

张现征,王 丹,董 飞,等. 不同比例红蓝光对番茄幼苗生长发育及光合特性的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(14):136-138.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.14.031

不同比例红蓝光对番茄幼苗生长发育及光合特性的影响

张现征,王 丹,董 飞,张云飞,刘世琦,孙秀东

(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/山东果蔬优质高效生产协同创新中心,山东泰安 271018)

摘要:以番茄品种 Micro Tom 为试材,采用发光二极管(LED)为精量调制光源,配置光强为 $300 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,红蓝光比例分别为 1:1、3:1、5:1、7:1 的光源照射番茄幼苗,以白光照射为对照,测定其株高、茎粗、壮苗指数、光合色素含量、光合参数等。结果表明,红蓝光比例为 7:1 时番茄叶片的比叶面积相对最大;红蓝光比例为 1:1 时番茄叶片叶绿素含量相对最高,净光合速率相对最低;红蓝光比例为 3:1 时番茄壮苗指数、净光合速率相对最高,最有利于培育壮苗。

关键词:番茄;光合特性;光质;光合色素;红光;蓝光

中图分类号: S641.201 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)14-0136-03

光是设施园艺作物生长的重要环境因素之一,不仅是植物光合作用的能量来源,还以光信号的形式参与调节一系列植物生长发育过程^[1]。除光强和光周期外,光质在植物的生长发育、形态建成、生理代谢等方面具有明显的调控作用^[2-4]。有研究表明,植物吸收光集中在波段 350~720 nm 的可见光部分^[5],其中 600~700 nm 之间的红橙光是植物最主要的吸收波段,约占被吸收生理辐射光能的 85%,而 400~500 nm 之间的蓝光约占 12%^[6],因此,红光、蓝光是植物生长所必需的光质。红光主要用于生成同化物,积累生物量,蓝光是叶绿素合成和叶绿体形成的必要条件,通过控制气孔形态影响植物形态^[7]。在人工气候条件下,植物光合作用所需的光能完全依靠人工光源提供,而选择适宜的人工光源十分重要。

发光二极管(LED)是一种新型人工光源,是可以近距离照射植物的冷光源,可根据种植目的选用特定的光谱波长,能量转化效率高^[8],在温室高湿环境下,其使用寿命远远超过其他光源^[9]。随着 LED 生产技术和制造成本的降低,国内外越来越多的学者致力于将其应用到设施农业生产领域,用于温室补光和人工照明等方面^[4,10]。有关 LED 红、蓝组合光质对番茄生理生化、光合作用及产量、品质的研究较多,但不同比例红蓝光源对番茄幼苗生长、光合特性的影响鲜见报道。本试验采用番茄作为试材,研究 LED 不同比例红蓝光对番茄苗期生长及光合色素含量、光合特性的影响,以期筛选出最适合番茄幼苗生长的 LED 红蓝组合光,为其在番茄壮苗培育中的应用提供理论依据。

收稿日期:2018-03-08

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(编号:201303108)。

作者简介:张现征(1992—),男,山东临沂人,硕士研究生,研究方向为蔬菜栽培生理。Tel:(0538)8246236;E-mail: xzzhang2011@163.com。

通信作者:刘世琦,博士,教授,从事蔬菜生理生态研究。Tel:(0538)8246818;E-mail: liusq99@sdau.edu.cn。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于 2017 年 5—8 月在山东农业大学科技创新园日光温室及智能人工气候室进行,供试番茄品种为美国 Pan American Seed 公司培育的 MicroTom (*Solanum lycopersicum*)。红蓝光 LED,均购自深圳纯英达业集团有限公司;3415FX 型光度计,由美国 Spectrum Technologies 公司生产;CI-202 型便携式激光叶面积仪,由美国 CID 公司生产;Li-6400 型便携式光合测定仪,由美国 Li-COR 公司生产。

1.2 试验设计

将番茄种子经温汤浸种、催芽,日光温室内播于 50 孔育苗穴盘中,育苗基质为草炭:蛭石=2:1;待子叶展平,用 1/2 山崎番茄专用配方营养液浇灌 1 次/2 d;2 叶 1 心时,选择形态长势一致的幼苗移入长、宽、高分别为 6.5、6.5、10 cm 的营养钵中,置于智能人工气候室培养,并采用红蓝光 LED 数量配比分别为 1:1、3:1、5:1、7:1 的相应复合光源进行照射,以白光照射为对照,每处理 60 株;调节光源与幼苗距离,使光强均为 $300 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ^[11],光周期为 12 h/d,人工气候室昼、夜温度分别为 28、18 ℃,空气湿度为 $(70 \pm 10)\%$ 。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 植株形态指标 于智能人工气候室培养 30 d,每处理随机选取 10 株测定。植株株高,为植株地上部根部至生长点的距离,采用卷尺测量;于植株基部第 1 叶位下 1 cm 处,采用游标卡尺测量茎粗;比叶面积为全株鲜叶质量与叶面积之比,全株叶面积采用 CI-202 型便携式激光叶面积仪测定;植株地上部与地下部干质量、鲜质量采用精度为 0.001 g 的电子天平测定。统计壮苗指数,计算公式为

壮苗指数 = (茎粗/株高 + 地下部干质量/地上部干质量) × 全株干质量。

1.3.2 叶片光合色素含量 于智能人工气候室培养 30 d,每处理选取长势一致的幼苗 3 株,于 10:00—11:00,选基部以

上第 2 叶,参考邹琦的方法^[12],测定叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素含量,计算叶绿素(a+b)含量。

1.3.3 叶片光合参数 于智能人工气候室培养 30 d,每处理选取长势一致的幼苗 3 株,于 10:00—11:00,采用 Li-6400 型便携式光合测定仪测定基部以上第 3 叶的光合参数,包括净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)及蒸腾速率(T_r)。光量子通量密度为 300 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,温度为 $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$, CO_2 浓度为 $(400 \pm 10) \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。

1.4 统计分析

采用 Excel 2010、DPS v14.10 软件对试验数据进行统计分析,采用 Duncan’s 新复极差法进行多重比较和差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同比例红蓝光对番茄幼苗生长的影响

植株生长量大小一定程度上可反映幼苗同化产物的累积量及其生长的健壮程度。由表 1 可见,不同光质下番茄幼苗的株高有明显差异,由高到低依次表现为红光:蓝光(7:1) >

红光:蓝光(5:1) > 红光:蓝光(3:1) > CK > 红光:蓝光(1:1);红蓝光比例为 3:1 时,植株茎粗、单株鲜质量、单株干质量、壮苗指数分别为 3.73 mm、8.14 g/株、0.85 g/株、0.188,均相对最大,明显高于其他处理;不同处理之间番茄植株的比叶面积差异极显著($P < 0.01$),其中,红光:蓝光(7:1)处理的比叶面积相对最大,为 $482.96 \text{ cm}^2/\text{g}$,但其出现徒长,且长势较弱。可见,红光虽能提高植株的株高和比叶面积,但红光比例过高会使植株徒长,红蓝光比例为 3:1 时最有利于壮苗的培育。

2.2 不同光质对番茄幼苗光合色素含量的影响

由表 2 可见,不同光质处理的类胡萝卜素含量差异明显,由高到低依次表现为红/蓝(1:1) > CK > 红光:蓝光(7:1) > 红光:蓝光(3:1) > 红光:蓝光(5:1);红蓝光比例为 1:1 时,番茄叶片的叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a+b 含量分别为 1.593、0.433、2.025 mg/g,其叶绿素含量相对最高;红蓝光比例为 5:1 时,番茄叶片的叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a+b 含量分别为 0.672、0.153、0.825 mg/g,其叶绿素含量相对最低。

表 1 不同光质对番茄幼苗生长的影响

光源	株高 (cm)	茎粗 (mm)	鲜质量 (g/株)	干质量 (g/株)	比叶面积 (cm^2/g)	壮苗指数
白光(CK)	11.97 \pm 0.15cdCD	2.80 \pm 0.79aA	6.80 \pm 0.03cC	0.74 \pm 0.04abA	394.12 \pm 4.56cC	0.173 \pm 0.002abA
红光:蓝光(1:1)	10.60 \pm 0.95dD	3.11 \pm 0.14aA	5.28 \pm 0.07eE	0.49 \pm 0.02bA	371.79 \pm 3.67dD	0.144 \pm 0.006bB
红光:蓝光(3:1)	13.20 \pm 0.77bcBC	3.73 \pm 0.27aA	8.14 \pm 0.09aA	0.85 \pm 0.03aA	315.88 \pm 5.78eE	0.188 \pm 0.003aA
红光:蓝光(5:1)	14.53 \pm 0.26abAB	3.42 \pm 0.21aA	6.00 \pm 0.06dD	0.63 \pm 0.05abA	449.05 \pm 6.52bB	0.174 \pm 0.003abA
红光:蓝光(7:1)	15.61 \pm 0.85aA	3.54 \pm 0.44aA	7.19 \pm 0.07bB	0.74 \pm 0.06abA	482.96 \pm 7.45aA	0.170 \pm 0.005abA

注:同列数据后不同大写字母、小写字母分别表示处理间差异极显著($P < 0.01$)、显著($P < 0.05$)。下表同。

表 2 不同光质对番茄幼苗光合色素含量的影响

光源	光合色素含量(mg/g)			
	类胡萝卜素	叶绿素 a	叶绿素 b	叶绿素 a+b
白光(CK)	0.289 \pm 0.059abAB	1.267 \pm 0.286abA	0.313 \pm 0.074abcAB	1.580 \pm 0.360abA
红光:蓝光(1:1)	0.350 \pm 0.041aA	1.593 \pm 0.119aA	0.433 \pm 0.013aA	2.025 \pm 0.129aA
红光:蓝光(3:1)	0.188 \pm 0.008bcAB	0.983 \pm 0.048abA	0.249 \pm 0.005bcAB	1.233 \pm 0.053abA
红光:蓝光(5:1)	0.149 \pm 0.084cB	0.672 \pm 0.322bA	0.153 \pm 0.048cB	0.825 \pm 0.370bA
红光:蓝光(7:1)	0.258 \pm 0.108abcAB	1.237 \pm 0.625abA	0.332 \pm 0.178abAB	1.571 \pm 0.803abA

2.3 不同光质对番茄幼苗光合特性的影响

由表 3 可见,不同比例红、蓝光质处理对番茄幼苗净光合速率有明显影响,红蓝光比例为 3:1 处理的番茄幼苗净光合速率相对最高,极显著高于其他处理($P < 0.01$),红蓝光比例为 1:1 处理的相对最低,仅为红蓝光比例为 3:1 处理的 48.76%,且与 CK 处理相比差异不显著($P > 0.05$);蒸腾速率、气孔导度的变化规律与净光合速率相似,大小依次表现为红光:蓝光(3:1) > 红光:蓝光(7:1) > 红光:蓝光

(5:1) > CK > 红光:蓝光(1:1),这说明红蓝光比例为 3:1 处理的番茄幼苗水分代谢较为旺盛;红蓝光比例为 7:1 处理的胞间 CO_2 浓度相对最高,较 CK 高 14.46%,显著高于其他红蓝光处理($P < 0.05$)。

3 结论与讨论

目前,关于不同光质 LED 光源的研究主要集中于单色光或不同比例红蓝光对植物生理特性、光合特性及碳氮代谢等

表 3 不同光质对番茄幼苗光合特性的影响

光源	净光合速率 P_n [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	蒸腾速率 T_r [$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	气孔导度 G_s [$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	胞间 CO_2 浓度 C_i ($\mu\text{mol}/\text{mol}$)
白光(CK)	4.41 \pm 0.44cC	3.52 \pm 0.15cBC	371.33 \pm 6.66bB	434.67 \pm 60.93abA
红光:蓝光(1:1)	4.13 \pm 0.10cC	2.76 \pm 0.10cC	288.57 \pm 3.50bB	256.43 \pm 7.12cB
红光:蓝光(3:1)	8.47 \pm 0.35aA	10.23 \pm 2.52aA	692.67 \pm 31.63aA	392.33 \pm 12.66bAB
红光:蓝光(5:1)	5.26 \pm 0.14bB	6.17 \pm 0.07bB	406.54 \pm 3.01bB	357.42 \pm 2.98bAB
红光:蓝光(7:1)	5.45 \pm 0.25bB	9.95 \pm 0.35aA	456.43 \pm 35.23aA	497.51 \pm 103.50aA

方面的影响^[13]。徐文栋等研究发现,红蓝光比为 3 : 1 的 LED 复合光可作为设施培育黄瓜幼苗的最适光源^[14];刘建福等认为,红光比例为 70% 时最有利于姜黄次生代谢产物的生成^[15];曹刚等研究表明,比例为 8 : 2 的红蓝组合光有利于黄瓜幼苗株高的增加,壮苗指数相对最大^[16]。本研究表明,红蓝光比例为 3 : 1 时能够促进番茄幼苗茎粗增加、比叶面积增大及干物质积累,最有利于番茄壮苗的培育,这与杨晓建等研究结果^[17-18]一致。

光合色素能够吸收、传递和转换光能,是植物进行光合作用的物质基础,其含量与组成直接影响叶片的光合速率^[19],而光质直接影响光合色素的合成,从而影响植株的光合作用^[20-21]。陈颖等研究表明,不同比例光质对红掌叶片叶绿素含量的影响不同,50% 红光 + 50% 蓝光处理的红掌叶片叶绿素 a、叶绿素 a + 叶绿素 b 含量及叶绿素 a/b 相对最大^[22];周成波等认为,白 + 红 + 蓝光处理下,莴苣叶片叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素含量显著大于其他处理($P < 0.05$)^[13]。本研究表明,红蓝光比例为 1 : 1 时番茄叶片的叶绿素含量相对最高,但其净光合速率却低于白光处理(CK),说明叶片的光合作用受诸多因素影响,叶绿素含量高低并不能完全反映光合能力的强弱,植物对光质反应有一定的复杂性。

光合速率是影响植物同化能力和产量的关键因素^[23]。李承志等研究发现,增加蓝光成分可提高白菜、萝卜叶片的净光合速率^[24]。本试验中,与对照相比,红蓝光比例为 3 : 1 时可极显著提高番茄幼苗叶片净光合速率($P < 0.01$),可能是由于该光照诱导气孔开放的作用较强;红蓝光比例为 1 : 1 处理的番茄叶片叶绿素含量相对较高,而净光合速率有明显降低,这可能是由于蓝光会减少叶片叶肉细胞中淀粉粒的积累^[25],而红光抑制了光合产物从叶片中的输出,增加了叶片的淀粉积累,淀粉粒的过量积累不利于植物叶片光合作用的进行^[26]。

综上所述,红蓝光比例为 3 : 1 时,不仅有利于番茄幼苗干物质的积累,而且有利于光合性能的提高,可作为番茄育苗过程中较为优质的人工光源。

参考文献:

- [1] Jiao Y, Lau O S, Deng X W. Light - regulated transcriptional networks in higher plants[J]. *Nature Reviews Genetics*, 2007, 8(3): 217 - 230.
- [2] Hernandez R, Kubota C. Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs[J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2016, 121: 66 - 74.
- [3] 苏娜娜, 邹奇, 崔瑾. 光环境调控技术在蔬菜工厂化育苗中的应用及前景[J]. *中国蔬菜*, 2013(4): 14 - 19.
- [4] 张欢, 徐志刚, 崔瑾, 等. 光质对番茄和莴苣幼苗生长及叶绿体超微结构的影响[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(4): 959 - 965.
- [5] Goto E. Effects of light quality on growth of crop plants under artificial lighting[J]. *Environment Control in Biology*, 2003(2): 121 - 132.
- [6] 马旭, 林超辉, 齐龙, 等. 不同光质与光照度对水稻温室立体育秧秧苗素质的影响[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(11): 228 -

- 235.
- [7] Runkle E S, Padhye S R, Blamchard M G, et al. Energy - efficient greenhouse lighting of ornamentals[J]. *Acta Horticulturae*, 2011, 907: 53 - 59.
- [8] Massa G D, Kim H H, Wheeler R M, et al. Plant productivity in response to LED lighting[J]. *HortScience*, 2008, 43(7): 1951 - 1956.
- [9] Fu M J, Yang L Q, Zhang J H. Study of light emitting diodes for the application of plant growth in green house [C]//2011 12th international conference on electronic packaging technology & high density packaging. Singapore: IEEE, 2011: 1106 - 1110.
- [10] 崔瑾, 马志虎, 徐志刚, 等. 不同光质补光对黄瓜、辣椒和番茄幼苗生长及生理特性的影响[J]. *园艺学报*, 2009, 36(5): 663 - 670.
- [11] 孙娜, 魏珉, 李岩, 等. 光质对番茄幼苗碳氮代谢及相关酶活性的影响[J]. *园艺学报*, 2016, 43(1): 80 - 88.
- [12] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 51 - 52.
- [13] 周成波, 张旭, 刘彬彬, 等. 补光光质对叶用莴苣光合特性的影响[J]. *植物生理学报*, 2015, 51(12): 2255 - 2262.
- [14] 徐文栋, 刘晓英, 焦学磊, 等. 不同红蓝配比的 LED 光调控黄瓜幼苗的生长[J]. *植物生理学报*, 2015, 51(8): 1273 - 1279.
- [15] 刘建福, 王明元, 唐源江, 等. 光质对姜黄生理特性及根茎次生代谢的影响[J]. *植物生理学报*, 2014, 50(12): 1871 - 1879.
- [16] 曹刚, 张国斌, 郁继华, 等. 不同光质 LED 光源对黄瓜苗期生长及叶绿素荧光参数的影响[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(6): 1297 - 1304.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 郑洁, 胡美君, 郭延平. 光质对植物光合作用的调控及其机理[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(7): 1619 - 1624.
- [20] Tholen D, Pons T L, Voisenek L A. Ethylene insensitivity results in down - regulation of rubisco expression and photosynthetic capacity in tobacco[J]. *Plant Physiology*, 2007, 144(3): 1305 - 1315.
- [21] 杨富军, 赵长星, 闫萌萌, 等. 栽培方式对夏直播花生叶片光合特性及产量的影响[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(3): 747 - 752.
- [22] 陈颖, 王政, 纪思羽, 等. LED 光源不同光质比例对红掌试管苗生长的影响[J]. *江西农业大学学报*, 2013, 35(2): 375 - 380.
- [23] 李伟, 睦晓蕾, 王绍辉, 等. 黄瓜幼苗不同叶位叶片光合特性对弱光的响应[J]. *中国农业科学*, 2008, 41(11): 3698 - 3707.
- [24] 李承志, 廉世勋, 张华京, 等. 光合仿生农膜的作物栽培试验[J]. *湖南农业科学*, 2001(5): 22 - 23.
- [25] Saebo A, Kreckling T, Appelgren M. Light quality affects photosynthesis and leaf anatomy of birch plantlets *in vitro*[J]. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 1995, 41(2): 177 - 185.
- [26] Bondada B R, Syvertsen J P. Leaf chlorophyll, net gas exchange and chloroplast ultrastructure in citrus leaves of different nitrogen status[J]. *Tree Physiology*, 2003, 23(8): 553 - 559.