

文章编号:1001-7380(2016)04-0044-05

LED 光质对植物组织培养影响研究进展

周 鹏, 张 敏*

(江苏省林业科学研究院, 江苏 南京 211153)

摘要:发光二极管(LED)作为一种比传统光源更为有效的替代光源,越来越多地被应用于植物组织培养中。近年来学者围绕 LED 光源在植物组织培养中的应用进行了大量的研究,并已证明植物组织培养过程的各个阶段均受到 LED 光质的调控。该文就 LED 光质调控植物组织培养的研究现状进行概述,重点介绍了 LED 光质对植物愈伤组织的诱导和分化、组织培养苗增殖、生长发育和生根壮苗等方面的影响,并对今后 LED 光质调控的研究进行了展望。

关键词:LED;植物组织培养;光质;愈伤组织;分化;增殖

中图分类号:Q943.1;O432.3 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-7380.2016.04.012

Application of light-emitting diodes (LEDs) in in vitro plant tissue culture: A review

ZHOU Peng, ZHANG Min*

(Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing 211153, China)

Abstract: As a new and effective lighting systems, light-emitting diodes (LEDs) has been extensively used in plant tissue culture. To investigate effects of LEDs on plants, lots of studies have been conducted, which has proved that various stages of plants grown in vitro have been regulated by light quality of LEDs. This article gives an review of the effects of light quality of LEDs on the growth and differentiation of plant callus, seedlings multiplication, the growth and development of plants and rooting in vitro, and also describes the prospects of the study on light quality of LED in the future.

Key words: Light-emitting diode; Plant tissue culture; Light quality; Callus; Differentiation; Multiplication

植物组织培养过程中幼苗形态建成与生理生化变化受到诸多环境因子(光照、温度、湿度等)的调控。其中,光对植物细胞、组织、器官的生长和分化有着极其重要的作用,影响着植物组织培养生长和发育的整个过程^[1,2]。传统组织培养光源主要是多峰值谱线的白色荧光灯,由于缺乏单色光光源,光调控组织培养植物生长发育的研究大多集中在光强和光周期,而光质对植物组织培养影响的研究报道较少。

作为第4代新型照明光源,发光二极管(light-e-

mitting diodes, LED)诞生于20世纪60年代,光谱性能好,其波谱宽度小于 ± 30 nm,可根据需求获取特定峰值的纯正单色光或复合光谱,为光质生物学的研究提供了极大的便利性和精确性。由于波谱窄、低功耗、低发热和长寿命等显著特征,LED适用于高效、可控和紧凑空间的集约化植物生产。近年来国内外学者围绕 LED 光源在植物组织培养照明领域的应用进行了不懈的探索,并已在 LED 光质调控植物组织培养苗生长和形态建成等方面取得一定的进展。本文综述了 LED 光质对愈伤组织诱导、器官分化、组织培

收稿日期:2016-07-29;修回日期:2016-08-08

基金项目:江苏省农业三新工程项目“金叶络石规模化繁育与示范推广”(SXGC[2015]296)

作者简介:周 鹏(1989-),男,助理研究员,硕士,主要从事植物组织培养技术研究。

* 通信作者:张 敏(1980-),女,副研究员,博士,主要从事生物技术与林木花卉良种繁育工作。

养苗生长及移栽壮苗等过程调控研究方面的进展,旨在为 LED 光源在组织培养中的应用提供参考。

1 LED 光质对愈伤组织诱导、生长及分化的影响

1.1 对愈伤组织诱导的影响

愈伤组织培养是植物离体培养的重要组成部分,国内外已有许多学者就不同光质对愈伤组织培养的影响进行了研究。在植物愈伤组织诱导方面,研究指出 LED 组合光对愈伤组织的诱导效应不及单色光^[3-4],但在愈伤组织诱导的光质选择方面,研究结论并不一致。Budiar 等^[4]利用不同红蓝光质比的 LED 光源,对红掌 (*Anthurium andreanum*) 叶片进行愈伤组织诱导,研究发现单色红光 LED 促进愈伤组织形成,但随着蓝光比例的增加,叶片愈伤组织诱导率逐渐降低,且均低于对照荧光灯。黄丽华等^[5]在辣椒 (*Capsicum annuum*) 愈伤组织诱导研究中发现,红光和白光促进辣椒子叶愈伤组织的诱导,绿光和蓝光则表现出抑制作用。而刘浩等^[3]在萝卜 (*Raphanus sativus*) 愈伤组织诱导研究中发现,黄光有利于萝卜下胚轴愈伤组织的诱导,而蓝光促进子叶愈伤组织的诱导。由此可见,不同光质对愈伤组织诱导的效应因植物种类或外植体类型的不同而存在差异。

1.2 对愈伤组织生长的影响

研究发现,不同光质照射下愈伤组织生长曲线均呈“S”形,但不同光质对愈伤组织生长的效应因植物基因型以及基质添加物不同而有所差异^[6]。Nhut 等^[7]研究了不同光质对越南人参 (*Panax vietnamensis*) 愈伤组织增殖的影响,结果表明黄光 LED 促进愈伤组织生长,红光和蓝光 LED 抑制愈伤组织生长,其中红光 LED 抑制效果最强,而绿光和白光 LED 对愈伤组织生长无显著影响。薛冲等^[8]研究发现,不同光质对西兰花 (*Brassica oleracea* var *italica*) 愈伤组织增殖的效应表现为白光>红光、蓝光>绿光>黄光,且不同光质下愈伤组织可溶性蛋白含量和含水量与愈伤组织增殖有一定的相关性。刘浩等^[3]研究发现红光下萝卜愈伤组织生长量最高,而黄光对愈伤组织生长效应则最低。此外,刘媛等^[9]在葡萄 (*Vitis vinifera*) 叶片愈伤组织增殖研究中发现,在不添加肉桂酸时,黄光最利于愈伤组织的增殖,当肉桂酸与光质共同作用时,绿光最适合愈伤组织的增殖,黄光对愈伤组织的增长效应明

显减弱。说明,光质和其他化学物质共同调控愈伤组织的生长。

1.3 对愈伤组织出芽的影响

在出芽方面,光质对芽分化起着重要的作用。马琳等^[6]发现在红光照射下大蒜 (*Allium sativum*) 愈伤组织出芽率最高,达到 25%,白光次之,蓝光和红蓝混合光对愈伤组织的出芽存在抑制作用,其中,蓝光抑制作用最强,出芽率仅 3%。Budiar 等^[4]研究红掌叶片愈伤组织不定芽诱导和形成过程时发现,红光促进不定芽的诱导,而蓝光更有利于不定芽的数量增多。郭君丽等^[10]发现在怀山药 (*Dioscorea opposita*) 愈伤组织分化过程中,蓝光下芽分化率最高,其次是红光和白光,绿光和黄光较低,黑暗最差。这可能与植物体内光敏色素多样性有关,光敏色素分子的生色团和脱辅基蛋白存在多样性,使光敏色素在植物中存在不同的活性状态,导致不同植物愈伤组织在出芽方面对光质表现出不同的反应。

2 LED 光质对组织培养苗增殖的影响

研究发现,单色光中红光对组织培养苗增殖具有促进作用^[11-12]。任桂萍等^[12]研究不同光质对蝴蝶兰 (*Phalaenopsis* sp.) 组织培养过程中增殖阶段的影响,结果表明,纯红光 LED 下蝴蝶兰单芽数目比对照荧光灯有显著增加,且对菊花^[13] (*Dendranthema grandiflorum*) 和烟草^[14] (*Nicotiana tabacum*) 的研究均得出类似的结论。而单一蓝光不利于组织培养苗增殖,在对洋桔梗^[15] (*Eustoma grandiflorum*) 和甘蔗^[16] (*Saccharum officinarum*) 组织培养苗的研究中发现,所有光质处理中单色蓝光处理下组织培养苗增殖系数最低。

大量实验证明,相比单色光 LED,不同 LED 组合光更利于组织培养苗增殖^[17-19]。陈志等^[17]在不同 LED 对甘蔗不定芽增殖的影响试验中发现,LED 红蓝组合光比单色光更能促进甘蔗的增殖,且优于荧光灯及植物生长灯。刘晓青等^[18]研究发现所有红蓝光组合处理下高山杜鹃 (*Rhododendron lapponicum*) 叶片不定芽再生效果均显著好于 100% 红光和蓝光。但是,不同植物或同一物种的不同品种在组织培养增殖阶段对光质配比的需求不完全一致。高山杜鹃^[18]在红蓝光组合 (3:1) 处理下叶片不定芽再生效果最好,而甘蔗^[17]在红蓝光组合 (4:1) 处

理下增殖的不定芽数最多。

3 LED 光质对组织培养苗生长发育的影响

3.1 LED 光质对组织培养苗生长的影响

研究证明,LED 单色光对组织培养苗的生长效应低于不同 LED 组合光^[2, 20-21],这可能与单色光导致植物光合系统可利用的光能分布不平衡有关。而红光和蓝光的光谱能量分布与叶绿素吸收光谱一致,红、蓝 LED 组合光可以增强植物光合作用以促进植物的生长和发育^[22-23]。陈星星等^[21]研究发现,经单独的红光或蓝光 LED 处理的白掌(*Spathiphyllum kochii*)组织培养苗长势较差,而一定配比的红蓝 LED 复合光有利于促进植物的生长。Kim 等^[23]发现红蓝 LED 组合光下菊花组织培养苗叶片净光合速率明显高于单色红、蓝光,且植物鲜重和干重均达到最大值,类似的结论也出现在 Li 等^[24]对棉花组织培养苗的研究中。

但是有关组织培养苗生长最适的红蓝 LED 配比,不同植物的研究结论并不一致。日本双蝴蝶(*Tripterospermum japonicum*)^[25]和草莓^[26]在 70% 红光+ 30% 蓝光照条件下,组织培养苗长势最好。而对红掌^[27]的研究发现,在 50% 红光+ 50% 蓝光处理下红掌组织培养苗各生长指标显著高于对照,是适宜红掌组织培养苗生长的最佳红蓝光配比。说明,不同植物对光质配比的敏感性不同,表现出不同的适应性,在实际的组织培养生产应用中,调整最佳的红蓝配比是生产出良好品质组织培养苗的关键^[28]。

3.2 LED 光质对组织培养苗光形态建成的影响

3.2.1 对茎伸长的影响 LED 光质显著影响组织培养苗茎的伸长,但茎节数不变,不同光质通过调控节间距从而影响植株的高度^[23, 29-30]。Kim 等^[23, 29-30]将菊花组织培养苗置于不同光质中培养,发现单色红光处理下组织培养苗茎的长度显著大于对照荧光灯以及其他光质处理,这与对葡萄^[30]、铁皮石斛^[20](*Dendrobium officinale*)、蝴蝶兰^[12]等的研究结果相似,但与对毛地黄(*Rehmannia glutinosa*)的实验结果相反。Hahn 等^[22]发现,单色红光显著抑制毛地黄组织培养苗茎的伸长。另外,Heo 等^[31]的研究结果表明,蓝光 LED 最有利于万寿菊组织培养苗茎的伸长。而 Li 等^[24]研究发现,在红蓝组合光(1:1)下棉花(*Gossypium hirsutum*)组织培养苗茎

的长度和第 2 节间的长度达到最大值。由此可见,植物体内红光受体(光敏色素)和蓝光受体(隐花受体、向光素)共同调控植株茎的伸长,且不同植物体内光受体间的协同交互效应存在差别,从而促进或抑制植茎的伸长^[30]。

3.2.2 对叶片和气孔发育的影响 LED 光质显著影响组织培养苗叶片形态发育。Shin 等^[2]对不同光质对兰花组织培养苗生长发育的影响进行了研究,结果表明红光 LED 下兰花(*Doritaenopsis*)组织培养苗叶片长度最大,蓝光 LED 则抑制叶片延伸;红蓝组合光能够促进兰花组织培养苗叶面积增加,类似的结论也出现在对菊花^[23]的研究中。而 Li 等^[24]研究发现,在蓝光 LED 培养下棉花组织培养苗叶面积、叶片厚度以及栅栏组织长度均达到最大值。另外,Poudel 等^[30]证明,蓝光 LED 有利于葡萄组织培养苗叶片数的增加。同时,叶片气孔发育同样受到光质的影响^[1]。Kim 等^[23]在菊花研究中发现,红蓝组合光下气孔最少,但气孔最大;而在远红光和蓝光组合下气孔数目最大,但气孔最小。对棉花^[24]组织培养苗研究发现,蓝光 LED 最有利于气孔增大,而在对葡萄^[30]的研究中,蓝光有利于不同基因型葡萄气孔数目的增加,但对气孔大小影响不明显,这说明光质对气孔发育的效应因物种而存在差异。气孔的特性与植物光合和生长密切相关,有关光质对气孔发育的影响机制尚待进一步研究。

3.2.3 对光合色素的影响 蓝光在植物叶绿素形成和叶绿体发育等方面起着重要的作用^[32-33]。对蝴蝶兰^[12]、葡萄^[30]、棉花^[24]等植物研究中均发现,蓝光 LED 有利于组织培养苗叶绿素的形成,而红光 LED 抑制叶绿素的形成。兰花^[2]和铁皮石斛^[34]组织培养苗研究结果表明,红蓝 LED 组合光更有利于促进类胡萝卜素的积累。此外,不同 LED 光质对色素比值也有显著影响。其中,蓝光更有助于叶绿素 a 的形成^[35-36],Lin 等^[34]研究发现蓝光 LED 下铁皮石斛原球茎中 *Chl a/Chl b* 比值是红光 LED 下的 1.2 倍;但红光 LED 下 *Car/Chl* 比值是蓝光 LED 下的 1.5 倍。

4 LED 光质对组织培养苗生根壮苗的影响

光质对离体植株根系诱导及生长的效应因波长不同而存在差异,且光质的效应依赖于植物基因型和生根物质浓度^[37]。在生根方面,通过对红

掌^[4]、蝴蝶兰^[12]、帝王花(*Protea cynaroides*)^[38]和地被菊(*Chrysanthemum morifolium*)^[39]等植物组织培养苗研究发现,红光促进组织培养苗不定根的形成,表现为生根快且多而密,蓝光表现为明显的抑制作用。但是,单色红光照射下组织培养苗根系形态异常,移栽成活率低,而蓝光有利于提高后期根系活力,且能够促进干物质积累,降低含水量,防止植株玻璃化现象发生,从而提高组织培养苗健壮程度^[39-42]。魏星等^[36]研究发现单色红光照射的菊花根系活力较低,移栽成活率仅为75%,而红蓝光组合下组织培养苗移栽全部成活。另外,在蝴蝶兰组织培养中发现,添加了远红光的LED组合处理的根长和根系活力较对照显著增加,说明远红光有利于促进组织培养苗地下部分生长^[12]。由此可见,一定配比的红、蓝与远红光组合可促进组织培养苗根系正常发育,提高根系活性。

有学者对不同LED光源下培养的组织培养苗室外移栽情况进行了研究,发现组织培养阶段使用的LED光源同样影响组织培养苗室外移栽后的生长成活情况。对草莓^[43]、白掌^[44]和菊花^[40]的研究得到类似的结论,即室内组织培养阶段使用的红蓝LED组合光源能提高组织培养苗移栽成活率并促进移栽后幼苗的生长。因此,在生产中,对于部分难生根组织培养苗的快繁,可通过前期红光的预处理,提高组织培养苗生根率及生根数,进而转入一定配比的红光、蓝光与远红光组合下培养,促进根系生长发育和提高根系活力,最终达到提高组织培养苗移栽适应性的效果。

5 展 望

纵观当前国内外有关LED光质对植物组织培养影响研究方面的进展,几乎所有的研究目标都是一致的,即筛选并建立适宜的“光配方”,让光作为组织培养苗生长要素发挥最大的效应。同时呈现以下特点:①由于光质效应理论的复杂性和采用的光调控措施的差异,使得国内外学者的研究结论往往相差很大;②主要集中在红光、蓝光和远红光对植物组织培养的调控上,而其他可见光(黄光、橙光、蓝光)和紫外光对组织培养苗生长发育的研究相对较少;③多数研究停留在组织培养苗愈伤组织诱导、增殖和生长等阶段,缺乏涉及组织培养防褐化、防玻璃化等方面的研究报道;④植物组织培养中光质调控的实际应用尚缺乏相对充实的理论基

础。因此,今后的研究应该集中在以下2个方面:

(1)扩大光质研究种类和范围 随着LED性能的提高及经济成本的下降,多光谱动态柔性可调光源系统逐渐被开发利用,将有利于光生物学的精确定量研究和试验的深入开展。今后,在继续对红光和蓝光效应研究的同时,进一步研究其他波长的光质及其组合在调控组织培养苗生长发育方面的作用,特别是应用于解决组织培养防污染、防褐化、防玻璃化及控制变异等技术难题。同时,要开展组织培养光质调控与化学调控结合使用方面的研究,以最大发挥光质调控的效应。

(2)深入研究光质效应机理 光质理论是较为复杂的理论体系,要将其应用于植物组织培养,准确调控植物的生长发育,还需要进行大量的系统研究,特别是更需加强光质对离体培养植物的形态建成调控的机理研究。因此,在对组织培养苗形态结构和生理生化分析的基础上,还需借助细胞学、分子生物学等技术手段,在分子或基因水平上,对光质效应机理进行深入研究。

综上所述,整个植物组织培养过程中从外植体愈伤组织诱导到形成完整植株的各个形态建成阶段均受到LED光质的影响,且不同植物的不同组织培养阶段对光质的反应也不同,因此,结合生产需要,针对植物组织培养的不同阶段选择合适的光质配方,对于提高组织培养效率和效果具有重要意义。

参考文献:

- [1] 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 & Experimental Plant Physiology, 2015, 27(2):91-98.
- [2] SHIN K 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.
- [3] 刘 浩, 李 胜, 马绍英, 等. LED不同光质对萝卜愈伤组织诱导、增殖和萝卜硫素含量的影响[J]. 植物生理学通讯, 2010(4):347-350.
- [4] BUDIARTO K. Spectral quality affects morphogenesis on *Anthurium* plantlet during in vitro culture [J]. Agrivita Journal of Agricultural Science, 2010, 32(3):234-240.
- [5] 黄丽华, 洪亚辉, 戴雄泽, 等. 光质对辣椒离体愈伤组织诱导及分化的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2009, 35(6):615-617.
- [6] 马 琳, 刘世琦, 张自坤, 等. 光质对大蒜愈伤组织诱导、增

- 殖及器官分化的影响[J]. 西北农业学报, 2011(06):118-122.
- [7] NHUT D T, HUY N P, TAI N T, et al. Light-emitting diodes and their potential in callus growth, plantlet development and saponin accumulation during somatic embryogenesis of *Panax vietnamensis* Ha et Grushv. [J]. Biotechnology & Biotechnological Equipment, 2015, 29(2):299-308.
- [8] 薛 冲, 李 胜, 马绍英, 等. 不同光质对西兰花愈伤组织及萝卜硫素含量的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2010, 45(4):95-99.
- [9] 刘 媛, 李 胜, 马绍英, 等. 肉桂酸和不同光质对葡萄愈伤组织增殖及白藜芦醇累积的效应[J]. 甘肃农业大学学报, 2010, 45(1):41-46.
- [10] 郭君丽, 陈明霞, 李明军, 等. 光质和生长物质组合对怀山药零余子脱分化和再分化的影响[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2003, 31(2):99-102.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 李 黎, 陈 菲, 唐焕伟, 等. LED 不同光质对菊花组培苗的影响[J]. 国土与自然资源研究, 2015(4):82-83.
- [14] 王玉英, 丁绪杰, 刘昶雯. LED 不同光质对烟草组培苗生长发育的影响[J]. 安徽农业科学, 2015(17):38-39.
- [15] 杨长娟, 凌 青, 任兴平, 等. LED 不同光质对洋桔梗组培苗增殖的影响[J]. 北方园艺, 2011(18):154-156.
- [16] 樊丽娜, 何慧怡, 曾巧英, 等. LED 不同光质对甘蔗愈伤组织分化及增殖的影响[J]. 甘蔗糖业, 2014(4):1-5.
- [17] 陈 志, 孙庆丽, 汪一婷, 等. 不同光质对甘蔗组培苗的影响[J]. 农业工程, 2012, 2(10):51-57.
- [18] 刘晓青, 苏家乐, 陈尚平, 等. 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[J]. 江苏农业学报, 2013, 29(6):1451-1455.
- [19] 张 欢, 徐志刚, 崔 瑾, 等. 不同光谱能量分布对菊花试管苗增殖及生根的影响[J]. 园艺学报, 2010, 37(10):1629-1636.
- [20] 尚文倩, 王 政, 侯甲男, 等. 不同红蓝光质比 LED 光源对铁皮石斛试管苗生长的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(5):155-159.
- [21] 陈星星, 邵秀丽, 何松林. LED 光源不同光质比对白掌组培苗生长的影响[J]. 北方园艺, 2015(6):86-89.
- [22] HAHN E J, KOZAI T, PAEK K Y. Blue and red light-emitting diodes with or without sucrose and ventilation affect in vitro growth of *Rehmannia glutinosa* plantlets [J]. Journal of Plant Biology, 2000, 43(4):247-250.
- [23] 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(1-2):143-151.
- [24] 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.
- [25] HEO J W, KONG S S, KIM S K, et al. Light quality affects in vitro growth of grape 'Teleki 5BB' [J]. Journal of Plant Biology, 2006, 49(4):276-280.
- [26] 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 & Organ Culture, 2003, 73(1):43-52.
- [27] 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.
- [28] NHUT D T, NHUT D T, DON N T, et al. Light-emitting diodes as an effective lighting source for in vitro banana culture [M]// JAIN M S, HÄGGMAN H. Protocols for Micropropagation of Woody Trees and Fruits. Springer Netherlands, 2007:527-541.
- [29] LUAN V Q, HUY N P, NAM N B, et al. Ex vitro and in vitro *Paphiopedilum delenatii* Guillaumin stem elongation under light-emitting diodes and shoot regeneration via stem node culture [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2015, 37(7):1-11.
- [30] 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 & Organ Culture, 2007, 92(2):147-153.
- [31] 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) [J]. Plant Growth Regulation, 2002, 38(3):225-230.
- [32] MOON H K, PARK S Y, YONG W K, et al. Growth of *Tsuru-rindo* (*Tripterospermum japonicum*) cultured in vitro, under various sources of light-emitting diode (LED) irradiation [J]. Journal of Plant Biology, 2006, 49(2):174-179. [J].
- [33] WANG X Y, XU X M, CUI J. The importance of blue light for leaf area expansion, development of photosynthetic apparatus, and chloroplast ultrastructure of *Cucumis sativus* grown under weak light [J]. Photosynthetica, 2015, 53(2):213-222.
- [34] LIN Y, LI J, LI B, et al. Effects of light quality on growth and development of protocorm-like bodies of *Dendrobium officinale* in vitro [J]. Plant Cell, Tissue & Organ Culture, 2011, 105(3):329-335.
- [35] FAN X X, JIE Z, XU Z G, et al. Effects of different light quality on growth, chlorophyll concentration and chlorophyll biosynthesis precursors of non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* L.) [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2013, 35(9):2721-2726.
- [36] 魏 星, 顾 清, 戴艳娇, 等. 不同光质对菊花组培苗生长的影响[J]. 中国农学通报, 2008, 24(12):344-349.
- [37] GUPTA S D, JATOTHU B. Fundamentals and applications of light-emitting diodes (LEDs) in vitro plant growth and morphogenesis [J]. Plant Biotechnology Reports, 2013, 7(3):211-220.
- [38] WU H C, TOIT E S D. In vitro organogenesis of *Protea cynaroides* L. shoot-buds cultured under red and blue light-emitting diodes [M]// Embryogenesis. Springer Netherlands, 2012:151-166.

在技术上,首先,加快园林绿化废弃物资源化利用关键技术的标准化建设,促进产业优化,大力发展经济效益高(如生物质能源和生物炭等)的技术项目,形成规模化和产业化;园林废弃物加工、生产、检测和包装等相关设备机械类标准化制造、控制系统的制造、生产工艺尚需完善;其次,对可用资源量的数量与分布调查统计,为园林绿化废弃物收集、处理的基础公共设施,包括集中消纳点和就近处理场所的建设提供有效数据。最后,彩色有机覆盖物所需环保木材染色剂辅料,国内尚属空白,主要依赖进口,需要加大研发力度。

在政策上,园林绿化废弃物资源化利用是公益事业,存在基础设施和设施缺乏的问题,需要各级部门给予政策上的支持,必须制定相应的法律法规和系列标准。现有的法规和标准存在指导性差、不够具体和详尽等问题,大部分指导性标准仅为地方性技术指导标准,缺乏国家级技术标准。各地标准参差不齐,缺乏有效的实施主体,制约了资源化产品的实际应用。因此,要有切实可行的行业标准,使其成为实施中的行为准则。

在资金上,提供专项资金扶持或者补贴相关园林废弃物资源化建设项目或研究项目,不仅有助于减轻园林废弃物对城市卫生带来的压力,而且建立园林废弃物资源利用场,也可以为社会提供就业岗位,减少城市就业压力;其次,对园林绿色废弃物资源化利用有重大突出贡献的专家学者、社会人士或企业要给予一定的奖励。

其他,要鼓励企业投资于绿化垃圾等废弃物的回收处理利用,把绿化垃圾处理由社会公益事业性质的政府行为,转变成为企业的社会服务性质的经济行为,由市场组建专业化的经营公司进行城市绿化枯枝落叶的收集和综合处理。

5 结 语

园林废弃物资源化利用符合城市发展和我国现阶段国情需要,必将具有广阔的发展前景。因此,有针对性地开展高价值的资源化利用研究工作,严格制定可推广应用的技术标准,在国家政策支持和鼓励下循序渐进有规模地大面积实施,是解决我国现阶段园林废弃物资源化利用的根本方向。

参考文献:

- [1] 于 鑫,孙向阳,徐 佳,等.北京市园林绿化废弃物现状调查及再利用对策探讨[J].山东林业科技,2009(4):5-7,11.
 - [2] 海 容.上海植物废弃物利用显成效[N/OL].中国花卉报,2011.
 - [3] 范慧妮,陆觉民.园林废弃物循环利用(二)——收集系统的建立[J].园林,2010(10):48-50.
 - [4] 宋 青.苏州城市园林植物废弃物资源化利用问题探讨[J].中国科技信息,2013(24):25-27.
 - [5] 何珺珺,周智慧,毛飞君,等.无锡市绿化废弃物现状调查及循环利用对策探讨[M].北京:中国农业大学出版社,2012:407-412.
 - [6] 刘 强.天水市城市绿化废弃物科学处置和循环利用初探[J].农业开发与装备,2014(3):30-31.
-
- (上接第 48 页)
- [39] KUŘILCIK A, ČANOVA R M, DAPKUNIEN E S, et al. In vitro culture of *Chrysanthemum* plantlets using light-emitting diodes[J]. Central European Journal of Biology, 2008, 3(3):161-167.
 - [40] 邸秀茹,焦学磊,崔 瑾,等.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[J].植物生理学通讯,2008,44(4):661-664.
 - [41] ALVARENGA I C A, PACHECO F V, SILVA S T, et al. In vitro culture of *Achillea millefolium* L.: quality and intensity of light on growth and production of volatiles[J]. Plant Cell, Tissue & Organ Culture, 2015, 122(2):299-308.
 - [42] WANG J, LU W, 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.
 - [43] 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 & Organ Culture, 2003, 73(1):43-52.
 - [44] NHUT D T, TAKAMURA T, WATANABE H, et al. Artificial light source using light-emitting diodes (LEDs) in the efficient micropropagation of *Spathiphyllum* plantlets[J]. Acta Horticulturae, 2005, 692(692):137-142.