

王涛,兰婕,陈永快,等. LED红蓝光配比对生菜生长及生理特性的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(22):199-203.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.22.046

# LED红蓝光配比对生菜生长及生理特性的影响

王涛,兰婕,陈永快,雷锦桂,黄语燕,廖水兰,吴宝意

(福建省农业科学院数字农业研究所,福建福州 350003)

**摘要:**以意大利生菜为试材,在植物工厂光照培养架上,以红蓝光 R:B=1:1 作为对照,红蓝光配比分别设为 R:B=6:3、R:B=5:4、R:B=4:5、R:B=3:6、R:B=2:7 等 5 个水平,设置光强为  $150 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,每天光照 12 h,研究不同红蓝光配比对生菜生长及生理特性的影响。结果表明,在相同红蓝光配比条件下,随着处理天数的延长,生菜的生物量、光合色素、可溶性蛋白、可溶性糖、维生素 C、硝态氮含量都显著提高,而类胡萝卜素含量呈现下降趋势。在同一光强条件下,红光比例最大的处理生物量积累显著优于其他处理,还有利于促进叶绿素 a 及可溶性糖的积累,而增加蓝光则有利于叶绿素 b、可溶性蛋白及维生素 C 含量的累积。R:B=6:3 时最有利于生菜生长。

**关键词:**LED;红蓝光配比;生菜;生长;生理

**中图分类号:** S636.201 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)22-0199-05

植物整个生长周期都离不开光的参与与调节,通过调节

收稿日期:2018-08-14

基金项目:福建省农业科学院一般项目(编号:A2018-5,A2018-1,A2017-3);福建省农业科学院青年人才创新基金(编号:YC2018-9);福建省农业科学院智慧农业创新团队项目(编号:STIT2017-2-12);福建省农业科学院数字农业科技服务团队项目(编号:kjfw22)。

作者简介:王涛(1992—),男,福建福州人,硕士,研究实习员,研究方向为设施农业。E-mail:793831167@qq.com。

通信作者:陈永快,硕士,助理研究员,主要从事设施农业、循环农业研究。E-mail:stonecyk@126.com。

光质配比,控制植株生长发育,是设施栽培领域中一项重要技术。光为植物生长提供了辐射能,并提供信号用于调节植物生长,主要是通过影响光形态建成、光合特性、光周期效应、物质代谢等<sup>[1-2]</sup>。光照影响植物形态建成,如茎的高低、叶的展开度等。同时光照还能影响植物的发芽率,大部分情况下,种子受光后促进其萌发,但需暗种子受到光照则会抑制其萌发作用。植物在整个生长过程中一直处在一个多变的光环境下,在漫长的进化过程中,不仅适应了光环境的改变,而且还与光环境互相作用,相辅相成<sup>[3-4]</sup>。

植物工厂内光环境的调节对植物生长有着重要影响,是提高果实产量和品质的先决条件。利用光环境调控技术不仅

[2]李玉帆,明军,王良桂,等. 百合基本营养成分和活性物质研究进展[J]. 中国蔬菜,2012(24):7-13.

[3]龙雅宜,张金政. 百合属植物资源的保护和利用[J]. 植物资源与环境学报,1998,7(1):40-44.

[4]茅云枫,李枝林,段青,等. 4种百合营养成分的差异性研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学),2017,32(2):366-370.

[5]邓成忠,杨云光. 食用百合品种介绍[J]. 中国果菜,2002(5):32.

[6]杨雨华. 半干旱地区兰州百合对地膜覆盖和施肥的生态学效应研究[D]. 兰州:兰州大学,2011:8-20.

[7]邵春昕,刘玉军. 百合科植物卷丹野生资源的保护与可持续利用[J]. 林业资源管理,2005(4):59-61.

[8]朱业斌. 万载龙牙百合及其栽培技术[J]. 江西园艺,1999(3):36-37.

[9]李恩香,黄玉琴,蒋满英,等. 江西省龙牙百合种质资源遗传多样性研究[J]. 园艺学报,2010,37(5):811-816.

[10]付艳华,刘湘林,魏先运. 食用百合引种鉴定和新品系选育研究[J]. 浙江农业科学,2010(3):468-470.

[11]王月霞. 兰州百合引种初报[J]. 江苏农业科学,1995(2):52-53.

[12]谢洲,付亮,黄娟,等. 达州市兰州百合引种栽培试验[J]. 安徽农学通报,2015,21(20):111.

[13]龚伟. 三峡库区引种百合与原产地百合品质比较[J]. 亚太传统医药,2015,11(17):32-34.

[14]王刚,杜捷,李桂英,等. 兰州百合和野百合组织培养及快速繁殖研究[J]. 西北师范大学学报(自然科学版),2002,38(1):69-71.

[15]韦莉萍,韦绍龙,苏宾,等. 兰州百合鳞茎再生繁殖体系的建立[J]. 南方农业学报,2014,45(5):742-748.

[16]徐皓,杨培君,李会宁. 卷丹的组织培养及快繁研究初报[J]. 西北农业学报,2008,17(4):290-293.

[17]屈云慧,吴丽芳,杨春梅,等. 百合试管小鳞茎高效再生体系的研究[J]. 江苏农业科学,2012,40(9):58-60.

[18]宋福强. 热带引种植物物候和生长量特征及对气候变化的响应[D]. 西双版纳:中国科学院西双版纳热带植物园,2007:115-125.

[19]王莹,王良桂,黄成名,等. 露地栽培条件下百合的生长规律及种球繁殖技术[J]. 中国农业科学,2014,47(8):1558-1566.

[20]Wang Y T, Breen P J. Partitioning of  $^{14}\text{C}$  - assimilate in easter lily as affected by growth stage and flower removal [J]. Scientia Horticulturae, 1986, 29(3):273-281.

[21]李红娟. 卷丹百合营养成分、活性物质及栽培特性的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2007:90-97.

[22]刘雅莉,张剑侠,潘学军. 东方百合“索邦”的花器官培养与快速繁殖[J]. 西北植物学报,2004,24(12):2350-2354.

[23]龙春林,程治英,王俐,等. 兰州百合器官离体培养外植体位置效应观察[J]. 云南植物研究,2004,26(2):221-225.

高效节能、环保经济,并在实际生产应用中简单易行,在植物生长过程中具有显著优势<sup>[5]</sup>。植物工厂通过高精度的环境控制,实现周年生产,是未来农业产业化的重要发展方向之一<sup>[6]</sup>。发光二极管 LED 作为新型光源,与传统光源比较,具有体积小、能效高、发热量低、光谱窄、使用寿命长、无污染等特点,可近距离照射植物,能显著减少能耗,降低成本<sup>[7-8]</sup>。迄今,LED 已成功运用于生菜<sup>[9]</sup>、黄瓜<sup>[10]</sup>、番茄<sup>[11]</sup>、金线莲<sup>[12]</sup>等作物,并取得了重要的成果。

生菜是一种全球性蔬菜,在植物工厂中应用广泛<sup>[13]</sup>。生菜不仅富含多种营养成分,而且具有抗衰老、降血压、防止癌细胞形成等保健功能,深受消费者欢迎<sup>[14]</sup>。目前不少学者进行光质对比对植物生长发育的研究,余意等研究表明,短期的 LED 红蓝光连续光照可以提高生菜的生物量及产量品质<sup>[15]</sup>;谢景等研究表明,红蓝光配比为 R:B=6:3 时,叶绿素 a、叶绿素 b 含量显著升高<sup>[16]</sup>;李伟等研究表明,在同一光质配比下总叶绿素和类胡萝卜素的含量都显著上升<sup>[17]</sup>;刘振威等研究表明,不同光质对比对植物幼苗处理的可溶性糖、可溶性蛋白、维生素 C 含量都显著提高<sup>[18]</sup>;杨其长研究表明,红蓝光配比为 R:B=4:1,连续光照下生菜中的硝态氮含量随光照强度的增加而降低<sup>[19]</sup>。

本试验以 LED 红蓝光为试验光源,研究不同光质对比对生菜生长及生理特性的影响,以期为生菜在植物工厂中红蓝光组合的选择上提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点

福建省农业科学院玻璃温室内植物工厂及生理生化实验室。

### 1.2 试验条件

以意大利全年耐抽薹生菜为试验品种,播种日期为 2018 年 4 月 17 日,定植 LED 栽培架时间为 5 月 10 日。光强设置为  $150 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,红蓝光配比设置分别为 R:B=6:3、R:B=5:4、R:B=4:5、R:B=3:6、R:B=2:7 等 5 个水平,以红蓝光 R:B=1:1 作为对照,包括对照共组成 6 个处理组合。光照培养架为层高为 30 cm 的栽培架,光源固定于培养架顶部,距离植株 25 cm。培养架内层各层之间不透光,每层层架周边用黑色塑料布遮挡,以防止外界光源对试验产生影响。每天光照 9 h,植物工厂温度采用中央空调调节,白天温度不高于 28℃,夜间温度不低于 18℃。LED 层架培养 7、14、21 d 各取样 1 次,随机取样,每个处理重复 3 次,进行形态指标和生理指标的测定。

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 形态指标 株高(根茎部到生长点)、展开度、根长用直尺测量;记录生菜植株的叶片数;用感量为 0.000 1 g 的电子分析天平测出各处理生菜植株地上部和地下部的鲜干质量。根冠比=植物地下部分鲜质量/地上部鲜质量。

1.3.2 叶片生理指标 光合色素含量的测定采用混合液提取法<sup>[20]</sup>,可溶性糖含量的测定采用蒽酮比色法<sup>[21]</sup>,可溶性蛋白含量的测定采用考马斯亮蓝 G-250 染色法<sup>[21]</sup>,维生素 C 含量的测定采用杨芳芳等的紫外分光光度法<sup>[22]</sup>,硝态氮含量的测定采用王学奎的紫外分光光度计法<sup>[23]</sup>。

### 1.4 数据处理

试验数据采用 Excel、DPS(7.05) 软件进行统计和分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同红蓝光配比对生菜生长的影响

由表 1 可知,随着栽培时间的延长,生菜的形态指标均增大。在株高上,栽培时间为 21 d 时以处理 R:B=6:3 表现最好,可达 29.73 cm,处理 R:B=5:4 次之,处理 R:B=2:7 表现最差,仅 24.83 cm,最高处理与最低处理之间相差 4.90 cm;在展开度方面,栽培时间 21 d 时,处理 R:B=6:3>处理 R:B=5:4>对照 R:B=1:1>处理 R:B=4:5>处理 R:B=3:6>处理 R:B=2:7,最高处理与最低处理之间相差 3.37 cm;栽培时间为 21 d 时叶片数范围在 8~12 张之间,处理 R:B=6:3 叶片数最多;根系长度上,栽培时间为 21 d 时以处理 R:B=6:3 表现最佳,处理 R:B=5:4 次之,处理 R:B=2:7 表现最差,仅 12.83 cm。试验结果表明,在处理 R:B=6:3 红蓝光配比条件下,能够有效促进生菜的株高、展开度的生长,红光比例增大能够促进生菜叶片数和根长的增加。

### 2.2 不同红蓝光配比对生菜生物量的影响

由表 2 可知,在地上部鲜质量上,栽培时间为 21 d 时以处理 R:B=6:3 表现最好,比其余处理高了 15.10%、1.28%、26.03%、28.95%、38.03%,与 R:B=5:4 以外的处理差异显著;地下部鲜质量以栽培时间为 21 d 的处理 R:B=6:3 表现最好,与 R:B=5:4 外其余处理(栽培时间为 21 d)之间存在显著差异;地上部干质量和地下部干质量均以栽培时间为 21 d 的处理 R:B=6:3 表现最好,与其余处理(栽培时间为 21 d)之间存在显著差异;栽培时间为 21 d 的根冠比范围在 0.116%~0.172% 之间,以处理 R:B=6:3 表现最好,与 R:B=5:4 外其余处理之间存在显著差异。结果表明,在 R:B=6:3 红蓝光配比条件下,生菜的地上部鲜质量、地下部鲜质量、地上部干质量、地下部干质量、根冠比均表现最佳,说明增加红光比例能显著提高生菜生物量的积累。

### 2.3 不同红蓝光配比对生菜叶片光合色素含量的影响

由表 3 可知,不同红蓝光配比对生菜叶片光合色素含量有不同的影响;叶绿素 a 含量随红光比例的增多而增加,栽培时间为 21 d 时以处理 R:B=6:3 表现最好,处理 R:B=5:4 次之,处理 R:B=2:7 表现最差;叶绿素 b 含量随蓝光比例的增多而增加,叶绿素 b 含量最高的是栽培时间为 21 d 的处理 R:B=3:6,处理 R:B=4:5 次之,对照 R:B=1:1 表现最差;叶绿素总量以栽培时间为 21 d 的处理 R:B=3:6 表现最好,比栽培时间为 21 d 时的其余处理高了 44.54%、35.17%、20.28%、13.91%、25.55%,差异显著;类胡萝卜素含量以栽培时间为 7 d 的处理 R:B=6:3 最高。试验结果表明,增加红蓝光配比中红光比例可以促进叶绿素 a 合成,而增加蓝光比例则有利于促进叶绿素 b 合成,但随着栽培时间的延长,类胡萝卜素的合成又受到抑制。

### 2.4 不同红蓝光配比对生菜叶片营养品质的影响

2.4.1 可溶性蛋白含量 由表 4 可知,在红蓝光配比条件相同的情况下,各栽培时间生菜叶片的可溶性蛋白含量呈逐渐上升的趋势,在 21 d 时可溶性蛋白含量积累最多;其中在

表 1 不同红蓝光配比对生菜生长的影响

栽培时间 (d)	处理	株高 (cm)	展开度 (cm)	叶片数 (张)	根长 (cm)
7	R : B = 1 : 1	17.733 ± 0.416bc	14.333 ± 0.208b	7.000 ± 0.000a	10.133 ± 0.231b
	R : B = 6 : 3	18.367 ± 0.351a	15.467 ± 0.306a	7.333 ± 0.577a	10.800 ± 0.346a
	R : B = 5 : 4	17.967 ± 0.058ab	14.400 ± 0.200b	7.000 ± 0.000a	10.433 ± 0.058b
	R : B = 4 : 5	17.700 ± 0.173bc	12.933 ± 0.252c	7.000 ± 0.000a	9.600 ± 0.200c
	R : B = 3 : 6	17.433 ± 0.252c	11.333 ± 0.058d	6.667 ± 0.577a	9.100 ± 0.000d
	R : B = 2 : 7	14.667 ± 0.252d	10.900 ± 0.200e	6.667 ± 0.577a	8.967 ± 0.058d
14	R : B = 1 : 1	21.167 ± 0.153c	15.633 ± 0.252b	8.333 ± 0.577abc	17.300 ± 0.346b
	R : B = 6 : 3	22.733 ± 0.058a	16.333 ± 0.289a	9.000 ± 0.000a	18.400 ± 0.200a
	R : B = 5 : 4	21.633 ± 0.351b	15.833 ± 0.208b	8.667 ± 0.577ab	18.347 ± 0.136a
	R : B = 4 : 5	20.900 ± 0.173c	12.533 ± 0.306c	8.000 ± 0.000bc	15.867 ± 0.551c
	R : B = 3 : 6	19.933 ± 0.404d	12.167 ± 0.289b	8.000 ± 0.000bc	14.667 ± 0.503d
	R : B = 2 : 7	19.567 ± 0.404d	11.500 ± 0.100d	7.667 ± 0.577c	12.567 ± 0.252e
21	R : B = 1 : 1	29.300 ± 0.520a	16.333 ± 0.289b	11.000 ± 1.000ab	21.200 ± 0.964c
	R : B = 6 : 3	29.733 ± 0.379a	17.667 ± 0.153a	12.333 ± 0.577a	25.800 ± 0.608a
	R : B = 5 : 4	29.533 ± 0.058a	17.367 ± 0.306a	11.667 ± 0.577ab	23.600 ± 0.200b
	R : B = 4 : 5	28.500 ± 0.500b	14.700 ± 0.200c	10.333 ± 0.577bc	23.167 ± 1.150c
	R : B = 3 : 6	27.067 ± 0.116c	14.333 ± 0.306c	9.000 ± 1.000cd	18.200 ± 0.265d
	R : B = 2 : 7	24.833 ± 0.058d	14.300 ± 0.100c	8.000 ± 1.000d	12.833 ± 0.764e

注:同栏同列数据后不同小写字母表示处理间在 0.05 水平存在显著性差异。下表同。

表 2 不同红蓝光配比对生菜生物量的影响

栽培时间 (d)	处理	地上部鲜质量 (g)	地下部鲜质量 (g)	地上部干质量 (g)	地下部干质量 (g)	根冠比 (%)
7	R : B = 1 : 1	7.559 ± 0.172b	0.542 ± 0.011c	0.321 ± 0.011c	0.046 ± 0.003ab	0.085 ± 0.003c
	R : B = 6 : 3	8.457 ± 0.100a	0.764 ± 0.005a	0.366 ± 0.019a	0.055 ± 0.003a	0.101 ± 0.002a
	R : B = 5 : 4	7.686 ± 0.114b	0.679 ± 0.006b	0.340 ± 0.007b	0.048 ± 0.004ab	0.088 ± 0.001b
	R : B = 4 : 5	6.669 ± 0.021c	0.490 ± 0.010d	0.318 ± 0.004c	0.044 ± 0.007b	0.061 ± 0.001d
	R : B = 3 : 6	6.400 ± 0.336c	0.411 ± 0.008e	0.275 ± 0.004d	0.043 ± 0.007b	0.058 ± 0.001e
	R : B = 2 : 7	4.544 ± 0.105d	0.240 ± 0.002f	0.240 ± 0.001f	0.025 ± 0.001c	0.053 ± 0.002f
14	R : B = 1 : 1	15.752 ± 0.387c	1.478 ± 0.212bc	0.673 ± 0.017b	0.059 ± 0.006b	0.111 ± 0.004a
	R : B = 6 : 3	18.715 ± 0.469a	2.110 ± 0.416a	0.829 ± 0.021a	0.073 ± 0.002a	0.113 ± 0.019a
	R : B = 5 : 4	17.209 ± 0.370b	1.713 ± 0.110b	0.822 ± 0.022a	0.071 ± 0.002a	0.112 ± 0.019a
	R : B = 4 : 5	13.330 ± 0.264d	1.420 ± 0.035bcd	0.562 ± 0.026c	0.055 ± 0.005bc	0.106 ± 0.001a
	R : B = 3 : 6	13.088 ± 0.817d	1.221 ± 0.005ed	0.500 ± 0.051d	0.051 ± 0.004cd	0.100 ± 0.005a
	R : B = 2 : 7	10.982 ± 0.398e	1.097 ± 0.071d	0.490 ± 0.024d	0.045 ± 0.002d	0.070 ± 0.003b
21	R : B = 1 : 1	17.001 ± 0.239b	2.272 ± 0.141bc	1.356 ± 0.022c	0.174 ± 0.002c	0.152 ± 0.004b
	R : B = 6 : 3	19.569 ± 0.064a	2.791 ± 0.188a	1.454 ± 0.019a	0.194 ± 0.003a	0.172 ± 0.001a
	R : B = 5 : 4	19.321 ± 0.250a	2.542 ± 0.291ab	1.421 ± 0.022b	0.180 ± 0.003b	0.168 ± 0.002a
	R : B = 4 : 5	15.527 ± 0.376c	2.114 ± 0.031ed	1.354 ± 0.018c	0.143 ± 0.006d	0.148 ± 0.001bc
	R : B = 3 : 6	15.176 ± 0.233c	1.836 ± 0.111d	1.249 ± 0.017d	0.093 ± 0.001e	0.144 ± 0.004c
	R : B = 2 : 7	14.177 ± 0.182d	1.379 ± 0.306e	1.146 ± 0.003e	0.081 ± 0.005f	0.116 ± 0.003d

21 d 时,处理 R : B = 2 : 7 可溶性蛋白含量最高,比其他处理提高 11.35%、39.14%、36.52%、28.31%、2.83%,差异显著。试验结果表明,红蓝光配比中增大蓝光比例,可以促进生菜叶片中可溶性蛋白含量的累积,以处理 R : B = 2 : 7 表现最好。

2.4.2 可溶性糖含量 在同一红蓝光配比条件下,生菜叶片中可溶性糖含量随着栽培时间的延长呈现逐渐上升的趋势,其中,21 d 时,处理 R : B = 6 : 3 生菜叶片中可溶性糖含量最高,比其他处理分别提高了 60.29%、40.17%、46.93%、28.85%,比处理 R : B = 2 : 7 显著提高了 129.45%。各处理生菜叶片中可溶性糖含量均在 21 d 时达到最大值(表 4)。

试验结果表明,通过延长栽培的时间,有利于生菜叶片中可溶性糖含量的积累,以处理 R : B = 6 : 3 表现最好。

2.4.3 维生素 C 含量 在相同的红蓝光配比条件下,各栽培时间生菜叶片中的维生素 C 含量随着栽培时间延长呈现上升的趋势,在 21 d 时维生素 C 含量最高。在不同光质配比下,处理 R : B = 2 : 7 维生素 C 含量最高,达到 531.60 mg/g,比其他处理增加了 23.84%、44.31%、17.63%、9.88%、6.39%(表 4)。试验结果表明,红蓝光配比中增大蓝光比例,可以促进生菜叶片中维生素 C 含量的积累,且维生素 C 含量以处理 R : B = 2 : 7 最高。

表 3 不同红蓝光配比对生菜叶片光合色素含量的影响

栽培时间 (d)	处理	叶绿素 a 含量 (mg/g)	叶绿素 b 含量 (mg/g)	叶绿素总量 (mg/g)	类胡萝卜素含量 (mg/g)
7	R : B = 1 : 1	0.267 ± 0.006c	0.036 ± 0.010e	0.182 ± 0.014f	0.041 ± 0.004a
	R : B = 6 : 3	0.335 ± 0.010a	0.063 ± 0.002d	0.277 ± 0.002e	0.073 ± 0.009b
	R : B = 5 : 4	0.294 ± 0.002b	0.075 ± 0.004bc	0.361 ± 0.004c	0.032 ± 0.008bc
	R : B = 4 : 5	0.255 ± 0.007d	0.082 ± 0.002b	0.390 ± 0.006b	0.056 ± 0.005cd
	R : B = 3 : 6	0.214 ± 0.001e	0.124 ± 0.002a	0.417 ± 0.008a	0.047 ± 0.006d
	R : B = 2 : 7	0.146 ± 0.004f	0.067 ± 0.005cd	0.330 ± 0.010d	0.035 ± 0.003d
14	R : B = 1 : 1	0.421 ± 0.006b	0.092 ± 0.002e	0.431 ± 0.005d	0.029 ± 0.001a
	R : B = 6 : 3	0.498 ± 0.002a	0.097 ± 0.005e	0.480 ± 0.046cd	0.031 ± 0.001b
	R : B = 5 : 4	0.432 ± 0.001b	0.119 ± 0.002c	0.567 ± 0.018b	0.037 ± 0.001c
	R : B = 4 : 5	0.389 ± 0.005c	0.139 ± 0.005b	0.617 ± 0.009b	0.047 ± 0.001d
	R : B = 3 : 6	0.371 ± 0.002d	0.149 ± 0.003a	0.723 ± 0.003a	0.062 ± 0.001e
	R : B = 2 : 7	0.348 ± 0.018e	0.104 ± 0.004d	0.501 ± 0.053c	0.042 ± 0.003f
21	R : B = 1 : 1	0.448 ± 0.016b	0.127 ± 0.001f	0.476 ± 0.018f	0.018 ± 0.002a
	R : B = 6 : 3	0.573 ± 0.002a	0.138 ± 0.005e	0.509 ± 0.003e	0.011 ± 0.001b
	R : B = 5 : 4	0.478 ± 0.006b	0.159 ± 0.002c	0.572 ± 0.013c	0.004 ± 0.001c
	R : B = 4 : 5	0.397 ± 0.050c	0.172 ± 0.002b	0.604 ± 0.002b	0.016 ± 0.001c
	R : B = 3 : 6	0.383 ± 0.044cd	0.191 ± 0.006d	0.688 ± 0.010a	0.023 ± 0.001d
	R : B = 2 : 7	0.339 ± 0.006d	0.151 ± 0.007e	0.548 ± 0.006d	0.014 ± 0.001e

表 4 不同红蓝光配比对生菜叶片营养品质的影响

栽培时间 (d)	处理	可溶性蛋白含量 (mg/g)	可溶性糖含量 (μg/g)	维生素 C 含量 (mg/g)	硝态氮含量 (μg/g)
7	R : B = 1 : 1	0.563 ± 0.002c	0.018 ± 0.002b	169.380 ± 0.053c	233.421 ± 0.181c
	R : B = 6 : 3	0.420 ± 0.001f	0.024 ± 0.003a	103.883 ± 0.300f	159.629 ± 0.285f
	R : B = 5 : 4	0.440 ± 0.001e	0.023 ± 0.001a	109.193 ± 0.669e	189.869 ± 0.825e
	R : B = 4 : 5	0.448 ± 0.003d	0.015 ± 0.001c	157.867 ± 0.306d	196.091 ± 0.721d
	R : B = 3 : 6	0.580 ± 0.001b	0.011 ± 0.001d	188.170 ± 0.996b	246.481 ± 0.325b
	R : B = 2 : 7	0.973 ± 0.005a	0.006 ± 0.002e	194.317 ± 0.085a	273.490 ± 0.372a
14	R : B = 1 : 1	2.464 ± 0.001b	0.032 ± 0.002c	264.948 ± 0.579c	314.182 ± 0.062c
	R : B = 6 : 3	2.022 ± 0.001e	0.055 ± 0.001a	213.542 ± 0.474f	208.739 ± 0.749f
	R : B = 5 : 4	2.218 ± 0.002d	0.045 ± 0.002b	218.732 ± 0.669e	228.859 ± 0.361e
	R : B = 4 : 5	2.418 ± 0.001c	0.019 ± 0.001d	263.467 ± 0.440d	300.139 ± 0.362d
	R : B = 3 : 6	2.971 ± 0.031a	0.011 ± 0.001e	286.304 ± 0.264b	403.626 ± 0.442b
	R : B = 2 : 7	2.992 ± 0.031a	0.010 ± 0.001e	331.247 ± 0.464a	408.685 ± 0.540a
21	R : B = 1 : 1	5.613 ± 0.144c	0.239 ± 0.014b	483.792 ± 0.555c	685.571 ± 0.681c
	R : B = 6 : 3	4.492 ± 0.085e	0.335 ± 0.004a	368.386 ± 0.409f	359.010 ± 0.618f
	R : B = 5 : 4	4.578 ± 0.041e	0.260 ± 0.011ab	429.276 ± 0.666e	546.340 ± 0.192e
	R : B = 4 : 5	4.871 ± 0.073d	0.228 ± 0.005bc	451.924 ± 0.049d	645.950 ± 0.362d
	R : B = 3 : 6	6.078 ± 0.038b	0.209 ± 0.008bc	499.661 ± 0.240b	719.247 ± 0.188b
	R : B = 2 : 7	6.250 ± 0.026a	0.146 ± 0.109c	531.603 ± 0.330a	994.820 ± 0.196a

2.4.4 硝态氮含量 随着栽培时间的延长,生菜叶片中的硝态氮含量表现上升的趋势,并以处理 21 d 时最高。在不同光质配比下,21 d 时,生菜叶片中硝态氮含量以处理 R : B = 2 : 7 最高,比对照 R : B = 1 : 1 提高了 45.11% ( $P < 0.05$ )。试验结果表明,生菜叶片中硝态氮含量随着蓝光比例的增加而呈上升趋势,蓝光促进生菜叶片中硝态氮含量的积累,以处理 R : B = 2 : 7 含量最高(表 4)。

3 讨论与结论

3.1 光质对生菜生长的影响

光质对蔬菜作物有着促进生长发育和提高产量的重要作用<sup>[24]</sup>。朱永卉研究表明,植物的光合器官长时间受到光的控

制,红光影响植物农艺性状,蓝光则控制植物光合色素合成及叶绿体的发育过程<sup>[25]</sup>。本试验结果表明,在相同光强下,红蓝光配比中增大红光比例,生菜的株高、展开度、叶片数、根长、地上部鲜干质量、地下部鲜干质量、根冠比等生长指标都显著提高,表明在光强一致的情况下,红光促进生菜生长发育,与陈文昊等在生菜栽培上得到的结论<sup>[26]</sup>相似。

3.2 光质对生菜叶片光合色素含量的影响

叶绿素含量高低是衡量植物生长发育的一项重要指标<sup>[27-28]</sup>。闻婧等研究表明,各试验组总叶绿素含量随处理天数增加有上升趋势<sup>[29]</sup>。本试验结果表明,在栽培 7 ~ 21 d 期间,生菜叶片中的光合色素含量均随着栽培时间的延长而增加,栽培 21 d 时,各色素指标均有所下降,这与林魁在生菜上

测得的结果<sup>[30]</sup>相一致,说明适当地增加红蓝光配比中红光比例可以促进叶绿素 a 合成,增加蓝光比例则有利于叶绿素 b 合成,但随着时间的延长,类胡萝卜素合成受到抑制。

### 3.3 光质对生菜叶片营养品质的影响

本次试验结果表明,随着栽培时间延长,不同红蓝光配比下生菜各营养指标总体呈上升趋势,与刘莎莎等在菠菜上栽培上得到的结果<sup>[31]</sup>相似。不同红蓝光配比下,可溶性糖含量随红光比例增加而增大,说明红光有利于可溶性糖分的积累,可能是红光下生长植物有较高的光合作用以及蓝光对植物叶绿体光合片层结构的破坏,导致光合速率的降低,从而影响植物的碳同化作用,导致可溶性糖质量分数下降<sup>[32-34]</sup>,与林小苹等研究结论<sup>[35]</sup>一致。随着蓝光比例的增大,生菜叶片中可溶性蛋白、维生素 C、硝态氮含量随之增加,这与黄碧阳等在菠菜上得到的结论<sup>[36]</sup>相一致。

相同红蓝光配比条件下,随着处理天数的延长,生菜生物量、营养品质都显著提高。不同红蓝光配比条件下,增大红光比例促进生菜叶片数和根长的增加,显著提高生菜生物量的积累,有利于促进叶绿素 a 合成和可溶性糖的积累,而增大蓝光比例有利于叶绿素 b 合成、可溶性蛋白和维生素 C 含量的累积。经筛选,处理 R : B = 6 : 3 为最佳植物工厂生菜栽培光源组合。

### 参考文献:

- [1] 高荣孚,张鸿明. 植物光调控的研究进展[J]. 北京林业大学学报,2002,24(5):235-243.
- [2] 时向东,蔡恒,焦枫,等. 光质对作物生长发育影响研究进展[J]. 中国农学通报,2008,24(6):226-230.
- [3] 陈强. 不同 LED 光源对番茄果实转色过程中生理特性及果实品质的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2009.
- [4] 张欢. 光环境调控对植物生长发育的影响[D]. 南京:南京农业大学,2010.
- [5] 刘立功,徐志刚,崔瑾,等. 光环境调控及 LED 在蔬菜设施栽培中的应用和前景[J]. 中国蔬菜,2009(14):1-5.
- [6] 杨其长,张成波. 植物工厂概论[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2005.
- [7] 王声学,吴广宁,蒋伟,等. LED 原理及其照明应用[J]. 灯与照明,2006,30(4):32-35.
- [8] 魏灵玲,杨其长,刘水丽. 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.
- [9] 王君. 红蓝光下不同光强和光质对比对生菜光合能力影响机理[D]. 淄博:山东理工大学,2016.
- [10] 刘晓英,徐文栋,焦学磊,等. 不同配比红蓝 LED 光对黄瓜果实产量和品质的影响[J]. 植物资源与环境学报,2016,25(2):80-84.
- [11] 何伟明,刘庞源,武占会,等. 不同光强与光质处理下对番茄幼苗生长的影响[J]. 北方园艺,2017(19):72-75.
- [12] 李杰,王再花,刘海林,等. 不同光质的 LED 对 2 种金线莲组培苗增殖、生根及生长的影响[J]. 热带作物学报,2017,38(9):1666-1670.
- [13] 查凌雁,刘文科. LED 红蓝光连续光照对五种生菜生长、光合和

- 叶绿素荧光特性的影响[J]. 植物生理学报,2017,53(9):1735-1741.
- [14] 郑晓蕾. 不同光质和营养液组成对生菜生长和烧边发生的影响[D]. 南京:南京农业大学,2011.
- [15] 余意,杨其长,刘文科. LED 短期连续光照与氮营养对水培生菜品质的影响[J]. 应用生态学报,2015,26(11):3361-3366.
- [16] 谢景,刘厚诚,宋世威,等. 不同光质 LED 灯对黄瓜幼苗生长的影响[J]. 长江蔬菜,2012(6):23-25.
- [17] 李伟,袁学平,杨迺然,等. 弱光对两品种黄瓜光合特性和生长发育的影响[J]. 东北农业大学学报,2012,43(1):97-103.
- [18] 刘振威,韩喊,贺明慧,等. LED 光质对白菜幼苗生理指标的影响[J]. 中国园艺文摘,2017(11):5-6,13.
- [19] 杨其长. 植物工厂系统与实践[M]. 北京:化学工业出版社,2012:93-94.
- [20] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2006:142-143.
- [21] 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,2000:195-196.
- [22] 杨芳芳. 抗坏血酸的测定方法综述[J]. 甘肃科技纵横,2005,34(6):208-209.
- [23] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2006:122-123.
- [24] 伍洁. 光质对比对生菜生长、品质及养分吸收的影响[D]. 广州:华南农业大学,2016.
- [25] 朱永卉. 不同光质配比下大豆苗期光合特性的初步研究[D]. 雅安:四川农业大学,2012.
- [26] 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.
- [27] 郑洁. 不同光质对橘橙光合作用的影响及机理研究[D]. 杭州:浙江大学,2008.
- [28] 黄传辉. 菠菜生长最适光环境的研究[D]. 福州:福建农林大学,2016.
- [29] 闻婧,魏灵玲,杨其长,等. LED 在叶菜植物工厂中的应用[J]. 农业工程技术温室园艺,2009(6):11-12.
- [30] 林魁. 光质及光周期对生菜生长的影响及其推广运用[D]. 福州:福建农林大学,2015.
- [31] 刘莎莎,魏佑营,王军伟,等. 光周期对菠菜抽薹特性及可溶性糖和可溶性蛋白含量的影响[J]. 山东农业科学,2009(10):29-31,34.
- [32] Ohyama K, Kozai T, Yoshinaga K. Electric energy, water and carbon dioxide utilization efficiencies of a closed-type transplant production system[M]// Transplant production in the 21st century. Dordrecht: Springer, 2000:28-32.
- [33] 储钟稀,童哲,冯丽洁,等. 不同光质对黄瓜叶片光合特性的影响[J]. 植物学报,1999,41(8):867-870.
- [34] 戴绍军,王洋,阎秀峰,等. 滤光膜对喜树幼苗叶片生长和喜树碱含量的影响[J]. 生态学报,2004,24(5):869-875.
- [35] 林小苹,赖钟雄,黄浅. 光质对植物离体培养的影响[J]. 亚热带农业研究,2008,4(1):73-80.
- [36] 黄碧阳,林碧英,李彩霞,等. LED 红蓝光对比对菠菜生长及品质的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(7):131-135.