

doi: 10.3969/j.issn.0490-6756.2020.04.029

光质对珙桐幼苗形态建成及光合特性的影响

吴艳, 荣熔, 陈放, 徐莺

(四川大学生命科学学院生物资源与生态环境教育部重点实验室, 成都 610065)

摘要: 为探究不同光质对珙桐幼苗的形态和生理指标的影响, 采用发光二极管(LED)对珙桐幼苗进行不同颜色的可见光处理(白色, 蓝色, 绿色和红色)。结果表明, 红光处理下的珙桐幼苗株高最低但光合色素含量最高; 绿光使幼苗叶宽及叶面积明显减小, 光合色素含量显著增加; 蓝光处理则使幼苗生长较高, 叶绿素荧光特性参数及 H_2O_2 等含量也最高, 但光合色素含量和 PS II 量子产量最低; 白光使珙桐幼苗生长最高, 但光合色素和 H_2O_2 及 MDA 等含量较低。以上结果说明珙桐幼苗在不同的生长环境下能形成不同的生长机制, 通过感知光质来调整自身的生理机能, 最大限度地进行适应性生长。

关键词: 光质; 形态建成; 光合特性; 发光二极管; 活性氧代谢

中图分类号: Q945.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 0490-6756(2020)04-0804-07

Effect of light quality on morphogenesis and photosynthetic characteristics of *Davidia involucrata* seedlings

WU Yan, RONG Rong, CHEN Fang, XU Ying

(Key Laboratory Bio-resources and Eco-environment of Ministry Education,
College of Life Science, Sichuan University, Chengdu 610065)

Abstract: To explore the effects of different light qualities on the morphological and physiological indicators of the *Davidia involucrata* seedlings, Light-Emitting Diode (LED) was used to treat the seedlings under different visible light (white, blue, green, and red). The results showed that the *Davidia involucrata* seedlings had the lowest height but the highest photosynthetic pigments content under red light treatment; green light significantly reduced leaf width and leaf area of seedlings but significantly increased photosynthetic pigments content; blue light treatment resulted in higher height of seedlings, the highest chlorophyll fluorescence parameters and H_2O_2 content, but the lowest photosynthetic pigments content and PS II quantum yield; the highest height, lower content of photosynthetic pigment, H_2O_2 and MDA were found in seedlings irradiated with white light. These results indicated that *Davidia involucrata* seedlings could form different growth mechanism under different light environment, and adjust their physiological status according to the sensing light quality, and maximize adaptive growth.

Keywords: Light quality; Morphogenesis; Photosynthetic characteristics; LED; Reactive oxygen metabolism

收稿日期: 2019-12-24

基金项目: 四川大学-攀枝花市科技合作专项资金(2018CDPZH-11)

作者简介: 吴艳(1994-), 女, 汉族, 云南昭通人, 硕士研究生, 主要研究领域为植物转基因工程及植物分子生物学。

E-mail: 278974090@qq.com.

通讯作者: 徐莺. E-mail: xuying@scu.edu.cn;

1 引 言

在植物的生命周期中,光是对其影响最为显著的环境因子.光照强度、光质以及光周期都会对植物的生长发育、光合作用以及生理生化特性等方面均有较大的调控作用^[1-3].

珙桐(*Davidia involucrata*)是我国特有的单型属珍稀树种,有植物界的“活化石”之称,被列为国家一级保护植物.珙桐是一种著名的观赏植物,因其有一对白色的大苞片,形如白鸽的翅膀,所以珙桐又名鸽子树^[4-5];此外,珙桐还具有较高的经济价值,其种子和果皮可以用于榨取食用油或工业油、果核可提取营养蛋白质、果内皮可制香精以及树皮果皮可制成活性炭等^[6].作为濒危珍稀物种,一方面珙桐对生长环境的要求较为严格^[7],;另一方面,珙桐的生长习性尤为特殊:其幼苗生长缓慢,喜阴湿的生长环境,适宜生长在林荫下,成苗趋于喜光,可知光照对珙桐植株的生长有关键影响.早期的研究对珙桐生长产生影响的因子主要有温度^[8]、光强^[9]等,但有关于光质影响珙桐生长的研究却未见报道.本试验探讨了不同弱光光质对珙桐幼苗生长形态及生理特性的影响,以期为其种质资源的保护、栽培引种技术及园林应用方面提供相关的理论依据.

2 材料与方 法

2.1 材 料

本研究的供试植物材料为野生型光叶珙桐,种子采摘于四川省江油市吴家后山.

2.2 方 法

2.2.1 培养条件 本试验选取颗粒饱满的珙桐种子于人工气候培养箱中进行萌发和培养,条件设置为温度 24 ℃,光照强度 3 000~4 000 lx,光照周期 14 h 光照/10 h 黑暗,相对空气湿度为 80%.

2.2.2 光质处理 本试验一共设置了 4 种不同 LED 光质处理,分别为白色(W)、蓝色(B)、红色(R)、绿色(G),光照强度保持一致(3 000 lx),光周期 14 h 光照/10 h 黑暗.每个处理重复 3 次,每次重复 3~5 棵苗,培养周期为 35 d.

2.2.3 形态指标测定 选取相同位置、方向一致的叶片测定相关的形态指标.以叶片长度大于 5 cm 算作真叶的有效准则,统计幼苗的真叶数.测定株高、上胚轴长度(子叶与第一片真叶之间的距离)、茎粗(子叶以下 1 cm 处的部位)、叶长、叶宽、

叶柄长度,利用扫描仪(EPSON scan)对幼苗叶片进行扫描,之后再采用 Photoshop CS4 软件测定叶片面积.

2.2.4 光合色素含量测定 叶绿素含量采用 95%乙醇提取法^[10]进行测定,利用打孔器将叶片打成直径 1 cm 的小圆片,称取 0.1~0.2 g 左右的叶片材料,将材料快速放入装有事先配置好的 95%酒精的塑料试管中,暗处理 72 h 之后至叶片完全不呈绿色,利用酶标仪(Molecular Devices, USA)分别测定波长 665 nm、649 nm、440 nm、652 nm 下的吸光值,计算得到叶绿素 a (Ca)、叶绿素 b (Cb)、叶绿素总含量(CT)、类胡萝卜素(Cx. c),

计算公式如下: $Ca = (12.7 \times OD_{665} - 2.59 \times OD_{649}) \times L / (1000 \times M)$; $Cb = (22.9 \times OD_{649} - 4.67 \times OD_{665}) \times L / (1000 \times M)$; $CT = Ca + Cb$; $Cx. c = (1000 \times OD_{470} - 2.05 \times Ca - 114.8 \times Cb) / 245 \times L / (1000 \times M)$.

公式中 L : 混合液体积(mL), M : 样品质量(g).

2.2.5 叶绿素荧光参数测定 将待测的珙桐幼苗经过 20 min 暗处理之后,MINI-IMAGING-PAM 荧光成像仪(德国 WALZ 公司)测定叶绿素荧光成像参数 PS II 最大光量子产量(F_v/F_m)、PS II 实际光量子产量 $Y(II)$ 、光化学淬灭系数 qP 、非光化学淬灭系数 qN 、PS II 调节性能量耗散的量子产量 $Y(NPQ)$ 、非调节性能量耗散的量子产量 $Y(NO)$ 及快速光曲线,并通过快速光曲线计算得到初始斜率 α 、最大潜在电子传递速率 $rETR_m$ 、半饱和光强 I_k .

2.2.6 活性氧(ROS)及代谢物质测定 过氧化物歧化酶(SOD)活性测定使用 SOD 试剂盒(南京建成),丙二醛(MDA)含量测定采用 MDA 试剂盒(A003-1,南京建成), H_2O_2 含量测定采用过氧化氢试剂盒(南京建成), O_2^- 含量测定使用抗超氧阴离子试剂盒(南京建成).操作方法按照产品说明书进行.

2.2.7 统计学处理 试验数据用 EXCEL 2010 软件进行整理,利用 DPS7.05 软件进行显著性分析,Duncan 新复极差法进行多重比较.

3 结果与分析

3.1 不同光质对珙桐幼苗形态建成的影响

本研究首先测定了不同光质下的珙桐幼苗及其叶片的形态学参数(表 1,图 1).在植株形态方

面,白光下的珙桐幼苗株高最高,其次是蓝光和绿光,红光处理下株高最小,但是幼苗的上胚轴和茎的直径在蓝光处理下达到最大值.在叶片数量和形态方面,蓝光与白光处理下的幼苗真叶数均显著高于绿光和红光,白光处理下叶片的长度、宽度及叶面积均显著高于其他处理,且叶片最为舒展宽阔,而蓝、红、绿三种处理下的叶片形态依次变得越来

越狭长,但叶片长宽比却是在绿光和红光处理下达到最大且显著高于另外两组处理.绿光下幼苗的叶柄长度显著高于其他三组处理,其次是红光,白光和蓝光下叶柄最短.这些结果表明,在不同光质环境中生长时,珙桐幼苗植株的形态建成会对环境条件做出不同的响应.

表 1 不同光质处理后珙桐幼苗的形态建成指标

Tab. 1 Morphological indexes of seedlings treated with different light quality

Light Quality	W	B	G	R
Plant Height/mm	143.13±9.17a	105.72±10.13b	72.35±4.32c	52.66±1.61d
True Leaf Number	5.42±0.14a	5.56±0.69a	4.00±0.43b	4.50±0.17b
Epicotyl Length/mm	26.30±3.35c	39.07±0.75a	30.70±3.50bc	31.41±1.51b
Stem Diameter/mm	2.49±0.09b	2.85±0.17a	2.45±0.07b	2.31±0.01b
Petiole Length/mm	34.71±1.35c	32.49±4.81c	53.48±1.05a	42.82±3.66b
Leaf Length/mm	121.86±3.49a	107.03±11.54b	107.50±4.16b	107.71±2.01b
Leaf Width/mm	68.43±2.88a	60.49±1.36b	49.12±1.20c	52.38±3.64c
Aspect Ratio	1.78±0.07b	1.77±0.23b	2.19±0.23a	2.06±0.11a
Leaf Area/cm ²	54.43±4.56a	40.49±2.35b	27.58±1.70c	32.45±1.70c

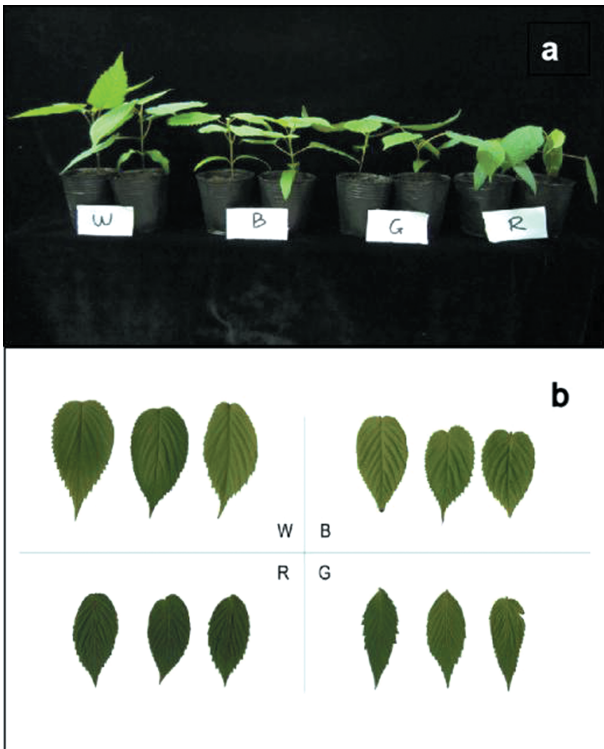


图 1 不同光质处理后珙桐幼苗及叶片形态

(a) 经不同光照处理 35 d 后的珙桐幼苗; (b) 经不同光照处理 35 d 后的珙桐幼苗叶片。(W, 白光; B, 蓝光; R, 红光; G, 绿光。)

Fig. 1 Plants and leaves morphology of seedlings treated with different light quality

(a) Plants morphology; (b) leaves morphology. (W, white light; B, blue light; R, red light; G, green light.)

3.2 不同 LED 光质对珙桐幼苗光合色素含量的影响

不同光质条件下,珙桐幼苗叶片的叶绿素总含量、类胡萝卜素含量以及叶绿素 a、叶绿素 b 的含量均呈红光>绿光>白光>蓝光依次递减的趋势,且红光和绿光处理的幼苗色素含量显著高于其他两组处理.而叶绿素 a 与叶绿素 b 的比值却与叶绿素 a 和叶绿素 b 的含量恰恰相反,呈现出蓝光>白光>绿光>红光依次递减的趋势.这表明红光和绿光更有利于幼苗光合色素的累积和光合作用的进行(图 2).

3.3 不同 LED 光质对珙桐幼苗叶绿素荧光特性的影响

由图 3 可知,白光处理的珙桐幼苗,其 PS II 最大量子产量 F_v/F_m 和 PS II 实际量子产量 $Y(II)$ 都达到最大值,并且显著高于其他光质处理,而经蓝光处理的幼苗这两项参数值最低.四种不同光质处理后幼苗的光化学淬灭系数 qP 和非光化学淬灭系数 qN 呈现出完全相反的两种结果,光化学淬灭系数 qP 在白光和绿光处理的幼苗中较高,而非光化学淬灭系数 qN 却在这两种光质处理下较低,反而在蓝光和红光处理的幼苗中较高.不同光质处理后,PS II 处调节性能量耗散的量子产量 $Y(NPQ)$

和 PS II 处非调节性能量耗散的量子产量 $Y(NO)$ 的结果呈一定的正相关性, $Y(NPQ)$ 和 $Y(NO)$ 在蓝光和红光处理下均显著高于白光和绿光处理。

此外, 快速光曲线初始斜率 α 在白光与绿光处理下显著高于蓝光和红光处理, 白光和绿光处理间无显著差异, 蓝光和红光处理间同样无差异 (图

4a); 半饱和光强 I_k 在蓝光处理下达到最大值, 且显著高于其他处理; 其次是绿光和白光处理, 两者间不存在差异; 红光处理下 I_k 最低, 显著低于其他处理 (图 4b); 最大潜在电子传递速率 $rETR_m$ 白光和绿光处理下较高, 且显著高于其他处理, 其次是蓝光处理, 而红光处理则最低 (图 4c)。

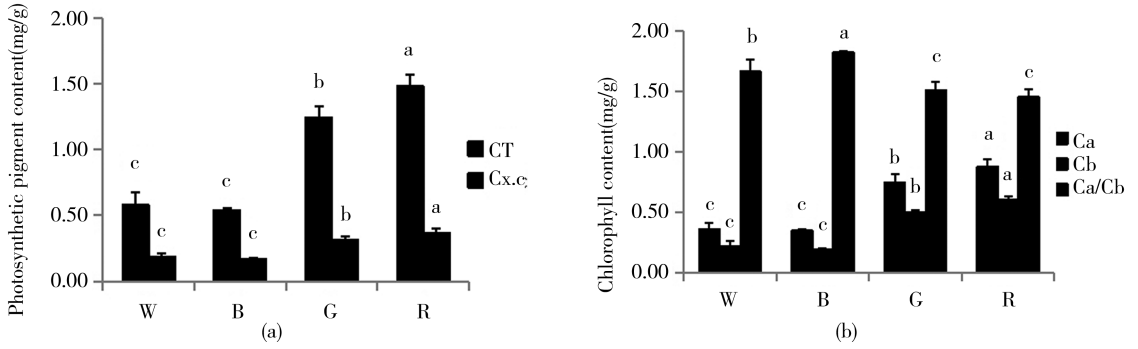


图 2 不同光质处理后珙桐幼苗的光合色素含量

(a) 珙桐幼苗光合色素含量; (b) 珙桐幼苗叶绿素含量 (CT: 叶绿素总含量; Cx. c: 类胡萝卜素; Ca: 叶绿素 a; Cb: 叶绿素 b)

Fig. 2 Photosynthetic pigment content in seedlings treated with different light quality

(a) The content of total chlorophyll and carotenoids of treated seedlings; (b) the content of chlorophyll a, chlorophyll b and the ratio of chlorophyll a/b. (CT, total chlorophyll; Cx. c, carotenoid; Ca, chlorophyll a; Cb, chlorophyll b.)

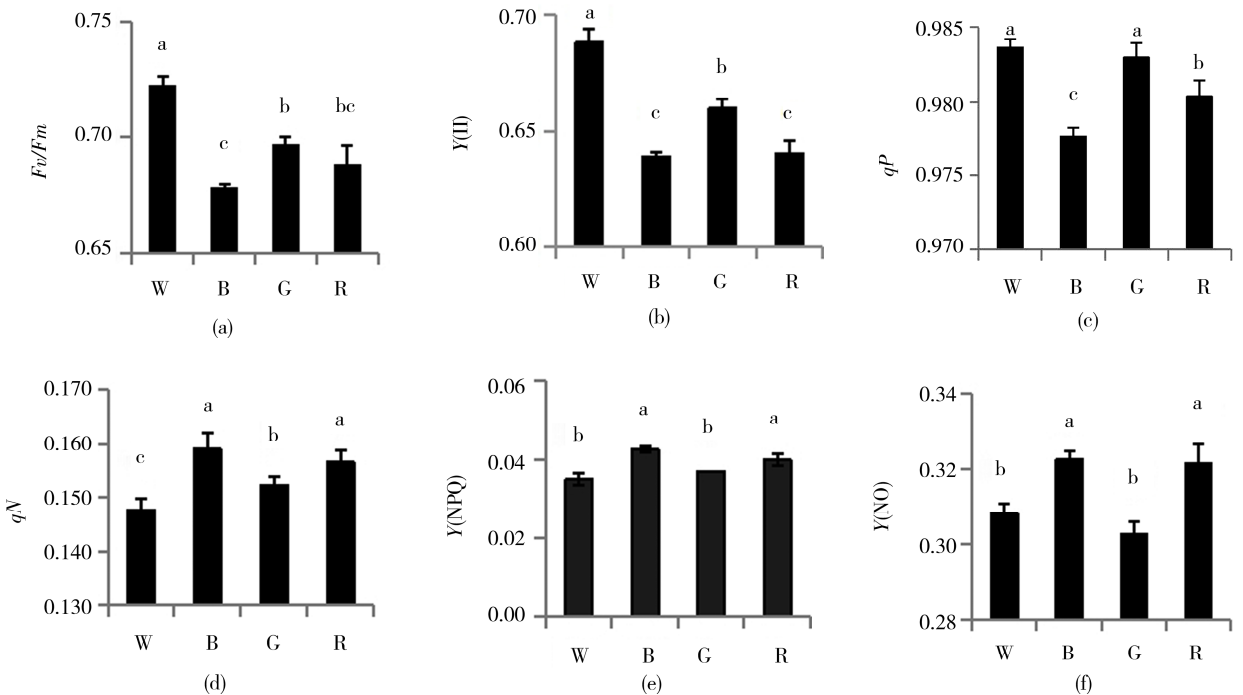


图 3 不同 LED 光质处理后珙桐幼苗叶片的叶绿素荧光参数

(a) PS II 最大量子产量 (F_v/F_m); (b) PS II 实际量子产量 $Y(II)$; (c) 光化学淬灭系数 qP ; (d) 非光化学淬灭系数 qN ; (e) PS II 处调节性能量耗散的量子产量 $Y(NPQ)$; (f) PS II 处非调节性能量耗散的量子产量 $Y(NO)$ 。

Fig. 3 Chlorophyll fluorescence parameters of seedling leaves treated with different light quality

(a) F_v/F_m (optimal quantum yield of PS II); (b) $Y(II)$ (Actual photochemical efficiency of PS II); (c) qP (Photochemical quenching coefficient); (d) qN (Non-photochemical quenching coefficient); (e) $Y(NPQ)$ (quantum yield of energy dissipation by PS II regulatory); (f) $Y(NO)$ (Quantum yield of non-regulatory energy dissipation).

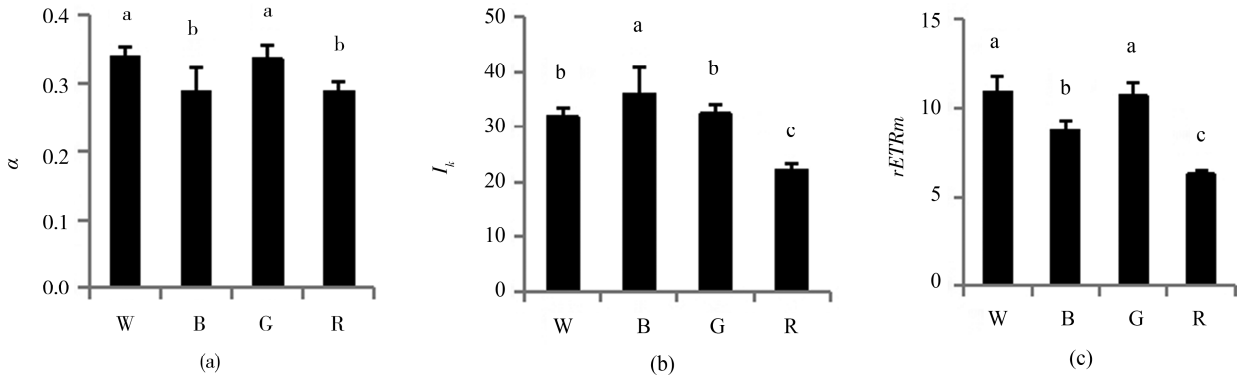


图 4 不同 LED 光质处理后珙桐幼苗的快速光拟合参数

(a) 快速光曲线初始斜率 α ; (b) 半饱和光强 I_k ; (c) 最大潜在电子传递速率 $rETR_m$ 。

Fig. 4 The rapid light fitting parameters of seedlings with different light qualities treatments

(a) The initial slope α of the rapid light curve; (b) the half-saturated light intensity I_k ; (c) the maximum potential electron transfer rate $rETR_m$.

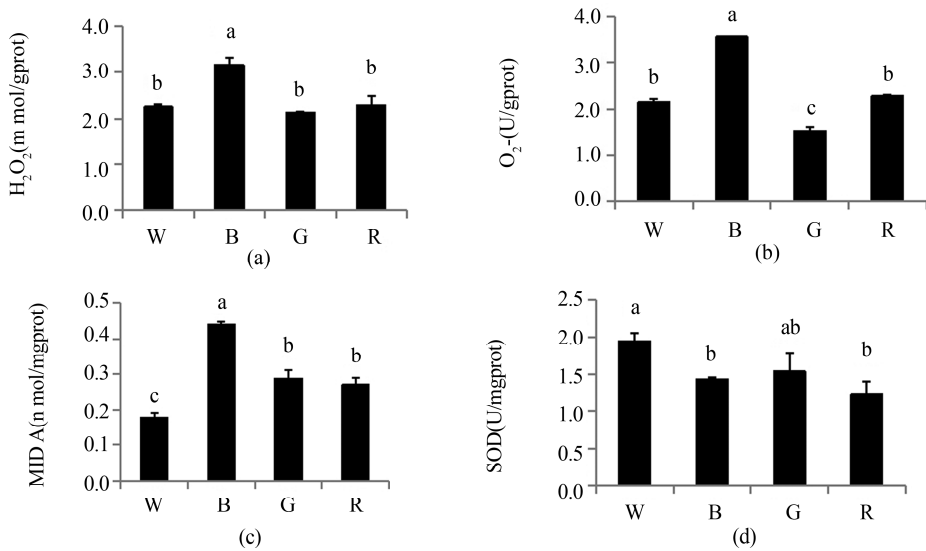


图 5 不同 LED 光质处理后珙桐幼苗活性氧代谢相关参数含量

(a) 过氧化氢(H_2O_2)含量; (b) 超氧根阴离子(O_2^-)含量; (c) 丙二醛(MDA)含量; (d) 过氧化物歧化酶(SOD)活性

Fig. 5 The content of parameters related to reactive oxygen metabolism in seedlings after different light quality treatment

(a) Hydrogen peroxide (H_2O_2) content; (b) superoxide anion (O_2^-) content; (c) malondialdehyde (MDA) content; (d) SOD activity.

3.4 不同 LED 光质对珙桐幼苗活性氧代谢的影响

珙桐幼苗经不同光质处理后,其 H_2O_2 含量和 O_2^- 含量均在蓝光下达到最高值,且显著高于其他几组处理,绿光处理下的幼苗 H_2O_2 含量与红光和白光处理无明显差异,但 O_2^- 含量却显著降低(图 5a,图 5b);此外,幼苗的 MDA 含量也是在蓝光下最高且显著高于其他三组处理,其在白光下最低,也与其他三组差异显著(图 5c);相反地,白光处理下幼苗的 SOD 活性最高,显著高于其他处理,蓝光、绿光和红光处理之间 SOD 活性则不存在显著性差异(图 5d)。

4 讨论

光照是影响植物形态建成和生长发育的重要外界环境因素。植物不仅能对光照强度做出响应^[11],也能对不同光质或者光周期做出应答。作为国家一级保护植物,珙桐的致危因素包括自身内部因素和外界环境因素^[12]。以往的研究主要针对于光照强度对珙桐幼苗生长的影响^[9,13],本研究则探讨了白、蓝、绿、红 4 种光质对珙桐实生幼苗的光形态建成和光合生理特性的影响,结果发现珙桐幼苗对不同光质的响应存在较大差异。

在避荫条件下,被子植物主要表现出加快节间和叶柄的伸长速度、减少叶片区域和厚度、减少分枝、提前开花等避荫反应^[14-15]。本研究中红光处理

的珙桐幼苗株高值最低,说明红光最有利于珙桐幼苗的光形态建成,这与此前报道的研究结果一致^[16]。蓝光对植物的伸长生长具有抑制作用,但本实验中蓝光处理的珙桐幼苗株高相对较高,可能是蓝光引起了珙桐幼苗的避荫效应而导致。研究发现,绿光可以诱导拟南芥叶柄伸长的避荫应答^[17],在本研究中绿光处理的珙桐幼苗叶柄长度显著长于其他处理,同时该处理下珙桐幼苗的叶长、叶宽及叶面积均达到最小值,且叶长与叶宽的比值最高,狭长的珙桐幼苗叶片同样说明绿光处理诱发了避荫效应。研究指出,适宜珙桐幼苗生长的光照强度为 10 000~17 000 lx^[18],而本研究所采用的试验光强(3 000 lx)远远达不到该水平。该强度的白光下的珙桐幼苗最高,这可能是由于红光仅占其中的一小部分,绿光和低强度蓝光又具有诱导避荫反应能力共同作用的结果。研究发现的在 3 000 lx 的各种光质处理下的珙桐幼苗叶片面积较生长在光强为 10 000 lx 的环境中的幼苗叶片面积低,这与早前报道的植物叶片在弱光环境下叶面积下降一致。这些结果表明,在不同弱光光质处理下,珙桐幼苗叶片的生长发育受到一定的影响,但其中不同光信号的具体分子调控机制还有待进一步研究。

光合色素是绿色植物光合作用的基础。一般而言,蓝光有利于提高叶绿素 a 与叶绿素 b 的比值,而蓝光培养的植株一般具有阳性植物的特性,而红光培养的植株与阴性植物相似^[19]。本实验中在蓝光处理下珙桐幼苗叶绿素 a 与叶绿素 b 的比值达到最大值,这说明珙桐是一种典型的阳性植物。在红光和绿光处理后,珙桐幼苗叶绿素 a 与叶绿素 b 的比值下降,表明珙桐幼苗具有一定的耐荫能力,可以通过提高叶绿素 b 的相对含量来捕获有限的光能来适应弱光环境。 F_v/F_m 反映植物的潜在最大光合能力, $Y(II)$ 反映植物的实际光合能力^[20]。本研究结果显示在白光处理下,珙桐幼苗的 F_v/F_m 和 $Y(II)$ 均达到最大值,说明在弱光条件下,白光仍能保证珙桐幼苗的光合能力,而其他处理下珙桐幼苗的光合能力都有不同程度的下降,其中蓝光处理下的珙桐幼苗光合能力显著低于红光和绿光处理,这与前期的研究结果一致^[21]。一方面,蓝光有利于提高光合电子传递链 PS I 受体端的自动氧化酶类活性,促进了 Mehler 反应从而会生成更多的超氧化物^[22],本研究中实验结果与此相符;另一方面,蓝光处理下珙桐幼苗叶片的 ROS 水平最高,导致其 MDA 含量也同样显著高于别的处理。

此外,蓝光下珙桐幼苗可能具有 SOD 机制之外的抗氧化自我修复能力,能保证植株新陈代谢正常运行,所以蓝光下珙桐幼苗的形态生长状态仍然较佳。

综上所述,在不同光质条件下,珙桐幼苗的形态特征和生理特征存在着显著差异,即使在同一种光照条件下,各种形态和生理指标的响应效果也不尽相同。具体表现为珙桐幼苗在红光处理下伸长生长最缓慢,光合色素累积最高而光和能力最低,这表明红光对植株的光形态建成有显著影响;白光处理的幼苗株高最高,光合色素积累少,但光和能力最强,此外 ROS 水平及 MDA 含量较低,且 SOD 活性达到最大值,说明白色弱光处理对珙桐幼苗的光合作用及生理代谢影响较小;弱光环境下绿光和蓝光处理的珙桐幼苗都能表现出避荫效应,这对于珙桐幼苗的生长发育有一定的积极作用。

珙桐是珍稀濒危的木本植物,实验材料数量的局限使得实验也受到诸多限制,以后还需要在有限的实验材料的前提下,从形态解剖学和基因表达的角度探讨珙桐的光响应;此外,从分子水平上去对其进行研究光质对珙桐影响的具体机制也更具有说服力。

参考文献:

- [1] 邢阿宝,崔海峰,俞晓平,等. 光质及光周期对植物生长发育的影响[J]. 北方园艺, 2018, 03: 163.
- [2] 王燕,张亚见,何茂盛,等. 光质对植物形态结构和生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2018, 46: 22.
- [3] 许大全,高伟,阮军. 光质对植物生长发育的影响[J]. 植物生理学报, 2015, 51: 1217.
- [4] Tao C, Yang Z, Lu R, *et al.* Microsatellite markers for the relictual dove tree, *Davidia involucreata* (Cornaceae)[J]. *Am J Bot*, 2012, 99: 108.
- [5] Luo S, He Y, Ning G, *et al.* Genetic diversity and genetic structure of different populations of the endangered species *Davidia involucreata* in China detected by inter-simple sequence repeat analysis [J]. *Trees-Struct Funct*, 2011, 25: 1063.
- [6] 程立君,吴银梅,王磊,等. 珍稀濒危植物珙桐研究进展[J]. 黑龙江农业科学, 2019, 04: 157.
- [7] 何姚. 探讨土壤基质和水分对珙桐幼苗生长的影响[J]. 现代园艺, 2017, 17: 94.
- [8] 丁坤元,刘艳红. 氮肥和连续夜间低温对珙桐幼苗叶片光合特性的影响[J]. 东北林业大学学报, 2015, 43: 56.
- [9] 姜瑞芳,刘艳红. 光照对珙桐幼苗光合与生长特性

- 的影响[J]. 生态科学, 2017, 36: 114.
- [10] 昌梦雨, 魏晓楠, 王秋悦, 胡雨龙, 李承杭, 唐延林. 植物叶绿素含量不同提取方法的比较研究[J]. 中国农学通报, 2016, 32: 177.
- [11] 王俊峰, 冯玉龙. 光强对两种入侵植物生物量分配、叶片形态和相对生长速率的影响[J]. 植物生态学报, 2004, 06: 781.
- [12] 占玉燕, 刘艳红, 熊文娟. 珙桐濒危原因研究现状及展望[J]. 湖北林业科技, 2010, 01: 41.
- [13] 王宁宁. 珙桐苗木光合特性对干旱、光照强度和二氧化碳浓度的响应[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
- [14] 温冰消, 刘卫国, 杨文钰. 植物面对荫蔽的两种策略: 避荫与耐荫反应机制研究进展[J]. 分子植物育种, 2019, 17: 1028.
- [15] Keuskamp D H, Keller M M, Ballaré, C L, *et al.* Blue light regulated shade avoidance[J]. *Plant Signal Behav*, 2012, 7: 514.
- [16] 田发明, 米庆华, 塔依尔江·阿不都热合曼, 等. 不同颜色薄膜对设施环境及甜椒生长发育和产量品质的影响[J]. 山东农业科学, 2013, 12: 41.
- [17] Zhang T, Maruhnich S A, Folta K M. Green light induces shade avoidance symptoms [J]. *Plant Physiol*, 2011, 157: 1528.
- [18] 韩素菊. 遮荫对珙桐幼苗光合特性及生长特征的影响研究[J]. 四川林业科技, 2014, 35: 45.
- [19] 兰明忠. LED光质对竹柏幼苗生长和光合作用的影响[J]. 亚热带农业研究, 2019, 15: 184.
- [20] Naznin M T, Lefsrud M. Light Emitting Diodes for Agriculture: Smart Lighting [M]. Singapore: Springer, 2017: 101.
- [21] Chang S, Li C, Yao X, *et al.* Morphological, photosynthetic, and physiological responses of rapeseed leaf to different combinations of red and blue lights at the rosette stage[J]. *Front Plant Sci*, 2016, 7: 1144.
- [22] 卢素萍. 不同光质对烤烟成熟衰老的生理生化影响研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2016.

引用本文格式:

- 中文: 吴艳, 荣熔, 陈放, 等. 光质对珙桐幼苗形态建成及光合特性的影响[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2020, 57: 804.
- 英文: Wu Y, Rong R, Chen F, *et al.* Effect of light quality on morphogenesis and photosynthetic characteristics of *Davidia involucrata* seedlings [J]. *J Sichuan Univ: Nat Sci Ed*, 2020, 57: 804.