

LED 灯补光对萝卜生长及光合特性的影响

吴家森¹, 胡君艳¹, 周启忠¹, 郑军², 周国泉², 付顺华¹

(1. 浙江林学院 林业与生物技术学院 浙江 临安 311300; 2. 浙江林学院 理学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 为了解发光二极管(LED)补光对植物生长及光合特性的影响, 选择萝卜 *Raphanus sativus* 作为材料, 将其栽种于 2 种 LED 灯补光和温室自然条件下 30 d 后测定其生长指标及光合特性。结果表明: 与自然光相比, 使用 LED 灯补光的萝卜在叶片数、叶片长、宽等指标上并无差异, 但有利于肉质根的形成, 肉质根鲜重分别增加了 5.93 g/株和 10.93 g/株; LED 灯补光使萝卜光补偿点和光饱和点升高, 光合能力增强, 但胞间二氧化碳浓度、蒸腾速率和气孔导度差异不明显。

关键词: 植物学; LED 光源; 植物生长; 光合特性; 萝卜

中图分类号: S 631.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2009)10-0030-04

发光二极管(Light-emitting diode, LED)是利用固体半导体芯片作为发光材料, 当两端加上正向电压, 半导体中的载流子发生复合, 放出过剩的能量而引起光子发射产生可见光^[1]。LED 具有光电转换效率高、体积小、寿命长、波长固定、发热低、光量可调整、光质(红/蓝光比例或红/远红光比例)可调整等优点。LED 以其固有的优势被业界认为在未来 10 a 是替代其他人工光源最有潜力的产品^[2]。在国内外, LED 已经被应用于许多植物光生理领域的研究, 如叶绿素合成研究^[3]、光形态发生^[4]、光合作用^[5-6]、植物的栽培^[7-9]等。

利用科学的植物补光可以提高植物的光合效率, 提高农产品的产量, 从而可以促进农业的发展。LED 灯在植物补光方面可以实现对密集种植作物的低矮位置和对分层种植作物的按需补光, 还可以实现对同一种作物的不同部位的不同类型光的补光, 从而优于传统灯具及照射方式的补光效果^[10]。该研究以萝卜(*Raphanus sativus* Linn.)为材料, 探讨了 LED 灯补光对其生长及光合特性的影响, 为 LED 在植物栽培与理论研究上提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验设备

研究使用 2 种光源 LED1(红:蓝:远红=5:1:0.15), LED2(红:蓝:远红=4:1:0.08)。其中, 红光 LED 型号: CH-HE3B04ALD, 标称电压: 2.0~2.1 V, 波长: 626~629 nm, 亮度: 22~25 cd; 蓝光 LED 型号: CH-

HB3B04ALD-G, 标称电压: 3.0~3.2 V, 波长: 465~468 nm, 亮度: 5~7 cd; 远红光 LED 型号: L735-03A U; 标称电压: 1.85~2.0 V; 波长: 730~738 nm; 亮度: 640 mcd。

1.2 试验材料

萝卜苗由浙江林学院国家林业局林木良种基地提供, 苗高 5 cm, 叶片 3 片, 种植于营养钵中。

1.3 试验方法

将萝卜苗种于温室大棚中, 分为 3 组, 每组种萝卜苗 10 株, 重复 3 次。第 1 组为空白对照, 即不采用任何补光设施, 对第 2、3 组分别用 LED1 和 LED2 灯进行补光, LED 灯位于萝卜上方 15 cm, 试验期间(2008 年 11 月 25 日至 12 月 25 日)利用定时装置每天从 7~8 时、18~19 时对 2 组萝卜进行 2 h 的补光。为避免灯架在白天影响植物的光照, 采用移动的方式, 将灯固定在可移动的灯架上, 白天将灯架从植株的正上方移除, 开始补光时再移动到植株的正上方。培育 30 d 后进行相关指标测定。

植物生长参数: 分别测量萝卜叶片数量、叶片长、叶片宽和肉质根纵径、横径及不同部位鲜重和干物质含量。

气体交换参数测定: 于 2008 年 12 月 25 日上午 9:30~11:00 时, 对不同光源系统培育的萝卜进行光合特性测定。测定叶片为顶端往下的第 3 片功能叶, 光响应曲线用 Li-6400(美国, LI-Cor 公司)红蓝光源 6400-02 测定, 测量时的叶室温度设置为 25℃, CO₂ 浓度 370 μmol·mol⁻¹, 光照强度梯度设置 2 000、1 500、1 000、800、600、400、300、200、100、50.0 μmol·m⁻²·s⁻¹, 测定的指标有光合速率(*P_n*)、蒸腾速率(*T_r*)、胞间 CO₂ 浓度(*C_i*)、气孔导度(*G_s*)等。每处理测定 3 株, 每株 1 张叶片。同时利用 7230G 分光光度计测定叶绿素 a、b 和总量。

第一作者简介: 吴家森(1972-), 男, 高级实验师, 现主要从事植物生理生态学研究。E-mail: jswu@zjfc.edu.cn。

基金项目: 浙江省科学技术攻关资助项目(2007C22064)。

收稿日期: 2009-05-16

2 结果与分析

2.1 LED 灯补光对萝卜生长的影响

萝卜在不同补光条件下载培 30 d 后的生长指标见表 1。使用不同的光源补光对萝卜叶片数、叶片长、宽等指标上并无差异。萝卜的肉质根是同化产物的贮藏器官,LED 灯补光使萝卜肉质根纵径变短,是自然条件下的 50%,而肉质根的横径略有增大,纵/横比例明显下降,从 3.60 下降到 1.48。

萝卜叶片、肉质根的鲜重及干物质含量在不同补光条件下存在显著差异(表 2)。萝卜叶片鲜重及干物质含量在不同处理间的大小顺序表现为 LED1>CK>LED2,而肉质根则表现为 LED 补光大于自然条件,其中又以 LED1>LED2。

表 1 不同补光条件下萝卜的生长指标

Table 1 The growth indices of *Raphanus sativus* under different light supply

处理 Treatment	叶片 Leaf				肉质根 Succulent root			
	数量 Number/张	长 Long /cm	宽 Width /cm	长/宽	纵径 Vertical dia/cm	横径 Transverse dia/cm	纵/横	
CK	13a	32.7a	8.8a	3.71a	9.0a	2.5a	3.60a	
LED1	12a	34.3a	9.5a	3.61a	4.0b	2.7a	1.48b	
LED2	11a	33.4a	8.1a	4.12a	5.0b	3.4a	1.47b	

注:不同字母表示在 $P<0.05$ 水平差异显著,下同。

2.2 LED 补光对萝卜光合特性的影响

光响应曲线反映了植物光合速率随光照强度的变化而变化的规律^[8]。从图 1 可以看出,随着光量子通量的增大,净光合速率几乎呈直线上升;当光量通量达到

表 3 不同光源条件下萝卜的光合生理指标

Table 2 The physiological indices of photosynthesis for *Raphanus sativus* under different light sources

处理 Treatment	叶色素含量 Chl content/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$			a/ b	光补偿点 Light compensation point $/\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	光饱和点 Light saturation point $/\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
	a	b	总计			
CK	0.5662a	0.2647a	0.8309a	2.14	20.50c	1 483.33c
LED1	0.7032a	0.3134a	1.0166a	2.24	36.31a	1 730.00a
LED2	0.6455a	0.2920a	0.9374a	2.21	26.24b	1 645.00b

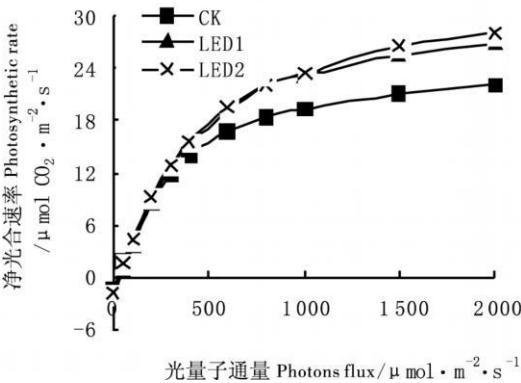


图 1 萝卜光合作用光响应曲线

Fig.1 The responsive curve of photosynthetic rate to photosynthetic photon flux densities

一定值后,净光合速率增加的幅度就逐渐减慢,最后达到一定限度,不再随光量子通量的增加而增加,即达到光饱和。图 1 表明,在弱光条件下,萝卜在 3 种不同补光条件下光合速率较一致,但光量子通量超过 $500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,LED 灯补光的萝卜光合速率大于自然条件,其中 LED2>LED1。

表 2 不同补光条件下萝卜的鲜重和干物质含量

Table 2 The fresh and dry weight of *Raphanus sativus* under different light supply

处理 Treatment	鲜重 FW			干物质含量 Dry matter content		
	叶片 Leaf	肉质根 Succulent	叶	叶片 Leaf	肉质根 Succulent	叶
	/g · 株⁻¹	root/g · 株⁻¹	/根	/g · 株⁻¹	root/g · 株⁻¹	/根
CK	81.17b	29.66c	2.74	6.08b	2.91b	2.09
LED1	99.43a	40.49a	2.46	7.02a	3.71a	1.89
LED2	70.93c	35.62b	1.99	5.52c	3.43a	1.61

通过光响应曲线可以计算出光补偿点、光饱和点,计算结果见表 3。由于植物在光补偿点时不能积累干物质,因此,光补偿点的高低可以作为判断植物在低光照强度条件下能否生长的标志。光补偿点越小表明植物利用弱光的能力越强,在 LED 光源补光条件下萝卜的光补偿点比自然条件高,其中又以 LED1 为最高。植物在光饱和点时光合速率最大,因此,光饱和点反映了植物利用强光的能力,越高说明植物在受到强光时不易发生抑制,植物的耐阴性越强,LED 灯补光使萝卜的光饱和点高于自然条件下,且随着红:蓝:远红光比例的增高而增高。不同处理萝卜叶绿素 a、b 及总量差异并不显著。

表 3 不同光源条件下萝卜的光合生理指标

Table 2 The physiological indices of photosynthesis for *Raphanus sativus* under different light sources

处理 Treatment	叶色素含量 Chl content/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$			a/ b	光补偿点 Light compensation point $/\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	光饱和点 Light saturation point $/\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
	a	b	总计			
CK	0.5662a	0.2647a	0.8309a	2.14	20.50c	1 483.33c
LED1	0.7032a	0.3134a	1.0166a	2.24	36.31a	1 730.00a
LED2	0.6455a	0.2920a	0.9374a	2.21	26.24b	1 645.00b

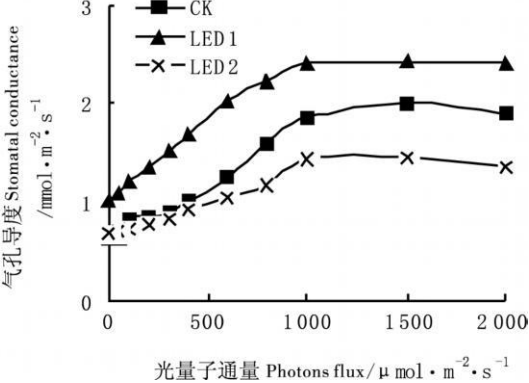


图 2 萝卜气孔导度对光强的响应

Fig.2 The stomatal conductance of *Raphanus sativus* versus the light intensity

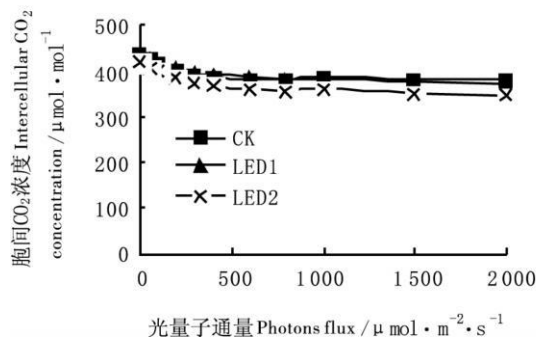
图3 萝卜胞间CO₂浓度对光强的响应

Fig. 3 The intercellular CO₂ concentration of *Raphanus sativus* versus the light intensity

图2可知,随着光照强度的增强,萝卜气孔导度明显增大,当光量子通量接近 $1\,000\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 后,不同处理气孔导度不再增大,萝卜的气孔导度总体表现为 LED1 > CK > LED2。随着光照强度的增加,萝卜胞间CO₂浓度略有下降(图3),而蒸腾速率略有上升,且保持较稳定的水平,不同处理间差异不明显(图4)。

3 讨论与结论

世界上最早将LED用于植物栽培的是日本三菱公司,在1982年就有关于波长650 nm的红色LED光源用于温室番茄补光的试验报告。此后,美国NASA研究中心也开展了相关的研究,并希望LED作为太空环境下植物栽培的重要光源^[1]。Okamoto等^[12]使用超高亮度红光LED和蓝光LED,在红蓝光(R/B)为2:1时,可以正常培育莴苣;Nhut等人^[13]用不同组合LED与荧光灯相比较对组培香蕉苗的生长状况进行了研究,结果表明,在红蓝光(R/B)为4:1时,试管苗的芽和根鲜重明显高于其他处理。而在国内,饶瑞佑等^[7]将LED应用于蝴蝶兰组培苗的培育,发现与荧光灯下培育的种苗相比除了叶长之外并无明显差异;郭双生等^[8]对适合植物栽培的LED组合光源进行了研究,表明红色和蓝色LED组合下的植株生长基本正常,但红蓝光(R/B)为9:1时更为适宜。吴家森等^[9]研究发现LED灯使萝卜叶间距缩短,叶长增长,但不同光质LED(红/蓝)之间无显著差异,萝卜光合速率、胞间二氧化碳浓度、蒸腾速率和气孔导度表现为LED处理大于日光灯,LED处理中又以红蓝光(R/B)为4.3:1大于2.8:1。而该研究结果表明,与自然光相比,使用LED灯补光对萝卜的叶片数、叶片长、宽等指标上并无差异,但有利于肉质根的形成,肉质根鲜重分别增加了5.93 g/株和10.93 g/株;LED灯补光使萝卜光补偿点和光饱和点升高,光合能力增强,但胞间二氧化碳浓度、蒸腾速率和气孔导度等差异不

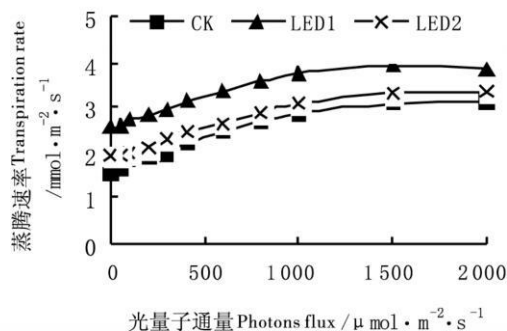


图4 萝卜蒸腾速率对光强的响应

Fig. 4 The transpiration rate of *Raphanus sativus* versus the light intensity

明显。

参考文献

- [1] 张巨芳. 第四代新光源—LED[J]. 安徽电子信息职业技术学院学报 2006(5): 78-79.
- [2] 魏灵玲, 杨其长, 刘水丽. LED在植物工厂中的研究现状与应用前景[J]. 农业工程科学 2007, 23(11): 408-411.
- [3] Tripathy B G, Brown C S. Root-shoot interaction in the greening of wheat seedlings grown under red light[J]. Plant Physiology, 1995, 107: 407-411.
- [4] Hoenecke M E, Bular J, Tibbitts T W. Importance of "Blue" photon levels for lettuce seedlings grown under red-light-emitting diodes[J]. Hortscience 1992, 27(5): 427-430.
- [5] Tennessen D J, Singaas E L, Sharkey T D. Light-emitting diodes as a light source for photosynthesis research[J]. Photosynthesis Research, 1994, 39(1): 85-92.
- [6] Tennessen D J, Bula R J, Sharkey T D. Efficiency of photosynthesis in continuous and pulsed light emitting diode irradiation[J]. Photosynthesis Research, 1995 44(3): 261-269.
- [7] 饶瑞佑, 方伟, 蔡田龙. 超高亮度红、蓝光LED应用于蝴蝶兰组培苗栽培之研究[J]. 农业机械学报, 2003, 12(4): 93-100.
- [8] 郭双生, 艾为党, 赵成坚, 等. 受控生态生保系统中植物生长光源的选擇[J]. 航天医学与医学工程, 2003, 16(S1): 490-493.
- [9] 吴家森, 付顺华, 郑军, 等. 发光二极管光源对绿萝生长及光合特性的影响[J]. 浙江林学院学报 2008, 25(6): 739-742.
- [10] 曲溪, 叶方铭, 宋杰琼, 等. LED灯在植物补光领域的效用探究[J]. 光与照明, 2008, 32(2): 41-45.
- [11] Barta D J, Tibbitts T W, Bular J, et al. Evaluation of lighting-emitting diodes characteristics for a space-based plant irradiation source[J]. Advances Space Res, 1992 12: 141-149.
- [12] Okamoto K, Yanagi T, Takita S. Development of Plant Growth Apparatus Using Blue and Red LED as Artificial Light Source[J]. Acta Horticulturae 1996, 440: 111-116.
- [13] Nhut D, Don N, Tanaka M. Light-Emitting Diodes as an Effective Lighting Source for In Vitro Banana Culture[M] // Mohan Jain S, Higman H. Protocols for Micropropagation of Woody Trees and Fruits. Dordrecht: Springer Netherlands, 1998: 527-541.

气候变化对沧州金丝小枣产量的影响及对策研究

王元杰, 李 阔, 刘会玲, 文宏达, 张毅功

(河北农业大学 资源与环境科学学院, 河北 保定 071001)

摘 要: 根据沧州气候变化和金丝小枣产量的资料, 研究气候变化对金丝小枣产量的影响及对策。结果表明: 近 5 a 与前 10 a 相比, 由于气候变化导致的熟前增长期日照时数的变化, 夏季降水量的变化, 成熟收获期日照时数和平均气温的变化, 成熟收获期降水量的变化对金丝小枣的产量都有明显的影响。可以通过建设烘干房, 加强针对性的气象灾害预警服务等措施来减轻灾情。

关键词: 气候变化; 金丝小枣产量; 影响; 措施

中图分类号: S 665.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2009)10-0033-05

近年来, 全球气候变化已引起人们广泛关注。全球气候变化对各个行业都有不同程度的影响, 其中农业是最为敏感和脆弱的^[1-2]。不论人类科学技术如何发展进步, 农业生产受气候变化的影响仍然最为直接^[3]。气候

变暖、变干或变湿都将引起农业生态环境、生产布局 and 结构的变化, 进而影响作物生产^[2-4]。

金丝小枣是河北省沧州市的著名特产。金丝小枣皮薄核小, 含糖量多, 营养丰富, 肉质肥厚细腻, 口味清香甘甜, 深受国内外消费者的喜爱, 是我国传统的出口商品之一^[5]。

枣树具有抗旱、耐涝、耐盐碱特性, 又是喜光、耐温果树品种, 最适宜在壤质粘潮土、含盐量在千分之三以下的轻度盐碱地上生长^[6]。河北省沧州市地处环渤海西岸, 属暖温带半干旱半湿润大陆性季风气候。土壤多为滨海盐潮土和旱碱地, 独特的土壤矿物质结构, 符合枣树生长的土壤有 26 万 hm^2 。金丝小枣生长要求年

第一作者简介: 王元杰(1984), 男, 河北正定县人, 在读硕士, 研究方向为土壤生态。E-mail: wangyuanjie1984@126.com。

通讯作者: 张毅功(1963), 男, 辽宁法库人, 博士, 教授, 博士生导师, 现主要从事土壤和植物营养方面的教学与科研工作。

基金项目: 国土资源部及农业厅河北省农业地质调查资助项目(200040007-3-5)。

收稿日期: 2009-05-16

Influence of Illumination Supplement Used a LED Light on Growth and Photosynthesis of Radish

WU Jia-sen¹, HU Jun-yan¹, ZHOU Qi-zhong¹, ZHENG Jun², ZHOU Guo-quan², FU Shun-hua¹

(1. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang Forestry College, Lin'an, Zhejiang 311300, China; 2. School of Sciences, Zhejiang Forestry College, Lin'an, Zhejiang 311300, China)

Abstract: To reveal the influence of illumination supplement used a LED light on growth and photosynthesis of plants, radishes were cultivated in the greenhouse under the natural condition and two types of LED lights, respectively. The two types of LED lights were used for illumination supplement. The characteristics of growth and photosynthesis were measured after 30 days of growth for radishes. The number of leafs, the leaf length and the leaf width of radishes cultivated under the two LED lights were nearly equivalent to those cultivated under the natural condition. The fleshy roots of radishes cultivated under the LED lights are prone to formation. The fresh weights of each fleshy root cultivated under two LED lights were increased 5.93 g and 10.93 g, respectively. The compensation point and the saturation point of light intensity for radishes cultivated under the LED lights were both heightened, and the corresponding ability of photosynthesis was increased. However, the intercellular CO_2 concentration, the transpiration rate and the stomatal aperture of radishes cultivated under the two LED lights were nearly same as those cultivated under the natural condition.

Key words: Botany; LED light; Growth of plant; Characteristics of photosynthesis; Radish