

# 水生生态服务功能分析及其间接价值评价

欧阳志云<sup>1</sup>, 赵同谦, 王效科, 苗 鸿

(中国科学院生态环境研究中心系统生态重点实验室, 北京 100085)

**摘要:**水生生态系统服务功能是指水生生态系统及其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。它不仅是人类社会经济的基础资源, 还维持了人类赖以生存与发展的生态环境条件。根据水生生态系统提供服务的机制、类型和效用, 把水生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。水生生态系统提供的产品主要包括人类生活及生产用水、水力发电、内陆航运、水产品生产、基因资源等; 调节功能主要包括水文调节、河流输送、侵蚀控制、水质净化、空气净化、区域气候调节等; 文化功能主要包括文化多样性、教育价值、灵感启发、美学价值、文化遗产价值、娱乐和生态旅游价值等; 支持功能是上述服务功能产生的基础, 其对人类的影响是间接的并且需要经过很长时间才能显现出来。评价中, 将我国陆地水生生态系统分为河流、水库、湖泊、沼泽四个类型, 结合基础数据的可获得性, 建立了由调蓄洪水、疏通河道、水资源蓄积、土壤持留、净化环境、固定碳、提供生境、休闲娱乐 8 项功能构成的水生生态系统间接价值评价指标体系并进行了初步的评价与估算, 结果表明其总的价值为  $6038.78 \times 10^8$  元, 相当于供水、发电、航运、水产品生产等水生生态系统提供的直接使用价值的 1.6 倍。

**关键词:**地表水; 生态系统服务功能; 生态经济价值; 评价

## Ecosystem services analyses and valuation of China terrestrial surface water system

OUYANG Zhi-Yun, ZHAO Tong-Qian, WANG Xiao-Ke, MIAO Hong (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(10): 2091~2099.

**Abstract:** Water ecosystem services imply the natural environmental conditions and their effectiveness formed and sustained by water ecosystem and its ecological processes, on which, human life relies for existence. They not only supply human society with the basic resources and production, but also provide and maintain the fundamental life-support condition.

Water ecosystem services was divided into four groups by their function and effectiveness: provisioning, regulating, cultural, and supporting services. Provisioning services consist of the products harvested from ecosystems, including fresh water supply for daily uses and other economic sections, hydro-power generation, navigation, aquatic products and genetic resources. Regulating services imply the benefits obtained from the regulation of ecosystem processes, including water regulation, river transportation, erosion control, water purification and waste treatment, air quality maintenance, and climate regulation. Cultural Services include the non-material benefits people obtained through spiritual enrichment, cognitive development, recreation, and aesthetic experiences, such as cultural diversity, educational values, inspiration, aesthetic values, cultural heritage values, recreation and ecotourism. Supporting services are foundation of the production of all other ecosystem services. Their impacts on people are either indirect or occur over a very long period, including soil formation and retention, production of oxygen through photosynthesis, primary production, nutrient cycling, water cycling, and provisioning of habitat.

**基金项目:**国家水利部水利与国民经济协调发展研究资助项目; 国家自然科学基金重点基金资助项目(30230090); 中国科学院知识创新工程资助项目(KZCX2-405)

**收稿日期:**2004-05-11; **修订日期:**2004-06-20

**作者简介:**欧阳志云(1962~), 博士, 研究员, 主要从事系统生态学及生态系统服务功能研究。E-mail: zyouyang@mail.rcees.ac.cn

**Foundation item:** Research Program of the Ministry of Water Resources, PRC. (Water conservancy and national economy), National Science Key Foundation(No. 30230090), Knowledge Innovation Item of CAS(No. KZCX2-405)

**Received date:** 2004-05-11; **Accepted date:** 2004-06-20

**Biography:** OUYANG Zhi-Yun, Ph. D., Professor, mainly engaged in system ecology and ecosystem services. E-mail: zyouyang@mail.rcees.ac.cn

Chinese terrestrial surface water ecosystems are consisted of rivers, reservoirs, lakes and marshes. In this paper, the ecological services and their economic values were assessed and evaluated by terms of flooding control, soil and sand transporting, water resource storage, soil conservancy, environmental purification, providing wild life habitat, C fixation, biodiversity, and creation and tourism. The base year for assessment is 2000. As a result, the indirect values of water ecosystem services was estimated as  $6038.78 \times 108$  Yuan RMB, and was 1.6 times more than their direct value (product supply) including water supply for daily uses, industry and agriculture and other economic sections, hydro-power generation, navigation, and aquatic products. Water ecological services play an even more important role in the society than its products.

**Key words:** surface water systems; ecosystem services; ecological economic value; assessment

文章编号:1000-0933(2004)10-2091-09 中图分类号:Q148,TV213.4,X171 文献标识码:A

水作为一种特殊的生态资源,是支撑整个地球生命系统的基础,水生态系统不仅提供了维持人类生活和生产活动的基础产品,还具有维持自然生态系统结构、生态过程与区域生态环境的功能。随着经济的飞速发展、人口的急剧增加,人类对水资源的各种服务需求愈来愈高,而水资源量是有限的,不同的水资源利用往往相互冲突、相互竞争。在我国,许多地区水资源过度开发,忽视生态系统的需水要求,以及水的生态服务功能,导致河流断流、湿地丧失、区域生态环境退化、生物多样性受到威胁,如何协调水资源的直接利用和维持水的生态服务功能已成为水资源管理所面临的挑战。对水体生态系统的各项服务功能的定量评价有助于全面地认识水资源的价值<sup>[1]</sup>,科学合理地利用水资源,达到水资源利用的生态效益和经济效益最优化,对水资源保护及其科学利用具有重要意义;同时,水生态系统服务功能价值评价又是水资源纳入国民经济核算体系的前提,是进行水利建设和开发等宏观决策的基础。

国外对湿地效益的评价工作开展得较早,20世纪初,美国为了建立野生动物保护区特别是迁徙鸟类、珍稀动物保护区而开展了湿地评价工作。20世纪70年代初,美国麻省马塞大学Larson提出了湿地快速评价模型,强调根据湿地类型评价湿地的功能,并以受到人类活动干扰的自然和人工湿地为参照,该模型在美国和加拿大国家得到广泛的应用,并进一步推广和应用到许多发展中国家<sup>[2]</sup>。1972年,Young等<sup>[3]</sup>就对水的娱乐价值进行了评价,以后有许多研究对不同河流的娱乐经济价值以及河流径流、水环境质量对娱乐价值的影响开展了评价<sup>[4~10]</sup>。Wilson等<sup>[11]</sup>对美国1971~1997年的淡水生态系统服务经济价值评估研究做了总结回顾,其中大多数研究涉及河流生态系统的娱乐功能评估。此后,湿地生态经济效益评价得到广泛的重视,评价方法也取得了巨大进展,并为湿地生态系统的管理提供基础。在国内,对湿地效益的评价工作起步不久,对湿地或湿地某一方面进行评价的工作目前还没有开展,仅仅是针对某一具体湿地中的某一具体要素进行评价,如对高寒湿地中牧草资源,三江平原湿地中泥炭资源、土壤资源,新疆博斯腾湖湿地中芦苇资源等进行的评价。本研究拟在分析水生态系统服务功能的基础上,对我国水生态系统服务功能的部分指标及其生态经济价值进行评价,以期明确水的生态服务功能、水资源有效管理和区域生态环境保护提供生态学依据。

## 1 水生态系统服务功能及其评价指标体系

### 1.1 水生态系统服务功能内涵

水生态系统服务功能是指水生态系统及其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<sup>[12,13]</sup>。它不仅人类社会经济的基础资源,还维持了人类赖以生存与发展的生态环境条件。根据水生态系统提供服务的机制、类型和效用,把水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<sup>[14]</sup>。

**1.1.1 提供产品** 生态系统产品是指水生态系统所产生的,通过提供直接产品或服务维持人的生活生产活动、为人类带来直接利益的因子,它包括食品、医用药品、加工原料、动力工具、欣赏景观等。水生态系统提供的产品主要包括人类生活及生产用水、水力发电、内陆航运、水产品生产、基因资源等。

**1.1.2 调节功能** 调节功能是指人类从生态系统过程的调节作用中获取的服务功能和利益。水生态系统的调节作用主要包括:水文调节、河流输送、侵蚀控制、水质净化、空气净化、区域气候调节等。

(1)水文调节 湖泊、沼泽等湿地对河川径流起到重要的调节作用,可以削减洪峰、滞后洪水过程,从而均化洪水,减少洪水造成的经济损失。

(2)河流输送 河流具有输沙、输送营养物质、淤积造陆等一系列的生态服务功能。河水流动中,能冲刷河床上的泥沙,达到疏通河道的作用,河流水量减少将导致泥沙沉积、河床抬高、湖泊变浅,使调蓄洪水和行洪能力大大降低;河流携带并输送大量营养物质如碳、氮、磷等,是全球生物地球化学循环的重要环节,也是海洋生态系统营养物质的主要来源,对维系近海生态系统高的生产力起着关键作用;河流携带的泥沙在入海口处沉降淤积,不断形成新的陆地,一方面增加了土地面积,另一方面也可以保护海岸带免受风浪侵蚀。

(3)水资源蓄积与调节 湖泊、沼泽蓄积大量的淡水资源,从而起到补充和调节河川径流及地下水水量的作用,对维持水生生态系统的结构、功能和生态过程具有至关重要的意义。

(4)侵蚀控制 河川径流进入湖泊、沼泽后,水流分散、流速下降,河水中携带的泥沙会沉积下来,从而起到截留泥沙,避免土壤流失,淤积造陆的功能。此功能的负效应是湿地调蓄洪水能力的下降。

(5)水质净化 水提供或维持了良好的污染物质物理化学代谢环境,提高了区域环境的净化能力。水体生物从周围环境吸收的化学物质,主要是它所需要的营养物质,但也包括它不需要的或有害的化学物质,从而形成了污染物的迁移、转化、分散、富集过程,污染物的形态、化学组成和性质随之发生一系列变化,最终达到净化作用。另外,进入水体生态系统的许多污染物质吸附在沉积物表面并随颗粒物沉积下来,从而实现污染物的固定和缓慢转化。

(6)空气净化 水体通过水面蒸发和植物蒸腾作用可以增加区域空气湿度,有利于空气中污染物质的去除,使空气得到净化。例如,湿度增加能够大大缩短 SO<sub>2</sub> 在空气中的存留时间,能够加速空气中颗粒物的沉降过程,促进空气中多种污染物的分解转化等等。

(7)气候调节 水体的绿色植物和藻类通过光合作用固定大气中的 CO<sub>2</sub>,将生成的有机物质贮存在自身组织中的过程;同时,泥炭沼泽累积并贮存大量的碳作为土壤有机质,一定程度上起到了固定并持有碳的作用,因此水生态系统对全球 CO<sub>2</sub> 浓度的升高具有巨大的缓冲作用。此外,水生态系统对稳定区域气候、调节局部气候有显著作用,能够提高湿度、诱发降雨,对温度、降水和气流产生影响,可以缓冲极端气候对人类的不利影响。

1.1.3 文化功能 文化功能是指人类通过认知发展、主观映象、消遣娱乐和美学体验,从自然生态系统获得的非物质利益。水生态系统的文化功能主要包括:文化多样性、教育价值、灵感启发、美学价值、文化遗产价值、娱乐和生态旅游价值等等。水作为一类“自然风景”的“灵魂”,其娱乐服务功能是巨大的,同时,作为一种独特的地理单元和生存环境,水生态系统对形成独特的传统、文化类型影响很大。

1.1.4 生命支持功能 生命支持功能是指维持自然生态过程与区域生态环境条件的功能,是上述服务功能产生的基础,与其它服务功能类型不同的是,他们对人类的影响是间接的并且需要经过很长时间才能显现出来。如:土壤形成与保持、光合产氧、氮循环、水循环、初级生产力和提供生境等。以提供生境为例,湿地以其高景观异质性为各种水生生物提供生境,是野生动物栖息、繁衍、迁徙和越冬的基地,一些水体是珍稀濒危水禽的中转停歇站,还有一些水体养育了许多珍稀的两栖类和鱼类特有种。

1.2 评价指标体系

本次评价主要是针对提供间接使用价值的调节功能、文化功能与支持功能的评价开展探索性研究。结合基础数据的可获得性,选取的功能指标主要包括调蓄洪水、疏通河道、水资源蓄积、土壤持留、净化环境、固定碳、提供生境和休闲娱乐。根据我国陆地水生态系统特征,将全国陆地水体分为河流、水库、湖泊、沼泽 4 个类型进行评价。建立评价指标体系如表 1。

表 1 水生态服务功能间接价值评价指标体系

生态系统类型 Ecosystem type	调节功能 Regulating services						文化功能 Cultural services	支持功能 Supporting services
	调蓄洪水 Flooding control	河流输沙 Soil and sand transporting	水资源蓄积 Water resource storage	土壤持留 Soil conservancy	净化功能 Environmental purification	C 固定 C fixation	休闲娱乐 Creation and tourism	提供生境 Providing wildlife Habitat
湖泊 Lake	✓	—	✓	✓	✓	—	✓	✓
沼泽 Marsh	✓	—	✓	—	—	✓	✓	✓
水库 Reservoir	✓	—	✓	✓	—	—	✓	✓
河流 River	—	✓	—	—	—	—	✓	✓

“✓”表示具备该类生态效益并可以进行价值评估;“—”表示不具备该类生态效益或由于数据原因本研究暂没有进行价值评估“✓”figures the assessed index, and“—”denote that this index of certain ecosystem type was not valuated in this paper

2 水生态服务功能间接价值评价方法及参数

2.1 调蓄洪水

本研究中主要评价湖泊、水库、沼泽的调蓄洪水能力。考虑到不同区域洪水影响程度的差异,该项功能的效益估算仅考虑东部平原地区、东北平原地区与山区和云贵高原地区,蒙新地区和青藏高原地区的湖泊、水库、沼泽调蓄洪水的效益则未予评价。

2.1.1 湖泊调蓄洪水 利用主要湖泊(面积 100km<sup>2</sup> 以上)的年内水位最大变幅来估算湖泊调蓄洪水能力。东部平原地区湖泊总面积为 21171.6 km<sup>2</sup>。统计其 30 个面积大于 100km<sup>2</sup> 的湖泊,面积为 16269.79km<sup>2</sup>[15](表 2),计算得出其总调蓄洪水能力为

905.98×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>/a。按此比例估算得出本区湖泊的总调蓄能力约为 1179×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>/a。

表 2 东部地区主要湖泊及其可调蓄水量

Table 2 The main lakes of Eastern China and their flood regulating ability				
省份 Provinces	湖泊名称(面积 100km <sup>2</sup> 以上) Name of lake (above 100km <sup>2</sup> )	面积 Area (km <sup>2</sup> )	多年均蓄水量 Average storage (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> /a)	可调蓄水量 Flooding control (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> /a)
湖南 Hu'nan	洞庭湖 Dongting Lake,大通湖 Datong Lake	2546.7	170.3	165.82
湖北 Hubei	洪湖 Hong Lake,梁子湖 Liangzi Lake,长湖 Chang Lake,斧头湖 Futou Lake	892.5	24.98	108.24
江西 Jiangxi	鄱阳湖 Boyang Lake,军山湖 Junshan Lake	3125.5	157.26	266.74
安徽 Anhui	巢湖 Chao Lake,龙感湖 Longgan Lake,黄大湖 Huangda Lake,泊湖 Bo Lake,城西湖 Chengxi Lake,菜子湖 Caizi Lake,瓦埠湖 Wabu Lake,南漪湖 Nanyi Lake,城东湖 Chengdong Lake,女山湖 Nushan Lake,武昌湖 Wuchang Lake	2572.95	75.24	146.76
江苏 Jiangsu	太湖 Tai Lake,洪泽湖 Hongze Lake,高邮湖 Gaoyou Lake,骆马湖 Luoma Lake,石臼湖 Shijiu Lake,阳澄湖 Yangcheng Lake,湖 Ge Lake,白马湖 Baima Lake	5520.54	110.64	177.57
山东 Shandong	南四湖 Nansi Lake,东平湖 Dongping Lake	1245.6	18.43	33.53
河北 Hebei	白洋淀 Baiyangdian Lake	366	10.38	7.32
合计 Total	—	16269.79	567.23	905.98

东北平原地区与山区湖泊,采用与东部平原地区湖泊相同的计算方法,得出其总调蓄能力为 46×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>/a;同样的方法得出云贵高原地区湖泊的总调蓄能力为 21×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>/a。

综合上述计算结果,得出我国湖泊总调蓄洪水能力为 1246×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>/a。其调蓄洪水的生态经济价值可采用替代工程法进行计量,水库蓄水成本取 0.67 元/ m<sup>3</sup>(1990 年不变价)<sup>[16]</sup>。

2.1.2 水库调蓄功能 根据《2000 年水利统计公报》公布数据<sup>[17]</sup>,2000 年全国已建成水库 85120 座,已建水库总库容达到 5183×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>,其中:大型水库 420 座,总库容 3843×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>,已建成江河堤防 27×10<sup>4</sup>km,保护人口 4.65×10<sup>8</sup> 人,保护耕地 5.9×10<sup>8</sup>×666.7m<sup>2</sup>。其调蓄洪水功能可以利用其保护耕地而避免产生的综合农业损失来进行计量,平均综合农业受灾损失取 5532.9 元/hm<sup>2</sup><sup>[18]</sup>。

2.1.3 沼泽调蓄功能 沼泽调蓄洪水能力分土壤蓄水和地表滞水两部分进行计算,具有显著意义的包括东北、华北、华东、中南地区沼泽。

沼泽土壤中对调蓄洪水具有显著意义的是裸露型泥炭层、泥炭土和泥炭沼泽土,主要为东北地区泥炭沼泽。由文献整理得到大兴安岭、小兴安岭、三江平原、长白山区等地区,面积 10 km<sup>2</sup> 以上的沼泽总面积约为 816438 hm<sup>2</sup><sup>[19]</sup>,根据孟宪民等的研究结果(1500km<sup>2</sup> 的沼泽湿地,可调蓄水量为 37×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>)进行推算<sup>[20]</sup>,东北泥炭沼泽发育区的调蓄洪水能力为 201.4×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>。地表滞水的计算主要考虑东部沼泽发育区,由文献所提供的数据进行整理,得出东部地区(主要包括东北、华北、华东、中南地区)面积 10 km<sup>2</sup> 以上的沼泽总面积为 3835471 hm<sup>2</sup><sup>[19]</sup>(表 3),取洪水期平均最大淹没深度 1.0m,则东部平原地区沼泽的总调蓄洪水能力为 383.5×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>。

表 3 东部地区面积 10 km<sup>2</sup> 以上的沼泽总面积

Table 3 The total area of the marshes (above 10 km <sup>2</sup> ) in Eastern China					
地区 Region	东北(3 省) Northeastern China	华北(4 省市) Northern China	华东(7 省市) Eastern China	中南(6 省) Mid-southern China	合计 Total
沼泽面积 Area of marsh(hm <sup>2</sup> )	2233748	761240	568582.6	271900.7	3835471.3

综合以上计算结果,得出沼泽调蓄洪水能力为 584.9×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>/a。同样,取水库蓄水成本 0.67 元/m<sup>3</sup>(1990 年不变价)、采用替代工程法计算 该功能的价值<sup>[16]</sup>。

2.2 河流输沙

整理我国主要河流输沙量见表 4,得到河流年总输沙量为 23.5×10<sup>8</sup>t<sup>[21~23]</sup>。采用机会成本法对其价值进行计量,人工清理河道成本费用为 1.5(北方)<sup>[24]</sup>~ 4.7 元/t(南方)<sup>[25]</sup>,本研究取其均值 3.1 元/t。



2.3 水资源蓄积与调节

2.3.1 湖泊水资源蓄积 统计全国湖泊水资源贮存及分布情况,得到湖泊淡水总贮存量为  $2246\times10^8\text{m}^3$ (表 5)<sup>[15]</sup>。

表 4 中国主要入海河流输沙量

Table 4 The sand-transported amount of the main rivers of China											
海洋 Sea	渤海 Bo Sea			黄海 Yellow Sea			东海 East Sea			南海 South Sea	
河流 River	辽河 Liaohe River	滦河 Luanhe River	海河 Haihe River	黄河 Yellow River	淮河 Huaihe River	长江 Yangtse River	钱塘江 Qiantang River	瓯江 Oujian River	闽江 Minjiang River	珠江 Zhujiang River	韩江 Hanjiang River
输沙量( $\times10^8/\text{a}$ ) Sand-transported amount	0.35	0.19	0.06	9.47	0.14	4.86	0.03	0.0245	0.08	8.278	0.0179

表 5 湖泊水资源蓄积量

Table 5 The cumulated amount of water resources in Chinese lakes						
区域 Region	东部平原湖泊 Lakes in eastern plain	东北平原地区与山区湖泊 Lakes in northeastern plain and mountain region	云贵高原地区 湖泊 Lakes in Yungui plateau	蒙新地区湖泊 Lakes in Mengxin region	青藏高原地区 湖泊 Lakes in Qingzang plateau	总计 Total
淡水贮存量 The Cumulated( $\times10^8\text{m}^3$ ) amount of fresh water	711.0	188.5	288.0	23.5	1035.0	2246.0

2.3.2 沼泽水资源蓄积 沼泽的基本特征是地表常年或季节性积水或过湿,除发育于沼泽的沼泽河流水、沼泽湖泊水以外,其水资源的赋存形式主要包括沼泽地表积水和沼泽草根层和泥炭层中含有大量水分,特别湿泥炭层有很强的持水性,一般持水量可达 400%~600%。沼泽根据地表积水情况可分为常年积水型、季节性积水型和暂时性积水型,其中季节性积水型和暂时性积水型由于水源补给极不稳定,水资源意义不大<sup>[27]</sup>。根据上述特点,本次评价仅估算淡水沼泽区的泥炭含水量和常年地表积水量。

泥炭发育区主要分布在东北北部的兴安岭地区、长白山地区、三江平原以及西部的若尔盖高原、三江源地区和东部部分省市。根据资料泥炭沼泽地面积仅为  $10436\text{km}^2$ ,约占沼泽总面积的 10%左右,全国泥炭总量为  $468708\times10^4\text{t}$ ,其中,裸露型泥炭约占总量的 70.72%。我国泥炭自然含水量常见值为 60%~80%、平均值为 72.59%,吸湿含水量平均值为 9.51%<sup>[28]</sup>,根据上述数据估算得出全国沼泽泥炭蓄水水资源量约为  $79.44\times10^8\text{m}^3$ 。常年积水沼泽积水深度一般为 5~30cm<sup>[19]</sup>,这里取其平均值 17.5cm,则沼泽常年地表积水量约为  $18.26\times10^8\text{m}^3$ 。

综合上述计算,得出湖泊、沼泽总淡水资源量为  $2343.70\times10^8\text{m}^3$ 。该功能的生态经济价值的估算可采用替代工程法进行。

2.4 土壤保持

湖泊、沼泽的土壤持留功能同时表现为正、负效应,并且负效应(表现为洪水调蓄、水资源蓄积等其他服务功能的减弱)可能远大于正效应(持留土壤、淤积造陆)。考虑到其他功能的评价是针对负效应产生后的现状进行的,即应该已经包含了负效应成分,所以这里就只针对正效应进行。本次研究仅考虑湖泊的土壤持留功能,沼泽因暂无相关研究而没有进行计算,并且,考虑到河流流动和湖泊淤积特征,在本次研究中只计算了该功能相对显著的东部平原地区和东北平原地区与山区湖泊。

东部平原地区,主要湖泊的淤积特征见表 6<sup>[15,26,29]</sup>,表中已统计湖泊总面积为  $12745.65\text{km}^2$ ,年泥沙淤积量合计  $14759.52\times10^4\text{t}$ ,该区湖泊总面积为  $21171.6\text{km}^2$ ,根据统计比例估算得出本区湖泊土壤淤积总量为  $24516.81\times10^4\text{t}$ 。取土壤表土平均厚度 0.5m,土壤平均容重  $1.28\text{t/m}^3$ <sup>[16]</sup>,估算得到其折合的土地面积为  $38307.52\text{hm}^2$ 。

表 6 东部平原地区主要大中型湖泊年均泥沙淤积量

Table 6 The silt amount of main lakes in Chinese Eastern Plain										
湖泊名称 Name	鄱阳湖 Boyang Lake	洞庭湖 Dongting Lake	太湖 Tai Lake	洪泽湖 Hongze Lake	南四湖 Nansi Lake	巢湖 Chao Lake	高邮湖 Gaoyou Lake	白洋淀 Baiyangdian Lake	骆马湖 Luoma Lake	石臼湖 Shijiu Lake
面积 Area( $\text{km}^2$ )	2933	2432.5	2425	1576.9	1097.6	769.55	674.7	366	260	210.4
年均泥沙淤积量 Average silt amount( $\times10^4/\text{a}$ )	709	12400	66.28	238.69	437.88	51.67	101.5	183	309	262.5

同样,根据松花湖的淤积特征( $525.49\times10^4\text{t/a}^{[15]}$ ),估算得出东北地区湖泊土壤淤积总量为  $3779.04\times10^4\text{t/a}$ ,折合土地面积  $5904.75\text{hm}^2$ 。

该功能的生态经济价值采用机会成本法进行计算,即以折合土地的总收益作为湖泊土壤保持的年经济价值,单位土地面积收益可取  $9020.87\text{元/hm}^2$ (由年度农业产值/耕地总面积计算得出<sup>[30]</sup>)。

2.5 水质净化

由于缺乏足够的系统研究,目前还无法开展大范围的水生态系统净化环境功能的评价工作,本研究拟通过研究湖泊的氮磷去除效能,力图在一定程度上反映水生态系统的水质净化功能和价值。

东部平原地区湖泊,根据已有相关资料(表 7)<sup>[26]</sup>,计算得出该区湖泊单位面积平均 N、P 去除率分别为  $3.98\text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 、 $1.86\text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ ,得到年 N、P 总去除量分别为  $84262.97\text{t/a}$  和  $39379.18\text{t/a}$ 。

表 7 东部平原地区部分大中型湖泊去除氮、磷情况

Table 7 The self-purification ability (Nitrogen and Phosphorus) of main lakes in Chinese Eastern Plain					
湖泊名称 Name	鄱阳湖 Boyang Lake	洞庭湖 Dongting Lake	太湖 Tai Lake	巢湖 Chao Lake	南四湖 Nansi Lake
除氮 Nitrogen removal(t/a)	489.9	—	3105	4777.74	20364.72
除磷 Dephosphorization(t/a)	2383.72	—	963.91	214.57	9882

东北平原地区与山区湖泊,利用镜泊湖年除 N、除 P 数据( $309.44\text{t/a}$ 、 $64.1\text{t/a}$ )<sup>[26]</sup>估算得出东北平原地区与山区湖泊年 N、P 去除量分别为  $13368.91\text{t/a}$ 、 $2768.71\text{t/a}$ ;同样,根据滇池等 3 个湖泊的年除 N、除 P 数据<sup>[26]</sup>估算得出云贵高原地区湖泊年氮磷去除量分别为  $10333.25\text{t/a}$ 、 $921.21\text{t/a}$ 。

青藏高原和蒙新地区湖泊,由于一般氮磷输入量较少,计算数值很小,本研究中未予考虑。湖泊的氮磷净化功能可按生活污水处理成本  $\text{N}1.5\text{元/kg}$ 、 $\text{P}2.5\text{元/kg}$  进行估算<sup>[31]</sup>。

2.6 碳固定

沼泽土壤尤其是泥炭沼泽,由于长期的植物凋落累积,土壤有机物含量一般很高,从而累积并持有大量的碳,泥炭资源的开发以及土地利用方式的改变,将引起沼泽 C 的加速释放,迅速转移到大气中从而使大气中  $\text{CO}_2$  气体含量上升,温室效应加剧。

我国泥炭总量为  $468708\times10^4\text{t}$ ,尹善春等人研究了典型泥炭元素组成,认为 C 的含量在  $23.55\%\sim52.22\%$  之间<sup>[28]</sup>,吕宪国等人也给出了我国主要泥炭类型 C 含量<sup>[32]</sup>,综合上述研究结果,取泥炭 C 含量平均值为  $38.22\%$ ,折合出我国泥炭 C 总量为  $179140.2\times10^4\text{t}$ 。根据 Fankhauser 和 Pearce 等人的研究成果<sup>[33]</sup>,C 释放的成本价值取  $20.4\text{美元/t C}$ (1991~2000 年),折合人民币  $168.85\text{元/t C}$ (以 100 美元兑换人民币 827.7 元计),假定其开发利用期为 100a,年贴现率为 5%,可以计算得到全国泥炭沼泽固定 C 的生态价值的年效益。

2.7 休闲娱乐

据统计<sup>[34]</sup>,2000 年国内旅游人数达到  $719\times10^6$  人次,其中城镇居民  $284\times10^6$  人次,农村居民  $435\times10^6$  人次;旅游消费总额为  $2831.92\times10^8\text{元}$ ,其中城镇居民花费  $1748.23\times10^8\text{元}$ ,农村居民花费  $1083.69\times10^8\text{元}$ ;人均花费为 394 元,其中城镇居民人均花费为 614.8 元,农村居民人均花费 249.5 元。2000 年入境旅游人数则达到  $843.23\times10^4$  人,总消费额为  $140.99\times10^8\text{美元}$ ,折合人民币  $1166.97\times10^8\text{元}$ (以 100 美元兑换人民币 827.7 元计)。由此得出,2000 年全国旅游消费总收入为  $3998.89\times10^8\text{元人民币}$ 。

通过对国家旅游局发布的《2000 年入境旅游者抽样调查综合分析报告》中调查数据进行分析<sup>[35]</sup>,得出在山水风光、文物古迹、民俗风情、饮食烹调、文化艺术、旅游购物等多个目的选项中,水生态系统在旅游总收入中的作用比例为 12.3%,并以此作为价值计算依据。

2.8 提供生境

各种水体与湿地是地球上最重要的野生生物的栖息地或避难所。根据 Costanza 等人的研究成果,沼泽或泛滥平原提供栖息地或避难所这一服务功能的年生态效益为  $439\text{美元/hm}^2^{[36]}$ ,折合人民币  $3633.6\text{元/hm}^2$ (以 100 美元兑换人民币 827.7 元计),按全国沼泽总面积  $93972.7\text{km}^2$  进行估算,可得出中国沼泽提供栖息地或避难所这一服务功能的年生态效益。

3 评价结果及讨论

水的生态服务功能的价值构成包括直接使用价值与间接价值,直接使用价值是指水为社会经济发展所提供的产品,如提供生活与生产所必需的水、发电、航运以及鱼类等水产品,间接价值则是指为维持人类生存与发展所依赖的生态环境条件。没有

水,就没有地球生命,也没有人类自身,在这个意义上,水的生态经济价值是无限的。

随着水资源日趋紧缺,如何协调管理水资源的利用已成为人类目前面临的重要挑战,我国水管理部门对水的管理模式已经开始从工程水资源向生态水资源管理转变,对水生态服务功能的定量评价有助于全面地认识水资源的价值,明确水各项功能对经济社会可持续发展的意义和作用,为科学合理地利用水资源、水利建设和开发等宏观决策提供基础。

本研究对水生态系统的调蓄洪水、疏通河道、水资源蓄积、土壤持留、净化环境、固定碳、提供生境、休闲娱乐 8 项功能进行了初步的评价与估算,结果表明其总价值为  $6038.78\times 10^8$  元,相当于供水、发电、航运、水产品生产等产品提供功能的直接价值( $3772.05\times 10^8$  元)<sup>[37]</sup>的 1.6 倍,表明水生态系统除为社会提供直接产品价值外,还具有巨大的间接使用价值,而且这种价值对社会的贡献比供水、发电等产品提供的价值更显著。应该说明的是,这只是一个不完全的估算,随着人们对水生态功能认识的深入,其生态经济价值将会更加明确。

表 8 间接使用价值评价  
Table 8 The results of indirect values assessment

功能类型 Service type	物质量 Materialization	物质量单位 Matter unit	单位均价 Average price	价格单位 Price unit	价值量(×10 <sup>8</sup> 元) Value(×10 <sup>8</sup> Yuan RMB)
调蓄洪水(湖、沼)Flooding control (Lakes and Marshes)	1830.9	10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	0.67	元/m <sup>3</sup> , YuanRMB/m <sup>3</sup>	1226.70
调蓄洪水(水库)Flooding control (reservoir)	0.393	108hm <sup>2</sup>	5532.9	元/hm <sup>2</sup> , YuanRMB /hm <sup>2</sup>	2176.27
河流输沙 Soil and sand transporting	23.5	10 <sup>8</sup> t	3.1	元/t <sup>3</sup> , YuanRMB /t	72.85
水资源蓄积 Water resource storage	2343.70	10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	0.67	元/m <sup>3</sup> , YuanRMB /m <sup>3</sup>	1570.51
土壤持留 Soil conservancy	44212.27	hm <sup>2</sup>	9020.87	元/hm <sup>2</sup> , YuanRMB /hm <sup>2</sup>	3.99
净化功能(N)Environmental purification(N)	107965.13	t/a	1.5	元/kg, YuanRMB /kg	1.62
净化功能(P)Environmental purification(P)	43069.1	t/a	2.5	元/kg, YuanRMB /kg	1.08
C 固定 C fixatio	179140.2	10 <sup>4</sup> t	168.85	元/tC, YuanRMB /tC	152.40
休闲娱乐 Creation and tourism	—	—	—	—	491.86
提供生境 Providing wildlife habitat	93972.7	km <sup>2</sup>	3633.6	元/hm <sup>2</sup> , YuanRMB/hm <sup>2</sup>	341.50
合计 Total	—	—	—	—	5546.92

表 9 评价结果汇总  
Table 9 The final results of services valuation of Chinese inland water ecosystem

生态系统类型 Ecosystem type	调节功能 Regulating services						文化功能 Cultural services	支持功能 Supporting services
	调蓄洪水 Flooding control	河流输沙 Soil and sand transporting	水资源蓄积 Water resource storage	土壤持留 Soil conservancy	净化功能 Environmental purification	C 固定 C fixation	休闲娱乐 Creation and tourism	提供生境 Providing wildlife habitat
价值 Value (×10 <sup>8</sup> Yuan RMB)	3402.97	72.85	1570.51	3.99	2.70	152.40	491.86	341.50
总价值 Total value (×10 <sup>8</sup> Yuan RMB)	6038.78							

研究过程中也发现,水生态系统的间接价值中,调蓄洪水的贡献率占到了约 56%,与直接使用价值的总和相差无几,说明水生态系统在防御洪涝灾害、保护社会 and 经济发展上的作用是极其重要的。本文的研究只是做了一些探索性工作,在指标的选取、量化评价方面还有待进一步深入、完善。

References:

[1] Li W H, Ouyang Z Y, Zhao J Z. *Research on Ecosystem Services*. Beijing: China Meteorological Press, 2002.

[2] Brown T C, Taylor J G, Shelby B. Assessing the direct effects of stresmflow on recreation: a literature review. *Water Resources Bulletin*, 1992,**27**(6): 979~989.

[3] Young S L. *Economic value of water: concepts and empirical estimates*, National Water Commission Report, NO. SBS 72-047,1972.

- [4] Daubert J, Young R. Recreational demands for maintaining instream flows: a contingent valuation approach. *American Journal of Agricultural Economics*, 1981, **63**(4): 666~675.
- [5] Word F A, Economics of water allocation to instream uses in a fully appropriated river basin: evidence from a New Mexico Wild River. *Water Resources Research*, 1987, **23**(3): 381~392.
- [6] Moore S D, Wilkosz M E, Brickler S K. The recreational impact of reducing the "Laughing Waters" of Aravaipa Creek, Arizona. *Rivers*, 1990, **1**(1): 43~50.
- [7] Hansen L T, Hallam A J. Single-stage and two-stage decision modeling of recreation demand for water, *Journal Agricultural Economic Research*, 1990, **42**(1): 16~26.
- [8] Duffield J W, C J Neher, T C Brown, Recreation benefits of instream flow: application to Montana's Big Hole and Bitterroot Rivers. *Water Resources Research*, 1992, **28**(9): 2169~2181.
- [9] Kulshreshtha S N, Gillies J A. Economic evaluation of aesthetic amenities: a case study of river view. *Water Resources Bulletin*, 1993, **29**(2): 257~266.
- [10] Bowker J M, English D B, Donovan J A. Toward a value for guided rafting on southern rivers. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 1996, **28**(2): 423~432.
- [11] Wilson M A, Carpenter S R. Economic valuation of freshwater ecosystem services in the United States: 1971~1997. *Ecological Applications*, 1999, **9**(3): 772~783.
- [12] Daily G C. *Nature's Services; Societal Dependence on Natural Ecosystems*, Island Press, Washington D. C., 1997.
- [13] Ouyang Z Y, Wang R S, Zhao J Z. Ecosystem services and their economic valuation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, **10**(5): 635~640.
- [14] Sub-Global Assessment Selection Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment. *Millennium Ecosystem Assessment Sub-Global Component: Purpose, Structure and Protocols*. <http://www.millenniumassessment.org>, 2001.
- [15] Wang S M. *Chinese Lakes*. Beijing: Science Press, 1998.
- [16] Li J C. *Ecological value theory*. Chongqing: Chongqing University Press, 1999.
- [17] The Ministry of Water Resources of the PRC. *Statistical bulletin of Chinese water conservancy-2000*. <http://www.cws.net.cn>.
- [18] Zhang Z J, Zhang S B, Feng T H. Calculation of flood control benefit for economic post-evaluation for Taolinkou Reservoir Project. *China Rural Water and Hydropower*, 2002, (8): 6~7.
- [19] Zhao K Y, *Chinese Marsh*, Beijing: Science Press, 1999.
- [20] Meng X M, *et al.* Peat resource and its development in Sanjiang Plain. In: Zhao K Y, ed. *Research on Chinese Marsh*, Beijing: Science Press, 1999.
- [21] Lei Z Y. *Handbook of Chinese Sea Environment*. Shanghai: Shanghai Jiaotong University Press, 1988.
- [22] Shen H T. *Physical Flux of the Estuary of Yangtse River*. Beijing: Ocean Press, 2001.
- [23] Cai M L. Study on the development of water-sands resource of the delta of Yellow River. *Geography and Territorial Research*, 1995, **11**(3): 41~46.
- [24] Li Z K. Study on the value of forest resource in Beijing, In: CAF&ITTO, *International Symposium on Forest Environmental Value Accounting*. Beijing: Chinese Forestry Press, 2001.
- [25] Guo Z W, *et al.* Ecosystem functions and their values—a case study in Xingshan County of China, *Ecol-Econ.*, 2001, **38**: 141~154.
- [26] Jin X C. *Chinese Lake Environment I, II, III*. Beijing: Ocean Press, 1995.
- [27] Zhao K Y, Liu X T. The state and prospect of wetland research, In: Chen Y Y, ed. *Chinese Wetland Research*, Changchun: Jilin Science and Technology Press, 1995. 1~9.
- [28] Yin C S, *et al.* *Chinese Peat Resource and Its Development*. Beijing: Geology Press, 1991.
- [29] The Ministry of River Resources of the PRC. *Statistical bulletin of water and sands of Chinese river*. <http://www.cws.net.cn>.
- [30] National Bureau of Statistics of China. *Chinese Statistics Yearbook-2000*. Beijing: Chinese Statistics Press, 2000.
- [31] Zhao Y M. *Science Report of National Nature Reserve in the delta of Yellow River*. Beijing: Chinese Forestry Press, 1995.
- [32] Lü X G, *et al.* Carbon cycle of wetland and its significance for the globe change. In: Chen Y Y, ed. *Chinese Wetland Research*. Changchun: Jilin Science and Technology Press, 1995. 68~71.
- [33] Sala O E, Paruelo J M. Ecosystem services in grasslands. In: Daily G C, ed. *Nature's Services; Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington D C., 1997. 237~254.
- [34] National Bureau of Tourism of the PRC. *Yearly Report of Chinese Tourism-2000*. <http://www.cnta.gov.cn>.
- [35] National Bureau of Tourism of the PRC. *Report of spot check on Foreign Tourist-2000*. <http://www.cnta.gov.cn>.



[36] Costanza R, *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital, *Nature*, 1997, **387**: 253~260.

[37] Zhao T Q, Ouyang Z Y, Wang X K, *et al.* Ecosystem services and their valuation of terrestrial surface water system in China, *Journal of Natural Resources*, 2003, **18**(4): 443~452.

参考文献:

[ 1 ] 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.

[13] 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. 应用生态学报,1999, **10**(5): 635~640.

[15] 王苏民. 中国湖泊志. 北京:科学出版社,1998.

[16] 李金昌. 生态价值论. 重庆:重庆大学出版社,1999.

[17] 中华人民共和国水利部. 2000 年水利统计公报. <http://www.cws.net.cn>.

[18] 张淙蛟,张世宝,冯田华. 桃林口水库工程经济后评价防洪效益计算. 中国农村水利水电,2002,(8):6~7.

[19] 赵魁义. 中国沼泽志. 北京:科学出版社,1999.

[20] 孟宪民,等. 三江平原地区泥炭资源及其合理开发利用. 见:赵魁义,等. 中国沼泽研究. 北京:科学出版社,1998.

[21] 雷宗友. 中国海环境手册. 上海:上海交通大学出版社,1988.

[22] 沈焕庭. 长江河口物质通量. 北京:海洋出版社,2001.

[23] 蔡明理. 黄河河口三角洲水沙资源综合利用初探. 地理学与国土研究,1995, **11**(3): 41~46.

[24] 李忠魁. 北京森林资源价值研究. 见:CAF&ITTO,森林环境价值核算国际研讨会. 北京:中国林业出版社,2001. 80~88.

[26] 金相灿. 中国湖泊环境(第1~3册). 北京:海洋出版社,1995.

[27] 赵魁义,刘兴土. 湿地研究的现状与展望. 见:陈宜瑜主编. 中国湿地研究. 长春:吉林科学技术出版社,1995. 1~9.

[28] 尹善春. 中国泥炭资源及其开发利用. 北京:地质出版社,1991.

[29] 中华人民共和国水利部. 中国河流泥沙公报. <http://www.hydroinfo.gov.cn>.

[30] 国家统计局. 中国统计年鉴 2000 年. 北京:中国统计出版社,2000.

[31] 赵延茂. 黄河三角洲自然保护区科学考察集. 北京:中国林业出版社,1995.

[32] 吕宪国,等. 湿地碳循环及其在全球变化中的意义. 见:陈宜瑜主编. 中国湿地研究. 长春:吉林科学技术出版社,1995. 68~71.

[34] 中华人民共和国国家旅游局. 中国旅游业年度报告(2000 年), <http://www.cnta.gov.cn>.

[35] 中华人民共和国国家旅游局. 国家旅游局公布 2000 年入境旅游者抽样调查综合分析报告. <http://www.cnta.gov.cn>.

[37] 赵同谦,欧阳志云,王效科,等. 中国陆地地表水生态系统服务功能及其生态经济价值评价. 自然资源学报,2003, **18**(4): 443~452.