

# 竺山湾湖滨缓冲带生态工程综合效益评价

——以江苏省宜兴市周铁镇为例

付文凤<sup>1</sup>, 姜海<sup>1</sup>, 房娟娟<sup>1</sup>, 管永祥<sup>3</sup>, 吴田乡<sup>3</sup>, 赵海燕<sup>2</sup>, 吴昊<sup>4</sup>

(1. 南京农业大学 公共管理学院, 江苏 南京 210095; 2. 南京农业大学 资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095;  
3. 江苏省耕地质量与农业环境保护站, 江苏 南京 210036; 4. 江苏省互联网农业发展中心, 江苏 南京 210036)

**摘要:** [目的] 对江苏省竺山湾地区宜兴市周铁镇湖滨缓冲带生态工程的综合效益进行评价, 定量分析生态工程建设的价值, 为太湖及其他流域湖滨缓冲带生态工程建设效益评价提供借鉴和参考。[方法] 在长期定点观测周铁镇竺山湾湖滨缓冲带生态工程建设和运行基础上, 从生态、社会、经济 3 层面构建包括水质净化、涵养水源、保护生物多样性、大气调节、提供就业、科研教育、社会稳定、旅游休闲、提供水产品等内容的综合效益评价指标体系, 运用成果参照法、影子工程法、旅行费用法、条件价值法、替代法、直接市场法等对各项指标价值进行评价。[结果] 周铁镇湖滨缓冲带生态工程综合效益价值约为 176.66 万元/a, 生态效益、社会效益、经济效益的价值分别为 125.55、33.61 和 17.5 万元/a, 表现为: 生态效益 > 社会效益 > 经济效益。单项指标价值对比发现, 水质净化价值最大, 达 60.52 万元/a, 大气调节价值次之, 为 47.15 万元/a。[结论] 周铁镇湖滨缓冲带生态工程建设有效改善了湖泊水环境, 生态效益最为显著, 符合生态工程建设的生态效益优先原则。

**关键词:** 湖滨缓冲带; 生态工程; 效益评价; 周铁镇

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2017)02-0268-06

**中图分类号:** X171.4, X196

**文献参数:** 付文凤, 姜海, 房娟娟, 等. 竺山湾湖滨缓冲带生态工程综合效益评价[J]. 水土保持通报, 2017, 37(2): 268-273. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.02.040; Fu Wenfeng, Jiang Hai, Fang Juanjuan, et al. Evaluation on Comprehensive Benefits of Lake Buffer Zone Ecological Engineering in Zhushan Bay[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(2): 268-273. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.02.040

## Evaluation on Comprehensive Benefits of Lake Buffer Zone

### Ecological Engineering in Zhushan Bay

—Taking an Example of Zhoutie Town, Yixing City, Jiangsu Province

FU Wenfeng<sup>1</sup>, JIANG Hai<sup>1</sup>, FANG Juanjuan<sup>1</sup>,

GUAN Yongxiang<sup>3</sup>, WU Tianxiang<sup>3</sup>, ZHAO Haiyan<sup>2</sup>, WU Hao<sup>4</sup>

(1. College of Public Administration, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China;

2. College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu

210095, China; 3. Jiangsu Station of Cultivated Land Qualitative and Agro-environmental Protection, Nanjing,

Jiangsu 210036, China; 4. Internet and Agricultural Development Center of Jiangsu Province, Nanjing, Jiangsu 210036, China)

**Abstract:** [Objective] The objective of this research is to evaluate comprehensive benefits of ecological engineering in the lake buffer zone in Zhushan Bay in Zhoutie Town, Yixing City, Jiangsu Province to quantitatively analyze the value of ecological conservation and to provide a basis and reference for the benefit assessment of ecological engineering in Taihu Lake basin and other watersheds. [Methods] Based on long-term fixed point observation of the ecological engineering construction in Zhoutie Town, we build an evaluation system from three aspects of economy, society and ecology. Indicators of evaluation system include water purification, water conservation, protection of biological diversity, air modulation, providing employment

收稿日期: 2016-09-01

修回日期: 2016-11-12

资助项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项“竺山湾湖滨缓冲带生态建设与功能修复技术集成研究及工程示范”(2012ZX07101-009); 国家公益性行业(农业)科研专项(201303089)

第一作者: 付文凤(1990—), 女(汉族), 安徽省潜山县人, 博士研究生, 研究方向为环境经济政策、土地可持续利用。E-mail: 2014209020@njau.edu.cn.

通讯作者: 赵海燕(1979—), 女(汉族), 山东省泰安市人, 博士研究生, 讲师, 主要从事农业生态环境保护研究。E-mail: haiyanzhao@njau.edu.cn.

opportunities, research and education, social stability, leisure tourism, aquatic production and so on. Methods of indicators value evaluation are reference method, shadow project method, travel cost method, contingent valuation method, substitution method and direct market method. [Results] The comprehensive benefit of lake buffer zone ecological engineering in Zhoutie Town is 1.766 6 million yuan per year, including 1.255 5 million yuan per year of ecological benefits, 336.1 thousand yuan per year of social benefits and 175 thousand yuan per year of economic benefits, that means ecological benefits > social benefits > economic benefits. The result of single index value comparison found that the value of water purification is largest, up to 605.2 thousand yuan per year. The following is the value of air modulation, which is 471.5 thousand yuan per year. [Conclusion] Ecological engineering in Zhoutie Town effectively improved the aquatic environment of lakes. The ecological benefit is most remarkable, which is in accordance with the principal that priority of ecological value is in priority in ecological engineering.

**Keywords:** lake buffer zone; ecological engineering; benefits evaluation; Zhoutie Town

太湖是中国第 3 大淡水湖,构成长三角生态的核心,为长三角的社会经济发展以及文化繁荣做出了重要贡献。2014 年太湖流域人均 GDP 为 10.4 万元,是全国人均 GDP 的 2.2 倍<sup>[1]</sup>。随着人口增长和工业化发展,流域水环境不断恶化,水质型缺水严重,一些地区的河湖水质不能达到工农业生产的需求<sup>[2]</sup>,成为制约地区经济可持续发展的重要因素<sup>[3]</sup>。湖滨缓冲带是指湖泊水体由湖岸向陆域扩展的地带,通过对径流中不同形态的氮磷等面源污染物进行拦截,控制污染物向水体迁移,将近岸区域的人类活动与水体进行隔离,是湖泊生态系统的重要组成部分,具有较高的生态、社会和经济美学价值<sup>[4-6]</sup>。并且,实践证明,加强生态工程建设,恢复和重建湖滨缓冲带生态系统,可以提高污染物拦截效果,对水环境综合治理具有重要意义<sup>[7-8]</sup>。目前国内外学者对生态工程的效益评价主要针对湿地系统<sup>[9-12]</sup>、林业工程<sup>[13-14]</sup>、流域水环境治理<sup>[15-16]</sup>等对象展开,形成了比较成熟的评价指标体系和评价方法。但已有研究多以单项生态效益价值评价为主,对涵盖生态、社会、经济等层面的综合效益分析较少。基于此,本研究将在实地调查基础上,以太湖竺山湾地区宜兴市周铁镇湖滨缓冲带生态工程为例,从生态、社会和经济 3 个层面构建湖滨缓冲带生态工程综合效益评价指标体系,分别运用相应的评价方法对各项指标价值进行评价,定量了解湖滨缓冲带生态建设的价值,提高民众对生态工程建设的认知程度,为太湖及其他流域湖滨缓冲带生态工程效益评价提供参考依据。

## 1 研究区域与工程概况

宜兴市地处江苏省西南端,是无锡市下辖的县级市,位于沪宁杭三角中心。自然地理条件优越,属海洋性季风气候,四季分明,适宜多种农作物生长,植被

多样,降水丰沛,河流湖荡密布。宜兴市总面积 1 996.6 km<sup>2</sup>(其中太湖水域面积 242.29 km<sup>2</sup>),社会经济发达,一直位居全国经济百强县市前列,2015 年,全市实现地区生产总值 1 285.6 亿元,城市化率达 63.75%。周铁镇位于宜兴市东北部,东濒太湖,太湖湖岸线长达 20 km,通湖港口多达 25 条。周铁镇镇域面积 73.2 km<sup>2</sup>,常住人口 6 万人,2015 年全社会固定资产投资 32.5 亿元,财税收入 4.74 亿元,是江苏省重点中心镇之一。2012—2015 年周铁镇共投入资金 3 014.5 万元用于湖滨缓冲带生态工程建设,工程地处太湖西北部竺山湾地区,是太湖蓝藻爆发密集,污染最严重的区域,2012 年 4 月该区域水质总体在 V 类及劣 V 类之间。工程范围为周铁镇横塘河、殷村港、太湖大堤、黄庄浜及临近陈墅港所围区域,总面积约为 4.4 km<sup>2</sup>,涉及 9 条支浜的氮磷拦截工程及 1 处新建竺山湾湿地工程。其中,9 条支浜位于周铁镇的东湖村、分水村及前观村范围内,包括黄庄浜、上墅浜、堵区浜、青店港、花干上、太湖头浜、三渎港、盛渎港及湾浜,支浜总长度 9 850 m;新建竺山湾湿地是指周铁镇东湖村滨湖地带,总面积约 23.9 hm<sup>2</sup>。具体工程措施包括生态清淤、建造护坡木桩、种植灌木柳和香蒲等植物、设置生态浮床及生态退耕等。

## 2 研究方法

### 2.1 指标体系建立

湖滨缓冲带生态工程建设以改善湖泊水环境为主要目标,在产生生态效益的同时,也带来社会和经济方面正的影响。生态效益是指工程实施对自然环境及人类生产生活环境的保护和改善效果,包括对水资源、生物、气候等产生诸多有利影响;社会效益指生态工程对周边社会带来的公共利益增加,包括对居民生活质量、健康水平、就业水平等方面的提高;经济效

益是指被人类开发利用并产生直接经济收益的效益,包括新产品产出、成本下降、产量增加等。考虑到湖滨缓冲带生态工程各项效益的显著性与测算的可行性,本文从生态、社会、经济 3 层面,选取水质净化、涵养水源、保护生物多样性、大气调节、提供就业、科研教育、社会稳定、旅游休闲、提供水产品、降低供水不足风险等 10 个指标建立湖滨缓冲带生态工程综合效益评价指标体系(表 1)。

表 1 湖滨缓冲带生态工程综合效益评价指标体系

目标层 A	准则层 B	指标层 C	计量方法
工湖 程滨 综缓 冲效 带生 态	生态 效益	C <sub>1</sub> 水质净化	替代法/成果参照法
		C <sub>2</sub> 涵养水源	成果参照法/影子工程法
		C <sub>3</sub> 保护生物多样性	成果参照法
		C <sub>4</sub> 大气调节	成果参照法/碳税法/造林成本法
	社会 效益	C <sub>5</sub> 提供就业	直接市场法
		C <sub>6</sub> 科研教育	成果参照法
		C <sub>7</sub> 社会稳定	条件价值法
	经济 效益	B <sub>3</sub> C <sub>8</sub> 旅游休闲	旅行费用法
		C <sub>9</sub> 提供水产品	直接市场法
		C <sub>10</sub> 降低供水不足风险	替代法/直接市场法

## 2.2 评价方法选择

根据周铁镇湖滨缓冲带生态工程的前期研究基础、统计资料分析和实地调查,综合国内外效益评价方法研究成果,本文将采用以下方法对湖滨缓冲带生态工程各类效益指标价值进行评价(表 1)。(1) 直接市场价格法。是指对有市场价格的产品和功能进行估价的一种方法,主要用于生态系统生产的物质产品的评价<sup>[9]</sup>。(2) 旅行费用法。常用于人们对自然景观旅游服务价值的估算,用旅游者费用支出的总和(包括交通费、食宿费等)作为景观旅游休闲价值<sup>[17]</sup>。(3) 碳税法 and 造林成本法。利用光合作用方程式,计算出单位生物量所吸收的 CO<sub>2</sub> 和释放 O<sub>2</sub>,并根据 CO<sub>2</sub> 排放收费标准和造林成本将生态指标换算成经济指标,得出固定 CO<sub>2</sub> 和释放 O<sub>2</sub> 的经济价值<sup>[11-12]</sup>。(4) 影子工程法。指在环境遭到破坏后,人工建造一个具有类似环境功能的替代工程,并用建造新工程所需的费用来表示该环境价值的估价方法<sup>[12]</sup>。(5) 条件价值法。通过问卷调查方式考察假设性市场里受访者的支付意愿,进而对商品或服务的价值进行计量的方法<sup>[16]</sup>。(6) 替代法。用某种有市场价格的替代物来间接衡量没有市场价格物品<sup>[18]</sup>。(7) 成果参照法。运用已获得的实证研究结果,通过适当调整后,转移到待研究区域,以得到待研究区域某项生态功能的价值<sup>[19]</sup>。

## 3 周铁镇湖滨缓冲带生态工程综合效益评价

### 3.1 生态效益评价

3.1.1 水质净化价值 有效截留、吸收和转化地表径流中进入湖体的氮、磷等污染物,使水质得到净化,是湖滨缓冲带生态工程的核心功能。支浜氮磷拦截工程水质净化价值的估算选用替代法,依据支浜氮磷拦截工程对水体的氮磷削减量,结合环境资源现实的生态补偿标准或治理成本来测算。在本研究中补偿标准参照《江苏省太湖流域环境资源区域补偿试点方案》中环境区域补偿标准氨氮 10 万元/t,总磷 10 万元/t 进行价值估算。新建竺山湾湿地降解污染物的价值采用谢高地等<sup>[20]</sup>的研究成果,中国陆地湿地生态系统污染物处理功能的单位面积价值为 16 086.6 元/(hm<sup>2</sup>·a)为依据测算。

水质净化价值计算公式为:

$$C_1 = Q_{TN} \cdot P_{TN} + Q_{TP} \cdot P_{TP} + S_{SD} \cdot P_{SD} \quad (1)$$

式中: C<sub>1</sub>——湖滨缓冲带生态工程水质净化价值(万元); Q<sub>TN</sub>——总氮年削减量(t); Q<sub>TP</sub>——总磷年削减量(t); P<sub>TN</sub>——总氮补偿标准或单位治理成本(万元/t); P<sub>TP</sub>——总磷补偿标准或单位治理成本(万元/t); S<sub>SD</sub>——新建竺山湾湿地面积(hm<sup>2</sup>); P<sub>SD</sub>——单位面积湿地降解污染物价值[元/(hm<sup>2</sup>·a)]; N, P 削减量通过总氮、总磷的排入量(入水体)与总氮、总磷的综合削减率确定。

2013 年 1 月—2015 年 1 月,基于水质监测断面选取原则,在周铁镇生态工程实施区选取 23 个监测断面,在对照区(未实施生态工程区)选取 11 个监测断面,监测频率为每 2 个月 1 次,动态监测水质变化情况,并查阅《江苏省统计年鉴》,考虑季节性降水分布的影响。根据对照区域检测结果和季节性降水分布对项目区水质检测数据进行修正,得到 TN, TP 的综合削减率。此外,依据公路、大堤、支浜等线性条件,将研究区分为 10 个地块,通过实地调查当地人口数、稻田(稻麦轮作)面积、菜地面积、林地面积、果园面积、养殖塘面积等信息,结合各类型污染氮、磷排放系数和地块内不同排水走向估算 TN, TP 的排入量。结合实地调研与相关统计年鉴,可得 TN, TP 排入量分别为 8 746.23, 1 018.4 kg/a, TN, TP 综合削减率约为 23.96%, 11.03%, 估算 TN 年削减量为 2 095.21 kg, TP 年削减量为 112.36 kg。因此,测算得出 C<sub>1</sub> 为 60.52 万元。

3.1.2 涵养水源价值 周铁镇新建竺山湾湿地使植被得到恢复和增加,属于水陆交错带,具有较强的渗透

和蓄水能力。根据孟宪民等<sup>[21]</sup>的研究,每1 hm<sup>2</sup>湿地可蓄水8 100 m<sup>3</sup>,竺山湾新建湿地总面积约23.9 hm<sup>2</sup>,由此得出竺山湾湿地涵养水源量为193 590 m<sup>3</sup>。利用影子工程法评估涵养水源价值,计算公式为:

$$C_2 = Q_{SD} \cdot P_{KR} \quad (2)$$

式中: $C_2$ ——湖滨缓冲带生态工程涵养水源价值(万元); $Q_{SD}$ ——新建竺山湾湿地涵养水源量(m<sup>3</sup>); $P_{KR}$ ——单位库容成本(元/m<sup>3</sup>)。

单位蓄水量库容成本以全国水库建设投资计算,每建设1 m<sup>3</sup>库容需年投入成本0.67元<sup>[22]</sup>。结合公式(2),可得 $C_2$ 为12.97万元。

**3.1.3 保护生物多样性价值** 生态系统保护生物多样性价值体现在传粉维持植物种群繁衍,对种群营养级动态进行生物控制,为定居和临时迁徙种群提供繁育栖息地的庇护服务和提供遗传资源4个方面<sup>[23]</sup>。湖滨缓冲带生态工程实施后,新建湿地使水陆交错带面积增加,保护(维持)生物多样性效果显著。根据Costanza等<sup>[23]</sup>研究湿地避难所价值为304美元/(hm<sup>2</sup>·a),折合人民币2 055.04元/(hm<sup>2</sup>·a)(1美元=6.76元)进行测算<sup>[11]</sup>。

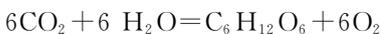
计算公式为:

$$C_3 = S_{SD} \cdot P_{SW} \quad (3)$$

式中: $C_3$ ——湖滨缓冲带生态工程保护生物多样性价值(万元); $S_{SD}$ ——新建竺山湾湿地面积(hm<sup>2</sup>); $P_{SW}$ ——单位面积湿地的生物多样性保护价值(元/(hm<sup>2</sup>·a))。因此, $C_3$ 为4.91万元。

**3.1.4 大气调节价值** 湿地通过水生植物及陆地植被的光合作用,固定大气中的CO<sub>2</sub>,向大气释放O<sub>2</sub>,从而达到对大气的调节作用。通过估算植物固定CO<sub>2</sub>和释放O<sub>2</sub>的价值之和,来间接估算大气调节功能产生的价值。采用碳税法 and 造林成本法可对湿地大气调节价值进行估算。单位生物量固碳价值取国际碳税标准150美元/t,折合人民币1 014元/t(1美元=6.76元),单位生物量制氧价值取工业制氧价格0.4元/kg<sup>[11-12]</sup>。

大气调节功能通过植物的光合作用实现,植物的光合作用需要利用一定量的太阳能,吸收一定量的CO<sub>2</sub>和水(H<sub>2</sub>O),并产生葡萄糖(C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>)和O<sub>2</sub>,最后葡萄糖转变为多糖。植物进行光合作用的方程式为:



通过相关计算可得,植物每产生1 g干物质需要1.63 g的CO<sub>2</sub>,并释放1.2 g的O<sub>2</sub>,即固定纯C量0.44 g,释放O<sub>2</sub>为1.2 g。因此,大气调节功能价值计算公式为:

$$C_4 = C(CO_2) + C(O_2) \quad (4)$$

$$C(CO_2) = Q_{SW} \times 0.44 \times PC \quad (5)$$

$$C(O_2) = Q_{SW} \times 1.2 \times PO_2 \quad (6)$$

式中: $C_4$ ——湖滨缓冲带生态工程大气调节价值(万元); $C(CO_2)$ ——固碳价值(万元); $C(O_2)$ ——制氧价值(万元); $Q_{SW}$ ——新建湿地总生物量(t/a); $PC$ ——单位生物量固碳价值(元/t); $PO_2$ ——单位生物量制氧价值(元/t)。

竺山湾湿地植物以芦苇、沉水植物、菱草、荷花等为主要群落,采样发现,平均生物量约为2.13 kg/m<sup>2</sup><sup>[24]</sup>,则新建竺山湾湿地总生物量为509.07 t/a。结合公式(4)–(6), $C_4$ 为47.15万元。

## 3.2 社会效益评估

**3.2.1 提供就业价值** 湖滨缓冲带生态工程的后期管护需要一定数量的管护人员,带来本地就业机会的增加。采用直接市场法测算提供就业价值,计算公式为:

$$C_5 = N_{GH} \cdot P_{GH} \quad (7)$$

式中: $C_5$ ——湖滨缓冲带生态工程提供就业价值(万元); $N_{GH}$ ——管护人员数量(人); $P_{GH}$ ——管护人员平均工资(元/(人·a))。

查阅工程资料,并结合实地调查发现,每条支浜氮磷拦截工程均需要1名管护人员,新建竺山湾湿地需15名管护人员,管护人员的工资水平约为5 000元/(人·a)。此外,每年需要对支浜进行一次生态清淤,一次性给予50 000元的报酬,由清淤人员自行分配。因此, $C_5$ 为17万元。

**3.2.2 科研教育价值** 太湖流域湿地生态系统复杂,动植物群丰富,新建竺山湾湿地已成为中国环境科学研究院的定点观测点,具有重要的基础研究价值、应用开发价值、教学实习价值等,科研教育价值较高。本研究采用成果参照法,取我国湿地生态系统的科研教育价值382元/hm<sup>2</sup><sup>[20]</sup>和Costanza等<sup>[23]</sup>对全球湿地生态系统科研教育价值评估的861美元/hm<sup>2</sup>的平均值3 101.18元/hm<sup>2</sup>(1美元=6.76元)为单位面积湿地生态系统的平均科研教育价值<sup>[12]</sup>。

结合新建竺山湾湿地面积,估算得出湖滨缓冲带生态工程年科研教育价值。计算公式为:

$$C_6 = P_{KY} \cdot S_{SD} \quad (8)$$

式中: $C_6$ ——湖滨缓冲带生态工程科研教育价值(万元); $P_{KY}$ ——单位面积湿地平均科研教育价值(元/hm<sup>2</sup>); $S_{SD}$ ——新建竺山湾湿地面积(hm<sup>2</sup>)。因此, $C_6$ 为7.42万元。

**3.2.3 社会稳定价值** 湖滨缓冲带生态工程建设能够改善当地居民生产生活环境,提升居民满意度,减少

因环境污染引发的经济冲突、健康损失等社会成本。采用条件价值评估法(CVM),调查本地居民生态工程建设的支付意愿(WTP),估算社会稳定价值<sup>[25]</sup>。计算公式为:

$$C_7 = WTP \cdot N_{NH} \quad (9)$$

式中: $C_7$ ——湖滨缓冲带生态工程社会稳定价值(万元); WTP——本地农村居民户均支付意愿(元/a);  $N_{NH}$ ——工程范围内农户数(户)。

通过入户调查,了解到当地常住居民对湖滨缓冲带生态工程建设费用的支付意愿<sup>[25]</sup>:一次性支付约为 163 元/户(2 a 的支付意愿),按年支付约为 136 元/户,按月支付约为 24 元/户。根据选择不同支付方式的被调查者数占所有表示愿意支付的被调查者总数的比例,得到不同支付方式所占权重:一次性支付为 0.61,按年支付为 0.29,按月支付为 0.10,得出户均支付意愿为 118 元/a。本研究工程范围内共有农户 779 户。因此, $C_7$  为 9.19 万元。

### 3.3 经济效益评估

3.3.1 旅游休闲价值 湖滨缓冲带生态工程实施会显著改善地方景观,为当地居民提供观赏、娱乐和旅游的场,具有一定旅游休闲价值。可采用旅行费用法间接估算旅游休闲价值。计算公式为:

$$C_8 = C_{FY} + C_{SY} + C_{SJ} + C_{QT} \quad (10)$$

式中: $C_8$ ——湖滨缓冲带生态工程旅游休闲价值(万元);  $C_{FY}$ ——旅行费用支出(万元);  $C_{SY}$ ——消费者剩余(万元);  $C_{SJ}$ ——旅游时间价值(万元);  $C_{QT}$ ——其他花费(万元)。

目前竺山湾湿地是一个开放性的休闲场所,无需购买门票,在此游玩和垂钓的人群以当地城镇居民为主,交通食宿等费用也可忽略不计。因此,只需考虑游玩者的时间机会成本,间接估算竺山湾湿地的旅游休闲价值。依据当地统计资料,宜兴市城镇单位职工日平均工资 162 元/d,时间机会成本一般为工资水平的 1/3<sup>[11]</sup>,即 54 元/d。经实地调查,并考虑季节、天气及节假日等特殊影响可得,每年约有 250 d,每天约有 10 人在此游玩和垂钓。因此, $C_8$  为 13.50 万元。

3.3.2 提供水产品价值 湖滨缓冲带生态工程实施后,支浜水质得到改善,天然鱼虾等产量增加,带来一定经济价值。计算公式为:

$$C_9 = N_{SC} \cdot P_{SC} \quad (11)$$

式中: $C_9$ ——湖滨缓冲带生态工程提供水产品价值(万元);  $N_{SC}$ ——水产品总产量(kg/a);  $P_{SC}$ ——水产品单价(元/kg)。

通过实地调查,平均每条支浜鱼的产量约为 150 kg/a,总产量约为 1 350 kg/a,鱼的种类一般为草鱼、鲫

鱼,两种鱼的养殖数量相当。按当地市场价格活草鱼 17.0 元/kg,鲫鱼 16.0 元/kg。因此, $C_9$  为 2.23 万元。

3.3.3 降低供水不足风险价值 湖滨缓冲带生态工程实施能够有效改善支浜水质,并达到本地居民部分日常生活要求,降低自来水供水不足的风险。依据当地居民日常用水量、水价及蓝藻爆发持续时间等因素评估湖滨缓冲带生态工程降低供水不足风险带来的价值<sup>[26]</sup>。计算公式为:

$$C_{10} = Q_{JM} \cdot P_{ZS} \cdot N_{JM} \cdot T_{FX} \quad (12)$$

式中: $C_{10}$ ——湖滨缓冲带生态工程降低供水不足风险价值(万元);  $Q_{JM}$ ——人均月均自来水使用量(t/(月·人));  $P_{ZS}$ ——自来水价格(元/t);  $N_{JM}$ ——居民人数(人);  $T_{FX}$ ——风险持续时间(月)。

太湖是宜兴市周铁镇的主要饮用水源,90 年代初开始,太湖蓝藻爆发,给当地居民的生产生活造成极大不便。太湖蓝藻爆发时间集中在每年的 5—6 月,持续时间约 2 个月<sup>[2]</sup>,当地自来水可能无法正常供应。经实地调查,宜兴市周铁镇农村居民自来水平均用水量为 1.33 t/(月·人),当地自来水费为 2.8 元/t,工程范围内有居民 2 375 人。因此, $C_{10}$  为 1.77 万元。

### 3.4 单项指标价值对比

测算结果(表 2)显示:周铁镇湖滨缓冲带生态工程综合效益显著,达 176.66 万元/a,生态效益、社会效益及经济效益分别为 125.55,33.61 和 17.5 万元,分别占综合效益的 71.07%,19.03%,9.90%。单项指标价值量大小依次为:水质净化价值>大气调节价值>提供就业价值>旅游休闲价值>涵养水源价值>社会稳定价值>科研教育价值>保护生物多样性价值>提供水产品价值>降低供水不足风险价值。

表 2 周铁镇湖滨缓冲带生态工程综合效益评价结果

目标层 A	准则层 B	指标层 C	价值/(万元·a <sup>-1</sup> )	小计/(万元·a <sup>-1</sup> )
工湖 程滨 综缓 冲带 生态	B <sub>1</sub> 生态 效益	C <sub>1</sub> 水质净化	60.52	125.55
		C <sub>2</sub> 涵养水源	12.97	
		C <sub>3</sub> 保护生物多样性	4.91	
		C <sub>4</sub> 大气调节	47.15	
	B <sub>2</sub> 社会 效益	C <sub>5</sub> 提供就业机会	17.00	33.61
		C <sub>6</sub> 科研教育	7.42	
		C <sub>7</sub> 社会稳定	9.19	
	B <sub>3</sub> 经济 效益	C <sub>8</sub> 旅游休闲	13.50	17.50
		C <sub>9</sub> 提供水产品	2.23	
		C <sub>10</sub> 降低供水不足风险	1.77	
总计/(万元·a <sup>-1</sup> )			176.66	176.66

## 4 结论

(1) 本研究以宜兴市周铁镇湖滨缓冲带生态工

程为例,从生态、社会、经济 3 个层面,选取了水质净化、涵养水源、保护生物多样性、大气调节、提供就业、科研教育、社会稳定、旅游休闲、提供水产品、降低供水不足风险等 10 个指标进行评价。评价结果显示,周铁镇湖滨缓冲带生态工程综合效益为 176.66 万元/a,生态效益>社会效益>经济效益,单项指标价值对比发现水质净化价值最大,达 60.52 万元/a。可见,周铁镇湖滨缓冲带生态工程建设有效净化了湖泊水质,生态工程建设取得的生态效益最为突出,符合湖滨缓冲带生态工程建设生态效益优先的原则。

(2) 通过对周铁镇湖滨缓冲带生态工程综合效益进行评价,直观地显示出湖滨缓冲带生态工程在维持区域生态系统稳定和促进经济社会发展中所发挥的重要作用。同时,本研究建立的评价指标体系和评价方法,可为其他地区生态工程效益评价提供借鉴和参考。但由于生态服务功能评价体系和方法众多,评估标准和规范尚未统一,可能存在评价精度问题或动态价值评价问题。因此今后的研究中还需要进一步发展和完善估算方法和估算体系。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 太湖流域管理局. 太湖流域及东南诸河水资源公报(2014年)[R]. 上海:太湖流域管理局,2015.
- [2] 路云霞,吴长年,黄戟,等. 由“无锡太湖水华事件”论太湖富营养化的防治[J]. 生态学杂志,2007,14(2):155-157.
- [3] 陈荷生. 太湖生态修复治理工程[J]. 长江流域资源与环境,2001,10(2):173-178.
- [4] Mark E G, Anthony T O, David L. Vegetative Filter Strips for Nonpoint Source Pollution Control in Agriculture[M]. California: Division of Agriculture and Natural Resources, 2006.
- [5] Ye Chun, Li Chunhua, Yu Haichan, et al. Study on ecological restoration in near-shore zone of a eutrophic lake, Wuli Bay, Taihu Lake[J]. Ecological Engineering, 2011,37(9):1434-1437.
- [6] 叶春,李春华,陈小刚,等. 太湖湖滨带类型划分及生态修复模式研究[J]. 湖泊科学,2012,24(6):822-828.
- [7] 颜昌宙,金相灿,赵景柱,等. 湖滨带退化生态系统的恢复与重建[J]. 应用生态学报,2005,16(2):360-364.
- [8] Hees P A W V, Jones D L, Nyberg L, et al. Modelling low molecular weight organic acid dynamics in forest soils[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2005,37(3):517-531.
- [9] Woodward R T, Wui Y S. The economic value of wetland services: A meta-analysis[J]. Ecological Economics, 2001,37(2):257-270.
- [10] 徐婷,徐跃,江波,等. 贵州草海湿地生态系统服务价值评估[J]. 生态学报,2015,35(13):4295-4303.
- [11] 王凤珍,周志翔,郑忠明. 城郊过渡带湖泊湿地生态服务功能价值评估:以武汉市严东湖为例[J]. 生态学报,2011,31(7):1946-1954.
- [12] 韩美,张晓慧. 黄河三角洲湿地主导生态服务功能价值估算[J]. 中国人口·资源与环境,2009,19(6):37-43.
- [13] 果超,孙保平,方思超,等. 儋州市退耕还林工程生态效益评价[J]. 水土保持通报,2015,35(4):308-313.
- [14] 赖亚飞,朱清科,张宇清,等. 吴旗县退耕还林生态效益价值评估[J]. 水土保持学报,2006,20(3):83-87.
- [15] 郑国权,杨宪杰,温美丽,等. 广东省小流域综合治理效益的定量评价:以瑶安小流域为例[J]. 水土保持通报,2016,36(4):237-243.
- [16] 许罗丹,黄安平. 水环境改善的非市场价值评估:基于西江流域居民条件价值调查的实证分析[J]. 中国农村经济,2014(2):69-81.
- [17] Iamtrakul P, Student D, Teknomo K, et al. Public park valuation using travel cost method[J]. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2005(5):1249-1264.
- [18] 王昌海,温亚利,李强,等. 秦岭自然保护区群的社会效益计量研究[J]. 中国人口·资源与环境,2011,21(7):113-121.
- [19] 赵玲,王尔大. 基于 Meta 分析的自然资源效益转移方法的实证研究[J]. 资源科学,2011,33(1):31-40.
- [20] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报,2003,18(2):189-196.
- [21] 孟宪民,崔保山,邓伟,等. 松嫩流域特大洪灾的警示:湿地功能的再认识[J]. 自然资源学报,1999,14(1):14-21.
- [22] 李金昌. 生态价值论[M]. 重庆:重庆大学出版社,1999.
- [23] Costanza R D, Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997,387(15):235-260.
- [24] 黄玉洁. 太湖典型湿地恢复区植物群落及沉积物特征[D]. 江苏南京:南京林业大学,2011.
- [25] 房娟娟,付文凤,赵海燕,等. 湖滨带农村常住居民支滨生态修复需求与支付意愿:以太湖竺山湾地区为例[J]. 嘉兴学院学报,2015,27(1):88-92.
- [26] 阿雷莫夫,塔拉索娃. 风险评价与管理[M]. 邢涛,译. 北京:对外经济贸易大学出版社,2011.