

不同比例 LED 光源对生菜生长相关特性的影响

潘江伟¹, 廖敏¹, 武恒², 吕梦冉¹, 张永梅¹, 田胜尼^{1*}

(1. 安徽农业大学生命科学学院, 安徽合肥 230036; 2. 安徽农业大学林学与园林学院, 安徽合肥 230036)

摘要 以生菜为试验材料, 以 LED 灯板为人工光源, 探究红、蓝、白、绿光源在 3 种不同组合和比例下 ($T_1, R:B:W=3:1:3; T_2, R:B:W=3:1:1; T_3, R:B:G=8:3:1$) 对生菜水培品质、形态以及光合特性的影响。结果表明, T_3 模式下生菜地上部重量、地下部重量、叶片数、全株重量高于其他模式。总体而言 T_3 模式下生菜的生长情况最佳; T_2 模式下的生菜叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、叶绿素总含量、类胡萝卜素含量以及净光合速率高于其他模式, 而生菜的胞间二氧化碳浓度 T_3 模式高于其他模式, 生菜的蒸腾速率以及气孔导度 T_1 模式高于其他模式, 说明 T_2 模式下生菜的光合特性最佳。 T_2 模式下生菜的可溶性蛋白含量最高, T_3 模式下生菜的可溶性糖含量最高, 总体而言 T_3 模式下生菜的品质显著高于其他处理。综合分析得出 T_3 模式 ($R:B:G=8:3:1$) 的光源处理是生菜生产最佳的组合。

关键词 LED; 生菜; 品质; 光合特性

中图分类号 S626 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)03-0034-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2023.03.007



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of Different Proportions of LED Light on Growth-related Characteristics of LettucePAN Jiang-wei¹, LIAO Min¹, WU Heng² et al (1. College of Life Sciences, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036; 2. School of Forestry and Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036)

Abstract Lettuce was used as experimental material and LED light board was used as artificial light source. The effects of red, blue, white and green light sources ($T_1, R:B:W=3:1:3; T_2, R:B:W=3:1:1; T_3, R:B:G=8:3:1$) on the hydroponic quality, morphology and photosynthetic characteristics of lettuce were studied. The results showed that aboveground weight, underground weight, leaf number and whole plant weight of lettuce in T_3 mode were higher than those in other modes. In general, the growth of lettuce was the best in T_3 mode. The chlorophyll a content, chlorophyll b content, total chlorophyll content, carotenoid content and net photosynthetic rate of lettuce in T_2 mode were higher than those in other modes, while the intercellular carbon dioxide concentration of lettuce in T_3 mode was higher than those in other modes, and the transpiration rate and air pore conductivity of lettuce in T_1 mode were higher than those in other modes. It showed that the photosynthetic characteristics of lettuce were the best in T_2 mode. The soluble protein content of lettuce in T_2 mode was the highest, and the soluble sugar of lettuce in T_3 mode was the highest. In general, the quality of lettuce in T_3 mode was significantly higher than that in other treatments. Comprehensive analysis shows that the light source treatment of T_3 mode ($R:B:G=8:3:1$) is the best combination treatment for lettuce production.

Key words LED; Lettuce; Quality; Photosynthetic characteristics

光在植物生长过程中起着关键作用, 决定它们的光形态发生和光合作用速率^[1]。同时, 光作为植物的最终能源与信号物质, 影响设施内蔬菜的生长发育、形态建成、生理代谢、产量和品质等^[2]。到达植物的光谱成分通过植物感光细胞的参与影响它们的生长和发育^[3]。随着发光二极管的出现及其在园艺设施中的广泛应用, 使用固态照明系统的绿、黄光的功能已经逐渐显现^[3]。目前作物栽培的光源采用基于发光二极管的红蓝组合光源, 能有效地促进叶片光合作用。然而, 缺乏绿灯可能对作物生长不利, 因为绿灯在植物发育中起着重要作用^[4]。生菜 (*Lactuca sativa* var. *ramosa*) 是一种全球性蔬菜, 在植物工厂中应用广泛^[5]。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^[6]。笔者以 LED 红蓝绿白光为试验光源, 研究不同光源配比对生菜生长及生理特性的影响, 探究在红蓝光中介入绿光对生菜的影响, 旨在为生菜在植物工厂中光组合的选择提供理论

依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料 供试材料为生菜种子, 于 2021 年 9 月 1 日从寿禾种业种子有限公司购入。

1.2 试验方法 以生菜种子为试验材料, 营养液采用霍格兰配方营养液, 播种日期为 2021 年 9 月 8 日, 定植 LED 栽培架时间为 9 月 14 日。光强设置为 100 cd, LED 光质配比为 $R:B:W=3:1:3$ 、 $R:B:W=3:1:1$ 、 $R:B:G=8:3:1$ 这 3 个模式。光照培养架层高为 30 cm 的栽培架。光源固定于培养架顶部, 距离植株 30 cm。培养架之间不透光, 每个光源之间用纸板隔开遮挡, 以防止外界光源对试验产生影响。每天光照 12 h (08:00—20:00), 白天温度不高于 24 °C, 夜间温度不低于 18 °C。待生菜长到第 24 天, 随机取样, 每个处理重复 3 次进行形态指标、生理指标以及光合特性的测定。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 生长指标。用直尺测量株高(根茎部到生长点的距离)、根长; 记录生菜植株的叶片数; 用感量为 0.000 1 g 的电子分析天平测定各处理生菜植株地上部和地下部鲜干质量。

1.3.2 品质指标。选取生长点往下第 3~4 片鲜叶, 采用蒽酮比色法^[7]测定可溶性糖含量, 采用考马斯亮蓝 G-250 染色法^[7]测定可溶性蛋白含量, 采用定糖比色法^[7]测定纤维素含量。

基金项目 湿地生态保护与修复安徽省重点实验室(安徽大学)开放基金(AKLWEPR-K-2020-03); 安徽省重点研究与开发项目(806136580060)。

作者简介 潘江伟(1995—), 女, 安徽安庆人, 硕士研究生, 研究方向: 农艺与种业。* 通信作者, 副教授, 博士, 从事植物资源开发与利用研究。

收稿日期 2022-03-25

1.3.3 光合指标。每处理随机选取 5 株,取生长点往下第 4 片功能叶测量相关指标。叶绿素含量、类胡萝卜素含量测定采用乙醇提取法^[8];光合参数采用 Li-6800 光合仪测量,稳定 10 min 后记录其净光合速率(P_n)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、气孔导度(G_s)和蒸腾速率(T_r)。

1.4 数据处理 采用 Excel 2021 和 SPSS 25.0 统计分析软件对试验数据进行整理和统计分析。

表 1 不同光质对比对生菜生长的影响

Table 1 Effects of different light quality ratio on lettuce growth

处理 Treatment	株高 Plant height cm	叶片数 Number of blades 张/株	地上部重量 Aboveground weight//g/株	地下部重量 Underground weight g/株	全株重量 Weight of whole plant//g/株
T ₁	14.40±0.54 a	17.40±1.67 b	17.55±1.80 a	6.07±0.53 a	23.63±1.98 a
T ₂	14.80±2.28 a	15.00±1.22 c	9.26±4.33 b	4.47±0.55 b	13.74±4.82 b
T ₃	12.90±1.14 a	21.80±1.30 a	22.04±4.88 a	6.64±0.35 a	28.69±4.69 a

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different treatments at 0.05 level.

2.2 不同光质比例对生菜光合特性的影响 由表 2 可知,不同比例的光质处理对生菜光合特性影响存在差异,叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总含量、类胡萝卜素以及净光合速率均以 T₂ 最大。胞间二氧化碳含量表现为 T₃>T₁>T₂。蒸腾速率表

2 结果与分析

2.1 不同光质比例对生菜生长的影响 由表 1 可知,不同比例的光质处理对生菜生长影响存在差异,叶片数、地上部重量、地下部重量、全株重量均以 T₃ 最大。株高表现为 T₂>T₁>T₃。说明红蓝光中加入绿光可以促进生菜叶片数的增加,增加生菜重量。

现为 T₁>T₂>T₃。气孔导度表现为 T₁>T₂>T₃。说明减少白光的比例可以增加植物的光合作用和叶绿素、类胡萝卜素含量,红光比例过多可能会减少植物的光合作用以及叶绿素和类胡萝卜素的含量。

表 2 不同光质对比对生菜光合特性的影响

Table 2 Effects of different light quality ratio on photosynthetic characteristics of lettuce

处理 Treatment	叶绿素 a 含量 Chlorophyll a content mg/g	叶绿素 b 含量 Chlorophyll b content mg/g	叶绿素总含量 Total chlorophyll content mg/g	类胡萝卜素含量 Content of carotenoid mg/g	净光合速率 Net photosynthetic rate $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	胞间二氧化碳 Intercellular carbon dioxide $\mu\text{mol}/\text{mol}$	蒸腾速率 Transpiration rate g/(m ² ·h)	气孔导度 Stomatal conductance mol/(m ² ·s)
T ₁	194.89±0.01 b	395.00±3.07 a	589.89±3.08 b	24.51±4.86 b	0.70±0.19 ab	261.33±19.00 b	0.52±0.00 a	0.019 7±0.000 6 a
T ₂	206.26±0.01 a	397.04±3.07 a	603.30±3.08 a	34.67±1.78 a	0.90±0.09 a	173.66±5.13 c	0.51±0.03 a	0.011 7±0.002 2 b
T ₃	148.19±1.81 c	243.37±1.56 b	391.56±1.96 c	29.27±1.97 ab	0.62±0.00 b	417.00±50.58 a	0.31±0.07 b	0.011 0±0.001 0 b

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different treatments at 0.05 level.

2.3 不同光质比例对生菜品质的影响 由表 3 可知,不同比例的光质处理对生菜光合特性影响存在差异。可溶性糖含量表现为 T₃>T₁>T₂,且不同处理间差异显著。可溶性蛋白含量表现为 T₂>T₃>T₁,T₃ 与 T₂ 含量差异不显著。纤维素含量表现为 T₁>T₃>T₂,T₁ 与 T₃ 含量差异不显著。T₃ 处理下的生菜品质最佳,可见加入绿光对生菜品质的提升具有积极作用。

表 3 不同光质对比对生菜品质的影响

Table 3 Effects of different light quality ratio on lettuce quality

单位:mg/g

处理 Treatment	可溶性糖含量 Soluble sugar content	可溶性蛋白含量 Soluble protein content	纤维素含量 Cellulose content
T ₁	3.48±0.39 b	2.17±0.02 b	26.27±0.48 a
T ₂	2.67±0.02 c	3.52±0.21 a	19.05±0.41 b
T ₃	4.29±0.05 a	3.06±0.30 a	24.61±0.51 a

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different treatments at 0.05 level.

3 结论与讨论

在目前的红色和蓝色光谱中加入绿光可能是有益的,因

为这将使辐照度光谱与太阳光谱更具可比性^[9]。该试验加入绿光的 T₃ 处理蔬菜品质高于其他 2 组只有红蓝光的处理。在 T₃ 模式下生菜的可溶性糖高于其他处理 60.67% 和 23.28%,其可溶性蛋白与纤维素含量较最佳处理仅降低 13.07% 和 6.32%,差异不显著。

在红光、蓝光和绿光组合下生长的生菜植株比单独在红光或蓝光下生长的生菜植株具有更高的鲜重和干重^[10-11]。该试验中加入绿光的 T₃ 处理鲜重明显高于其他 2 组处理。T₃ 处理下全株重量高于其他处理 108.81% 和 21.41%,与 Kim 等^[10-11]的研究结果一致。绿色光已被证明有利于光合作用和植物生长,这意味着在植物栽培中使用绿色光的必要性。“绿光”感觉系统通过与红色和蓝色传感器相互作用来调节^[12],在该试验中也被证明是正确的。在红蓝光中混合少量白光能够显著增加叶片栅栏组织和海绵组织厚度,改善光系统 II 性能,提高净光合速率(P_n)及光合电子传递速率^[13]。随着白光比例增加,其光合性能逐渐降低,可能是单位面积内有活性的反应中心数目逐渐下降,使单位面积叶片光能吸收、捕获和用于电子传递的能力下降^[13]。该试验中

T₂ 处理下生菜的叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、叶绿素总含量、类胡萝卜素含量以及净光合速率均高于其他处理,证明红光相同比例的情况下较少的白光组合更有利于生菜的光合速率以及叶绿素的积累。这与文莲莲^[13]的结果一致。较高比例红光更能提高蔗糖代谢相关酶活性,影响作物的碳水化合物积累^[14]。提高红光比例时黄叶白菜可溶性糖含量显著提高,这与在乌塌菜^[15]、小白菜^[16]、生菜^[17-18]、韭菜^[19]、芹菜^[20]中的研究结果相同,可能是较高比例红光更能提高蔗糖代谢相关酶活性,影响作物的碳水化合物积累,高红光处理下蔬菜的可溶性糖含量增加,会提高蔬菜的品质,与钟剑富等^[14]的研究结果一致。钟剑富等^[14]研究结果表明提高红光比例可以增加“黄叶白菜”的可溶性糖含量。该试验结果表明较少的白光可以增加生菜的可溶性蛋白含量。

该研究结果表明,绿光的加入会增加生菜中营养物质的积累且增加蔬菜的叶片数以及蔬菜重量。由此可见 R:B:G=8:3:1 为最适宜生菜生长光模式。

参考文献

[1] AVERCHEVA O V, BERKOVICH Y A, EROKHIN A N, et al. Growth and photosynthesis of Chinese cabbage plants grown under light-emitting diode-based light source[J]. *Russ J Plant Physiol*, 2009, 56(1): 14-21.

[2] 范志强, 余霞, 王军. 不同光强对油菜叶片生理活性的影响[J]. *安徽农学通报*, 2008, 14(20): 26-27, 39.

[3] FOLTA K M, KOSS L L, MCMORROW R, et al. Design and fabrication of adjustable red-green-blue LED light arrays for plant research[J]. *BMC Plant Biol*, 2005, 5: 1-11.

[4] TERASHIMA I, FUJITA T, INOUE T, et al. Green light drives leaf photosynthesis more efficiently than red light in strong white light: Revisiting the enigmatic question of why leaves are green[J]. *Plant Cell Physiol*, 2009, 50

(4): 684-697.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 肖望. 植物生理学实验指导[M]. 广州: 中山大学出版社, 2020.

[8] 蔡永萍. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2014.

[9] HOGEWONING S W, DOUWSTRA P, TROUWBORST G, et al. An artificial solar spectrum substantially alters plant development compared with usual climate room irradiance spectra[J]. *J Exp Bot*, 2010, 61(5): 1267-1276.

[10] KIM H H, GOINS G D, WHEELER R M, et al. Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red-and blue-light-emitting diodes[J]. *HortScience*, 2004, 39(7): 1617-1622.

[11] KIM H H, GOINS G D, WHEELER R M, et al. Stomatal conductance of lettuce grown under or exposed to different light qualities[J]. *Ann Bot*, 2004, 94: 691-697.

[12] FOLTA K M, MARUHNICH S A. Green light: A signal to slow down or stop[J]. *J Exp Bot*, 2007, 58(12): 3099-3111.

[13] 文莲莲. 红蓝光质与补光时长对番茄幼苗生长的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2018.

[14] 钟剑富, 李雅曼, 刘厚诚. 红白光比例对植物工厂十字花科蔬菜生长及品质的影响[J]. *农业工程技术*, 2020, 40(19): 64-67.

[15] 陈祥伟, 刘世琦, 冯磊, 等. 不同 LED 光源对乌塌菜光合特性及品质的影响[J]. *华北农学报*, 2014, 29(S1): 243-248.

[16] 陈祥伟, 刘世琦, 刘庆, 等. 不同 LED 光源对小白菜生长及光合特性的影响[J]. *北方园艺*, 2013(22): 1-4.

[17] 李聪聪, 吉家曾, 陈增举, 等. 红蓝光质对比两种叶色生菜生长及品质的影响[J]. *浙江农业科学*, 2019, 60(12): 2238-2241.

[18] 高勇, 李清明, 刘彬彬, 等. 不同光质对比对紫叶生菜光合特性和品质的影响[J]. *应用生态学报*, 2018, 29(11): 3649-3657.

[19] 陈娴, 刘世琦, 孟凡鲁, 等. 不同光质对韭菜营养品质的影响[J]. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2012, 43(3): 361-366.

[20] 高波, 杨振超, 李万青, 等. 3 种不同 LED 光质对比对芹菜生长和品质的影响[J]. *西北农学报*, 2015, 24(12): 125-132.

(上接第 22 页)

[19] NORMAN E O, LEVER J, BRKLIJAČA R, et al. Distribution, biosynthesis, and biological activity of phenylphenalenone-type compounds derived from the family of plants, Haemodoraceae[J]. *Natural product reports*, 2019, 36(5): 753-768.

[20] 杨维力, 田军, 白冰如, 等. 地涌金莲的化学成分[J]. *中草药*, 2001, 32(8): 681-683.

[21] QIN B, SHAO Z Y, ZENG W, et al. Musellactone, a new lactone from *Musella lasiocarpa*[J]. *Journal of the Chinese chemical society*, 2006, 53(2): 475-478.

[22] DONG L B, HE J, LI X Y, et al. Chemical constituents from the aerial parts of *Musella lasiocarpa*[J]. *Natural product bioprospect*, 2011, 1(1): 41-47.

[23] LI Z L, LEUNG T F, TONG R B. Total syntheses of (±)-musellarins A-C[J]. *Chemical communications*, 2014, 50(75): 10990-10993.

[24] 付蕾, 张晓娟. 天然产物中环状二芳基庚烷类化合物枫杨素的全合成研究[J]. *中医药信息*, 2015, 32(3): 11-13.

[25] 秦波, 鲁润华, 汪汉卿, 等. 地涌金莲化学成分的研究[J]. *天然产物研究与开发*, 2000, 12(2): 41-44.

[26] LI R R, RU Y R, WANG Z X, et al. Phytochemical composition, antioxidant activity, and enzyme inhibitory activities(α-glucosidase, xanthine oxidase, and acetylcholinesterase) of *Musella lasiocarpa*[J]. *Molecules*, 2021, 26(15): 1-18.

[27] 李晓江. 地涌金莲资源的开发利用与可持续发展研究[J]. *西昌学院学报(自然科学版)*, 2001, 15(3): 3-5.

[28] 李莎莎, 李凡, 张景霞, 等. 乳香黄连木的化学成分及药理作用研究进展[J]. *天然产物研究与开发*, 2020, 32(5): 882-892.

[29] 刘晓雪, 李瑞杰, 彭婉芊, 等. 地涌金莲酵素的发酵工艺及其抗氧化活性研究[J]. *食品工业*, 2021, 42(12): 165-169.

[30] SABBACH F, KIAROSTAMI K, MAHMOUDI KHATIR N, et al. Green

synthesis of Mg_{0.99}Zn_{0.01}O nanoparticles for the fabrication of κ-Carrageenan/NaCMC hydrogel in order to deliver catechin[J]. *Polymers*, 2020, 12: 1-15.

[31] 王利勤, 王晓丽. 芭蕉科芭蕉属植物成分及其活性[J]. *广州化工*, 2010, 38(7): 32-35.

[32] 国家中医药管理局《中华本草》编委会. 中华本草: 苗药卷[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 2005: 292.

[33] LUIS J G, ECHEVERRI F, QUINONES W, et al. Irenolone and emenolone: Two new types of phytoalexin from *Musa paradisiaca*[J]. *The journal of organic chemistry*, 1993, 58(16): 4306-4308.

[34] HÖLSCHER D, DHAKSHINAMOORTHY S, ALEXANDROV T, et al. Phenalenone-type phytoalexins mediate resistance of banana plants (*Musa* spp.) to the burrowing nematode *Radopholus similis*[J]. *Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America*, 2014, 111(1): 105-110.

[35] HÖLSCHER D, VOLLRATH A, KAI M, et al. Local phytochemical response of *Musa acuminata* x *balbisiana* Colla cv. 'Bluggoe' (ABB) to colonization by Sternorrhyncha[J]. *Phytochemistry*, 2017, 133: 26-32.

[36] FLORS C, NONELL S. Light and singlet oxygen in plant defense against pathogens: Phototoxic phenalenone phytoalexins[J]. *Accounts of chemical research*, 2006, 39(5): 293-300.

[37] 周翊兰, 龙春林. 民族传统文化滋养下的地涌金莲[J]. *科学*, 2019, 71(2): 17-19.

[38] 吴韦廉. 洋地黄、红蕉和地涌金莲[J]. *大自然*, 2001(1): 19.

[39] 关文灵. 滇中奇葩地涌金莲[J]. *园林*, 2001(4): 44-45.

[40] 关文灵, 邓晓秋. 云南奇葩——地涌金莲[J]. *花木盆景(花卉园艺)*, 2001(5): 49.

[41] LONG C L, LI H, OUYANG Z Q, et al. Strategies for agrobiodiversity conservation and promotion: A case from Yunnan, China[J]. *Biodiversity & conservation*, 2003, 12(6): 1145-1156.