

园林照明对窄叶石楠光合指标的影响

段 然^{1,2}, 杨春宇², 苏加福³

(1. 重庆工商大学 艺术学院, 重庆 400067; 2. 重庆大学 建筑城规学院, 重庆 400030;
3. 重庆工商大学 国家智能制造服务国际科技合作基地, 重庆 400067)

摘要: 为得出园林照明对园林植物光合指标的影响,对园林植物窄叶石楠(*Photiniaserrulata*)进行 5 种不同光谱的发光二极管(LED)照射,每种光谱设置 3 级光照强度,并测量植物净光合速率及植物光合有效辐射。结果表明:相同光照强度,天然光照下植物的光合有效辐射最高;人工光源照射下,窄叶石楠净光合速率随光照强度升高而升高;绿光 LED(530 nm)照射,植物的光合有效辐射随光照强度增高,但净光合速率始终为负。

关键词: 照明; 发光二极管(LED); 光谱能量分布; 光照强度

中图分类号: TU113.1

文献标志码: A

Effect of Landscape Lighting on Photosynthetic Indices of *Photinia Serrulata*

DUAN Ran^{1,2}, YANG Chunyu², SU Jiafu³

(1. Faculty of Arts, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China; 2. School of architecture and urban planning, Chongqing University, Chongqing 400030, China; 3. Chongqing Key Lab of Electronic Commerce & Supply Chain System, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

Abstract: To clarify the impacts of artificial light spectrum and illumination intensity on the photosynthetic indices of landscaping plants, spectral irradiation experiments were conducted on *Photinia serrulata* at three light intensities with five different light emitting diode(LED) light emitting diode. Analysis of the relationship of artificial light spectrum, light intensity, the net photosynthetic rate and photosynthetic active radiation. Results showed that: At the same light intensity, photosynthetically active radiation of plant was the highest under sunlight, which was far higher than that under the LED light sources. Under LED lights, net photosynthetic rate of *Photinia serrulata* rose with enhancing light intensity. Under green LED light (530 nm), photosynthetically active

radiation of plant increased with enhancing light intensity. However, net photosynthetic rate remained negative all along.

Key words: lighting; light emitting diode (LED); spectral energy distribution; light intensity

中国广泛开展园林夜景照明,由于缺乏园林植物照明技术标准,滥用光源照射植物的现象较为普遍。园林植物照明是以人眼视看为基础的照明,不同于植物照明的研究。园林植物照明不能单纯的从光合有效辐射、光量子方面进行研究,应该结合人眼视看的光照强度进行研究。光照与植物光合作用有着密切的关系^[1],人工光源与天然光不同,光源光照强度、光谱能量分布及光照时间都会影响植物的光合指标^[2]。园林植物照明的研究中,由于光照周期对植物光合指标的影响不大^[3],所以园林植物照明中光源光谱能量分布及光照强度对植物光合指标影响的研究尤为重要。

1 光照与植物光合作用的理论

光谱参与植物的生理生化过程^[4-6],更是激发植物生长的讯号^[7]。对植物生长最有效的光谱能量分布在 400~700 nm 之间^[8]。植物的光合速率^[9]、形态建成等^[10]受红光的干扰较大;植物叶片状态、碳水化合物合成等^[11]受蓝光的干扰较大。高光照强度会影响植物的光合速率,植物产生光抑制现象,严重干扰植物的生长^[12];低光照强度时,植物为降低自身对光能的需求,呼吸速率和光补偿点也会随之降低^[13]。

植物用来进行光合作用的辐射光能叫做光合有效辐射(PAR),是影响植物光合作用的重要物理参

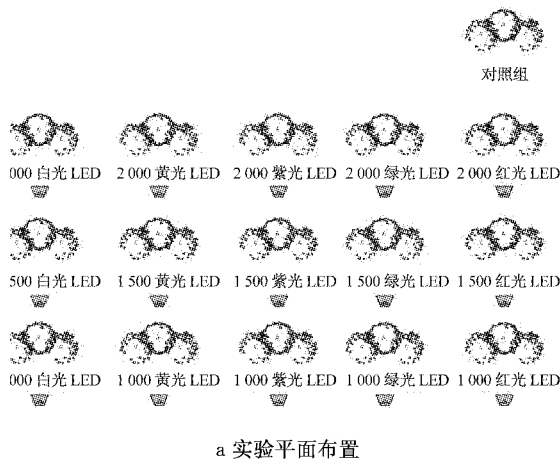
量. 光合有效辐射量子表达式为

$$Q_{\text{par}} = \frac{1}{A_v h c} \int_{\lambda_1}^{\lambda_0} \lambda E(\lambda) d\lambda$$

其中: Q_{par} 为光合有效辐射量子能量, 能够反映出植物在进行光合作用时量子参与的特性^[14]; h 为普朗克常数, $6.6255 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; c 为真空光速, $2.9978 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; A_v 为 Avogadro 常数, 取值 $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$; λ 为光谱能量波长, nm; λ_0 为 400 nm, λ_1 为 700 nm. 根据公式, 在相同光谱下, 可进行人眼视看光照强度与光量子间的转化.

植物叶片的净光合速率(PN)记为 v_{pn} , 为单位面积叶片在单位时间内有机物的积累. 在园林照明中植物净光合速率(PN)是鉴定植物光合作用的重要检测指标^[15]. PN 大于零, 表示植物进行有机物积累; 夜间植物休息, PN 小于零, 表示植物不进行有机物的积累. 植物夜间受人工光照净光和速率提高, 进行有机物的积累, 严重干扰了植物的生长.

本实验选取 5 种园林植物照明常用发光二极管(light emitting diode, LED)光源光谱且每种光谱设置 3 个等级的光照强度进行光照实验; 利用照度计、Li-6400 便携式光合仪同时测量园林植物在天然光下及夜间 LED 光源照射下的 PN 及 PAR; 得出 LED 照明与园林植物窄叶石楠光合作用的关系.



2 研究方法

2.1 实验地点

实验地点位于重庆市西部, 年平均温度 18.4°C , 年降雨量 1 125.3 mm, 年平均日照时数 888.5~1 539 h(重庆市气候中心 2017 年报告). 为了控制环境因素对研究对象的干扰, 实验开展于重庆大学实验田, 并检测控制实验田物理环境因素, 确保人工光照为影响实验的单一变量.

2.2 实验处理

窄叶石楠(*Photiniaserrulata*), 蔷薇科、石楠属木本植物, 具有四季常青等特点, 是园林植物照明中常用的园林植物载体. 实验选择苗龄、长势均相同的同批次窄叶石楠进行实验.

5 种 LED 光源光谱分别为白光 LED, 黄光 LED, 紫光 LED(主波长 425nm), 绿光 LED(主波长 530 nm), 红光 LED(主波长 620 nm). 每种光谱设置的光照强度为 1 000、1 500、2 000 Lx, 并设 1 组参照组仅受天然光照射不进行人工光照射, 即, 共 16 组实验, 每组照射 3 株植物, 所有植物均生长于标准的花园土壤. 按市政园林植物照明时间对植物进行照明, 时间为 6:30 pm~10:00 pm. 照明时利用遮光板遮挡于植物之间, 使植物仅受实验光源照射, 避免光源相互干扰(图 1), 日间拆除挡板.



图 1 实验田园林植物光照处理

Fig.1 Lighting treatment of garden plants in the experimental field

2.3 实验测定

为确保实验测量的准确性, 实验选择晴朗天气. 日间测量, 利用照度计监测天空照度并同时利用 Li-6400 便携式光合仪测量窄叶石楠的 PN 与 PAR. 夜间测量时, 待照明光源开启稳定半小时后, 利用 Li-

6400 便携式光合仪对植物叶片进行测量, 设置确定大气压力, 选取植物冠层新发第 3 片健康植物叶片测量, 每株窄叶石楠测量 3 片叶片, 每片叶子测量 5 次, 并标记叶片位置.

3 结果与讨论

3.1 天然光光谱与 LED 光源光谱能量分布

利用分光辐射照度计 CL-500A(波长范围 360~780 nm)对实验 LED 光源光谱能量进行测量(图 2)。通过对比,得出随着光照强度增大,LED 光源光

谱能量峰值不断升高,甚至高于相同光照强度下相同波段天然光光谱能量;白光 LED 与黄光 LED,波峰在 460 nm 附近,蓝光成分富含较多,且同时富含较高强度的红光(510~710 nm)成分. 红光 LED、绿光 LED、紫光 LED 光谱能量分布范围较窄,与天然光光谱差距极大,波峰分别在 620、530 及 425 nm 处达到最高值.

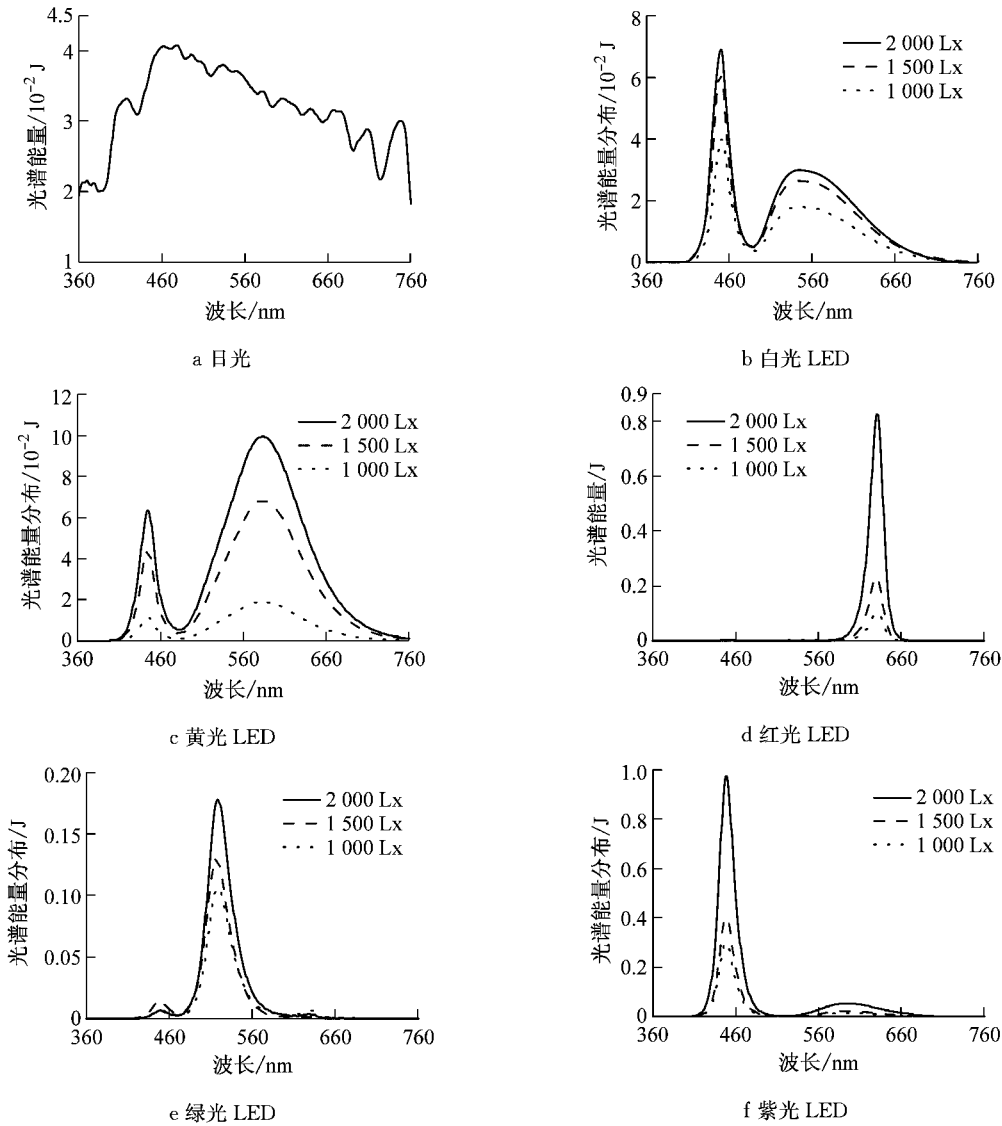


图 2 天然光日光光谱与 LED 光源光谱能量分布图

Fig.2 Solar spectrum and LED spectral energy distribution

3.2 天然光光谱下窄叶石楠光合指标

利用照度计测量天空照度,同时利用 Li-6400 便携式光合仪测量天然光光谱下窄叶石楠 PN 和 PAR. 导出实验数据,在光照强度为 1 000,1 500 及 2 000Lx 时,窄叶石楠的 PN 分别为 0. 32、1. 07 1, 4. 67 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;窄叶石楠的 PAR 为 3、13、24 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. 对数据进行统计,当光照强度

高于 900 Lx 时,窄叶石楠 PN 由负转正;在 2 000 Lx 内窄叶石楠 PN 随光照强度的增强而增加(图 3).

3.3 人工光源光谱下植物光合指标

分别测量 1 000、1 500 及 2 000Lx 光照强度,5 种人工光源光谱照射的植物 PN 与 PAR(表 1~表 3),得出相同光照强度不同光谱能量分布与窄叶石楠光合指标 PN、PAR 的关系.

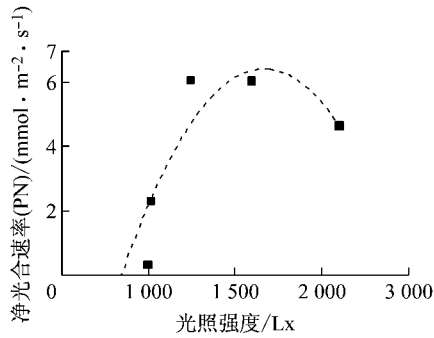


图 3 植物净光合速率与天然光强度关系

Fig.3 Relationship between net photosynthetic rate and light intensity

表 1 1 000Lx 光强光谱下植物 PAR 与 PN

Tab.1 Plant PAR and PN under 1 000Lx light intensity spectrum

	天然光	白光	黄光	红光	绿光	紫光
PAR/(W · m ⁻²)	3	3	3	3	2	3
PN/($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	0.32	0.15	0.26	-0.83	-1.39	-0.98

表 2 1 500Lx 光强光谱下植物 PAR 与 PN

Tab.2 Plant PAR and PN under 1 500Lx light intensity spectrum

	天然光	白光	黄光	红光	绿光	紫光
PAR/(W · m ⁻²)	13	3	4	5	3	6
PN/($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	1.07	1.15	0.86	1.91	-0.32	0.83

表 3 2 000Lx 光强光谱下植物 PAR 与 PN

Tab.3 Plant PAR and PN under 2 000Lx light intensity spectrum

	天然光	白光	黄光	红光	绿光	紫光
PAR/(W · m ⁻²)	24	4	6	6	8	9
PN/($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	4.67	2.64	4.08	3.57	-0.15	5.4

对 PN 进行分析,光照强度为 1 000Lx 时,红光、绿光、紫光照射植物 PN 为负;白光、黄光照射植物 PN 为正,但均低于天然光照射下的 0.32. 此时,白光、黄光照射的植物进行能量的积累,对植物生长造成一定的干扰.

光照强度为 1 500Lx 时,白光、黄光、红光、紫光照射植物的 PN 值均为正,仅绿光照射植物的 PN 仍为负;白光、红光照射植物 PN 甚至高于天然光照射的 PN 值 1.07,对植物的干扰程度较大.

光照强度为 2 000Lx 时,植物的 PN 仍不断提高,白光、黄光、红光、紫光照射下植物的 PN 均为正,且紫光照射 PN 为 5.4,高于天然光下 4.67;此时,仅绿光 LED 照射的植物 PN 仍为负.

随着光照强度的升高,LED 光源下窄叶石楠的 PN 不断提高,植物进行能量积累,对植物的生长造

成一定的干扰,仅绿光 LED 照射下 PN 始终为负.

通过对 PAR 的分析,光照强度在 1 000Lx 时,白光、黄光、红光、紫光供给植物的 PAR 与天然光光谱相同,均为 3,可知植物对绿光光谱利用率低于天然光;光照强度为 1 500Lx 时,植物对人工光源 PAR 提高不明显,且全部低于天然光下的 PAR;2 000Lx 光照强度时,人工光源照射下植物的 PAR 仍然低于日光照射下的 PAR. 随着光照强度升高,窄叶石楠 PAR 也逐渐升高,但始终低于日光下 PAR,天然光可提供植物的 PAR 较高.

3.4 其他

不科学的园林植物照明干扰园林植物生长. 本研究证实 LED 光源对窄叶石楠光合指标影响作用明显^[16-17],与其他相关研究的结果相符^[18-19],且补充了紫光、绿光对植物光合指标的研究结果^[20-21]. 实验表明,在园林植物照明中 LED 光源影响植物夜间 PN,且进一步证明了 LED 光源照射下窄叶石楠的 PN 随光照强度升高而升高;在相同光照强度不同光谱下植物 PN 变化规律不同. LED 光源照射下植物的 PAR 始终低于其在天然光下的 PAR. 但实验仅对一种园林植物进行了光源照射实验,仅可作为窄叶石楠的照明技术参数.

4 结论

实验利用常见园林照明光源照射园林植物窄叶石楠,并利用生物学手段测量被照射植物的光合指标 PN 和 PAR,分析得到结论:

(1) LED 光源照射下植物的 PN 随光照强度升高而升高. 当光照强度逐渐升高后,白光、黄光、红光、紫光照射的植物 PN 会出现高于天然光照射的情况,证明园林植物照明对植物的生长造成一定的影响;

(2) LED 光源照射的植物 PAR 始终低于天然光,证明植物对天然光光谱的利用率最高;

(3) 绿光下植物的 PN 也随光照强度升高而升高,但始终为负,PAR 始终低于天然光下. 绿光不易被植物所吸收,对植物生长的干扰较小.

参考文献:

- [1] KENDRICK R E. Photomorphogenesis in plants [J]. Photochemistry & Photobiology, 2010, 56(5): VII.
- [2] FUKUDA N, FUJITA M, OHTA Y. Directional blue light irradiation triggers epidermal cell elongation of abaxial side

- resulting in inhibition of leaf epinasty in geranium under red light condition[J]. *Scientia Horticulturae*, 2008, 115(2):176.
- [3] 徐超华,李军营,崔明昆,等.延长光照时间对烟草叶片生长发育及光合特性的影响[J].*西北植物学报*,2013,33(4):763.
XU Chaohua, LI Junying, CUI Mingkun, *et al.* Effects of prolonging light duration on growth and photosynthetic characteristics of tobacco leaves[J]. *Journal of Northwestern Botanical Plant*, 2013, 33(4):763.
- [4] FRANKLIN K A, QUAILP H. Phytochrome functions in Arabidopsis development[J]. *Journal Of Experimental Botany*, 2010, 61(1):11.
- [5] HALIAPAS S, YUPSANIS T A, SYROS T D. Petunia × hybrida during transition to flowering as affected by light intensity and quality treatments [J]. *Acta Physiol Plant*, 2008, 30 (6): 807.
- [6] STRASSER B, SANCHEZ-LAMAS M, YANOVSKY M J. Arabidopsis thaliana life without phytochromes[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2010, 107(10): 4776.
- [7] CASHMORE A R, JARILLO J A, WU Y J. Cryptochromes: blue light receptors for plants and animals[J]. *Science*, 1999, 284 (5415) :760.
- [8] Plant Factory Laboratory. Light source for plant cultivation. [EB/OL]. [2012-03-20]. <http://www.sasrc.jp/kougen.html>. 2012.
- [9] MATSUDA R, OHASHI-KANEKO K, FUJIWARA K. Photosynthetic characteristics of rice leaves grown under red light with or without supplemental blue light[J]. *Plant Cell Physiology*, 2004, 45(12): 1870.
- [10] MIYASHITA Y, KITAYA Y, KOZAI T. Effects of red and far-red light on the growth and morphology plantlets in vitro: using light emitting diode as a light source for micropropagation[J]. *Acta Horticulturae*, 1995, 393(418):710.
- [11] KOWALLIK W. Blue light effects on carbohydrate and protein metabolism[J]. *Phenomena and Occurrence in Plants and Microorganisms*, 1987, 1:7.
- [12] ZARCO-TEJADA P J, PUSHNIK J C, DOBROWSKI S. Steady-state chlorophyll a fluorescence detection from canopy derivativerectance and double-peak red-edge effects [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 84(2):283.
- [13] REIMUND G, GYOZO G. Non _ photochemical chlorophyll fluorescence quenching and structural rearrangements induced by low pH in intact cells of *Chlorella fusca* (Chlorophyceae) and *Mantoniellasquamata* (Prasinophyceae) [J]. *Photosynthesis Research*, 2001, 67(3):185.
- [14] LAVOIE D, DENMAN K, MICHEL C. Modeling ice algal growth and decline in a seasonally ice-covered region of the Arctic (Resolute Passage, Canadian Archipelago)[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2005, 110(110):497.
- [15] KIM S J, HAHN E J, HEO J W. Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets in vitro[J]. *Scientia Horticulturae*, 2004, 101(1):143.
- [16] PINHO P, JOKINEN K, HALONEN L. The influence of the LED light spectrum on the growth and nutrient uptake of hydroponically grown lettuce [J]. *Lighting Research & Technology*, 2016, 49(7): 866.
- [17] OLLE M, VIRSILE A. The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality [J]. *Agricultural and Food Science*, 2013, 22(2):223.
- [18] TENNESSEN D J, SINGAAS E L, SHARKEY TD. Light-emitting diodes as a light source for photosynthesis research [J]. *Photosynthesis Research*, 1994, 39(1):85.
- [19] ALERIC K M, KIRKMAN L K. Growth and photosynthetic responses of the federally endangered shrub, *Lindera melissifolia* (Lauraceae), to varied light environments [J]. *American Journal of Botany*, 2005, 92(4):682.
- [20] URBONAVICIUTE A, PINHO P, SAMUOLIENE G. Effect of short-wavelength light on lettuce growth and nutritional quality. [J]. *Sodininkystė Ir Daržžininkystė*, 2007, 26 (1):157.
- [21] OKAMOTO K, YANAGI T, TAKITA S. Development of plant growth apparatus using blue and red LED as artificial light source[J]. *Acta Horticulturae*, 1996; 440: 111.