

付前英,柳佳欣,吴丹,等. LED 不同光配方对辣椒幼苗生长生理的影响[J]. 江苏农业科学,2026,54(9):181-188.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2026.09.021

## LED 不同光配方对辣椒幼苗生长生理的影响

付前英<sup>1,2</sup>,柳佳欣<sup>1</sup>,吴丹<sup>1</sup>,卓林熙<sup>1</sup>,高旭春<sup>3</sup>,葛洪滨<sup>3</sup>,熊安平<sup>4</sup>,余婷<sup>1</sup>,周勇<sup>5</sup>,杨有新<sup>1</sup>

(1. 江西农业大学农学院/果蔬贮藏与保鲜江西省重点实验室,江西南昌 330045; 2. 江西省斐然生态农业科技开发有限公司,江西南昌 330511;

3. 南昌市农业科学院,江西南昌 330038; 4. 吉安市农业农村产业发展服务中心,江西吉安 343000;

5. 江西农业大学生物科学与工程学院/作物生理生态与遗传育种教育部重点实验室,江西南昌 330045)

**摘要:**以尖椒品种大金条为试材,探究红蓝光不同 LED 光质对比对尖椒幼苗生理生态指标的调控规律,旨在为建立标准化育苗光环境提供理论支撑。在 PPFD 220  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、光/暗周期 12 h/12 h 的条件下,利用 LED 光源设置红蓝光 9:1(9R1B)、红蓝光 6:1(6R1B)、红蓝光 7:3(7R3B)、红蓝光 3:1(3R1B)、红蓝光 1:1(1R1B)、红绿蓝光 6:1:3(6R1G3B)6 个处理,以白光为对照,测定移植后 21 d 幼苗的形态指标(株高、茎粗、叶面积)、生物量积累、光合参数(净光合速率  $P_n$ 、气孔导度  $G_s$ )、光合色素含量、根系形态、壮苗指数及抗逆指标(SOD、POD、CAT 活性及 MDA 含量)。结果表明,6R1B 处理在生长优势方面表现最佳,壮苗指数较对照提高 130.94%,叶面积较对照提高 47.28%,地上部鲜重较对照提高 57.00%,地上部干重较对照提高 88.46%,地下部鲜重较对照提高 124.39%,地下部干重较对照提高 100.00%,总根长较对照提高 84.68%;在光合特性方面,6R1B 处理的净光合速率较对照提高 50.46%,气孔导度较对照提高 175.22%,叶绿素(a+b)含量较对照提高 53.57%,胡萝卜素含量较对照提高 12.50%;在抗逆性方面,1R1B 处理表现最好,POD 活性较对照提高 286.98%,CAT 活性较对照提高 11.14%,MDA 含量较对照提高 35.58%,表明高蓝光光配方(1R1B)有利于提高幼苗的抗逆性。光配方中红光有利于促进尖椒幼苗株高生长与生物量积累,蓝光则抑制株高,增加茎粗和根系生长。本研究结果表明,6R1B 光配方为以大金条为代表的尖椒工厂化育苗最佳光配方,可提升壮苗指数、生物量积累及光合效能,而 1R1B 光配方虽降低幼苗生长速率,但能显著增强幼苗的抗逆性,适用于逆境条件下育苗。

**关键词:**光配方;辣椒;幼苗;生长生理

**中图分类号:**S641.304 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2026)09-0181-08

辣椒(*Capsicum annuum* L.)为茄科辣椒属蔬菜作物,具有较高食用价值,并兼具药用价值。我国是全球最大的辣椒生产国,种植区域遍及 28 个省(自治区、直辖市),辣椒年种植面积逾 210 万  $\text{hm}^2$ ,居蔬菜作物之首,在农业产业中具有核心战略地位<sup>[1-3]</sup>。育苗是蔬菜生产中最基础的环节,直接影响蔬菜的产量和品质<sup>[4]</sup>。在长江中下游地区,冬春季育苗期间常遭遇阴雨天气,日照时间短、光照强度弱,导致幼苗光照不足,难以培育壮苗。通过人工补光改善育苗环境,已成为一项经济可行且有效

的技术措施<sup>[5]</sup>。

光对于植物生长发育具有重要影响,对光合作用、物质代谢和生物物质积累等方面起到关键作用<sup>[6]</sup>。红蓝光组合有助于增加番茄幼苗叶片中的类胡萝卜素、叶绿素含量,提高光合效率,最终提高碳水化合物的积累<sup>[7]</sup>。适当比例的红蓝光组合有利于番茄幼苗的生长发育,其中红蓝光 3:1(3R1B)处理下,植株干物质量、叶绿素含量和光合性能均显著提高,壮苗指数最大<sup>[8]</sup>。在辣椒工厂化育苗中,发光二极管(light-emitting diode, LED)补光技术被广泛应用于壮苗培育。LED 是新型的照明冷光源,近距离补光时可避免灼伤植株<sup>[9]</sup>。LED 灯根据植物生长需要,可调控光质、光强和光照时间,在设施蔬菜栽培领域展现出极为广阔的应用前景<sup>[10]</sup>。通过精确调控 LED 光源的光强(光照度)、光质(光谱组成)和光周期(光照时间),可以为辣椒幼苗光合作用创造最优光环境,从而实现光环境调控效益的最大化。研究发现,在博辣红帅辣椒苗期

收稿日期:2025-04-22

基金项目:国家自然科学基金(编号:32160739);江西省重点研发计划“揭榜挂帅”项目(编号:20223BBF61017)。

作者简介:付前英(1988—),男,江西临川人,硕士研究生,主要研究方向为蔬菜栽培。E-mail: xzdfqy@163.com。

通信作者:杨有新,博士后,硕士生导师,研究方向为光质调控茄果类蔬菜生长发育和逆境胁迫的机制。E-mail: yangyouxin@jxau.edu.cn。

管理中,补充红光与蓝光均可显著提高幼苗生物量和壮苗指数;而红光在促进叶片光合速率与色素积累、提高根系总糖含量及蔗糖比例方面的效果更显著<sup>[11]</sup>。陆小云等对湖南地区 3 个辣椒品种育苗过程进行补光处理,发现红蓝远红组合光、红蓝紫组合光、红蓝组合光处理对辣椒幼苗的株高、茎粗、叶片 SPAD 值、鲜重、干重、壮苗指数有明显的促进作用,其中在育苗期补充红蓝远红组合光,对湖南地区越冬辣椒幼苗生长效果影响最佳<sup>[12]</sup>。周华等研究了不同光强和光质对余干辣椒育苗的影响,发现中光强 $[100 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})]$ 和红蓝光 8 : 1 处理适宜辣椒幼苗生长<sup>[13]</sup>。张谨薇等研究了红蓝光 5 : 1 处理下不同光强对冀星 9 号辣椒幼苗生长和光合特性的影响,发现光强为 120、160  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  时幼苗的净光合速率以及光强为 160  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  时幼苗的气孔导度、蒸腾速率均高于其他处理<sup>[14]</sup>。以上研究结果表明,不同辣椒品种之间最适宜的光配方和光强存在一定的差异<sup>[15]</sup>。

本试验以大金条尖椒为材料,研究 LED 不同光配方对辣椒幼苗生长、生物量和光合特性等的影响,以期对辣椒工厂化育苗提供最佳光配方,并为辣椒工厂化育苗中光配方调控培育壮苗提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试辣椒 (*Capsicum annuum* L.) 品种为大金条,种子由绵阳市浩城区益丰禾种子服务部提供;供试光源为厦门莲禾科技有限公司生产的 LED 灯,功率为 60 W,灯管长 1.2 m;供试育苗基质为寿光市豪硕农业科技有限公司生产的蔬菜育苗专用基质。

### 1.2 试验设计

试验共设计 6 个光配方处理和 1 个白光对照,6 个处理的分别为 T1 (9R1B,红蓝光比例为 9 : 1)、T2 (6R1B,红蓝光比例为 6 : 1)、T3 (7R3B,红蓝光比例为 7 : 3)、T4 (3R1B,红蓝光比例为 3 : 1)、T5 (1R1B,红蓝光比例为 1 : 1)、T6 (6R1G3B,红绿蓝光比例为 6 : 1 : 3),以白光 (CK) 作为对照,处理组和对照组的绝对光谱曲线如图 1 所示。光子通量密度 (photosynthetic photon flux density, PPFD) 为 220  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,随着辣椒幼苗的长高,逐步提高 LED 光源的高度,使辣椒幼苗顶部的 PPFD 始终保持在 220  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。试验采用完全随机设计,并对获得的结果进行统计分析。

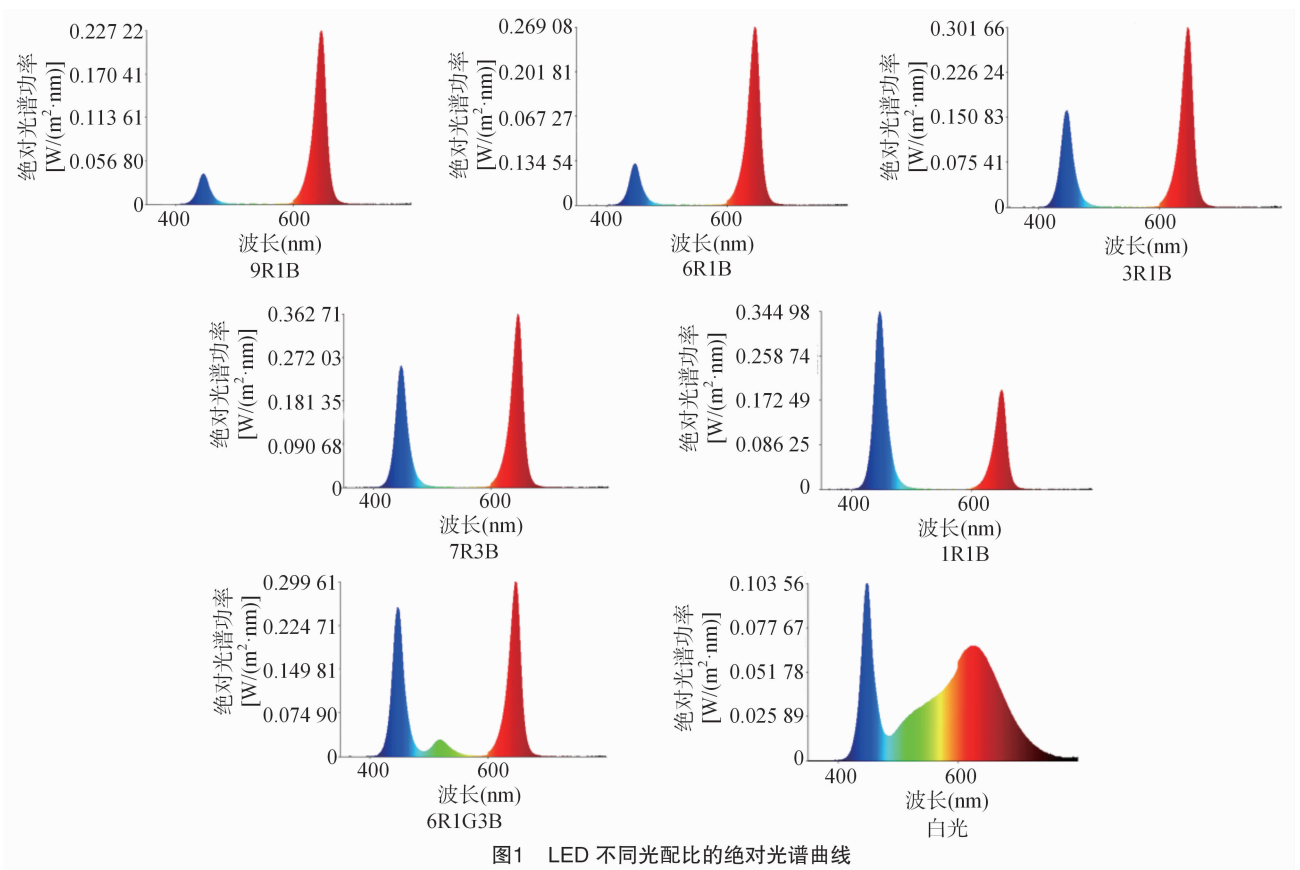


图1 LED 不同光配比的绝对光谱曲线

### 1.3 试验方法

试验于 2023 年 9—10 月在江西省斐然生态农业科技开发有限公司植物工厂内进行。将种子进行温汤浸种,待芽长约 2 mm 时开始播种,播在装有育苗基质的托盘(540 mm×280 mm×50 mm)中,播种深度为 8~10 mm。辣椒苗长至 2 叶 1 心时进行移植,移入装有育苗基质的 50 孔穴盘中。试验中每个处理设 3 次重复,每次重复 10 株。幼苗生长过程中,确保植物工厂日/夜温度维持在 26 °C/18 °C,PPFD 为 220  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,相对湿度为 80%,设置 12 h 的光照时间(06:00—18:00),CO<sub>2</sub> 浓度为 400  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 。

### 1.4 测定项目与方法

幼苗移植后第 21 天测量相关指标,每个处理随机取样 3 株,将测量的平均值作为该处理的测定结果。

**1.4.1 生长指标的测定** 株高:用直尺测量从辣椒幼苗茎基部到生长点的距离,得出的数值即为株高;

下胚轴长度:用直尺测量辣椒幼苗茎基部到子叶的距离,得出的数值即为下胚轴长度;

茎粗:用游标卡尺测量辣椒幼苗子叶基部 1 cm 位置处的直径,得出的数值即为茎粗。

**1.4.2 干鲜重的测定** 用万分之一电子天平分别称取辣椒幼苗地上部(茎叶)和地下部(根)鲜重。随后在 105 °C 温度下杀青 30 min,再在 80 °C 温度下烘干至恒重,分别称量其地上部、地下部干重。

**1.4.3 叶面积和根系形态** 采用 EPSON11000X 型扫描仪扫描辣椒幼苗的根系和叶片,使用 Photoshop 软件将图片中杂质清理干净,再利用 WinRHIZO 软件对处理后的图片进行分析。

**1.4.4 壮苗指数** 壮苗指数 = (茎粗/株高 + 地下部干重/地上部干重) × 全株干重<sup>[16]</sup>。

**1.4.5 叶片色素含量的测定** 参照李晓慧等的方法<sup>[9]</sup>测定叶片中叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素含量,并计算叶绿素(a+b)含量和叶绿素(a/b)值。

**1.4.6 叶片光合参数的测定** 在光照度 1 000  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、温度 25 °C、空气相对湿度 85%、CO<sub>2</sub> 浓度 380  $\mu\text{mol}/\text{mol}$  条件下,利用 LI-6400 便携式光合仪(美国 LI-COR 公司)测定辣椒幼苗叶片净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度( $C_i$ )。

**1.4.7 叶片可溶性糖含量的测定** 采用蒽酮比色法测定幼苗叶片中可溶性糖含量<sup>[15]</sup>。

**1.4.8 相关酶活性的测定** 预冷研钵,称取 0.2 g 剪碎的新鲜叶片置入其中,加入 2 mL 0.05 mol/L 磷酸缓冲液(pH 值 = 7.8,含有 0.2 mmol/L EDTA 和 2% PVP)搅拌至均匀,然后在 4 °C 的条件下,以 12 000 g 的速率离心 10 min,取上清液,放入冷藏室内进行储藏,以便进行抗氧化酶的活性检测。根据植物生理学实验指导方法测定过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)的活性和丙二醛(MDA)含量。

### 1.5 数据处理

试验数据采用 Excel 进行处理,采用 SPSS 27 软件进行差异显著性分析,并采用 Prism 8 作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同光质对辣椒幼苗地上部形态的影响

不同处理对辣椒幼苗长势的影响如图 2 所示。

从表 1 可以看出,不同 LED 光配方对辣椒幼苗株高、下胚轴长度、茎粗的影响存在显著差异。在株高方面,9R1B、6R1B 处理的幼苗与对照存在显著差异,均高于对照组幼苗的株高;3R1B、7R3B、1R1B 处理的幼苗株高与对照无明显差异,6R1G3B 处理幼苗株高显著低于对照。下胚轴长度是衡量植物徒长的重要指标,本研究结果表明,不同光质处理对辣椒幼苗下胚轴长度的影响各不相同,存在显著差异。9R1B 处理的幼苗下胚轴长度显著大于对照,6R1B、3R1B、7R3B、6R1G3B 处理的辣椒幼苗下胚轴长度与对照无明显差异;1R1B 处理的辣椒幼苗下胚轴长度显著小于对照。在茎粗方面,9R1B、6R1B、3R1B、1R1B、6R1G3B 处理的辣椒幼苗茎粗均大于对照,且差异显著;但 7R3B 处理的辣椒幼苗茎粗与对照无显著差异。

### 2.2 不同光质对辣椒幼苗叶面积及根系形态的影响

从表 2 可以看出,各处理辣椒幼苗的叶面积均大于对照。其中 9R1B、6R1B、3R1B 较对照分别提高 35.62%、47.28%、20.48%,达到显著差异;7R3B、1R1B、6R1G3B 虽均大于对照,但差异并不显著。

各处理组辣椒幼苗的总根长均大于对照,且均差异显著,其中 9R1B、6R1B、1R1B 较对照组分别提高 66.57%、84.68%、68.20%。各处理组辣椒幼苗的根投影面积同样均大于对照,且均差异显著,其中 6R1B、7R3B、1R1B 处理的根投影面积较对照分别



图2 不同光质处理对辣椒幼苗长势的影响

表 1 不同光质对辣椒幼苗株高、下胚轴长度和茎粗的影响

处理	株高 (cm)	下胚轴长度 (cm)	茎粗 (cm)
9R1B	10.42 ± 0.95a	4.27 ± 0.30a	3.04 ± 0.17bc
6R1B	10.05 ± 0.75a	3.90 ± 0.23b	3.24 ± 0.28ab
3R1B	9.27 ± 0.62b	3.82 ± 0.51b	2.92 ± 0.25cd
7R3B	9.22 ± 0.21b	3.75 ± 0.18b	2.74 ± 0.18de
1R1B	9.10 ± 0.32b	3.22 ± 0.17c	3.27 ± 0.20a
6R1G3B	8.47 ± 0.28c	3.82 ± 0.25b	2.89 ± 0.16cd
CK	9.41 ± 0.61b	3.66 ± 0.37b	2.65 ± 0.27e

注:同列数据后不同字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。下表同。

提高 103.14%、74.05%、74.22%。各处理组辣椒

幼苗的根表面积均大于对照,且均差异显著,其中 1R1B、9R1B、6R1B 处理较对照分别提高 103.14%、74.05%、74.22%。各处理组辣椒幼苗的根平均直径均大于对照,其中 1R1B、3R1B、7R3B 较对照分别提高 24.65%、19.11%、21.88%。以上结果表明,蓝光有利于提高辣椒幼苗的根平均直径。各处理组辣椒幼苗的根体积均大于对照,且均差异显著,其中 1R1B 处理较对照差异最大,显著提高 140.00%,6R1B 处理的根体积排在第二,较对照提高 78.95%。各处理组辣椒幼苗的根尖数均大于对照,除 7R3B 处理外,其他处理均差异显著;其中 1R1B、6R1B 处理的根尖数较对照分别提高 90.19%、72.29%。

表 2 不同光质对辣椒幼苗叶和根的影响

处理	叶面积 (cm <sup>2</sup> )	总根长 (cm)	根投影面积 (cm <sup>2</sup> )	根表面积 (cm <sup>2</sup> )	根平均直径 (mm)	根体积 (cm <sup>3</sup> )	根尖数 (个)
9R1B	108.58 ± 11.29ab	282.27 ± 21.14a	9.38 ± 1.84c	34.69 ± 2.97b	0.39 ± 0.02b	0.31 ± 0.05bc	208.50 ± 19.11b
6R1B	117.92 ± 9.75a	312.95 ± 48.25a	12.89 ± 1.58a	34.72 ± 5.12b	0.38 ± 0.04bc	0.34 ± 0.04b	226.13 ± 19.97ab
3R1B	96.46 ± 13.77bc	214.52 ± 42.92b	8.98 ± 1.32c	28.21 ± 4.13c	0.43 ± 0.03a	0.30 ± 0.04bc	209.13 ± 52.37b
7R3B	90.53 ± 10.05cd	208.42 ± 29.07b	11.04 ± 0.95b	28.63 ± 5.79c	0.44 ± 0.03a	0.31 ± 0.07bc	159.87 ± 23.72cd
1R1B	85.54 ± 21.24cd	285.03 ± 40.09a	11.052 ± 1.63b	40.48 ± 4.97a	0.45 ± 0.02a	0.456 ± 0.06a	249.62 ± 59.88a
6R1G3B	83.40 ± 10.71cd	218.46 ± 27.18b	8.77 ± 0.79c	27.55 ± 2.49c	0.40 ± 0.03b	0.28 ± 0.03c	191.25 ± 36.05bc
CK	80.06 ± 18.45d	169.46 ± 35.77c	6.34 ± 1.03d	19.93 ± 3.23d	0.361 ± 0.02c	0.19 ± 0.03d	131.25 ± 18.16d

### 2.3 不同光质对辣椒幼苗光合色素含量的影响

从表 3 可以看出,各处理组的辣椒幼苗叶绿素 a 含量均大于对照,达到显著差异,其中 9R1B、6R1B、3R1B、7R3B、6R1G3B 处理的辣椒幼苗叶绿素 a 含量较对照组分别提高 40.35%、56.14%、43.86%、38.60% 和 36.84%。6R1B 处理辣椒幼苗叶绿素 b 含量大于对照,且差异显著。较对照提高 53.85%;9R1B、3R1B、7R3B、1R1B、6R1G3B 处理的辣椒幼苗叶绿素 b 含量均大于对照,但差异不显著。各处理的辣椒幼苗叶绿素 (a + b) 含量均大于对照,且差异显著,其中 9R1B、6R1B、3R1B 较对照分别提高 35.71%、53.57%、38.10%。6R1B、3R1B、7R3B、1R1B、6R1G3B 处理的辣椒幼苗叶绿素 (a/b) 高于

对照,9R1B 处理的辣椒幼苗叶绿素 (a/b) 低于对照,但均无显著差异。6R1B 处理的辣椒幼苗类胡萝卜素含量高于对照,较对照组提高 12.50%,达到显著差异;1R1B 处理的辣椒幼苗类胡萝卜素含量低于对照,9R1B、3R1B、7R3B、6R1G3B 处理的辣椒幼苗类胡萝卜素含量均高于对照组,但差异均不显著。

### 2.4 不同光质对辣椒幼苗叶片光合参数的影响

从表 4 可以看出,9R1B、6R1B、3R1B、1R1B、6R1G3B 处理的辣椒幼苗叶片净光合速率均高于对照,且差异显著;其中 6R1B 处理的辣椒幼苗叶片净光合速率最高,较对照提高 50.46%,其次是 3R1B、1R1B。9R1B、6R1B、1R1B、6R1G3B 处理的辣椒幼

表 3 不同光质对辣椒幼苗叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素含量的影响

处理	叶绿素 a 含量 (mg/g)	叶绿素 b 含量 (mg/g)	叶绿素(a+b)含量 (mg/g)	叶绿素(a/b)	类胡萝卜素含量 (mg/g)
9R1B	0.80 ± 0.02ab	0.34 ± 0.02ab	1.14 ± 0.04ab	2.35 ± 0.06a	0.17 ± 0.01ab
6R1B	0.89 ± 0.07a	0.40 ± 0.07a	1.29 ± 0.15a	2.22 ± 0.24a	0.18 ± 0.01a
3R1B	0.82 ± 0.023ab	0.34 ± 0.02ab	1.16 ± 0.04ab	2.43 ± 0.12a	0.16 ± 0.01abc
7R3B	0.79 ± 0.05ab	0.31 ± 0.03b	1.10 ± 0.08b	2.53 ± 0.13a	0.16 ± 0.01bc
1R1B	0.74 ± 0.03b	0.28 ± 0.02b	1.02 ± 0.05b	2.64 ± 0.09a	0.15 ± 0.01c
6R1G3B	0.78 ± 0.04ab	0.31 ± 0.03b	1.09 ± 0.07b	2.57 ± 0.14a	0.16 ± 0.01abc
CK	0.57 ± 0.29c	0.26 ± 0.13b	0.84 ± 0.16c	2.27 ± 0.45a	0.16 ± 0.1bc

苗叶片气孔导度均高于对照,且差异显著,较对照分别提高 86.36%、175.22%、70.56%、106.10%;3R1B、7R3B 处理的辣椒幼苗叶片气孔导度均高于对照,但差异不显著。7R3B、1R1B 处理的辣椒幼苗叶片胞间 CO<sub>2</sub> 浓度均高于对照,且差异显著,较对照分别提高 9.30%、13.48%;6R1B 处理的辣椒幼苗叶片胞间 CO<sub>2</sub> 浓度低于对照,且差异显著,较对

照下降 14.74%;9R1B、3R1B、6R1G3B 处理的辣椒幼苗叶片胞间 CO<sub>2</sub> 浓度与对照无显著差异。6R1B、3R1B、7R3B、1R1B、6R1G3B 处理的辣椒幼苗叶片蒸腾速率均高于对照,且差异显著,较对照分别提高 167.61%、107.04%、98.59%、100.00%、129.58%;9R1B 处理的辣椒幼苗叶片蒸腾速率高于对照,但差异不显著。

表 4 不同光质对辣椒幼苗叶片净光合速率、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度和蒸腾速率的影响

处理	净光合速率 P <sub>n</sub> [μmol/(m <sup>2</sup> ·s)]	气孔导度 G <sub>s</sub> [mmol/(m <sup>2</sup> ·s)]	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 C <sub>i</sub> (μmol/mol)	蒸腾速率 T <sub>r</sub> [mmol/(m <sup>2</sup> ·s)]
9R1B	13.32 ± 0.91bc	259.50 ± 46.80b	303.50 ± 26.18b	0.83 ± 0.11d
6R1B	16.40 ± 1.01a	383.25 ± 52.45a	270.50 ± 24.56c	1.90 ± 0.22a
3R1B	13.90 ± 1.80b	182.50 ± 4.51c	323.75 ± 13.98b	1.47 ± 0.15c
7R3B	12.25 ± 0.53cd	174.65 ± 46.33c	346.75 ± 2.50a	1.41 ± 0.18c
1R1B	13.87 ± 1.19b	237.50 ± 23.56b	360.00 ± 3.16a	1.42 ± 0.08bc
6R1G3B	14.37 ± 1.14b	287.00 ± 19.65b	311.50 ± 14.06b	1.63 ± 0.06b
CK	10.90 ± 4.35d	139.25 ± 25.79c	317.25 ± 3.69b	0.71 ± 0.11d

## 2.5 不同光质对辣椒幼苗生物量积累的影响

从表 5 可以看出,9R1B、6R1B、3R1B 处理辣椒幼苗的地上部鲜重均大于对照,较对照分别提高 52.33%、57.00%、48.19%,达到显著差异;7R3B、1R1B、6R1G3B 处理辣椒幼苗的地上部鲜重均大于对照组,但差异不显著。9R1B、6R1B、3R1B 处理辣椒幼苗的地上部干重均大于对照,较对照分别提高 65.38%、88.46%、50.00%;7R3B、1R1B、6R1G3B 处理辣椒幼苗的地上部干重与对照组差异不显著。以上结果表明,在 220 μmol/(m<sup>2</sup>·s) 光照强度条件下,对辣椒幼苗补充较多红光有利于提高辣椒幼苗地上部的鲜重和干重。各处理的辣椒幼苗地下部鲜重均大于对照,且差异显著。其中 6R1B 处理的幼苗地下部鲜重最大,较对照提高 124.39%;9R1B 处理的地下部鲜重排在第二,较对照提高 65.85%;各处理的辣椒幼苗地下部干重均大于对

照,其中 9R1B、6R1B、3R1B、7R3B、1R1B 处理与对照存在显著差异,6R1B 处理辣椒幼苗的地下部干重最大,较对照提高 100.00%;9R1B 处理的地下部干重位列第二,较对照提高 50.00%。

## 2.6 不同光质对辣椒幼苗壮苗指数的影响

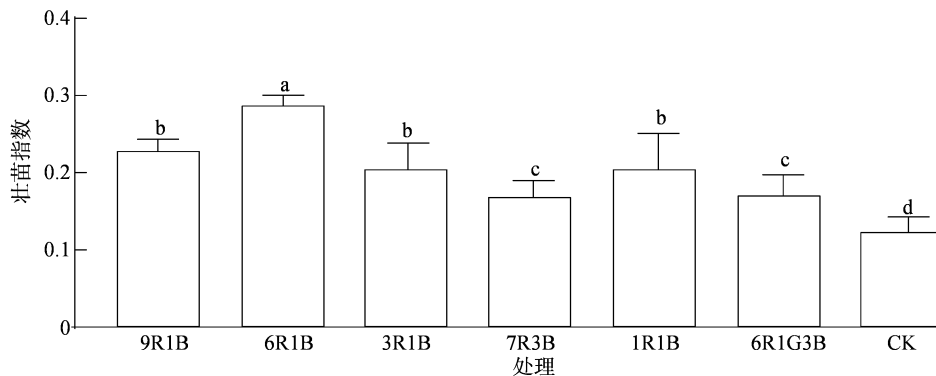
由图 3 可知,各处理组的辣椒幼苗的壮苗指数均大于对照,且差异显著,其中 6R1B 处理的辣椒幼苗壮苗指数最大,较对照提高 130.94%;排在第 2 梯队的是 9R1B、3R1B、1R1B 处理,较对照分别提高 84.53%、64.74%、65.64%。以上结果表明 6R1B、9R1B、1R1B、3R1B 处理有利于培育辣椒壮苗。

## 2.7 不同光质对辣椒幼苗叶片可溶性糖、丙二醛含量和抗氧化酶活性的影响

由图 4 - A 可知,9R1B、6R1B、3R1B、7R3B、6R1G3B 处理的叶片可溶性糖含量均高于对照,且差异显著。其中 9R1B 处理含量最高,较对照提高

表 5 不同光质对辣椒幼苗地上部和地下部干鲜重的影响

处理	地上部		地下部	
	鲜重(g)	干重(g)	鲜重(g)	干重(g)
9R1B	2.94 ± 0.18a	0.43 ± 0.05ab	0.68 ± 0.08b	0.06 ± 0.01b
6R1B	3.03 ± 0.39a	0.49 ± 0.09a	0.92 ± 0.10a	0.08 ± 0.01a
3R1B	2.86 ± 0.42a	0.39 ± 0.06b	0.58 ± 0.12bc	0.05 ± 0.01c
7R3B	1.96 ± 0.30b	0.29 ± 0.07c	0.54 ± 0.16c	0.05 ± 0.01c
1R1B	2.26 ± 0.38b	0.31 ± 0.07c	0.64 ± 0.09bc	0.05 ± 0.01c
6R1G3B	2.07 ± 0.22b	0.31 ± 0.04c	0.54 ± 0.05c	0.04 ± 0.01cd
CK	1.93 ± 0.61b	0.26 ± 0.05c	0.41 ± 0.07d	0.04 ± 0.01d



柱上不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。图 4 同

图 3 不同光质对辣椒幼苗壮苗指数的影响

140.43% ;6R1B、3R1B、7R3B、6R1G3B 较对照分别提高 63.16%、97.36%、127.38%、73.95%，且差异显著；1R1B 处理的辣椒幼苗叶片可溶性糖含量低于对照组，但无显著差异。各处理组辣椒幼苗 MDA

含量均高于对照组，9R1B、6R1B、3R1B、7R3B、1R1B、6R1G3B 处理较对照分别提高 15.15%、28.07%、20.36%、31.51%、35.58%、17.05%，其中 1R1B 处理含量最高(图 4-B)。

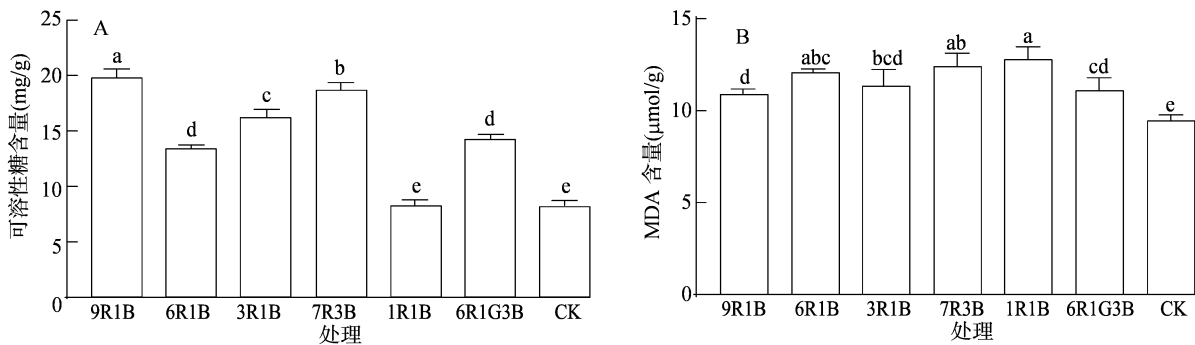


图 4 不同光质对辣椒幼苗叶片可溶性糖和 MDA 含量的影响

由表 6 可知,1R1B 处理的辣椒幼苗超氧化物歧化酶(SOD)活性最高,较对照提高 386.90%,6R1B 处理的辣椒幼苗 SOD 活性最低,较对照降低 72.66%。1R1B 处理的辣椒幼苗过氧化物酶(POD)活性最高,较对照提高 286.98%,9R1B、6R1B、3R1B、6R1G3B 处理的辣椒幼苗 POD 活性较对照分别提高 41.22%、87.00%、246.11%、44.06%，且差异显著；7R3B 处理的辣椒幼苗 POD

活性低于对照组,但差异不显著。1R1B 处理的辣椒幼苗过氧化氢酶(CAT)活性最高,较对照提高 11.14%，且差异显著；9R1B、6R1B、3R1B、7R3B、6R1G3B 处理的辣椒幼苗 CAT 活性较对照组分别降低 55.42%、91.44%、60.05%、73.19%、85.62%，且差异显著。不同光质处理下幼苗的可溶性糖含量、MDA 含量及 SOD、POD、CAT 活性能较好地反映其抗逆能力水平,在不同 LED 光配方处理下,抗逆

表 6 不同光质对辣椒幼苗叶片超氧化物歧化酶、过氧化物酶和过氧化氢酶的影响

处理	SOD 活性 (U/g)	POD 活性 (U/g)	CAT 活性 (U/g)
9R1B	40.93 ± 2.98d	70.17 ± 6.98d	7.28 ± 0.66c
6R1B	16.25 ± 0.16e	92.92 ± 6.44c	1.40 ± 0.11f
3R1B	119.79 ± 2.26b	171.99 ± 11.91b	6.52 ± 0.20c
7R3B	120.93 ± 8.21b	48.85 ± 2.61e	4.38 ± 0.32d
1R1B	289.47 ± 14.12a	192.34 ± 16.93a	18.15 ± 0.77a
6R1G3B	36.35 ± 0.94d	71.58 ± 2.63d	2.35 ± 0.14e
CK	59.43 ± 3.83c	49.69 ± 4.21e	16.33 ± 0.79b

性表现最优的是 1R1B 处理。

### 3 讨论与结论

光对植物生长发育起着重要作用,光质的种类及其组成比例对植物光合作用、生物物质积累量以及根系形态等都有影响<sup>[17-18]</sup>。补光是蔬菜栽培的重要技术手段,随着技术的成熟,LED 灯在蔬菜育苗中的应用研究日益广泛,为其在农业生产中的规模化应用奠定了重要基础。曹刚等研究结果表明,与白光相比,红蓝组合光有利于培育黄瓜幼苗<sup>[19]</sup>。董桑婕研究发现,在总光强相同条件下,补充红光和蓝光均有利于培育辣椒壮苗<sup>[20]</sup>。

#### 3.1 不同光质对辣椒幼苗光合特性的影响

光质直接影响光合色素的形成<sup>[21]</sup>,前人研究表明,红光有利于提高植株叶片光合色素含量,而蓝光则呈现出抑制作用<sup>[22]</sup>。本试验中,6R1B 处理的辣椒幼苗叶片叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素含量均为最高,但与 9R1B 处理无显著差异。叶片光合色素含量直接影响净光合速率<sup>[23]</sup>。此外,净光合速率、蒸腾速率、气孔导度等参数均对植物的光合作用产生影响。张谨薇等研究表明,在光强为 100  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  和光质配比为 5R1B 时,冀鹰椒 6 号朝天椒幼苗的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率均大于其他处理<sup>[24]</sup>。本试验中,6R1B 处理的净光合速率、蒸腾速率和气孔导度均最大,这表明在红光基础上添加一定比例的蓝光能提高辣椒幼苗的光合作用。

#### 3.2 不同光质对辣椒幼苗农艺性状的影响

红光有利于提高辣椒幼苗的叶面积<sup>[25]</sup>,叶面积的快速增加增加了光合作用效率,并通过调节代谢物来增加可溶性糖和淀粉的积累<sup>[26-27]</sup>,进而推动植物茎的伸长和叶片生长,同时促使光合产物更多地向叶片转运<sup>[28]</sup>。本试验中,9R1B 处理的辣椒幼苗

株高最高,但与 6R1B 处理无显著差异;6R1B 处理的地上干重、鲜重最大,但与 9R1B 处理无显著差异,这与马艳等的研究结果基本相符<sup>[29]</sup>。不同光配方不仅能影响植物的光合作用,还影响植物的抗逆能力和根系形态<sup>[30-31]</sup>。前人研究表明,蓝光有利于茎的增粗和根系的生长,但会抑制株高<sup>[32]</sup>。本试验中,1R1B 处理下,辣椒幼苗的茎粗、根表面积、根平均直径、根体积、根尖数均达到最大值,这些指标有助于提高辣椒幼苗的壮苗指数。壮苗指数越大,秧苗的质量越好,对后期作物产量及品质也更有保障<sup>[16]</sup>。本试验中,6R1B 处理壮苗指数最大,与 1R1B 处理存在显著差异,结果表明,为提高壮苗指数,需要适宜的红蓝光质比来提高幼苗的茎粗、生物量及根冠比,不能一味追求高比例蓝光。

#### 3.3 不同光质对辣椒幼苗生理特性的影响

在低温和弱光环境中,植物体内会产生大量有毒的活性氧(ROS),ROS 将直接伤害其体内细胞,进一步改变抗氧化酶系统<sup>[33-34]</sup>。超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)是植物体内最主要的抗氧化酶,它们的活性直接反映植物抗逆境胁迫的能力<sup>[35]</sup>,MDA 含量的积累能够反映低温毒害<sup>[36]</sup>,SOD 在保护酶系统中具有重要地位<sup>[37]</sup>,POD 活性高低与植物的耐寒性密切相关<sup>[38]</sup>,CAT 有利于 ROS 的清除<sup>[39]</sup>。与对照相比,各处理的辣椒幼苗 MDA 含量均显著升高,且 1R1B 处理的抗氧化酶活性(POD、CAT)最高,显著高于 6R1B 和其他处理,表明 1R1B 光质配比能更有效地增强辣椒幼苗的抗逆性。这些结果表明,高比例蓝光有利于提升辣椒幼苗的抗逆性。

综上,6R1B 处理的辣椒幼苗壮苗指数最大,综合叶面积、生物积累量和光合色素等其他指标,推荐 6R1B 作为辣椒植物工厂化育苗的光配方。但在

逆境条件下,为提高辣椒幼苗的抗逆性,宜选用高比例蓝光培育辣椒苗。由于蔬菜不同种类及品种对光质的需求存在差异,试验结果仅适用于以大金条为代表的尖椒品种,其他类型辣椒育苗最佳光配方仍需进一步开展研究试验。

#### 参考文献:

- [1] 邹学校,杨莎,戴雄泽,等. 中国辣椒产业快速发展40年回顾与展望[J]. 园艺学报,2025,52(1):247-258.
- [2] 程青,万玉婵,李慧杰,等. 辣椒育种研究进展[J]. 蔬菜,2025(增刊1):13-40.
- [3] 徐嘉悦,杨诗妮,刘凤霞,等. 我国辣椒标准体系研究:现状、问题与思考[J]. 中国标准化,2023(19):102-107,117.
- [4] 夏振鹏. 《全国现代设施农业建设规划(2023—2030年)》解读——现代设施集约化育苗(秧)建设工程[J]. 当代农机,2023(12):79-80,82.
- [5] 刘慧莲,姜倩倩. 不同LED光质对番茄幼苗生长的影响[J]. 北方园艺,2020(18):38-42.
- [6] Bantis F, Ouzounis T, Radoglou K. Artificial LED lighting enhances growth characteristics and total phenolic content of *Ocimum basilicum*, but variably affects transplant success [J]. Scientia Horticulturae,2016,198:277-283.
- [7] Li Y, Xin G F, Wei M, et al. Carbohydrate accumulation and sucrose metabolism responses in tomato seedling leaves when subjected to different light qualities [J]. Scientia Horticulturae,2017,225:490-497.
- [8] 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.
- [9] 李晓慧,王一迪,班甜甜,等. LED补光对番茄幼苗形态特征及相关生理特性的影响[J]. 北方园艺,2020(4):1-6.
- [10] 朱鹿坤. 不同LED补光对日光温室番茄与黄瓜育苗的效果分析[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2019.
- [11] 董桑婕,葛诗蓓,李岚,等. 不同光质补光对辣椒幼苗生长、丛枝菌根共生和磷吸收的影响[J]. 园艺学报,2022,49(8):1699-1712.
- [12] 陆小云,周龙,陈汉,等. 不同LED光质对湖南地区越冬辣椒幼苗生长的影响[J]. 辣椒杂志,2024,22(4):1-6.
- [13] 周华,欧阳雪灵,刘淑娟,等. LED光强和光质对“余干”辣椒幼苗生长和形态的影响[J]. 北方园艺,2016(12):40-43.
- [14] 张谨薇,高亚新,李恭峰,等. LED光源不同光强对冀星9号辣椒幼苗生长和光合特性的影响[J]. 现代农业科技,2022(3):61-66,70.
- [15] 蓬桂华,张爱民,邢丹,等. 不同辣椒品种光合日变化及影响因素分析[J]. 长江蔬菜,2014(20):41-44.
- [16] 葛晓光. 果菜壮苗指标研究的概况[J]. 中国蔬菜,1987(1):32-34.
- [17] 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.
- [18] 崔瑾,徐志刚,邸秀茹. LED在植物设施栽培中的应用和前景[J]. 农业工程学报,2008,24(8):249-253.
- [19] 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.
- [20] 董桑婕. LED补光对辣椒幼苗生长和丛枝菌根真菌定殖调控作用的研究[D]. 杭州:浙江大学,2021.
- [21] Tholen D, Pons T L, Voesenek L A C J, et al. Ethylene insensitivity results in down-regulation of rubisco expression and photosynthetic capacity in tobacco [J]. Plant Physiology,2007,144(3):1305-1315.
- [22] 闫晓花,郁继华,颜建明. 补光时间及光质对黄瓜幼苗生长及根系活力的影响[J]. 核农学报,2016,30(6):1211-1217.
- [23] 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.
- [24] 张谨薇,孟清波,马万成,等. LED光源对辣椒幼苗生长和光合特性的影响[J]. 中国瓜菜,2021,34(6):60-63,67.
- [25] 李符,米国全,史艳艳,等. 不同光源对4种蔬菜幼苗生长发育的影响[J]. 蔬菜,2020(9):20-25.
- [26] 储钟稀,童哲,冯丽洁,等. 不同光质对黄瓜叶片光合特性的影响[J]. 植物学报,1999,41(8):867-870.
- [27] 张玉彬,刘文科,杨其长,等. 采收前LED红蓝光连续照射对水培生菜品质的提升作用[J]. 中国农业气象,2020,41(7):436-445.
- [28] 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.
- [29] 马艳,孙小丽,于秀针,等. 两种LED光源对设施辣椒栽培效果研究[J]. 现代园艺,2018,41(7):24-26.
- [30] 李雯琳,梁宗蕾. 不同LED光源光质对黄瓜幼苗生长特征的影响[J]. 现代园艺,2017,40(3):15-18.
- [31] 刘振威,孙丽,方婷婷,等. 不同光质及组合对番茄幼苗生长及生理特性的影响[J]. 华北农学报,2015,30(5):141-145.
- [32] 杨雅婷,程瑞峰,杨其长,等. LED光源不同R/B处理对甘薯组培苗品质及节能效果的影响[J]. 中国农业气象,2010,31(4):546-550.
- [33] 李爱民,张永泰,熊飞,等. 低温弱光对西瓜幼苗生理特性的影响[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版),2012,33(2):78-82,94.
- [34] 张蓓,刘贺娟,赵洋,等. 辣椒响应低温胁迫的研究进展[J]. 江苏农业科学,2025,53(4):8-16.
- [35] 苟秉调,张高原,范太伟,等. 低温弱光胁迫下辣椒叶片生理指标的杂种优势预测[J]. 辣椒杂志,2020,18(4):1-7,39.
- [36] 蒲高斌. 光质对番茄生育特性及其果实品质的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2005.
- [37] Bowler C, Montagu M V, Inze D. Superoxide dismutase and stress tolerance [J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology,1992,43:83-116.
- [38] 马骊,孙万仓,刘自刚,等. 低温胁迫下白菜型与甘蓝型冬油菜抗寒基因表达差异[J]. 中国油料作物学报,2016,38(2):135-141.
- [39] 秦文斌,山溪,张振超,等. 低温胁迫对甘蓝幼苗抗逆生理指标的影响[J]. 核农学报,2018,32(3):576-581.