

# 中国思茅松林生态服务功能价值动态研究

温庆忠<sup>1</sup>, 赵元藩<sup>1</sup>, 陈晓鸣<sup>2\*</sup>, 杨子祥<sup>2</sup>, 艾建林<sup>1</sup>, 杨晓松<sup>1</sup>

(1. 云南省林业调查规划院、云南省森林资源监测中心, 云南 昆明 650051; 2. 中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 云南 昆明 650224)

**摘要:**对我国思茅松林生态服务功能价值 20 年来的变化规律进行了研究。1987—2002 年期间, 思茅松林面积呈下降趋势, 思茅松林的生态服务功能价值也相应下降, 从  $365.81 \times 10^8$  元  $\cdot$  a<sup>-1</sup> 降至  $313.50 \times 10^8$  元  $\cdot$  a<sup>-1</sup>, 之后随思茅松林资源的恢复而增至  $328.44 \times 10^8$  元  $\cdot$  a<sup>-1</sup>; 思茅松林生态服务功能价值随着资源的生长而增长, 随着思茅松林资源的消耗而降低。思茅松林单位面积生态服务功能价值在 20 年间处于持续递增趋势, 1987 年为  $5.44 \times 10^4$  元  $\cdot$  hm<sup>-2</sup>  $\cdot$  a<sup>-1</sup>, 2007 年增至  $5.56 \times 10^4$  元  $\cdot$  hm<sup>-2</sup>  $\cdot$  a<sup>-1</sup>, 年均递增 0.11%, 并与思茅松林的单位面积蓄积量的增长呈显著的正相关, 表明森林生态服务功能价值随着林分质量的改善而提高。

**关键词:**思茅松林; 生态服务功能价值; 动态变化

中图分类号: S791.259

文献标识码: A

## Dynamic Study on the Values for Ecological Service Function of *Pinus kesiya* Forest in China

WEN Qing-zhong<sup>1</sup>, ZHAO Yuan-fan<sup>1</sup>, CHEN Xiao-ming<sup>2</sup>, YANG Zi-xiang<sup>2</sup>, AI Jian-lin<sup>1</sup>, YANG Xiao-song<sup>1</sup>

(1. Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Yunnan Forest Resource Monitoring Center, Kunming 650051, Yunnan, China;

2. Research Institute of Resources Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, Yunnan, China)

**Abstract:** The long-term dynamic changes of the values for ecological service function of *Pinus kesiya* forest in China since 1987 had been studied. The results suggested that the area of *Pinus kesiya* had decreased and its value for ecological service function had also decreased from  $365.1 \times 10^8$  yuan per year to  $313.50 \times 10^8$  yuan per year from 1987 to 2002. Afterward, the value increased to  $328.39 \times 10^8$  yuan per year at 2007 with the regeneration of *Pinus kesiya* forest. The value for ecological service function of *Pinus kesiya* per unit area had increased during the past 20 years from per hectare  $5.44 \times 10^4$  yuan per year in 1987 to  $5.56 \times 10^4$  yuan per year in 2007, and the average annual increase is 0.11%. Generally, the value showed strong positive correlation with the increasing per unit stock volume of *Pinus kesiya*, which indicated that the service value will increase with the improving of stand quality.

**Key word:** *Pinus kesiya*; value for ecological service function; dynamic change

森林生态系统作为地球上结构最复杂、功能最多和最稳定的陆地生态系统, 在生态环境维持和改善方面起着不可替代的重要作用<sup>[1]</sup>。森林生态系统为人类提供食物、药品等各种生产生活原料, 支撑与维持地球生命支持系统, 维持生物物种与遗传多样

性, 维持大气平衡与稳定, 净化环境的这些作用, 即是其生态服务功能<sup>[2-4]</sup>。森林的兴衰直接影响生态环境, 关系着经济和社会的可持续发展, 其生态服务功能既是人类生存的基本条件, 又是实现生态文明的基础<sup>[2]</sup>; 我国对森林生态服务功能价值已进行了

收稿日期: 2010-05-10

基金项目: 国家林业局林业公益性行业专项(200904052); 国家林业局“948”项目(2009-4-37)和云南省森林资源动态监测研究项目

作者简介: 温庆忠(1968—), 男, 广东人, 高级工程师, 主要从事森林资源监测、森林生态研究。

\* 通讯作者

不少的研究,积累了一些经验。

思茅松(*Pinus kesiya* Royle ex Gord. var. *langbianensis* (A. Chev.) Gaussen)林是我国重要的森林类型。长期以来,思茅松林的经营利用方向以商品林为主,对其经济价值强调得多,而对其生态价值则较少关注,缺乏对思茅松林生态服务功能的系统定量研究,更未开展随森林资源消长而进行的生态服务功能价值动态变化研究。因此,本文利用从1987年以来我国森林资源连续清查的5次调查监测数据,对思茅松林20年来的生态服务功能价值动态变化进行了系统研究,以期掌握思茅松林生态服务功能随着资源消长而发生的变化规律,使人们全面认识思茅松林的生态服务价值,为协调森林利用与保护之间的关系,促进社会、经济和生态的可持续发展提供决策参考。

## 1 思茅松林概况

思茅松林自然分布于云南中南部和西南部,是我国西南部亚热带特有的暖热性针叶林。其范围在22°24'N以南,99°05'~102°30'E之间,集中分布于哀牢山西坡以西的南部地区,包括墨江、把边江、澜沧江水系的中下游及南定河上游,是这一区域最重要的森林类型,具有极高的生态价值及用材价值,一般生长在海拔900~1800m。思茅松林分布区气候主要受来自印度洋西南暖湿气流的影响,保持了高原季风气候的基本特点,四季暖热而干湿季分明。年平均气温17~20℃,≥10℃的活动积温为6000~7000℃,全年基本无霜。年降水量1000~1500mm,相对湿度80%。思茅松林下土壤主要为发育于砂页岩、紫色砂岩、片麻岩、千枚岩和局部石灰岩上的赤红壤,土层厚度一般为80~120cm<sup>[5-9]</sup>。思茅松林以纯林为主,多为同龄林,天然更新能力强,生长迅速。在植被发生上,思茅松林现有的林分属于季风常绿阔叶林被破坏后形成的次生性森林<sup>[6]</sup>。思茅松树干通直,很少扭曲,木材变形小,纹理直,易加工,树干富含松脂,是重要的用材和采脂树种<sup>[8]</sup>。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 评估采用的数据及来源

(1)森林资源调查数据:采用全国1987、1992、1997、2002和2007年森林资源连续清查数据(表1)。各期调查数据主要技术标准除林分郁闭度于

1994年后从0.3调整为0.2以外基本一致。为使数据具有可比性,对1987、1992年两期监测数据按现行的林分郁闭度标准进行了调整和重新计算统计。

表1 思茅松林资源概况

项目	监测年份				
	1987	1992	1997	2002	2007
面积/ $\times 10^4 \text{hm}^2$	67.20	65.76	58.56	56.64	59.04
蓄积量/ $\times 10^4 \text{m}^3$	5 869.48	6 139.79	5 823.70	5 639.73	6 095.17

(2)大专院校、科研院所开展的相关研究成果及公开发表的文献资料。

(3)国家权威部门发布的社会公共数据<sup>[10]</sup>(表2)。

表2 社会公共数据

名称	单价/(元·t <sup>-1</sup> ) [含量/%]	名称	单价/ (元·t <sup>-1</sup> )
水库建设单位库容投资	6.11	有机质价格	320
水的净化费用	2.09	制造氧气价格	1 000
氯化钾价格	2 200	固碳价格	1 200
氯化钾含K量	[50.0]	降尘清理费用	150
磷酸二铵含P量	[15.01]	氟化物治理费用	690
磷酸二铵含N量	[14.0]	二氧化硫治理费用	1 200
磷酸二铵价格	2 400	氮氧化物治理费用	630

### 2.2 评估指标体系

根据数据指标的可获得性和可靠性,选择涵养水源、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6项功能、12个指标<sup>[2,10-12]</sup>评估思茅松林生态服务功能价值(表3)。

表3 思茅松林服务功能价值评估指标体系

指标类别	指标
涵养水源	调节水量、净化水质
保育土壤	森林固土、森林保肥
固碳释氧	固碳价值、释放氧气
林木营养积累	林木营养积累
净化环境	吸收二氧化硫、吸收氟化物、吸收氮氧化物、阻滞降尘
生物多样性保护	生物多样性保护

### 2.3 评估方法

2.3.1 涵养水源 涵养水源指森林通过对降水的截留、吸收和贮存以及将地表水转变为地下水

或地表径流等作用<sup>[13]</sup>。主要表现在提高水资源利用率、调节径流和净化水质等方面。本文选取调节水量和净化水质2项指标反映思茅松林的涵养水源功能。

(1) 调节水量价值 物质量评估采用降水储存量法<sup>[14]</sup>,即用森林的蓄水效益来衡量其涵养水分的功能。公式<sup>[14]</sup>为:

$$Q = A \times J \times R$$

$$J = J_0 \times K$$

式中: $Q$ 为与裸地相比,森林涵养水分的增加量; $A$ 为思茅松林面积(下同); $J$ 为多年平均产流降水量( $P > 20 \text{ mm}$ ); $J_0$ 为多年平均降水总量; $K$ 为产流降水量占降水总量比例; $R$ 为与裸地相比,森林减少径流的效益系数。

参数选取:

$J_0$ :思茅松林主要分布区平均降水量为1 250 mm;

$K$ :计算区降水强度较大<sup>[14]</sup>,取0.6;

$R$ :根据已有的实测研究成果<sup>[14]</sup>,取0.36;价值量评估采用替代工程法,公式为:

$$U_{\text{调}} = Q \times C_{\text{库}}$$

式中: $U_{\text{调}}$ 为林分调节水量价值(元); $C_{\text{库}}$ 为水库库容造价(元·m<sup>-3</sup>)。

(2) 净化水质价值:森林年净化水质价值采用城市居民用水价格计算,公式<sup>[10]</sup>为:

$$U_{\text{水质}} = K_{\text{水}} \times Q$$

式中: $U_{\text{水质}}$ 为森林年净化水质价值(元); $K_{\text{水}}$ 为居民用水价格(元·t<sup>-1</sup>)。

2.3.2 保育土壤 保育土壤指森林中活地被物和凋落物通过截留降水,降低水滴对表土的冲击和地表径流的侵蚀作用;同时通过植物根系固持土壤,防止土壤崩塌泻溜,改善土壤结构,减少土壤肥力损失的功能<sup>[4,13,15]</sup>。森林保育土壤功能由森林固土和森林保肥两方面构成。

(1) 森林固土价值 森林固土价值物质量评估采用如下公式<sup>[14]</sup>:

$$G_{\text{固}} = A \times (X_2 - X_1)$$

式中: $G_{\text{固}}$ 为森林年固土量(t·a<sup>-1</sup>); $X_2$ 为无林地土壤年侵蚀模数(t·hm<sup>-2</sup>); $X_1$ 为林下土壤年侵蚀模数(t·hm<sup>-2</sup>)。

森林固土作用减少泥沙淤积的价值评估方法采用清除费用法计算,公式<sup>[14]</sup>如下:

$$U_{\text{固土}} = A \times C_{\text{库}} \times (X_2 - X_1) / \rho$$

式中: $U_{\text{固土}}$ 为森林年固土价值(元); $\rho$ 为泥沙的平均密度(t·m<sup>-3</sup>); $C_{\text{库}}$ 为水库挖取土方工程费用(元·m<sup>-3</sup>)。

(2) 森林保肥价值:森林保肥价值估算公式<sup>[10]</sup>:

$$U_{\text{肥}} = A \times (X_2 - X_1) \times (N \times C_1 / R_1 + P \times C_1 / R_2 + K \times C_2 / R_3)$$

式中: $U_{\text{肥}}$ 为年森林保肥价值(元); $N$ 、 $P$ 、 $K$ 分别为土壤N、P、K的平均含量; $R_1$ 为磷酸二铵含N量(%); $R_2$ 为磷酸二铵含P量(%); $R_3$ 为氯化钾含K量(%); $C_1$ 、 $C_2$ 分别为磷酸二铵、氯化钾的平均价格(元·t<sup>-1</sup>)。

2.3.3 固C释氧 本文选取固C、释氧2个指标反映思茅松林的该项功能。

(1) 固C价值 植物在光合作用过程中,每积累1g干物质可固定1.63gCO<sub>2</sub>,释放1.19gO<sub>2</sub>,而CO<sub>2</sub>中C的比例为27.27%。森林固C价值可用以下公式计算:

$$U_{\text{碳}} = 27.27\% \times 1.63 \times C_{\text{碳}} \times B_{\text{年}}$$

式中: $U_{\text{碳}}$ 为林分的年固C价值(元); $C_{\text{碳}}$ 为固C价格(元·t<sup>-1</sup>); $B_{\text{年}}$ 为林分的年净生产力(t·a<sup>-1</sup>,下同)。

上式中 $B_{\text{年}}$ 的计算采用材积源生物量法<sup>[16]</sup>,即利用森林资源调查获得的蓄积量推算生物量。求出某树种的树干蓄积,可根据树干与其他器官之间存在的相关关系,推算该树种的生物量。推算方法为:通过某树种的总蓄积量,推算其总生物量,再利用蓄积量的年生长率,推算该树种的年净生产力<sup>[2,13]</sup>。计算公式如下:

$$B_{\text{年}} = V_{\text{总}} \times BEF \times (1 + R) \times D \times P_{\text{年}}$$

式中: $V_{\text{总}}$ 为思茅松林分的总蓄积量(m<sup>3</sup>); $BEF$ 为将树干生物量转换为地上生物量的生物量扩展因子(无单位); $R$ 为思茅松生物量根茎比; $D$ 为树种木材平均密度(t·m<sup>-3</sup>); $P_{\text{年}}$ 为思茅松年生长率(%)。 $BEF$ 、 $D$ 与 $R$ 的取值参见文献[17-21]及其测算值。

(2) 释放氧气价值 森林生态系统释放氧气的机理同上,计算公式<sup>[9]</sup>:

$$U_{\text{氧}} = 1.19 \times C_{\text{氧}} \times B_{\text{年}}$$

式中: $U_{\text{氧}}$ 为林分的年制氧价值(元); $C_{\text{氧}}$ 为氧气价格(元·a<sup>-1</sup>)。

2.3.4 林木营养积累 林木在生长过程中不断从土壤、大气等周围环境中吸收N、P、K等营养物质,固定于各器官中,成为植物体的组成成份。本文仅选取林木营养物质(N、P、K)积累指标来

反映此项功能。积累营养物质计算公式<sup>[10]</sup>如下:

$$G_{\text{氮}} = B_{\text{年}} \times N_{\text{营养}}$$

$$G_{\text{磷}} = B_{\text{年}} \times P_{\text{营养}}$$

$$G_{\text{钾}} = B_{\text{年}} \times K_{\text{营养}}$$

式中: $G_{\text{氮}}$ 为林分固N量( $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ ); $G_{\text{磷}}$ 为林分固P量( $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ ); $G_{\text{钾}}$ 为林分固K量( $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ ); $N_{\text{营养}}$ 为林木N元素含量(%); $P_{\text{营养}}$ 为林木P元素含量(%); $K_{\text{营养}}$ 为林木K元素含量(%)。

采用把林木每年固定的N、P、K折合成磷酸二铵和氯化钾的方法,从而计算林木营养积累的价值,公式<sup>[10]</sup>:

$$U_{\text{营养}} = B_{\text{年}} (N_{\text{营养}} \times C_1/R_1 + P_{\text{营养}} \times C_1/R_2 + K_{\text{营养}} \times C_2/R_3)$$

式中: $U_{\text{营养}}$ 为每年林木积累营养物质的价值(元); $N_{\text{营养}}$ 、 $P_{\text{营养}}$ 、 $K_{\text{营养}}$ 分别为为林木的N、P、K含量(%); $C_1$ 、 $C_2$ 分别为为磷酸二铵和氯化钾的价格( $\text{元} \cdot \text{t}^{-1}$ ); $R_1$ 为磷酸二铵含N量(%); $R_2$ 为磷酸二铵含P量(%); $R_3$ 为氯化K含钾量(%)。

2.3.5 净化大气环境 选择吸收二氧化硫、氟化物、氮氧化物、滞尘4个指标来反映思茅松林净化大气环境功能。思茅松等针叶树年平均吸收 $\text{SO}_2$ 、HF、氮氧化物和滞尘能力分别为:215.60、0.5、6.0、33200  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ <sup>[22]</sup>。

(1)吸收二氧化硫价值 森林吸收二氧化硫价值的计算公式<sup>[10]</sup>为:

$$U_{\text{二氧化硫}} = A \times Q_{\text{二氧化硫}} \times K_{\text{二氧化硫}}$$

式中: $U_{\text{二氧化硫}}$ 为思茅松林年吸收二氧化硫的价值(元); $Q_{\text{二氧化硫}}$ 为单位面积思茅松林的二氧化硫年吸收量( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ); $K_{\text{二氧化硫}}$ 为二氧化硫的治理费( $\text{元} \cdot \text{kg}^{-1}$ )。

(2)吸收氟化物价值:森林吸收氟化物价值的计算公式<sup>[10]</sup>为:

$$U_{\text{氟}} = A \times Q_{\text{氟化物}} \times K_{\text{氟化物}}$$

式中: $U_{\text{氟}}$ 为思茅松林年吸收氟化物的价值(元); $Q_{\text{氟化物}}$ 为单位面积思茅松林对氟化物的年吸收量( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ); $K_{\text{氟化物}}$ 为氟化物治理费( $\text{元} \cdot \text{kg}^{-1}$ )。

(3)吸收氮氧化物价值:森林吸收氮氧化物价值的计算公式<sup>[10]</sup>为:

$$U_{\text{氮氧化物}} = A \times Q_{\text{氮氧化物}} \times K_{\text{氮氧化物}}$$

式中: $U_{\text{氮氧化物}}$ 为思茅松林年吸收氮氧化物的价值(元); $Q_{\text{氮氧化物}}$ 为单位面积思茅松林对氮氧化物的年吸收量( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ); $K_{\text{氮氧化物}}$ 为氮氧化物治理费

( $\text{元} \cdot \text{kg}^{-1}$ )。

(4)阻滞降尘价值 阻滞降尘价值的计算公式<sup>[10]</sup>为:

$$U_{\text{滞尘}} = A \times Q_{\text{滞尘}} \times K_{\text{滞尘}}$$

式中: $U_{\text{滞尘}}$ 为思茅松林年阻滞降尘价值(元); $Q_{\text{滞尘}}$ 为单位面积思茅松林的年滞尘量( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ); $K_{\text{滞尘}}$ 为降尘清理费( $\text{元} \cdot \text{kg}^{-1}$ )。

2.3.6 生物多样性保护 指森林生态系统为生物提供生存与繁衍的场所,从而对其起到保育作用<sup>[13,15]</sup>,计算公式<sup>[10]</sup>为:

$$U_{\text{生}} = A \times S_{\text{生}}$$

式中: $U_{\text{生}}$ 为思茅松林年生物多样性保护价值(元); $S_{\text{生}}$ 为单位面积思茅松林年物种资源保育价值( $\text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$ ),按照国家林业局发布的《森林生态系统服务功能评估规范》,物种保育价值按 Shannon-Wiener 指数计算<sup>[10]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 涵养水源价值动态变化

思茅松林年调节水量功能总体呈现下降趋势,1987—2007年从 $18.14 \times 10^8 \text{ t}$ 下降到 $15.94 \times 10^8 \text{ t}$ (图1),年调节水量价值从 $110.86 \times 10^8$ 元降至 $97.40 \times 10^8$ 元,年净化水质价值从 $37.92 \times 10^8$ 元降至 $33.32 \times 10^8$ 元。涵养水源价值从 $148.78 \times 10^8$ 元降至 $130.71 \times 10^8$ 元(图2),年均下降 $0.11 \times 10^8$ 元。思茅松林涵养水源价值于2002年随着思茅松林资源的减少而降至最低值 $125.40 \times 10^8$ 元,2007年随着思茅松林资源的恢复而增长(图2),开始扭转下降的势头,回升至 $130.71 \times 10^8$ 元。说明这一阶段思茅松林得到了保护,其涵养水源的功能因此得以增强。

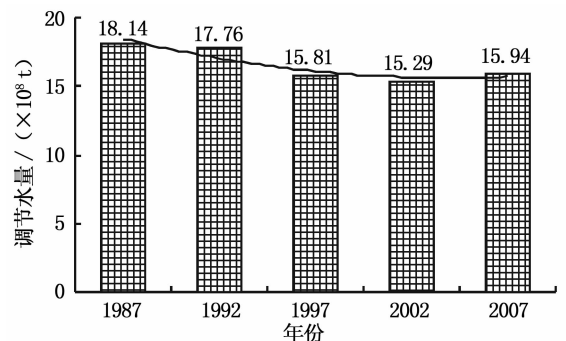


图1 调节水量年动态变化

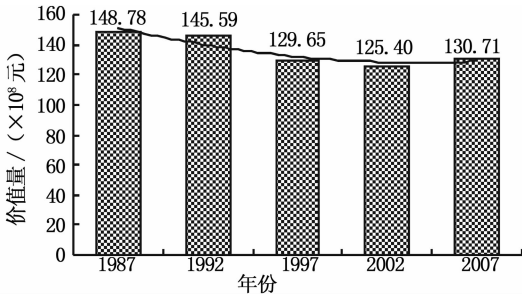


图2 涵养水源价值年动态变化

### 3.2 保育土壤价值

森林的存在,尤其是林内活地被层和凋落物层

表4 不同监测年份思茅松林保育土壤功能及价值

监测年份	固土/ (×10 <sup>8</sup> t·a <sup>-1</sup> )	保肥/(×10 <sup>4</sup> t·a <sup>-1</sup> )			合计	固土价值	保肥价值	保育土壤价值
		N	P	K				
1987	5.16	4.85	22.91	47.58	75.35	4.82	65.89	70.71
1992	5.05	4.75	22.42	46.56	73.74	4.71	64.48	69.19
1997	4.50	4.23	19.97	41.47	65.66	4.20	57.42	61.62
2002	4.35	4.09	19.31	40.11	63.51	4.06	55.54	59.60
2007	4.53	4.26	20.13	41.81	66.20	4.23	57.89	62.12

### 3.3 固碳释氧价值

表5表明:1987—2007年,思茅松林年固定C量为112.32×10<sup>4</sup>~103.17×10<sup>4</sup>t,固C价值为13.48×10<sup>8</sup>~12.38×10<sup>8</sup>元,年释放氧气300.71×10<sup>4</sup>~276.21×10<sup>4</sup>t,释氧价值30.07×10<sup>8</sup>~27.62×10<sup>8</sup>元,思茅松林年固C释氧价值43.55×10<sup>8</sup>~40.00×10<sup>8</sup>元。需要说明的是,本文年固C量未包括森林土壤层的固C量,估算结果是保守的。

表5 不同监测年份思茅松林固碳释氧量及价值

监测年份	固C量/ (×10 <sup>4</sup> t·a <sup>-1</sup> )	固C价值/ (×10 <sup>8</sup> 元·a <sup>-1</sup> )	释氧量/ (×10 <sup>4</sup> t·a <sup>-1</sup> )	释氧价值/ (×10 <sup>8</sup> 元·a <sup>-1</sup> )	固C释氧价值/ (×10 <sup>8</sup> 元·a <sup>-1</sup> )
1987	107.38	12.89	287.47	28.75	41.63
1992	112.32	13.48	300.71	30.07	43.55
1997	106.54	12.78	285.22	28.52	41.31
2002	103.17	12.38	276.21	27.62	40.00
2007	111.58	13.39	298.71	29.87	43.26

### 3.4 林木营养积累价值

1987—2007年,思茅松林年积累的营养物质为:固N量1.01×10<sup>4</sup>~0.97×10<sup>4</sup>t;固P量0.19×10<sup>4</sup>~0.17×10<sup>4</sup>t,固K量0.54×10<sup>4</sup>~0.49×10<sup>4</sup>t;年积累营养物质的价值2.36×10<sup>8</sup>~2.17×10<sup>8</sup>元(表6)。

### 3.5 净化大气环境价值

计算结果表明:1987—2002年期间思茅松林净化大气环境的功能呈下降趋势,2002—2007年期间

的存在,降水被层层截留从而减缓了水滴对表土的冲击和侵蚀,减少了土、肥的流失,从而发挥保育土壤的功能。思茅松林年固土量从1987年的5.16×10<sup>8</sup>t递减至2002年的4.35×10<sup>8</sup>t,2007年转而回升至4.53×10<sup>8</sup>t。固土和森林保肥价值随之产生相应变化(表4)。森林保育土壤的价值包括固土和保肥两方面,1987年思茅松林保育土壤价值为70.71×10<sup>8</sup>元,随后持续下降至2002年的最低点,为59.60×10<sup>8</sup>元,2007年回升至62.12×10<sup>8</sup>元(表4)。

表6 不同监测年份思茅松林营养物质积累功能及价值

监测年份	营养积累/(×10 <sup>4</sup> t·a <sup>-1</sup> )			营养积累总价值 (×10 <sup>8</sup> 元·a <sup>-1</sup> )
	N	P	K	
1987	1.01	0.18	0.51	2.26
1992	1.06	0.19	0.54	2.36
1997	1.01	0.18	0.51	2.24
2002	0.97	0.17	0.49	2.17
2007	1.05	0.19	0.53	2.34

开始回升。思茅松林各监测期年吸收二氧化硫、氟化物、氮氧化物、阻滞降尘的物质质量和价值见表7。1987年净化空气的总价值最高,为35.23×10<sup>8</sup>元,2002年最低,为29.70×10<sup>8</sup>元,2007年恢复至30.95×10<sup>8</sup>元(表8)。

### 3.6 生物多样性保护价值

据有关研究<sup>[23-24]</sup>,思茅松林的Shannon-Wiener指数约为2~3。依据《森林生态系统服务功能评估规范》中对Shannon-Wiener指数的相应赋值,计算得到1987—2007年期间,思茅松林生物多样性保护价值为67.20×10<sup>8</sup>~56.64×10<sup>8</sup>元·a<sup>-1</sup>,总体呈下降趋势。

### 3.7 思茅松林生态服务功能总价值

1987—2007年期间,思茅松林年生态服务功能总价值为365.81×10<sup>8</sup>~313.50×10<sup>8</sup>元(表8),1987年最高,2002年最低,15年间平均递减3.49×10<sup>8</sup>元·a<sup>-1</sup>。2002—2007年恢复至328.44×10<sup>8</sup>元,年均增加2.99×10<sup>8</sup>元。各项生态服务功能

价值构成在5个监测期呈窄幅波动(图3)。

表7 不同监测年份思茅松林净化大气环境功能和价值

监测年份	吸收 SO <sub>2</sub>		吸收 HF		吸收 NO <sub>x</sub>		滞尘	
	物质质量/ ( $\times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ )	价值/ ( $\times 10^8 \text{ 元} \cdot \text{a}^{-1}$ )	物质质量/ ( $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ )	价值/ ( $\times 10^4 \text{ 元} \cdot \text{a}^{-1}$ )	物质质量/ ( $\times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ )	价值/ ( $\times 10^4 \text{ 元} \cdot \text{a}^{-1}$ )	物质质量/ ( $\times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ )	价值/ ( $\times 10^8 \text{ 元} \cdot \text{a}^{-1}$ )
1987	14.49	1.74	336.00	23.18	0.40	254.02	2 231.04	33.47
1992	14.18	1.70	328.80	22.69	0.39	248.57	2 183.23	32.75
1997	12.63	1.52	292.80	20.20	0.35	221.36	1 944.19	29.16
2002	12.21	1.47	283.20	19.54	0.34	214.10	1 880.45	28.21
2007	12.73	1.53	295.20	20.37	0.35	223.17	1 960.13	29.40

表8 思茅松林生态服务价值汇总

监测年份	涵养水源	保育土壤	固 C 释氧	积累营养物质	净化大气环境	生物多样性保护	合计
	( $\times 10^8 \text{ 元} \cdot \text{a}^{-1}$ )						
1987	148.78	70.71	41.63	2.26	35.23	67.20	365.81
1992	145.59	69.19	43.55	2.36	34.48	65.76	360.93
1997	129.65	61.62	41.31	2.24	30.70	58.56	324.08
2002	125.40	59.60	40.00	2.17	29.70	56.64	313.50
2007	130.71	62.12	43.26	2.34	30.95	59.04	328.44

### 3.8 思茅松林单位面积生态服务功能价值

思茅松林单位面积生态服务功能价值呈递增趋势,1987年为  $5.44 \times 10^4 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 2007年增至  $5.56 \times 10^4 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$  (图4),20年间思茅松林单位面积生态服务功能价值增加了  $0.12 \times 10^4 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 年均递增 0.11%。单位面积蓄积量是反映森林质量的重要指标,从1987—2007年的20年间,思茅松林分质量呈上升趋势。单位面积蓄积量从1987年的  $87.34 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  增至2007年的  $103.24 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  (图5)。单位面积生态服务功能价值与单位面积蓄积量之间的 PEARSON 相关系数  $R=0.9968, R>0.7$ , 为显著正相关。

## 4 结论与讨论

评估结果表明:在思茅松林的各项生态功能中,居第1位的是涵养水源的价值,达  $148.78 \times 10^8 \sim 125.40 \times 10^8 \text{ 元} \cdot \text{a}^{-1}$ , 占生态服务功能总价值的 40.67% ~ 39.80%, 居第2位的为保育土壤价值,为  $70.71 \times 10^8 \sim 59.60 \times 10^8 \text{ 元} \cdot \text{a}^{-1}$ , 占总价值的 19.33% ~ 18.91%, 充分说明了思茅松林对分布区水源涵养、水土保持的重要作用 and 突出地位。居第3位的是生物多样性保护的价值, 占总价值的 18.37% ~ 17.98%。思茅松林的生物多样性价值虽低于分布区内的季风常绿阔叶林,但仍然发挥着较为重要的物种保育功能。居第4位的是固碳释氧价值,为  $43.55 \times 10^8 \sim 40.00 \times 10^8 \text{ 元} \cdot \text{a}^{-1}$ , 占总价值的 13.17% ~ 11.38%, 显示了思茅松林在调节气候

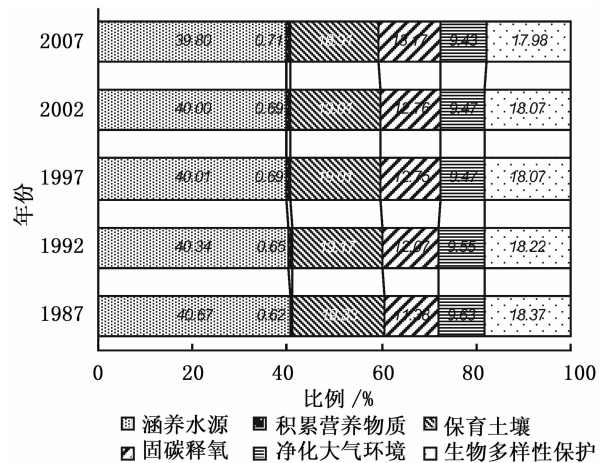


图3 生态服务功能价值构成年动态变化

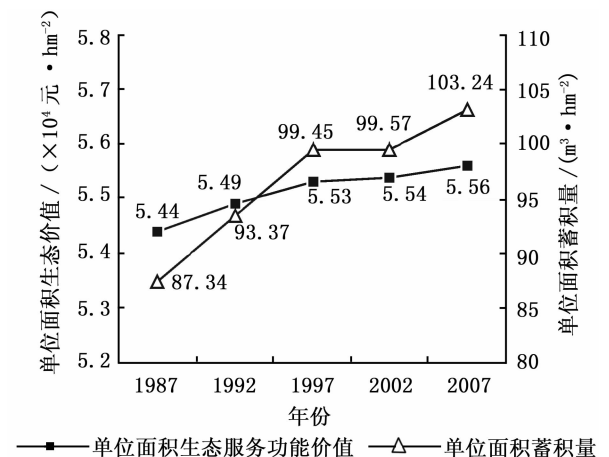


图4 单位面积生态服务功能价值与单位面积蓄积量年动态变化

变化方面的贡献。居第5位、第6位的分别是净化大气环境价值和积累营养物质价值。

思茅松林的生态服务功能价值随着思茅松林资源的消长而呈动态变化。1987—2002年期间,思茅松林面积呈下降趋势,思茅松林的生态服务功能价值也相应下降,从 $365.81 \times 10^8$ 元·a<sup>-1</sup>降至 $313.50 \times 10^8$ 元·a<sup>-1</sup>,之后随思茅松林资源的恢复而增至 $328.44 \times 10^8$ 元·a<sup>-1</sup>。因此,思茅松林生态服务功能价值随着资源的生长而增长,随着思茅松林资源的消耗而降低。

值得关注的是,思茅松林的单位面积生态服务功能价值在1987—2007年期间处于持续递增趋势。从 $5.44 \times 10^4$ 元·hm<sup>-2</sup>,增至 $5.56 \times 10^4$ 元·hm<sup>-2</sup>,年均递增0.11%,与思茅松林单位面积蓄积量的增长呈显著的正相关。表明森林生态服务功能价值随着林分质量的改善而提高。

思茅松林在长期的经营过程中,资源利用压力过大。1987—2002年期间面积处于下降状态,直到2002—2007年才恢复增长,资源的消耗利用直接影响着思茅松林生态服务功能价值。在集体林权制度改革后,森林资源开发利用体现所有者意愿的同时,如何确保分布于关键生态区的思茅松林不被过度开发利用,使其发挥相应的生态服务功能,统筹兼顾林权所有者的短期利益与国家生态安全需求之间的关系,是今后需要关注和妥善解决的问题。

#### 参考文献:

[1] 李景文. 森林生态学[M]. 北京:中国林业出版社,1982

[2] 赵元藩,温庆忠,陶晶,等. 西双版纳热带天然森林生态服务功能价值评估[J]. 林业调查规划,2010,35(1):1-6

[3] 郭浩,王兵,马向前,等. 中国油松林生态服务功能评估[J]. 中国科学C辑,2008,38(6):565-572

[4] 王兵,李少宁,郭浩. 江西省森林生态系统服务功能及其价值评估研究[J]. 江西科学,2007,25(5):553-559

[5] 西南林学院、云南省林业厅. 云南树木图志[M]. 昆明:云南科技出版社,1988

[6] 吴兆录. 思茅松研究现状的探讨[J]. 林业科学,1994,30(2):151-157

[7] 云南森林编写组. 云南森林[M]. 昆明:云南科技出版社,1986

[8] 中国森林编辑委员会. 中国森林(第2卷)·针叶林[M]. 北京:中国林业出版社,1999

[9] 云南植被编写组. 云南植被[M]. 北京:科学出版社,1987

[10] 国家林业局. 森林生态系统服务功能评估规范(LY/T1721-2008)[M]. 北京:中国标准出版社,2008

[11] 余新晓,鲁绍伟,靳芳,等. 中国森林生态系统服务功能价值评估[J]. 生态学报,2005,25(8):2096-2102

[12] 赵军,杨凯. 生态系统服务价值评估研究进展[J]. 生态学报,2007,27(1):346-356

[13] 赵元藩,温庆忠,艾建林. 云南森林生态服务功能价值评估[J]. 林业科学研究,2010,23(2):184-190

[14] 李文华. 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

[15] 韩素芸,田大伦,闫文德,等. 湖南省主要森林类型生态服务功能价值评价[J]. 中南林业科技大学学报,2009,29(6):6-13

[16] 赵敏,周广胜. 基于森林资源清查资料的生物量估算模式及其发展趋势[J]. 应用生态学报,2004,15(8):1468-1472

[17] 吴兆录,党承林. 云南普洱地区思茅松林的生物量[J]. 云南大学学报,1992,14(2):119-127

[18] 吴兆录,党承林. 云南普洱地区思茅松林的净第一性生产力[J]. 云南大学学报,1992,14(2):128-136

[19] 吴兆录,党承林. 云南昌宁县思茅松林的生物量和净第一性生产力[J]. 云南大学学报,1992,14(2):137-145

[20] 国家林业局应对气候变化和节能减排工作领导小组. 造林项目碳汇计量与监测指南[M]. 北京:中国林业出版社,2008

[21] 冯宗炜,王效科,吴刚. 中国森林生态系统的生物量和生产力[M]. 北京:科学出版社,1999

[22] 中国生物多样性国情研究报告编写组. 中国生物多样性国情研究报告[C]. 北京:中国环境科学出版社,1998

[23] 卢双珍,喻庆国,曹顺伟. 云南糯扎渡自然保护区自然森林群落物种多样性研究[J]. 安徽农业科学,2008,36(2):704-706

[24] 陶川. 云南思茅梅子湖风景区森林植被群落学特征的研究[D]. 重庆:西南师范大学,2002:36-45