

不同光环境对海南龙血树幼苗表型可塑性及生存策略的影响

陈宣^{a,b}, 张治礼^b, 杨立荣^{a,b}, 云勇^{a,b}, 陈加利^{a,b}, 郑道君^{a,b*}

(海南省农业科学院, a. 热带园艺研究所; b. 海南省热带特种经济植物种质资源创新利用重点实验室, 海口 571100)

摘要: 为了解光照对海南龙血树(*Dracaena cambodiana*)幼苗生长的影响, 研究了不同光照环境下海南龙血树幼苗形态、生理特性和生物量分配的变化, 并分析了其生态适应性。结果表明, 海南龙血树幼苗的形态、生理和生物量分配指标在不同光照强度间存在显著差异, 各指标的可塑性指数为 0.08~0.86, 其中根茎叶及总生物量的可塑性指数普遍较高(0.67~0.86), 表明海南龙血树幼苗有较好的光照适应性, 其策略主要是通过调整根茎叶生物量的分配来适应光照的变化。随着光照强度的降低, 海南龙血树幼苗的比叶面积、叶根比呈现显著增大趋势, 表明幼苗可通过增加单株叶面积比例, 扩大光合作用面积, 有效调节自身生物量配置。37.3%自然光照(L2)是海南龙血树幼苗生长的最佳光照强度。现存海南龙血树生境改变, 生境缺少林荫以致光照强度过大, 不利于幼苗根系生长, 难以度过干旱季节, 可能是海南龙血树自然更新失败的重要原因之一。

关键词: 海南龙血树; 光环境; 幼苗生长; 生物量分配; 表型可塑性

doi: 10.11926/jtsb.3782

Effects of Light Intensity on Phenotypic Plasticity and Survival Strategy of *Dracaena cambodiana* Seedlings

CHEN Xuan^{a,b}, ZHANG Zhi-li^b, YANG Li-rong^{a,b}, YUN Yong^{a,b}, CHEN Jia-li^{a,b}, ZHENG Dao-jun^{a,b*}

(a. Institute of Tropical Horticulture; b. Hainan Key Laboratory for Innovative Development and Utilization of Tropical Special Economic Plants, Hainan Academy of Agricultural Sciences, Haikou 571100, China)

Abstract: In order to understand the effect of light intensity on seedling growth of *Dracaena cambodian*, the changes in morphological, physiological and biomass allocation characteristics were studied under four kinds of light intensity, including 100%, 37.3%, 15.5%, and 4.2% nature sunlight. The results showed that there were significant differences in morphological, physiological and biomass allocation indexes among different light intensities. The PI (plasticity indices) of all indexes ranged from 0.08 to 0.86, in which PI of biomass was generally higher (0.67–0.86) than that of the others, indicating that the seedlings had better adaptability to illumination conditions by adjusting the allocation of biomass. With the decrease of light intensity, the specific leaf area (SLA) and leaf area to root mass ratio (LARM) significantly increased, which indicated that the seedling could increase the leaf area and the area of photosynthesis to effectively adjust biomass allocation. In conclusion, the seedling growth of *D. cambodiana* would be the best under 37.3% NS (L2). Because the existing habitat of *D. cambodiana* was damaged, and the seedlings lacked shading, it was unfavorable to the growth of seedling root system during the dry season. So, this may be one of important reasons for the failure of the natural regeneration of *D. cambodiana*.

Key words: *Dracaena cambodiana*; Light intensity; Seedling growth; Biomass allocation; Phenotypic plasticity

收稿日期: 2017-06-23

接受日期: 2017-09-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(31360071); 海南省重点研发计划项目(ZDYF2016179)资助

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 31360071), and the Project for Key Research and Development in Hainan Province (Grant No. ZDYF2016179).

作者简介: 陈宣(1983~), 男, 硕士, 助理研究员。研究方向为热带经济作物遗传育种。E-mail: chenxuan06@sina.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: daojunzh@163.com

海南龙血树(*Dracaena cambodiana* Pierre ex Gagnep)又名小花龙血树, 属百合科(Liliaceae)龙血树属常绿小乔木, 为二级国家重点保护野生植物和三级中国稀有濒危保护植物^[1-3]。海南龙血树分布的生态幅极为狭小^[4], 郑道君等^[5]认为, 海南龙血树因处濒危生境造成生殖过程中种子萌发或幼苗转化困难导致有性生殖受阻, 生活史断裂, 自然更新失败是最终导致其濒危的内因和主要原因。为了明确海南龙血树自然更新失败的关键环节, 郑道君等^[6]对海南龙血树种子萌发及其环境适应性进行了分析, 并探讨了濒危植物海南龙血树种子休眠机理及其生态学意义, 结果表明, 海南龙血树种子休眠特性使其种子萌发或幼苗生长能适应生境条件的季节变化, 保证种群得以延续与更新; 然而海南龙血树种子萌发对果皮、温度、光照强度等微环境的依赖性较强, 原有生境破坏导致种子萌发微环境改变可能是海南龙血树居群有性生殖失败, 导致其处于濒危状态的主要原因之一。目前有关海南龙血树幼苗的环境适应性研究尚未见报道。

植物表型可塑性是指同一植物对不同环境影响因子产生不同表现型的特性, 它是植物适应不同生境的重要生态对策^[7]。植物适应不同光环境的能力对其生存和生长至关重要, 表型可塑性的大小是衡量植物对不同光环境适应能力的重要指标^[8]。通过表型可塑性, 植物可在不同生境中最大限度地获取资源, 提高植物适应环境的能力^[9]。那些缺乏足够表型可塑性的植物, 其生长与生殖将难以适应退化的或新的环境而面临濒危或灭绝危险。海南龙血树种群主要生长在海南南部空旷的石壁上, 光照强度大, 其幼苗是否适应此类光照环境, 这与海南龙血树是否因幼苗转化困难而更新失败密切相关。本文拟对海南龙血树幼苗表型可塑性对不同光环境的响应进行分析, 进一步从植物对不同光照强度响应的角度入手, 探讨海南龙血树幼苗对不同光环境的生态适应机制, 为系统阐述海南龙血树种群自然更新失败机理奠定基础。

1 材料和方法

1.1 材料和设计

试验地位于海南省农业科学院园艺所苗圃(20°0'38.71" N, 110°21'58.07" E), 年均气温23.8℃, 最高温28.1℃, 最低温18.5℃, 年均日照时数2 060 h

以上, 年均降水量1 664 mm, 年均相对湿度为84.0%, 地处低纬度热带北缘, 属于热带海洋气候。

采用遮阳网控制光照, 设置4个梯度遮荫, 即光照强度分别为100% NS (nature sunlight, L1)、37.3% NS (L2)、15.5% NS (L3)、4.2% NS (L4)。荫棚四周封闭至距地面20 cm, 保持地表空气流通, 使荫棚内外地表温度一致。采用当年产种子萌发的实生苗, 9月中旬播种育苗, 土壤取自原生境表层土, 每盆播种10粒, 等量施水, 以保证种子萌芽。参照海南龙血树主要原生地三亚地区11-4月份的平均降雨量(18.3 mm)确定处理施水量, 为防止自然降水的影响, 试验放置在四周通风的透明塑料大棚内进行, 并加强日常养护。待幼苗长出4片真叶时均苗, 每盆留下生长良好、大小一致的幼苗4株, 停止浇水约2 d后, 开始试验。每个处理4次重复, 每盆为1次重复。

1.2 测定方法

分别从每盆中随机选取1株, 即每个处理选取4株幼苗, 带回实验室清洗干净, 用滤纸吸干表面水分, 测量幼苗株高、基径、主根长、单株叶面积; 测量后将幼苗根、茎(含叶柄)和叶片分开, 在(103 ± 1)℃烘箱中烘17 h后称重, 计算幼苗植株总干重、根冠比及比叶面积等。叶生物量比(leaf mass fraction, LMF)=叶生物量/总生物量; 茎生物量比(branch mass fraction, BMF)=枝生物量/总生物量; 根生物量比(root mass fraction, RMF)=根生物量/总生物量; 根冠比(root mass/crown mass, R/C)=根生物量/地上部分生物量; 叶根比(leaf area to root mass ratio, LARM)=单株总叶面积/单株总根重; 比叶面积(specific leaf area, SLA)=单株总叶面积/单株总叶重。

参照杨振德^[10]的分光光度法测定叶绿素含量, 取0.1 g新鲜的海南龙血树叶片, 剪成约1 mm的细丝无损地放入刻度试管加入10 mL丙酮和无水乙醇(2:1)混合液, 在室温下(20℃~30℃)暗处提取, 至材料完全变白后, 取清液测定其在663、645、470 nm处的吸光度, 按丙酮法的公式计算叶绿素(mg g⁻¹ FW)和类胡萝卜素含量(mg g⁻¹ FW)。叶绿素 a 含量为 $Chl\ a = (12.7D_{663} - 2.69D_{645}) \times V / 1000W$; 叶绿素 b 含量为 $Chl\ b = (22.9D_{645} - 4.68D_{663}) \times V / 1000W$; 总叶绿素含量为 $Chl\ a + b = (20.0D_{645} + 8.02D_{663}) \times V / 1000W$; 类胡萝卜素含量为 $Car = (1000D_{470} - 3.27Ca - 104Cb) / 229 \times V / 1000W$, 式中: V 为浸提液体积(mL), W 为浸提液质量(g)。

指标的可塑性指数(plasticity indices, PI)=(某指标的最大平均值-最小平均值)/最大平均值。

1.3 数据处理

采用 Excel 2003 和 SPSS 17.0 软件对数据进行统计分析。不同光照条件下海南龙血树叶形态、生物量及其分配差异采用 SPSS 17.0 软件的单因素方差分析, 并进行 Duncan 多重比较法进行检验($P=0.05$)。

2 结果和分析

2.1 幼苗形态特征的变化

植株根茎叶等形态指标的变化是光照影响最直观的表型特征。单因素分析表明, 海南龙血树幼苗的形态指标在 4 种光照强度间存在显著差异(表

1)。主根长、第一级侧根数、冠幅、株高、叶片数、叶幅宽、最长叶片、总叶面积和叶长/叶宽等指标均呈现先增加后下降的趋势。其中, 主根长、侧根数、冠幅、叶片数、最长叶片、叶幅宽和总叶面积在 L2 光照下达到最高, 且大部分指标显著差异于其他光照处理, 如 L2 处理的主根长分别是 L1、L3 和 L4 处理的 1.6、2.0 和 3.3 倍; L2 处理的侧根数分别是 L3 和 L4 处理的 2.0 和 3.4 倍。而株高和叶长宽比则在 L3 处理下达到最大。此外, 上述形态指标在 L4 处理下都是最低的, 且除与 L3 处理的侧根数、L1 处理的叶长、L2 处理的叶片长宽比差异不显著外, 其他均差异显著。在不同的光照强度下, 基茎和比叶面积与上述指标的变化则不一样, 基茎随遮阴强度增大逐渐减小, 比叶面积随光照强度减弱逐渐增大。

表 1 不同光环境下海南龙血树幼苗植株形态特征

Table 1 Morphological traits of *Dracaena cambodiana* seedlings under different light intensities

	100% NS	37.3% NS	15.5% NS	4.2% NS
主根长 Taproot length (cm)	13.10 ±0.38b	20.77 ±1.78a	10.37 ±1.42b	6.33 ±0.34c
侧根数 Number of lateral roots	19.00 ±3.06a	24.67 ±1.45a	12.00 ±1.15b	7.33 ±0.67b
基茎 Stem diameter (cm)	0.64 ±0.03a	0.58 ±0.03ab	0.48 ±0.06b	0.27 ±0.03c
株高 Plant height (cm)	12.00 ±1.05ab	12.83 ±1.20ab	15.87 ±2.77a	8.93 ±0.19b
冠幅 Crown width (cm)	10.43 ±0.30c	20.97 ±0.52a	15.00 ±1.50b	7.30 ±0.59d
叶数 Leaves number	8.67 ±0.67a	9.67 ±0.33a	9.67 ±1.33a	5.67 ±0.33b
叶长 Leaf length (cm)	11.40 ±0.83b	18.33 ±0.75a	16.97 ±1.92a	9.67 ±0.88b
叶宽 Leaf width (cm)	1.00 ±0.12ab	1.18 ±0.07a	0.87 ±0.19ab	0.71 ±0.08b
总叶面积 Total leaf area (cm ²)	4 002.17 ±53.19b	4 643.13 ±129.99a	4 204.42 ±141.82b	1 465.18 ±35.89c
叶长/叶宽 Leaf length/width	11.53 ±0.61b	15.53 ±0.34ab	21.44 ±4.73a	13.89 ±1.42ab
比叶面积 Specific leaf area (cm ² g ⁻¹)	214.09 ±17.61c	214.09 ±8.42c	276.40 ±14.60b	421.93 ±2.04a

同行数据后不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。

Data followed different letters in the same row indicate significant difference at 0.05 level. The same is following Tables.

2.2 幼苗生物量及其分配特征的变化

由表 2 可见, 不同光照强度下, 海南龙血树幼苗植株各器官生物量差异显著($P<0.05$)。其中, 除根生物量、地上生物量/总生物量、叶根比和根冠

比差异显著外, 其他指标的差异均达到极显著水平($P<0.01$)。随着光照强度的减弱, 叶生物量、根生物量、总生物量均呈先上升后下降趋势, 以 L2 处理的值最高, 且与其他处理差异显著, L2 处理的总生

表 2 不同光环境下海南龙血树幼苗的生物量

Table 2 Biomass of *Dracaena cambodiana* seedlings under different light intensities

	100% NS	37.3% NS	15.5% NS	4.2% NS
叶生物量 Leaf biomass	0.19 ±0.02ab	0.22 ±0.01a	0.15 ±0.01b	0.03 ±0.01c
茎生物量 Stem biomass	0.01 ±0.01a	0.01 ±0.01a	0.01 ±0.01a	0.00 ±0.01b
根生物量 Root biomass	0.03 ±0.02b	0.05 ±0.01a	0.03 ±0.01b	0.01 ±0.01c
总生物量 Total biomass	0.23 ±0.03b	0.28 ±0.02a	0.19 ±0.01b	0.05 ±0.01c
地上生物量/总生物量 Aboveground biomass/total biomass	0.87 ±0.01a	0.81 ±0.01bc	0.86 ±0.02ab	0.80 ±0.02c
叶根比 LARM	1 320.52 ±7.30ab	893.29 ±12.88b	1 584.33 ±184.86a	1 523.69 ±197.79a
根冠比 R/C	0.15 ±0.02b	0.23 ±0.01ab	0.17 ±0.03b	0.26 ±0.03a

物量为(0.28 ± 0.02) g, 分别是 L1、L3 和 L4 处理的 1.22、1.47 和 5.6 倍; 茎生物量则有下降趋势, 但 L1、L2 和 L3 处理的差异不显著; 根、茎、叶和总生物量均以 L4 处理的最小, 且差异显著或极显著。不同的光照强度对海南龙血树幼苗植株各器官生物量分配(图 1)也产生显著影响($P < 0.05$), 其中叶生物量比和茎生物量比达到极显著水平($P < 0.01$)。多重比较结果表明, 叶生物量比在 L1 处理下最大, 但 L1、

L2 和 L3 处理间没有显著差异, L4 与其他 3 个处理间差异极显著($P < 0.01$); 茎生物量比以 L2 处理最小, L4 处理最大, 差异显著; 根生物量比以 L4 处理的最大(0.20), 其次是 L2 (0.19), 但在 4 个光强间, 只有 L1 和 L2 ($P = 0.039$)、L4 ($P = 0.013$), 以及 L3 和 L4 ($P = 0.031$)的差异显著。根冠比指数与根生物量比类似。叶根比在 L2 处理的最小, 与其他处理有极显著差异, 分别是 L1、L3、L4 处理的 0.68、0.56 和 0.59 倍。

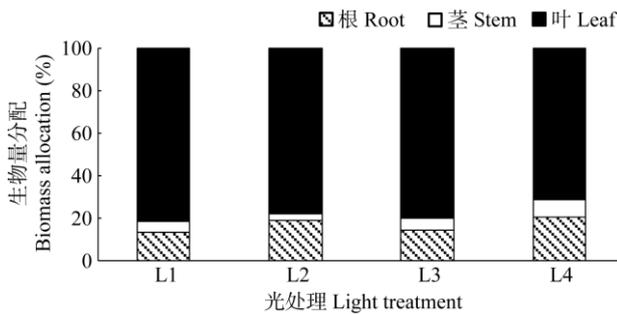


图 1 不同光环境下海南龙血树幼苗的生物量分配
Fig. 1 Biomass allocation of *Dracaena cambodiana* seedlings under different light intensities

2.3 幼苗色素含量的变化

从表 3 可见, 光照强度对海南龙血树幼苗叶绿素指标变化的影响显著, 而对类胡萝卜素含量的影响不显著。所有色素指标随光照强度减弱均呈先上升后下降的变化趋势; L3 处理的叶绿素 a、b 和总叶绿素含量均为最高, 依次为 L3 > L2 > L4 > L1, L1 处理的含量最低。多重比较表明, 叶绿素 a、b 和总叶绿素含量在 L2、L3 和 L4 处理间没有显著差异, 但 L1 处理的三者含量分别是 L3 的 46.34%、51.89% 和 50.34%, 而 L1 和 L4 处理间无显著差异。L2 和 L3 处理的叶绿素 a/b 与 L1 处理的差异均达到显著水平。

表 3 不同光环境下海南龙血树幼苗的色素含量

Table 3 Pigment contents of *Dracaena cambodiana* seedlings under different light intensities

	100% NS	37.3% NS	15.5% NS	4.2% NS
叶绿素 a Chl a (mg g^{-1})	0.19 ± 0.03b	0.34 ± 0.02a	0.41 ± 0.05a	0.29 ± 0.05ab
叶绿素 b Chl b (mg g^{-1})	0.55 ± 0.08b	0.90 ± 0.03a	1.06 ± 0.11a	0.78 ± 0.12ab
总叶绿素 Chl a+b (mg g^{-1})	0.74 ± 0.11b	1.24 ± 0.05a	1.47 ± 0.16a	1.06 ± 0.17ab
叶绿素 a/b Chl a/b	0.34 ± 0.01c	0.38 ± 0.01a	0.38 ± 0.01a	0.36 ± 0.01b
类胡萝卜素 Carotenoid (mg g^{-1})	0.62 ± 0.09a	0.78 ± 0.05a	0.82 ± 0.08a	0.64 ± 0.10a

2.4 幼苗表型可塑性的变化

从表 4 可见, 植株形态指标和生物量及分配指标

的表型可塑性相差不大, PI 平均值分别为 0.54 和 0.52, 形态可塑性指数的变化范围较小, 为 0.40~0.70,

表 4 不同光环境下海南龙血树幼苗表型可塑性指数

Table 4 Phenotypic plasticity index of *Dracaena cambodiana* seedlings under different light regimes

形态 Form	PI	生物量 Biomass	PI	色素指标 Pigment index	PI
主根长 Taproot length	0.70	叶生物量 Leaf biomass	0.86	Chl a	0.54
侧根数 Number of lateral roots	0.70	茎生物量 Stem biomass	0.67	Chl b	0.48
基茎 Stem diameter	0.58	根生物量 Root biomass	0.80	Chl a+b	0.50
株高 Height	0.44	总生物量 Total biomass	0.82	Chl a/b	0.11
冠幅 Crown width	0.65	叶生物量比 LMF	0.13	Car	0.24
叶数 Leaf number	0.41	茎生物量比 BMF	0.61		
叶片长 Leaf length	0.47	根生物量比 RMF	0.35		
叶宽 Leaf width	0.40	地上生物量 / 总生物量	0.08		
总叶面积 Total leaf area	0.68	Aboveground biomass / total biomass			
叶长 / 宽 Leaf length / width	0.46	叶根比 LARM	0.44		
比叶面积 Specific leaf area	0.49	根冠比 R/C	0.42		
平均 Average	0.54		0.52		0.37
变异系数 CV /%	21.09		51.28		45.11

0.70, 变异系数仅为 21.09%, 主根长、侧根数、冠幅和总叶面积的表型可塑性均在 0.5 以上; 生物量及分配的表型可塑性为 0.08~0.86, 变异系数较大, 为 51.28%, 其中叶生物量、根生物量和总生物量表型可塑性在 0.80 以上, 而地上生物量/总生物量的表型可塑性仅 0.08。色素指标的平均可塑性指数最低, 仅为 0.37, 变异系数为 45.11%, 其中叶绿素 a/b 和类胡萝卜素的表型可塑性指数分别仅为 0.11 和 0.24。

3 讨论

3.1 海南龙血树幼苗对光环境响应的表型可塑性

表型可塑性是植物竞争能力和适合度的重要决定因子之一^[11]。植物的形态和生物量分配是其生命活动的外在体现, 不同光照强度造成的植物形态和生理上的变化可能是植物本身对不同光照条件做出的可塑性反应^[12-13]。与其他物种相比, 海南龙血树幼苗的表型可塑性较高。本研究表明, 不同光照条件下海南龙血树幼苗形态的 PI 平均值为 0.54, 变化范围为 0.40~0.70, 而紫楠(*Phoebe sheareri*) 仅为 0.03~0.21^[14]、麻栎(*Quercus acutissima*) 为 0.20~0.54、刺槐(*Robinia pseudoacacia*) 为 0.29~0.51^[15]。生物量及分配指标的平均 PI 值为 0.52, 根、茎、叶生物量的 PI 值为 0.68~0.86, 远高于白桦(*Betula platyphylla*) 的 0.06~0.122、油松(*Pinus tabulaeformis*) 的 0.122~0.33、华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*) 的 0.16~0.58^[16]、紫楠(0.31~0.48)、麻栎(0.56~0.63) 和刺槐(0.65~0.75)。这表明海南龙血树幼苗对不同光照条件反应较为明显, 其适应性不仅表现在形态上, 也表现在幼苗植株的生物量及分配上。

一般具有较宽生态幅和拓殖能力的物种拥有较高生物量分配可塑性, 由此减缓新生境的选择压力^[16]。海南龙血树幼苗的光照适应性在不同的形态指标和生物量及分配上表现不尽相同, 叶生物量、茎生物量、根生物量、总生物量等的 PI 值最高, 分别为 0.86、0.67、0.80 和 0.82; 而生物量分配的 PI 值则较低, 地上生物量/总生物量仅为 0.08, 叶生物量比仅为 0.13, 而根生物量比(0.35)和茎生物量比(0.61)保持较高水平。海南龙血树幼苗的根和茎生物量比具有较高的 PI 值, 表明其分配策略主要是通过调整根和茎生物量分配来适应不同光照的变化, 海南龙血树幼苗形态变化在其适应性中发挥很重要的作用, 这与周俊宏等^[13]对紫楠的研究结果不同。

3.2 海南龙血树幼苗对光环境变化的生存策略

植物对环境变化的响应主要体现在植株形态特征上, 叶和根的功能性状能够直接反映植物适应环境变化所形成的生存对策, 与植株生物量和植物对资源的获取、利用密切相关^[17-19]。在本研究中, 随着光照强度变化, 海南龙血树幼苗植株在形态、生物量及分配, 以及色素含量上都发生了显著变化。结果表明, 随着光照强度逐渐降低, 幼苗叶和根的生物量、总生物量呈现先增加后下降的趋势, 但是其比叶面积、叶根比、根冠比、根生物量比则呈现逐步增大, 说明海南龙血树可通过增加单株叶面积比例, 扩大叶片光合作用面积, 同时适度提高根生物量比重, 有效调节自身生物量配置, 从而在遮光条件下依然能够正常生长。可见, 海南龙血树对不同光照环境具有较强的适应性, 对低光照环境具有较强的耐受性。这与山梔子(*Gardenia jasminoides*)、辽东栎(*Quercus liaotungensis*) 等的一致^[20-21]。

据报道, 不同植物对光照响应具有不同的生物量分配策略。林波^[22]研究表明遮荫使岷江冷杉(*Abies faxoniana*) 等 4 种植物幼苗倾向于将生物量分配到地上部分, 且比叶面积随光强的增加而减小。李肇锋^[23]对闽楠(*Phoebe bournei*) 幼树生长影响的研究表明, 在 3 种光环境下, 其根生物量分配比和冠根比无显著影响, 这说明闽楠不是通过地上与地下生物量分配比例的改变来适应光环境的变化。这与海南龙血树幼苗的生物量分配策略不相同, 表明不同植物在光环境变化时生物量的分配策略并不是单一的。

在 L2 光照条件下, 海南龙血树幼苗主根长、侧根数、冠幅、叶片数、叶片长度、总叶面积、叶生物量、根生物量、总生物量均达到最大值, 且同其他处理差异显著, 同时海南龙血树幼苗通过适当减少叶生物量比和地上生物量/总生物量, 而提高根生物量比, 使根冠比达到中上等水平, 生物量分配比较协调; 但总体上幼苗以生长发达的根系为主, 比叶面积和叶根比达最低值。虽然各项色素指标以 L3 处理最高, 但 L2 与 L3 处理的差异并不显著, 表明在这两种光照条件下的光合作用效率是最佳的。可见, L2 处理是海南龙血树幼苗生长的较佳光照, 其次是 L3 处理, 适度遮荫有利于幼苗生长, 这与罗金环等^[24]的研究结果一致。在全光照(L1)下, 海南龙血树幼苗主要以叶片生长为主, 叶生物量比、地上生物量/总生物量均达到最大, 但是各项色素指标均显著低于其他处理, 光合作用效率最低; 且地

下部分的生物量分配也最小,根冠比、根生物量比均为最小,不利于根系生长。在弱光(L4)下,海南龙血树幼苗的生物量分配以地下部分为主,根生物量比、根冠比达到最大值,叶生物量比达到最小值;同时提高叶面积比和茎生物量,比叶面积、叶根比和茎生物量比在所有处理中最高,以此来提高在弱光条件下的光合作用效率。但是由于单株总叶面积显著减少,影响幼苗光合产物合成,导致植株生长不良。

3.3 海南龙血树幼苗对现生境中光环境生态适应性

海南龙血树幼苗对光照有较强的适应性,在3.3%~100%NS的光照强度下均能生长,但适度遮阴有利其生长。海南龙血树所处生境干旱与雨季分明,且旱季很长。郑道君等^[6]报道海南龙血树种子的休眠特性使其种子能够在大雨季前萌芽,有利于幼苗在雨季中生长。但是在短暂的雨季过后,海南龙血树幼苗将经受严峻的干旱考验,是否具备发达的根系,可能是决定幼苗能够成活并生长下去的重要因子。海南龙血树多生长于坡地陡峭、地形开阔、光照充足、蓄水力弱的岩石缝间或边上^[4],这更加显示出根系发达对幼苗生存的重要性。

本研究结果表明,适度的荫蔽更有利于海南龙血树幼苗的生长,不仅具备发达的根系,生物总量和叶面积最大,生物量分配也达到较合理的状态,这有利于海南龙血树幼苗度过干旱季节。然而,野外的调查结果表明,现存海南龙血树群落植被遭砍伐,自然生境遭受破坏,生境中缺少一定的林荫以保障幼苗成长所需的荫蔽环境。由于光照强度过大,根生物量分配少,且光合作用效率低,也会加速海南龙血树幼苗的水分蒸发,对幼苗生存和生长极为不利。因此,海南龙血树现有生境缺少林荫,造成幼苗死亡,可能是自然更新失败的重要原因之一。

在植物生长过程中,随着生境光和水分的变化,植株形态、生物量及分配也要发生相应变化,以确保其生存和生长。本文仅分析了海南龙血树幼苗对光的响应,为了更好地明确海南龙血树幼苗的生存策略,以及对现有生境的适应性,海南龙血树幼苗对水分以及水分与光照相互作用的响应有待进一步深入研究。

参考文献

[1] Guangdong Institute of Botany. Flora Hainanica, Tomus IV [M]. Beijing: Science Press, 1977: 1-155.

广东省植物研究所. 海南植物志, 第4卷 [M]. 北京: 科学出版社, 1977: 1-155.

- [2] CHEN X Q, TURLAND N J. *Dracaena Vandelli* ex Linnaeus [M]// Wu Z Y, RAVEN P H. Flora of China, Vol. 24. Beijing: Science Press & St. Louis: Missouri Botanical Garden Press, 2000: 215-217.
- [3] National Environment Protection Administration, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences. China Rare and Endangered Protective Plant Lists [M]. Beijing: Science Press, 1987: 1-38.
- 国家环境保护局, 中国科学院植物研究所. 中国珍稀濒危保护植物名录 [M]. 北京: 科学出版社, 1987: 1-38.
- [4] ZHENG D J, LI H W, YUN Y, et al. Investigation on the habitat and natural regeneration capacity of *Dracaena cambodiana* population [J]. J Trop Subtrop Bot, 2010, 18(6): 627-632. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2010.06.006.
- 郑道君, 李海文, 云勇, 等. 海南龙血树种群生境及自然更新能力调查 [J]. 热带亚热带植物学报, 2010, 18(6): 627-632. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2010.06.006.
- [5] ZHENG D J, YUN Y, WU Y J, et al. Geographical distribution of wild *Dracaena cambodiana* in China and its relationship with hydrothermal factors [J]. J Trop Subtrop Bot, 2012, 20(4): 326-332. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2012.04.002.
- 郑道君, 云勇, 吴宇佳, 等. 海南龙血树野生资源分布及其与水热关系的分析 [J]. 热带亚热带植物学报, 2012, 20(4): 326-332. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2012.04.002.
- [6] ZHENG D J, WU Y J, YUN Y, et al. Seed germination and its environment adaptability of endangered tree *Dracaena cambodiana* [J]. J Trop Subtrop Bot, 2016, 24(1): 71-79. doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2016.01.010.
- 郑道君, 吴宇佳, 云勇, 等. 濒危植物海南龙血树种子萌发及其环境适应性分析 [J]. 热带亚热带植物学报, 2016, 24(1): 71-79. doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2016.01.010.
- [7] BRADSHAW A D. Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants [J]. Adv Genet, 1965, 13: 115-155. doi: 10.1016/S0065-2660(08)60048-6.
- [8] ZHOU H Y, WANG J N, FU X Q, et al. Effects of light environments on the phenotypic plasticity of three shrubs in southern China grassland [J]. Chin J Appl Environ Biol, 2014, 20(6): 962-970. doi: 10.3724/SP.J.1145.2014.03029.
- 周海燕, 王金牛, 付秀琴, 等. 不同光环境对中国南方草地3种灌木表型可塑性的影响 [J]. 应用与环境生物学报, 2014, 20(6): 962-970. doi: 10.3724/SP.J.1145.2014.03029.
- [9] SHI J M, YE X H, CHEN F S, et al. Adaptation of bamboo to heterogeneous habitat: Phenotypic plasticity [J]. Acta Ecol Sin, 2014,

- 34(20): 5687–5695. doi: 10.5846/stxb201308062036.
- 施建敏, 叶学华, 陈伏生, 等. 竹类植物对异质生境的适应——表型可塑性 [J]. 生态学报, 2014, 34(20): 5687–5695. doi: 10.5846/stxb201308062036.
- [10] YANG Z D. Studies on the determination of chlorophyll content by spectrophotometric method [J]. J Guangxi Agric Univ, 1996, 15(2): 145–150.
- 杨振德. 分光光度法测定叶绿素含量的探讨 [J]. 广西农业大学学报, 1996, 15(2): 145–150.
- [11] SULTAN S E. Phenotypic plasticity and plant adaptation [J]. Acta Bot Neerl, 1995, 44(4): 363–383. doi: 10.1111/j.1438-8677.1995.tb00793.x.
- [12] RADFORD I J, COUSENS R D. Invasiveness and comparative life-history traits of exotic and indigenous *Senecio* species in Australia [J]. Oecologia, 2000, 125(4): 531–542. doi: 10.1007/s004420000474.
- [13] SUN Y R, ZHU J J, YU L Z, et al. Photosynthetic characteristics of *Pinus koraiensis* seedlings under different light regimes [J]. Chin J Ecol, 2009, 28(5): 850–857. doi: 10.13292/j.1000-4890.2009.0157.
- 孙一荣, 朱教君, 于立志, 等. 不同光环境对红松幼苗光合生理特征的影响 [J]. 生态学杂志, 2009, 28(5): 850–857. doi: 10.13292/j.1000-4890.2009.0157.
- [14] ZHOU J H, CHENG X R, YU M K, et al. Responses of growth, leaf traits and biomass allocation of *Phoebe sheareri* seedlings to different habitats in forest gap [J]. J NE For Univ, 2015, 43(12): 21–24, 50. doi: 10.13759/j.cnki.dlxb.2015.12.003.
- 周俊宏, 成向荣, 虞木奎, 等. 紫楠幼苗生长、叶性状和生物量分配对林窗不同生境的响应 [J]. 东北林业大学学报, 2015, 43(12): 21–24, 50. doi: 10.13759/j.cnki.dlxb.2015.12.003.
- [15] XU F, GUO W H, XU W H, et al. Effects of light intensity on growth and photosynthesis of seedlings of *Quercus acutissima* and *Robinia pseudoacacia* [J]. Acta Ecol Sin, 2008, 2010, 30(12): 3098–3107.
- 徐飞, 郭卫华, 徐伟红, 等. 不同光环境对麻栎和刺槐幼苗生长和光合特征的影响 [J]. 生态学报, 2010, 30(12): 3098–3107.
- [16] FENG X Y, LIU N, GUO J P, et al. Morphological responses and morphological plasticity indices of seedlings and saplings of four woody species in montane forest of northern China to experimental light regimes [J]. Sci Silv Sin, 2013, 49(11): 42–50. doi: 10.11707/j.1001-7488.20131106.
- 冯晓燕, 刘宁, 郭晋平, 等. 控制光照条件下华北山地 4 个混交树种幼苗幼树的形态响应和可塑性 [J]. 林业科学, 2013, 49(11): 42–50. doi: 10.11707/j.1001-7488.20131106.
- [17] VALLADARES F, WRIGHT S J, LASSO E, et al. Plastic phenotypic response to light of 16 congeneric shrubs from a Panamanian rainforest [J]. Ecology, 2000, 81(7): 1925–1936. doi: 10.2307/177282.
- [18] XU G F, SHEN S C, ZHANG F D. Adaptability and reproductive characteristics of *Mikania micrantha* H. B. K. under different habitats [J]. Ecol Environ Sci, 2014, 23(8): 1258–1264. doi: 10.3969/j.issn.1674-5906.2014.08.002.
- 徐高峰, 申时才, 张付斗. 异质环境下入侵植物微甘菊的适应性与繁殖特性 [J]. 生态环境学报, 2014, 23(8): 1258–1264. doi: 10.3969/j.issn.1674-5906.2014.08.002.
- [19] LI D L, XIANG Q B. Effects of light condition on the growth and photosynthetic characters of *Phoebe chekiangensis* seedlings [J]. J Nanjing For Univ (Nat Sci), 2004, 28(5): 29–31. doi: 10.3969/j.issn.1000-2006.2004.05.007.
- 李冬林, 向其柏. 光照条件对浙江楠幼苗生长及光合特性的影响 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2004, 28(5): 29–31. doi: 10.3969/j.issn.1000-2006.2004.05.007.
- [20] CHENG X R, ZHOU J H, CHEN Y H, et al. Effects of light intensity on phenotypic plasticity of *Gardenia jasminoides* seedlings [J]. Acta Agric Univ Jiangxi, 2016, 38(1): 180–186. doi: 10.13836/j.jjau.2016.026.
- 成向荣, 周俊宏, 陈永辉, 等. 山梔子幼苗表型可塑性对不同光环境的响应 [J]. 江西农业大学学报, 2016, 38(1): 180–186. doi: 10.13836/j.jjau.2016.026.
- [21] YAN X F, WANG J L, ZHOU L B. Effects of light intensity on *Quercus liaotungensis* seed germination and seedling growth [J]. Chin J Appl Ecol, 2011, 22(7): 1682–1688.
- 闫兴富, 王建礼, 周立彪. 光照对辽东栎种子萌发和幼苗生长的影响 [J]. 应用生态学报, 2011, 22(7): 1682–1688.
- [22] LIN B, LIU Q. Plasticity responses of 4 tree species in subalpine-coniferous-forest to different light regimes [J]. Acta Ecol Sin, 2008, 29(10): 4665–4675.
- 林波, 刘庆. 四种亚高山针叶林树种的表型可塑性对不同光照强度的响应 [J]. 生态学报, 2008, 29(10): 4665–4675.
- [23] LI Z F, PAN J, WANG J D. The effects of light environment on the growth and the phenotypic plasticity of the seedlings of *Phoebe bournei* [J]. J SW For Univ, 2014, 34(6): 65–69. doi: 10.3969/j.issn.2095-1914.2014.06.011.
- 李肇锋, 潘军, 王金盾, 等. 光环境对闽楠幼树生长及其表型可塑性的影响 [J]. 西南林业大学学报, 2014, 34(6): 65–69. doi: 10.3969/j.issn.2095-1914.2014.06.011.
- [24] LUO J H, LIU J, YANG J D. Cultivation techniques and applications of *Dracaena cambodiana* [J]. Trop For, 2006, 34(4): 28–29. doi: 10.3969/j.issn.1672-0938.2006.04.011.
- 罗金环, 刘俊, 羊金殿. 海南龙血树的栽培技术及其应用 [J]. 热带林业, 2006, 34(4): 28–29. doi: 10.3969/j.issn.1672-0938.2006.04.011.