد کرده در شرایط نور فلورسنت آبی کاهش یافت. نور قرمز دور باعث ایجاد گیاهان بلندتر با وزن ساقه بیشتر نسبت به LED قرمز تنها گردید. در حالیکه نور قرمز به همراه قرمز دور، تعداد برگ‌های کمتری را در مقایسه با نور آبی تولید کرد.

محتوای کلروفیل

تاثیر کیفیت نور در آزمایشهای مختلفی بر محتوای کلروفیل کل و هر کدام از کلروفیل‌ها به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفته است (مولئو و مورینی، 2006؛ وو و همکاران، 2007؛ آوکونا و مولئو، 2010). آوکونا و مولئو (2010) مشاهده کردند که کیفیت نور بر محتوای کلروفیل در گیاهان کشت بافتی گیلاس تاثیر دارد. بالاترین محتوای کلروفیل کل در تیمار نور قرمز به همراه نور آبی مشاهده کردند. مقدار کل کلروفیل در تیمار نور آبی پس از تیمار نور قرمز+ آبی قرار گرفت. در حالیکه در تیمار نور قرمز تنها و سفید تنها کلروفیل کمتری تولید شد و کمترین مقدار کلروفیل را در تیمار قرمز دور مشاهده کردند. نور آبی سبب افزایش میزان کلروفیل کل گردید در مقابل در نور سفید کلروفیل کمتری تولید شد (وو و همکاران، 2007؛ ساسانی‌هما، 1390).

تولید متابولیت‌ها و ظرفیت آنتی اکسیدانی

وو و همکاران (2007) در آزمایشی اثر پرتو های LED را در افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی دانهال های نخود بررسی کردند. آنها با بکارگیری نور قرمز LED با طول موج 625 تا 630 نانومتر و نور آبی با طول موج 465 تا 470 نانومتر به عنوان منابع نوری تغییرات محتوای کلروفیل، بتا کاروتن و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را اندازه‌گیری کردند. نور قرمز باعث افزایش طول ساقه، سطح برگ، محتوی بتا کاروتن و فعالیت آنتی اکسیدانی دانهای های نخود گردید. در مقابل نور آبی میزان کلروفیل و وزن دانهال را به طور معنی داری افزایش داد. بالاترین ظرفیت آنتی اکسیدانی در نور قرمز مشاهده گردید که پس از آن نور سفید ظرفیت آنتی اکسیدانی بالاتری داشتند. در نور آبی ظرفیت آنتی اکسیدانی کمتر بود. در تاریکی مطلق کمترین مقدار بود. محتوای بتا کاروتن تحت تاثیر نور قرمز قرار گرفت و در این تیمار بالاترین مقدار اندازه‌گیری شد.

در کل می‌توان چنین نتیجه گیری نمود که استفاده از منابع نور مصنوعی با اتلاف بالای انرژی از لحاظ اقتصادی همواره مشکل ساز بوده و یکی از دلایل هزینه‌های بالای کشت بافت به این هزینه‌ها بر می‌گردد. بنابراین به لحاظ دارا بودن ارزش اقتصادی و همچنین کاربردی بودن استفاده از منابع نوری ارزان با دشواری استفاده کم، به نظر می‌رسد با استفاده از LEDها بتوان نور مناسب برای رشد و نمو گیاه در شرایط درون شیشه‌ای را فراهم نمود.

منابع

ساسانی هما، ر. 1390. اثر نور LED بر رشد گیاه و کیفیت اسانس آویشن شیرازی (*Zataria multiflora*) در شرایط درون شیشه‌ای. پایان نامه کارشناسی ارشد در درشته علوم باغبانی، دانشگاه بوعلی سینا.

Appelgren M. 1991. Effects of light quality on stem elongation of *Pelargonium in vitro*. Scientia Horticulturae, 45: 345-351.

Barta D.J., Tibbitts, T.W. Bula R.J. and Morrow, R.C. 1992. "Evaluation of light emitting diode characteristics for a space-based plant irradiation source. Adv. Space Res., 12 (5): 141-149.

Bula, R.J., Morrow, R.C., Tibbitts T.W., Ignatius, R.W., Martin, T.S. and Barta, D.J., 1991. Light emitting diodes as a radiation source for plants. HortScience, 26: 203-205.

Chee, R. and Pool, R.M. 1989. Morphogenic responses to propagule trimming, spectral irradiance, and photoperiod of grapevine shoots recultured *in vitro*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114 (2): 350–354.

Dougher, T.A.O. and Bugbee, B.G. 2004. Long-term blue-light effects on the histology of lettuce and soybean leaves and stems. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 129: 467-472.

Duong T.N., Hong, L.T.A. Watanabe H., Goi M. and Tanaka, M. 2002. Growth of banana plantlets cultured *in vitro* under red and blue light-emitting diode (LED) irradiation source. Acta Horticulturae 575: 117–124.

Heo, J., Lee, C., Chakrabarty, D. and Paek, K. 2002. Growth responses of marigold and salvia bedding plants as affected by monochromic or mixture radiation provided by a Light-Emitting Diode (LED). Plant Growth Regulation, 38 (3): 225-230.

Iacona C. and Muleo, R. 2010. Light quality affects in vitro adventitious rooting and ex vitro performance of cherry rootstock Colt. Scientia Horticulturae, 125: 630-636.

Kim S.J., Hahn, E.J. Heo J.W. and Paek, K.Y. 2004. Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets *in vitro*. Scientia Horticulturae 101: 143–151.

Kodym, A. and Zapata-Arias, F.J. 1999. Natural light as an alternative light source for the in vitro culture of banana (Musa acuminate cv 'Grande Naine'). Plant Cell Tiss. Org. Cult. 55: 141–145

Lian, M., Murthy, H.N. and Paek, K. 2002. Effects of light emitting diodes (LEDs) on the in vitro induction and growth of bulblets of Lilium oriental hybrid 'Pesaro'. Scientia Horticulturae 94: 365-370.

Liu, Q. and Liu, Q. 2009. Commercial micropropagation of ornamental plants in China. Chronica Horticulture, 50(1): 16-20.

Miyashita Y., Kimura, T. Kitaya, Y. Kubota C. and Kozai, T. 1997. Effect of red light on the growth and morphology if potato plantlets in vitro: using light emitting diodes (LEDs) as a light source for micropropagation. Acta Horticulturae 418: 169–173.

Muleo, R. and Morini, S. (2006) "Light quality regulates shoot cluster growth and development of MM106 apple genotype in *in vitro* culture". Scientia Horticulturae 108: 364-370.

Nhut, D.T. Takamura, T. Watanabe, H. Okamoto, K. and Tanaka M. 2003. Responses of strawberry plantlets cultured in vitro under superbright red and blue light-emitting diodes (LEDs). Plant Cell, Tissue and Organ Culture 73: 43–52.

Okamoto, K., Yanagi, T., Takita, S., Tanaka, M., Higuchi, T., Ushida, Y. and Watanabe, H. 1996. Development of plant growth apparatus using blue and red LED as artificial light source. Acta Horticulturae 440:111-116.

Wu M., Hou, C. Jiang, C. Wang, Y. Wang, C. Chen, H. and Chang, H. 2007. A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings. Food Chemistry 101: 1753-1758.

Xu, Z.G., Cui, J. and Jiao, X.L. 2009. Biological effects and energy efficiency of different spectral energy distributions from LED on plantlets in vitro (in Chinese, English summary). p.241-247. In: J. Li, Plant Cell Tissue Culture Technol. Beijing: China Sci. Technol. Press.

Yanagi T. and Okamoto, K. 1997. Utilization of super-bright light emitting diodes as an artificial light source for plant growth. Acta Horticulturae 418: 223–228.