

南澳岛光裸地和次生林下 6 种乡土树幼苗生长与光合特征

刘志发^{1, 2}, 申卫军^{1*}, 温达志¹

1. 中国科学院华南植物园, 广东 广州 510650; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049

摘要: 海岛是国土的重要组成部分。对海岛退化生态系统进行恢复和改造具有重要意义。通过系统观测并比较乡土树种重阳木 *Bischofia javanica*、大叶杜英 *Elaeocarpus balansae*、蒲桃 *Syzygium jambos*、鸭脚木 *Schefflera octophylla*、阴香 *Cinnamomum burmannii* 及樟树 *Cinnamomum camphora* 苗木在南澳岛光裸地和次生林下的存活、生长及其光合特征, 探讨两种不同生境对 6 个树种生长、存活的影响及用乡土树种苗木进行海岛荒坡恢复和人工林林分改造的可行性。结果如下: ①从 2007 年 4 月栽植到 2008 年 7 月, 所有苗木在光裸地平均存活率为 46%, 低于次生林下的 78%。光裸地重阳木存活率最高, 为 85%; 鸭脚木存活率最低, 只有 18%。次生林下重阳木和鸭脚木存活率都较低, 约为 60%, 远低于其它树种。②各树种苗木在光裸地生长量均高于次生林下。光裸地所有树种苗木地径、苗高和冠幅的平均相对增长量分别是次生林下苗木的 4.8, 1.7 和 2.0 倍。光裸地重阳木生长较快; 次生林下阴香生长较快, 重阳木、鸭脚木生长较慢。③苗木在光裸地的日均净光合速率、蒸腾速率和气孔导度分别是次生林下的 2.3, 3.7 和 2.1 倍。同一生境下各树种苗木的日均净光合速率差异不大。④各树种苗木在光裸地的光饱和点 (LSP)、光补偿点 (LCP) 及表观量子效率 (AQY) 与次生林下同一树种相比均差异显著 ($P < 0.01$)。光裸地重阳木、鸭脚木和樟树具有较高的光饱和点和光补偿点, 为喜光树种; 大叶杜英、蒲桃和阴香具有较高的光饱和点和较低的光补偿点, 为喜光耐阴树种。而次生林下各树种均具有较低的光补偿点和较高的表观量子效率, 表明在次生林下各树种均具有较好的耐阴性。综合考虑, 重阳木适于在光裸地等光照条件好的生境栽植, 阴香适于在林下生长, 大叶杜英、蒲桃和樟树适应性较好, 在强光和弱光下均可生长, 而鸭脚木更适于半遮荫环境。这些研究结果可为海岛退化生态系统的植被恢复提供理论参考。

关键词: 乡土树种; 生长情况; 光合特征; 南澳岛

中图分类号: Q948

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2009) 02-0621-08

海岛是国土的重要组成部分, 保护和利用好海岛资源, 避免海岛生态环境恶化, 对于维持海岛自身发展及海域、海权管理都有重要的意义。海岛由于与大陆隔离、面积小、生境异质性差、生物多样性小、土壤瘠薄、气候变幅小、蒸发量大, 易受台风等极端气候或自然灾害的袭击, 其生态系统在受较大程度干扰时极易退化且难以恢复^[1]。

南澳岛地带性典型植被为热带季雨林型的常绿季雨林, 然而由于长期人为活动干扰, 其原生植被已不复存在, 现状植被主要是马尾松 *Pinus massoniana* 林、台湾相思 *Acacia confusa* 林及两者混交林。以马尾松、台湾相思等为先锋树种的森林群落因树种本身生命周期短, 林分衰退快, 需要进行不断的林分改造, 耗财耗力; 加之种源缺乏和生境的严酷性, 地带性森林植被的后续自然恢复困难、周期长。这也是目前广东省海岛植被普遍存在的问题。因而在海岛退化生态系统恢复过程中, 选择适生的乡土树种或地带性森林建群种类是进行恢复和林分改造的关键^[2-3]。

前人对南澳岛的现存植被群落结构及其在恢复过程中的一些动态进行了有益的研究^[4-11]。李萍等^[12]在南澳岛进行的退化草坡的植被恢复研究表明, 直接在草坡上撒播种子恢复效果不如植苗。任海等^[13]认为, 在森林自然更新与人工林向顶级群落恢复过程中, 乡土树种的定居是一个非常重要的过程, 而种源往往是物种定居的首要限制因素。因此在进行荒坡恢复和林分改造时, 直接栽植苗木是较好的选择。

乡土树种苗木用于造林和林分改造的研究在大陆生境下开展的较多, 但在海岛这种特殊生境却鲜少见研究报道^[14-17]。本研究选取南澳岛两种典型的退化生境——因修建工程或开垦后弃耕的光裸地和台湾相思次生林, 通过向这两种生境样地人工引种一些海岛地带性森林建群种幼苗并观测对比其生长情况及光合指标, 来着重探讨: ①在海岛直接用乡土树种苗木进行光裸地植被恢复和次生林林分改造是否可行? ②海岛两种不同生境对苗木存活和生长及其光合特征有何影响? ③不同树

基金项目: 广东省科技计划项目 (2005B33302012); 国家自然科学基金项目 (30870443, 30570274); 教育部留学回国基金项目

作者简介: 刘志发(1982 年生), 男, 硕士生, 主要从事海岛植被恢复研究。E-mail: liuzhifa@scbg.ac.cn

***通讯作者:** 申卫军, 研究员, 博士。E-mail: shenweij@scbg.ac.cn

收稿日期: 2008-12-10

种苗木对两种生境的适应有何不同? 从而揭示海岛不同生境下乡土树种苗木存活和生长的主要限制因子, 及不同生境下适生树种苗木的共同生态特征, 为海岛退化生态系统的植被恢复和重建提供理论依据。

1 研究地概况

南澳岛地处广东省东部, 属广东省汕头市南澳县 (南澳县由南澳岛及其周围的 36 个小岛构成), 北纬 23°23'33" ~ 23°29'11", 东经 116°56'24" ~ 117°08'59", 陆地面积约 105.24 km², 最高海拔 587.1 m。地带性土壤是赤红壤。南澳岛气候属亚热带海洋性气候, 年平均气温 21.5 ℃, 年平均日照 2 291.3 h, 年均降雨量 1 348.4 mm, 降雨季节集中在 4—9 月, 年均蒸发量 2 069.8 mm。此外, 南澳岛年均大风 (风力>8 级) 日数超过 80 d, 平均每年还受 5、6 个热带气旋影响^[18]。

本研究在南澳岛黄花山国家森林公园麒麟穴进行。分别选择光裸地和次生林样地, 两样地相距约 500 m, 海拔均为 400 m 左右。光裸地是一块被废弃的荒地, 地势平缓, 以圆果雀稗 *Paspalum orbiculare* 为主, 面积约 500 m², 周围为次生林包围。次生林是一块坡地, 西北坡向, 坡度约 40°, 以台湾相思、珊瑚树 *Viburnum odoratissimum* 为主, 群落高 8 m 左右, 林龄 30 ~ 40 a。林下密布九节 *Psychotria rubra*、豺皮樟 *Litsea rotundifolia* 等灌木, 郁闭度达 90%以上。试验前对两样地 0 ~ 60 cm 土壤元素含量进行了测定 (表 1)。

2 研究方法

2.1 树种选择

选取最常见的 6 种广东海岛自然林优势种^[3], 均为常绿乔木 (见表 2)。苗木由广东省林业科学院苗圃提供, 均为带土 1 ~ 2 a 实生苗。

2.2 实验处理

2007 年 4 月在光裸地和次生林下设立 10 m×10 m 样方各一个。实验前清理次生林下灌木, 均进行人工整地。以 70 ~ 80 cm 为株行距挖穴, 穴坑大小约为 40 cm×40 cm×40 cm。两场透雨过后, 于 4 月中下旬进行苗木栽植; 每块样地上 6 个树种随机混合栽植, 每种约 30 株, 且同一树种苗木大小尽量一致。之后, 对每株编号挂牌, 并在样方周围设围栏和标志牌, 防止人为破坏和牲畜践踏啃食。之后不再人为干扰, 任其自然生长。

2.3 测定方法

分别于 2007 年 4 月 (栽植后 1 周)、6 月、9 月、12 月和 2008 年 3 月、7 月对 2 个样地各树种苗木存活数进行统计, 对所有存活苗的苗高、地径、冠幅进行测量。地径为近地面处苗木直径, 用游标卡尺测量; 苗高和冠幅用普通卷尺测量, 冠幅分别测量东西和南北 2 个方向后取平均值。

2008 年 8 月晴好天气下, 用 Li-6400 便携式光合测定仪 (Li-Cor, Inc., Lincoln, USA) 对 2 个样地各树种的光合日变化、光合-光强响应曲线进行了测定。每块样地每个树种选 3 ~ 5 片完整成熟的叶片进行测定。光裸地日变化在 8:00—18:00 进行, 透明叶室, 每 2 h 1 次, 13:00 加测 1 次; 次生林在 9:00—16:00 进行, 每 1 h 1 次。可记录的参数包括叶片净光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (T_r) 及大气温度 (T_a)、大气相对湿度 (RH)、光合有效辐射 (PAR) 等。

光响应曲线测定时采用系统自带的红蓝光源, 光强设置梯度为 2 000、1 800、1 500、1 200、800、500、300、150、75、50、30、15、5、0 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 叶温设置为 (30±1) ℃。于上午 9:30—11:30 进行。以光量子通量密度 (PFD) 为横轴, P_n 为纵轴绘出光合作用光响应曲线 (P_n -PFD 曲线), 依据 Bassman

表 1 光裸地和次生林 0~60 cm 土壤元素质量分数

Table 1 Elemental concentrations of 0 ~ 60 cm soil at the bare land and secondary forest sites

试验地	w(全 N)/(g·kg ⁻¹)	w(有机质)/(g·kg ⁻¹)	w(有效磷)/(mg·kg ⁻¹)	w(交换性 K)/(mg·kg ⁻¹)	w(交换性 Ca)/(mg·kg ⁻¹)	w(交换性 Mg)/(mg·kg ⁻¹)
光裸地	0.35±0.12	8.86±2.75	0.70±0.13	66.47±20.03	269.76±52.20	39.53±2.02
次生林	0.55±0.31	13.03±7.79	1.62±0.30	70.37±7.45	22.64±6.66	20.92±2.56

注: 数据表示为“平均值±标准差”

表 2 所选 6 个乡土树种基本资料

Table 2 General description of the six native tree species selected

中文名	学名	科属	形态特征与生态习性
重阳木	<i>Bischofia javanica</i>	大戟科	常绿或半落叶大乔木, 喜光, 略耐荫。根系发达, 抗风强
大叶杜英	<i>Elaeocarpus balansae</i>	杜英科	常绿高大乔木。喜光, 喜温暖至高温湿润气候, 深根性, 抗风, 不耐干旱
蒲桃	<i>Syzygium jambos</i>	桃金娘科	常绿乔木, 喜光, 喜湿热气候及酸性土壤, 耐湿, 深根性, 枝干强健
鸭脚木	<i>Schefflera octophylla</i>	五加科	常绿乔木或灌木。喜温暖、湿润、半阳环境。宜生于土质深厚肥沃的酸性土中
阴香	<i>Cinnamomum burmannii</i>	樟科	常绿乔木。喜光, 常生于肥沃、疏松、湿润而不积水的地方
樟树	<i>Cinnamomum camphora</i>	樟科	常绿乔木, 喜光, 稍耐荫; 喜温暖湿润气候。主根发达, 深根性, 能抗风

和 Zwier^[19]的方法拟合 P_n -PFD 曲线:

$$P_n = P_{\max} (1 - C_0 e^{-\alpha PFD / P_{\max}})$$

式中, $P_{\max}$ 为最大净光合速率, 即光合能力, α 为弱光下光量子利用效率, 即表观量子效率 (AQY), C_0 为度量弱光下净光合速率趋近于 0 的指标。通过适合性检验, 若拟合效果良好, 则可用下式计算光补偿点 (LCP):

$$LCP = P_{\max} \ln(C_0) / \alpha$$

假定 P_n 达到 $P_{\max}$ 的 99% 时的 PFD 为光饱和点 (LSP), 则:

$$LSP = P_{\max} \ln(100C_0) / \alpha$$

2.4 数据处理

数据整理、作表用 Excel2003, 作图用 Sigmaplot 10.0, 方差分析 (ANOVA) 用 SPSS 15.0, 多重比较用最小显著差法 (LSD)。

3 结果与分析

3.1 苗木存活

两样地苗木存活差异较大。光裸地中存活率依次为重阳木>蒲桃>阴香>樟树>大叶杜英>鸭脚木, 次生林下存活率则为大叶杜英>阴香>蒲桃>樟树>鸭脚木>重阳木。重阳木存活率在光裸地最高, 达

85%, 在次生林下则最低, 为 62%, 表明重阳木是喜光且极不耐阴的树种; 其余树种存活率次生林下均远高于光裸地, 表现出一定的耐阴特性。此外, 苗木死亡大多发生在栽植后 5—6 个月, 9 月后苗木死亡很少 (图 1)。

3.2 苗木生长

2008 年 7 月与 2007 年 4 月栽植时相比 (表 3), 光裸地中苗木地径、苗高和冠幅的平均相对增长量都远高于次生林下苗木, 其中苗高、冠幅分别是次生林下苗木的 2 倍, 地径的平均相对增长量约为次生林下苗木的 5 倍, 光裸地中苗木生长好于次生林下。

从树种来看, 光裸地中, 存活下来的各树种苗木均生长良好。其中重阳木表现出较高的生长速率。

次生林下重阳木和鸭脚木相对生长较慢。阴香地径、苗高和冠幅的相对增长量远高于其它树种, 其苗高和地径在光裸地和次生林下的相对增长量相差较小, 表现出对林下环境的良好适应。

3.3 光合日变化

3.3.1 样地光照、气温和相对湿度日变化

两样地小生境环境差异较大。在有光照时段

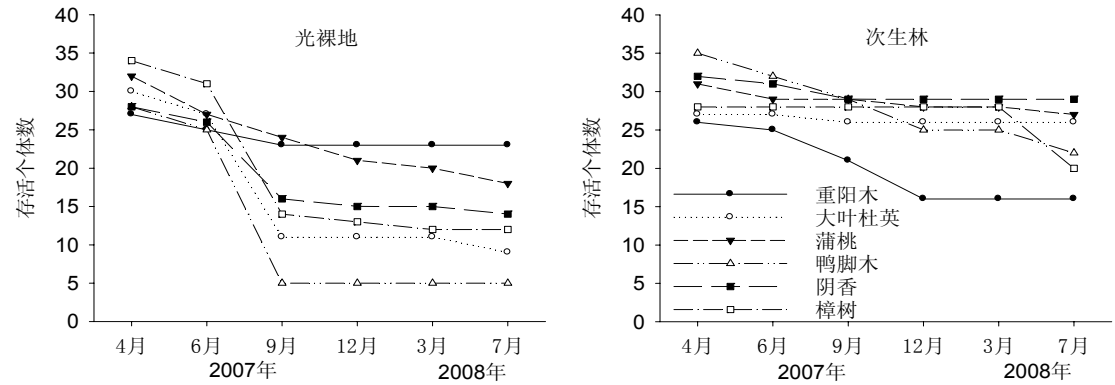


图 1 2007 年 4 月—2008 年 7 月间光裸地和次生林样地上 6 个树种苗木存活动态

Fig. 1 Survival dynamic of the seedlings grown on bare land and beneath secondary forest during April, 2007—July, 2008

表 3 光裸地和次生林样地上各树种苗木在 2007 年 4 月至 2008 年 7 月间的相对增长量

Table 3 Relative growth(%) of the seedlings grown on bare land and beneath secondary forest during April, 2007-July, 2008

/%

树种	地径			苗高			冠幅		
	初始值/mm	光裸地	次生林	初始值/cm	光裸地	次生林	初始值/cm	光裸地	次生林
重阳木	4.78±0.40	413	48	20.76±1.59	415	97	19.96±2.36	289	79
大叶杜英	4.67±0.58	271	68	15.22±2.78	371	210	31.55±1.23	81	34
蒲桃	9.34±1.11	81	41	34.43±5.88	153	117	26.90±1.24	191	74
鸭脚木	5.66±0.51	155	29	26.55±6.76	119	33	19.38±1.47	146	83
阴香	3.83±0.25	361	109	26.22±1.92	210	239	16.09±1.95	283	270
樟树	5.22±0.22	362	46	39.09±7.00	194	169	21.99±2.45	327	105
平均值	5.58±1.94	274	57	27.05±8.71	243	144	22.65±5.63	220	107

注: 数据表示为“平均值±标准差”

内, 光裸地气温、光辐射强度和相对湿度均值分别为 38°C , $1\,335\,\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 49%; 而次生林下气温、光辐射强度和相对湿度均值分别为 31°C , $160\,\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 58%。

两样地气温、光辐射和相对湿度日变化总体趋势大致相同, 但变化幅度相差较大。光裸地气温和光辐射值都是先升后降, 分别在 14:00 和 12:00 左右达到最大值; 相对湿度则先降后升, 在 13:00 左右降到最低值。次生林下气温在 30°C 左右波动, 15:00 达到最大值, 光辐射在 $200\,\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右波动。相对湿度先是缓慢下降, 15:00 达到最低值, 之后回升。此外, 两样地气温和光辐射的变化趋势分别近似一致, 气温和相对湿度的变化趋势则呈相反趋势(图2)。

3.3.2 苗木净光合速率、蒸腾速率和气孔导度日变化

净光合速率决定了植物物质积累能力的高低, 在一定程度上也决定了植物生长的快慢。气孔是植物进行 CO_2 和水汽交换的重要通道, 而气孔导度是反映气体交换能力的一个重要生理指标。本试验中光裸地各苗木的日均净光合速率、蒸腾速率和气孔导度均显著大于次生林下同一树种苗木 ($P<0.01$), 前者分别是后者的 2~3 倍, 2 倍和 3~4 倍, 表明光裸地生境苗木具有较高的生长效率。

两样地苗木净光合速率、蒸腾速率和气孔导度

日变化动态和幅度均差异较大。光裸地中各树种苗木的净光合速率在 12:00—14:00 均出现不同程度的下降, 双峰大致出现在 10:00 和 16:00, 其中阴香最为明显。次生林下苗木净光合速率日变化也呈现出大致的双峰, 分别在 11:00—12:00 和 14:00。光裸地苗木的蒸腾速率和气孔导度在 12:00—13:00 略有降低, 随后回升。次生林下苗木的蒸腾速率和气孔导度 9:00—14:00 均在一个低值附近波动, 14:00 后逐渐降低(图3)。

同一生境下不同树种之间日均净光合速率差异不大, 除个别树种, 大都趋于均值。光裸地上鸭脚木日均净光合速率较高, 阴香较低, 其余在均值附近; 次生林下大叶杜英较高, 重阳木较低, 其余在均值附近。

3.4 光响应曲线特征

各树种在光裸地和次生林两种不同生境下的光合参数差异较大。光裸地各树种的光饱和点和光补偿点均显著大于次生林下同一树种 ($P<0.01$), 表观量子效率除蒲桃外光裸地各树种均显著小于次生林下同一树种 ($P<0.01$)。而最大净光合速率除个别树种(重阳木、蒲桃)差异显著外 ($P<0.05$), 光裸地其余树种并无显著优势, 次生林下阴香显著高于光裸地, 两样地树种间均值差异也并不明显, 分别为 11.52 和 $10.64\,\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (表4)。

光补偿点和表观量子效率是体现植物在弱光

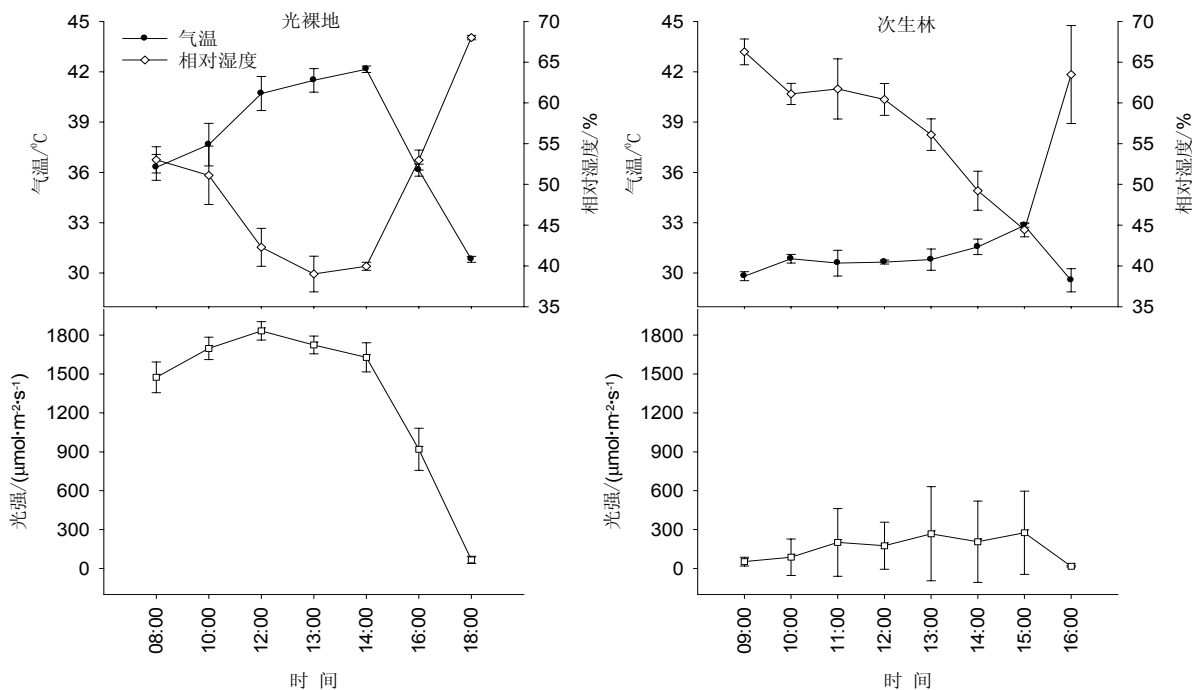


图2 光裸地和次生林下气温、相对湿度及光合有效辐射的日变化(误差线代表标准差)
Fig. 2 Diurnal variation of air temperature, relative humidity and photosynthetically available radiation at the bare land and secondary forest sites (Bars represent standard deviation)

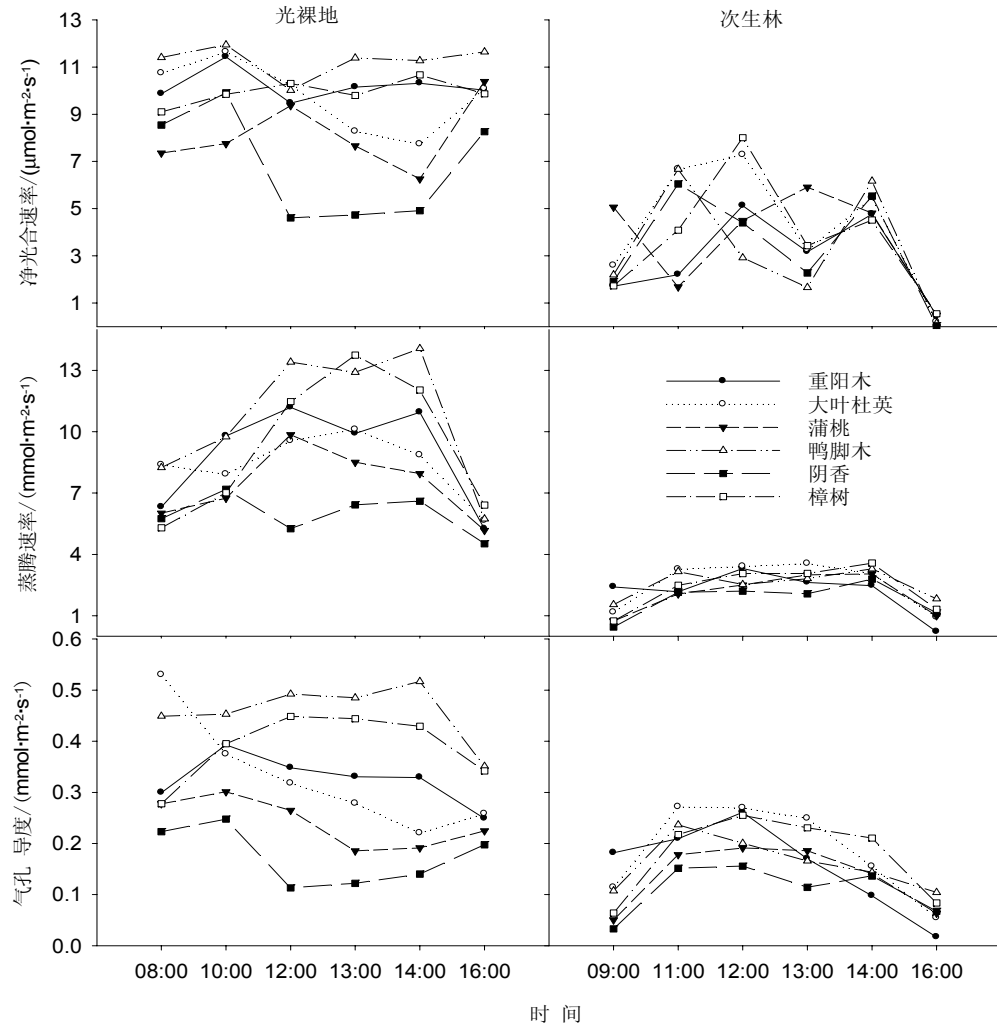


图 3 光裸地和次生林下各苗木净光合速率、蒸腾速率和气孔导度日变化
Fig. 3 Diurnal variation of net photosynthesis rate, transpiration rate and stomatal conductance of the seedlings grown on bare land and beneath secondary forest

表 4 光裸地和次生林下各树种光合参数比较
Table 4 Comparison of photo-parameters of the seedlings grown on bare land and beneath secondary forest

树种	最大净光合速率/($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)		光饱和点/($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)		光补偿点/($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)		表观量子效率/($\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	
	光裸地	次生林	光裸地	次生林	光裸地	次生林	光裸地	次生林
重阳木	11.64±0.98 Ba	8.17±0.42 Cb	1515±263 Ba	727±15 Db	56±12 Aa	7±3 Ab	0.0373 Ba	0.0522 Bb
大叶杜英	11.27±0.88 BCa	11.39±0.39 Aa	1376±33 Ba	1146±10 Ab	26±6 Ba	4±1 Bb	0.0384 Ba	0.0460 Cb
蒲桃	12.18±0.51 ABa	9.57±0.54 Bb	1322±108 Ba	1054±25 Bb	22±1 Ba	6±1 Bb	0.0433 Aa	0.0420 Da
鸭脚木	13.21±0.34 Aa	11.51±1.24 Aa	1793±16 Aa	959±61 Cb	60±1 Aa	8±5 Ab	0.0351 Ba	0.0556 ABb
阴香	10.35±0.18 Ca	11.95±0.01 Ab	1209±23 Ca	955±53 Cb	32±2 Ba	7±2 Ab	0.0405 Aa	0.0583 Ab
樟树	10.49±0.89 BCa	11.27±0.85 Aa	1314±31 Ba	925±83 Cb	58±11 Aa	12±2 Ab	0.0384 Ba	0.0569 Ab
平均值	11.52±1.08	10.64±1.46	1421±208	961±140	42±17	7±3	0.0388	0.0518

*A,B,C 表示同一样地不同树种之间的差异显著性($P<0.05$); a,b 表示同一树种两样地之间的差异显著性($P<0.01$); 数据表示为“平均值±标准差”

条件下光合能力的两个重要指标。一般来说,植物的光补偿点越低,表观量子效率越大,耐阴性越强;阳生植物比阴生植物具有较高的光饱和点和光补偿点;而喜光又耐阴的植物往往具有较高的光饱和点和较低的光补偿点^[20-21]。从光裸地上测得的参数可知,6 个树种均为喜光树种,其中大叶杜英、蒲桃和阴香为喜光且耐阴树种。而次生林下各树种均

具有较低的光补偿点和较高的表观量子效率,表明在次生林下各树种均具有较好的耐阴性。

4 讨论

4.1 海岛生境苗木生长和存活的影响因素

光照、温度、水分、土壤都是影响植物存活与生长的重要生态因子。在海岛一些迎风草坡,常年大风和土壤肥力较低是苗木主要致死原因^[12]。本试

验中,强光、高温和土壤养分不足可能是导致光裸地苗木死亡的首要原因。次生林下的苗木由于有乔木的遮荫免于强光暴晒,林下温度较低,苗木蒸腾比较缓和,从而大大提高了存活率。

但另一方面,由于次生林郁闭度高达90%以上,林下的苗木得不到充足的光照,光照又成为其生长的限制因子,加上原有植物在养分方面的竞争,林下苗木大多生长缓慢,远远低于光裸地上的同种苗木。

树种自身的生态习性也是影响其在不同环境下存活和生长的一个重要因素。庄雪影等^[22]测定了21种乡土树种幼苗在香港次生林下的成活率及生长状况,表明大多数种类的幼苗具有一定的耐阴性,可在林下生长,只有极少数种类表现出极耐阴或极不耐阴。这与本文的研究结果是一致的。本试验中,重阳木在光裸地存活和生长都较好,表现出对强光和高温环境良好的适应性;而在林下其存活和生长都较差,表明其耐阴性较差。阴香则表现出对林下环境的良好适应能力。鸭脚木在光裸地和次生林下存活和生长都较差,表明其对过阳和过阴的环境适应都较差,可能更适于半遮荫环境。其余树种大叶杜英、蒲桃和樟树均具有一定的耐阴性。

另外,根据6个树种苗木在光裸地的光饱和点和光补偿点也可推断,6个树种均为喜光树种,其中重阳木、鸭脚木和樟树较不耐阴,而大叶杜英、蒲桃和阴香则较为耐阴。这与它们在两个样地的存活及生长情况是相一致的。

4.2 植物对生长环境的适应

植物并不是消极被动的等待环境的作用,它们通过自身形态、生理等方面的不断调整来适应环境中生态因子的变化,将其限制作用减小。因此在不同的环境中,植物会产生不同的适应性变异^[23]。Langelheim等^[24]对热带雨林多种阳生或阴生性苗木的研究表明,与100%自然光下生长的植物相比,在16%光下生长的苗木均有较低的光饱和点、光补偿点、呼吸速率以及较高的量子产量。同时发现尽管在全光下植物的生长都较快,但多数树种的光饱和和同化速率(最大净光合速率)在两个生长光强处理间的差异并不明显,即这些热带雨林苗木叶片对高光强的光合适应潜力有限。这与本试验的结果是比较一致的,次生林下栽植的苗木其光饱和点和光补偿点均显著低于光裸地上同一树种,而表观量子效率则显著高于光裸地苗木,表明其对弱光的利用能力大大提高,在较低的光照强度下即可开始正向的能量积累;而两种生境下苗木的最大净光合速率差异不具有普遍的显著性。

5 结论

(1)在海岛生境直接用乡土树种苗木进行荒坡恢复和人工林林分改造具有可行性。本试验选取的6个乡土树种中,重阳木适于在光裸地等光照条件好的生境栽植,阴香适于在林下生长,大叶杜英、蒲桃和樟树适应性较好,在强光和弱光下均可生长,而鸭脚木对于过阳和过阴的环境适应均较差,更适于半遮荫环境。

(2)海岛光裸地生境苗木存活的主要限制因子为强光照和水分。因此在光裸地或退化草坡栽植苗木时,应尽量选择喜光耐旱的树种,如重阳木。另外,苗木在光裸地栽植后的几个月内死亡率较高,如果在这段期间加强抚育和保护,如在7—8月份光照比较强烈的月份定期浇水,可大大提高存活率。并且适当密植可以保证最后有足够数量的苗木存活下来。如著名的宫协造林法^[25]即是参照自然林进行密植。

(3)次生林下苗木存活的主要限制因子为弱光照。因此进行林分改造时则应选择一些较耐阴的树种,如阴香。同时应适当疏伐一部分原有乔木以减小树林郁闭度,增加林下透光率,为新栽植的苗木提供较好的生存环境。

(4)在栽植时穴坑内加施一些氮磷肥或有机肥以补充土壤养分的不足,尤其是在光裸地等土壤瘠薄的生境。

参考文献:

- [1] LUGO A E. Ecological aspects of catastrophes in Caribbean islands[J]. Acta Cientifica, 1988, 2: 24-31.
- [2] 陈树培, 邓义, 陈炳辉, 等. 广东海岛植被和林业[M]. 广州: 广东科技出版社, 1994.
CHEN Shupe, DENG Yi, CHEN Binghui, et al. Vegetation and Forestry On Islands in Guangdong[M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1994.
- [3] 任海, 李萍, 彭少麟, 等. 海岛与海岸带生态系统恢复与生态系统管理[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
REN Hai, LI Ping, PENG Shaolin, et al. Ecosystem Restoration and Management of Islands and Coastal Zones[M]. Beijing: Science Press, 2004.
- [4] 周厚诚, 黄卫凯, 任海, 等. 广东南澳岛退化草坡的群落结构[J]. 生态科学, 1997, 16(2): 100-103.
ZHOU Houcheng, HUANG Weikai, REN Hai, et al. The community structure of degraded grassland in Nan'ao Island of Guangdong[J]. Ecologic Science, 1997, 16(2): 100-103.
- [5] 周厚诚, 彭少麟, 任海, 等. 广东南澳岛马尾松林的群落结构[J]. 热带亚热带植物学报, 1998, 6(3): 203-208.
ZHOU Houcheng, PENG Shaolin, REN Hai, et al. The structure of *Pinus massoniana* community on Nan'ao Island, Guangdong[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 1998, 6(3): 203-208.
- [6] 周厚诚, 任海, 向言词, 等. 南澳岛植被恢复过程当中不同阶段土壤的变化[J]. 热带地理, 2001, 21(2): 104-107.

- ZHOU Houcheng, REN Hai, XIANG Yanci, et al. The change of soil in the process of vegetation restoration in Nan'ao Island, Guangdong[J]. Tropical Geography, 2001, 21(2): 104-107.
- [7] 周厚诚, 任海, 彭少麟. 广东南澳岛植被恢复过程中的群落动态研究[J]. 植物生态学报, 2001, 25(3): 298-305.
- ZHOU Houcheng, REN Hai, PENG Shaolin. Community dynamics during the process of vegetation restoration on Nan'ao Island, Guangdong[J]. Acta Phytocologica Sinica, 2001, 25(3): 298-305.
- [8] 周厚诚, 任海, 彭少麟. 广东南澳岛次生林的群落结构分析[J]. 广西植物, 2001, 21(3): 209-214.
- ZHOU Houcheng, REN Hai, PENG Shaolin. Community structure of three secondary forests in Nan'ao Island, Guangdong[J]. Guihaia, 2001, 21(3): 209-214.
- [9] 向言词, 彭少麟, 周厚诚, 等. 广东南澳岛不同僧林群落的林窗环境对移植树苗生长的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2002, 10(4): 340-347.
- XIANG Yanci, PENG Shaolin, ZHOU Houcheng, et al. The influences of gaps in different forest communities on the growth of transplanted tree seedlings on Nan'ao Island[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2002, 10(4): 340-347.
- [10] 谢少鸿, 詹潮安, 陈远合, 等. 广东南澳岛主要森林群落与植物多样性研究[J]. 广东林业科技, 2005, 21(3): 26-29.
- XIE Shaohong, ZHAN Chaoan, CHEN Yuanhe, et al. Study on major forest community and plant diversity in Nan'ao Island, Guangdong Province[J]. Guangdong Forestry Science and Technology, 2005, 21(3): 26-29.
- [11] 谢少鸿, 陈玉军, 陈远合, 等. 广东南澳岛台湾相思林主要种群生态位研究[J]. 生态科学, 2006, 25(4): 343-345.
- XIE Shaohong, CHEN Yujun, CHEN Yuanhe, et al. Study on the niche of major population of *Acacia confuse* forest in Nan'ao, Guangdong[J]. Ecologic Science, 2006, 25(4): 343-345.
- [12] 李萍, 黄忠良. 南澳岛退化草坡的植被恢复研究[J]. 热带地理, 2007, 27(1): 21-25.
- LI Ping, HUANG Zhongliang. A study on vegetation restoration for the degenerated sloping grassland in Nan'ao Island[J]. Tropical Geography, 2007, 27(1): 21-25.
- [13] 任海, 王俊. 试论人工林下乡土树种定居限制问题[J]. 应用生态学报, 2007, 18(8): 1855-1860.
- REN Hai, WANG Jun. Recruitment limitation of native tree species under plantations: A preliminary review[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(8): 1855-1860.
- [14] 张浩, 庄雪影, 黄永芳, 等. 华南乡土树种在松杉林下生长及林下植物多样性研究[J]. 林业科学研究, 2008, 21(2): 139-144.
- ZHANG Hao, ZHUANG Xueying, HUANG Yongfang, et al. Growth of some native broad-leaved trees and plant diversity in the coniferous plantation of South China[J]. Forest Research, 2008, 21(2): 139-144.
- [15] 康敏明, 杨海燕, 陈红跃, 等. 34种阔叶树种早期生长比较[J]. 广东林业科技, 2006, 22(4): 83-87.
- KANG Minming, YANG Haiyan, CHEN Hongyue, et al. Comparison of the early growth of 34 broad-leaved tree species[J]. Guangdong Forestry Science and Technology, 2006, 22(4): 83-87.
- [16] CARPENTER F L, NICHOLS J D, SANDI E. Early growth of native and exotic trees planted on degraded tropical pasture[J]. Forest Ecology and Management, 2004, 196: 367-378.
- [17] CALVO-ALVARADO JC, ARIAS D, RICHTER DD. Early growth performance of native and introduced fast growing tree species in wet to sub-humid climates of the Southern region of Costa Rica[J]. Forest Ecology and Management, 2007, 242(2/3): 227-235.
- [18] 广东省海岛资源综合调查大队. 广东省海岛资源综合调查报告[M]. 广州: 广东科技出版社, 1995.
- Group of Comprehensive Investigation of Island Resources in Guangdong. The Report of Island Resources of Guangdong[M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1995.
- [19] BASSMAN J, ZWIER J C. Gas exchange characteristics of *Populus trichocarpa*, *Populus deltoids* and *Populus trichocarpa* × *P. deltoids* clone[J]. Tree Physiology, 1991, 8: 145-149.
- [20] 邓雄, 韩保新, 蔡楚雄, 等. 生态公益林不同树种光适应特征研究[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2005, 44(Sup2): 241-244.
- DENG Xiong, HAN Baoxin, CAI Chuxiong, et al. The characteristics of light acclimation for the wood species in ecologic forest[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2005, 44(Sup2): 241-244.
- [21] 曾小平, 赵平, 蔡锡安, 等. 25种南亚人热带植物耐阴性的初步研究[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(4): 88-95.
- ZENG Xiaoping, ZHAO Ping, CAI Xi'an, et al. Shade-tolerance of 25 low subtropical plants[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2006, 28(4): 88-95.
- [22] 庄雪影, RICHARD T C. 香港乡土树种幼苗在次生林下生长的研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2000, 8(4): 291-300.
- ZHUANG Xueying, RICHARD T C. Survival and growth of native tree seedlings in secondary forest of HongKong[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2000, 8(4): 291-300.
- [23] 孙儒泳, 李庆芬, 牛翠娟, 等. 基础生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 8-9.
- SUN Ruyong, LI Qingfeng, NIU Cuijuan, et al. Basic Ecology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2002: 8-9.
- [24] LANGEHEIM J H, OSMAOND C B, BROOKS A, et al. Photosynthetic responses to light in seedlings of selected Amazonian and Australian rainforest tree species[J]. Oecologia, 1984, 63: 215-224.
- [25] MIYAWAKI A. Restoration of living environment based on vegetation ecology: theory and practice[J]. Ecological Research, 2004, 19: 83-90.

Growth and photosynthetic characteristics of six native tree species seedlings grown on bare land and beneath secondary forest in Nan'ao Island

Liu Zhifa^{1,2}, Shen Weijun^{1*}, Wen Dazhi¹

1. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Islands are important parts of a country's territory. Restoring degraded island vegetation such as abandoned grass slopes and introduced tree species dominated secondary plantations is of great importance. Whether native tree species can be used to restore the bare lands and structurally retransform the secondary plantations is practically important as well. Six native tree species seedlings such as *Bischofia javanica*, *Elaeocarpus balansae*, *Syzygium jambos*, *Schefflera octophylla*, *Cinnamomum burmannii* and *Cinnamomum camphora* were planted on bare land and beneath secondary forest in Nan'ao Island in April, 2007. Seedling survival rate and growth were measured every three months since then, photosynthetic diurnal course and light-response curve were also measured using LiCor-6400 in August, 2008. The results showed that: ① The average seedling survival rate on bare land (48%) was much lower than that of the secondary forest (78%). *Bischofia javanica* had the highest survival rate (85%) while *Schefflera octophylla* had the lowest (18%) on the bare land. Beneath the secondary forest, the survival rate of *Bischofia javanica* and *Schefflera octophylla* were about 60%, lower than the other four species which were all 70% above; ② The average relative growth of basal diameter, height and canopy diameter of seedlings on bare land were 274%, 243% and 220%, respectively, which were 4.8, 1.7 and 2.0 times higher than those under the secondary forest. *Bischofia javanica* grew faster on bare land but slower beneath forest; *Cinnamomum burmannii* grew faster beneath the secondary forest but *Schefflera octophylla* grew slower; ③ The daily average net photosynthetic rate, transpiration rate and stomatal conductance of seedlings on bare land were 2.3, 3.7 and 2.1 times of seedlings beneath the secondary forest, respectively. The daily average net photosynthetic rate of seedlings grown at the same sites were not markedly different; ④ The average light saturation point (LSP), light compensation point (LCP) and apparent quantum yield (AQY) of each seedling on bare land and beneath secondary forest were significantly different ($P < 0.01$). *Bischofia javanica*, *Schefflera octophylla* and *Cinnamomum camphora* grown on bare land were photophilic with high LSP and high LCP whereas *Elaeocarpus balansae*, *Syzygium jambos* and *Cinnamomum burmannii* were both photophilic and shade-tolerant with high LSP and low LCP. All seedlings grown beneath secondary forest had lower LCP and higher AQY. In summary, *Bischofia javanica* grew better under strong light while *Cinnamomum burmannii* grew better under weak light. *Elaeocarpus balansae*, *Syzygium jambos* and *Cinnamomum camphora* grew well under both strong and weak light while *Schefflera octophylla* grew well only under moderate light conditions. These growth and physiological data may be referential in restoring the degraded island vegetation using native tree species.

Key words: native tree species; growth; photosynthetic characteristics; Nan'ao Island