

LED 光对温室植物生长的影响

苏诗森 (浙江农林大学农业与食品科学学院, 浙江杭州 311300)

摘要 研究红色 LED、蓝色 LED 和白色 LED 组合光源对室内种植蔬菜生长的影响以及光的强度、光的照射时间对植物的营养成分的影响, 同时研究 3 种不同的光对生菜的生物量、叶绿素、胡萝卜素、可溶性蛋白和糖和硝酸盐的含量影响以及市场对生菜外观质感的评价。对比可溶性糖、可溶性蛋白、硝酸盐在 3 种不同的光照后, 叶绿素、胡萝卜素和可溶性蛋白的含量随这 3 种光的反映程度。研究结果表明, 适当地补充特种光谱和光辐射, 可以提高植物的产量和质量; 在红蓝白 LED 照射后的生菜的营养价值更丰富。

关键词 红蓝白 LED; 红蓝 LED; 荧光灯; 生菜的營養值

中图分类号 S26⁺8 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)25-08494-03

Effects of Light-emitting Diodes on Greenhouse Plant Growth

SU Shi-miao (School of Agriculture and Food Science, Zhejiang University of Agriculture and Forestry University, Hangzhou, Linan 311300)

Abstract Effects of red, blue and white LED light on vegetable growth, the light intensity and irradiation time on plant nutrition components, as well as effects of three lights on biomass, chlorophyll, carotene, soluble protein, sugar and nitrates were studied, the appearance of market on lettuce was evaluated. The results showed that appropriately adding special spectrum and light radiation can enhance plants' yield and quality, the nutritional value of lettuce is more abundant after irradiated by RBW LED light.

Key words RBW LED light; RB LED light; Fluorescent lamp; The nutritional value of lettuce

LED 可发出专一波长的窄谱单色光。目前已实现的波长范围囊括了从 UV-C 到红外光(250~1 000 nm), 单色 LED 光源的波长专一、光色纯正。同时, LED 可发出光谱的波段十分丰富, 易于组合成复合光质。伴随 LED 制造成本的下降, LED 已变成用于低强度(光周期)和高强度(光合性)补光的优势光源。LED 可发出多种波段的光, 特别是使各种波长的光组合对植物生长发育影响的研究成为可能, 最后可获得植物生长的最理想的光谱。采用人工光源补光来调控设施光环境(光强、光质和光周期), 提高作物的光合速率, 增加叶面积, 促进作物生长, 达到增产、高效、优质、抗病的目的。

不同的植物对光的反应有相当大的差异。目前只探讨某一波段的波谱对某一特定的植物对光的量和波长需求和反映。红光是提供植物生长和光合作用的最基本的成分之一, 然而不同波长的红光对植物生长的影响是不同的。研究表明, 红光在 660、670、680、690 nm 等波长段的 LED 灯质对生菜生长发育的调控。红光 LED 从 660~690 nm 波长的光对植物的生物量和产量增加有非常大的影响。但是, Kim 等^[1] 研究认为, 单独 LED 红光或 + LED 远红外光处理下菊花组培苗茎过分伸长导致茎秆脆弱, 其他重要指标也降低了。Whitelam 等^[2] 研究认为, 蓝光直接或间接影响植物胚轴的伸长、酶的调节和合成、气孔的张开、叶绿体的成熟和光形态建成。Tanaka 等^[3] 研究发现, LED 红光促进了兰花叶片的生长, 但降低了叶绿素的含量, 而蓝光 LED 逆转了这个效应。Moon 等^[4] 研究认为, 在 LED 红蓝复合光照下, 植物的根数、鲜重和叶绿素含量综合指标明显好于单色 LED 和荧光灯处理, 认为 LED 红蓝光组合可以通过增加净光合速率以提高植物生长和发育。Johkan 等^[5] 研究蓝光、红光、红蓝光对生菜的生长和产量的影响, 发现采用蓝光育苗可促进生菜

移栽后的生长; 红光 LED 处理后, 与白色荧光灯相比, 生菜苗的叶面积和地上部鲜重增加了 33% 和 25%, 蓝光处理生菜叶面积和鲜重降低了; 无论是蓝光还是红光 LED 处理, 生菜叶绿素总量低于荧光灯处理, 而叶绿素 a 和叶绿素 b 比率、类胡萝卜素含量在蓝光处理下增加了。这是由于移栽前地上部和根部生物量高、光合色素含量高、抗氧化活性高, 说明蓝光 LED 培育的生菜苗形态紧凑益于移栽。

可溶性糖和可溶性蛋白质含量是蔬菜重要的营养品质指标。通常, 红光可促进作物可溶性糖的含量, 但显著抑制可溶性蛋白的合成。蓝光处理下的作物蛋白质含量显著高于白光和红光处理, 蓝光促进蛋白质的合成, 同时阻止蛋白质的丧失。叶绿素和胡萝卜素在 400~500 和 630~680 nm 都具有高吸收性能, 在 530~610 nm 吸收光性低。尽管所有的试验都在相同的光通强度下却得到不同的光的吸收量, 植物表现出相似的吸收。应用光通强度在 (210 mol/(m²·s)), 已经达到某种最小的光通强度值, 满足最基本的光合叶绿素的合成。Saebo 等^[6] 研究表明, 植物较少的叶绿素含量似乎比更多的叶绿素含量对人体的吸收效率高。Goins 等^[7] 认为, 远红外 LED(700~725 nm) 超远光合作用的区域对蔬菜(莴苣类) 结合白色的荧光灯没有明显的影响。但, LED 降低了叶绿素、花青素和胡萝卜素的浓度, 适时利用蓝光对植物生长大有益处, 如蓝色光(440~476 nm) 对植物生长和外观的作用、形态的影响, 集中反映在红色的 LED 用蓝色的 LED 补充, 可以提高绿色植物的抗氧化性, 提高多酚、V_C、胡萝卜素和花青素的含量, 提高叶片的着色。同时, 如果生菜在成熟前 7 d, 用 LED 638 nm 的光(补充自然光), 增加了蔬菜的抗氧化能力, 也提高了花青素、叶黄素的含量和 V_C, 同时减少了硝酸盐含量。

植物对可见光的吸收主要集中在 400~510 nm 的蓝紫区和 610~720 nm 的红橙区, 因此使用红色和蓝色 LED 即可培养菠菜、草莓、辣椒等多种蔬菜。但, 未见利用 LED 组合

作者简介 苏诗森(1989-), 女, 北京人, 助理讲师, 硕士, 从事物理信号调控植物抗病基因方面的研究。

收稿日期 2014-07-09

和交替对生菜的栽培试验。生菜是重要的鲜食蔬菜;生菜是较适宜的太空食物,可食率高,垃圾产生率低;生菜品种多样,生长速率快,易于水培生长,叶色有绿色、红色、紫色等,既有皱叶型又有平滑叶型;植物化学物质累积上具有可调节性,如硝酸盐含量指标。因此,笔者采用生菜,研究不同 LED 组合、在生长不同时间段对其产量和营养含量的影响。

1 材料与与方法

1.1 试验装置设计 将生菜种子放在 2.5 cm * 2.5 cm * 3.0 cm 的岩棉盒子里,水培养使其发芽,在白色的荧光灯下照射,放在室内环境中 15 d,光的强度控制在 100 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,温度控制在 24 $^{\circ}\text{C}$ 下(14 h/d)。在 5 叶期后,将种子放在聚苯乙烯容器(59.0 cm * 48.0 cm * 9.7 cm)中,充满营养液,然后顶上放上 8 个洞的塑料板。营养液每周更换 1 次,营养液的 pH 6,电导率 0.011 s/m,光周期一般为 16 h。在整个实验过程中,空气温度保持在 20 ~ 24 $^{\circ}\text{C}$,相对湿度 75%, CO_2 水平保持在 900 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 。

1.2 光的处理 3 个经济光源交替使用:①红蓝(RB)LED 灯;②红蓝白(RBW)LED 灯;③荧光灯。3 种光源分别是在各自的最大光合作用的效率之内,盒子中水平安置一个校准光谱仪扫描仪,扫描范围在 LED 灯的 400 ~ 700 nm,步长为 2 nm。传感器放在容器的玻璃盖子上,每次对盒子中植物进行处理,记录植物冠层的频谱,在 B 和 R 光谱 500 ~ 600 nm 范围 RBW LED 灯峰值输出。所有的工作过程保持在 16 h 光周期/8 h 暗周期,具有相同光强的白色荧光灯在植物冠层测得 210 $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,播种后 35 d 收获。这个试验分 2 次、随机的、分别独立完成,一共测量 16 株植物(每次 8 株)。

1.3 植物生长的测量 测量绿色幼苗上部质量、根部质量、烘干后的幼苗质量、干根的质量、烘干的苗/根的质量、叶片的面积、指定的叶片面积。在称重前,将植物组织样本放在 70 $^{\circ}\text{C}$ 干燥炉上 48 h,测定叶绿素和胡萝卜素的含量。

1.3.1 叶绿素和胡萝卜素的测定。称取 0.05 g 试样,在 4 $^{\circ}\text{C}$ 的温度,用浓度 80% 丙酮溶液混合,13 000 g 分离 15 min,用于测定叶绿素和胡萝卜素。然后,用 U-2000 可见分光光度计,波长范围在 663、645 和 470 nm,测定叶绿素 a、叶绿素 b。

$$\text{叶绿素 a} = 12.72 \times OD_{663} - 2.59 \times OD_{645}$$

$$\text{叶绿素 b} = 22.88 \times OD_{645} - 4.67 \times OD_{663}$$

胡萝卜素 = (1 000 $\times OD_{470}$ - 3.27 \times 叶绿素 a - 104 \times 叶绿素 b)/229

1.3.2 可溶性糖的测定。精准称取 0.05 g 样品,放进测试管,用 5 ml 蒸馏水混合,在 85 $^{\circ}\text{C}$ 水中加热 30 min,取清液,以上步骤重复 2 次,然后加水 10 ml,用波长 670 nm 的硫酸铜溶液来测定可溶性糖含量。

1.3.3 可溶性蛋白含量的测定。取 0.05 g 样品,放在研钵中,加入 3 ml 磷酸液(pH 7),吸取样品 0.1 ml 放在 0.4 ml 考马斯亮蓝 G-250 试剂中,充分混合后放置 2 min,在 595 nm 下比色,测定可溶性糖含量。

1.3.4 硝酸盐的测定。取 0.05 g 磨碎的样品,然后添加 10 ml 80 $^{\circ}\text{C}$ 蒸馏水,30 min 后在转速为 13 800 r/min 的离心机中离心 10 min,然后加入浓度 5% 纯硫酸溶液 0.8 ml,再慢慢加入 19 ml 浓度 8% NaOH 溶液,30 min 后在 410 nm 波长下测定硝酸盐的含量。

1.3.5 外观分析。外观的综合评价包括外形、生脆、鲜甜度。在市场上让一群人进行小规模的评价,由 50 位年龄在 20 ~ 65 岁的消费者单独评价。给每个测试者提供 3 个样品,3 个盘子用标签做好标记,每次拿出 1 盘,间隔之间给测试者漱口。调查结果表明,37 个人评价很高,13 个人既不喜欢又不讨厌,0 人不喜欢。随机取得不同的样本。

1.3.6 统计分析。对测量结果进行了评价、方差分析,在 $P < 0.05$ 测试。

表 1 不同光质对鲜叶/干叶、鲜根/干根重量、面积大小以及叶绿素含量的影响

光通量	鲜苗重	鲜根重	干苗重	干根重	干苗/干根	叶片的面积 cm^2	指定叶片的 面积// m^2/kg	叶绿素 a $\mu\text{g}/\text{g}(\text{干})$	叶绿素 b $\mu\text{g}/\text{g}(\text{干})$	叶绿素(a+b) $\mu\text{g}/\text{g}(\text{干})$	胡萝卜素 $\mu\text{g}/\text{g}(\text{干})$
RB	136.3b	9.1b	7.02a	0.43b	16.3a	6 425b	91.5c	2 954a	971a	3 925a	1 789a
RBW	164.1a	13.5a	7.97a	0.62a	12.8b	7 435a	93.3b	2 932a	925a	3 857a	1 715a
FL	149.0b	11.8ab	7.17a	0.58a	12.3b	7 480a	104.3a	3 053a	988a	4 041a	1 825a

注:RB. 双色红蓝 LED;RBW. 三色红蓝白 LED;FL. 荧光灯。同列不同小写字母表示差异在 0.05 水平显著。

2 结果分析

2.1 植物的生长形态和叶绿素含量 从表 1 可以看出,光谱处理后的生菜生物量显示了植物在接受不同的光后的反应值。在红蓝白 LED 照射下,鲜重和干重的苗以及鲜重和干重的根均是最大,在红蓝 LED 照射下均是最小。在红蓝白 LED 照射下,鲜苗的质量明显比在荧光灯下照射的重 10%。植物在红蓝白 LED 照射下(16.3, 叶苗/干的每棵根)比在红蓝 LED(12.8)和荧光(12.3)照射下高。总体生菜叶片的面积在这 3 种光照射后(与正常生长比)是减少的。但是,在荧光下又比在红蓝光下高很多。此外,在红蓝白 LED 照射下,生菜外观感觉结实,在红蓝 LED 照射后看起来菜比

较矮小,有 2 株甚至严重萎缩了。但是,也看到经过这些光处理后的生菜叶绿素 a 含量均高于叶绿素 b 含量。但是,无论哪种光谱照射,各种叶绿素和胡萝卜素没有明显的差异。

2.2 生菜的营养品质 从表 2 可以看出,各种光照射下可溶性蛋白含量几乎没有变化。而可溶性糖和硝酸盐含量受光的影响很大,可溶性糖含量在红蓝白 LED 照射下最高,其次在荧光照射下,最后在红蓝光照射下。另一方面,在红蓝白 LED 照射下,该生菜硝酸盐含量显著低于在红蓝 LED 照射的和荧光。

2.3 感官鉴定 颜色、形状、甜、脆是市场上对生菜质量的主要评价因素。感官评价是由市场推销员和连锁调配中心

的采购成员组成的,口感和视觉效果的是由宁波 M-6 连锁中心的配货员所描述的。在红蓝白 LED 照射后的生菜所有参数最高。如果划分 1~6 等级,则可以达到 5.0~5.5,荧光照射参数最低 4.5。据观察,在红蓝白 LED 和荧光照射下,上面提到的 4 个外观参数均超过均分(假设均分是 3),而红蓝 LED 照射的不被看好。

表 2 生菜的营养品质

光通量	可溶性蛋白的含量	可溶性糖的含量	硝酸盐的含量
	mg/g(干)	mg/g(干)	mg/kg(干)
RB	3.8	104	86
RBW	3.5	220	58
FL	3.5	176	73

2.4 红蓝白 LED 对生菜产量和质量的影响 考察了不同的光谱在相同的环境中对生菜的产量和质量的影响。研究表明,在荧光照射下的生菜严重松、谢、软、肥大。从表 1 可以看出,生菜的叶和根在红蓝白 LED 和荧光照射后明显比在红蓝 LED 照射大。但是,植物的苗在红蓝白 LED 和红蓝 LED 的分别照射下,外观结实;而白色的 LED 可以促进植物的生长,由于白色的 LED 光可以穿透植物的冠层,比红蓝光更有利于植物的光合作用。红蓝白 LED 光照射可平衡光谱的环境,有利于补充白光($210 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s PFD})$)对植物生长的辅助。在红蓝白 LED 光照射下,生菜叶的生物量显著的增加。光合作用与照射到叶片表面光合辐射有关。从果实被遮光降低 V_c 含量方面,更能有效说明果实中的 V_c 代谢依赖于叶片的光照。相反,在光照很少的情况下,刚发芽幼苗的茎会生长得很快,但是它的根发育不良。这将不能给今后叶苗的生长提供充足的营养。这也表明光通量直接影响植物根的生长。试验中,红蓝 LED 光照射比在荧光照射生长发育差。在蓝色的 LED 照射下,叶片面积扩大,叶片面积的生物量提高。不过,在蓝色 LED 照射下,干苗质量比白 LED 照射轻。如果仅暴露在红色 LED 的光下,植物茎的生长和生物量都将被削弱。试验中,红蓝 LED 光照射生长发育比荧光照射差,表明植物对光反应的依赖性。

2.5 红蓝白 LED 对生菜营养成分的影响 从表 1 可以看出,在所有的光谱照射下,叶绿素 a 综合反映比叶绿素 b 强,也就是说叶绿素 a 的分子更容易接受光合作用。研究中,尽管叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素(a+b)和胡萝卜素含量统计不存在差异,但是叶绿素和胡萝卜素含量在红蓝白 LED 光照射下最低。同时,经过红蓝白 LED 生菜的胡萝卜素含量比红蓝 LED 灯照射充足得多。植物叶绿素有特定的波长吸收模式。植物叶绿素产生的生物合成波长所涉及的波就是吸收光谱。叶绿素和胡萝卜素在 400~500 和 630~680 nm 都具有高吸收性能。尽管所有的试验都在相同的光通强度下,但得到不同的光的吸收量,植物表现出相似的吸收。应用光通强度在($210 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$),已经达到某种最小的光通强度值。这满足最基本的光合叶绿素的合成。也有报道表明,

植物较少的叶绿素含量似乎比更多的叶绿素含量对人体的吸收效率高。

从表 2 可以看出,不同光照处理的生菜硝酸盐的积累存在非常大的差异。红蓝 LED 光可以刺激植物的生命活力和硝酸盐的摄取灯光,可以刺激高等植物的硝酸还原酶的更新和合成,并且糖可以替代灯光,诱导硝酸还原酶的信使,增加 RNA 的积累。因此,辅助添加红到蓝(500~600 nm)的广谱光能源的照射,可以提高糖的积累,红蓝白 LED 处理可分解硝酸盐。研究还表明,生菜(莴苣)类植物在红蓝白 LED 光下有最高的可溶性糖含量,在此条件下这类植物有利于积累可溶性糖。在红蓝白 LED 光和荧光下生长的生菜整体明显有着较高的感官评价,尤其口感脆。但是,这类植物叶片可溶性蛋白含量在所有的光照下均无显著差异。这表明光谱可能不利于蛋白质合成,也有可能该项研究评估的光照参数不适合生菜类植物的可溶性蛋白的合成。但是,降低蔬菜中亚硝酸盐的含量,提高蔬菜质量是相当明确的。

3 结论与讨论

研究表明,一些经过特定 LED 光线照射后的蔬菜营养、产量和商业价值有所改变。在特定的 LED 灯照射后,可以提高蔬菜的新陈代谢系统。光合作用能量主要是积聚在植物叶片上,影响最敏感的产物是糖,而糖又是其他营养质量和含量的导火索,而且是参与生命过程、调节分子的新陈代谢的主要信号。可溶性糖的含量高,是由于它是食物质量的重要参数。该研究是为了开发一种新的 LED 植物蔬菜生长的优化装置,以期找到一种适合植物生长的足够强度的 LED,使得菊科莴苣属的这类蔬菜生长得更健康,周期更短,产量更高。研究还表明,红蓝白 LED 对这一属的蔬菜有着许多正面效应。利用家庭厨房废水,加入一定的市场上销售的无土栽培营养液,可以满足高品质、新鲜的需求,同时满足大规模的商业化车间生产的要求。

参考文献

- [1] KIM H H, GOINS G D, WHEELER R M, et al. Stomatal conductance of lettuce grown under or exposed to different light qualities[J]. *Annals of Botany*, 2004, 94: 691-697.
- [2] WHITELAM G, GARRY C. *Light and Plant Development* [M]. Oxford: Blackwell Publishing, 2007.
- [3] TANAKA M, TAKAMURA T, WATANABE H, et al. In vitro growth Cymbidium plantlets cultured under superbright red and blue light-emitting diodes(LED) [J]. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 1998, 73(1): 39-44.
- [4] Moon H K, PARK S Y K, YONG W K, et al. Growth of tsuru-rindo cultured in vitro under various sources of light-emitting diode(LED) irradiation[J]. *Journal of Plant Biology*, 2006, 49(2): 174-179.
- [5] Johkan M, SHOJI K, GOTO F, et al. Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after teansplanting in red leaf lettuce[J]. *HortScience*, 2010, 45: 1809-1814.
- [6] SAEBO? A, KREKLING T, APPELGREN M, et al. Light quality affects photosynthesis and leaf anatomy of birch plantlets in vitro[J]. *Plant Cell Tissue Org Cult*, 1995, 41: 177-185.
- [7] GOINS G D, RUFFE L M, GRANS N A, et al. Salad crop production under different wavelengths of red light-emitting diodes(LED) [D]. SAS Technical Paper, 31st international Conference on Environmental Systems, 2001.