

韩冰, 高文瑞, 孙艳军, 等. 不同 LED 光照对番茄幼苗生理特性及定植后开花结果的影响[J]. 江苏农业学报, 2024, 40(12): 2219-2225.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2024.12.004

# 不同 LED 光照对番茄幼苗生理特性及定植后开花结果的影响

韩冰, 高文瑞, 孙艳军, 郑子松, 张晓青

(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, 江苏 南京 210014)

**摘要:** 以番茄品种千禧为试验材料, 研究 5 种不同的发光二极管(LED)光照对番茄幼苗生长和生理特性以及幼苗定植后开花结果的影响。结果表明, 与白光对照(CK)相比, 白光: 蓝光=1:1(WB)、白光: 红光: 蓝光=1:1:1(WRB)、白光: 红光=1:1(WR)、红光: 蓝光=1:1(RB)处理番茄幼苗株高显著降低, WRB、WR 处理番茄幼苗茎粗显著降低, WB、RB 处理的番茄幼苗壮苗指数显著增加; WB、WRB、RB 处理番茄幼苗净光合速率、蒸腾速率、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、气孔导度显著增加; WB、WR、RB 处理番茄幼苗叶片超氧化物歧化酶(SOD)与过氧化物酶(POD)活性显著增加, 而过氧化氢酶(CAT)活性显著降低; WR 处理的番茄幼苗叶片丙二醛(MDA)含量显著增加, 而 WB、WRB 处理番茄幼苗叶片 MDA 含量显著降低。经 WB、WRB、RB 处理番茄育苗会使番茄苗在定植后始花期、前期产量、总产量及果实可溶性糖含量、可滴定酸含量、糖酸比显著提高。综上所述, WB、WRB、RB 处理对番茄幼苗生长和壮苗培育, 以及番茄植株定植后的始花期、产量和品质均有不同程度的促进作用, 且以 WB 处理的促进效果最好。

**关键词:** LED 光照; 番茄; 光合作用; 抗氧化酶活性; 产量

**中图分类号:** S641.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2024)12-2219-07

## Effects of different LED illumination on physiological characteristics of tomato seedlings and flowering and fruiting after planting

HAN Bing, GAO Wenrui, SUN Yanjun, ZHENG Zisong, ZHANG Xiaoqing

(Institute of Vegetable Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Jiangsu Key Laboratory for Horticultural Crop Genetic Improvement, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** The effects of five different light emitting diode (LED) illumination on the growth and physiological characteristics of tomato seedlings and the flowering and fruiting after planting were studied by using tomato variety Qianxi as the experimental material. The results showed that compared with the white light control (CK), the plant height of tomato seedlings treated with white light : blue light = 1 : 1 (WB), white light : red light : blue light = 1 : 1 : 1 (WRB), white light : red light = 1 : 1 (WR), red light : blue light = 1 : 1 (RB) decreased significantly. The stem diameter of tomato seedlings treated with WRB and WR decreased significantly, and the strong seedling index of tomato seedlings treated with

WB and RB increased significantly. The net photosynthetic rate, transpiration rate, intercellular CO<sub>2</sub> concentration and stomatal conductance of tomato seedlings under WB, WRB and RB treatments were significantly increased. The activities of superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) in leaves of tomato seedlings were significantly in-

收稿日期: 2024-01-09

基金项目: 江苏省农业科学院探索性颠覆性项目 [ZX(21)1206]

作者简介: 韩冰 (1984-), 女, 山东滕州人, 硕士, 助理研究员, 研究方向为设施蔬菜逆境生理。(Tel) 025-84390573; (E-mail)

hanbing372@163.com

通讯作者: 郑子松, (E-mail) jaaszhs@126.com

creased in WB, WR and RB treatments, while the activity of catalase (CAT) was significantly decreased. The content of malondialdehyde (MDA) in tomato seedling leaves increased significantly in WR treatment, while the content of MDA in tomato seedling leaves decreased significantly in WB treatment and WRB treatment. WB, WRB and RB treatments significantly increased the initial flowering stage, early yield, total yield, soluble sugar content, titratable acid content and sugar-acid ratio of tomato seedlings after planting. In summary, WB, WRB and RB treatments had different degrees of promotion effects on tomato seedling growth and strong seedling cultivation, as well as the initial flowering period, yield and quality of tomato plants after planting, and the promotion effect of WB treatment was the best.

**Key words:** LED illumination; tomato; photosynthesis; antioxidant enzyme activity; yield

番茄是中国设施栽培的主要蔬菜作物之一, 2021 年中国番茄种植面积达到  $1.113 \times 10^6 \text{ hm}^2$ , 产量为  $6.609 \times 10^7 \text{ t}$ , 约占世界总产量的  $1/3$ <sup>[1]</sup>。设施番茄春、秋两季种植茬口中的育苗时间分别处在寒冷的冬季和炎热多雨的夏季, 常常由于育苗期的低温、高温和弱光环境, 造成培育的种苗质量不高, 定植后植株开花晚、果实成熟期延长等问题, 影响果实上市期, 严重降低了农民的生产效益。而生产中常采用激素<sup>[2-3]</sup>、化学药剂<sup>[3]</sup>等方式进行番茄壮苗培育, 这些处理方式不仅会对环境造成不良影响, 还会造成食品安全问题。

光质对植物的生长发育具有重要作用, 发光二极管(LED)光照可以按照植物生长发育的需求提供光谱能量, 从而提高幼苗的培育质量, 进而提高植物的产量和品质, 并成为未来蔬菜育苗发展的重要方向。已有 LED 光照育苗的研究多集中在对苗期生长和生理特性的影响, 如在苗期补充红蓝光或红光可明显促进辣椒<sup>[4]</sup>、黄瓜<sup>[5]</sup>和番茄<sup>[5-6]</sup>等幼苗干鲜重、叶面积增加。而采用 LED 光照育苗对番茄植株开花结果的影响还有待进一步研究。

本试验采用不同 LED 光照进行番茄育苗, 研究其对番茄幼苗生长、光合作用和抗氧化酶活性以及番茄幼苗定植后开花时间及果实产量和品质的影响, 从而筛选出最有利于番茄壮苗培育、提高果实产量和品质的 LED 光照组合, 以期为 LED 光照在蔬菜育苗上的应用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试番茄品种为千禧(台湾农友), 育苗基质为泥炭: 蛭石 = 3 : 1(体积比)组成的混合物, 采用 50 孔穴(54 cm × 28 cm × 5 cm)盘直播进行育苗。

### 1.2 试验设计

试验在江苏省农业科学院光环境实验室和科研

展示温室内进行。利用惠州可道科技股份有限公司的 LED 智能调光台 UH-BLPE300, 600 W 灯管提供光照, 番茄种子发芽出苗后采用白光进行处理, 光照度为  $250 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 光/暗周期为 12 h/12 h。待番茄幼苗长至一叶一心时, 采用不同 LED 光照进行育苗, 设置 5 个不同光照处理: 白光对照(CK)、白光: 蓝光 = 1 : 1(WB)、白光: 红光: 蓝光 = 1 : 1 : 1(WRB)、白光: 红光 = 1 : 1(WR)、红光: 蓝光 = 1 : 1(RB), 处理间采用遮光布进行遮光处理, 光照度为  $300 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 光/暗周期为 12 h/12 h。采用清水和营养液(购自上海永通生态工程股份有限公司, 番茄专用 AB 肥, 电导率 = 1.06 mS/cm)进行交替灌溉。待番茄幼苗长至六叶一心时, 进行植株生长、光合参数和生理指标的测定, 并将所有幼苗定植于基质槽中。在生长期, 统计番茄植株的始花时间, 并对番茄果实的前期产量和品质进行测定。

### 1.3 测定项目与方法

**1.3.1 形态指标** 待番茄幼苗长至六叶一心时, 随机选取 6 株番茄幼苗测量其形态指标。采用直尺进行株高(从幼苗茎秆基质表面至顶部生长点的高度)、下胚轴长、叶柄长、叶长、叶宽的测量(cm); 采用游标卡尺垂直于子叶的方向测量幼苗子叶结处的茎粗(cm)。

**1.3.2 干物质积累量** 随机选取各试验处理 6 株番茄幼苗, 测量其干物质积累量。地上部鲜重和地下部鲜重的测量: 分别取番茄幼苗地上部和地下部, 用清水冲洗表面杂物, 再用去离子水冲洗干净, 擦干水分后, 用千分之一电子天平分别测量幼苗地上部和地下部鲜重(g)。地上部干重和地下部干重的测量: 将上述样本放入烘箱中, 105 ℃杀青 15 min 后, 75 ℃烘干至恒重, 用千分之一电子天平分别测量烘干后幼苗地上部和地下部干重(g)。总鲜(干)重即番茄幼苗地上部鲜(干)重与地下部鲜(干)重之和(g)。

**1.3.3 光合特性** 待番茄幼苗长至六叶一心时, 用

便携式光合仪 (LI-6400XT, LI-COR 公司产品) 于 9:00–11:30 测定叶片的净光合速率、气孔导度、胞间  $\text{CO}_2$  浓度和蒸腾速率。测量时采用开放气路,  $\text{CO}_2$  采自室外相对稳定的空气, 利用各处理自然光照, 叶室温度控制在  $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ ,  $\text{CO}_2$  浓度为  $(380 \pm 10) \mu\text{mol}/\text{mol}$ , 相对湿度为 50%。计算气孔限制值和水利用率的公式如下:

$$L_s = 1 - C_i / C_a$$

$$WUE = P_n / T_r$$

式中,  $L_s$  为气孔限制值,  $C_i$  为胞间  $\text{CO}_2$  浓度 ( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ ),  $C_a$  为空气中  $\text{CO}_2$  浓度,  $WUE$  为水分利用效率 (%);  $P_n$  为净光合速率 [ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ],  $T_r$  为蒸腾速率 [ $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]。

**1.3.4 生理指标** 待番茄幼苗长至六叶一心时, 随机选取各试验处理的番茄叶片, 采用硫代巴比妥酸法<sup>[7]</sup>测定番茄叶片的丙二醛 (MDA) 含量, 采用李合生等<sup>[7]</sup>的方法测定番茄叶片的超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD)、过氧化氢酶 (CAT) 活性。

**1.3.5 壮苗指数** 番茄幼苗的质量采用壮苗指数来衡量, 计算公式如下:

壮苗指数 = (茎粗/株高 + 地下部干重/地上部干重) × 总干重。

**1.3.6 番茄开花、产量和果实品质测定** 将番茄播种到第一穗花序花蕾开放 50% 所需时间的平均值作为始花天数, 将前 3 次产量作为前期产量。待第一批番茄果实成熟后取样, 采用蒽酮比色法<sup>[7]</sup>测定可溶性糖含量, 采用酸碱滴定法<sup>[7]</sup>测定可滴定酸含

量, 采用 2, 6-二氯酚酚滴定法<sup>[7]</sup>测定维生素 C 含量。糖酸比 = 可溶性糖含量/可滴定酸含量<sup>[8]</sup>。各处理重复 3 次, 随机取样。

#### 1.4 数据处理

采用 Office 2021 软件对试验数据进行处理, 采用 DPS 方差分析, 使用 Duncan's 法进行不同处理间均值的显著性差异比较 ( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同 LED 光照处理对番茄幼苗生长指标和壮苗指数的影响

由表 1 可知, WB、WRB、WR、RB 处理番茄幼苗的株高与对照 (CK) 相比分别显著降低 24.90%、11.13%、26.75%、28.42% ( $P < 0.05$ ); WRB、WR 处理番茄幼苗的茎粗与 CK 相比分别显著降低 8.94% 和 21.79% ( $P < 0.05$ ), 而 WB、RB 处理番茄幼苗茎粗与 CK 相比差异不显著 ( $P > 0.05$ ); WRB 处理番茄幼苗的下胚轴长与 CK 相比显著增加 18.89% ( $P < 0.05$ ), 而 WB、WR、RB 处理番茄幼苗下胚轴长度与 CK 相比差异不显著 ( $P > 0.05$ ); WR 处理番茄幼苗叶柄长与 CK 相比显著减小 21.49% ( $P < 0.05$ ), WR、RB 处理番茄幼苗叶宽与 CK 相比分别显著降低 9.94% 和 8.07% ( $P < 0.05$ ), 而 WB 和 WRB 处理番茄幼苗叶柄长和叶宽与 CK 相比无显著差异 ( $P > 0.05$ ); WRB 和 WR 处理番茄幼苗的叶长与 CK 相比分别显著降低 10.1% 和 18.12% ( $P < 0.05$ ), 而 WB 和 RB 处理番茄幼苗的叶长与 CK 相比无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

表 1 不同 LED 光照对番茄幼苗生长指标的影响

Table 1 Effects of different LED illumination on growth indexes of tomato seedlings

处理	株高 (cm)	茎粗 (cm)	下胚轴长 (cm)	叶柄长 (cm)	叶长 (cm)	叶宽 (cm)
CK	34.13±1.06a	3.58±0.06a	6.14±0.35b	13.73±1.29a	5.74±0.46a	3.22±0.22a
WB	25.63±1.26c	3.65±0.07a	5.92±0.36b	13.75±1.62a	5.73±0.17a	3.56±0.21a
WRB	30.33±1.45b	3.26±0.05b	7.30±0.49a	13.78±0.99a	5.16±0.22b	3.28±0.37a
WR	25.00±0.55c	2.80±0.10c	6.24±0.41b	10.78±0.55b	4.70±0.29c	2.90±0.22b
RB	24.43±0.75c	3.62±0.14a	5.84±0.79b	12.05±1.20ab	5.33±0.17ab	2.96±0.13b

CK: 白光对照; WB: 白光: 蓝光 = 1:1 处理; WRB: 白光: 红光: 蓝光 = 1:1:1 处理; WR: 白光: 红光 = 1:1 处理; RB: 红光: 蓝光 = 1:1 处理。同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

由表 2 可知, WB、WRB、WR、RB 处理番茄幼苗的地上部鲜重与 CK 相比分别降低 15.93%、19.64%、58.66%、19.72%, 其中 WR 处理降低最为

明显; RB 处理番茄幼苗的地下部鲜重比 CK 显著增加 25.47% ( $P < 0.05$ ), 而 WR 处理番茄幼苗的地下部鲜重与 CK 相比显著降低 36.79% ( $P < 0.05$ ); WR

处理番茄幼苗的地上部和地下部干重与 CK 相比分别显著降低 54.63% 和 70.00% ( $P<0.05$ ); WB、RB 处理番茄幼苗的壮苗指数与 CK 相比分别显著增加

表 2 不同 LED 光照对番茄幼苗干物质积累和壮苗指数的影响  
Table 2 Effects of different LED illumination on dry matter accumulation and strong seedling index of tomato seedlings

处理	鲜重 (g)		干重 (g)		壮苗指数
	地上部	地下部	地上部	地下部	
CK	11.61±1.33a	1.06±0.10b	1.08±0.09ab	0.100±0.030a	0.24±0.01b
WB	9.76±0.77ab	1.05±0.02b	1.10±0.05a	0.110±0.005a	0.29±0.02a
WRB	9.33±1.48ab	1.01±0.03b	1.17±0.03a	0.105±0.014a	0.25±0.01b
WR	4.80±0.62c	0.67±0.14c	0.49±0.09c	0.030±0.0170b	0.09±0.02c
RB	9.32±0.50b	1.33±0.10a	1.02±0.08b	0.100±0.010a	0.28±0.01a

CK:白光对照;WB:白光:蓝光=1:1 处理;WRB:白光:红光:蓝光=1:1:1 处理;WR:白光:红光=1:1 处理;RB:红光:蓝光=1:1 处理。同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。

2.2 不同 LED 光照处理对番茄幼苗光合作用的影响

由表 3 可知,WB、WRB、WR、RB 处理番茄幼苗的净光合速率与 CK 相比分别显著增加 37.85%、62.15%、34.19%、49.51% ( $P<0.05$ ); WB、WRB、WR、RB 处理番茄幼苗的蒸腾速率较 CK 分别显著增加 28.40%、66.67%、29.63%、65.12% ( $P<0.05$ ); WRB

和 WR 处理番茄幼苗的水分利用率较 CK 分别显著降低 30.00%、25.00% ( $P<0.05$ ); WB、WRB、RB 处理番茄幼苗的胞间 CO<sub>2</sub> 浓度较 CK 分别显著增加 6.34%、9.14%、8.07% ( $P<0.05$ ); WB、WRB、WR、RB 处理番茄幼苗的气孔导度较 CK 分别显著增加 20.08%、12.44%、11.66%、15.38% ( $P<0.05$ )。

表 3 不同 LED 光照对番茄幼苗叶片光合特性的影响  
Table 3 Effects of different LED illumination on photosynthetic characteristics of tomato seedling leaves

处理	净光合速率 [ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	蒸腾速率 [ $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	水分利用效率 (%)	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 ( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )	气孔导度 [ $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]
CK	11.23±1.17d	3.24±0.08c	0.40±0.08a	356.82±4.04b	177.55±7.28d
WB	15.48±0.93bc	4.16±0.04b	0.35±0.06a	379.45±0.58a	213.20±8.49a
WRB	18.21±0.54a	5.40±0.12a	0.28±0.08b	389.42±7.84a	199.63±2.26c
WR	15.07±0.49c	4.20±0.63b	0.30±0.08b	364.03±8.60b	198.25±3.98c
RB	16.79±0.42b	5.37±0.48a	0.35±0.05a	385.63±6.72a	204.86±1.77b

CK:白光对照;WB:白光:蓝光=1:1 处理;WRB:白光:红光:蓝光=1:1:1 处理;WR:白光:红光=1:1 处理;RB:红光:蓝光=1:1 处理。同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。

2.3 不同 LED 光照处理对番茄幼苗抗氧化酶活性的影响

由表 4 可知,WB、WR、RB 处理番茄幼苗叶片超氧化物歧化酶(SOD)活性与 CK 相比分别显著增加 106.93%、157.70%、119.23% ( $P<0.05$ ); WB、WRB、WR、RB 处理番茄幼苗叶片过氧化物酶(POD)活性与 CK 相比分别显著增加 239.31%、191.84%、243.60%、159.58% ( $P<0.05$ ); WB、WRB、WR、RB 处理番茄幼苗叶片过氧化氢酶(CAT)活性与 CK 相比分别显著降低 69.39%、46%、54.95%、54.46% ( $P<0.05$ ); WR 处理番茄幼苗叶片丙二醛(MDA)含

量较 CK 显著增加 40.11% ( $P<0.05$ ),而 WB、WRB 处理番茄幼苗叶片 MDA 含量分别显著降低 37.85%、45.21%。

2.4 不同 LED 光照育苗对番茄植株定植后始花期、产量和品质的影响

由表 5 可知,与 CK 处理相比,WB、WRB、RB 处理会使番茄植株定植后的始花期显著提前,其中 WB 处理对促进番茄植株定植后的始花期提前效果最明显,可提前 6.34 d; WB、WRB、RB 处理番茄植株定植后的前期产量与 CK 相比分别显著增加 43.84%、36.55%、60.86% ( $P<0.05$ ),而 WR 处理番

茄植株定植后的前期产量比 CK 相比显著降低 ( $P < 0.05$ ); WB、WRB、WR、RB 处理番茄植株定植后的总产量与 CK 相比均显著增加 ( $P < 0.05$ ), 其中 WB、

WRB 处理使番茄植株定植后的总产量增加最多, 分别为 24.85%、16.13%。

表 4 不同 LED 光照对番茄幼苗抗氧化酶活性的影响

Table 4 Effects of different LED illumination on antioxidant enzyme activities in tomato seedlings

处理	SOD 活性 (U/g)	POD 活性 [ $\mu\text{mol}/(\text{min} \cdot \text{g})$ ]	CAT 活性 [ $\mu\text{mol}/(\text{min} \cdot \text{g})$ ]	MDA 含量 (nmol/g)
CK	208.61±11.44c	139.11±5.50d	78.32±6.15a	15.88±1.19b
WB	431.67±23.86b	472.02±27.87a	23.97±2.16d	9.87±0.35c
WRB	208.85±9.94c	405.98±31.88b	42.29±3.59b	8.70±0.58c
WR	537.59±31.92a	477.98±29.55a	35.28±0.95c	22.25±1.88a
RB	457.33±14.94b	361.10±59.54c	35.67±2.72c	13.84±1.04b

SOD: 超氧化物歧化酶; POD: 过氧化物酶; CAT: 过氧化氢酶; MDA: 丙二醛; CK: 白光对照; WB: 白光: 蓝光=1:1 处理; WRB: 白光: 红光: 蓝光=1:1:1 处理; WR: 白光: 红光=1:1 处理; RB: 红光: 蓝光=1:1 处理。同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

表 5 不同 LED 光照育苗对番茄植株定植后始花期、前期产量和总产量的影响

Table 5 Effects of different LED illumination on initial flowering days, early yield and total yield of tomato plants after planting

处理	播种至始花时间 (d)	前期产量 (g)	总产量 (g)
CK	60.67±0.58a	1 419.01±32.69c	6 187.10±31.67d
WB	54.33±0.58c	2 041.15±65.53b	7 724.58±62.90a
WRB	56.33±0.58b	1 937.60±43.47b	7 184.81±54.79b
WR	62.00±1.00a	761.07±22.37d	6 502.51±21.29c
RB	58.00±1.00b	2 282.56±65.32a	6 610.75±67.07c

CK: 白光对照; WB: 白光: 蓝光=1:1 处理; WRB: 白光: 红光: 蓝光=1:1:1 处理; WR: 白光: 红光=1:1 处理; RB: 红光: 蓝光=1:1 处理。同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

表 6 不同 LED 光照育苗对番茄果实品质的影响

Table 6 Effects of different LED illumination on tomato fruit quality

处理	可溶性糖含量 (%)	可滴定酸含量 (%)	糖酸比	维生素 C 含量 (mg/g)
CK	3.15±0.43b	1.45±0.01c	2.18±0.30c	0.272 9±0.002 8c
WB	7.54±0.18a	2.19±0.01a	3.45±0.08b	0.321 0±0.015 3b
WRB	7.81±0.44a	1.78±0.01b	4.38±0.26a	0.342 2±0.010 6a
WR	3.46±0.37b	1.77±0.01b	1.96±0.20c	0.320 7±0.010 8b
RB	7.59±0.30a	2.18±0.01a	3.49±0.14b	0.282 0±0.008 8c

CK: 白光对照; WB: 白光: 蓝光=1:1 处理; WRB: 白光: 红光: 蓝光=1:1:1 处理; WR: 白光: 红光=1:1 处理; RB: 红光: 蓝光=1:1 处理。同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

照对植物幼苗生长的作用不同, 其中红光和蓝光对植物生长起主要作用<sup>[9]</sup>, 适当补充远红光也可以促进植物的生长<sup>[10]</sup>。红光可以促进植物节间和株高的增加, 但使茎变细<sup>[11]</sup>, 而蓝光可以抑制植物茎的伸长<sup>[12]</sup>, 但可以促进植物茎增粗<sup>[11]</sup>; 适当补充远红

光也可以提高南瓜<sup>[10]</sup>、辣椒<sup>[13]</sup>等植物的株高。本试验中, 白光中分别添加红、蓝光处理均会使番茄幼苗的株高比单纯白光处理显著降低; 白光中添加红光(WR 处理)和红蓝光(WRB 处理)后均会使番茄幼苗的茎比单纯白光处理显著变细, 这与红光使植

### 3 讨论

已有研究结果表明, 不同发光二极管(LED)光

物茎变细的作用是一致的。而光质对植物叶片生长的影响则存在物种差异,蓝光可以促进大葱叶片干、鲜重的增加<sup>[14]</sup>,白光中添加红光则会促进韭菜叶片宽度和厚度的增加<sup>[15]</sup>,红蓝光混合处理时适当增加红光比例能够促进番茄<sup>[16]</sup>、甜椒<sup>[17]</sup>叶片的生长。本研究发现白红光(WR)处理番茄幼苗叶片长宽和叶柄长均显著小于白光(CK)处理。

已有研究结果表明提高红光比例更有利于小青菜<sup>[18]</sup>、生菜<sup>[19]</sup>等叶菜类蔬菜地上部干、鲜重的增加和壮苗指数的提高,适当补充远红光可以促进辣椒<sup>[13]</sup>地上部和地下部干、鲜重的增加和壮苗指数的提高。而本研究发现增加红光比例(WR 处理)会使幼苗地上部、地下部鲜重和干重及壮苗指数降低,而增加蓝光比例(WB 处理)会使幼苗的壮苗指数提高。这与前人在辣椒<sup>[20]</sup>、甜瓜<sup>[21]</sup>等植物上研究发现的蓝光处理可促进地上部、地下部的生长及壮苗指数的研究结果是一致的。说明光质对植物幼苗地上部、地下部的生长和壮苗指数的影响存在物种差异。

光合作用对植物的生长发育起着至关重要的作用,不同光质对植物的光合作用具有重要的调节作用<sup>[22-24]</sup>。研究发现红蓝光处理均可增加辣椒<sup>[22]</sup>、青蒜<sup>[23]</sup>的气孔导度,适当添加远红光处理也可增加生菜<sup>[24]</sup>、黄瓜<sup>[25]</sup>的气孔导度,从而提高其光合速率和蒸腾速率,促进其光合作用,这与本研究的结果是一致的。本研究发现与白光(CK)处理相比,白光中添加不同种类和比例的红蓝光(WB、WRB、WR)以及红蓝光(RB)处理均可以提高番茄幼苗的气孔导度、净光合速率和蒸腾速率,从而促进番茄幼苗的光合作用,其中以 WB 处理的气孔导度最大,WRB 处理的光合速率和蒸腾速率最大。胞间 CO<sub>2</sub> 浓度变化是判断植物光合速率变化是否是因为气孔因素导致的重要标准。本研究中,WB、WRB、RB 处理会使番茄幼苗的胞间 CO<sub>2</sub> 浓度与 CK 相比显著增加,这说明蓝光促进番茄的光合作用主要是通过促进气孔开放而实现的。

超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)组成的抗氧化酶系统是植物中重要的防御体系,植物合成的抗氧化酶相互协同工作,持续地清除细胞内的活性氧,减少活性氧对细胞膜的损伤和膜质过氧化程度,从而提高植物的抗性<sup>[26-27]</sup>。研究发现,红蓝组合光处理可以显著提高黄瓜<sup>[28]</sup>、芫荽<sup>[29]</sup>等植物叶片 CAT、POD、SOD 等抗氧化酶的活性,适当添加远红光也可以提高辣椒<sup>[13]</sup>植株的抗氧

化酶活性。本研究发现,与 CK 相比,不同的白红蓝组合光处理(WB、WRB、WR、RB)均会使番茄幼苗叶片 POD 活性显著增加,CAT 活性显著降低,而 WB、WR、RB 处理均会使番茄幼苗叶片 SOD 活性显著增加,其中 WR 处理番茄叶片 POD 活性最高,WB 处理番茄叶片 CAT 活性最低。MDA 含量是判断植物细胞膜质过氧化程度的重要指标。本研究中 WR 处理番茄幼苗叶片 MDA 含量与 CK 相比显著增加,而 WB、WRB、RB 处理番茄幼苗叶片 MDA 含量与 CK 相比显著降低,以 WRB 和 WB 处理番茄叶片 MDA 含量最低。说明 WR 处理对番茄幼苗造成了轻度胁迫,使得其 MDA 含量升高,而 SOD 和 POD 活性的升高是番茄体内抗氧化酶系统的应激反应,是为了保护番茄幼苗免受伤害。WB、WRB、RB 处理番茄幼苗产生了更多的 SOD 和 POD,降低了 MDA 含量,提高了番茄幼苗的抗性。这与 WB、RB 处理番茄幼苗壮苗指数与 CK 相比显著增加,WR 处理番茄幼苗壮苗指数与 CK 相比显著降低的研究结果是一致的。

光照对于植物的开花和产量形成起到至关重要的作用。已有研究结果表明,LED 光照可以促进番茄提早开花<sup>[30-31]</sup>,提高番茄<sup>[32-33]</sup>、黄瓜<sup>[34]</sup>、辣椒<sup>[35]</sup>等植物的产量和果实品质。然而,已有研究大多集中在对植物全生长期补光的相关研究方面,LED 光照育苗对植物定植后开花结果的影响还未见报道。本试验采用不同光质进行番茄育苗,并将培育的幼苗定植于温室中,生长过程不再补充光照。结果表明,与 CK 相比,采用 WB、WRB、RB 处理育苗均会使番茄植株定植后的始花期提前,前期产量、总产量提高,总的来说以 WB 处理的效果最好;WB、WRB 处理育苗均会使番茄植株定植后的果实可溶性糖含量、可滴定酸含量、糖酸比及维生素 C 含量与 CK 相比显著增加。这可能是因为植物花芽分化的时期在苗期,苗期的 LED 光照处理促进了番茄幼苗的花芽分化,为后期开花结果奠定了基础,而其影响机理还有待进一步研究。

## 4 结 论

WB 处理促进番茄幼苗的光合作用,提高其抗氧化酶活性,促进其生长,提高壮苗指数和抗性。同时,采用 WB 处理进行番茄育苗,不仅提早了番茄幼苗在定植后的始花期,而且提高了其前期产量和总产量。因此,WB 处理为番茄壮苗培育,促进提早开

花结果和提高果实产量、品质的最佳光质处理方案。

## 参考文献:

- [1] 华经产业研究院. 2023-2028 年中国西红柿行业市场深度分析及投资策略咨询报告[R/OL]. (2022-11-01) [2024-01-04]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1748259202058315121&wfr=spider&for=pc>.
- [2] 刘文超,李丹,白冰,等. 多效唑对番茄上胚轴矮化的影响[J]. 植物生理学报,2022,58(11):2151-2162.
- [3] 方雪娟,宋梦圆,高丽红,等. 多效唑和两种生物刺激素对番茄幼苗质量的影响[J]. 中国蔬菜,2023(7):57-62.
- [4] 戴云花,刘周斌,杨莎,等. 不同光质对辣椒叶色黄化突变体光合生理特性的影响研究[J]. 西北植物学报,2023,43(4):601-610.
- [5] 郭奕. 不同光质LED光源组合对番茄及黄瓜育苗效果的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2021.
- [6] 唐婷婷,吕璐平,李灵芝,等. 不同红蓝光配比对番茄叶片和产量品质的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2023,43(5):22-28.
- [7] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 刘齐,梅延豪,李琦,等. 暗期短暂远红光处理对南瓜幼苗生长、细胞形态和激素含量的影响[J]. 中国农业科学,2020,53(20):4248-4258.
- [11] 蒋宏华,谢玲玲,肖伟,等. 不同光质对辣椒幼苗生长特征的影响[J]. 湖南农业科学,2023(7):40-45,49.
- [12] 周瑶,毛莲珍,孙颖,等. 连续红、蓝光照对辣椒幼苗生长及生理特性的影响[J]. 广东农业科学,2023,50(11):78-88.
- [13] 董桑婕,姜小春,王羚羽,等. 远红光补光对辣椒幼苗生长和非生物胁迫抗性的影响[J]. 中国农业科学,2022,55(6):1189-1198.
- [14] 高松,刘颖,刘学娜,等. 光质对大葱叶片碳氮代谢的影响[J]. 植物生理学报,2020,56(3):565-572.
- [15] 宁宇,艾希珍,李清明,等. 光质对韭菜碳氮代谢、生长和品质的影响[J]. 应用生态学报,2019,30(1):251-258.
- [16] 郭奇,苏娜娜,崔瑾. LED光质补光对番茄幼苗生长及光合特性和抗氧化酶的影响[J]. 北方园艺,2013(21):59-63.
- [17] 段青青,韩梅梅,谭月强,等. 补光时间和光质对温室甜椒叶片生长、碳代谢的影响[J]. 中国农学通报,2023,39(1):37-44.
- [18] 王哲,王宇航,杜长霞,等. 植物工厂LED光质调控对苏州青幼苗生长的影响[J]. 中南农业科技,2023,44(8):39-42.
- [19] 代绿叶,钟梦江,韩莹琰. 不同LED光质对紫叶生菜生理特性及品质的影响[J]. 北京农学院学报,2023,38(3):52-58,64.
- [20] 林坤明,刘文科,刘家源,等. LED红蓝光连续光照对辣椒苗生长和壮苗指数的影响[J]. 照明工程学报,2023,34(5):1-6.
- [21] 李志鑫,李松霖,成杰,等. 白蓝LED补光对温室甜瓜幼苗生长发育的影响[J]. 山东农业科学,2023,55(1):84-88.
- [22] 杨振超,何蔚,牟孙涛,等. 不同光周期和红蓝光质对比对辣椒幼苗生长发育的影响[J]. 农业工程学报,2017,33(17):173-180.
- [23] 王晓琴,郭小强,何家曦,等. 不同光质的光周期对青蒜苗生长、光合特性及蔗糖合酶活性的影响[J]. 干旱地区农业研究,2023,41(4):151-158.
- [24] 孟力力,宋江峰,柏宗春,等. 远红光对生菜光合作用及叶绿素荧光特性的影响[J]. 江苏农业学报,2022,38(1):181-189.
- [25] 李雪,赵士文,张冠智,等. 添加不同强度的远红光对黄瓜幼苗生长及光合作用的影响[J]. 中国农业大学学报,2024,29(2):66-76.
- [26] KAPOOR D, SINGH S, KUMAR V, et al. Antioxidant enzymes regulation in plants in reference to reactive oxygen species (ROS) and reactive nitrogen species (RNS)[J]. Plant Gene,2019,19:100182.
- [27] KASOTE D M, KATYARE S S, HEGDE M V, et al. Significance of antioxidant potential of plants and its relevance to therapeutic applications[J]. International Journal of Biological Sciences,2015,11(8):982-991.
- [28] 姜玮莉,康红旗,孙启颖,等. CO<sub>2</sub>加富与LED光对黄瓜幼苗抗氧化特性的影响[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),2022,53(5):763-770.
- [29] 张月昌. 不同光质及光周期对茼蒿生长的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2023.
- [30] 凌丹丹,雒佳铭,刘晓英,等. 不同光质组合对番茄开花初期碳、氮代谢及其关键酶活性的影响[J]. 南京农业大学学报,2021,44(4):622-627.
- [31] 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.
- [32] 汪晓宇,郭宁,刘长梅,等. CO<sub>2</sub>加富与LED补光对樱桃番茄产量、品质及挥发性物质含量的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(23):146-152.
- [33] 盖淑杰,吴美韩,张晓娟,等. 荧光粉激发型远红光LED植物灯对番茄生长的影响研究[J]. 核农学报,2022,36(10):2084-2091.
- [34] 陈琦,潘好芹,仝延凤,等. 不同LED补光对日光温室黄瓜生长、产量及品质的影响[J]. 北方园艺,2022(21):50-57.
- [35] 王翠丽,邹兰,杨世梅,等. 增施CO<sub>2</sub>与补光互作对辣椒光合特性及产量的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(14):155-159.

(责任编辑:蒋永忠)