

中图分类号: S532 文献标识码: B 文章编号: 1672-3635(2018)05-0266-06

LED光源不同光质对马铃薯试管苗生长的影响

姜丽丽, 孟佳美, 杨丹婷, 李 晗, 张桂芝, 金光辉*

(黑龙江八一农垦大学农学院, 黑龙江 大庆 163319)

摘 要: 为研究LED(Light emitting diode)光源不同光质对马铃薯试管苗生长的影响, 以马铃薯品种‘克新13号’试管苗为材料, 设置6个光源处理, 分别为荧光灯(CK), 红光灯(100R), 蓝光灯(100B)和红蓝光混合光源(80R/20B, 70R/30B和50R/50B), 对MS培养基的试管苗处理后培养28 d观察对马铃薯试管苗生长的影响。结果表明, 单色红光处理的马铃薯试管苗徒长, 红蓝混合光处理的马铃薯试管苗较单一红蓝光处理有明显优势, 50R/50B处理下‘克新13号’试管苗根长和鲜重生长速率最快, 均高于对照, 且在此处理下叶绿素含量和可溶性糖含量达到最大值, 均显著高于对照。红蓝混合光处理有利于马铃薯试管苗形态建成、根系发育、叶绿素合成及可溶性糖积累, 其中以50R/50B为适宜马铃薯品种‘克新13号’试管苗生长的最佳红蓝光配比。

关键词: LED; 光质; 马铃薯; 试管苗; 生长

Effects of Quality of Light Emitting Diode (LED) on Growth of Potato Plantlets *in vitro*

JIANG Lili, MENG Jiamei, YANG Danting, LI Han, ZHANG Guizhi, JIN Guanghui*

(College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

Abstract: Shoot cuttings of potato cultivar 'Kexin 13' were transplanted on MS medium and cultured for 28 days *in vitro* under six different light qualities, fluorescent lamp (CK), 100% red LED (Light emitting diode, 100R), 100% blue LED (100B), and three blue and red LED mixtures (80R/20B, 70R/30B, and 50R/50B), and the effects of the six light sources on growth, morphogenesis of potato plantlets *in vitro* were investigated in order to understand the effects of different light qualities of LED on the growth of potato (*Solanum tuberosum* L.) plantlets *in vitro*. Growth under the complex light of the red and blue LED was better than single light and fluorescent lamp. Plant height was the greatest in plantlets cultured under 100R LED. The growth rate of root length and fresh weight were the fastest in plantlets cultured under 50R/50B, which was higher than that of the control. The contents of chlorophyll and the total soluble sugar were the greatest in plantlets cultured under 50R/50B, and the data were significantly different from those of fluorescent lamp. In a summary, it is suggested that the complex light of the red and blue LED be suitable for the morphogenesis of potato plantlets *in vitro*, chlorophyll synthesis and soluble sugar accumulation, of which 50R/50B LED is the most suitable light source for the growth of potato plantlets *in vitro* of 'Kexin 13'.

Key Words: LED; light quality; potato; plantlet; growth

收稿日期: 2018-07-24

基金项目: 大庆市指导性科技计划项目(zd-2016-106); 黑龙江省农垦总局重点科研计划项目(HNK135-02-08, HNK135-02-08-02)。

作者简介: 姜丽丽(1982-), 女, 助理研究员, 从事马铃薯遗传育种研究。

*通信作者(Corresponding author): 金光辉, 博士, 副教授, 主要从事马铃薯遗传育种研究, E-mail: ghjin1122@163.com。

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)是中国第四大主粮作物, 马铃薯试管苗无性繁殖是种质资源保存及种苗扩繁的主要方式^[1]。光是植物生命活动的能量来源, 也是影响植物生长发育的重要环境因子之一^[2]。光质不仅能影响植物的生长^[3]、形态建成^[4]和光合作用^[5], 同时光对植物的物质代谢^[6]、内源激素水平^[6]以及基因的表达^[7]也具有调控作用。开发低耗能、高效率、光质佳的人工光源, 是马铃薯试管苗保存和扩繁的发展趋势。

LED (Light emitting diode), 即发光二极管, 具有节能高效、稳定性强等优点, 广泛应用于可控设施环境中的植物栽培, 如植物组织培养、工厂化育苗与设施园艺等^[8]。LED 光源光质纯合, 可根据培养需求获得纯正单色光或复合光谱, LED 光源波长与植物光形态建成的光谱范围吻合^[9]。本研究以马铃薯‘克新 13 号’试管苗为材料, 研究 LED 光源不同光质比例对其形态和生理特性的影响, 明确适宜‘克新 13 号’试管苗生长的最佳光质, 为新光源在植物组织培养和温室设施栽培中的推广应用提供理论依据和技术依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

马铃薯品种‘克新 13 号’脱毒试管苗由黑龙江八一农垦大学马铃薯研究所提供。光源处理为飞利浦公司 Green Power LED 科研模组, 共设置 6 个光源处理, 分别为荧光灯(CK), 红光灯 (100R), 蓝光灯(100B), 红蓝光混合光源(50R/50B、80R/20B、70R/30B), 各光源参数见表 1。

1.2 培养条件及培养方法

试验于 2017 年 3 月 1 日起在黑龙江八一农垦大学

马铃薯研究所进行, 以 250 mL 玻璃方瓶为培养容器, 培养基为 MS 培养基添加蔗糖 3%, 琼脂 0.7%, pH 5.8。

在无菌条件下, 将‘克新 13 号’脱毒试管苗接种至培养基中, 每瓶接种 20 个茎段, 每个光源处理 4 次重复。将接种后的脱毒苗置于培养室中进行培养, 培养温度为 25 ℃, 光照时间为 16 h, 黑暗时间为 8 h。

1.3 测定项目及指标

1.3.1 形态指标

分别在培养 7, 14 和 28 d 观察试管苗生长状况, 并测量株高、根长、鲜重等指标, 记录所测数据。

1.3.2 叶绿素含量的测定

采用无水乙醇和丙酮混合液提取法^[10]。

叶绿素提取: 将培养 28 d 的试管苗新鲜绿色叶片取出, 洗净吸干叶表面水分。称取 5 g 叶片, 加入 10 mL 80% 丙酮, 加少许石英砂研磨成糊状, 逐步加入 20 mL 80% 丙酮, 离心(3 000 r/min)10 min。

叶绿素含量的测定: 使用 Shimadzu 紫外分光光度计 UV-1203, 以 80% 丙酮溶液为空白, 在波长 663 和 645 nm 处测定叶绿素提取液的光密度值。

叶绿素 a 含量 =
$$\frac{(12.7D_{663} - 2.69D_{645}) \times \text{提取液体积}}{\text{样品重(g)} \times 1\,000}$$

叶绿素 b 含量 =
$$\frac{(22.9D_{645} - 4.68D_{663}) \times \text{提取液体积}}{\text{样品重(g)} \times 1\,000}$$

总叶绿素含量 =
$$\frac{(8.02D_{663} + 20.2D_{645}) \times \text{提取液体积}}{\text{样品重(g)} \times 1\,000}$$

1.3.3 可溶性糖含量测定

培养 28 d 的试管苗新鲜植株取出, 采用蒽酮比色法进行测定^[11]。

表 1 LED 光质控制系统
Table 1 LED light quality control system

光源处理 Light treatment	光质 Light quality	光量比例 Light amount ratio	峰值波长(nm) Peak wavelength	波长平宽(nm) Wave width
荧光灯(CK) Fluorescent lamp	荧光灯	100% 白	720	20
100R	红	100% 红	625	20
100B	蓝	100% 蓝	475	20
80R/20B	红 + 蓝	8 : 2	625 + 475	20
70R/30B	红 + 蓝	7 : 3	625 + 475	20
50R/50B	红 + 蓝	5 : 5	625 + 475	20

2 结果与分析

2.1 LED不同光质配比对马铃薯‘克新13号’试管苗株高的影响

不同光质对‘克新13号’试管苗株高变化的影响见表2。‘克新13号’脱毒试管苗不同光源下生长7 d后，50R/50B处理下株高最高，与对照(荧光灯)相比差异显著，其余光源处理下(除了100R与100B)株高差异不显著；培养28 d后各处理间株高差异显著，100R处理下株高最高，为13.34 cm。

100R处理下‘克新13号’生长速率最大为0.52 cm/d，对照生长速率为0.27 cm/d，50R/50B处理下生长速率最小为0.14 cm/d。100R处理下植株株高生长速率快，然而植株较细弱。

2.2 LED不同光质配比对马铃薯‘克新13号’试管苗根长的影响

不同光质对‘克新13号’试管苗根长的影响见表3。‘克新13号’培养7 d后，各光源处理下试管苗生根状况表现出显著差异，70R/30B处理根系生长最快，与对照处理差异显著，100R处理根长最短；

表2 LED不同光质配比对‘克新13号’脱毒试管苗株高的影响
Table 2 Effects of different light quality ratios of LED on plant height of 'Kexin 13' plantlets *in vitro*

光源处理 Light source	株高(cm) Plant height			生长速率(cm/d) Plant height growth rate
	7 d	14 d	28 d	
荧光灯(CK) Fluorescent lamp	2.46 b	4.16 b	8.20 b	0.27
100R	2.45 b	5.80 a	13.34 a	0.52
100B	2.28 c	3.30 d	6.22 c	0.19
80R/20B	2.42 bc	3.32 d	8.59 b	0.29
70R/30B	2.38 bc	3.92 b	6.42 c	0.19
50R/50B	2.66 a	3.60 c	5.59 d	0.14

注：数据为4个重复平均值，同列中不同小写字母表示显著($P < 0.05$)，数据统计分析采用LSD法，下同。株高生长速率(cm/d) = (28 d株高 - 7 d株高)/21 d。

Note: Data is an average over four replicates, and treatment means followed by different lowercase letter(s) in the same column indicate significance ($P < 0.05$) as tested by LSD method. The same below. Plant height growth rate (cm/d) = (28 d plant height - 7 d plant height)/21 d.

表3 LED不同光质配比对‘克新13号’脱毒试管苗根长的影响
Table 3 Effects of different light quality ratios of LED on root length of 'Kexin 13' plantlets *in vitro*

光源处理 Light source	根长(cm) Root length			生长速率(cm/d) Root length growth rate
	7 d	14 d	28 d	
荧光灯(CK) Fluorescent lamp	0.86 d	1.49 c	3.85 d	0.14
100R	0.39 f	0.81 d	2.63 e	0.11
100B	0.72 e	3.09 a	2.05 f	0.06
80R/20B	1.64 b	2.46 b	5.87 c	0.20
70R/30B	2.05 a	2.48 b	6.36 b	0.21
50R/50B	1.40 c	2.38 b	7.10 a	0.27

注：根长生长速率(cm/d) = (28 d根长 - 7 d根长)/21 d。
Note: Root length growth rate (cm/d) = (28 d root length - 7 d root length)/21 d.

培养 14 d 后 100B 处理根长最长, 80R/20B、70R/30B 和 50R/50B 处理间根长差异不显著。就生长速率而言红蓝混合光处理下根系生长较快, 其中以 50R/50B 处理下, 根系生长速率最快为 0.27 cm/d。

2.3 LED 不同光质配比对马铃薯‘克新 13 号’试管苗鲜重的影响

‘克新 13 号’试管苗植株鲜重在不同光源处理下 7~28 d 变化情况见表 4。红蓝光混合处理下培养的植株在各个阶段植株鲜重均显著高于其他处理, 培养 28 d 后, 50R/50B 处理下‘克新 13 号’植株鲜重最大为 0.259 g, 80R/20B 和 70R/30B 处理下鲜重次之, 100B 处理下鲜重最小。从生长速率也可以看出 80R/20B、50R/50B 处理均为 0.009 g/d, 高于其他光源处理。

2.4 LED 不同光质配比对马铃薯‘克新 13 号’试管苗叶绿素含量的影响

不同光质对‘克新 13 号’试管苗培养 28 d 后的叶绿素含量影响如表 5 所示。叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素含量均在 50R/50B 处理下达到最大值, 分别为 0.493, 0.151 和 0.644 mg/g, 叶绿素 b 最小值出现在 100R 处理下。红蓝光混合处理下总叶绿素含量与对照差异显著, 高于单色光处理, 随着红光比例的增大, 叶绿素 a/b 呈下降趋势。

2.5 LED 不同光质配比对马铃薯‘克新 13 号’试管苗可溶性糖含量的影响

不同光质对‘克新 13 号’试管苗培养 28 d 后的可溶性糖含量的影响见图 1。不同光质处理下‘克新 13 号’试管苗可溶性糖含量差异显著, 50R/50B

表 4 LED 不同光质配比对‘克新 13 号’脱毒试管苗鲜重的影响
Table 4 Effects of different light quality ratios of LED on fresh weight of 'Kexin 13' plantlets *in vitro*

光源处理 Light source	鲜重(g) Fresh weight			生长速率(g/d) Fresh weight growth rate
	7 d	14 d	28 d	
荧光灯(CK) Fluorescent lamp	0.050 c	0.125 c	0.182 d	0.006
100R	0.047 cd	0.128 c	0.199 c	0.007
100B	0.046 d	0.130 c	0.181 d	0.006
80R/20B	0.065 b	0.156 b	0.244 b	0.009
70R/30B	0.077 a	0.155 b	0.233 b	0.007
50R/50B	0.076 a	0.173 a	0.259 a	0.009

注: 鲜重生长速率(g/d) = (28 d 鲜重 - 7 d 鲜重)/21 d。
Note: Fresh weight growth rate (g/d) = (28 d fresh weight - 7 d fresh weight)/21 d.

表 5 LED 不同光质配比对‘克新 13 号’脱毒试管苗叶绿素含量的影响
Table 5 Effects of different light quality ratios of LED on chlorophyll content of 'Kexin 13' plantlets *in vitro*

光源处理 Light source	叶绿素 a(mg/g) Chlorophyll a	叶绿素 b(mg/g) Chlorophyll b	总叶绿素(mg/g) Total chlorophyll	叶绿素 a/b Chlorophyll a/b
荧光灯(CK) Fluorescent lamp	0.431 cd	0.132 c	0.563 c	3.265 b
100R	0.402 e	0.102 d	0.504 d	3.941 a
100B	0.414 de	0.135 bc	0.549 c	3.067 c
80R/20B	0.452 bc	0.147 ab	0.599 b	3.075 bc
70R/30B	0.463 b	0.143 abc	0.606 b	3.238 bc
50R/50B	0.493 a	0.151 a	0.644 a	3.265 b

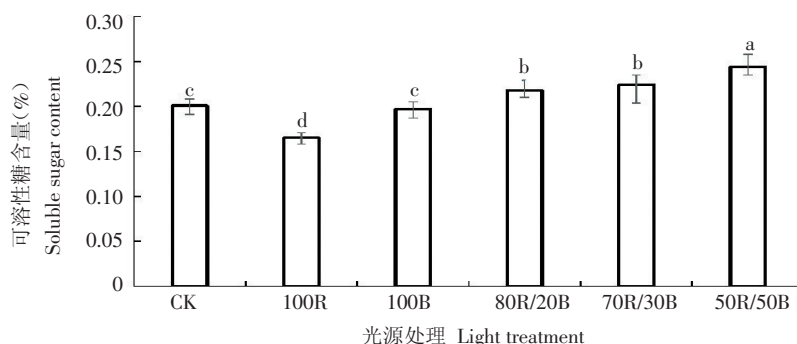


图1 LED不同光质对比对‘克新13号’脱毒试管苗可溶性糖含量的影响

Figure 1 Effects of different light quality ratios of LED on soluble sugar content of 'Kexin 13' plantlets *in vitro*

处理下可溶性糖含量最高, 为0.244%; 100R处理下可溶性糖含量最低为0.165%; 红蓝混合光处理下可溶性糖含量均高于对照, 80R/20B和70R/30B处理之间差异不显著, 在红蓝混合光处理中, 随着蓝光比例的增加, 可溶性糖含量也呈增加趋势。

3 讨论

LED光源具有体积小、寿命长、光效率高、能耗小、安全、不易色衰等优点, 因此在植物培养中广泛应用^[8]。Wilken等^[12]研究表明, 与荧光灯相比, 应用LED光源培养的植株更为健壮。光质对植物生长影响的研究多以红光、蓝光为主, 其他光补偿为辅。本研究中, 红光促进马铃薯试管苗伸长, 蓝光则抑制试管苗株高生长, 100R处理下植株生长尽管较快, 植株生长状态并不理想, 瘦弱易弯曲; 红蓝混合光处理下的植株生长较健壮, 植株挺立, 这与Poudel等^[13]在葡萄中的研究结果一致。本试验结果表明100R和100B处理下, ‘克新13号’根生长受到抑制, 50R/50B处理根的生长速率较其他处理快, 处理28 d后, ‘克新13号’植株鲜重也显著高于其他处理。Kim等^[14]研究表明, 红蓝混合光与光敏色素之间相互作用可以促进植株的协调生长。

光质在植物光合作用中起着重要的作用, 光质不仅影响植株的光形态建成, 也调控着光合色素的合成^[15], 这是由于光合色素的吸收光谱不同所致。本研究中, 红蓝混合光处理下马铃薯试管苗总叶绿素含量高于单色光及对照处理, Kong等^[16]在蝴蝶

兰的研究中也得到同样的结论。‘克新13号’试管苗叶绿素a、叶绿素b、总叶绿素含量最大值均出现在50R/50B处理下, 这可能是由于在50R/50B处理下, ‘克新13号’光合效率最高, 且光源的波长与植物叶绿素吸收峰一致。

Kowallik^[17]研究表明, 光质具有调节高等植物的碳水化合物代谢的作用。本研究中, ‘克新13号’可溶性糖含量在50R/50B处理下最高, 这与Li等^[18]对陆地棉的研究结果一致。红蓝混合光中, 蓝光比例越高, 植株中的可溶性糖含量越高, 由此表明, 红蓝光配比有利于可溶性糖的积累, 对植株干物质积累具有重要的调控作用。

LED光源中红蓝光的最佳比例与物种密切相关, 例如, 草莓^[19]、红掌^[20]和黄瓜^[21]的红蓝光最适比例为70R/30B; 陆地棉^[18]为50R/50B; 香蕉^[22]和蝴蝶兰^[23]为80R/20B。本研究中, 通过‘克新13号’试管苗生长、形态、生理等指标分析表明, 培养28 d后100R处理下的‘克新13号’试管苗株高最高, 但是细弱, 叶绿素含量最低, 100B处理下的试管苗矮小, 生根较慢, 可溶性糖含量低; 红蓝光配比处理的马铃薯试管苗较单一红蓝光有明显优势, 50R/50B处理下‘克新13号’试管苗根长和鲜重生长速率最快, 均高于对照, 且在此处理下叶绿素含量和可溶性糖含量达到最大值, 均显著高于对照, 是适宜马铃薯试管苗生长的最佳光质。今后的工作中会进一步研究LED不同光质对马铃薯不同品种生理及代谢的影响, 弥补本试验仅选用‘克新13号’一个品种的局限性, 以期为提高马

铃薯试管苗品质提供理论指导。

[参 考 文 献]

- [1] 李辉尚. 2016年中国马铃薯市场形势回顾与2017年展望 [J]. 农业展望, 2017, 13(2): 4-8.
- [2] 孙邦升. LED光源在马铃薯种质资源试管苗保存的应用 [J]. 中国马铃薯, 2010, 24(2): 69-72.
- [3] 刘媛, 李胜, 马绍英, 等. 不同光质对葡萄试管苗离体培养生长发育的影响 [J]. 园艺学报, 2009, 36(8): 1105-1112.
- [4] 王丽伟, 李岩, 辛国风, 等. 不同比例红蓝光对番茄幼苗生长和光合作用的影响 [J]. 应用生态学报, 2017, 28(5): 1595-1602.
- [5] 王丽娟, 白义奎, 王铁良. 不同光质处理对草莓生理特性的影响 [J]. 河南农业大学学报, 2017(1): 25-28.
- [6] Vieira L D N, Fraga H P D F, Anjos K G D, *et al.* Light-emitting diodes (LED) increase the stomata formation and chlorophyll content in *Musa acuminata* (AAA) 'Nanicão Corupá' *in vitro* plantlets [J]. Theoretical and Experimental Plant Physiology, 2015, 27(2): 1-8.
- [7] Novák A. Light-quality and temperature-dependent CBF14 gene expression modulates freezing tolerance in cereals [J]. Journal of Experimental Botany, 2015, 67(5): 1285.
- [8] 闫新房, 丁林波, 丁义, 等. LED光源在植物组织培养中的应用 [J]. 中国农学通报, 2009, 25(12): 42-45.
- [9] 时向东, 蔡恒, 焦枫, 等. 光质对作物生长发育影响研究进展 [J]. 中国农学通报, 2008, 24(6): 226-230.
- [10] 张永成, 田丰. 马铃薯试验研究方法 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- [11] 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.
- [12] Wilken D, Gonzalez E J, Gerth A, *et al.* Effect of immersion systems, lighting, and TIS designs on biomass increase in micropropagating banana (*Musa* spp. cv. 'Grande naine' AAA) [J]. In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant, 2014, 50(5): 582-589.
- [13] Poudel P R, Kataoka I, Mochioka R. Effect of red- and blue-light-emitting diodes on growth and morphogenesis of grapes [J]. Plant Cell Tissue and Organ Culture, 2008, 92(2): 147-153.
- [14] 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* [J]. Scientia Horticulturae, 2004, 101(1): 143-151.
- [15] 李雯琳, 郁继华, 张国斌, 等. LED光源不同光质对叶用莴苣幼苗叶片气体参数和叶绿素荧光参数的影响 [J]. 甘肃农业大学学报, 2010, 45(1): 47-51.
- [16] Kong S S, Murthy H N, Heo J W, *et al.* The effect of light quality on the growth and development of *in vitro* cultured *Doritaenopsis* plants [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2008, 30(3): 339-343.
- [17] Kowallik W. Blue light effects on respiration [J]. Plant Biology, 1982, 33(33): 51-72.
- [18] 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 and Organ Culture, 2010, 103(2): 155-163.
- [19] 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.
- [20] 陈颖, 王政, 纪思羽, 等. LED光源不同光质比例对红掌试管苗生长的影响 [J]. 江西农业大学学报, 2013, 35(2): 375-380.
- [21] 唐大为, 张国斌, 张帆, 等. LED光源不同光质对黄瓜幼苗生长及生理生化特性的影响 [J]. 甘肃农业大学学报, 2011, 46(1): 44-48.
- [22] Nhut D T, Don N T, Tanaka M. Light-Emitting diodes as an effective lighting source for *in vitro* banana culture [M]//Protocols for Micropropagation of Woody Trees and Fruits. Netherlands: Springer, 2007: 527-541.
- [23] Wongnok A, Piluek C, Techasilpitak T, *et al.* Effects of light emitting diodes on micropropagation of *Phalaenopsis* Orchids [J]. Acta Horticulturae, 2008(788): 149-156.