

黑樱桃与山樱桃幼苗光合作用的比较研究

李良厚^{1,2}, 李吉跃^{1,3}, 付祥建⁴, 李高阳²

(1. 北京林业大学资源与环境学院, 北京 100083 2. 河南省林业科学研究院, 河南 郑州 450008

3. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083 4. 河南省气象科学研究所, 河南 郑州 450003)

摘要: 用 LI-6400 便携式光合作用系统对美国黑樱桃、加拿大黑樱桃、中国山樱桃苗木的净光合速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度等进行了比较测定, 结果表明: (1) 日平均净光合速率、气孔导度和胞间 CO₂ 浓度均是中国山樱桃最大、美国黑樱桃居中、加拿大黑樱桃最小。3 种苗木的净光合速率分别为 6.381 μmol·m⁻²·s⁻¹、5.550 μmol·m⁻²·s⁻¹、4.952 μmol·m⁻²·s⁻¹, 气孔导度分别为 0.200 mol·m⁻²·s⁻¹、0.151 mol·m⁻²·s⁻¹、0.134 mol·m⁻²·s⁻¹, 胞间 CO₂ 浓度分别为 251.7 μmol·mol⁻¹、234.7 μmol·mol⁻¹、230.1 μmol·mol⁻¹。(2) 3 种苗木的净光合速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度均有显著差异。(3) 3 种苗木净光合速率的日变化相似, 都呈单峰曲线, 但美国黑樱桃达到峰值的时间在上午 10 时, 早于加拿大黑樱桃和中国山樱桃, 后两者达到峰值的时间都在中午 12 时。胞间 CO₂ 浓度的日变化都是从早晨开始逐渐下降, 到下午降低到最小值, 然后又有所增加, 所不同的是, 美国黑樱桃苗木下降到最小值的时间较早, 在 14 时, 而中国山樱桃和加拿大黑樱桃则较迟, 都在 16 时。气孔导度的日变化趋势相似。

关键词: 黑樱桃; 山樱桃; 净光合速率; 气孔导度; 胞间 CO₂ 浓度

中图分类号: Q945.22

文献标识码: A

Comparison on the Photosynthesis of Seedlings of *Prunus serotina* and *Prunus serrulata*

LI Lianghou^{1,2}, LI Jiyue^{1,3}, FU Xiangjian⁴, LI Gaoyang²

(1. College of Natural Resources and Environment, Beijing Forestry University, Beijing 100083 China 2. Henan Academy of Forestry, Zhengzhou 450008, Henan China 3. The Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083 China 4. Henan Institute of Meteorology, Zhengzhou 450008 Henan China)

Abstract With LI-6400 portable photosynthesis systems, the net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s) and intercellular CO₂ concentration (C_i) under natural full light conditions were compared for *Prunus serrulata* from Guangshan County, Henan Province, *P. serotina* from Pennsylvania and Ontario. The results showed that (1) *P. serrulata* had the maximum daily average amount of P_n , G_s , and C_i , which were 6.381 μmol·m⁻²·s⁻¹, 0.200 mol·m⁻²·s⁻¹, and 251.7 μmol·mol⁻¹ respectively, and the average amounts of seedlings of Pennsylvania provenances were the medium, they were 5.550 μmol·m⁻²·s⁻¹, 0.151 mol·m⁻²·s⁻¹, and 234.7 μmol·mol⁻¹ respectively, and the average amounts of seedlings of Ontario provenance were the least, they were 4.952 μmol·m⁻²·s⁻¹, 0.134 mol·m⁻²·s⁻¹, and 230.1 μmol·mol⁻¹ respectively. (2) P_n , G_s and C_i had significantly differences among these species. (3) The daily variation of P_n was similar, there was only one peak of P_n in a day, but the P_n of plants of Pennsylvania provenance reached

收稿日期: 2006-03-09

基金项目: 国家“948”林业项目 (97-4-04)

作者简介: 李良厚 (1964—), 男, 河南光山人, 副研究员, 博士生, 主要从事森林培育研究。

the peak earlier than that of the other two kinds of seedlings. The daily variation of C_i was similar to C_i decreased gradually from morning to the minimum in the afternoon and increased a little later, but the C_i of plants of Pennsylvania provenance fell the minimum earlier than that of the other two kinds of seedlings. The daily variation of G_s was similar to

Key words *Prunus serotina*; *Prunus serrulata*; net photosynthetic rate (P_n); stomatal conductance (G_s); intercellular CO_2 concentration (C_i)

黑樱桃 (*Prunus serotina* (Ehrlh.)) 是美国樱属 (*Prunus* L.) 树种中分布最广泛的珍贵硬阔用材树种, 也是樱属中唯一具有商业用材价值的树种^[1]。国外虽然对黑樱桃的光合生理生态特性开展过某些研究, 如光照强度对黑樱桃的气孔导度和净光合速率的影响^[2], 黑樱桃不同苗龄苗木的叶片和不同叶龄叶片的净光合速率^[3], 湿生型和旱生型不同生态型黑樱桃种源的光合作用比较研究^[4], 黑樱桃不同个体在光饱和时光合速率的差异^[5], 黑樱桃两种家系在不同臭氧环境中的气孔导度和净光合速率比较研究^[6]等。但是没有研究过在白天全光照条件下的净光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度的连续变化情况。将黑樱桃作为重要的树木基因资源引入我国仅有几年的时间, 对它的光合特性的研究在此之前尚未开展。山樱桃 (*Prunus serrulata* Lindl.) 是我国分布广泛的乔木树种, 常被用作栽培樱桃的砧木, 对其光合特性的研究未见文献报道。

本研究对从美国、加拿大引种到我国的两个黑樱桃种源以及我国山樱桃在白天全光照条件下的净光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度等光合生理指标的连续变化情况进行了测定, 丰富了这两个树种的生理研究内容, 对它们的光合生理特性进行了比较。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地点在河南省光山县城关镇前楼村。地理位置 $115^{\circ}10'E$, $32^{\circ}5'N$ 。地处大别山北麓, 淮河南岸, 属于北亚热带向暖温带的过渡地带。四季分明、气候温暖、雨量充沛、雨热同季, 海拔高度 50 m, 年平均气温 $15.4^{\circ}C$, 极端最高气温 $41.2^{\circ}C$, 极端最低气温 $-20^{\circ}C$, 年均降水量 1 100 mm, 年蒸发量 2 389.1 mm, 年平均相对湿度 74%, 无霜期 227 d。地势为岗畝平地, 土壤为潜育型水稻土, pH 值 6.5。

1.2 试验材料

测试材料为当年春季播种的美国黑樱桃 (宾夕法尼亚州种源) 和加拿大黑樱桃 (安大略省种源) 的实生苗, 以及当年生中国山樱桃 (河南省种源) 实生苗。黑樱桃和山樱桃的种子都具有生理后熟的特性, 需要较长时间的低温沙藏催芽。将种子于 2004 年 11 月下旬用 $40^{\circ}C$ 左右温水浸泡两昼夜, 捞出后混以 3 倍体积的湿沙, 放在野外坑中藏至 2005 年 2 月底, 约 30% 的种子露白, 将其播种在塑料大棚内, 3 月中旬苗高 5 cm 长出 4~6 片叶时移栽至大田中。5 月底苗高 40 cm 左右, 长出 30 个左右的叶片时开始第一次测定。

1.3 测定方法

用便携式光合作用系统测定仪 (LI-6400) 对黑樱桃两个种源和中国山樱桃实生苗的生理指标进行比较测定。测定分 3 次进行, 分别在 2005 年 5 月 29 日、7 月 26 日和 9 月 22 日, 天气均为晴天, 每次测定从早晨 6 时开始, 每隔 2 h 测定 1 次^[7], 至下午 6 时结束, 共测定 7 次。每次每种苗木选 3 株做重复测定, 在每株苗木朝南面的中上部选择生长正常的叶子 3 片, 在自然条件下活体快速测定^[8]。测定指标有净光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度等指标, 各项指标每次测定时每个样品重复读取 3 个数据^[9]。整个测定使用的是同一台仪器, 以避免不同仪器之间的误差。虽然一台仪器每一个时段完成全部试样的测定需持续一定时间, 先测定的数据和后测定的会有差异, 但是, 取多个样品多次测定的平均值作为结果会使误差降到最小。

1.4 数据分析

对测得的净光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度等指标的全部数据做统计处理, 取 3 次测定相应时刻的平均值, 采用多元方差分析的方法对树种、种源之间及同种苗木在一天的不同时段各项指标的差异显著性进行分析。所用分析软件是 MATLAB 6.5。

2 结果与分析

2.1 净光合速率

3种苗木净光合速率日平均水平从大到小顺序为中国山樱桃 $6.381 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、美国黑樱桃 $5.550 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、加拿大黑樱桃 $4.952 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (见表 1)。3种苗木净光合速率最大值出现的时间不一致,美国黑樱桃达到最大值的时间

最早,加拿大黑樱桃和中国山樱桃相对滞后。在一天中净光合速率的变化幅度,中国山樱桃最大, $9.813 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;美国黑樱桃居中, $9.041 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;加拿大黑樱桃最小, $7.381 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。但是,3种苗木净光合速率的日变化趋势是相似的,即从早晨开始,净光合速率逐渐增加,达到高峰后又逐步下降(图 1)。

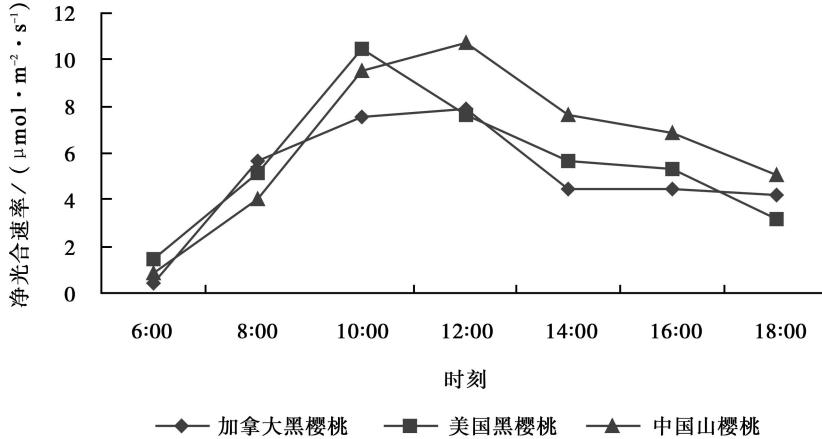


图 1 美国黑樱桃、加拿大黑樱桃、中国山樱桃的净光合速率日变化比较

2.2 气孔导度

气孔导度日平均水平由大到小依次是中国山樱桃 $0.200 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、美国黑樱桃 $0.151 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、加拿大黑樱桃 $0.134 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (见表 1)。在同一时间内,3种苗木气孔导度的数值有差异。早上 6 时,美国黑樱桃的气孔导度最大, $0.140 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;加拿大黑樱桃居中, $0.121 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;中国山樱桃最小, $0.104 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2}$

$\cdot \text{s}^{-1}$ 。下午 6 时的气孔导度是中国山樱桃最大,美国黑樱桃居中,加拿大黑樱桃最小。在一天中气孔导度的变化幅度,美国黑樱桃最大, $0.256 \text{mol} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$;加拿大黑樱桃居中, $0.202 \text{mol} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$;中国山樱桃最小, $0.184 \text{mol} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。气孔导度日变化趋势相似,早晨的值都较低,经过一段时间的上升,在中午达到峰值后又都逐渐下降(图 2)。

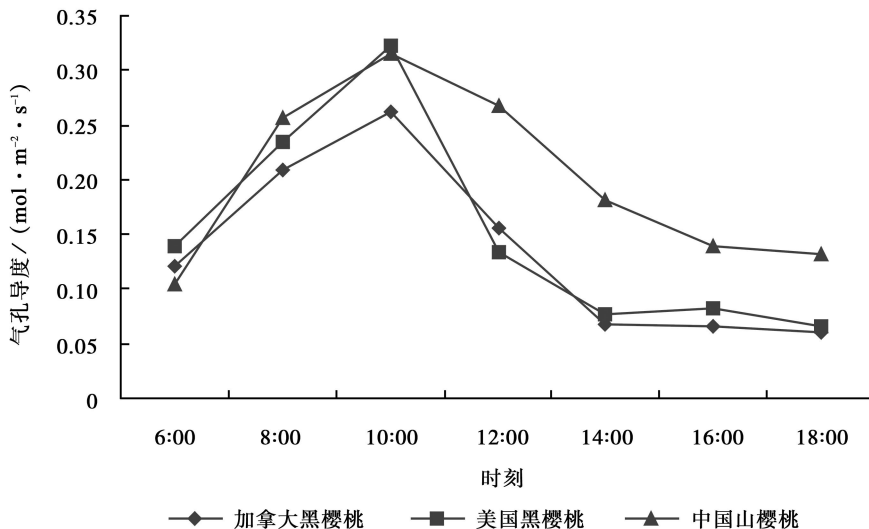


图 2 美国黑樱桃、加拿大黑樱桃、中国山樱桃的气孔导度日变化比较

2.3 胞间 CO₂浓度

美国黑樱桃、加拿大黑樱桃和中国山樱桃胞间 CO₂浓度呈明显的规律性变化。早上 6 时, 3 种苗木的值都是一天中最大的, 之后都逐渐下降, 到下午达最小值, 然后又有所增加。所不同的是, 美国黑樱桃胞间 CO₂浓度下降到最小值的时间较早, 而中国山樱桃和加拿大黑樱桃下降到最小值的时间相对滞后, 但两者一致(图 3)。从平均水平来看, 中国山樱桃胞间 CO₂浓度最大, 251.7 μmol·mol⁻¹, 美国黑樱

桃 234.7 μmol·mol⁻¹, 加拿大黑樱桃 230.1 μmol·mol⁻¹(表 1)。

表 1 3 种苗木光合生理生态指标日平均水平

种或种源	净光合速率 / (μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	气孔导度 / (mol·m ⁻² ·s ⁻¹)	胞间 CO ₂ 浓度 / (μmol·mol ⁻¹)
美国黑樱桃	5.550	0.151	234.7
加拿大黑樱桃	4.952	0.134	230.1
中国山樱桃	6.381	0.200	251.7

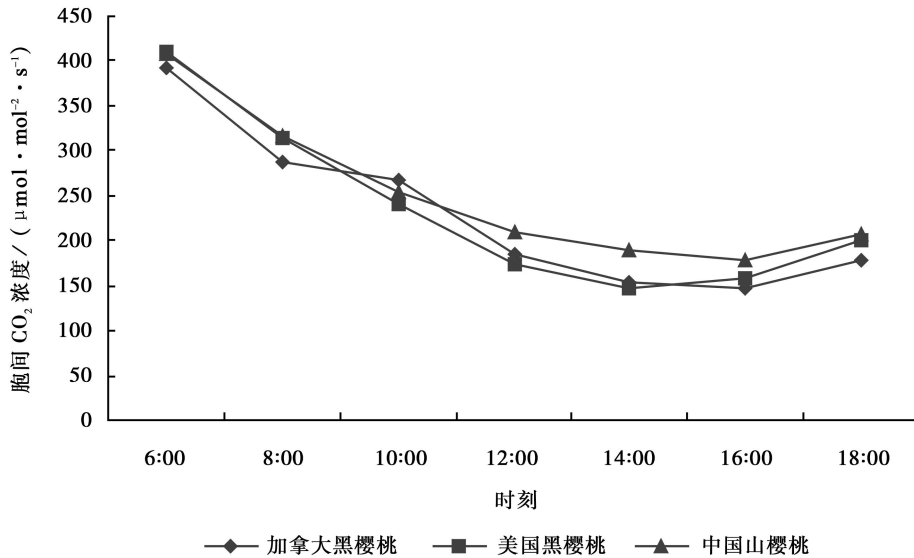


图 3 美国黑樱桃、加拿大黑樱桃、中国山樱桃的胞间 CO₂浓度日变化比较

2.4 光合生理指标的差异性比较

应用 MATLAB 软件对 3 种苗木的净光合速率、气孔导度、胞间 CO₂浓度做方差分析, 结果见表 2。

表 2 3 种苗木光合生理生态指标方差分析

离差来源	自由度	净光合速率		气孔导度		胞间 CO ₂ 浓度	
		F	Prob>F	F	Prob>F	F	Prob>F
时段间	6	52.09*	0	18.88*	0	370.23*	0
种类间	2	8.01*	0.0011	13.55*	0	14.12*	0
交互作用	12	2.75*	0.0077	3.1*	0.0033	2.39*	0.0185
(误差)	42						
(合计)	62						

注: F_{0.01} = 0.37, F_{0.05} = 0.48, 分别表示在 5% 和 1% 水平上差异显著。

从表 2 可以看出, 在一天中不同时间段的苗木净光合速率 F 值为 52.09, 这说明苗木净光合速率在一天中不同时间段的差异很显著。黑樱桃两个种源之间, 以及与中国山樱桃间苗木净光合速率 F 值为 8.01, 说明它们之间的苗木净光合速率差异也显著, 但一天中不同时间段所产生的差异比种源和种间所产生的差异要大得多。苗木净光合速率在一天中不同

时段的 F 值所对应的概率值为 0, 这说明苗木的净光合速率与一天中的不同时间段相关性很高。不同时间段和不同种类对净光合速率大小有交互作用。

3 种苗木在一天中不同时间段的气孔导度 F 值为 18.88, 这说明苗木在一天中不同时间段的气孔导度差异显著。3 种供试苗木气孔导度的 F 值为 13.55, 说明它们之间差异也显著, 且一天中不同时间段气孔导度的差异与种源、种间气孔导度的差异相近。苗木在一天中不同时间段和不同种类的苗木气孔导度的 F 值所对应的概率值均为 0, 说明气孔导度与苗木种类、一天中各个时间段的相关性很高。不同时间段和不同种类对气孔导度的大小有交互作用。

3 种苗木在一天中不同时间段的气孔导度 F 值为 370.23, 说明苗木在一天中不同时间段的气孔导度差异极为显著。不同种类间气孔导度的 F 值为 14.12, 说明 3 种苗木的气孔导度之间差异也显著。一天中不同时间段气孔导度的差异远大于种类间的差异。苗木在一天中不同时间段气孔导度的 F 值和 3 种苗木气孔导度的 F 值所

对应的概率值均为 0 说明胞间 CO_2 浓度与苗木种类、一天中不同时段的相关性很高。不同时段和不同种类对胞间 CO_2 浓度的大小有交互作用。

3 小结

(1) 从相关指标的平均值来看, 苗木净光合速率从大到小顺序为中国山樱桃、美国黑樱桃、加拿大黑樱桃; 气孔导度由大到小依次是中国山樱桃、美国黑樱桃、加拿大黑樱桃; 胞间 CO_2 浓度从大到小排列为中国山樱桃、美国黑樱桃、加拿大黑樱桃, 但两个种源的黑樱桃的值相差很小。每一种苗木, 其净光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度具有一致性, 即净光合速率水平高的树种, 其气孔导度、胞间 CO_2 浓度也具有相应的高水平。

(2) 从日变化情况看, 3 种苗木净光合速率日变化曲线是单峰曲线, 即净光合速率在一日内有一个高峰^[10, 11], 呈“单峰曲线型”^[12], 这与木瓜 (*Chaenomeles sinensis* (Thouin) Koehne) 某些品种相同^[13], 而不同于桤木 (*Alnus cremastogyne* Burkill) 光合日变化的多峰曲线^[14]。3 种苗木光合日变化峰值都在上午出现, 但出现的具体时段不同, 美国黑樱桃达到峰值的时间最早, 加拿大黑樱桃和中国山樱桃相对滞后。气孔导度日变化趋势相似, 早晨的值都较低, 经过一段时间的上升, 在中午达到峰值后又都逐渐下降。胞间 CO_2 浓度日变化都是从早晨的最大值逐渐下降, 到下午达最小值后又有所回升。每一种苗木的净光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度的日变化虽然各有不同, 但各自呈现一定的变化趋势, 而不是无规律的波动。

(3) 经方差分析, 每一种苗木的净光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度在一天中的不同时段间均有显著差异, 3 种苗木之间的净光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度也都有显著差异, 净光合速率与一天中的各个时段相关性很高, 气孔导度、胞间 CO_2 浓度不仅与一天中各个时段相关性很高, 而且与苗木种

类的相关性也很高。不同时段和不同种类对净光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度的大小有交互作用。

参考文献:

- [1] Fowells H A. Silvics of Forest Trees of the United States [M]. USDA Agr Handbk 271. Washington D. C, 1965: 539~545
- [2] Fredericksen T S, Kolb T E, Skelly JM, et al. Light environment affects ozone uptake per net photosynthetic rate in black cherry trees [J]. Tree Physiology, 1996, 16: 485~490
- [3] Stephen B Kurt WG. Leaf area and net photosynthesis during development of *Prunus serotina* seedlings [J]. Tree Physiology, 1993: 12: 55~69
- [4] Marc D, Brian D K, Mark E K. Ecophysiological and morphological responses to shade and drought in two contrasting ecotypes of *Prunus serotina* [J]. Tree Physiology, 1992, 10: 343~355
- [5] Bassow S L, Bazzaz F A. Intra- and inter-specific variation in canopy photosynthesis in a mixed deciduous forest [J]. Oecologia 1997, 109: 507~515
- [6] Kouterick K B, Skelly JM, Fredericksen T S et al. Foliar injury, leaf gas exchange and biomass responses of black cherry (*Prunus serotina* Ehrh.) hybrid families to ozone exposure [J]. Environmental Pollution 2000, 107: 117~126
- [7] 陆钊华, 徐建民, 陈儒香, 等. 桤木无性系苗期光合作用特性研究 [J]. 林业科学研究, 2003, 16(5): 575~580
- [8] 傅大立, 李芳东, 赵天榜, 玉兰属 5 树种生理指标的对比研究 [J]. 林业科学, 2003, 39(1): 44~49
- [9] 孙谷畴, 赵平, 曾小平. 两种木兰科植物叶片光合作用的光驯化 [J]. 生态学报, 2004, 24(6): 1111~1117
- [10] 潘瑞炽. 植物生理学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2001: 91~95
- [11] Qing Y U, Goudriani J Tian Duo Wang M. Modelling diurnal courses of photosynthesis and transpiration of leaves on the basis of stomatal and non-stomatal responses including photoinhibition [J]. Photosynthetica 2001, 39(1): 43~51
- [12] 户蓟义次. 作物的光合作用与物质生产 [M]. 薛德棕译. 北京: 科学出版社, 1979: 177~201
- [13] 刘世平, 邓雄, 蔡楚雄, 等. 4 种木瓜新品种光合作用日变化以及气孔导度-VPD 响应 [J]. 中山大学学报 (自然科学版), 2003, 42(增刊): 215~218
- [14] 彭培好, 王金锡, 王成善. 人工桤木混交林光合生理生态机理研究 [J]. 四川林业科技, 2001, 22(4): 19~23