

不同波长光照对罗汉果光合及生长的影响

黄宁珍¹, 赵志国¹, 付传明¹, 唐凤鸾¹, 黄志民²

(1. 广西壮族自治区广西植物研究所, 广西桂林 541006; 2. 广西科学院, 南宁 530007)

摘要: 罗汉果试管苗在不同波长的LED(半导体)蓝(475±5 nm)、黄(585±5 nm)、红(660±5 nm)及普通日光灯下培养, 25 d后观测发现, 其外观的优劣依次为: 蓝光>白光>红光>黄光; 植株重量: 蓝光>红光>黄光>白光; 蓝光和白光下的植株叶大、色绿, 植株矮壮, 侧芽多; 红光和黄光下的植株叶小、色黄绿, 植株高、细、弯曲、节间长。测定罗汉果成熟叶片的吸收光谱, 发现在波长380~500 nm及660~680 nm处有较强吸收。不同的光质下测定成熟叶片光合速率, 大小依次为: 红光>蓝光>白光>黄光。上述的各项试验表明, 蓝光对罗汉果幼苗生长发育最好; 红光和蓝光为成熟叶片光合作用的最佳光源。

关键词: 罗汉果; 不同波长的光; 光合作用; 生长

中图分类号: Q945.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2008)02-0251-05

Effect of different wavelength lights on photosynthesis and growth of *Siraitia grosvenorii*

HUANG Ning-Zhen¹, ZHAO Zhi-Guo¹, FU Chuan-Ming¹,
TANG Feng-Luan¹, HUANG Zhi-Min²

(1. *Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and the Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, China;* 2. *Guangxi Academy of Sciences, Nanning 530007, China*)

Abstract: The test-tube plantlets of *Siraitia grosvenorii* were cultivated under different wavelength lights (blue light 475±5 nm; yellow light 585±5 nm; red light 660±5 nm and white light). Growing condition was observed after 25 days. The morphological characters were arranged: blue light>white light>red light>yellow light. Weight of single plantlet was: blue light>red light>yellow light>white light. Under blue and white lights, seedlings have large and deep green leaves, short and thick stems with more lateral buds. While under red and yellow lights, the leaves were small and yellow green; the stems were long, crook and thin. Based on the absorption spectrum of its ripe leaves, two strong absorption areas were found in 380~500 nm and 660~680 nm. The photosynthetic rates under different lights were in the order: red light>blue light>white light>yellow light. All these results indicated that blue light was best for growth and development of young seedling of *Siraitia grosvenorii*. While the red and blue lights were suitable for photosynthesis.

Key words: *Siraitia grosvenorii*; different wave length; photosynthesis; growth

光是植物进行光合作用的原初动力, 也是植物发育和形态建成的调节因子。根据植物对光的吸收和需求特性, 利用人工光源调控植物的生长发育, 以达到增产、稳产以及缩短成熟期, 是现代农业发展的

要求。我国研究人员已利用光生态农膜对大棚蔬菜进行光控培养, 莴苣产量提高 44.6%, 白菜产量提高 77.1% (孟继武等, 1997, 1999)。国外特别是日本, 这方面的研究堪称世界领先, 涉及到农作物的育

收稿日期: 2006-04-02 修回日期: 2006-12-29

基金项目: 广西科学研究与技术开发计划项目(0330003-1)[Supported by the Foundation for Scientific Research and Technology Development of Science and Technology Department of Guangxi(0330003-1)]

作者简介: 黄宁珍(1968-), 女, 广西大化县人, 副研究员, 从事植物生理及植物生物技术研究。

苗和栽培(Hiroshi, 2003),果实的成熟和着色(Tetsuo 等, 2001, 2002),反季节蔬菜和水果的生产及次生代谢产物的调控等方面(Yoshikazu, 2001)。

光质对植物生长的影响在水稻(倪文, 1980)、烟草(史宏志等, 2002)和番茄(蒲高斌等, 2004)等植物上已有报道;对光合作用的影响在银杏(冷平生等, 2002)、黄瓜(储钟稀等, 1999)和草莓(徐凯等, 2005)上已做了相应研究。但多数只是在有色滤光膜下进行。目前为止,并未见有利用 LED 光源研究光质对植物生长及光合作用的影响。因此我们特制不同波长 LED 人工光源(蓝光: 475 ± 5 nm, 黄光: 585 ± 5 nm, 红光: 660 ± 5 nm),以普通日光灯为对照,选取广西特有经济植物罗汉果为实验材料,观测其幼苗在不同光质下植株的外观特征及生长量,并测定其成熟叶片的吸光波长及光合速率,以探讨不同波长的光对植物生长发育和光合作用的影响。

1 材料与方 法

1.1 罗汉果试管苗在不同波长光照下的生长试验

将罗汉果青皮品种试管无菌材料接种于同一培养基(MS + BA0.2 + NAA0.02)上,分别置于蓝、黄、红及日光灯下培养。通过调节按钮调整灯具的照度,大小尽可能一致(为 $14.4 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右)后,每天照光 12 h。每个处理 20 瓶。培养一定时间后取 5 瓶观测小苗的生长情况,包括株高、叶数、鲜重等。

据上述试验中幼苗的生长情况,将 LED 光源的照度调至最大,照度分别为蓝光 $16.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,黄光 $20.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,红光 $23.1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;对照白光的照度则通过调节日光灯管的盏数和位置调至 20.0(与黄光接近)。重复上述试验。

1.2 罗汉果叶吸收光谱的测定

选取罗汉果青皮品种成熟植株的上中部叶片,用杭州远方公司生产 PMS-TR80 光谱测定系统测试植物的透射光谱。具体的操作方法按仪器的使用说明进行。光源的波长范围在 380~800 nm 之间(模拟太阳光可见光部分的组成和波长范围)。直接测出的数据为叶片的透射光谱。通过透射光谱推算出叶片吸收光谱的波长范围和强度。

1.3 罗汉果叶片净光合速率的测定

用美国 LI-COR 公司生产的 LI-6400 型便携式光合作用测定仪测定罗汉果叶在不同光质下的光合

速率,雌、雄各选 1 株,每株测量 4 次,取平均值。具体方法如下:

在塑料大棚内种植罗汉果青皮品种,在花期选择晴好的天气,从植株上剪下带有成熟叶的枝条,用水养于玻璃杯中,带回室内将植物材料置于 LED 蓝光、黄光、红光及普通日灯光下,周围蒙上黑布,以减少自然光对测量结果的影响。相同功率的 LED 灯,波长越长,照度越大,因此蓝灯的照度最小,红光的照度最大。由于黄灯下的光合速率较小,为了便于获取数据,黄灯调至最大照度($21.8 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),因此测量须分两步进行:(1)将红光的照度调到与蓝灯的最大照度($16.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)大致相同,测量材料的光合速率;(2)将红灯、白灯的照度调到与黄灯最大照度基本相同(约 $21.6 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),再测量材料的光合速率。

1.4 数据的获得与统计分析

材料的生长数据通过测量株高、叶数和鲜重体现;光合速率可直接从仪器上读出;叶子吸收光谱则通过透射光谱推算获得;最后通过差异显著性分析判断各种光质对罗汉果生长及光合作用的影响。

2 结果与分析

2.1 不同波长的光对罗汉果试管苗生长的影响

在波长不同,但照度大致相同(均为 $14.4 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右)的条件下培养,罗汉果试管苗的生长状况大不相同。蓝光下培养的植株外观最好,叶片鲜绿色、较大、色泽均匀,植株高度适中,茎秆粗壮,侧芽较多。白光下的植株外观介于蓝光和黄、红两色光之间,看上去基本正常,叶的整体颜色为绿色,但色泽不均匀,叶脉绿、脉间黄,侧芽也较多,但株高及粗壮度均不如蓝光。黄、红两色光下的植株整体外观不正常,其叶小、茎细长、弯曲等,类似于植物由于缺光引起的表型;和黄光下的植株相比,红光下的植株叶片稍大、叶色偏绿。

根据上述试验结果,将所有 LED 灯具的光照度调至最大,再培养 25 d 后观测,结果见表 1 及图 1。从外观上看,各种光质下的植株的表型与上述实验相同。生长量测定结果为:(1)株高:红光(12.2 cm) > 黄光(9.2 cm) > 蓝光(6.3 cm) > 白光(4.3 cm);(2)叶数:蓝光(7.0) > 红光(6.5) > 白光(6.2) > 黄光(3.3);(3)鲜重:蓝光(0.72 g) > 红光(0.45 g) = 黄光(0.45 g) > 白光(0.35 g)。统计结果表明,红

光下小苗的株高显著最高,而蓝光下鲜重显著最大。壮苗指数(鲜重/株高)依次为:蓝光(0.114)>白光(0.081)>黄光(0.049)>红光(0.037),可见,蓝光下的植株最壮。

上述两次实验结果表明,红、黄光下植株出现的类似缺光的症状主要原因是光质(波长)、而并非由于照度过低引起;蓝光对罗汉果试管幼苗的生长发育特别重要,是培育健壮幼苗的最佳光源。

表 1 罗汉果试管苗在蓝、红、黄、日光灯下生长状况(每组的样本数 $n=5$)

Table 1 The growth condition of *Siraitia grosvenorii* seedlings under blue, red, yellow and white light

光色 Light color	照度 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) Illumination	平均株高(cm) Average height of seedlings	平均叶数 Average number of leaves	平均鲜重(克/株) Average fresh weight per seedling(g)	外观 Appearance
蓝	16.0	6.3(-)	7.0(-)	0.72(++)	叶大、深绿色,植株高且粗壮,侧芽多。
黄	20.0	9.2(++)	3.3(+)	0.45(++)	叶小、黄绿,茎细长、弯曲
红	23.1	12.2(+++)	6.5(+)	0.45(+)	叶小、深黄绿,茎细长、弯曲
白	20.1	4.3	6.2	0.35	叶中等大、绿色,植株矮、粗壮,侧芽多

(+++):Extremely significantly different when compared to white light($P<0.01$);(+):Significantly different when compared to white light($P<0.05$);(-):Not significantly different when compared to white light($P>0.05$).

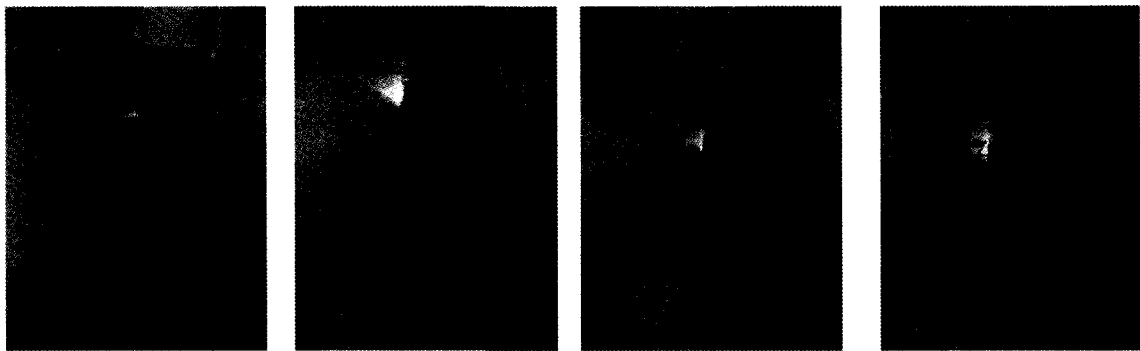


图 1 罗汉果试管苗在蓝、白、红、黄光下的生长情况

Fig. 1 The growth condition of *Siraitia grosvenorii* test-tube plantlet under blue, white, red and yellow light

2.2 罗汉果叶片的吸收光谱

图 2 是 380~800 nm 连续波长的光通过罗汉果叶的透射光谱,图中有两处峰谷,分别是波长小于 500 nm 的蓝紫光区及波长为 660~680 nm 的红光区,这两处区域即是吸收最强的区域。在蓝、紫区,叶片对光吸收最为彻底,透射率几乎为零,而且吸收范围较广;在红光区,最强吸收处为 680 nm;黄、绿光(550~580 nm)区透射率较高,表明植物对黄光和绿光的吸收相对较少;远红光区(>700 nm)透射率最高,植物吸收最少。由此可见,植物主要吸收自然光中的红、蓝光。结合罗汉果在不同类型光下的生长效应,可看出吸收率最大的红蓝光,对植物生长效果最好。

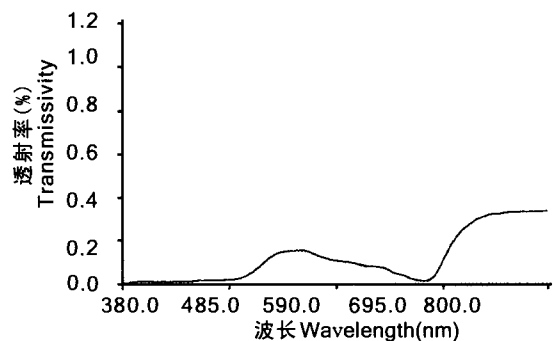


图 2 罗汉果叶片在波长 380~800 nm 光下的透射率
Fig. 2 Transmissivity in leaves of *Siraitia grosvenorii* under the wavelength of 380~800 nm

2.3 罗汉果成熟叶片在不同类型光下的光合速率

表 2 为相同的罗汉果成熟叶片在不同波长光下的光合速率。当照度 $16.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 时,红光下叶片的光合速率稍比蓝光高,两者分别为 4.05 和 $3.76 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$,统计分析结果显示,其间差异

不显著。而当红、白、黄光的照度均为 $21.6 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 时,光合速率最高为红光,其次白光,最低黄光,分别为 4.68、2.99 和 $2.75 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$,统计结果表明,相同的照度下,红光下的光合速率显著高

于黄光和白光。而低照度($16.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)的蓝光的光合速率也比高照度($21.6 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)的黄、白光高。因此,可以认为,红、蓝光是罗汉果进行光合作用的最佳光源。

表 2 罗汉果叶在蓝光、黄光、红光及日光灯下的光合速率(雌、雄各 4 片叶)

Table 2 The photosynthetic rate in ripe leaves of *Siraitia grosvenorii* under blue, yellow, red and white light

光质 Light quality	照度 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) Illumination	Photosynthetic rate ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)		
		雄株 Male	雌株 Female	平均 Mean
蓝光	16.0	3.96	3.56	3.76
红光	16.0	4.32	3.78	4.05
红光	21.7	5.72(+)	3.64(+)	4.68(+)
白光	21.6	3.26(-)	2.72(-)	2.99(-)
黄光	21.8	2.92	2.58	2.75

(+): Significantly different when compared to yellow light ($P < 0.05$); (-): Not significantly different when compared to yellow light ($P > 0.05$).

3 讨论

3.1 光的波长和植物幼苗生长发育的关系

蓝光下,罗汉果试管苗的表型最好,植株高而粗壮,叶片大,叶数和侧芽较多;生长量测试结果表明,与白光相比,蓝光极显著提高植株的鲜重;这一结果与蒲高斌(2004)对番茄幼苗的实验结果相同;而我们在研究不同光质下水稻幼苗的生长效果时也发现, $14.4 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 的蓝光可相当于 $180 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 自然光的效果;根据我们的试验,相同照度的红、蓝光下,罗汉果叶片的光合速率大致相同,但蓝光下幼苗的生长却远远优于红光。这一系列的实验证明,蓝光对罗汉果的促生长和壮苗作用与光合速率大小关系不大,应该与蓝光调控的发育进程有关。

对于幼嫩的植株而言,叶片内质体等光合器官未发育成熟,与光合作用相关的色素、酶等尚未形成或数量较少。因此,幼苗的健壮生长在很大程度上与发育进程特别是光合器官的发育密切相关。蓝光调节某些核基因和质体基因的表达(Richter, 1984; Richter & Driks, 1978; Warpeha 等, 1989),黑暗中培养的烟草细胞转入连续蓝光下才能分化出具有光合功能的叶绿体,而红光不能使培养细胞转绿,连续蓝光下转绿的烟草培养细胞中 Rubisco 大亚基和 32kD 蛋白随着其 mRNA 水平的提高而出现并积累(Richter & Driks, 1984)。蓝光还能促进叶绿素 a/

b 结合蛋白基因的转录(Marrs & Kaufman, 1991)。因此,对于多数植物而言,蓝光的壮苗和促生长效应主要是通过加速质体的发育进程,最终提高植株的光合作用能力来实现的。

黄光和红光对植物幼苗生长的影响与蓝光不同。对罗汉果而言,单纯的黄光或红光处理,鲜重虽然有所增加,但植株过高过细,表型类似缺水症状。因此,这两种光不能单独作为罗汉果幼苗的生长光源。试验还发现,单纯红光下罗汉果幼苗株高最大;杜建芳等(2004)的实验也证实,红光能明显提高油菜幼苗的株高。红光刺激植株长高,可能涉及到与发育有关的一系列生理生化调节过程,如:调节 GA 的生物合成等(潘瑞焱, 2001)。

不同的植物幼苗对不同波长的光的偏好和反应不尽相同。对罗汉果言,红光对植株增高效果最好;黄光其次,但黄光对增加叶数的效果很差,明显比白、红、蓝光低。而蒲高斌等(2004)在研究红光对番茄株高的影响时却得出:红光抑制植株增高。我们在另外的研究中也发现,促进水稻、马蹄莲植株增高和叶数增加的最有效的光不是红光或蓝光,而是黄光(付传明等, 2007; 唐凤鸾等, 2007)。这些不同的实验结果说明,光质对植物生长的影响方式与植物种类有关。

3.2 光的波长和植物光合作用的关系

比较相同照度的红、黄、白光下罗汉果的光合速率,红光明显高于黄、白光;相同照度下蓝、红光的光合速率大致相同。吸收光谱分析结果表明,罗汉果叶对红、蓝光几乎 100% 吸收。可见红、蓝光为罗汉果最偏爱、同时也是进行光合作用最有效的光源。但单波红光下罗汉果幼苗的生长并不理想,我们在水稻上的试验也得到同样结果(付传明等, 2007),因此认为,尽管红光下光合速率较高,但决不是植物幼苗正常生长的唯一光源。早期的实验证明,植物的生长与光合功能的形成和正常维持需要蓝光和红光的共同作用,两者相辅相成。Voskresenskaya 等(1968)用红光处理离体大麦叶片后发现,叶绿素和蛋白质含量有所下降,而蓝光处理的叶绿素含量较稳定。Voskresenskaya(1977, 1979)的系列实验也证实,红光下叶绿体结构的异常和活性的下降可被转移到蓝光下逆转。蓝光比红光、白光更能保持离体水稻幼苗叶绿素的稳定性(倪文, 1980)。蓝光下生长的植物叶片或种子中蛋白质含量比红光下高,红光下生长的植物,体内有较多的碳水化合物积累

(Voskresenskaya 等, 1968; Voskresenskaya, 1979; Howell 等, 1957)。蓝光下培养的小球藻碳水化合物含量是红光处理的 1/2, 而蛋白质含量增加一倍, 作用光谱显示促进蛋白质增加的最有效波长在 460 和 370 nm 附近 (Howell 等, 1957)。蓝光下生长的 C3 植物的 RuBP 羧化酶和 C4 植物的 PEP 羧化酶活性显著增高 (Poyarkova 等, 1973)。这些研究表明, 不同光质对光合碳代谢有重要的调节作用, 红光促进碳水化合物的积累, 而蓝光则促进新合成有机物中蛋白质的积累, 特别是与光合作用有关的蛋白和色素的合成和积累。因此红光和蓝光对植物的生长都十分重要, 蓝光是光合作用相关酶蛋白合成所必须的, 而红光则是光合作用的最佳光源, 前者是基础, 后者是结果。

参考文献:

- 潘瑞炽. 2001. 植物生理学(第 4 版)[M]. 北京: 高等教育出版社: 206—216
- Chu ZX(储钟稀), Tong Z(童哲), Feng LJ(冯丽洁), et al. 1999. Effect of different light quality on photosynthetic characteristics of cucumber leaves(不同光质对黄瓜叶片光合特性的影响)[J]. *Acta Bot Sin*(植物学报), **41**: 867—870
- Du JF(杜建芳), Liao XR(廖祥儒), Ye BQ(叶步青), et al. 2002. Effect of light quality on the growth and antioxidant enzyme activities of rape seedlings(光质对油菜幼苗生长及抗氧化酶活性的影响)[J]. *Chin Bull Bot*(植物学通报), **19**(6): 743—745
- Fu CM(付传明), Huang NZ(黄宁珍), Zhao ZG(赵志国), et al. 2007. Effects of different light quantities and illumination supplement on growth and photosynthetic rate of rice seedling(光质与补光对水稻幼苗生长及光合速率的影响)[J]. *Guihaia*(广西植物), **27**(2): 255—259
- Hiroshi S. 2003. Light for plant growth[J]. *Illum Engng Inst Jpn*, **87**(4): 268—270
- Howell R, Krober O, Collins F, 1957. The effect of light quality on growth and composition of soybean [J]. *Plant Physiol*, **32** (Supp.): 8
- Leng PS(冷平生), Su SC(苏淑钗), Wang TH(王天华), et al. 2002. Effects of light intensity and light quality on photosynthesis, flavonol glycoside and terpene lactone contents of *Ginkgo biloba* seedlings(光强与光质对银杏光合作用及黄酮苷与萜类内酯含量的影响)[J]. *J Plant Res Environ*(植物资源与环境学报), **11**(1): 1—4
- Marrs KA, Kaufman LS. 1991. Rapid transcriptional regulation of the Cab and pEA207 gene families in peas by blue light in the absence of cytoplasmic protein synthesis[J]. *Planta*, **183**: 327
- Meng JW(孟继武), Ren XG(任新光), Cao BQ(曹柏青), et al. 1999. Study on photo-ecology of the lettuce(莴苣的光生态研究)[J]. *Acta Laser Biol Sin*(激光生物学报), **18**(4): 279—283
- Meng JW(孟继武), Ren XG(任新光), Peng LQ(彭连群), et al. 2002. Studies on the high yield and culture of the little Chinese cabbage by simulating method of function spectrum(作用光谱模拟拟法小白菜高产栽培研究)[J]. *Chin J Luminescence*(发光学报), **18**(3): 265—269
- Ni W(倪文). 1980. The effect of different light quality on the growth of rice(不同光质对水稻苗生长的效应)[J]. *Acta Bot Yunan*(云南植物研究), **2**(2): 194
- Poyarkova NM, Drozdova IS, Voskresenskaya NP. 1973. Effect of blue light on the activity of carboxylating enzymes and NADP+-dependent glyceraldehydes-3-phosphate dehydrogenase in bean and maize plants[J]. *Photosynthetica*, **7**: 58
- Pu GB(蒲高斌), Liu SQ(刘世琦), Zhang Z(张珍). 2004. Effect of light quality on the growth and antioxidant enzyme activities of tomato seedlings(不同光质对番茄幼苗生长及抗氧化酶活性的影响)[J]. *J Anhui Agric Sci*(安徽农业科学), **32**(5): 971—972, 975
- Richter G. 1984. Blue light control of two plastid mRNA, s in cultured plant cells[J]. *Plant Mol Biol*, **3**: 271
- Richter G, Driks W. 1978. Blue light induced development of chloroplasts in isolated seedling roots. Preferential synthesis of chloroplast ribosomal RNA species[J]. *Photochem Photobiol*, **27**: 155
- Shi HZ(史宏志), Han JF(韩锦峰), Yuan T(远彤), et al. 1999. Effects of red and blue light proportion on leaf growth, carbon-nitrogen metabolism and quality in tobacco(红光和蓝光对烟叶生长、碳氮代谢和品质的影响)[J]. *Acta Agron Sin*(作物学报), **25**(2): 215—220
- Tang FL(唐凤鸾), Huang NZ(黄宁珍), Huang ZM(黄志民), et al. 2007. Effects of additional light with different qualities on photosynthetic rate and growth of *Zantedeschia aethiopica* spreng under natural light condition(自然光照下增照不同波长光对马蹄莲光合速率及生长的影响)[J]. *Plant Physiol Commun*(植物生理学通讯), **43**(5): 879—881
- Tetsuo K, Shinichi K, Hitoshi Y. 2002. Experimental study of the effects of artificial lighting on the maturing figs[J]. *Illum Engng Inst Jpn*, **86**(11): 813—818
- Tetsuo K, Shinichi K, Hitoshi Y. 2001. Experimental study of light sources on the coloring of fig fruits[J]. *Illum Engng Inst Jpn*, **85**(11): 881—886
- Voskresenskaya N P. 1977. Blue light and carbon metabolism[J]. *Annu Rev Plant Physiol*, **59**: 151
- Voskresenskaya N P. 1979. Effect of light quality on carbon metabolism[M]//Gibbs M, Latzko E(eds). *Photosynthesis II photosynthetic carbon metabolism and related processes*. Berlin: Springer-Verlag: 174
- Voskresenskaya N P, Nechayeva E P, Vlasova M P, et al. 1968. The significance of blue light and kinetin for restoration of the photosynthetic apparatus in aging barley leaves[J]. *Fiziol Rast*, **15**: 890
- Warpeha K M F, Marrs K A, Kaufman L S. 1989. Blue light regulation of specific transcript levels in *Pisum sativum*[J]. *Plant Physiol*, **91**: 1 030
- Yoshikazu M. 2001. Utilization of artificial lighting for bioindustry now and future[J]. *Illum Engng Inst Jpn*, **85**(3): 194—200
- Xu K(徐凯), Guo YP(郭延平), Zhang SL(张上隆). 2005. Effect of light quality on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in strawberry leaves(不同光质对草莓叶片光合作用和叶绿素荧光的影响)[J]. *Sci Agric Sin*(中国农业科学), **38**(2): 369—375