

607-613

第19卷第5期
1999年9月生态学 报
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 19, No. 5
Sept., 1999

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

欧阳志云, 王效科, 苗 鸿
(中国科学院生态环境研究中心, 北京 100080)

Q151.91

Q178.42

摘要: 生态系统服务功能主要表现为提供保存生物进化所需要的丰富的物种与遗传资源、太阳能、二氧化碳的固定、有机质的合成、区域气候调节、维持水及营养物质的循环、土壤的形成与保护、污染物的吸收与降解及创造物种赖以生存与繁育的条件、维持整个大气化学组分的平衡与稳定, 以及由于丰富的生物多样性所形成的自然景观及其具有的美学、文化、科学、教育的价值。生态系统的这些功能虽不表现为直接的生产与消费价值, 但它们是生物资源直接价值产生与形成的环境。可以说, 正是生态系统的服务功能, 才使人类的生态环境条件得以维持和稳定。

从生态系统的服务功能着手, 首先研究中国陆地生态系统在有机物质的生产、CO₂ 的固定、O₂ 的释放、重要污染物降解, 以及在涵养水源、保护土壤中的生态功能作用, 然后再运用影子价格, 替代工程或损益分析等方法探讨了中国生态系统的间接经济价值。研究表明我国陆地生态系统具有巨大的生态经济效益, 对维持我国社会经济的可持续发展具有不可替代的作用。

关键词: 生态系统服务功能; 生态经济价值

中国 陆地

A primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological-economic values

OUYANG Zhi-Yun WANG Xiao-Ke MIAO Hong (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: Ecosystem services are the conditions and processing through which the natural ecosystems and the species, that make them up, sustain and fulfill the human life. They not only supply to the human being with the production of ecosystem goods, but also perform the fundamental life-support services, which include the purification of air and water, detoxification and decomposition of wastes, regulation of climate, regeneration of soil fertility, and production and maintenance of biodiversity, mitigation of floods and droughts. The Chinese ecosystem services and their indirect economic values were estimated based on ecological function analysis. The study showed that the indirect economic values in RMB of organic matter production, CO₂ fixation, O₂ release, nutrient recycle, soil protection, water holding capacity and environmental purification were 1.57×10^{13} Yuan/a, 2.84×10^{12} Yuan/a, 2.84×10^{12} Yuan/a, 3.24×10^{11} Yuan/a, 5.69×10^{12} Yuan/a, 2.71×10^{11} Yuan/a, 4.90×10^{12} Yuan/a, respectively.

Key words: ecosystem services; ecological economic value

文章编号: 1000-0933(1999)05-0607-07 中图分类号: Q149 文献标识码: A

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]。它不仅包括各类生态系统为人类所提供的食物、医药及其他工农业生产的原料, 更重要的是支撑与维持了地球的生命支持系统^[1], 维持生命物质的生物地化循环与水文循环, 维持生物物种与遗传多样性,

基金项目: 中国科学院重大项目 B(KZ951-B1-208) 资助

本文得到王如松研究员与赵景柱研究员的指导, 在此一并致谢。

收稿日期: 1998-12-24; **修订日期:** 1999-03-25

净化环境,维持大气化学的平衡与稳定^[1,2~9]。人们逐步认识到,生态服务功能是人类生存与现代文明的基础,科学技术能影响生态服务功能,但不能替代自然生态系统服务功能。由于人类对生态系统的服务功能及其重要性的不了解,导致了生态环境的破坏,从而对生态系统服务功能造成了明显损害^[1]。随着对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^[1,5,10]。

本研究是在我国大量生态学基础研究的基础上,综合运用生态学及经济学方法,探讨了大区域生态服务功能的内涵与评价方法,分析与评价了我国生态系统对水源涵养、水土保持、土壤肥力的更新与维持、营养物的循环、二氧化碳的固定等的作用及其间接经济价值。以期可持续发展的政策与生态环境保护提供参考。

1 生态系统服务功能内涵及其生态经济价值评估方法

生态系统服务功能可以概略地分为两大类,一类是生态系统产品,如为人类提供食物、工业原材料、药品等可以商品化的功能;第二类是支撑与维持人类赖以生存的环境,如分析与评价了我国生态系统对气候调节、水源涵养、水土保持、土壤肥力的更新与维持、营养物的循环、二氧化碳的固定等难以商品化的功能,从而表现为间接价值。

生态服务功能的间接价值虽不表现在国家的核算体制上,但它们的价值可能大大超过直接价值。而且直接价值常常源于间接价值。

1.1 生态系统服务功能内涵

从宏观生态学角度,生态服务功能的间接价值可以包括以下几个方面:

①太阳能的固定 植物通过光合作用固定太阳能,使光能通过绿色植物进入食物链,为所有物种包括人类提供生命维持物质。

②调节气候 生态系统对大气候及局部气候均有调节作用,包括对温度、降水和气流的影响。从而可以缓冲极端气候对人类的不利影响。

③涵养水源及稳定水文 在集水区内发育良好的植被具有调节径流的作用。植物根系深入土壤,使土壤对雨水更具有渗透性。有植被地段比裸地的径流较为缓慢和均匀。一般在森林覆盖地区雨季可减弱洪水,干季在河流中仍有流水。

④保护土壤 凡有发育良好植被的地段,由于植被和枯枝落叶层的覆盖,可以减少雨水对土壤的直接冲击,保护土壤减少侵蚀,保持土地生产力;并能保护海岸和河岸,防止湖泊、河流和水库的淤积。

⑤贮存必需的营养元素,促进元素循环 生物从土壤、大气、降水中获得必需的营养元素,构成生物体。生态系统的所有生物体内都贮存着各种营养元素,并通过元素循环,促使生物与非生物环境之间的元素交换,维持生态过程。

⑥维持进化过程 生态系统的功能包括传粉、基因流、异花授精的繁殖功能以及生物之间、生物与环境之间的相互作用,对于维持进化过程和环境效益有重要意义。

⑦对污染物质吸收和分解作用及指示作用 某些生物对污染物质有抗性,它们能吸收和分解污染物,另一些生物对有机废物、农药以及空气和水的污染物有降解作用。有些生物对污染物敏感,因而对环境污染具有指示意义。

⑧维护地球生命系统的稳定与平衡 从全球生态看,人类生存的合适环境——大气的组分,地球表面的温度,地表沉积层的氧化还原电势,以及 pH 值都是由生物生长和代谢所积极地控制,目前这种适合于人类生活的环境条件,在地球的早期并不存在,只是在古生代及其以后地球上生物大量出现和逐渐发展,在生物与大气地理环境的相互作用过程中所逐渐形成的。例如,现在地球大气中氧的含量为 21%,供给人们自由呼吸,这归功于植物的光合作用,如果没有植物的光合作用,大气中的氧含量会由于氧化反应而逐渐下降,并最终消耗殆尽。

⑨提供自然环境的娱乐、美学、社会文化科学、教育、精神和文化的价值。

1.2 生态服务功能间接价值评估方法

由于受基础研究及资料不足的限制,在评估中国生态服务功能的间接价值时,主要从生态系统的服务功能着手,首先研究中国陆地生态系统在有机物质的生产、 CO_2 的固定、 O_2 的释放、重要污染物质降解,以及在涵养水源、保护土壤中的生态功能作用,然后再运用市场价值法,替代市场法,防护费用法,恢复费用法等方法评估其经济价值。

2 中国陆地生态系统服务功能及其间接价值

2.1 有机物质的生产

利用太阳能,将无机化合物,如 CO_2 、 H_2O 等合成有机物质是生态系统一个十分重要的功能,它支撑着整个生命系统,是所有消费者(包括人)及还原者的食物基础。第一性生产力及生物量是反映有机物质生产的两个重要指标。据综合分析,中国陆地生态系统第一性生产力为 $6.711 \times 10^8 \text{ t/a}$,总生物量为 $1.2841 \times 10^{10} \text{ t}$,其中森林的第一性生产力为 $1.2680 \times 10^9 \text{ t}$,总生物量为 $9.0677 \times 10^9 \text{ t}$ (表 1),分别为总生产力的 18.90%,总生物量为 70.61%^[11,12]。

生态系统有机物质的生产一小部分,通常约 10% 为人类所利用,成为人类所赖以生存的食物或生活必需品,而表现为直接使用价值,其余大部分未被人类直接利用,这部分却支撑着整个生物界,为所有的动物、异养微生物提供食物和生活的场所,其经济价值实际上是无法估计的。在这里根据中国生物多样性直接价值评估结果的 9 倍加以推算^[13],那么,中国陆地生态系统有机质生产的间接价值为 1.57×10^{13} 元。

2.2 维持大气 CO_2 与 O_2 的平衡

生态系统通过光合作用和呼吸作用与大气交换 CO_2 和 O_2 ,从而对维持大气中 CO_2 和 O_2 的动态平衡起着不可替代的作用。

在评估生态系统对固定 CO_2 与释放 O_2 的作用时,以中国陆地生态系统有机物质生产为基础,根据光合作用和呼吸作用的反应方程式推算每形成 1g 干物质,需要 1.62g CO_2 ,释放 O_2 1.2g。

2.2.1 CO_2 的固定及其价值 以中国陆地生态系统有机物质生产为基础,根据光合作用和呼吸作用的反应方程式,估算得到中国陆地生态系统每年固定 CO_2 的总量为 $1.09 \times 10^{10} \text{ t}$,其中草地生态系统为 $2.05 \times 10^{10} \text{ t}$,占总 CO_2 固定量的 57.76%(表 1),中国陆地生态系统 CO_2 的贮存总量为 $2.08 \times 10^{10} \text{ t}$ 。其中森林生态系统达 $1.47 \times 10^{10} \text{ t}$,占总 CO_2 储存量的 70.61%。

由于目前尚缺乏公认的评估生态系统固定 CO_2 经济价值的方法,本研究尝试比较运用造林成本及碳税两种方法,评估中国陆地生态系统源于固定 CO_2 的间接经济价值。结果表明,按造林成本法计算,我国陆地生态系统每年固定 CO_2 的总经济价值为 7.73×10^{11} 元(表 1)。用碳税法评估,中国陆地生态系统每年固定 CO_2 的总经济价值为 3.691×10^{12} 元。

2.2.2 O_2 的释放及其价值 根据光合作用和呼吸作用的反应方程,估算中国陆地生态系统每年释放 O_2 的总量为 $8.05 \times 10^9 \text{ t}$ (表 1)。分别运用造林成本法与工业制氧影子价格法估计其经济价值,结果表明,按造林成本法计算,我国陆地生态系统每年释放 O_2 的间接经济价值为 2.84×10^{12} 元(表 1)。若按工业制氧影子价格法估计,那么中国陆地生态系统每年释放 O_2 的间接经济价值为 3.38×10^{12} 元。

2.3 营养物质的循环与贮存

生态系统中的营养物质通过复杂的食物网而循环再生,并成为全球生物地化循环不可或缺的环节,在评估中国生态系统在营养物质的循环中的作用时,仍以中国陆地生态系统的生物量与生产力为基础,估算其重要营养物质氮、磷、钾在生态系统中的年吸收量与总储量。结果表明,中国陆地生态系统每年新吸收的氮总量为 $76.78 \times 10^6 \text{ t}$,磷 $1.69 \times 10^8 \text{ t}$,钾 $48.68 \times 10^6 \text{ t}$,氮、磷、钾 3 种营养元素的总储存量分别为 $86.84 \times 10^6 \text{ t}$, $8.52 \times 10^6 \text{ t}$ 及 $49.09 \times 10^6 \text{ t}$ (表 1)。

据有关统计资料,在 1985~1990 年间,我国化肥平均价格为 2549 元/ $\text{t}^{[14]}$ 。若以此价格估计其间接经济价值,则我国陆地生态系统每年在固定氮、磷、钾等营养物质的循环中的作用创造间接经济价值 3.24×10^{11} 元。

2.4 水土保持

生态系统保护土壤主要通过减少表土损失量,保护土壤肥力,减轻泥沙淤积灾害,减少风沙等灾害的

表 1 中国生态系统有机质生产、固定 CO₂、释放 O₂ 与营养物循环的间接价值Table 1 The indirect value of organic matter production, CO₂ fixation, O₂ release and nutrient recycle of Chinese Ecosystems

项目 Item	林地 Nature forest	经济林 Commercial forest	草地 Grassland	农作物 Cropland	荒漠 Desert	沼泽 Swamp	其它 Other	合计 Total
有机质生产 ^①								
生物量(10 ⁶ t/a) ^②	9067.7	325.7	2266.5	891.8	46.2	110.0	133.2	12841.1
生产力(10 ⁶ t/a) ^③	1268.0	191.0	3875.9	1054.0	35.9	192.5	93.2	6710.6
固定 CO ₂ ^④								
CO ₂ 贮存量(10 ⁶ t) ^⑤	14689.7	527.7	3671.8	1444.7	74.8	178.2	215.7	20802.5
CO ₂ 年固定量(10 ⁶ t/a) ^⑥	2054.2	309.4	6279.0	1707.5	58.2	311.9	151.0	10871.1
贮存 CO ₂ 价值(10 ⁸ 元) ^⑦								
造林成本法 ^{⑧⑨}	1045.2	37.5	261.3	102.8	5.3	12.7	15.3	1480.2
碳税法 ^{⑩⑪}	4987.8	179.2	1246.7	490.5	25.4	60.5	73.2	7063.4
固定 CO ₂ 价值(10 ⁸ 元) ^⑫								
造林成本法 ^{⑬⑭}	146.2	22.0	446.8	121.5	4.1	22.2	10.7	773.5
碳税法 ^{⑮⑯}	697.5	105.1	2132.0	579.8	19.8	105.9	51.3	3619.2
释放 O ₂ ^⑰								
O ₂ 释放量(10 ⁶ t) ^⑱	1521.6	229.2	4651.1	1264.8	43.1	231.0	111.8	8052.6
释放 O ₂ 的间接价值(10 ⁸ 元) ^⑲								
造林成本法 ^{⑳㉑}	537.0	80.9	1641.5	446.4	15.2	81.5	39.5	2842.0
工业氧气价格替代法 ^{㉒㉓}	639.1	96.3	1953.5	513.2	18.1	97.0	47.0	3382.1
营养物循环 ^㉔								
氮储量(10 ⁴ t) ^㉕	37.9	4.33	30.12	11.85	0.61	1.46	0.56	86.84
氮年固定量(10 ⁴ t/a) ^㉖	5.3	2.53	51.51	14.01	0.48	2.56	0.39	76.78
磷储量(10 ⁴ t) ^㉗	8.07	0.03	0.21	0.08	0.004	0.01	0.12	8.52
磷年固定量(10 ⁴ t/a) ^㉘	1.13	0.02	0.35	0.09	0.003	0.02	0.08	1.69
钾储量(10 ⁴ t) ^㉙	16.41	2.9	20.19	7.95	0.41	0.98	0.24	49.09
钾年固定量(10 ⁴ t/a) ^㉚	2.3	1.7	34.53	7.95	0.32	1.71	0.17	48.68

①平均造林成本 240.03 元/立方米^[15],折合 260.9 元/t C,⑤借用瑞典政府提议的碳税为 0.15 美元/kg C^[13],⑥平均造林成本 240.03 元/m³^[15],折合 352.93 元/t O₂;⑧工业氧的现价 0.4 元/kg^[14]。

①Organic matter production;②Biomass;③Productivity;④CO₂ fixation;⑤The quantity of CO₂ storage;⑥The quantity of CO₂ fixed;⑦The value of CO₂ storage;⑧Reforestation cost;⑨Carbon tax;⑩The value of CO₂ fixed;⑪Reforestation cost;⑫Carbon tax;⑬O₂ release;⑭The quantity of O₂ release;⑮The value of O₂ release;⑯Reforestation cost;⑰Market price;⑱Nutrient recycle;⑲N storage;⑳Nxation;㉑P storage;㉒P fixation;㉓K storage;㉔K fixation

4 个相互联系的生态过程来实现其经济价值。

在估算过程中,首先采用无林地的土壤侵蚀量来估算森林、草地每年减少的土壤侵蚀量,然后再评价森林、草地对表土损失、肥力损失和减轻泥沙淤积灾害三方面的价值。

2.4.1 森林与草地每年减少土壤侵蚀的总量

①潜在土壤侵蚀量 潜在土壤侵蚀量是指无任何植被覆盖的情况下,土壤的最大侵蚀量。不同类型土壤下的有林地和无林地的土壤侵蚀量大不相同,应对我国的主要土壤类型进行系统的侵蚀量对比研究,以

估算潜在的土壤侵蚀量。目前,我国在这方面的研究工作还较少,根据我国土壤侵蚀的研究成果,无林地的土壤中等程度的侵蚀深度为 $15\sim 35\text{ mm/a}$,侵蚀模数为 $150\sim 350\text{ m}^3/\text{hm}^2\cdot\text{a}$ 。本研究分别以侵蚀模数的下限 $192\text{ t}/\text{hm}^2\cdot\text{a}$,高限 $447.7\text{ t}/\text{hm}^2\cdot\text{a}$ 和平均值 $319.8\text{ t}/\text{hm}^2\cdot\text{a}$ 来估计(表 2)。

②森林、草地覆盖区年土壤侵蚀量

不同植被下的土壤侵蚀量有很大差别(表 3)。根据该侵蚀模数,估算出年均土壤侵蚀总量为 $8.44\times 10^6\text{ t}$,仅为我国每年实际土壤侵蚀总量约 $5.0\times 10^9\text{ t}$ 的 16.9%。

③森林、草地每年减少的土壤侵蚀量 根据上面所估算的森林、草地地区潜在土壤侵蚀量和实际土壤侵蚀量的对比,可得到每年我国森林、草地最低减少土壤损失 $9.94\times 10^4\text{ t}$,最高减少 $2.35\times 10^{11}\text{ t}$,平均减少 $1.68\times 10^{11}\text{ t}$ 。

2.4.2 中国森林、草地减少的土壤侵蚀的损失估计 土壤侵蚀的后果包括:可耕地面积的减少;土壤肥力(营养物质)的损失,泥沙对江河湖泊的淤积等方面。

①森林、草地每年减少土地损失面积及其间接价值 根据土壤侵蚀量和土壤耕作层的平均厚度来推算土地面积减少量。以我国耕作土壤的平均厚度 0.5 m 作为森林、草地的土层厚度,若以我国森林、草地每年减少土壤侵蚀的最低量 $9.94\times 10^{10}\text{ t}$ 计算,则每年可能损失面积 $1.53\times 10^7\text{ hm}^2$ 。我国目前水土流失实际发生面积约 $1.5\times 10^8\text{ hm}^2$,每年约损失土地 $1.5\times 10^5\text{ hm}^2$ 。

采用土地的机会成本来估计森林、草地减少的经济价值。在 1985~1990 年期间林业、牧业生产的平均收益分别为 $263.58\text{ 元}/\text{hm}^2\cdot\text{a}$ 与 $245.50\text{ 元}/\text{hm}^2\cdot\text{a}$ ^[14],本研究对林地采用林业生产的机会成本,对草地采用牧业生产机会成本,估算我国森林、草地每年减少的土地废弃面积的经济价值为 $3.82\times 10^9\text{ 元}$ 。

②减少土壤肥力损失的间接价值 土壤侵蚀带走了大量的土壤营养物质,主要是土壤有机质、氮、磷和钾。不同土壤中的有机质、全氮、全磷和全钾含量大不相同。根据我国主要森林土壤和草地土壤的有机质和全氮、全磷和全钾含量等含量的平均值^[16]和我国每年森林、草地分别减少的土壤侵蚀量,对我国森林、草地每年最少减少的有机质损失量以及氮、磷、钾等元素的损失量进行估算,结果表明,其损失量分别为 $3.95\times 10^9\text{ t}$, $6.44\times 10^8\text{ t}$, $1.4\times 10^8\text{ t}$ 与 $1.74\times 10^8\text{ t}$ 。若以我国化肥平均价格 2549 元/t 估计其间接经济价值^[17],每年减少的土壤氮磷钾损失的经济价值为 $5.28\times 10^{12}\text{ 元}$ 。

③减少泥沙淤积的经济价值 我国每年森林、草地减少的土壤侵蚀量共计 $9.94\times 10^{10}\text{ t}$,按照我国主要流域的泥沙运动规律,全国一般土壤侵蚀流失的泥沙有 24%淤积于水库、江河、湖泊,这部分泥沙直接造成了水库、江河、湖泊蓄水量的下降,在一定程度上增加了干旱、洪涝灾害发生的机会。另有 33%滞留,37%入海^[18]。本文仅考虑淤积于水库、江河湖泊的 24%,即每年减少 $2.39\times 10^{10}\text{ t}$ 泥沙淤积的经济价值。

④减少泥沙对江河湖泊淤积的间接价值 土壤侵蚀流失的泥沙淤积于水库、江河、湖泊,减少了地表有效水的蓄积。因此可根据蓄水成本计算损失的价值。我国每年森林草地减少的泥沙,相当于 $2.30\times 10^{10}\text{ m}^3$ 的库容,即我国 1991 年水库总库容的 18.5%。据有关研究,我国 1 m^3 库容的水库工程费用为 0.67 元。

表 2 中国森林草地每年潜在土壤侵蚀量

Table 2 The potential soil erosion in Chinese forest and grassland

侵蚀模数 Erosion module ($\text{t}/\text{hm}^2\cdot\text{a}$)	森林 Forest		草地 Grassland		总潜在土 壤侵蚀量 Total (10^4 t)
	面积 Area (10^5 hm^2)	潜在侵蚀量 Potential soil erosion (10^8 t)	面积 Area (10^6 hm^2)	潜在侵蚀量 Potential soil erosion (10^8 t)	
192	1.27	234.8	4.0	768.0	1002.8
447.7		568.6		1790.8	2359.4
319.8		406.1		1279.2	1685.3

表 3 主要植被土壤侵蚀模数及年侵蚀总量

Table 3 The soil erosion module and quantities in different forests

植被类型 Vegetation type	现有面积 Area (10^2 hm^2)	平均侵蚀模数 Erosion module ($\text{m}^3/\text{hm}^2\cdot\text{a}$)	土壤侵蚀总量 Total soil erosion (10^8 t)
阔叶林①	0.73	0.5	0.365
针叶林②	0.54	7.8	4.212
灌木林③	0.27	0.52	0.140
草地④	4.0	0.93	3.72
总计⑤			7.437

①Broadleaf forest;②Coniferous forest;③Shurb;④Grassland;
⑤Total

因此我国森林、草地每年减少的泥沙淤积的经济价值为 1.54×10^{10} 元。

综合以上分析,中国以草地、森林为主的陆地生态系统每年减少土壤侵蚀的总经济价值为 5.69×10^{12} 元/a(表4)。

2.5 涵养水源

涵养水份是生态系统的一个重要功能,本文以森林生态系统为对象,应用水平衡法测算出森林涵养水源能力,再运用影子工程法,评价生态系统对涵养水源的间接经济价值。

2.5.1 中国森林生态系统涵养水源量的估计 森林降水量等于涵养水源总量和森林地带蒸散量之和。我国森林区域(包括台湾)降水量为 1.21×10^{12} t^[19]。

根据我国对森林蒸散量的研究,我国森林年蒸散量约占全年总降水量的 30%~80%,全国平均蒸散量为 56%^[20]。假设森林区域降水的 65% 通过蒸散消耗掉,那么大陆森林涵养水源量为 4.05×10^{11} t。

2.5.2 中国森林涵养水源的经济价值 森林涵养水源类似于水库蓄水,通过建立蓄水量 1t 水库影子工程的费用来估算涵养水源的价值。我国每建设 1m³ 库容的成本花费为 0.67 元,所以涵养水源的间接经济价值为 2.71×10^{11} 元/a。

2.6 生态系统对环境污染的净化作用

绿色植物净化大气的作用主要有两个方面,一是吸收二氧化碳,放出氧气等,维持大气环境化学组成的平衡;二是在植物抗性范围内能通过吸收而减少空气中硫化物、氮化物、卤素等有害物质的含量。

2.6.1 吸收 SO₂

阔叶林对 SO₂ 的吸收能力为 88.65kg/hm²,柏类 411.6kg/hm²,杉类 117.6kg/hm²,松林 117.6kg/hm²,平均为 215.6kg/hm²。按阔叶林的面积为 5.48×10^7 hm²,针叶林 5.24×10^7 hm² 计算^[20],其吸收 SO₂ 量分别为 4.86×10^6 t 和 1.13×10^7 t,总量为 1.62×10^7 t。对于每削减 100 t SO₂ 的投资额为 5 万元,运行费为 1 万元/a。如果没有森林对 SO₂ 的吸收作用,消除这些 SO₂ 的费用为 9.70×10^9 元。

2.6.2 对降尘和飘尘有滞留过滤作用

粉尘是大气污染的重要指标之一,植物特别是树木对烟灰、粉尘有明显的阻挡、过滤和吸附作用。森林对有害烟尘和粉尘具有很大的阻挡作用。研究认为每公顷树木年阻尘量为:云杉 32t,松树 34.4t,水青冈 68t,榆树、重阳木、刺槐、臭椿、悬铃木、女贞、泡桐等都是比较好的防尘树种。

针叶林的滞尘能力为 33.2t/hm²,阔叶林的滞尘能力为 10.11t/hm²,阔叶林滞尘量为 5.54×10^6 t,针叶林 1.73×10^6 t,总量为 2.28×10^6 t。削减粉尘成本为 170 元/t,潜在经济价值达 4.89×10^{10} 元。

3 讨论

生态系统维持了地球生命支持系统,为人类创造了赖以生存的生态环境条件,具有巨大的直接与间接经济价值。本文尝试运用生态系统生态学知识与生态经济学方法初步研究了我国生态系统部分生态服务功能。结果表明,中国陆地生态系统有机质生产间接价值为 1.57×10^{16} 元/a,固定 CO₂ 总经济价值为 7.73×10^{11} 元/a,释放 O₂ 间接经济价值为 2.84×10^{12} 元/a,在氮、磷、钾等营养物质循环贮存间接经济价值 3.24×10^{11} 元/a,减少土壤侵蚀的间接经济价值为 5.69×10^{12} 元/a,涵养水源的间接经济价值为 2.71×10^{11} 元/a,植物净化大气的潜在经济价值达 4.89×10^{12} 元/a。从这一不完全的估计中,可以发现,生态系统具有巨大的生态经济效益。

本研究是基于我国长期生态学研究成果的基础上的。由于我国国土辽阔,生态系统类型十分丰富多样,其结构与功能也千差万别,作者已注意到本文所引用的参数不能精确地反映我国生态系统功能的真实

表4 我国森林、草地每年减少土壤侵蚀的总经济价值

Table 4 The total value of reduction of soil erosion

损失类型 Type of losses	年减少损失量 Reduction of loss per year	定价标准 Standard of evaluation		间接经济价值 Indirect value (元/a)
		森林 Forest	草地 Grassland	
土地 ^①	1.53×10^7 hm ²	263.58 元/hm ²	413.14 元/hm ²	5.79×10^9
有机质 ^②	3.95×10^6 t	51.3 元/t	51.3 元/t	4.05×10^{11}
氮磷钾 ^③	2.07×10^6 t	2549 元/t	2549 元/t	5.28×10^{12}
泥沙淤积 ^④	2.39×10^{10} m ³	0.67 元/m ³		1.54×10^{10}

①Soil; ②Organic matter; ③N, P, K; ④Silt

状况,对我国生态系统各项服务功能及其价值的评估也只是粗略的与保守的估计。但可以认为即使这样一个保守的评估也还是有助于人们对生态系统价值的了解。为生态环境保护政策的制定提供参考。

参考文献:

- [1] Daily G C, eds. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*, Island Press, Washington D. C. 1997.
- [2] 欧阳志云,王如松. 生态系统服务功能与可持续发展,社会-经济-自然复合生态系统可持续发展研究. 北京:中国环境科学出版社,1999.
- [3] SCEP 1970, *Man's Impact on the global Environment*, MIT Press, Cambridge Mass.
- [4] Holdren J P and Ehrlich P R. Human population and the global environment. *American scientist*. 1974, **62**: 282~292.
- [5] Ehrlich P R, Ehrlich A H and Holdren J P. *Ecoscience: population, resources, environment*, Freeman and Col. San Francisco. 1977.
- [6] Grifo F and Rosenthal J. *Biodiversity and Human Health*, Island Press, Washington, D. C. , 1997.
- [7] Pimentel D, McLaughlin L, Zepp A, et al. environmental and economic impacts of reducing U. S. agricultural pesticide use. *Handbook of pest management in agriculture*, 1989, **4**: 223~278.
- [8] Salati E, Reid W V, Laird S A, et al. Biodiversity prospecting, *Medicinal resources of the tropical forest: Biodiversity and its importance to Human health*, Columbia Univ. Press, 1996, 142~173.
- [9] Salati E. The forest and the hydrological cycle, *The Geophisiology of Amazonia*, John Wiley and Sons, New York, 1987, 273~294.
- [10] Pimentel D, Harvey C, Resosudarmo P, et al. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits, *Science*, 1995, **267**: 1117~1123.
- [11] 方精云. 中国陆地生态系统碳循环研究,现代生态学热点问题研究. 北京:中国科学技术出版社,1996.
- [12] 刘世荣,徐德应,王 兵. 气候变化对中国森林生产力的影响 I. 中国森林现实生产力的特征及地理分布格局. 林业科学研究, 1993, **6**(6): 633~641.
- [13] 国家环境保护局,中国生物多样性国别报告. 北京:中国环境科学出版社,1997.
- [14] 国家统计局. 中国统计年鉴. 北京:中国统计出版社,1992.
- [15] 中国林业部. 中国林业统计年鉴. 北京:林业出版社,1990.
- [16] 熊 毅,等. 中国土壤. 北京:科学出版社,1990.
- [17] 中国农业部. 中国农村统计年鉴. 北京:中国农业出版社,1997.
- [18] 中国水利部. 中国水利年鉴. 北京:中国水利出版社,1992.
- [19] 任义安,等. 台湾森林对水源涵养之经济效益评估. 中华林学季刊, 1988, **19**(4): 11~27.
- [20] 毛文水,等. 资源环境常用数据手册. 北京:中国科学技术出版社,1992.
- [21] Ewel K. Water quality improvement: evaluation of an ecosystem service, *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*, Island Press, Washington D. C. 1997, 329~344.
- [22] 中国科学院自然资源综合考查委员会. 中国国土资源数据库第一卷, 1990.