

发光二极管作为组培光源的特性分析与应用

吴沿友, 刘建, 胡永光, 赵玉国, 李国祥

(江苏大学 江苏省现代农业装备与技术重点实验室, 江苏 镇江 212013)

摘要: 为实现组织培养光源的有效调控, 节约组培光照耗能, 同时为了解发光二极管(LED)光源对组培苗生长的影响, 从LED的光电、衰减、透光特性以及有效发光效能等几个方面对LED作为组培光源进行了特性分析。研究结果表明: LED光源透光性强、衰减有规律, 它的光电特性具有良好的线性关系, 有效发光效能也明显高于普通日光灯, 红、白光LED光源通过电能转化的有效光能达到了日光灯的3倍。同时, 通过对光源效果的试验研究, 结果表明, 蓝光LED光源处理的诸葛菜和油菜组培苗鲜重增量百分数最大, 分别达到了595%和490%, 碳酸酐酶活性最强, 分别达到了227和182 WAU g⁻¹FW。研究结果将为LED作为组培光源的控制提供理论依据。

关键词: 发光二极管; 组织培养光源; 有效发光效能; 诸葛菜; 油菜; 碳酸酐酶

中图分类号: S123; X173 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-7775(2007)02-0093-04

Characteristic analysis and application of light-emitting diode used as tissue culture light source

WU Yan-you, LIU Jian, HU Yong-guang, ZHAO Yu-guo, LI Guo-xiang

(Provincial Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)

Abstract: Characteristics of light-emitting diode (LED) used as tissue culture are analyzed about photoelectricity, attenuation, transmission and effective radiation efficiency etc. with the aim of light source effective control, energy saving, and attainment of LED effect on growth of culture seedlings. The result indicates that LED light source has good characteristics of photoelectric linearity and discipline of attenuation, the light source is quite excellent on penetration, the effective radiation efficiency of both red and white LEDs is three times higher than ordinary daylight lamp, and the increment percentages of fresh weight of blue LED-treated *Orychophragmus violaceus* and *Brassica juncea* plantlets among three color-radiated culture seedlings reach the maximum, at 595% and 490%, respectively and so do the activities of carbonic anhydrase which reach 227 and 182 WAU g⁻¹FW, respectively. The results provide theoretical basis the control of light sources tissue culture.

Key words: light-emitting diode; tissue culture light source; effective radiation efficiency;

Orychophragmus violaceus; *Brassica juncea*; carbonic anhydrase

发光二极管(light-emitting diode, 简称LED)是一种能将电能转化为光能, 在可见光、红外范围内, 通过P-N结或异质结注入, 由自发辐射非相干光

的固体发光器^[1]。由于发光二极管体积小, 可直接安装在培养容器上方, 可大大节省空间, 比传统方法增加有效培养室空间3倍以上; 而且耗能低, 几乎不

收稿日期: 2006-07-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40273038); 江苏大学高级人才科研启动基金资助项目

作者简介: 吴沿友(1966-), 男, 安徽贵池人, 教授, 博士生导师(yanyouwu@ujs.edu.cn), 主要从事农业生物环境与能源工程研究。

刘建(1981-), 男, 河南信阳人, 硕士研究生(starrain518@tom.com), 主要从事生物微环境控制研究。

发热,便于组培室的温度控制,节约能源。

光合色素的吸收光谱主要集中在波长为 610 ~ 720 nm 的红橙光及波长为 400 ~ 510 nm 的蓝紫光,而传统日光灯发射的光谱主要在 450 ~ 580 nm 之间,对光合作用起关键作用的红光区(610 ~ 720 nm)辐射却很低。LED 发射的窄单色红光光谱(620 ~ 625 nm)、蓝光光谱(470 ~ 475 nm),与光合色素,尤其是叶绿素 a, b 的吸收波长相匹配。白光 LED 发射的光谱在 420 ~ 490 nm 和 510 ~ 710 nm 范围内最强,也与植物光合色素吸收光谱吻合。加之,LED 光源能区分出不同的光质,不同的光质对植物生长的影响显著不同^[2-4]。因此,国内外已有一些科学家尝试用 LED 光源作为组培光源来提高组织培养效果^[5-7]。不过,这些科学家主要是研究 LED 光源对组培苗生长的影响,而对 LED 光源的一些物理特性及其对组培苗的生理指标的影响未进行研究。鉴于此,作者对 LED 光源的特性及其对一些生理指标的影响进行了研究,研究结果将为 LED 作为组织培养光源的精确控制提供科学依据。

1 LED 光源的特性分析

本试验选用的三种 LED 发光管的主要物理参数如表 1 所示,三种 LED 发光管直径均为 5 mm,光强度白光 LED 最强为 15 cd,红、蓝光 LED 最强为 6 cd。在稳定发光、额定工作状态下,红光 LED 发光管压降为 2.0 V,蓝、白光 LED 发光管压降为 3.5 V,三种 LED 发光管的额定电流均为 20 mA。

表 1 LED 发光管的主要物理参数
Tab. 1 Primary physical parameters of LED

	直径/ mm	光强度/ cd	额定压降/ V	额定电流/ mA	波长范围/ nm
红光	5	6	2.0	20	620 ~ 625
蓝光	5	6	3.5	20	470 ~ 475
白光	5	15	3.5	20	400 ~ 720

1.1 LED 光源的光电特性

把不同型号的 LED 发光管分别集成到电路设计相同的电路板上,发现其光强与电压均成明显的线性相关,而且不同发光管发光光强与电压关系也不同。图 1 表示的是在距光源板 15 cm 处光照度与电压的关系。

在 Excel 中进行一元线性回归分析,分别得到白、红、蓝三种 LED 发光极光照度与电压的一元线性回归方程。白光的回归方程: $y = 778.05x - 20\,957$,经

过显著性检验得到其相关系数的平方 $R^2 = 1.00$ 。红光、蓝光的回归方程和相关系数的平方分别为 $y = 161.45x - 2\,012.2$, $R^2 = 0.99$; $y = 282.88x - 8\,005.3$, $R^2 = 0.98$ 。因为三个相关系数都接近于 1,所以三种 LED 集成线路板发光光照度和电压间存在明显的线性相关。所以通过在一定范围内调节电压,就可以很好地调节光照度。而传统的组培光源只是通过调节开关灯的个数,达到调节光照度的目的,然而这就造成光源在空间上分布不均匀,在光源正下方的组培苗所接受的光照度明显高于其它地方,这样的调节结果必然导致组培苗生长发育的不均匀。而利用 LED 光源良好的光电特性能很好地解决传统的调节光照度的方式对工厂化、自动化育苗带来的诸多问题。

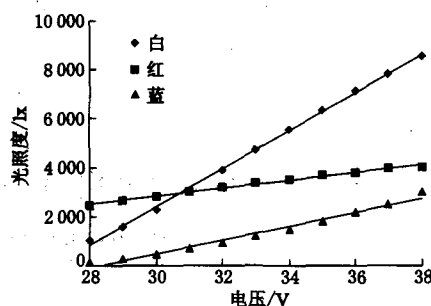


图 1 光照度与电压关系

Fig. 1 Relationship between illumination intensity and voltage

1.2 LED 光源辐射光的衰减性

光在传播过程中,由于传播介质和距离的影响,光的强度将发生衰减。由图 2 可以看到,白光、红光的光照度随距离的增加而衰减得越来越缓慢;而蓝光的光照度随距离的增加基本上成线性衰减。这是由于 LED 制造工艺决定了白、红光散射角很小,光辐射传播方向是垂直法向发光,光聚集度高穿透性强,当离 LED 光源板很近时,光强度会随距离增加而迅速下降,当距离增加到一定程度时,光源板基本上变成散射角度较大的点光源,光强度就会衰减得缓慢。而蓝光 LED 本身由于光散射角度较大,即使

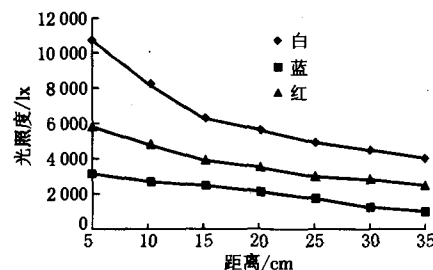


图 2 光的衰减性与距离间关系

Fig. 2 Relationship between photic attenuation and distance

离光源板很近,光的聚集度也不是很强,所以蓝色LED光源板的光照度基本上与距离成线性衰减.在利用LED光源板作为组培光源时,合理利用不同光源衰减的规律,把组培苗放置在一定的位置,就能起到充分利用光能,又能有效控制光衰减对组培苗光能吸收的影响.

1.3 LED光源辐射光的透射性

由于组培苗生长在培养瓶,瓶口用薄膜封住,组培光源传递给组培苗的光能一部分要被组培容器反射或折射,组培苗吸收的光能只是光源发射光能的一部分,所以瓶子内组培苗接收到的光辐射强度并不是实际测量得到的光强度.每一种光的透射率(瓶内的光照度与瓶外光照度的比值)也都是不同的.分别对红、蓝、白三种LED光源板以及传统日光灯进行瓶子内外光照度多次测量,并进行统计分析计算最后所得的透射率结果如表2所示.从表2看到,LED光源的透射性明显强于传统日光灯,其中红光LED光源最强,透射率接近0.70.所以从光能利用等方面来说,LED光源板的光能利用率明显高于传统日光灯,是一种新型高效节能的组培光源.

表2 不同LED光源及日光灯的透射率
Tab.2 Transmission rate of different LED and daylight lamp

光源种类	红光LED	蓝光LED	白光LED	日光灯
透射率	0.70	0.57	0.66	0.51

1.4 LED光源的有效发光效能

输入电光源的电能不能全部转化为可见光辐射能,其转化程度用发光效能来表示.发光效能是指可见光波段的辐射通量与输入电功率的比值,单位:lm/W.而实际上被组培苗利用的辐射光通量只占光源辐射光通量的一部分,这部分被组培苗利用的辐射光通量与输入电功率的比值才是光源的有效发光效能.根据公式:光照度=落在某面积上之光通量/此被照面面积,通过测量组培容器实际占用的面积以及光照度,就可以算出落在此面积上的光通量.算出的光通量与输入电能的比值就是光源的有效发光效能.通过测试和计算得到的有效发光效能如表3.

表3 不同LED光源及日光灯的有效发光效能
Tab.3 Effective radiation efficiency of different LED and daylight lamp

光源种类	红光LED	蓝光LED	白光LED	日光灯
有效发光效能/(lm/W)	7.31	2.59	6.75	2.4

由表3所示,红光LED的有效发光效能最高,白光其次,蓝光LED和日光灯最低.所以相比传统

的日光灯组培光源,LED光源在节能方面有着明显的优势.特别是红、白光LED光源通过电能转化的有效光能达到了日光灯的3倍左右.

2 光源效果研究

2.1 试验内容和方法

分别在白光、红光、蓝光LED光源以及日光灯处理下进行诸葛菜、油菜组培苗的对照试验.然后测定一个周期后组培苗鲜重、叶片碳酸酐酶的活性与叶绿素含量.组培苗采用的是普通日光灯下培养20d的诸葛菜、油菜转接继代培养苗,光周期为光16h,暗8h,光照度设定为4000lx,培养周期为15d.

2.2 生物量的测定

2.2.1 鲜重的测定

由于组培苗生长在无菌的小瓶子里面,所以为了防止污染,其鲜重的增加量就不能直接测量.具体方法是先称接种前带培养基的瓶子重量 M_1 ,然后再测量接种后的重量 M_2 ,两者之差($M_2 - M_1$)即为接种的幼小组培苗的重量.培养一个周期后,把组培苗用蒸馏水洗净,再用滤纸吸干后称量其重 M_3 .则 $[M_3 - (M_2 - M_1)]$ 即为经过培养后组培苗鲜重的增长量.每种处理取3~4瓶组培苗进行测量.

2.2.2 叶绿素含量的测定

叶绿素含量采用便携式叶绿素仪测定,分别对同一片叶测量5次,取其平均值.

2.2.3 碳酸酐酶活性的测定

碳酸酐酶活性测定采用的是应用较为广泛的pH计法,具体操作步骤参考文献[8].每种处理取3瓶组培苗进行测定.

2.3 试验结果与分析

由表4可以看出,经LED光源处理的组培苗鲜重增量明显高于进行对照的日光灯处理的组培苗.其中蓝光LED光源处理的鲜重增量百分数最大,诸葛菜和油菜分别达到了595%和490%,而日光灯处理的分别只有167%和133%.同时,诸葛菜组培苗处理后整体上鲜重增量百分数都稍大于油菜.这说明LED光源处理的组培苗生物量的积累明显优于普通的日光灯,其中以蓝光最强.碳酸酐酶活性不论是诸葛菜还是油菜仍然是蓝光处理的最强,红光最弱.整体上诸葛菜的碳酸酐酶活性要强于油菜,本试验结果也证实了诸葛菜具有很强环境适应性原因之一是因为其碳酸酐酶活性非常强^[9].进行LED光源处理的诸葛菜、油菜组培苗的叶绿素含量均明显高于对照组的日

光灯,同时仍然是蓝光 LED 处理的组培苗叶绿素含量最高.这说明 LED 光源处理后的组培苗比普通日

光灯处理的具有更好的光合自养能力,同时也说明蓝光处理的组培苗光合自养能力最好.

表4 LED光源及日光灯处理对诸葛菜和油菜组培苗生长的影响

Tab.4 Influence of *Orychophragmus violaceus* and *Brassica juncea* dealed with LED and daylight lamp

处理方法	诸葛菜			油菜		
	鲜重增量/ %	碳酸酐酶活性/ WAU g ⁻¹ FW	叶绿素含量/ SPAD	鲜重增量/ %	碳酸酐酶活性/ WAU g ⁻¹ FW	叶绿素含量/ SPAD
白光 LED	342(15)b	156(7)a	27.7(0.7)b	272(57)b	130(2)b	26.8(1.3)b
红光 LED	383(27)b	146(3)a	25.2(1.0)b	358(32)c	86(3)a	25.4(0.6)b
蓝光 LED	595(42)c	227(4)b	30.5(0.9)c	490(26)d	182(1)c	32.8(1.1)c
日光灯	167(23)a	155(8)a	21.2(1.1)a	133(21)a	91(10)a	20.7(0.7)a

注:括号内为标准差.各指标同列数值后字母表示经 Duncan 测验后在 0.01 水平的差异性.

3 结 论

通过以上研究,可以看到发光二极管是一种高效、节能、可控性好的新型组培光源. LED 集成发光板具有良好的光电特性,其光照强度与电压呈现显著的线性相关,而且其光衰减性很具规律性,这将给组培光源的调控带来很大的便利,有利于组培育苗的工厂化和自动化生产.其次,新型 LED 集成发光板光源比传统日光灯光源,具有更强的透射性;其有效发光效能也明显高于传统的日光灯.试验结果还表明经 LED 光源处理的组培苗鲜重增量、碳酸酐酶活性以及叶绿素含量等明显高于对照的日光灯处理的组培苗.蓝光 LED 光源处理的诸葛菜和油菜的鲜重增量分别达到了 595% 和 490%,而日光灯处理的分别只有 167% 和 133%,蓝光 LED 光源处理的诸葛菜和油菜的碳酸酐酶活性分别达到了 227 和 182 WAU g⁻¹FW,而日光灯处理的分别只有 155 和 91 WAU g⁻¹FW.因此,对倡导工厂化、自动化、节能、高效的组培育苗产业来说,新型 LED 光源作为组培光源必将具有更广阔的前景.

参考文献(References)

- [1] Pablo O, Vaccaro A, Vorobev N. Lateral p-n junctions for high-density LED arrays [J]. *Microelectronics Journal*, 2003, 34: 355-357.
- [2] Pepper A E, Seong-Kim M, Hebst S M, et al. Shl, a new set of *Arabidopsis* mutants with exaggerated developmental responses to available red, far-red, and blue-light [J]. *Plant Physiol*, 2001, 127: 295-304.
- [3] Moe R, Morgan L, Grindal G. Growth and plant morphology of *Cucumis sativus* and *Fuchsia* hybrid are influenced by light quality during the photoperiod and by temperature alternations [J]. *Acta Hort*, 2002, 580: 229-234.
- [4] Escobar M A, Franklin K A, Svensson Å S, et al. Light regulation of the *Arabidopsis* respiratory chain multiple discrete photoreceptor responses contribute to induction of type II NAD(P)H dehydrogenase genes [J]. *Plant Physiol*, 2004, 136: 2710-2721.
- [5] 诸葛强, 关亚丽, 施季森, 等. 组培新技术及其在校树快繁中的应用 [J]. 林业科技开发, 2003, 17(6): 37-38.
ZHU Ge-qiang, GUAN Ya-li, SHI Ji-sen, et al. Propagation of *Eucalyphus* with a new plant tissue culture system [J]. *China Forestry Science and Technology*, 2003, 17(6): 37-38. (in Chinese)
- [6] Jao Rueychi, Fang Wei. An adjustable light source for photo-phyto related research and young plant produaction [J]. *Appl Eng Agr*, 2003, 19(5): 601-608.
- [7] Jao Rueychi, Lai Chienchou, Fang Wei. Effects of red light on the growth of *Zantedeschia* plantlets in *Vitro* and tuber formation using light-emitting diodes [J]. *HortSci*, 2005, 40(2): 436-438.
- [8] Wu Yanyou, Li Xiteng, Li Pingping, et al. Comparison of carbonic anhydrase activity among various species of plantlets [J]. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 2006, 84(1): 125-128.
- [9] 吴沿友, 刘从强, 王世杰. 诸葛菜的喀斯特适生性研究 [M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 2004.

(责任编辑 徐云峰)