

发光二极管光源对绿萝生长及光合特性的影响

吴家森¹, 付顺华¹, 郑军², 周国泉²

(1. 浙江林学院 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江林学院 理学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 为了解发光二极管(LED)对植物生长及光合特性的影响, 选择绿萝 *Epipremnum aureum* 作为材料, 栽种于2种LED和日光灯中45 d后测定其生长指标及光合特性。结果表明: LED或日光灯条件下栽培绿萝在苗高、叶片数和叶片宽等指标上无差异, LED使绿萝叶间距缩短, 叶长增长, 但不同光质LED(红/蓝)之间无显著差异; 绿萝光合速率、胞间二氧化碳摩尔分数、蒸腾速率和气孔导度表现为LED处理大于日光灯, LED处理中又以红蓝光(R/B)为4.3:1.0大于2.8:1.0。图4表2参13

关键词: 植物学; 发光二极管光源; 植物生长; 光合特性; 绿萝

中图分类号: S687 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2008)06-0739-04

Epipremnum aureum: growth and photosynthetic response to light-emitting diodes(LED)

WU Jia-sen¹, FU Shun-hua¹, ZHENG Jun², ZHOU Guo-quan²

(1. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China;

2. School of Sciences, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: Light-Emitting Diode(LED) is turning into an important research field as a promising irradiation source for plant factory. To determine the influence of LED on growth and photosynthesis of *Epipremnum aureum*, a fluorescent lamp and two LEDs, the combination of red and blue LED (R/B) = 2.8 and R/B = 4.3, were used with seedling height, leaf number, leaf width, leaf spacing, leaf length, light quality, net photosynthetic rate, intercellular CO₂ concentration, transpiration rate, and stomatal conductance being measured after 45 d of growth with three replications. Results of a *t* test for the a fluorescent lamp and two LEDs showed no significant difference ($P > 0.05$) for seedling height, leaf number, and leaf width, but significant difference ($P < 0.05$) for leaf spacing and leaf length, leaf spacing for LEDs decreased, whereas corresponding leaf length increased. With the two LEDs, light quality differences were slight. Also, significant difference ($P < 0.05$) for net photosynthetic rate, intercellular CO₂ concentration, transpiration rate, and stomatal conductance, these indexes with LEDs were higher than for a fluorescent lamp. Thus, for the two LED sources, the LED with R/B = 4.3 was more suitable for growth of *E. aureum*. [Ch, 4 fig. 2 tab. 13 ref.]

Key words: botany; light-emitting diode(LED) light source; plant growth; characteristics of photosynthesis; *Epipremnum aureum*

发光二极管(light-emitting diode, LED)是利用固体半导体芯片作为发光材料, 当两端加上正向电压, 半导体中的载流子发生复合, 放出过剩的能量而引起光子发射产生可见光^[1], 具有高光电转换效率、体积小、寿命长、波长固定和发热低等优点, 相对于目前使用荧光灯或高压钠灯为人工光源的系

收稿日期: 2008-03-14; 修回日期: 2008-04-25

基金项目: “十一五”浙江省科学技术计划项目(2007C22064)

作者简介: 吴家森, 高级实验师, 从事植物生理生态学研究。E-mail: jswu@zjfc.edu.cn

统而言, 具有光量可调整, 光质(红/蓝光比例或红/远红光比例)可调整、冷却负荷低与单位栽培量提高等优点。LED 以它固有的优势被业界认为是替代其他人工光源最有潜力的产品^[2]。在国外, LED 已经被应用于许多植物光生理领域的研究或植物栽培上, 如叶绿素合成^[3]、光形态发生^[4]和光合作用^[5-6]等研究上。在国内, 仅有饶瑞佶等^[7]、郭双生等^[8]对 LED 应用于植物栽培进行了初步研究, 而光合特性能较直接地反应植物对不同环境的适应^[9-10]。本研究以绿萝 *Epipremnum aureum* 为材料, 探讨 LED 对其生长及光合特性的影响, 为 LED 在植物栽培与理论研究上提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验设备

本研究使用 2 种光源系统, 分别是日光灯(F30/T8 880-S, 佛山照明电器股份有限公司); LED1(红/蓝 = 2.8 : 1.0), LED2(红/蓝 = 4.3 : 1.0)。其中, 红光 LED 型号: CH-HE3B04ALD; 标称电压: 2.0 ~ 2.1 V; 波长: 626 ~ 629 nm; 亮度: 22 ~ 25 cd。蓝光 LED 型号: CH-HB3B04ALD-G; 标称电压: 3.0 ~ 3.2 V; 波长: 465 ~ 468 nm; 亮度: 5 ~ 7 cd。

1.2 试验材料

绿萝扦插苗由浙江林学院国家林业局林木良种基地提供, 苗高 10 cm, 叶片 3 片, 种植于营养钵中。

1.3 方法

将绿萝扦插苗分别置于不同光源的植物生长箱中, 每处理 1 株, 重复 3 次。生长箱中的条件是: 温度为日 25 °C/夜 20 °C, 光周期为日 14 h/夜 10 h, 光量子通量为 $(90 \pm 20) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 相对湿度为 70%。培育 45 d 后进行相关指标测定。

植物生长参数: 分别量测新生长的苗高、叶间距、叶片数量、叶片长和叶片宽。

气体交换参数测定: 于 2007 年 12 月 25 日上午 9 : 30 - 11 : 00 时, 对不同光源系统培育的绿萝进行光合特性测定。测定叶片为顶端往下的第 3 片功能叶, 光响应曲线利用 Li-6400(美国 LI-Cor 公司)红蓝光源 6400-02 测定, 测量时的叶室温度设置为 25 °C, 二氧化碳摩尔分数为 $370 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, 光照强度梯度设置 0, 50, 100, 200, 300, 500 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 测定的指标有光合速率(P_n), 蒸腾速率(T_r), 胞间二氧化碳摩尔分数(G_s), 气孔导度(G_s)等。每处理测定 3 株, 每株 1 张叶片。同时利用 SPAD-502(日本 Minolta 公司)叶绿素仪测定叶绿素相对含量。

2 结果与分析

2.1 不同光源对绿萝生长的影响

绿萝在不同光源条件下栽培 45 d 后的生长指标见表 1。从表 1 中可知, 使用不同的光源对绿萝苗高、叶片数和叶片宽等指标上并无差异, LED 光源条件下生长的绿萝叶间距缩短, 叶长增长, 但不同光质 LED(红/蓝)之间无显著差异。与日光灯相比, 叶长平均增加了 1.55 cm, 而叶间距缩短了 1.40 cm。

表 1 不同光源条件下绿萝的生长指标

Table 1 Growth indices of *Epipremnum aureum* under different light sources

处理	苗高/cm	叶间距/cm	叶片数	叶片长/cm	叶片宽/cm
日光灯	3.5 ± 0.31 a	3.9 ± 0.29 a	2 ± 0.00 a	6.5 ± 0.63 b	5.2 ± 0.39 a
LED1	3.2 ± 0.25 a	2.6 ± 0.26 b	2 ± 0.00 a	8.0 ± 0.50 a	5.0 ± 0.48 a
LED2	3.0 ± 0.23 a	2.3 ± 0.24 b	2 ± 0.00 a	8.1 ± 0.51 a	5.1 ± 0.44 a

说明: 表中数据为新生长植株情况; 不同字母表示在 $P < 0.05$ 水平差异显著。

2.2 LED 对绿萝光合特性的影响

光响应曲线反映了植物光合速率随光照强度的变化而变化的规律^[8]。从图 1 可以看出, 随着光量子通量的增大, 净光合速率几乎呈直线上升; 当光量子通量达到一定值后, 净光合速率增加的幅度就逐渐减慢, 最后达到一定限度, 不再随光量子通量的增加而增加, 即达到光饱和。图 1 表明, 在相同

条件下, 绿萝的光合速率均表现为 LED2(红/蓝 = 4.3) > LED1(红/蓝 = 2.8) > 日光灯。

通过光响应曲线可以计算出光补偿点、光饱和点和最大净光合速率, 计算结果见表 2。由于植物在光补偿点时不能积累干物质, 因此, 光补偿点的高低可以作为判断植物在低光照强度条件下能否生长的标志。光补偿点越小表明植物利用弱光的能力越强, 在 LED 光源条件下绿萝的光补偿点比日光灯下低, 且随着红/蓝光比例的增高而降低。植物在光饱和点时光合速率最大, 因此, 光饱和点反映了植物利用强光的能力, 越高说明植物在受到强光时不易发生抑制, 植物的耐阴性越强, 在 LED 光源条件下绿萝的光饱和点均高于日光灯下, 且随着红/蓝光比例的增高而增高。在 LED 光源条件下绿萝的最大净光合速率比日光灯下高, 且随着红/蓝光比例的增高而增大。这与 LED 光源条件下叶绿素含量相对较高也是相符的。

图 2 可知, LED 光源条件下绿萝的气孔导度始终大于日光灯下, 但随着光照强度的增强, LED 光源条件下生长的绿萝气孔导度明显下降, 且速度较快。气孔的关闭导致植物蒸腾速率不断下降。从图 4 中可知, 绿萝蒸腾速率表现为 LED 光源下始终高于日光灯, 且随着光照强度的增大, 蒸腾速率明显下降。光量子通量小于 $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 由于气孔的关闭和光合速率的增大绿萝胞间二氧化碳摩尔分数不断下降, 且日光灯处理下降速度明显大于 LED 处理, 而后各处理趋于平稳并处于相近水平。

表 2 不同光源条件下绿萝的光合生理指标

Table 2 Physiological indices of photosynthesis for *Epipremnum aureum* under different light sources

处理	叶绿素相对含量	光补偿点/ $(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	光饱和点/ $(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	最大净光合速率/ $(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$
日光灯	39.3 ± 2.01 a	7.01 ± 1.02 a	91.00 ± 1.82 c	2.22 ± 0.04 c
LED1	41.9 ± 2.22 a	4.80 ± 0.86 b	132.00 ± 4.15 b	3.31 ± 0.16 b
LED2	41.7 ± 2.15 a	3.86 ± 0.58 b	236.00 ± 8.56 a	4.69 ± 0.31 a

说明: 不同字母表示在 $P < 0.05$ 水平差异显著。

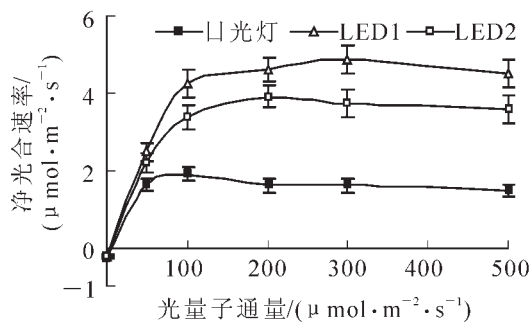


图 1 绿萝光合作用光响应曲线

Figure 1 Light response curves of responsive curve of photosynthetic rate of *Epipremnum aureum*

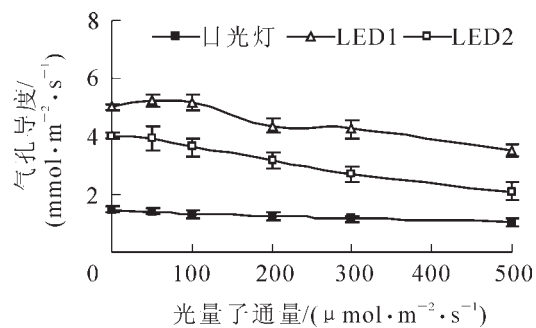


图 2 绿萝气孔导度对光强的响应

Figure 2 Light response curves of stomatal conductance of *Epipremnum aureum*

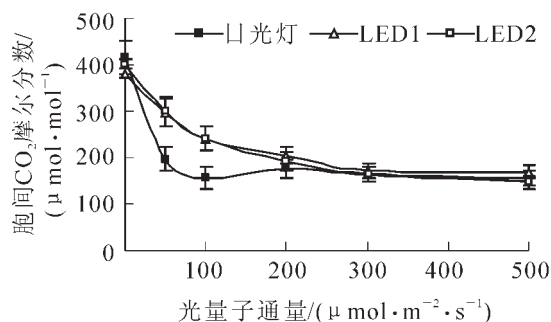


图 3 绿萝胞间二氧化碳对光强的响应

Figure 3 Light response curves of intercellular CO_2 concentration of *Epipremnum aureum*

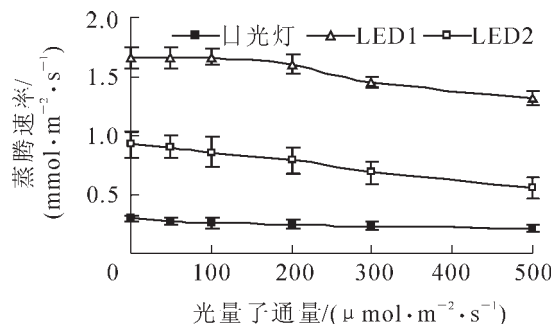


图 4 绿萝蒸腾速率对光强的响应

Figure 4 Light response curves of transpiration rate of *Epipremnum aureum*

3 讨论与结论

世界上最早报道 LED 用于植物栽培的是日本三菱公司, 1982 年就有关于波长 650 nm 的红色 LED 光源用于温室番茄 *Lycopersicon esculentum* 补光的试验报告。此后, 美国 NASA 研究中心也开展了相关的研究, 并希望 LED 作为太空环境下植物栽培的重要光源^[11]。Okamoto 等^[12]使用超高亮度红光 LED 和蓝光 LED, 在红蓝光(R/B)为 2 : 1 时, 可以正常培育莴苣 *Lactuca sativa*; Nhut 等人^[13]用不同组合 LED 与荧光灯相比较对组培香蕉 *Musa nana* 苗的生长状况进行了研究, 结果表明, 在红蓝光(R/B)为 4 : 1 时, 试管苗的芽和根鲜质量明显高于其他处理。而在国内, 饶瑞佶等^[7]将 LED 应用于蝴蝶兰 *Phalaenopsis aphrodite* 组培苗的培育, 发现与荧光灯下培育的种苗相比除了叶长之外并无明显差异; 郭双生等^[8]对适合植物栽培的 LED 组合光源进行了研究, 表明红色和蓝色 LED 组合下的植株生长基本正常, 但红蓝光(R/B)为 9 : 1 时更为适宜。本研究结果表明, 与荧光灯相比, 使用 LED 组合下的绿萝在苗高、叶片数、叶片宽等指标并无差异, 但叶间距缩短, 叶长增长, 叶长平均增加了 1.55 cm, 而叶间距缩短了 1.40 cm; LED 组合下的绿萝光补偿点下降, 光饱和点升高, 光合能力增强, 特别是红蓝光(R/B)为 4.3 : 1.0 时效果更加明显; 绿萝胞间二氧化碳浓度、蒸腾速率和气孔导度表现为 LED 处理大于日光灯, LED 处理中又以红蓝光(R/B)为 4.3 : 1.0 大于 2.8 : 1.0。

参考文献:

- [1] 张巨芳. 第 4 代新光源——LED[J]. 安徽电子信息职业技术学院学报, 2006, 5 (5): 78 - 79.
- [2] 魏灵玲, 杨其长, 刘水丽. LED 在植物工厂中的研究现状与应用前景[J]. 农业工程科学, 2007, 23 (11): 408 - 411.
- [3] TRIPATHY B C, BROWN C S. Root-shoot interaction in the greening of wheat seedlings grown under red light[J]. *Plant Physiol*, 1995, 107: 407 - 411.
- [4] HOENECKE M E, BULAR J, TIBBITS T W. Importance of “Blue” photon levels for lettuce seedlings grown under red-light-emitting diodes[J]. *Hortic Sci*, 1992, 27 (5): 427 - 430.
- [5] TENNESSEN D, SINGSAAS E L, SHARKEY T D. Light-emitting diodes as a light source for photosynthesis research [J]. *Photosynth Res*, 1994, 39 (1): 85 - 92.
- [6] TENNESSEN D J, BULA R, SHARKEY T D. Efficiency of photosynthesis in continuous and pulsed light emitting diode irradiation[J]. *Photosynth Res*, 1995, 44 (3): 261 - 269.
- [7] 饶瑞佶, 方炜, 蔡田龙. 超高亮度红、蓝光 LED 应用于蝴蝶兰组培苗栽培之研究[J]. 农业机械学刊, 2003, 12 (4): 93 - 100.
- [8] 郭双生, 艾为党, 赵成坚, 等. 受控生态生保系统中植物生长光源的选择[J]. 航天医学与医学工程, 2003, 16 (S1): 490 - 493.
- [9] 林文杰, 伍建榕, 马焕成. 印楝在干热河谷的适应性[J]. 浙江林学院学报, 2007, 24 (5): 538 - 543.
- [10] 李晓征, 彭峰, 徐迎春, 等. 不同遮荫下多脉青冈和金叶含笑幼苗叶片的气体交换日变化 [J]. 浙江林学院学报, 2005, 22 (4): 380 - 384.
- [11] BARTA D J, TIBBITS T W, BULAR J, et al. Evaluation of lighting-emitting diodes characteristics for a space-based plant irradiation source[J]. *Adv Space Res*, 1992, 12: 141 - 149.
- [12] OKAMOTO K, YANAGI T, TAKITA S. Development of plant growth apparatus using blue and red LED as artificial light source[J]. *Acta Hort*, 1996, 440: 111 - 116.
- [13] NHUT D, DON N, TANAKA M. Light-emitting diodes as an effective lighting source for in vitro banana culture[M]// MOHAN J S, HÄGGMAN H. *Protocols for Micropropagation of Woody Trees and Fruits*. Dordrecht: Springer Netherlands, 1998: 527 - 541.