

LED 光调控技术在芽苗菜生产中的应用

崔瑾, 张晓燕, 鲁燕舞

南京农业大学生命科学学院, 南京 210095

摘要 芽苗菜风味独特、品质柔嫩、营养价值高,但在生产中通常使用一些生长调节剂或微量元素溶液进行浸种或喷洒,易造成化学物质在芽苗菜内积累。光环境调控技术采用物理手段调控植物生长,符合绿色农业的要求。本文针对芽苗菜的研究现状、芽苗菜生产中存在的问题,综述发光二极管(LED)光调控技术在芽苗菜生产中的研究进展,展望LED光调控技术在芽苗菜生产中的应用前景。

关键词 芽苗菜;发光二极管(LED);光调控

中图分类号 S63

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.10.005

Application of LED Light Control Technology in Sprouts Cultivation

CUI Jin, ZHANG Xiaoyan, LU Yanwu

College of Life Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

Abstract Sprouts are nutritious, with unique flavor and tender quality. Sprouts contain a variety of body essential amino acids and minerals as well as secondary metabolites, they are safety and healthy and have a certain role in health care. However, some growth regulators and trace element solution, which would easily lead to accumulation of chemicals, are commonly used in the soaking or spraying in sprout cultivation, and could give rise to safety and health hazards. The research and development of sprout production technology is urgent, which is safe, environmentally friendly, and cost-effective. Light environment control technology uses physical means to control plant growth, and meets the requirement of green agriculture, and has broad application prospects in sprout seedling vegetable cultivation. This paper summarizes the research status and production problems of sprouts cultivation, and reviews the research progress of LED light control technology in sprout cultivation, and then the development prospects are also discussed.

Keywords sprouts; light emitting diode (LED); light control

中国是世界上最早生产、食用芽苗菜的国家。早在秦汉时期,《神农本草经》中已有“大豆黄卷,味甘平,主湿痹、痉挛、膝痛”的记载,这里的“大豆黄卷”就是晒干的黄豆芽。宋代即有用大豆生产豆芽作为蔬菜食用的记载^[1]。1994年,中国农业科学院蔬菜花卉研究所芽苗类蔬菜研究课题组在前人定义的基础上,将芽苗菜定义为“利用植物种子或其他营养贮存器官,在黑暗或光照条件下直接生长出可供食用的嫩芽、芽苗、芽球、幼梢或幼茎,均可称为芽苗类蔬菜,简称芽苗菜或芽菜”^[2]。根据芽苗类蔬菜产品形成所利用营养来源的不同,又可将芽苗菜分为种芽菜、体芽菜两类^[3]。市场上常见

的芽苗菜有黄豆芽苗菜、绿豆芽苗菜、黑豆芽苗菜、豌豆芽苗菜、荞麦芽苗菜、小麦芽苗菜、油葵芽苗菜、萝卜芽苗菜、松柳芽苗菜和双维藤芽苗菜等^[4]。芽苗菜鲜嫩可口,味美清香,营养丰富,除了含有植物蛋白、不饱和脂肪酸、维生素、微量元素以及脂肪与糖分^[5]外,还含有酚类物质、黄酮醇、芦丁、花青素和皂苷等生物活性物质^[6-10]。随着对蔬菜种类和质量的要求越来越高,芽苗菜作为一种富含营养、优质、无污染的绿色食品,因其风味独特和药食同源的保健功效而越来越受到人们的喜爱,芽苗菜产业已成为很有发展前途的新兴蔬菜产业。

传统芽苗菜生产中,为了提高芽苗菜的外观品质,一些

收稿日期:2014-01-10;修回日期:2014-02-15

基金项目:国家自然科学基金项目(31171998)

作者简介:崔瑾,教授,研究方向为设施栽培光调控机理,电子信箱:cuijin@njau.edu.cn;张晓燕(共同第一作者),硕士研究生,研究方向为植物光生物学,电子信箱:2011116009@njau.edu.cn

引用格式:崔瑾,张晓燕,鲁燕舞. LED光调控技术在芽苗菜生产中的应用[J]. 科技导报, 2014, 32(10): 32-35.

芽苗菜生产商滥用化肥、激素及其他禁用保鲜剂、增白剂等化学药品现象严重,生产的有毒芽苗菜严重危害人体健康。此外,由于光环境对芽苗菜生长和营养品质的影响未得到重视,芽苗菜多在遮光环境下培养。研究表明,适当光环境下培养的芽苗菜不仅颜色翠绿、品质柔嫩,而且增加了许多有利于人体健康的次生代谢产物^[8,9]。光环境调控作为一种物理调控手段,与化学调控相比具有无可比拟的优势。

1 芽苗菜研究现状

1.1 芽苗菜生长发育

张余洋等^[11]研究发现,豌豆芽苗菜在播种密度为2.4 kg/m²、浸种24 h、温度20~25℃、培养8 d后采收的经济产率最佳。梁建光等^[12]研究表明,营养液和GA处理均可明显提高萝卜、荞麦和香椿芽苗菜的整齐度。周庆红等^[13]研究表明,浸种12 h萝卜种子发芽率最高,生长温度20~25℃、喷施赤霉素(GA)500 mg/L时萝卜芽苗菜产量最高。李春龙等^[14]对大麦芽苗菜的研究发现,培养温度为25℃,采收时间为10 d处理下大麦芽苗菜的生物产量和经济产量最高。

杨秀坚等^[15]研究了不同浓度赤霉素(GA₃)、细胞分裂素(6-BA)对萝卜芽苗菜产量的影响,研究结果表明,在萝卜芽苗菜生长期喷施不同浓度的GA₃,对萝卜芽苗菜生长均有不同程度的促进作用,其中500 mg/L的GA₃极显著地提高了萝卜芽苗菜的高度,增产效果显著;喷施不同浓度的6-BA,对萝卜芽苗菜的生长均有不同程度的抑制作用,芽苗菜的高度极显著低于对照和GA₃处理的芽苗菜高度。

1.2 芽苗菜营养品质

纪红等^[16]对花生芽苗菜的研究发现,花生从萌发的第2天起蛋白质含量逐渐升高,第8天时达最高;脂肪含量随发芽时间的推移逐渐减少,第8天时达到最低值;维生素C含量第1~5天显著增加,第5天时达到峰值,5~8 d逐渐降低。朱雪云等^[17]研究表明,黑豆芽苗菜在(23±1)℃培养时,播种后第4天蛋白质含量和维生素C含量均达最高值,分别为82.47 mg/g和49.39 mg/100 g,因此第4天采收较为适宜。Guajardo-Flores等^[18]研究表明,发芽1 d后黑豆芽苗菜及子叶中的皂苷含量分别是发芽前的1.9和2.1倍。Liu等^[19]研究发现,芝麻芽苗菜中的自由氨基酸、γ-氨基丁酸和总酚类物质的含量随着发芽时间的增加而迅速增加,但芝麻素的含量却逐渐下降。Chi等^[20]研究发现,与黄化型大豆芽苗菜相比,绿化型大豆芽苗菜的粗蛋白、粗脂肪、天冬氨酸、粗纤维和维生素等营养物质的含量均有所提高。

1.3 芽苗菜设施栽培技术

目前,中国芽苗菜生产虽在空间利用及管理上有了较大提高和发展,多层立体栽培代替了平面苗床,管道化的喷雾代替了喷雾器的手工作业,但在芽苗菜管理上还缺乏科学性和精确性,如最适温湿度、最适气体成分、最佳光照强度与时间、最科学的杀菌方式和最节能的环控技术的调控等^[21-22],严重制约了高品质芽苗菜的生产及芽苗菜产业化的实现。

2 芽苗菜生产过程中存在的问题

传统的芽苗菜生产多以家庭作坊和大棚简易生产为主,工厂化、集约化生产较少,生产技术良莠不一,生产标准没有形成,产品质量一致性差。在长期消费中,人们对芽苗菜的适口性有了更高的要求,希望下胚轴更为粗壮、白嫩、甜脆、无胚根。传统的芽苗菜生产工艺很难达到这一要求,为此人们将目光转向化学药品,如植物生长调节剂和微量元素溶液。虽然在芽苗菜栽培过程使用这些添加剂能够在一定程度上起到调控生长、富集矿质元素、增强豆芽的保健功能等作用,但由于芽苗菜生长迅速、生产周期短,这些措施也易导致化学物质在芽苗菜内的积累,从而引发安全与卫生隐患。

化学调控手段存在环境污染和食品安全等问题,在许多地区被禁止使用,例如美国相关法令禁止蔬菜种苗公司使用任何化学生长调节剂来调控幼苗生长。因此,研究开发安全环保、经济有效的芽苗菜生产技术迫在眉睫。光环境调控技术采用物理手段调控植物生长,符合绿色农业的要求,在芽苗菜生产中具有广阔的应用前景^[23]。

3 芽苗菜生产中LED光环境调控技术

在各种环境因子中,光是影响植物化学成分组成的最重要因子之一。已有研究表明,光质影响芽苗菜的生长和次生代谢物的积累。如Tsurunaga等^[24]研究发现,波长大于300 nm的UV-B处理荞麦芽苗菜,可提高其花青素和芦丁的含量以及1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)自由基清除能力。Mewis等^[25]对西兰花芽苗菜的研究表明,UV-B辐射24 h可促进山奈酚和槲皮素的积累,并且UV-B可诱导硫代葡萄糖甙(GS)的合成。张立伟等^[26]发现,红蓝混合光、蓝光处理下萝卜芽苗菜的维生素C、蛋白质含量显著高于白光和红光处理;白光显著提高了萝卜芽苗菜类黄酮含量。因此,利用光环境调控芽苗菜的生长及其营养品质具有可行性。发光二极管(LED)作为第4代新型照明光源,具有单色、发热少、单体尺寸小、寿命长、无污染等优点^[27],是芽苗菜生产中光环境调控的理想光源。

南京农业大学生命科学学院植物光生物学实验室利用LED冷光源培养箱(宁波海曙赛福实验仪器厂生产)培养芽苗菜,研究了光环境调控对黑豆、萝卜、油菜、香椿、苜蓿等芽苗菜生长(图1)和营养品质的影响。

结果表明,与黑暗培养相比,光强为3、9、15 μmol·m⁻²·s⁻¹时黑豆芽苗菜的下胚轴直径显著增加;光强为3 μmol·m⁻²·s⁻¹时黑豆芽苗菜的维生素C含量显著增加;光强为9 μmol·m⁻²·s⁻¹时黑豆芽苗菜的可溶性蛋白、可溶性糖和蔗糖含量显著增加,并且POD活性显著提高;3~9 μmol·m⁻²·s⁻¹的光强培养有利于黑豆芽苗菜的生长和部分营养品质的改善^[28]。

在光照强度为23 μmol·m⁻²·s⁻¹、光周期为14 h/d和温度为(25±2)℃的条件下,红光处理显著提高油菜芽苗菜的子叶面积、下胚轴直径、淀粉含量、叶绿素总量/类胡萝卜素含量^[29]。随着红光光周期从0延长至16 h/d,油菜芽苗菜的叶绿素和

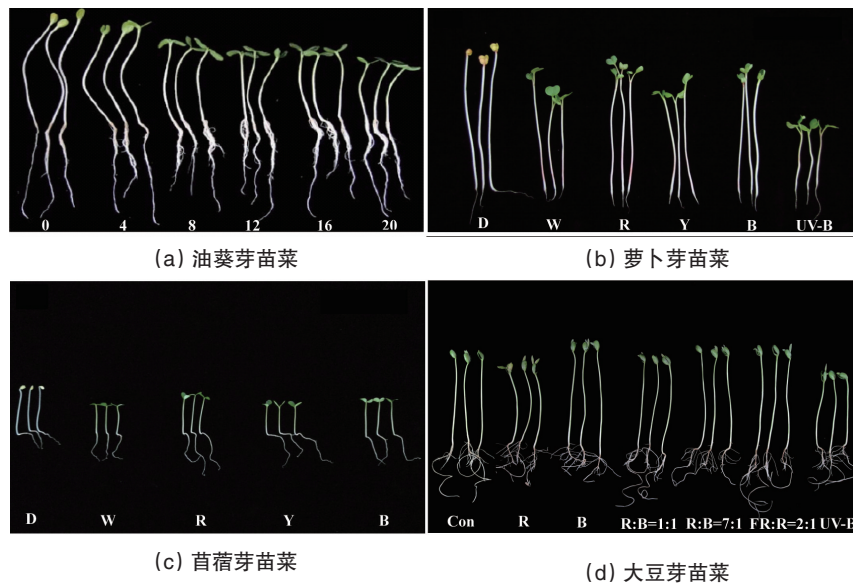


图1 光质和光周期对不同芽苗菜生长的影响
 Fig. 1 Effects of light quality and photoperiod on growth of sprouts
 (a) 中0、4、8、12、16、20 h/d为光周期。(b)、(c)中,D为黑暗;W为LED白光(380~780 nm);R为LED红光(658±10) nm;Y为LED黄光(585±10) nm;B为LED蓝光(460±10) nm;UV-B为紫外光(311 nm)。(d)中,Con为荧光灯(380~750 nm);R:B=1:1为红/蓝组合光,红蓝光比例1:1;R:B=7:1为红/蓝组合光,红蓝光比例7:1;FR:R=2:1为远红光/红光组合光,远红光红光比例2:1

图1 光质和光周期对不同芽苗菜生长的影响
 Fig. 1 Effects of light quality and photoperiod on growth of sprouts

类胡萝卜素含量显著提高;全株鲜质量和淀粉含量在光周期为16 h/d时均有显著提高;维生素C的含量随光周期延长呈现逐渐提高的趋势,而游离氨基酸含量、SOD和CAT活性均呈现降低趋势。总体而言,红光光周期设置在16 h/d时有利于促进油菜芽苗菜生长和部分品质改善^[30]。

与黑暗培养和其他光质处理相比,蓝光显著提高苜蓿芽苗菜的可溶性蛋白、游离氨基酸、维生素C、总酚类和总黄酮的含量,以及DPPH自由基清除能力,显著降低硝酸盐含量;黄光下槲皮素含量与苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性呈显著正相关。白光显著提高香椿芽苗菜的可食干质量、全株干质量、可食率、维生素C含量和可溶性糖含量^[31]。

红光处理对萝卜芽苗菜生长影响显著,下胚轴长、子叶面积、植株鲜质量及干质量均达最大值,且显著高于对照;红光与红蓝光组合处理下,可溶性糖与淀粉含量均显著高于对照^[32]。

4 LED光环境调控技术在芽苗菜生产中的应用前景

光是影响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。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^[33]。芽苗菜作为植物幼苗,光对其生长和营养品质都有很大的影响。利用LED光调控技术培育芽苗菜是一项节能环保、经济有效且简便易行的新方法,它将有效提高芽苗菜的产量和营养品质,增加芽苗菜生产的经济效益,具有极大的生产应用价值。

LED作为第四代新型照明光源,能够降低能源消耗和运行成本,提高光能利用率和光环境调控的精度,因此在植物组织培养、设施园艺、叶菜植物工厂以及植物工厂育苗中已经得到广泛应用。但目前芽苗菜生产中LED光环境调控技

术的应用尚缺乏全面而深入的理论基础研究和成熟的技术。为了实现LED光环境调控在芽苗菜生产中的广泛应用,需要加强以下3方面的研究。

1) 光环境调控在芽苗菜生产中的应用基础研究。迄今为止,中国植物设施栽培领域的LED应用机理研究还处于起步阶段。借鉴国外研究成果,进一步系统深入研究LED应用于中国设施栽培领域的基础理论十分必要。急需深入研究光质、光强、光周期和照光时间以及温度、湿度和培养基质等对芽苗菜生长发育和物质代谢的影响,并深入探究相关机理,为芽苗菜工厂化生产提供科学依据。

2) 光调控技术和调控系统设施的研究。研究和应用环境监测和调控系统,对芽苗菜培养环境内的光环境进行实时监测和直接调控,满足芽苗菜在不同生长发育阶段对光环境的需求。目前国内的该项研究尚在起步阶段,并急需与现代工业、生物工程和信息技术等学科深入合作。

3) 开发具有自主知识产权的LED光环境调控设施。中国虽然是植物设施栽培面积大国,但在芽苗菜生产领域具有自主知识产权的LED技术产品的研发基本还是空白,急需与工程学科和植物学科的研究者合作,研制开发出符合中国生产实际的LED植物光源、照明自动控制系统、新型芽苗菜生长调控装置等。

参考文献(References)

- [1] 李海平. 芽苗菜无公害栽培技术[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2006.
Li Haiping. Cultivation techniques of non-pollution vegetable sprouts [M]. Beijing: China Social Sciences Press, 2006.
- [2] 陈振德. 蔬菜设施栽培与良种高产繁育技术[M]. 青岛: 青岛出版社, 2002.
Chen Zhende. Vegetables facility cultivation and breeding of high yield breeding technology[M]. Qingdao: Qingdao Publishing House, 2002.

- [3] 袁祖华, 汪端华. 蔬菜高效栽培技术[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2011.
Yuan Zuhua, Wang Duanhua. Efficient cultivation of vegetables[M]. Changsha: Central South University Press, 2011.
- [4] 赵西韩, 关开阳. 营养又畅销的十种芽苗菜[J]. 长江蔬菜, 2013(7): 17-18.
Zhao Xihan, Guan Kaiyang. Ten kinds of nourishing and salable sprouts [J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2013(7): 17-18.
- [5] 饶敏杰, 夏海云. 家庭巧种巧用芽苗菜[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002.
Rao Minjie, Xia Haiyun. Cleverly planted and use of sprouts in family [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2002.
- [6] Guajardo-Flores D, Serna-Saldívar S O, Gutiérrez-Urbe J A. Evaluation of the antioxidant and antiproliferative activities of extracted saponins and flavonols from germinated black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) [J]. Food Chemistry, 2013, 141(2): 1497-1503.
- [7] Koyama M, Nakamura C, Nakamura K. Changes in phenols contents from buckwheat sprouts during growth stage[J]. Journal of Food Science and Technology, 2013, 50(1): 86-93.
- [8] Lee J, Hwang Y S, Lee J D, et al. Metabolic alterations of lutein, β -carotene and chlorophyll a during germination of two soybean sprout varieties[J]. Food Chemistry, 2013, 141(3): 3177-3182.
- [9] Younis M E B, Hasaneen M N A G, Abdel-Aziz H M M. An enhancing effect of visible light and UV radiation on phenolic compounds and various antioxidants in broad bean seedlings[J]. Plant Signaling & Behavior, 2010, 5(10): 1197-1203.
- [10] Oh M M, Rajashekar C B. Antioxidant content of edible sprouts: Effects of environmental shocks[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2009, 89(13): 2221-2227.
- [11] 张余洋, 胡全凌, 李汉霞. 不同处理对豌豆和萝卜芽苗菜生长、产量及品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2008, 27(2): 289-293.
Zhang Yuyang, Hu Quanling, Li Hanxia. Effects of treatments on the growth, yield and quality of pea and radish sprouts[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2008, 27(2): 289-293.
- [12] 梁建光, 蒋小满, 柏新富. 营养液和赤霉素对芽苗菜生长的影响[J]. 烟台师范学院学报: 自然科学版, 2003, 19(4): 271-273.
Liang Jianguang, Jiang Xiaoman, Bai Xinfu. The effects of nutrient solution and gibberellin on growth of sprouting vegetables[J]. Yantai Normal University Journal: Natural Science Edition, 2003, 19(4): 271-273.
- [13] 周庆红, 曾勇军, 唐杰, 等. 不同处理对萝卜芽苗菜产量及品质的影响[J]. 现代园艺, 2013(2): 3-5.
Zhou Qinghong, Zeng Yongjun, Tang Jie, et al. Effects of treatments on the yield and quality of radish sprouts[J]. Xiandai Horticulture, 2013(2): 3-5.
- [14] 李春龙, 韩春梅, 叶少平, 等. 不同温度处理和采收时间对大麦芽苗菜生产的影响[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(8): 3364-3365.
Li Chunlong, Han Chunmei, Ye Shaoping, et al. Effects of different temperature and harvest time on barley (*Hordeum vulgare* L.) sprouts production[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2013, 41(8): 3364-3365.
- [15] 杨秀坚, 罗富英. 不同浓度 GA_3 、6-BA 对萝卜芽苗菜产量影响的研究[J]. 北方园艺, 2006(4): 22-23.
Yang Xiujian, Luo Fuying. Effects of different concentrations of both GA_3 and 6-BA on the yield of radish seedlings[J]. Northern Horticulture, 2006(4): 22-23.
- [16] 纪红, 任洋, 张美平, 等. 花生芽苗菜生长过程中营养物质代谢的研究[J]. 北京农学院学报, 2008, 28(3): 13-15.
Ji Hong, Ren Yang, Zhang Meiping, et al. Nutrition and metabolism of peanut sprouts during growth[J]. Journal of Beijing University of Agriculture, 2008, 28(3): 13-15.
- [17] 朱雪云, 魏旻圣. 两种芽苗菜蛋白质和维生素 C 含量与栽培时间的关系[J]. 北方园艺, 2012(24): 41-43.
Zhu Xueyun, Wei Minsheng. The relationship between the content of protein and Vc with culture time in seedlings of black bean and radish [J]. Northern Horticulture, 2012(24): 41-43.
- [18] Guajardo-Flores D, García-Patiño M, Serna-Guerrero D, et al. Characterization and quantification of saponins and flavonoids in sprouts, seed coats and cotyledons of germinated black beans[J]. Food Chemistry, 2012, 134(3): 1312-1319.
- [19] Liu B, Guo X, Zhu K, et al. Nutritional evaluation and antioxidant activity of sesame sprouts[J]. Food Chemistry, 2011, 129(3): 799-803.
- [20] Hee-Youn C, Jae-Seung R, Jung-Tae K, et al. Light quality on nutritional composition and isoflavones content in soybean sprouts[J]. Korean Journal of Crop Science, 2005, 50(6): 415-418.
- [21] 张德纯, 王德滨. 芽苗菜栽培技术[J]. 中国食物与营养, 2003(2): 45-47.
Zhang Dechun, Wang Debin. Sprout cultivation techniques[J]. Food and Nutrition in China, 2003(2): 45-47.
- [22] 汤治国, 丁志诚. 铜陵市芽苗菜生产现状与对策[J]. 现代农业科技, 2013(3): 112-117.
Tang Zhiguo, Ding Zhicheng. Production status and countermeasures of sprouts in Tongling[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2013(3): 112-117.
- [23] 马超, 张欢, 郭银生, 等. LED 在芽苗菜生产中的应用及前景[J]. 中国蔬菜, 2010(20): 9-13.
Ma Chao, Zhang Huan, Guo Yinsheng, et al. Applications and prospects of LED in sprout seedling vegetable cultivation[J]. China Vegetables, 2010(20): 9-13.
- [24] Tsurunaga Y, Takahashi T, Katsube T, et al. Effects of UV-B irradiation on the levels of anthocyanin, rutin and radical scavenging activity of buckwheat sprouts[J]. Food Chemistry, 2013, 141(1): 552-556.
- [25] Mewis I, Schreiner M, Nguyen C N, et al. UV-B irradiation changes specifically the secondary metabolite profile in broccoli sprouts: Induced signaling overlaps with defense response to biotic stressors[J]. Plant & Cell Physiology, 2012, 53(9): 1546-1560.
- [26] 张立伟, 刘世琦, 张自坤, 等. 光质对萝卜芽苗菜营养品质的影响[J]. 营养学报, 2010, 32(4): 390-393.
Zhang Liwei, Liu Shiqi, Zhang Zikun, et al. Effects of light qualities on the nutritive quality of radish sprouts[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2010, 32(4): 390-393.
- [27] 杨其长, 魏灵玲, 刘文科, 等. 植物工厂系统与实践[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.
Yang Qichang, Wei Lingling, Liu Wenke, et al. Plant factory: System and practice [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2012.
- [28] 张毅华, 张晓燕, 崔瑾. 光强对黑豆芽苗菜生长和营养品质的影响[J]. 中国蔬菜, 2013,(16): 49-54.
Zhang Yihua, Zhang Xiaoyan, Cui Jin. Effects of light intensity on growth and nutritional quality of black soybean sprouts[J]. China Vegetables, 2013(16): 49-54.
- [29] 邢泽南, 张丹, 李薇, 等. 光质对油菜芽苗菜生长和品质的影响[J]. 南京农业大学学报, 2012, 35(3): 47-51.
Xing Zenan, Zhang Dan, Li Wei, et al. Effects of light quality on the growth and quality of *Helianthus annuus* sprouts[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2012, 35(3): 47-51.
- [30] 张欢, 章丽丽, 李薇, 等. 不同光周期红光对油菜芽苗菜生长和品质的影响[J]. 园艺学报, 2012, 39(2): 297-304.
Zhang Huan, Zhang Lili, Li Wei, et al. Effects of photoperiod under red LED on growth and quality of sunflower sprouts[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2012, 39(2): 297-304.
- [31] 唐丽. LED 光质在植物组织培养和芽苗菜栽培中的调控作用及机理[D]. 南京: 南京农业大学, 2013.
Tang Li. Regulation and mechanism of LED light quality in plant tissue culture and sprouts cultivation[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2013.
- [32] 张欢, 徐志刚, 崔瑾, 等. 不同光质对萝卜芽苗菜生长和营养品质的影响[J]. 中国蔬菜, 2009(10): 28-32.
Zhang Huan, Xu Zhigang, Cui Jin, et al. Effects of different spectra on growth and nutritious quality of radish sprouting seedlings[J]. China Vegetables, 2009(10): 28-32.
- [33] 崔瑾, 徐志刚, 邸秀茹. LED 在植物设施栽培中的应用和前景[J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 249-253.
Cui Jin, Xu Zhigang, Di Xiuru. Applications and prospects of light emitting diode in plant protected culture[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(8): 249-253.

(责任编辑 王媛媛)