

DOI: 10.5846/stxb201306031280

贾军梅, 罗维, 杜婷婷, 李中和, 吕永龙. 近十年太湖生态系统服务功能价值变化评估. 生态学报, 2015, 35(7): 2255-2264.

Jia J M, Luo W, Du T T, Li Z H, Lü Y L. Valuation of changes of ecosystem services of Tai Lake in recent 10 years. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(7): 2255-2264.

近十年太湖生态系统服务功能价值变化评估

贾军梅^{1,2}, 罗 维^{1,*}, 杜婷婷^{1,3}, 李中和³, 吕永龙¹

1 中国科学院生态环境中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

2 中国科学院大学, 北京 100049

3 中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院, 北京 100083

摘要:理解和把握近年来湖泊生态系统服务功能退化规律的最佳手段是评估其生态系统服务功能价值的变化。以太湖为例,基于近十年来太湖生态系统的科学调查数据,综合运用生态学及经济学方法,对太湖生态系统的四大类功能和 11 个亚类的服务价值进行了综合评估。研究表明,2000 年、2003 年、2007 年和 2009 年太湖生态系统服务总价值分别为 1627.98 亿元、1908.68 亿元、1503.99 亿元和 3528.73 亿元,保持逐渐升高的趋势,但是在 2007 年却意外降低。从 2000 年到 2009 年太湖生态系统服务功能价值构成发生了一些变化,2000 年以供水功能为主体,约占总价值的 43%,2003 年和 2007 年变为以航运功能为主体,分别占总价值的 41.31% 和 38.73%,而 2009 年又变为以旅游功能为主体,约占总价值的 52.52%,总体上由供给功能向文化功能转变。航运功能和旅游功能急剧上升而供水功能急剧下降不利于长远发挥的太湖生态服务功能。蓝藻水华的发生可能降低太湖供给功能、支持服务功能和文化服务功能,进而对太湖生态服务的总价值产生负面影响。研究认为太湖生态系统对支持和保护人类社会具有重要的作用,为管理者和决策者有效的保护和管理湖泊生态系统提供了重要的信息。

关键词:湖泊生态系统; 服务; 评估; 经济

Valuation of changes of ecosystem services of Tai Lake in recent 10 years

JIA Junmei^{1,2}, LUO Wei^{1,*}, DU Tingting^{1,3}, LI Zhonghe³, LÜ Yonglong¹

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China

Abstract: Lake ecosystem in Tai Lake (CH: Taihu) provide people with both direct and indirect benefits which are called ecosystem services. However, lake ecosystem services in Tai Lake have not well recognized and accurately quantified in past years. Decades of wastewater discharge, industrial pollution, and over application of chemical fertilizers around the basin have transformed this once meso-oligotrophic lake in the 1950s into its present hypertrophic state. As a result, cyanobacteria blooms appear during every summer in recent years, which may in turn have serious impacts on lake ecosystem functions and services delivery. In the late May of 2007, heavy cyanobacterial blooms dominated by *Microcystis* and their harmful metabolites occurred in the water columns of the northern region of Tai Lake resulting in a world-shaking drinking water crisis in Wuxi, Jiangsu Province, China. The best way to understand the deterioration of ecosystem service functions of a lake is to assess its ecosystem service values. Tai Lake, as a typical lake in eutrophication in China, was selected as a case study and data of ecosystems of Tai Lake were collected over the last 10 years. An integrated method of economy and ecology

基金项目:国家重点基础研究计划 973 计划课题(2008CB418106);国家自然科学基金资助项目(41271502, C031001);城市与区域生态国家重点实验室项目(SKLURE2008-1-04, SKLURE2008-1-05)

收稿日期:2013-06-03; **网络出版日期:**2014-05-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: luow@rcees.ac.cn

was applied to estimate the value of lake ecosystem service functions. Ecosystem service functions of Tai Lake were divided into four main categories including provisioning, regulating, cultural and supporting services. The four categories were subdivided into eleven subcategories which covered water supply, aquatic products, shipping, climate regulation, soil and sand transportation, water purification, flood control, water resource storage, soil conservancy, maintaining biodiversity and tourism. Total values of ecosystem services for Tai Lake in 2000, 2003, 2007 and 2009 were 1628.0×10^8 , 1908.7×10^8 , 1504.0×10^8 and 3528.7×10^8 Yuan RMB, respectively. An increasing tendency of total value of ecosystem service of Tai Lake was observed in each year except 2007. The main ecosystem service functions changed from supply function to culture function from 2000 to 2009. The main function of Tai Lake was water supply in 2000, the value of which accounted for 43% of the total ecosystem service value. However, the main function of Tai Lake changed to transportation function whose values accounted for 41.31% and 38.73% of the total value in 2003 and 2007, respectively. The main function changed to tourism function in 2009, the value of which accounted for 52.52% of the total value. The value of transportation and tourism service of Tai Lake underwent a sharp increase in recent year while the value of water supply went through a rapid decline resulting from too much attention paid to the development of transportation and tourism industry, which is not good for the continual, healthy and stable development of Tai Lake in the long run. Cyanobacteria blooms had an adverse effect on the value of ecosystem service of the Tai Lake by decreasing values of supply, supporting and cultural functions. Our research suggested that Tai Lake ecosystem play an important role in supporting and protecting human well-being. Valuation of changes of ecosystem services of Tai Lake provided the decision makers information of benefit of lake protection and effective management of lake ecosystem.

Key Words: lake ecosystem; services; evaluation; economics

生态系统服务功能作为生态学和生态经济学研究的一个分支,近年来得到了很大的发展,已成为国内外生态研究的热点。国外许多生态学家与经济学家已从物理量和价值量两方面分析和探讨了生态系统服务功能价值,发展了针对不同生态系统服务功能与生物资源的评价方法^[1-5]。Costanza 等^[6]在总结过去几十年生态系统公益价值评价研究的基础上,将生态系统服务功能归纳为 17 类,推算出所有生物群区的服务价值,为全面评价生态系统服务功能经济价值提供了有力参考。我国生态学者对生态系统服务功能及价值评估方法进行了系统地探索^[7-9],他们的研究主要集中于对森林、草地和水体等典型生态系统服务功能进行分析和经济评估,但针对湖泊生态系统服务功能价值长期演变的研究仍相当缺乏。随着我国经济的快速发展,湖泊水生态环境的恶化进一步加剧水生态系统服务功能长期衰退,但是我国针对湖泊生态系统服务价值长期演变的研究并不多见。太湖是我国第三大淡水湖,以其丰富的水资源哺育着人类,调节着洪水,灌溉着农田,净化着环境,维持着生态平衡,为太湖流域的经济可持续发展提供了强大的动力。但是近年来太湖水生态环境经历了快速变化的过程,尤其是 2007 年震惊中外的“太湖蓝藻水华事件”之后,太湖生态系统服务功能价值也可能随之发生改变。尽管已有的研究分别评估了 1983 年,1993 年和 2003 年的太湖生态系统服务功能价值的变化^[10],但其研究的时间跨度较大且距离现在时间较长。因此,比较和评估近十年来太湖生态系统服务功能价值的变化,对于进一步认识湖泊生态系统服务功能的演变具有重要理论价值和实践意义。本文基于市场价值法、机会成本法及替代工程法等常见方法,对 2000—2009 年太湖生态系统的供水功能、提供水产品、航运功能、大气调节、水质净化、调节洪水及旅游等功能价值的演变进行全面、系统的评估,以期太湖水资源的价值、水污染事件的经济损失评估以及水环境防治与管理提供重要的科学依据。

1 研究区域概况

太湖位于江苏南部,太湖平原中部,地处人口稠密、工农业发达、经济发展迅速的长江三角洲地区。太湖水面面积 2338 km^2 ^[11]。湖岸线总线 405 km,平均水深 1.89 m,最大水深也只有 2.6 m,多年平均蓄水量约

51.4 亿 m^3 。太湖水资源总量为 $1615.3 \times 10^8 \text{ m}^3$, 蓄水总量达 $45.9 \times 10^8 \text{ m}^3$, 年降水总量 $424.7 \times 10^8 \text{ m}^3$, 比常年减少 2.2%^[12]。太湖具有水产养殖、饮水供应、调蓄洪水、水上运输和生态休闲旅游等功能, 在我国东部地区社会经济发展中发挥着举足轻重的作用。近年来太湖水环境发生了急剧的变化, 到 2011 年太湖全年期东太湖、东部沿岸区和五里湖水质为 IV 类, 占全湖面积的 19.1%; 贡湖和南部沿岸区为 V 类, 占 22.5%; 其余湖区均为劣 V 类, 占 58.4%^[12]。

2 研究方法

供给服务功能包括供水功能、提供水产品和航运功能; 调节服务功能包括大气调节功能、输沙功能、水质净化功能和调蓄洪水功能; 支持服务功能包括蓄水功能、土壤保持功能、维持生物多样性功能; 文化服务功能主要指旅游功能。

2.1 供水功能

湖泊生态系统的供水功能采用市场价值法, 计算如(1)所示^[13]:

$$W_w = \sum A_i P_i \quad (1)$$

式中, W_w 为水供给功能价值; A_i 为第 i 种用途的水量; P_i 为第 i 种用途水的市场价格。

2.2 提供水产品

利用市场价值法计算湖泊生态系统水产品功能价值, 公式如(2)所示^[13]

$$W_p = \sum U_i P_i \quad (2)$$

式中, W_p 为水产品价值; U_i 为第 i 类物质的产量; P_i 为第 i 类物质的市场价格。

2.3 航运功能

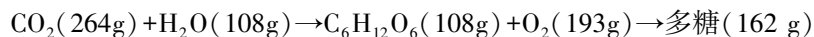
评价湖泊航运价值采用市场价值法, 计算如(3)所示^[10]

$$V_h = T_c P_c + T_p P_p \quad (3)$$

式中, V_h 为航运价值(元/a); T_c 为货物的年周转量(t km/a); T_p 为旅客的年周转量(人 km/a); P_c 为货运价格($\text{元 t}^{-1} \text{ km}^{-1}$); P_p 为客运价格($\text{元 人}^{-1} \text{ km}^{-1}$)。

2.4 大气调节

CO_2 固定及 O_2 释放可以通过光合作用公式, 用碳税法或造林成本法估算其调节价值。光合作用方程式为:



根据光合作用方程, 生态系统每固定 1 g C 可释放 2.666 g O_2 。计算如(4)所示^[13]

$$W_a = A \times PP_{em} (P_c + 2.666 P_o) \quad (4)$$

式中, W_a 为大气调节价值; A 为水域面积; PP_{em} 为浮游植物初级生产力; P_c 为固碳成本, P_o 为释氧成本。张运林等^[14]根据 1998—1999 年太湖梅梁湾初级生产力的实测数据, 建立了浮游植物初级生产力和表层叶绿素 a 浓度之间的经验公式如(5)所示

$$PP_{em} = 34.52 \text{ Chl.a} + 222.9 \quad (n=25, r^2=0.76) \quad (5)$$

式中, PP_{em} 为浮游植物初级生产力($\text{mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$); Chl.a 为表层叶绿素 a 浓度(mg/m^3)。

2.5 输沙功能

河湖输沙功能一般采用机会成本法, 根据平均输沙量和人工清理河道成本费数据, 估算湖泊输沙功能价值。

2.6 水质净化

采用生产成本法评估湖泊生态系统的水质净化功能和价值。计算公式如(6)所示

$$V_{pw} = \sum Q_{pw,j} C_{pw,j} \quad (6)$$

式中, V_{pw} 为净化水体价值 (元/a); $Q_{pw,j}$ 为湖泊截留第 j 类污染物质的总量 (t/a); $C_{pw,j}$ 为第 j 类污染物质处理成本 (元/t); m 为污染物质的种类。

2.7 调蓄洪水

基于 1999 年社会经济水平的多年平均防洪效益, 考虑洪灾损失的增长率, 根据公式 (7)^[15] 计算 2004—2020 年治太工程的历年防洪效益:

$$E_i = E_{i-1} (1 + f_i) \quad (7)$$

式中, E_i 为预测的历年防洪效益; f_i 为洪涝灾害损失年增长率, 4%。 $E_{1999} = 12.58$ 亿元。

2.8 蓄水功能

蓄水功能经济价值可用替代工程法估算, 计算公式如 (8) 所示^[13]:

$$W_r = RP_c \quad (8)$$

式中, W_r 为蓄水价值; R 为河流和湖泊蓄水量; P_c 为这种潜在水量的获得成本。

2.9 土壤保持

土壤保持功能一般利用机会成本法, 计算公式如 (9) 所示^[10]

$$V_{cs} = A_c B_t / (5000\rho) \quad (9)$$

式中, V_{cs} 为土壤保持价值 (元/a); A_c 为泥沙淤积量 (t/a); B_t 为保持土壤年均效益 (元/hm²); ρ 为土壤容重 (t/m³) = 1.28 t/m³^[16]。

2.10 旅游功能

湖泊旅游功能价值一般采用比例折算法^[13], 计算如 (10) 所示

$$W_t = CP_w \quad (10)$$

式中, W_t 为旅游功能价值; C 为旅游总收入; P_w 为水生态景点数占旅游总景点数的比例。

3 研究结果与讨论

3.1 近十年太湖生态系统供给服务价值变化评估

3.1.1 供水功能

由 2000 年、2003 年、2007 年和 2009 年太湖本地水源供水 (分别为 325.6×10^8 、 306.3×10^8 、 221.7×10^8 和 202.1×10^8 m³)^[17] 以及对应各年平均水资源费标准 (分别为 1.553×10^{-3} 、 1.712×10^{-3} 、 1.885×10^{-3} 、 1.909×10^{-3} 元/kg), 计算获得这些年份年太湖生态系统的供水功能价值。根据中国人民银行公布的年利率^[18], 将 2000 年、2003 年、2007 年的价值均贴现到 2009 年 (图 1) 结果表明, 太湖的供水服务价值呈下降趋势, 供水功能服务价值从 2000 年的 700.00 亿元逐渐降低到 2009 年的 385.81 亿元, 2007 年下降尤其明显。随着近年来太湖水质污染程度的进一步加剧的威胁, 今后太湖饮用水供给保障问题仍是一个值得高度关注的问题。

3.1.2 提供水产品

太湖盛产的鱼类主要有梅鲢、银鱼、草鱼、鲤鱼、鲫鱼、鲢鱼和虾等。由表 1 说明, 从 2003 年到 2009 年太湖主要水产品产量存在一定波动, 尤其是 2003 年至 2007 年间, 其波动幅度较大 (江苏省太湖渔业管理委员会办公室), 这可能与 2003 至 2007 年间频繁发生的蓝藻水华事故有一定关系。从 2000 年到 2009 年 10 年间, 梅鲢产量最高, 并且其产量呈稳步增高的趋势; 但银鱼、鲤鱼和鲫鱼的产量呈逐年减少的趋势, 且在 2007 年达到产量最低。

根据当年各种鱼类均价, 可推算 2000 年、2003 年、2007 年和 2009 年太湖提供水产品功能价值分别为 2.55 亿元、8.13 亿元、12.96 亿元和 18.65 亿元, 并将这些价值贴现到 2009 年 (图 1), 结果表明: 2009 年太湖水产品功能价值比 2000 提高了 2 倍, 但是 2003 年至 2007 年间, 由于频繁发生的蓝藻水华事故影响了鱼类生长和繁殖, 其水产品价值增幅不大。

3.1.3 航运功能

2000 年、2003 年、2007 年和 2009 年太湖流域水路货运周转量分别为 7808.73×10^8 、 10510.84×10^8 、 8965.94×10^8 、 19999.23×10^8 kg/m, 旅客周转量分别为 20.75×10^5 、 10.85×10^5 、 14.16×10^5 、 15.12×10^5 人/m^[19-22]。货运和客运价格分别采用 0.060×10^{-3} 元/kg km 和 0.240 元/人 km^[7,10], 由此可推算出这些年太湖航运功能价值(图 1)。从 2000 年起太湖航运功能价值逐步攀升, 但是在 2007 年出现小幅度降低, 这可能与当年发生的蓝藻水华污染事故存在一定联系。10 年间太湖生态系统航运服务价值从 2000 年的 655.49 亿元逐步上升到 2009 年的 1203.58 亿元。太湖流域运输业不断发展是导致太湖航运功能价值攀升的原因。

表 1 2000—2009 年太湖主要水产品产量(t)

Table 1 Output of main aquatic products in the Taihu Lake (Unit is ton)

年份 Year	梅鲚 Coilia ectenes	银鱼 Whitebait	草鱼 Grass carp	鲢鱼 Silver carp	鲤鱼 Common carp	鲫鱼 Crucian carp	虾 Shrimp	贝类 Shellfish
2000	12755.81	1605.52	380.14	948.01	1528	1953.73	1781.55	5056
2003	19747.5	745.92	267.6	726	1042	1461.95	1782.89	5684
2007	19917	298	420	1651	1468	1530	2681.6	810
2009	20135	1050	530	5507	983	995	2200	6450

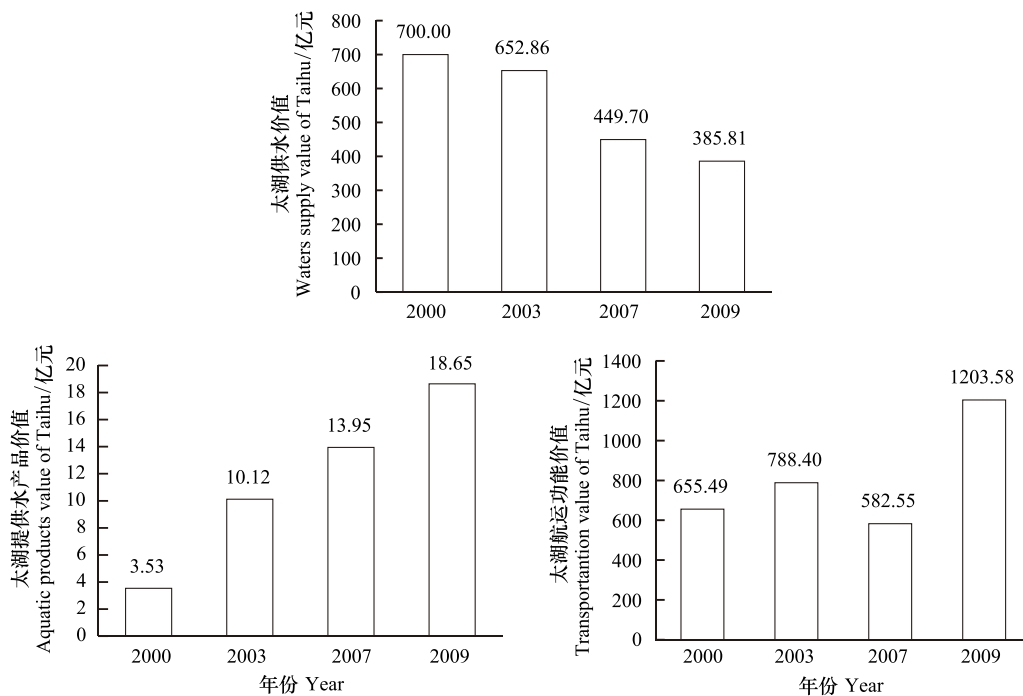


图 1 2000—2009 年太湖生态系统供给服务价值

Fig.1 Ecosystem service values of supply by the Taihu Lake in 2000—2009

3.2 近十年太湖生态系统调节服务价值变化评估

3.2.1 大气调节

太湖水域面积为 2338 km², 2000 年、2003 年、2007 年和 2009 年太湖叶绿素 a 平均含量分别为 0.025×10^{-3} 、 0.02×10^{-3} 、 0.023×10^{-3} g/m³ 和 0.019×10^{-3} g/m³^[23]。首先根据浮游植物初级生产力与表层叶绿素 a 浓度之间的经验模型, 计算太湖生态系统固碳量和释氧量。造林成本和释氧成本分别取 260.90×10^{-3} 元/kg C 和 0.4 元/kg O₂^[24], 从而计算出 2000 年、2003 年、2007 年及 2009 年太湖大气调节功能价值分别为 6.95 亿元、6.93 亿元、6.94 亿元和 6.93 亿元; 进一步贴现到 2009 年(图 2), 结果表明: 2000 年至 2009 年间太湖生态系统大气调节功能价值变化较小。由于控制污染物排放的力度低于污染物排放的强度, 因而太湖生态系统大气调

节价值小幅度降低。今后应加大太湖流域污染治理的力度,提高太湖生态系统调节大气的价值。

3.2.2 输沙功能

注入太湖的水系主要分布在太湖的西部和南部,其中以苕溪、荆溪两大水系最为重要,其入湖通流量占入湖径流总量的 80%以上。由于湖泊中的悬浮沙一直处于移动状态,无法判定准确时间段的输沙量,考虑到湖泊输沙价值的体现是一个长期的过程,因而本研究在估算湖泊输沙价值时,将其视为一个恒定的值。采用两溪的多年平均输沙量为 $2.43 \times 10^5 \text{ t}$ [25],可计算人工清理河道成本费用为 1.5×10^{-3} (北方) [26]— 4.7×10^{-3} 元/kg (南方) [27],本研究采取南方人工清理河道成本费用 (4.710^{-3} 元/kg),利用机会成本法对其价值进行计量,由此估算太湖生态系统输沙功能多年平均价值为 0.0114 亿元。

3.2.3 水质净化

2000 年、2003 年、2007 及 2009 年全太湖截流固定的 TN 分别为 2.7×10^7 、 2.5×10^7 、 1.8×10^7 、 1.7×10^7 kg, TP 分别为 106×10^4 、 89×10^4 、 248×10^4 、 76×10^4 kg,湖泊的 N、P 净化功能的价值可按生活污水处理成本 N 为 1.5 元/kg, P 为 2.5 元/kg 进行估算。由此可估算近十年来太湖生态系统水质净化功能的价值(图 2)。2000—2009 年间太湖生态系统水质净化服务功能价值由 0.60 亿元降低到 0.28 亿元,说明太湖的自净能力有所降低、环境容量变小、污染排放却日益加重,这也是导致太湖水污染的重要因素之一。水质净化功能是太湖近年来亟需提升的功能之一。

3.2.4 调蓄洪水

太湖是流域防洪的调蓄中心,在抵抗流域洪涝灾害过程中,太湖利用自身较大的防洪库容,配合科学的防洪调度、蓄泄兼筹,拦蓄洪水,可把全流域的洪涝灾害损失降低到最低程度 [28]。由公式(7)可推算 2000 年、2003 年、2007 年和 2009 年太湖生态系统调蓄洪水功能价值(图 2)。2000—2009 年间太湖生态系统调蓄洪水功能价值为 18.11—18.62 亿元,基本保持恒定。太湖生态系统对调洪抗洪起到了缓解作用,在一定程度上防治或减少了洪水灾害带来的生命财产损失。

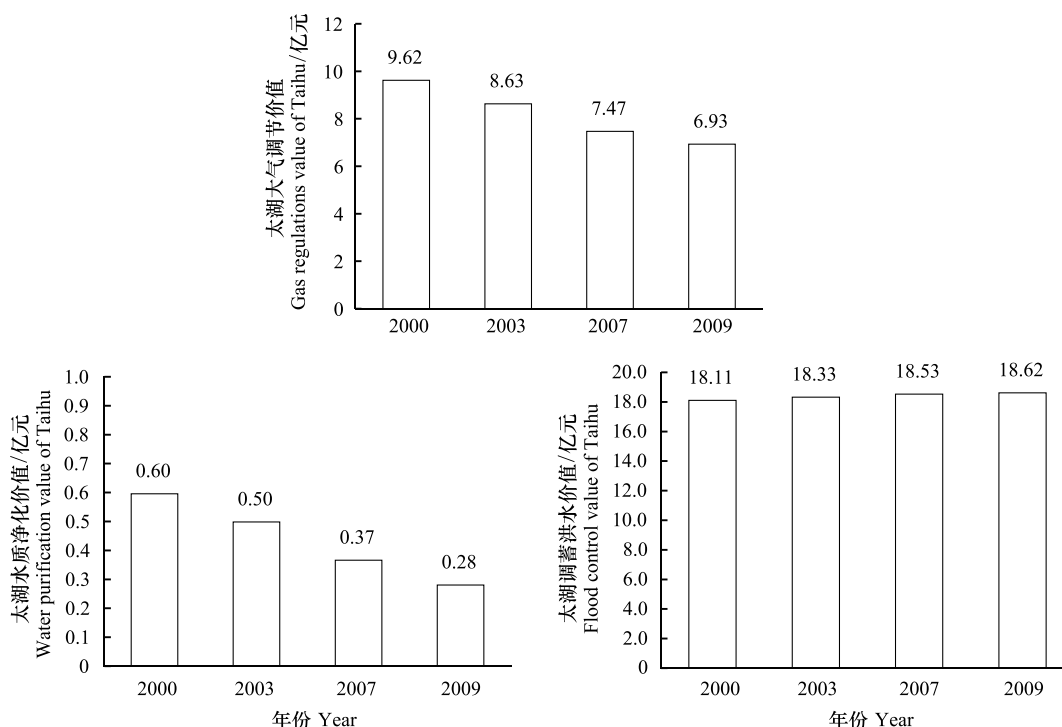


图 2 2000—2009 年太湖生态系统调节价值的变化

Fig.2 Changes of Taihu ecosystem service value of regulation in 2000—2009

3.3 近十年太湖生态系统支持服务价值变化评估

3.3.1 蓄水功能

根据太湖流域及东南诸河水资源公报^[17],可知 2000 年、2003 年、2007 年和 2009 年度太湖蓄水总量分别为 47.3、49.2、45.9 亿 m^3 和 50.5 亿 m^3 。由于每建设 1 m^3 库容需投入成本 0.67 元/ a ^[29],据此可计算各年度太湖生态系统的蓄水功能价值(图 3)。2000—2009 年间太湖的蓄水功能价值逐渐降低,其中 2007 年蓄水功能价值出现下降明显,可能是受 2007 年降水量等气象因素以及太湖蓝藻水华污染事件的影响。

3.3.2 土壤保持

据中科院 1997—2000 年的调查,全太湖有泥区并且淤积厚度大于 0.1 m 的面积约为 1631.8 km^2 ,占太湖总面积的 69.83%;泥层厚度小于 0.1m 的面积约为 706 m^2 。东、西太湖的西南与西部以及竺山湾、梅梁湾、贡湖湾以及东山岛与西山岛周边淤泥平均厚度为 0.5 m,东太湖为 1.17 m,竺山湾为 0.78 m,梅梁湾为 0.75 m,贡湖湾为 0.47 m,西太湖近岸带为 2 m^[30]。太湖平均底泥厚度为 0.82 m,底泥蓄积量为 19.15 亿 m^3 ^[31],多年平均淤积量为 3.410⁵ t/a ^[32]。并根据流域农业总产值和总播种面积,可估算太湖流域单位农田年均收益(表 2)。

表 2 2000—2009 年度太湖流域单位农田年均收益

Table 2 Annual average benefits per farmland in the Taihu Watershed

年份 Year	农业总产值/($\times 10^8$ 元) The total agricultural output value	总播种面积/($\times 10^4 \text{ hm}^2$) The total planting area	单位农田年均收益/(元/ hm^2) The annual profits of one hm^2 farmland
2000	2509.1	2043.86	1.228×10^4
2003	2600	1951.13	1.333×10^4
2007	3588.44	1950.81	1.84×10^4
2009	6414.04	1951.4	3.287×10^4

再根据公式(9)估算 2000 年、2003 年、2007 年和 2009 年太湖生态系统的土壤保持功能价值(图 3)。随着太湖流域工农业的发展,10 年间太湖生态系统的土壤保持功能价值逐渐提高,已由 2000 年的 0.009 亿元上升到 2009 年的 0.018 亿元,这与太湖流域的农业经济迅速增长存在一定相关关系。

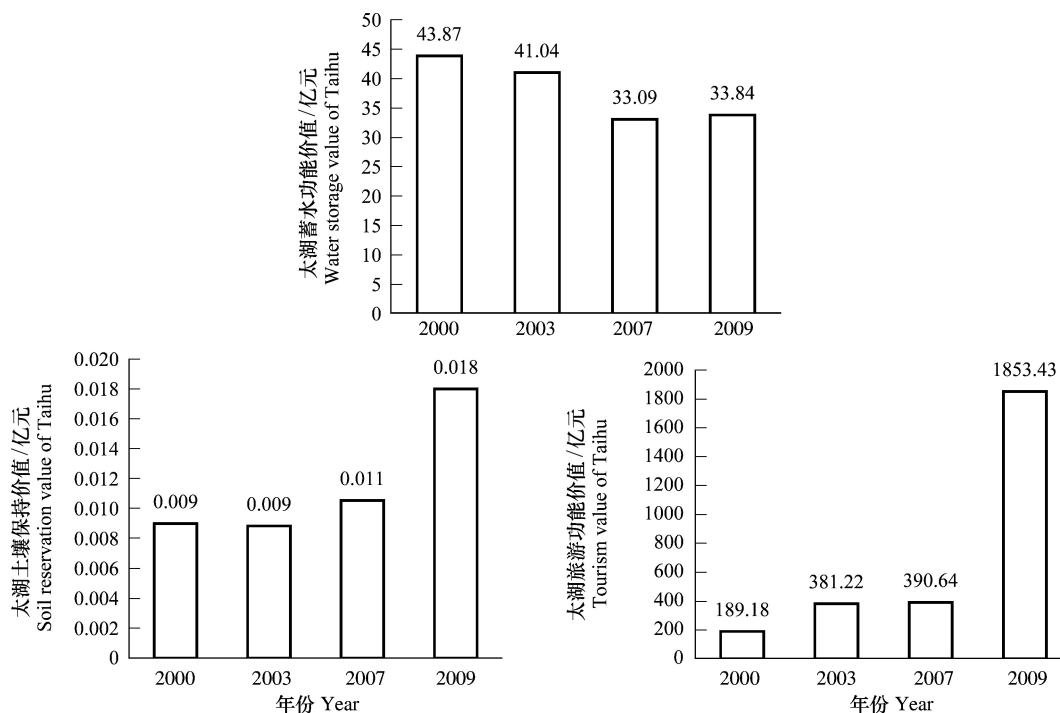


图 3 2000—2009 年太湖生态系统蓄水、水土保持及旅游功能价值的变化

Fig.3 Changes of Taihu ecosystem service value of water resource storage, soil conservancy and tourism in 2000—2009

3.3.3 生物多样性维持

太湖生态系统维持生物多样性主要表现在太湖沿岸以及湖面水体是野生动物的栖息地或避难所。Costanza 估算了全球 23 种生态系统类型的十种公益价值,其中,湿地提供栖息地或避难所的价值为 304 美元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ [6]。胡金杰推算出 2003 年太湖生态系统提供生境,维持生物多样性价值为 6.07×10^8 元 [10]。考虑到栖息地价值的体现是一个长期的过程,在短期内价值视为几乎不变的,2000 年,2003 年,2007 年和 2009 年的太湖栖息地价值应该变化不大,因而本文在估算 2000,2003,2007 和 2009 年的栖息地价值时,将其视为一个恒定的值 [10]。将 2000,2003,2007 和 2009 年贴现到 2009 年,其总价值应为 7.56×10^8 元。

3.4 近十年太湖生态系统文化服务价值变化评估

根据太湖有关景区选取标准,选取与太湖湖水相关的、距离太湖 15 km 以内的 3A 级以上(包含 3A 级)景区。2000 年、2003 年、2007 年及 2009 年太湖流域内符合标准的景点占总景点的百分数分别为 11.7%、12.3%、26.47% 及 27.51%。再根据 2000 年、2003 年、2007 年及 2009 年旅游总收入数据可估算出这些年份太湖旅游功能价值(图 3)。2000—2009 年间太湖流域旅游事业发展迅速,太湖生态系统旅游功能价值已由 2000 年的 189.18 亿元增加到 2009 年的 1853.43 亿元,增长了约 10 倍。由 2007 年旅游功能价值增长不明显表明,当年蓝藻水华污染事件对当地旅游产生了明显的负面影响。

3.5 近十年太湖生态系统服务功能总价值变化评估

由表 3 说明,2000 年太湖生态系统服务功能总价值为 1627.98 亿元,其中价值最大的是供水功能,占总价值的 43.00%,其次是航运功能价值,占总价值的 40.26%,这两类功能占总价值的 83.26%。因而 2000 年太湖生态系统服务功能中供水功能和航运功能是太湖的核心功能。2000 年太湖生态系统服务功能价值构成中,供给服务功能占 83.48%,这说明该年生态系统服务主要体现为供给功能。2003 太湖生态系统服务功能总价值为 1908.68 亿元,其中价值最大的是航运功能,占总价值的 41.31%;其次是供水功能价值,占总价值的 34.20%,这两类功能占总价值的 75.51%。因而,2003 年太湖生态系统服务功能中航运功能和供水功能是太湖的核心功能。2003 年太湖供给服务功能占 76.04%,这说明该年生态系统服务仍主要体现为供给功能,但是比 2000 年降低了 7.44%。2007 太湖生态系统服务功能总价值为 1503.99 亿元,其中航运功能价值最大,占

表 3 太湖生态系统服务功能价值比较

Table 3 Comparison of ecosystem service values of the Taihu

功能类型 Ecosystem service		年份 Year							
		2000		2003		2007		2009	
		价值量 Value/ $\times 10^8$ Yuan	比例 Proportion /%	价值量 Value/ $\times 10^8$ Yuan	比例 Proportion /%	价值量 Value/ $\times 10^8$ Yuan	比例 Proportion /%	价值量 Value/ $\times 10^8$ Yuan	比例 Proportion /%
供给功能	供水功能	700.00	43.00	652.86	34.20	449.81	29.91	385.81	10.93
Supply function	提供水产品	3.53	0.22	10.12	0.53	13.95	0.93	18.65	0.53
	航运功能	655.49	40.26	788.40	41.31	582.55	38.73	1203.58	34.11
调节功能	大气调节	9.62	0.59	8.63	0.45	7.47	0.50	6.93	0.20
Regulation function	输沙功能	0.0114	0.0007	0.0114	0.0006	0.0114	0.0008	0.0114	0.0003
	水质调节	0.60	0.04	0.50	0.03	0.37	0.02	0.28	0.01
	调蓄洪水	18.11	1.11	18.33	0.96	18.53	1.23	18.62	0.53
支持功能	蓄水功能	43.87	2.69	41.04	2.15	33.09	2.20	33.84	0.96
Supporting function	土壤保持	0.009	0.001	0.009	0.0005	0.011	0.001	0.018	0.001
	维持生物多样性	7.56	0.46	7.56	0.40	7.56	0.50	7.56	0.21
文化功能	旅游功能	189.18	11.62	381.22	19.97	390.64	25.97	1853.43	52.52
Cultural function									
功能总价值		1627.98	100	1908.68	100	1503.99	100	3528.73	100
The total value of lake service									

总价值的 38.73%,其次供水功能价值占总价值的 29.91%,这两类功能就占总价值的 68.64%。因而 2007 年太湖生态系统服务功能中航运功能和供水功能是太湖的核心功能。2007 年太湖生态系统服务功能价值构成中,供给服务功能占 69.57%,因而 2007 年生态系统服务仍主要体现为供给功能,但比 2003 年仅降低了 6.47%。2009 太湖生态系统服务功能总价值为 3528.73 亿元,其中旅游功能价值最大,占总价值的 52.52%,其次航运功能价值占总价值的 34.11%,这两类功能就站总价值的 86.63%。因而,2009 年旅游功能和航运功能是太湖的核心功能。太湖生态系统服务功能价值构成中,文化服务功能占 52.52%,这说明 2009 年生态系统服务主要体现为文化功能。这一点与以往几年不同,旅游功能价值超过航运价值成为太湖生态系统的核心价值,同时供水价值所占比例逐年降低。

对 2000 年、2003 年、2007 年和 2009 年太湖各类服务功能价值汇总获得近十年太湖生态系统服务总价值分别为 1627.98、1908.68、1503.99 亿元和 3528.73 亿元(表 3)。10 年间太湖生态系统服务功能价值保持逐渐升高的趋势,但是在 2007 年却意外降低,这与 2007 年太湖的蓝藻水华污染事件关系密切。由于蓝藻水华爆发,可能导致太湖供水功能和航运功能等主要功能显著下降,进而导致太湖服务功能总价值的降低。

从 2000 年到 2009 年太湖生态系统服务功能价值构成发生了一些变化,但是不论怎样变化,航运功能、供水功能和旅游功能一直是太湖的核心功能。太湖航运功能促进了城乡间的物资交流,为太湖地区生产的发展发挥了举足轻重的作用。供水功能价值作为太湖的核心功能之一进一步证实了太湖作为长三角地区供水水源的重要性。但是随着流域工农业的发展,太湖水质越来越无法达到饮用标准,因此防止太湖水质继续恶化、保护太湖水环境仍任重而道远。太湖依托稀有山水资源,具有众多 3A 级以上风景区,近年来国内旅游线路倍受欢迎,并且世界各地的游客也慕名而来;充分发挥太湖生态系统的旅游价值对本区域的发展具有巨大推动作用。

近年来太湖的部分服务功能(例如供水功能,大气调节功能,水质净化功能以及蓄水功能)一直处于下降趋势,应当予以高度重视。同时通过分析也可以看到输沙功能、水质净化功能及土壤保持功能价值相对甚微,说明太湖本身输沙冲淤以及自净能力并不显著。未来对太湖生态系统进行资源管理规划时,如果只重视航运、供水等供给服务价值或旅游等文化价值,而忽略其调节服务功能或支持服务功能价值,可能会造成太湖生态系统服务的损失甚至其功能的丧失,使太湖生态系统遭到破坏。

本研究对 2000 年到 2009 年太湖生态系统服务功能进行了货币化评估,估算了服务功能价值的变化,其意义在于充分认识湖泊生态系统的独特价值和作用,为合理开发利用淡水资源提供了信息资料和理论依据。需要说明的是,太湖生态系统服务功能的价值随着时间是不断变化的,这主要是由于太湖面临着严峻的环境问题所导致的生物资源破坏、供水危机、调蓄能力下降、水质全面下降以及水文景观受损等原因造成。根据许妍等人的研究^[33]显示,近年来太湖流域由低风险为主导向中等生态风险转变,环太湖地区是风险源危险度非常高的区域尤其是针对污染排放的风险源,使得太湖面临巨大的接纳污染的压力。近十年来,太湖蓝藻问题频繁发生,其中 2007 年发生的蓝藻水华污染事件给人们敲响了警钟。为保证太湖流域生态环境与社会经济可持续发展,建议以湖泊生态系统服务功能价值为指导,对现有资源实施合理地利用和有效地保护,加强太湖的生态恢复。

4 结论

(1) 近十年来太湖生态系统各类服务功能总价值呈逐步增加的趋势,其中 2000 年、2003 年、2007 年和 2009 年太湖生态系统各类服务功能总价值分别为 1627.98、1908.68、1503.99 亿元和 3528.73 亿元。

(2) 从 2000 年到 2009 年太湖流域生态系统服务功能价值构成发生了一些变化,由服务功能价值以供水功能为主体变为以航运功能为主体,近年来又变为以旅游功能为主体,总体上由供给功能向文化功能的转变。

(3) 由于 2007 年太湖发生严重的蓝藻水华事件,导致当年太湖生态系统服务功能价值意外降低。蓝藻水华可能对太湖供给功能、支持服务功能、文化服务功能产生负面影响。

参考文献 (References):

- [1] Peters C M, Gentry A H, Mendelsohn R O. Valuation of an A-mazonian rainforest. *Nature*, 1989, 339(29): 655-656.
- [2] Serafy S E. Pricing the invaluable: The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Ecological Economics*, 1998, 25(1): 25-27.
- [3] Daily G C, Soderquist T, Aniyar S, Arrow K, Dasgupta P, Ehrlich P R, Folke C, Jansson A M, Kautsky N, Levin S, Lubchenco J, Mäler K G, Simpson D, Starrett D, Tilman D, Walker B. The value of nature and the nature of value. *Science*, 2000, 289(5478): 395-396.
- [4] Westman W. How much are nature's services worth? *Science*, 1997, 197(4307): 960-964.
- [5] Pimentel D, Harvey C, Resosudarmo P, Sinclair K, Kurz D, McNair M, Crist S, Shpritz L, Fitton L, Saffouri R, Blair R. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 1995, 267(5201): 1117-1123.
- [6] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, Oneill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [7] 赵同谦, 欧阳志云, 郑华, 王效科, 苗鸿. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价. *自然资源学报*, 2004, 19(4): 480-491.
- [8] 谢高地, 张镜铨, 鲁春霞, 郑度, 成升魁. 中国自然草地生态系统服务价值. *自然资源学报*, 2001, 16(1): 47-53.
- [9] 赵同谦, 欧阳志云, 王效科, 苗鸿, 魏彦昌. 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.
- [10] 胡金杰. 太湖生态系统服务价值评估 [D]. 扬州: 扬州大学, 2009.
- [11] 李家才. 总量控制与太湖流域水污染治理——《太湖流域水环境综合治理总体方案》述评. *环境污染与防治*, 2010, 32(4): 96-100.
- [12] 水利部太湖流域管理局. 2011 年太湖流域及东南诸河水资源公报. [2012-09-08]. <http://www.tba.gov.cn/tba/content/TBA/lygb/szygb/JCMS000000051415.html>.
- [13] 王斌, 杨艳刚, 张彪, 杨校生. 常州市水生态系统服务功能分析及其价值评价. *湖南农业科学*, 2010, (23): 72-76.
- [14] 张运林, 冯胜, 马荣华, 刘明亮, 秦伯强. 太湖秋季真光层深度空间分布及浮游植物初级生产力的估算. *湖泊科学*, 2008, 20(3): 380-388.
- [15] 朱威, 贾更华, 姚淑君. 太湖流域综合治理成本与效益分析. *水利水电快报*, 2009, 30(9): 47-58.
- [16] 王浩, 陈敏建, 唐克旺. 水生态环境价值和保护对策. 北京: 清华大学出版社, 北京交通大学出版社, 2004.
- [17] 水利部太湖流域管理局. 2009 年太湖流域及东南诸河水资源公报. [2010-11-25]. <http://www.tba.gov.cn/tba/content/TBA/lygb/szygb/JCMS000000034151.html>.
- [18] 货币政策司. 中央银行基准利率. 2010-12-27 [2013-08-28]. http://www.pbc.gov.cn/publish/zhengcehuobisi/631/2010/20101227152332776967398/20101227152332776967398_.html.
- [19] 江苏省统计局. 江苏统计年鉴-2010. 北京: 中国统计出版社, 2010.
- [20] 浙江省统计局. 浙江统计年鉴-2010. 北京: 中国统计出版社, 2010.
- [21] 安徽省统计局. 安徽统计年鉴-2010. 北京: 中国统计出版社, 2010.
- [22] 上海市统计局. 上海统计年鉴-2010. 北京: 中国统计出版社, 2010.
- [23] 中华人民共和国国家统计局. 中国环境统计年鉴—2009. 北京: 中国统计出版社, 2009.
- [24] 《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. 北京: 中国环境科学出版社, 1998.
- [25] 吴小根. 太湖的泥沙与演变. *湖泊科学*, 1992, 3(4): 54-60.
- [26] Li Z K. Study on the Value of Forest Resource in Beijing // CAF & ITTO. International Symposium on Forest Environmental Value Accounting. Beijing: Chinese Forestry Press, 2001.
- [27] Guo Z W, Xiao X M, Gan Y L, Zheng Y J. Ecosystem functions, services and their values—a case study in Xingshan County of China. *Ecological Economics*, 2001, 38(1): 141-154.
- [28] 章杭惠. 浅论太湖在太湖流域防洪中的作用. *浙江水利科技*, 2010, (6): 22-26.
- [29] 庄大昌, 欧维新, 丁登山. 洞庭湖湿地退田还湖的生态经济效益研究. *自然资源学报*, 2003, 18(15): 536-543.
- [30] 陈刚, 徐恒力, 孙自永, 朱锦旗, 贾晓青, 陈杰. 太湖流域生态系统结构分析及其演化研究. 北京: 地质出版社, 2008.
- [31] 王同生. 太湖流域防洪与水资源管理. 北京: 中国水利水电出版社, 2006: 10-11.
- [32] 尹义星, 许有鹏, 陈莹. 太湖最高水位及其与气候变化、人类活动的关系. *长江流域资源与环境*, 2009, 18(7): 609-614.
- [33] 许妍, 高俊峰, 郭建科. 太湖流域生态风险评价. *生态学报*, 2013, 33(9): 2896-2906.