

# 不同 LED 光源对小白菜生长及光合特性的影响

陈祥伟, 刘世琦, 刘庆, 成波, 冯磊, 刘景凯

(山东农业大学 园艺科学与工程学院, 作物生物学国家重点实验室, 农业部园艺作物生物学重点开放实验室, 山东 泰安 271018)

**摘要:**以“华京”小白菜为试材, 利用 LED 精量调制光源, 设红光、蓝光、红/蓝(3/1)、红/蓝(7/1)、白/红/蓝(3/2/1)5 个光质处理, 以白光为对照, 研究了不同光质对小白菜生长及光合特性的影响。结果表明:红/蓝(7/1)处理下小白菜植株茎粗、叶宽、叶面积及根系长度均显著高于其它处理;根系活力以红/蓝(7/1)处理的最强, 在蓝光下的最弱;叶绿素含量以蓝光处理的最高, 且叶绿素总量与红/蓝光值呈负相关;光合速率、气孔导度、蒸腾速率均以红光处理的最高, 而蓝光处理下有较高的胞间  $\text{CO}_2$  浓度。这说明红/蓝(7/1)光有利于提高小白菜叶片的光合作用, 可有效促进植株生长, 提高其产量。

**关键词:**小白菜;光质;生长;叶绿素;光合速率

**中图分类号:**S 634.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)22-0001-04

光质即不同波长的光谱, 是植物生长发育的重要环境因子, 对植物的形态建成、生理代谢、光周期反应、生长发育及品质有广泛的调节作用。在 20 世纪初期, 已有人就光周期对作物生长发育的影响进行了研究<sup>[1]</sup>。20 世纪 80 年代 Richter 等<sup>[2]</sup>研究表明, 蓝光可降低植物体内 IAA 水平从而抑制植物生长, 红光可促进植物子叶伸长, 抑制茎的过度生长, 蓝光可促进烟草叶片中叶绿体发育基因的合成, 但可被红光逆转。目前国内外对光质的研究已成为热点, 陈娴等<sup>[3]</sup>研究表明, 红/蓝(7/1)可以增加韭菜的壮苗指数, 提高其光合速率、气孔导度、蒸腾速率, 红光处理可以增加韭菜的叶绿素总量、叶绿素 a/b 值及类胡萝卜素含量。蒲高斌等<sup>[4]</sup>对番茄幼苗研究发现, 红光有利于番茄幼苗干物质的积累, 并且可以提高其叶绿素含量, 蓝光处理可以提前番茄花期, 提高其产量。邢泽南等<sup>[5]</sup>以油葵芽苗菜为试材, 研究发现红光可以显著提高油葵芽苗菜的叶绿素 a、叶绿素总量和类胡萝卜素含量, 蓝光可以提高芽苗菜干物质含量;紫外线(UV-B)显著提高了油葵芽苗菜的下胚轴长度。另外, 还有学者<sup>[6-8]</sup>对生菜、油麦菜、青蒜苗等作物均进行了相

关研究, 也均取得了一定的成果。

与传统人工光源相比, LED 精量调制光源具有明显的优势:一是具有使用电源电压低、节能高效、体积小、稳定性强、响应时间快、寿命长等优点<sup>[9]</sup>;二是采用 LED 光源能得到单一波长光质, 解决了以往研究中光质不纯的问题, 增加了试验结果的可靠性。该试验通过 LED 精量调制光质研究不同光质对小白菜生长及叶片光合特性的影响, 以期为 LED 光源在小白菜设施栽培上的应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试材料为市售“华京”小白菜。不同 LED 光源均由淄博曙光科技公司提供。

### 1.2 试验方法

试验于 2012 年 11 月至 2013 年 1 月在山东农业大学科技创新园及智能人工气候室进行。设 5 个 LED 光源处理:分别为红光(R)、蓝光(B)、红/蓝灯的数量比为 3/1(3R/1B)、红/蓝灯的数量比为 7/1(7R/1B)、白/红/蓝灯的数量比为 3/2/1(3W/2R/1B), 以白色 LED 光为对照(CK), 灯光分布见图 1。距离光源 50 cm 处的光强为  $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。待幼苗长至 4 叶 1 心时选择长势一致的幼苗移入智能人工气候室, 该气候室可通过计算机对植物生长过程的温度、湿度、 $\text{CO}_2$  浓度进行自动监控和调节, 每处理 6 盆(长 60 cm×宽 30 cm×高 15 cm), 每盆 12 株, 3 次重复, 随机排列。白天温度控制在  $(22 \pm 1)^\circ\text{C}$ , 夜间  $(12 \pm 1)^\circ\text{C}$ , 光照 13 h/d, 每天浇 1 次营养液, 每盆浇 1 L, 营养液选用绿叶蔬菜通用配方, 其

**第一作者简介:**陈祥伟(1987-), 男, 硕士, 研究方向为蔬菜栽培生理。E-mail:xiangweichan1987@163.com.

**责任作者:**刘世琦(1959-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 现主要从事蔬菜栽培生理与分子生物学等研究工作。E-mail:liusq99@sda.u.edu.cn.

**基金项目:**国家公益性行业(农业)科研专项经费资助项目(200903018)。

**收稿日期:**2013-06-24

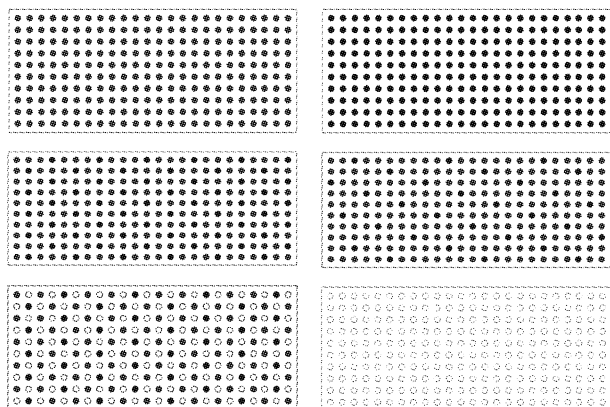


图1 LED生长培育光源

注:图中颜色代表LED的颜色。

Fig. 1 Light source of LED culture

Note: Different colours represent LED colour.

它微量元素参照其通用配方。处理20 d后,随机取样进行相关指标的测定。

### 1.3 项目测定

随机选取10株植株,用游标卡尺测量茎粗,用直尺测量叶长、叶宽、叶柄长、根系长度,取平均值。叶面积按照公式计算单叶叶面积,即单叶叶面积=叶长×叶宽×0.7007<sup>[10]</sup>。称量以上10株植株重量;根系活力采用TTC法测定;叶绿素含量的测定按照 Lichtenthaler<sup>[11]</sup>对 Arnon 修正的方法进行,采用80%丙酮浸提<sup>[12]</sup>,并根据 Arnon 公式计算叶绿素含量,3次重复。用 PP-Systems 公司生产的

表1

不同光质对小白菜生长指标的影响

Table 1

Effects of different light qualities on the growth indexes of pakchoi

处理 Treatment	生物量 Biomass/g	茎粗 Stem diameter/cm	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm	叶面积 Leaf area/cm <sup>2</sup>	叶柄长 Petiole length/cm	根系长度 Root length/cm
R	19.95bB	0.492bAB	8.52bB	7.38bB	44.19bB	4.21bcC	10.46cC
B	6.90eE	0.332eD	5.64dC	5.20dD	20.55dD	4.66aA	8.00eE
3R/1B	19.70bB	0.499bAB	10.30aA	8.30aA	59.94aA	4.56aAB	11.20bB
7R/1B	25.82aA	0.513aA	10.20aA	8.52aA	60.94aA	4.32bBC	12.36aA
3W/2R/1B	9.86dD	0.377dC	8.36bcB	6.00cC	35.15cC	4.28bcBC	9.22dD
CK	16.80cC	0.485cB	7.80cB	7.04bB	38.47cBC	4.06cC	11.04bBC

注:表中同一指标数据后不同大、小写字母表示差异极显著( $P=0.01$ )和显著( $P=0.05$ )。以下同。

Note: Different small and capital letters in the same index mean significant at 5% and 1% levels. The same below.

### 2.2 不同光质对小白菜根系活力的影响

植物根系是活跃的吸收器官和合成器官,根系活力的强弱直接影响到地上部的生长、营养状况和产量。由图2可知,与对照和其它处理相比,小白菜的根系活力以7R/1B处理下的最强,比对照提高了41.19%,蓝光处理下的根系活力最弱,比对照降低了23.50%,3W/2R/1B处理与对照无明显差异,根系活力由强到弱依次为7R/1B>R>3R/1B>CK>3W/2R/1B>B。综合表1和图2表明,7R/1B处理下的植株根系活力最强,生长健壮,最有利于小白菜的生长。

CIRAS-I 便携式光合仪测定小白菜光合指标,测定光照强度为  $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,叶温为  $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$ ,  $\text{CO}_2$  供气系统控制  $\text{CO}_2$  浓度(Ca)为  $(480 \pm 2) \mu\text{L/L}$ ,每处理3次重复。

### 1.4 数据分析

应用 DPS 和 Excel 软件进行数据分析,采用多重比较 LSD 法进行方差显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同光质对小白菜生长量的影响

植株生长量的大小在一定程度上代表同化物的积累。由表1可知,不同光质对小白菜的生长发育具有明显的影响,7R/1B处理下小白菜的生物量、茎粗、叶宽、叶面积以及根系长度均高于对照和其它处理,分别比对照增加了53.69%、5.77%、21.02%、58.41%、11.96%,其次是3R/1B和红光处理,而蓝光处理下的小白菜的生物量最小,与对照相比,分别降低了58.93%、31.54%、26.14%、46.58%、27.54%。3R/1B处理下叶长最大,但与7R/1B差异不显著。虽然蓝光不利于小白菜叶长与叶宽的增大,但蓝光却增大了叶长/叶宽值。与对照和其它处理相比,蓝光处理下的叶柄长度最大,比对照增加了14.78%,其次是3R/1B处理和7R/1B处理。由此可见,7R/1B处理下小白菜的生物量、茎粗、叶宽、叶面积以及根系长度均达到最大值,最有利于植株的生长发育。

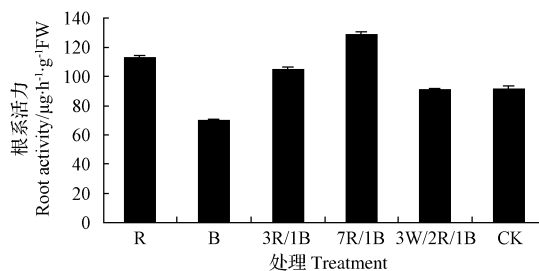


图2 不同光质对小白菜根系活力的影响

Fig. 2 Effects of different light qualities on root activity of pakchoi

### 2.3 不同光质对小白菜叶绿素含量和类胡萝卜素含量的影响

由表 2 可知,与对照和其它处理相比,蓝光处理下的小白菜叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素(a+b)含量均是最高,分别比对照高出 20.94%、38.54%、24.34%;叶绿

素 a/b 值由高到低依次是红/蓝(3/1)>红/蓝(7/1)>白光>红光>白/红/蓝(3/2/1)>蓝光,由此可以得出红蓝混合光有利于提高叶绿素 a/b 值,且与红蓝混合光的比值成反比。由表 2 还可以看出,不同光质处理对类胡萝卜素含量的影响差异很小。

表 2 不同光质对小白菜叶片叶绿素含量和类胡萝卜素含量的影响

Table 2 Effects of different light qualities on chlorophyll content and carotenoid content in pakchoi leaves

处理	叶绿素 a 含量	叶绿素 b 含量	叶绿素 a/b	叶绿素(a+b)含量	类胡萝卜素含量
Treatment	Chl a content/mg · g <sup>-1</sup> FW	Chl b content/mg · g <sup>-1</sup> FW	Chl a content/Chl b content	Chl(a+b) content/mg · g <sup>-1</sup> FW	Car content/mg · g <sup>-1</sup> FW
R	1.024abA	0.240bB	4.262bcAB	1.448aAB	0.268aA
B	1.080aA	0.284aA	3.804cB	1.563aA	0.245aA
3R/1B	1.032abA	0.217cBC	4.749aA	1.430abAB	0.262aA
7R/1B	0.994abA	0.216cBC	4.599abA	1.386abAB	0.267aA
3W/2R/1B	1.013abA	0.240bB	4.219bcAB	1.436abAB	0.272aA
CK	0.893bA	0.205cC	4.3562abAB	1.257bB	0.262aA

### 2.4 不同光质对小白菜光合特性的影响

由表 3 可知,不同光质处理的小白菜光合速率差异极显著,红光处理下的光合速率最大,极显著高于对照和其它处理,比对照提高了 37.77%,蓝光处理下的小白菜光合速率最小,比对照减少了 54.20%,不同光质处理对光合速率影响由快到慢依次为 R>7R/1B>3R/1B>3W/2R/1B>CK>B。对蒸腾速率的影响,红光下的蒸腾速率最大,其次是 7R/1B 和 3R/1B 处理,

分别比对照提高了 30.73%、13.17%和 8.78%,蓝光和 3W/2R/1B 处理的蒸腾速率显著低于对照和其它处理,分别降低了 64.15%和 35.61%。对气孔导度的影响趋势与蒸腾速率一致,依次为 R>7R/1B>3R/1B>CK>3W/2R/1B>B。由表 3 还可知,胞间 CO<sub>2</sub> 浓度以蓝光处理下的最大,其次为白光,7R/1B 与 3R/1B 处理下的差异较小,红光下的最小,胞间 CO<sub>2</sub> 浓度变化趋势与光合速率具有相反的趋势。

表 3 不同光质对小白菜光合特性的影响

Table 3 Effects of different light qualities on photosynthetic characters of pakchoi

处理	光合速率	蒸腾速率	气孔导度	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度
Treatment	Photosynthetic rate/ $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	Transpiration rate/ $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	Stomatal conductance/ $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	Intercellular CO <sub>2</sub> concentration/ $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$
R	15.43aA	5.36aA	284.57aA	431.35cC
B	5.13dC	1.47eD	164.68dC	484.33aA
3R/1B	12.37bcB	4.46bcB	266.00bA	442.16bcBC
7R/1B	12.53bB	4.64bAB	270.26bA	435.67cBC
3W/2R/1B	11.60bcB	2.64dC	236.38cB	444.76bcBC
CK	11.20cB	4.10cB	229.67cB	453.46bB

## 3 讨论与结论

不同光质对小白菜的生长发育具有显著的影响,该试验结果表明,红光以及不同比例的红蓝混合光对小白菜的生物量、茎粗、叶面积、根系长度都有一定的促进作用,而蓝光却抑制小白菜的生长发育,该研究结论与陈文昊等<sup>[6]</sup>、唐大为等<sup>[13]</sup>、陈娴等<sup>[3]</sup>、Smith<sup>[14]</sup>的研究结果相似。根系是植物吸收养分和水分的重要器官,对植物的生长具有重要的促进作用,根系活力的大小也进一步反映了不同光质处理对作物生长发育的影响,红光以及红蓝混合光可以增大小白菜的根系活力,更有力的证明了上述结论。而该试验结果还显示,高比例的红光与蓝光混合比单纯红光对小白菜的生长更有利,这可能是由于单色光之间具有加性效应。

叶绿素是植物进行光合作用的重要物质基础,而光是影响叶绿素合成的重要条件,同波长的光与植物体内

相应的光受体作用,调控色素合成。对大多数作物而言,红光有利于提高叶片中叶绿素的含量,而蓝光处理下叶片中叶绿素含量较低<sup>[15-16]</sup>,但蓝光处理可提高叶片中叶绿素 a/b 值,而红光可降低叶片叶绿素 a/b 值<sup>[17-18]</sup>。该研究结果表明,蓝光处理下的光合色素含量高于对照及其它处理,体现出不同作物对光质具有不同的响应,其原因可能是不同作物在适应长期的生长过程中形成了不同的生理特性,所以作物对光质的反应具有一定的不确定性。该结论与前期采用大花惠兰和马铃薯<sup>[19]</sup>、油麦菜<sup>[7]</sup>作为试验材料具有相似的结果。

李韶山等<sup>[17]</sup>认为,红光和远红光可在转录水平上调节光合机构的组装,从而影响植物的光合作用,而不同植物由于生理特性和组织结构不同,其光合机构对适应不同光质的调控机理也有所不同。该研究结果表明红光处理下小白菜的光合速率最大,其次是红蓝混合光处

理,蓝光处理下的光合速率最小,这与杨晓建等<sup>[8]</sup>、陶汉之等<sup>[20]</sup>、徐凯等<sup>[18]</sup>的研究结果一致,但与张瑞华等<sup>[21]</sup>的研究结果不一致,可见不同光质对不同作物的光合速率的影响不一致。光合速率与叶绿素含量的趋势并不一致,可能的原因是影响光合速率的因素很多,这也说明不能单纯依靠叶绿素含量判断光合速率。小白菜的蒸腾速率、气孔导度与光合速率变化趋势一致,都以红光处理下最高,蓝光处理下最低,说明红光有利于植物的光合作用,可能的原因是光质影响了光合细胞的结构<sup>[22]</sup>,从而影响了作物对光质的吸收和转化。

### 参考文献

- [1] Garner W W, Allard H A. Effect of abnormally long and short alternation of light and darkness on growth and development of plants[J]. Journal of Agricultural Research, 1931, 42(10): 629-651.
- [2] Richter G, Wessel K. Red light inhibits blue light-induced chloroplast development in cultured plant cells at the mRNA level[J]. Plant Molecular Biology, 1985, 5(3): 175-182.
- [3] 陈娟,刘世琦,孟凡鲁,等. 不同光质对韭菜生长及光合特性的影响[J]. 中国蔬菜, 2012(8): 45-50.
- [4] 蒲高斌,刘世琦,刘磊. 不同光质对番茄幼苗生长和生理特性的影响[J]. 园艺学报, 2005, 32(3): 420-425.
- [5] 邢泽南,张丹,李薇,等. 光质对油菜芽苗菜生长和品质的影响[J]. 南京农业大学学报, 2012, 35(3): 47-51.
- [6] 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.
- [7] 唐永康,郭双生,艾为党,等. 不同比例红蓝LED光照对油菜生长发育的影响[J]. 航天医学与医学工程, 2010, 23(3): 206-212.
- [8] 杨晓建,刘世琦,张自坤,等. 不同LED光源对青蒜苗生长及叶绿素荧光特性的影响[J]. 中国蔬菜, 2011(6): 62-67.
- [9] 谢景,刘厚诚,宋世威,等. 光源及光质调控在温室蔬菜生产中的应用研究进展[J]. 中国蔬菜, 2012(2): 1-7.
- [10] 张振贤,王培伦,刘世琦. 蔬菜生理[M]. 北京:中国农业出版社, 1993: 38-39.
- [11] Lichtenthaler H K. Applications of chlorophyll fluorescence: in photosynthesis research, stress physiology, hydrobiology, and remote sensing[M]. Dordrecht, Netherlands; Boston: Kluwer Academic Publishers, 1988: 129-142.
- [12] 邹琦. 植物生理生化实验指导[M]. 北京:中国农业出版社, 1995: 36-38.
- [13] 唐大为,张国斌,张帆,等. LED光源不同光质对黄瓜幼苗生长及生理生化特性的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2011, 46(1): 44-48.
- [14] Smith K C. 光生物学[M]. 北京:科学出版社, 1984.
- [15] 童哲,赵玉锦,王台,等. 植物的光受体和光控发育研究[J]. 植物学报, 2000, 42(2): 111-115.
- [16] 许莉,刘世琦,齐连东,等. 不同光质对叶用莴苣光合作用及叶绿素荧光的影响[J]. 中国农学通报, 2007, 23(1): 96-100.
- [17] 李韶山,潘瑞炽. 蓝光对水稻幼苗叶绿体发育的影响[J]. 中国水稻科学, 1994, 8(3): 185-188.
- [18] 徐凯,郭延平,张上隆. 不同光质对草莓叶片光合作用和叶绿素荧光的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 38(2): 369-375.
- [19] Mou N N, Gao Y K. Review of applying light emitting diodes (LEDs) in plant tissue culture[J]. Propagation Technique, 2000, 14(4): 220-222.
- [20] 陶汉之,王新长. 茶树光合作用与光质的关系[J]. 植物生理学通讯, 1989(1): 19-23.
- [21] 张瑞华,徐坤,董灿兴. 光质对生姜叶片光合特性的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(11): 3722-3727.
- [22] Eskins K, Duysen M, Dybas L. Light quality effects on corn chloroplast development[J]. Plant Physiology, 1985, 77: 29-34.

## Effects of Different Light Qualities on Growth and Photosynthetic Characteristics of Pakchoi

CHEN Xiang-wei, LIU Shi-qi, LIU Qing, CHENG Bo, FENG Lei, LIU Jing-kai

(State Key Laboratory of Crop Biology, Agriculture Ministry Key Laboratory of Horticultural Crop Biology, College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018)

**Abstract:** Taking 'Huajing' pakchoi as material, red light, blue light, red/blue(3/1) light, red/blue(7/1) and white/red/blue(3/2/1) light were applied by light-emitting diode, white light generated by fluorescent lamps was used as control, the effects of different light qualities on the growth and photosynthetic characteristics of pakchoi were studied. The results showed that the stem diameter, leaf width, leaf area and root length of pakchoi were the highest under red/blue(7/1) light. The root activity of pakchoi was the highest under red/blue(7/1) light and the smallest under blue light. The content of chlorophyll (a+b) of pakchoi was the highest under blue light treatment, and chlorophyll (a+b) content was correlated with red/blue negative correlation. The photosynthetic rate, stomata conductance, transpiration rate of pakchoi were the biggest under red light. Whereas intercellular CO<sub>2</sub> concentration was the highest under blue light. It concluded that the photosynthetic rate of pakchoi was significantly increased under red/blue(7/1) light, thus the plant growth and yield were also significantly increased.

**Key words:** pakchoi; light quality; growth; chlorophyll; photosynthetic rate