



橡胶树大筒苗培育方法VII. 遮阴率的筛选

周珺, 陈健, 黄坚, 王新燕, 王军

引用本文:

周,陈健,黄坚,王新燕,王军. 橡胶树大筒苗培育方法VII. 遮阴率的筛选[J]. *热带亚热带植物学报*, 2024, 32(2): 229–236.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4726>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

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>

3种四照花一年生播种苗生长规律初探

Annual Growth Rhythm of 1-year-old Seedlings of Three *Cornus* Species

热带亚热带植物学报. 2020, 28(4): 367–374 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4166>

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>

红苞凤梨实时荧光定量PCR分析中内参基因的筛选

Screening of Reference Genes in *Ananas comosus* var. *bracteatus* for qRT-PCR

热带亚热带植物学报. 2017, 25(3): 250–256 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3659>

不同种源/家系山鸡椒苗期生长性状遗传变异

Genetic Variation of Seedling Growth of *Litsea cubeba* from Different Provenances/families

热带亚热带植物学报. 2018, 26(1): 47–55 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3785>

向下翻页，浏览PDF全文

橡胶树大筒苗培育方法 VII. 遮阴率的筛选

周珺^{1,2}, 陈健¹, 黄坚¹, 王新燕¹, 王军^{1,2}

(1. 中国热带农业科学院橡胶研究所, 海口 571101; 2. 农业农村部儋州热带作物科学观测试验站, 海南 儋州 571737)

摘要: 为了解不同遮阴环境下橡胶树(*Hevea brasiliensis*)大筒苗的生长及光合特性, 明确大筒苗生长的适宜光照环境, 以小苗芽接苗和组培苗为胚苗的橡胶树大筒苗为材料, 设置 5 个遮阴处理: CK (全光照), S60、S70、S80 和 S90 (分别为 60%、70%、80%、90%遮阴率), 观测其出圃时的生长指标和光合参数变化情况。结果表明, 不同遮阴率对橡胶树大筒苗的生长、光合参数及出圃时顶蓬叶的叶面积和叶绿素相对含量均有极显著影响, 且 2 种胚苗间差异显著。大筒苗的壮苗指数随遮阴率的增加呈现先增后降的趋势; 与全光照相比, 遮阴显著影响大筒苗的出圃率, 但对定植成活率的影响较小; 胚苗类型与遮阴处理的交互作用明显。全光照和过度遮阴(S90)均会明显抑制大筒苗的生长, 不同胚苗的大筒苗最适遮阴率不同, 小苗芽接苗大筒苗在 S60、组培大筒苗在 S80 下的生长表现最好。因此, 橡胶树大筒苗培育时应根据不同的胚苗类型选择适宜的遮阴措施。

关键词: 橡胶树; 大筒苗; 遮阴; 生长; 光合特性

doi: 10.11926/jtsb.4726

Cultivation Method of *Hevea brasiliensis* Large Polytube-raised Buddings VII. Screening of Shading Rate

ZHOU Jun^{1,2}, CHEN Jian¹, HUANG Jian¹, WANG Xinyan¹, WANG Jun^{1,2}

(1. Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, China; 2. Danzhou Investigation & Experiment Station of Tropical Crops, Ministry of Agriculture and Rural Areas, Danzhou 571737, Hainan, China)

Abstract: To understand the growth and photosynthetic characteristics of large polytube-raised buddings of *Hevea brasiliensis* under different shading environments, and to determine the appropriate light environment for the growth of large polytube-raised buddings, five shading were set, including CK (full light), S60, S70, S80 and S90 (60%, 70%, 80% and 90% shading rate, respectively), to observe the growth index and photosynthetic parameters changes. The results showed that different shading rates had significant effects on the growth, photosynthetic parameters, leaf area and relative content of chlorophyll of top-leaf-whorls of large polytube-raised buddings of *H. brasiliensis*, and there were significant differences between the two types of embryo seedlings. The vigorous seedling index of large polytube-raised buddings increased at first and then decreased with the increase of shading rate. Compared with full light, shading significantly affected the out-nursery rate of large polytube-raised buddings, but had little effect on the survival of planting. The interaction between embryo seedling type and shading was obvious. Full light (CK) and excessive shading (S90) could significantly inhibit the growth of large polytube-raised buddings. The optimal shading rate of large polytube-raised buddings was different among different embryo seedlings. The growth performance of small seedling buds under S60 and tissue culture seedlings under S80 was the best. Therefore, appropriate shading measures should be selected according to embryo seedling types during the cultivation of large polytube-raised buddings of rubber trees.

Key words: *Hevea brasiliensis*; Large polytube-raised budding; Shade; Growth; Photosynthetic characteristics

收稿日期: 2022-09-13 接受日期: 2022-11-11

基金项目: 海南省自然科学基金项目(321RC655); 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-33-YZ4)资助

This work was supported by the Project for Natural Science in Hainan (Grant No. 321RC655), the Project for Modern Agricultural Industrial Technology System Construction (Grant No. CARS-33-YZ4).

作者简介: 周珺(1981年生), 女, 博士, 副研究员, 研究方向为橡胶树种苗繁育技术研发与试种示范推广。E-mail: zhoujun@catas.cn#

天然橡胶制品已达 7 万多种,广泛应用于工业、国防、交通、民生、医药、卫生等领域,在保障国民经济运行方面是具有良好综合性能的可再生资源,在保护国家安全的军工、航天航空等领域更具有不可替代性。橡胶树(*Hevea brasiliensis*)是目前商业化种植面积最大和生产天然橡胶最多的植物,占据了世界天然橡胶总产量的 99%以上^[1-2]。《国务院关于建立粮食生产功能区和重要农产品生产保护区的指导意见》提出,要以海南、云南、广东为重点,划定天然橡胶生产保护区 $1.20 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。《“十四五”天然橡胶生产能力建设规划》中明确提出,到 2025 年我国天然橡胶种植面积达到 $1.17 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。而根据 2019 年的统计数据,我国天然橡胶种植面积为 $1.15 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ^[1-4]。可见,近 3 年尚有 $2 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 的新植胶园缺口,若按 495 ind./hm^2 计,约有 1.0×10^7 株的橡胶树种苗需求量。橡胶树大筒苗^[5-9]是控根培养的容器大苗,可在 1 a 内培育出 6 蓬叶以上、株高约 2 m、茎粗 1.8 cm、定植成活率 97%以上,兼具高截干和筒育苗的优势,预计可缩短橡胶树非生产期或提早开割约 1.5~2 a,是我们团队根据天然橡胶的产业发展需求近期研发的新型种植材料。前期已对其育苗基质、砧木材料、悬空高度等^[7-9]方面的技术措施进行报道,但对培育大筒苗的光照环境还未进行研究。

光照是植物生长的必需环境因子,不同植物的光照需求不同,强光或弱光环境均有可能抑制植物的生长发育。橡胶树是一种喜阳又耐阴的植物,在全光照下能生长良好,而年日照时数为 1 750~2 650 h 更有利于生长。适宜的光照条件有利于橡胶树代谢和养分的积累,橡胶树茎粗增长快,株高差异不显著,原生皮和再生皮生长快,乳管列数相应增多,产胶能力强^[10]。有研究表明^[11],橡胶树籽苗芽接砧木苗在第 2 或第 3 蓬叶稳定时,打顶后进行光强为 $18 \sim 22 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的夜间补光,籽苗芽接苗 24 h 都能进行光合作用,光合产物为接穗第 1 蓬叶的生长提供能量,实现了苗木强壮、接穗回枯和死亡率低,成苗率高达 92.6%以上,解决了橡胶树籽苗芽接育苗过程中抹芽工作繁琐和费时费力的缺陷。陈青等^[12]的试验表明,50%和 70%遮阴率的橡胶树组培小筒苗长势弱于全光照,遮阴率为 80%~90%的重度遮阴比较适合橡胶树组培小筒苗生长。海南植胶区^[13]地处热带,夏季天气炎热,太阳直射强,光照时间长,可能会抑制橡胶树幼苗的生长。因此,本研究

以橡胶树小苗芽接苗和组培苗为胚苗,以全光照为对照,设置 4 个不同遮阴率的阴棚来筛选适宜这 2 种胚苗的大筒苗遮阴率,为今后橡胶树容器大苗的培育提供数据支撑,以期缩短胶园的更新周期和提高建设效率给予技术指导。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验在中国热带农业科学院橡胶研究所栽培保护性基地进行,基地隶属海南省儋州市, $109^{\circ}29' \text{ E}$, $19^{\circ}30' \text{ N}$, 海拔 115 m。属热带季风气候,年平均气温约为 $23.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 年均降水量为 1 815 mm, 年平均风速为 1~4 m/s, 全年日照时数 2 072 h, 夏无酷暑、冬无严寒、阳光充足、雨量充沛,是天然橡胶生产保护区和橡胶树种植适宜区^[4,10]。

1.2 试验材料和设计

试验所用的育苗基质^[5]为泥炭土和椰糠的混合料;育苗容器为自主设计的中空锥形筒(简称育苗筒:上口径 15 cm、下口径 2 cm、高 55 cm)及配套支架^[5-6];胚苗为苗圃内自主培育的 RY73397 品种。采用双因素试验设计,2 种胚苗类型:小苗芽接苗(以下简称小苗)和组培苗;5 种遮阴率处理:CK(全光照),S60、S70、S80 和 S90 分别为盖有 60%、70%、80%、90%商购黑色遮阴网的阴棚^[12]。

在育苗筒中装填好育苗基质后随机抽取 30 筒称重,取平均值为基质重;再成列悬空摆放^[9]于不同遮阴率的阴棚下,选取芽接成活的小苗芽接苗和经过砂床炼苗后的组培苗移栽于育苗筒中,每种胚苗和每种遮阴率均设 3 个重复,每个重复 75 株苗。

1.3 方法

生长指标测定 2021 年 7 月大筒苗出圃前叶蓬物候稳定时选取 10 株大筒苗,用卷尺测量株高,数显游标卡尺测量茎粗,并统计叶蓬数和称量苗筒总重。生物量为苗筒总重减去基质重,大筒苗的出圃率为出圃株数占育苗总株数的百分比,定植成活率为定植成活株数占定植总株数的百分比;壮苗指数^[7,14]=(茎围/株高)×总鲜重×10。

光合指标测定 大筒苗出圃前对顶蓬叶进行光合指标测定,每重复测定 10 株,共 30 株,取平均值。选取叶蓬中间部位的三出复叶测量叶绿素相对含量(SPAD)和叶面积,每株测 5 片复叶;再从中选取中间小叶进行光合指标的观测。叶片 SPAD

值用 SPAD-502 叶绿素仪测量, 叶面积用 LI-3000C 便携式叶面积仪测量; 采用 LI-6800 光合-荧光全自动测量系统(Li-COR, 美国)选择 LED 红蓝光源叶室 (2 cm×3 cm), 光合有效辐射(photosynthetically active radiation, PAR)设置为 1 200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, 气体流速设定为 500 $\mu\text{mol}/\text{s}$, 采用加湿剂和干燥剂、苏打管和 CO_2 小钢瓶控制叶室湿度 70%、温度 30 $^\circ\text{C}$ 和 CO_2 浓度 400 $\mu\text{mol}/\text{mol}$, 于 2021 年 7 月(天气晴朗)的 8:30—11:30 测量净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、胞间二氧化碳浓度(Ci)、气孔导度(Gs)等光合指标, 以 Pn 与 Tr 的比值计算瞬时水分利用效率(water use efficiency, WUE)。

1.4 数据的统计分析

采用 WPS Office 进行数据整理、图表制作, DPS 19.05 高级版随机区组设计的双因素试验统计, Duncan's 新复极差法进行方差分析和显著性比较, Pearson 相关性分析, 出圃率和定植成活率等用反正旋转换后再进行分析。

2 结果和分析

2.1 大筒苗的生长表现

不同光照条件下大筒苗的株高、茎粗、叶蓬数和生物量存在差异(表 1)。S60 处理的小苗大筒苗株高显著高于 S90 和 CK ($P<0.05$, 下同); S60、S70 和 S80 处理的茎粗显著大于 CK 和 S90; S60 的叶蓬数显著多于 CK、S80 和 S90, 但与 S70 差异不显著; 各处理间的生物量有显著差异, S60 的最高, 是 CK 和 S90 的 2 倍多; 出圃时顶蓬叶的叶面积(图 1)表现为 S60 比 CK 大约 37 cm^2 , 具有显著差异, 其余处理间均差异不显著。S80 处理的组培大筒苗的株高

显著高于 S60 和 CK; S70、S80 和 S90 处理的茎粗显著大于 CK 和 S60; S60 比 S90 多生长 1 蓬叶, 其余处理间的叶蓬数差异不显著; 各处理间的生物量有显著差异, S80 最高, 约是 CK 和 S90 的 2.5 倍; 遮阴处理的叶面积均显著大于 CK。这说明, 不同遮阴率对大筒苗的高生长、茎增粗、叶蓬抽生、整株生物量和叶面积均有显著影响, 适度遮阴(S60 和 S80)有利于小苗和组培大筒苗的生长, 全光照或过度遮阴均阻碍其生长, 尤其是过度遮阴显著阻碍组培大筒苗生物量的积累。

壮苗指数作为评价苗木质量的量化指标, 可以间接反映苗木生长的健壮程度。橡胶树大筒苗的壮苗指数(图 1)在不同遮阴率间具有显著差异, S60 的小苗大筒苗壮苗指数最高, 其次是 S70 和 S80, 较低的是 CK 和 S90; 组培大筒苗的壮苗指数以 S80 最高, 其次是 S70 和 S60, 较低的是 CK 和 S90。这说明适度遮阴有利于提高大筒苗的壮苗指数, 如遮阴率为 S60 的小苗大筒苗和 S80 的组培大筒苗壮苗指数较高, 苗木生长也较为健壮。

2.2 生长参数的双因素方差分析

由表 2 可见, 大筒苗的株高、茎粗、叶蓬数、生物量、壮苗指数和出圃时顶蓬叶的叶面积在不同遮阴处理间均存在极显著差异($P<0.01$, 下同); 不同胚苗的茎粗、叶蓬数、生物量、壮苗指数也表现出极显著差异, 叶面积为显著差异; 不同胚苗与遮阴处理的交互作用对大筒苗的株高有显著影响, 对茎粗、生物量、壮苗指数和叶面积有极显著影响; 不同胚苗间的株高无显著差异, 不同胚苗与遮阴处理对叶蓬数无显著交互作用。

2.3 大筒苗的光合特征参数变化

遮阴对大筒苗的光合特征参数均比 CK 有所提

表 1 不同遮阴处理下大筒苗的生长参数

Table 1 Effect of shading on growth of large polytube-raised buddings

| 遮阴 Shading | 株高 Plant height (cm) | | 茎粗 Stem diameter (mm) | | 叶蓬数 Leaf-whorl number | | 生物量 Biomass (g) | |
|---------------|----------------------|---------------|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------------|--------------|
| | SS | TS | SS | TS | SS | TS | SS | TS |
| CK | 133.90±5.42c | 126.20±6.45c | 11.50±0.09b | 10.59±0.30c | 3.80±0.08b | 5.47±0.18ab | 288.50±4.93e | 278.67±6.51d |
| S60 | 155.53±4.98a | 140.40±2.20b | 12.48±0.33a | 11.39±0.26b | 4.57±0.11a | 6.07±0.18a | 671.67±4.13a | 418.67±2.17c |
| S70 | 150.13±3.60ab | 150.27±5.95ab | 12.38±0.37a | 12.01±0.17a | 4.20±0.02ab | 5.57±0.16ab | 597.33±4.75b | 560.17±4.69b |
| S80 | 145.60±8.82abc | 152.60±3.77a | 12.30±0.08a | 11.95±0.22a | 3.97±0.33b | 5.57±0.36ab | 527.17±4.27c | 665.70±5.72a |
| S90 | 140.17±4.05bc | 144.03±6.68ab | 11.50±0.34b | 11.87±0.12a | 3.90±0.24b | 4.97±0.72b | 314.70±5.13d | 259.47±5.30c |

SS: 小苗; TS: 组培苗; CK: 全光照; S60、S70、S80、S90 分别为 60%、70%、80%、90%遮阴率; 同列数据后不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下同

SS: Small seedling; TS: Tissue culture seedling; CK: Full light; S60, S70, S80, S90 are shading rates of 60%, 70%, 80% and 90%, respectively. Data followed different letters within column indicate significant difference at 0.05 level. The same below

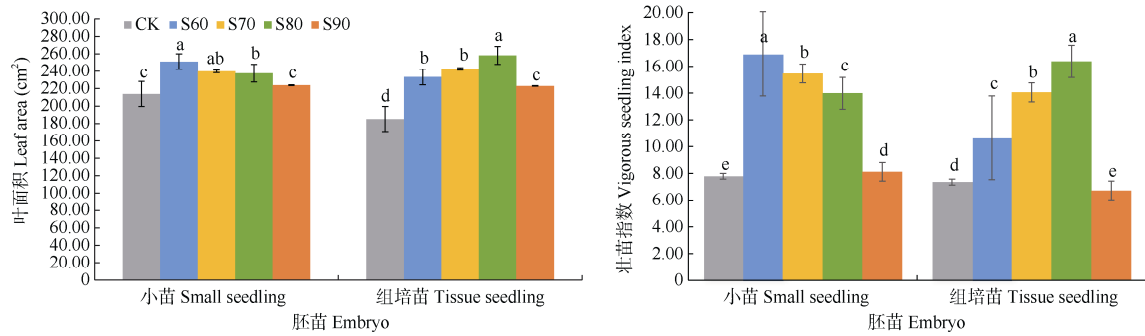


图 1 不同遮阴处理下大筒苗的叶面积和壮苗指数。柱上不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下同

Fig. 1 Leaf area and vigorous seedling index of large polytube-raised buddings under shading. Different letters upon column indicate significant difference at 0.05 level. The same below

表 2 不同遮阴下大筒苗生长参数双因素方差分析

Table 2 Two-Way ANOVA analysis of growth parameters of two embryo seedlings of large poly-tube-raised saplings in different shading environments

| 变异来源 Source of variation | 自由度 df | 株高 Plant height | 茎粗 Stem diameter | 叶蓬数 Leaf-whorl number | 生物量 Biomass | 叶面积 Leaf area | 壮苗指数 Vigorous seedling index |
|-------------------------------|-----------|--------------------|---------------------|--------------------------|----------------|------------------|---------------------------------|
| 胚苗类型 Embryo seedling type (A) | 1 | 1.11 | 18.92** | 151.48** | 447.03** | 5.77* | 707.38** |
| 遮阴率 Shading rate (B) | 4 | 11.07** | 14.82** | 6.38** | 4 806.29** | 77.64** | 4 277.72** |
| A×B | 4 | 3.22* | 5.68** | 0.82 | 932.18** | 17.97** | 680.69** |

*: $P<0.05$; **: $P<0.01$ 。下同

*: $P<0.05$; **: $P<0.01$. The same below

高(表 3 和图 2)。小苗大筒苗的 Tr 表现为 S60 和 S70 最高, S80 次之, S90 和 CK 最低; Pn、Ci、Gs 和叶片 SPAD 值均表现为遮阴处理的显著高于 CK, 且各遮阴处理间差异不显著; S90 和 CK 的 WUE 最高, 其次是 S80, S60 和 S70 较低。组培大筒苗的 Tr、Ci 和 Gs 均表现为 S60 显著高于其他遮阴处理和 CK, 且其他遮阴处理间差异不显著; Pn 则表现为 S60 和 CK 间无显著差异, 且均小于 S80; S80 和 S90 的 WUE 最高, 其次是 CK 和 S70, S60 最低; 叶片 SPAD 值为 S80 最高, 处理间也具有显著差异。这说明全光照和过度遮阴(S90)会影响小苗大筒苗的蒸腾作用和气孔开合, 从而影响其他光合参数的

变化; 遮阴处理均促进了组培大筒苗的光合作用, 尤其是 S80 对 Pn 的促进作用较显著。不同遮阴率对大筒苗 WUE 的影响不同, 不同胚苗的也不同, 但遮阴均显著提高了大筒苗顶蓬叶的叶片 SPAD 值。

2.4 大筒苗光合参数的双因素方差分析

由表 4 的双因素方差分析结果显示, 大筒苗的 Tr、Pn、Ci、Gs、WUE 和叶片 SPAD 值等光合参数在不同遮阴处理间均存在极显著差异, Tr、Ci、Gs、WUE 和叶片 SPAD 值在不同胚苗间也表现出极显著差异, Tr、Ci、Gs 和 WUE 在不同胚苗与遮阴处理的交互作用也有极显著的影响; 但不同胚苗间的 Pn 无明显差异, 不同胚苗与遮阴处理对 Pn 和叶片

表 3 不同遮阴处理下大筒苗的光合参数

Table 3 Effect of shading rate on photosynthetic parameters of large polytube-raised buddings

| 遮阴 Shading | Tr [mmol/(m²·s)] | | Pn [μ mol/(m²·s)] | | Ci (μ mol/mol) | | Gs [mmol/(m²·s)] | |
|---------------|------------------|------------|------------------------|-------------|---------------------|--------------|------------------|--------------|
| | SS | TS | SS | TS | SS | TS | SS | TS |
| CK | 2.52±0.40c | 2.46±0.29b | 7.73±0.80b | 7.84±0.22c | 237.37±2.72b | 238.55±7.31c | 0.109±0.008c | 0.107±0.020c |
| S60 | 6.37±0.65a | 6.32±0.20a | 9.74±0.47a | 8.45±0.46bc | 272.17±6.19a | 281.05±5.81a | 0.227±0.005a | 0.218±0.017a |
| S70 | 5.62±0.22a | 2.94±0.15b | 9.17±0.35a | 9.27±0.43ab | 275.66±4.81a | 262.14±1.85b | 0.260±0.050a | 0.148±0.018b |
| S80 | 3.94±0.31b | 2.74±0.35b | 9.00±0.30a | 10.00±1.05a | 278.10±6.51a | 257.83±1.24b | 0.205±0.026ab | 0.148±0.004b |
| S90 | 2.85±0.45c | 2.58±0.08b | 9.06±0.56a | 9.25±0.10ab | 269.65±8.09a | 252.61±3.30b | 0.164±0.026bc | 0.144±0.009b |

Tr: 蒸腾速率; Pn: 净光合速率; Ci: 胞间 CO₂ 浓度; Gs: 气孔导度。下同

Tr: Transpiration rate; Pn: Net photosynthetic rate; Ci: Intercellular CO₂ concentration; Gs: Stomatal conductance. The same below

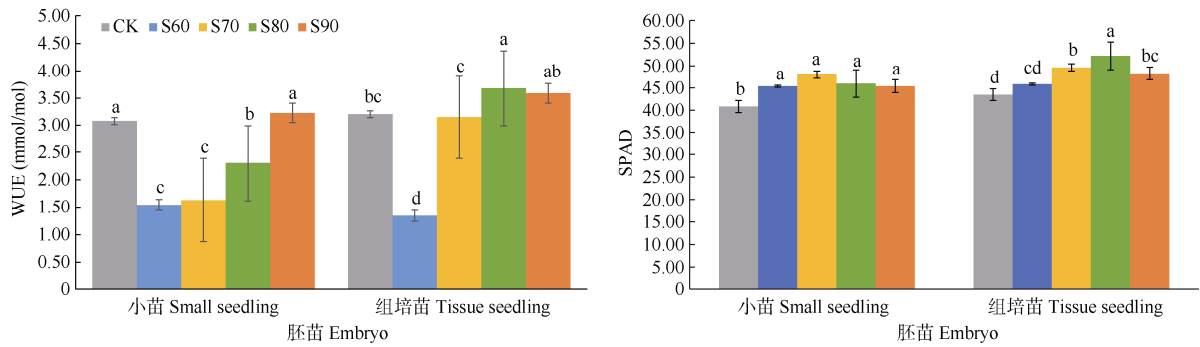


图 2 遮阴处理下大筒苗的 WUE 和叶片 SPAD 值。WUE: 瞬时水分利用效率; SPAD: 叶绿素相对含量。下同

Fig. 2 WUE and leaf SPAD value of large polytube-raised buddings under shading. WUE: Water use efficiency; SPAD: Chlorophyll SPAD value. The same below

表 4 不同遮阴下大筒苗光合参数双因素方差分析

Table 4 Two-Way ANOVA analysis of photosynthetic parameters of large polytube-raised buddings under different shading rate

| 变异来源 | Source of variation | 自由度 | df | Tr | Pn | Ci | Gs | WUE | SPAD |
|------|--------------------------|-----|----|----------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 胚苗类型 | Embryo seedling type (A) | 1 | | 38.98** | 0.01 | 15.58** | 19.51** | 59.40** | 20.31** |
| 遮阴率 | Shading rate (B) | 4 | | 105.32** | 7.55** | 40.97** | 19.88** | 72.35** | 16.97** |
| A×B | | 4 | | 13.66** | 2.88 | 7.40** | 5.09** | 17.32** | 2.44 |

SPAD 值的交互作用也不明显。

2.5 大筒苗的出圃及定植表现

从图 3 可见, CK 和 S60 处理的小苗大筒苗出圃率最高, S70、S80、S90 较低, 差异显著; 定植成活率均在 98% 以上, S70 和 S90 达 100%, 显著

高于 CK 和 S80。组培大筒苗的出圃率是 CK 显著低于遮阴处理, 遮阴处理间无显著差异; CK 的定植成活率显著高于 S80 和 S90。这说明遮阴的小苗大筒苗出圃率有所降低、组培苗的出圃率却有所增加, 但对定植成活率的影响均不显著。

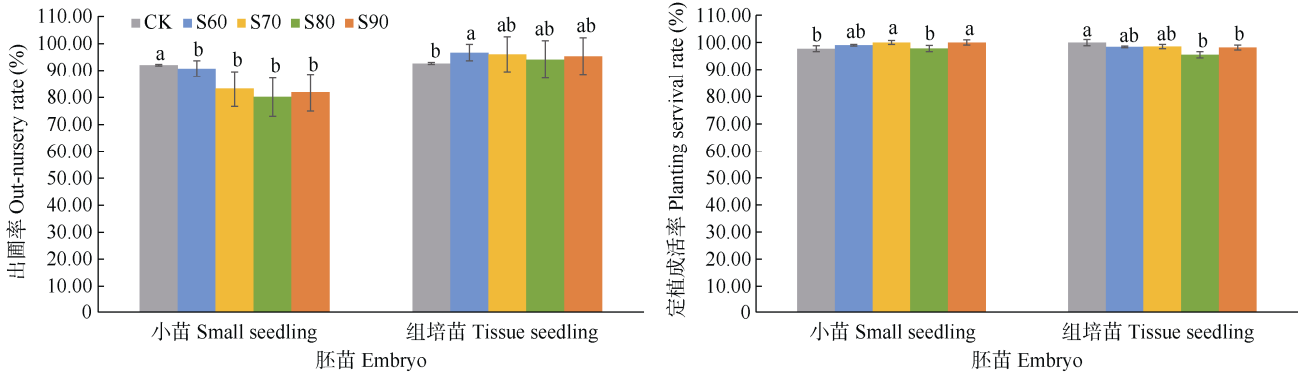


图 3 不同遮阴处理下大筒苗的出圃率和定植成活率

Fig. 3 Out-nursery rate and planting survival rate of large polytube-raised buddings under different shading rate

2.6 相关性分析

从表 5 可见, 小苗大筒苗的叶蓬数与茎粗、壮苗指数间无显著相关性, 其余生长参数间均具有显著或极显著相关性; 组培大筒苗除叶面积与株高、茎粗, 生物量与壮苗指数间具有显著或极显著相关性外, 其余生长参数间均无显著相关性。小苗大筒苗的 Tr、Gs 与 WUE, Ci、Gs 与叶片 SPAD 值间具

有显著或极显著相关性外, 其余光合参数间无显著相关性; 组培大筒苗除 Tr 与 Gs、WUE, Pn 与叶片 SPAD 值, Pn 与 Gs 间具有显著或极显著相关性外, 其余光合参数间均无显著相关性。

小苗大筒苗的 Tr 与株高、茎粗、叶蓬数、生物量、叶面积、壮苗指数间均呈显著或极显著相关, Pn 与株高、叶面积间呈显著相关, Gs、WUE 与叶蓬

数无显著相关、而与其生长参数间均显著或极显著相关, Pn、叶片 SPAD 值与株高、茎粗、叶蓬数、生物量、叶面积、壮苗指数, 以及其余光合参数和生长参数间均无显著相关性。组培大筒苗的 Pn 与株高、茎粗, 叶片 SPAD 值与株高、茎粗、叶面积间呈显著

相关, 其余光合参数与生长参数间均无显著相关性。

因此, Tr、Gs、WUE 主要影响小苗大筒苗株高、茎粗、生物量、叶面积、壮苗指数等的生长变化, Pn、叶片 SPAD 值主要影响组培大筒苗株高、茎粗等的生长变化。

表 5 不同遮阴下大筒苗的生长参数与光合参数间的相关性

Table 5 Correlation between growth parameters and photosynthetic parameters of large polytube-raised buddings under different shading rate

| 因子 Factor | x1 | x2 | x3 | x4 | x5 | x6 | x7 | x8 | x9 | x10 | x11 | x12 |
|--------------|-----------|------------|----------|------------|-----------|------------|------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| x1 | | 0.969 3** | -0.018 4 | 0.763 5 | 0.959 2** | 0.755 0 | -0.033 2 | 0.940 5* | 0.450 9 | 0.311 2 | 0.299 6 | 0.953 2* |
| x2 | 0.918 3* | | -0.188 9 | 0.586 6 | 0.878 7* | 0.576 8 | -0.080 8 | 0.912 4* | 0.405 9 | 0.281 3 | 0.298 5 | 0.900 8* |
| x3 | 0.935 2* | 0.793 8 | | 0.409 9 | 0.233 9 | 0.423 4 | 0.799 5 | -0.243 3 | 0.694 7 | 0.672 7 | -0.635 6 | -0.15 61 |
| x4 | 0.967 8** | 0.984 3** | 0.886 5* | | 0.840 4 | 0.999 7** | 0.029 9 | 0.699 0 | 0.375 1 | 0.213 5 | 0.292 7 | 0.784 2 |
| x5 | 0.989 0** | 0.941 9* | 0.903 0* | 0.973 1** | | 0.833 5 | 0.186 4 | 0.871 3 | 0.612 5 | 0.490 9 | 0.101 6 | 0.896 6* |
| x6 | 0.952 4* | 0.993 2** | 0.857 2 | 0.998 0** | 0.963 2** | | 0.037 8 | 0.684 9 | 0.379 4 | 0.216 3 | 0.286 2 | 0.772 4 |
| x7 | 0.967 9** | 0.910 0* | 0.950 9* | 0.965 6** | 0.937 0* | 0.951 0* | | -0.274 4 | 0.871 5 | 0.931 1* | -0.942 4* | -0.261 3 |
| x8 | 0.905 2* | 0.717 1 | 0.807 5 | 0.784 3 | 0.895 0* | 0.758 2 | 0.787 5 | | 0.185 8 | 0.074 6 | 0.486 5 | 0.990 4** |
| x9 | 0.751 3 | 0.693 1 | 0.497 0 | 0.682 6 | 0.773 2 | 0.682 6 | 0.595 6 | 0.873 0 | | 0.975 2** | -0.689 2 | 0.207 2 |
| x10 | 0.903 2* | 0.886 3* | 0.725 1 | 0.894 8* | 0.882 0* | 0.894 7* | 0.874 8 | 0.821 5 | 0.849 6 | | -0.810 5 | 0.074 4 |
| x11 | -0.933 6* | -0.962 2** | -0.874 2 | -0.981 9** | -0.919 3* | -0.980 7** | -0.976 3** | -0.700 8 | -0.589 4 | -0.889 3* | | 0.504 9 |
| x12 | 0.726 9 | 0.676 1 | 0.474 7 | 0.671 6 | 0.708 3 | 0.672 9 | 0.635 6 | 0.792 7 | 0.937 1* | 0.920 3* | -0.640 3 | |

x1: 株高; x2: 茎粗; x3: 叶蓬数; x4: 生物量; x5: 叶面积; x6: 壮苗指数; x7: Tr; x8: Pn; x9: Ci; x10: Gs; x11: WUE; x12: 叶片 SPAD; 左下: 小苗; 右上: 组培苗。

x1: Plant height; x2: Stem diameter; x3: Leaf-whorl number; x4: Biomass; x5: Leaf area; x6: Vigorous seedling index; x7: Tr; x8: Pn; x9: Ci; x10: Gs; x11: WUE; x12: Leaf SPAD. Lower left: Small seedling; Upper right: Tissue culture seedling.

3 结论和讨论

3.1 遮阴对大筒苗生长性状的影响

植物受到光胁迫就会表现出相应的受害症状, 具体表现在植物的外部形态上, 主要影响株高、地径、叶片颜色、叶面积、生物量的积累等。黄河腾等^[15]的研究表明, 木奶果(*Baccaurea ramiflora*)幼苗的适宜遮阴范围为 4 针(69.2%遮光率)~6 针(80.0%遮光率), 强光和重度遮阴均会抑制其生长, 地径增长量、叶面积、叶绿素 a/b 等指标会因原生光强环境的不同而有所差异; 刘金炽等^[16]的研究也表明, 木兰科植物观光木(*Michelia odora*)、山白兰(*M. alba*)和灰木莲(*Manglietia glauca*)幼苗对低光环境的响应差异主要表现在生物量分配比例及叶的形态特征上, 过强或过弱的光照环境均限制了株高及地径的生长, 在人工育苗及管理时应给予适度遮阴以及较佳的光照环境。本研究中不同遮阴率对橡胶树大筒苗的株高、茎粗、叶蓬数、生物量等生长参数和出圃时顶蓬叶的叶面积和叶片 SPAD 值均有极显著影响, 大筒苗的壮苗指数随遮阴率的增加呈现先增

后降的趋势、且不同遮阴率间具有显著差异, 在适度遮阴环境下, 可通过增加株高、茎粗、叶面积、叶绿素含量来增大光合能力, 有利于提高大筒苗的壮苗指数, 如遮阴率为 60%的小苗大筒苗和 80%的组培大筒苗壮苗指数较高, 苗木生长也较为健壮; 过度遮阴 90%均显著降低了大筒苗的生物量及壮苗指数, 不同胚苗与遮阴处理的交互作用对大筒苗的茎粗、生物量和叶面积等生长参数有极显著的影响, 对株高有显著影响, 但对叶蓬数和顶蓬叶 SPAD 值无显著交互作用。这与夏婵^[17]的研究结果相似, 即赤皮青冈(*Cyclobalanopsis gilva*)幼苗的地径生长量和苗高生长量均随遮阴强度的增加而先升后降, 50%遮阴对其生长发育起到促进作用, 而 90%遮阴则导致其正常生长发育受限。

3.2 遮阴对大筒苗光合特性的影响

随着光强的增大, 叶片启动自我保护机制, 即叶片气孔逐步关闭或部分关闭, Tr 增大, 且增大幅度高于 Pn。商陆(*Phytolacca americana*)能很好地适应高光强和高温环境, 维持高水平的光合作用和稳定的 WUE^[18]; 遮阴下闽楠(*Phoebe bournei*)叶片对

弱光和强光的利用能力均提高,且不同处理间的 Pn、Ci、Gs 均存在显著差异^[19]。本研究中,2种胚苗的 Tr、Ci、Gs 和 WUE 表现出极显著差异,不同遮阴处理下大筒苗的 Tr、Pn、Ci、Gs 和 WUE 也存在极显著差异,不同胚苗与遮阴处理的交互作用对大筒苗的 Tr、Pn、Ci、Gs 和 WUE 等光合参数也有极显著的影响;全光照和过度遮阴(90%)会影响小苗大筒苗的蒸腾作用和气孔开合,适度遮阴处理促进大筒苗的光合作用。这与樟叶槭(*Acer cinnamomifolium*)容器苗^[20]、银杏(*Ginkgo biloba*)幼苗^[21]、米槁(*Cinnamomum migao*)幼苗^[22]、桢楠(*Phoebe zhennan*)幼苗^[23]的表现基本一致,即轻度遮阴能够提高光合性能、促进其生长发育,而重度遮阴下虽然其光捕获能力、光能利用效率较高,但光能的严重缺乏限制了其生长发育。香果树(*Emmenopterys henryi*)幼苗在轻度遮阴(光强大于60%全光照)下能维持较高的净光合作用效率以确保植株生长良好,而中度和重度遮阴(光强低于50%全光照)则会严重降低光合作用效率,导致植株营养缺乏、生长受抑而影响植物个体的质量^[24]。

3.3 遮阴对大筒苗出圃及定植表现的影响

研究遮阴下植物生长参数的变化可以了解植物对光照强度的需求,进而推断其对遮阴环境的忍耐性,对于指导农林业生产,提高种苗繁育的成活率和保存率,改进生产管理措施具有重要意义。本研究中,与全光照相比,遮阴明显降低了小苗大筒苗的出圃率,但对定植成活率的影响较小;而组培大筒苗的出圃率明显增加,定植成活率却有所降低。这是由于橡胶树小苗大筒苗是带砧木的芽接桩,能耐受一定程度的强光,需要光照充足的环境;而组培大筒苗是从室内试管苗经过阴棚下砂床炼苗后移栽于大筒中的,比较适宜在阴蔽的环境中培育。前期研究^[12]表明,80%遮阴度的橡胶树组培小筒苗长势比全光照好,但出圃率显著低于全光照,90%遮阴下出圃率显著高于其他处理。

橡胶树大筒苗对光照环境的适应性和生长变化具有耐阴喜阳的特性,全光照和过度遮阴均会明显抑制大筒苗的生长。不同胚苗大筒苗的最适遮阴率不同,小苗大筒苗在60%遮阴棚下的株高、茎粗、叶蓬数、生物量、叶面积、壮苗指数等生长指标均表现最好,组培大筒苗在80%遮阴棚下的株高、生物量、叶面积、叶片 SPAD 值、壮苗指数等生长指

标表现最好。不同胚苗与遮阴处理对大筒苗的光合参数和生长参数均有显著的交互作用,因阴棚的遮阴率不同而有明显差异。

参考文献

- [1] HUANG H S. The Theory and Practice of Modern Agricultural Industrial Technology System Construction: Natural Rubber System Book [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2020. [黄华孙. 现代农业产业技术体系建设理论与实践——天然橡胶体系分册 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2020.]
- [2] ZENG X. The Industry Development and Technology Outlook of Natural Rubber in China (2011–2025) [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2021. [曾霞. 中国天然橡胶产业发展和技术展望(2011–2025) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2021.]
- [3] National Natural Rubber Industry Technology System. Study on the Sustainable Development Strategy of Modern Agricultural Industry in China: Natural Rubber System Book [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2016: 85–105. [国家天然橡胶产业技术体系. 中国现代农业产业可持续发展战略研究——天然橡胶体系分册 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2016: 85–105.]
- [4] AN F, LIU R J, WANG J K, et al. Thinking deeply on sustainable classified management mode of rubber forest in national natural rubber production reserve [J]. China Trop Agric, 2018(4): 4–7. [安锋, 刘锐金, 王纪坤, 等. 国家天然橡胶生产保护区橡胶林可持续分类经营模式的思考 [J]. 中国热带农业, 2018(4): 4–7. doi: 10.3969/j.issn.1673-0658.2018.04.001.]
- [5] Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences. A method for cultivating large rubber seedlings: CN, 201410451630.0 [P]. 2015-01-07. [中国热带农业科学院橡胶研究所. 一种大型橡胶苗培育方法: 中国, 201410451630.0 [P]. 2015-01-07.]
- [6] Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences. A large seedling culture device: CN, 201320255472.2 [P]. 2013-10-30. [中国热带农业科学院橡胶研究所. 一种大型苗木培育装置: 中国, 201320255472.2 [P]. 2013-10-30.]
- [7] ZHOU J, CHEN Q, LIN W F, et al. Cultivation method of large rubber poly-tube-raised buddings I: Screening of seedling substrate [J]. Nonwood For Res, 2021, 39(1): 220–226. [周珺, 陈青, 林位夫, 等. 橡胶树大筒苗培育方法I. 育苗基质的筛选 [J]. 经济林研究, 2021, 39(1): 220–226. doi: 10.14067/j.cnki.1003-8981.2021.01.026.]
- [8] ZHOU J, CHEN Q, WANG X L, et al. Cultivation method of large rubber poly-tube-raised buddings II: Screening of root-stock material [J]. Seed, 2022, 41(7): 132–138. [周珺, 陈青, 王新龙, 等. 橡胶树大筒苗培育方法 II. 砧木材料的筛选 [J]. 种子, 2022, 41(7): 132–138.]

- doi: 10.16590/j.cnki.1001-4705.2022.07.132.]
- [9] ZHOU J, LIN W F, HUANG J, et al. Cultivation method of large rubber poly-tube-raised buddings III: Determination of suspended height [J]. *Mol Plant Breed*, 2022, 20(9): 3102–3109. [周珺, 林位夫, 黄坚, 等. 橡胶树大筒苗培育方法III: 悬空高度的确定 [J]. *分子植物育种*, 2022, 20(9): 3102–3109. doi: 10.13271/j.mpb.020.003102.]
- [10] ZHANG Z W. Study on Hainan island typhoon effects on rubber and division of risk assessment based on RS and GIS [D]. Haikou: Hainan Normal University, 2011. [张忠伟. 基于 RS 与 GIS 海南岛台风灾害对橡胶影响的风险性评价研究 [D]. 海口: 海南师范大学, 2011.]
- [11] Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences. A method of free debudding for rubber tree mini-seedling budding of root-stock seedlings: CN, 202010310095.2 [P]. 2021-09-10. [中国热带农业科学院橡胶研究所. 一种橡胶树籽苗芽接砧木苗免抹芽的方法: 中国, 202010310095.2 [P]. 2021-09-10.]
- [12] CHEN Q, ZHOU J, WANG J, et al. Effect of defferent shading on growth of tissue-cultured *Hevea brasiliensis* seedlings [J]. *Fujian J Agric Sci*, 2018, 33(5): 516–519. [陈青, 周珺, 王军, 等. 遮阴对橡胶树组培苗生长的影响 [J]. *福建农业学报*, 2018, 33(5): 516–519. doi: 10.19303/j.issn.1008-0384.2018.05.013.]
- [13] CHEN X M, LI W G, CHEN H L, et al. Establishment and application of climate suitability indicators of rubber tapping in Hainan Island: Taking Danzhou as an example [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 2019, 47(15): 278–281. [陈小敏, 李伟光, 陈汇林, 等. 海南岛橡胶割胶气候适宜度评价指标的建立及应用——以儋州市为例 [J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(15): 278–281. doi: 10.15889/j.issn.1002-1302.2019.15.064.]
- [14] BAI Y, SHI W H, XING X J, et al. Study on tobacco vigorous seedling indexes model [J]. *Sci Agric Sin*, 2014, 47(6): 1086–1098. [白岩, 史万华, 邢小军, 等. 烟草壮苗指数模型研究 [J]. *中国农业科学*, 2014, 47(6): 1086–1098. doi: 10.3864/j.issn.0578-1752.2014.06.005.]
- [15] HUANG H T, HUANG J J, CHEN J, et al. Growth, physiological and biochemical response of *Baccaurea ramiflora* Lour. seedlings to different shading environments [J]. *Chin J Ecol*, 2020, 39(5): 1538–1547. [黄河腾, 黄剑坚, 陈杰, 等. 不同遮阴环境下木奶果幼苗生长与生理生化的响应 [J]. *生态学杂志*, 2020, 39(5): 1538–1547. doi: 10.13292/j.1000-4890.202005.015.]
- [16] LIU J C, ZHAO L J, ZHU L Q. Effects of shading on growth and photosynthetic characteristics of three *Magnoliaceae* seedlings [J]. *Guihaia*, 2020, 40(8): 1159–1168. [刘金焱, 招礼军, 朱栗琼. 遮阴对三种木兰科幼苗生长和光合特性的影响 [J]. *广西植物*, 2020, 40(8): 1159–1168.]
- [17] XIA C. Effects of shading on the growth and physiological characteristics of *Cyclobalanopsis gilva* seedlings [D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2021. [夏婵. 遮阴对赤皮青冈幼苗生长及生理特性的影响 [D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2021. doi: 10.27662/d.cnki.gznlc.2021.000211.]
- [18] WANG Q, ZHANG X W, HUANG Y J, et al. Synergistic effects of light environment and temperature on net photosynthetic rate, transpiration rate and instant water-use efficiency of *Phytolacca americana* [J]. *Plant Physiol J*, 2021, 57(1): 187–194. [王强, 张欣薇, 黄英金, 等. 光环境和温度对商陆净光合速率、蒸腾速率和瞬时水分利用效率的协同影响 [J]. *植物生理学报*, 2021, 57(1): 187–194. doi: 10.13592/j.cnki.ppj.2019.0540.]
- [19] TANG X L, JIANG J, JIN H P, et al. Effects of shading on chlorophyll content and photosynthetic characteristics in leaves of *Phoebe bournei* [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2019, 30(9): 2941–2948. [唐星林, 姜姜, 金洪平, 等. 遮阴对闽楠叶绿素含量和光合特性的影响 [J]. *应用生态学报*, 2019, 30(9): 2941–2948. doi: 10.13287/j.1001-9332.201909.002.]
- [20] QIAN P X, LI X F, WU Y Y, et al. Influence of shading on growth and physiological characteristics of container seedlings of *Acer cinnamomifolium* [J]. *Jiangsu J Agric Sci*, 2015, 31(3): 667–672. [钱萍仙, 李学孚, 吴月燕, 等. 遮阴对樟叶槭容器苗生长和生理特性的影响 [J]. *江苏农业学报*, 2015, 31(3): 667–672.]
- [21] QIAN L L, XUE Y, CAO F L, et al. Effects of biological shading on growth of ginkgo seedlings [J]. *J CS Univ For Technol*, 2018, 38(10): 21–26. [钱龙梁, 薛源, 曹福亮, 等. 生物遮阴对银杏幼苗生长的影响 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2018, 38(10): 21–26. doi: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2018.10.004.]
- [22] DENG M M, LIU J M, WEN A H, et al. Effects of shading on photosynthetic physiological responses of the medicinal plant *Cinnamomum migao* [J]. *J Anhui Univ (Nat Sci)*, 2019, 43(3): 89–96. [邓明明, 刘济明, 文爱华, 等. 遮阴对米槁幼苗光合生理指标的影响 [J]. *安徽大学学报(自然科学版)*, 2019, 43(3): 89–96. doi: 10.3969/j.issn.1000-2162.2019.03.015.]
- [23] DAI D C, HU H L, CHEN H, et al. Effects of shading on growth and photosynthetic characteristics of *Phoebe zhenan* seedlings [J]. *J NW Agric For Univ (Nat Sci)*, 2020, 48(4): 56–64. [代大川, 胡红玲, 陈洪, 等. 遮阴对栝楠幼苗生长和光合生理特性的影响 [J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2020, 48(4): 56–64. doi: 10.13207/j.cnki.jnwf.2020.04.008.]
- [24] LI D L, JIN Y Q, CUI M F, et al. Effects of shading on physiological characteristics and ultrastructure of mesophyll cell of *Emmenopterys henryi* leaves [J]. *Bull Bot Res*, 2020, 40(1): 29–40. [李冬林, 金雅琴, 崔梦凡, 等. 遮阴对香果树叶片生理特性及叶肉细胞超微结构的影响 [J]. *植物研究*, 2020, 40(1): 29–40. doi: 10.7525/j.issn.1673-5102.2020.01.006.]