

樊小雪, 凌丹丹, 徐 刚, 等. 不同 LED 光照对番茄果实品质和糖类物质含量的影响[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(4): 944-948.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2021.04.017

不同 LED 光照对番茄果实品质和糖类物质含量的影响

樊小雪¹, 凌丹丹², 徐 刚¹, 高文瑞¹, 孙艳军¹, 韩 冰¹

(1. 江苏省农业科学院蔬菜研究所/江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室, 南京 210014; 2. 南京农业大学农学院, 南京 210095)

摘要: 采用发光二极管(LED)调制光源,在白光背景下添加不同的光照,以白光为对照,研究不同光照下矮化番茄果实产量、果实品质和糖类物质含量的变化,旨在探明不同 LED 光照对番茄果实产量和品质的影响。结果表明,在白光背景下添加红光、蓝光和红蓝组合光后,番茄结果时间显著提前。番茄果实横径和纵径在不同光照处理间无显著性差异。白光对照单果质量最大,白光+红光+蓝光处理果实数量最多。白光+红光+蓝光处理果实中可溶性固形物、糖酸比和番茄红素含量均最高,与白光对照相比分别提高 19.68%、43.80% 和 42.49%。白光对照果实维生素 C 含量最高。由此可见,红光和蓝光是影响番茄果实品质的主要光照。

关键词: 番茄; LED 光照; 果实品质; 糖类物质

中图分类号: S641.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2021)04-0944-05

Effects of different LED light on fruit quality and sugar content of tomato

FAN Xiao-xue¹, LING Dan-dan², XU Gang¹, GAO Wen-rui¹, SUN Yan-jun¹, HAN Bing¹

(1. Institute of Vegetable Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Jiangsu Key Laboratory for Horticultural Crop Genetic Improvement, Nanjing 210014, China; 2. College of Agronomy, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: In this study, light emitting diode (LED) was used to modulate the light source, and different light was added under white light background. Using white light as control, the changes of yield, quality and sugar content of dwarf tomato fruits under different lighting conditions were studied to investigate the effects of different LED light on the yield and quality of tomato fruits. The results showed that the fruiting time of tomato was significantly advanced after adding red light, blue light and combination of red and blue light under white light background. There was no significant difference in the transverse diameters and longitudinal diameters of tomato fruits under different lighting conditions. The single fruit weight was highest under white light treatment. And the number of fruit was the highest under the combination of white, red and blue light. Under the combination of white, red and blue light, the soluble solid content, ratio of sugar to acid and lycopene content in fruits were highest, and increased by 19.68%, 43.80% and 42.49% compared with the control respectively. The content of vitamin C was the highest under white light treatment. In conclusion, red light and blue light were the main light affecting the fruit quality of tomato.

Key words: tomato; LED light source; fruit quality; sugar

收稿日期: 2020-04-14

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目(CX135012)

作者简介: 樊小雪(1983-), 女, 山东淄博人, 博士, 副研究员, 研究方向为蔬菜栽培生理。(Tel) 025-84390705; (E-mail) fxx600@163.com

通讯作者: 徐 刚, (Tel) 025-84390143; (E-mail) xugang90@163.com

光是植物进行光合作用的能量来源,也是植物生长发育的信号因子^[1]。番茄(*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*)是茄科番茄属的一个变种,是目前我国设施栽培的主要蔬菜品种之一,栽培面积位居首位^[2]。在设施番茄生产中,由于设施本身遮阴及植株

冠层遮阴等原因,番茄植株不同层次的叶片受光量差距很大,特别是下层叶片受光量受到较大影响^[3]。因此光照是限制设施番茄增产的主要环境因素之一^[4]。发光二极管(LED)具有低成本、低能耗、低辐射热和光谱可调控的优点,是能够提高作物产量和质量的辅助照明工具。通过光调控对蔬菜作物进行高效栽培,这项技术得到越来越多的认可^[5]。

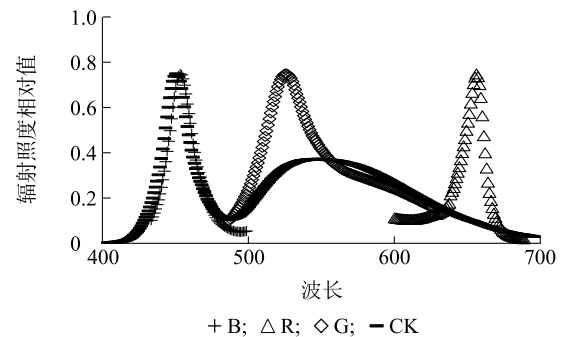
随着生活水平的提高,人们对番茄口感和品质的要求也逐渐提高。所以在保证产量的同时,也要求其在营养价值、口感风味等方面具有较高的商品性。目前国内外学者对不同 LED 光照影响番茄果实品质有不少研究,其中多数研究使用的光照为红光、蓝光以及红蓝组合光。红光和红光比例较高的红蓝光照组合可以提高番茄果实中可溶性糖含量、可滴定酸质量分数和糖酸比。此外红光处理对番茄红素合成也有促进作用^[2,6-10]。蓝光会促进果实中可溶性固形物、游离氨基酸以及抗坏血酸含量提高^[2,8]。

综合来看,使用红光和蓝光处理后,番茄果实中糖类物质、抗坏血酸,番茄红素以及挥发性物质等含量均受到影响,且以积极影响为主。白光光谱成分丰富,含有少量的远红光和紫外光,对刺激番茄次生代谢物质合成具有促进作用。本研究在前人研究基础上拟对番茄栽培光照进行优化,以白光为背景,添加红光、蓝光、绿光和红蓝组合光,研究不同光照对番茄果实形状、产量以及营养品质的影响,通过优化光照参数,以期为提高番茄品质提供技术支撑,为番茄专用 LED 照明设备研发提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于 2019 年在江苏省农业科学院蔬菜研究所栽培实验室内进行,试验材料为矮化番茄,利用 LED 灯管提供不同光照。试验以白光作为对照(CK),在白光背景中添加不同光照,设置 4 个光照处理,即白光+蓝光(WB)、白光+红光(WR)、白光+绿光(WG)、白光+红光+蓝光(WRB)。其中红光波长为 660 nm,蓝光波长为 460 nm,绿光波长为 520 nm。光通量密度均设置为 $(300 \pm 10) \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,组合光的光通量密度之比为 1:1 或 1:1:1,光照能量分布见图 1。由 Li-co250A 光照计(美国 LI-COR 公司生产)测定。



B: 蓝光; R: 红光; G: 绿光; CK: 白光对照。

图 1 不同光照能量分布

Fig.1 Energy distribution of different light

1.2 试验方案

番茄种子在 40 °C 温水中浸种 5 h,然后放入 50 孔穴盘进行育苗。育苗基质为蛭石草炭混合物(体积比为 1:2),育苗温度 25 °C,光照使用白色 LED 灯,处理光周期为 12 h/d,光通量密度均设置为 $(300 \pm 10) \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。待番茄生长至四叶一心时定植在营养钵中,栽培基质与育苗基质相同。缓苗 7 d 后置于 5 种不同光照下处理,每天浇灌 150 ml 番茄专用水溶肥($\text{N} : \text{P}_2\text{O}_5 : \text{K}_2\text{O} = 2.3 : 1.0 : 3.6$,质量比)。温度控制为白天 $(26 \pm 2) ^\circ\text{C}$,夜间 $(18 \pm 2) ^\circ\text{C}$ 。每个处理 12 盆,在番茄开花后采集数据。番茄第一穗果进入成熟期后,采收果实并用液氮对样品进行速冻,于 $-80 ^\circ\text{C}$ 冰箱内存放,待检测各项生理指标。

1.3 试验方法

1.3.1 开花、结果调查 以每个处理所有重复第一穗花序花蕾开放 50% 所需时间的平均值为始花天数,以每个处理所有重复第一穗花结果 50% 所需时间的平均值为始果天数。

1.3.2 果实性状测定 采收并统计果实数量,使用电子天秤称量所有果实质量。单株产量计算如下:单株产量=单果质量×单株果数。用游标卡尺测定果实横径、纵径,并计算果形指数。

1.3.3 果实品质测定 可溶性固形物、可溶性糖、可滴定酸、可溶性蛋白质、维生素 C 含量测定使用紫外分光光度计,参考曹建康等的测定方法^[11];蔗糖、葡萄糖、果糖含量测定使用紫外分光光度计,参考赵树堂的测定方法^[12];番茄红素含量测定使用高效液相色谱仪,参考胡晓波等的测定方法^[13]。

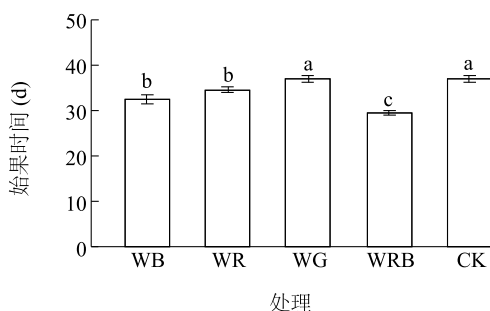
1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2016 软件进行分析和作图。利用 SPSS 软件中单因素方差分析 (ANOVA) 和邓肯检验对不同处理进行差异显著性分析 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同光照处理对番茄始果天数的影响

如图 2 所示,不同光照处理对番茄始果天数有显著影响,始果天数依次为:CK = WG > WR > WB > WRB。与对照相比,WB、WR、WRB 处理显著促进番茄植株第一花序提前结果,其中 WRB 处理提前 7 d。



WB: 白光+蓝光处理; WR: 白光+红光处理; WG: 白光+绿光处理; WRB: 白光+红光+蓝光处理; CK: 白光对照。

图 2 添加不同光照对番茄始果天数的影响

Fig.2 Effects of different light on tomato fruiting time

表 1 添加不同光照对番茄产量和果实形状的影响

Table 1 Effects of different light on yield and fruit shape of tomato

处理	横径 (mm)	纵径 (mm)	单果质量 (g)	单株果数 (个)	单株产量 (g)
CK	24.19±0.46a	21.86±0.69a	9.67±0.32a	28±3.33a	198.35±6.15a
WB	25.38±0.49a	22.86±0.45a	8.24±0.25b	26±2.73a	192.55±3.63a
WR	24.72±0.97a	22.34±0.72a	7.94±0.67b	21±2.76ab	154.10±8.56b
WG	25.29±0.61a	22.68±0.83a	8.24±0.50b	14±2.31b	96.11±0.55c
WRB	25.25±0.51a	22.15±0.49a	8.19±0.25b	29±2.96a	185.11±5.04a

CK、WB、WR、WG、WRB 见图 2 注。

2.2 不同光照处理对番茄产量和果实性状的影响

2.2 不同光照处理对番茄产量和果实性状的影响

不同光照处理对矮化番茄果实产量和果实性状有不同的影响(表 1)。果实横径、纵径在白光+蓝光处理下达到最大,在白光处理下最小,但是不同处理之间没有显著性差异,同时果实横纵比不同处理之间差异很小。单果质量在白光处理下最重,显著高于其他光处理,单果质量从高到低依次为:CK > WB = WG > WRB > WR。单株果数在 WRB 处理下最多,在 WG 处理下最少。其中 CK、WB、WRB、WR 处理间单株果数无显著性差异,CK、WB、WRB 处理间单株产量无显著性差异。

2.3 不同光照处理对番茄果实品质的影响

表 2 表明,不同光照处理对番茄果实品质指标有显著影响。WRB 处理下番茄果实可溶性固形物含量最高,显著高于其他光照处理,比对照 (CK) 高 19.68%,其他光照处理间无显著性差异。果实糖酸比从大到小依次为 WRB > WB > CK > WR > WG, 其中 WRB 处理和 WB 处理糖酸比显著高于其他处理,且 WRB 处理与 WB 处理间没有显著性差异。WRB 处理糖酸比相较于 CK 高 43.80%。果实可溶性蛋白质含量从高到低依次为 WB > WRB = CK > WR = WG, 其中 WB、WRB、CK 处理间无显著性差异,CK、WR、WG、WRB 处理间无显著性差异。与对照相比,WRB、WR 处理下番茄红素含量呈现升高趋势,其中 WRB 处理比对照高 42.49%。但是 WB 处理和 WG 处理下番茄红素含量显著下降。

处理,比对照高 10.70%。

3 讨论

光是植物生长的重要环境因素之一,不同植物对光照的需求有明显区别。红光和蓝光是植物光合系统中利用效率最高的光,因为它们选择性地激活

2.4 不同光照处理对番茄果实糖类物质含量的影响

从表 3 可以看出,不同光照处理对番茄果实中葡萄糖含量有显著影响,而对果糖、蔗糖、可溶性糖含量没有显著影响。WRB 处理下果实可溶性糖含量最高,数值从高到低依次为 WRB > CK > WB > WR > WG。果实葡萄糖含量在 WB 处理下显著高于其他

了与光合作用相关的光感受器,这些光感受器可以吸收一系列波长的光谱,在种子萌发、开花、叶片扩张以及植物化合物的生物合成等方面起着重要作用^[14-15]。绿光是目前生物农业光照技术研究的新方向之一,研究发现绿光可以诱导植物避阴,深入穿透植物冠层,增加下层冠层叶片的光合作用,促进植物的营养生长^[16-17]。在设施蔬菜栽培中,不同波长的 LED 光照组合可以进一步促进蔬菜作物的生长

发育,提高果实品质。本试验中,白光+红光、白光+蓝光、白光+红光+蓝光组合处理下番茄始果时间均有提前,其中白光+红光+蓝光处理比白光对照提前了 7 d。同时,白光+红光+蓝光处理番茄产量与白光对照无显著差异,说明该光照组合可以促进番茄的生殖生长。添加绿光处理番茄产量明显下降,这与郑冬梅和杨忠武的研究结果一致^[18-19]。

表 2 添加不同光照对番茄果实品质的影响

Table 2 Effects of different light on fruit quality of tomato

处理	可溶性固形物 (%)	糖酸比	可溶性蛋白质 (mg/g)	V _c (mg/g)	番茄红素 (μg/g, FW)
CK	4.93±0.21b	2.42±0.13b	0.12±0.06ab	0.175 3±0.003 0a	173.18±31.43b
WB	5.07±0.09b	3.25±0.37a	0.13±0.03a	0.170 5±0.007 1ab	143.09±21.05c
WR	5.03±0.03b	2.22±0.27b	0.11±0.04b	0.155 8±0.003 3bc	192.76±55.10bc
WG	4.73±0.08b	1.70±0.12b	0.11±0.05b	0.143 1±0.003 9c	116.73±41.10d
WRB	5.90±0.17a	3.48±0.95a	0.12±0.01ab	0.153 6±0.004 9c	246.77±21.76a

CK、WB、WR、WG、WRB 见图 2 注。

表 3 添加不同光照对番茄果实糖类物质含量的影响

Table 3 Effects of different light on sugar content in tomato fruit

处理	果糖 (mg/g)	可溶性糖 (mg/g)	葡萄糖 (mg/g)	蔗糖 (mg/g)
CK	3.38±0.62a	2.41±0.12ab	19.26±0.73b	21.58±0.94a
WB	2.42±0.32a	2.15±0.25ab	21.32±0.31a	21.62±0.38a
WR	4.03±0.34a	2.13±0.25ab	16.49±0.43c	20.26±0.37a
WG	3.28±0.90a	1.82±0.13b	9.70±0.38d	12.23±0.32a
WRB	3.37±0.77a	2.48±0.72a	17.06±0.14c	31.56±0.01a

CK、WB、WR、WG、WRB 见图 2 注。

不同光照对番茄果实的营养品质和口感有显著影响。番茄口感风味受适宜的糖酸比、可溶性固形物含量以及挥发性芳香物质等综合因素影响^[20]。在添加红光和红蓝组合光处理下,番茄的碳水化合物含量和番茄红素含量明显提升。蓝光光照则有利于提高维生素 C、蛋白质和可溶性固形物含量^[2,10,21-22]。本研究发现,添加蓝光后番茄果实中可溶性蛋白质含量达到最高,其次是红蓝组合光处理和白光对照。可溶性固形物含量在白光+红光+蓝光复合光照处理下含量达到最高,其次是白光+蓝光复合光照处理,这与刘晓英等人研究结果^[2]相似。Kong^[23]等人研究发现,蓝光可提高抗氧化酶基因的表达和酶活性,减缓可溶性蛋白质的降解,从而使可溶性蛋白质含量提高。本试验中,与白光对照相比,白光+蓝光组合光照处理对番茄果实中维生

素 C 含量影响不显著,而其他光照处理均使维生素 C 含量显著降低,这与前人在樱桃番茄和辣椒上的研究结果^[18,24]一致。

番茄红素是一种重要的功能性色素,有较高的保健作用,红光和蓝光对其合成都有重要的调控作用。前人研究发现,使用红光处理番茄果实可以促进番茄红素积累^[21,25]。本试验发现添加红光有利于提高番茄红素含量,白光+红光+蓝光处理能够显著提高番茄红素含量。因为红光处理能加快叶绿素分解,促进番茄果实番茄红素合成,而蓝光处理可以促进番茄果实类胡萝卜素、花青素、类黄酮含量提高。由此可见,在番茄果实发育过程中增加红光和蓝光照射可以促进果实转色^[21]。

糖类物质是影响番茄口感的重要物质之一^[26-28],不少研究发现不同光照对植物糖类物质含量有重要

影响。其中红光对植物碳水化合物积累有促进作用,其原因可能是红光通过调节光敏色素提高了蔗糖代谢酶的活性,增加了番茄果实中光合产物的分配比例^[29]。本试验中,5 个光照处理间果糖含量没有显著性差异。可溶性糖和蔗糖含量在白光+红光+蓝光处理下含量最高,这与孙娜^[10]等人在番茄中研究的结果相似。本试验中,番茄果实糖酸比在添加蓝光和红光后较高。前人研究发现,蓝光处理会降低番茄果实可滴定酸的含量,其主要原因是蓝光影响了植物体内酸类物质降解酶和转化酶的活性,进而引起含酸量的差别^[21]。糖类物质含量的提高对番茄果实糖酸比会产生较大影响,较高的糖酸比可以提升番茄口感。

综上所述,相较于白光对照,在白光背景下添加红光+蓝光有利于番茄植株提前结果,且不影响果实产量。在番茄果实营养品质方面,白光+红光+蓝光可以提高可溶性固形物和番茄红素含量。同时在白光+红光+蓝光处理下,番茄果实糖类物质含量和糖酸比均有提高,番茄口感更佳。

参考文献:

- [1] JIAO Y, LAU O S, DENG, et al. Light-regulated transcriptional networks in higher plants[J]. *Nature Reviews Genetics*, 2007, 8: 217-230.
- [2] 刘晓英. LED 光源对樱桃番茄生育和光合作用影响的研究[D]. 南京:南京农业大学, 2010.
- [3] JIANG C, JOHANN M, HOHJO M, et al. Photosynthesis, plant growth and fruit production of single-truss tomato improves with supplemental lighting provided from underneath or within the innercanopy[J]. *Scientia Horticulturae*, 2017, 222: 221-229.
- [4] JIYE Z, YITING Z, SHIWEI S, et al. Supplementary Red light results in the earlier ripening of tomato fruit depending on ethylene production[J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2020, 175: 104044.
- [5] MORROW R C. LED lighting in horticulture[J]. *Hort Science*, 2008, 43: 1947-1950.
- [6] 杨俊伟, 梁婷婷, 严露露, 等. 光质对番茄果实品质及挥发性物质的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(11): 55-61.
- [7] 王丽伟. 红蓝光质对番茄碳氮代谢和果实品质的影响机制研究与应用[D]. 北京:中国农业科学院, 2017.
- [8] 董 飞, 王传增, 任煜倩, 等. 光质对番茄果实中糖含量和代谢相关酶及基因表达的影响[J]. *植物生理学报*, 2018, 54(9): 1507-1515.
- [9] 李 岩, 王丽伟, 文莲莲, 等. 红蓝光质对转色期间番茄果实主要品质的影响[J]. *园艺学报*, 2017, 44(12): 2372-2382.
- [10] 孙 娜. 光质对番茄生长、生理代谢及果实产量品质的影响[D]. 泰安:山东农业大学, 2015.
- [11] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2007.
- [12] 赵树堂. 李果实发育过程中糖、酸、维生素 C 及矿质元素含量变化[D]. 保定:河北农业大学, 2003.
- [13] 胡晓波, 温辉梁, 许 全, 等. 番茄红素含量测定[J]. *食品科学*, 2005, 26(9): 548-551.
- [14] CHEN M, CHOR J, FANKHAUSER C. Light signal transduction in higher plants[J]. *Annual Review of Genetics*, 2004, 38: 88-117.
- [15] CHEN M, CHORY J. Phytochrome signaling mechanisms and the control of plant development[J]. *Trends in Cell Biology*, 2011, 21: 664-671.
- [16] 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]. *Hort Science*, 2004, 39: 1617-1622.
- [17] ZHANG T, MARUHNICH S A, FOLTA K M. Green light induces shade avoidance symptoms[J]. *Plant Physiology*, 2011, 157: 1528-1536.
- [18] 郑冬梅, 林志斌, 陈艺群, 等. 不同光质对樱桃番茄产量及品质的影响[J]. *山西农业大学学报:自然科学版*, 2016, 36(8): 567-571.
- [19] 杨忠武, 刘 翼, 金卓君, 等. 光质对番茄营养与风味品质的影响[J]. *中国农学通报*, 2020, 36(34): 134-141.
- [20] PAVICK R, MIKEL A, CARLOS G. Tomato quality is more dependent on temperature than on photosynthetically radiation[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2008, 88: 158.
- [21] 陈 强, 刘世琦, 张自坤, 等. 不同 LED 光源对番茄果实转色期品质的影响[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(5): 156-161.
- [22] 陈田甜. 不同光质对番茄果实品质形成的影响[D]. 广州:华南农业大学, 2016.
- [23] KONG S S, MURTHY H N, HEO J W, et al. The effect of light quality on the growth and development of in vitro cultured Doritaenopsis plants[J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2008, 30(3): 339-343.
- [24] 吴根良, 郑积荣, 李许可. 不同 LED 光源对设施越冬辣椒果实品质和产量的影响[J]. *浙江农林大学学报*, 2014, 31(2): 246-253.
- [25] ALBA R, PRATT M, LEE H. Fruit-localized phytochromes regulate lycopene accumulation independently of ethylene production in tomato[J]. *Plant Physiology*, 2000, 123: 363-370.
- [26] 徐达勋. 不同增氧滴灌方法对温室樱桃番茄产量、品质及光合作用的影响[J]. *江苏农业学报*, 2020, 36(1): 152-157.
- [27] 刘中良, 高 昕, 张艳艳, 等. 基质栽培与土壤栽培番茄品质产量的比较研究[J]. *江苏农业科学*, 2020, 48(1): 124-127.
- [28] 刘中良, 高俊杰, 谷端银, 等. 有机肥替代化肥对土壤环境和番茄品质的影响[J]. *南方农业学报*, 2020, 51(2): 357-363.
- [29] KASPERBAUERM J. Strawberry yield over red versus black plastic mulch[J]. *Crop Science*, 2000(40): 171-174.

(责任编辑:蒋永忠)