

尹 娟. 光质对芹菜叶片光合色素和光合荧光特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(4): 116–119.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.04.029

# 光质对芹菜叶片光合色素和光合荧光特性的影响

尹 娟

(信阳农林学院, 河南信阳 464000)

**摘要:**以发光二极管(LED)为光源、荷兰西芹为试材探究红光、蓝光、红蓝(6:1)、红蓝(2:1)和白光(对照)对芹菜光合色素、光合特性及叶绿素荧光的影响。结果表明,芹菜的  $F_v/F_m$  和  $F_v/F_o$  趋势一致,表现为红蓝光(6:1) > 红蓝光(2:1) > 红光 > 白光 > 蓝光;  $\Phi_{PSII}$  和  $q_P$  在红蓝光(6:1)下最高。光质对叶绿素 a 和叶绿素(a+b)的影响与  $F_v/F_m$  和  $F_v/F_o$  趋势一致,而叶绿素 b 含量在红蓝光(2:1)下最高,红光下最低;类胡萝卜素在红蓝光(6:1)下最高,蓝光下最低。不同光质下芹菜光合速率与蒸腾速率、气孔导度整体上呈正相关关系,与胞间  $CO_2$  浓度呈负相关关系;除胞间  $CO_2$  浓度在蓝光下最高外,光合速率、蒸腾速率和气孔导度均在红蓝光(6:1)下最高。综合以上各光合指标,以红蓝光(6:1)照射较佳。

**关键词:**芹菜;光质;光合色素;光合特性;荧光

**中图分类号:** S636.301 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)04-0116-03

光质是植物生长发育的重要环境因子。光合作用有效的可见光光谱在 380~760 nm 范围内,这一区间的波长对植物的形态建成、次生代谢、生理代谢、光周期及营养品质具有调节作用<sup>[1]</sup>。高等植物的光系统及光信号转导系统,能够对光质、光照度、照射角度和时间、光质作出适应性反应<sup>[2]</sup>。光质影响种子萌发,其中红光与远红光的比例对种子能否充分萌发起决定作用<sup>[3]</sup>。叶片的形成与光合器官发育受光质调控,莴苣在红蓝绿组合光下叶面积最大<sup>[4]</sup>,人参叶片在蓝膜下基粒排列松散,红膜下排列整齐<sup>[5]</sup>。红光降低茎的生长速率,而远红光能解除这一效应<sup>[6]</sup>。蓝光促进侧根生长,红光促进组培苗分化生长。蓝光下植物蛋白质含量高,而红光下碳水化合物含量高<sup>[7]</sup>。另外,光照度和光质对叶绿素蛋白质复合物的形成及光系统 II (PS II) 和光系统 I (PS I) 之间的电子传递也具有调节作用<sup>[8]</sup>。

发光二极管(LED)作为第 4 代新型照明光源,可发射植物生长所需的单色光,与传统人工光源相比,具有体积小、质量轻、寿命长、冷光源、光质单一、光谱性能好、光能转化率高、环保等众多优点<sup>[9]</sup>,随着其向高亮度、低成本方向的快速发展,被越来越多的学者用于科学研究,也越来越多地被用于蔬菜工厂化育苗和蔬菜立体栽培。

本试验通过 LED 光源设置不同光质处理,探究其对芹菜光合特性、光合参数、营养品质的影响,以期通过光质环境调控使芹菜优质高产,并为其他叶菜类蔬菜的光质调控研究提供理论和数据参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试验设计

试验于 2016 年 3 月 11 日进行。以荷兰西芹为试材,试

验设 5 个 LED 光源处理,分别为红光(655.7 nm, R)、蓝光(456.2 nm, B)、红蓝组合光(2:1, R2B1)、红蓝组合光(6:1, R6B1)和白光(对照, W)。LED 光源为顶部照明,高度可调,试验期间使 LED 光源与荷兰西芹之间始终保持约 50 cm 的距离,光照度为 280  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

将浸种催芽后的荷兰西芹种子均匀撒播于装有基质的 50 孔穴盘中,播种后在种子上撒 1 层 0.3 cm 厚的基质,播 20 盘。4 月 10 日,在西芹 3 片真叶时,选取长势一致的荷兰西芹 15 盘,每 3 盘 1 个处理。白天温度控制在 18~20  $^{\circ}\text{C}$ ,夜间 13~15  $^{\circ}\text{C}$ ,每天光照 10 h,空气湿度为 60%~70%。根据穴盘基质干湿度浇灌 Hoagland's 营养液<sup>[10]</sup>,每次 300 mL。光照处理 40 d 后,进行光合色素、光合特性及叶绿素荧光参数测定。

### 1.2 测定项目与方法

5 月 20 日 09:40—10:20,用 TPS-2 便携式光合仪测定芹菜倒 3 叶的光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )、气孔导度( $G_s$ )和胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ ),测定时光照度为 280  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,气温为 18~19  $^{\circ}\text{C}$ ,叶温为 19~20  $^{\circ}\text{C}$ , $CO_2$  浓度为 400  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 。每盆选取 3 株有代表性的植株进行测定,取平均值。

参照 Lichtenthaler 等对 Arnon 修正的方法<sup>[11-12]</sup>测定叶绿素含量;使用英国汉莎科学仪器公司生产的 FMS-2 型调制式叶绿素荧光仪测定荷兰西芹倒 3 叶的叶绿素荧光动力学参数:初始荧光( $F_o$ )、可变荧光( $F_v$ )、暗适应下 PS II 最大荧光产量( $F_m$ )、PS II 实际光化学效率( $\Phi_{PSII}$ )、光化学淬灭系数  $q_P$ ,每处理测定 3 张叶片。

采用 Excel 2007 软件处理数据并绘图,采用 SAS 软件进行数据统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同光质对芹菜叶绿素荧光参数的影响

由表 1 可知, $F_v/F_m$  和  $F_v/F_o$  趋势一致,表现为红蓝光

收稿日期:2016-09-19

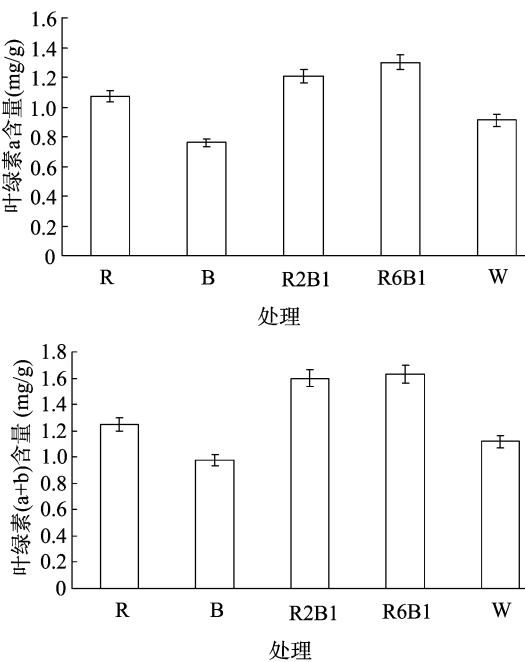
作者简介:尹 娟(1979—),女,河南信阳人,硕士,副教授,主要从事园林园艺植物栽培生理研究。E-mail:395330893@qq.com。

(6 : 1) > 红蓝光(2 : 1) > 红光 > 白光 > 蓝光;  $\Phi_{PSII}$  在不同光质处理下的大小依次为红蓝光(6 : 1) > 红光 > 红蓝光(2 : 1) > 白光 > 蓝光;  $q_p$  大小依次为红蓝光(6 : 1) > 红蓝光(2 : 1) > 白光 > 红光 > 蓝光; 红蓝光(6 : 1) 处理下芹菜的  $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_o$ 、 $\Phi_{PSII}$  和  $q_p$  均高于其他处理, 表明该处理的芹菜在暗适应下 PS II 实际光化学效率和光合活性较高, PS II 潜在活性和电子传递活性较大, 光合电子传递速率较快, PS II 反应中心较为开放。

表 1 不同光质对芹菜荧光参数的影响

处理	$F_v/F_m$	$F_v/F_o$	$\Phi_{PSII}$	$q_p$
红光	0.81abAB	4.31abcAB	0.81abAB	0.95bcBC
蓝光	0.78bB	3.96cB	0.75cB	0.93cC
红蓝光(2 : 1)	0.83abAB	4.53abA	0.79abcAB	0.98abAB
红蓝光(6 : 1)	0.85aA	4.66aA	0.83aA	1.01aA
白光	0.80abAB	4.19bcAB	0.77bcAB	0.97bABC

注: 同列数据后不同大写、小写字母分别表示在 0.01、0.05 水平上差异显著。



2.2 不同光质对芹菜光合色素含量的影响

图 1 表明, 光质对叶绿素 a 和叶绿素(a+b)影响趋势一致, 大小依次为红蓝光(6 : 1) > 红蓝光(2 : 1) > 红光 > 白光 > 蓝光, 其中红蓝光(6 : 1)的叶绿素 a、叶绿素(a+b)含量分别为 1.30、1.63 mg/g, 较白光(0.91、1.12 mg/g)下分别提高 42.86%、45.54%。而叶绿素 b 含量在红蓝光(2 : 1)下最高, 较白光提高 85.71%; 红光下最低, 较白光降低 14.29%, 这可能与叶绿素 b 偏向吸收短波的蓝紫光有关。类胡萝卜素在红蓝光(6 : 1)下最高, 其次是红光下, 蓝光下最低, 说明光质对类胡萝卜素含量的影响不只是简单的光质叠加效应, 还应存在其他方式的互作效应, 同时也表明红蓝光(6 : 1)处理保护叶绿素免受破坏的能力较其他处理强。

2.3 不同光质对芹菜光合特性的影响

由图 2 可知, 芹菜叶片光合速率在红蓝光(6 : 1)下最高, 其次是红蓝光(2 : 1), 再次是红光和白光, 而蓝光下最低, 说明 2 种波长的光照射较单光照射更有利于光合速率的

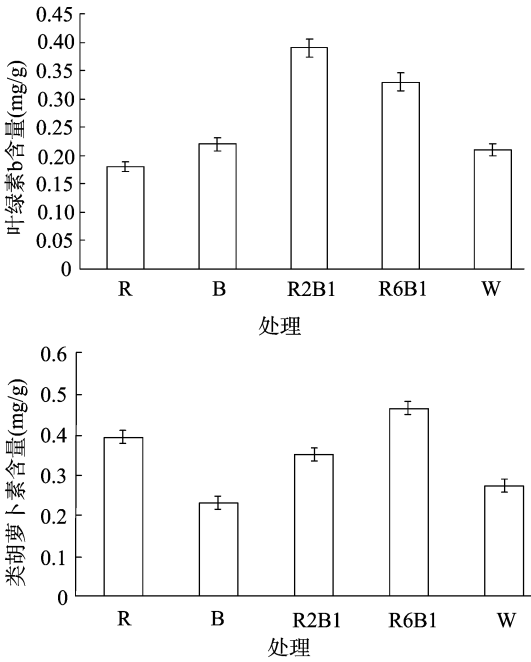


图 1 不同光质对芹菜光合色素含量的影响

提高, 试验结果符合爱默生效应, 这可能是因为光合作用与 2 个光化学反应接力进行有关。红蓝光(6 : 1)处理下的芹菜蒸腾速率和气孔导度最大, 蓝光处理最小。蓝光处理下胞间 CO<sub>2</sub> 浓度高于白光下, 而红光、红蓝(2 : 1)和红蓝(6 : 1)处理下的胞间 CO<sub>2</sub> 浓度均低于白光下, 这可能与芹菜的绿色细胞光呼吸有关。从图 2 还可以看出, 不同光质处理下, 芹菜光合速率与蒸腾速率、气孔导度整体上呈正相关关系, 与胞间 CO<sub>2</sub> 浓度呈负相关关系。

3 讨论

叶绿素荧光动力学技术可快速、无损伤研究植物的光合特性, 是间接研究植物光合性能的探针。  $F_v/F_m$  表示最大 PS II 光能转换效率, 反映 PS II 反应中心原初光能转换效率;  $F_v/F_o$  表示 PS II 的潜在活性;  $\Phi_{PSII}$  是 PS II 反应中心非环式光

合电子传递效率;  $q_p$  为光化学淬灭系数。储钟稀等研究认为, 红光照射能提高黄瓜叶片 PS II 活性和 PS II 原初光能转化效率, 而蓝光降低 PS II 活性<sup>[13]</sup>。本试验结果表明, 芹菜的  $F_v/F_m$  和  $F_v/F_o$  的变化趋势一致, 在红蓝光(6 : 1)处理下最高, 表明暗适应下芹菜叶片 PS II 光化学效率及潜在活性较高, 与陈炯等在韭菜上的研究结论<sup>[14]</sup>类似。  $\Phi_{PSII}$  在不同光质处理下表现为红蓝光(6 : 1)最大, 表明在该处理下芹菜叶片光合电子传递速率相对较快, 反映该处理下的实际光化学效率最高, 与该处理下的光合速率最高一致。红蓝光(6 : 1)处理的芹菜叶片  $q_p$  最高, 反映该处理下芹菜叶片吸收的光能用于光化学电子传递的份额及  $\Phi_{PSII}$  的电子传递活性较大, PS II 反应中心相对开放。

植物叶绿体中的色素主要有 3 类, 即叶绿素、类胡萝卜素和藻胆素, 而高等植物叶绿体中含有前 2 类。光是叶绿体发

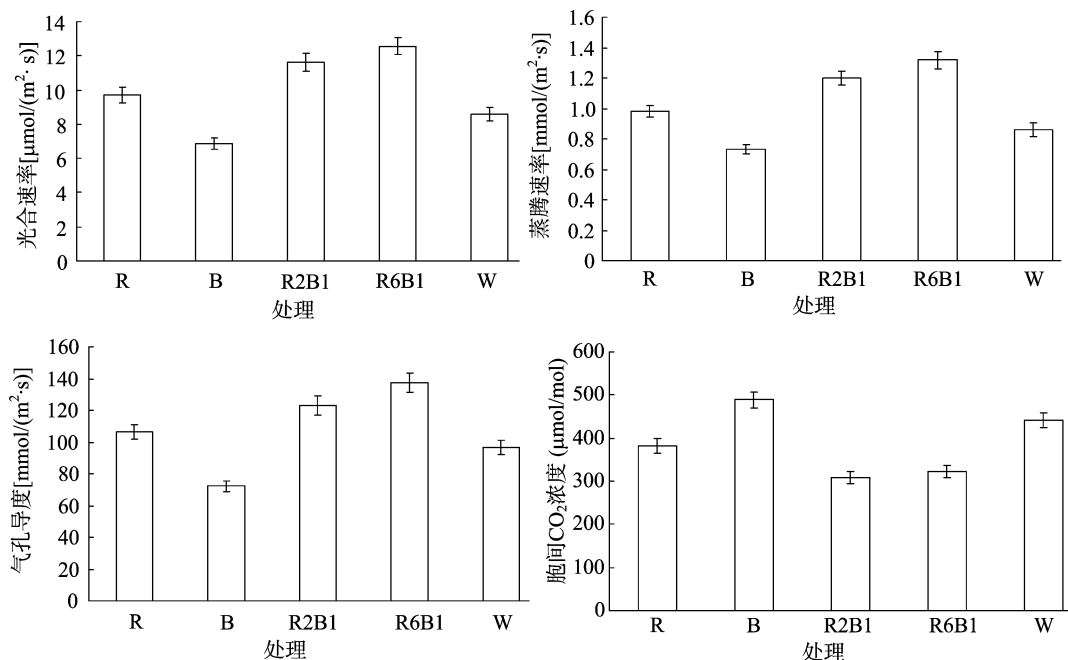


图2 不同光质对芹菜光合特性的影响

育和叶绿素合成的重要条件,从原叶绿酸酯转变为叶绿酸酯需要光的还原过程,而光质对植物叶绿素含量的影响也存在显著差异。徐凯等通过试验得出,红光和蓝光对叶绿素合成影响差异显著,红光有利于叶绿素合成,而蓝光的作用与之相反<sup>[15]</sup>。余让才等研究认为,蓝光使叶绿素含量降低,而红光使叶绿素含量升高<sup>[16]</sup>。Bach 等研究发现,红光降低风信子叶绿素含量,蓝光促进愈伤组织叶绿素的形成<sup>[17]</sup>。本试验结果表明,红蓝光(6:1)、红蓝光(2:1)和红光处理下的芹菜叶绿素 a 和叶绿素(a+b)含量均高于白光下,蓝光下低于白光下,与刘丹等在黄瓜幼苗上的研究结果<sup>[18]</sup>一致,说明不同植物对光质的响应机制存在差异;而叶绿素 b 含量在红蓝光(2:1)处理下最高,红光下最低,与光质对叶绿素 a 和叶绿素(a+b)的影响大致相反,这可能与叶绿素 b 偏向吸收短波的蓝紫光、叶绿素 a 偏向吸收波长较长的红光有关;类胡萝卜素含量在红蓝光(6:1)下高于红光处理,而红光处理高于红蓝光(2:1),说明同样的组合光但不同比例对类胡萝卜素含量的影响不同,只有一定比例的组合光才能促进芹菜叶片类胡萝卜素的合成。另外,红蓝组合光和红光处理下类胡萝卜素含量均高于白光下,且类胡萝卜素能帮助叶绿素接收光能,通过叶黄素循环,以非辐射方式耗散过剩能量来保护叶绿素免受破坏<sup>[19]</sup>。

植物的生长代谢离不开光,光能够以光质和光照度 2 种方式来调节植物叶片的光合速率、蒸腾速率、次生代谢和基因表达等。本试验结果表明,红蓝光(6:1)下芹菜叶片光合速率最高,且红蓝组合光均高于单质蓝光和红光处理,说明 2 种波长的光照射较单光照射更有利于光合速率的提高,试验结果符合爱默生效应,这可能是因为光合作用与 2 个光化学反应接力进行有关。这与陈娴等在韭菜上的研究结果<sup>[14]</sup>类似,而与杨晓建等分别在青蒜苗、黄瓜及生姜上的研究结果<sup>[20-22]</sup>不一致,说明不同植物对光质的响应机制不同,进而表现出光合特性上的差异,这可能是由光质可以影响绿色细胞的结构

所致<sup>[23]</sup>。红蓝光(6:1)处理下芹菜的蒸腾速率和气孔导度高于白光,而蓝光处理低于白光,与光质对芹菜叶片光合速率的影响趋势一致,这可能是因为植物的光合作用离不开叶片蒸腾及与外界的其他交换,而气孔导度对作物的光呼吸有直接影响。蓝光处理下芹菜的胞间  $\text{CO}_2$  浓度高于白光下,其他处理均低于白光,与光合速率大致呈负相关关系,这可能与叶片高羧化活性有关。

#### 参考文献:

- [1] Chory J, Wu D Y. Weaving the complex web of signal transduction [J]. *Plant Physiology*, 2001, 125(1): 77-80.
- [2] Nakano Y, Asada K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts [J]. *Plant and Cell Physiology*, 1981, 22(5): 867-880.
- [3] 洪宇, 童哲. 光敏色素在植物个体发育中的作用[J]. *植物生理学通讯*, 1998, 34(6): 417-422.
- [4] Kim H H, Goins G D, Wheeler R M, et al. Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red- and blue-light-emitting diodes[J]. *HortScience*, 2004, 39(7): 1617-1622.
- [5] 焦雨歆, 赵琦, 王雪英, 等. 环境因子对植物叶绿体结构的影响[J]. *生物技术通报*, 2008(2): 5-10.
- [6] Leyser O, Day S. 植物发育的机制[M]. 瞿礼嘉, 邓光旺, 译. 北京: 高教出版社, 2006: 143-153.
- [7] Kowallik W. Blue light effects on respiration[J]. *Annual Review of Plant Physiology*, 1982, 33: 51-72.
- [8] Patil G G, Oi R, Gissinger A, et al. Plant morphology is affected by light quality selective plastic films and alternating day and night temperature[J]. *Gartenbauwissenschaft*, 2001, 66(2): 53-60.
- [9] 王声学, 吴广宁, 蒋伟, 等. LED 原理及其照明应用[J]. *灯与照明*, 2006, 30(4): 32-35.
- [10] Hoagland D R, Arnon D I. The water culture method for growing plants without soil[J]. *California Agricultural Experiment Station Circular*, 1950, 347(5406): 357-359.

杨雪莲. 干旱胁迫条件下贵阳市引种 5 种柑橘砧木的抗旱性比较[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(4): 119–123.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.04.030

# 干旱胁迫条件下贵阳市引种 5 种柑橘砧木的抗旱性比较

杨雪莲

(贵州大学, 贵州贵阳 550025)

**摘要:**以厚皮枳、皱皮枳、枳橙、77-1、锦橙 2 年生实生苗为材料, 研究在干旱胁迫下柑橘砧木的抗旱性, 并对这 5 个砧木材料的抗旱性进行综合评价。研究结果, 5 个砧木材料的可溶性蛋白质含量、过氧化物酶(POD)活性、丙二醛(MDA)含量、脯氨酸含量等呈上升变化趋势, 可溶性糖含量呈现先下降再上升的变化趋势; 超氧化物歧化酶(SOD)活性都呈现先上升后下降的变化趋势。隶属函数法综合分析, 5 种柑橘砧木的抗旱性依次表现为皱皮枳 > 厚皮枳 > 枳橙 > 锦橙 > 77-1。

**关键词:**柑橘砧木; 干旱胁迫; 隶属函数法; 抗旱性

**中图分类号:** S666.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)04-0119-05

柑橘(*Citrus reticulata*)属芸香科柑橘属柑橘种植物, 是我国南方的重要果树之一, 但柑橘大多种植于丘陵、山地或海涂, 季节性干旱往往给柑橘的生长发育和产量品质造成极为不利的影响<sup>[1]</sup>, 因此, 筛选或培育抗旱性强而又高产的柑橘种质资源尤为重要。砧木是嫁接果树的基础, 对接穗品种的生长发育及果实产量和品质等均有重要影响。我国柑橘砧木资源丰富, 在广西也有较多柑橘砧木地方品种和变异类型, 对当地的气候和土壤有良好的适应性。全球气候变化与局部干旱化将导致越来越多的干旱、半干旱地区受到更为严重的干旱胁迫影响<sup>[2]</sup>。在不同干旱条件下植物叶片内的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、游离脯氨酸、可溶性糖、

丙二醛、电导率等生理生化指标的变化, 可以用于研究这些因子在干旱胁迫时发生变化的规律。干旱胁迫处理在蓝莓、李、桃、梨和杏方面已有比较广泛的应用<sup>[3-4]</sup>。目前, 我国关于干旱胁迫在柑橘方面的相关研究还很少。

在柑橘品种抗旱性研究上, 聂华堂等对柑橘抗旱性与生理生化指标的变化关系曾有过报道, 认为它们在干旱胁迫时可溶性蛋白质含量的累积及叶片中 POD 活性的增加率与柑橘品种的抗旱力强弱呈正相关<sup>[5]</sup>。甘海峰等在柑橘砧木的干旱胁迫的研究中指出, 干旱胁迫对山东枳壳、宁明橘、阳朔金宝酸橘、滑皮金橘、桂枳 1 号 5 个供试品种叶片中抗氧化酶系统 SOD、POD 活性以及对蛋白质、MDA 含量均产生了影响。SOD、POD 活性均有不同程度的升高, 可溶性蛋白质含量均有不同程度的降低, 且干旱胁迫显著提高了 5 个柑橘品种叶片中 MDA 的含量<sup>[2]</sup>。砧木的抗旱性对柑橘树体抗旱力强弱有十分重要的影响, 因此, 对不同柑橘砧木抗旱性的研究, 对促进我国柑橘发展有重大意义。

收稿日期: 2016-08-29

基金项目: 贵州省科技厅农业攻关(编号: 黔科合 NY 字[2012]3083 号); 贵州大学人才引进基金(编号: 贵大人基合字[2010]017 号)。  
作者简介: 杨雪莲(1981—), 女, 四川巴中人, 博士, 副教授, 研究方向为园艺产品贮藏与加工及果树分子生物学。E-mail: 1299927812@qq.com。

[11] Lichtenthaler H K. Applications of chlorophyll fluorescence; in photosynthesis research, stress physiology, hydrobiology and remote sensing [M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1988: 129–142.

[12] Amon D I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris* [J]. Plant Physiology, 1949, 24(1): 1–15.

[13] 储钟稀, 童哲, 冯丽洁, 等. 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.

[14] 陈娟, 刘世琦, 孟凡鲁, 等. 不同光质对韭菜生长及光合特性的影响[J]. 中国蔬菜, 2012(8): 45–50.

[15] 徐凯, 郭延平, 张上隆. 不同光质对草莓叶片光合作用和叶绿素荧光的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 38(2): 369–375.

[16] 余让才, 潘瑞焱. 蓝光对水稻幼苗光合作用的影响[J]. 华南农业大学学报, 1996, 17(2): 88–92.

[17] Bach A, Krol A. Effect of light quality on somatic embryogenesis in

*Hyacinthus orientalis* Delft's blue [J]. Biological Bulletin of Poznań, 2001, 38(1): 103–107.

[18] 刘丹. LED 光源对花生以及黄瓜幼苗生长的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2013.

[19] 郑洁, 胡美君, 郭延平. 光质对植物光合作用的调控及其机理[J]. 应用生态学报, 2008, 19(7): 1619–1624.

[20] 杨晓建, 刘世琦, 张自坤, 等. 不同 LED 光源对青蒜苗生长及叶绿素荧光特性的影响[J]. 中国蔬菜, 2011(6): 62–67.

[21] 谢景, 刘厚诚, 宋世威, 等. 不同光质 LED 灯对黄瓜幼苗生长的影响[J]. 长江蔬菜(学术版), 2012(6): 23–25.

[22] 张瑞华, 徐坤, 董灿兴. 光质对生姜叶片光合特性的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(11): 3722–3727.

[23] Eskins K, Duysen M, Dybas L, et al. Light quality effects on corn chloroplast development [J]. Plant Physiology, 1985, 77(1): 29–34.