

海南尖峰岭地区三种热带复合 农林业体系效益研究*

李意德 曾庆波 吴仲民 李炎香 周光益 陈步峰

(中国林业科学研究院热带林业研究所, 510520, 广州; 第一作者 38 岁, 男, 研究员)

摘要 对海南岛尖峰岭地区热带珍贵树种母生、海南石梓人工林下种植经济作物益智、咖啡的复合农林业系统的生态和经济效益研究表明: 复合系统能显著促进主林层乔木的生长, 胸径生长速度比对照地高出 43% ~ 134%, 材积生长高出 18% ~ 81%, 生物量高出 5% ~ 86%; 生物量净积累量 9.53 ~ 15.23 t · hm⁻² · a⁻¹, 为对照地的 1.6 ~ 5.1 倍; 系统的光能利用率为 0.78% ~ 1.26%, 为对照样地的 1.94 ~ 5.04 倍; 同时系统具有较高的经济效益, 林下种植益智后的产值可达 1.8 ~ 3 万元 · hm⁻² · a⁻¹, 为对照地的 5.26 ~ 9.82 倍, 投入产出比为 1 : 2.93 ~ 1 : 4.17。

关键词 复合农林业; 生态效益; 经济效益; 母生; 海南石梓; 益智

分类号 S727.305

我国热带地区现代农林业复合体系类型多种多样, 生态效益和经济效益都不错。如人工橡胶林下间种药用植物砂仁(*Amomum villosum* Lour.) 后, 小气候得到改善^[1], 促进了系统的生物产量和营养元素积累量的增加^[2], 并可改善森林土壤肥力^[3]。本文对海南岛尖峰岭林区乡土树种母生(*Homalium hainanense* Gagnep.)、海南石梓(*Gmelina hainanensis* Oliv.) 人工林下种植经济作物益智(*Alpinia oxyphylla* Miq.)、咖啡(*Coffea arabica* L.) 等复合农林系统进行了综合效益的初步评估。

母生, 又称红花天料木, 主产于海南岛, 为海南岛五大特类用材树种之一, 其材质非常坚硬, 是上等的工业、建筑和家具用材, 特别是船舶工业用材。该树种主要分布在热带混合雨林中, 人工栽植后的前 10 a, 其生长表现尚可, 但 10 a 后, 其生长表现明显衰退, 形成了热带地区的小老头人工林, 有学者对该衰退现象从栽培、生理、土壤、病虫害等方面作了研究^[4~8], 也提出了母生人工幼林出现早衰现象并非树种本身的特性, 而属于造林中的生态技术问题。海南石梓是海南岛的一类珍贵用材, 其材性与世界名木柚木(*Tectona grandis* L. f.) 相似, 发展潜力很大, 但对其生态学和栽培特性等研究很少。益智属于姜科(Zingiberaceae) 草本植物, 其蒴果供药用, 具有益脾胃、理元气、补肾虚滑沥的功效; 而属于茜草科(Rubiaceae) 灌木植物的咖啡, 则是世界上著名的饮料植物。

1 试验地概况和调查方法

试验地位于海南岛尖峰岭林区大凯林场中线公路 15 km 处的营林队附近, 尖峰岭主峰西坡海拔 200 ~ 300 m 处, 自然植被类型为热带半落叶季雨林, 年平均气温 24 °C, 10 年积温

* 本文为林业部“九五”重点项目“尖峰岭热带林生态系统定位研究(96-35)”和 ITTO 资助项目“热带原始林保护示范区——保护区自养体系建设(1993 ~ 1999 年)”内容的一部分。

为 8 680 ,年总辐射量 $5\ 836.48\ \text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,年降雨量 1 700 mm,其中雨季(5~10月)的雨量达 1 300 mm,占全年雨量的 76%。有明显的旱季和雨季之分^[9]。

该营林队的母生和海南石梓于 60 年代中期种植,70 年代以来,其生长有下降的趋势,特别是母生,下降趋势非常明显,于 80 年代中期在林下开始种植经济作物,形成复合农林业系统,主要类型有:母生-益智林;母生-咖啡林;海南石梓-益智林;母生-芒果(*Mangifera indica* L.)-益智林;海南石梓-香蕉(*Musa acuminata* Colla)林;林中空地间种胡椒(*Piper nigrum* L.)、肉豆蔻(*Myristica fragrans* Houtt.)等,选择了前 3 类模式开展调查,其样地概况见表 1。

表 1 样地概况

样地号	类 型	种植年份	现存密度/ 株(丛)·hm ⁻²	林 下 植 被 概 况 ^①
G-1	海南石梓+ 益智	海南石梓 1961 益智 1986	海南石梓: 169 益智: 2 193	乌墨、猫尾木、裸花紫珠等 20 余种,量少,散布
G-2	海南石梓(对照)	海南石梓 1961	海南石梓: 313	闭鞘姜、黑面神、尖尾楠等 30 多种,盖度 100%,高度 0.5~1 m
G-3	海南石梓+ 益智	海南石梓 1961 益智 1986	海南石梓: 263 益智: 2 667	野龙眼、飞机草、海岛棉等几种,量极少
H-1	母生+ 益智	母生 1965 益智 1986	母生: 484 益智: 2 204	羽芒菊等,量极少
H-2	母生(对照)	母生 1965	母生: 413	黑格、鸦胆子、飞机草等 10 多种,盖度 100%,高度 0.3~0.6 m
H-3	母生+ 益智	母生 1965 益智 1986	母生: 435 益智: 2 790	白茅等几种,量极少
HC-1	母生+ 咖啡	母生 1965 咖啡 1987	母生: 278 咖啡: 1 660	莎草、白茅、飞机草等,量极少
HC-2	母生(对照)	母生 1965	母生: 816	大沙叶、土密树、白茅等近 20 种,盖度 60%,高度 0.3~0.5 m

①植物学名:乌墨(*Syzygium cumini* (L.) Skeels),猫尾木(*Dolichandrone caudafelina* (Hance) Benth. et Hook.f.),裸花紫珠(*Callicarpa nudiflora* Hook. et Arn.),闭鞘姜(*Costus speciosus* (Koen.) Sm.),黑面神(*Breynia fruticosa* (L.) Hook.f.),尖尾楠(*Phoebe tavoyana* (Meissn.) Hook.f.),野龙眼(*Dimocarpus longan* Lour.),飞机草(*Eupatorium odoratum* L.),海岛棉(*Gossypium barbadense* L.),羽芒菊(*Tridax procumbens*),黑格(*Albizia odoratissima* (L.f.) Benth.),鸦胆子(*Brucea javanica* (L.) Merr.),白茅(*Imperata cylindrica* (L.) Beauv. var. *major* (Nees) C.E. Hubb. ex Hubb. et Vaughan),莎草(*Cyperus* sp.),大沙叶(*Aporosa chinensis* (Champ.) Merr.),土密树(*Bridelia tomentosa* Bl.)。

样地面积 600~1 200 m²,各样地相距 100~200 m,其自然条件和原生植被基本一致。样树用红油漆在 1.3 m 处进行标记,于 1990 年 3 月和 1991 年 1 月调查了乔木胸径、树高,根据平均木选取解析木,按径级选取生物量样木,并进行叶面积测定。益智调查株行距、每丛 1~3 年生的杆数、杆高、冠幅、每穗的果实粒数、平均穗长、每杆生物量、果重等参数;咖啡按灌木类型测定生物量。生物量测定方法与前期的研究相同^[10,11]。凋落物的测定是在每个样地中设立 5~10 个面积为 0.25 m² 的小样方进行收集。

根据解析木和生物量样木资料,拟合出 2 个乔木树种优化的生物量、叶面积、材积和树高估测模型为:

$$\begin{aligned}
 \text{母生生物量: 树干 } m_s &= 0.035\ 815(D^2H)^{0.984\ 341} & \text{树枝 } m_{br} &= 0.001\ 548(D^2H)^{1.084\ 961} \\
 \text{树叶 } m_l &= 0.001\ 201(D^2H)^{0.973\ 849} \\
 \text{叶面积: } A_l &= 0.024\ 176(D^2H)^{0.874\ 049} & \text{材积: } V &= 0.000\ 018\ 05(D^2H)^{1.094\ 826} \\
 \text{树高: } H &= 3.820\ 337 + 0.442\ 942D
 \end{aligned}$$

海南石梓生物量: 树干 $m_s = 0.006402(D^2H)^{1.141543}$, 树枝 $m_{br} = 0.000243(D^2H)^{1.427354}$

树叶 $m_l = 0.000005(D^2H)^{1.581016}$

叶面积: $A_l = 0.000225(D^2H)^{1.389296}$, 材积: $V = 0.00015328(D^2H)^{0.818629}$

树高: $1/H = 0.052534 + 0.920636/D$

2 结果分析

2.1 间种经济作物后对上层乔木的生长影响

2.1.1 对胸径和树高生长的影响 海南石梓和母生人工林下种植经济作物后,明显地改善了林内的生态环境,促进了林木的生长,对已处于衰退状态的母生而言,其恢复生长情况尤其良好。海南石梓样地内所有植株在调查期内的平均胸径增长幅度,种植经济作物地比对照样地高出43%~50%;而母生样地则高出74%~134%。图1从解析木的实例说明母生人工林在种植经济作物后明显地提高了胸径的连年生长速度。由于母生和海南石梓的树高在20m左右,高生长基本停止,因此种植经济作物后对树高的生长促进作用不明显。

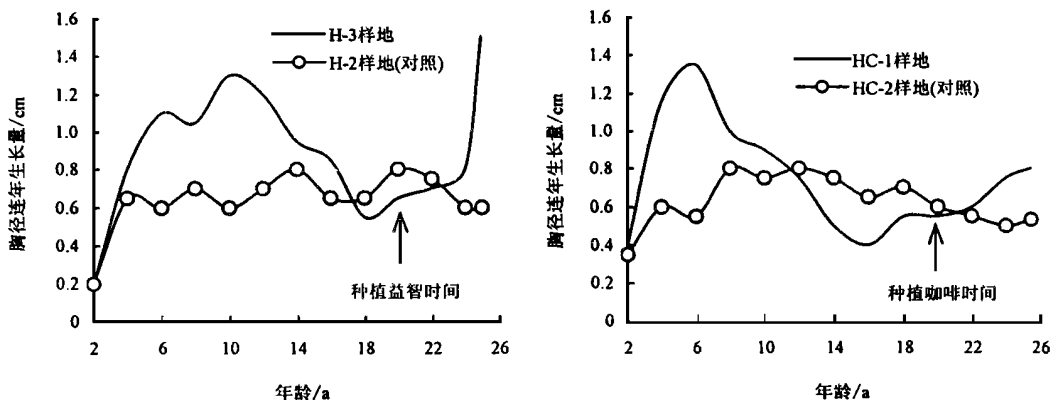


图1 种植益智和咖啡后对母生胸径连年生长的促进作用

2.1.2 对材积生长的影响 在调查期间按林木平均单株材积计算的增长幅度是不相同的。一般种植经济作物的样地比对照样地的增幅要高出18%~81%,如G-3和G-2高28.6%,H-1比H-2高20.2%,H-3比H-2高18.2%,HC-1比HC-2高81.3%,种植经济作物对材积生长的促进作用是非常明显的。

2.1.3 生物量和年平均生物产量 同样,由于林木的胸径和材积在种植有经济作物的样地比对照样地都有较大幅度的增长,其生物量也有较高的增幅。乔木层地上部分生物量变化在47~135 t·hm⁻²之间,调查期间年生物量增量变化3~11 t·hm⁻²·a⁻¹之间,而调查期间的生物量增长速率则是试验地比对照地高5%~86%,如G-1比G-2高5.7%,G-3比G-2高32.1%,H-1比H-2高85.7%,H-3比H-2高19.8%,HC-1比HC-2高78.2%。

2.2 经济作物的生长

2.2.1 生物量和生长量 从表2可看出,益智的生物量达8.6~17.1 t·hm⁻²,对作物草本层而言,这是一个非常高的生物量指标,但咖啡因种植密度较低,枝叶也较稀疏,其生物量仅有2.39 t·hm⁻²。生物净积累量各样地均高,益智达4.13~8.85 t·hm⁻²·a⁻¹,咖啡也达到了1.57 t·hm⁻²·a⁻¹(不包括果实生产量)。

表 2 各样地经济作物的生物量和净积累量

样地号	作物名称	杆	叶	果 ^①	合 计
G-1	益 智	6.931 0/3.424 8	2.862 4/1.652 2	0.292 4/0.291 4	10.085 8/5.368 4
G-3	益 智	12.940 6/5.570 7	3.910 9/3.020 0	0.259 4/0.259 4	17.110 9/8.850 1
H-1	益 智	5.688 5/2.442 9	2.661 9/1.487 8	0.205 8/0.205 8	8.566 2/4.136 5
H-3	益 智	8.937 0/3.129 8	3.976 0/1.801 2	0.208 5/0.208 5	13.121 5/5.139 5
CH-1	咖啡 ^②	(树干)0.497 6/0.165 9	(树枝)0.715 2/0.238 4	(树叶)1.165 9/1.165 9	2.378 7/1.570 2

①含益智果柄重;②咖啡为灌木,调查期间为始果期,未测量花果质量。“/”左为生物量数据(单位: $t \cdot hm^{-2}$),右为净积累量数据(单位: $t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)。

2.2.2 经济作物产量 经济作物产量的高低是直接反映该作物经济效益的重要指标。由于调查期内咖啡尚未结果,因此只测定了 4 个样地的益智产量,结果表明,益智的产量可达 $880 \sim 1250 kg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ (表 3)。据调查,该营林队的农户种植的益智单位面积平均产量为 $843.75 kg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$,与实际测定的结果基本相符。

表 3 益智收获量

样地号	鲜果质量/ $kg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$
G-1	1249.74
G-3	1108.47
H-1	879.40
H-3	891.06

2.3 效益评估

2.3.1 生态效益 本节拟从光能利用效益方面出发,来探讨这几类农林复合系统的生态效益。热带半落叶季雨林在尖峰岭的分布海拔范围为 $50 \sim 300 m$,据 20 多年的气象观察结果,该区域内的年平均总辐射量(入射短波光谱 $0.3 \sim 3 \mu m$)为 $583648 MJ \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$,即 $58364800 MJ \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1[9]}$ 。但在总辐射量中,可用于光合作用的有效辐射($400 \sim 700 nm$)仅占总辐射量的 $40\%^{[12]}$ 左右,其余用于系统加热。因此可用于光合作用的有效辐射的平均值为 $23345920 MJ \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ 。

各样地的生产力用植被系统固定的净第一性生产力 P_n 来计算, P_n 的测定公式如下:

$$P_n = \Delta B + F + I_g + E_x$$

式中, ΔB ——前后两次生物量调查差值(单位: $t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$),本文用生物量的净积累量表示; F ——调查期间的凋落物量(单位: $t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$); I_g ——调查期间的第二性生物消耗量(单位: $t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$); E_x ——调查期间的生物量输出,如木材、果实等(单位: $t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)。

在本研究测定中, I_g 部分的量未作测定; L 部分是估算的。估算的方法是根据林地的凋落物现存量 L 和群落的生物循环强度 V 的关系^[13]而计算: $V = L/F$ 。

表 4 各样地的凋落物现存量(L)和凋落物量(F)

项 目	样 地 类 型						
	石梓+ 益智	石梓纯林	母生+ 益智	母生纯林	母生+ 咖啡	母生纯林	
$L/t \cdot hm^{-2}$	合计	3.78	6.01	2.31	2.76	1.85	2.61
	枝	1.75	2.53	1.19	1.19	0.73	1.49
	叶	2.01	3.46	1.01	1.54	1.03	1.08
	花果	0.02	0.02	0.11	0.03	0.09	0.04
$F/t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$	合计	9.45	15.03	5.78	6.90	4.63	6.53
	枝	4.38	6.33	2.98	2.98	1.83	3.73
	叶	5.03	9.65	2.53	3.85	2.58	2.70
	花果	0.05	0.05	0.28	0.08	0.23	0.10

考虑到是作为实验和对照样地之间的比较, 其相对误差相同, 因此 V 值借用了样地周围的热带半落叶季雨林生态系统的测定值($V = 0.40$)^[9], L 的测定见研究方法, 样本和资料的处理同前期研究^[9]。根据 V 和 L 值为估算年凋落物量 F 值。各样地的 L 和 F 值见(上页)表 4。

E_x 项在本测定系统中, 木材的输出没有, 下层植物的益智每年输出 3 年生的秸秆和果实, 咖啡在调查期间尚未收果, 没有作计算。本次调查没有作热值的测定, 乔木、灌木和草本的各器官热值参照尖峰岭地区 83 种植物热值测定中生物学特性等性状相近物种的平均值^[14, 15], 花果的热值参考 Larcher^[12]。各样地固定的能量和光能利用率详见表 5。从表 5 可看出, 以净生产力 P_n 来计算, 各群落对光能的利用率在 0.83% ~ 1.85% 之间, 各样地之间表现的差异是种植有经济作物的地段比没有种植的地段的光能利用率要高得多, 表明了复合体系在光能利用效率方面的合理性。如果 P_n 中不包括凋落物部分, 即按生产力的有效部分(生物量净积累量 ΔB 和输出量 E_x) 计算, 则光能利用率为 0.37% ~ 1.26 之间, 种植有经济作物的地段的光能利用率是对照样地的 1.94 ~ 5.04 倍。

表 5 各样地固定的太阳能和光能利用率

MJ · hm⁻² · a⁻¹

样地号	乔木层 ΔB 固定能量	灌木草本层 ΔB 固定能量(含 E_x 项)	凋落物量 F 固定能量	固定能量 合计	光能利 用率%	为对照样 地倍数	不含凋落物量 光能利用率%	为对照样 地倍数
G-1	80 891.94	101 570.70	184 593.57	367 056.21	1.57	0.96	0.78	2.11
G-2	86 576.31	-	293 408.72	379 985.04	1.63	-	0.37	-
G-3	80 341.59	167 219.74	184 593.57	432 154.90	1.85	1.13	1.06	2.86
H-1	215 815.83	78 207.72	112 941.60	406 965.15	1.74	2.10	1.26	5.04
H-2	58 169.66	-	134 884.62	193 054.28	0.83	-	0.25	-
H-3	175 345.50	97 144.23	112 941.60	385 431.33	1.65	1.99	1.17	4.68
HC-1	168 182.64	77 443.37	89 778.63	335 404.64	1.44	1.33	1.05	1.94
HC-2	127 118.45	-	125 784.85	252 903.30	1.08	-	0.54	-

2.3.2 经济效益 农林复合体系中经济作物的产品也受市场变化而使得其价格发生波动。例如作为药用植物的益智果实, 1987 年的收购价格为 24 元 · kg⁻¹(鲜果), 1988 年为 12 ~ 14 元, 1990 年降至 1 元, 1991 ~ 1993 年有所回升, 为 6 ~ 10 元, 1994 年以后基本稳定在 14 ~ 16 元。尽管如此, 农林复合体系的经济效益仍是非常好的。下表列出了调查样地的经济效益概算。木材的价格, 母生为海南特类材, 现价格约 1 200 元 · m⁻³, 海南石梓为海南一类材, 现价格约为 800 元 · m⁻³, 木材材积的年生长量按调查期间内的年生长量计算年产值; 益智按照 1994 年以后的稳定价格的平均值 15 元 · kg⁻¹ 计算, 经济作物的单位面积年投入资金, 据 1990 年和 1991 年的调查, 其劳动力费用约为 3 500 ~ 4 000 元(用于作物的抚育、除草、收获等); 肥料费用约为 300 元, 考虑物价上涨因素, 因此按总投入 4 500 元 · hm⁻² · a⁻¹ 计算投入产出比, 详见表 6。

从表 6 可以看出, 种植有经济作物的地段的乔木层年产值一般比对照地段要高一些, 对于经济作物益智而言, 其系统毛收入达 1.87 ~ 3.04 万元, 投入产出比达到了 1.2.93 ~ 14.17, 其产值比对照样地高出 5.26 ~ 9.82 倍, 可见经济效益十分显著。

2.3.3 社会效益 作为当代林业发展的趋势之一, 复合农林业体系可有下列几个方面的社会效益: 一是充分利用了土地资源; 二是增加了种植业的多样性; 三是发展了地方小型加工工业, 如益智和咖啡的深加工, 既丰富了市场农产品的多样性和物资供给, 又促进了地方经济的纵深

表6 复合农林业系统的经济效益估算

样地号	乔木年平均生长量/ $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$	年产值/ $\text{元} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$	经济作物产量/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$	年产值		为对照样地倍数 ^①	经济作物投入产出比
				$\text{元} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$			
G-1	2.110 641	1 688.51	1 249.74	18 746.10	20 434.61	9.82	4.17
G-2	2.029 179	1 623.34	-	-	1 623.34	-	-
G-3	2.615 272	2 092.22	1 108.47	16 627.05	18 719.27	8.76	3.69
H-1	14.373 348	17 248.02	879.40	13 191.00	30 439.02	5.85	2.93
H-2	3.696 763	4 436.12	-	-	4 436.12	-	-
H-3	12.056 460	14.467.75	891.06	13 365.90	27 833.65	5.26	2.97
HC-1	8.167 362	9 800.83	NA	NA	9 800.83	NA	NA
HC-2	7.923 360	9 508.03	-	-	9 508.03	-	-

①计算对照样地倍数时已扣除种植作物的成本费用 4 500 元· hm^{-2} ; NA: 未测定和调查数据。

发展;四是增加了就业机会,据本次调查结果,1 hm^2 的复合体系的林地可增加包括种植、加工、运输、销售等 2~3 个就业机会。总之,良好地发展热带复合农林业,其直接和间接的社会效益均是很明显的。

3 讨论

热带珍贵树种的人工林,由于其生长环境与天然林环境有较大的差异,其生长表现差,特别是海南岛的 5 个热带特类材之一的母生,对水分条件的要求比较严格^[4],对土壤的要求较高^[5],林木的蒸腾作用较强^[7],在旱季由于水分的不足,导致生长停滞,甚至出现树叶枯萎现象,从而导致了林木根系抵抗力的下降,一些病原菌侵蚀根系,是导致林木死亡的原因之一,死亡率可达 30%^[8]。尽管研究人员提出防止母生人工林出现早衰现象的主要措施包括选好造林地、良种壮苗、深挖整地、合理的造林密度、抚育管理、种植混交林等^[6],然而前几条措施是营造高生产力人工林的最基本条件,而种植混交林则是最关键、也是实施起来比较困难的一个措施。本调查的结果显示,热带珍贵树种人工林下套种经济作物是解决早衰问题的有效途径之一,在母生和海南石梓人工林下种植益智,与对照样地相比,可促使目的树种的胸径生长提高 43%~134%,材积生长提高 18%~81%,生物量和净积累量提高 5%~86%,特别是母生,生长状况又从早衰中恢复过来,因此极大地提高了人工林的生产力水平。

从生产力而言,种植经济作物后有较大的提高,净积累量达 9.53~15.23 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,为对照样地的 1.6~5.1 倍。从光能利用率这一水平来看,间种经济作物的林地为对照样地的 1.94~5.04 倍。但是在调查地区,由于其管理水平仍较落后,这几类复合农林业系统的生物净积累量水平还可提高,例如本次调查的几个系统仅为橡胶和砂仁间种复合系统净积累量的 39%~63%^[11]。如果将系统的光能利用率提高到 1.5% 以上,则生产力水平将大大提高。因此,提高管理水平,包括上层乔木的合理密度、抚育管理、适时收获及收获方式、水肥管理等方面,是更进一步提高复合农林业系统生产力的重要措施。

间种经济作物由于种植后 3 a 左右即可产出,具有短期的效益,对周期性较长的林业生产特别是热带珍贵用材树种的栽培,是一个很好的经济来源补充途径,在经济落后的地区尤其如此,同时又充分地利用了林地资源和自然环境资源。本次调查的几个类型的结果表明,间种经济作物益智后,年产值可达 10 000~30 000 元· hm^{-2} ,与对照样地相比提高了 5.26~9.82 倍,投入产出比达 1.2.93~1.4.17(税前值),表现出较高的经济效益。

参 考 文 献

- 1 周再知, 郑海水, 尹光天, 等. 橡胶与砂仁间作小气候特点初探. 生态学杂志, 1994, 13(1): 27 ~ 31.
- 2 周再知, 郑海水, 杨曾奖, 等. 橡胶-砂仁复合系统生物产量、营养元素空间格局的研究. 生态学报, 1997, 17(3): 225 ~ 233.
- 3 杨曾奖, 郑海水, 尹光天, 等. 橡胶间种砂仁、咖啡对土壤肥力的影响. 林业科学研究, 1995, 8(4): 466 ~ 470.
- 4 李艳敏. 水分条件与母生生长的关系. 热带林业科技, 1984(1): 31 ~ 36.
- 5 卢俊培. 土壤条件与母生生长. 见: 中国林学会, 中国土壤学会森林土壤专业委员会主编. 森林与土壤. 北京: 科学出版社, 1981. 169 ~ 176.
- 6 中国林科院热带林业研究所, 海南行政区林业科学研究所, 广东省尖峰岭林业局, 等. 防止母生人工林出现早衰现象的初步意见. 热带林业科技, 1978(1): 1 ~ 6.
- 7 宋学之, 黄良胜, 李艳敏. 母生幼林蒸腾作用的初步观察. 热带林业科技, 1978(1): 7 ~ 11.
- 8 弓明钦. 母生幼树枯死与小根死亡之关系的探讨. 热带林业科技, 1982(2): 6 ~ 14.
- 9 蒋有绪, 卢俊培, 等. 海南岛尖峰岭热带林生态系统. 北京: 科学出版社, 1991.
- 10 黄全, 李意德, 赖巨章, 等. 黎母山热带山地雨林生物量的初步研究. 植物生态学与地植物学学报, 1991, 15(2): 90 ~ 95.
- 11 李意德, 曾庆波, 吴仲民, 等. 尖峰岭热带山地雨林生物量的初步研究. 植物生态学与地植物学学报, 1992, 16(4): 293 ~ 300.
- 12 Larcher W. 植物生理生态学. 李博等译. 北京: 科学出版社, 1985.
- 13 Robin L E, Basilevich N L. Production and mineral cycling in terrestrial vegetation. Transl. Scripta Technica. Oliver and Boye. London, 1967.
- 14 李意德, 吴仲民, 曾庆波, 等. 尖峰岭热带山地雨林主要种类能量背景值测定分析. 植物生态学报, 1996, 20(1): 1 ~ 10.
- 15 曾庆波, 李意德, 陈步峰, 等. 热带林生态系统研究与管理. 北京: 中国林业出版社, 1997.

Research on Benefits of Three Agroforestry Systems in Jianfengling, Hainan Island

Li Yide Zeng Qingbo Wu Zhongmin Li Yanxiang Zhou Guangyi Chen Bifeng
(The Research Institute of Tropical Forestry, CAF, 510520, Guangzhou, China)

Abstract This paper summarized the benefits of three agroforestry systems in tropical area of China. The systems are the endemic species *Homalium hainanense* plantation inter-cropping medicine plant *Alpinia oxyphylla* and coffee, *Gmelina hainanensis* plantation inter-cropping *A. oxyphylla*. The results indicated that the growth of the plantation was promoted after inter-cropped the economic plants. For contrasting with the control sites, the growth rates of tree DBH, timber volume and biomass on the inter-cropped sites were higher over 43% ~ 134%, 18% ~ 81% and 5% ~ 86% than those on the control sites, respectively. The net accumulation values of biomass on the inter-cropped sites were 9.53 ~ 15.23 t · hm⁻² · a⁻¹, and these were 1.6 ~ 5.1 times of that on control sites. The utilizing rates to solar energy of the systems were also 1.94 ~ 5.04 times of the control sites and were up to 0.78% ~ 1.26%. The agroforestry systems possessed a high economic benefit with 18 700 ~ 30 400 Yuan RMB · hm⁻² · a⁻¹ and were 5.26 ~ 9.82 times of that of the control sites. The ratio for input and output values of the systems were higher to 1 2.93 ~ 1 4.17.

Key words agroforestry; benefit; *Homalium hainanense*; *Gmelina hainanensis*; *Alpinia oxyphylla*