

周 华, 刘淑娟, 王碧琴, 等. 不同波长 LED 光源对生菜生长和品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(2): 429-433.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2015.02.032

不同波长 LED 光源对生菜生长和品质的影响

周 华, 刘淑娟, 王碧琴, 刘腾云, 李彦强, 肖 亮, 余发新

(江西省科学院生物资源研究所, 江西省观赏植物遗传改良重点实验室, 江西 南昌 330096)

摘要: 为了给设施园艺中推广应用 LED 光源提供依据, 研究了 660 nm 红光(R)、450 nm 蓝光(B)以及由红光、蓝光和 300 nm 紫外光(UV-B)组成的配比光(R:B=4:1、R:B=8:1、R:B:UV-B=20:5:1)对生菜生长发育和品质的影响。结果表明:与对照荧光灯相比, 红光显著提高地上生物量的积累, 有利于产量的提高, 但降低维生素 C 和粗蛋白质含量; 蓝光具有明显矮化植物的效果, 同时提高生菜的维生素 C 和粗蛋白质含量; 复合光质(R:B:UV-B=20:5:1)显著降低生菜的叶面积, 提高维生素 C、粗蛋白质和粗纤维含量。

关键词: 生菜; LED 光源; 生长; 品质

中图分类号: S626 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2015)02-0429-05

Growth and quality of lettuce exposed to LED lighting with different wavelengths

ZHOU Hua, LIU Shu-juan, WANG Bi-qin, LIU Teng-yun, LI Yan-qiang, XIAO Liang, YU Fa-xin

(Key Laboratory of Horticultural Plant Genetic and Improvement of Jiangxi Province/Institute of Biology and Resources, Jiangxi Academy of Sciences, Nanchang 330096, China)

Abstract: This study dealt with the effect of light emitting diodes (LED), including the red light (660 nm) (R), blue (450 nm) (B), and a mixed red/blue/ultraviolet-B (UV-B, 300 nm) (R:B=4:1, R:B=8:1 and R:B:UV-B=20:5:1), on growth and quality of lettuce, aiming to provide data for LED light application in protected horticulture. Compared to fluorescent lamp (CK), the red light significantly accumulated the aboveground biomass and improved the yield, but decreased vitamin C and crude protein contents. The blue light exerted a dwarfing effect on the stem and active effects on vitamin C and crude protein contents. The mixed light of R/B/UV-B = 20:5:1 significantly reduced leaf area, and improved the vitamin C, crude protein and crude fiber contents.

Key words: lettuce; LED light; growth; quality

收稿日期: 2014-08-12

基金项目: 江西省科学院院长基金项目(2013-YZJJ-01); 江西省科学院国家级预研项目(2014-YGY-06)

作者简介: 周 华(1980-), 女, 江西吉水人, 博士, 从事植物遗传育种研究。(Tel)18779162682; (E-mail)yuerhual16@126.com

通讯作者: 余发新, (Tel)0791-88175957; (E-mail)fxyu2000@126.com

光、温、水、肥、气是植物生长发育所需的主要环境因子。光作为重要的物理环境因子, 对植物的光合作用、生长发育、形态建成和物质代谢等均起到关键的调控作用。然而, 不同波长的光对植物的生长发育和品质生成所起的作用是不一样的。对于植物的光合作用而言, 波长在 400 ~ 520 nm 以及 610 ~ 720 nm 的光线被植物吸收的比率最高, 光合作用贡

献最大;此外,紫外、远红光等其他波长的光对植物也有作用^[1-2]。

新型光源 LED(Light emitting diodes)所发出光的半波长波动幅度小于 30 nm,可以实现高纯度单色光的设置,同时还可以进行精准的配比,形成与植物光合作用基本吻合的光谱。此外,LED 光源的光能利用率高,可达 80%~90%,节能效果好,为农业照明的生产应用,尤其是植物工厂及植物补光等领域提供了优质的人工光源^[3-4]。

生菜(*Lactuca sativa*)作为世界性水果蔬菜,由于品种多样、生长快速、均匀整齐、病虫害少、适合水培等特点,是目前营养液栽培研究中最广泛应用的一种模型蔬菜^[5-8]。目前,已有不少不同光质对生菜生长和品质影响的研究^[9-13],但不同学者的研究结论有所不同。有学者认为红光或红蓝配比的光质有利于植物的生长,也显著促进维生素 C 的积累^[14],也有学者认为蓝光下更有利于生菜品质的提高^[15],目前 LED 光源生菜栽培尚无统一标准。此外,紫外光对于生菜的光合作用以及体内化学物质的积累也有重要作用^[16-17],但缺乏紫外光与红蓝光的配比研究。

因此,开展 LED 光源在植物工厂中的应用研究之前提,是要明确不同波长的 LED 光对植物生长的影响。本试验采用红光、蓝光、紫外光(UV-B)及其组合的 LED 光源研究不同波长的 LED 光对生菜生长和品质的影响,以便为 LED 光源在设施园艺中的推广应用提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选用意大利耐抽薹生菜品种,种子购于江西华农种业有限公司。光源采用中节能晶和照明有限公司生产的 LED 灯管,每个灯管功率为 9 W。设置 5 个 LED 光质:①波长为(660±10)nm 的红光(R);②波长为(450±10)nm 的蓝光(B);③红光/蓝光组合(R:B=4:1);④红光/蓝光组合(R:B=8:1);⑤红光/蓝光/紫外光[波长(300±10)nm]组合(R:B:UV-B=20:5:1)。对照(CK)选用 18 W 白色荧光灯(欧普)作为光源。每种处理的顶部安装 3 根灯管,光周期为 14 h/d,室内温度为 20~22℃。

1.2 试验方法

1.2.1 生菜幼苗培养 试验于 2014 年 2~4 月在江西省科学院植物工厂内进行。生菜种子经浸

种、催芽后,在植物工厂内使用育苗海绵进行育苗。当幼苗长至四叶一心时,选择长势一致的幼苗进行水培试验。营养液使用 Hogland 营养液,立体栽培,水培架分为 3 层,1 层可种生菜 100 棵,每层设置一种光源,每组光源处理生菜 100 棵,每处理 3 个重复。

1.2.2 测定指标与方法 用直尺测定株高,用电子天平测定地上鲜质量和地下鲜质量。叶面积按照公式计算,即单叶叶面积=叶长×叶宽×0.7007^[18]。生长指标测定样品取样 3 次,分别在移栽后 0 d、12 d、24 d 各取 3 次,每次抽查 15 株进行生长量的调查。品质指标测定样品在栽培后 24 d 取样,每个处理取 1 kg 生菜可食部分鲜样进行生理指标的测定^[19],维生素 C 含量采用 2,6-二氯酚酚滴定法,粗蛋白含量采用凯氏定氮法,粗纤维含量采用碱处理法,测定方法按照食品安全国家标准,由江西省分析测试中心统一检测。

1.2.3 数据分析 使用 SPSS 18.0 软件对试验数据进行统计分析,使用 Duncan 新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同光质对生菜生长的影响

不同的光质对植物的形态建成具有不同的作用。根据表 1~5 所示,与对照相比,红光显著提高移栽后 12 d 和 24 d 植株的叶片数、株高、叶面积、地上鲜质量、地下鲜质量等指标;蓝光显著提高叶面积、地上鲜质量、24 d 地下鲜质量,但显著降低移栽后 24 d 植株的叶片数;红光/蓝光组合(R:B=4:1 和 R:B=8:1)显著提高叶片数、叶面积、地上鲜质量、地下鲜质量,但对株高无显著作用;红光/蓝光/紫外光组合(R:B:UV-B=20:5:1)显著提高叶片数、12 d 叶面积、地上鲜质量、地下鲜质量。由表 1~5 可以看出,除红光/蓝光/紫外光组合(R:B:UV-B=20:5:1)处理在移栽后 24 d 的叶面积指标上与对照无显著差异外,3 种复色光总体上均显著优于对照,其中红光/蓝光组合(R:B=4:1 和 R:B=8:1)处理在所测定的生长指标上均有较好表现,且 2 种复色光之间无显著差异,而红光/蓝光/紫外光组合(R:B:UV-B=20:5:1)处理在 24 d 的叶面积上显著低于红蓝配比的 2 种复色光,3 种复色光在其他指标上均无显著差异。

表 1 不同光质处理对生菜叶片数的影响

Table 1 Effects of different light qualities on the leaf number of lettuce

处 理	叶片数		
	移栽后 0 d	移栽后 12 d	移栽后 24 d
R	4.0±0a	12.50±0.87a	22.33±1.53a
B	4.0±0a	9.42±1.26b	16.17±1.04c
R : B=4 : 1	4.0±0a	12.92±0.38a	20.89±0.51a
R : B=8 : 1	4.0±0a	12.58±0.52a	20.67±1.20a
R : B : UV-B=20 : 5 : 1	4.0±0a	12.17±0.52a	20.89±0.96a
CK	4.0±0a	10.67±0.58b	18.67±1.15b

R;波长为(660±10) nm 的红光;B;波长为(450±10) nm 的蓝光;R : B=4 : 1;红光/蓝光组合,配比为4 : 1;R : B=8 : 1;红光/蓝光组合,配比为8 : 1;R : B : UV-B=20 : 5 : 1;红光/蓝光/紫外光[波长(300±10) nm]组合,配比为20 : 5 : 1;CK;对照,18 W 白色荧光灯。同列不同小写字母表示各处理间在 0.05 水平上差异显著。

表 2 不同光质处理对生菜株高的影响

Table 2 Effects of different light qualities on the stem height of lettuce

处 理	株高 (cm)		
	移栽后 0 d	移栽后 12 d	移栽后 24 d
R	1.45±0.10a	16.46±0.75a	25.78±3.41a
B	1.40±0.14a	13.83±0.38b	18.44±0.51b
R : B=4 : 1	1.50±0.82a	14.12±1.44b	21.33±2.64ab
R : B=8 : 1	1.50±0.22a	14.50±1.27b	21.30±1.54ab
R : B : UV-B=20 : 5 : 1	1.55±0.13a	14.79±1.25b	17.22±1.02b
CK	1.58±0.12a	13.97±0.35b	23.00±1.00ab

各处理见表 1 注。同列不同小写字母表示各处理间在 0.05 水平上差异显著。

表 3 不同光质处理对生菜叶面积的影响

Table 3 Effects of different light qualities on the leaf area of lettuce

处 理	叶面积 (cm ²)		
	移栽后 0 d	移栽后 12 d	移栽后 24 d
R	4.10±0.34a	93.38±10.14a	165.55±0.71ab
B	3.90±0.46a	68.43±5.59b	177.12±11.69a
R : B=4 : 1	3.70±0.45a	76.16±6.84b	161.35±10.52ab
R : B=8 : 1	3.88±0.16a	73.28±15.00b	151.69±9.20b
R : B : UV-B=20 : 5 : 1	4.12±0.18a	72.33±9.61b	132.31±6.83c
CK	4.04±0.24a	39.93±2.01c	129.48±16.11c

各处理见表 1 注。同列不同小写字母表示各处理间在 0.05 水平上差异显著。

表 4 不同光质处理对生菜地上鲜质量的影响

Table 4 Effects of different light qualities on the above-ground fresh weight of lettuce

处 理	地上鲜质量 (g)		
	移栽后 0 d	移栽后 12 d	移栽后 24 d
R	4.79±0.25a	22.98±1.22a	70.35±6.54a
B	4.96±0.10a	12.77±1.79c	74.27±9.19a
R : B=4 : 1	4.88±0.03a	18.47±1.31b	69.51±9.80a
R : B=8 : 1	4.97±0.12a	15.83±3.04bc	67.51±7.22a
R : B : UV-B=20 : 5 : 1	4.90±0.20a	16.86±2.44b	75.33±4.91a
CK	5.08±0.12a	6.77±0.24d	44.56±1.99b

各处理见表 1 注。同列不同小写字母表示各处理间在 0.05 水平上差异显著。

表 5 不同光质处理对生菜地下鲜质量的影响

Table 5 Effects of different light qualities on the under-ground fresh weight of lettuce

处 理	地下鲜质量 (g)		
	移栽后 0 d	移栽后 12 d	移栽后 24 d
R	0.81±0.05a	3.53±0.30a	9.40±1.62a
B	0.82±0.04a	2.57±0.09b	8.36±1.62a
R : B = 4 : 1	0.76±0.05a	3.53±0.37a	8.93±1.08a
R : B = 8 : 1	0.78±0.07a	3.22±0.35a	7.93±1.32a
R : B : UV-B = 20 : 5 : 1	0.79±0.06a	3.30±0.49a	9.80±0.25a
CK	0.79±0.07a	2.01±0.08b	5.16±0.18b

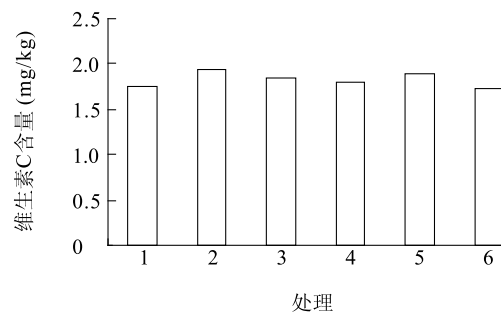
各处理见表 1 注。同列不同小写字母表示各处理间在 0.05 水平上差异显著。

2.2 不同光质对生菜品质的影响

维生素 C 含量是评价生菜品质的重要指标。由图 1 可以看出,蓝光处理下生菜的维生素 C 含量最高,红光/蓝光/紫外光组合(R : B : UV-B = 20 : 5 : 1)处理下维生素 C 含量次之,红光/蓝光组合(R : B = 4 : 1 和 R : B = 8 : 1)处理稍低,红光处理和荧光对照的维生素 C 含量最低。粗蛋白质含量也是评价生菜品质的另一指标。由图 2 可见,蓝光处理下生菜的粗蛋白质含量最高,荧光对照次之;复色光处理中,红光/蓝光/紫外光组合(R : B : UV-B = 20 : 5 : 1)处理、红蓝光组合(R : B = 8 : 1)处理、红蓝光组合(R : B = 4 : 1)处理粗蛋白质含量依次降低;红光处理下粗蛋白质含量最低。粗纤维含量也是生菜的品质指标之一,粗纤维含量高,有利于人体肠道健康,而低纤维含量则可以影响生菜的口感。由图 3 可以看出,红光/蓝光/紫外光组合((R : B : UV-B = 20 : 5 : 1)处理下,粗纤维含量最高,其次是荧光对照,蓝光处理下粗纤维含量最低。

3 讨 论

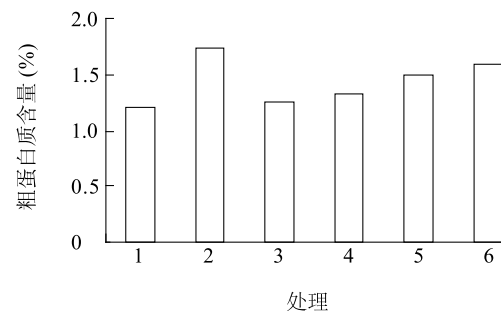
光质既影响植物的形态建成,同时也调控品质。在菊花^[20]、马铃薯^[21]、野葛^[22]、草莓^[23]等植物中,现有研究表明红光有助于植物干物质的积累,可提高产量,蓝光具有抑制茎的伸长、提高作物品质的作用。本研究结果显示红、蓝 LED 光源对生菜的生长也具有相似的效果。生菜在不同的 LED 光源处理下,也呈现不同的形态和品质表现,在 660 nm 波段的红光下地上生物量积累多,产量提高,但维生素 C 和粗蛋白质含量却相对较低,生菜品质有所降低;450 nm 波段的蓝光下,株高和叶片数显著降低,同时维生素 C 和粗蛋白质的含量增高,粗纤维含量下降。表明蓝光具有矮化植株和提高蔬菜品质和口感的作用,这



处理 1:R;处理 2:B;处理 3:R : B = 4 : 1;处理 4:R : B = 8 : 1;处理 5:R : B : UV-B = 20 : 5 : 1;处理 6:CK。各处理见表 1 注。

图 1 不同光质处理对生菜维生素 C 含量的影响

Fig. 1 Effects of different light qualities on vitamin C content of lettuce



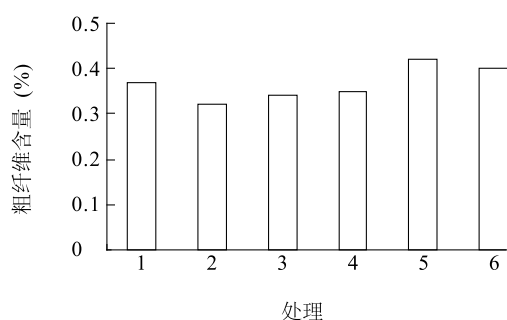
处理 1~6 见图 1 注。

图 2 不同光质处理对生菜粗蛋白质含量的影响

Fig. 2 Effects of different light qualities on crude protein content of lettuce

个结果与 Yanagi 等^[10]认为红光有利于干物质积累,而蓝光使植物矮化和健康的结果一致。

已有文献表明,红蓝 LED 配比更有利于生菜的生长与品质^[12,24],而加入紫外光 UV-A 和 UV-B 可以有效增加花青素和黄酮类化合物的积累^[17,25]。



处理 1~6 见图 1 注。

图 3 不同光质处理对生菜粗纤维含量的影响

Fig. 3 Effects of different light qualities on crude fiber content of lettuce

本研究中,红蓝配比光处理(红光:蓝光=8:1、红光:蓝光=4:1)下,生菜的部分生长指标并没有红光下的高,如株高和叶面积等,但维生素 C 和粗蛋白质含量提高,表明复色光有效地综合了红光与蓝光的优点,既促进生长,又提高了品质,可能更适合在生菜生产中应用。在红光:蓝光=4:1 的复色光中添加 300 nm 波段的紫外光 UV-B(红光:蓝光:紫外光=20:5:1)后,仅在生长后期植株的叶面积表现下降,其余生长指标无显著变化,但植物的维生素和粗蛋白质含量增加,尤其是粗纤维含量提高幅度较大。因此,可以考虑在生菜生长初期加入短时间的 UV-B 照射,以提高生菜的营养品质。

综上所述,LED 光源,包括红光、蓝光以及 2 种光配比的复色光,对于生菜的生长和品质而言,均优于荧光灯光源。但由于本试验只测定了维生素 C、粗蛋白质和粗纤维含量这 3 种指标,对于花青素、类黄酮含量等其他指标并未涉及,此外,光谱中远红光、绿光等对植物也具有不同影响,这些都有待于进一步深入研究。

参考文献:

- [1] CHORY J, WU D Y. Weaving the complex web of signal transduction[J]. *Plant Physiology*, 2001, 125: 77-80.
- [2] 潘瑞炽,王小菁,李娘辉. 植物生理学[M]. 北京:高等教育出版社, 2006: 62-63.
- [3] 魏灵玲,杨其长,刘水利. LED 在植物工厂中的研究现状与应用前景[J]. *中国农学通报*, 2007, 23(11): 408-411.
- [4] 崔 瑾,徐志刚,邸秀茹. LED 在植物设施栽培中的应用和前景[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(8): 249-253.
- [5] 郭世荣. 无土栽培学[M]. 北京:中国农业大学出版社, 2003: 125-127.
- [6] 梁 颖,丁 莹,闰 帅,等. 香辛料提取物对鲜切生菜的保鲜作用[J]. *江苏农业学报*, 2014, 30(4): 870-874.
- [7] 孙 俊,金夏明,毛罕平,等. 基于有监督特征提取的生菜叶片农药残留浓度高光谱鉴别研究[J]. *江苏农业科学*, 2014, 42(5): 227-229.
- [8] 欧杨虹,孙正国,陈学祥. 不同沼液施用量对生菜产量及砷累积量的影响[J]. *江苏农业科学*, 2014, 42(2): 110-112.
- [9] OKAMOTO K, YANAGI T, KONDO S. Growth and morphogenesis of lettuce seedlings raised under different combinations of red and blue light[J]. *Acta Hort*, 1997, 435: 149-158.
- [10] YANAGI T, OKAMOTO K, TAKITA S. Effect of blue, red and blue/red lights on two different PPF levels on growth and morphogenesis of lettuce plants[J]. *Acta Hort*, 1996, 440: 117-122.
- [11] 许 莉,尉 辉,齐连东,等. 不同光质对叶用莴苣生长和品质的影响[J]. *中国果蔬*, 2010(4): 9-22.
- [12] 闻 婧,杨其长,魏灵玲,等. 不同红蓝 LED 组合光源对叶用莴苣光合特性和品质的影响及节能评价[J]. *园艺学报*, 2011, 38(4): 761-769.
- [13] 陈炎华,张善端. LED 应用于莴苣补光照明综述[J]. *照明工程学报*, 2013, 24(增刊): 156-161.
- [14] 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.
- [15] 刘晓英,焦学磊,徐志刚,等. 红蓝 LED 光对叶用莴苣生长、营养品质和硝态氮含量的影响[J]. *南京农业大学学报*, 2013, 36(5): 139-143.
- [16] 刘文科,余 意,赵姣姣,等. 紫外辐射对 3 种叶色生菜生长及营养品质的影响[J]. *科技导报*, 2014, 32(10): 36-40.
- [17] TSORMPATSIDIS E, HENBEST R G C, BATTEY N H, et al. The influence of ultraviolet radiation on growth, photosynthesis and phenolic levels of green and red lettuce: potential for exploiting effects of ultraviolet radiation in a production system [J]. *Ann Appl Biol*, 2010, 156(3): 357-366.
- [18] 王 婷,李雯琳,巩芳娥,等. LED 光源不同光质对不结球白菜生长及生理特性的影响[J]. *甘肃农业大学学报*, 2011, 46(4): 69-73.
- [19] 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: 120-140.
- [20] 魏胜林,王家保,李春保. 蓝光和红光对菊花生长和开花的影响[J]. *园艺学报*, 1998, 25(2): 203-204.
- [21] JANET E A S. Light effects on the growth and morphogenesis of potato (*Solanum tuberosum*) in vitro: A review[J]. *Amer J of Potato Res*, 2005, 82(5): 353-367.
- [22] TENNESSEN D J, SINGSAAS E L, SHARKEY T D. Light-emitting diodes as a light source for photosynthesis research [J]. *Photosynth Res*, 1994, 39: 85-92.
- [23] 崔文华,杨立娜,崔清华. 草莓用 LED 组合光源研究[J]. *农业技术装备*, 2012(9): 62-64.
- [24] 闻 婧,鲍顺淑,杨其长,等. LED 光源 R/B 对叶用生菜生理性状及品质的影响[J]. *中国农业气象*, 2009, 30(3): 413-416.
- [25] LI Q, KUBOTA C. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce [J]. *Environ Exp Bot*, 2009, 67(1): 59-64.

(责任编辑:张震林)