

# 不同比例红蓝光对奶油生菜生长、 光合特性及品质的影响

张珂嘉, 邹志荣, 杨俊伟, 何雅倩, 曹晏飞\*

(西北农林科技大学园艺学院/农业部西北设施园艺工程重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 选用奶油生菜为试验材料, 研究了白光 (CK)、红光 (R)、蓝光 (B)、不同比例红蓝光等6种光质对生菜生长发育、叶片光合特性及品质的影响。结果显示: 不同光质对生菜生长的影响不同, R处理下生菜的地上部分干、鲜质量及叶面积最大, R:B=1:1、R:B=1:2次之; R:B=1:2处理下生菜叶片中叶绿素a/b最大, R:B=2:1、R:B=1:1、R:B=1:2处理均可提高生菜叶片的净光合速率; R处理有利于生菜叶片中糖分的积累, R:B=2:1、R:B=1:1、R:B=1:2处理下生菜可溶性蛋白含量提高, R:B=1:2处理更有利于生菜VC含量的增加。综合各项指标, R:B=1:2处理下生菜的产量及品质最佳。

**关键词:** LED; 红蓝光比例; 奶油生菜; 光合特性; 品质

## Effects of Different Ratios of Red to Blue Lights on the Growth, Photosynthetic Characteristics and Quality of Butterhead Lettuce

ZHANG Kejia, ZOU Zhirong, YANG Junwei, HE Yaqian, CAO Yanfei\*

(College of Horticulture, Northwest A&F University/Key Laboratory of Protected Horticultural Engineering in Northwest, Ministry of Agriculture, Yangling 712100, China)

**Abstract:** The study investigated the effects of red light (R), blue light (B), different ratios of R to B treatments by white light as control (CK) on the growth, photosynthetic characteristics and quality of butterhead lettuce. The results showed that different light treatments had different effects on the growth of lettuce. The shoots fresh and dry weight and leaf area were greatest under R treatment, closely followed by R:B=1:1 and R:B=1:2. Chlorophyll a/b under R:B=1:2 treatment was biggest. Under R:B=2:1, R:B=1:1 and R:B=1:2 treatments, the photosynthetic rates of lettuce leaves were increased. R treatment was beneficial to the accumulation of sugar in lettuce leaves. R:B=2:1, R:B=1:1 and R:B=1:2 treatments could increase the content of soluble protein. The treatment of R:B=1:2 was more conducive to the increasing of VC content. According to the comprehensive analysis of various indicators, the yield and quality of lettuce performed best under R:B=1:2 treatment.

**Keywords:** LED; Red to blue ratios; Butterhead lettuce; Photosynthetic characteristic; Quality

收稿日期: 2017-11-15

\*通讯作者: 曹晏飞

光作为信号和能量的来源,在植物生长和发育过程中起着重要的作用,是植物进行光合作用必需的能源<sup>[1]</sup>。与光强和光周期相比,光质对植物形态和生理的影响更为复杂。前人已经对光质和植物生长发育的关系有了一定的研究,例如番茄<sup>[2]</sup>、黄瓜<sup>[3]</sup>等。有研究表明,红光可以影响植物茎的伸长、根冠比、叶绿素含量和光合器官,蓝光则影响植物向光性、胚轴伸长、气孔开闭、相关酶的合成及基因表达<sup>[4]</sup>。红蓝光相结合可以提高植物的光合速率<sup>[5]</sup>、干物质积累<sup>[6]</sup>和营养品质<sup>[7]</sup>。如何在蔬菜生产中使用红蓝光、优化红蓝光结合比例,促进优质高产,值得进一步研究。

生菜 (*Lactuca sativa* L.) 是菊科莴苣属1~2年生的长日照植物,是重要的世界性绿叶蔬菜,富含蛋白质、糖类、维生素和矿物质等营养成分,具有预防贫血、预防癌症、抗衰老、降低血压和防治心律失常等保健功能,在全球范围内广泛栽培,也是我国设施园艺的主栽蔬菜之一<sup>[8]</sup>。奶油生菜是生菜的一种,其叶片呈卵圆形,嫩绿色,叶面较平,中下部横皱,商品性好,叶质软,口感油滑,味香微甜,食用部分水分含量高达94%~96%,故生食鲜嫩清脆爽口。发光二极管 (light-emitting diode, LED) 作为新型半导体光源,具有体积小、光效高、功耗小、寿命长、波长范围窄和发热低等优点,是用于植物设施栽培的新一代节能环保型光源<sup>[9]</sup>。LED对生菜的生长促进作用明显优于普通荧光灯<sup>[10]</sup>。本研究采用LED光源调控光质和光量,研究不同比例红、蓝光对生菜生长、光合特性及营养品质的影响,以期为人工气候室水培生菜的高产优质生产提供技术支持。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

以奶油生菜为试验材料;营养液采用日本山崎生菜配方;试验使用LED灯,其光源板由波长为635 nm的红色LED灯和波长为460 nm的蓝色LED灯组成;其他仪器包括紫外可见分光光度计 (UV-1800, 岛津)、便携式光合-荧光连用系统 (LI-6400XT, LI-COR Inc, USA)、根系扫描仪 (PERFECTON V700 PHOTO,

EPSON)。

### 1.2 试验设计

试验于2017年3—7月在西北农林科技大学科研温室中进行。种子催芽后播种于小海绵块中,待幼苗长到2叶1心后,以白光为对照 (CK), 分别置于红光 (R)、蓝光 (B)、R:B=2:1、R:B=1:1、R:B=1:2光源下培养18 d (至采收期), 采用深液流水耕栽培。不同光处理下的光谱分布如图1所示。

各个处理光强均设为200  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  左右,光周期为14 h/10 h (光期/暗期), 白天温度25  $^{\circ}\text{C}$ , 夜间温度20  $^{\circ}\text{C}$ , 相对湿度为65%~75%。每个处理下种植10株生菜,重复3次,采用随机排列的方式,植株摆放的密度以互不遮阴为准。

### 1.3 测定指标及方法

#### 1.3.1 生菜形态指标

光处理18 d时取样,每个处理随机取7株测定不同比例红蓝光下生菜的地上部分和根系的鲜质量和叶面积。将生菜地上部分及根系分别装入信封中,120  $^{\circ}\text{C}$  杀青20 min, 75  $^{\circ}\text{C}$  烘干24~48 h至恒重,测定生菜地上部分及根系的干质量。根冠比为生菜根系鲜质量与地上部分鲜质量的比值。利用根系扫描仪扫描叶片,使用WinRHIZO Pro软件分析叶片面积。

#### 1.3.2 叶绿素含量

光处理18 d后取样测定叶绿素含量,取3株生菜同一节位相同方向的叶片 (顶端第3片功能叶), 每个处理重复3次。用96%乙醇溶液提取,使用UV-1800分光光度计测定提取液在665、649 nm下的吸光值 $\text{OD}_{665}$ 、 $\text{OD}_{649}$ , 计算生菜叶片中叶绿素含量。叶绿素含量计算公式如下:

$$\text{叶绿素a含量Chla (mg/g)} = (13.95 \times \text{OD}_{665} - 6.88 \times \text{OD}_{649}) \times V \times n / (W \times 1000);$$

$$\text{叶绿素b含量Chlb (mg/g)} = (24.96 \times \text{OD}_{649} - 7.32 \times \text{OD}_{665}) \times V \times n / (W \times 1000);$$

$$\text{叶绿素含量 (mg/g)} = \text{Chla} + \text{Chlb};$$

$$\text{叶绿素a/b} = \text{Chla} / \text{Chlb}.$$

式中,  $V$ 为提取液总体积,  $W$ 为叶片鲜质量,  $n$ 为稀释倍数。

#### 1.3.3 叶片光合指标

光处理18 d后使用LI-6400XT光合仪测定各个处理下生菜的净光合速率 ( $\text{Pn}$ )、气孔导度 ( $\text{Gs}$ )、

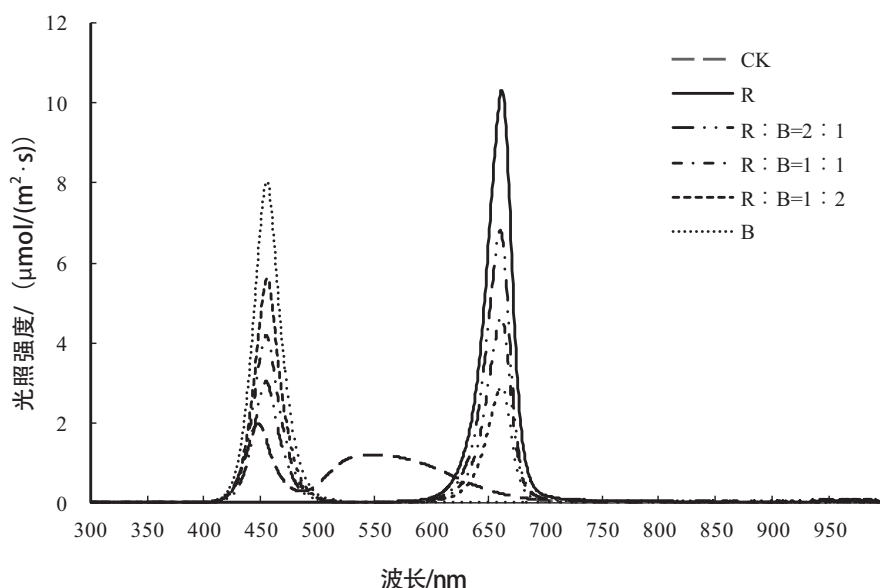


图1 不同处理光谱分布

胞间 $\text{CO}_2$ 浓度 (Ci) 及蒸腾速率 (Tr)，每个处理测5~7株 (取生菜顶端第3片功能叶)。

#### 1.3.4 叶片品质

光处理18 d时取样，每个处理随机取5株，选取顶端第3片功能叶测定生菜各品质。考马斯亮蓝法测可溶性蛋白含量，钼蓝比色法测VC含量，蒽酮比色法测可溶性糖及淀粉含量<sup>[11]</sup>。每个处理重复3次。

#### 1.4 统计分析

试验数据采用Excel 2010软件进行数据记录与处理，利用SPSS 16.0软件进行统计分析，多重比较采用Duncan新复极差法。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同比例红蓝光对生菜生长和叶绿素含量的影响

由表1可知，不同光质处理对生菜的地上部分、根系干鲜质量及叶面积均有不同程度的影响。其中，R处理下对生菜地上部分鲜质量、干质量、叶面积的影响最大，3项指标均显著高于其他处理，R:B=1:1、R:B=1:2次之，且显著高于其他处理。R:B=1:2处理下根系的干鲜质量最大，CK最小且与B处理无显著性差异。以上结果说明，红光可以促进生菜叶片细胞的伸长和分

表1 不同比例红蓝光对生菜生长及叶绿素含量的影响

光处理	地上部分		根系		叶片数	叶面积/ $\text{cm}^2$	叶绿素含量/ (mg/g)	叶绿素a/b
	鲜质量/g	干质量/g	鲜质量/g	干质量/g				
CK	18.46d	0.88c	3.49d	0.15c	7.0a	456.73c	0.56b	2.78bc
R	52.23a	2.49a	7.49b	0.31b	7.2a	955.98a	0.58b	2.66c
R:B=2:1	31.07c	1.66b	6.36c	0.28b	6.0b	439.58c	0.85a	2.95ab
R:B=1:1	46.38ab	2.40a	7.87b	0.40a	7.0a	646.85b	0.96a	2.97ab
R:B=1:2	42.16b	2.45a	8.87a	0.41a	6.8a	570.39b	0.92a	3.12a
B	20.71d	1.13c	4.13d	0.15c	6.8a	468.03c	0.67b	3.07ab

注：表中同列不同小写字母表示处理间在 $\alpha=0.05$ 水平存在显著性差异。图2、表2同。

裂, 促进叶片面积的增大, 与白光和蓝光相比, 红光和红蓝光都有利于生菜的生长。

由表1可知, 除R:B=2:1处理下叶片数与其他处理相比显著降低, 其他不同比例红蓝光对生菜叶片数无显著影响。红蓝光下生菜叶片中叶绿素含量明显高于其他处理, 各比例红蓝光对生菜叶片叶绿素含量的影响无显著差异, R:B=1:1处理下叶绿素含量最高。R:B=1:2处理下生菜叶片叶绿素a/b最大, 且显著高于CK和R处理; 红蓝光处理中, 蓝光比例越高, 叶绿素a/b越大。研究结果表明, R:B=1:2、R:B=1:1处理有利于生菜叶片中叶绿素的合成。

## 2.2 不同比例红蓝光对生菜光合作用的影响

不同光质对生菜叶片光合能力的影响差异显著。由图2-A可知, R:B=2:1光处理下净光合速率最高; R:B=1:1处理次之, 且与R:B=2:1、R:B=1:2处理均无显著差异。由图2-B可知, R:B=2:1、R:B=1:1、R:B=1:2、B处理下的气孔导度间无显著差异, 且均显著高于CK、R处理。由图2-C可知, 各处

理间的胞间CO<sub>2</sub>浓度无显著性差异且均显著高于CK。由图2-D可知, R:B=2:1、R:B=1:1、R:B=1:2处理间的蒸腾速率无显著差异, 但显著高于CK和R处理。研究结果显示, 红蓝光相结合可提高生菜叶片光合速率, 增大叶片气孔导度, 促进植株光合作用的进行。

## 2.3 不同比例红蓝光对生菜营养品质的影响

不同比例红蓝光对生菜叶片的品质产生了不同程度的影响。由表2可知, R:B=1:1处理下生菜叶片中可溶性蛋白含量最高, R:B=2:1和R:B=1:2处理次之, 3个处理间无显著差异。可见红蓝光相结合可以促进可溶性蛋白的形成。

R处理下生菜叶片可溶性糖含量和淀粉含量显著高于其他处理, 与CK相比, 红蓝光照下生菜叶片可溶性糖含量和淀粉含量显著降低。R:B=1:2处理下生菜叶片中可溶性糖和淀粉含量比R:B=2:1处理分别高了8.30%、17.86%, 比R:B=1:1分别高了16.79%、11.96% (表2)。这说明红蓝光处理不利于糖分的积累。

与CK相比, R:B=1:2、R处理下生菜叶片

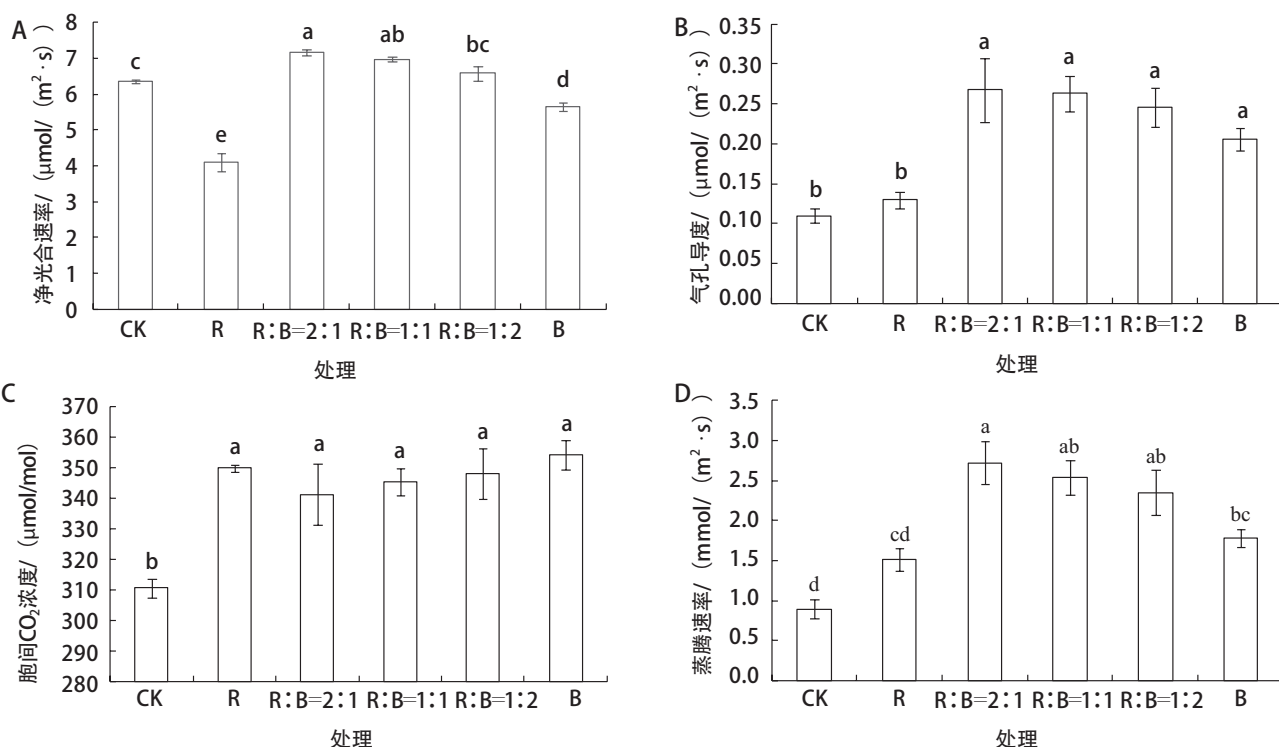


图2 不同比例红蓝光对生菜光合作用的影响



表2 不同比例红蓝光对生菜品质的影响

光处理	可溶性蛋白	可溶性糖	淀粉	VC
CK	1.58b	7.92b	0.81b	9.30c
R	1.60b	10.96a	0.93a	10.40a
R : B=2 : 1	2.06ab	5.78cd	0.56e	9.49c
R : B=1 : 1	2.48a	5.36d	0.59de	9.70bc
R : B=1 : 2	1.90ab	6.26c	0.66c	11.06a
B	1.72ab	8.46b	0.62cd	8.89c

VC含量明显增高，R : B=1 : 2处理下VC含量最高（表2），CK、R : B=2 : 1、R : B=1 : 1处理间无显著差异。研究表明，红蓝光有利于提高生菜叶片中VC含量，其中R : B=1 : 2处理最有利于VC的合成。

### 3 讨论与结论

不同光质对植物生长发育的影响不同，有研究表明红光可以促进茎的伸长，增大叶片面积，并可引起植株徒长；蓝光则抑制植物茎的伸长<sup>[7]</sup>，红蓝光显著增加生菜幼苗的叶面积和干鲜质量<sup>[12]</sup>。本试验研究结果与上述结果相似，与CK相比，红光下叶片面积、地上部分干鲜质量最大，R : B=1 : 1、R : B=1 : 2处理次之，蓝光下叶片生物量无明显增加。

叶绿素作为光合色素主要吸收红蓝光，随着红蓝光比例的降低，叶绿素含量增加，且在红蓝光处理下叶绿素a/b值增大<sup>[4]</sup>。本试验数据与上述结果基本相似，即红蓝光处理下叶绿素含量、叶绿素a/b值明显增大，只是叶绿素含量并未随红蓝光比例的降低而增加，可能原因是两试验所设置的红蓝光比值不同。R : B=1 : 1、R : B=1 : 2处理更有利于叶绿素的合成。

Wang等<sup>[4]</sup>研究指出红光与蓝光相结合可以提高生菜的Pn，且随蓝光比例的增大，Pn越高。本试验结果表明，红蓝光确实可以显著提高生菜的Pn，但Pn并未随蓝光比例的增大而升高，可能是两试验所设置的红蓝光比值不同导致的。各处理下Gs、Tr与Pn变化趋势相同。而Ci在红蓝光处理下无明显变化，这与谌晓芳<sup>[13]</sup>研究结果不同，可能是植物种类不同、环境因子不同所导致的。R : B=2 : 1处理下有利于生菜光合能力的提高。

陈文昊等<sup>[7]</sup>研究表明，红光有利于生菜中糖分的积累，蓝光可促进生菜中VC的合成；Wang等<sup>[14]</sup>研究指出蓝光与其他光质相比，有利于可溶性蛋白的形成。本研究结果与上述结论基本一致，R : B=2 : 1、R : B=1 : 1、R : B=1 : 2及B处理下可溶性蛋白含量较高；R处理下可溶性糖及淀粉含量最高；R : B=1 : 2处理下VC含量明显增大。

综上所述，本试验条件下不同比例红蓝光对生菜生长及营养品质的影响不同。R、R : B=1 : 1、R : B=1 : 2处理更有利于生菜的生长；R : B=1 : 2处理下生菜叶片中叶绿素a/b最高；R : B=2 : 1、R : B=1 : 1、R : B=1 : 2均可提高生菜叶片Pn；红光有利于生菜糖分的积累，R : B=1 : 2处理下VC含量提高，R : B=2 : 1、R : B=1 : 1、R : B=1 : 2都有利于生菜叶片中可溶性蛋白的合成。因此，红蓝光比为1 : 2的光源为生产优质高产生菜的优选光源。

### 参考文献

- [1] 赵占娟,李光,王秀生,等.光质对绿豆幼苗叶片超微弱发光及叶绿素含量的影响[J].西北植物学报,2009,29(7): 1465-1469.
- [2] 张欢,徐志刚,崔瑾,等.光质对番茄和莴苣幼苗生长及叶绿体超微结构的影响[J].应用生态学报,2010, 21(4):959-965.
- [3] 苏娜娜,邹奇,崔瑾.LED光质补光对黄瓜幼苗生长和光合特性的影响[J].中国蔬菜,2012(24):48-54.
- [4] WANG J, LU W, TONG Y X, et al. Leaf morphology, photosynthetic performance, chlorophyll fluorescence, stomatal development of lettuce (*Lactuca sativa* L.) exposed to different ratios of red light to blue light[J].Frontiers in plant science, 2016,7:250.

# 不同南瓜砧木品种对嫁接黄瓜长势及产量的影响

苏世闻, 陈先知, 周友和, 王克磊

(温州科技职业学院/浙江省温州市设施蔬菜工程技术中心, 浙江 温州 325006)

**摘要:** 为筛选优良黄瓜砧木新品种, 以科丰-200黄瓜自根苗为对照, 对5个南瓜砧木品种嫁接黄瓜的长势和产量进行比较。结果表明: 黄砧/科丰-200嫁接组合各项经济指标都表现良好, 在结果盛期植株长势强, 6~15节内平均每节雌花数达2.5个, 单瓜质量达237 g, 瓜条长34.16 cm, 果肉厚达9.8 mm, 瓜皮绿色, 光泽度好, 没有蜡粉, 无瓜棱, 瓜瘤小, 每667 m<sup>2</sup>产量达6 038.43 kg, 比自根苗增产27.89%。综合试验中各项指标, 南瓜砧木黄砧嫁接后黄瓜植株生长势强, 瓜条商品性好, 丰产性好, 是比较理想的嫁

接砧木。

**关键词:** 砧木; 黄瓜; 长势; 产量

黄瓜是主要的瓜类蔬菜作物, 常年连作会导致枯萎病发病率高、产量降低、品质下降等问题频发, 而嫁接可以克服连作障碍, 是设施蔬菜生产的一项重要技术。嫁接黄瓜的根系入土深, 吸水能力强, 多表现为生长势强, 对低温干旱潮湿耐受力都高于自根苗<sup>[1-2]</sup>, 植株抗逆性增强, 结果期延长, 产量增加<sup>[3]</sup>, 品质提高<sup>[4-5]</sup>。南瓜作为黄瓜的主要嫁接砧木, 在设施蔬菜栽培中占有重要

收稿日期: 2017-11-03

基金项目: 浙江省温州市科技计划项目 (N20140032)。

- [5] LIU X Y, GUO S R, XU Z G, et al. Regulation of chloroplast ultrastructure, cross-section anatomy of leaves, and morphology of stomata of cherry tomato by different light irradiations of light-emitting diodes [J]. *Journal of Biotechnology*, 2011, 24(2): 129-139.
- [6] 刘福霞, 刘乃森. 不同光质对生菜幼苗生长的影响 [J]. *北方园艺*, 2014(21): 53-56.
- [7] 陈文昊, 徐志刚, 刘晓英, 等. LED光源对不同品种生菜生长和品质的影响 [J]. *西北植物学报*, 2011, 31(7): 1434-1440.
- [8] 齐敏, 陈海丽, 唐晓伟, 等. 不同来源菠菜品种营养品质分析与评价 [J]. *中国蔬菜*, 2009(22): 20-27.
- [9] 李雯琳, 郁继华, 张国斌, 等. LED光源不同光质对叶用莴苣幼苗叶片气体参数和叶绿素荧光参数的影响 [J]. *甘肃农业大学学报*, 2010, 45(1): 47-51.
- [10] LIN K H, HUANG M Y, HUANG W D, et al. The

- effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*) [J]. *Scientia Horticulturae*, 2013, 150(2): 86-91.
- [11] 高俊风. 植物生理学指导书 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 140-204.
- [12] 张帅, 文尚胜, 梁依倩, 等. LED光质对于生菜生长的影响 [J]. *照明工程学报*, 2016, 27(5): 72-77.
- [13] 湛晓芳. 鸡桑叶片光合速率与气孔导度及微气象因子的相关性研究 [J]. *中国农学通报*, 2008, 24(11): 197-201.
- [14] WANG H, GU M, CUI J X, et al. Effects of light quality on CO<sub>2</sub> assimilation, chlorophyll-fluorescence quenching, expression of Calvin cycle genes and carbohydrate accumulation in *Cucumis sativus* [J]. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 2009, 96(1): 30-37. 回