

# 不同红蓝光质比大花萱草组培苗增殖及生根的影响

刘伟超<sup>1</sup>,王 政<sup>1</sup>,何松林<sup>1,2\*</sup>,孟新亚<sup>1</sup>,宋盈龙<sup>1</sup>,袁晓绘<sup>1</sup>

(1.河南农业大学 林学院,河南 郑州 450002;2.河南科技学院 园艺园林学院,河南 新乡 453003)

**摘 要:**以大花萱草组培苗为材料,研究不同红蓝光质比 LED 对组织培养过程中增殖及生根的影响。结果表明,红光更利于大花萱草丛生苗生物量和可溶性糖以及生根苗株高和生物量的增加,但不利于大花萱草色素和可溶性蛋白的积累;蓝光有利于大花萱草色素和可溶性蛋白的合成,但不利于生根苗叶数、根数和生物量的增加;红蓝组合光有助于提高丛生苗增殖系数、生根苗叶数和根系活力,并能够促进大花萱草可溶性糖和可溶性蛋白的合成和积累。综合考虑各项指标,大花萱草增殖阶段的最适光质为红蓝光质比 1:1,大花萱草生根阶段的最适光质为红蓝光质比 6:4,该结果为 LED 光质在大花萱草组织培养中的应用奠定基础。

**关键词:**LED;红蓝光;大花萱草;增殖;生根

**中图分类号:**S687.2      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2019)02-0134-06

## Effects of Different Red and Blue Light Quality Ratios on Multiplication and Rooting of *Hemerocallis middendorffii* Plantlets *in vitro*

LIU Wei-chao<sup>1</sup>, WANG Zheng<sup>1</sup>, HE Song-lin<sup>1,2\*</sup>, MENG Xin-ya<sup>1</sup>, SONG Ying-long<sup>1</sup>, YUAN Xiao-hui<sup>1</sup>

(1. College of Forestry, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, Henan, China;

2. College of Horticulture and Landscape Architecture, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, Henan, China)

**Abstract:** *Hemerocallis middendorffii* plantlets were used as materials to investigate the effects of different red and blue light quality ratios on multiplication and rooting *in vitro*. The results showed that red light was more conducive to the increase of biomass and soluble sugar of shoots and the height and biomass of rooting seedlings, but it was not conducive to the accumulation of pigment and soluble protein. Blue light was beneficial to the synthesis of the pigment and soluble protein, but it was not conducive to the increase of leaf number, root number and biomass of rooting shoots. The combination of red and blue light was favorable to increase the multiplication coefficient of the shoots, the number of rooted shoots, and the root activity, and could promote the synthesis and accumulation of soluble sugar and soluble protein. Considering each index comprehensively, the optimum light quality in the multiplication stage was the combination of red to blue light with a ratio of 1:1, in the rooting stage, the ratio was 6:4. The results would lay a foundation for the application of LED light quality in tissue culture of *H. middendorffii*.

**Key words:** LED; red and blue light; *Hemerocallis middendorffii*; multiplication; rooting

在环境因素中,光是影响植物生长和发育最重要的变量因素之一<sup>[1]</sup>。光信号被认为是一个复杂的植物感光系统,与蛋白质、离子和激素协调作用,调

控基因的表达,影响植物的形态建成、生理代谢和生长发育<sup>[2]</sup>。在植物培养环境中,发光二极管 LED 与普通荧光灯相比,具有光质可调、波长设置方便、体

收稿日期:2018-05-25 修回日期:2018-07-01

基金项目:国家农业科技成果转化资金项目(2012D0001018);河南省产学研合作项目(162107000068);河南省高校科技创新团队支持计划(13IRTSTHN005)。

作者简介:刘伟超,男,在读硕士,研究方向:园林植物生物技术。E-mail:liuweichao1991@126.com

\*通信作者:何松林,男,教授,研究方向:园林植物生物技术。E-mail:hsl123@163.com

积小、发热少和省电等优势,应用于植物组织培养能够节约成本,提高组培苗的产量和品质<sup>[3]</sup>。不同 LED 光质产生不同的光信号,影响着组培苗的生长发育,同时不同植物在生长发育的不同阶段对光质的响应也有所不同<sup>[4-5]</sup>,在红掌<sup>[6]</sup>、香草兰<sup>[7]</sup>、红叶石楠<sup>[8]</sup>等多种植物组培苗中已有相关报道。

大花萱草(*Hemerocallis middendorffii*)为园艺杂交种,叶似兰草、花似百合,具有观赏价值高、适应性强和栽培管理简单等特点,在我国园林绿化中广泛应用。目前市场对大花萱草需求量大,传统的分蘖繁殖存在繁殖系数低和速度较慢等缺点,远远不能满足市场的需要,已有报道应用植物组织培养技术对大花萱草进行工厂化育苗<sup>[9]</sup>。然而,在大花萱草工厂化育苗过程中,存在育苗品质不佳且消耗大量能源的问题,而采用 LED 光源可有效地解决上述问题<sup>[3]</sup>。因此,本试验以大花萱草组培苗为材料,研究 LED 光源不同红蓝光质比对其增殖及生根的影响,旨在探究大花萱草在不同生长阶段对光质的需求并获得精准的 LED 红蓝光质比,以期为生产中降低能耗并提高组培苗的品质,进一步为工厂化育苗专用光源的研发提供数据支持和理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

大花萱草“金娃娃”组培苗由山西省农业科学院提供。在无菌条件下,接种于 MS+0.2 mg/L 6-BA +0.2 mg/L KT +0.05 mg/L NAA +30 g/L 蔗糖(pH=5.80)的固体培养基上,在普通荧光灯培养条件(光照强度 40  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、温度(24±1)℃,光照时间 12 h/d)下进行培养。培养 20 d 后,随机选取生长状况及规格一致(株高约 1.5 cm)的组培苗作为供试材料。

### 1.2 试验设计

以 LED 红光 R(主波长 640 nm)和蓝光 B(主波长 464 nm)为光源,设置 100% R、80% R+20% B、70% R+30% B、60% R+40% B、50% R+50% B、100% B 6 种不同红蓝光质比处理<sup>[10]</sup>,以普通荧光灯光源作为对照(CK)。将供试组培苗在无菌条件下分别接种于 MS+2.0 mg/L 6-BA +0.5 mg/L NAA +30 g/L 蔗糖(pH=5.80)的增殖培养基和 1/2MS+0.5 mg/L IBA +30 g/L 蔗糖(pH=5.80)的生根培养基上,每瓶接种 3 株组培苗,每个处理接种 40 瓶,重复 3 次,接种后分别在不同的光照系统中培养,培养条件均为光照强度 40  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,温度(24±1)℃,光照时间 12 h/d,培养 40 d。

### 1.3 测定项目及方法

从各处理随机选择 15 株大花萱草组培苗,测定增殖系数、株高、叶数、根长、根数和鲜质量,经烘干(105℃烘箱内杀青 30 min,60℃下恒温干燥 48 h)后测定干样质量,重复 3 次。叶绿素含量测定采用无水乙醇和丙酮混合液提取法测定<sup>[11]</sup>,可溶性蛋白含量测定采用考马斯亮蓝法测定<sup>[11]</sup>,可溶性糖含量采用苯酚法测定<sup>[12]</sup>,根系活力测定 TTC 法测定<sup>[12]</sup>。以上各生理指标均随机从各处理选取 10 株试管苗混合均匀后测定,重复 3 次。

### 1.4 数据处理

采用邓肯氏新复极差测验法(SSR 法)检测不同处理间试验数据的差异显著性,显著性水平  $P \leq 0.05$ 。采用 DPS 7.05 和 Excel 2003 软件进行数据处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同红蓝光质比对大花萱草组培苗增殖阶段的影响

2.1.1 增殖系数和生物量 由表 1 可知,随着蓝光(B)比例的增加,大花萱草组培苗增殖系数呈现先增加后减少的趋势,在 70% R+30% B 处理出现最大值,其次是 50% R+50% B 和 60% R+40% B 处理,均显著高于对照(CK)。大花萱草组培苗在 100% R 处理鲜质量和干质量最大值,分别显著高于 CK 处理 48.76% 和 29.01%,其次是 80% R+20% B 处理,且发现随着蓝光比例的增加,大花萱草鲜质量和干质量呈逐渐减少后增加(当蓝光比例达到 50% 时)的趋势。可见,红光对大花萱草丛生苗生物量的积累,红蓝复合光对其增殖系数的增加有促进作用。

表 1 不同红蓝光质比对大花萱草丛生苗增殖系数和生物量的影响

Table 1 Effects of different red and blue light quality ratios on multiplication coefficient and biomass of <i>H. middendorffii</i> shoots			
处理	增殖系数 / 个	鲜质量 / (g · 株 <sup>-1</sup> )	干质量 / (g · 株 <sup>-1</sup> )
100% R	7.0±0.3cd	4.097±0.219a	0.169±0.005a
80% R+20% B	7.8±0.4abc	3.820±0.186a	0.161±0.004a
70% R+30% B	8.6±0.3a	3.249±0.272b	0.129±0.004de
60% R+40% B	8.0±0.3ab	2.505±0.154c	0.120±0.004e
50% R+50% B	8.2±0.2ab	3.137±0.122b	0.145±0.003b
100% B	7.6±0.2bcd	3.024±0.132bc	0.140±0.003bc
CK	6.8±0.34d	2.754±0.143bc	0.131±0.003cd

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

2.1.2 色素含量 由表 2 可知,大花萱草丛生苗叶

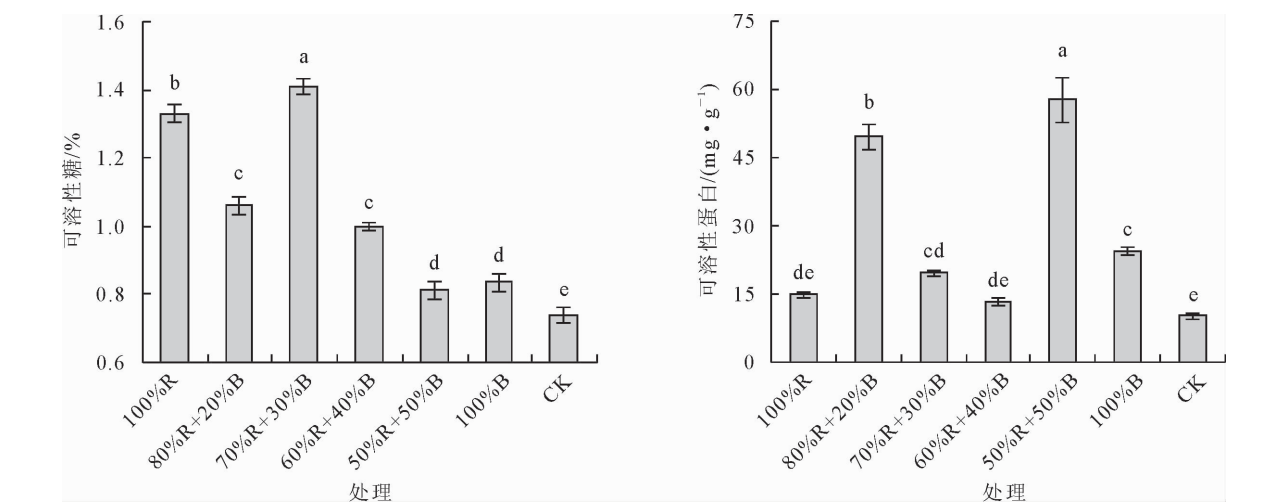
绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素 a+b 含量随着蓝光比例的增加均呈现先增加后减少的趋势,在 50%R+50%B 处理出现最大值,且发现含有蓝光处理的叶绿素含量均高于单色红光。类胡萝卜素含量最大值仍出现在 50%R+50%B 处理,显著高于其他处理。据此说明,50%R+50%B 处理能够显著促进大花萱草丛生苗色素的合成和积累,促进效果随着蓝光比例的增加表现更为显著。

2.1.3 可溶性糖和可溶性蛋白含量 由图 1 可知,大花萱草丛生苗可溶性糖含量在 70%R+30%B 处理出现最大值,其次是 100%R 处理,分别显著高于

CK 处理 90.41%和 79.87%,最小值出现在 CK 处理,显著低于红蓝光质比处理。丛生苗可溶性蛋白含量在 50%R+50%B 处理出现最大值,达到 57.67 mg·g<sup>-1</sup>,显著高于其他处理,其次是 80%R+20%B 处理,最小值仍出现在 CK 处理。同时发现在单色红光下可溶性糖含量显著高于单色蓝光处理,可溶性蛋白含量反之。可见,红光促进大花萱草丛生苗可溶性糖的合成,蓝光促进大花萱草可溶性蛋白的合成,而一定比例的红蓝光对可溶性糖和可溶性蛋白的合成均有促进作用。

表 2 不同红蓝光质比对大花萱草丛生苗色素含量的影响

Table 2 Effects of different red and blue light quality ratios on pigment content of <i>H. middendorffii</i> shoots (mg·g <sup>-1</sup> )				
处理	叶绿素 a	叶绿素 b	叶绿素 a+b	类胡萝卜素
100%R	0.179±0.006d	0.062±0.004f	0.241±0.008e	0.072±0.008b
80%R+20%B	0.267±0.005bc	0.100±0.009cd	0.367±0.011c	0.062±0.002bc
70%R+30%B	0.278±0.024b	0.111±0.003bc	0.389±0.026bc	0.046±0.002d
60%R+40%B	0.300±0.012b	0.128±0.007ab	0.427±0.005b	0.072±0.002b
50%R+50%B	0.366±0.013a	0.131±0.003a	0.498±0.015a	0.088±0.004a
100%B	0.236±0.005c	0.088±0.004de	0.324±0.006d	0.056±0.003cd
CK	0.189±0.011d	0.079±0.006ef	0.267±0.015e	0.048±0.004d



注:不同字母表示处理间差异显著(P<0.05)。下图同。

图 1 不同红蓝光质比对大花萱草丛生苗可溶性糖和可溶性蛋白含量的影响

Fig.1 Effects of different red and blue light quality ratios on soluble sugar and soluble protein contents of *H. middendorffii* shoots

2.2 不同红蓝光质比对大花萱草组培苗生根阶段的影响

2.2.1 形态 由表 3 可知,大花萱草生根苗株高在 50%R+50%B 处理出现最大值,其次是 70%R+30%B 和 80%R+20%B 处理,均显著高于 CK 处理。生根苗叶数和根数最大值均出现在 60%R+40%B 处理,分别显著高于 CK 处理 70.37%和 50.00%,最小值均出现在 100%B 处理,且显著低于 CK 处理。根长最大值出现在 80%R+20%B 处理,其次是 CK 处理。上述结果表明,60%R+40%

B 处理下大花萱草生根苗在生长特性方面总体表现最好,具有表现为叶数和根数均高于其他处理,株高和根长适中。

2.2.2 生物量 由表 4 可知,大花萱草生根苗总的鲜质量和干质量最大值均出现在 60%R+40%B 处理,其次是 70%R+30%B 和 50%R+50%B 处理,均显著高于 CK 处理,最小值出现在 100%B 处理,且显著低于 CK 处理。生根苗地上部鲜质量和干质量最大值仍均出现在 60%R+40%B 处理,其次是 50%R+50%B 和 100%R 处理,均显著高于 CK 处

表 3 不同红蓝光质比对大花萱草生根苗形态的影响

Table 3 Effects of different red and blue light quality ratios on morphology of <i>H. middendorffii</i> in vitro rooting				
处理	株高/cm	叶数/片	根数/条	根长/cm
100%R	7.06±0.22ab	7.00±0.32b	4.00±0.32cd	6.08±0.26b
80%R+20%B	5.10±0.27c	6.80±0.37b	6.20±0.49a	8.40±0.43a
70%R+30%B	7.30±0.26a	6.40±0.24b	6.00±0.32ab	6.62±0.78ab
60%R+40%B	7.24±0.09ab	9.20±0.37a	6.60±0.40a	6.00±0.34b
50%R+50%B	7.40±0.26a	7.40±0.40b	5.00±0.32bc	6.70±0.94ab
100%B	5.22±0.24c	3.40±0.24d	3.00±0.32d	6.18±0.64b
CK	6.50±0.34b	5.40±0.24c	4.40±0.24c	8.38±0.56a

表 4 不同红蓝光质比对大花萱草生根苗生物量的影响

Table 4 Effects of different red and blue light quality ratios on biomass of <i>H. middendorffii</i> in vitro rooting (g·株 <sup>-1</sup> )						
处理	鲜质量			干质量		
	总的	地上部	地下部	总的	地上部	地下部
100%R	1.034±0.021c	0.809±0.028bc	0.226±0.015d	0.102±0.004c	0.081±0.003c	0.021±0.002d
80%R+20%B	0.878±0.013d	0.535±0.013d	0.344±0.007b	0.076±0.005de	0.046±0.003e	0.030±0.002bc
70%R+30%B	1.150±0.048b	0.752±0.039c	0.398±0.018a	0.111±0.006bc	0.069±0.003d	0.042±0.003a
60%R+40%B	1.426±0.044a	1.067±0.048a	0.359±0.012ab	0.138±0.003a	0.105±0.003a	0.033±0.001b
50%R+50%B	1.136±0.041b	0.869±0.035b	0.267±0.012cd	0.119±0.004b	0.094±0.004b	0.024±0.003cd
100%B	0.589±0.008f	0.341±0.018e	0.249±0.014cd	0.065±0.004e	0.040±0.003e	0.025±0.002cd
CK	0.693±0.040e	0.401±0.025e	0.292±0.022c	0.082±0.003d	0.048±0.002e	0.034±0.001b

理,最小值仍出现在 100%B 处理。大花萱草生根苗在 70%R+30%B 处理下地下部鲜质量和干质量最大,显著高于 CK 处理,而最小值出现在 100%R 处理。综上表明,红光有利于大花萱草生根苗地上部生物量的积累,而蓝光对其地上部和地下部生物量的积累均有抑制作用,而一定比例的红蓝组合光对大花萱草地上部和地下部的积累具有促进作用。

2.2.3 根系活力 由图 2 可知,大花萱草生根苗根系活力在 80%R+20%B 处理出现最大值,其次是 60%R+40%B 处理,分别显著高于 CK 处理 186.36%和 154.41%,在 50%R+50%B 处理出现最小值,显著低于其他处理。可见,红蓝组合光对大花萱草生根苗根系活性的影响是一个复杂的调控过程,作用效果并不是单色光作用的简单累加。

2.2.4 色素含量 由表 5 可知,随着蓝光比例的增加,大花萱草生根苗叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a+b 和类胡萝卜素含量呈现先增后减再增的趋势,在 100%B 处理最大,分别显著高于 CK 处理 49.20%、16%、40.60%和 44.09%。在 80%R+20%B 处理大花萱草叶绿素 a 和类胡萝卜素含量最低,但与 CK 处理差异不显著。可见,蓝光显著提高大花萱草生根苗色素的含量,对色素合成和积累有促进作用。

2.2.5 可溶性糖和可溶性蛋白含量 由图 3 可知,随着蓝光比例的增加,大花萱草生根苗可溶性糖和可溶性蛋白含量均呈现先增加后减少的趋势,均在 60%R+40%B 处理出现最大值,分别显著高于 CK 处理 53.60%和 33.70%,最小值分别出现在 100%R

和 CK 处理。可见,60%R+40%B 处理有利于大花萱草生根苗可溶性糖和可溶性蛋白的合成和积累。

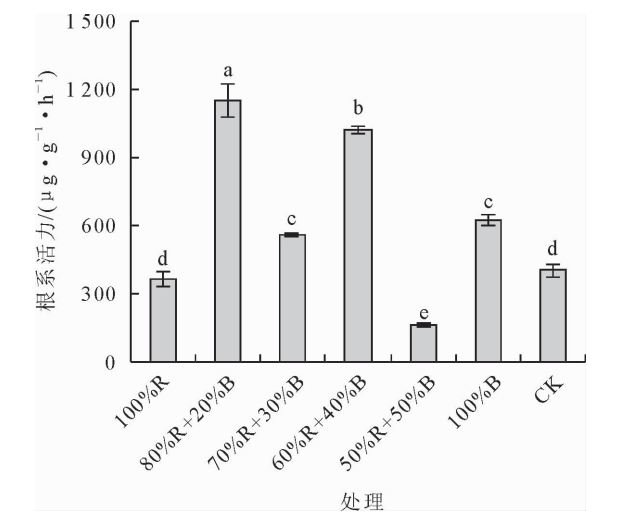


图 2 不同红蓝光质比对大花萱草生根苗根系活力的影响  
Fig. 2 Effects of different red and blue light quality ratios on root vigor of *H. middendorffii* in vitro rooting

3 结论与讨论

光可以提供植物生长发育所需的能量,又可通过光形态建成调控植物的形态发生,两者互为协调。本研究结果表明,在大花萱草增殖阶段中,红蓝组合光下增殖系数高于单色光 and 对照,该结果与 E. Martínez-Estrada<sup>[6]</sup>等在红掌和 D. H. Cao<sup>[13]</sup>等在蓝莓上的结果一致,表明红蓝组合光更能促进植物组培苗增殖系数的增加。光合色素能够通过影响植物

表 5 不同红蓝光质比 对大花萱草生根色素含量的影响

Table 5 Effects of different red and blue light quality ratios on pigment content of *H. middendorffii* in vitro rooting (mg · g<sup>-1</sup>)

处理	叶绿素 a	叶绿素 b	叶绿素 a+b	类胡萝卜素
100%R	0.432±0.025cd	0.106±0.008c	0.538±0.019cd	0.111±0.005bc
80%R+20%B	0.325±0.021e	0.073±0.004d	0.398±0.021e	0.088±0.007d
70%R+30%B	0.478±0.003bc	0.125±0.005b	0.603±0.005b	0.116±0.002ab
60%R+40%B	0.534±0.011ab	0.069±0.003d	0.603±0.009b	0.106±0.009bcd
50%R+50%B	0.460±0.023c	0.111±0.003c	0.570±0.021bc	0.107±0.006bcd
100%B	0.558±0.026a	0.145±0.004a	0.703±0.023a	0.134±0.011a
CK	0.374±0.026de	0.125±0.001b	0.500±0.028d	0.093±0.004cd

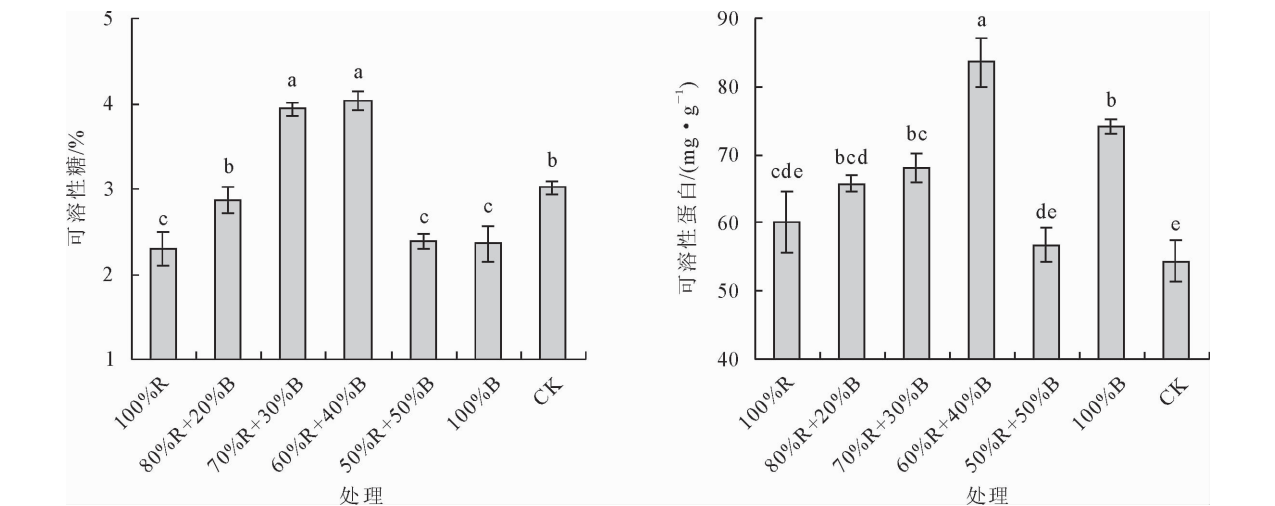


图 3 不同红蓝光质比 对大花萱草生根苗可溶性糖和可溶性蛋白含量的影响

Fig. 3 Effects of different red and blue light quality ratios on soluble sugar and soluble protein contents of *H. middendorffii* in vitro rooting

的光合速率从而影响植物的生长发育。与红光相比,蓝光显著促进叶绿体和类囊体的发育,同时蓝光引起与叶绿素合成有关的基因表达上调,从而使色素合成增加<sup>[14]</sup>。蓝光及红蓝组合光均对黄瓜<sup>[3]</sup>、红叶石楠<sup>[8]</sup>和蓝莓<sup>[13]</sup>叶片色素的合成有促进作用。本研究同样证明,红蓝组合光促进大花萱草丛生苗色素的合成,以 50%R+50%B 处理最佳,且随蓝光比例增加效果更为显著。

光质影响植物的可溶性糖和可溶性蛋白的合成和积累。据报道,红光可促进葡萄<sup>[14]</sup>、陆地棉<sup>[15]</sup>和生菜<sup>[16]</sup>体内可溶性糖的生物合成和积累,但会抑制可溶性蛋白的生物合成。相反,蓝光能促进蛋白质的合成抑制其分解,从而提高可溶性蛋白的含量<sup>[17]</sup>。本试验中,单色红光下可溶性糖含量显著高于单色蓝光处理,可溶性蛋白含量反之,而在红蓝混合光下可溶性糖和可溶性蛋白含量最大。说明红光有利于大花萱草丛生苗可溶性糖的合成,蓝光促进可溶性蛋白的合成,一定比例的红蓝光对可溶性糖和可溶性蛋白的合成均有促进作用。综上表明,当 LED 红蓝光质比为 50%R+50%B,最有利于大花萱草组培苗增殖培养。

不同光质对不同植物组培苗生根的影响各异。

研究表明,红光使蝴蝶兰生根苗株高、干质量和鲜质量增加,蓝光有利于其叶绿素的积累,并能提高根系活力<sup>[18]</sup>。本试验中,大花萱草生根苗的株高、叶数、根数、鲜质量和干质量最大值均出现在红蓝组合光下,且以 60%R+40%B 处理综合表现最好,说明红蓝组合光有助于生根苗形态发生和生物量积累,这与李杰<sup>[19]</sup>等对金线莲生根苗的研究结果一致。本研究中,大花萱草生根苗叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a+b 和类胡萝卜素含量均在 100%B 处理最大,且总体上随蓝光比例的增加而逐渐增加,这与本文中的大花萱草增殖阶段结果基本一致,说明蓝光对大花萱草生根苗色素合成和积累有促进作用。

本研究中,大花萱草生根苗可溶性糖和可溶性蛋白的含量最大值均出现红蓝组合光处理,这与大花萱草增殖阶段的研究结果一致,说明红蓝组合光有助于可溶性糖和蛋白的合成和积累,但不同的生长阶段最佳光质条件不一,这与 E. Martínez-Estrad 等在红掌<sup>[6]</sup>和任桂萍<sup>[18]</sup>等在蝴蝶兰研究结果一致。同时还发现随着蓝光比例的增加,大花萱草生根苗可溶性糖和可溶性蛋白的含量均呈现先增加后减小的趋势,与生根苗干质量和鲜质量的变化趋势基本一致,且最大值均出现在 60%R+40%B 处理,可能

是由于红光和蓝光相抑或互扬的叠加作用结果,具体作用机理有待进一步研究<sup>[8]</sup>。由上述可知,当 LED 红蓝光质比为 60%R+40%B,最有利于大花萱草组培苗生根培养。

参考文献:

[1] MC DONALD, M. S. Photobiology of higher plants[M]. John Wiley & Sons, 2003:113-147.

[2] DEVLIN P F, CHRISTIE J M, TERRY M J. Many hands make light work[J]. J. Exp. Bot. , 2007, 58:3071-3077.

[3] HERNANDEZ R, KUBOTA C. Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs[J]. Environmental & Experimental Botany, 2016, 121(1):66-74.

[4] 陈熙, 马丽娟, 蔡邦平. 光质对空间诱变野鸭椿组培苗生长及生理特性的影响[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(1):151-155.

CHEN X, MA L J, CAI B P. Effects of LED light quality on the growth and physiological characteristics of space mutation plantlets of *Euscaphis japonica*[J]. Journal of Northwest Forestry Universty, 2018, 33(1):151-155. (in Chinese)

[5] 纪思羽, 王政, 聂世煥, 等. 不同光质冷阴极荧光灯光照处理对红掌试管苗生长的影响[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(3):119-122.

JIS Y, WANG Z, NIE S H, *et al.* Effects of different light treatments of cold cathode flurescent lapms on the growth of *Authurium andraeanum* plantlets *in vitro* [J]. Journal of Northwest Forestry Universty, 2013, 28(3):199-122. (in Chinese)

[6] MARTINEZ-ESTRADA E, CAAMAL-VELAZQUEZ J H, MORALES-RAMOS V, *et al.* Light emitting diodes improve *in vitro* shoot multiplication and growth of *Anthurium andreanum* Lind [J]. Propagation of Ornamental Plants, 2016, 16(1):3-8.

[7] RAMIREZ-MOSQUEDA M A, IGLESIAS-ANDREU L G, LUNA-SANCHEZ I J. Light quality affects growth and development of *in vitro* plantlet of *Vanilla planifolia* Jacks[J]. South African Journal of Botany, 2017, 109:288-293.

[8] 王政, 刘伟超, 何松林, 等. 红蓝光质比对红叶石楠试管苗生长和抗氧化酶活性的影响[J/OL]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2018, 46(10):1-7. [2018-05-15]. <https://doi.org/10.13207/j.cnki.jnwafu.2018.10.007>.

WANG Z, LIU W C, HE S L, *et al.* Effects of different light quality ratios of red/blue light on the growth and antioxidant enzyme activity of *Photinia fraseri* plantlets *in vitro*[J]. Journal of Northwest A&F University: Nat. Sci. Ed. , 2018, 46(10):1-7. [2018-05-15]. <https://doi.org/10.13207/j.cnki.jnwafu.2018.10.007>. (in Chinese)

[9] 张伟丽, 金欣庆. 大花萱草新品种‘奶油卷’的组织培养和生产应用[J]. 植物生理学通讯, 2007, 43(1):129-130.

ZHANG W L, JIN X Q. Tissure culture and application of *Hemerocallis middendorffii* Trautv. et Mey cv. Betty wods [J]. Plant Physiology Communications, 2007, 43(1):129-130. (in Chinese)

[10] 尚文倩, 王政, 何松林, 等. 不同红蓝光质比和光照强度对金娃娃萱草试管苗生长的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2017, 45(7):90-96.

SHANG W Q, WANG Z, HE S L *et al.* Effects of different light quality ratios and intensity of red/blue light on the growth of *Hemero-callis middendorffii* plantlets *in vitro*[J]. Journal of Northwest A&F University: Nat. Sci. Ed. , 2017, 45(7):90-96. (in Chinese)

[11] 赵世杰. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 1998:68-72, 123-125.

[12] 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, 2000:119-120, 164-169.

[13] CAO D H, HONG C H, KIM S K, *et al.* LED light for in vitro and ex vitro efficient growth of economically important high-bush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2016, 38(6):1-9.

[14] LI C X, XU Z G, DONG R Q, *et al.* An RNA-Seq analysis of grape plantlets grown *in vitro* reveals different responses to blue, green, red LED light, and white fluorescent light[J]. Frontiers in Plant Science, 2017(8):78.

[15] LI H, XU Z, TANG C. Effect of light-emitting diodes on growth and morphogenesis of upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) plantlets *in vitro* [J]. Plant Cell Tissue & Organ Culture, 2010, 103(2):155-163.

[16] WANG J, WEI L, TONG Y, *et al.* Leaf morphology, photosynthetic performance, chlorophyll fluorescence, stomatal development of lettuce (*Lactuca sativa* L.) exposed to different ratios of red light to blue light[J]. Frontiers in Plant Science, 2016(7):250.

[17] BIAN Z H, YANG Q C, LIU W K. Effects of light quality on the accumulation of phytochemicals in vegetables produced in controlled environments: a review[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2015, 95(5):869-877.

[18] 任桂萍, 王小菁, 朱根发. 不同光质的 LED 对蝴蝶兰组织培养增殖及生根的影响[J]. 植物学报, 2016, 51(1):81-88.

REN G P, WANG X J, ZHU G F. Effect of LED in different light qualities on growth of *Phalaenopsis* plantlets[J]. Chiese Bulletin of Botany, 2016, 51(1):81-88. (in Chinese)

[19] 李杰, 王再花, 刘海林, 等. 不同光质的 LED 对 2 种金线莲组培苗增殖、生根及生长的影响[J]. 热带作物学报, 2017(9):1666-1670.

LI J, WANG Z H, LIU H L, *et al.* Effect of LED in different light qualities on propagation, rooting and growth of *Anoec-tochilus roxburghii* plantlets[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2017(9):1666-1670. (in Chinese)