

## 湖南一期长防林碳汇量及生态经济价值评价研究

田育新<sup>1</sup>, 李锡泉<sup>1</sup>, 蒋丽娟<sup>1</sup>, 张灿明<sup>1</sup>, 陈晓萍<sup>2</sup>, 何友军<sup>2</sup>

(1. 湖南省林业科学院, 长沙 410004; 2. 湖南省林业厅, 长沙 410007)

**摘 要:** 以湖南省长防林效益定位监测站为基础, 在全省一期长防林内根据不同的地质、土壤及不同的林分类型分别设立固定样地和半固定样地, 通过定位研究和面上调查, 对湖南一期长防林碳汇量及生态经济价值进行了研究。1991~2002 年湖南一期长防林总碳汇量约为 1 012.86 万 t; 湖南一期长防林生态经济总价值约 150.16 亿元/a, 其中直接经济价值约 4.96 亿元/a, 占总价值 3.3%, 间接经济价值约 145.2 亿元/a, 占总价值 96.7%。

**关键词:** 碳汇; 生态经济价值; 评价; 长江防护林; 湖南

**中图分类号:** S727.26

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2004)01-0033-04

## Estimate of Carbon Sink and Evaluation of Ecological Economics on the Stage I of Yangtze River Protection Forests Project in Hunan

TIAN Yu-xin<sup>1</sup>, LI Xi-quan<sup>1</sup>, JIANGLi-juan<sup>1</sup>, ZHANG Can-ming<sup>1</sup>, CHEN Xiao-ping<sup>2</sup>, HE You-jun<sup>2</sup>

(1. Hunan Academy of Forestry, Changsha 410004, China; 2. Hunan Forest Department, Changsha 410007, China)

**Abstract** Based on the successive monitoring findings from the fixed and semi-fixed monitoring sites of the Yangtze River protection forest located at different types of geological land and soil, a comprehensive analysis on carbon sink and ecological benefits resulted from the stage I of Yangtze River protection forest project in Hunan was made. The results indicated that from 1991 to 2002, the total carbon sink in the protection forests established at the project stage I of was 10,128,600 tons. The total ecological benefit was 15.016 billion yuan annually, of which 3.3% (496 million yuan annually) was direct economic benefit, 96.7% was indirect economic benefit (14.52 billion yuan annually).

**Key words:** carbon sink; ecological economic benefits; evaluation; the Yangtze River protection forest; Hunan

森林是地球陆地上分布最广、结构最复杂、种类最多的可更新资源。森林植物在其生长、发育过程中通过同化作用, 吸收大气中的 CO<sub>2</sub>, 将其固定在森林生物量(包括树干、枝叶和根)中。在陆地植物与大气之间的 CO<sub>2</sub> 交换中, 90% 以上是由森林植被来完成的。因此, 森林是大气 CO<sub>2</sub> 的重要中吸收汇。

生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成及维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用<sup>[1,2]</sup>。森林生态系统服务功能是指森林生态系统及其生态过程为人类提供的自然环境条件与效用<sup>[3]</sup>。森林是地球生物圈的重要组成部分, 是维持生态平衡的重要调节器。人们逐渐认识到, 生态服务功能是人类生存与现代文明的基础, 飞速发展的科学技术能影响生态服务功能, 但不能替代生态服务功能。由于人们对生态系统服务功能的不了解, 从而导致了生态环境的严重破坏, 使生态系统服务功能造成明显的损害。随着可持续发

展机制研究的深入, 人们发现维持与保育生态服务功能是实现可持续发展的基础。分析与评价生态系统服务功能的间接价值已成为当前生态学与生态经济学研究的前沿课题<sup>[4]</sup>。

本文对湖南一期长防林的碳汇量及生态经济价值进行了计量评价, 旨在全面、科学的评价湖南一期长防林的碳汇量及生态经济价值, 为我省其它生态林业工程提供依据, 为政府部门决策提供参考。

### 1 研究区域概况

#### 1.1 自然地理概况

湖南省位于长江中游的荆江河段南岸, 地理坐标为 N 23°31' ~ 30°12', E 117°02' ~ 114°05'。地势西高东缓, 南高北低, 东、南、西三面环山, 中部丘陵发育, 北面为洞庭湖平原, 似马蹄形状地形。区内为中亚热带湿润季风气候, 年平均气温 14.8~18.5℃, 最高月气温(7月)24.0~30.0℃, 极端最

收稿日期: 2003-07-04

基金项目: 国家林业局长防林效益监测网络资助项目; 湖南省林业厅资助项目

作者简介: 田育新(1968-), 男, 副研究员, 主要从事森林生态、水土保持等方面的研究, 已发表论文 20 多篇。

最高气温 35.0~43.0,最低月气温(1月)4.0~7.0,极端最低气温-3.0~-17.0,年均大于 10℃积温 4 850~5 650,日照时数 1 238.7~1 868.7 h,年降水量 1 200~1 800 mm,多集中在 4~6 月,占全年降水量的 50%~60%,年降水量与蒸发量的差值为 200~150 mm。主要母岩为花岗岩、板页岩、砂页岩、紫色砂页岩、石灰岩、第四纪红土和河流冲积物。土壤类型主要包括红壤、黄壤、黄棕壤、紫色土、石灰土、潮土和水稻土等,红壤占的比例最大(50.44%)。

1.2 湖南省长防林的资源现状

湖南省长防林工程是国家长江中上游防护林体系建设的重要组成部分,也是我省有史以来投资最多、实施时间最长、建设规模最大的一项林业生态工程建设。一期工程自 1990 年启动实施至 2000 年底,全省 33 个工程县共完成营造林任务 135.27 万 hm<sup>2</sup>,其中重点工程营造林 59.3 万 hm<sup>2</sup>,一般造林 75.96 万 hm<sup>2</sup>。其中:杉木纯林 19.43 万 hm<sup>2</sup>、松木纯林 10.28 万 hm<sup>2</sup>、常绿落叶阔叶混交林 9.44 万 hm<sup>2</sup>、针阔混交林 12.14 万 hm<sup>2</sup>、经济林 11.4 万 hm<sup>2</sup>、柏木纯林 2.46 万 hm<sup>2</sup>、封山育林 51.58 万 hm<sup>2</sup>、低质低效林改造 18.54 万 hm<sup>2</sup>(表 1)。

表 1 湖南一期长防林资源状况

林分类型	各龄级分配面积/万 hm <sup>2</sup>			小计
	幼龄林	中龄林	成、过熟林	
杉木纯林	15.544	3.886	\\	19.43
松木纯林	8.224	2.056	\\	10.28
常绿、落叶阔叶混交林	7.552	1.888	\\	9.44
针阔混交林	9.712	2.428	\\	12.14
经济林	9.12	2.28	\\	11.4
柏木纯林	1.968	0.492	\\	2.46
封山育林	41.264	10.316	\\	51.58
低质低效林改造	14.832	3.708	\\	18.54
合计	108.216	27.054	\\	135.27

2 研究方法

2.1 碳汇计算方法

2.1.1 林分生物量增量的测定

在接近植物年生长量末期的 9~10 月,在湖南一期长防林固定和半固定样地内,采用收刈法<sup>[5]</sup>分别进行不同林分生物量增量的测定。

2.1.2 长防林年碳汇量的计算方法

湖南一期长防林碳汇量等于该年各林分类型的碳汇量之和。

$$C_{\text{总汇}} = K(C_1 \times S_1 + C_2 \times S_2 + \dots + C_n \times S_n)$$

式中: C<sub>总汇</sub>——长防林年碳汇量, t; K——生物量碳密度,根据 GEF 中国林业温室气体清单课题组的研究成果取 0.5;

C<sub>n</sub>——该年第 n 个林分类型单位面积的生物量增量, t/hm<sup>2</sup>; S<sub>n</sub>——该年第 n 个林分类型的面积 hm<sup>2</sup>。

2.2 森林生态服务功能价值的计算方法

长期以来对生态系统服务功能的评价方法主要有两类<sup>[3]</sup>,一类是物质质量评价法,另一类是价值量评价法。根据价值量的体现形式可以把生态系统服务功能的价值分为直接经济价值和间接经济价值。本文主要采用肖寒等提出的生态经济价值评价方法<sup>[6]</sup>。

2.2.1 直接经济价值

生态系统服务功能的直接经济价值主要表现为林产品价值和游憩价值。

(1)林产品价值计算:对我省长防林来说,林产品主要指木材和果品,采用市场价值法来评估其价值<sup>[2]</sup>。

(2)森林游憩价值计算:长防林最大游憩收益根据我省 5 个森林公园平均游憩收益来计算<sup>[2]</sup>。

2.2.2 间接经济效益

森林生态服务功能的间接经济价值主要表现为森林生态系统的环境功能,如调节气候、净化水质、固碳制氧、保持水土等,是生态服务功能价值的主体。

(1)涵养水源价值计算:长防林水源涵养效益主要通过增加林地枯落物量、改善林地土壤、增加林冠截留量等来实现的。在长防林效益监测核心站和一般站内,分不同的地形、土壤、母质设立半固定样地,并进行林冠持水量、枯落物持水量、林地土壤涵水量的测定。长防林涵水价值采用替代工程法(影子价格法)来计算,按目前单位库容造价(5.7 元/m<sup>3</sup>)<sup>[6]</sup>计算。

(2)静化水质价格计算:净化水质价格主要采用替代工程法(影子价格法)来计算<sup>[4]</sup>,按目前工业净化单位体积水所需的费用(0.988 5 元/m<sup>3</sup>)<sup>[7]</sup>计算。

(3)保持土壤价值计算:植被的存在可以极大地减少土壤侵蚀量,保护并提高土壤肥力水平。森林保持土壤的价值可以从减少土壤流失、减少泥沙淤积和滞留加以评价。

根据湖南省长防林效益监测站的监测结果<sup>[8~11]</sup>,森林保持土壤价值采用替代工程法(影子价格法)来计算,按目前拦蓄每吨泥沙工程造价(4 元/t)进行计算<sup>[7]</sup>。

(4)固氮制氧价值计算:固氮制氧价值主要采用替代工程法(影子价格法)来计算,根据目前工厂生产 1 t 氧(2 500 元)和固定 1 t 氮(273.3 元)造价进行计算<sup>[7]</sup>。

3 结果与分析

3.1 湖南一期长防林碳汇量评价

3.1.1 长防林不同林分类型年生物量增量及碳汇量

通过对长防林固定样地和半固定样地的林分生物量增量的测定结果,根据生物量的碳密度,计算出各林分的年总碳吸收,见图 1、图 2。

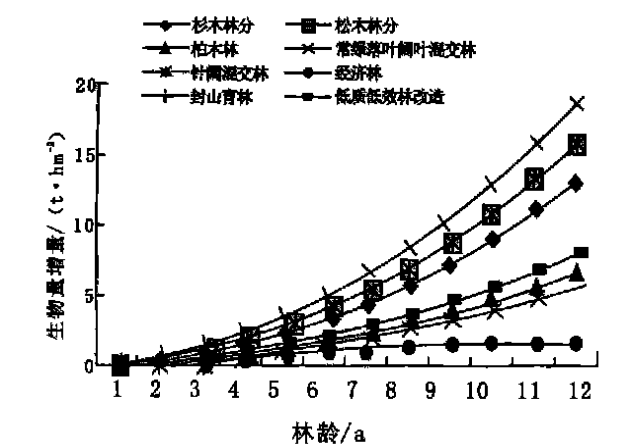


图 1 不同林分类型年生物量增量增长曲线

从图 1、图 2 中可以看出: 随着林龄的增长, 各林分生物量增量及碳汇量增量逐渐增大; 随着林龄的增长, 各林分之间生物量及碳汇量的增长速度差异较大, 增长速度最大的常绿落叶阔叶混交林是增长速度最小的经济林的 11.8 倍。各林分生物量及碳汇量的增长速度为: 常绿落叶阔叶混交林> 松木林分> 针阔混交林> 杉木林分> 低质低效林改造> 柏木林> 封山育林> 经济林。

3.1.2 湖南一期长防林年碳汇量及碳汇量总量

根据各林分年碳汇量增量计算出长防林年碳汇量, 见图 3。

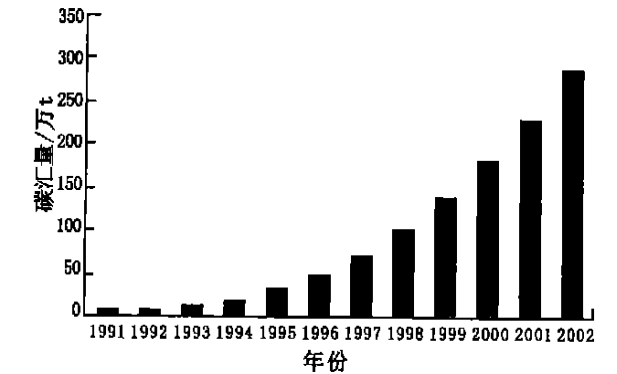


图 3 长防林年碳汇量增长图

湖南长防林每年碳汇量为: 1991 年为 0.35 万 t; 1992 年 1.85 万 t; 1993 年 6.5 万 t; 1994 年 13.09 万 t; 1995 年 25.50 万 t; 1996 年 43.96 万 t; 1997 年 69.09 万 t; 1998 年 101.28

表 3 湖南长防林活立木蓄积价值计算表

林分类型	松木纯林	杉木纯林	常绿阔叶阔叶混交林	柏木纯林	针阔混交林	封山育林	低质低效林改造	合计
面积/万 hm <sup>2</sup>	10.28	19.43	9.44	2.46	12.14	51.58	18.54	123.87
年均生长量/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	1.8	2	1.7	0.65	0.95	0.95	0.95	
年均增长量/万 m <sup>3</sup>	18	38	16	1	11	49	17	
年增经济价值/万元	3 960	8 360	3 520	220	2 420	10 780	3 740	33 000

3.2.2 长防林间接经济价值

(1) 涵养水源价值。涵养水源是长防林最主要的生态服务功能之一。长防林水源涵养效益主要通过增加林地枯落物

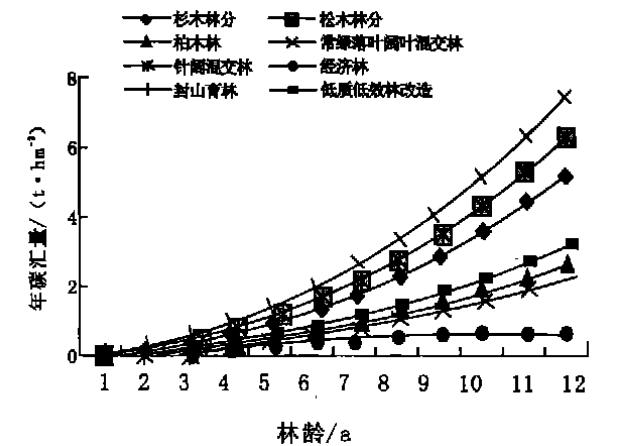


图 2 不同林分类型年碳汇量增长曲线

万 t; 1999 年 140.98 万 t; 2000 年 187.84 万 t; 2001 年 243.73 万 t; 2002 年 308.10 万 t。1991~2002 年湖南一期长防林总碳汇量为 1 012.86 万 t。

3.2 湖南一期长防林生态经济价值评价

3.2.1 长防林直接经济价值

(1) 林果产品价值。根据实地调查, 计算出长防林林果产品产量及现市场价值见表 2。林果产品年价值为 0.33 亿元。其中: 板栗 647.4 万元、柑橘 406 万元、桃子 780.6 万元、李子 1 185.2 万元、柚子 246.4 万元。

(2) 长防林游憩价值。根据我省森林公园平均最大游憩收益来计算, 单位面积最大游憩收益为 98 元/(hm<sup>2</sup>·a), 长防林最大游憩价值为 1.33 亿元/a。见表 2。

表 2 湖南长防林林果产品及游憩价值计算表

种类	林果产品价值					长防林最大游憩价值
	板栗	柑橘	桃	李	柚	
产量/t	1 079	10 150	3 903	2 963	1 232	135.27 万 hm <sup>2</sup>
单价/(元·t <sup>-1</sup> )	6 000	400	2 000	4 000	2 000	98 元/hm <sup>2</sup>
总价值/(万元·a <sup>-1</sup> )	647.4	406	780.6	1 185.2	246.4	13 256

(3) 长防林活立木蓄积价值。根据不同优势树种类型面积和实测的年均生长量可计算出长防林活立木蓄积的年均增长量, 根据年均增长量和现行木材价格 (平均按 220 元/m<sup>3</sup>) 计算出长防林活立木蓄积的年均经济价值约 3.30 亿元。见表 3。

量、改善林地土壤、增加林冠截留量等来实现的。虽然长防林目前尚处于中、幼龄林阶段, 但其涵养能力还是比较强的。见表 4。

表 4 长防林涵水能力表

m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>

林分类型	杉木纯林	松木纯林	常绿落叶阔叶混交林	针阔混交林	经济林	柏木纯林	封山育林	低质低效林改造
林冠截留量	334	324	524	438	380	356	353	353
枯枝落叶持水量	16	16	26	22	10	14	17	17
林地贮水深	1 250	1 080	1 400	1 350	1 100	1 050	1 180	1 180
涵水量	1 600	1 420	1 950	1 810	1 490	1 420	1 550	1 550
CK(裸地)涵水量	671	671	671	671	671	671	671	671
林分涵水能力	929	749	1 279	1 139	819	749	879	879

长防林涵水价值采用替代工程法(影子价格法)来计算, 年涵水价值约 70 94 亿元。见表 5。  
即根据目前单位库容造价(5 7 元/m<sup>3</sup>)进行计算, 长防林每

表 5 长防林涵水价值计算表

林分类型	杉木纯林	松木纯林	常绿落叶阔叶混交林	针阔混交林	经济林	柏木纯林	封山育林	低质低效林改造	合计
林分涵水能力/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	929	749	1 279	1 139	819	749	879	879	
面积/万 hm <sup>2</sup>	19.43	10.28	9.44	12.14	11.4	2.46	51.58	18.54	135.27
长防林总涵水量/万 m <sup>3</sup>	18 050	7 699	12 073	13 827	9 336	1 842	45 338	16 296	124 461
水库每 m <sup>3</sup> 库容造价/(元·m <sup>-3</sup> )	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	
涵水价值/万元	102 885	43 884	68 816	78 813	53 215	10 499	258 426	92 887	709 425

(2) 净化水质效益计算。据有关研究, 森林拦蓄降水与对比试验地相比, 具有明显的改善水质的作用, 在水源涵养林保护下的水质完全可以达到生活饮用水的标准, 目前, 单位体积水的净化费用为 0 988 5 元/m<sup>3</sup>, 可推算出长防林每年净化水质的价值为 124 461 万 m<sup>3</sup> × 0 988 5 元/m<sup>3</sup> = 12 3 亿元。

(3) 保土价值。长防林保土效益主要通过两个方面来实

现: 一是植被的强大根系对土壤的固结、缠绕作用, 提高了土壤的抗冲抗蚀性。二是植被林冠及枯落物的强大截流和持水, 相对减少降水量, 减少了雨水对林地土壤的冲刷, 从而提高了土壤的保土效果。

长防林保土价值采用替代工程法(影子价格法)来计算, 即根据目前拦蓄每吨泥沙工程造价(4 元/m<sup>3</sup>)进行计算, 长防林每年保土价值约 1.95 亿元。见表 6。

表 6 长防林保土价值计算表

林分类型	杉木纯林	松木纯林	常绿落叶阔叶混交林	针阔混交林	经济林	柏木纯林	封山育林	低质低效林改造	合计
面积/万 hm <sup>2</sup>	19.43	10.28	9.44	12.14	11.4	2.46	51.58	18.54	135.27
保土能力/(t·km <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	3 860	4 050	4 633	4 390	4 106	2 990	3 125	3 125	
年保土量/万 t	749	416	437	532	468	73	1 611	579	4 865
拦蓄每 t 泥沙工程造价/元	4	4	4	4	4	4	4	4	
年保土效益/万元	2 996	1 664	1 748	2 128	1 872	292	6 444	2 316	19 460

(4) 固氮制氧价值。长防林固氮制氧价值采用替代工程法(影子价格法)来计算, 即根据目前工厂生产 1 t 氧造价(2 500 元)和固定 1 t 氮造价(273 3 元)进行计算, 长防林每年固氮价值约 50 26 亿元, 制氧价值约 9 75 亿元, 合计约 60 0 亿元。见表 7。

表 7 固氮制氧价值计算表

类别	固氮	制氧	合计
长防林面积/万 hm <sup>2</sup>	135.27	135.27	
每年单位面积固氮制氧量/(t·hm <sup>-2</sup> )	13.6	0.29	
固氮制氧总量/万 t	1 839	39	
固氮制氧成本/(元·t <sup>-1</sup> )	273.3	2 500	
固氮制氧价值/万元	502 598	97 500	600 098

3.2.3 生态经济总价值

湖南省长防林工程从 1990 年实施以来, 随着林分的生长、发育和演替, 其生态服务功能得到明显的维持和保育, 生态环境得到明显的改善和提高, 大大地促进了我省社会、经济的可持续发展。

湖南省长防林生态经济总价值约 150 16 亿元/a, 其中直接经济价值约 4 96 亿元/a, 占总价值 3.3%, 间接经济价值约 145.2 亿元/a, 占总价值 96.7%。见表 8。

表 8 长防林生态经济价值汇总表

生态经济指标		价值/(亿元·a <sup>-1</sup> )	占总价值的百分比/%
直接经济价值	林果产品价值	0.33	0.22
	最大游憩价值	1.33	0.88
	活立木蓄积价值	3.3	2.2
	小计	4.96	3.3
间接经济价值	涵水价值	70.94	47.24
	净化水质价值	12.3	8.19
	保土价值	1.95	1.31
	固氮价值	50.26	33.47
	制氧价值	9.75	6.49
	小计	145.2	96.7
长防林生态经济总价值合计		150.16	100

4 讨 论

虽然湖南一期长防林目前尚处于中、幼龄林阶段, 但随着各林分更进一步的生长、发育和演替, 各林分的结构和质量将逐步提高, 其碳汇量及生态服务功能还有很大的增长空间, 所以, 从时空分布考虑, 如何保育和维持碳汇量及生态服务功能, 使湖南省一期长防林的碳汇量及生态服务功能得到稳定持续的提高, 是亟待解决的新课题。

(下转第 49 页)

沙地种植蔓荆后, 地面性质发生了根本变化, 使风沙流结构产生巨大变化。根据我们在南昌县冈上乡的观测: 种植蔓荆前的沙地, 0~ 20 cm 高度的沙量占风流总沙量的 80%; 高层沙量较少, 20 cm 以上沙量不足风沙流总量的 20%; 在蔓荆林内风速大减, 风沙流迅速沉降, 0~ 20 cm 内沙量占风沙流总量的 95% 以上, 20 cm 以上只占 4% 多, 且风沙流总量很小。

3 3 蔓荆对起沙风速的影响

从表 4 中可以看出, 随着沙地植物覆盖度的增加, 起沙风速也相应增加, 蔓荆植物覆盖度为 30% 时, 相应的起沙风速为 7. 58 m/s, 较无植被覆盖的流沙地的起沙风速 4. 92 m/s 提高 2. 36 m/s, 增幅达 54%; 当植被覆盖度达 70% 时, 沙地即可基本固定(表 5)。对比不同植被(表 4), 在植被覆盖度相同的沙地, 种植蔓荆沙地的起沙风速较禾本科草类沙地的起沙风速大。因此, 蔓荆可作为固沙的首选植物。

表 4 植物覆盖度与起沙风速变化

沙地类型	植物种	覆盖度/%	风杯高度/cm	起沙风速/ (m · s <sup>-1</sup> )
流沙地	无植被	0	100	4. 92
流沙地	蔓 荆	10	100	5. 73
半固定沙地	蔓 荆	15	100	6. 05
半固定沙地	蔓 荆	30	100	7. 58
半固定沙地	禾本科草类	15	100	5. 93

参考文献:

[1] 《江西省第三次土壤侵蚀遥感调查》编制组 土壤侵蚀现状和动态变化分析报告[R] 南昌: 江西省水利厅, 2001.  
[2] 王礼先 水土保持学[M] 北京: 中国林业出版社, 1995.  
[3] 刘健华, 等 防风固林体系优化模式的选定与实验示范区的建设[A] 中国治沙暨沙业学会论文集[C] 北京: 北京师范大学出版社, 1995.

(上接第 36 页)

参考文献:

[1] Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems[M] Washington D. C.: Island Press, 1997. 4- 7.  
[2] 欧阳志云, 等 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J] 生态学报, 1999, 19(5): 607- 613  
[3] Ehrlich P R, Ehrlich A H, Holdren J P. Ecoscience: Population, Resources, Environment[M] San Francisco: Freeman and Co1, 1997. 20- 22  
[4] 余新晓, 等 北京山地森林生态系统服务功能及其价值初步研究[J] 生态学报, 2002, 22(5): 783- 786  
[5] [日]木村允 陆地植物群落的生产量测定法[M] 姜恕译 北京: 科学出版社, 1981. 13- 23  
[6] 肖寒, 欧阳志云, 赵景柱, 等 森林生态系统服务功能及其生态经济价值评估初探——以海南岛尖峰岭热带森林为例[J] 应用生态学报, 2000, 11(4): 481- 484  
[7] 柏方敏, 肖彬, 陈晓萍, 等 湖南长防林建设成就与效益研究[J] 湖南林业科技, 2001, 28(4): 12- 13  
[8] 陈晓萍, 何友军, 叶小施, 等 湘西北山地“长防林”生态效益研究初报[J] 湖南林业科技, 2002, 29(3): 5- 9  
[9] 何友军, 陈晓萍, 叶小施, 等 湘中丘陵区“长防林”生态效益研究初报[J] 湖南林业科技, 2003, 30(1): 13- 16  
[10] 田育新, 李锡泉, 袁正科, 等 湘中丘陵区不同林分类型涵水保土效益研究[J] 水土保持研究, 2002, 9(4): 80- 82  
[11] 李锡泉, 田育新, 袁正科, 等 湘西山地不同植被类型的水土保持效益研究[J] 水土保持研究, 2003, 10(2): 123- 125