



### 遮阴对地枫皮幼苗生长和生物量分配的影响

王琳, 王满莲, 梁惠凌, 吴超, 刘宝玉, 唐辉

引用本文:

王琳,王满莲,梁惠凌,吴超,刘宝玉,唐辉. 遮阴对地枫皮幼苗生长和生物量分配的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2023, 31(5): 607-614.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4654>

---

### 您可能感兴趣的其他文章

#### Articles you may be interested in

#### 遮荫处理对梅叶冬青叶片形态、光合特性和生长的影响

热带亚热带植物学报. 2020, 28(1): 25-34 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4077>

#### 遮阴对四季桂生理生态特性的影响

Effect of Shading on Physiological and Ecological Characteristics of *Osmanthus fragrans*

热带亚热带植物学报. 2017, 25(1): 57-64 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3634>

#### 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

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

热带亚热带植物学报. 2018, 26(2): 150-156 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3782>

#### 育苗基质对米老排容器苗生长及叶绿素荧光特性的影响

Effect of Media on Growth and Chlorophyll Fluorescence Characteristics of *Mytilaria laosensis* Container Seedlings

热带亚热带植物学报. 2018, 26(5): 497-505 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3871>

#### 3种作物(莴笋、茄子、小白菜)对香樟凋落叶化感作用的生理响应

Physiological Responses of Three Crops (Lettuce, Eggplant and Pakchoi) to Allelopathy of *Cinnamomum camphora* Litter Leaves

热带亚热带植物学报. 2021, 29(1): 41-49 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4229>

向下翻页, 浏览PDF全文

# 遮阴对地枫皮幼苗生长和生物量分配的影响

王琳<sup>1,2</sup>, 王满莲<sup>2,3\*</sup>, 梁惠凌<sup>2,3</sup>, 吴超<sup>2,3</sup>, 刘宝玉<sup>2,3</sup>, 唐辉<sup>2,3</sup>

(1. 广西师范大学, 广西 桂林 541006; 2. 广西壮族自治区中国科学院 广西植物研究所, 广西 桂林 541006; 3. 广西植物功能物质与资源持续利用重点实验室, 广西 桂林 541006)

**摘要:** 为了解光照强度对地枫皮(*Illicium difengpi*)幼苗生长和生物量分配的影响, 对不同等级幼苗在不同遮阴处理下的形态和生物量变化进行了研究。结果表明, 遮阴处理下幼苗的株高、冠宽和平均单叶面积均显著高于对照, 同时比叶面积均随光强增大而显著降低。除 I 级苗 50%遮阴处理外, 全光处理下各等级幼苗的根长均显著高于遮阴处理。随着光照强度的增加, 各等级幼苗的根生物量比与根冠比显著增加, 叶生物量比显著减少; 不同等级幼苗对强光和弱光环境均表现出较强的适应性, 但以 50%遮阴处理的总生物量最大, 全光和 85%遮阴处理均较小。遮阴处理的幼苗个体大小与其初始大小呈正相关, 其中 II 级苗与 I 级苗差别较小, III 级苗生长较差。在人工育苗条件下 I 级苗数量不到 10%, 较差的种苗质量叠加喀斯特山顶恶劣环境, 可能是导致野外幼苗更新限制的重要原因。因此在野外回归和人工栽培过程中宜选用 I、II 级种苗, 光强控制在透光率 50%为宜。

**关键词:** 地枫皮; 遮阴; 种苗等级; 生物量; 生态适应性

doi: 10.11926/jtsb.4654

## Effect of Shading on Growth and Biomass Allocation of *Illicium difengpi* Seedlings

WANG Lin<sup>1,2</sup>, WANG Manlian<sup>2,3\*</sup>, LIANG Huiling<sup>2,3</sup>, WU Chao<sup>2,3</sup>, LIU Baoyu<sup>2,3</sup>, TANG Hui<sup>2,3</sup>

(1. Guangxi Normal University, Guilin 541006, Guangxi, China; 2. Guangxi Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, Guangxi, China; 3. Guangxi Key Laboratory of Plant Functional Phytochemicals and Sustainable Utilization, Guilin 541006, Guangxi, China)

**Abstract:** In order to understand the effect of light intensity on the growth and biomass allocation of *Illicium difengpi* seedlings, the changes in morphological characteristics and biomass of seedlings at different classes were studied under different shading treatments. The results showed that the plant height, crown width and mean leaf area of seedlings under shading were significantly higher than those under control, while the specific leaf area decreased significantly with increasing of light intensity. The root length of seedlings with different classes under full light were significantly higher than those under shading, except for 50% shading of I-class seedlings. With increasing of light intensity, the root biomass ratio and root to crown ratio of seedlings at all classes increased significantly, and the leaf biomass ratio decreased significantly; seedlings at different classes showed strong adaptability to both high and low light environments, but the total biomass was the biggest under 50% shading, and smaller under full light and 85% shading. The size of seedlings under shading was positively correlated with their initial size, while the difference between II- and I-class seedlings was small, and the growth of III-class

收稿日期: 2022-04-15 接受日期: 2022-07-07

**基金项目:** 国家重点研发计划(2019YFC0507503); 国家自然科学基金项目(32160093, 31760112); 广西重点研发计划(桂科 AB21220024); 广西科技基地和人才专项(桂科 AD20297049); 广西科技重大专项(桂科 AA18118015); 桂林科技攻关项目(20190213-2)资助

This work was supported by the National Key Research and Development Program of China (Grant No. 2019YFC0507503), the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 32160093, 31760112), the Project for Key Research and Development in Guangxi (Grant No. AB21220024), the Special Project Science and Technology Base and Talent in Guangxi (Grant No. AD20297049), the Project for Major Science and Technology in Guangxi (Grant No. AA18118015), and the Project for Science and Technology Research in Guilin (Grant No. 20190213-2).

作者简介: 王琳(1998年生), 男, 在读硕士研究生, 专业方向为经济林培育与经营。E-mail: 2829107471@qq.com

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Wangml1978@163.com

seedlings was poor. The number of I-class seedlings was less than 10% under artificial nursery conditions, and the poor seedling quality superimposed on the harsh environment of karst summits might be an important reason for the limitation of its field seedling regeneration. Therefore, it was advisable to use first and secondary seedlings in field regression and artificial cultivation, and to control the light intensity at about 50% light transmission.

**Key words:** *Illicium difengpi*; Shading; Seedling grade; Biomass; Ecological adaptability

自然生境中植物所处的环境是高度动态、多样化和不可预测的,其中光照是变化最大的自然环境因子。自然光环境在时间上从春季到冬季,空间上从林冠到林下或林窗,均处于不断变化之中。生长在自然生境中的植物,生长与更新过程中可能会遇到林下弱光、林窗中光和裸地强光环境,因此光照是影响林下幼苗或幼树存活、生长和更新的重要限制因子<sup>[1]</sup>。幼苗出土和生长是植物生活史中的关键阶段,同时也是对不利环境条件反应最为敏感的阶段,因此关于光照对植物的影响及植物对光照的适应研究主要集中在以幼苗为研究对象。

植物常通过形态可塑性来适应生长光环境,即通过改变形态、调控生物量分配和生理变化来适应不同环境光强<sup>[2-3]</sup>。叶片作为光同化器官对环境光变化最为敏感,其形态结构和生理特性最能体现植物对环境光强的适应<sup>[4]</sup>。通常弱光下幼苗的叶片变得薄而大,比叶面积增大以获取更多的光能<sup>[5-7]</sup>;而强光下幼苗的叶片变得小而厚,比叶面积降低以避免或减轻光抑制伤害<sup>[8]</sup>。同时,植物还可调控生物量积累及其分配的变化来适应生长环境光强的变化。通常较高光强下,植物将较多的有机物投入到根系,增大水分和养分吸收能力,提高其抗逆性;弱光下增大叶生物量分配以增大光能吸收。植物处于不适光强环境中时,可通过抗氧化系统和渗透调节物质调节细胞内过量的活性氧和维持细胞的渗透势,减少膜损伤从而维持细胞膜的正常功能<sup>[9]</sup>。

地枫皮(*Illicium difengpi*)为五味子科(Schisandraceae)常绿灌木<sup>[10]</sup>,主要分布在广西(靖西、龙州、马山、都安等地)、云南(麻栗坡),越南也有少量分布,多以隔离的小种群形式存在<sup>[11]</sup>。主要生长在喀斯特石山山顶的裸岩及半裸岩山地上,林下也有少量分布<sup>[12]</sup>。地枫皮为喀斯特特有药用植物,其茎皮和根皮具有祛风除湿,行气止痛等功效<sup>[13]</sup>,同时,地枫皮树型优美,具有很高的观赏价值,是喀斯特地区非常有开发利用前景的野生药用植物,但生境退化及大量的采药使其目前处于濒危状态。我们在进行地枫皮种苗繁育的过程中发现,其出苗周期很

长,萌发当年种苗生长缓慢、质量参差不齐,大苗率不到 10%,多为中苗和小苗。

幼苗在群落中的最终存活与生长状况受定居幼苗和生长环境质量的共同影响,目前针对地枫皮的生态适应性研究主要集中在水分和土壤因素对种子萌发<sup>[14]</sup>、幼苗生长和生物量分配<sup>[15]</sup>方面,对于地枫皮对不同光强的适应性研究较少。为此,通过比较地枫皮不同大小幼苗的地上、地下形态特性以及生物量分配特性对光强的适应性差异,以探讨以下科学问题:(1)不同等级地枫皮幼苗对不同生长光环境的形态和生长适应性是否相同?(2)地枫皮野外幼苗更新限制是否与其一级苗收获率低有关?从而为繁育高质量地枫皮种苗及后续野外回归和人工栽培提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料和处理

试验地位于桂林植物园(110°18' E, 25°04' N),属亚热带季风气候区。年平均日照时数为 1 680 h,年平均气温为 23.5 °C,年平均降雨量 1 949.5 mm,年平均无霜期 300 d,年平均相对湿度为 82%。2020 年 2 月将采自同一野生种群的沙藏地枫皮种子播种在大棚沙床,5 月转移至 12 cm×13 cm 的塑料营养袋(装泥炭土与土山土比例为 2:1)。2021 年 4 月,随机抽样 100 株苗测量株高、基径、根长(最长根)、叶片数,参照杨扶德等<sup>[16]</sup>的方法进行地枫皮苗木分级,用 K-均值聚类法并结合易操作性选择株高、基径、根长和叶片数 4 个指标将苗木分为 3 个等级(表 1),然后 3 个等级各选择 60 株大小接近的幼苗转移至 18 cm×16 cm 的塑料营养袋(装泥炭土与土山土比例为 1:1),并转移至遮阴比例为 30%的遮阳网下恢复生长 1 个月(无遮雨棚)。在室外采用不同密度黑色遮阳网建立遮阴比例分别为 85%、70%和 50%的遮阳棚 3 个(模拟野外不同透光率林下和林隙环境),以全光(模拟野外裸地,遮阴比例为 0)为对照处理,共设 4 个处理组。试验期每周随机更换各光强下花

盆位置, 以保证相同光处理内的受光均匀性。试验期间 2 d 浇 1 次水, 每次浇水至营养杯中土壤水分饱和, 每 2 个月施复合肥 1 次, 并随时防治病虫害。

表 1 地枫皮种苗分级标准

Table 1 Grading standards for *Illicium difengpi* seedlings

苗级 Grade	株高 Height (cm)	基径 Basal diameter (mm)	根长 Root length (cm)	叶数 Number of leaf
I	>8	>4.5	>11	>10
II	6~8	3.5~4.5	8~11	6~10
III	<6	<3.5	<8	<6

### 1.2 指标测定

2021 年 11 月 26 日, 每个处理随机选 10 株测定株高、基径、冠宽和叶片数。然后整株收获, 将营养袋放在尼龙网筛上用水冲去泥土, 获得整体根系。统计每株 6 cm 以上的根数并测定其根长与根粗, 取平均值。将植株分成根、支持结构(茎与叶柄)和叶 3 部分, 先用 Li-3000 型叶面积仪测定叶面积

后, 各部位于 105 °C 杀青 30 min, 再在 80 °C 烘干至恒重后分别称取干质量, 计算生物量分配比<sup>[17]</sup>: 叶生物量分配比=(叶干质量/单株生物量)×100%; 茎生物量分配比=(茎干质量/单株生物量)×100%; 根生物量分配比=(根干质量/单株生物量)×100%; 根冠比=根干质量/(叶干质量+茎干质量)。

### 1.3 数据分析

采用一元方差分析(One-Way ANOVA)比较同一等级种苗在不同光强间的差异显著性, 以及相同光强下不同等级种苗间的差异显著性, 用 Duncan 法进行多重比较, 显著性水平  $\alpha=0.05$ , 所用数据处理和分析软件为 Excel 2019、SPSS 11.5 (SPSS Inc., USA); 用 Sigmaplot 14.0 软件进行绘图。

## 2 结果和分析

### 2.1 光强对幼苗地上部分形态特性的影响

光照强度对不同等级幼苗的地上部分形态特征均有显著影响(图 1)。同一等级幼苗在不同遮阴处

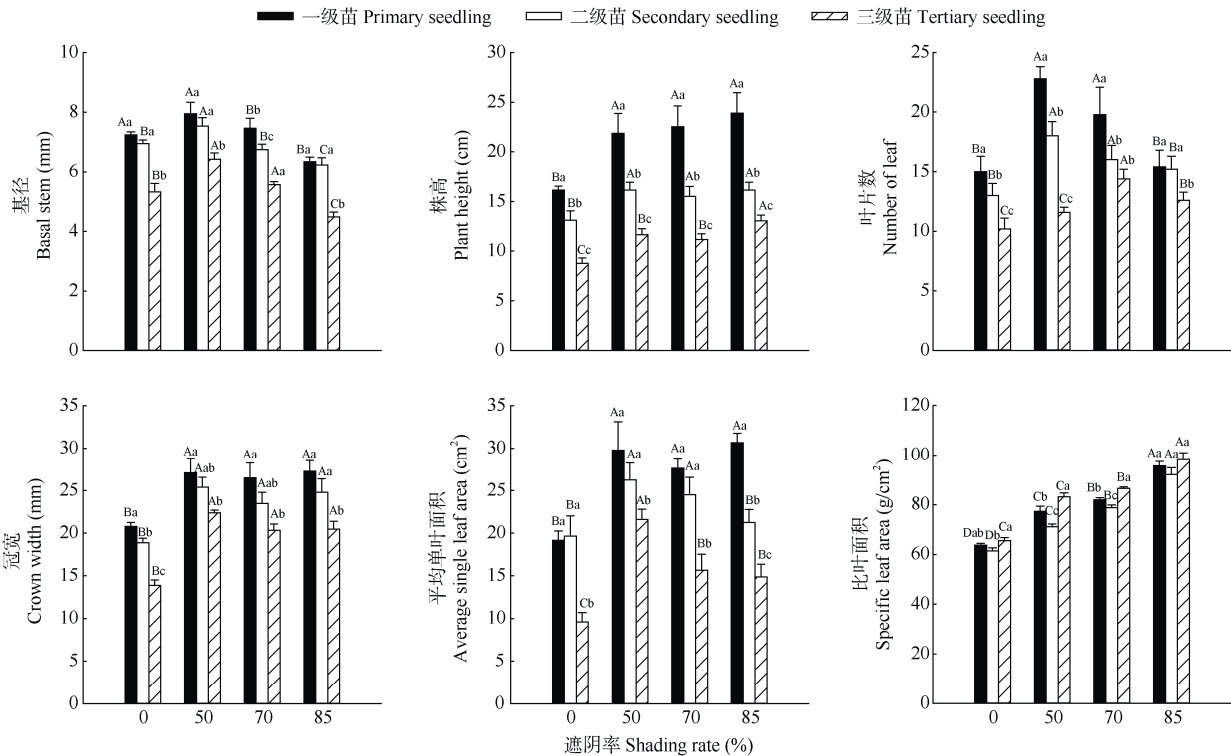


图 1 遮阴处理对地枫皮幼苗的地上部形态特性的影响。柱上不同大、小写字母分别表示同一等级种苗不同光强间和同一光强下不同等级种苗间差异显著( $P<0.05$ )。下同

Fig. 1 Effect of shading on above-ground morphological characteristics of *Illicium difengpi* seedlings. Different capital and small letters upon column indicate significant differences between different light intensities of the same class seedlings and between different classes of seedlings under the same light intensity at 0.05 level, respectively. The same below

理下, 幼苗的基径和叶片数均随遮阴程度增大呈先升后降的变化趋势, 除 III 级苗在 70% 遮阴处理下的叶片数最大外, I、II 级苗均在 50% 遮阴处理下最大; 各等级细苗在遮阴处理下的冠宽和株高均显著高于全光照, 且除 III 级苗 85% 遮阴处理下的株高显著高于其他遮阴处理外, 遮阴处理间的冠宽和株高均无显著差异; 遮阴处理的幼苗平均单叶面积均显著高于全光, 其中 I 级苗在 3 个遮阴处理间无显著差异, II、III 级苗的平均单叶面积均随遮阴比例增大总体呈先升后降的趋势; 比叶面积均随遮阴比例增大而显著降低。同一遮阴处理下, 幼苗的基径、叶片数、株高、冠宽和平均单叶面积均随幼苗等级呈显著增大趋势, 除 85% 遮阴处理下各等级幼苗的比叶面积无显著差异外, 比叶面积随幼苗等级呈显著降低趋势。

## 2.2 光强对幼苗地下部分形态特性的影响

光照强度显著影响地枫皮幼苗的地下部形态特征(图 2)。幼苗除 I 级苗在 50% 遮阴处理下的根长与全光处理间无显著差异外, 其余等级幼苗全光下的根长均显著高于遮阴处理; 幼苗根数均随遮阴程度增大呈先升后降的变化趋势, 且均以 50% 遮阴处理最大; 幼苗根粗均随遮阴程度增大总体呈先升后降的变化趋势, 且均以 50% 遮阴处理最大, 其中 II 级苗在 70%、50% 遮阴和全光处理, 以及 III 级苗在 70% 与 50% 遮阴处理间的差异不显著。同一遮阴处理下, 除全光处理下 3 等级幼苗间的根长无显著差异, 50% 遮阴处理下 I 级苗的根长和根粗显著大于 II 级苗外, 其余遮阴处理下 I、II 级苗间的根长和根粗均无显著差异, 且均显著大于 III 级苗; 遮阴处理下, 根数均随幼苗等级增大而显著增大。

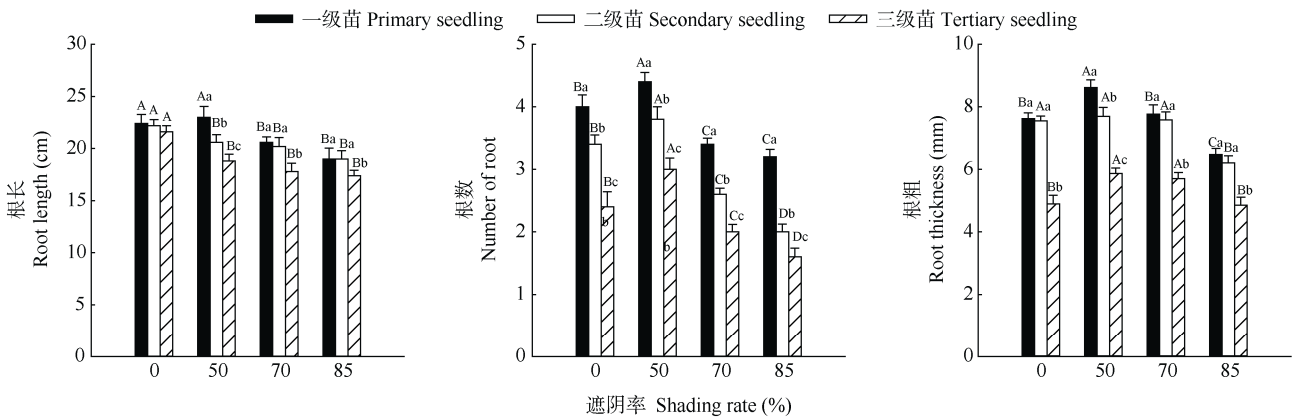


图 2 遮阴处理对地枫皮幼苗地下部形态特性的影响

Fig. 2 Effect of shading on underground morphological characteristics of *Illicium difengpi* seedlings

## 2.3 光强对幼苗生物量积累的影响

光照强度显著影响幼苗的各部位生物量和总生物量积累(图 3)。相同等级幼苗的根生物量、支持结构生物量、叶生物量和总生物量均随遮阴程度增大呈先升后降的变化趋势, 并均以 50% 遮阴处理最大。除全光下 I 级苗与 II 级苗根生物量无显著差异外, 其余遮阴处理下幼苗的根生物量、支持结构生物量、叶生物量和总生物量均随幼苗等级增大呈显著增大趋势。

## 2.4 光强对不同苗级幼苗生物量分配的影响

光照强度显著影响幼苗的生物量分配(图 4)。相同等级幼苗的根生物量比和根冠比均随遮阴程度增大而显著增大, 而叶生物量比均随光强增大而显著降低; I 级苗在 85% 遮阴处理的支持结构生物量

比显著高于其他遮阴处理, II、III 级苗在 70% 遮阴处理的支持结构生物量比显著高于其他遮阴处理。除 70% 遮阴处理下各等级幼苗间的根生物量比和根冠比均无显著差异外, 其他遮阴处理下 I 级苗的根生物量比和根冠比均显著低于 III 级苗; 除 70% 遮阴处理下 I 级苗的支持结构生物量比显著低于 II、III 级苗外, 其他遮阴处理的均显著高于 II、III 级苗; 除 50% 遮阴处理下 II 级苗的叶生物量比显著高于 I、III 级苗外, 其他遮阴处理下 3 个等级幼苗间的叶生物量比均无显著差异。

## 3 结论和讨论

光照在植物生长发育过程中起着关键性的作

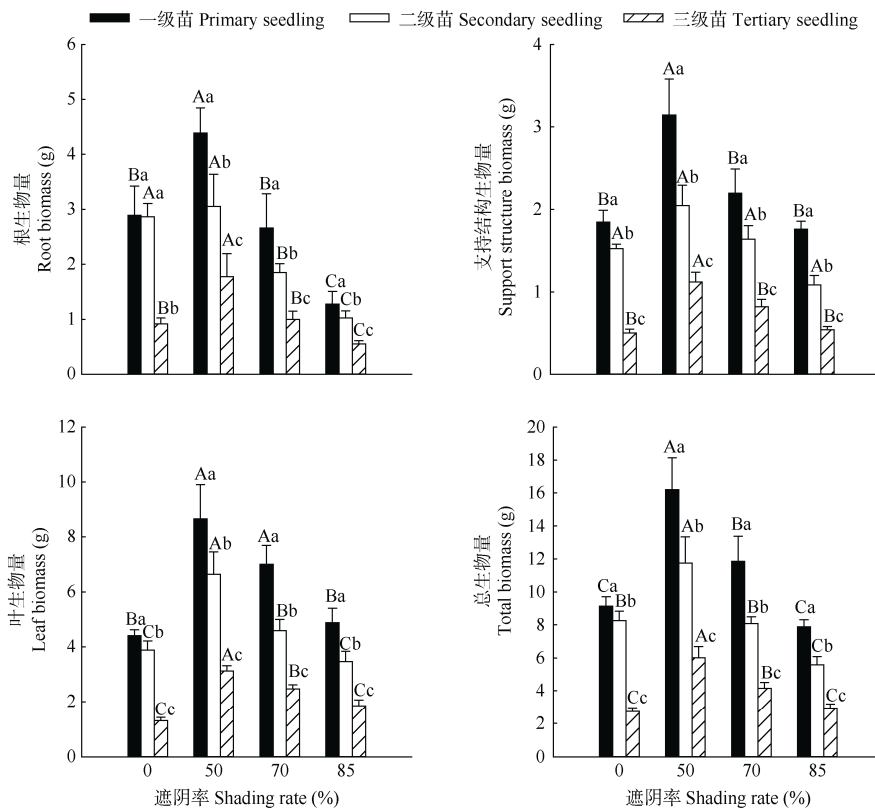


图 3 遮阴处理对地枫皮幼苗生物量的影响

Fig. 3 Effect of shading on biomass of *Illicium difengpi* seedlings

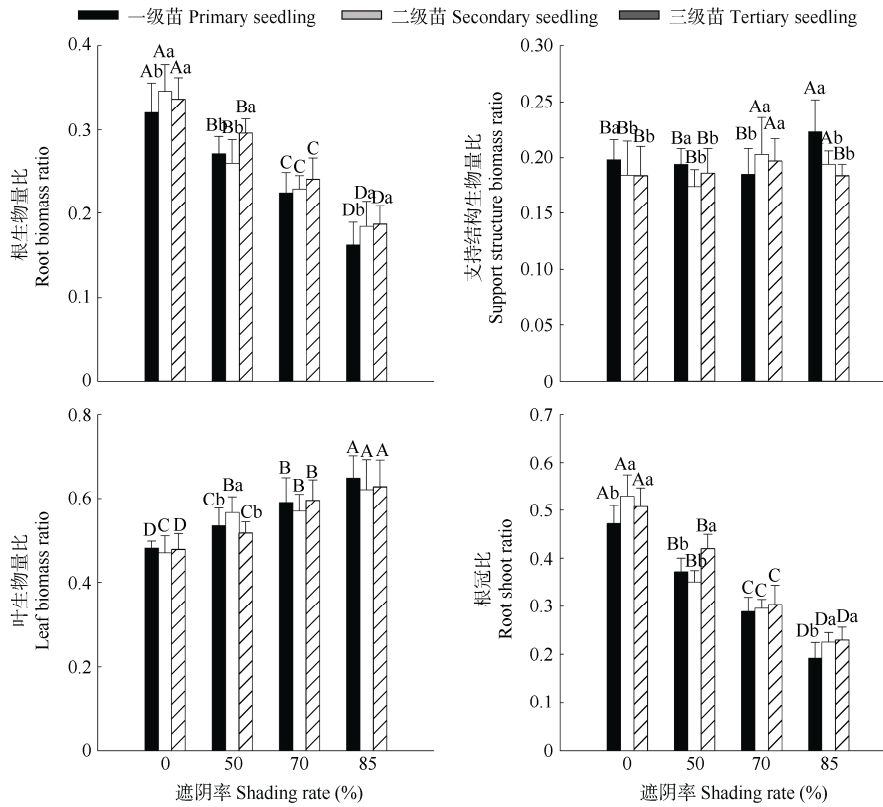


图 4 遮阴处理对地枫皮幼苗生物量分配比的影响

Fig. 4 Effect of shading on biomass allocation ratio of *Illicium difengpi* seedlings

用,是影响植物生长和形态的重要环境因子<sup>[18]</sup>。随着光照强度的变化,不同等级地枫皮幼苗的地上与地下形态特性都表现出一定的差异。从地上部形态来看,遮阴处理下各等级幼苗的株高、冠宽和平均单叶面积均显著高于全光照,同时各等级幼苗比叶面积均随遮阴程度增大而显著降低,这与前人<sup>[19-20]</sup>的研究结果一致。通常植物在弱光下增大株高和比叶面积以获取更多的光能,强光下减少光能吸收,以减轻或避免光抑制<sup>[21]</sup>。遮阴条件下地枫皮不同等级幼苗均通过增大株高、单叶面积和比叶面积来获取更多的光能,而强光下叶片变窄、变厚减少光能吸收,表明不同苗级地枫皮幼苗对强光和弱光均具有一定的地上部形态适应性。从地下部形态来看,除 I 级苗 50%遮阴处理外,全光下各等级地枫皮幼苗的根长均显著高于遮阴处理。全光下植物更易遭受水分胁迫,张金政等<sup>[22]</sup>研究表明干旱条件下植物生物量优先分配到地下,增强植物根系生长,利于吸收更多的水分以减小水分胁迫对植物造成的损伤。总体而言,不同等级地枫皮幼苗的形态参数对遮阴的响应趋势类似,遮阴处理的幼苗初始大小越大,其基径、叶片数、株高、冠宽和平均单叶面积越大,叶片越薄。

植物体的生物量分配受遗传特性和生长环境等多方面因素的影响,可以平衡植物的繁殖与生存,间接反映了植物的生活史对策<sup>[23-27]</sup>。光环境变化会对植物的生物量积累及其分配产生一定的影响,一般情况下,植物在弱光下的生物量、相对生长速率会变低<sup>[28]</sup>,但植物通常会通过生长与形态调节来适应不同的光照环境。有研究表明,当光强减弱时,幼苗的地上生物量分配会增加,以捕获更多的光能,强光下幼苗的地下生物量分配会增加,以增大水分的吸收<sup>[29]</sup>。本研究中光照强度对各级地枫皮幼苗的生物量分配均影响显著,随光照强度的增加,各级幼苗的根生物量比与根冠比显著增加、叶生物量比显著减少,这与前人<sup>[21,30]</sup>的研究结果类似。这表明强光下不同苗级地枫皮幼苗均减少对地上部分,尤其是叶片组织生物量的分配,增大对地下根系的分配,以减少光能吸收,增大水分和养分的吸收;弱光下增大叶片生物量投入,以增大光能的吸收,表明地枫皮幼苗对强光和弱光环境均表现出较强的生物量分配适应性。生物量是植物体物质和能量总量的集中体现,各光环境下,地枫皮幼苗的总生物量随着种苗大小的增加而显著增大,II 级

苗与 I 级苗差别较小,III 级苗生长较差。虽然地枫皮为生长在喀斯特山顶的阳生植物,但地枫皮幼苗在 50%遮阴林下生长最佳,全光照裸地不利于其幼苗生长,尤其对质量较差的幼苗影响更大。

地枫皮主要生长在喀斯特山顶裸露岩或林下<sup>[31]</sup>,喀斯特地区群落环境因子时空异质性高,加之自然生境中多重环境因子交互胁迫,加大了个体定居的难度。在水分正常供应的人工条件下,地枫皮在形态与生物量分配特性方面均表现较强的适应性,无论采用哪种大小种苗移栽,50%遮阴处理下幼苗的总生物量显著大于其它光强,70%遮阴处理次之。喀斯特山顶多裸地,强光、干旱和高温等多重环境因子交互胁迫,幼苗生长难度大;刘从等的研究表明,光照强度小于 20%时会显著抑制木本植物幼苗的生物量积累<sup>[32]</sup>,本研究中地枫皮各等级幼苗均在全光和 85%遮阴处理下生长最差,尤其是质量等级较差的幼苗。地枫皮在人工育苗条件下 I 级苗不到 10%,较差的种苗质量叠加喀斯特山顶恶劣环境,可能是导致其野外幼苗更新限制的重要原因。

本研究结果表明,50%遮阴处理下各苗级地枫皮幼苗的总生物量最大,且各遮阴处理下地枫皮种苗越大其生物量越大。因此,在人工育苗时,宜采用 50%左右透光率的遮阳网进行遮阴,并加强肥水管理以促进幼苗生长,从而获得更多高质量的种苗;野外回归和人工栽培时宜选用 I 级苗,且光强控制在 50%左右透光率为宜;对于未达到质量的幼苗,要继续培养至 I 级苗后再进行移栽。

## 参考文献

- [1] ZHOU G, XU W Z, WAN J, et al. Seasonal dynamics of energy and nutrients of *Pinus koraiensis* seedlings in different successional stages of broadleaved Korean pine forest in Changbai Mountain, China [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2021, 32(5): 1663-1672. [周光, 徐玮泽, 万静, 等. 长白山阔叶红松林不同演替阶段林下红松幼苗能量与养分季节动态 [J]. *应用生态学报*, 2021, 32(5): 1663-1672. doi: 10.13287/j.1001-9332.202105.001.]
- [2] GAO L, LI B, LIU W Y, et al. Inhibition effects of daughter ramets on parent of clonal plant *Eichhornia crassipes* [J]. *Aquat Bot*, 2013, 107: 47-53. doi: 10.1016/j.aquabot.2013.01.010.
- [3] CHENG J, LIU J M, WANG D, et al. Plastic response of the karst endemic plant *Juglans regia* L. f. *luodianense* seedlings to light intensity [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2021, 27(1): 23-30. [程晶, 刘济明, 王灯, 等. 喀斯特特有植物罗甸小米核桃幼苗对光照强度的可塑性



- 响应 [J]. 应用与环境生物学报, 2021, 27(1): 23–30. doi: 10.19675/j.cnki.1006-687x.2020.09012.]
- [4] SONG J, LI S F, LI S F, et al. Effects of shading on photosynthesis and anatomical structure in leaves of *Rhododendron* [J]. *Guihaia*, 2019, 39(6): 802–811. [宋杰, 李树发, 李世峰, 等. 遮阴对高山杜鹃叶片解剖和光合特性的影响 [J]. 广西植物, 2019, 39(6): 802–811. doi: 10.11931/guihaia.gxzw201806031.]
- [5] XU Z Q, HUANG X R, XU C L, et al. The impacts of light conditions on the growth and morphology of *Quercus mongolica* seedlings [J]. *Acta Ecol Sin*, 2009, 29(3): 1121–1128. [许中旗, 黄选瑞, 徐成立, 等. 光照条件对蒙古栎幼苗生长及形态特征的影响 [J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1121–1128. doi: 10.3321/j.issn:1000-0933.2009.03.008.]
- [6] GEHRING C A. Growth responses to arbuscular mycorrhizae by rain forest seedlings vary with light intensity and tree species [J]. *Plant Ecol*, 2003, 167(1): 127–139. doi: 10.1023/A:1023989610773.
- [7] URBAS P, ZOBEL K. Adaptive and inevitable morphological plasticity of three herbaceous species in a multi-species community: Field experiment with manipulated nutrients and light [J]. *Acta Oecol*, 2000, 21(2): 139–147. doi: 10.1016/S1146-609X(00)00115-6.
- [8] YANG J H, LI Y N, BU H Y, et al. Response of leaf traits of common broad-leaved woody plants to environmental factors on the eastern Qinghai-Xizang Plateau [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2019, 43(10): 863–876. [杨继鸿, 李亚楠, 卜海燕, 等. 青藏高原东缘常见阔叶木本植物叶片性状对环境因子的响应 [J]. 植物生态学报, 2019, 43(10): 863–876. doi: 10.17521/cjpe.2019.0174.]
- [9] ZHANG G C, ZHANG Z M, CI D W, et al. Effects of drought and salt stress on osmotic regulator and antioxidase activities [J]. *Acta Agric Boreali-Sin*, 2018, 33(3): 176–181. [张冠初, 张智猛, 慈敦伟, 等. 干旱和盐胁迫对花生渗透调节和抗氧化酶活性的影响 [J]. 华北农学报, 2018, 33(3): 176–181. doi: 10.7668/hbxb.2018.03.026.]
- [10] SUN J H, LIU B, GUO L P, et al. Significance of plant taxonomy in Chinese material medica resources: The changes of family and genus category and standardization of scientific names in *Chinese Pharmacopoeia* [J]. *Sci Sin Vitae*, 2021, 51(5): 579–593. [孙嘉惠, 刘冰, 郭兰萍, 等. 植物分类学于中药资源学的意义: 《中国药典》植物药材基源物种科属范畴变动考证及学名规范化研究 [J]. 中国科学: 生命科学, 2021, 51(5): 579–593. doi: 10.1360/SSV-2020-0345.]
- [11] SUN W B, YANG J, DAO Z L. Study and Conservation of Plant Species with Extremely Small Populations (PSESP) in Yunnan Province, China [M]. Beijing: Science Press, 2019: 103. [孙卫邦, 杨静, 刀志灵. 云南省极小种群野生植物研究与保护 [M]. 北京: 科学出版社, 2019: 103.]
- [12] KONG D X, LI Y Q, LIANG H L, et al. Anatomical features of vegetative organs and ecological adaptability of leaf structure of *Illicium difengpi* [J]. *Genom Appl Biol*, 2012, 31(3): 282–288. [孔德鑫, 李雁群, 梁惠凌, 等. 地枫皮营养器官解剖结构特征及其叶片结构的生态适应性 [J]. 基因组学与应用生物学, 2012, 31(3): 282–288. doi: 10.3969/gab.031.000282.]
- [13] Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China [M]. Beijing: Chinese Medical Science Press, 2010: 114. [国家药典委员会. 中国药典 [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2010: 114.]
- [14] HAN Y, WEI X, TANG H, et al. Effects of soil moisture on seed germination and early seedling growth of *Illicium difengpi* [J]. *Seed*, 2018, 37(7): 10–15. [韩愈, 韦霄, 唐辉, 等. 土壤水分对地枫皮种子萌发与早期幼苗生长的影响 [J]. 种子, 2018, 37(7): 10–15. doi: 10.16590/j.cnki.1001-4705.2018.07.010.]
- [15] WANG M L, KONG D X, ZOU R, et al. Effect of different soil conditions on the growth and biomass allocation of *Illicium difengpi* K. I. B. et K. I. M seedlings [J]. *Crops*, 2013(3): 67–71. [王满莲, 孔德鑫, 邹蓉, 等. 不同土壤环境对地枫皮幼苗生长和生物量分配的影响 [J]. 作物杂志, 2013(3): 67–71. doi: 10.16035/j.issn.1001-7283.2013.03.019.]
- [16] YANG F D, LUO W R, CUI Z J, et al. *Codonopsis pilosula* seedlings grading standards [J]. *Lishizhen Med Mat Med Res*, 2017, 28(2): 452–454. [杨扶德, 罗文蓉, 崔治家, 等. 白条党参种苗的等级划分标准研究 [J]. 时珍国医国药, 2017, 28(2): 452–454.]
- [17] ZHU H J. Study on the key technique of *Carya illinoensis* containerized seedling [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2016. [朱海军. 薄壳山核桃容器苗培育关键技术研究 [D]. 南京: 南京林业大学, 2016.]
- [18] LI P, ZHUANG Q Y. Diurnal changes of photosynthetic characteristics of 3 giant *Alcantarea* exposure to summer sunlight and their relationship with environmental factors [J]. *Chin J Trop Crops*, 2021, 42(9): 2579–2586. [李萍, 庄秋怡. 夏季全光照下3种大型卷瓣凤梨属植物光合日变化特征及与环境因子的关系 [J]. 热带作物学报, 2021, 42(9): 2579–2586. doi: 10.3969/j.issn.1000-2561.2021.09.019.]
- [19] WANG J, KUANG S B, ZHOU P, et al. Agronomic and quality traits of two-year-old *Panax notoginseng* response to environmental light intensity [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2018, 26(4): 375–382. [王静, 匡双便, 周平, 等. 二年生三七农艺和质量性状对环境光强的响应特征 [J]. 热带亚热带植物学报, 2018, 26(4): 375–382. doi: 10.11926/jtsb.3844.]
- [20] ZHANG Y Y, YU T, MA W B, et al. Physiological and morphological effects of different canopy densities on reintroduced *Acer catalpifolium* [J]. *Biodiv Sci*, 2020, 28(3): 323–332. [张宇阳, 于涛, 马文宝, 等. 不同郁闭度对野外回归的梓叶槭幼树形态和生理特征的影响 [J]. 生物多样性, 2020, 28(3): 323–332. doi: 10.17520/biods.2019190.]



- [21] WANG M L, WEI X, TANG H, et al. Effects of light intensity on growth and photosynthesis of three karst plant seedlings [J]. *Chin J Ecol*, 2015, 34(3): 604–610. [王满莲, 韦霄, 唐辉, 等. 光强对三种喀斯特植物幼苗生长和光合特性的影响 [J]. *生态学杂志*, 2015, 34(3): 604–610. doi: 10.13292/j.1000-4890.2015.0083.]
- [22] ZHANG J Z, ZHANG Q Y, SUN G F, et al. Effects of drought stress and re-watering on growth and photosynthesis of *Hosta* [J]. *Acta Pratacul Sin*, 2014, 23(1): 167–176. [张金政, 张起源, 孙国峰, 等. 干旱胁迫及复水对玉簪生长和光合作用的影响 [J]. *草业学报*, 2014, 23(1): 167–176. doi: 10.11686/cyxb20140120.]
- [23] SIGEE D C, BAHRAMI F, ESTRADA B, et al. The influence of phosphorus availability on carbon allocation and P quota in *Scenedesmus subspicatus*: A synchrotron-based FTIR analysis [J]. *Phycologia*, 2007, 46(5): 583–592. doi: 10.2216/07-14.1.
- [24] VERDÚ M, TRAVESET A. Early emergence enhances plant fitness: A phylogenetically controlled meta-analysis [J]. *Ecology*, 2005, 86(6): 1385–1394. doi: 10.1890/04-1647.
- [25] WEINER J. Allocation, plasticity and allometry in plants [J]. *Perspect Plant Ecol Evol Syst*, 2004, 6(4): 207–215. doi: 10.1078/1433-8319-00083.
- [26] ZUO Y L, WANG Z M, XI X Q, et al. Plant biomass allocation strategies of the dominant species in an alpine meadow of northwestern Sichuan, China [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2018, 24(6): 1195–1203. [左有璐, 王振孟, 习新强, 等. 川西北高寒草甸优势植物生物量分配对策 [J]. *应用与环境生物学报*, 2018, 24(6): 1195–1203. doi: 10.19675/j.cnki.1006-687x.2018.03030.]
- [27] POLLOCK L J, MORRIS W K, VESK P A. The role of functional traits in species distributions revealed through a hierarchical model [J]. *Ecography*, 2012, 35(8): 716–725. doi: 10.1111/j.1600-0587.2011.07085.x.
- [28] XUE Q, CHEN B, YANG X M, et al. Biomass allocation, water use characteristics, and photosynthetic light response of four Commelinaceae plants under different light intensities [J]. *Acta Pratacul Sin*, 2022, 31(1): 69–80. [薛晴, 陈斌, 杨小梅, 等. 不同光强下 4 种鸭跖草科植物的生物量分配、水分生理及光响应特征 [J]. *草业学报*, 2022, 31(1): 69–80. doi: 10.11686/cyxb2021250.]
- [29] LIU B R, LIAO B W. The physio-ecological response of *Acanthus ilicifolius* seedlings to different degrees of light intensity in tide environment [J]. *For Res*, 2013, 26(2): 192–199. [刘滨尔, 廖宝文. 老鼠簕幼苗在潮汐环境下对不同光强的生理生态响应 [J]. *林业科学研究*, 2013, 26(2): 192–199. doi: 10.13275/j.cnki.lykxyj.2013.02.013.]
- [30] TAN S J, LI T, YU S R, et al. Effects of light intensity on growth and biomass allocation of seedlings of the eight mangrove species [J]. *Ecol Sci*, 2020, 39(3): 139–146. [谭淑娟, 李婷, 余素睿, 等. 光照强度对 8 种红树植物幼苗生长和生物量分配的影响 [J]. *生态科学*, 2020, 39(3): 139–146. doi: 10.14108/j.cnki.1008-8873.2020.03.019.]
- [31] TANG H, SHI Y C, KONG D X, et al. Investigation on the wild germplasm resources and geographical distribution of *Illicium difengpi*, a limestone endemic plant [J]. *Guangdong Agric Sci*, 2011, 38(12): 113–117. [唐辉, 史艳财, 孔德鑫, 等. 岩溶特有植物地枫皮的种质资源调查及地理分布 [J]. *广东农业科学*, 2011, 38(12): 113–117. doi: 10.16768/j.issn.1004-874x.2011.12.048.]
- [32] LIU C, TIAN T, LI S, et al. Growth response of Chinese woody plant seedlings to different light intensities [J]. *Acta Ecol Sin*, 2018, 38(2): 518–527. [刘从, 田甜, 李珊, 等. 中国木本植物幼苗生长对光照强度的响应 [J]. *生态学报*, 2018, 38(2): 518–527. doi: 10.5846/stxb201611012221.]