

光环境调控及 LED 在蔬菜设施栽培中的应用和前景

刘立功¹ 徐志刚² 崔瑾^{3*} 张欢³

(¹北京市农林科学院蔬菜研究中心, 北京 100097; ²南京农业大学农学院, 江苏南京 210095; ³南京农业大学生命科学学院, 江苏南京 210095)

摘要: 综述了近年来光环境调控及发光二极管 (LED) 在蔬菜设施栽培中的研究与应用, 主要内容包括: 我国蔬菜设施栽培中光环境现状及问题, 光环境调控在蔬菜设施栽培中的应用研究进展, LED 在蔬菜设施栽培中的应用前景分析。

关键词: 光照; 蔬菜; 设施栽培; LED

中图分类号: S626 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6346 (2009) 14-0001-05

Applications and Prospects of Light Environment Control in Protected Vegetable Cultivation

LIU Li-gong¹, XU Zhi-gang², CUI Jin^{3*}, ZHANG Huan³

(¹Vegetable Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; ²College of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu, China; ³College of Life Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu, China)

Abstract: The investigation and applications of light environment control and light emitting diode (LED) in protected vegetable cultivation were summarized in this paper. The main contents included the present status and existing problems in protected vegetable cultivation in China, application of light control in protected vegetable cultivation, studies and prospects of LED used in protected vegetable cultivation.

Key words: Light; Vegetable; Protected cultivation; LED (light emitting diode)

1 我国蔬菜设施栽培中光环境现状及问题

设施栽培是一种可控农业, 又称环境调控农业 (controlled environment agriculture), 能不同程度地减轻或防止露地生产条件下灾害性气候和不利环境条件对农业生产的危害。我国蔬菜设施栽培总面积达 292.19 万 hm^2 ^[1], 已成为世界设施栽培面积最大的国家, 并成为许多省市农业中的支柱产业和农民致富的主要途径。

设施内的光环境对蔬菜的生长有重大影响, 调节好光环境是实现高产优质的首要条件。在蔬

收稿日期: 2009-05-14; 接受日期: 2009-06-25

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30800764), 中国农业大学-南京农业大学青年教师开放科研基金 (Y200880)

作者简介: 刘立功, 男, 助理研究员, 硕士, 专业方向: 蔬菜栽培, E-mail: liuligongcn@yahoo.com.cn

*通讯作者 (Corresponding author): 崔瑾, 副教授, 硕士生导师, 专业方向: 植物发育生物学, E-mail: cuijin@njau.edu.cn

菜生产中, 光合有效辐射 (Photosynthetic Active Radiation, PAR) 的供给限制作物的生长^[2]。由于大棚作物是反季节种植, 且冬季光照时间短, 塑料薄膜及保温措施致使大棚内光照严重不足。如遇阴、雨、雪、雾天气, 或我国南方阴雨连绵、梅雨季节, 温室、大棚内缺光现象更加严重, 光照强度和光照时间明显不足, 很容易造成幼苗徒长。有研究报道番茄徒长苗表现出早期落花严重及早衰的现象, 与健壮苗相比, 总产量下降 1/3 左右^[3]。而且喜强光照的果菜类作物长期生长在弱光逆境中, 导致植株营养体生长不健壮、落花落果严重、果实发育缓慢、含糖量降低、产量下降、品质变劣, 表现为弱光胁迫^[4], 作物不能进行正常的光合作用, 病虫害增加, 从而导致减产, 甚至绝收。

如何提高作物的光合作用效率, 促进作物生长, 减少作物种植过程中农药的大量使用, 发展高效无污染的绿色农业, 也为大棚种植提出了新的课题。应用于蔬菜设施栽培中的光环境调控技术是一项节能环保、经济有效且简便易行的新方法, 具有突出优势, 对该项技术的研究引起各国学者广泛兴趣并逐渐发展起来。

2 光环境调控在蔬菜设施栽培中的应用研究进展

光是植物生长发育的基本因素之一, 它不仅为植物光合作用提供辐射能, 而且还为植物提供信号调节其发育过程。随着对植物光合作用机理的不断深入, 人们逐渐开始研究在自然光照较弱的时节调控光环境来进行植物栽培以突破自然条件的局限。

2.1 蔬菜光照栽培的研究

植物的光照栽培——植物完全在人工光照下或在夜间、白天补充人工光照的培育开始于 19 世纪末。前苏联科学院季米里亚捷夫植物生理研究所进行了多种人工光源照射对葛菌、白芥、黄瓜、番茄、菠菜、西葫芦、花椰菜、洋葱、冬油菜等的栽培实验, 结果证明, 在同样的辐射强度和适宜的日照长度下, 植物的发育在橙红光下完成最快, 其次是蓝光, 再其次是绿光; 短日照植物在连续光照下, 由于橙红光的光周期活性强, 在蓝光下先开花而在橙红光下后开花^[5]。Bickford 等^[6]采用不同光质对植物进行照射, 研究认为不同波长的光照射植物会直接影响机体内部的生化反应, 对植物生理和形态所起的作用值得深入研究。

我国学者在 20 世纪 80 年代用不同光质的荧光灯进行全光照栽培, 研究不同光质对黄瓜、番茄幼苗生长的影响, 结果表明: 红光下干物质积累多, 叶面积扩展快, 光合速率、叶绿素含量、可溶性糖及总糖的含量均最高, 叶绿素 a/b 值及总氮含量低; 蓝光促进幼苗茎增粗, 加速植株发育, 调节气孔开放, 促进细胞膜透性及细胞质环流; 红蓝光混合下幼苗的生长优于红光^[7]。储钟稀等^[8]研究光质对黄瓜叶片光合特性的影响, 结果表明, 光质对调节黄瓜叶片 PS_{II}、PS_{II} 的发育和光合活性以及光合释放 O₂ 速率具有重要作用。徐师华等^[9]研究发现黄膜覆盖下黄瓜霜霉病发病率低、光质好、光合有效辐射较高, 有利于作物光合作用和光合产物积累, 产量高。张蕾^[10]研究发现红光可以使番茄和茄子成熟期提前、产量提高, 使番茄株高下降, 而使茄子的株高上升。

王绍辉等^[11]研究指出, 在黄瓜苗期增加 UVA 和红光的照射, 减少蓝光和 UVB 的照射, 有利于植株茁壮生长; 红光与蓝光有利于黄瓜果实 VC 与还原糖含量的提高; 蓝光与 UVA 能促进黄瓜果实蛋白质的形成; 红光照射下黄瓜产量比自然光对照和 UVB 处理都高, 但红光增产的效果低于 UVA 处理。刘玉颖等^[12]研究认为, 红光照射下番茄叶片比白光照射下含有较多的蔗糖、蛋白质, 以及较高的蔗糖酶活性; 补充光照对番茄幼苗的一些外部形态产生影响。蒲高斌等^[13]研究发现, 红光处理的番茄幼苗营养生长旺盛, 干物质积累多, 叶面积扩展快, 光合速率显著高于其他处理; 蓝光处理的叶绿素含量虽略低于白光对照, 但光合速率仍显著高于白光对照, 蓝光处理可提前花期 2~3 d, 并显著提高第 1 和第 2 穗果的产量。杜洪涛等^[14]研究指出, 不同的光质处理对彩色甜

椒幼苗的生长存在明显差异, 红光下植株较高, 蓝光下植株较矮, 说明红光对茎的伸长有促进作用。这与杜健芳等^[15]在油菜上的研究结果一致。

尽管以上研究证实光质对蔬菜生长的特殊效应, 但由于试验大多采用彩色荧光灯、滤光片或有色聚氯乙烯薄膜获得光质, 无法定量精确调制光谱能量分布, 调控光环境, 因而影响到结论的可靠性和可比性。

2.2 LED 应用于蔬菜设施栽培的研究

长期以来在农业领域使用的人工光源主要有高压钠灯、荧光灯、金属卤素灯、白炽灯等, 这些光源的突出缺点是能耗大、运行费用高, 能耗费用占全部运行成本的 50% ~ 60%。因此, 提高发光效率、减少能耗一直是农业领域人工光应用的重要课题^[16]。

作为第四代新型照明光源, LED 具有节能环保、光电转换效率高、寿命长、发热低、冷却负荷小、光量与光质可调节、易于分散或组合控制等许多不同于其他电光源的重要特点^[17-18]。由于这些显著的特征, LED 适合应用于可控环境中的植物培养或栽培, 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^[19-20]。

发达国家正积极研究将 LED 光源应用于植物设施栽培领域的技术和产品。Fukai 等^[21]报道了一种采用 LED 光源的蔬菜植物工厂, 采用 NFT 方式生产生菜、芹菜等, 蔬菜定植 14 d 后即可收获, 光能利用效率极高。Nichols 等^[22]研究发现温室内的传统人工光源产生热量太多, 如采用 LED 补充照明, 电能被高效地转变为有效光合辐射, 最终转化为植物物质。在应用 LED 为 400 ms 频率和 50% 占比下, 生菜的生长速率、光合速率都提高 20% 以上, 该研究表明将 LED 应用于植物工厂是可行的^[23]。后来的研究发现, 单一或组合 LED 光质调控菠菜^[24-25]、萝卜^[24-25]、生菜^[24-25]、甜菜^[26]、胡椒^[27]、紫苏^[28]等蔬菜的形态建成和光合作用产生不同效应, 可以达到提高光合效率、促进生长和调控形态建成的目的。

目前, 我国蔬菜设施栽培领域的 LED 光环境调控技术与机理研究还处于发展阶段。侯红英^[29]用不同光质 LED 对小白菜、番茄、油菜进行补光栽培试验, 认为红光能够极大地促进植株光合产物的积累, 表现为植株的鲜质量和株高明显提高; 而蓝光能够使苗更粗壮。刘水丽^[30]研究人工光与自然光环境下黄瓜育苗对照试验表明, LED 光环境下植株生长速率高于其他处理, 主要表现为叶面积大, 叶片数多, 叶片生长速度快, 扎根较深, 表现出一定的生长优越性。魏灵玲等^[31]的育苗试验表明, LED 的红蓝光比值 (R/B) 为 7:1 时, 黄瓜苗的各项生理指标最优, 节能效果显著。张欢等^[32]采用 LED 作为光源, 研究红光、远红光、黄光、蓝光、蓝光 + 红光对萝卜芽苗菜生长和营养品质的影响, 结果表明, 红光照射有利于萝卜芽苗菜生长, 提高产量, 改善部分营养品质。

3 LED 光环境调控技术在蔬菜设施栽培中的应用前景分析

3.1 LED 将在蔬菜工厂化育苗中发挥重要作用

育苗是蔬菜生产的重要环节。由于幼苗的形态建成是一个不可逆转的过程, 培育成的幼苗健壮程度将直接影响植株的生长发育, 并与作物的产量和品质密切相关^[33]。利用光调控技术来培育壮苗是一项节能环保、经济有效且简便易行的新方法, 具有突出优势, 对培育壮苗有重要意义。有研究报道光环境调控对黄瓜^[7-8, 30-31, 34-35]、番茄^[12-13, 34-35]、甜椒^[14]、油菜^[15]等幼苗的生长发育产生显著影响。此外, 瓜类的性别表现易受环境因素和化学调控等因子的影响, 由于瓜类的性别分化发生在苗期, 所以育苗期间可以通过对光周期的控制来人为调控瓜类的性别表现^[36-37]。LED 在应用于蔬菜育苗期的光环境调控中具有无可比拟的优越性, 必将在蔬菜工厂化育苗中发挥

重要作用。

3.2 LED将广泛应用于植物工厂

植物工厂作为设施园艺的最高级发展阶段,被认为是21世纪农业取得革命性突破的重要技术手段之一。目前,植物工厂有两种主要模式:一种是以温室为主体的太阳光和人工光并用型植物工厂;另一种是以封闭的隔热空间为主体的人工光完全控制型植物工厂^[38]。与并用型植物工厂相比,人工光完全控制型植物工厂受外界气候影响小,可实现周年生产,且可多层培植,空间利用率和产量水平高,优势明显,但空调和照明耗电大、运行成本高也成为其发展的重要制约因素^[16]。因此,节能特点显著的LED必将会在未来的植物工厂中得到充分应用。

我国是蔬菜设施栽培面积大国,但有关LED光环境调控应用于蔬菜设施栽培领域的技术和理论研究还处于初步发展阶段。不同作物、不同生长时期所需的光质、光量及光周期存在一定差异,虽有一些国外文献报道应用红光、蓝光LED等光谱组合对不同作物生长发育和形态建成影响的研究,但缺乏结合不同种类及不同生长时期分析作物对LED光环境调控响应机理的研究^[39]。此外,在我国蔬菜设施栽培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,急需工程学科和园艺学科的研究者共同合作,研制开发出符合我国生产实际的LED植物光源、照明自动控制系统和大型植物工厂化育苗光环境调控设施,对于发展我国蔬菜设施栽培产业具有重要实际意义。

参考文献

- [1] 张真和. 我国设施蔬菜发展中的问题与对策 [J] 中国蔬菜, 2009 (1): 1 - 3.
- [2] 葛晓光. 蔬菜栽培二百题 [M] 2版. 北京: 中国农业出版社, 1997: 102 - 104.
- [3] 马光恕, 廉华. 设施内环境要素的变化规律及对蔬菜生长发育的影响 [J] 黑龙江八一农垦大学学报, 2002, 14 (3): 16 - 20.
- [4] Durieux A. Effect of additional lighting on the production of vegetable crops [J] Acta Horticulturae, 1997, 418: 33 - 36.
- [5] 克列什宁 A. 植物与光 [M] 雷宏傲, 译. 北京: 科学出版社, 1963: 380.
- [6] Bickforded, Dunns Lighting for Plant Growth [M] Kent, Ohio: Kentstate University Press, 1977: 46 - 56.
- [7] 王羽梅, 赵清岩, 林维申. 不同光质的荧光灯对黄瓜、番茄幼苗生长的影响 [J] 园艺学报, 1988, 15 (3) 180 - 184.
- [8] 储钟稀, 童哲, 冯丽洁, 张群, 温晓刚, 宋森田, 朱孝凤. 不同光质对黄瓜叶片光合特性的影响 [J] 植物学报, 1999, 41 (8): 867 - 870.
- [9] 徐师华, 王修兰, 吴毅明. 不同光质 (光谱) 对作物生长发育的影响 [J] 生态农业研究, 2000, 8 (1): 18 - 20.
- [10] 张蕾. 光质在植物生长发育过程中的调控作用 [D] 保定: 河北大学, 2000.
- [11] 王绍辉, 孔云, 陈青君, 程继鸿, 徐利林. 不同光质补光对日光温室黄瓜产量与品质的影响 [J] 中国生态农业学报, 2006, 14 (4): 119 - 121.
- [12] 刘玉颖, 廖祥儒, 徐景智, 王俊峰, 李同凯. 补充光照对番茄幼苗生长的影响 [J] 河北大学学报: 自然科学版, 2002, 22 (1): 51 - 54.
- [13] 蒲高斌, 刘世琦, 刘磊, 任丽华. 不同光质对番茄幼苗生长和生理特性的影响 [J] 园艺学报, 2005, 32 (3): 420 - 425.
- [14] 杜洪涛, 刘世琦, 张珍. 光质对彩色甜椒幼苗生长及酶活性影响 [J] 华北农学报, 2005, 20 (2): 45 - 48.
- [15] 杜建芳, 廖祥儒, 叶步青, 李萌. 光质对油菜幼苗生长及抗氧化酶活性的影响 [J] 植物学通报, 2002, 19 (6): 743 - 745.
- [16] 杨其长. LED在农业与生物产业的应用与前景展望 [J] 中国农业科技导报, 2008, 10 (6): 42 - 47.
- [17] Brown C S, Schuerger A C, Sager J C. Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting diodes with supplemental blue or far-red lighting [J] Am Soc Hort Sci, 1995, 120: 808 - 813.
- [18] 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 [J] Advances in Space Research, 2008, 41: 736 - 741.
- [19] 饶瑞信, 方炜, 李登华. 超高亮度发光二极管作为组培苗栽培人工光源之灯具制作与应用 [J] 中国园艺, 2001, 47 (3): 301 - 312.
- [20] Bula R J, Morrow R C, Tibbits T W, Barta D J. Light-emitting diodes as a radiation source for plants [J] HortScience, 1991, 26 (2): 203 - 205.
- [21] Fukai S, Fujiwara K, Okamoto K, Hasegawa H, Goi M. Effects of red and blue lights on germination and protocorm growth of

- Calanthe satsuma* [J] Lindleyana, 1997, 12: 169 - 171.
- [22] Nichols M, Christie C B. Towards a sustainable 'greenhouse' vegetable factory [J] Acta Horticulturae, 2002, 578: 153 - 156.
- [23] Mori Y, Takatsuji M, Yasuoka T. Effects of pulsed white LED light on the growth of lettuce [J] Journal of Society of High Technology in Agriculture, 2002, 14 (3): 136 - 140.
- [24] Yanagi T, Okamoto K. Utilization of super-bright light emitting diodes as an artificial light source for plant growth [J] Acta Horticulturae, 1997, 418: 223 - 228.
- [25] Yorio N C, Goins G D, Kagie H R, Wheeler R M, Sager J C. Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation [J] HortScience, 2001, 36 (2): 380 - 383.
- [26] Shin K S, Murthy H N, Heo J W, Paek K Y. Induction of betalain pigmentation in hairy roots of red beet under different radiation sources [J] Biologia Plantarum, 2003, 47 (1): 149 - 152.
- [27] Andrew C S, Christopher S B, Elizabeth C. Anatomical features of pepper plants (*Capsicum annuum* L.) grown under red light-emitting diodes supplemented with blue or far-red light [J] Annals of Botany, 1997, 79: 273 - 282.
- [28] Choi Y W, Ahn C K, Kang J S, Son B G, Choi I S, Kim Y C, Lee Y G, Kim K K, Kim Y G, Son K W. Growth, photomorphogenesis, and photosynthesis of perilla grown under red, blue light emitting diodes and light intensities [J] Journal of the Korean Society Horticultural Science, 2003, 44 (3): 281 - 286.
- [29] 侯红英. 人工调光环境下蔬菜生长的研究 [D] 青岛: 中国海洋大学, 2006.
- [30] 刘水丽. 人工光源在封闭式植物工厂中的应用研究 [D] 北京: 中国农业科学院, 2007.
- [31] 魏灵玲, 杨其长, 刘水丽. 封闭式植物种苗工厂的设计及其光环境研究 [J] 中国农学通报, 2007, 23 (12): 415 - 419.
- [32] 张欢, 徐志刚, 崔瑾, 郭银生, 谷艾素. 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.
- [33] 汪俏梅. 设施栽培中培育壮苗的一些技术措施 [J] 沈阳农业大学学报, 2000, 31 (2): 120 - 123.
- [34] 吴肇志, 顾智章, 王德棕. 补光强度和补光时间对番茄黄瓜幼苗生长发育的影响 [J] 中国蔬菜, 1985 (1): 4 - 8.
- [35] 王羽梅, 赵清岩. 不同光质的荧光灯对黄瓜、番茄幼苗生长的影响 [J] 园艺学报, 1988, 15 (3): 180 - 184.
- [36] Wang Q M, Zeng G W. The effect of phytohormones and polyamines on secual differentiation of *Manduca charantia* L. [J] Acta Horticulture Sinica, 1997, 24 (1): 48 - 52.
- [37] 关佩聪. 丝瓜的光周期反应 [J] 园艺学报, 1990, 17 (2): 126 - 132.
- [38] 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.
- [39] 崔瑾, 徐志刚, 邱秀茹. 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.

·封面说明·

德瑞特[®] 黄瓜

天津德瑞特种业有限公司

地址: 天津市华苑产业园区华天道 8 号海泰信息广场 C 座 1009

邮编: 300384

电话: 022 - 23708855 传真: 022 - 23708555