

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2013.01.007

王兵, 魏江生, 俞社保, 等. 广西壮族自治区森林生态系统服务功能研究[J]. 广西植物, 2013, 33(1): 46–51

Wang B, Wei JS, Yu SB, et al. Research on forest ecosystem services in Guangxi Zhuang Autonomous Region[J]. Guihaia, 33(1): 46–51

广西壮族自治区森林生态系统服务功能研究

王 兵¹, 魏江生², 俞社保^{3*}, 梁建平⁴, 蔡会德⁴, 农胜奇⁴

(1. 中国林业科学研究院 森林生态环境与保护研究所/国家林业局 森林生态环境重点实验室, 北京 100091;

2. 内蒙古农业大学 生态环境学院, 呼和浩特 010019; 3. 江西农业大学 园林艺术学院,

南昌 330045; 4. 广西壮族自治区林业勘测设计院, 南宁 530011)

摘 要: 利用广西 2009 年二次资源调查数据和森林生态站长期、连续观测数据及社会公共数据, 采用森林生态系统服务功能评估规范 (LY/T1721-2008), 评估了广西森林生态系统服务功能的总价值。结果表明: 广西森林生态系统服务功能总价值为 8 388.93 亿元/每年, 每公顷森林提供的价值平均为 6.070 万元/每年, 7 项服务功能的价值量排序: 涵养水源 > 固碳制氧 > 保护生物多样性 > 净化大气环境 > 保育土壤 > 林木营养积累 > 森林游憩。不同林分类型由大到小的顺序为软阔类 (37.86%) > 松类 (14.79%) > 桉树 (12.07%) > 杉木 (10.61%) > 石山灌木林 (7.71%) > 灌木经济林 (3.60%) > 栎类 (3.25%) > 硬阔类 (2.98%) > 乔木经济林 (2.69%) > 竹林 (2.55%) > 土山灌木林 (1.88%) > 红树林 (0.02%)。研究结果可为广西生态环境保护和核算绿色 GDP 以及森林资源的生态价值量化提供科学依据。

关键词: 广西壮族自治区; 森林生态系统; 服务功能; 价值评估

中图分类号: S718.55 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2013)01-0046-06

Research on forest ecosystem services in Guangxi Zhuang Autonomous Region

WANG Bing¹, WEI Jiang-Sheng², YU She-Bao^{3*},
LIANG Jian-Ping⁴, CAI Hui-De⁴, NONG Sheng-Qi⁴

(1. Key Laboratory of Forest Ecological Environment of State Forestry Administration/Research Institution of Forest Ecology,

Environment and Protection, CAF, Beijing 100091, China; 2. College of Ecology and Environment Science, Inner Mongolia

Agricultural University, Hohhot 010019, China; 3. College of Landscape Art, Jiangxi Agricultural University,

Nanchang 330045, China; 4. Guangxi Institute of Forest Survey and Design, Nanning 530011, China)

Abstract: This paper assessed the economic value of forest ecosystem services of Guangxi Zhuang Autonomous Region on the basis of the forest resource of Guangxi Zhuang Autonomous Region in 2009, the data of long term observation of Forest Ecosystem Research Station and the data of social commonality, adopting Specifications for Assessment of Forest Ecosystem Services in China (LY/T1721-2008). The results showed that the annual average value of the Guangxi Zhuang Autonomous Region forest ecosystem services was 838.893 billion yuan. The annual mean value of forest ecosystem services was 607.0 hundred yuan per hectare. The sort of 7 service functions value: water supply > carbon fixed and oxygen released > biodiversity conservation > environmental purification > soil conservation > forest nutrition storage > forest tourism. The descending order of different forest type was softwood forests (37.86%) > pine forests (14.79%)

* 收稿日期: 2012-05-07 修回日期: 2012-08-06

基金项目: 科技部林业公益性行业科研专项 (201004010-02, 201204101, 2011432009); 国家自然科学基金 (30972426)

作者简介: 王兵 (1965-), 男, 辽宁西丰人, 研究员, 博士生导师, 从事生态系统长期定位观测、退化生态系统恢复与重建等, (E-mail) wangbing@caf.ac.cn。

* 通讯作者 (Author for correspondence, E-mail: yushebao@cfern.org)

>eucalyptus forests (12.07%)>fir forests (10.61%)>shishan shrubbery (7.71%)>shrubby economic forests (3.60%)>oak forests (3.25%)>broad leaf forests (2.98%)>arbor economic forests (2.69%)>bamboo forests (2.55%)>tushan shrubbery (1.88%)>mangrove (0.02%). Provide a scientific basis for the protection of ecological environment and accounting of green GDP, as well as quantifying the ecological value of forest resources.

Key words: Guangxi Zhuang Autonomous Region; forest ecosystem; ecosystem services; value assessment

森林作为陆地生态系统的主体,历来就是各界争论的焦点。森林生态系统所提供的服务可以是直接的,也可以是间接的;可以有形的,也可以是无形的。森林生态系统服务功能是指森林生态系统与生态过程所形成及所维持人类赖以生存的自然环境条件与效用(Daly, 1997)。而对森林生态系统的评估则是一个系统、复杂的工程。目前,水土流失、土地荒漠化、湿地退化、生物多样性减少等问题依然较为严重,森林在维护国土生态安全中的重要作用尚未充分发挥出来。随着工业文明的发展和全球气候变暖的加剧,森林的保持水土、涵养水源、固碳释氧、净化空气、美化环境等生态服务功能日益引起人们的重视。近来,对森林生态系统服务功能尤其是森林的涵养水源、固碳释氧等研究报道也较多(王兵等, 2007, 2009; 张永明, 2008; 李少宁等, 2007; 张乐勤等, 2011)。因此,客观、动态、科学地评估森林的生态服务功能,对于加深人们的环境意识,加强林业建设在国民经济中的生态环境的主导地位,提高森林经营管理水平,加快将环境纳入国民经济核算体系及正确处理社会经济发展与生态环境保护之间的关系具有重要的现实意义(Costanza, 1997; Bolund, 1999)。

1 广西壮族自治区概况

1.1 自然环境条件

广西地处中国南部,位于 $20^{\circ}54' \sim 26^{\circ}24' N$, $104^{\circ}28' \sim 112^{\circ}04' E$ 。属云贵高原向东南沿海丘陵过渡地带,地势总的概貌是西北高,东南低,四周多山,呈盆地状,有“广西盆地”之称。广西地跨北热带、亚热带、中亚热带。气候既受季风环流控制,又受热带海洋影响,具有明显的季风气候特点,气温较高,热量丰富。年均气温在 $17 \sim 23^{\circ}C$ 之间,年平均日照时数 $1\,396\text{ h}$, $\geq 10^{\circ}C$ 年积温 $5\,000 \sim 8\,300^{\circ}C$,无霜期多在 300 d 以上。年降水量 $1\,100 \sim 2\,800\text{ mm}$ 。土壤主要由页岩、砂岩、花岗岩、玄武岩、第四纪红土及碳酸盐类的石灰岩等风化的残积母质发育而成,主要有砖红壤、赤红壤、红壤、黄壤、黄棕壤,局

部有草甸土。境内河流众多,年径流量 $1\,604.5$ 亿立方米,主要河流为珠江流域西江和北江两大水系,流域面积占陆地面积的 86% 。广西地处低纬度,气候温暖湿润,物种资源丰富,生物种类居全国第三位。自然植被有 5 个植被型组, 14 个植被型, 26 个植被亚型, 369 个群系。境内植被具有明显的南亚热带和中亚热带性质,地带性植被为南亚热带沟谷雨林、季雨林、中亚热带常绿阔叶林。

1.2 社会经济条件

广西经济保持平稳增长,自 2002 年起连续 7 年增长速度保持在 10% 以上。2008 年全区实现地区生产总值(GDP) 7171.58 亿元,比上年增长了 12.8% 。第一、第二、第三产业的增加值分别为 1453.9、3037.7、2679.9 亿元,分别比上年增长 5.1% 、 17.4% 和 11.7% 。按常住人口计算人均地区生产总值 $14\,966$ 元,比上年增长 11.7% 。农民人均纯收入 $3\,690$ 元,比上年增长 12.6% 。全年实现林业总产值 670.07 亿元,比上年增长 27.2% 。

2 森林生态系统服务功能评估方法

2.1 数据来源

以广西壮族自治区 2009 年森林资源二类调查数据和广西壮族自治区固样地数据作为基础,辅以森林生态系统定位研究站的长期观测数据集为依托,价值量计算时增加权威机构公布的社会公共数据,并结合广西林业勘测设计院提供的评估参数,综合运用生态学、水土保持学、经济学等理论方法,由点上剖析推至面上分析,从物质量和价值量两个方面,对广西森林生态服务功能进行了效益评价。

2.2 评估指标和评估方法

结合广西森林资源特点,由于森林防护、降低噪音等指标计算方法不太成熟,所以本文不涉及森林防护、降低噪音的功能和价值。因此,广西森林生态系统服务功能指标体系包括涵养水源、保育土壤、固碳释氧、积累营养物质、净化大气环境、生物多样性保护、森林游憩 7 项功能 12 个指标,评估方法则以

表 1 森林生态系统服务功能评估指标和评估公式

Table 1 Evaluation Index and evaluation formula of forest ecosystem service

指标类别 Indicator	指标 Index	计算公式和参数说明 Calculation formula and parameter specification		
涵养水源	调节水量	$U_{\text{调}} = 10C_{\text{库}} A (P - E - C)$	$U_{\text{调}}$ 为森林年调节水量价值(元/年); $C_{\text{库}}$ 为水库库容造价(元/立方米)	A 为林分面积(hm^2); P 为林外降水量($\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$); E 为林分蒸散量($\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$); C 为地表快速径流量($\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$)
	净化水质	$U_{\text{净}} = 10K_{\text{水}} A (P - E - C)$	$U_{\text{净}}$ 为森林净化水质价值(元/年); $K_{\text{水}}$ 为水的净化费用(元/吨)	
保育土壤	固土	$U_{\text{固土}} = AC_{\pm} (X_2 - X_1) / \rho$	$U_{\text{固土}}$ 为林分年固土价值(元·每年); $C_{\pm}$ 为挖取和运输单位体积土方所需费用(元/立方米); ρ 为土壤容重($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	X_1 为有林地土壤侵蚀模数($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); X_2 为无林地土壤侵蚀模数($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); A 为林分面积(hm^2)
	保肥	$U_{\text{肥}} = A(X_2 - X_1) (NC_1/R_1 + PC_1/R_2 + KC_2/R_3 + MC_3)$	$U_{\text{肥}}$ 为林分年保肥价值(元/年); N, P, K 为森林土壤平均含氮、磷、钾量(%); R_1 为磷酸二铵化肥含氮量(%); R_2 为磷酸二铵化肥含磷量(%); R_3 为氯化钾化肥含钾量(%)	C_1 为磷酸二铵化肥价格(元/吨); C_2 为氯化钾化肥价格(元/吨); C_3 为有机质价格(元/吨); M 为森林土壤有机质含量(%)
固碳释氧	固碳	$U_{\text{碳}} = AC_{\text{碳}} (0.4448B_{\text{年}} + F_{\text{土壤碳}})$	$U_{\text{碳}}$ 为林分年固碳价值(元/年); $F_{\text{土壤碳}}$ 为单位面积森林土壤年固碳量($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); $C_{\text{碳}}$ 为固碳价格(元/吨)	A 为林分面积(hm^2); $B_{\text{年}}$ 为林分净生产力($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)
	释氧	$U_{\text{氧}} = 1.19C_{\text{氧}} AB_{\text{年}}$	$U_{\text{氧}}$ 为林分年释氧价值(元/年); $C_{\text{氧}}$ 为制造氧气的价格(元/吨)	
积累营养	林木营养	$U_{\text{营养}} = AB(N_{\text{营养}} C_1/R_1 + P_{\text{营养}} C_1/R_2 + K_{\text{营养}} C_2/R_3)$	$U_{\text{营养}}$ 为林分氮、磷、钾年增加价值(元/年); $N_{\text{营养}}, P_{\text{营养}}, K_{\text{营养}}$ 为林木含氮、磷、钾量(%); R_1, R_2, R_3 (同上)(%)	A 为林分面积(hm^2); B 为林分净生产力($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); C_1 为磷酸二铵化肥价格(元/吨); C_2 为氯化钾化肥价格(元/吨)
净化大气	生产负离子	$U_{\text{负}} = 5.256 \times 10^{15} \times AHK_{\text{负}} (Q_{\text{负}} - 600) / L$	$U_{\text{负}}$ 为林分年提供负离子价值(元/年); $K_{\text{负}}$ 为负离子生产费用(元/个); H 为林分高度(m)	A 为林分面积(hm^2); $Q_{\text{负}}$ 为林分负离子浓度(个/立方厘米); L 为负离子寿命(min)
	吸收污染物	$U_{\text{污染物}} = K_{\text{污染物}} Q_{\text{污染物}} A$	$U_{\text{污染物}}$ 为林分年吸收污染物的价值(元/年); K 为污染物的治理费用(元/公斤)	A 为林分面积(hm^2); Q 为单位面积森林污染物吸收量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)
	滞尘	$U_{\text{滞尘}} = K_{\text{滞尘}} Q_{\text{滞尘}} A$	$U_{\text{滞尘}}$ 为森林年滞尘价值(元/年); $K_{\text{滞尘}}$ 为降尘清理费用(元/公斤)	A 为林分面积(hm^2); $Q_{\text{滞尘}}$ 为单位面积森林年滞尘量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)
生物多样性	物种保育性保护	$U_{\text{总}} = (1 + \sum_{i=1}^n E_i \times 0.1) S_{\text{单}} A$	$U_{\text{总}}$ 为林分年物种保育价值(元/年); E_i 为评估林分(或区域)内物种 i 的濒危分值; n 为物种数量;	$S_{\text{单}}$ 为单位面积年物种损失的机会成本(元/公顷/年); A 为林分面积(hm^2)
森林游憩	森林游憩	$U_{\text{游憩}} = F/P$	$U_{\text{游憩}}$ 为森林游憩价值(元/年)	F, P 分别为门票直接收入和所占比重(元/年, %)

《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T1721-2008)林业行业标准为依据(王兵等, 2004, 2007a, b, 2008), 具体评估公式和评估方法详见表 1。

3 结果与分析

3.1 广西森林资源现状

3.1.1 各类林地面积蓄积 据 2009 年广西森林资源二类调查(广西壮族自治区林业勘测设计院, 2005, 2008), 全区土地总面积 2377.39 万公顷。其中, 林地面积 1577.54 万公顷, 占 66.36%。林地面积中, 有林地 1031.71 万公顷, 占 65.40%; 疏林地 4.54 万公顷, 占 0.29%; 灌木林地 350.24 万公顷, 占 22.20%; 未成林造林地 45.94 万公顷, 占 2.91%; 其它林地 145.11 万公顷, 占 9.20%。

全区活立木总蓄积 58011.5 万立方米, 其中乔木林蓄积 57329.5 万立方米, 占 91.82%, 疏林蓄积 63.6 万立方米, 占 0.11%, 散生木、四旁树蓄积 618.4 万立方米, 占 1.07%。

3.1.2 不同树种面积蓄积 全区有林地、灌木林地按优势树种归纳为松类、杉木、栎类、硬阔类、桉类、软阔类、乔木经济林、竹林、红树林、灌木经济林、土山灌木林、石山灌木林等 12 个树种组。其面积、蓄积详见表 2。其中有林地按优势树种(组)面积和蓄积划分, 松类 246.62 万公顷, 占 24.76%; 蓄积 17291.42 万立方米, 占 24.76%; 杉木 128.92 万公顷, 占 12.94%; 蓄积 11784.16 万立方米, 占 20.56%; 栎类 34.85 万公顷, 占 3.50%; 蓄积 1886.60 万立方米, 占 3.29%; 硬阔类 30.30 万公顷, 占 3.04%; 蓄积 1421.34 万立方米, 占 2.48%;

表 2 不同林分面积蓄积统计表
Table 2 Statistical table of area and accumulation in different brands

地类 Land type	树种组 Tree species group	面积(万公顷) Area		蓄积(万立方米) Volume	
		计	所占比例 (%)	计	所占比例 (%)
合计		1381.95	100.00	57329.53	100.00
有林地	松类	246.62	17.85	17291.42	30.16
	杉木类	128.92	9.33	11784.16	20.56
	栎类	34.85	2.52	1886.60	3.29
	硬阔类	30.30	2.19	1421.34	2.48
	桉树	164.21	11.88	7320.27	12.77
	软阔类	333.55	24.14	16632.62	29.01
	经济林	57.70	4.18	993.11	1.73
	竹林	34.60	2.50		
	红树林	0.97	0.07		
	灌木经济林	74.80	5.41		
灌木林	土山灌木林	39.26	2.84		
	石山灌木林	236.18	17.09		

表 3 森林生态系统服务功能物质质量
Table 3 Matter quantity of forest ecosystem services

功能项 Function	功能分项 Sub-function	物质量 Amount of matter
涵养水源	调节水量(亿立方米/年)	465.49
保育土壤	固土(万吨/年)	43241.86
	N(万吨/年)	61.69
	P(万吨/年)	20.80
	K(万吨/年)	698.0
	有机质(万吨/年)	1227.56
固碳释氧	固碳(万吨/年)	4870.15
	释氧(万吨/年)	12121.96
积累营养物质	N(万吨/年)	51.61
	P(万吨/年)	6.40
	K(万吨/年)	29.19
净化大气环境	提供负离子(10^{19} 个/年)	79.48
	吸收 SO ₂ (万公斤/年)	171284.67
	吸收 HF(万公斤/年)	14434.33
	吸收 NO _x (万公斤/年)	15723.15
	滞尘(亿公斤/年)	4818

速生桉 164.21 万公顷,占 16.48%;蓄积 7320.27 万立方米,占 12.77%;软阔类 333.55 万公顷,占 33.48%;蓄积 16632.62 万立方米,占 29.01%;经济林 57.70 万公顷,占 5.79%;蓄积 993.11 万立方米,占 1.73%。

3.2 总物质量

根据《森林生态系统服务功能评估规范》的评价方法,得出广西涵养水源、保育土壤、固碳释氧、林木营养积累、净化大气森林 5 个方面 16 个功能项指标的森林生态系统服务功能物质质量(生物多样性保护

和森林游憩无物质量)。具体评估结果见表 3。广西森林生态系统每年涵养水源量 465.49 亿立方米;固土 43241.86 万吨,减少 N 损失 61.69 万吨,减少 P 损失 20.80 万吨,减少 K 损失 698.0 万吨,减少有机质损失 1227.56 万吨;固碳 4870.15 万吨(折算成吸收二氧化碳 17857.22 万吨),释氧 12121.96 万吨;林木积累 N 51.61 万吨,积累 P 6.40 万吨,积累 K 29.19 万吨;提供负离子 79.48×10^{19} 个,吸收二氧化硫 171284.67 万公斤,吸收氟化物 14434.33 万公斤,吸收氮氧化物 15723.15 万公斤,滞尘 4 818 亿公斤。

3.3 单位面积物质量

广西森林生态系统服务功能单位面积物质量评估结果见表 4。森林生态系统每年每公顷涵养水源量为 3368.32 m³;固土 31.29 t,减少 N 损失 0.0446 t,减少 P 损失 0.015 万吨,减少 K 损失 0.51 万吨,减少有机质损失 0.89 万吨;固碳 3.52 t(折算成吸收二氧化碳 12.91 t),释氧 8.77 万吨;林木积累 N 0.037 t,积累 P 0.0046 t,积累 K 0.021 t;提供负离子 5.75×10^{13} 个,吸收二氧化硫 123.94 kg,吸收氟化物 10.45 kg,吸收氮氧化物 11.38 kg,滞尘 34863.68 kg。

表 4 森林生态系统服务功能单位面积物质量
Table 4 Matter quantity per unit area of forest ecosystem services

功能项 Function	功能分项 Sub-function	物质量 Amount of matter
涵养水源	调节水量(m ³ ·hm ⁻² ·a ⁻¹)	3368.32
保育土壤	固土(t·hm ⁻² ·a ⁻¹)	31.29
	N(t·hm ⁻² ·a ⁻¹)	0.0446
	P(t·hm ⁻² ·a ⁻¹)	0.0151
	K(t·hm ⁻² ·a ⁻¹)	0.5051
	有机质(t·hm ⁻² ·a ⁻¹)	0.8883
固碳释氧	固碳(t·hm ⁻² ·a ⁻¹)	3.524
	释氧(t·hm ⁻² ·a ⁻¹)	8.772
积累营养物质	N(t·hm ⁻² ·a ⁻¹)	0.0373
	P(t·hm ⁻² ·a ⁻¹)	0.0046
	K(t·hm ⁻² ·a ⁻¹)	0.0211
净化大气环境	提供负离子(10^{13} 个·hm ⁻² ·a ⁻¹)	5.7516
	吸收 SO ₂ (kg·hm ⁻² ·a ⁻¹)	123.944
	吸收 HF(kg·hm ⁻² ·a ⁻¹)	10.445
	吸收 NO _x (kg·hm ⁻² ·a ⁻¹)	11.377
	滞尘(kg·hm ⁻² ·a ⁻¹)	34863.68

3.4 不同林分类型服务功能物质质量

本文根据森林生态系统服务功能评估公式计算广西 2009 年森林资源二类调查期间不同林分类型生态服务功能的总物质量。本文根据广西 2009 年

森林资源二类调查评估了 12 种林分类型的生态服务功能。具体结果见表 5。

3.5 森林生态系统服务功能总价值

根据评估指标体系及其计算方法,得出广西森林生态系统服务功能的总价值为 8 388.93 亿元/年 (8.39×10^{11} 元/年),森林(含森林游憩)提供的价值平均为 6.070 万元/公顷/年。

7 项森林生态系统服务功能价值的贡献(图 1),其从大到小顺序为涵养水源(3817.31 亿元/年,

45.50%)>生物多样性保护(1361.72 亿元/年,16.23%)>固碳释氧(1796.61 亿元/年,21.42%)>保育土壤(537.81 亿元/年,6.41%)>净化大气环境(747.68 亿元/年,8.91%)>积累营养物质(111.54 亿元/年,1.33%)>森林游憩(16.25 亿元/年,0.19%)。

3.6 单位面积价值

广西森林生态系统服务功能的单位面积价值位于 18 585~95 029 元/公顷/年之间(图 2),

表 5 各林分类型生态服务功能物质质量

Table 5 Matter quantity of different brands ecosystem service

林分类型 Forest type	面积 Area (hm ²)	涵养水源功能 Water conservative function		保育土壤功能 Soil function			固碳释氧功能 Carbon fixing and oxygen releasing function		
		调节水量	固土	N	P	K	有机质	固碳	释氧
松类	2466190.6	6.85×10 ⁹	7.22×10 ⁷	6.42×10 ⁴	2.40×10 ⁴	2.01×10 ⁶	9.62×10 ⁵	7.80×10 ⁶	1.93×10 ⁷
杉木	1289201.3	4.88×10 ⁹	3.85×10 ⁷	7.03×10 ⁴	2.47×10 ⁴	6.39×10 ⁵	1.60×10 ⁶	5.31×10 ⁶	1.34×10 ⁷
栎类	348470.4	1.65×10 ⁹	1.13×10 ⁷	2.98×10 ⁴	7.28×10 ³	1.64×10 ⁵	7.99×10 ⁵	1.47×10 ⁶	3.71×10 ⁶
硬阔类	303026.1	1.39×10 ⁹	1.11×10 ⁷	1.85×10 ⁴	4.55×10 ³	1.39×10 ⁵	3.77×10 ⁵	1.29×10 ⁶	3.26×10 ⁶
桉 树	1642127.6	5.24×10 ⁹	5.11×10 ⁷	1.99×10 ⁵	3.94×10 ⁴	8.47×10 ⁵	3.52×10 ⁶	7.49×10 ⁶	1.90×10 ⁷
软阔类	3335471.7	1.79×10 ¹⁰	1.22×10 ⁸	7.57×10 ⁴	6.35×10 ⁴	1.16×10 ⁶	1.58×10 ⁶	1.78×10 ⁷	4.53×10 ⁷
乔木经济林	576976.1	1.50×10 ⁹	1.18×10 ⁷	3.10×10 ⁴	7.22×10 ³	1.95×10 ⁵	5.23×10 ⁵	9.38×10 ⁵	2.13×10 ⁶
竹林	345964.3	1.39×10 ⁹	1.13×10 ⁷	3.15×10 ⁴	5.19×10 ³	1.59×10 ⁵	8.39×10 ⁵	9.25×10 ⁵	2.25×10 ⁶
红树林	9708.6	0	3.35×10 ⁵	3.15×10 ²	1.05×10 ²	5.41×10 ³	6.74×10 ³	1.58×10 ⁴	3.58×10 ⁴
灌木经济林	747982.4	2.04×10 ⁹	2.11×10 ⁷	1.98×10 ⁴	6.59×10 ³	3.40×10 ⁵	4.24×10 ⁵	1.22×10 ⁶	2.76×10 ⁶
土山灌木林	392629.8	1.04×10 ⁹	1.27×10 ⁷	1.19×10 ⁴	3.97×10 ³	2.05×10 ⁵	2.55×10 ⁵	6.38×10 ⁵	1.45×10 ⁶
石山灌木林	2361798.8	2.69×10 ⁹	6.90×10 ⁷	6.49×10 ⁴	2.16×10 ⁴	1.11×10 ⁶	1.39×10 ⁶	3.84×10 ⁶	8.71×10 ⁶
林分类型 Forest type	积累营养物质(t·a ⁻¹)				净化大气环境(t·a ⁻¹)				
	N	P	K	生产负离子量 (亿个/年)	吸收二氧化 硫量	吸收氟 化物量	吸收氮氟 化物量	滞尘量	
松类	9.98×10 ⁴	7.60×10 ³	3.45×10 ⁴	1.49×10 ¹²	2.90×10 ⁸	2.43×10 ⁷	2.47×10 ⁷	8.50×10 ¹⁰	
杉木	5.97×10 ⁴	6.08×10 ³	4.15×10 ⁴	8.43×10 ¹¹	5.31×10 ⁸	5.52×10 ⁶	1.71×10 ⁷	4.13×10 ¹⁰	
栎类	2.28×10 ⁴	2.47×10 ³	1.72×10 ⁴	3.53×10 ¹¹	3.09×10 ⁷	4.11×10 ⁶	5.12×10 ⁶	1.58×10 ¹⁰	
硬阔类	1.48×10 ⁴	1.97×10 ³	8.36×10 ³	2.48×10 ¹¹	2.69×10 ⁷	1.27×10 ⁶	3.37×10 ⁶	7.33×10 ⁹	
桉树	4.41×10 ⁴	8.60×10 ³	3.33×10 ⁴	7.45×10 ¹¹	1.46×10 ⁸	2.04×10 ⁷	1.84×10 ⁷	7.43×10 ¹⁰	
软阔类	2.06×10 ⁵	2.74×10 ⁴	1.16×10 ⁵	2.83×10 ¹²	2.96×10 ⁸	4.14×10 ⁷	3.78×10 ⁷	1.51×10 ¹¹	
乔木经济林	4.95×10 ³	9.66×10 ²	3.74×10 ³	1.62×10 ¹¹	5.11×10 ⁷	2.42×10 ⁶	6.45×10 ⁶	1.40×10 ¹⁰	
竹林	5.23×10 ³	1.02×10 ³	3.95×10 ³	6.43×10 ¹¹	3.07×10 ⁷	1.45×10 ⁶	4.60×10 ⁶	8.37×10 ⁹	
红树林	1.63×10 ²	2.17×10	9.18×10	1.75×10 ⁹	8.61×10 ⁵	1.20×10 ⁵	1.10×10 ⁵	2.35×10 ⁸	
灌木经济林	1.25×10 ⁴	1.67×10 ³	7.07×10 ³	1.35×10 ¹¹	6.63×10 ⁷	9.27×10 ⁶	8.47×10 ⁶	1.81×10 ¹⁰	
土山灌木林	6.57×10 ³	8.76×10 ²	3.71×10 ³	7.09×10 ¹⁰	3.48×10 ⁷	4.87×10 ⁶	4.45×10 ⁶	9.50×10 ⁹	
石山灌木林	3.95×10 ⁴	5.27×10 ³	2.23×10 ⁴	4.26×10 ¹¹	2.09×10 ⁸	2.93×10 ⁷	2.68×10 ⁷	5.72×10 ¹⁰	

各个林分类型由大到小的顺序为软阔类(95 029 元/公顷/年)>硬阔类(82 386 元/公顷/年)>栎类(78 046 元/公顷/年)>竹林(61 771 元/公顷/年)>桉树(61 521 元/公顷/年)>松类(47 483 元/公顷/年)>灌木经济林(40 244 元/公顷/年)>土山灌木林(40 041 元/公顷/年)>乔木经济林(39 050 元/公顷/年)>石山灌木林(27 344 元/公顷/年)>

红树林(18 585 元/公顷/年)。

4 结论与讨论

4.1 森林生态系统服务功能价值量分析

广西森林生态系统服务功能总价值为 8388.93 亿元/年。每公顷森林提供的价值平均为 6.070 万

元/年。7 项服务功能的价值量排序为涵养水源>固碳释氧>保护生物多样性>净化大气环境>保育土壤>林木营养积累>森林游憩。涵养水源和生物多样性保护及固碳释氧价值合计占到总价值的 83.15%，说明以上 3 项功能在广西森林生态系统服务功能总价值中占有主体地位，是广西森林的主要生态服务功能。

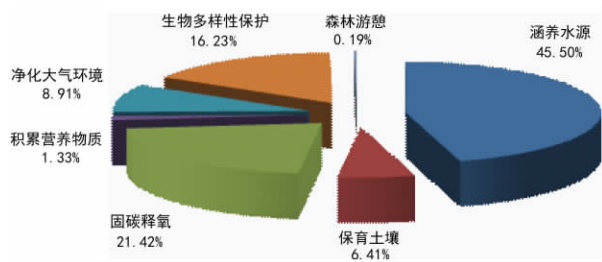


图 1 森林生态系统服务功能总价值

Fig. 1 Total value of forest ecosystem services

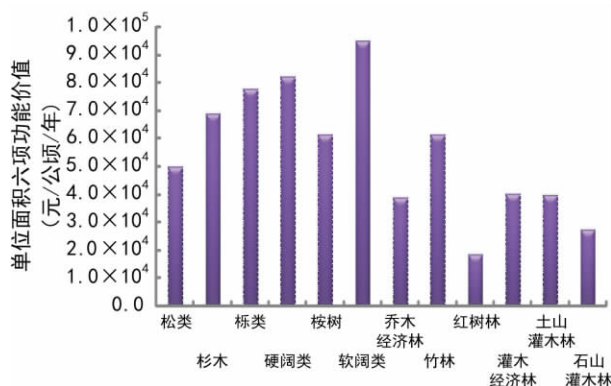


图 2 不同林分类型服务功能单位面积价值

Fig. 2 Value per unit area of different types of ecosystem services

4.2 不同林分类型价值量分析

不同林分类型总价值量位于 0.184~3169.69 亿元/年之间,各林分类型由大到小的顺序为软阔类(37.86%)>松类(14.79%)>桉树(12.07%)>杉木(10.61%)>石山灌木林(7.71%)>灌木经济林(3.60%)>栎类(3.25%)>硬阔类(2.98%)>乔木经济林(2.69%)>竹林(2.55%)>土山灌木林(1.88%)>红树林(0.02%)。各林分类型单位面积(元/公顷/年)价值量位于 18 585~95 029 元/公顷/年之间,由大到小的顺序为软阔类(95 029)>硬阔类(82 386)>栎类(78 046)>竹林(61 771)>桉树(61 521)>松类(47 483)>灌木经济林(40 244)>土山灌木林(40 041)>乔木经济林(39 050)>石山灌木林(27 344)>红树林(18 585)。软阔类森林生

态系统服务功能的总价值和单位价值均排在前列,说明软阔在广西森林生态系统服务功能中占有重要地位;而红树林的面积和单位面积森林生态系统服务功能均较少,对整个广西森林生态系统服务功能的影响则相对较小。

4.3 涵养水源在珠江流域中的作用

西江流域在广西境内面积为 2 024 万公顷,占到广西国土面积的 85.1%;西江年平均径流量为 2 380 亿立方米,而广西森林的年调节水量为 465.49 亿立方米,因此,广西森林的涵养水源功能年调节水量占到西江年平均径流量的比例高达 19.56%,对珠江流域乃至粤港澳地区的涵养水源都起到了一个蓄水池的作用,是名符其实的水库。

4.4 广西森林的碳汇作用

2009 年,广西森林的年固碳量为 4 870.15 万吨(折算成二氧化碳为 17857.22 万吨),根据广西壮族自治区人民政府关于印发广西壮族自治区应对气候变化方案的通知(桂政发[2009]74 号)报道,广西 2007 年温室气体排放总量为 1.55 万亿吨二氧化碳当量。可以得出,广西工业排放的二氧化碳,可以由自身的森林来固定。就广西而言,已经实现了零排放,多余的森林碳汇量则为华南地区的周边省份提供了碳汇功能,比如广东省 2005 年的二氧化碳排放量为 7.07 亿吨,而广东本省只能吸收 1.8 亿吨,5 亿多吨则无法通过自身的森林来固定;这样,两省区之间就可以实现优势互补。因此,广西森林在华南地区起到了碳库的作用。

4.5 林业经济价值与森林生态系统服务功能价值比较

2009 年全区林业总产值达 820 亿元,根据 2009 年广西森林资源二类调查数据计算的森林生态系统服务功能总价值 8388.93 亿元/年,每公顷森林提供的价值平均为 6.070 万元/年,可得出森林生态系统服务功能年总价值约是直接经济价值的 10 倍。可见,森林生态系统除了为社会提供直接产品价值外,还具有巨大的间接经济价值,主要体现在生态效益上,这种价值对人类的贡献比林副产品提供的价值更为显著。林业生态效益的外部性,森林生态服务价值部分作为相关部门的中间投入,已反映在相关部门的产出中,然而更多的生态效益由于监测、计量手段及其人为因素,无法精确计量和进入市场交易,为此,目前很难将绿色 GDP 纳入国民经

(下转第 117 页 Continue on page 117)

释放起着关键的作用,在凋亡信号的刺激下 Bax 可从胞质转位到线粒体膜上,从而启动线粒体介导的细胞凋亡。抗凋亡类 Bcl-2 蛋白可以通过阻止促凋亡蛋白在线粒体膜上形成低聚体来发挥其抗凋亡作用(Mikhailov *et al.*, 2001)。Bid 属于促进凋亡的(pro-apoptotic)蛋白。在凋亡途径中,活化的 caspase-8 将胞质中的 Bid 剪切,形成活性分子 tBid (truncated Bid),tBid 进入线粒体,导致细胞色素 c 释放,使凋亡信号放大(Li *et al.*, 1998)。在本研究中,CCEB 能促进 HeLaS3 细胞中 Bax 蛋白表达增加和 Bcl-2 蛋白表达减少。同时 CCEB 能促进 HeLaS3 细胞中 Bid 蛋白活化和细胞内 caspase-8 活性增高。这些结果进一步表明了 CCEB 能通过线粒体途径引起 HeLaS3 细胞凋亡。

参考文献:

- 梁盛业,陆敏珠. 2005. 中国金花茶栽培与开发利用[M]. 北京:中国林业出版社:1
- Green DR. 2000. Apoptotic pathways: paper wraps stone blunts scissors[J]. *Cell*,**102**:1-4
- Huang YC(黄燮才). 1994. 金花茶开发利用概况及前景预测[J]. *Chin J Inform TCM(中国中医药信息杂志)*,**1**(6):10-11
- Hopcia KL,McCary YL,Sylvester FC,*et al.* 1996. Radiation-induced apoptosis in HL60 cells, oxygen effect, relationship between apoptosis and loss of clonogenicity, and dependence of time to apoptosis on radiation dose[J]. *Radiat Res*,**145**:315-323
- Harris MH, Thompson CB. 2000. The role of the Bcl-2 family in the regulation of outer mitochondrial membrane permeability[J]. *Cell Death Differ*,**7**(12):1 182-1 191
- Li H,Zhu H,Xu CJ,*et al.* 1998. Cleavage of BID by caspase 8 mediates the mitochondrial damage in the Fas pathway of apoptosis [J]. *Cell*,**94**:491-501
- Mikhailov V, Mikhailova M, Pulkrabek DJ. 2001. Bcl-2 prevents Bax oligomerization in the mitochondrial outer membrane[J]. *J Biol Chem*,**276** (21):18 361-18 374
- Sellins KS,Cohen JJ. 1987. Gene induction by gamma-irradiation leads to DNA fragmentation in lymphocytes[J]. *J Immunol*,**139**:3 199-3 206
- van Heerde WL, de Groot PG, Reutelingsperger CP. 1995. The complexity of the phospholipid binding protein Annexin V[J]. *Thromb Haemost*,**73**:172-179
- Wei X(韦霄), Jiang SY(蒋水元), Jiang YS(蒋运生), *et al.* 2006. Research Progress of *Camellia nitidissima*, a Rare and Endangered Plant (珍稀濒危植物金花茶研究进展) [J]. *J Fujian Fore Sci Technol* (福建林业科技),**33** (3):169-173
- Wang YQ(王永奇), Wu XJ(吴小娟), Li HB(李红冰), *et al.* 2006. Research of *Camellia* on the used to drugs(药用山茶属植物的研究)[J]. *J Dalian Univ* (大连大学学报),**27** (4):47-58
- Wang X. 2001. The expanding role of mitochondria in apoptosis [J]. *Genes Dev*,**15**:2 922-2 933
- Yu DY, Matsuya Y, Zhao QL, *et al.* 2007. Enhancement of hyperthermia-induced apoptosis by a new synthesized class of furan-fused tetracyclic compounds[J]. *Apoptosis*,**12**(8):1 523-1 532
- Yu DY, Matsuya Y, Zhao QL, *et al.* 2008. Enhancement of hyperthermia-induced apoptosis by a new synthesized class of benzocycloalkene compounds[J]. *Apoptosis*,**13**(3):448-461
- Costanza R. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*,**387**(15):253-260
- Daly GC. 1997. Nature's Services; Societal Dependence on Natural Ecosystems[M]. Washington DC: Island Press
- Li SN(李少宁), Wang B(王兵), Guo H(郭浩), *et al.* 2007. Assessment of forest ecosystem services value in Dagangshan(大岗山森林生态系统服务功能及其价值评估)[J]. *Sci Soil & Water Cons* (中国水土保持科学),**5**(6):58-64
- Wang B(王兵), Li SN(李少宁), Guo H(郭浩). 2007. The assessment of forest ecosystem services evaluation in Jiangxi Province(江西省森林生态系统服务功能及其价值评估研究)[J]. *Jiangxi Sci* (江西科学),**25**(5):553-559,587
- Wang B(王兵), Wei JS(魏江生), Hu W(胡文). 2009. The assessment of forest ecosystem services evaluation in Qiandongnan of Guizhou Province(贵州省黔东南州森林生态系统服务功能评估)[J]. *J Guizhou Univ: Nat Sci Edit* (贵州大学学报·自然科学版),**26**(5):42-47,52
- Zhang LQ(张乐勤), Fang YY(方宇媛), Xu Y(许杨), *et al.* 2011. Service value evaluations of the forest ecosystem in Chizhou(池州森林生态系统服务价值评估与分析)[J]. *Guihaia* (广西植物),**31**(4):463-468
- 广西壮族自治区林业勘测设计院. 2005. 广西壮族自治区森林资源连续清查第七次复查报告[R]
- 广西壮族自治区林业勘测设计院. 2008. 广西壮族自治区重点公益林资源与生态状况监测报告[R]
- 王兵, 德永军, 杨锋伟, 等. 2007b. 暖温带森林生态系统定位观测指标体系(LY/T 1689-2007)[S]. 北京:中国标准出版社
- 王兵, 郭泉水, 杨锋伟, 等. 2004. 森林生态系统定位观测指标体系(LY/T 1606-2003)[S]. 北京:中国标准出版社
- 王兵, 李意德, 李少宁, 等. 2007a. 热带森林生态系统定位观测指标体系(LY/T 1687-2007)[S]. 北京:中国标准出版社
- 王兵, 杨锋伟, 郭浩, 等. 2008. 森林生态系统服务功能评估规范(LY/T 1721-2008)[S]. 北京:中国标准出版社
- 张永明. 2008. 云南轿子山自然保护区森林生态系统服务功能及其价值初步研究[J]. *林业建设*, (5):20-24
- Bolund P, Hunhammar S. 1999E. cosystem services in urban areas [J]. *Ecol Econ*,**29**:293-301

(上接第 51 页 Continue from page 51)

济核算体系,但不能因此忽视森林生态系统服务功能及其价值。

参考文献:

- 广西壮族自治区林业勘测设计院. 2005. 广西壮族自治区森林资源连续清查第七次复查报告[R]
- 广西壮族自治区林业勘测设计院. 2008. 广西壮族自治区重点公益林资源与生态状况监测报告[R]
- 王兵, 德永军, 杨锋伟, 等. 2007b. 暖温带森林生态系统定位观测指标体系(LY/T 1689-2007)[S]. 北京:中国标准出版社
- 王兵, 郭泉水, 杨锋伟, 等. 2004. 森林生态系统定位观测指标体系(LY/T 1606-2003)[S]. 北京:中国标准出版社
- 王兵, 李意德, 李少宁, 等. 2007a. 热带森林生态系统定位观测指标体系(LY/T 1687-2007)[S]. 北京:中国标准出版社
- 王兵, 杨锋伟, 郭浩, 等. 2008. 森林生态系统服务功能评估规范(LY/T 1721-2008)[S]. 北京:中国标准出版社
- 张永明. 2008. 云南轿子山自然保护区森林生态系统服务功能及其价值初步研究[J]. *林业建设*, (5):20-24
- Bolund P, Hunhammar S. 1999E. cosystem services in urban areas [J]. *Ecol Econ*,**29**:293-301