

不同光质对菊花组培苗生长的影响

魏 星, 顾 清, 戴艳娇, 徐志刚

(南京农业大学农学院, 南京 210095)

摘 要:【研究目的】该文研究新型光源 LED 辐射的不同光质对菊花组培苗生长的影响, 以期为植物组培专用 LED 光源的研发提供数据支持和理论依据。【方法】以菊花组培苗为试材, 采用 LEDs 光源发射的单体光谱红光 $[(625\pm 20)\text{ nm}]$ 、蓝光 $[(460\pm 20)\text{ nm}]$ 、远红光 $[(730\pm 20)\text{ nm}]$ 和绿光 $[(530\pm 20)\text{ nm}]$, 进行不同光质配比组合, 荧光灯作为对照, 对组培苗形态、生根, 色素含量, 碳氮代谢及抗氧化酶系活性进行差异比较。【结果】菊花组培苗在红光下徒长, 能效最大。蓝光下矮壮, 根系活力最大, 复合 LEDs 光质下, 组培苗形态正常。RBG 处理的菊花组培苗叶片色素含量最高。红光有利于叶绿素 b 的合成, 蓝光有利于叶绿素 a 的合成。单频红光处理的菊花叶片淀粉含量最高, RBG 处理的叶片可溶性糖、碳水化合物蔗糖、游离氨基酸含量最高。蓝光有利于蛋白质的合成, LEDs 光质处理的叶片 C/N 比高于荧光灯。【结论】LEDs 光源系统将成为植物组织培养的理想光源。

关键词:发光二极管; 光质; 菊花; 植物组织培养

中图分类号:S682.1+1 **文献标识码:**A

Different Light Qualities on Growth of Chrysanthemum (*Dendranthema morifolium*) Plantlets in vitro

Wei Xing, Gu Qing, Dai Yanjiao, Xu Zhigang

(College of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095)

Abstract: 【OBJECTIVE】The effects of different light qualities on growth of chrysanthemum in vitro under light-emitting diodes (LEDs) were investigated. 【METHOD】By arraying the different wave length and ratio of LEDs, the 7 kinds of light quality were built. The morphological and physiological characteristic, such as rooting, pigment content, carbon-nitrogen metabolism and antioxidative enzymes activities of chrysanthemum plantlets breeding 32-12 under the 7 kinds of light quality, were compared with fluorescent lamp. 【RESULTS】The results showed that greatest stem length and the highest energy efficiency was obtained under monochromatic red light. Under blue light, the plantlets were low and strong, and root vigor was highest. Plants grown in complex of LEDs showed normal growth. Pigments under RBG were higher than other treatments. Red light promoted the contents of Chl b, blue light promoted the contents of Chl a. The contents of starch in leaf is highest under monochromatic red light, RBG light stimulated the accumulation of soluble sugar, carbon hydrate, Amino acid Soluble. Blue light benefits to synthesize protein. Under LEDs, C/N ratios is higher than fluorescent lamp. 【CONCLUSION】It is reasonable to expect that the total LEDs irradiation system will be the major light source for plant tissue culture in future.

Key words: light emitting diodes, light quality, chrysanthemum (*Dendranthema morifolium*), plant tissue culture

基金项目:国家 863 计划“半导体照明光源在植物组培中的应用研究”(2006AA03A165); 江苏省自然科学基金(BK2004107); 南京农业大学 SRT 计划(0701A17)。

第一作者简介:魏星, 男, 1988 年出生, 江苏楚州人, 本科生。通信地址: 210095 南京农业大学农学院 29 号信箱, Tel: 15951926960, E-mail: 1115430@njau.edu.cn。

通讯作者:徐志刚, 男, 1967 年出生, 江苏靖江人, 副教授, 研究方向为组培微环境控制。通信地址: 210095 南京农业大学农学院, Tel: 13951879589, E-mail: xuzhigang@njau.edu.cn。

收稿日期:2008-09-17, **修回日期:**2008-10-19。

0 引言

【本研究的重要意义】光是植物生长发育的基本因素之一。光质对植物的生长、形态建成、光合作用、物质代谢以及基因表达均有调控作用^[1,2]。通过光质调节,控制植株形态建成和生长发育是设施栽培领域的一项重要技术。【前人研究进展】目前一些光质对植物生长发育影响的研究报告中存在不同程度的问题:如采用一些以肉眼区分颜色的彩色塑料膜、滤光膜或有色荧光灯等,光谱中有很多不必要的波长,对植物生长的促进作用少;光质不纯,影响试验结果的可靠性和可比性。【本研究切入点】新型半导体光源 Light emitting diodes (LEDs) 具有一系列传统电光源技术无可比拟的优点而日益受到关注。波长具体,可按照需要组合获得纯正单色光与复合光谱;光谱性能好,正好与植物光合作用和光形态建成的光谱范围吻合;光效高,可以集中特定波长的光均衡短距离的照射植物;系统发热少,占用空间小,可用于多层栽培立体组合系统,实现了低热负荷和生产空间小型化;由于这些显著的特征,LEDs 十分适合应用于可控设施环境中的植物栽培,如植物组织培养、设施园艺与工厂化育苗和航天生态生保系统等^[3,4]。国内外已有学者尝试用 LEDs 光源对植物照射补光的研究报道^[5-7],然而采用 LEDs 不同光质配比组合对菊花组培苗形态学、生理学和抗氧化酶系活性的

研究未见报道。【拟解决的关键问题】该文采用 LEDs 光源发射的单色光谱红光、蓝光、远红光和绿光,进行不同光质配比组合,研究不同光质对菊花组培苗生长的影响,以期对植物组培专用 LEDs 光源的研发提供数据支持和理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验时间、地点

实验于 2008 年 1 月—3 月在南京农业大学农学院组培室内进行。

1.2 试验材料

供试材料为菊花材料(*Dendranthema morifolium*)品种 31-12 组培苗。茎尖培养得到的株高 1.5 cm,三叶一心的组培苗接种在生根培养基 1/2 MS+25 g/L 蔗糖+6 g/L 琼脂,培养瓶容积为 350 ml,每瓶 6 株。高压灭菌前调节酸碱度至 pH5.8。培养室相对湿度(75±5)%,温度(25±2)℃。

1.3 方法

1.3.1 光质控制系统 LEDs 的光质控制系统如表 1 所示,W 为荧光灯。预培养 3 d 后随机分 8 组,每组 12 瓶,分别置于 7 种 LEDs 光源小区和 1 个荧光灯对照区。调节电流、占空比以及光源与植株的距离,使光量保持一致;16 h/d 光照周期。

表 1 LEDs 光质控制系统

光处理	光质	峰值波长/nm	波长半宽/nm	光量/($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	光量比例	功率/W
R	红	625	20	40	100%红	10.3
1RB	红+蓝	625+460	20	40	高红蓝比	11.0
2RB	红+蓝	625+460	20	40	中红蓝比	11.8
3RB	红+蓝	625+460	20	40	低红蓝比	12.4
B	蓝	460	20	40	100%蓝	17.3
RBFr	红+蓝+远红	625+460+715	20	40	定值	11.8
RBG	红+蓝+绿	625+460+530	20	40	定值	11.8
W	荧光灯	白光	--	40	—	80

1.3.2 指标测定 菊花组培苗在各光质下生长 30 d 后选完全展开的第 3 和第 4 片叶进行各项指标的测定。直尺测量株高、第三节间长、叶长、叶宽及根长,描叶法测定叶片面积;游标卡尺测量茎粗,打孔器打取直径为 0.5 cm 的叶片圆片 20 片,称量鲜重,比叶面积=鲜叶表面积/叶鲜重;叶绿素和类胡萝卜素含量的测定采用无水乙醇和丙酮体积比 1:1 浸提,置于暗处 12 h,混匀并取上清液用分光光度计测定吸光度值。称量鲜重后,放入 105℃烘箱杀青 15 min,烘干至恒重,称量干重;以全株干重与各光源所消耗功率的比值作为能效指标。保留干样,准确称量各光质下的叶片 0.1 g,采用

硫酸蒽酮法测量可溶性糖、淀粉含量,茚三酮法测定游离氨基酸含量,可溶性糖与游离氨基酸含量的比值为 C/N 比;称取新鲜叶片 0.1 g,磷酸缓冲液冰浴研磨,10000xg 冷冻离心 20 min 提取上清液 4℃保存备用,考马斯亮兰法测定可溶性蛋白,氮蓝四唑(NBT)法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性;愈创木酚法测定过氧化物酶(POD)活性;硫代芭比妥酸(TBA)比色法测定丙二醛(MDA)含量,以上实验方法参见文献[8],形态指标测定重复 6 次,生理生化实验重复 3 次。

1.3.3 统计分析 Excel 2003 进行数据整理,SAS9.0 进行方差分析,采用 LSD 进行多重比较, $P<0.05$ 。

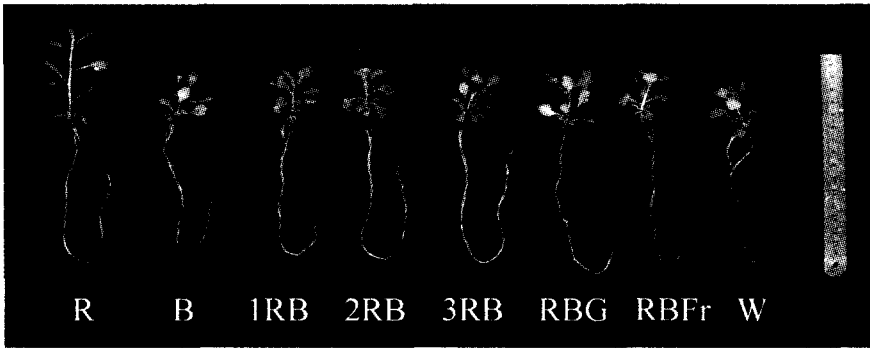


图 1 不同光质下的菊花组培苗形态学比较

表 2 不同光质对菊花组培苗形态的影响

处理	株高 /cm	茎粗 /cm	节间数 /个	第三节间长 /cm	叶片数 /个	叶长 /cm	叶宽 /cm	叶面积 /cm ²	比叶面积 /(cm ² ·g ⁻¹ FW)
R	7.067 a	0.087 d	8.75 bc	1.000 a	10.25 a	1.050 d	1.050 c	1.215 c	70.781 bc
B	2.550 d	0.104 a	9.25 b	0.450 b	12.25 a	1.550 ab	1.188 abc	1.841 ab	67.778 cd
1RB	2.583 d	0.095 bcd	9.25 b	0.313 cd	10.75 bc	1.400 bc	1.138 bc	1.595 b	66.790 cde
2RB	3.533 b	0.094 bcd	9.50 b	0.313 cd	12.25 a	1.425 abc	1.150 abc	1.651 ab	62.151 e
3RB	3.333 bc	0.092 cd	11.25 a	0.250 d	13.00 a	1.525 ab	1.288 a	1.960 a	64.082 de
RBG	3.583 b	0.103 ab	9.75 b	0.313 cd	12 ab	1.550 ab	1.263 ab	1.961 a	77.649 a
RBFr	3.117 c	0.101 abc	9.50 b	0.300 cd	12.25 a	1.563 a	1.188 abc	1.864 ab	76.288 ab
W	3.317 bc	0.091 d	7.75 c	0.350 c	10.25 c	1.350 c	1.150 abc	1.553 b	69.449 cd

注: 同列中不同小写字母表示差异极显著 ($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同光质对菊花组培苗形态的影响

光质对菊花苗的各项形态指标影响差异显著(图 1 和表 2)。红光处理的菊花徒长,这主要是由于第三节间过分伸长所致。蓝光与红蓝组合的菊花株高低于单纯红光和荧光灯,而茎粗显著大于单纯红光和荧光灯,植株较为矮壮。蓝光、红蓝组合及补充微量远红光和绿光处理的菊花叶片数显著多于单色红光和荧光灯,尤以低比率的红蓝组合 3RB 照射下生长的叶片数最多。LEDs 光质组合照射下的菊花组培苗的

叶长、叶宽和叶面积显著大于荧光灯。而比叶面积小于荧光灯。

2.2 不同光质对菊花组培苗生根的影响

光质对菊花组培苗的根长和根系活力影响显著(见表 3),2RB 处理的菊花组培苗单株根数高于荧光灯及其他处理。红光及荧光处理下的根长最大。单色蓝光处理菊花苗根系活力最大,3RB、RBG、RBFr 处理的根系活力较低。2RB 和 3RB 处理的菊花组培苗移栽适应性强,移栽全部成活。单色红光照射的组培苗因形态异常,根系活力较低,移栽成活率仅为 75%。

表 3 不同光质对菊花组培苗生根的影响

光质处理	根数 /根	根长 /cm	根系活力 / (mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	移栽成活率/%
R	7.25 a	20.65 a	56.791 ab	75%
B	5.25 b	17.275 de	62.867 a	90%
1RB	5.25 b	19.15 abc	46.584 bc	100%
2RB	8 a	18.625 bcd	46.098 bc	100%
3RB	5.75 b	17.4 de	41.723 c	95%
RBG	5.25 b	16.225 e	41.237 c	95%
RBFr	5.25 b	18 cd	39.050 c	80%
W	7.5 a	20.00 ab	27.385 d	80%

注: 同列中不同小写字母表示差异极显著 ($P<0.05$)。

2.3 不同光质对菊花组培苗色素含量的影响

叶绿素含量是光合能力的重要指标,类胡萝卜素保护叶绿素免受光氧化,增强其抗光抑制能力。不同光

质对菊花组培苗叶片色素含量的影响见表 4,RBG 处理的叶片叶绿素 a 含量、叶绿素 b、叶绿素 a+b 和类胡萝卜素含量最大。单色蓝光处理的叶片叶绿素 b、叶绿

素 a+b 和类胡萝卜素含量低于其它光质处理。单色红光处理的叶绿素 a 含量低于单色蓝光,叶绿素 b 反之。红蓝组合处理的叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a+b、类胡萝卜素含量要高于单独的红蓝光处理。

2.4 不同光质对菊花组培苗干重及根冠比含的影响

光质对菊花组培苗的干物质含量及根冠比影响差异显著。如表 5 所示,红光处理菊花组培苗的芽,整株干

物质含量高于其它光质处理。远红光和荧光灯处理的根干物质含量最低。红蓝组合 1RB、2RB 和的根冠比较大,说明干物质较多的分配到了地下部,促进根系的生长,而 R 反之,这可能是干物质或能量分配不均导致其徒长的原因。能效是单位发光功率所合成的植株干物量,在一定程度上代表着幼苗同化产物的累积量,可以看出 LEDs 光质能效高于荧光灯,单色红光的能效最高。

表 4 不同光质对菊花组培苗色素的影响(mg/g FW)

光处理	叶绿素 a	叶绿素 b	叶绿素	类胡萝卜素	Chl a/b
R	1.438 b	0.488cd	1.997 bc	0.423 c	2.947 c
B	1.463 b	0.470 d	1.933 c	0.418 c	3.113 a
1RB	1.527 b	0.493 cd	2.015 bc	0.438 bc	3.097 ab
2RB	1.610 ab	0.543 abc	2.153 abc	0.457 abc	2.995 cd
3RB	1.541 b	0.511 bcd	2.053 bc	0.446 bc	3.015 bc
RBG	1.778 a	0.595 a	2.373 a	0.504 a	2.988 c
RBFr	1.561 b	0.542 abc	2.103 bc	0.452 bc	2.880 d
W	1.640 ab	0.561 ab	2.200 ab	0.475 ab	2.923 cd

注:同列中不同小写字母表示差异极显著(P<0.05)。

表 5 不同光质对菊花组培苗干重及根冠比的影响

光处理	干重/g			能效/(g·kW ⁻¹)	根冠比
	根	芽	整株		
R	0.040 a	0.143 a	0.183 a	17.77	0.279 ab
B	0.037 a	0.142 a	0.179 a	16.27	0.255 b
1RB	0.042 a	0.137 a	0.179 a	15.17	0.308 a
2RB	0.041 a	0.140 a	0.181 a	14.60	0.290 ab
3RB	0.037 a	0.129 a	0.166 a	9.595	0.284 ab
RBG	0.037 a	0.128 a	0.165 a	13.98	0.283 ab
RBFr	0.035 a	0.125 a	0.161 a	13.64	0.281 ab
W	0.035 a	0.138 a	0.173 a	2.16	0.256 b

注:同列中不同小写字母表示差异极显著(P<0.05)。

表 6 不同光质对菊花组培苗叶片碳氮代谢的影响

光处理	可溶性糖 /(mg·g ⁻¹)	淀粉 /(mg·g ⁻¹)	碳水化合物 /(mg·g ⁻¹)	蔗糖 /(mg·g ⁻¹)	游离氨基酸	可溶性蛋白 /(mg·g ⁻¹)	C/N
R	33.766 cd	15.495 a	49.173 cd	55.385 b	9.974 d	7.111 c	3.386 bcd
B	37.673 cd	13.256 a	50.929 cd	48.842 c	9.480 de	9.161 a	3.994 abc
1RB	30.979 d	11.854 a	42.824 d	42.386 d	10.115 d	8.656 ab	3.072 cd
2RB	41.468 c	12.853 a	54.321 c	43.488 cd	12.794 c	6.763 c	3.226 cd
3RB	36.654 cd	13.552 a	50.206 cd	49.052 c	7.927 e	7.586 bc	4.651 a
RBG	63.540 a	14.078 a	77.619 a	76.518 a	25.169 a	7.061 c	2.527 de
RBFr	51.531 b	14.597 a	66.128 b	58.093 b	12.187 c	6.909 c	4.229 ab
W	39.796 cd	15.407 a	55.291 c	56.630 b	19.536 b	8.808 a	2.051 e

注:同列中不同小写字母表示差异极显著(P<0.05)。

2.5 不同光质对菊花组培苗叶片碳氮代谢和可溶性蛋白质的影响

碳氮代谢及二者之间的协调与植物的生长发育, 源库关系及生态适应性等生命活动有着非常密切的关

系。光质对菊花组培苗叶片的可溶性糖、碳水化合物、游离氨基酸和 C/N 比影响差异显著。如表 6 所示,单色红光与单色蓝光处理的叶片可溶性糖、碳水化合物、游离氨基酸含量低于荧光灯。RBG 处理的叶片可溶性

糖、碳水化合物、蔗糖含量较高,而荧光灯处理的叶片淀粉含量最高。LEDs 光质处理的 C/N 要高于荧光灯处理。1RB 组合处理的叶片碳含量较低,碳代谢缓慢。蓝光和荧光有利于可溶性蛋白质的合成。

3 讨论

3.1 光质对植物形态特征与生根的影响

该实验研究结果表明,单色红光下,菊花组培苗茎过度生长,节间增大导致株高最高,RBFR 组合植株较小,这与 Kim^[9]等的结果相似,而与刘再亮^[10]提出的远红光可增加植株节间长度和植株高度结论不符。推测不同植物种类的红/蓝光受体与隐花色素之间存在协同交互效应从而促进或抑制茎的延长。红光 LEDs 处理下的的能效最高。蓝光处理的茎粗壮,根冠比适宜,光合产物更有利于幼苗的健壮生长。研究发现,LEDs 处理的组培苗叶片叶长、叶宽和叶面积均高于荧光灯,而叶面积相反,可知 LEDs 照射可使叶片伸展同时增厚,有利于捕获更多的光能从而进行光合作用,合成并贮存光合产物。

3.2 光质对植物色素含量的影响

LEDs 发射的窄单色红光光谱和蓝光光谱,与光合色素,尤其是叶绿素 a、b 的吸收波长相匹配^[11],荧光灯处理的叶片叶绿素 b 和叶绿素 a+b 含量较大,RGB 处理的菊花组培苗叶片色素含量最大,尽管绿光不是光合作用的高效吸收光谱,但是补充绿光可以与红蓝光协同增益色素的合成。复合光谱中也可能存在其它颜色的光促进叶绿素的合成。Kim^[12]等研究指出绿光可以更多地穿透植物冠层,促进了下部叶片的光合作用,何小弟等^[13]指出绿光对组培苗生长作用的光质效应显著,光在组织中的作用,尚不仅受光敏色素的调控。研究发现单色红光有利于菊花组培苗叶片叶绿素 b 的合成,单色蓝光有利于叶绿素 a 的合成,这与江明艳等^[14]对盆栽一品红的研究结论不同。这可以看出,不同植物对光质的敏感性和响应不同,也可能与植物的生长状态(活体与离体)有关。2RB 处理的叶片叶绿素 b、叶绿素 a+b 含量较高,Chl a/b 反之。荧光灯处理的类胡萝卜素含量最高^[15],这与徐凯等^[16]不同光质下草莓叶片的叶绿素含量与 R/B 比值呈正相关的结论不同,原因可能与其实验采用滤光膜获得的光质不纯有关。

3.3 光质对植物生理生化的影响

Saebo^[17]认为红光抑制抑制光合产物从叶片输出来增加叶片的淀粉积累,此实验中,红光处理的菊花叶片淀粉含量最高,得到了有效验证。RBG 处理的叶片可溶性糖、碳水化合物蔗糖、游离氨基酸含量最高。LED 处理的 C/N 比高于荧光灯,代谢源中较低的碳氮

含量有利于叶片合成并输出较多的光合产物,这种受光敏色素调控的碳氮代谢的协调与平衡有利于植株的健壮生长,提高对环境的适应性。单色蓝光可溶性蛋白含量显著高于单色红光,这与张微慧等^[18]对不同光质下对蓝光促进果树的蛋白质积累的结论相同。

4 结论

不同光质对菊花组培苗形态及生根的影响不同。单色红光照射的苗徒长能效最大,移栽成活率低于复合 LEDs 和荧光灯处理,单色蓝光照射的苗矮壮且根系活力大。

不同光质对菊花组培苗色素含量的影响不同。RBG 处理的菊花组培苗叶片色素含量最高。红光有利于叶绿素 b 的合成,蓝光有利于叶绿素 a 的合成。中红蓝比处理的叶片叶绿素 b、叶绿素 a+b、类胡萝卜素含量较高,Chl a/b 反之。

不同光质对菊花组培苗的碳氮代谢和酶活性的影响不同。红光处理的菊花叶片淀粉含量最高,单色红光与单色蓝光处理的叶片可溶性糖、碳水化合物、游离氨基酸含量低于荧光灯,而 C/N 比高于荧光灯。RBG 处理的叶片可溶性糖、碳水化合物、游离氨基酸含量最高。蓝光利于蛋白质的合成。

荧光灯是植物组织培养主要的电光源,其光谱能量分布不符合植株需求、生物能效极低、发热量大,引起电能损耗和浪费^[19],此实验研究结果表明,光谱能量分布为红蓝、红蓝绿或红蓝远红的 LEDs 组合对菊花组培苗生长的效果优于荧光灯,能效远远高于荧光灯。随着 LEDs 技术的改进与发展,LEDs 光照系统将会替代荧光灯成为植物组织培养的理想光源。

参考文献

- [1] Naoya F, Mitsuko K F, Masami U, et al. Effects of light quality, intensity and duration from different sources on the growth of petunia (*Petunia × hybrida* Vilm.), J. Jpn.Soc. Hortic. Sci, 2002, 71: 509-516.
- [2] 宋庆安,童方平,易霭琴,等.光胁迫下欧洲莢蒾的光合生理生态特性.中国农学通报,2008,24(5):166-170.
- [3] 杨其长,张成波.植物工厂概论[M].北京:中国农业科学技术出版社,2005:146-147.
- [4] Guo S, Liu X, Ai W, Tang Y, Zhu J, Wang X, Wei M, Qin L, Yang Y. Development of an improved ground-based prototype of space plant-growing facility. *Advances in Space Research*. 2008, 41: 736-741.
- [5] 唐凤鸾,黄宁珍,黄志民,等.自然光照下补照不同光质光对马蹄莲光合速率及生长的影响.植物生理学通讯,2007,43(5):879-881.
- [6] Heo J, Lee C, Chakrabarty D, et al. Growth responses of marigold and salvia bedding plants as affected by monochromatic or mixture radiation provided by a light-emitting diode (LED). *Plant Growth Regul.*

- 2002, 38:225-230.
- [7] Lian M L, Murthy H N, Paek K Y. Effects of light emitting diodes on the in vitro induction and growth of bulblets of *Lilium oriental* hybrid 'Pesaro'. *Scientia Horticulturae*, 2002, 94:365-370.
- [8] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [9] Kim S J, Hahn E J, Heo J W, et al. Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets in vitro. *Scientia Horticulturae*, 2004, 101:143-151.
- [10] 刘再亮, 马承伟, 杨其长. 设施环境中红光与远红光比值调控的研究进展. *农业工程学报*, 2004, 20(1):270-273.
- [11] 吴沿友, 刘健, 胡永光, 等. 发光二极管作为组培光源的特性分析与应用. *江苏大学学报(自然科学版)*, 2007, 28(2):93-96.
- [12] Kim H H, Goins G D, Wheeler R M, et al. Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red- and blue-light-emitting diodes. *HortScience*, 2004, 39(7):1617-1622.
- [13] 何小弟, 邵耀春, 李良俊. 菊花组织培养过程的光质效应初探. *激光生物学*, 1993, 2(2):267-271.
- [14] 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. *园艺学报*, 2006, 33(2):338-343.
- [15] 许莉, 刘世琦, 齐连东, 等. 不同光质对叶用莴苣光合作用及叶绿素荧光的影响. *中国农学通报*, 2007, 23(1):96-100.
- [16] 徐凯, 郭延平, 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[J]. *中国农业科学*, 2005, 38(2):369-375.
- [17] Saebo A, Krekling T, Appelgren M. Light quality affects photosynthesis and leaf anatomy of birch plantlets in vitro. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 1995, 41:177-185.
- [18] 张微慧, 张光伦. 光质对果树形态建成及果实品质的生理生态效应. *中国农学通报*, 2007, 23(1):78-83.
- [19] Andrea K, Francisco J Z. Natural light as an alternative light source for the in vitro culture of banana. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 1999, 55:141-145.