

doi:10.11937/bfyy.20172060

## 不同生长阶段补充红蓝光对 生菜生长与品质的影响

黄薪历<sup>1</sup>, 邹志荣<sup>1</sup>, 高垣美智子<sup>2</sup>, 鲁娜<sup>2</sup>, 丁娟娟<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 日本千叶大学 园艺学部, 日本 松户 271-8510)

**摘 要:**以罗马生菜为试材,在育苗期、生长前期(A)及生长后期(B),以荧光灯(FL)作为基础光源,红(R)、蓝(B)LED灯作为补充光源,以A和B时期荧光灯照射为对照(FL),研究了不同补光处理(FLRR(A时期和B时期补充红光)、FLRB(A时期补充红光、B时期补充蓝光)、FLBR(A时期补充蓝光、B时期补充红光)、FLBB(A时期和B时期补充蓝光))对生菜生长及品质指标的影响,以期为人工光环境下蔬菜栽培提供参考依据。结果表明:生长前期补充蓝光更有利于干质量积累,FLBR处理的干质量增长量分别比对照、FLRR和FLRB干质量增长量显著提高27.2%、25.6%和20.3%。在生长前期和生长后期都采用较高蓝光比例的光源,促进了维生素C含量提高,FLBR分别比FLBB处理与对照显著降低12.0%和13.3%;在生长前期和生长后期补充蓝光或红光硝酸盐含量分别比对照显著降低了34.3%、50.8%、37.3%和32.6%。

**关键词:**红蓝光;生菜;人工补光;生长;营养品质

**中图分类号:**S 636.201 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)24-0089-07

光参与了植物种子发芽、茎叶生长、叶绿素合成、花开放和果实生长的整个生理过程,在植物生

**第一作者简介:**黄薪历(1992-),女,四川广安人,硕士研究生,研究方向为设施园艺生理生态。E-mail:huang\_xl2012@163.com.

**责任作者:**邹志荣(1956-),男,陕西延安人,博士,教授,博士生导师,现主要从事设施农业等研究工作。E-mail:zouzhihong2005@163.com.

**基金项目:**国际合作平台—中日现代农业合作交流中心资助项目(A213021301)。

**收稿日期:**2017-07-18

长发育中起着十分重要的作用<sup>[1]</sup>。植物利用效率最高的光波主要集中在400~500 nm蓝紫光区和600~700 nm橙红光区2个波段<sup>[2]</sup>。已有许多研究集中在红、蓝光对生菜生长的影响方面,如刘文科等<sup>[3]</sup>研究发现,在红光和蓝光的照射下生菜的硝酸盐含量降低,维生素C含量在红蓝组合光下最高。陈文昊等<sup>[4]</sup>研究结果表明,红光促进植物质量积累和叶面积增大,蓝光可以促进维生素含量增加。CHEN等<sup>[5]</sup>利用荧光灯结合红蓝LED灯对叶用莴苣进行试验,结果表明荧光灯组

和平地栽培生产成本每667 m<sup>2</sup>多增加的8 000元,所以种植草莓每667 m<sup>2</sup>可增加纯效益1.0万~3.2万元。此外,每667 m<sup>2</sup>草莓棚室可套种1万个平菇菌棒,每个菌棒可生产平菇1 kg,收入2万元左右,去除投入成本5 000元,还可增加纯效益1.5万元。

综上,采用草莓平菇立体栽培模式每667 m<sup>2</sup>增加纯效益2.5万~4.8万元,具有较好的经济、生态和社会效益,特别是在唐山丰南区、丰润区得到了大面积的推广,种植面积达到了800 hm<sup>2</sup>,并且逐渐地趋于规范化种植,有利地推动了当地设施农业的发展。

合红蓝 LED 灯对植物生物量积累的效果优于红蓝单色光。LIN 等<sup>[6]</sup>研究发现荧光灯与红蓝白 LED 组合光比红蓝 LED 组合光更有利于促进植物生物量积累。JOHKAN 等<sup>[7]</sup>对生菜苗期进行光质试验,发现植物干质量在红蓝 LED 光下比在荧光灯下积累更多。不同的光质在植物不同生长阶段发挥的作用不同<sup>[8]</sup>。目前关于研究不同光质对生菜不同生长阶段影响的研究并不多。

该试验以罗马生菜为材料,以荧光灯为主要光源,红、蓝 LED 灯为补光光源,分别在生菜不同生长前期和后期补充红、蓝光,研究了在不同生长阶段不同光质对生菜生长和品质的影响,旨在为人工光栽培植物提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试罗马生菜(*Lactuca sativa* L. var. *romana*)种子由 Takaii 种苗公司提供。

营养液采用日本 Otsuka 营养液,由 OAT-aguri 公司提供。

荧光灯购自 Toshiba 公司,红、蓝 LED 灯购自日本 Shibasaki 公司。

### 1.2 试验方法

试验于 2016 年 4—8 月在日本千叶大学柏之叶校区环境健康科学领域中心进行。将罗马生菜

的生产周期划分为育苗期、生长前期(A)和生长后期(B)3 个阶段,每个阶段 14 d。

#### 1.2.1 苗期管理

采用长、宽、高分别为 5 cm 的岩棉块栽培。用 20 ℃ 的水将所需岩棉彻底浸湿,然后将每粒种子点播在岩棉块上,隔空覆保鲜膜,在保鲜膜上留孔供空气流通,黑暗中保持 48 h。种子露白后用光照强度为  $150 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  的荧光灯作为光源,光照时间为 16 h,空气相对湿度控制在 55%~65%,白天温度控制在  $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ ,晚上温度控制在  $(22 \pm 2)^\circ\text{C}$ ,营养液采用日本 Otsuka 营养液,EC 值为  $2.0 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ ,pH 6.8。每天浇一次营养液。育苗 14 d 后,选取长势一致的幼苗,进行不同光质处理,

#### 1.2.2 生长前期(A)及生长后期(B)光质处理

在 A、B 阶段进行光质处理,距离光板约 25 cm。以荧光灯(FL)作为基础光源,红(R)、蓝(B)LED 灯作为补光光源。以 A、B 时期均采用荧光灯照射为对照(FL),设置 4 个光质处理:A 时期和 B 时期补充红光(FLRR);A 时期补充红光、B 时期补充蓝光(FLRB);A 时期补充蓝光、B 时期补充红光(FLBR);A 和 B 时期均补充蓝光(FLBB)。对照的荧灯光强为  $150 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,补光处理的荧灯光强为  $120 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,LED 灯光强为  $30 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。其它栽培条件与育苗期保持一致。3 种光源下光质组成见表 1。

表 1 每个光源中各部分光质所占比例

Table 1 Proportion of different light qualities in per light source %

光源	光强	波长 Wavelength/nm						
Light source	Light intensity/ $(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	300~400	400~500	500~600	600~700	700~800	R : B	
荧光灯 F	150	2	23	50	20	5	0.84	
荧光灯 F+红 LED	150	1	17	39	41	2	2.33	
荧光灯 F+蓝 LED	150	1	32	41	23	2	0.72	

### 1.3 项目测定

#### 1.3.1 生长指标的测定

育苗期、A 时期和 B 时期结束后分别选取长势均一的植株,用天平称取生菜鲜质量;然后放入信封,在 80 ℃ 烘箱中烘 72 h 后称干质量;叶长大于 2 cm 的算作一片叶,计算叶片数;单株叶面积使用 LI-3000C 叶面积仪(Li-Cor Inc., Lincoln, NE, USA)测量;株高为植株基部到生长点的距

离,使用直尺测量;单位叶面积质量(LMA)=干质量/单株叶面积。以上指标均选取 5 株生菜进行测定,取平均值。

#### 1.3.2 叶绿素含量的测定

在 A 时期和 B 时期结束后分别测量叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素 a+b 的含量,并计算叶绿素 a/b。选取长势一致的生菜,每株生菜选取从内向外数同一位置的功能叶片,在叶片相同的部位用

面积为  $0.56 \text{ m}^2$  的圆形打孔器打孔采样,然后放进小瓶中,加入  $2 \text{ mL}$  二甲基甲酰胺,避光放置  $12 \text{ h}$ ,直到肉眼观察叶片变白。然后用分光光度计在  $647$ 、 $664 \text{ nm}$  处测定吸光值,进行计算<sup>[9]</sup>:

叶绿素  $a(\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}) = (12 \times \text{OD}_{664} - 3.11 \times \text{OD}_{647}) \times V \times 100 / S$ ; 叶绿素  $b(\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}) = (20.78 \times \text{OD}_{664} - 4.88 \times \text{OD}_{647}) \times V \times 100 / S$ ; 叶绿素  $a+b(\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}) = \text{叶绿素 } a + \text{叶绿素 } b$ ; 叶绿素  $a/b = \text{叶绿素 } a / \text{叶绿素 } b$ 。式中,  $V$  表示提取液体积( $\text{mL}$ ),  $S$  表示被提取叶片的面积。

### 1.3.3 营养指标的测定

B 时期结束后测量硝酸盐和维生素 C 含量。选取长势一致的生菜,切成碎片,测定维生素 C 含量则加入提前配好的  $5\%$  草酸溶液,打成浆,过滤后,用维生素 C 测试纸沾取滤液,放入便携式反射光度 RQ flex 10 (Merck, Darmstadt, Germany) 测定,读取 RQ 值。测定硝酸盐含量则加入蒸馏水,打成浆,过滤后用硝酸盐测试纸沾取过滤后的溶液,放入便携式反射光度 RQ flex 10 (Merck, Darmstadt, Germany) 测定,读取 RQ 值<sup>[10]</sup>。

### 1.4 数据分析

采用 Microsoft Office Excel 2013 软件进行数据整理和计算,利用 SPSS 20 软件对数据进行差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同生长阶段补红蓝光对生菜生长发育的影响

由图 1 可知,A 时期 FLR 处理下的生菜比 FLB 更大;在 B 时期,FLRR 和 FLRB 处理下的生菜叶片更散,FLBR 和 FLBB 处理下的更紧凑。

由表 2 可知,经过 A 时期,可以看到补红光 FLR 处理下,鲜质量和干质量最高,分别比补蓝光 FLB 的处理高  $55.4\%$  和  $46.6\%$ 。FLB 处理下叶面积显著低于 FLR 和 FL,分别降低  $28.9\%$  和  $22.9\%$ 。株高在 FLR 处理下显著高于对照和 FLB 处理,分别提高了  $22.7\%$  和  $20.5\%$ 。叶片数和单位叶面积质量在各处理差异不显著。

经过 B 时期,FLRR 和 FLRB 处理下鲜质量

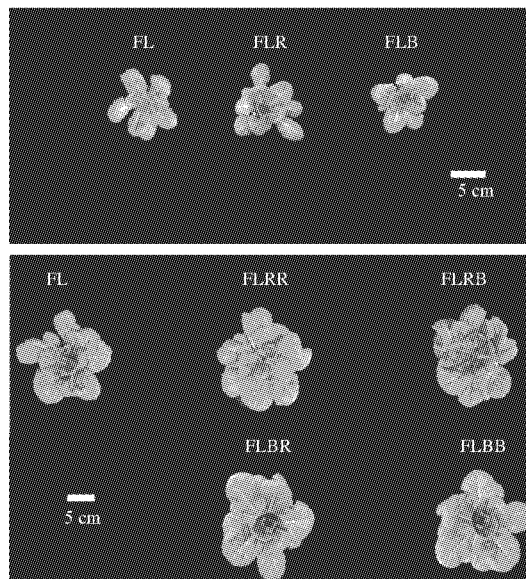


图 1 移植时和收获时的照片

Fig. 1 The pictures of transplant and harvest

显著高于对照,分别提高  $20.8\%$  和  $21.9\%$ 。FLBR 和 FLBB 处理下鲜质量与对照和 FLRR、FLRB 处理差异不显著。各处理间干质量差异不显著。FLRR 和 FLRB 处理下叶面积最大,分别比对照提高  $22.1\%$  和  $16.8\%$ ,但与 FLBR 和 FLBB 处理无显著差异。LMA 在 FLBR 处理下最高,显著高于 FLRR 和 FLRB,分别提高了  $20.8\%$  和  $17.7\%$ 。各光质处理下株高和叶片数无显著差异。

### 2.2 不同生长阶段补红蓝光对生菜生长指标增长量的影响

由表 3 可知,经过 A 时期,FLR 处理下鲜质量、干质量、叶面积的增加量最多,显著大于 FLB 处理,但与对照无显著差异,比 FLB 处理下鲜质量、干质量的增加量分别增加  $58.6\%$  和  $50.0\%$ 。FLR 处理下的株高增长量分别比 FLB 处理与对照处理显著提高  $130.8\%$  和  $160.9\%$ ,FLB 处理下叶面积的增加量比对照和 FLR 分别降低  $24.2\%$  和  $30.5\%$ 。株高在 FLR 处理下增加量最高,显著高于 FLB 和对照,分别高了  $130.8\%$  和  $160.9\%$ 。经过 B 时期,FLRB 和 FLRR 处理下的鲜质量增加量与对照增长量相比显著提高了

表 2 不同生产阶段补红蓝光对生菜生长发育的影响

Table 2 Effects of supplemental red and blue LED during different production stages on growth index of lettuce

生长阶段 Growth stage	处理 Treatments	鲜质量 Fresh weight/g	干质量 Dry weight/g	叶片数 Leaf number	叶面积 Leaf area/m <sup>2</sup>	单位叶面积质量 LMA/(g·m <sup>-2</sup> )	株高 Plant height/cm
育苗期 Seedling stage		0.51±0.01	0.040 3±0.000 9	3±0.00	0.002±0.01	21.2±0.47	1.40±0.01
A	FL	11.87±0.98ab	0.79±0.04ab	12±0.33a	0.035±0.001 5a	22.2±0.06a	1.63±0.08b
	FLR	14.53±0.73a	0.85±0.06a	13±0.00a	0.038±0.000 5a	22.7±0.38a	2.00±0.00a
	FLB	9.35±0.91b	0.58±0.05b	12±0.67a	0.027±0.002 2b	22.1±0.05a	1.66±0.06b
	FL	57.87±1.86b	3.91±0.32a	28±0.58ab	0.149±0.003 7b	24.0±1.02ab	3.17±0.03a
	FLRR	74.51±1.82a	4.01±0.12a	29±0.33a	0.182±0.007 1a	22.6±1.26b	3.37±0.03a
B	FLRB	75.19±2.03a	4.15±0.30a	30±0.33a	0.174±0.005 6a	23.2±0.77b	3.10±0.03a
	FLBR	65.36±2.82ab	4.55±0.09a	27±0.00ab	0.159±0.005 6ab	27.3±0.63a	3.33±0.10a
	FLBB	66.90±2.28ab	4.45±0.04a	28±0.33ab	0.166±0.004 3ab	25.0±0.46ab	3.17±0.03a

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。下同。

Note: Different lowercase letters in the same column mean significant difference at 0.05 level among treatments. The same as below.

表 3 不同生产阶段补红蓝光对 A 时期和 B 时期生长指标增加量的影响

Table 3 Effects of supplemental red and blue LED during different production stages on growth index increase in A and B period

生长阶段 Growth stage	处理 Treatments	鲜质量增加量 Increased fresh weight/g	干质量增加量 Increased dry weight/g	叶片数增加量 Increased leaf number	叶面积增加量 Increased leaf area/m <sup>2</sup>	株高增加量 Increased plant height/cm
A	FL	11.36±0.98ab	0.75±0.04ab	9.3±0.33a	0.033 1±0.0015a	0.23±0.08b
	FLR	14.02±0.73a	0.81±0.05a	10.0±0.00a	0.036 1±0.004 0a	0.60±0.00a
	FLB	8.84±0.91b	0.54±0.05b	9.3±0.67a	0.025 1±0.002 2b	0.26±0.06b
	FL	46.01±1.85b	3.12±0.32c	16.0±0.58a	0.113 0±0.003 7ab	1.53±0.03ab
	FLRR	59.97±1.82a	3.16±0.10bc	16.0±0.33a	0.145 0±0.007 1a	1.37±0.03b
B	FLRB	61.62±3.09a	3.30±0.02bc	17.0±0.33a	0.137 0±0.005 6a	1.10±0.10c
	FLBR	56.00±2.82ab	3.97±0.08a	15.0±0.00ab	0.132 0±0.005 6b	1.67±0.03a
	FLBB	57.54±2.28a	3.87±0.04ab	16.0±0.33a	0.139 0±0.004 3ab	1.50±0.03ab

33.9%和30.3%,FLBR处理下的鲜质量比对照的增长量显著提高了21.7%。FLBR处理下干质量的增加量最高,显著高于对照;FLBR、FLRR和FLRB处理下的增长量,分别较对照提高27.2%、25.6%和20.3%。叶片数的增长量各处理间无显著差异。FLRR和FLRB处理下叶面积的增长量并没有显著差异。FLBR处理下株高增长量显著高于FLRR和FLRB的增长量,分别增加了21.9%和51.8%。

### 2.3 不同生长阶段补红蓝光对生菜叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a+b 含量和叶绿素 a/b 的影响

由表4可知,经过A时期,叶绿素a、b和叶绿素a+b含量无显著差异。经过B时期,叶绿素a在FLBR处理下含量最高,在FLRR和FLRB处理下含量最低,FLBR处理下的叶绿素a含量分别比FLRR和FLRB显著提高47.0%和34.4%。叶

绿素a+b含量与叶绿素a含量变化趋势相同,FLBR处理下含量最高,在FLRR处理下含量最低,FLBR处理下的叶绿素a+b含量分别比FLRR和FLRB显著提高了46.0%和24.6%。叶绿素b含量在FLRR处理下含量最低,比对照显著降低了21.4%。叶绿素a/b在不同阶段的各个光质处理下均无显著差异。

### 2.4 不同生长阶段补红蓝光对生菜维生素 C 含量和硝酸盐含量的影响

由表5可知,FLBB和对照的维生素C含量最高,并且显著大于FLBR处理,FLBR分别比FLBB处理与对照处理显著降低12.0%和13.3%,FLRR、FLRB和FLBR处理无显著差异。硝酸盐含量在FLRR、FLRB、FLBR、FLBB处理下显著低于对照,分别降低了34.3%、50.8%、37.3%、32.6%。

表 4 不同生产阶段补红蓝光对叶绿素含量的影响

Table 4 Effects of supplemental red and blue LED during different production stages on content of chlorophyll

生长阶段	处理	叶绿素 a 含量	叶绿素 b 含量	叶绿素 a+b 含量	叶绿素 a/b
Growth stage	Treatments	Chlorophyll a content	Chlorophyll b content	Chlorophyll a+b content	Chlorophyll a/b
		$/(\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2})$	$/(\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2})$	$/(\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2})$	
A	FL	$27.80 \pm 0.29\text{a}$	$17.68 \pm 1.30\text{a}$	$50.80 \pm 1.25\text{a}$	$1.78 \pm 0.032\text{a}$
	FLR	$29.86 \pm 1.41\text{a}$	$16.56 \pm 0.10\text{a}$	$47.49 \pm 0.45\text{a}$	$1.79 \pm 0.012\text{a}$
	FLB	$29.50 \pm 1.13\text{a}$	$19.28 \pm 0.08\text{a}$	$50.07 \pm 0.17\text{a}$	$1.78 \pm 0.013\text{a}$
	FL	$35.11 \pm 2.05\text{ab}$	$22.57 \pm 1.19\text{a}$	$52.38 \pm 2.13\text{ab}$	$1.58 \pm 0.010\text{a}$
B	FLRR	$27.48 \pm 1.70\text{b}$	$17.73 \pm 0.90\text{b}$	$45.21 \pm 2.61\text{b}$	$1.54 \pm 0.004\text{a}$
	FLRB	$30.05 \pm 1.22\text{b}$	$19.82 \pm 1.05\text{ab}$	$52.97 \pm 1.34\text{b}$	$1.55 \pm 0.020\text{a}$
	FLBR	$40.40 \pm 2.06\text{a}$	$19.58 \pm 1.08\text{ab}$	$66.00 \pm 4.49\text{a}$	$1.56 \pm 0.007\text{a}$
	FLBB	$33.70 \pm 0.94\text{ab}$	$21.04 \pm 0.30\text{ab}$	$56.36 \pm 0.62\text{ab}$	$1.61 \pm 0.022\text{a}$

表 5 不同生产阶段补红蓝光对生菜营养品质的影响

Table 5 Effects of supplemental red and blue LED during different production stages on nutritional quality  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

生长阶段	处理	维生素 C 含量	硝酸盐含量
Growth stage	Treatments	Vitamin C content	Nitrate content
B	FL	$2\,233.00 \pm 50.81\text{a}$	$2\,405.33 \pm 20.41\text{a}$
	FLRR	$2\,009.33 \pm 53.26\text{ab}$	$1\,580.33 \pm 22.20\text{b}$
	FLRB	$2\,020.33 \pm 28.64\text{ab}$	$1\,184.33 \pm 36.11\text{b}$
	FLBR	$1\,936.00 \pm 73.24\text{b}$	$1\,507.00 \pm 15.98\text{b}$
	FLBB	$2\,200.00 \pm 31.75\text{a}$	$1\,620.67 \pm 13.22\text{b}$

3 讨论

3.1 不同生长阶段补红蓝光对生菜生长和叶绿素积累的影响

光在调节植物生长发育、形态建成、生理代谢等方面起着十分重要的作用。该试验中,在生产前期补充蓝光,与对照相比,蓝光占比从 23% 提高到 32%,对干、鲜质量和叶面积有抑制作用,但在生产后期促进了同化物的积累,在生产前期补充红光,较补充蓝光在干、鲜质量和叶面积有显著的优势,但在生产后期,干、鲜质量和叶面积均没有显著差异。JOHKAN 等<sup>[7]</sup>在生菜育苗期使用蓝光照射也有类似结果,蓝光抑制了育苗期生菜叶面积和干鲜质量,但显著提高了收获期生菜的产量。说明在生产前期和育苗期补充蓝光在植物生长后期均有促进作用。可能是因为蓝光比红光更能有效地驱动光合作用<sup>[11]</sup>。

LMA 指的是单位叶面积干物质的质量,反映了单位叶面积干物质积累的能力。在生产前期补充蓝光、生产后期补充红光 FLBR 处理下 LMA 值最高,比在生产前期补充红光 FLRR 和

FLRB 处理显著提高了 20.8% 和 17.7%。说明在生产前期补充蓝光有利于叶片捕捉到更多的光源来积累同化物,提高单位面积内同化干物质量。叶片的扩展使得叶面积变大散开,但与光源的距离增大,因此在红光下幼苗会呈现出不利于光合作用的形态<sup>[12]</sup>。红光促进了叶柄和茎伸长,导致了松散的叶片结构,不能捕捉到更多光源来生长<sup>[13]</sup>。

叶绿素 a 和叶绿素 b 是叶绿体对光进行吸收、传递和转换的色素物质。有研究表明,在小麦苗期<sup>[14]</sup>、黄瓜幼苗<sup>[15]</sup>缺乏蓝光照射不利于叶绿素的合成。补充蓝光有利于叶绿素合成、叶绿体器官的形成<sup>[16]</sup>。在该试验中也有相同结果,生产前期的光质对生产后期叶绿素积累有影响,在生产前期补蓝光比补红光更有利于后期叶绿素含量的积累。

3.2 不同生产阶段补红蓝光对生菜品质的影响

硝酸盐含量和维生素含量是评价生菜营养品质的 2 个重要指标。提高维生素 C 含量和降低硝酸盐含量是优化生菜生产的重要因素之一。

蓝光被认为可以降低硝酸盐的含量。由表 5

可知,补光均能降低硝酸盐的含量,加入宽光谱光源(500~600 nm)R和B辐射可增强糖的积累和降解硝酸盐水平的处理<sup>[6,17]</sup>。CHEN等<sup>[18]</sup>研究结果也表明,在白色LED灯的基础上分别补充蓝色LED和绿色LED,硝酸盐含量显著低于其它处理。说明硝酸盐的降解,可能与整个光谱分布有关。

KEIKO等<sup>[19]</sup>研究发现,补充蓝LED或用红蓝LED混合光处理显著提高了叶片中维生素C的含量。然而LI等<sup>[20]</sup>研究发现维生素C含量在各种补充光的光质处理下并没有显著差异,可能是因为蓝光部分在光质中占23.2%,与KEIKO等<sup>[19]</sup>研究结果(红蓝光处理中蓝光占26%)接近,对维生素C含量造成影响的蓝光比例达到了阈值。在该试验研究中,荧光灯中的蓝光比例为23%,补充蓝光后,蓝光部分比例上升到32%,补充红光后,蓝光部分比例降低到17%,对照和FLBB处理下维生素含量接近,且显著高于FL-BR处理。表明在2个生产时期,采用较大蓝光比例的光源有利于维生素C含量的积累。

#### 4 结论

综上所述,在生产前期补光比生产后期补光对生菜生长的影响更大。在生产前期补充蓝光,有利于生产后期干物质的积累,在生产前期补红光有利于叶面积的扩展。前期和生产后期都有较高蓝光比例,促进维生素C的合成,在生产前期和生产后期补光都能降低硝酸盐含量,在实际生产中,可以根据生产需求对生产前后期的光源进行调配,从而达到调控生菜形态、提高产量、提升品质的需求。

#### 参考文献

- [1] 廖祥儒,张蕾,徐景智,等. 光在植物生长发育中的作用[J]. 河北大学学报(自然科学版),2001(3):341-346.
- [2] 何蔚,杨振超,蔡华,等. 光质调控蔬菜作物生长和形态研究进展[J]. 中国农业科技导报,2016(2):9-18.
- [3] 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.
- [4] 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(7):1434-1440.
- [5] CHEN X, GUO W, XUE X, et al. Growth and quality re-

sponses of 'Green Oak Leaf' lettuce as affected by monochromatic or mixed radiation provided by fluorescent lamp (FL) and light-emitting diode(LED) [J]. Scientia Horticulturae, 2014, 172: 168-175.

[6] LIN K, HUANG M, HUANG W, 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: 86-91.

[7] JOHKAN M, SHOJI K, GOTO F, et al. Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce [J]. Hortscience A Publication of the American Soci, 2010, 45(12): 414-415.

[8] HAHN E J, KOZAI T, PAEK K Y. Blue and red light-emitting diodes with or without sucrose and ventilation affect *in vitro* growth of *Rehmannia glutinosa* plantlets [J]. Journal of Plant Biology, 2000, 43(4): 247-250.

[9] PORRA R J, THOMPSON W A, KRIEDEMANN P E. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents; Verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy [J]. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics, 1989, 975(3): 384-394.

[10] PANTELIDIS G E, VASILAKAKIS M, MANGANARIS G A, et al. Antioxidant capacity, phenol, anthocyanin and ascorbic acid contents in raspberries, blackberries, red currants, gooseberries and Cornelian cherries [J]. Food Chemistry, 2007, 102(3): 777-783.

[11] 苗妍秀. 黄瓜幼苗对红蓝光质响应的生理机制[D]. 北京: 中国农业大学, 2015.

[12] HOGEWONING S W, TROUWBORST G, MALJAARS H, et al. Blue light dose-responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light [J]. Journal of Experimental Botany, 2010, 61(11): 3107-3117.

[13] KIM S, HAHN E, HEO J, et al. Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets *in vitro* [J]. Scientia Horticulturae, 2004, 101(1-2): 143-151.

[14] DOUGHER T A O, BUGBEE B. Long-term blue light effects on the histology of lettuce and soybean leaves and stems [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2004, 129(4): 467-472.

[15] HERNÁNDEZ R, KUBOTA C. Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs [J]. Environmental & Experimental Botany, 2015, 29(1): 66-74.

[16] COSGROVE D J, GREEN P B. Rapid suppression of growth by blue light; Biophysical mechanism of action [J]. Plant Physio-

gy, 1982, 68(6): 1447-1453.

[17] LILLO C. Light regulation of nitrate reductase in green leaves of higher plants [J]. *Physiologia Plantarum*, 1994, 90: 616-620.

[18] CHEN X, XUE X, GUO W, et al. Growth and nutritional properties of lettuce affected by mixed irradiation of white and supplemental light provided by light-emitting diode [J]. *Scientia Horticulturae*, 2016, 200: 111-118.

[19] KEIKO O K, TAKASE M, KON N, et al. Effect of light quality on growth and vegetable quality in leaf lettuce, spinach and komatsuna [J]. *Environmental Control in Biology*, 2007, 45 (3): 189-198.

[20] LI Q, KUBOTA C. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2009, 67(1): 59-64.

## Effects of Supplemental Red and Blue Lights During Different Production Stages on Lettuce Growth and Quality

HUANG Xinli<sup>1</sup>, ZOU Zhirong<sup>1</sup>, TAKAGAKI Michiko<sup>2</sup>, LU Na<sup>2</sup>, DING Juanjuan<sup>1</sup>

(1. College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100; 2. Faculty of Horticulture, Chiba University, Matsudo, Japan 271-8510)

**Abstract:** Romaine lettuce was used as test material, growth stages of romaine was divided into three stages, seedling period, early growth stage (A) and late growth stage (B), and each period was 14 days. Supplemental red (R), blue (B) LED light based on the fluorescent lamp (FL) was applied during A and B stage. Five treatments were set, the fluorescent lamps applied during A and B (FL), which was the control; supplemental red light during both A and B period (FLRR); supplemental red light during A period and supplemental blue light during B period (FLRB); supplemental blue light during A period supplemental red light during B period (FLBR); supplemental blue LED light on both A and B period (FLBB). The growth and nutrition quality parameters of lettuce were determined. The results showed that supplemental light during A period was more impactful than during B period. Supplemental blue light in A period promoted dry biomass to accumulated in B period. Under FLBR treatment, the increase of dry weight was the highest, significantly higher than that of the FL, FLRR and FLRB, respectively 27.2%, 25.6% and 20.3%. The vitamin C content of FLBR was significant lower than FLBB and FL by 12.0% and 13.3%. Supplemental red and blue LED light based on fluorescent light was able to respectively decrease the content of nitrate 34.3%, 50.8%, 37.3% and 32.6%.

**Keywords:** red and blue light; lettuce; supplemental lighting; growth; nutrition quality