

# 桉树人工林生态量化评价指标体系的建立

王楚彪<sup>1</sup>, 区余端<sup>2</sup>, 刘丽婷<sup>3</sup>, 陈鸿鹏<sup>1</sup>, 莫晓勇<sup>4\*</sup>

(1. 国家林业局桉树研究开发中心, 广东 湛江 524022; 2. 广东海洋大学, 广东 湛江 524088; 3. 江西省林业科学研究院, 江西 南昌 330032; 4. 华南农业大学, 广东 广州 510642)

**摘要:** 随着桉树人工林经营水平的提高, 桉树人工林不仅满足木材的需求, 还发挥生态效益等其他功能。本文通过专家咨询法对桉树人工林生态目标量化评价指标进行筛选, 采用层次分析法和德尔菲法确定指标的权重, 最终形成 5 个一级指标、18 个二级指标、36 个三级指标的指标体系。一级指标中, 碳汇权重最大, 达 0.294 4, 体现了碳汇在现今生态系统中的重要程度。第二是生物多样性, 达 0.271 5, 生物多样性是评价生态系统的核心指标。第三是生态系统健康, 权重为 0.236 3, 生态系统健康是生态系统的基础, 生态系统其他功能的发挥程度取决于生态系统健康的程度。生态系统水环境和生态系统土壤环境的权重分别是 0.102 9 和 0.094 9。

**关键词:** 桉树人工林; 生态评价; 量化; 指标体系

中图分类号: S718.5

文献标识码: A

## Establishment of Quantitative Indicators for Ecological Evaluation of *Eucalyptus* Plantations

WANG Chu-biao<sup>1</sup>, OU Yu-duan<sup>2</sup>, LIU Li-ting<sup>3</sup>, CHEN Hong-peng<sup>1</sup>, MO Xiao-yong<sup>4</sup>

(1 China Eucalypt Research Centre, Zhanjiang 524022, Guangdong, China; 2 Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, Guangdong, China; 3 Jiangxi Academy of Forestry, Nanchang 330032, Jiangxi, China; 4 South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong, China)

**Abstract:** Plantations are an important component of China's forest resources, particularly with respect to wood supply. In southern China, *Eucalyptus* species are some of the most significant forest plantation species. With improvements in *Eucalyptus* plantation management, these plantations can be increasingly productive and as well as timber supply, they can serve other important functions, such as the eco-efficiency. This paper examines the application of the *Delphi* method for setting quantitative indicators for ecological evaluation of *Eucalyptus* plantations, with indicator weights being determined through the Analytic Hierarchy Process (AHP). These methods resulted in the identification of 5 first-level indicators, 18 second-level indicators and 36 third-level indicators system. In the first-level indicators, Carbon Sink achieved the highest weighting (0.294); reflecting its importance in the ecosystem. Biodiversity achieved a weighting of 0.272, identifying it as the second most important index; biodiversity is always a core indicator for evaluating ecosystem health. Ecosystem Health itself achieved a weighting of 0.236 and was the third most important index; many other functions of ecosystems depended on health of the ecosystem. Ecosystem Water and Ecosystem Soil achieved weights of 0.103 and 0.095 respectively.

**Key words:** *Eucalyptus* plantation; ecological evaluation; quantify; indicators system

人工林是我国森林资源重要的组成部分, 在我国林业中有举足轻重的地位。桉树(*Eucalyptus*)是我国重要的人工林树种, 尤其在华南地区。随着桉树人工林经营水平的提高, 桉树人工林不仅满足木材

的需求, 还发挥生态效益等其他功能。生态效益实现的关键在于生态效益评价标准的建立, 目前对桉树人工林生态效益的评价凸显不足, 多数侧重对其生态效益中的某一部分如生物多样性标准与指标体

收稿日期: 2015-05-11

基金项目: 广东省林业科技创新专项资金项目(2013KJCX013-01); 湛江市科技计划项目 (2013A03016)

作者简介: 王楚彪(1982—), 男, 硕士, 助理工程师, 主要从事人工林生态研究.E-mail: scauwcb@163.com

\*通讯作者: 莫晓勇(1962—), 男, 博士, 教授, 主要从事人工林经营研究.E-mail: motree@163.com

系<sup>[1]</sup>、人工林碳汇<sup>[2]</sup>、人工林生态系统水土保持功能<sup>[3]</sup>等进行研究,而缺少对人工林生态系统的整体生态效益进行评价以及对人工林营建和经营管理中所必须的生态措施进行研究,使桉树人工林生态效益得不到正确认识,人工林营建和经营管理中缺乏必要、科学的生态措施,人工林建设出现盲目性,多目标经营得不到实现,难以可持续发展。

本文综合之前学者对于人工林生态效益的研究结合实地调查,对人工林生态价值各部分进行细分,提炼出桉树人工林生态目标详尽准确的评价因子,并对各因子赋予权重,构建起桉树人工林生态目标评价体系,以达到量化评价的目的,以期最大限度地发挥南方人工林的生态效益,并为林业决策部门、人工林相关法规制定单位、林业经营管理者进行相关活动时提供科学依据。

## 1 试验地概况

雷州半岛位于我国大陆的最南端,南与海南岛隔琼州海峡相望,西临北部湾,南北长 200 km,东西宽 70 km。雷州林业局地处热带北缘海洋性季风气候区,干湿季明显,夏季盛行东南风、南风及西南风,冬季多北风和东北风,每年 6—11 月为热带风暴和台风季节<sup>[4-5]</sup>。年平均气温 23.0~23.5℃,光照潜力大,1 月份平均气温 15.1℃,7 月平均气温 29.2℃,年平均日照时数达 1 817.7~2 160.8 h<sup>[5]</sup>。雨量充沛,干湿季节较明显,年平均降雨量为 1 864.5 mm,年平均蒸发量为 1 725.5 mm,相对湿度 85%<sup>[6]</sup>。土层厚为 40~100 cm,土壤肥力不高,富铝化,砖红色,酸度大,盐基不饱和<sup>[7]</sup>,地形地势按其起伏程度不同,基本上可分为两大类型,一类是平台地,一类是丘陵地,其中红树林滩涂面积为  $9.91 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>,占广东省潮间带面积的 48%<sup>[8]</sup>。天然植被为热带季雨林,以热带性常绿树种为主。林下植被有光叶山黄麻(*Trema cannabina*)、银柴(*Aporosa dioica*)、飞机草(*Eupatorium odoratum*)、豆腐柴(*Pre-mna microphylla*)、酸藤子(*Embelia laeta*)、大青(*Clerodendrum cyrtophyllum*)、阔叶丰花草(*Borreria latifolia*)、假臭草(*Eupatorium catarium*)、弓果黍

(*Cyrtococcum patens*)、桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa*)、梵天花(*Urena procumbens*)、野牡丹(*Melastoma candidum*)等。雷州林业局现有经营面积 4.95 万 hm<sup>2</sup>,其中林业用地面积 4.74 万 hm<sup>2</sup>,林分面积 3.20 万 hm<sup>2</sup>,桉树人工林面积 2.97 万 hm<sup>2</sup>,占林分面积的 84%。

## 2 研究方法

指标的筛选采用主成因分析法和专家咨询法相结合的办法,通过查阅大量资料和实地调查,采集关于人工林生态评价的相关指标,一方面通过主成因分析法进行整合,一方面发给各专家以收集专家意见,最后通过两种办法得出结果进行对比、筛选,从而得出最终评价因子。之后采用专家咨询法和层次分析方法相结合来确定各指标的权重,得出最后的指标体系。

### 2.1 指标筛选方法

主成分分析法和专家咨询法相结合。

主成分分析法是在保证尽量少信息损失的情况下,经过线性变换对指标进行集聚,用几个互相独立的综合指标来代替原来较多的指标,并尽可能保留了原有指标的主要信息,使数据的采集和计算得以简化。此方法客观性强,避免了人为对指标进行主观取舍造成的偏差。

专家咨询法也叫德尔斐法(Delphi)。该法让相关专家给各指标的评分,用各指标所得分值的算术平均值来表示专家的意见集中程度,并据此对各层的指标进行排序。用各指标所得分值的变异系数来表示专家意见的协调度,变异系数越小,专家对该指标的意见协调度越高,即专家对该指标的认识越同意。反之,则越不统一,从而达到对指标进行取舍的目的<sup>[9]</sup>。

### 2.2 指标权重确定方法

层次分析法与专家咨询法相结合。

层次分析法是美国 Seaty. TL 教授于 20 世纪 70 年代提出的一种实用的多准则决策方法。其中心思想为“相对之中把握绝对”,是一种定性和定量相结合的分析方法。它按系统的内在逻辑关系,将评价

者对复杂对象的评价思维过程条理化,把评价指标分解成有序的递阶层次结构,对各层次相关指标进行两两比较,构造判断矩阵,把各指标的相对重要性给予量化,通过一致性检验,计算出各指标对于总目标的组合权重。

### 2.3 使用软件

统计使用软件 Microsoft Excel 2003,层次分析法使用软件 yaahp V 7.0。

## 3 结果与分析

### 3.1 评价指标的收集

分析相关研究<sup>[10-12]</sup>可知,对于森林生态效益的研究主要集中在活立木价值、生物多样性效益、固碳释氧、涵养水源、保育土壤、净化环境、防护效能、游憩功能等方面。通过总结以往学者的研究资料、咨询相关专家以及实地调查分析,结合桉树人工林的特点,得出关于人工林生态目标实现的评价因子(表 1)。这个初步的指标体系由 7 大部分构成,共 53 个评价因子,基本覆盖了森林生态评价的所有指标。

表 1 桉树人工林生态目标评价指标体系(指标未筛选)

目标层	一级指标	二级指标	三级指标		
桉树人工林生态目标评价指标体系	生态系统健康	林木情况	平均胸径		
			平均树高		
	平均冠幅				
	平均蓄积量				
	平均密度				
	郁闭度				
	生态系统安全		生态系统稳定性		
	生态系统多样性	生态系统安全	病虫害发生率		
			火灾发生率		
		化感作用	化感作用		
			物种多样性	物种数量	
		生态系统多样性	物种多样性	物种数量在当地占比	
				无性系数量	
				生态系统多样性	生态系统类型数量
				景观多样性	景观类型数量
				遗传多样性	景观观赏性
				生态系统结构	基因多样性
	碳汇	碳汇	多度		
			丰富度		
			盖度		
			乔木层碳汇	碳密度	
			乔木层碳汇	平均碳储量	
				碳密度	
灌木层碳汇			平均碳储量		
			碳密度		
草本层碳汇			平均碳储量		
			碳密度		
凋落物层碳汇	平均碳储量				
	碳密度				
土壤层碳汇	平均碳储量				
	碳密度				

续表 1

目标层	一级指标	二级指标	三级指标
	生态文化	科研功能	每年科研项目数量 每年硕博论文完成数量 每年试验地面积比例
		科普功能	每年接待参观人数
		游憩功能	每年休闲旅游人数
	生态系统常规功能	防风固沙效益	相对含沙量
		改善空气质量	负氧离子含量 湿度 温度 吸收有害气体
		农业增产效益	每公顷农林间作收益
	生态系统水环境	耗水量	径流密度 年平均耗水量
		土壤含水量	土壤含水量
		截留	植被冠层截留 凋落物截留
		蒸散	植被蒸腾 土壤蒸发
	生态系统土壤环境	土壤肥力	N/P/K 含量 有机质含量
		土壤环境	土壤微生物
		土壤性质	土壤容重 土壤粘度

### 3.2 评价指标的筛选

首先采用专家咨询法进行指标筛选, 将初步收集评价因子制成桉树人工林生态目标评价指标体系因子筛选表, 发给华南农业大学、中国林科院热带林业研究所、国营雷州林业局相关专家和管理者进行指标评分。共发出问卷 52 份, 回收 40 份, 有效 36 份。将各因子所得的分数进行加权平均, 然后排序, 淘汰得分较低的因子, 或对一些因子进行合并, 最后得到 36 个因子。再根据人工林经营特点, 特别是人工林经营过程中生态措施等对评价体系进行修正, 得出了最后的评价指标。5 个一级指标分别是生态系统健康、生物多样性、碳汇、生态系统水环境、生态系统土壤环境。这 5 个一级指标及其所包含的细分指标基本涵盖了桉树人工林生态系统实际情况的评价因子, 特别是针对人工林生态系统的特点做了一些修改, 能更好地反映人工林生态系统的

优劣。淘汰的一级指标有生态文化、生态系统常规功能。最终指标体系见表 2。

### 3.3 指标权重的确定

本文指标权重的确定采用专家咨询法和层次分析法结合。将指标体系各级指标依次按照层次分析法的要求制成调查表, 发给华南农业大学、广东省林科院、国营雷州林业局相关专家、管理者进行调查, 共发出问卷 52 份, 回收 43 份。收集之后使用专业层次分析法软件 yaahp 对各专家意见进行统计, 对于一致性检验不成功的问卷, 通过咨询专家意见进行修正, 以通过一致性检验, 对 2 份经过修正仍无法通过一致性检验的问卷进行淘汰处理, 最终得到有效问卷 41 份。通过 yaahp 软件的群决策功能, 综合各被调查者的意见, 得到最终的权重见表 2。

表 2 筛选之后的指标体系及权重

目标层	一级指标	二级指标	三级指标
桉树人工 林生态目 标评价指 标体系	生态系统健康 0.236 3	林木情况 0.140 1	平均胸径 0.026 0
			平均树高 0.021 9
	生物多样性 0.271 5	生态系统安全 0.096 2	平均冠幅 0.025 1
			平均蓄积量 0.032 6
		物种多样性 0.110 6	平均密度 0.016 0
			郁闭度 0.018 4
			病虫害发生率 0.051 7
			火灾发生率 0.044 4
		生态系统多样性 0.020 7	物种数量 0.059 2
			无性系数量 0.051 4
			生态系统类型数量 0.020 7
			景观多样性 0.053 9
	碳汇 0.294 4	生态系统结构 0.086 3	景观类型数量 0.029 6
			景观观赏性 0.024 3
		乔木层碳汇 0.117 8	多度 0.053 6
			盖度 0.032 7
		灌木层碳汇 0.025 7	碳密度 0.035 4
			平均碳储量 0.82 5
		草本层碳汇 0.017 6	碳密度 0.007 7
			平均碳储量 0.018 0
凋落物层碳汇 0.023 0		碳密度 0.005 3	
		平均碳储量 0.012 3	
土壤层碳汇 0.110 2	碳密度 0.006 9		
	平均碳储量 0.016 1		
生态系统水环境 0.102 9	耗水量 0.053 4	碳密度 0.033 1	
		平均碳储量 0.077 1	
生态系统土壤环境 0.094 9	土壤含水量 0.017 5	年平均耗水量 0.053 4	
		土壤含水量 0.017 5	
	土壤含水量 0.017 5	土壤含水量 0.017 5	
		截留 0.022 7	植被冠层截留 0.010 3
	蒸散 0.009 2	凋落物截留 0.012 4	
		植被蒸腾 0.004 2	
	土壤肥力 0.055 0	土壤蒸发 0.004 0	
		N/P/K 含量 0.026 7	
		有机质含量 0.028 3	
		土壤微生物 0.019 8	
土壤环境 0.019 8	土壤容重 0.010 5		
	土壤物理性质 0.020 1	土壤总孔隙度 0.009 7	

注：各指标后面的数值为其权重。

在一级指标中，权重最大的是碳汇指标，达 0.294 4。这体现了碳汇是现今生态系统研究最重要、最热门的领域，碳汇功能在原始林、次生林中的作

用不容置疑，人工林生态系统也发挥其碳汇作用，故其权重最大。排在第二位的一级指标是生物多样性，达 0.271 5，生物多样性是评价生态系统的核心

指标, 此权重足以体现其重要性。排在第三的生态系统健康, 权重为 0.236 3, 生态系统健康是生态系统的基础, 生态系统其他功能的发挥程度取决于生态系统健康的程度。生态系统水环境和生态系统土壤环境的权重分别是 0.102 9 和 0.094 9, 这体现了它们在生态系统的地位。

三级指标方面, 碳汇指标的 10 个三级指标中乔木层碳储量和土壤层碳储量占了较高的权重, 分别是 0.280 2 和 0.262 0, 因为这 2 层占了桉树人工林生态系统碳储量的大部分, 其他 3 层碳储量所占比例较小。生物多样性 7 个三级指标中物种数量所占权重最大, 达 0.208 0, 多度排在第二, 权重为 0.197 4, 这 2 个三级指标是生物多样性的重要反映, 直接体现生物多样性的水平。无性系数量是人工林评价体系的特有指标, 它体现了人工林生态系统的丰富性和稳定性, 也影响着其他物种的数量, 因此所占权重也较大, 达 0.189 5。生态系统健康 8 个三级指标中病虫害发生率占最大权重, 达 0.219 0, 这是因为人工林大面积种植同一树种或无性系, 更易受到病虫害的侵害, 且易形成大面积不可恢复的危害。其次是火灾发生率, 权重为 0.188 1, 这由桉树人工林的特殊性决定的, 桉树人工林更容易受到人为火灾的危害。平均蓄积量也是生态系统健康的重要指标, 权重是 0.137 9。生态系统水环境 6 个三级指标中, 年平均耗水量是最重要的指标, 权重为 0.519 3, 这是因为桉树人工林保持着高生长率, 耗水量相应增加, 合理科学地评价其耗水问题是评价桉树生态系统的重要支撑。土壤含水量也是生态系统水环境的重要指标, 权重占 0.170 4。生态系统土壤环境 5 个三级指标中, 土壤有机质和土壤 N/P/K 含量是 2 个最重要的指标, 权重分别为 0.298 1、0.281 5, 其直接反映了土壤肥力, 是桉树人工林能否持续健康发展的重要指标。土壤微生物反映土壤的质量, 所占权重也较高, 达 0.208 3。

#### 4 结论和讨论

桉树人工林有其特殊性, 对桉树生态系统的评价不能简单地套用一般的森林生态系统评价体系。

桉树人工林要兼顾经济效益和生态效益, 这使其评价体系的标准和侧重点不同, 构建过程要重点考虑其生态评价, 还涉及经济、文化等其他方面。

依据桉树人工林特性, 经过广泛收集、初步筛选, 形成了 7 个一级指标、53 个三级指标的初步评价体系, 该评价体系覆盖面广, 部分评价因子功能重叠, 经过专家咨询法的处理, 淘汰以及调整了部分评价因子, 使整个评价体系更具针对性, 更能准确评判桉树人工林生态系统的生态效益。最终形成的生态系统有 5 个一级指标, 36 个三级指标。

5 个一级指标中碳汇权重最大, 之后依次是生物多样性、生态系统健康、生态系统水环境、生态系统土壤环境。三级指标中, 乔木层碳储量和土壤层碳储量的权重在碳汇中处于前 2 位, 物种数量的权重在生物多样性中排首位, 病虫害发生率是生态系统健康最重要的指标之一, 年平均耗水量的权重在生态系统水环境中位于首位, 土壤有机质和土壤 N/P/K 含量是生态系统土壤环境最重要的 2 个指标。

筛选之后的评价指标有 36 个, 基本涵盖了生态评价的各要素, 能较好反映桉树人工林生态系统的实现程度。但本文未将所有的因子纳入评价范围, 一方面是因为桉树人工林生态系统有其特殊性, 个别因子在其系统内的作用基本可以忽略, 另一方面是因为本评价体系是以量化评价为基础构建, 个别不重要的指标无法达到量化评价的要求, 故放弃。日后在保证相关数据充分的前提下, 可补充个别评价指标。

指标权重的确定经过多轮的征询意见, 能够较好地反映各指标的重要性, 由于对桉树人工林生态目标进行整体量化评价的研究较少, 所以一级指标权重无法进行横向比较。在三级指标中, 有学者做过部分研究, 张宁等<sup>[13]</sup>在对昆明市华山松(*Pinus armandii*)人工林生态系统进行健康评价时, 给指标物种数量较高的权重, 与本文的结果相符。刘华等<sup>[14]</sup>在研究茂名桉树人工林生态经济效益时, 赋予防治病虫害、固沙、水分消耗较高的权重, 这与本文的研究结果相符。说明本文指标权重确定过程中能较好地把握桉树人工林的普遍性与特殊性。尽管指标权重确定过程中尽量依据量化标准, 多次征询专家意见,

反复分析相关资料,但人工林生态评价目前没有相关标准,因此个别指标权重难免存在一定的主观性。

今后的研究可着力于指标体系的完善和指标体系的运用。在保证数据可靠的前提下,可根据现实的需求不断完善评价指标体系,使指标体系更能反映桉树人工林的共性和特性;另外,评价指标体系的运用也是日后研究的重点。

#### 参考文献

- [1] 陈秋波.桉树人工林生物多样性标准与指标体系研究[J].热带作物学报,2002,23(1):95-111.
- [2] 梁宏温,温远光,温琳华,等.连栽对尾巨桉短周期人工林碳贮量的影响[J].生态学报,2009,29(8):4242-4250.
- [3] 姜萍,郭芳,罗跃初,等.辽西半干旱区典型人工林生态系统的水土保持功能[J].应用生态学报,2007,18(12):2905-2909.
- [4] 曾天勋,刘有美,傅冠旭.雷州短轮伐期桉树生态系统研究[M].北京:中国林业出版社,1995.
- [5] 朱成庆,张鹏,沈海龙,等.雷州林业局桉树混交造林模式评价[J].东北林业大学学报,2006,34(5):26-28.
- [6] 薛鹏.雷州林业局 6 年生尾叶桉人工林生长量及生物量研究[J].桉树科技,2009,26(1):18-21.
- [7] 梁理勇.雷州林业局桉树人工林地土壤微生物的分布规律[J].中南林学院学报,2004,24(4):59-61.
- [8] 李团结,刘春杉,李涛,等.雷州半岛海岸侵蚀及其原因研究[J].热带地理,2011,31(3):243-250.
- [9] 张成林,宋新章.森林经营可持续性评价方法[J].林业科技,2004,29(4):50-53.
- [10] 李明阳.森林生态评价的尺度和指标[J].中南林业调查规划,1997,16(3):52-54.
- [11] 严山,周良,刘新慧.国家森林公园生态评价方法研究[J].环境导报,1998,(3):35-37.
- [12] 刘健,郭建宏,郭进辉,等.茫荡山自然保护区森林生态系统生态评价[J].福建林学院学报,2003,23(2):106-110.
- [13] 张宁,刘江华.昆明市华山松人工林生态系统健康评价[J].林业调查规划,2011,36(2):106-108,119.
- [14] 刘华,李建华.茂名小良桉树人工林生态经济效益分析与评价[J].生态环境学报,2009,18(6):2237-2242.