

1973 – 2003 年中国森林生态系统服务功能变化研究

王 斌^{1,2}, 杨效生¹, 张 彪², 刘某承²

(1. 中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 利用 1973 – 2003 年间中国 6 次森林资源清查资料, 以及中国生态系统研究网络长期定位观测资料, 建立中国森林生态系统评估指标体系及其定量化方法, 并对中国森林生态系统服务功能价值及其动态变化进行评价与分析。结果表明: 1973 – 2003 年, 中国森林生态系统服务功能总价值变动范围为 $1.940 \sim 2.870$ 万亿元 $\cdot a^{-1}$, 单位面积价值变动范围为 $1.936 \sim 2.028$ 万元 $\cdot hm^{-2}\cdot a^{-1}$ 。20 世纪 70 年代末期以前, 中国的森林经营以木材利用为主, 森林生态系统服务功能总价值减少, 之后随着国家开始重视生态建设而呈逐步增加的趋势; 而 20 世纪 70 年代末期中国森林生态系统服务功能单位面积价值最大, 之后开始下降, 直到 90 年代末期才开始恢复增长。图 1 表 4 参 15

关键词: 森林生态学; 森林生态系统; 服务功能; 动态变化; 森林资源

中图分类号: S718.56 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5692(2009)05-0714-08

Dynamics of ecosystem services in China during 1973 – 2003

WANG Bin^{1,2}, YANG Xiao-sheng¹, ZHANG Biao², LIU Mou-cheng²

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, The Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China; 2. Institute of Geographical Science and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: With the 6th forest resources inventory data of China from 1973 to 2003 and long-term positioned observation data of Chinese ecosystem research network, this paper discussed the assessment system and method of quantitative analysis of Chinese forest ecosystem, evaluated and analyzed the service value and their dynamic changes about Chinese forest ecosystem. The results showed that the range of the total value of services function about Chinese forest ecosystem from 1973 to 2003 was between $1.940 \times 10^{12} \sim 2.870 \times 10^{12}$ yuan $\cdot a^{-1}$, and the range of the value per unit area was between $1.936 \times 10^4 \sim 2.028 \times 10^4$ yuan $\cdot hm^{-2}\cdot a^{-1}$. Before the end of 1970s, wood was the major product from the forest management in China, and the total value of Chinese forest ecosystem services function reduced. The total value of Chinese forest ecosystem services function was increasing after China paid attention to the ecology construction. In the end of 1970s, the unit area value of Chinese forest ecosystems system services function was the highest, then declining, until the end of 1990s it began to restore growth. [Ch, 1 fig. 4 tab. 15 ref.]

Key words: forest ecology; forest ecosystem; services; dynamic change; forest resources

生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用^[1-2]。人类福利和生态系统服务的将来状态不仅仅是这两个基本元素的共同进化, 人类福利还依赖于管理人类个体和群体以及人类和生态系统服务关系的制度^[3]。一直以来, 由于人们对生态系统服务功能及其重要性不够重视, 导致生态环境日益破坏。Costanza 等^[4]对全球生态系统服务价值的分类与全面评估使人们对生态系统服务功能的认识与重视上升到了一个新的高度。随着国际生态系统服务功

收稿日期: 2008-11-11; 修回日期: 2009-02-16

基金项目: 浙江省与中国林业科学研究院林业科技合作项目 (2008sy093); 国家生态系统观测研究台站网络建设项目 (sy066j0220)

作者简介: 王斌, 博士, 从事生态系统服务功能等研究。E-mail: wangb@igsrr.ac.cn

能及其价值评价工作的兴起, 中国生态学者开始系统地进行生态服务功能及其价值评价的研究工作^[5], 其中关于森林生态系统服务功能及其价值评价的研究, 是目前开展的最多, 相对也是最深入的。就全国尺度的森林生态系统服务功能评价而言, 靳芳等^[6]将中国各类森林服务功能划分为林木林副产品、森林游憩、涵养水源、固碳释氧、养分循环、净化环境、土壤保持和维持生物多样性八大类型, 估算中国森林生态系统服务功能的总价值为 3.060 万亿元·a⁻¹; 赵同谦等^[7]把中国森林生态系统的服务功能划分为提供产品、调节功能、文化功能和生命支持功能四大类, 估算中国森林生态系统服务功能的总价值为 1.406 万亿元·a⁻¹。从已有的关于中国森林生态系统服务功能价值的研究来看, 主要是按气候带分区进行研究, 很少有按森林类型进行分类, 进而估算中国森林生态系统服务功能价值的研究, 而关于近 30 a 来中国森林生态系统服务功能价值动态变化的研究则更少。1973 – 2003 年间中国 6 次森林资源清查资料提供了各省不同时期不同森林类型的面积和蓄积信息, 这为研究中国森林生态系统服务功能的价值及其动态变化提供了较好的数据支持, 同时, 该资料 and 目前中国各类统计数据具有较好的可关联性, 基于该类资料的森林生态系统服务功能研究, 具有较好的实用性, 可为中国的森林生态系统管理提供更有用的参考信息, 促进生态学与决策管理的结合。森林资源清查资料以面积和蓄积信息为主, 基于该资料对中国森林生态系统服务功能进行研究的关键是获取中国不同森林类型单位面积的结构与功能参数。笔者将基于中国生态系统研究网络(CERN)长期定位观测资料和相关的文献资料, 建立中国不同森林类型单位面积的结构与功能参数, 同时结合 6 次森林资源清查资料, 对中国森林生态系统服务功能及其动态变化进行评价与分析。

1 研究资料与研究方法

1.1 研究资料

共包括 5 个部分的数据资料: ①1973 – 2003 年间的中国森林资源清查资料, 这些资料记录了各省(市、自治区)不同森林类型的面积和蓄积信息; ②罗天祥^[8]博士论文中收集的 1 266 个不同森林类型的样地资料, 这些资料包括了各个样地的蓄积、生物量 and 生产力等信息; ③1998 – 2003 年间中国生态系统研究网络 9 个森林站的长期定位观测资料, 共有 40 个分布在不同气候带的典型森林生态系统样地资料; ④根据《中国森林生态系统水文生态功能规律》^[9], 整理中国不同森林类型林冠一次降水截留量、凋落物最大持水量 and 土壤非毛管孔隙蓄水量。⑤1973 – 2003 年间的林业统计年鉴资料。

1.2 研究方法

本研究的中国森林生态系统服务功能评价指标主要包括两大类共 8 项指标: 即森林的直接经济价值(林木林副产品、森林旅游) and 间接经济价值(涵养水源、土壤保持、固碳释氧、养分积累、净化空气 and 维持生物多样性)。森林生态系统的直接经济价值根据林业统计年鉴获得; 间接经济价值则根据收集整理的样地资料 and 文献资料, 通过计算不同森林类型的服务功能及其价值而获得, 服务功能计算的资料来源及方法如图 1 所示。

1.2.1 林木林副产品 森林生态系统为人类提供大量的木材并且是人类食物的重要来源。本研究在此仅考虑森林生态系统为人类提供木材以及松香、栲胶 and 紫胶等林副产品的功能。根据 1973–2003 年间中国林业统计年鉴中提供的相关数据统计森林林木 and 林副产品的物理量; 再跟据木材、松香、栲胶 and 紫胶的平均价格 187 元·m⁻³, 1 402 元·t⁻¹, 1 532 元·t⁻¹ and 6 268 元·t⁻¹ (1990 年不变价格), 计算不同时期森林生态系统提供林木 and 林副产品的价值。

1.2.2 森林旅游 森林旅游业可以在不消耗森林资源的情况下, 获取远高于生产木材的经济效益, 对保护森林资源, 推动地方经济发展具有重要作用。由于没有收集到 1973 – 1995 年间中国森林旅游收入资料, 本研究根据 1996 – 2001 年间旅游收入与年份之间的幂函数关系($y = 23\ 239e^{0.318x}$, $R^2 = 0.936$), 估算中国森林生态系统 1973 – 1995 年间的旅游收入。

1.2.3 涵养水源 森林涵养水源的能力主要体现在林冠截留、凋落物持水和土壤非毛管孔隙蓄水 3 个方面。本研究根据刘世荣等^[9]整理的中国不同森林类型生态系统水文生态功能综合调节能力, 计算不同时期中国森林生态系统涵养水源量, 以水库蓄水成本 0.67 元·t⁻¹ (1990 年不变价) 计算其价值^[5]。

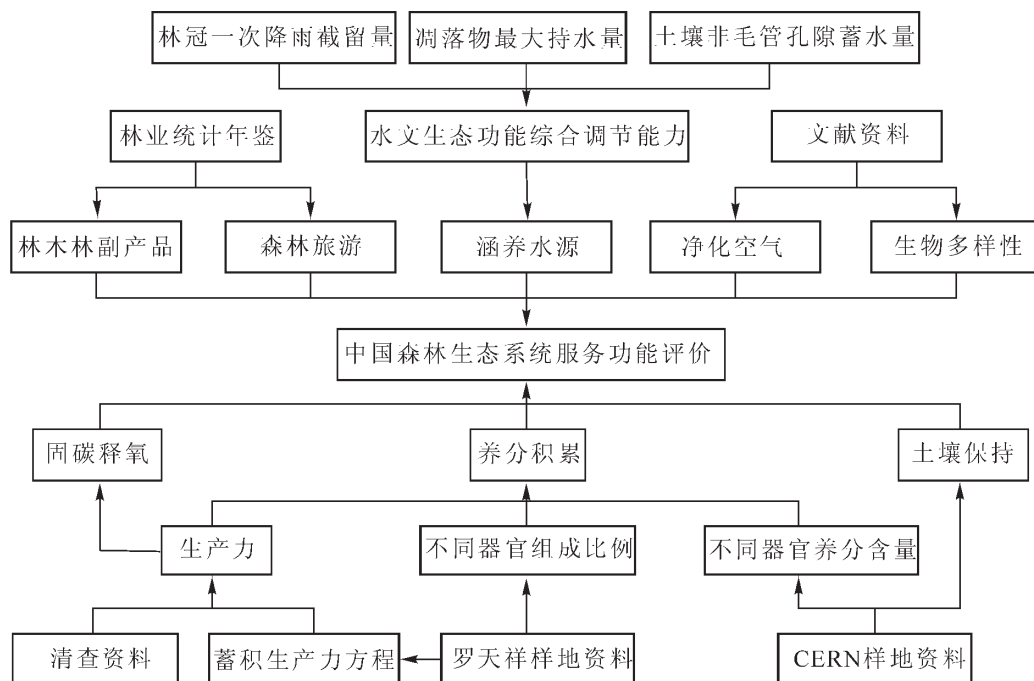


图1 中国森林生态系统服务功能评价流程

Figure 1 Assessment flow of forest ecosystem services in China

1.2.4 净化环境 由于不同森林类型与环境污染物之间的剂量响应关系还不清楚,因此,对森林生态系统净化环境功能做出科学的评价目前还比较困难。本研究仅考虑森林吸收二氧化硫、氟化氢和滞尘的能力,主要是根据已有的生物与周围污染物之间的剂量响应关系,对不同时期中国森林生态系统净化环境功能作初步的估算。根据《中国生物多样性国情研究报告》^[10],阔叶林对二氧化硫的吸收能力为 $88.65 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,针叶林对二氧化硫的平均吸收能力为 $215.60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,其中柏类为 $411.60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,杉类为 $117.60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,松类为 $117.60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$;吸收氟化氢能力阔叶林和针叶林均为 $9.85 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$;滞尘能力针叶林为 $33.23 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,阔叶林为 $10.11 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,云杉 *Picea asperata* 林为 $32.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,松类为 $34.45 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$;工业消除二氧化硫和氟化氢的价格按 $600 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$ 计算,除尘按 $170 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$ 计算^[5],据此可以估算中国森林生态系统吸收二氧化硫和氟化氢的量及其价值。

1.2.5 固碳释氧 利用森林蓄积量推算森林生物量和净生产量的方法^[11],计算不同时期中国森林生态系统的生产力。根据光合作用方程式,生态系统每生产 1.00 g 植物干物质能固定 1.63 g 二氧化碳,释放 1.20 g 氧气,以此为基础可计算中国森林生态系统固定二氧化碳和释放氧气的量;采用中国造林成本法 $273.30 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$ 碳和 $369.70 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$ 氧气计算中国森林生态系统固定二氧化碳和释放氧气的价值^[12]。

1.2.6 养分积累 根据罗天祥收集的样地资料整理中国不同森林类型乔木层(干、枝、叶、根)、灌木层和草本层的组成比例;根据中国生态系统研究网络分布在不同气候带的9个森林站共40个样地的资料,统计中国不同森林类型乔木层优势种(干、枝、叶、根)、灌木层和草本层的氮、磷、钾养分量;在此基础上,根据不同时期中国森林生态系统的生产力,计算中国森林生态系统积累氮、磷、钾养分量,然后以中国化肥平均价格 $2\,549 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$ 评价中国森林生态系统积累氮、磷、钾养分的价值^[2]。

1.2.7 土壤保持 根据汪业勋^[13]对中国森林土壤的研究成果,中国森林土壤平均厚度约 40 cm 。本研究采用该数据,根据中国生态系统研究网络分布在不同气候带的9个森林站共40个样地的资料,统计中国不同森林类型 $0 \sim 40 \text{ cm}$ 土层的土壤容重以及氮、磷、钾的养分量;同时根据通用土壤侵蚀方程,计算不同森林类型的现实侵蚀模数。潜在侵蚀模数按全国土壤侵蚀分类级别中“强度级”对应的水侵蚀模型上限 $8\,000 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 进行估算,据此计算中国不同森林类型的土壤保持量。以中国化肥

平均价格 2 549 元·t⁻¹, 林业的年均经济收益 282.17 元·hm⁻²·a⁻¹, 水库蓄水成本 0.67 元·t⁻¹(1990 年不变价), 运用影子价格法、机会成本法和替代工程法从保护土壤肥力、减少土地废弃和减轻泥沙淤积灾害 3 个方面评价生态系统土壤保持效益^[4]。

1.2.8 维持生物多样性 根据《中国生物多样性国情报告》^[10]中的调查结果, 全民每人每年愿意捐赠生物多样性保护金额为 10.00 元, 根据 1973 – 2003 年间中国人口统计数据, 可得不同时期中国生物多样性保护的支付意愿。在《中国濒危动物红皮书》^[14]记载的 164 种中国一级保护动物中, 生境为森林生态系统的保护物种占 68.3%, 按此比例可估算不同时期中国森林生态系统维持生物多样性功能的价值。

2 结果与分析

2.1 中国森林生态系统服务功能总价值的动态变化

通过对 1973 – 2003 年间中国森林生态系统各项服务功能物质量和价值量的评价, 得到不同时期中国森林生态系统服务功能总价值, 根据不同时期的森林面积, 得到各时期中国森林生态系统单位面积的价值。结果如表 1 所示。

表 1 1973 – 2003 年间中国森林生态系统服务功能总价值与单位面积价值

Table 1 The total value and mean value of forest ecosystem services in China between 1973 – 2003

年 限	面积/亿 hm ²	总价值/ (万亿元·a ⁻¹)	总价值年变化/ (亿元·a ⁻¹)	单位面积价值/ (万元·hm ⁻² ·a ⁻¹)	单位面积价值年变化/ (元·hm ⁻² ·a ⁻¹)
1973 – 1976	1.082	2.137		1.974	
1977 – 1981	0.956	1.940	- 438.047	2.028	120.06
1984 – 1988	1.021	2.027	125.489	1.984	- 63.51
1989 – 1993	1.086	2.131	208.009	1.962	- 44.12
1994 – 1998	1.292	2.502	740.491	1.936	- 51.29
1999 – 2003	1.427	2.870	737.264	2.010	147.75

从表 1 可以看出, 近 30 a 中国森林生态系统服务功能总价值变动范围为 1.940~2.870 万亿元·a⁻¹。20 世纪 70 年代末期以前, 由于中国的森林经营以木材利用为主, 中国森林生态系统服务功能总价值是减少的, 减少 438.047 亿元·a⁻¹, 之后随着国家开始重视生态建设而呈逐步增加的趋势, 21 世纪初达到 2.870 万亿元·a⁻¹, 其中 1994 – 1998 和 1999 – 2003 年间中国森林生态系统服务功能总价值增加尤为明显。单位面积森林生态系统服务功能价值能够反映森林生态系统的质量, 一般来说, 单位面积价值越大, 森林发挥的综合效益越大。与总价值变化不同, 20 世纪 70 年代末期中国森林生态系统服务功能单位面积价值最大, 而后开始下降, 年降低 44.12 ~ 63.51 元·hm⁻²·a⁻¹, 直到 90 年代末期中国森林经营进入以生态建设为主的阶段, 中国森林生态系统质量持续下降的局面才得到扭转, 单位面积价值才开始恢复增长。

2.2 中国森林生态系统不同服务功能价值的变化

根据 1973 – 2003 年间 6 次森林资源清查资料结果, 计算不同时期森林生态系统林木林副产品、森林旅游、涵养水源、土壤保持、固碳释氧、养分积累、净化空气、维持生物多样性价值及其单位面积价值。结果如表 2 和表 3 所示。中国森林生态系统服务功能总价值变化趋势是先降低后增加, 但不同服务功能其价值变化趋势不同。从表 2 可以看出, 森林涵养水源、固碳释氧、养分积累、土壤保持以及净化空气的价值与森林生态系统总价值的变化趋势基本一致, 这些服务功能同时也构成了森林生态系统间接经济价值的主体。林木林副产品直到 20 世纪 90 年代末期总体呈现一种增加的趋势, 虽然 1989 – 1993 年间全国大规模的造林灭荒运动以及采伐限额制度的实施, 在一定程度上控制和缓解了天然林消耗, 但这种政策并没有持续下去, 1994 – 1998 年间中国森林生态系统的林木林副产品及其价值又上升到了一个新的高度; 直到 20 世纪 90 年代末期, 中国彻底摆脱了以木材利用为主的传统林业经营思想, 森林的林木林副产品及其价值才开始显著下降。1973 – 2003 年间森林旅游和维持生物

表 2 1973 – 2003 年间中国森林生态系统不同服务功能总价值

Table 2 The total value of different forest ecosystem services in China between 1973–2003

年限	森林生态系统不同服务功能总价值/(亿元·a ⁻¹)							
	林木林副产品	森林旅游	涵养水源	固碳释氧	养分积累	土壤保持	净化空气	维持生物多样性
1973 – 1976	89.832	0.010	653.301	9 277.661	353.723	6 401.598	4 529.111	62.223
1977 – 1981	101.749	0.032	531.988	8 826.343	346.883	5 774.258	3 748.434	66.559
1984 – 1988	124.367	0.168	519.991	9 075.664	378.338	6 246.374	3 856.274	73.496
1989 – 1993	117.317	0.616	537.389	9 395.792	387.485	6 645.892	4 151.197	79.030
1994 – 1998	128.755	2.072	638.050	10 868.414	446.484	7 832.732	5 017.102	83.565
1999 – 2003	94.560	17.782	733.368	13 234.941	538.459	8 615.325	5 381.928	87.128

表 3 1973 – 2003 年间中国森林生态系统不同服务功能单位面积价值

Table 3 The mean value of different forest ecosystem services in China between 1973 – 2003

年限	森林生态系统不同服务功能单位面积价值/(元·hm ⁻² ·a ⁻¹)							
	林木林副产品	森林旅游	涵养水源	固碳释氧	养分积累	土壤保持	净化空气	维持生物多样性
1973 – 1976	83.01	0.01	603.68	8 572.96	326.86	5 915.36	4 185.10	57.50
1977 – 1981	106.41	0.03	556.36	9 230.65	362.77	6 038.76	3 920.14	69.61
1984 – 1988	121.70	0.16	508.85	8 881.17	370.23	6 112.51	3 773.63	71.92
1989 – 1993	107.99	0.57	494.65	8 648.56	356.67	6 117.35	3 821.06	72.74
1994 – 1998	99.66	1.60	493.85	8 412.08	345.58	6 062.49	3 883.21	64.68
1999 – 2003	66.22	12.45	513.60	9 268.82	377.10	6 033.56	3 769.12	61.02

多样性的支付意愿总价值一直是一种增加的趋势,并且森林旅游价值增加的趋势尤为明显,这与建国后中国人口的快速增长以及中国大力开发森林旅游资源有关。

从森林生态系统不同服务功能单位面积价值来看,森林保持土壤和净化空气的价值变化不大(表 3)。固碳释氧和养分积累与中国森林生态系统单位面积价值的变化趋势一致,由于这 2 个指标是森林生态系统生产力的直接体现,从中可以看出中国森林生态系统质量改变 2 个明显的转折点:一个是 20 世纪 70 年代末期,森林生态系统生产力开始下降,森林质量降低;一个是 20 世纪 90 年代末期,森林生态系统生产力开始增加,森林质量持续下降的趋势得到改变。单位面积森林旅游的价值与总价值一样,增加趋势明显。林木林副产品和维持生物多样性的支付意愿先增加后降低,前者说明中国森林生态系统单位面积的林木林副产品在渡过了开采最严重的时期(1984 – 1988)后,现处于逐步下降的阶段;后者说明 1989 – 1993 年间,中国森林生态系统单位面积森林维持生物多样性的支付意愿总价值最高,而此时正是中国人均森林面积最少的时期。值得注意的是,中国森林生态系统单位面积涵养水源的能力直到 20 世纪 90 年代末期一直是一种降低的趋势,这也从侧面说明了中国 1998 年的特大洪灾与森林涵养水源能力下降之间的关系。

2.3 中国各省(市、自治区)森林生态系统服务功能总价值的动态变化

根据 1973 – 2003 年间 6 次森林资源清查资料结果,分省区计算不同时期森林生态系统各项服务功能的总价值,结果如表 4 所示。

从表 4 可以看出,各省市森林生态系统服务功能总价值差异较大。黑龙江省森林生态系统服务功能总价值最大,占全国的 17.023%;其次为内蒙古和云南省,分别占全国的 9.681%和 9.256%;上海市生态系统服务功能总价值最低,多年平均值仅为 0.527 亿元·a⁻¹。1999 – 2003 年间与 1973 – 1976 年间相比,黑龙江、吉林、陕西和甘肃 4 省森林生态系统服务功能总价值降低,其余省市则增加;其

表 4 1973 – 2003 年间中国各省(市、自治区)森林生态系统服务功能总价值

Table 4 The total value of forest ecosystem services in each province between 1973 – 2003

统计单位	各省(市、自治区)森林生态系统服务功能总价值/(亿元·a ⁻¹)						平均
	1973 – 1976	1977 – 1981	1984 – 1988	1989 – 1993	1994 – 1998	1999 – 2003	
黑龙江	5 476.467	3 368.632	3 300.173	3 464.939	3 718.301	3 835.730	3 860.707
吉林	1 797.581	1 484.919	1 454.129	1 539.307	1 606.370	1 641.924	1 587.372
辽宁	644.722	547.450	570.475	562.243	649.292	660.659	605.807
东北小计	7 918.770	5 401.000	5 324.777	5 566.489	5 973.963	6 138.313	6 053.885
北京	23.751	13.801	27.830	28.584	39.302	44.900	29.695
河北	323.203	198.887	232.484	271.240	355.973	381.516	293.884
内蒙古	63.335	2 408.855	2 530.850	2 510.586	2 653.084	3 006.902	2 195.602
山西	218.529	136.671	160.247	197.649	260.702	284.268	209.678
天津	1.202	1.463	6.958	9.965	8.891	8.519	6.166
华北小计	630.019	2 759.676	2 958.370	3 018.024	3 317.952	3 726.104	2 735.024
安徽	265.517	299.429	358.881	331.129	448.642	489.503	365.517
福建	829.800	796.406	759.554	858.730	1 171.689	1 207.993	937.362
江苏	33.398	30.343	39.434	41.279	39.332	94.158	46.324
江西	864.149	793.442	776.118	872.336	1 181.672	1 357.112	974.138
山东	173.153	85.752	129.952	116.218	121.204	196.816	137.182
上海	0	0.243	0.450	0.553	0.777	1.140	0.633
浙江	485.338	415.093	477.523	490.367	582.492	604.492	509.218
华东小计	2 651.354	2 420.707	2 541.912	2 710.613	3 545.808	3 951.213	2 970.268
广东	1 021.424	910.650	733.677	969.488	1 242.904	1 378.886	1 042.838
广西	782.524	815.844	762.450	779.473	1 052.121	1 355.158	924.595
海南	0	0	138.563	150.312	200.116	219.778	177.192
华南小计	1 803.948	1 726.494	1 634.690	1 899.273	2 495.141	2 953.822	2 085.561
河南	211.160	218.545	243.834	241.918	303.051	422.696	273.534
湖北	599.280	576.965	624.842	578.266	708.517	778.625	644.416
湖南	746.012	697.491	697.740	702.370	943.611	1 042.949	805.029
华中小计	1 556.452	1 493.001	1 566.417	1 522.553	1 955.180	2 244.269	1 722.979
甘肃	397.018	338.379	359.192	363.535	398.697	394.674	375.249
宁夏	18.220	17.299	25.589	23.363	24.033	18.871	21.229
青海	37.416	35.637	52.773	50.554	57.954	68.491	50.471
陕西	1 015.929	863.677	821.525	830.574	932.670	962.024	904.400
新疆	280.496	224.358	239.668	269.343	347.777	331.085	282.121
西北小计	1 749.079	1 479.350	1 498.746	1 537.367	1 761.130	1 775.146	1 633.470
贵州	443.313	459.229	434.070	441.508	622.434	716.630	519.531

续表 4

统计单位	各省(市、自治区)森林生态系统服务功能总价值/(亿元·a ⁻¹)						平均
	1973 - 1976	1977 - 1981	1984 - 1988	1989 - 1993	1994 - 1998	1999 - 2003	
四川	1 439.748	1 211.978	1 856.348	1 926.111	2 220.446	2 146.477	1 800.185
西藏	1 384.248	574.888	575.408	797.371	797.777	1 928.363	1 009.676
云南	1 790.528	1 869.927	1 883.931	1 895.405	2 327.342	2 828.226	2 099.227
重庆	0	0	0	0	0	294.923	294.923
西南小计	5 057.836	4 116.021	4 749.757	5 060.394	5 967.999	7 914.622	5 477.771
合计	21 367.459	19 396.249	20 274.668	21 314.714	25 017.172	28 703.489	22 678.958

中黑龙江省森林生态系统服务功能总价值降低的幅度最大(1 640.737 亿元·a⁻¹), 而内蒙古增加的幅度最大(2 943.568 亿元·a⁻¹)。

由于历史和自然地理条件等方面的原因, 中国森林资源分布非常不平衡, 森林生态系统提供的服务功能也存在较大的区域差异。东北和西南各地森林资源较多, 生态系统服务功能总价值较大; 而辽阔的西北地区、西藏大部, 以及人口稠密经济发达的华北、中原及长江、黄河下游地区, 森林资源分布较少, 生态系统服务功能价值相对较小。1973-1981 年间, 东北和西南地区森林生态系统服务功能总价值降低较为明显, 这与 20 世纪 50 年代初期到 70 年代末期, 中国的森林经营以木材利用为主, 而东北和西南地区又是中国森林资源的主要分布区有关。21 世纪 70 年代末期开始, 不同区域的森林生态系统服务功能总价值均呈现增加的趋势, 其中西南地区增加较为迅速。

3 结论与讨论

1999 - 2003 年, 中国森林生态系统服务功能的总价值为 2.870 万亿元·a⁻¹, 单位面积价值为 2.010 万元·a⁻¹, 森林生态系统各项服务功能总价值及其单位面积价值大小顺序依次为: 固碳释氧>土壤保持>净化空气>涵养水源>养分积累>林木林副产品>维持生物多样性>森林旅游。中国各省市森林生态系统服务功能总价值差异较大, 黑龙江省森林生态系统服务功能总价值最大, 占全国的 17.023%; 其次为内蒙古和云南省, 分别占全国的 9.681%和 9.256%, 上海市生态系统服务功能总价值最低, 仅占全国的 0.003%。森林生态系统提供的服务功能也存在较大的区域差异, 东北和西南各地森林资源较多, 生态系统服务功能总价值较大; 其余地区生态系统服务功能价值相对较小。

1973 - 2003 年, 中国森林生态系统服务功能总价值的变动范围为 1.940 ~ 2.870 万亿元·a⁻¹, 单位面积价值变动范围为 1.936 ~ 2.028 万元·a⁻¹。20 世纪 70 年代末期, 中国森林生态系统服务功能总价值最低, 之后开始逐步增加; 与总价值的变化不同, 70 年代末期, 中国森林生态系统单位面积服务功能最大, 而后开始下降, 直到 90 年代末期才开始恢复增长。虽然中国森林生态系统服务功能总价值变化趋势是先降低后增加, 但不同服务功能其价值变化趋势不同, 森林涵养水源、固碳释氧、养分积累、土壤保持以及净化空气的价值与森林生态系统总价值的变化趋势基本一致; 林木林副产品直到 20 世纪 90 年代末期总体呈现一种增加的趋势, 之后才开始显著下降; 森林旅游和维持生物多样性的支付意愿价值一直是一种增加的趋势, 并且森林旅游价值增加的趋势尤为明显。

在评价森林生态系统的直接经济效益时, 本研究仅计算了森林提供木材和林副产品的价值以及森林旅游的直接收入, 没有考虑与森林经营和旅游有关的其他相关收入, 因此森林的直接经济价值明显小于靳芳和赵同谦的研究。在评价森林生态系统的间接价值时, 本研究利用不同森林类型水文生态功能综合调节能力计算森林涵养水源能力, 从研究结果来看, 比靳芳利用地理信息系统和不同气候带的降雨蒸发数据估算森林涵养水源能力; 以及赵同谦利用降水存量法, 选取 5 个参数结合地理信息系统估算森林涵养水源能力的结果要小很多。此外, 靳芳和赵同谦采用中国不同气候带的净第一性生产力^[15]和优势植物的养分含量计算森林固碳释氧和养分积累的价值; 本研究则根据森林资源清查资料采

用蓄积-生产力方程以及中国生态系统研究网络 9 个森林站共 40 个样地的资料, 分乔木层不同器官(干、枝、叶、根)、灌木层和草本层, 计算不同森林类型固碳释氧和养分积累的价值, 应该说本研究的这个研究结论是比较接近实际值的。综合 3 个研究结论来看, 中国森林生态系统服务功能总价值最小为 1.406 万亿元·a⁻¹, 最大为 3.060 万亿元·a⁻¹。本研究结论介于两者之间。

致谢: 衷心感谢中国生态网络研究中心提供的数据支持。

参考文献:

- [1] DAILY G. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems* [M]. Washington D C: Island Press, 1997.
- [2] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 应用生态学报, 1999, **10** (5): 635 – 640.
OUYANG Zhiyun, WANG Rusong, ZHAO Jingzhu. Ecosystem services and their economic valuation [J]. *Chin J Appl Ecol*, 1999, **10** (5): 635 – 640.
- [3] BUTLER C D, OLUOCH-KOSURA W. Linking future ecosystem services and future human wellbeing [J]. *Ecol & Soc*, 2006, **11** (1): 30.
- [4] COSTANZA R, D'ARCE R, DE GROOT R, *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. *Nature*, 1997, **387**: 253 – 260.
- [5] 欧阳志云, 肖寒, 赵景柱, 等. 海南岛生态系统服务功能及其生态价值研究[M]//李文华, 欧阳志云, 赵景柱. 生态系统服务功能研究. 北京: 气象出版社, 2002: 157 – 191.
- [6] 靳芳, 鲁绍伟, 余新晓, 等. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价[J]. 应用生态学报, 2005, **16** (8): 1531 – 1536.
JIN Fang, LU Shaowei, YU Xinxiao, *et al.* Forest ecosystem service and its evaluation in China [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2005, **16** (8): 1531 – 1536.
- [7] 赵同谦, 欧阳志云, 郑华, 等. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价[J]. 自然资源学报, 2004, **19** (4): 480 – 491.
ZHAO Tongqian, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, *et al.* Forest ecosystem services and their valuation in China [J]. *J Nat Res*, 2004, **19** (4): 480 – 491.
- [8] 罗天祥. 中国主要森林类型生物生产力格局及其数学模型[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 1996.
LUO Tianxiang. *Patterns of Biological Production and Its Mathematical Models for Main Forest Types of China* [D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, Graduate School, 1996.
- [9] 刘世荣, 温远光, 王兵, 等. 中国森林生态系统水文生态功能规律[M]. 北京: 中国林业出版社, 1997.
- [10] 《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[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1997.
- [11] 方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 我国森林植被的生物量和净生产量[J]. 生态学报, 1996, **16** (5): 497 – 508.
FANG Jingyun, LIU Guohua, XU Songling. Biomass and net production of forest vegetation in China [J]. *Acta Ecol Sin*, 1996, **16** (5): 497 – 508.
- [12] 侯元兆, 张佩昌, 王琦, 等. 中国森林资源核算研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995.
- [13] 汪业勋. 中国森林生态系统区域碳循环研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 1999.
WANG Yexu. *Study on Regional Carbon Cycle of Forest Ecosystem in China* [D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, Graduate School, 1999.
- [14] 汪松. 中国濒危动物红皮书[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [15] 周广胜, 张新时. 全球气候变化的中国植被净第一性生产力研究[J]. 植物生态学报, 1996, **20** (1): 11 – 19.
ZHOU Guangsheng, ZHANG Xinshi. Study on natural vegetation NPP in China under global climate change [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 1996, **20** (1): 11 – 19.