

不同 LED 光比对奶油龙沙宝石月季生长的影响^{*}

韩煜峰¹, 鲁峻宏^{1,2}, 王 祥¹, 宁 眺¹, 牛燕芬¹,
邓昌军³, 韩承畴¹, 李 晶^{1,4**}

(1. 昆明学院 农学与生命科学学院 云南省高校都市型现代农业工程研究中心, 云南 昆明 650214;

(2. 西南林业大学 林学院, 云南 昆明 650224; 3. 云南瀚哲科技有限公司, 云南 昆明 650106;

4. 香格里拉市藏美农业科技有限公司, 云南 迪庆 674400)

[摘 要] 为探究不同光质比对奶油龙沙宝石月季 (*Rosa Creamy Eden*) 生长及生理特性的影响, 以白光为对照, 设置红蓝光比例为 6:2 (R6/B2)、7:2 (R7/B2)、8:1 (R8/B1) 三种光质处理, 测定其株高、茎粗、冠幅及叶绿素含量的动态变化。结果表明: R8/B1 处理下株高增长最快 (差值 10.4 cm), R6/B2 处理下冠幅扩展最显著 (差值 16.4 cm), 而白光处理对茎粗增长效果最佳 (差值 1.46 cm)。综合生长指标, R8/B1 处理为最优光质配比。叶绿素含量方面, 白光和 R8/B1 处理组初期下降后恢复上升, 而 R6/B2 和 R7/B2 处理组持续下降, 表明后者可能抑制光合作用。研究结果为奶油龙沙宝石月季的设施栽培光环境调控提供了科学依据。

[关键词] 奶油龙沙宝石月季; LED 光配比; 生长发育; 生理特征

[中图分类号] S685.12 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1674-5639 (2025) 06-0093-06

DOI: 10.14091/j.cnki.kmxyxb.2025.06.012

光环境调控是设施农业中优化作物生长、提升品质的关键技术之一。光质作为光环境的重要组成部分, 通过影响光受体活性、光合色素合成及光形态建成等过程, 直接调控植物的生长发育^[1-3]。近年来, 发光二极管 (LED) 因其光谱可调、能耗低、寿命长等优势, 成为设施补光的主要光源, 而有关其红蓝光配比 (R/B) 对植物生理特性影响的研究则备受关注^[4-6]。研究表明, 红光 (600~700 nm) 通过激活光敏素信号通路, 促进茎伸长和开花; 蓝光 (400~500 nm) 则通过隐花色素和向光素调控气孔开放、抑制徒长并增强光合效率^[7-9]。例如, 补充红光可显著提高番茄生物量, 而蓝光比例增加能抑制草莓茎伸长并促进分枝形成^[10-13]。然而, 不同植物对光质响应的敏感性存在显著差异, 且红蓝光配比的优化需结合具体物种的生物学特性进行系统探究^[14, 15]。

奶油龙沙宝石月季 (*Rosa Creamy Eden*) 是法国玫昂公司 (Meilland) 于 2005 年培育的微型灌木月季品种, 为蔷薇科蔷薇属微型月季, 因其独特的奶油色系渐变花色、多季重复开花特性及抗病性优势, 已成为盆栽花卉市场的热门月季品种, 且颇具商业价值。普通月季每 hm^2 年净利润约 11.25 万元, 奶油龙沙宝石月季因售价高 (三年苗 22 元/棵) 及多季销售优势, 预计每 hm^2 净利润可达 22.5 万~30 万元。目前, 针对月季的光环境研究多集中于光周期和光强对其开花的影响, 而光质配比对其营养生长阶段的调控机制尚不明确^[16-18]。

月季设施栽培中, 存在因自然光不足导致植株徒长、叶绿素合成受阻等问题会显著影响植株形态建成和生理功能, 亟需通过人工补光和优化光质配比等方法改善^[19]。尽管已有研究揭示了红蓝光比对对菊花等花卉的茎伸长和开花的调控作用^[20, 21], 但关于奶油龙沙宝石月季的系统研究仍属空白。特别是红蓝

^{*} [收稿日期] 2025-03-08

[作者简介] 韩煜峰, 男, 云南曲靖人, 昆明学院在读硕士研究生, 研究方向为分子遗传育种。

^{**} [通信作者] 李晶, 男, 上海人, 昆明学院教授, 博士, 研究方向为分子遗传育种, E-mail: lijing@kmu.edu.cn。

[基金项目] 昆明市春城计划青年拔尖人才项目 (C201914005); 云南省中青年学术与技术带头人项目 (201914005); 云南省兴滇英才计划创业人才项目 (XDYC-CYRC-2022-0002)。

光比例对其株高、冠幅扩展及叶绿素动态变化的协同效应尚未阐明。本研究以奶油龙沙宝石月季为材料,通过设置不同红蓝光配比(R6/B2、R7/B2、R8/B1),结合白光对照,系统分析光质对其生长指标(株高、茎粗、冠幅)和叶绿素含量的影响,旨在明确其光质适应机制,以为设施栽培的光环境精准调控提供理论依据,丰富并拓展观赏植物光生物学理论研究。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验设计

本试验于 2022 年 1 月 8 日—2 月 17 日在昆明学院云南省高校都市型现代农业工程研究中心进行。供试材料为奶油龙沙宝石月季(Rosa Creamy Eden)扦插苗,苗龄 60 d,株高(15±2) cm,购自昆明市花卉种苗基地。设置 3 种光质配比处理,分别为红蓝光:6:2(R6/B2)、7:2(R7/B2)、8:1(R8/B1),以白光(全光谱 LED,400~700 nm)作为对照(CK),以光合光子通量密度(PPFD)作为指标,测定红光(600~700 nm)与蓝光(400~500 nm)的光子数量($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)比值,以此作为两种光质的比例。其中,白光模拟自然光作为对照,以排除单一光质可能引入的偏差;红蓝光作为植物光敏色素、隐花色素和向光素的主要吸收波段,从而反映不同 LED 光质配比对奶油龙沙宝石月季形态建成及生理功能的影响。

将长势一致的月季苗移栽至直径 15 cm、高 12 cm 的塑料盆中,每盆装填泥炭-珍珠岩混合基质(体积比 3:1,pH 6.2±0.3,电导率值(EC)为 1.2 mS/cm)。每个处理组 10 株,随机排列于光照培养室内。培养室环境参数:温度(25±2)℃,相对湿度 60%±5%,CO₂ 含量(400±20) $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 。光处理采用 LED 植物生长灯(型号 GL-2000,光谱范围红光 660 nm、蓝光 450 nm),光周期 12 h/d,光强 200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (冠层高度测量)。每 4 d 定量浇水一次(每株 100 mL),避免基质过湿或干旱。

1.2 测定项目和方法

每个处理组随机选取 3 株植株,取样标准以定植第 1 d 作为基准线,定植后植株经历根系恢复、开始营养生长以及植株抽生新叶进入营养生长旺盛期三个时期,分别于 2022 年 1 月 8 日、1 月 27 日和 2 月 17 日 10:00—12:00 进行生长指标及叶绿素含量测定,具体方法如下:

株高:使用数显电子游标卡尺(Mitutoyo 500-196-30,精度 0.01 mm)测量植株基部至顶端生长点的垂直高度,重复 3 次取均值。

茎粗:于植株基部第 2 节间处,用同一游标卡尺测量茎秆直径,避免表皮损伤,重复 3 次取均值。

冠幅:以植株最外侧叶片水平伸展的最大直径作为南北向(D_1)和东西向(D_2)冠幅,按公式冠幅(cm)=($D_1 + D_2$)/2 计算。

叶绿素含量:每株选取顶端第 3 片完全展开的功能叶,避开叶脉,打取直径 1 cm 叶圆片。采用丙酮浸提法^[21]:将叶圆片浸于 80% 丙酮溶液(体积分数)中,暗处静置 24 h 至组织完全脱色,然后使用紫外可见分光光度计(UV-1800,上海美谱达仪器有限公司)测定 663 nm 和 645 nm 波长下的吸光度(OD 值),按 Arnon 公式^[22]计算叶绿素 a、b 及总含量(mg/g FW)。

1.3 数据处理

采用 SPSS 26.0 进行单因素方差分析(One-way ANOVA),显著性检验设定为 $\alpha = 0.05$,组间差异采用 Duncan 新复极差法进行多重比较,数据以“均值±标准差”表示。利用 Excel 2019 对原始数据进行整理并绘制图表,图中误差线为标准差(SD),显著性差异以不同字母标记($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同光质处理对奶油龙沙宝石月季生长情况的影响

通过 3 次动态测量发现(表 1),不同光质处理对奶油龙沙宝石月季的株高、冠幅及茎粗生长具有差异化调控作用:

1) 株高生长动态

R8/B1 处理(红光/蓝光=8:1)表现出最强的株高促进效应,第 3 次测量较初始值增长 10.4 cm(增幅 37.8%),显著高于其他处理。而 R6/B2 处理(红光/蓝光=6:2)株高增幅最小(5.8 cm,17.5%)。值得注意的是,尽管 R8/B1 最终株高(37.93 cm)与白光组(34.93 cm)无统计学差异,但其生长速率优势显著。

2) 冠幅扩展特征

R6/B2 处理展现出独特的冠幅扩展优势, 3 次测量间冠幅净增长达 16.4 cm (增幅 63.7%), 显著高于 R8/B1 处理的 14.1 cm (增幅 63.1%)。白光处理的冠幅扩展速率相对较慢 (净增 9.56 cm, 增幅 29.6%), 可能与蓝光比例不足影响侧枝发育有关; R6/B2 初始值最低, 但增长率与绝对值均最高, 增幅最大; R7/B2 增幅最小, 可能受光质配比限制; R8/B1 初始值最低, 但增幅与 R6/B2 接近, 表现优异。

3) 茎粗发育差异

白光处理 (CK) 在茎粗积累方面表现突出, 茎粗净增量达 1.46 cm (增幅 61.3%), 显著高于 R8/B1 处理的 0.93 cm (增幅 36.2%); 白光绝对增幅最大, 初始值虽低但增长潜力显著; R6/B2 初始值高, 但增幅最小, 可能接近茎粗上限; R7/B2 增幅中等, 标准差较大 (± 0.39 cm), 个体差异明显; R8/B1 增幅绝对值与百分比均次优, 表现稳定。这一结果提示白光可能通过全光谱特性促进次生代谢产物的合成, 从而加强茎秆木质化进程。

4) 综合生长效应

从多指标协同分析, R8/B1 处理在株高生长速率 (10.4 cm) / (40 d)、冠幅扩展 (14.1 cm) 及茎粗发育 (0.93 cm) 间达到最佳平衡, 其综合生长势显著优于其他处理。特别值得注意的是, 该处理在保持较高株高增长的同时, 冠幅扩展速率仅次于 R6/B2 处理, 显示出红光主导光谱对顶端优势与侧芽生长的协同调控潜力。

表 1 不同光质处理下奶油龙沙宝石月季生长指标动态变化

处理	测量时间	株高/cm	冠幅/cm	茎粗/cm
白光	2022-11-08	26.40 $\pm$ 1.35 ^b	32.27 $\pm$ 3.04 ^a	2.38 $\pm$ 0.38 ^a
	2022-01-27	34.00 $\pm$ 2.98 ^a	38.60 $\pm$ 2.91 ^a	3.19 $\pm$ 0.55 ^a
	2022-02-17	34.93 $\pm$ 2.65 ^a	41.83 $\pm$ 1.76 ^a	3.84 $\pm$ 0.11 ^a
R6/B2	2022-01-08	33.20 $\pm$ 3.02 ^a	25.73 $\pm$ 5.37 ^{ab}	2.92 $\pm$ 0.16 ^a
	2022-01-27	37.03 $\pm$ 3.68 ^a	39.13 $\pm$ 3.59 ^a	3.25 $\pm$ 0.14 ^a
	2022-02-17	39.00 $\pm$ 3.26 ^a	42.13 $\pm$ 5.39 ^a	3.34 $\pm$ 0.17 ^a
R7/B2	2022-01-08	28.30 $\pm$ 3.56 ^{ab}	31.63 $\pm$ 4.65 ^{ab}	2.84 $\pm$ 0.46 ^a
	2022-01-27	31.13 $\pm$ 2.16 ^a	35.61 $\pm$ 2.37 ^a	3.27 $\pm$ 0.30 ^a
	2022-02-17	37.57 $\pm$ 7.17 ^a	37.27 $\pm$ 1.85 ^a	3.46 $\pm$ 0.39 ^a
R8/B1	2022-01-08	27.53 $\pm$ 3.65 ^{ab}	22.33 $\pm$ 6.19 ^b	2.57 $\pm$ 0.12 ^a
	2022-01-27	36.90 $\pm$ 2.98 ^a	35.47 $\pm$ 4.46 ^a	3.20 $\pm$ 0.34 ^a
	2022-02-17	37.93 $\pm$ 2.55 ^a	36.43 $\pm$ 4.10 ^a	3.50 $\pm$ 0.11 ^a

注: 同一处理下, 同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

2.2 不同光质处理对奶油龙沙宝石月季叶绿素的影响

不同光质处理下奶油龙沙宝石月季叶绿素含量呈现显著动态差异 (表 2)。

表 2 不同光质处理下叶绿素含量动态变化 mg/g FW

测量时间	叶绿素含量			
	白光	R6/B2	R7/B2	R8/B1
2022-01-08	66.13 $\pm$ 7.80 ^a	61.37 $\pm$ 5.77 ^a	60.40 $\pm$ 7.13 ^a	67.47 $\pm$ 3.07 ^a
2022-01-27	50.07 $\pm$ 1.88 ^b	59.60 $\pm$ 6.42 ^a	57.27 $\pm$ 4.79 ^a	54.50 $\pm$ 0.75 ^{ab}
2022-02-17	55.60 $\pm$ 1.42 ^a	54.17 $\pm$ 2.71 ^b	51.60 $\pm$ 2.57 ^a	57.93 $\pm$ 4.57 ^a

注: 同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

R6/B2 与 R7/B2 处理组叶绿素含量随处理时间延长持续下降, 其中 R6/B2 组从 61.37 mg/g FW (2022 年 1 月 8 日) 降至 54.17 mg/g FW (2022 年 2 月 17 日), 降幅达 11.7%; R7/B2 组从 60.40 mg/g FW 降至 51.60 mg/g FW, 降幅 14.6%。白光对照组叶绿素含量呈“V 型”波动, 初期 (1 月 8 日→1 月 27 日) 从 66.13 mg/g FW 下降至 50.07 (降幅 24.3%), 后期 (1 月 27 日→2 月 17 日) 回升至 55.60 mg/g FW;

R8/B1 处理组变化趋势与白光组相似, 但降幅较小 (67.47 mg/g FW→54.50 mg/g FW, 降幅 19.2%), 且恢复阶段 (54.50 mg/g FW→57.93 mg/g FW) 提升速率同样明显. 方差分析表明, 白光与 R8/B1 组在 1 月 27 日叶绿素含量明显低于其他处理, 而 R6/B2 与 R7/B2 组在各时间点无显著性差异.

3 讨 论

光质调控是设施农业中优化植物生长的重要策略. 作为环境信号的核心因子, 光通过其受体介导的分子网络 (如 phytochrome, cryptochrome) 协同调控光合色素代谢、形态建成及次生代谢过程^[22]. 相较于自然光, LED 光源因其光谱可调、能耗低等优势, 被广泛应用于园艺作物补光, 尤其在调控红光 (R) 与蓝光 (B) 配比以平衡光形态建成与光能利用方面具有显著潜力^[23]. 研究表明, 红光 (660 nm) 通过激活光敏色素信号通路显著促进蔷薇科植物的茎伸长和开花诱导, 但单一红光易导致徒长; 蓝光 (450 nm) 则通过调控隐花色素增强叶绿素合成和抗氧化酶活性, 提高玫瑰、草莓等植物的生物量积累, 二者协同作用可显著提升番茄、草莓等作物的产量与品质^[24,25]. 然而, 光质效应具有显著的物种特异性: 例如, 蓝光虽促进番茄叶片增厚, 却导致葡萄叶面积减小; 绿光诱导甜椒徒长, 而紫外光抑制其扩展生长^[26,27]. 这种差异可能与植物光受体家族多样性及其下游基因表达调控网络的适应性进化密切相关. 在月季的设施栽培中, 不同红蓝光质配比要优于白光处理, 与本研究结论相似. 本研究结果表明, 光质是调控奶油龙沙宝石月季形态建成的关键环境因子. 不同光质配比通过影响植物的光形态建成与光合作用, 对其株高、冠幅和茎粗产生了差异显著的调控效应. 在株高生长方面 R8/B1 的处理效果最好, 与前人关于红光可促进茎秆伸长增强顶端优势的结论一致; 相对的, R6/B2 处理下蓝光比例的提高对茎秆的伸长起到了抑制作用, 导致其株高增幅最小. 在冠幅扩展方面, R6/B2 处理下植株表现最优, 这表明蓝光可能在促进侧芽萌发和促进侧枝生长方面有积极作用; R8/B1 处理在冠幅扩展上也表现优秀, 结合其株高生长的数据结论, 表明在该配比的光质条件下, 既维持了植株的顶端优势, 又没有对侧芽生长产生抑制, 实现了株高、冠幅全面增长的效果, R8/B1 处理可能是一种较为理想的光质配比. 在茎粗发育方面, 白光处理表现最佳, 白光作为全光谱光源, 其光质组成可能对植株茎秆侧生分生组织的生长有促进作用. 综合来看, R8/B1 处理在株高、冠幅和茎粗三个指标间取得了最佳平衡, 展现出最强的综合生长势, 是促进奶油龙沙宝石月季生长的最佳光质配比.

蓝光 (450~470 nm) 被普遍认为对叶绿素合成具有显著促进作用, 其通过激活隐花色素信号通路, 上调叶绿素合成关键酶 (如原叶绿素酸酯氧化还原酶 POR) 的基因表达, 可促使玫瑰、草莓等植物的叶片叶绿素 a/b 含量提升 15%~30%, 并使植株叶绿体超微结构更致密^[28]. 红光 (660 nm) 虽能通过光敏色素增强光合同化能力, 但单独作用时易导致叶绿素 b 向 a 转化受阻, 使叶绿体发育异常^[29]. 本研究聚焦 LED 光质对比对奶油龙沙宝石月季叶绿素代谢的影响, 发现蓝光比例过高 (R6/B2、R7/B2) 导致叶绿素持续下降, 这可能意味着在这些光质下, 叶片处于一种“光胁迫”或加速衰老的状态. 蓝光比例较高虽然可能有利于冠幅扩展, 但持续的强蓝光也可能对叶绿体结构或叶绿素合成产生抑制, 这可以部分解释为何 R6/B2 处理在冠幅上优势明显, 但在株高和茎粗上表现不佳——光合系统的潜在压力可能限制了其整体的生物量积累. 推测低 R/B 环境可能通过以下途径抑制叶绿体功能: 1) 过量蓝光诱导光系统 II (PSII, Photosystem II) 反应中心过度激发, 引发光氧化胁迫并加速叶绿素降解; 2) 蓝光占比过高削弱叶绿体发育关键基因 (如 Lhcb) 的表达, 降低类囊体膜稳定性. 相比之下, R8/B1 处理在维持较高红光比例的同时保留适量蓝光 (R:B=8:1), 既满足光形态建成需求, 又通过蓝光依赖的气孔开放效应增强 CO₂ 同化效率, 从而缓解光抑制并促进叶绿素含量恢复. 白光和 R8/B1 处理组均出现了叶绿素含量的“V 型”波动, 即先下降后回升. 这种波动可能与植物对新光环境的适应与自我调节机制有关. 初期下降是植物应对光环境变化的应激反应, 而后期回升则体现了其光合系统的修复与适应能力, 这种强大的恢复和维持能力, 为其持续快速生长 (如株高和冠幅的显著增长) 提供了稳定的光合产物供给. 这与矮牵牛、一品红等观赏作物中“高红光主导、低蓝光辅助”的优化配比规律一致^[30,31], 但月季对 R/B 平衡的敏感性更高, 具体阈值需结合光强与光周期进一步验证.

综上所述, 光质通过双重途径影响月季生长: 一方面, 它通过光形态建成途径直接调控器官分化和

发育;另一方面,它通过影响光合色素含量与光合系统稳定性来间接调控光合产物的合成与积累。因此,在设施栽培中光质调控需遵循“物种——光质适配”原则。本研究证实 R8/B1 配比(红光:蓝光=8:1)可最大程度维持奶油龙沙宝石月季叶绿素稳态,为其高效生产提供了理论依据。未来研究可进一步解析光质-激素互作(如红光/蓝光对油菜素内酯合成的影响)及代谢组响应机制,以完善观赏植物光环境精准调控技术体系。

4 结 论

不同光质比对奶油龙沙宝石月季的株高、冠幅及茎粗生长具有差异化调控作用。其中,R8/B1 处理下株高增长最快,较初始值增长 10.4 cm (增幅 37.8%);R6/B2 处理下冠幅扩展最显著,净增长达 16.4 cm (增幅 63.7%);白光处理对茎粗增长效果最佳,净增量达 1.46 cm (增幅 61.3%)。综合生长指标,R8/B1 处理为最优光质配比。

从叶绿素含量变化来看,白光和 R8/B1 处理组叶绿素含量呈“V 型”波动,初期下降后恢复上升,而 R6/B2 和 R7/B2 处理组叶绿素含量随处理时间延长持续下降,表明 R6/B2 和 R7/B2 处理可能抑制光合作用。

从光质适应机制来看:R8/B1 配比(红光:蓝光=8:1)能够最好地维持奶油龙沙宝石月季叶绿素稳态,推测其在维持较高红光比例满足光形态建成需求的同时,保留适量蓝光通过影响气孔开放效应增强 CO₂ 同化效率,从而缓解光抑制并促进叶绿素含量恢复。

综上,该研究明确了奶油龙沙宝石月季在设施栽培中的光质适应机制,为其光环境精准调控提供了理论依据。

[参考文献]

- [1] 许大全,高伟,阮军. 光质对植物生长发育的影响[J]. 植物生理学报,2015,51(8):1217-1234.
- [2] 刘庆,连海峰,刘世琦,等. 不同光质 LED 光源对草莓光合特性、产量及品质的影响[J]. 应用生态学报,2015,26(6):1743-1750.
- [3] 朱静娴. 人工补光对植物生长发育的影响[J]. 作物研究,2012,26(1):74-78.
- [4] FAN X, ZANG J, XU Z, et al. Effects of different light quality on growth, chlorophyll concentration and chlorophyll biosynthesis precursors of non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* L.) [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2013, 35(9): 2721-2726.
- [5] 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.
- [6] 王艺,韦小丽. 不同光照对植物生长、生理生化和形态结构影响的研究进展[J]. 山地农业生物学报,2010,29(4):353-359.
- [7] 张晓伟. 光照对果树生理生化的影响及其利用[J]. 防护林科技,2015(1):73-76.
- [8] 邢阿宝,崔海峰,俞晓平,等. 光质及光周期对植物生长发育的影响[J]. 北方园艺,2018(3):163-172.
- [9] 赵静,石卫华. 光质和光强对植物生长的影响[J]. 现代园艺,2024,47(1):32-34.
- [10] 胡阳,江莎,李洁,等. 光强和光质对植物生长发育的影响[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版),2009,30(4):296-303.
- [11] 孙斌,吕璐平,李灵芝,等. LED 红蓝光配比对番茄生长和光合的影响[J]. 中国农业气象,2024,45(5):517-524.
- [12] NAZNIN M T, LEFSRUD M, GRAVEL V, et al. Blue light added with red LEDs enhance growth characteristics, pigments content, and antioxidant capacity in lettuce, spinach, kale, basil, and sweet pepper in a controlled environment [J]. Plants, 2019, 93(8): 8040093.
- [13] VIRŠILŠ A, BRAZAITYTĖ A, VAŠTAKAITĖ-KAIRIENĖ V, et al. The distinct impact of multi-color LED light on nitrate, amino acid, soluble sugar and organic acid contents in red and green leaf lettuce cultivated in controlled environment [J]. Food Chemistry, 2020, 310: 125799.
- [14] 宋华伟,黄科,吴秋云,等. LED 光质调控蔬菜作物几类生物活性物质合成代谢的研究进展[J]. 中国瓜菜,2023,36(4):19-25.

- [15] NHUT D T, TAKAMURA T, WATANABE H, et al. Responses of strawberry plantlets cultured in vitro under superbright red and blue light-emitting diodes (LEDs) [J]. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 2003, 73 (1): 43-52.
- [16] CHRISTIE J M. Phototropin blue-light receptors [J]. *Annual Review of Plant Biology*, 2007, 58 (1): 21-45.
- [17] WANG S, LIU X, LIU X, et al. The red/blue light ratios from light-emitting diodes affect growth and flower quality of *Hippocrepis retusa* 'Red Lion' [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2022, 13: 1048770.
- [18] 吕永平, 陈志, 李坤峰, 等. 光照环境对大花月季组织培养的影响 [J]. *浙江农业学报*, 2017, 29 (8): 1297-1304.
- [19] FUKUDA N, AJIMA C, YUKAWA T, et al. Antagonistic action of blue and red light on shoot elongation in petunia depends on gibberellin, but the effects on flowering are not generally linked to gibberellin [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2016, 121: 102-111.
- [20] KAISER E, OUZOUNIS T, GIDAY, H, et al. Adding blue to red supplemental light increases biomass and yield of greenhouse-grown tomatoes, but only to an optimum [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2019, 9: 2002.
- [21] ZHAO X, LIU W, AIWAILI P, et al. PHOTOLYASE/BLUE LIGHT RECEPTOR2 regulates chrysanthemum flowering by compensating for gibberellin perception [J]. *Plant Physiology*, 2023, 193 (4): 2848-2864.
- [22] 袁小茹, 刘新, 王子怡, 等. 水稻光信号转导研究进展 [J]. *杭州师范大学学报 (自然科学版)*, 2023, 22 (3): 280-289.
- [23] LI X, WANG H B, JIN H L. Light signaling-dependent regulation of PSII biogenesis and functional maintenance [J]. *Plant Physiology*, 2020, 183 (4): 1855-1868.
- [24] 韦朝妹, 胡小京, 李晓慧, 等. 不同 LED 补光时长对多肉 '艳日辉' 形态及生理的影响 [J]. *分子植物育种*, 2023, 21 (7): 2356-2364.
- [25] 刘庆. 不同光周期及光质对草莓生理特性及品质的影响 [D]. 泰安: 山东农业大学硕士学位论文, 2015.
- [26] 杜洪涛, 刘世琦, 张珍. 光质对彩色甜椒幼苗生长及酶活性影响 [J]. *华北农学报*, 2005, 20 (2): 45-48.
- [27] 孔云, 王绍辉, 沈红香, 等. 不同光质补光对温室葡萄新梢生长的影响 [J]. *北京农学院学报*, 2006, 21 (3): 23-25.
- [28] 张上隆. 不同光质对草莓叶片光合作用和叶绿素荧光的影响 (英文) [C]//张上隆果树学文选编委会. 张上隆果树学文选. 杭州: 浙江大学出版社, 2006: 343-354.
- [29] 褚润, 陈年来. UV-B 辐射增强对芦苇光合生理及叶绿体超微结构的影响 [J]. *应用生态学报*, 2017, 28 (11): 3515-3520.
- [30] 符真珠, 蒋卉, 王锐, 等. 矮牵牛 BBX 基因家族成员鉴定及对不同光质的表达响应 [J]. *植物生理学报*, 2021, 57 (1): 50-58.
- [31] 江明艳, 潘远智. 不同光质对盆栽一品红光合特性及生长的影响 [J]. *园艺学报*, 2006, 33 (2): 338-343.

The Effect of Different LED Light Ratios on the Growth of Rosa Creamy Eden

HAN Yufeng¹, LU Junhong^{1,2}, WANG Xiang¹, NING Tiao¹, NIU Yanfen¹, DENG Changjun³, HAN Chengchou¹, LI Jing^{1,4}

(1. Engineering Research Center for Urban Modern Agriculture of Higher Education in Yunnan Province, School of Agronomy and Life Sciences, Kunming University, Kunming, Yunnan, China 650214; 2. Forestry College of Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan, China 650224; 3. Yunnan Hanzhe Technology Co., Ltd., Kunming Yunnan, China 650106; 4. Shangri-la Zangmei Agriculture Technology Co., Ltd., Diqing, Yunnan, China, 674400)

Abstract: To investigate the effects of different light quality ratios on the growth and physiological characteristics of Rosa Creamy Eden, this study used white light as a control and set up three light treatments: red light 6: blue light 2 (R6/B2), red light 7: blue light 2 (R7/B2), and red light 8: blue light 1 (R8/B1). The dynamic changes in plant height, stem thickness, crown width, and chlorophyll content were measured. The results showed that the plant height increased the fastest under the R8/B1 treatment (difference of 10.4 cm), the crown width expanded the most significantly under the R6/B2 treatment (difference of 16.4 cm), and the white light treatment had the best effect on stem thickness growth (difference of 1.46 cm). Based on comprehensive growth indicators, R8/B1 treatment is the optimal light quality ratio. In terms of chlorophyll content, the white light and R8/B1 treatment groups initially decreased and then recovered to increase, while the R6/B2 and R7/B2 treatment groups continued to decrease, indicating that the latter may inhibit photosynthesis. This study provides a scientific basis for the light environment regulation of facility cultivation of Rosa Creamy Eden.

Key words: Rosa Creamy Eden; LED light ratio; growth and development; physiological characteristics

(责任编辑: 陈伟超)