

不同光谱 LEDs 对辣木幼苗生长及叶绿素含量的影响

陈婷, 彭文, 冯博, 王白娟* (云南农业大学, 云南昆明 650201)

摘要 [目的]研究 LED 补光对辣木幼苗生长及叶片中叶绿素含量的影响。[方法]以印度改良辣木(*Moringa oleifera* PKM-1)为试验材料,在相同外界环境下采用不同光谱条件的 LEDs(Light Emitting Diodes)光源对辣木垂直补光,每组辣木补光 12 h/d(8:00—20:00),测定不同补光处理下辣木幼苗的生长情况及其叶片中叶绿素含量。[结果]经红蓝 4:1(4R1B)LEDs 处理的辣木种子发芽率高于对照,经过 LEDs 补光的 3 组辣木幼苗存活率均高于对照。LEDs 补光处理的辣木幼苗株高、茎粗、全株干重、茎叶干重、总叶绿素含量均优于对照。其中光谱条件为全红的 LEDs 对辣木幼苗生长的促进效果最为显著,株高增加了 120.66%,茎粗增加了 52.11%,全株干重增加了 52.35%,茎叶干重增加了 33.57%,叶绿素总含量增加了 19.28%。[结论]LED 灯补光处理能显著促进辣木幼苗的生长及其叶片中叶绿素的合成。

关键词 光谱;LED;辣木;生长;叶绿素

中图分类号 S123 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)12-0025-03

Effects of Different Spectral LEDs on Seedlings Growth and Chlorophyll Content of *Moringa oleifera* Lam

CHEN Ting, PENG Wen, FENG Bo, WANG Bai-juan* (Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201)

Abstract [Objective] To study effects of different light emitting diode (LED) light-supplement on seedlings growth and chlorophyll content in leaves of *M. oleifera* Lam. [Method] With the provenance of India *Moringa* seeds (*M. oleifera* PKM-1) as raw materials, different spectral conditions LEDs was used to supply light with 12 h/d (8:00-20:00) for it under the same external environment, and seedling growth and chlorophyll content were measured in leaves of *M. oleifera* Lam under different light-supplement treatment. [Result] *M. oleifera* Lam seeds germination rate by 4R1B LED treatment was higher than the control (CK), survival rate of three groups *M. oleifera* Lam seedlings after LEDs light-supplement were higher than CK. Plant height, stem diameter, dry weight of whole plant, dry weight of stem and leaf, total chlorophyll content of *M. oleifera* Lam seedlings treated by LEDs light-supplement were better than CK. Among of them, the growth promoting effect was the most significant of it treated by all red LEDs, plant height increased by 120.66%, stem diameter increased by 52.11%, whole plant dry weight increased by 52.35%, dry weight of stem and leaf increased by 33.57%, total chlorophyll content increased by 19.28%. [Conclusion] LEDs light-supplement treatment can significantly promote the synthesis of chlorophyll and leaf growth of *M. oleifera* Lam seedlings.

Key words Spectrum; Light emitting diode (LED); *Moringa oleifera* Lam; Growth; Chlorophyll

辣木(*Moringa oleifera* Lam)又称鼓槌树(*Drumstick tree*)、马萝卜、不死树、萝卜树等,属于辣木科(Moringaceae)辣木属(*Moringa Adans*)^[1]落叶木本蔬菜、油料植物,因其根具有辛辣味,故得名辣木^[2-5]。19 世纪,辣木从印度引进我国台湾种植,目前在云南、四川、广东、广西等省均有种植。我国引进栽培的食用辣木品种有印度传统辣木(*M. oleifera*)、印度改良辣木(*M. oleifera* PKM-1)和非洲辣木(*M. stenopetala*)^[6-7]。辣木的叶片、嫩荚、嫩芽、花朵、嫩茎和根均可食用,且含有丰富的矿物质、维生素、药理活性成分,具有较高的经济价值、医学价值和观赏工艺价值,被广泛应用于医药、保健等方面^[8-11]。

光是植物光合作用的能源,也是植物某些生命活动的特征信号^[12-13]。光合色素在红光和蓝光区有最大的光合作用效果^[14]。大多数学者认为,红蓝复合光对植物的生长效应明显优于单色光,且能有效促进植物生物量的积累,可作为植物生长的优质光源^[15]。LED(Light Emitting Diode)具有光源体积小、光效高、无污染、寿命长、波长范围窄、冷光源等特点,能够与光合作用吸收峰值波长完全吻合,较传统光源具有明显优势。近年来,为了加强植物生长的光合作用,研究者利用不同光谱的 LED 给植物进行补光作用,从而满足植

物生长所需光照量,使得 LED 光源在农业领域具有良好的发展前景^[16]。笔者采用 LEDs 光源发射的单色光谱红光(660 nm)、蓝光(450 nm)进行不同光质配比组合,研究不同光质对辣木幼苗生长和叶绿素含量的影响,以期促进辣木根茎叶的生长、叶绿素的合成(光合作用效果)及提高发芽率和存活率,为新型光源推广应用提供理论基础和技术依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料 供试材料为印度改良辣木(*M. oleifera* PKM-1),由云南农业大学辣木种植基地提供。主要仪器设备:722S 型紫外分光光度计(上海菁华科技仪器有限公司),电子天平(北京赛多利斯天平有限公司)。

采用有晶创鑫科技有限公司生产的 JCX-LED 50W 防水植物补光 LED。其采用高品质 LED 光源和优质恒流驱动电源,具有寿命长、耗能低、高光效、发热少、波长类型丰富、体积小等特点。其物理参数:尺寸 285 mm × 235 mm × 150 mm,功率 50 W,输入电压 AC 85 ~ 264 V,LED 单颗集成 50 W,工作电流 300 mA,寿命 50 000 h,工作频率 50/60 Hz,颜色红/蓝,工作环境 -20 ~ 40 °C,照射面积 1.5 m²。以 LED 白光(CK)作为对照,LED 光谱能量分布见表 1。

1.2 试验方法 试验于 2016 年 9 月 26 日在云南农业大学进行。辣木籽在 35 °C 温水中浸种 6 h,然后置于种植盆中种植。光周期 12 h/d,光照时间 60 d。以 LED 白光(CK)作为对照,LED 光处理:全红(All Red)、全蓝(All Blue)、红蓝 4:1(4R1B)(表 1)。其中红光主峰波长为 660 nm,蓝光主峰波长为 450 nm。

基金项目 国家自然科学基金项目(61561054);云南农业大学研究生科技创新项目(2015yk40)。

作者简介 陈婷(1990—),女,重庆人,硕士研究生,研究方向:农业电气化与自动化。*通讯作者,副教授,硕士,从事生物物理方面的研究。

收稿日期 2017-02-13

表1 光处理光谱能量分布

Table 1 Spectral energy distribution of light treatment

光处理 Light treatment	红光(R _{660 nm})	蓝光(R _{450 nm})
CK	—	—
全红 All Red	50	—
全蓝 All Blue	—	50
红蓝 4:1 4R1B	40	10

1.3 测定项目与方法 ①发芽率及存活率:从第一颗辣木籽发芽开始计数,直到无辣木籽发芽为止,记录每组光照条件下的发芽颗数;②株高、茎粗:从种植 30 d 第 1 次测量后,每隔 15 d 利用游标卡尺测量其株高和茎粗,取各株辣木幼苗株高和茎粗的平均值。③全株干重、茎叶干重:从种植 30 d 第 1 次测量后,每隔 15 d 利用北京赛多利斯天平有限公司的 ISO 9001 电子天平称量全株干重和茎叶干重,取各株辣木幼苗全株干重和茎叶干重的平均值。④叶片叶绿素:采集各参试材料的成熟无病虫害叶片,用纱布擦净叶片表面污物,避开主脉部分进行取样。称取 1 g 辣木幼苗叶片置于试管中并捣碎,加入 5 mL 95% 乙醇溶液,避光浸泡 24 h,直至叶片材料完全失去绿色为准,中间颠倒混合 2 次,并过滤装入比色皿中进行吸光度测定。以萃取液为空白对照。用 722S 可见分光光度计在 645 和 663 nm 波长下比色,分别测定叶绿素提取液的吸光度。按照以下公式分别计算叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素的含量:

叶绿素 a 浓度(mg/L): $C_a = 12.7A_{663} - 2.69A_{645}$;

叶绿素 b 浓度(mg/L): $C_b = 22.9A_{645} - 4.68A_{663}$;

叶绿素总浓度(mg/L): $C_{a+b} = C_a + C_b$ 。

计算提取液中叶绿素浓度,换算为鲜叶叶绿素含量(mg/g)。

2 结果与分析

2.1 不同光谱对辣木种子发芽率及存活率的影响 由表 2 可知,4R1B 处理的辣木种子发芽率达 100.0%,比全红或全蓝及白光处理均高;经过不同光谱 LEDs 处理的辣木籽存活率均为 100.0%,均比对照组高。因此,可以推测不同光谱 LEDs 光源照射可以在一定程度上提高辣木籽的发芽率及其存活率。

表2 不同处理辣木种子发芽率和存活率

Table 2 Germination rate and survival rate of *Moringa* seeds in different treatments %

光处理 Light treatment	发芽率 Germination rate	存活率 Survival rate
CK	83.3	80.0
全红 All Red	83.3	100.0
全蓝 All Blue	83.3	100.0
红蓝 4:1 4R1B	100.0	100.0

2.2 不同光谱对辣木幼苗株高和茎粗的影响 由表 3 可知,60 d 时,经过 LEDs 光源照射的 3 组辣木幼苗株高和茎粗比对照均有所增加。其中经过红光 LEDs 照射的辣木幼苗的株高和茎粗增加幅度最大,株高增幅为 17.52 cm,增加了 120.66%,茎粗增幅为 1.48 cm,增加了 52.11%。3 组光谱处

理中,对辣木幼苗株高和茎粗的促进程度由高到低依次为全红、红蓝 4:1、全蓝。

表3 不同处理辣木幼苗株高和茎粗

Table 3 Plant height and stem diameter of *Moringa oleifera* Lam seedlings in different treatments cm

光处理 Light treatment	30 d		45 d		60 d	
	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter
CK	10.31	1.14	12.45	1.62	14.52	2.84
全红 All Red	16.45	2.42	20.13	2.23	32.04	4.32
全蓝 All Blue	10.72	1.32	12.51	1.64	15.23	2.92
红蓝 4:1 4R1B	13.31	1.84	15.69	2.62	21.31	3.12

2.3 不同光谱对辣木幼苗全株干重和茎叶干重的影响 由表 4 可知,60 d 时,经过 LEDs 光源照射的 3 组辣木幼苗的全株干重、茎叶干重比对照均有所增加。其中经过红光 LEDs 照射的辣木幼苗其全株干重、茎叶干重增加幅度最大,全株干重增幅为 1.18 g,增加了 52.35%,茎叶干重增幅为 0.62 g,增加了 33.57%。3 组光谱处理中,对辣木幼苗全株干重、茎叶干重的促进程度由高到低依次为全红、红蓝 4:1、全蓝。

表4 不同处理辣木幼苗全株干重和茎叶干重

Table 4 Dry weight of whole plant and dry weight of stem and leaf of *Moringa oleifera* Lam seedlings in different treatments g

光处理 Light treatment	全株干重 Dry weight of whole plant	茎叶干重 Dry weight of stem and leaf
CK	2.25	1.84
全红 All Red	3.43	2.45
全蓝 All Blue	2.67	1.88
红蓝 4:1 4R1B	2.77	1.98

2.4 不同光谱对辣木幼苗叶片叶绿素含量的影响 由表 5 可知,经过光谱条件 4R1B 的 LEDs 光源照射的辣木幼苗叶片叶绿素 a 含量最高,比对照增加了 0.32 mg/L;经过不同光谱 LEDs 照射的 3 组辣木幼苗叶片叶绿素 b 均有不同程度的增加,其中经过光谱条件为全红的 LEDs 光源照射的辣木幼苗叶片叶绿素 b 增幅最大,达 12.32 mg/L,增加了 41.13%,其次是全蓝,增幅最小的为 4R1B。总叶绿素含量增加幅度由高到低依次为全红、全蓝、红蓝 4:1,其中全红的总叶绿素相对含量增加了 19.28%。

表5 辣木幼苗叶片叶绿素相对含量

Table 5 Total chlorophyll content of *Moringa oleifera* Lam seedlings in different treatments mg/L

光处理 Light treatment	C _a	C _b	C _{a+b}
CK	25.28	29.95	55.24
全红 All Red	23.54	42.27	65.89
全蓝 All Blue	24.67	37.28	61.95
红蓝 4:1 4R1B	25.60	29.97	55.57

3 结论与讨论

目前,可以用作植物补光的人工光源主要有荧光灯、高压钠灯、LED。高压钠灯的光谱能量分布为红、橙光占 39%

~ 40%, 绿、黄光占 51% ~ 52%, 蓝、紫光占 9%, 含有较多的红光、橙光, 补光效率较高, 平均寿命长; 荧光灯发光光谱主要集中在可见光区域, 光谱成分中无红外线, 其光谱能量分布为红、橙光占 44% ~ 45%, 绿、黄光占 39%, 蓝、紫光占 16%, 较接近日光。但这 2 种光源功耗很高, 发热量大, 表面温度高, 不适合近距离照射农作物, 也不宜频繁启动^[17]。近年来, 随着光电技术的发展, LEDs 光源因其具有体积小、寿命长、发光效率高、低发热量、可调控等优点被广泛应用于植物补光领域, 达到满足农作物生长对光质的需求。刘文科^[18]采用不同 LED 光质对温室番茄进行晚间和晨间补光 2 h, 结果发现, 不同补光处理方式对番茄生长及叶片生理参数具有显著影响, 经过 LED 补光处理方式的番茄株高均有所增加。吴家森等^[19]研究了 LED 灯补光对萝卜生长及光合特性的影响, 发现 LED 灯补光使萝卜光补偿点和光饱和点升高, 光合能力增强。

该研究利用不同光谱的 LEDs 光源照射辣木籽及其幼苗, 结果发现, 一定光谱条件的 LEDs 光源对辣木籽的发芽率和存活率均有所提高。光谱条件为 4R1B(红: 蓝 = 40: 10) 的 LEDs 光源能提高辣木种子的发芽率。经过红光 LEDs 照射的辣木幼苗株高、茎粗、全株干重、茎叶干重增加幅度均最大, 其次是红蓝 4: 1, 最后为全蓝, 这表明红光能够较好地促进辣木幼苗根茎叶生长。经过光谱条件为 4R1B(红: 蓝 = 40: 10) 的 LEDs 光源照射的辣木幼苗其叶片的叶绿素 a 相对含量最高, 表明红蓝光的混合 LEDs 光源能够促进辣木幼苗叶片中叶绿素 a 的合成。3 组光谱总叶绿素相对含量均增加, 其中全红的相对含量增加最多, 即在其他条件相同的情况下, 经过红光 LEDs 光源照射的辣木幼苗叶片中总叶绿素合成量最大, 从而提高辣木的光合作用。总体而言, 不同光谱 LEDs 光源对辣木幼苗生长及其叶绿素合成具有一定的促进作用, 可以实现辣木的增产和品质的提高。

参考文献

- [1] 朱振林, 曾复初. 草莓栽培技术[M]. 杭州: 浙江科技出版社, 1996.
- [2] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第三十四卷第一分册[M]. 北京: 科学出版社, 1984.
- [3] 卢重镇. 辣木——生命之树[M]. 台湾: 华香园出版社, 2003.
- [4] 陈惠明. 植物中的钻石——高经济价值的辣木[M]. 台湾: 商周出版, 2005.
- [5] RAMACHANDRAM C, PETER K V, GOPALAKRISHNAN P K. Drumstick (*Moringa oleifera*): A multipurpose Indian vegetable [J]. *Economic botany*, 1980, 34(3): 276 - 283.
- [6] 刘永红, 李会珍. 辣木的利用价值与栽培技术[J]. *福建热作科技*, 2004, 29(2): 34 - 35.
- [7] 洪林, 魏召新, 李隆华, 等. 辣木资源研究利用现状[J]. *西南园艺*, 2006, 34(1): 56 - 57.
- [8] VARALAKSHMI B, DEVARJU. Genetic diversity in drumstick (*Moringa oleifera* Lam.) germplasm [J]. *Acta horticulturae*, 2007, 752: 411 - 412.
- [9] ANWAR F, LATIF S, ASHRAF M, et al. *Moringa oleifera*: A food plant with multiple medicinal uses [J]. *Phytotherapy research*, 2007, 21(1): 17 - 25.
- [10] BAGCHI G D, SINGH S C. *Moringa oleifera*: The emerging medicinal plant of ayurveda [J]. *Journal of medicinal and aromatic plant sciences*, 2011, 33(1): 81 - 85.
- [11] HOLST S. *Moringa*: Nature's Medicine Cabinet [M]. California: Sierra Sunrise, 2000.
- [12] 杨其长, 徐志刚, 陈弘达, 等. LED 光源在现代农业的应用原理与技术进展[J]. *中国农业科技导报*, 2011, 13(5): 37 - 43.
- [13] 杨其长. LED 在农业领域的应用现状与发展战略[J]. *中国科技财富*, 2011(1): 52 - 57.
- [14] MCCREE K J. The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants [J]. *Agricultural meteorology*, 1972, 9: 191 - 216.
- [15] DONG C, HU D W, FU Y M, et al. Analysis and optimization of the effect of light and nutrient solution on wheat growth and development using an inverse system model strategy [J]. *Computers and electronics in agriculture*, 2014, 109: 221 - 231.
- [16] 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]. *中国农学通报*, 2007, 23(11): 408 - 411.
- [17] 蒲高斌, 刘世琦, 张珍. 不同光质对番茄幼苗生长及抗氧化酶活性的影响[J]. *安徽农业科学*, 2004, 32(5): 971 - 972.
- [18] 刘文科. LED 补光对日光温室番茄生长和产量的影响[J]. *农业工程技术*, 2016, 36(4): 40 - 41.
- [19] 吴家森, 胡君艳, 周启忠, 等. LED 灯补光对萝卜生长及光合特性的影响[J]. *北方园艺*, 2009(10): 30 - 33.
- [20] 李晓储, 黄利斌, 张永兵, 等. 四种含笑叶解剖性状与抗旱性的研究[J]. *林业科学研究*, 2006, 19(2): 177 - 181.
- [21] 廖晨阳, 何兴金, 马祥光. 中国广义当归属及其相关类群的叶柄结构研究[J]. *西北植物学报*, 2012, 32(5): 90 - 98.
- [22] 刘芳, 巢强. 垂直绿化的优良植物: 大花铁线莲[J]. *森林与人类*, 2000(9): 48.
- [23] 李彦连. 铁线莲属植物及其在垂直绿化中的应用[J]. *特种经济动植物*, 2003(10): 33, 36.
- [24] 华联亚通资讯中心. 玫瑰和铁线莲: 一对完美的种植搭配[J]. *花木盆景(花卉园艺)*, 2001(9): 43.
- [25] 梁鸣, 于雪莹, 杨映华, 等. 垂吊式、环式花饰的好材料: 铁线莲[J]. *国土与自然资源研究*, 2003(3): 96.
- [26] EVISON R J. Making the most of clematis [M]. Wisbech: Bural Floraprint Ltd, 1993.
- [27] 李志坚, 管开云, 李景秀, 等. 铁线莲属植物上的病虫害及防治[J]. *植物保护*, 2002, 28(2): 35 - 36.
- [28] ANDERSON N O. *Flower Breeding and Genetics* [M]. Berlin: Springer Verlag, 2007.

(上接第 9 页)

- [12] 刘冰, 郭玉琴, 石建宁, 等. 灰叶铁线莲的引种驯化[J]. *宁夏农林科技*, 2008(5): 25.
- [13] 甄宏宇. 两种灌木铁线莲的引种栽培及适应性研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.
- [14] 刘勇, 刘贤旺. 江西铁线莲属药用植物资源及其利用[J]. *江西林业科技*, 2005(1): 37 - 38.
- [15] 陈文允, 普春霞. 云南省铁线莲属药用资源调查[J]. *云南中医学院学报*, 2006, 29(1): 31 - 33.
- [16] 俞冰, 姚振生. 浙江省铁线莲属药用植物资源[J]. *江西科学*, 2006, 24(1): 89 - 92.
- [17] 徐凌川, 张永清, 孙法丽, 等. 太行铁线莲资源调查及其药用价值[J]. *中国野生植物资源*, 1996(3): 17 - 20.
- [18] 张荣, 邵建本, 田学明, 等. 用 RAPD 分析法对铁线莲属 7 种中药的鉴定研究[J]. *中草药*, 1996, 27(11): 686 - 687.
- [19] 周波, 宋金枝, 韩丽娟, 等. 大豆属不同进化类型叶的结构演化研究[J]. *东北师大学报(自然科学版)*, 2003, 35(4): 97 - 100.
- [20] 李芳兰, 包维楷. 植物叶片形态解剖结构对环境变化的响应和适应[J]. *植物学通报*, 2005, 22(S1): 118 - 127.