

不同光周期红光对油葵芽苗菜生长和品质的影响

张 欢, 章丽丽, 李 薇, 邢泽南, 张 丹, 崔 瑾*

(南京农业大学生命科学学院, 南京 210095)

摘 要: 采用发光二极管(light emitting diode, LED)精确调制红光(630 ± 20) nm 的光强及光周期, 研究不同光周期 LED 红光对油葵芽苗菜生长和品质的影响。结果表明: 随着光周期从 0 延长至 $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$, 油葵芽苗菜下胚轴长显著降低, 子叶面积显著增加; 而随着光周期从 0 延长至 $16 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ 时, 芽苗菜叶绿素和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 $16 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ 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 $16 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ 时有利于促进油葵芽苗菜生长和部分品质改善。

关键词: 油葵; 芽苗菜; 光周期; 发光二极管; 生长; 品质

中图分类号: S 649

文献标识码: A

文章编号: 0513-353X (2012) 02-0297-08

Effects of Photoperiod Under Red LED on Growth and Quality of Sunflower Sprouts

ZHANG Huan, ZHANG Li-li, LI Wei, XING Ze-nan, ZHANG Dan, and CUI Jin*

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

Abstract: Light emitting diode (LED) was applied to accurately modulate red light (630 ± 20) nm, light intensity and photoperiod. The effects of photoperiod under red LED on the growth and quality of sunflower sprouts were studied. The results indicated that the extended photoperiod from 0 to $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ could significantly inhibit the elongation of hypocotyls, expand the cotyledon area, and the extended photoperiod from 0 to $16 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ could significantly increase the content of chlorophyll and carotenoid. Under the treatment of $16 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ photoperiod, the fresh mass and the starch content were improved evidently. While the extended photoperiod under red LED promoted the content of vitamin C, it still decreased the content of free amino acid, restrained the activity of SOD and CAT. Overall, as compared with other photoperiod, $16 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ photoperiod was more beneficial to the growth and some qualities of sunflower sprouts.

Key words: *Helianthus annuus* L.; sprout; photoperiod; light emitting diode (LED); growth; quality

收稿日期: 2011 - 11 - 23; 修回日期: 2012 - 01 - 03

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30800764, 31171998)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: cuijin@njau.edu.cn)

油葵 (*Helianthus annuus* L.) 芽苗菜是一种在光照条件下生长的新型绿体苗菜 (刘乃福和刘福霞, 2010)。发光二极管 (light emitting diode, LED) 作为第 4 代新型照明光源, 具有光谱能量调制便捷, 节能环保, 易于分散或组合控制等诸多优点, 已成为植物工厂化生产最具应用潜力的光源 (Nhut, 2007; 崔瑾 等, 2008)。国内外已有学者应用 LED 进行光质调控, 研究其对萝卜 (张欢 等, 2009)、豌豆 (Wu et al, 2007; 张立伟 等, 2010a)、香椿 (张立伟 等, 2010b)、小麦 (Suchi et al, 2005) 等幼苗生长发育的影响, 证实了 LED 光质调控对植物幼苗的生物学效应。

多篇研究报道证明, 红光有助于植物干物质的积累, 促进光合速率 (闻婧 等, 2011)。有关红光有利于芽苗菜的生长和营养品质改善的研究结果已被报道 (张欢 等, 2009; 张立伟 等, 2010c)。南京农业大学植物光生物学实验室的前期研究表明, 红光对油葵芽苗菜生长和品质具有显著促进效应。本试验在前人的研究基础上探究了 LED 红光调制的光周期对油葵芽苗菜的生长和品质的影响, 为发展芽苗菜工业化生产光环境调控技术和研发设施栽培领域 LED 光源提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料及其处理

供试油葵 (*Helianthus annuus* L.) 品种为 ‘康地 102’, 购自山西省农业科学研究院。试验于 2010 年 11 月至 12 月在南京农业大学生命科学学院植物光生物学实验室进行。

浸种 10 h 后催芽 24 h, 选择大小及生活力基本一致的油葵播种于蛭石中, 每篮播种 7~8 g (干籽质量, 100~120 粒), 暗培养 1 d 后置于 LED 红光培养箱中进行处理。培养箱内相对湿度为 $75\% \pm 5\%$; 温度为 $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$ 。

光源为 LED 冷光源培养箱 (宁波海曙赛福实验仪器厂生产) 箱内顶置 LED 光源, 光质为红光 (R, $630 \text{ nm} \pm 20 \text{ nm}$), 光谱和光强采用中国产的 SSP3190 光谱分析系统及美国 Li-Cor 公司生产的量子传感器测定, 光源的光谱分布见图 1。通过调节光源与幼苗的距离, 使光强为 $(23 \pm 3) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。光周期处理设定为 0、4、8、12、16 和 20 $\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ 。在培养箱中处理 5 d 后检测各项指标。

1.2 测定方法

下胚轴长、根长用直尺测量, 下胚轴直径用游标卡尺测量, 子叶面积由 LI-3100 (LICOR) 叶面积仪测定。可食鲜质量 = 全株鲜质量 - 根质量; 可食率 (%) = 可食鲜质量/全株鲜质量 $\times 100$; 含水率 (%) = (全株鲜质量 - 全株干质量)/全株鲜质量 $\times 100$ 。

叶绿素、类胡萝卜素含量用无水乙醇: 丙酮 = 1:1 溶液提取测定; 可溶性糖及淀粉含量采用蒽酮法; 蔗糖用间苯二酚法测定; 还原糖用 DNS 法测定; 维生素 C 含量的测定参照《GB/T6195-86》; 游离氨基酸含量采用水合茚三酮法测定; 可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝法测定; 氮蓝四唑 (NBT) 法测定超氧化物歧化酶 (SOD) 活性; 愈创木酚法测定过氧化物酶 (POD) 活性; 紫外吸收法测定

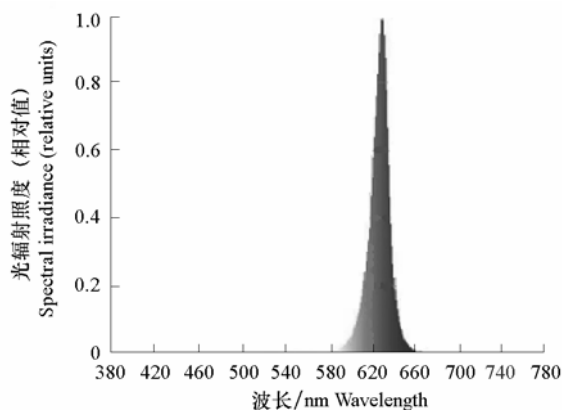


图 1 红光 LED 灯的光谱分布图

Fig. 1 Spectral distribution graph of red LED light

过氧化氢酶（CAT）活性（王学奎，2000；胡琼英，2007）。其中色素、还原糖、维生素 C、可溶性蛋白、抗氧化酶活性用鲜样（后面表格中用 FW 表示）测定，可溶性糖、淀粉、蔗糖、游离氨基酸用干样（后面表格中用 DW 表示）测定。色素含量测定取样子叶，其他各指标测定取样可食部分（去根部分）。

随机取样，生长指标测定设 7 次重复，生理特性及营养品质指标设 5 次重复，试验重复 4 次。采用 Excel 2007 软件进行数据整理，SPSS16.0 软件进行方差分析，显著性由邓肯氏新复极差法检验， $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 光周期对油葵芽苗菜生长形态的影响

由表 1 和图 2 可知，随红光的光周期从 0 延长至 $12\text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ ，下胚轴长显著降低，子叶面积显著增加，而根长和下胚轴直径在各个光周期处理下无显著差异。

表 1 光周期对油葵芽苗菜生长的影响
Table 1 Effects of photoperiod on the growth of sunflower sprouts

光周期/ ($\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$) Photoperiod	根长/cm Root length	下胚轴长/cm Hypocotyl length	下胚轴直径/cm Hypocotyl diameter	子叶面积/ cm^2 Cotyledon area
0	$14.00 \pm 1.21\text{ a}$	$13.97 \pm 0.98\text{ a}$	$0.196 \pm 0.016\text{ a}$	$1.7426 \pm 0.271\text{ c}$
4	$11.93 \pm 2.01\text{ a}$	$12.49 \pm 2.34\text{ b}$	$0.184 \pm 0.018\text{ a}$	$2.4640 \pm 0.604\text{ b}$
8	$13.64 \pm 3.74\text{ a}$	$9.29 \pm 0.72\text{ c}$	$0.195 \pm 0.008\text{ a}$	$2.9073 \pm 0.310\text{ b}$
12	$12.76 \pm 2.22\text{ a}$	$8.34 \pm 0.60\text{ cd}$	$0.201 \pm 0.012\text{ a}$	$3.6999 \pm 0.944\text{ a}$
16	$12.43 \pm 3.46\text{ a}$	$8.40 \pm 0.34\text{ cd}$	$0.197 \pm 0.018\text{ a}$	$3.8961 \pm 0.482\text{ a}$
20	$11.54 \pm 0.94\text{ a}$	$7.26 \pm 0.22\text{ d}$	$0.200 \pm 0.006\text{ a}$	$3.8066 \pm 0.375\text{ a}$

注：表中数据为平均数 \pm 标准差；且同列数据后小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平显著差异，下同。

Note: Data are showed as the mean \pm S.E. Values followed by different lowercase letters within each column are significantly different at $P < 0.05$. The same below.

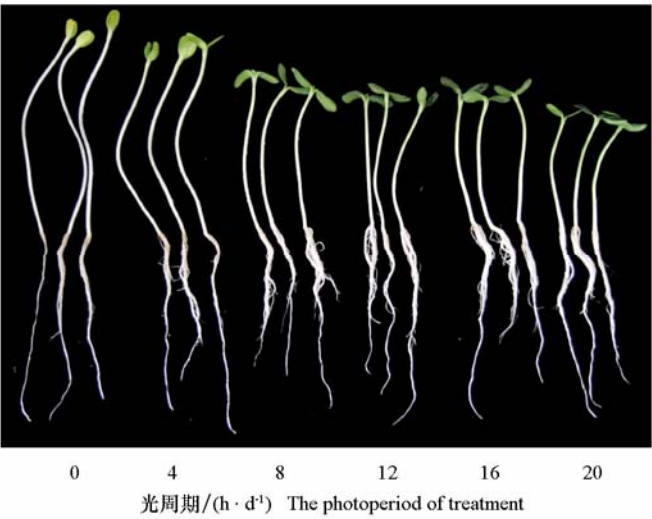


图 2 光周期对油葵芽苗菜形态的影响

Fig. 2 Effects of photoperiod on the morphology of sunflower sprouts

2.2 光周期对油葵芽苗菜干鲜质量的影响

由表 2 可知, 红光光周期对油葵芽苗菜全株鲜质量、可食鲜质量、可食干质量的影响规律基本一致。随着光周期处理时间的延长, 全株鲜质量、可食鲜质量总体呈现下降趋势, 在光周期为 8 和 20 h · d⁻¹ 时, 降低最显著, 但是在光周期为 16 h · d⁻¹ 时, 全株鲜质量提高, 与最大值无显著差异。光周期对全株干质量无影响。此外, 随着光周期处理时间的延长, 芽苗菜的可食率和含水率也呈下降趋势。当光周期在 4 h · d⁻¹ 至 16 h · d⁻¹ 时, 芽苗菜含水率无显著变化, 当光周期达到 20 h · d⁻¹ 时可食率和含水率降低。

表 2 光周期对油葵芽苗菜干鲜质量的影响
Table 2 Effects of photoperiod on the fresh mass and dry mass of sunflower sprouts

光周期/ (h · d ⁻¹) Photoperiod	可食鲜质量/g Edible fresh mass	全株鲜质量/g Total fresh mass	可食干质量/g Edible dry mass	全株干质量/g Total dry mass	可食率/% Edible rate	含水率/% Water content
0	8.442 ± 0.601 a	9.601 ± 0.535 a	0.431 ± 0.022 a	0.471 ± 0.018 a	87.89 ± 1.48 a	95.09 ± 0.08 a
4	6.736 ± 0.078 b	8.545 ± 0.094 bc	0.407 ± 0.018 b	0.468 ± 0.019 a	78.83 ± 0.56 b	94.53 ± 0.16 b
8	5.943 ± 0.356 c	7.908 ± 0.587 c	0.380 ± 0.029 b	0.453 ± 0.037 a	75.22 ± 1.59 cd	94.27 ± 0.09 bc
12	6.608 ± 0.117 bc	8.592 ± 0.281 bc	0.398 ± 0.019 ab	0.467 ± 0.026 a	76.94 ± 1.15 bc	94.57 ± 0.13 b
16	6.799 ± 0.265 b	9.085 ± 0.390 ab	0.422 ± 0.016 a	0.498 ± 0.024 a	74.84 ± 1.12 cd	94.52 ± 0.14 b
20	6.022 ± 0.521 c	8.191 ± 0.638 c	0.413 ± 0.022 ab	0.488 ± 0.016 a	73.48 ± 0.98 d	94.02 ± 0.29 c

2.3 光周期对油葵芽苗菜色素含量的影响

由图 2 和表 3 可以看出, 随着光周期从 0 到 16 h · d⁻¹ 的延长, 油葵芽苗菜子叶颜色由浅黄变成深绿, 叶绿素和类胡萝卜素含量显著提高, 在光周期 16 h · d⁻¹ 后含量无显著变化; 叶绿素/类胡萝卜素的比值也显著提高, 但在光周期达到 12 h · d⁻¹ 后无显著变化; 而叶绿素 a/b 的值呈显著降低的趋势, 但是在达到 8 h · d⁻¹ 光周期后无显著变化。

表 3 光周期对油葵芽苗菜色素含量的影响
Table 3 Effects of photoperiod on pigment contents of sunflower sprouts

光周期/(h · d ⁻¹) Photoperiod	叶绿素总量/(mg · g ⁻¹ FW) Total chlorophyll	类胡萝卜素/(mg · g ⁻¹ FW) Carotenoid	叶绿素 a/b Chl.a/Chl.b	叶绿素/类胡萝卜素 Chl./Car.
0	0.071 ± 0.0069 e	0.099 ± 0.0064 d	7.031 ± 1.070 a	0.724 ± 0.1010 d
4	0.372 ± 0.0195 d	0.153 ± 0.0079 c	4.764 ± 0.561 b	2.436 ± 0.1580 c
8	0.659 ± 0.0698 c	0.177 ± 0.0172 c	3.240 ± 0.051 c	3.720 ± 0.0835 b
12	0.962 ± 0.0701 b	0.234 ± 0.0142 b	3.305 ± 0.180 c	4.108 ± 0.0541 a
16	1.206 ± 0.1430 a	0.284 ± 0.0328 a	2.996 ± 0.028 c	4.250 ± 0.0203 a
20	1.302 ± 0.0359 a	0.312 ± 0.0045 a	3.110 ± 0.033 c	4.168 ± 0.0563 a

2.4 光周期对油葵芽苗菜品质和抗氧化酶活性的影响

如表 4 所示, 随着光周期延长, 油葵芽苗菜蔗糖的含量无显著变化; 淀粉含量有所提高, 在 16 h · d⁻¹ 时达到最高值; 而可溶性糖含量呈现降低的特点, 在光周期为 16 h · d⁻¹ 时达到最低值, 但随后在光周期为 20 h · d⁻¹ 时升高; 还原糖含量变化较为平稳, 只是在光周期为 12 h · d⁻¹ 时达到最低值; 光周期延长至 4 h · d⁻¹ 可以显著降低可溶性蛋白含量, 但是之后随光周期延长无显著变化; 而游离氨基酸含量则是呈逐渐降低的趋势。维生素 C 的含量随光周期延长呈现逐渐提高的趋势, 在光周期为 12 h · d⁻¹ 后显著提高 (表 5)。

表 4 不同光周期对油葵芽苗菜糖和蛋白质的影响
Table 4 Effects of photoperiod on the sugar and protein of sunflower sprouts

光周期/ (h · d ⁻¹)	可溶性糖/ (mg · g ⁻¹ DW)	还原糖/ (mg · g ⁻¹ FW)	蔗糖/ (mg · g ⁻¹ DW)	淀粉/ (mg · g ⁻¹ DW)	可溶性蛋白质/ (mg · g ⁻¹ FW)	游离氨基酸/ (mg · g ⁻¹ DW)
Photoperiod	Soluble sugar	Reducing sugar	Sucrose	Starch	Soluble protein	Free amino acid
0	189.051 ± 22.445 ab	5.717 ± 0.247 a	12.822 ± 4.326 a	11.529 ± 4.175 b	3.037 ± 0.234 a	49.062 ± 3.796 a
4	167.964 ± 6.422 bc	5.708 ± 0.122 a	14.500 ± 6.823 a	15.340 ± 3.562 ab	2.792 ± 0.072 b	45.870 ± 1.405 a
8	185.389 ± 14.092 ab	5.605 ± 0.111 ab	14.492 ± 1.744 a	14.520 ± 1.767 ab	2.666 ± 0.075 b	36.585 ± 3.662 b
12	151.840 ± 26.811 cd	5.164 ± 0.040 c	12.906 ± 2.244 a	13.545 ± 1.226 b	2.637 ± 0.040 b	33.573 ± 2.016 b
16	132.124 ± 13.954 d	5.382 ± 0.105 bc	14.826 ± 1.761 a	18.464 ± 0.429 a	2.631 ± 0.002 b	27.986 ± 1.042 c
20	210.498 ± 5.646 a	5.447 ± 0.174 ab	15.739 ± 4.181 a	12.832 ± 1.094 b	2.682 ± 0.172 b	26.361 ± 0.079 c

由表 5 可知，随着光周期的延长，油葵芽苗菜 CAT 活性呈现逐渐下降的趋势，在光周期为 20 h · d⁻¹ 时显著低于其他光周期处理；SOD 活性在 16 h · d⁻¹ 后显著下降；POD 的活性无显著差异。

表 5 光周期对油葵芽苗菜抗氧化酶活性及维生素 C 含量的影响
Table 5 Effects of photoperiod on the activities of antioxidantase and vitamin C content of sunflower sprouts

光周期/ (h · d ⁻¹)	SOD/ (U · g ⁻¹ FW)	POD/ (U · g ⁻¹ FW)	CAT/ (U · g ⁻¹ FW)	维生素 C/ (mg · g ⁻¹ FW)
Photoperiod				Vitamin C
0	153.276 ± 15.298 a	39.405 ± 7.436 a	225.693 ± 3.675 a	0.213 ± 0.039 c
4	137.862 ± 6.802 a	36.738 ± 0.516 a	203.971 ± 9.683 b	0.251 ± 0.031 c
8	138.825 ± 11.692 a	31.731 ± 7.150 a	169.679 ± 4.335 c	0.249 ± 0.003 bc
12	137.761 ± 40.020 a	31.939 ± 6.602 a	140.194 ± 6.744 d	0.274 ± 0.005 ab
16	98.923 ± 9.448 b	37.045 ± 6.115 a	140.282 ± 5.506 d	0.286 ± 0.008 ab
20	88.009 ± 5.096 b	38.128 ± 2.362 a	125.975 ± 9.823 e	0.293 ± 0.014 a

3 讨论

3.1 光周期对油葵芽苗菜生长的影响

光全方位影响植物的生长发育。有研究表明，延长光周期可以降低黄瓜幼苗的株高(李海云 等，2009a)，扩大西葫芦幼苗子叶面积(李海云 等，2009b)，本试验结果与之相符。光周期影响植物茎的伸长和内源生长素的水平(Digby & Dyson, 1973)。有研究报道拟南芥 HDZip 家族 *ATHB16* 调节叶片的扩展及开花的光周期控制，证明该基因在植物生长中对光反应的作用(Yan et al., 2003)。有关光周期对植物生长影响的分子机制值得深入探究。

李世栋(2007)研究发现在光周期为 16 h · d⁻¹ 的条件下，甜瓜幼苗的叶面积、干质量和鲜质量达到最大值。本试验中发现随着光周期处理时间的延长，油葵芽苗菜的可食鲜质量、全株鲜质量呈现下降趋势，但是在光周期为 16 h · d⁻¹ 时，全株鲜质量提高。这些可能与油葵种子萌发后物质代谢变化规律及光形态建成特点有关。

3.2 光周期对油葵芽苗菜生理特性及品质的影响

光在刺激叶片扩展和叶肉细胞分化的同时，促进原质体或黄化体向叶绿体的转化(童哲 等，2000)。在对厚皮甜瓜(李世栋，2007)、茄子幼苗(陈敏和李海云，2010)的研究中，均发现延长光周期可以提高幼苗的色素含量，本试验结果与之相符。叶绿素和类胡萝卜素对人类具有多种有益功能，其含量是衡量果蔬品质的重要特性之一(任亚梅，2009)。

本试验结果显示，随着光周期延长，油葵芽苗菜淀粉含量呈现先升高后降低特点，在 16 h · d⁻¹ 时达到最高值，但在光周期为 20 h · d⁻¹ 时显著降低。而可溶性糖含量呈现先降低后升高的特点，在

光周期为 $16\text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ 时达到最低值,但随后在光周期为 $20\text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ 时又显著升高。焦磷酸化酶 (AGPase) 是与淀粉代谢核心途径有关的酶 (袁亮 等, 2006)。一些研究报道植物叶片中的 AGPase 翻译后氧化还原调控受光照的影响;此外,叶片中糖含量的高低也会通过对 AGPase 的氧化还原修饰改变淀粉合成的速率,将叶片中碳水化合物的水平与淀粉的积累联系起来 (Janneke et al., 2003; Yves et al., 2004; Geigenberger et al., 2005)。

陈敏和李海云 (2010) 认为短光照有利于茄子幼苗可溶性蛋白质的合成;袁娟等 (2004) 研究发现短日照处理下扁豆真叶内的游离氨基酸含量高于长日照处理下。江院等 (2008) 发现 16 h 光照处理下,玉米苗期碳氮代谢相关酶活性比 13 h 和 10 h 处理的低。本试验中发现与黑暗处理相比,照光可以显著降低油葵芽苗菜可溶性蛋白含量,但光周期延长对可溶性蛋白含量无显著影响,而游离氨基酸含量一直呈逐渐降低的趋势。目前关于光周期对作物生理代谢和相关酶活性产生影响的机理尚不十分明确。

近年来的许多研究证明,植株体内的抗氧化酶系的表达量和抗氧化物质的积累量与植物对逆境胁迫的耐性成正相关。在苜蓿上的研究发现 SOD 和 POD 酶活随光周期的延长而降低,推测短日照可能是影响苜蓿生长的一种胁迫因子 (王成章 等, 2007)。本试验中发现随着光周期的延长,油葵芽苗菜 CAT 活性呈现逐渐下降的趋势, SOD 活性在 $16\text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ 后显著下降,可能与长日照条件适宜油葵芽苗菜生长有关。

由于人类缺乏 AsA 的合成能力而只能从蔬菜和水果中获取,因此 AsA 含量是衡量园艺产品品质的重要指标 (李坤, 2008)。L-半乳糖内酯脱氢酶 (GLDH) 是植物 AsA 生物合成途径中最后一步的关键酶 (Emilio et al., 1999)。不少研究表明, GLDH 基因受光调控 (俞乐 等, 2009)。Masanori 等 (2003) 发现拟南芥幼苗 GLDH 基因的表达水平在早晨较低,白天逐渐上升,在夜晚逐渐下降, GLDH 活性和 AsA 含量也表现出相似的变化。Irene 等 (2004) 的研究发现甜瓜幼苗移至暗处后 GLDH 的 mRNA 水平下降。本试验结果表明油葵芽苗菜中的维生素 C 含量随光周期的延长而显著升高,可能与照光时间影响 GLDH 基因表达有关。

3.3 LED 光调控在芽苗菜工厂化生产中的应用前景

试验发现 LED 红光调制的光周期处理对油葵芽苗菜的生长、生理特性和品质产生显著影响,总体而言,设置 $16\text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ 光周期较有利于油葵芽苗菜生长和品质改善。研究结果表明光调控技术应用与绿化型或半绿化型芽苗菜生产实际中的可行性。

利用 LED 光调控技术来培育芽苗菜是一项节能环保、经济且简便易行的新方法,可有效提高芽苗菜产量和品质,产生显著的社会、经济效益。因此,深入研究光量、光质、光周期的协同作用、光质参数的优化、植物光形态建成机理以及光环境结合其他环境因素对植物生长发育的影响等问题,不仅是光生物学理论研究的热点,也可为芽苗菜生产等设施栽培光环境调控技术的发展提供科学依据。

References

- Chen Min, Li Hai-yun. 2010. Effect of different photoperiod on the growth of eggplant seedling. Northern Horticulture, 16: 53 - 55. (in Chinese)
陈 敏, 李海云. 2010. 不同光周期对茄子幼苗生长的影响. 北方园艺, 16: 53 - 55.
- Cui Jin, Xu Zhi-gang, Di Xiu-ru. 2008. Applications and prospects of light emitting diode in plant protected culture. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 24 (8): 249 - 253. (in Chinese)
崔 瑾, 徐志刚, 邸秀茹. 2008. LED 在植物设施栽培中的应用和前景. 农业工程学报, 24 (8): 249 - 253.
- Digby J, Dyson P W. 1973. A comparison of the effects of photoperiod, and of a growth retardant (CCC) on the control of stem extension in potato.

- Potato Res, 16: 159 - 167.
- Emilio Siendones, José A, González-Reyes, Carlos Santos-Ocaña, Plácido Navas, Francisco Córdoba. 1999. Biosynthesis of ascorbic acid in kidney bean: L-galactono- γ -lactone dehydrogenase is an intrinsic protein located at the mitochondrial inner membrane. *Plant Physiol*, 120: 907 - 912.
- Geigenberger P, Kolbe A, Tiessen A. 2005. Redox regulation of carbon storage and partitioning in response to light and sugars. *J Exp Bot*, 56 (416): 1469 - 1479.
- Hu Qiong-ying. 2007. Biochemistry experiment. Beijing: Chemical Industry Press. (in Chinese)
- 胡琼英. 2007. 生物化学实验. 北京: 化学工业出版社.
- Irene Pateraki, Maite Sanmartin, Mary S. Kalamaki, Dimitrios Gerasopoulos, Angelos K. Kanellis. 2004. Molecular characterization and expression studies during melon fruit development and ripening of L-galactono-1, 4-lactone dehydrogenase. *J Exp Bot*, 55: 1623 - 1633.
- Janneke H M Hendriks, Anna Kolbe, Yves Gibon, Mark Stitt and Peter Geigenberger. 2003. ADP-glucose pyrophosphorylase is activated by posttranslational redox-modification in response to light and to sugars in leaves of *Arabidopsis* and other plant species. *Plant Physiol*, 133 (2): 838 - 849.
- Jiang Yuan, Zhang Xiang-qian, Lu Xiao-liang, Xie Xin-ming. 2008. Effects of interaction of photoperiod and nitrogen on activities of enzymes of carbon and nitrogen metabolism of Huanong No.1 ensilage corn. *Acta Prataculturae Sinica*, 17 (4): 92 - 101. (in Chinese)
- 江 院, 张向前, 卢小良, 解新明. 2008. 光周期与氮肥互作对华农 1 号青饲玉米碳氮代谢相关酶的影响. *草业学报*, 17 (4): 92 - 101.
- Li Hai-yun, Han Guo-hui, Ren Qiu-ping, Lü Fu-tang. 2009a. The effect of different photoperiod on growth of cucumber seedling. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 18 (3): 201 - 203. (in Chinese)
- 李海云, 韩国徽, 任秋萍, 吕福堂. 2009a. 不同光周期对黄瓜幼苗生长的影响. *西北农业学报*, 18 (3): 201 - 203.
- Li Hai-yun, Li Chang-xin, Zhang Fu-jun, Qi Hui. 2009b. The effect of different photoperiod on growth of summer squash seedling. *Northern Horticulture*, 18 (5): 17 - 19. (in Chinese)
- 李海云, 李长新, 张复君, 齐 辉. 2009b. 不同光周期对西葫芦幼苗生长的影响. *北方园艺*, 18 (5): 17 - 19.
- Li Kun. 2008. The relation between ascorbic acid contents and activities of related enzymes in vegetable species[M. D. Dissertation]. Tai'an: Shandong Agricultural University. (in Chinese)
- 李 坤. 2008. 蔬菜抗坏血酸含量与其相关酶活性的关系[硕士论文]. 泰安: 山东农业大学.
- Li Shi-dong. 2007. The effects of different light and temperature on the growth and physiology characteristics of muskmelon seedling[M. D. Dissertation]. Shaanxi: Northwest A & F University. (in Chinese)
- 李世栋. 2007. 不同光温条件对厚皮甜瓜幼苗生长及生理特性影响的研究[硕士论文]. 陕西: 西北农林科技大学.
- Liu Nai-sen, Liu Fu-xia. 2010. Effects of germination temperature on growth of oil sunflower sprout seedling. *Northern Horticulture*, 20: 62 - 63. (in Chinese)
- 刘乃森, 刘福霞. 2010. 催芽温度对油菜芽苗菜生长的影响. *北方园艺*, 20: 62 - 63.
- Masanori Tamaoki, Fumiko Mukai, Naoko Asai, Nobuyoshi Nakajima, Akihiro Kubo, Mitsuko Aono, Hikaru Saji. 2003. Light-controlled expression of a gene encoding L-galactono- γ -lactone dehydrogenase which affects ascorbate pool size in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Sci*, 164: 1111 - 1117.
- Nhut D T, Don N T, Tanaka M. 2007. Light-emitting diodes as an effective lighting source for *in vitro* banana culture// Jain S M, Häggman H. *Protocols for micropropagation of woody trees and fruits*. Springer: 527 - 541.
- Ren Ya-mei. 2009. Study on chlorophyll metabolism and physiology characteristic of kiwi fruit[Ph. D. Dissertation]. Shaanxi: Northwest A & F University. (in Chinese)
- 任亚梅. 2009. 猕猴桃果实叶绿素代谢及生理特性研究[博士论文]. 陕西: 西北农林科技大学.
- Suchi Sood, Varsha Gupta, Baishnab C. 2005. Tripathy. Photoregulation of the greening process of wheat seedlings grown in red light. *Plant Molecular Biology*, 59 (2): 269 - 287.
- Tong Zhe, Zhao Yu-jin, Wang Tai, Li Nian-hua, Yarmamat Mawjuda. 2000. Photoreceptors and light-regulated development in plants. *Acta Botanica Sinica*, 42 (2): 111 - 115. (in Chinese)
- 童 哲, 赵玉锦, 王 台, 李念华, 毛居代·亚力. 2000. 植物的光受体和光控发育研究. *植物学报*, 42 (2): 111 - 115.
- Wang Cheng-zhang, Li Jian-hua, Guo Yu-xia, Fang Li-yun, Gao Yong-ge. 2007. Effect of photoperiod on SOD and POD activities in alfalfa varieties with different fall dormancy. *Acta Agrestia Sinica*, 15 (5): 407 - 411. (in Chinese)

- 王成章, 李建华, 郭玉霞, 方丽云, 高永革. 2007. 光周期对不同秋眠型苜蓿 SOD、POD 活性的影响. 草地学报, 15 (5): 407 - 411.
- Wang Xue-kui. 2000. Experiment theory and technology on plant physiology and biochemistry. Beijing: Higher Education Press. (in Chinese)
- 王学奎. 2000. 植物生理生化实验原理和技术. 第 2 版. 北京: 高等教育出版社.
- Wen Jing, Yang Qi-chang, Wei Ling-ling, Cheng Rui-feng, Liu Wen-ke, Bao Shun-shu, Zhou Wan-lai. 2011. Influence of combined lighting with different red and blue led on photosynthetic characteristics and quality of lettuce and evaluation of energy consumption. Acta Horticulturae Sinica, 38 (4): 761 - 769. (in Chinese)
- 闻 婧, 杨其长, 魏灵玲, 程瑞锋, 刘文科, 鲍顺淑, 周晚来. 2011. 不同红蓝 LED 组合光源对叶用莴苣光合特性和品质的影响及节能评价. 园艺学报, 38 (4): 761 - 769.
- Wu Ming-chang, Hou Chi-yao, Jiang Chii-ming, Wang Yuh-tai, Wang Chih-yu, Chen Ho-hsien, Chang Hung-min. 2007. A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings. Food Chemistry, 101 (4): 1753 - 1758.
- Yan Wang, Eva Henriksson, Eva Söderman, Kerstin Nordin Henriksson, Eva Sundberg, Peter Engström. 2003. The *Arabidopsis* homeobox gene, *ATHB16*, regulates leaf development and the sensitivity to photoperiod in *Arabidopsis*. Developmental Biology, 264: 228 - 239.
- Yu Le, Liu Yong-hai, Li Chong-bi. 2009. The key enzyme for ascorbic acid biosynthesis in plants: L-galactono-1, 4-lactone dehydrogenase (GLDH). Plant Physiology Communications, 45 (2): 183 - 186. (in Chinese)
- 俞 乐, 刘拥海, 李充璧. 2009. 植物抗坏血酸合成的关键酶: L - 半乳糖内酯脱氢酶 (GLDH). 植物生理学通讯, 45 (2): 183 - 186.
- Yuan Juan, Wu Tian-long, Chen Dian. 2004. Effects of photoperiodic treatment on the endogenous hormones and dissociative amino acid of hyacinth bean leaves. Journal of Shanghai Jiao Tong University: Agricultural Science, 22 (3): 215 - 219. (in Chinese)
- 袁 娟, 武天龙, 陈 典. 2004. 光周期对扁豆真叶内源激素及游离氨基酸含量的影响. 上海交通大学学报: 农业科学版, 22 (3): 215 - 219.
- Yuan Liang, Pan Guang-tang, Zhang Zhi-ming, Tan Deng-feng. 2006. Research progress of starch metabolism and its regulation in plants. Molecular Plant Breeding, 4 (6): 65 - 72. (in Chinese)
- 袁 亮, 潘光堂, 张志明, 谭登峰. 2006. 植物中淀粉的代谢及其调控研究进展. 分子植物育种, 4 (6): 65 - 72.
- Yves Gibon, Oliver E. Blasing, Natalia Palacios-Rojas, Dejana Pankovic, Janneke H M Hendriks, Joachim Fisahn, Melanie Höhne, Manuela Günther, Mark Stitt. 2004. Adjustment of diurnal starch turnover to short days: depletion of sugar during the night leads to a temporary inhibition of carbohydrate utilization, accumulation of sugars and post-translational activation of ADP-glucose pyrophosphorylase in the following light period. Plant J, 39 (6): 847 - 862.
- Zhang Huan, Xu Zhi-gang, Cui Jin, Guo Yin-sheng, Gu Ai-su. 2009. Effects of different spectra on growth and nutritious quality of radish sprouting seedlings. China Vegetables, (10): 28 - 32. (in Chinese)
- 张 欢, 徐志刚, 崔 瑾, 郭银生, 谷艾素. 2009. 不同光质对萝卜芽苗菜生长和营养品质的影响. 中国蔬菜, (10): 28 - 32.
- Zhang Li-wei, Liu Shi-qi, Zhang Zhi-kun, Yang Ru, Yang Xiao-jian. 2010a. Dynamic effects of different light qualities on pea sprouts quality. Northern Horticulture, (8): 4 - 7. (in Chinese)
- 张立伟, 刘世琦, 张自坤, 杨 茹, 杨晓建. 2010a. 不同光质对豌豆苗品质的动态影响. 北方园艺, (8): 4 - 7.
- Zhang Li-wei, Liu Shi-qi, Zhang Zhi-kun, Yang Ru, Yang Xiao-jian. 2010b. Dynamic of different qualities on growth of *Toona sinensis* seedlings. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 19 (6): 115 - 119. (in Chinese)
- 张立伟, 刘世琦, 张自坤, 杨 茹, 杨晓建. 2010b. 不同光质下香椿苗的生长动态. 西北农林学报, 19 (6): 115 - 119.
- Zhang Li-wei, Liu Shi-qi, Zhang Zhi-kun, Yang Ru, Yang Xiao-jian. 2010c. Effects of light qualities on the nutritive quality of radish sprouts. Acta Nutrimenta Sinica, 32 (4): 390 - 396. (in Chinese)
- 张立伟, 刘世琦, 张自坤, 杨 茹, 杨晓建. 2010c. 光质对萝卜芽苗菜营养品质的影响. 营养学报, 32 (4): 390 - 396.