

网络出版时间:2013-05-02 10:22

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20130502.1022.008.html>

红光暗期多点打断对黄瓜和番茄幼苗 生长发育及光合特性的影响

余 新, 杨振超, 曹 凯, 丁娟娟, 耿凤展, 许红军, 钟辉丽

(西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] **【目的】**探讨红光暗期多点打断对黄瓜、番茄幼苗生长发育及光合特性的影响,为生产上通过光形态调控来培育壮苗提供理论依据。**【方法】**于 20℃下采用新型 LED 光源的 $50\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 红光在黄瓜、番茄幼苗生长暗期(18:00—08:00)每 2 h 照射 5 min,每个生长暗期照 7 次,研究红光暗期多点打断处理对黄瓜和番茄幼苗生长发育、叶绿素含量及光合特性的影响。**【结果】**红光暗期多点打断处理抑制了黄瓜和番茄幼苗的下胚轴长、株高、节间长度和叶面积的生长,壮苗指数较对照分别提高了 42.4% 和 24.2%;同时影响了干物质在地上部位的分配,黄瓜和番茄幼苗干物质在叶片的分配率均有不同程度提高,但有机物向茎的运输和分配显著减少。红光暗期多点打断提高了番茄幼苗的光合速率,降低了黄瓜幼苗的光合速率。**【结论】**利用红光暗期多点打断,可抑制黄瓜和番茄幼苗的徒长,提高幼苗的壮苗指数。

[关键词] LED 红光; 黄瓜; 番茄; 壮苗指数; 光合特性

[中图分类号] S642.24⁺3; S641.24⁺3 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1671-9387(2013)05-0121-06

Effects of red light night multi-break on growth and photosynthetic characteristics of cucumber and tomato seedlings

SHE Xin, YANG Zhen-chao, CAO Kai, DING Juan-juan,

GENG Feng-zhan, XU Hong-jun, ZHONG Hui-li

(College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】**The effects on growth and photosynthetic characteristics of cucumber and tomato seedlings were investigated with red light night multi-break to improve seedling cultivation through photomorphogenesis. **【Method】**Cucumber and tomato seedlings were irradiated with $50\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ red light from light emitting diodes (LED) for 5 min every 2 h, 7 times every dark period(18:00—08:00) at the temperature of 20℃. The effects on growth, chlorophyll content, photosynthesis of cucumber and tomato seedlings were discussed. **【Result】**The growth of hypocotyls length, plant height, length of internode and leaf area of cucumber and tomato seedlings were inhibited, while their health indexes were improved by 42.4% and 24.2% compared to contrast, respectively. The dry matter distributed on the ground parts was changed, and the partitioning ratio of dry matter in leaf was improved by different degrees, while organic matter transported and distributed to stem was reduced significantly. The photosynthesis rate of tomato seedlings was higher than that of contrast while cucumber seedlings had lower rate than contrast. **【Conclu-**

[收稿日期] 2012-08-16

[基金项目] 陕西省科技统筹创新工程计划项目“温室工程与环境综合调控与节能新技术集成”(2011KTDZ02-03-02)

[作者简介] 余 新(1988—),男,陕西旬阳人,在读硕士,主要从事设施园艺环境工程及栽培生理研究。

E-mail: shexin168@126.com

[通信作者] 杨振超(1976—),男,天津人,副教授,博士,硕士生导师,主要从事设施环境调控及栽培生理研究。

E-mail: yangzhenchao@nwsuaf.edu.cn

sion】The excessive growth of cucumber and tomato seedlings can be restrained to increase healthy index by red light night multi-break.

Key words: LED red light; cucumber; tomato; healthy index; photosynthetic characteristic

光是自然界中影响植物生长发育最重要的因子之一,其不但为植物光合作用提供辐射能,而且还作为环境信号调节植物的形态建成^[1]。设施栽培中光环境对作物的生长有重大影响,调节好光环境是实现设施作物高产优质的首要条件^[2]。随着现代农业的发展,育苗业已经成为颇具活力的新兴产业,大规模生产低成本、高品质的种苗是育苗产业的目标,也是现代育苗技术的关键^[3]。由于幼苗形态建成是一个不可逆转的过程,因此所培育幼苗的健壮程度将直接影响植株生长发育,并与作物的产量和品质密切相关^[4]。

设施育苗以果菜类对环境的要求较为严格,黄瓜、番茄是设施主要栽培蔬菜,冬春季节的弱光环境及夏秋季节的高温高湿环境极易造成设施内幼苗的徒长。目前,控制幼苗徒长的方法主要有植物生长调节剂法^[5]、昼夜温差法^[6]和光形态调控法^[7-9],其中植物生长调节剂法对植物有一定的副作用,昼夜温差法的能耗比较大,光形态调控法是一项环保、经济有效而且简便易行的方法,因此研究光调控抑制幼苗徒长对设施育苗具有重要意义。前人研究表明,光对植物的生长发育^[10-12]、光合特性^[13-14]、产量和品质^[15-17]等均有影响,证实了光对植物生长的特殊效应。有报道指出,在花卉的培育中进行光暗期中断,可以调控植物的花期^[18-19],但在育苗中利用红光暗期多点打断来抑制蔬菜幼苗徒长的研究鲜见报道。为此,本试验通过使用 LED 红光将黄瓜、番茄的生长暗期多点打断,研究其对黄瓜和番茄的形态、生理及叶片光合特性的影响,旨在寻找一种新型的、低成本的有利于培育壮苗的育苗方式。

1 材料与方法

1.1 材料

以“津优 1 号”黄瓜和“金鹏 1 号”番茄为试材,育苗基质为山东寿光天丰园艺育苗基地研制的 V9 微生物基质。试验装置为长 600 mm、宽 600 mm、高 1 000 mm 的钢架,光源设于顶部,整个装置用遮光布和黑布遮盖,以避免外界光源的影响。

试验光源为 LED 光源板 (ISL 系列),购于日本 CCS 公司,光照面积为长 300 mm×宽 300 mm,光源控制器 (ISC 系列)电压 100~240 V(50/60 Hz)。

光源的光谱采用光谱分析仪 (Spectroradio meter; PS-300,购自美国 apogee 公司)测定,LED 红光的峰值波长为 663 nm,试验所用 50 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的红光光谱分布如图 1 所示。

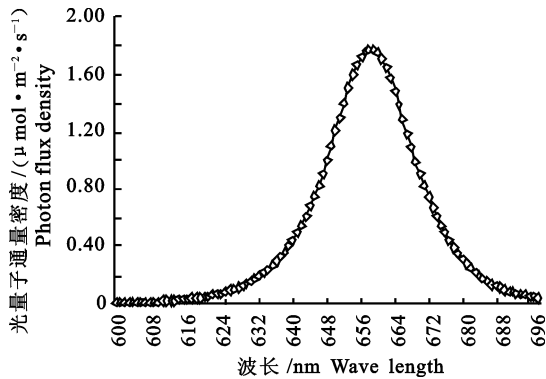


图 1 试验所用 LED 红光的光谱分布图

Fig. 1 Spectrum distribution of LED red light

1.2 试验设计

试验在西北农林科技大学园艺学院教学实验大棚及蔬菜研究所设施光环境实验室进行。黄瓜和番茄均设对照组 (CK) 和处理组 (T) 2 个处理,每处理 3 次重复,每重复 16 株幼苗。由于试验仪器限制,黄瓜和番茄分批进行试验。

黄瓜于 2012-03-08 播种,03-13 开始处理,前 10 d 用 1/2 倍山崎黄瓜配方营养液浇灌,10 d 后将幼苗转入小花盆 (上口外直径 70 mm、高 80 mm) 中继续培养,期间用完全倍数的山崎营养液浇灌,待苗长至 4 叶 1 心时 (04-08) 结束处理。番茄于 2012-04-10 播种,04-17 开始处理,前 10 d 用 1/2 倍山崎番茄配方营养液浇灌,10 d 后将幼苗转入小花盆 (上口外直径 70 mm、高 80 mm) 中继续培养,期间用完全倍数的山崎营养液浇灌,待苗长至 6 叶 1 心时 (05-17) 结束处理。试验期间白天 (08:00—18:00) 将幼苗放在大棚内培养,晚上搬回实验室进行光处理。昼夜光周期为 10 h/14 h,夜间温度设置为 20 $^{\circ}\text{C}$ (室内空调控制)。进入暗期,处理组幼苗每隔 2 h 给予红光照射 5 min (控制系统设定),实际照光 7 次,光量子通量密度为 50 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,直到暗期结束移至大棚内培养,CK 幼苗在暗期不做红光处理,其他与处理组相同。

1.3 测定项目及方法

每处理随机取 10 株幼苗,用直尺测量下胚轴长度、节间长度和株高,用游标卡尺测茎粗,采用叶面积仪 LI-3000A 测定叶面积,用电子天平称量根、茎、叶干鲜质量;叶绿素采用 V(纯丙酮):V(无水乙醇):V(蒸馏水)=4.5:4.5:1 浸提法测定,3 次重复,用 Li-6400 便携式光合仪测定光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间 CO₂ 浓度。水分利用效率=光合速率/蒸腾速率;壮苗指数按张振贤等^[20]的方法计算:壮苗指数=茎粗/株高×全株干质量;生长速率用 G 值表示,G=全株干质量/育苗时间;根冠比=地下部干质量/地上部干质量;根(茎、叶)分配率=根(茎、叶)干质量/全株干质量。

1.4 数据统计与分析

采用 DPSv 2.00 软件的 Duncan 新复极差法分析试验数据的差异显著性。

表 1 红光暗期多点打断对黄瓜、番茄幼苗生长的影响

Table 1 Effects of red light night multi-break on the growth of cucumber and tomato seedlings

蔬菜种类 Variety of vegetable	处理 Treatment	下胚轴长/cm Hypocotyl length	株高/cm Plant height	茎粗/mm Stem diameter	叶面积/cm ² Leaf area	节间长度/cm Length of internode	壮苗指数 Health index
黄瓜	CK	7.28 a	16.64 a	5.87 a	189.48 a	3.66 a	0.33 a
Cucumber	T	5.67 b	12.04 b	5.73 a	152.75 b	2.27 b	0.47 b
番茄	CK	4.40 a	21.95 a	5.61 a	154.90 a	4.24 a	0.33 a
Tomato	T	3.42 b	16.64 b	5.94 a	114.03 b	2.51 b	0.41 b

注:表中数据为同一处理 3 次重复的平均值;同种蔬菜同列数据后标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$)。下表同。
Note:Data in the table were mean values of three repetitions in the same treatments;Small letters indicated significance at $P<0.05$ level respectively by Duncan's significant test. The same below.

2.2 红光暗期多点打断对黄瓜、番茄幼苗干物质分配的影响

地上、地下鲜干质量体现了光质对幼苗物质分配的影响,根冠比反映了植物地下部分与地上部分的相关性,G 值反映了幼苗生长期干物质的积累速率。红光暗期多点打断对黄瓜、番茄幼苗干物质分

2 结果与分析

2.1 红光暗期多点打断对黄瓜、番茄幼苗生长的影响

下胚轴长、株高、茎粗和叶面积是反映幼苗表观生长状况的指标,壮苗指数是衡量幼苗健壮程度的指标。红光暗期多点打断对黄瓜、番茄幼苗生长的影响结果见表 1。由表 1 可知,红光暗期多点打断对黄瓜和番茄的幼苗生长均有明显的抑制作用,T 处理黄瓜幼苗的下胚轴长、株高、节间长度和叶面积与 CK 相比分别降低了 22.11%,27.64%,37.98%和 19.38%,番茄幼苗分别降低了 22.27%,24.19%,40.80%和 26.38%,差异均达显著水平;在茎粗上,T 处理黄瓜、番茄幼苗与 CK 无显著差异;T 处理黄瓜和番茄幼苗的壮苗指数均显著高于 CK,分别较 CK 高 42.4%和 24.2%($P<0.05$)。

配的影响结果见表 2。从表 2 可以看出,T 处理黄瓜、番茄幼苗生长速率变慢,其 G 值较 CK 分别降低了 19.70%和 12.19%。T 处理黄瓜、番茄幼苗的地上部鲜质量、干质量和全株干质量均显著低于 CK ($P<0.05$);而地下部鲜、干质量和根冠比均与 CK 无显著差异。

表 2 红光暗期多点打断对黄瓜、番茄幼苗干物质分配的影响

Table 2 Effects of red light night multi-break on the matter distribution of cucumber and tomato seedlings

种类 Variety	处理 Treatment	地上部鲜质量/ (g·株 ⁻¹) Leaf fresh weight	地下部鲜质量/ (g·株 ⁻¹) Root fresh weight	地上部干质量/ (g·株 ⁻¹) Leaf dry weight	地下部干质量/ (g·株 ⁻¹) Root dry weight	全株干质量/g Plant dry weight	根冠比 Root/top	G 值/ (mg·d ⁻¹) G value
黄瓜	CK	9.98 a	3.17 a	0.80 a	0.12 a	0.92 a	0.15 a	30.71 a
Cucumber	T	8.39 b	2.85 a	0.64 b	0.10 a	0.74 b	0.15 a	24.66 b
番茄	CK	11.53 a	1.81 a	1.15 a	0.15 a	1.30 a	0.13 a	36.17 a
Tomato	T	10.33 b	1.80 a	1.01 b	0.14 a	1.15 b	0.14 a	31.76 b

红光暗期多点打断对黄瓜、番茄幼苗干物质分配率的影响结果见表 3。由表 3 可以看出,红光暗期多点打断处理黄瓜、番茄幼苗根干物质分配率与 CK 差异不显著,茎分配率均显著低于 CK,分别较 CK 降低了 16.70%和 10.30%,说明红光有抑制有机物向茎运输的作用。在叶干物质分配率上,T 处

理黄瓜和番茄幼苗与 CK 相比均有所增加,其中番茄的差异达显著水平($P<0.05$),且叶片中干物质分配率远高于茎和根。结果表明,红光暗期多点打断有助于光合产物向叶片的分配,且减少了茎秆中有机物的储存量。

2.3 红光暗期多点打断对黄瓜、番茄幼苗叶绿素含量的影响

叶绿素能够吸收、传递和转换光能,是植物进行光合作用的基础,其含量和组成影响植物的光合速率。由表 4 可以看出,T 处理黄瓜幼苗的叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素 a+b 含量均显著低于 CK,分别较 CK 降低了 23.77%,35.55%和 26.95%;叶绿素 a/b 在 2 个处理间无显著差异;T 处理番茄幼苗的叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a+b 含量均显著高于 CK,分别较CK提高42.63%,43.48%和42.86%,

表 4 红光暗期多点打断对黄瓜、番茄幼苗叶绿素含量的影响

Table 4 Effects of red light night multi-break on the chlorophyll content of cucumber and tomato seedlings

种类 Variety	处理 Treatment	叶绿素 a/(mg·g ⁻¹) Chl a	叶绿素 b/(mg·g ⁻¹) Chl b	叶绿素 a+b/(mg·g ⁻¹) Chl (a+b)	叶绿素 a/b Chl a/b
黄瓜 Cucumber	CK	2.44 a	0.90 a	3.34 a	2.71 a
	T	1.86 b	0.58 b	2.44 b	3.21 a
番茄 Tomato	CK	1.29 a	0.46 a	1.75 a	2.80 a
	T	1.84 b	0.66 b	2.50 b	2.79 a

2.4 红光暗期多点打断对黄瓜、番茄幼苗光合特性的影响

由表 5 可以看出,T 处理黄瓜幼苗的光合速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度、蒸腾速率与 CK 相比均显著降低 ($P<0.05$),分别降低了 29.37%,53.84%,25.99%和 43.84%;而番茄幼苗的光合速率较 CK 提高了 34.96% ($P<0.05$),气孔导度较 CK 降低了 25.00% ($P<0.05$),胞间 CO₂ 浓度和蒸

表 5 红光暗期多点打断对黄瓜、番茄幼苗光合特性的影响

Table 5 Effects of red light night multi-break on the photosynthetic characteristic of cucumber and tomato seedlings

种类 Variety	处理 Treatment	光合速率/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) Photosynthetic	气孔导度/ ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) Stomata conductance	胞间 CO ₂ / ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$) Intercellular carbon dioxide concentration	蒸腾速率/ ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) Evaporating rate	水分利用效率 Water using efficiency
黄瓜 Cucumber	CK	10.18 a	0.13 a	216.10 a	3.49 a	2.92 a
	T	7.19 b	0.06 b	159.94 b	1.96 b	3.67 b
番茄 Tomato	CK	10.87 a	0.16 a	225.68 a	3.54 a	3.07 a
	T	14.67 b	0.12 b	224.63 a	2.96 a	4.96 b

3 讨论与结论

植物体通过不同的光受体感受不同性质的光信号,从而调节植物整个生命周期中的许多生理过程,植物体内主要存在着光敏色素和隐花色素 2 种色素系统^[21],其中光敏色素主要吸收红光和远红光,隐花色素则吸收蓝光和近紫外光。国外许多研究表明,在植物光期结束时给予短时间的远红光照射,能显著促进植物茎的伸长;而给予红光照射则对茎的伸长有抑制作用^[22-24]。本研究前期试验发现,在光期结束仅给予 1 次红光照射对黄瓜、番茄茎伸长的抑制效果不明显,结合前人的研究结果,本试验增加了红光照射次数,结果发现,红光暗期多点打断对黄

叶绿素 a/b 在 2 个处理间也无显著差异。

表 3 红光暗期多点打断对黄瓜、番茄幼苗干物质分配率的影响

Table 3 Effects of red light night multi-break on the dry matter distribution index of cucumber

		and tomato seedlings			%
种类 Variety	处理 Treatment	根分配率 Partitioning ratio of root	茎分配率 Partitioning ratio of stem	叶分配率 Partitioning ratio of leaf	
黄瓜 Cucumber	CK	13.04 a	17.55 a	69.41 a	
	T	13.18 a	15.19 b	71.62 a	
番茄 Tomato	CK	11.40 a	28.97 a	59.63 a	
	T	11.97 a	25.96 b	62.06 b	

腾速率较 CK 降低,但无显著差异 ($P>0.05$)。

水分利用效率取决于光合速率和蒸腾速率的比值,它反映了植物叶片气体代谢、植物生长与水分利用之间的关系。表 5 显示,T 处理黄瓜、番茄幼苗的气孔导度均显著低于 CK,而水分利用效率却均显著高于 CK,可见部分气孔关闭有利于提高叶片的水分利用效率。

瓜、番茄的下胚轴长、株高、节间长度和叶面积等均产生了明显的抑制作用,干物质的积累速率显著降低;而对茎粗没有显著影响,说明红光影响了细胞的伸长生长,这可能是由于红光降低了植物体内赤霉素含量,从而抑制了节间长度和植株高度的伸长^[25]。

蒲高斌等^[26]研究发现,苗期照射蓝光有利于培育壮苗。本研究发现,红光暗期多点打断降低了黄瓜、番茄幼苗的地上部干质量,显著提高了幼苗的壮苗指数,而对地下部生物量积累的影响不明显;从各部位的干物质分配率上看,红光主要影响了有机物在地上部分的运输和分配,减少了有机物向茎的分配。

光不仅影响植株的形态建成,同时也调控光合色素的合成,不同波长的光与植物体内相应的光受体作用,从而调控色素合成^[27]。对大多数作物而言,红光有利于提高叶片中的叶绿素含量,蓝光则使叶绿素含量较低^[28-30],蓝光处理可提高叶片中的叶绿素 a/b 值,而红光可降低叶绿素 a/b 值^[31]。本研究发现,红光暗期多点打断显著提高了番茄幼苗叶片叶绿素的含量,而在黄瓜上的结果则相反,但对叶绿素 a/b 值的影响;番茄和黄瓜幼苗与 CK 均无显著差异,这可能是因为红光对植物细胞色素苷积累的影响因物种不同而存在差异。

较高的光合速率是幼苗营养生长旺盛的前提,本研究发现,红光暗期多点打断降低了黄瓜叶片的叶绿素含量,减小了气孔导度,降低了光合速率;而在番茄上则提高了叶绿素含量,减小了气孔导度,显著提高了光合速率。由于光合速率不仅受光合色素含量的影响,还受气孔导度、蒸腾速率和胞间 CO₂ 浓度的影响,本试验番茄的气孔导度和胞间 CO₂ 浓度均不同程度降低,光合速率却升高,说明光合速率同时受到了非气孔因素的影响。红光暗期多点打断对黄瓜、番茄光合作用的不同影响,说明其对不同植物的光合作用的影响具有差异性,影响机理有待深入探究。

本试验证实,红光暗期多点打断对植物幼苗形态建成和光合特性的影响是显著的,通过研究比较了不同种类蔬菜幼苗在红光暗期多点打断条件下生长的共性和特性,为生产上提供了一种新型的、低成本的有利于培育壮苗的育苗方式。综合试验结果认为,利用红光暗期多点打断可抑制幼苗徒长,提高幼苗的壮苗指数。但最适光强和最佳光照时间及该方法对蔬菜幼苗光合及其他生理特性的影响机理还需进一步研究。

[参考文献]

- [1] Wang L, Zhang J F, Jing Y B, et al. Review on the application of night-break to plant researches [J]. Journal of West China Forestry Science, 2011, 40(4): 100-103.
- [2] 刘立功, 徐志刚, 崔 瑾, 等. 光环境调控及 LED 在蔬菜设施栽培中的应用和前景 [J]. 中国蔬菜, 2009(14): 1-5.
Liu L G, Xu Z G, Cui J, et al. Applications and prospects of light environment control in protected vegetable cultivation [J]. China Vegetables, 2009(14): 1-5. (in Chinese)
- [3] 段奇珍, 曲 梅, 高丽红. 不同 LED 光源对黄瓜幼苗质量的影响 [J]. 北方园艺, 2010(15): 125-128.
Duan Q Z, Qu M, Gao L H. Effect of different light emitting diode sources on the quality of cucumber seedlings [J]. Northern

- Horticulture, 2010(15): 125-128. (in Chinese)
- [4] 崔 瑾, 马志虎, 徐志刚, 等. 不同光质补光对黄瓜、辣椒和番茄幼苗生长及生理特性的影响 [J]. 园艺学报, 2009, 36(5): 663-670.
Cui J, Ma Z H, Xu Z G, et al. Effects of supplemental lighting with different light qualities on growth and physiological characteristics of cucumber, pepper and tomato seedlings [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2009, 36(5): 663-670. (in Chinese)
- [5] 林 多, 郭永芳, 王灵燕, 等. 不同植物生长调节剂对番茄穴盘育苗的影响 [J]. 北方园艺, 2008(5): 47-48.
Lin D, Guo Y F, Wang L Y, et al. Effects of plant growth regulators on tomato plug seedlings cultivation [J]. Northern Horticulture, 2008(5): 47-48. (in Chinese)
- [6] 毛丽萍, 李亚灵, 赵军良, 等. 昼夜温差对番茄幼苗光合特性和物质积累的影响 [J]. 华北农学报, 2012, 27(1): 128-133.
Mao L P, Li L L, Zhao J L, et al. Effects of difference between day and night temperature on photosynthesis mechanism of tomato seedlings [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2012, 27(1): 128-133. (in Chinese)
- [7] 刘再亮, 马承伟, 杨其长. 设施环境中红光与远红光比值调控的研究进展 [J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 270-273.
Liu Z L, Ma C W, Yang Q C. Review on controlling the ratio of red light to far-red light in protected environment [J]. Transaction of the CSAE, 2004, 20(1): 270-273. (in Chinese)
- [8] Gaba V, Black M. Photocontrol of hypocotyl elongation in light-grown *Cucumis sativus* L. [J]. Planta, 1985, 164: 264-271.
- [9] Xiong J Q, Patil G G, Moe R. Effect of DIF and end-of-day light quality on stem elongation in *Cucumis sativus* L. [J]. Sci Hortic, 2002, 94: 219-229.
- [10] Xiong J Q, Patil G G, Moe R, et al. Effects of diurnal temperature alternations and light quality on growth, morphogenesis and carbohydrate content of *Cucumis sativus* L. [J]. Sci Hortic, 2011, 128: 54-60.
- [11] Chia P L, Kubota C. End-of-day far-red light quality and dose requirements for tomato rootstock hypocotyl elongation [J]. Hortscience, 2010, 45: 1501-1506.
- [12] 常涛涛, 刘晓英, 徐志刚, 等. 不同光谱能量分布对番茄幼苗生长发育的影响 [J]. 中国农业科学, 2010, 43(8): 1748-1756.
Chang T T, Liu X Y, Xu Z G, et al. Effects of light spectral energy distribution on growth and development of tomato seedlings [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(8): 1748-1756. (in Chinese)
- [13] 刘晓英, 徐志刚, 郭世荣. 不同光质 LED 弱光对樱桃番茄植株形态和光合性能的影响 [J]. 西北植物学报, 2010, 30(4): 645-651.
Liu X Y, Xu Z G, Guo S R. Growth and photosynthesis of cherry tomato seedling exposed to different low light of LED light quality [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 2010, 30(4): 645-651. (in Chinese)
- [14] 郁继华, 舒 杰, 吕军芬. 低温弱光对茄子幼苗光合特性的影响 [J]. 西北植物学报, 2004, 24(5): 831-836.

Yu J H,Shu J,Lü J F. Influences of low temperature and poor light on photosynthetic characteristics in eggplant seedlings [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 2004, 24 (5): 831-836. (in Chinese)

[15] 王英利,王勋陵,岳 明. UV-B 及红光对大棚番茄品质的影响 [J]. 西北植物学报, 2000, 20(4): 590-595.
Wang Y L, Wang X L, Yue M. Effects of supplementary radiation of UV-B and red light on fruit quality of tomato in winter plastic greenhouse [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 2000, 20(4): 590-595. (in Chinese)

[16] 王绍辉,孔 云,陈青君,等. 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.
Wang S H, Kong Y, Chen Q J, et al. The effects of different light qualities on cucumber fruit quality and yield in greenhouse [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2006, 14(4): 119-121. (in Chinese)

[17] 陈 强,刘世琦,张自坤,等. 不同 LED 光源对番茄果实转色期品质的影响 [J]. 农业工程学报, 2009, 25(5): 156-161.
Chen Q, Liu S Q, Zhang Z K, et al. Effect of different light emitting diode sources on tomato fruit quality during color-changed period [J]. Transaction of the CSAE, 2009, 25(5): 156-161. (in Chinese)

[18] Blanchard M G, Runkle E S. Intermittent light from a rotating high-pressure sodium lamp promotes flowering of long-day plants [J]. Hortscience, 2010, 45: 236-241.

[19] Kim Y J, Lee H J, Kim K S. Night interruption promotes vegetative growth and flowering of Cymbidium [J]. Sci Hortic, 2011, 130: 887-893.

[20] 张振贤,王培伦,刘世琦,等. 蔬菜生理[M]. 北京:中国农业科技出版社, 1993.
Zhang Z X, Wang P L, Liu S Q, et al. Vegetable physiology [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1993. (in Chinese)

[21] Moe R, Heins R. Control of plant morphogenesis and flowering by light quality and temperature [J]. Acta Hort, 1990, 272: 81-89.

[22] Lund J B, Blom T J, Aaslyng J M. End-of-day lighting with different red/far-red ratios using light-emitting diodes affects plant growth of *Chrysanthemum* × *Morifolium ramat*. Coral charm [J]. Hortscience, 2007, 42: 1609-1611.

[23] Blom T J, Tsujita M J, Roberts G L. Far-red at end of day and reduced irradiance affect plant height of easter and Asiatic hybrid lilies [J]. Hortscience, 1995, 30: 1009-1012.

[24] Rajapakse N C, McMahon M J, Kelly J W. End of day far-red light reverses height reduction of chrysanthemum induced by CuSO₄ spectral filters [J]. Sci Hortic, 1993, 53: 249-259.

[25] Feng S H, Martinez C, Gusmaroli G, et al. Coordinated regulation of *Arabidopsis thaliana* development by light and gibberellins [J]. Nature, 2008, 451: 475-479.

[26] 蒲高斌,刘世崎,刘 磊,等. 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.
Pu G B, Liu S Q, Liu L, et al. Effects of different light qualities on growth and physiological characteristics of tomato seedlings [J]. Acta Horticulture Sinica, 2005, 32(3): 420-425. (in Chinese)

[27] 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.
Zheng J, Hu M J, Guo Y P. Regulation of photosynthesis by light and its mechanism in plants [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(7): 1619-1624. (in Chinese)

[28] 童 哲,赵玉锦,王 台,等. 植物的光受体和光控发育研究 [J]. 植物学报, 2000, 42(2): 111-115.
Tong Z, Zhao Y J, Wang T, et al. Photoreceptors and light-regulated development in plants [J]. Acta Botanica Sinica, 2000, 42(2): 111-115. (in Chinese)

[29] 许 莉,刘世琦,齐连东,等. 不同光质对叶用莴苣光合作用及叶绿素荧光的影响 [J]. 中国农学通报, 2007, 23(1): 96-100.
Xu L, Liu S Q, Qi L D, et al. Effect of light quality on leaf lettuce photosynthesis and chlorophyll fluorescence [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2007, 23(1): 96-100. (in Chinese)

[30] 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): 867-870.
Chu Z X, Tong Z, Feng L J, et al. Effect of different light quality on photosynthetic characteristics of cucumber leaves [J]. Acta Botanica Sinica, 1999, 41(8): 867-870. (in Chinese)

[31] 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.
Xu K, Guo Y P, Zhang S L. Effect of light quality on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in strawberry leaves [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(2): 369-375. (in Chinese)