

# 广东鹤山三种南亚热带人工林的生态系统服务价值动态

李振<sup>1,2</sup>, 李浩<sup>1,2</sup>, 曾宪曙<sup>1,2</sup>, 陆宏芳<sup>1\*</sup>

1. 中国科学院华南植物园, 广东 广州 510650; 2. 中国科学院大学, 北京 100049

**摘要:** 在鹤山国家森林公园生态系统定位研究站长期定位研究的基础上, 参照和修订了我国 LY/T 1721—2008《森林生态系统服务功能评估规范》给出的生态系统服务价值量化方法与服务价格, 分析揭示了三种人工林生态系统 0~22 龄间的服务价值结构特点及其动态规律。结果显示: 南亚热带人工林各生态系统服务呈现非线性、不同步的动态发展特征: 涵养水源和总服务价值动态特征为先大幅上涨, 然后上升速度减缓, 最终维持在一定价值高度出现小幅波动; 固碳释氧和林木积累营养物质价值动态特征为迅速增长, 然后趋于缓慢下降; 生物保育价值和保育土壤价值动态特征为一直处于上升态势, 但上升过程中变幅较大。0~22 龄间, 涵养水源始终是三种人工林生态系统服务价值组成中的最大组分, 其次是固碳释氧和生物保育。三种人工林相比, 在 12 龄以前马占相思林生态系统服务总价值最高, 之后三者生态系统服务总值差异明显变小, 乡土混交林生态系统服务功能总价值逐渐超越马占相思林。

**关键词:** 南亚热带人工林; 生态系统服务价值; 结构; 动态

**中图分类号:** F062.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-5906 (2013) 06-0967-09

**引用格式:** 李振, 李浩, 曾宪曙, 陆宏芳. 广东鹤山三种南亚热带人工林的生态系统服务价值动态[J]. 生态环境学报, 2013, 22(6): 967-975.

LI Zhen, LI Hao, ZENG Xianshu, LU Hongfang. Dynamics in Ecosystem Service values of three lower subtropical forest plantations in Heshan, Guangdong Province [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22(6): 967-975.

森林是人类和许多生物赖以生存和发展的基础。作为地球上最重要的陆地生态系统, 森林生态系统为人类提供了基本的服务, 主要表现为有机物生产、涵养水源、水土保持、土壤肥力的更新与维持、营养物质的循环、维持大气化学组成的平衡与稳定、孕育和维持生物多样性的价值等多个方面<sup>[1]</sup>。我国南亚热带地区人口稠密, 加之长期高强度的经济发展, 环境压力大, 区域生态系统退化严重。为改善恶化的生态环境, 20 世纪 50 年代末以来, 华南地区逐渐开展了荒山绿化、森林植被恢复等工作; 在南亚热带植被恢复与森林水文、土壤、生物量、小气候、生理生态等方面均打下了较深厚的基础<sup>[2-6]</sup>。然而, 如何在大的时空尺度通过不同类型人工林系统的科学布局与管理实现区域森林生态系统的服务功能价值的长期最大化, 进而更好的服务区域的可持续发展, 还没有一个明确的答案。而量化揭示南亚热带各典型人工林生态系统服务功能价值动态规律, 显然是解决这一问题的首要前提之一。

在全球环境问题日渐突出的大背景下, 近年来, 特别是 Costanza 等<sup>[7]</sup>于 1997 年发表了全球生态系统服务价值评估之后, 包括森林生态系统在内的各尺度类型生态系统服务功能价值评价研究迅速发展。这些研究提高了人们对森林生态系统服务价值的认识, 然而由于方法和指标的不同难以比较<sup>[8-11]</sup>。针对这一问题, 2008 年国家林业局发布了 LY/T 1721—2008《森林生态系统服务功能评估规范》<sup>[12]</sup>, 并已渐有应用发表<sup>[13-14]</sup>。另外, 这些研究多是对区域或森林生态系统服务的静态评价, 而森林生态系统是典型的自组织动态系统, 其发展呈现复杂的非线性动态特征<sup>[3]</sup>; 因此, 相关研究结果显然难以为区域植被恢复与保育工作提供长效指导<sup>[15-16]</sup>。

本研究依托鹤山站的长期定位研究积累, 参照和修订 LY/T 1721—2008《森林生态系统服务功能评估规范》规范方法, 量化评价马占相思林、乡土混交林和针叶林等三种南亚热带典型人工林 0~22 龄间的生态系统服务价值, 揭示南亚热带地

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(31070483; 31170428); 中国科学院生命科学领域基础前沿专项(KSCX2-EW-J-28); 广东省计划项目(2011B060400003)

**作者简介:** 李振(1987年生), 男, 硕士, 从事系统生态学与生态经济研究。E-mail: lizhen1717@126.com

\*通讯作者: 陆宏芳。E-mail: luhf@scbg.ac.cn

**收稿日期:** 2013-03-27

区人工林生态系统服务价值结构及其动态规律, 服务区域森林恢复与保育实践。

## 1 研究对象

广东鹤山森林生态系统国家野外科学观测研究站暨中国科学院鹤山丘陵综合开放试验站位于广东省中部丘陵地区, 东经 112°54', 北纬 22°41', 气候温暖多雨, 年平均气温 21.7℃, 其中最高月平均温度 29.2℃, 最低月平均温度 12.6℃, 年辐射量为 110 kcal·cm<sup>-2</sup>, 雨量充沛, 全年降雨量 1801 mm, 但分布不均, 集中分布于 5—9 月份的雨季, 达 1400 mm, 有明显的干、湿季之分。该地区历史上为森林地带, 顶级群落是亚热带季风常绿阔叶林, 地带性土壤为赤红壤(砖红壤性红壤), 土壤有机质质量分数为 0.56%~1.64%。

本研究选取南亚热带地区鹤山站马占相思林 (*Acacia mangium* plantation)、乡土混交林 (Mixed Native Species plantation) 和针叶林 (Conifer plantation) 为研究对象, 其分别代表着三种不同的生态恢复模式, 马占相思为外来树种, 乡土阔叶混交林为当地的高级演替阶段物种, 针叶林为当地群落恢复的初级阶段物种。样地基本情况如下。

1) 马占相思林 (*Acacia mangium* plantation) 马占相思林综合观测场建立于 1985 年, 面积约为 4.58 hm<sup>2</sup>, 海拔高度为 77.3 m, 当年 7 月 30 日定植, 株行距 3.3 m×3.3 m, 7 月沿等高线带状沟施垃圾肥, 沟宽 0.5 m, 深 0.2 m, 平均每株施肥量约为 4 kg。9 月份施 KCL 和尿素各 50 g·株<sup>-1</sup>, 之后未进行过任何人工管理和施肥。造林后, 原先的草坡优势种芒草 (*miscanthus sinensis*)、芒萁 (*Gleichenia linearis Clarke*) 等明显退化, 出现了复杂的林下植物种类, 如桃金娘 (*Rhodomyrtus tomentosa*), 山苍子 (*Laurus cubeba* Lour)、粗叶榕 (*Ficus hirta* Vahl)、了哥王 (*Radix Wikstroemae*)、野牡丹 (*Common Melastoma*)、黑面神 (*Breynia J. R. et G. Forst. nom. Cons*)、山芝麻 (*Helicteres angustifolia* L)、黄栀子 (*Gardenia jasminoides* Ellis)、鬼灯笼 (*Clerodendrom fortunatum* L)、白背叶 (*Mallotusapelta* Muell Arg)、九节 (*Psychotria rubra*)、野漆 (*Toxicodendron succedaneum* O Kuntze)、玉叶金花 (*Mussaenda pubescens* Ait F)、百眼藤 (*Morinda parvifolia* Bartl)、酸藤子 (*Embelia Burm. f., nom. Conserv*)、芒箕 (*Gleichenia linearis Clarke*)、海金沙 (*Lygodium japonicum*)、扇叶铁线蕨 (*Adiantum flabellulatum* L Sp) 等。

2) 乡土阔叶混交林 (Mixed Native Species plantation) 1985 年种植, 面积约为 2.68 hm<sup>2</sup>, 海

拔约为 52.3 m。造林树种主要有荷木 (*Schima spp*), 红锥 (*Castanopsis hicklii*), 火力楠 (*Michelia macclurei*), 阴香 (*Cinnamomum burmannii*) 等, 人工种植本地乡土树种, 主要以块状模式进行混交, 形成以西南荷 (*Schima spp*) 和火力楠 (*Micheliamacclurel*) 为主要乔木树种, 梅叶冬青 (*Ilex asprella*) 和三叉苦 (*Evodia lepta*) 为主要灌木类树种, 芒箕 (*Gleichenia linearis Clarke*) 为主要草本的植物群落。

3) 针叶林 (Conifer plantation) 1985 年种植, 面积约 3.17 hm<sup>2</sup>, 海拔约为 52 m。造林树种主要为马尾松 (*Pinus massoniana*)、湿地松 (*Pinus elliotii*) 和杉木 (*Cunninghamia lanceolata*), 人工种植形成以马尾松和杉木为主要乔木层, 自然更新的梅叶冬青 (*Ilex asprella*) 和桃金娘 (*Rhodomyrtus tomentosa*) 为主要灌木层, 乌毛蕨 (*Blechnum orientale*) 为主要草本层的植物群落, 群落高度为 11 m, 乔木树种为两种混交同龄林, 林分只分乔木、灌木、草本三层, 乔木层只有一层。

## 2 研究方法与数据来源

### 2.1 研究方法

本文以三种不同类型的人工林为研究对象, 参照 2008 年国家林业局颁布的 LY/T 1721—2008 《森林生态系统服务价值评估规范》, 从中选取涵养水源、保育土壤、固碳释氧、积累营养物质和生物多样性保护 5 个指标类型进行动态评估。鉴于规范的局限性, 对部分规范内容做了如下调整。

#### 2.1.1 涵养水源价值评估的调整

南亚热带地区雨量充沛, 年际降雨量变化较大, 如果采用规范中给出的计算公式评估该地区森林生态系统涵养水源价值, 得出的年际间价值差异与当年的降水量息息相关, 换句话说, 降雨量大的年份其涵养水源价值相对于降雨量小的年份大, 这样就脱离了生态系统本身涵养水源功能的强弱之别。我们根据南亚热带地区水文特点以及有林地和光地板对降雨接纳的不同表现, 对该区域涵养水源价值的计算给出了以下公式: 涵养水源价值=调节水量价值+净化水质价值, 调节水量=蒸散量。

#### 2.1.2 生物多样性保护价值评估的调整

林业规范中给出的生物多样性保护价值定价适用不同类型或演替阶段森林生态系统的比较研究, 而对于相似森林类型连续动态规律的研究而言则过于粗放。为清晰揭示和比较三种人工林生物保育价值动态, 我们采用差值法对规范中生物多样性保护价值定价进行细化。具体调整为: 在原有规范的基础上, 根据香农威纳指数, 划分为

7个区间,设指数为 $N$ ,当 $N < 1$ 时, $S_{生} = 3000N$ ;  
当 $1 < N < 2$ 时, $S_{生} = 3000 + (5000 - 3000)(N - 1)$ ;  
当 $2 < N < 3$ 时, $S_{生} = 5000 + (10000 - 5000)(N - 2)$ ;  
当 $3 < N < 4$ 时, $S_{生} = 10000 + (20000 - 10000)(N - 3)$ ;  
当 $4 < N < 5$ 时, $S_{生} = 20000 + (30000 - 20000)(N - 4)$ ;  
当 $5 < N < 6$ 时, $S_{生} = 30000 + (40000 - 30000)(N - 5)$ ;  
当 $6 < N < 7$ 时, $S_{生} = 40000 + (50000 - 40000)(N - 6)$ 。

### 2.1.3 市场替代价格的调整

在林业规范中给出的市场替代价格源于不同的年份,由于通货膨胀每年的单位价格存在差异,各服务功能价值间可比性较低。针对这一问题,本研究通过我国GDP平减指数<sup>[17]</sup>将规范中给出的把市场替代价格统一为2000年的可比价。调整前后的具体价格见表1。

## 2.2 数据来源

本研究涉及的基础数据包括生物、土壤、水文和气象4部分,主要来源是鹤山站建站以来20

多年的监测和实验数据和相关分析与模型模拟数据,部分缺失数据由插值法推算得到,具体原始数据项及来源见表2。

## 3 结果与分析

### 3.1 三种人工林生态系统服务价值分量动态特征比较

森林涵养水源的生态系统服务功能是指,森林对降水的截留、吸收和贮存,将地表水转为地表径流或地下水的的作用;主要功能表现在增加可利用水资源、净化水质和调节径流3个方面(LY/T 1721—2008)。三种人工林生态系统服务涵养水源价值走势大体相似(图1),即早期快速上升,而后平稳波动。三者中,以马占相思林涵养水源价值的早期增长速率最快,大约在五六年后达到峰值后,保持小范围波动稳定;针叶林和乡土混交林的涵养水源价值在9龄左右达到峰值;0~22龄间以马占相思林的涵养水源价值为最高,而以针叶林的动态变化波幅为最大。

表1 森林生态系统服务的市场替代价格与调整

Table 1 Suggested prices of forest ecosystem services and their adjustment

编号	名称	单位	《规范》建议价	2000年不变价
1	水库建设单位库容投资	元·t <sup>-1</sup>	6.1107	5.22
2	水的净化费用	元·t <sup>-1</sup>	2.09	1.6
3	挖取单位面积土方费用	元·m <sup>-3</sup>	12.6	12.27
4	磷酸二铵含氮量	%	14	14
5	磷酸二铵含磷量	%	15.01	15.01
6	磷酸二铵含钾量	%	50	50
7	磷酸二铵化肥价格	元·t <sup>-1</sup>	2400	1835.31
8	氯化钾化肥价格	元·t <sup>-1</sup>	2200	1682.37
9	有机质价格	元·t <sup>-1</sup>	320	244.71
10	固碳价格	元·t <sup>-1</sup>	1200	987.74
11	制造氧气价格	元·t <sup>-1</sup>	1000	764.71

表2 价值评估所需的原始数据项及来源

Table 2 Main raw data and their sources

名称和类别	马占相思林	乡土混交林	针叶林
蒸散量/mm)	BGC 模拟结果 <sup>[18]</sup>	BGC 模拟结果 <sup>[18]</sup>	BGC 模拟结果 <sup>[18]</sup>
生物量/(t·hm <sup>2</sup> )	BGC 模拟结果 <sup>[18]</sup>	BGC 模拟结果 <sup>[18]</sup>	BGC 模拟结果 <sup>[18]</sup>
土壤含氮量/(t·hm <sup>2</sup> )	BGC 模拟结果 <sup>[18]</sup>	BGC 模拟结果 <sup>[18]</sup>	BGC 模拟结果 <sup>[18]</sup>
土壤含磷量/(t·hm <sup>2</sup> )	鹤山数据集 <sup>[19]</sup> 和插值法	鹤山数据集 <sup>[19]</sup> 和插值法	鹤山数据集 <sup>[19]</sup> 和插值法
土壤含钾量/(t·hm <sup>2</sup> )	鹤山数据集 <sup>[19]</sup> 和插值法	鹤山数据集 <sup>[19]</sup> 和插值法	鹤山数据集 <sup>[19]</sup> 和插值法
土壤容重/(t·m <sup>-3</sup> )	鹤山数据集 <sup>[19]</sup> 和插值法	鹤山数据集 <sup>[19]</sup> 和插值法	鹤山数据集 <sup>[19]</sup> 和插值法
无林地侵蚀模数/(t·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	引用文献[20]	引用文献[20]	引用文献[20]
有林地侵蚀模数/(t·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	引用文献[20]	引用文献[20]	引用文献[20]
土壤有机质/(t·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	鹤山数据集 <sup>[19]</sup> 和插值法	鹤山数据集 <sup>[19]</sup> 和插值法	鹤山数据集 <sup>[19]</sup> 和插值法
NPP/(t·hm <sup>2</sup> )	BGC 模拟结果 <sup>[18]</sup>	BGC 模拟结果 <sup>[18]</sup>	BGC 模拟结果 <sup>[18]</sup>
植物 N/(t·hm <sup>2</sup> )	BGC 模拟结果 <sup>[18]</sup>	BGC 模拟结果 <sup>[18]</sup>	BGC 模拟结果 <sup>[18]</sup>
植物 P/(t·hm <sup>2</sup> )	鹤山数据集 <sup>[19]</sup> 和插值法	鹤山数据集 <sup>[19]</sup> 和插值法	鹤山数据集 <sup>[19]</sup> 和插值法
植物 K/(t·hm <sup>2</sup> )	鹤山数据集 <sup>[19]</sup> 和插值法	鹤山数据集 <sup>[19]</sup> 和插值法	鹤山数据集 <sup>[19]</sup> 和插值法
香农威纳指数	鹤山数据集 <sup>[19]</sup> 和插值法	鹤山数据集 <sup>[19]</sup> 和插值法	鹤山数据集 <sup>[19]</sup> 和插值法

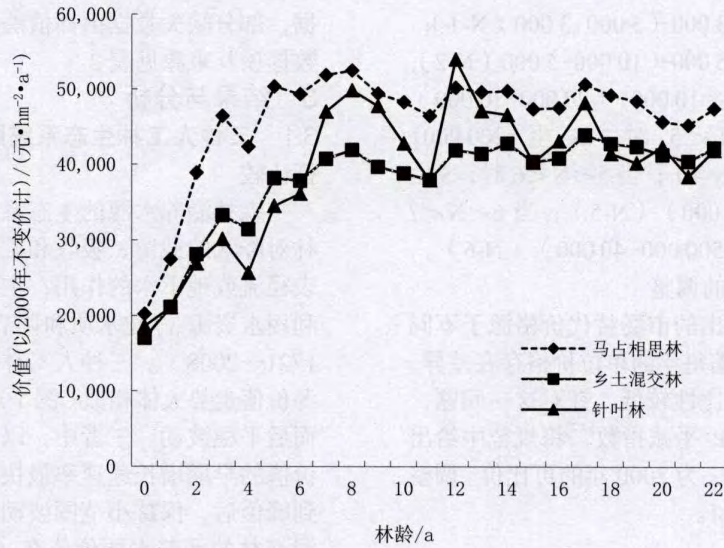


图1 三种南亚热带人工林的涵养水源价值动态

Fig.1 Value trends of water conservation of the three lower subtropical forest plantations

森林保育土壤的生态系统服务功能是指,森林中活地被物和凋落物层截留降水,降低水滴对表土的冲击和地表径流的侵蚀作用;同时林木根系固持土壤,防止土壤崩塌泻溜,减少土壤肥力损失以及改善土壤结构的功能(LY/T 1721—2008)。在0~22龄间,三种人工林保育土壤服务功能价值在波动中整体呈现缓慢上升的趋势。三种人工林相比,在10龄以前,马占相思林的保育土壤服务功能最优,但在10~15龄间则持续下降,然后虽有缓慢回升,但功能价值已明显低于另两种人工林;15龄以后,三种人工林中以针叶林保

育土壤服务功能优势最为明显(图2)。三种林型土壤保育价值在15龄后均表现出持续的上升趋势,相对于在10龄前涵养水源价值便达到峰值后趋于平缓波动的变化趋势而言,三种林型保育土壤功能的发展要缓慢的多。

森林固碳释氧的生态系统服务功能是指,森林生态系统通过森林植被、土壤动物和微生物固定碳素、释放氧气的功能(LY/T 1721—2008)。图3给出了0~22龄间三种人工林的固碳释氧价值动态,由图可知固碳释氧价值三者变化走势总体一致,呈先快速增长后缓慢下降和趋于平稳。其

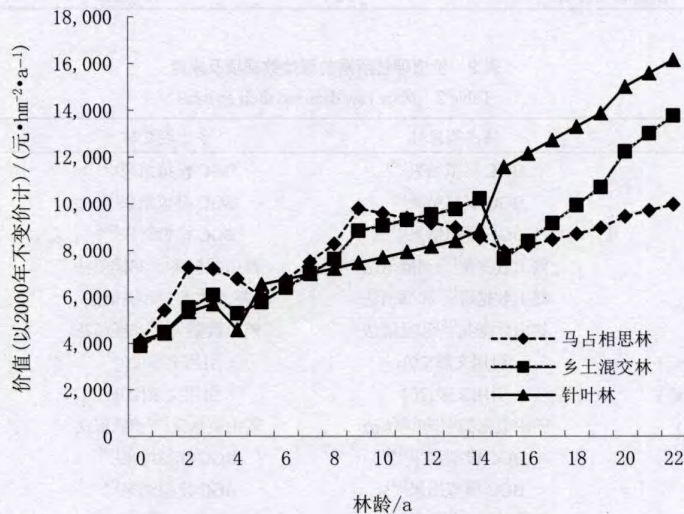


图2 三种南亚热带人工林的保育土壤价值动态

Fig.2 Value trends of soil conservation of the three lower subtropical forest plantations



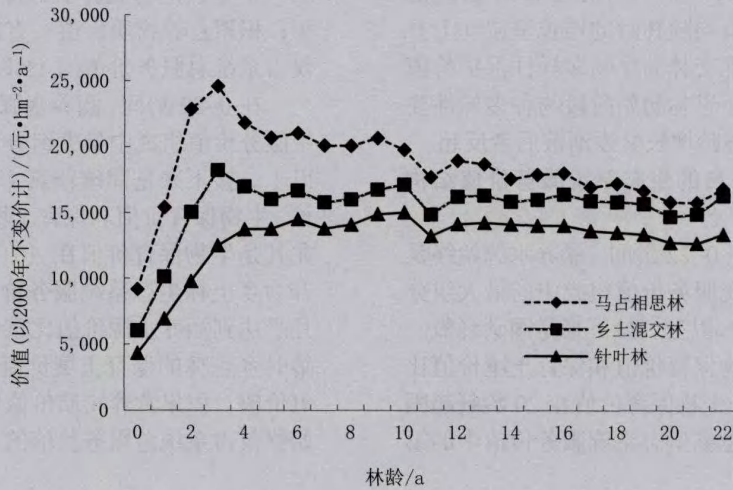


图3 三种南亚热带人工林的固碳释氧价值动态

Fig.3 Value trends of carbon fixation and oxygen release of the three lower subtropical forest plantations

中, 马占相思林固碳释氧价值一直高于另外二者, 乡土混交林次之, 针叶林价值量最低。固碳释氧服务功能的强弱体现在生态系统净生产力上, 其长期变动趋势与 NPP 走势一致。马占相思林生长早期固碳释氧功能的强势, 充分说明作为外来种的马占相思树种, 在华南地区有着较强的适应和生长能, 较高的净生产力对于短期内快速地营造适应植被和动物生存的小气候有着重要改造和护理意义。

森林积累营养物质的生态系统服务功能是指, 森林植物通过生化反应, 在大气、土壤和降水中吸收 N、P、K 等营养物质并贮存在体内各器官的功能 (LY/T 1721—2008)。三种林型生长初期积

累营养物质价值均呈快速上升趋势, 价值量在生长初期短短的 4~5 年内便达到峰值; 之后, 平缓下降至稳定趋势 (图 4)。早期生长阶段马占相思林积累营养物质价值上升最快, 价值量也最高, 但随着林龄增长乡土混交林积累营养物质价值量超越马占相思林, 成为三者中价值量最大的林型, 其作为本地演替中期物种的优势特点也随之显现。

森林的生物多样性保育生态系统服务功能是指, 森林生态系统生物物种繁衍的场所, 从而对其起到保育作用的功能 (LY/T 1721—2008)。依照林业规范 (LY/T 1721—2008), 本研究采用森林群落香农威纳指数, 即物种数及物种所占总物种个数的百分比, 评价人工林的生物多样性保育

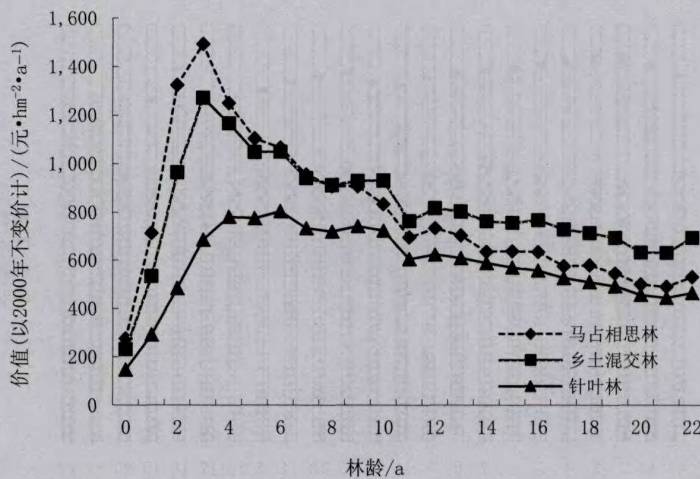


图4 三种南亚热带人工林的积累营养物质价值动态

Fig. 4 Value trends of nutrients accumulation of the three lower subtropical forest plantations



功能。图5结果显示,三种人工林在0~22龄间的生物多样性保护价值均随林龄的增长呈波动上升趋势;其中,乡土混交林的生物多样性保护价值明显最高,而马占相思林初始阶段物种多样性要高于针叶林,但随林龄增长又逐渐被后者反超。

### 3.2 三种人工林各自的生态系统服务价值结构动态

由图6可知,在0~22龄间,涵养水源始终是马占相思林生态系统服务价值组成中的最大组分,占总服务价值的50%以上,接下来是固碳释氧。随着林龄增长,生物保育价值和保育土壤价值比重缓慢上升,尤其是生物保育价值在20龄赶超固碳释氧成为马占相思林生态系统服务价值中的第

二大组分,但与涵养水源价值量相比仍有较大差距;积累营养物质价值一直最小,0~22龄间始终仅占系统总服务价值的1%以下。

在0~22龄间,涵养水源一直是乡土林生态系统服务价值组成中最大组分,占总服务价值的40%以上,接下来是固碳释氧(图7)。随着林龄增长,生物保育价值和保育土壤价值比重缓慢上升,尤其是生物保育价值在10龄便赶超固碳释氧上升为乡土林生态系统服务价值中的第二大组分,几乎达到涵养水源价值比重的一半的水平。到22龄时乡土林的保育土壤价值也已基本接近固碳释氧价值。积累营养物质价值仍是最小,0~22龄间始终仅占系统总服务价值的1%以下。

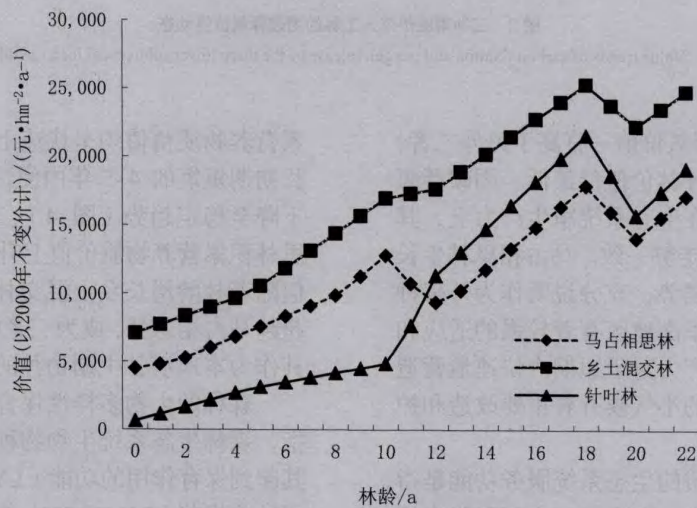


图5 三种南亚热带人工林的生物多样性保护价值动态

Fig. 5 Value trends of biodiversity conservation of the three lower subtropical forest plantations

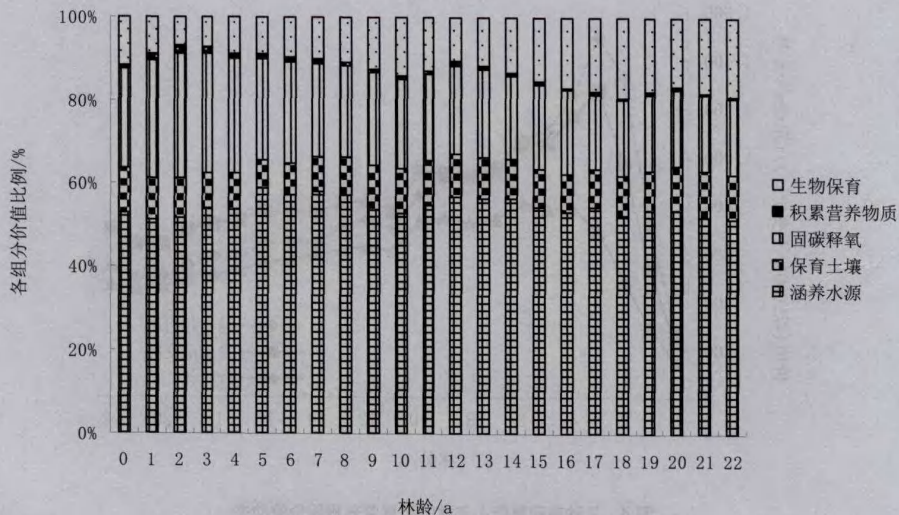


图6 马占相思林的生态系统服务功能价值结构动态

Fig. 6 Value structures of ecosystem services of the *Acacia mangium* plantation



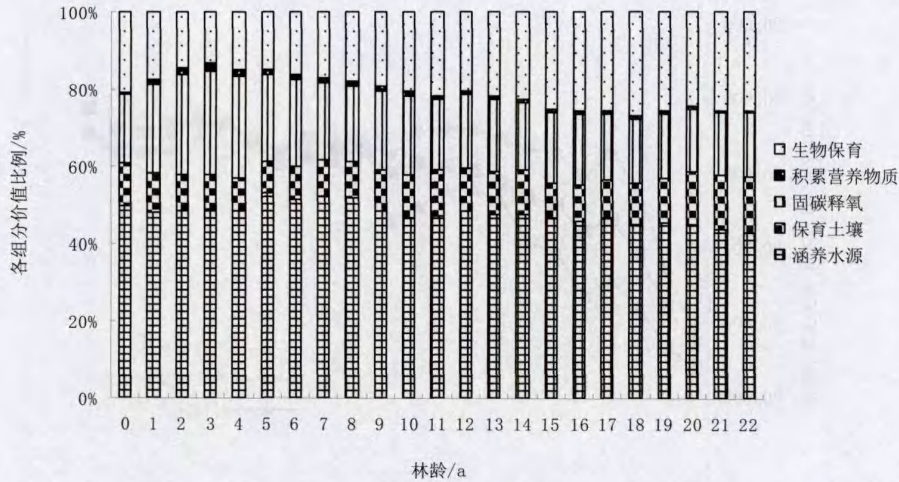


图7 乡土混交林的生态系统服务功能价值结构动态

Fig. 7 Value structures of ecosystem services of the mixed native species plantation

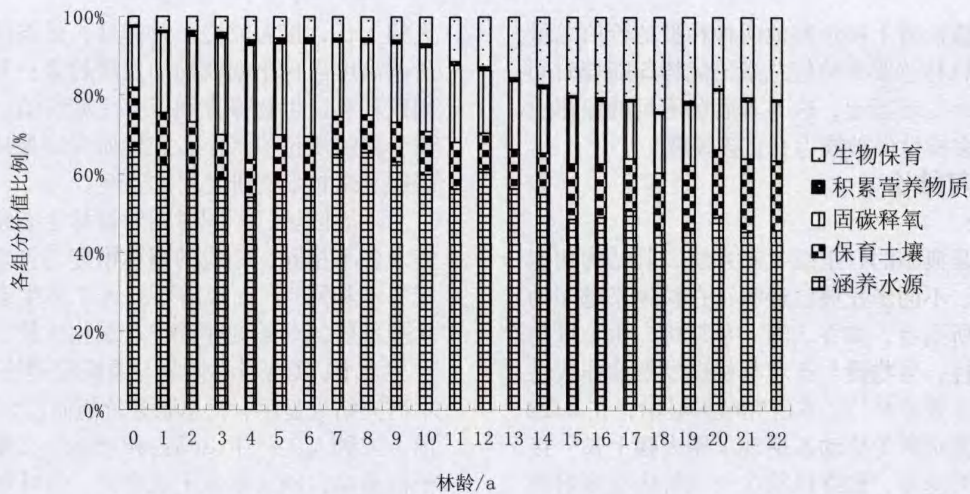


图8 针叶林的生态系统服务功能价值结构动态

Fig. 8 Value structures of ecosystem services of the conifer plantation

由图8可知,在0~22龄间,涵养水源同样始终为针叶林生态系统服务价值组成中最大的组分,占总服务价值的40%以上,其中在前几个林龄里,比重竟高达60%。接下来价值量第二大的是固碳释氧价值,但随着林龄增长,其价值比重逐渐减小。生物保育价值和保育土壤价值比重缓慢上升,它们分别在15龄和18龄时赶超固碳释氧价值比重。积累营养物质价值在0~22龄间始终仅占系统总服务价值的1%以下。

### 3.3 三种人工林生态系统总服务价值动态

由图9可知,三者生态系统总服务价值量动态走势较为一致,即起始阶段快速增长,然后趋于缓慢上升的过程。这与五项服务价值分量中所

占比重较大的涵养水服务价值动态趋势较为一致。由此得知,以环境经济学法评估的南亚热带地区森林生态系统服务价值动态的结果主要受该生态系统的涵养水源服务价值动态影响。具体到服务价值总量的比较上,综合五种生态系统服务价值分量的结果表现为,起初阶段各服务功能未得到充分发展的状态下,总服务价值量高低由服务功能中价值比重较高的涵养水源价值所决定,于是早期生长阶段涵养水源服务价值高的马占相思林总生态系统服务价值高于乡土混交林和针叶林。之后,随着人工林生态系统结构和功能的进一步发展,三种植被恢复模式的价值量高低顺序发生变化,针叶林由于其土壤保育价值的迅速增长,



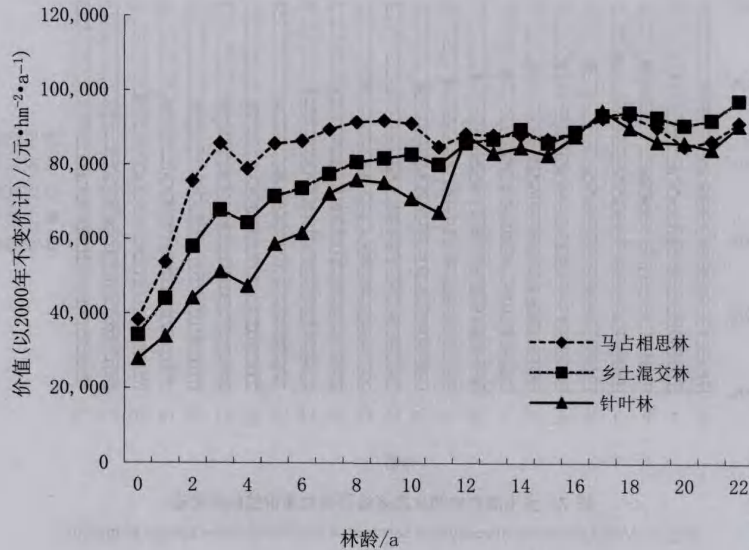


图9 三种南亚热带人工林的总服务价值动态

Fig.9 Value trend of total ecosystem services of the three lower subtropical forest plantations

逐渐在价值总量上接近其他两种林型的价值总量,而马占相思林总服务价值总量的优势却随着时间推移被另外二者赶超,这与其后劲不足的保育土壤和生物多样性保护能力有直接关联。

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

森林是典型的自组织生态系统,其结构功能的非线性、不同步发展已经和正在被越来越多的实验研究所揭示,如乔、灌、草结构,生物量与生物多样性,生物量与土壤有机碳发展的非线性和不同步性等<sup>[21-23]</sup>。本研究结果显示,在0~22龄间,涵养水源价值动态呈现早期大幅上长,接着放慢上升速度,最终维持在一定价值高度出现小幅波动的发展趋势;固碳释氧价值和林木积累营养物质价值则呈现早期迅速增长,然后缓慢下降的动态特征。22年间,亚热带3种人工林生物保育价值和保育土壤价值一直呈现波动上升态势,且波动幅度较大。上述结果从生态系统服务价值动态侧面揭示了人为启动后的亚热带人工林结构与功能发展亦呈现复杂的非线性、不同步发展规律,以及系统开展生态系统服务功能动态规律研究的必要性。

森林生态系统同时为人类提供多种生态系统服务,但这些服务功能的相对价值如何?不同在研究方法对对象所得的结果不尽相同,而近年来得到最多关注的是森林的碳汇功能<sup>[4,15]</sup>。本研究结果显示,0~22龄间,涵养水源始终是三种亚热带人工林生态系统服务价值组成中的最大组分,并进而决定了系统总服务功能价值动态规律,即

大幅上长,接着放慢上升速度,最终维持在一定价值高度出现小幅波动的发展趋势;其次分别为固碳释氧、生物保育和保育土壤价值;而林木积累营养物质价值最小。上述研究结果从一个侧面表明了森林水文研究的重要性。

不同区域、不同时期对森林生态系统服务的需求各不相同,相应的森林恢复与管理措施与目标亦不相同<sup>[5]</sup>;而摸清不同人工林生态系统服务功能发展的动态规律并进行量化比较,则是应对上述要求,实现科学恢复与系统管理的首要基础。本研究结果显示,就总服务价值而言,在12龄以前,三种人工林中以马占相思林生态系统服务总价值最高,随后是乡土混交林,针叶林最低;之后三者生态系统服务总值差异明显变小,乡土混交林生态系统服务功能总价值逐渐超越马占相思林。就具体服务功能而言,马占相思林的固碳释氧效益在初期年份优势较为明显,乡土混交林的生物多样性保育价值在三种林型中一直保持优势,而针叶林的涵养水源服务价值最高。

### 4.2 结论

1) 亚热带人工林各种生态系统服务功能呈现非线性、不同步的动态发展特征。

2) 0~22龄间,三种亚热带人工林生态系统服务总价值先大幅上长,接着放慢上升速度,最终维持在一定价值高度出现小幅波动。各服务功能价值由高到低排序依次为:涵养水源>固碳释氧>生物保育>保育土壤>林木积累营养物质。

3) 三种人工林相比,在12龄以前马占相思林生态系统服务总价值最高,乡土混交林次之,



针叶林最低; 之后乡土混交林逐渐超越马占相思林。马占相思林的固碳释氧效益在初期年份优势较为明显; 乡土混交林的生物多样性保育价值在三种林型中一直保持优势; 针叶林的涵养水源服务三种恢复模式中价值最高。

### 参考文献:

- [1] 余新晓, 鲁邵伟, 靳芳, 等. 中国森林生态系统服务功能评估[J]. 生态学报, 2005, 25(8): 2096-2102.
- [2] 余作岳, 彭少麟. 热带亚热带退化生态系统植被恢复生态学研究[M]. 广州: 广东科技出版社, 1996: 266.
- [3] 彭少麟. 热带亚热带恢复生态学研究与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 506.
- [4] ZHOU G Y, LIU S G, LI Z, et al. Old-growth forests can accumulate carbon in soils[J]. Science, 2006: 314(5804): 1417.
- [5] 任海, 刘庆, 李凌浩. 恢复生态学: 导论[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2007: 274.
- [6] ZHANG B, LI W H, XIE G D. Ecosystem services research in China: progress and perspective[J]. Ecological Economics, 2010, 69: 1389-1395.
- [7] COSTANZA R, D'ARGE R, GROOT R S, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 1997, 387: 253-260.
- [8] PIMENTAL D, WILSON C, MCCULLUM C, et al. Economic and environmental benefits of biodiversity[J]. BioScience, 1997, 47(11): 747-757.
- [9] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能与可持续发展[J]. 应用生态学报, 1999, 10(5): 635-640.
- [10] 李文华等. 生态系统服务功能价值评估的理论、方法与应用[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2008: 365.
- [11] 虞依娜, 彭少麟, 杨柳春, 等. 广东小良生态恢复服务价值动态评估[J]. 北京: 北京林业大学学报, 2009: 31(4): 19-25.
- [12] 中国国家林业局. LY/T 1721—2008《森林生态系统服务功能评估规范》[M]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [13] Zhang W X, Hendrix P F, Snyder B A, et al. Dietary flexibility aids Asian earthworm invasion in North American forests [J]. Ecology, 2010, 91(7): 2070-2079.
- [14] 张佩霞, 侯长谋, 胡成志, 等. 广东省鹤山市森林生态系统服务功能价值评估[J]. 热带地理, 2010, 30(6): 628-632, 662.
- [15] 刘树华, 李浩, 陆宏芳. 鼎湖山南亚热带森林生态系统服务价值动态[J]. 生态环境学报, 2011, 20(6/7): 1042-1047.
- [16] 虞依娜, 彭少麟. 生态系统服务价值评估的研究进展[J]. 生态环境学报, 2010, 19(9): 2246-2252.
- [17] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2010[M]. 北京: 中国统计出版社, 2010.
- [18] 李林军. 南亚热带三种人工林生态系统的能物流过程模拟与能值分析[D]. 北京: 中国科学院大学, 2012: 95.
- [19] 傅声雷, 林永标, 饶兴权, 等. 中国生态系统定位观测与研究数据集-森林生态系统卷: 广东鹤山站(1998—2008) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2012.
- [20] 彭少麟. 广东省退化坡地农业综合利用与绿色食品生产[M]. 广州: 广东科技出版社, 2001: 27.
- [21] ODUM H T. Environment, Power, and Society for the Twenty-First Century: The Hierarchy of Energy [M]. New York: Columbia University Press, 2007: 418.
- [22] 李浩, 曾宪曙, 陆宏芳. 基于生态烟(Eco-exergy)的鹤山红木荷人工林群落结构发展动态[J]. 生态环境学报, 2012, 21(11): 1822-1829.
- [23] Li L J, Lu H F, Tilley D R, et al. The maximum empower principle: an invisible hand controlling the self-organizing development of forest ecosystems in south China [J]. Ecological Indicators, 2012, 29: 278-292.

## Dynamics in ecosystem service values of three lower subtropical forest plantations in Heshan, Guangdong province

LI Zhen<sup>1,2</sup>, LI Hao<sup>1,2</sup>, ZENG Xianshu<sup>1,2</sup>, LU Hongfang<sup>1\*</sup>

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

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

**Abstract:** Based on long-term forest restoration studies at the Heshan National Field Research Station of Forest Ecosystems, the dynamics of ecosystem service values of three lower subtropical forest plantations from 0 to 22 years old were revealed, using revised formulae and adjusted prices of the "Specification for Assessment of Forest Ecosystem Services" in China (LY/T 1721—2008). The results showed that the development of ecosystem services of subtropical forest plantations had characteristics of non-linear and desynchrony. As a whole, the value on water conservation and the total ecosystem services increased quickly at the beginning, then slowed down, and finally kept on a relative constant state with small fluctuation. The value of carbon fixation, oxygen release and nutrients accumulation in biomass, increased quickly at the beginning, and followed by a slowly decrease. The value of service functions on biodiversity and soil conservations kept increasing during the 22 years period, but with large fluctuations. Water conservation is the most valuable services of the three subtropical forest plantation in the 22 years, followed by carbon fixation, and oxygen release and biodiversity conservation. In the first 12 years, the ecosystem service value of *Acacia mangium* plantation was higher than that of the other two plantations, then the differences among the three plantations were obviously reduced. Finally, the mixed native species plantation caught up to be the best one on providing ecosystem services a whole.

**Key words:** Lower subtropical forest plantation; ecosystem services assessment; dynamic; structure