

不同光照时间红蓝 LED 光对生菜生长和品质的影响

王蒙蒙, 徐志刚, 焦学磊, 刘晓英^①

(南京农业大学农学院, 江苏 南京 210095)

Effects of different illumination times of red and blue LED lights on growth and quality of *Lactuca sativa* var. *ramosa* WANG Mengmeng, XU Zhigang, JIAO Xuelei, LIU Xiaoying^① (College of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2017, 26(2): 113-115

Abstract: Effects of different illumination times (8, 12 and 16 h · d⁻¹) of 200 μmol · m⁻² · s⁻¹ red and blue LED lights with photon flux density ratio of 3:1 on growth and quality of *Lactuca sativa* var. *ramosa* Hort. were investigated. The results show that different illumination times of red and blue LED lights have no significant influence on leaf number per plant, plant height, root length per plant and root activity of *L. sativa* var. *ramosa*. Leaf area per plant, and fresh and dry weights of above-ground part per plant and whole plant in illumination time of 12 h · d⁻¹ (T2 group) are significantly higher than those in illumination time of 8 h · d⁻¹ (T1 group), but have no significant difference with those in illumination time of 16 h · d⁻¹ (T3 group). In general, contents of chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, and total chlorophyll in leaf in T2 and T3 groups are significantly higher than those in T1 group, while illumination time has no significant influence on carotenoid content in leaf and quality of *L. sativa* var. *ramosa*. Contents of soluble sugar and sucrose in leaf in T2 group are relatively high, while contents of soluble protein and vitamin C in leaf in T3 group are relatively high. Illumination time of 12 h · d⁻¹ of 200 μmol · m⁻² · s⁻¹ red and blue LED lights with photon flux density ratio of 3:1 is recommended for promoting growth of *L. sativa* var. *ramosa* in plant factory.

关键词: 生菜; 红蓝 LED 光; 光照时间; 生长; 品质

Key words: *Lactuca sativa* var. *ramosa* Hort.; red and blue LED lights; illumination time; growth; quality

中图分类号: S625.5⁺2; S626.5; S636.2 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2017)02-0113-03

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2017.02.16

生菜(*Lactuca sativa* var. *ramosa* Hort.)富含维生素、花青素和胡萝卜素等营养成分,且具有抗衰老和抗癌功能^[1],是可控环境下主栽蔬菜种类之一。光照时间能调控植物开花、花性分化、发育进程及光合生长^[2-3]。夜间补光和低光量子通量密度条件下延长光照时间可以提高生菜的生物量和品质^[4-5]。全人工光照条件下,红蓝光是培育植物的适宜光谱^[6-7]。

本研究参考徐文栋等^[8-9]的研究结果,采用光量子通量密度比 3:1 的 200 μmol · m⁻² · s⁻¹ 红蓝 LED 光,研究不同光照时间对生菜生长和品质的影响,以期寻找植物工厂低能耗培育生菜的光照策略。

1 材料和方法

1.1 材料

生菜品种‘糕华’(‘Gaohua’)种子购自江苏省农业科学

院。浸种催芽后播于育秧盘,置于 200 μmol · m⁻² · s⁻¹ 白色荧光灯下育苗,待幼苗 2 叶 1 心时将长势一致的幼苗定植于栽培筐(长 60 cm、宽 40 cm、高 13 cm)中,株距 10 cm、行距 15 cm,然后置于光量子通量密度比 3:1 的 200 μmol · m⁻² · s⁻¹ 红蓝 LED 光下进行不同光照时间的培养。光照时间设置为 8、12 和 16 h · d⁻¹。每处理 2 个栽培筐,共 32 株。实验在可控的植物生长室内进行。其中,红光主峰波长 660 nm,半波宽 20 nm;蓝光主峰波长 445 nm,半波宽 20 nm;日温(25±1)℃,夜温(18±1)℃;空气相对湿度 60%~80%;定时通风,CO₂ 浓度与室外相同;正常水肥管理。

1.2 方法

处理 50 d 后,各处理组随机选取 3 株进行生长及品质指标的测定,2 次重复,避开叶脉部位取样。叶面积大于等于 4 cm² 的叶片计为 1 枚叶片,叶面积小于 4 cm² 的叶片按比例估算叶片数。采用直尺(精度 1 mm)测量株高和根长,株高为地面到植株叶片的自然生长最高点的距离,根长为根根的最长

收稿日期: 2016-12-22

基金项目: 国家农业部公益性行业(农业)科研专项(201303108); 国家高技术研究发展计划(863 计划)(2013AA103003)

作者简介: 王蒙蒙(1991—),女,河北衡水人,硕士研究生,主要从事植物光生物学与环境调控方面的研究。

^①通信作者 E-mail: liuxy@njau.edu.cn

度。采用 Sartorius BSA124S 天平(德国 Sartorius 公司,精度 0.1 mg)分别测量生菜单株地上部和地下部鲜质量后,将鲜样置于 105 °C 烘箱中杀青 15 min,于 80 °C 烘干至恒质量,测定各部位干质量。采用肖强等^[10]的方法测定心部完全展开叶的面积,即为单株叶面积;采用 pH 示差法^[11]测定叶片中花青素含量;采用 TTC 法^[12]119-120 测定根系活力;采用无水乙醇丙酮提取法提取叶片中叶绿素和类胡萝卜素,采用分光光度法测定并计算叶片中叶绿素和类胡萝卜素的含量^[12]134-137;采用蒽酮法^[12]195-196 测定叶片中可溶性糖含量;采用间苯二酚法^[12]199-200 测定叶片中蔗糖含量;采用比色法^[12]248-249 测定叶片中维生素 C 含量;采用水杨酸比色法^[12]123-124 测定叶片中硝酸盐含量;采用考马斯亮蓝 G-250 法^[12]184 测定叶片中可溶性蛋白质含量;采用清除有机自由基 DPPH(二苯代苦味酰基自由基)法^[13]测定叶片中 DPPH 清除率。

1.3 数据处理

采用 EXCEL 2010 和 SPSS 17.0 统计分析软件对实验数据进行整理和统计分析,采用 Duncan's 新复极差法进行差异显著性分析($P \leq 0.05$)。

2 结果和分析

2.1 对生菜生长和叶片中光合色素含量的影响

由表 1 可见,不同光照时间红蓝 LED 光对生菜单株叶片数、株高、单株根长和根系活力均无显著影响;光照时间 12 h · d⁻¹(T2 组)时单株叶面积显著高于光照时间 8 h · d⁻¹(T1 组),但与光照时间 16 h · d⁻¹(T3 组)无显著差异。

由表 1 还可见:随着红蓝 LED 光光照时间的增加,生菜单株地上部和全株的鲜质量和干质量均呈先升高后降低的趋势,且 T2 组显著高于 T1 组,但与 T3 组无显著差异;而单株地下部鲜质量和干质量则呈逐渐升高的趋势。

由表 1 还可见:T2 和 T3 组生菜叶片中叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量总体上显著高于 T1 组,但 2 组间无显著差异;T1 和 T3 组叶片中叶绿素 a/b 值显著高于 T2 组;光照时间对叶片中类胡萝卜素含量无显著影响。

2.2 对生菜品质的影响

由表 2 可见,光照时间对生菜品质指标的影响总体上不显

表 1 不同光照时间红蓝 LED 光对生菜部分生长指标和叶片中光合色素含量的影响($\bar{X} \pm SE$)¹⁾
Table 1 Effects of different illumination times of red and blue LED lights on some growth indexes and photosynthetic pigment content in leaf of *Lactuca sativa* var. *ramosa* Hort. ($\bar{X} \pm SE$)¹⁾

编号 No.	光照时间/h · d ⁻¹ Illumination time	单株鲜质量/g Fresh weight per plant			单株干质量/g Dry weight per plant		
		地上部 Above-ground part	地下部 Under-ground part	全株 Whole plant	地上部 Above-ground part	地下部 Under-ground part	全株 Whole plant
T1	8	28.0 ± 2.3a	0.75 ± 0.42b	2.96 ± 0.75b	63.04 ± 4.51b	3.74 ± 0.35b	66.78 ± 4.62b
T2	12	27.0 ± 2.1a	2.85 ± 0.82ab	8.35 ± 1.20a	127.09 ± 17.64a	8.54 ± 1.87b	135.63 ± 17.94a
T3	16	24.0 ± 1.1a	2.96 ± 0.91a	7.53 ± 1.31a	115.43 ± 2.89a	14.31 ± 1.06a	129.74 ± 3.09a

编号 No.	光照时间/h · d ⁻¹ Illumination time	叶绿素 a 含量/mg · g ⁻¹ Chlorophyll a content		叶绿素 b 含量/mg · g ⁻¹ Chlorophyll b content		总叶绿素含量/mg · g ⁻¹ Total chlorophyll content		类胡萝卜素含量/mg · g ⁻¹ Carotenoid content		
		0.80 ± 0.16b	1.02 ± 0.21ab	0.27 ± 0.08b	0.99 ± 0.15a	1.07 ± 0.18b	2.01 ± 0.19a	2.96 ± 0.21a	1.03 ± 0.16b	0.42 ± 0.09a
T1	8	0.80 ± 0.16b	1.02 ± 0.21ab	0.27 ± 0.08b	0.99 ± 0.15a	1.07 ± 0.18b	2.01 ± 0.19a	2.96 ± 0.21a	1.03 ± 0.16b	0.42 ± 0.09a
T2	12	1.02 ± 0.21ab	1.52 ± 0.28a	0.27 ± 0.08b	0.60 ± 0.13a	2.12 ± 0.20a	2.53 ± 0.20a	2.53 ± 0.20a	0.61 ± 0.11a	0.53 ± 0.10a
T3	16	1.52 ± 0.28a	0.60 ± 0.13a	2.12 ± 0.20a	2.53 ± 0.20a	2.53 ± 0.20a	0.61 ± 0.11a	0.61 ± 0.11a	0.61 ± 0.11a	0.61 ± 0.11a

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著($P \leq 0.05$) Different lowercases in the same column indicate the significant difference ($P \leq 0.05$).

表 2 不同光照时间红蓝 LED 光对生菜品质指标的影响($\bar{X} \pm SE$)¹⁾
Table 2 Effects of different illumination times of red and blue LED lights on quality indexes of *Lactuca sativa* var. *ramosa* Hort. ($\bar{X} \pm SE$)¹⁾

编号 No.	光照时间/h · d ⁻¹ Illumination time	C _{SP} /mg · g ⁻¹	C _{SS} /mg · g ⁻¹	C _S /mg · g ⁻¹	C _{V_C} /mg · g ⁻¹	C _A /μg · kg ⁻¹	SR _{DPPH} /%	C _N /mg · g ⁻¹
T1	8	59.32 ± 1.39ab	58.44 ± 6.52ab	78.88 ± 4.33ab	0.67 ± 0.60ab	18.71 ± 1.84a	0.72 ± 0.05a	0.15 ± 0.01a
T2	12	65.33 ± 18.74ab	70.13 ± 4.22a	90.95 ± 5.22a	0.70 ± 0.31ab	16.64 ± 2.29ab	0.87 ± 0.18a	0.14 ± 0.01a
T3	16	82.74 ± 19.09a	65.22 ± 2.46ab	83.25 ± 4.93ab	0.82 ± 0.54a	15.86 ± 2.07ab	0.87 ± 0.17a	0.14 ± 0.01a

¹⁾ C_{SP}: 可溶性蛋白质含量 Soluble protein content; C_{SS}: 可溶性糖含量 Soluble sugar content; C_S: 蔗糖含量 Sucrose content; C_{V_C}: 维生素 C 含量 Vitamin C content; C_A: 花青素含量 Anthocyanin content; SR_{DPPH}: DPPH 清除率 DPPH scavenging rate; C_N: 硝酸盐含量 Nitrate content. 同列中不同的小写字母表示差异显著($P \leq 0.05$) Different lowercases in the same column indicate the significant difference ($P \leq 0.05$).

著。随着红蓝 LED 光光照时间的增加,生菜叶片中可溶性蛋白质和维生素 C 含量及 DPPH 清除率总体上呈逐渐升高的趋势,而其叶片中花青素和硝酸盐含量则呈逐渐降低的趋势。光照时间 $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ 时叶片中可溶性糖和蔗糖含量高于光照时间 8 和 $16 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$,但与后 2 个光照时间无显著差异。

3 讨论和结论

光照是植物叶绿体发育和叶绿素合成的必需条件,光合色素起着吸收、传递和转换光能的作用^[14]。延长光照时间,不仅能增加植物光合作用时间,还能刺激光敏色素传导信号,诱导相关基因表达,调节植物生理代谢反应,使其干质量增大^[15-16]。本研究中,采用光量子通量密度比 3:1 的 $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 的红蓝 LED 光,光照时间 $8 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ 时生菜叶片中叶绿素含量较低,光照不足影响叶绿素的合成,进而限制生菜的光合生长;光照时间由 $8 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ 增至 $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$,生菜全株鲜质量和干质量均显著升高;光照时间由 $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ 增至 $16 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$,生菜的形态、根系活力和全株质量均无显著变化。弱光条件下延长光照时间利于生菜生物量的积累^[5]。推测造成这种差异的原因为植物的光合生长特性与日累积光量总和有关,当光照总量达到植物日需总光能时,延长光照将导致光能过剩,而在弱光条件下,达到植物日需总光能的时间延长,致使植物达到生长饱和和所需的光照时间延长。

本研究中,光照时间对生菜品质无显著影响,但也有研究认为延长光照时间能够明显降低生菜叶片中维生素 C 含量^[5]和可溶性蛋白质含量^[17],显著增加叶片中可溶性糖含量,推测由于光源的光谱和光照强度以及生菜品种的不同造成研究结果的差异性和复杂性。本研究中,光照时间由 $8 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ 增至 $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$,生菜叶片中可溶性糖含量升高,这是因为光照时间延长促进了生菜叶片的光合作用,进而使光合产物增多;光照时间增至 $16 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$,生菜叶片中可溶性糖含量降低,表明 $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ 的光照较适宜生菜的日光照总量需求,延长光照时间反而降低光合代谢,致使光合产物减少。可溶性蛋白质和维生素 C 含量不仅是生菜的品质指标,二者升高也是植物应对胁迫的一种反应^[18],说明 $16 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ 的光照在一定程度上对生菜造成日光照总量过量的胁迫。

综合上述研究结果,认为采用光量子通量密度比 3:1 的 $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 红蓝 LED 光在光照时间 $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ 条件下可有效促进生菜的光合生长,且不影响生菜的品质,在植物工厂中使用此光照策略不仅可保证生菜健康生长,还具有合理的能效。

参考文献:

- [1] 郭新波. 生菜特殊营养品质评价与代谢工程强化研究[D]. 上海: 复旦大学生命科学学院, 2013: 1-25.
- [2] 杨娜, 郭维明, 陈发棣, 等. 光周期对秋菊品种‘神马’花芽分化和开花的影响[J]. 园艺学报, 2007, 34(4): 965-972.
- [3] HAYAMA R, COUPLAND G. The molecular basis of diversity in the photoperiodic flowering responses of Arabidopsis and rice[J]. Plant Physiology, 2004, 135: 677-684.
- [4] 袁慧丽. 不同 LED 光源夜间补光对叶用莴苣生长和营养品质及黄瓜根结线虫抗性的影响[D]. 杭州: 浙江大学农业与生物技术学院, 2012: 12-18.
- [5] 余意, 刘文科. 弱光条件下光质和光周期对水培生菜生长与品质的影响[J]. 中国农业气象, 2015, 36(6): 739-745.
- [6] 刘文科, 杨其长, 邱志平, 等. 不同 LED 光质对生菜生长和营养品质的影响[J]. 蔬菜, 2012(11): 63-65.
- [7] 崔瑾, 马志虎, 徐志刚, 等. 不同光质补光对黄瓜、辣椒和番茄幼苗生长及生理特性的影响[J]. 园艺学报, 2009, 36(5): 663-670.
- [8] 徐文栋. 光照、种植密度与采收期对植物工厂内生菜产量和品质的影响[D]. 南京: 南京农业大学农学院, 2015: 29-36.
- [9] 徐文栋, 刘晓英, 焦学磊, 等. 蓝光量对莴苣生长和品质的影响[J]. 南京农业大学学报, 2015, 38(6): 890-895.
- [10] 肖强, 叶文景, 朱珠, 等. 利用数码相机和 Photoshop 软件非破坏性测定叶面积的简便方法[J]. 生态学杂志, 2005, 24(6): 711-714.
- [11] LEE J, RENNAKER C, WROLSTAD R E. Correlation of two anthocyanin quantification methods: HPLC and spectrophotometric methods[J]. Food Chemistry, 2008, 110: 782-786.
- [12] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [13] 彭长连, 陈少薇, 林植芳, 等. 用清除有机自由基 DPPH 法评价植物抗氧化能力[J]. 生物化学与生物物理进展, 2000, 27(6): 658-661.
- [14] 许大全. 叶绿素含量的测定及其应用中的几个问题[J]. 植物生理学通讯, 2009, 45(9): 896-898.
- [15] 王小菁. 我国光形态建成研究回顾[J]. 植物学通报, 2003, 20(4): 407-415.
- [16] 惠婕, 杜静, 黄丛林, 等. 植物光敏色素的研究进展[J]. 北方园艺, 2010(7): 203-205.
- [17] 毛金柱, 邱权, 张芳, 等. 荧光灯下不同光周期对生菜形态指标、品质和离子吸收量的影响[J]. 北方园艺, 2013(15): 24-28.
- [18] 许瑛. 菊花抗寒特性研究及抗寒评价体系的建立[D]. 南京: 南京农业大学园艺学院, 2007: 44-52.

(责任编辑: 张明霞)