

香溪河河流生态系统服务功能评价

王 欢^{1,2}, 韩 霜^{1,2}, 邓红兵¹, 肖 寒¹, 吴 钢^{1,*}

(1. 城市与区域生态国家重点实验室 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 河流作为水资源的重要载体, 在水资源危机日益严峻的我国, 有特别重要的意义。尤其是近年来国内对水电开发的强度不断上升, 如何科学地评价河流在不同情况下给人类带来的效益, 进而有效地开发与管理河流生态系统, 是生态学家面临的重大任务和挑战。香溪河是三峡水库湖北段的最大支流, 其生态系统服务功能的正常发挥与否会影响河流沿岸居民的生产生活, 也会影响其自身和相关生态系统的稳定, 其河流的状况将直接影响到三峡水库。在对河流生态系统服务功能分类的基础上, 结合数据的可获得性, 对部分河段生态系统服务功能进行初步评价。研究表明, 所研究河段生态系统服务功能总价值可达 8.41×10^8 元 a^{-1} , 各种功能的价值量排序为贮水功能 > 发电 > 旅游 > 调蓄洪水 > 水供给 > 水产品 > 输沙 > 净化 > 大气组分调节 > 控制侵蚀。经分析所研究河段的水电开发和旅游功能是其核心服务功能, 提出在河流管理中既要考虑到核心功能的发挥, 又要保证其它功能的支持作用得以实现的管理策略。

关键词: 河流生态系统; 服务功能; 评价; 香溪河

文章编号: 1000-0933(2006)09-2971-08 **中图分类号:** P339, Q14, TV21 **文献标识码:** A

A preliminary assessment on the Xiangxi River ecosystem services

WANG Huan^{1,2}, HAN Shuan^{1,2}, DENG Hong-Bing¹, XIAO Han¹, WU Gang^{1,*} (State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(9): 2971~2978.

Abstract: River, as an important water carrier, has special significance in China, where water resource crisis is getting increasingly worse. During the past a few years, many rivers in China have been developed by building hydropower stations. How to scientifically appraise the rivers' responses to the development in different situations, and how to effectively develop and manage the river ecosystems, represent a significant obligation and challenge for ecologists. The Xiangxi River is the longest tributary in Hubei portion of the Three Gorges Reservoir. The status of the river can influence the reservoir in many ways. The function of the river ecosystem services may impact the living and working conditions of the surrounded habitants and the sustainable development of related ecosystems and the river itself. Based on the past studies about the ecosystem services on water ecosystems, this paper divides the river ecosystem services by the characteristics of composition and structure, ecological processes and effectiveness of river ecosystems, into three categories: providing goods, regulating and supporting, cultural services. As a result, the total monetary value of the calculated services of the studied reaches of Xiangxi River was 8.41×10^8 Yuan RBM a^{-1} in 2003. The values of various services were ordered as water storage > hydro-energy > traveling > flood control > supplying fresh water > aquatic product > transportation of sand > water purification > gas regulation > erosion control. It also showed that traveling and hydro-energy were among the most important ecosystem services. River management strategy is proposed to optimize all the

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70403014, 70325002, 70203012, 30330140); 中国科学院知识创新工程重要方向资助项目(KSCX2-SW-111)

收稿日期: 2006-03-28; **修订日期:** 2006-07-19

作者简介: 王欢(1978~), 女, 硕士, 主要从事环境管理与可持续发展研究. E-mail: wang-huan@mails.gucas.ac.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wug@cees.ac.cn

Foundation item: The project was supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 70403014, 70325002, 70203012, 30330140); The Important Directional Item of CAS Knowledge Innovative Project (No. KSCX2-SW-111)

Received date: 2006-03-28; **Accepted date:** 2006-07-19

Biography: WANG Huan, Master, mainly engaged in environmental management and sustainable development. E-mail: wang-huan@mails.gucas.ac.cn

services to keep river the status of ecosystem sustainable development.

Key words: river ecosystem; services; assessment; Xiangxi River

河流生态系统是生态系统的重要类型,因其在流域中所占面积较小,其生态系统服务功能往往被人们所忽视。Costanza^[1]的评价表明,河流和湖泊的面积占评价地区总面积的 1.3%,但其提供的生态系统服务功能却占到了 13.7%,其单位面积的服务功能价值 7.0×10^4 元 $\text{km}^{-2} \text{a}^{-1}$ (取 1 美元折合 8.273 元人民币),是森林的 8 倍多,是草地的 36 倍多。因此充分发挥河流生态系统的服务功能是人类可持续发展的必然选择;另外,对河流生态系统的服务功能的定量评价,有助于全面认识河流的价值,科学合理地利用河流,达到河流利用的生态效益与经济效益双赢,为建设和谐社会提供保障;河流是流域生态系统的重要组成部分,其功能正常发挥和评价为整个流域生态系统健康和科学管理提供科学依据;对河流各项功能的计算也为合理利用水资源和进行水利建设等决策提供依据。

到目前为止,对淡水和湿地生态系统服务功能的评价较多^[2],但对河流的服务功能主要集中在娱乐功能上,评价方法多为条件价值评估法^[3]。虽然有些研究对河流生态系统服务功能进行了定性的描述^[4,5],但对河流生态系统服务功能的全面研究和计算还较少,对某一条河流进行生态系统服务功能的评价还少有开展。

香溪河是三峡水库湖北段的最大支流,其服务功能和开发利用的状况将直接影响到沿岸居民的生产生活和三峡水库。对其功能进行评价有利于保护河流生态系统结构与功能的完整、科学合理的评价人类活动的影响,使香溪河更好地为地方经济发展和区域生态环境服务。本文在总结河流生态系统服务功能的基础上,对香溪河部分河段生态系统服务功能进行评价,试图为河流生态系统服务功能的评价提供参考。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区域概况

香溪河是长江的支流,发源于神农架山脉南麓,拥有九冲河、古夫河、高岚河三条主要支流(见图 1),由北向南贯穿兴山县全境,于秭归县归洲镇汇入长江,干流全长 94 km,流域面积 3099 km^2 ,自然落差 1540 m。水能资源十分丰富,年产水量 $19.56 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[6]。由于资料的可获得性,本研究主要以资料较全的香溪河的峡口镇以上部分为计算河段,研究河段总长 1083.577 km(包括支流长),产水量为 $12.6 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

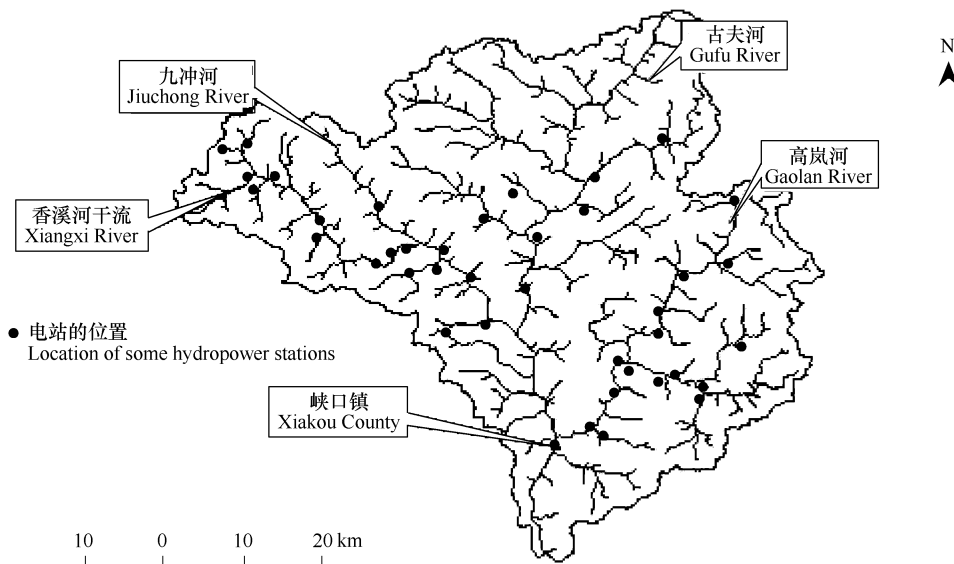


图1 香溪河流域图

Fig. 1 Xiangxi River map

1.2 数据来源

利用兴山县、神农架 2003 年统计资料和相关地方部门(农业局、水利局、旅游局、水文站和环保局等)的调查统计资料,对研究河段 2003 年的河流服务功能进行评价。

2 研究方法

2.1 河流生态系统服务功能内涵及分类

河流生态系统的服务功能是指河流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^[7,8]。这里的河流包括河源到河口之间的河道、河岸地区,河道、河岸和洪泛区中有关的地下水、湿地、河口以及其他淡水流入的近岸环境^[9]。对于不同类型的生态系统,生态系统服务功能具有不同的表现形式,对于生态系统服务的分类是评价或计算生态系统服务功能的基础^[10]。根据河流生态系统组成特点、结构特征、生态过程和效用,并参考国内外水生生态系统及湿地生态系统服务功能的分类方法^[4,8~12],把河流生态系统的服务功能划分为提供产品功能、调节支持功能、文化功能三大类。其中,提供产品功能也称为直接服务功能,是可以在市场上进行交换的,其价值通常被称为直接使用价值,包括水供给、水产品、水电、水运、旅游、基因产品提供等;支持调节功能和文化功能也称为间接服务功能,因为其在常规市场上不能直接交换,它们的价值通常被称为间接使用价值,包括贮水功能、大气组分调节、气候调节、调蓄洪水、控制侵蚀、输沙、净化、养分循环和输送、野生生物栖息地、文化教育科研等功能。

2.2 所研究河段河流生态系统服务功能及评价方法

根据所研究河段的特点和数据的可获得性,这里仅对直接服务功能中的水供给、水产品、水电、旅游功能和间接服务功能中的贮水功能、大气组分调节、调蓄洪水、控制侵蚀、输沙、净化等 10 项功能进行评价。

2.2.1 水供给功能 水是人类生存和发展的宝贵资源,香溪河是当地重要的淡水供给源,为人类提供饮水、农业灌溉用水、工业用水以及城镇生态环境用水等。

河流水供给功能的评价利用市场价值法,计算公式为:

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

式中, W_w 为水供给功能价值; A_i 为 i 种用途的水量; P_i 为 i 种用途水的单位成本价格。

根据《兴山县水利水电取水口基本情况调查》的数据和水利局水资源收费标准,所研究河段的取水的情况和当地的水资源价格(表 1):

表 1 所研究河段水供给量及单位价格

Table 1 The amount of water supply and the average price of the study river reaches				
用水方式 Water using style	工业 Industry	农业 Agriculture	城镇水厂 Water factory in the town	农村生活用水 Living water usage in the county
用水量(×10 ⁴ t) Amount of water usage	3190.4	821	985.9	290.5
单位价值(元/t) Average price (Yuan RMB/t)	0.04	0.0378	0.02	0.02

2.2.2 水产品功能 河流生态系统中生活着丰富的水生植物和水生动物,为人类生存提供了物质保障,包括:生活必需品和原材料以及畜牧业和养殖业的饲料,如水稻、芦苇等;为人类提供了优质的碳水化合物和蛋白质,如鱼、虾、贝、蟹等。

水产品功能价值的计算公式为:

$$W_p = \sum U_i \cdot Pai = \sum S_i \cdot Y_i \cdot Pai$$
(2)

式中, W_p 为水产品价值; U_i 为水产品的量; S_i 为第 i 类物质的播种或生产面积; Y_i 为第 i 类物质的单位面积产量; Pai 为第 i 类物质的成本价格。

研究河段虾、蟹、贝等的产量极少,河边的大型水生植物也很少作为经济作物进行交换,因此这里只对河流中的鱼类产品进行计算。

根据兴山县农业年报中的渔业生产情况鱼类捕捞产量 187 t,单位价格取当地市场价格 8 元/kg 计算。

2.2.3 水能发电功能 河流的落差形成了丰富的势能,水力发电是该能量的有效转换形式,众多的水电站藉

此兴建,为人类提供了大量能源。

发电价值用市场价值法,计算公式为:

$$W_e = \sum E_i \cdot P_b \quad (3)$$

式中, W_e 为发电价值; E_i 为 i 电站的年发电量; P_b 为单位电的成本价格。

香溪河上水电站众多,截至 2003 年,仅兴山段已建设运行的电站就达 47 座,目前正在陆续上马的电站 10 多座。所研究河段上有 50 多座电站,这里取可获得资料的 47 座电站的数据,年设计发电量总和为 56788×10^4 kWh,单位电的成本价格按农村上网电价 0.21 元/kWh 计算。

2.2.4 旅游功能 根据数据的可获得性,我们采用费用支出法,这里的费用支出是指游客旅行总费用的实际支出,包括交通、食宿和门票等服务费用,还有旅行时间花费和其它附属费用,计算公式如下:

$$W_t = C + S + T + O^{[13]} \quad (4)$$

式中, W_t 为旅游价值; C 为旅行费用支出; S 为消费者剩余; T 为旅游时间价值; O 为其他费用。

研究河段的旅游价值主要体现在以河流为依托的神龙洞和香溪源景点。为了避免重复计算,游览人数按香溪源的游览人数 25×10^4 人 a^{-1} 来计算。

旅游费用支出、消费者剩余和其他费用的值可根据兴山县当地旅游局的统计结果,即旅游及其带动的相关产业产生的价值是门票价值的 5.5 倍(包括旅馆、饭店、交通运输等),根据目前年门票收入 250×10^4 元,则结果为 1375.0×10^4 元。这种算法忽略了旅游者乘坐火车和飞机的费用。

旅游时间价值的计算,用公式:

$$T = T_t \cdot S_o \quad (5)$$

式中, T 同上式; T_t 为旅游总时间; S_o 为游客的机会工资。在旅行时间花费价值的计算中,游客的工资按 38.5 元/d 计算^①,游客机会工资成本取其工资的 40%^[13],考虑到旅游项目和游客的状况,旅游总时间取 1d。

所研究河段的兴山地区旅游业发展很快,但许多景点(高岚仙境等)的规划管理需要过程,这方面的投资还较小,旅游资源的开发与旅游资源并不匹配,因此旅行费用法不能完全体现该地区的旅游价值,因此这种方法得到的结果会低于实际值。

2.2.5 贮水功能 河流除了为人类提供可用的水以外,还是一个天然的容器,起到存贮水源、补充和调节周围湿地径流及地下水水量的作用。这种功能类似于天然的湖泊,但是它的跨度和可供给范围远远大于湖泊,并减少了许多水库等贮水工程和引水工程的建设。

贮水功能价值利用替代工程法进行计算,计算公式为:

$$W_r = A \cdot P_c \quad (6)$$

其中, W_r 为贮水价值; A 为河段潜在的贮水水量; P_c 为这种潜在水量的获得成本(单位蓄水量的库容成本)。

根据河流的特点,对供水功能的利用只是其服务功能的一部分,因此应在保证其他功能正常的情况下来评价。由国际大坝组织的生态用水不低于水资源总量的 30% 的理论可知^②,贮水水量为多年平均河流年径流量的 70%。所研究河段多年平均径流量为 12.6×10^8 m³,取其 70%,再加上水库建设增加的贮水功能 15318×10^4 m³,则总贮水功能量为 10.4×10^8 m³。单位贮水价值,取每建设 1 库容需投入的成本 0.67 元(1990 年不变价)^[14]。

2.2.6 大气组分调节功能 河流生态系统的浮游植物,着生藻类和河岸带的各种湿生植物等可以吸收一定 CO₂,并释放 O₂。另外,河流生态系统可以通过水面蒸发和植物蒸腾作用,增加区域空气湿度,有利于空气中

① 国家统计局关于 2003 年全国城镇单位在岗职工平均工资的公告

② 叶亚平. 复合生态系统水生态服务功能评价及调控方法研究. 中国科学院研究生院博士论文. 2004. 25~54

污染物质的去除,从而使空气得到净化。这里只对前一个方面功能进行计算。

对于香溪河,其洪泛区内植被较少,且多为不规则分布的一些杂草,河中并无芦苇、水稻等,也无大型水生植物,因此本研究仅以着生藻类的净初级生产力来估算整条河流的 O_2 和 CO_2 的调节功能。

受实验条件和自然情况等因素的制约,只在每级河流中选取 2 个样点(8 月份)用黑白瓶法对生产力进行了原位测定^[15,16],得出河流平均单位固 CO_2 量为 $71.87 \text{ mg } CO_2 / (m^2 \cdot d)$,平均单位释放氧气的量为 $52.91 \text{ mg } O_2 / (m^2 \cdot d)$ 。

将所有调查河段的宽度进行加权平均,计算出所研究河段的平均河宽为 16.31 m ,所研究河段长度取 1083.577 km ,这样河流有水部分的面积近似为 17673140.9 m^2 。因为研究河段河水较浅,结合实际测量,这里取藻类的生长面积为有水部分的面积。经计算得到吸收 CO_2 量为 463.5 t ,释放氧气的量为 337.2 t 。C 的单位固定价值采用中国造林成本和国际碳税标准的平均值 770 元/t ; O_2 的单位释放价值用造林成本法和工业制氧价格的平均值 376.465 元/t ^[17]。

这里的评价实际上只是对河流一个季节的藻类生长情况和河流的水量情况进行的评价,实际上香溪河附石藻类密度、叶绿素 a 浓度、物种丰富度等都显现出冬季高于夏季的趋势。夏季是香溪河的丰水期,生境相对不稳定,所以藻类生长不够旺盛,因此结果偏小。

2.2.7 调蓄洪水功能 一方面,指河流湿地具有巨大的渗透能力和蓄水能力。由于湿地植物吸收、渗透降水,致使降水进入江河的时间滞后,入河水量减少,从而减少了洪水径流量,达到削减洪峰的目的。如长江口湿地发挥水分调节功能的主要区域为芦苇和海三棱蔗草生长区^[18]。另一方面,河流上兴建的水库也起到调节洪水,减少灾害的作用。这里以所研究河段水库防洪功能来估算调蓄洪水功能。

水库调蓄洪水功能的价值可以利用其所保护耕地避免产生的综合农业损失来进行计量,计算公式为:

$$W_f = A_p \cdot P_e + P_o \quad (7)$$

式中, W_f 为调蓄洪水功能的价值; A_p 为保护的耕地面积; P_e 为耕地的效益; P_o 为其他效益(包括保护人畜,房屋等),这里以防汛费用代替。对于所研究河段,4~10 月中旬是此流域的丰水期,约占全年降雨量的 88%,因此洪水主要对该流域的夏粮造成威胁,根据《2003 年度兴山县国民经济统计资料摘要》单位面积夏粮产值按 2558.30 元/hm^2 计算。水库保护耕地的面积取 507 hm^2 ,保护 22900 人,人均防汛费按 25 元/人 计算。

2.2.8 控制侵蚀功能 包括河口泥沙造陆功能、河岸湿地控制土壤养分流失的功能和防止风浪对河岸侵蚀的功能,这里仅对造陆功能进行评价。

因为泥沙观测站接近于所研究河段的末端,这里假设所有泥沙都在河口处有造陆功能。造陆面积计算公式为:

$$A_m = M \div W \div T_b \quad (8)$$

式中, A_m 造陆面积; M 为造陆泥沙量; W 为土壤平均容重; T_b 为土壤表土平均厚度。这里取表土平均厚度 0.5 m ,土壤平均容重 1.28 t/m^3 ^[19],根据兴山水文站的资料年均输沙量为 $18.89 \times 10^4 \text{ t/a}$,计算得造陆面积为 29.5 hm^2 。

该功能的生态经济价值可采用机会成本法进行估算,计算公式为:

$$W_m = A_m \cdot P_d \quad (9)$$

式中, W_m 为造陆价值; P_d 为单位土地面积收益。根据香溪河流域兴山县的情况,这里假设造陆的土地全部种稻谷,根据《2003 年度兴山县国民经济统计资料摘要》单位土地面积收益可取 3404.25 元/hm^2 。

2.2.9 河流输沙功能 河流输沙是指河水运移泥沙、冲刷河床上的淤积物、疏通河道的作用^[8]。河流的输沙为河道进一步泄洪,排水提供了条件。

输沙功能的价值计算公式为:

$$W_s = U \cdot L \quad (10)$$

式中, W_s 为河流输沙价值; U 为河流年均输沙量; L 为人工清理河道成本费用。一般人工清理河道成本费用为 1.5 元/t(北方)^[20], 4.7 元/t(南方)^[21]。根据对当地的调查, 香溪河的清理费用为 5.0 元/t, 年均输沙量为 18.89×10^4 t。

2.2.10 净化功能^[22] 河流生态系统能够通过稀释、吸附、过滤、扩散、氧化还原等一系列物理和生物化学反应来净化由径流带入河流的污染物, 起到净化水质的作用。组成河流生态系统的陆地河岸生态系统、湿地及沼泽生态系统、水生态系统等子系统都对水环境污染具有很强的净化能力。

香溪河流域兴山段内, 工业废水排放总量为 1021.16×10^4 t, 生活污水排放量为 197.10×10^4 t, 面源污染为 COD 990.69 t/a, 兴山县境内向香溪河排放废水, 共折合氮 458.18 t/a, 总磷 66.02 t/a。按生活污水处理成本氮 1.5 元/kg, 磷 2.5 元/kg 进行估算^[23] 来计算所研究河段实际废物处理价值。

这种方法忽略了污染物中的 CN^- 、COD 等分量及处理成本, 因此结果比实际偏低。

3 评价结果与讨论

研究计算的是香溪河所研究河段现实情况下的生态系统服务, 可称之为现实服务功能^[24]。研究结果表明, 此功能总价值可达 8.41×10^8 元/a, 相当于河段所属临近乡镇、县(兴山县、木鱼镇)国民收入的 54%。各项服务价值的评估结果见表 2。各种功能的价值量排序为贮水功能 > 发电 > 旅游 > 调蓄洪水 > 水供给 > 水产品 > 输沙 > 净化 > 大气组分调节 > 控制侵蚀。

所研究河段的贮水功能和发电功能最大, 分别占评价的总服务功能的 82.9% 和 14.2%, 其次是旅游功能占 2.1%, 最小的是侵蚀控制功能仅占 0.01%。间接使用价值是直接使用价值的 5.0 倍, 表明河流生态系统提供巨大的间接价值, 因此在管理开发河流时应注意保护和合理利用。研究区域内能显著促进人类生存及生活质量、对区域可持续发展更为重要的生态系统服务功能称为核心服务功能^[24]。这里计算的贮水功能主要指河流能够提供水资源储备容器的作用, 它是否是区域的核心服务功能决定于其是否与当地人生活及生活质量密切相关。因为该地区气候较湿润加上贮水功能可以通过工程途径方便获得, 所以它并不是核心服务功能。发电和旅游是地区经济发展的推动力, 因此这两个功能是所研究河段的核心功能, 在河流开发利用和管理中应该充分发挥。同时, 对于目前价值量小的净化功能和输沙功能等, 应注意

表 2 评价结果汇总

Table 2 The final results of services valuation of the study river reaches

功能类型 Services type		价值量($\times 10^4$ 元/a) Value($\times 10^4$ Yuan RMB/a)
水供给 Supplying fresh water		184.2
水产品 Aquatic product		149.6
发电 Hydro-energy		11926.0
旅游 Traveling		1760.0
贮水功能 Water storage		69680.0
大气组分调节 Gas regulation	固 C 量 C fixation	9.7
	释放 O_2 O_2 released	12.8
调蓄洪水	人 Person	57.3
	农田 Field	129.6
控制侵蚀功能(造陆) Erosion control (Land making)		10.0
河流输沙 Transportation of sand		94.5
净化功能 Water purification	总氮 Total N	68.7
	总磷 Total P	16.5
合计 Total		84098.9

到这些功能的减小和损害会影响核心功能的正常发挥。如水质下降会影响景观的可观赏性进而影响旅游功能, 也会给发电设备带来更多的腐蚀和磨损, 影响发电功能; 输沙受阻会增加河流的排洪压力, 甚至不能正常泄洪, 造成洪涝灾害等等。因此, 在河流管理中既要考虑到核心功能的发挥, 又要保证其它功能的支持作用得以实现。

香溪河孕育了许多适应其生境的水生生物。据调查, 20 世纪 80 年代末, 该河上有经济价值高的齐口裂腹鱼 (*Schizothorax (S.) prenanti* (Tchang))、泥鳅 (*Misgurnus anguillicaudatus*)、圆口铜鱼 (*Coreius guichenoti* (Sauvage et Dabry)) 等, 经济价值不高, 但数量较多的宽鳍纹胸鲃 (*Glyptothorax fukiensis fukiensis* (Rendahl))、具氏高原鳅 (*Triplophysa (T.) plekeri* (Sauvage et Dabry))、短体副鳅 (*Paracabitis potanini* (Gunther))、蛇鲇 (*Saurogobio dabryi*)、马口鱼 (*Opsariichthys bidens* Gunther) 等鱼类达 39 种^[25]。除此之外, 还有丰富的小型水生生物: 扁圆卵形藻 (*Cocconeis placentula*)、线形曲壳藻 (*Achnanthes linearis*) 和优美桥弯藻 (*Cymbella delicatula*) 等附石藻类 204 种^[26];

水生昆虫、软体动物、甲壳类、扁形动物和蛭类等,大型无脊椎动物 121 种^[27]。这些生物是河流生态系统完成生态过程、提供生态服务的前提;河流也孕育了沿岸的居民,并形成了特殊的社会传统和历史文化,有些地方对这种因河而始的文化的看重甚至远高于河流可能带来的经济利益^[28]。然而由于方法不成熟等原因,这里对于调节气候、提供生物栖息地和文化等功能未作评价,在应用本研究的结果时应考虑到这一点,照搬结论可能会给某些决策造成误导。同时,这种评价将为香溪河的开发利用提供参考和比较的依据,并为其它河流的评价提供借鉴。

对河流生态系统服务功能进行评价的最终目的,是预测河流生态系统发生某种的改变时,它为人提供的各种服务功能将会发生怎样的变化,从而为河流的开发和利用政策的制定提供科学依据^[29]。近年来,受水电站建设、流域土地不合理开发、工业污染等因素影响^[6]香溪河自然状况发生了很大改变。因此应尽快完善相关的河流生态系统服务功能评价方法,开展不同人类干扰下功能变化的研究,为实现河流可持续利用提供科学保证。

References :

- [1] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, *et al.* The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. *Nature*, 1997, 387: 253~260.
- [2] Lu C X, Xie G D, Cheng S K, *et al.* Approaches to evaluate the effects of hydraulic engineering on river ecosystem services. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(5): 803~807.
- [3] Loomis J, Kent P, Strange L, *et al.* Measuring the economic value of restoring ecosystem services in an impaired river basin: results from a contingent valuation survey. *Ecological Economics*, 2000, 33: 103~117.
- [4] Luan J G, Chen W X. Typical characteristics and service function of river ecological system. *Yangtze River*, 2004, 35(9): 41~43.
- [5] Brismar A. River systems as providers of goods and services: A basis for comparing desired and undesired effects of large dam projects. *Environmental Management*, 2002, 29(5): 598~609.
- [6] Tang T, Qu X D, Cai Q H, *et al.* River ecosystem management-a case study of Xiangxi River. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2004, 13(6): 594~598.
- [7] Daily G C. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Washington: Island Press, 1997.
- [8] Ouyang Z Y, Zhao T Q, Wang X K, *et al.* Ecosystem services analyses and valuation of China terrestrial surface water system. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(10): 2091~2099.
- [9] Qi J Y, Ruan X H. Dam construction induced environmental impact on riverine ecosystem. *Journal of Hohai University(Natural Sciences)*, 2005, 33(1): 37~40.
- [10] Cai Q H, Tang T, Deng H B. Discussion on freshwater ecosystem service and its evaluation index system. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(1): 135~138.
- [11] Postel S, Carpenter S. *Freshwater Ecosystem Services*. In: Daily G C. Eds. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington: Island Press, 1997.
- [12] Woodward R T, Wui Y S. The economic value of wetland services: a meta-analysis. *Ecological Economics*, 2001, 37(2): 257~270.
- [13] Xue D Y, Bao H S, Li W H. A valuation study on the indirect values of forest ecosystem in Changbaishan Mountain Biosphere Reserve of China. *China Environmental Science*, 1999, 19(3): 247~252.
- [14] Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H. Primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological-economic values. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(5): 608~613.
- [15] Rodgers J H, Kenneth J, Dickson K L, *et al.* A chamber for in situ evaluations of periphyton productivity in lotic systems. *Arch Hydrobiol*, 1978, 84(3): 389~398.
- [16] Bott T L, Brock J T, Cushing C E, *et al.* A comparison of methods for measuring primary productivity and community respiration in streams. *Hydrobiologia*, 1978, 60(1): 3~12.
- [17] Xin K, Xiao D N. Wetland ecosystem service valuation — a case researches on Panjin area. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(8): 1345~1349.
- [18] Wu L L, Lu J J, Tong C F, *et al.* Valuation of wetland ecosystem services in the Yangtze river estuary. *Resources and environment in the Yangtze basin*, 2003, 12(5): 411~416.
- [19] Li J C. *Ecological Value Theory*. Chongqing: Chongqing University Press, 1999.
- [20] Li Z K. Study on the value of forest resource in Beijing, In: CAF&TIO, *International Symposium on Forest Environmental Value Accounting*. Beijing:

Chinese Forestry Press, 2001. 80~88.

- [21] Guo Z W, Xiao X M, Gan Y L, *et al.* Ecosystem functions and their values —— a case study in Xingshan County of China, *Ecol-Econ*, 2001, 38: 141~154.
- [22] Yan B Y. Evaluation of wetland ecosystem's services of Poyang Lake. *Resources Science*, 2004, 26(3): 61~68.
- [23] Zhao Y M. Science report of national nature reserve in the delta of Yellow River. Beijing: Chinese Forestry Press, 1995.
- [24] Wang W, Lu J J. An approach on ecosystem services classification and valuation. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(11): 1314~1316.
- [25] He C C. Investigation on the resources of fish in Xiangxi River. *Hubei Fishery*, 1990(3): 84~85.
- [26] Tang T, Li D F, Pan W B, *et al.* River continuum characteristics of Xiangxi River. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(1): 141~144.
- [27] Qu X D, Tang T, Xie Z C, *et al.* Distribution of macroinvertebrates in the Xiangxi River System and their relationship with environmental factors. *Journal of Freshwater Ecology*, 2005, 20(2): 233~238.
- [28] Cowana C, Stephensonb K, Shabmanc L. The role of ecosystem valuation in environmental decision making: Hydropower relicensing and dam removal on the Elwha River. *Ecological Economics*, 2006, 56: 508~523.
- [29] Wang W, Lu J J. Ecosystem services and their value of Sanyang Wetland. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 404~407.

参考文献:

- [2] 鲁春霞, 谢高地, 成升魁, 等. 水利工程对河流生态系统服务功能的影响评价方法初探. *应用生态学报*, 2003, 14(5): 803~807.
- [4] 栾建国, 陈文祥. 河流生态系统的典型特征和服务功能. *人民长江*, 2004, 35(9): 41~43.
- [6] 唐涛, 渠晓东, 蔡庆华, 等. 河流生态系统管理研究 ——以香溪河为例. *长江流域资源与环境*, 2004, 13(6): 594~598.
- [8] 欧阳志云, 赵同谦, 王效科, 等. 水生态服务功能分析及其间接价值评价. *生态学报*, 2004, 24(10): 2091~2099.
- [9] 祁继英, 阮晓红. 大坝对河流生态系统的环境影响分析. *河海大学学报: 自然科学版*, 2005, 33(1): 37~40.
- [10] 蔡庆华, 唐涛, 邓红兵. 淡水生态系统服务及其评价指标体系的探讨. *应用生态学报*, 2003, 14(1): 135~138.
- [13] 薛达元, 包浩生, 李文华. 长白山自然保护区森林生态系统间接经济价值评估. *中国环境科学*, 1999, 19(3): 247~252.
- [14] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统生态服务功能及其生态经济价值的初步研究. *生态学报*, 1999, 19(5): 608~613.
- [17] 辛琨, 肖笃宁. 盘锦地区湿地生态系统服务功能价值估算. *生态学报*, 2002, 22(8): 1345~1349.
- [18] 吴玲玲, 陆健健, 童春富, 等. 长江口湿地生态系统服务功能价值的评估. *长江流域资源与环境*, 2003, 12(5): 411~416.
- [19] 李金昌. 生态价值论. 重庆: 重庆大学出版社, 1999.
- [20] 李忠魁. 北京森林资源价值研究. 见: CAF&ITIO, 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.
- [22] 鄢帮有. 鄱阳湖湿地生态系统服务功能价值评估. *资源科学*, 2004, 26(3): 61~68.
- [23] 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.
- [24] 王伟, 陆健健. 生态系统服务功能分类与价值评价探讨. *生态学杂志*, 2005, 24(11): 1314~1316.
- [25] 何长才. 香溪河鱼类资源调查. *湖北渔业*, 1990, (3): 84~85.
- [26] 唐涛, 黎道丰, 潘文斌, 等. 香溪河河流连续统特征研究. *应用生态学报*, 2004, 15(1): 141~144.
- [29] 王伟, 陆健健. 三洋湿地生态系统服务功能及其价值. *生态学报*, 2005, 25(3): 404~407.