

· 技术方法 ·

# 不同光质的LED对蝴蝶兰组织培养增殖及生根的影响

任桂萍<sup>1,2</sup>, 王小菁<sup>1</sup>, 朱根发<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>华南师范大学生命科学学院, 广东省植物发育生物工程重点实验室, 广州 510631

<sup>2</sup>广东省农业科学院环境园艺研究所, 广东省园林花卉种质创新与利用重点实验室, 广州 510640

**摘要** 以蝴蝶兰(*Phalaenopsis* ssp.)栽培种绿熊(Green Bear)和大辣椒(Big Chilli)为培养材料, 研究不同光质的发光二极管(LED)组合对组织培养过程中增殖及生根的影响。结果表明, 红光更有利于蝴蝶兰单芽增殖、干重、鲜重以及株高的增加, 但不利于叶片叶绿素的积累; 蓝光有利于叶片叶绿素的积累, 并能提高根系活力; 远红光则对根长和根系活力的增加作用更显著。增殖扩繁阶段的最适LED为暖白, 2种蝴蝶兰芽增殖系数分别比白色荧光灯(对照)高出53.17%和46.37%。生根诱导阶段的最适LED组合为红:蓝:远红=3:6:1, 根长及根系活力均较对照显著增加。该研究结果为LED光源在蝴蝶兰组织培养中的应用奠定了基础。

**关键词** 发光二极管, 光质, 蝴蝶兰, 组织培养

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

蝴蝶兰(*Phalaenopsis* ssp.)是单子叶植物纲、兰科、蝴蝶兰属植物, 其花形奇特、姿态优雅且花期长久, 素有“洋兰皇后”的美誉, 并在国内外花卉市场上占有重要地位(张玉娟和朱根发, 2011)。生产上广泛应用的蝴蝶兰繁殖方式是组织培养技术, 常用的组织培养途径为丛生芽途径, 包括外植体诱导丛生芽、丛生芽增殖和生根壮苗3个阶段, 通常以白色荧光灯作为光源。发光二极管(light-emitting diode, LED)是一种能发光的半导体电子元件, 因具有光谱性能好、光效高、系统发热少、体积较小和寿命较长等优点(Massa et al., 2008), 在植物生理或栽培研究领域中的应用不断增加。不同植物在生长发育的不同阶段对光质和光强的需求各异, 因此LED光源的运用需要对不同物种进行分析和研究, 才能确定有效的LED配方并运用于生产实践。Hsu等(2010)在蝴蝶兰生根诱导研究中发现, 红光可以促进干重、鲜重和叶面积的增加, 但对根长没有显著影响。戴艳娇等(2010)也对蝴蝶兰生根诱导进行了研究, 发现红光不利于叶绿素的合成, 蓝光利于根的生长。这些研究仅针对单色红光、单色蓝光及未知比例的红蓝组合对蝴蝶兰生根的影响。本研究采用2种不同波长的红光、蓝光和远红光

LED作为光源, 组合成15种不同光质配比, 探讨它们对蝴蝶兰组培苗增殖及生根的影响, 旨在了解蝴蝶兰组织培养对光质的需求并获得精细的LED组合配方, 为生产中降低能源消耗并提高试管苗质量提供依据。

## 1 材料

实验于2013年7月至2014年7月在广东省农业科学院环境园艺研究所LED光照培养室进行。选用广东省农业科学院环境园艺研究所的蝴蝶兰(*Phalaenopsis* L.)品种中花系绿熊(Green Bear)和大花系大辣椒(Big Chilli)为材料, 以花梗诱导的且生长状态一致的第2代组培丛生芽开展实验。

## 2 培养基成分与培养条件

### 2.1 光源

不同波长的红光、蓝光、远红光LED以及光质的不同配比见表1。其中RED(630)和RED(660)是波长分别为630和660 nm的纯红光; BLUE是波长为450–480 nm的纯蓝光; RED(630)8B2、R(630)7B3、R(630)5B5、

收稿日期: 2014-11-15; 接受日期: 2015-04-14

基金项目: 广东省科技攻关重点项目(No.2011A020102007)和广东省战略新兴产业核心技术攻关项目(No.2012A020800003)

\* 通讯作者。E-mail: genfazhu@163.com

表1 LED不同光质配比

Table 1 The ratio of different light qualities of LED

Light treatment	Factors	Wavelength
RED(630)	Red	630 nm
R(630)8B2	Red:Blue=8:2	630 nm/450–480 nm
R(630)7B3	Red:Blue=7:3	630 nm/450–480 nm
R(630)5B5	Red:Blue=5:5	630 nm/450–480 nm
R(630)3B7	Red:Blue=3:7	630 nm/450–480 nm
R(630)2B8	Red:Blue=2:8	630 nm/450–480 nm
BLUE	Blue	450–480 nm
RED(660)	Red	660 nm
R(660)7B3	Red:Blue=7:3	660 nm/450–480 nm
R(660)5B5	Red:Blue=5:5	660 nm/450–480 nm
CW5R(630)5	Cold white:Red=5:5	630 nm/400–780 nm
Warm W	Warm white LED	400 nm–780 nm (the range of 500–780 nm accounts for 91.80%)
R(630)6B3FR1	Red:Blue:Far red=6:3:1	630 nm/450–480 nm/730 nm
R(630)4B4FR2	Red:Blue:Far red=4:4:2	630 nm/450–480 nm/730 nm
R(630)3B6FR1	Red:Blue:Far red=3:6:1	630 nm/450–480 nm/730 nm
WFL	White fluorescent tube	360–750 nm

R(630)3B7、R(630)2B8、R(660)7B3和R(660)5B5是不同的红(R)蓝(B)组合光(其中括号外的数字表示红和蓝光照强度所占比例), R(630)6B3FR1、R(630)4B4FR2和R(630)3B6FR1为添加波长为730 nm的LED远红光(FR)的红蓝组合光; CW5R(630)5表示白色LED(CW)和红色LED光强比例为5:5; Warm W为暖白光, 是一种提高了白光中红光比例的复合光, 500–780 nm波段光辐射占全部可见光辐射能的91.80%; WFL为对照白色荧光灯。LED灯管由无锡诺达克生物照明科技有限公司生产, 白色荧光灯由佛山电器照明股份有限公司生产。通过调节调光器, 用Apogee仪器(StellarNet, Inc. of 14390 Carlson Circle Tampa, Florida USA)测定光照强度。

## 2.2 培养基

增殖培养基: 1/2MS+0.05 g·mL<sup>-1</sup> NAA+3.0 g·mL<sup>-1</sup> 6-BA+2.0 g·mL<sup>-1</sup> AD+20 g·L<sup>-1</sup>蔗糖+100 mL·L<sup>-1</sup>椰汁+6 g·L<sup>-1</sup>琼脂; 生根培养基: 1/2MS+0.1 mg·L<sup>-1</sup> NAA+30 g·L<sup>-1</sup>蔗糖+100 mL·L<sup>-1</sup>椰汁+100 mg·L<sup>-1</sup>活性炭+6 g·L<sup>-1</sup>琼脂; pH6.0, 121°C高压灭菌30分钟。

## 2.3 增殖和生根培养

把保存的第2代无菌苗丛生芽切割分成单芽, 将生长状态基本一致的单芽分别接种至增殖培养基和生根

培养基中, 分别进行增殖培养和生根培养; 每瓶接种5个芽, 每处理接种7瓶, 标记并随机置于15组不同光谱的LED和白色荧光灯下培养60天, 光强20 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>, 光照时间12小时/天, 培养温度(25±2)°C, 相对湿度50%–60%。各处理的培养条件, 除光质不同外, 其它参照蝴蝶兰种苗生产上的常用条件且保持一致。实验设置3次生物学重复。

## 2.4 形态和生理生化指标测定

株高和根长用游标卡尺(精确度0.01 mm)测量。鲜重和干重(80°C烘箱48小时烘干至恒重)用电子天平称量。叶绿素的测定参照王学奎(2006)的方法。称取由上往下第2个叶片0.5 g, 剪碎, 放入5 mL 95%乙醇中研磨, 用95%乙醇定容至10 mL, 在波长665和649 nm下测定吸光度(OD), 计算公式为:

$$C_a = 13.95A_{665} - 6.88A_{649}$$

$$C_b = 24.96A_{649} - 7.32A_{665}$$

叶绿素含量计算公式为:

$$\text{叶绿素含量}(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}) = C \times (V/1000) \times (N/W)$$

式中, C为色素含量(mg·L<sup>-1</sup>), V为提取液体积(mL), N为稀释倍数, W为样品质量(g)。统计单芽诱导出的1 cm以上芽的数量, 增殖系数计算公式为:

$$\text{增殖系数} = \text{单芽总数} / \text{接种芽数}$$

统计每个单芽诱导出的1 cm以上的根数量。生根率计

算公式为:

$$\text{生根率} = (\text{生根的芽数量} / \text{接种芽数}) \times 100\%$$

随机取出10株组培苗进行驯化移栽30天,成活率计算公式为:

$$\text{成活率} = (\text{成活幼苗数} / \text{移栽幼苗总数}) \times 100\%$$

根系活力测定参照白宝璋等(1994)的四氮唑(TTC)法。实验重复3次。

## 2.5 数据处理

采用SPSS13.0软件的Duncan方法检验不同处理间的差异显著性,显著水平 $P < 0.05$ 。

## 3 结果与讨论

### 3.1 LED不同光质对比对蝴蝶兰单芽增殖扩繁的影响

#### 3.1.1 增殖系数

增殖系数即平均每个单芽经扩繁培养得到的丛生芽中含有的可使用的单芽数目,是蝴蝶兰扩繁实验中最重要指标。不同LED光质条件下,各处理组增殖系

数较对照都有一定程度的增加(表2)。绿熊的增殖系数在Warm W处理下最大(3.14),与对照相比提高了53.17%。在两个波长的纯红光下,单芽数目也比对照有显著增加。RED(630)、RED(660)和Warm W处理下,丛生芽数大于等于3的外植体的比例均超过50%(对照仅为22.08%);同样,3个处理下丛生芽数不小于4的外植体数也达到了总数的25%或以上,对照组仅为6.49%。大辣椒的增殖系数则是在630 nm的纯红光下最大,Warm W次之,分别比对照组提高了59.42%和46.37%。红光成分较多的几个光质配比,丛生芽数量也较对照显著增加。从丛生芽数不小于3的外植体数量来看,RED(630)、RED(660)和Warm W处理均达25%以上。结果表明,红光有利于蝴蝶兰的单芽增殖,RED(630)、RED(660)和Warm W三种光质对加强蝴蝶兰增殖效果明显,且各处理组均没有出现变异丛生芽。

#### 3.1.2 鲜重和干重

如表3所示,不同光质LED组合对绿熊品种的无根组培苗鲜重和干重没有显著影响,但在红光成分较多的

表2 不同光质的LED处理下蝴蝶兰单芽增殖系数

Table 2 Multiplication coefficient of *Phalaenopsis* shoot under different light qualities of LED

Light treatment	Green Bear			Big Chilli	
	Multiplication coefficient	Ratio (%) (number of shoot $\geq 3$ )	Ratio (%) (number of shoot $\geq 4$ )	Multiplication coefficient	Ratio (%) (number of shoot $\geq 3$ )
RED(630)	2.85±0.16 c	51.39	25.00	2.20±0.14 g	34.55
R(630)8B2	2.26±0.13 a	38.46	11.54	1.85±0.11 cdef	18.52
R(630)7B3	2.33±0.14 a	36.84	13.16	1.78±0.12 bcdef	12.73
R(630)5B5	2.19±0.15 a	32.43	9.46	1.63±0.09 abcde	9.26
R(630)3B7	2.14±0.12 a	25.71	10.00	1.69±0.11 abcdef	14.55
R(630)2B8	2.37±0.11 a	36.90	11.90	1.50±0.08 abc	3.57
BLUE	2.27±0.13 a	33.33	14.67	1.66±0.13 abcdef	16.00
RED(660)	2.80±0.15 bc	56.25	25.00	2.00±0.12 fg	32.14
R(660)7B3	2.13±0.13 a	35.94	9.38	1.86±0.10 defg	21.57
R(660)5B5	2.39±0.14 ab	40.26	18.18	1.75±0.11 bcdef	19.23
CW5R(630)5	2.43±0.15 ab	38.67	20.00	1.94±0.12 efg	20.75
Warm W	3.14±0.17 c	62.16	36.49	2.02±0.12 fg	26.98
R(630)6B3FR1	2.32±0.17 a	34.78	14.49	1.49±0.09 ab	6.38
R(630)4B4FR2	2.29±0.19 a	31.82	13.64	1.56±0.09 abcd	8.33
R(630)3B6FR1	2.35±0.11 a	37.84	10.81	1.45±0.09 ab	5.45
WFL	2.05±0.12 a	22.08	6.49	1.38±0.07 a	1.82

数据为平均值±标准误,数字后的不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。WFL: 白色荧光灯

Data were means±SE, different alphabet indicate the significant difference at  $P < 0.05$ . WFL: white fluorescent tube

表3 不同光质的LED对蝴蝶兰增殖培养中形态指标的影响

Table 3 Effects of different light qualities of LED on morphology of *Phalaenopsis*

Light treatment	Green Bear			Big Chilli		
	FW (g)	DW (mg)	Height (mm)	FW (g)	DW (mg)	Height (mm)
RED(630)	0.94±0.05 bcde	49.56±2.81 abc	38.16±1.31 ef	0.74±0.04 bc	41.28±5.24 ab	42.77±1.11 f
R(630)8B2	0.90±0.05 bcde	49.58±2.81 abc	36.63±1.13 cde	0.81±0.05 bcd	42.01±2.45 ab	36.61±1.03 cd
R(630)7B3	0.84±0.05 abc	47.30±3.33 ab	33.15±1.00 ab	0.75±0.05 bc	42.82±2.59 abc	34.21±0.99 bc
R(630)5B5	0.79±0.05 ab	47.86±3.34 ab	34.59±0.88 bcd	0.74±0.04 bcd	41.89±2.19 ab	34.20±0.86 bc
R(630)3B7	0.71±0.05 a	43.16±2.70 a	32.94±0.77 ab	0.73±0.04 bc	46.04±2.37 bc	28.98±1.09 a
R(630)2B8	0.80±0.06 ab	45.01±3.61 a	30.94±0.78 a	0.76±0.05 bcd	43.65±2.53 bc	32.53±0.85 b
BLUE	0.79±0.05 ab	53.30±3.35 abcd	39.68±0.89 f	0.74±0.04 bc	41.88±2.46 ab	37.79±1.01 de
RED(660)	0.83±0.05 abc	47.80±2.49 ab	37.41±0.90 def	0.89±0.05 d	53.17±7.59 c	42.78±1.26 f
R(660)7B3	1.04±0.05 e	56.86±1.77 bcde	37.18±0.92 def	0.68±0.04 b	40.16±2.74 ab	32.92±1.13 b
R(660)5B5	0.95±0.05 bcde	58.26±3.12 cde	32.93±0.76 ab	0.83±0.05 cd	42.41±2.14 ab	34.37±1.14 bc
CW5R(630)5	0.99±0.05 cde	56.80±3.06 bcde	34.94±0.96 bcd	0.75±0.04 bcd	47.30±2.94 bc	38.83±1.14 de
Warm W	1.04±0.06 e	60.25±3.61 de	36.37±1.08 cde	0.81±0.05 bc	41.76±2.27 ab	40.70±1.19 ef
R(630)6B3FR1	0.88±0.05 abcde	50.44±2.82 abcd	34.96±0.98 bcd	0.70±0.04 bc	43.67±2.11 bc	32.41±0.87 b
R(630)4B4FR2	1.04±0.08 de	63.37±4.68 e	34.47±1.22 bcd	0.81±0.03 bcd	49.82±2.56 bc	33.02±1.16 b
R(630)3B6FR1	0.86±0.04 abcd	51.89±2.46 abcd	34.69±0.91 bcd	0.69±0.04 bc	42.69±1.96 abc	31.55±0.98 ab
WFL	0.87±0.06 abcde	50.63±3.17 abcd	33.74±0.83 abc	0.53±0.03 a	32.59±1.60 a	31.32±0.98 ab

数据为平均值±标准误, 数字后的不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )。WFL: 白色荧光灯; FW: 鲜重; DW: 干重

Data were means±SE, different alphabet indicate the significant difference at  $P<0.05$ . WFL: white fluorescent tube; FW: fresh weight; DW: dry weight

处理下, 鲜重和干重较对照略有增加, 且均在Warm W处理下较大, 比对照组分别提高了19.54%和19.00%。大辣椒品种的无根组培苗在LED下的鲜重较对照均有显著增加, 660 nm纯红光处理下最大(0.89 g), Warm W次之, 对照仅有0.53 g; 干重则是在两种波长的纯红光和R(630)4B4FR2处理下较对照显著增加。结果表明, 红光有助于蝴蝶兰干重和鲜重的增加, 远红光成分含量较高的光质配比也利于鲜重和干重的增加。

### 3.1.3 幼苗株高

两品种在纯红光(包括630和660 nm)下株高较高, 并且随着红光的减少和蓝光的增加, 株高表现出逐渐降低的趋势(表3)。绿熊和大辣椒品种分别在组合光R(630)2B8和R(630)3B7下表现出最低值, 但在纯蓝光条件下株高值则较大, 表明红光可以促进蝴蝶兰植株高度的增加, 但红或蓝单色光比两者的组合光更利于植株高度的增加。

### 3.1.4 叶绿素含量

绿熊和大辣椒两个品种植株叶片的叶绿素总含量在

R(630)2B8处理下最大(图1)。纯红光处理下, 叶绿素a、b和a+b的浓度均最低, Warm W次之, 且在红光成分较多的处理下, 叶绿素含量均较低。因此红光不利于叶片叶绿素的合成。

## 3.2 LED不同光质配比对蝴蝶兰组培苗生根的影响

### 3.2.1 最大根长度和根数量

在R(630)4B4FR2、R(630)6B3FR1和R(630)3B6FR1三种添加远红光处理的条件下, 绿熊和大辣椒的根长与对照相比显著增加(表4; 图2), 两品种的幼苗根数目在3种添加远红光的处理下较对照显著增加或略有增加, 并且均在R(630)3B6FR1光质组合下达到最大值, 这说明添加一定比例的远红光有利于蝴蝶兰根的生长。RED(630)处理条件下两品种的根最短, 而添加蓝光的R(630)3B7和R(630)5B5处理达到最高。这表明相对于红光, 蓝光更有利于根长度的增加, 但相比纯蓝光, 增加一定比例红光的组合光更有利于根长度的增加。

### 3.2.2 根系活力、生根率和移栽成活率

绿熊和大辣椒品种的根系活力均在R(630)3B6FR1处

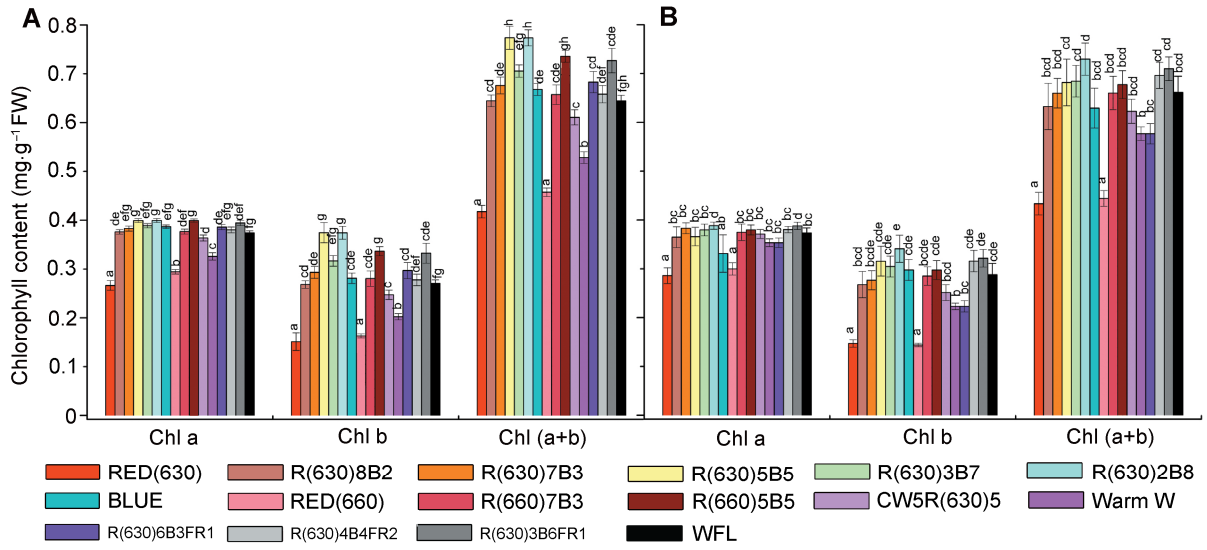


图1 不同光质LED对蝴蝶兰叶片叶绿素含量的影响  
(A) 绿熊叶绿素含量; (B) 大辣椒叶绿素含量。WFL: 白色荧光灯

Figure 1 Effects of different light qualities of LED on chlorophyll content of *Phalaenopsis* leaves  
(A) Chlorophyll content of Green Bear (B) Chlorophyll content of Big Chilli. WFL: white fluorescent tube

表4 不同光质的LED对蝴蝶兰组培苗生根的影响

Table 4 Effects of different light qualities of LED on rooting of *Phalaenopsis* plantlet

Light treatment	Green Bear			Big Chilli		
	Root length (mm)	Number of root	Root activity (mg·g <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )	Root length (mm)	Number of root	Root activity (mg·g <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )
RED(630)	19.11±0.76 a	3.78±0.22 cde	92.08±12.84 a	12.50±0.89 a	2.67±0.16 a	118.74±15.12 a
R(630)8B2	20.34±0.99 ab	3.36±0.20 abcd	106.1±16.47 ab	25.33±1.39 b	2.68±0.11 a	177.04±22.40 abc
R(630)7B3	20.50±0.86 ab	3.92±0.18 de	115.53±10.06 abc	30.65±1.42 cd	3.02±0.14 abc	185.91±20.58 abc
R(630)5B5	21.77±0.94 abc	2.88±0.16 a	148.8±26.45 abcd	37.38±1.88 fg	3.30±0.12 cde	201.35±30.95 abc
R(630)3B7	23.65±0.91 bcde	4.03±0.19 e	180.87±17.96 cd	36.20±1.38 efg	3.43±0.12 def	201.76±38.83 abc
R(630)2B8	21.08±1.02 abc	3.73±0.23 cde	211.99±18.74 de	36.56±1.75 efg	3.25±0.14 cde	271.84±49.93 cde
BLUE	22.80±1.18 bcd	3.07±0.20 ab	253.49±11.79 e	36.50±1.73 efg	3.42±0.14 def	323.20±73.13 de
RED(660)	20.93±0.97 ab	3.76±0.19 cde	166.72±3.95 bcd	33.77±1.51 def	3.82±0.14 f	148.01±16.17 ab
R(660)7B3	23.69±1.27 bcde	3.25±0.18 abc	182.35±25.72 cd	27.40±1.46 bc	3.19±0.14 cd	183.29±12.02 abc
R(660)5B5	20.82±0.95 ab	3.71±0.22 cde	259.68±29.63 e	31.12±2.77 cde	3.09±0.20 bc	261.83±39.75 bcde
CW5R(630)5	20.74±0.97 ab	3.53±0.16 bcde	171.98±33.48 bcd	31.54±1.90 cde	3.46±0.15 def	188.82±20.36 abc
Warm W	22.29±0.92 abcd	3.73±0.21 cde	211.05±17.48 de	30.66±2.00 cd	3.57±0.14 def	225.28±40.13 abcd
R(630)6B3FR1	24.27±1.01 cde	3.86±0.19 cde	260.63±29.06 e	39.22±1.83 fg	3.67±0.11 ef	351.65±24.40 ef
R(630)4B4FR2	26.40±1.29 e	3.75±0.15 cde	349.41±31.61 f	39.88±2.17 g	3.56±0.15 def	366.20±29.03 ef
R(630)3B6FR1	25.04±0.96 de	3.74±0.19 cde	369.49±36.35 f	40.35±2.08 g	3.58±0.15 def	449.72±57.66 f
WFL	20.53±1.06 ab	3.49±0.18 bcde	172.52±11.89 bcd	24.58±1.61 b	2.64±0.13 a	171.67±23.38 abc

数据为平均值±标准误, 数字后的不同字母表示差异显著(P<0.05)。WFL: 白色荧光灯

Data were means±SE, different alphabet indicate the significant difference at P<0.05. WFL: white fluorescent tube

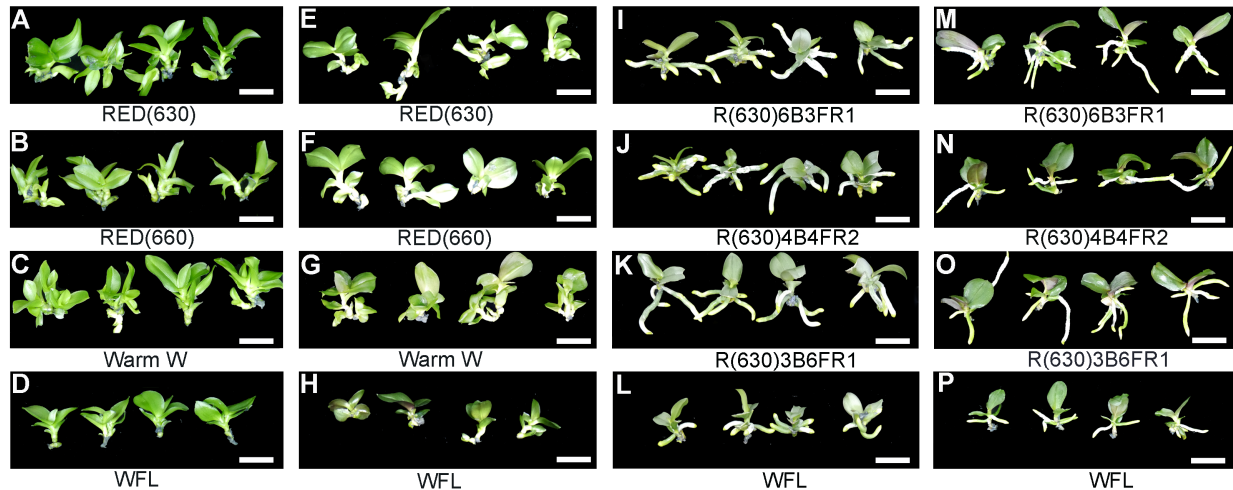


图2 部分LED光质下蝴蝶兰丛生芽增殖及幼苗生长状况

(A)–(D) 增殖培养60天后绿熊的丛生芽; (E)–(H) 增殖培养60天后大辣椒的丛生芽; (I)–(L) 生根培养60天后绿熊的幼苗; (M)–(P) 生根培养60天后大辣椒的幼苗。Bar=2 cm

Figure 2 The growth conditions of partial *Phalaenopsis's* plantlet under different light quality of LED

(A)–(D) Multiple shoots of Green Bear after 60 day's multiplication culture; (E)–(H) Multiple shoots of Big Chilli after 60 day's multiplication culture; (I)–(L) Plantlet of Green Bear after 60 day's rooting culture; (M)–(P) Plantlet of Big Chilli after 60 day's rooting culture. Bar=2 cm

理下最高,分别为 $369.49$ 和 $449.72 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ,而在RED(630)处理下均最低,其中绿熊较对照显著降低,大辣椒与对照没有显著差异(表4)。随着蓝光比例的增加,根系活力也不断增加,且660 nm红光条件下的根系活力较630 nm红光条件下更高,远红光的添加也使根系活力增加。这说明光质中的蓝光成分和远红光成分都有利于根系活力的增加。不同光质配比的LED处理后,两品种的生根率和成活率均接近100%,没有显著差异。

### 3.3 讨论

迄今为止,蝴蝶兰组织培养繁殖技术的研究,大多集中于外植体、培养基成分、激素配比、培养温度和光照条件等对试管苗增殖和生根的影响(Christenson, 2001)。随着在农业领域应用的不断增加,LED已在很多种植物的组织培养中得到了应用(闫新房等, 2009)。戴艳娇等(2010)和Hsu等(2010)研究了单一光质或未知比例LED组合对蝴蝶兰组培苗生根的影响,但未能给出最佳光质配比。因此,针对不同光质LED对蝴蝶兰组培苗芽增殖扩繁的研究尚未见报道。

本文的研究结果表明,在蝴蝶兰组织培养的增殖

阶段,红光可以促进芽的增殖,但不利于叶片叶绿素的合成,增殖过程中较低的叶绿素含量可以在生根阶段得到改善。刘晓青等(2013)发现红蓝光比为3:1时高山杜鹃(*Rhododendron lapponicum*)的芽再生率最高。陈志等(2012)发现甘蔗(*Saccharum officinarum*)在红蓝光比为4:1的光照条件下芽数量最多。对结球甘蓝(*Brassica oleracea* var. *capitata*) (郑子松等, 2013)和吊石苣苔(*Lysionotus pauciflorus*) (Lu et al., 2013)的研究均发现红光有利于芽的增殖。这与我们的研究结果一致,说明红光促进芽的增殖对植物具有普遍性,但不同植物对于光质中红光占的比例多少要求不尽相同。我们发现与对照相比,RED(630)、RED(660)和Warm W三种光质均在加强蝴蝶兰芽增殖方面有明显效果(图2),但绿熊在Warm W下增殖系数最高(3.14),而大辣椒在RED(630)条件下增殖系数最大(2.20),说明即使同一物种的不同品种对光质配比的需求也不完全一致。由于Warm W下蝴蝶兰的叶绿素含量高于RED(630),因此Warm W可以作为蝴蝶兰试管单芽增殖扩繁阶段的最适光源。

对大多数植物而言,红光都可以促进幼苗植株高度的增加(Tanaka et al., 1998; Hahn et al., 2000; 杜

建芳等, 2002; Kim et al., 2004; 邸秀茹等, 2008), 蓝光则利于根的生长(李韶山和潘瑞炽, 1994; 戴艳娇等, 2010), 这与本文的研究结果相似。然而, 远红光在植物组织培养中的应用较少, 在蝴蝶兰的组织培养中更是未见报道。本研究结果表明, 生根培养中, 幼苗干重、鲜重、株高及叶绿素含量与增殖培养中的趋势一致。我们发现, 添加了远红光的3个LED组合处理的根长和根系活力较对照显著增加, 干重、鲜重、株高和根数量较对照相当或略有增加。因此, 我们认为R(630)6B3FR1、R(630)4B4FR2和R(630)3B6FR1均可以作为蝴蝶兰生根诱导中的替代光质配比, 其中R(630)3B6FR1处理下叶绿素含量最高且根的活力最强, 因此我们认为R(630)3B6FR1为蝴蝶兰组织培养的最适光源。

综上, 我们的研究表明, 蝴蝶兰组织培养过程中的芽增殖阶段和生根培养阶段所需的LED光质配比是不同的。芽增殖阶段最适的LED为Warm W, 而生根培养阶段最适的光质配比为R(630)3B6FR1。红光可以促进蝴蝶兰地上部分生长, 而蓝光和远红光则可以促进地下部分生长, 这可能是由于不同光质通过影响相应光受体的活性进而影响激素水平, 从而影响植物的生长发育。具体机制还有待进一步研究。

## 参考文献

- 白宝璋, 金锦子, 白崧, 黄丽萍 (1994). 玉米根系活力TTC测定法的改良. 玉米科学 **2**, 44–47.
- 陈志, 孙庆丽, 汪一婷, 牟豪杰, 吕永平, 周迪江, 陈剑平 (2012). 不同光质对甘蔗组培苗的影响. 农业工程 **2**, 51–57.
- 戴艳娇, 王琼丽, 张欢, 代大勇, 文民操, 徐志刚 (2010). 不同光谱的LEDs对蝴蝶兰组培苗生长的影响. 江苏农业科学 **5**, 227–231.
- 邸秀茹, 焦学磊, 崔瑾, 刘晓英, 孔燕, 徐志刚 (2008). 新型光源LED辐射的不同光质配比光对菊花组培苗生长的影响. 植物生理学通讯 **44**, 661–664.
- 杜建芳, 廖祥儒, 叶步青, 李萌 (2002). 光质对油菜幼苗生长及抗氧化酶活性的影响. 植物学通报 **19**, 743–745.
- 李韶山, 潘瑞炽 (1994). 蓝光对水稻幼苗生长效应的研究. 中国水稻科学 **8**, 115–118.
- 刘晓青, 苏家乐, 陈尚平, 李畅, 项立平, 何丽斯 (2013). 高山杜鹃叶片再生和试管苗生长对不同LED光质的响应特征. 江苏农业学报 **29**, 1451–1455.
- 王学奎 (2006). 植物生理生化实验原理和技术(第2版). 北京: 高等教育出版社. pp. 134–136.
- 闫新房, 丁林波, 丁义, 何松林 (2009). LED光源在植物组织培养中的应用. 中国农学通报 **25**, 42–45.
- 张玉娟, 朱根发 (2011). 蝴蝶兰. 北京: 中国农业出版社. pp. 1–3.
- 郑子松, 王红, 王神云, 于利, 李建斌, 刁阳隆 (2013). LED光源对结球甘蓝(*Brassica oleracea* var. *capitata*)不定芽再生的影响. 天津农学院学报 **20**, 6–10.
- Christenson EA (2001). *Phalaenopsis, A Monograph*. London: Timber Press. pp. 294–320.
- Hahn EJ, Kozai T, Paek KY (2000). Blue and red light-emitting diodes with or without sucrose and ventilation affect *in vitro* growth of *Rehmannia glutinosa* plantlets. *J Plant Biol* **43**, 247–250.
- Hsu HC, Chen CC (2010). The effect of light spectrum on the growth characteristics of *in vitro* cultures of *Phalaenopsis*. *Propag Ornament Plants* **10**, 3–8.
- Kim SJ, Hahn EJ, Heo JW, Paek KY (2004). Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets *in vitro*. *Sci Hort* **101**, 143–151.
- Lu YX, Godo T, Fujiwara K, Guan KY, Mii M (2013). Effect of nitrogen source and wavelength of LED-light on organogenesis from leaf and shoot tip cultures in *Lysionotus pauciflorus* Maxim. *Propag Ornament Plants* **13**, 174–180.
- Massa GD, Kim HH, Wheeler RM, Mitchell CA (2008). Plant productivity in response to LED lighting. *Hortscience* **7**, 1951–1956.
- Tanaka M, Takamura T, Watanabe H, Endo M, Yanagi T, Okamoto K (1998). *In vitro* growth of *Cymbidium* plantlets cultured under super bright red and blue light-emitting diodes (LEDs). *J Hort Sci Biotech* **73**, 39–44.

## Effect of LED in Different Light Qualities on Growth of *Phalaenopsis* Plantlets

Guiping Ren<sup>1,2</sup>, Xiaojing Wang<sup>1</sup>, Genfa Zhu<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Guangdong Provincial Key Laboratory of Biotechnology for Plant Development, College of Life Sciences, South China Normal University, Guangzhou 510631, China; <sup>2</sup>Guangdong Key Laboratory of Ornamental Plant Germplasm Innovation and Utilization, Environmental Horticulture Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China

**Abstract** We used the aseptic seedlings of 2 cultivars (*Phalaenopsis* ssp. cv. 'Green Bear' and *Phalaenopsis* ssp. cv. 'Big Chilli') to investigate the effect of LED in different light qualities on multiplication and rooting *in vitro*. The experimental design included 15 different light sources composed of six kinds of LED light, namely RED(630), R(630)8B2, R(630)7B3, R(630)5B5, R(630)3B7, R(630)2B8, BLUE, RED(660), R(660)7B3, R(660)5B5, CW5R(630)5, Warm W, R(630)6B3FR1, R(630)4B4FR2, R(630)3B6FR1, and WFL (control). Under red light illumination, seeding growth and the number of shoots were promoted, but chlorophyll content of leaves was reduced, but it was increased under the mixture of blue and red LEDs. Blue light had a positive effect on chlorophyll content. Root activity was increased with increasing ratio of blue in the combined red and blue LEDs and increased under the three light sources supplemented with far-red light. Blue and far-red light were more effective in root length. Shoots could be more successfully induced under Warm W light. Compared with WFL light, the number of shoots of the 2 varieties was increased by 53.17% and 46.37%, respectively. Therefore, the best light recipe for the multiplication and rooting of *Phalaenopsis* were Warm W and R(630)3B6FR1 light. The present study provides a proof of application of LEDs in *Phalaenopsis* tissue culture.

**Key words** light-emitting diode, light quality, *Phalaenopsis*, tissue culture

**Ren GP, Wang XJ, Zhu GF** (2016). Effect of LED in different light qualities on growth of *Phalaenopsis* plantlets. *Chin Bull Bot* 51, 81–88.

---

\* Author for correspondence. E-mail: genfazhu@163.com