doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 04. 034

高原湖泊型湿地生态系统服务价值评估研究

——以云南玉溪抚仙湖国家湿地公园为例

付元祥[1],马国强[1,2],王亚萍[3],李秋洁[4],魏 雯[3],王德芬[5],余 刚[5]

(1. 国家林业和草原局西南调查规划院,云南 昆明 650031; 2. 兰州大学 生命科学学院,甘肃 兰州 730000;
3. 昆明理工大学 建筑与城市规划学院,云南 昆明 650500; 4. 中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司,
云南 昆明 650051;5. 澄江市抚仙湖国家湿地公园保护管理中心,云南 澄江 652500)

摘要:通过将云南玉溪抚仙湖国家湿地公园生态系统服务价值分为供给服务价值、生态调节服务价值、精神文化服务价值 3 个一级指标,食物生产(A1)、淡水资源(A2)等 8 个二级指标进行评估体系构建并计算其生态系统服务价值。结果显示:云南玉溪抚仙湖国家湿地公园生态系统服务价值总量为 4.17×10^9 元,其中,生态调节服务价值最高,为 2.41×10^9 元,占价值总量的 57.90%;其次为精神文化服务价值 1.71×10^9 元,占 40.91%;最后为供给服务价值 4.95×10^7 元,占 1.19%。在二级指标中,价值量排序为美学旅游>气候调节>水质净化>文化科研>生物栖息地>固碳释氧>淡水资源>食物生产。

关键词:生态系统服务功能;供给服务价值;生态调节服务价值;价值评估;云南玉溪抚仙湖国家湿地公园

中图分类号:S718. 557;Q178. 5　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1671-3168(2023)04-0202-05

引文格式:付元祥,马国强,王亚萍,等. 高原湖泊型湿地生态系统服务价值评估研究——以云南玉溪抚仙湖国家湿地公园为例[J]. 林业调查规划,2023,48(4):202-206. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 04. 034

FU Yuanxiang, MA Guoqiang, WANG Yaping, et al. Evaluation of Ecosystem Service Value of Plateau Lake Wetland——A Case Study of Yuxi Fuxian Lake National Wetland Park in Yunnan[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(4):202-206. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 04. 034

Evaluation of Ecosystem Service Value of Plateau Lake Wetland

——A Case Study of Yuxi Fuxian Lake National Wetland Park in Yunnan

FU Yuanxiang[1], MA Guoqiang[1,2], WANG Yaping[3], LI Qiujie[4], WEI Wen[3], WANG Defen[5], YU Gang[5]

(1. Southwest Investigation and Planning Institute of National Forestry and Grassland Administration, Kunming 650031, China;
2. College of Life Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 3. College of Architecture and Urban Planning, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China;
4. PowerChina Kunming Engineering Corporation Ltd., Kunming 650051, China;
5. Protection and Management Center of Fuxian Lake National Wetland Park, Chengjiang, Yunnan 652500, China)

Abstract: By dividing the ecosystem service value of Xuxi Fuxian Lake National Wetland Park in Yunnan into three first-level indicators, namely, supply service value, ecological regulation service value, spirit-

收稿日期:2021-12-30.
基金项目:国家林业和草原局西南调查规划院科技项目(2023-007).
第一作者:付元祥(1987-),男,山东临沂人,高级工程师. 主要从事湿地规划设计监测等研究.
责任作者:马国强(1982-),男,甘肃天水人,高级工程师. 主要从事自然保护地规划设计、自然资源调查监测等研究工作.
Email:maguoqiang0825@ 163. com

ual and cultural service value, and eight second-level indicators, such as food production (A1) and freshwater resources (A2), an evaluation system was constructed to calculate the ecosystem service value. The resluts showed that the total value of ecological service system of Fuxian Lake National Wetland Park was 4.17×10^9 yuan, the value of ecological regulation service was the highest, 2.41×10^9 yuan, accounting for 57.90% of the total value; the second value was spiritual and cultural service, 1.71×10^9 yuan, accounting for 40.91% of the total value; the lowest value was supply service, 4.95×10^7 yuan, accounting for 1.19% of the total value. The value order of second-level indicators was aesthetic tourism > climate regulation > water quality purification > cultural research > biological habitats > carbon sequestration and oxygen release > freshwater resources > food production.

Key words: ecosystem service; supply service value; value of ecological regulation service; value evaluation; Xuxi Fuxian Lake National Wetland Park in Yunnan

湿地是地球上最重要的三大生态系统之一,被誉为“地球之肾”,是可持续发展的重要资源[1]。然而,随着城市和经济的发展,生态环境发展与保护的矛盾冲突越来越明显,导致生态环境不断恶化,自然环境的生态功能也逐步减弱。建设国家湿地公园对于保护和恢复湿地生态系统具有十分重要的作用,是我国湿地保护管理系统的重要组成部分[2]。

截至 2022 年底,我国国家湿地公园已达 903 处。国内外学者对于湿地生态系统服务价值的评估多集中于中国沿海地区,对于西南高原地区的湿地生态系统服务价值研究较少。云南省地处青藏高原南延地带[3],湿地类型多样、特色鲜明,资源丰富。抚仙湖是我国蓄水量最大的深水型淡水湖泊,是珠江源头第一大湖、云南九大高原湖泊之一。其地质构造上的特殊性孕育了典型的高原湖泊湿地动植物资源,包括鳡浪鱼、抚仙金线鲃等多种抚仙湖特有鱼种以及多样的植被类型,云南玉溪抚仙湖国家湿地公园依托抚仙湖湖体及其湖滨带进行保护和建设,近年来通过系统的保护和治理取得了显著成效,但因其特定的供给功能和环境条件,存在着保护压力巨大、保护资金缺失、保护能力较低等问题,随着国家生态补偿政策的出台,科学合理地计算抚仙湖生态系统服务价值,对未来国家湿地公园生态补偿资金的申请、湿地保护和管理计划的制定具有非常重要的作用。

1 研究地区及研究方法

1.1 研究区域概况

云南玉溪抚仙湖国家湿地公园(以下简称“抚仙湖湿地公园”)距云南省昆明市东南部 60 km,隶属玉溪市,流域地跨澄江、江川和华宁 3 县。总面积为 22 971.65 hm^2,其中,水面面积 21 655.74 hm^2。地理坐标为北纬 24°21′16.26″~24°38′2.06″,东经 102°49′21.72″~102°57′25.49″。

1.2 研究方法

生态系统服务价值(ecosystem services values, ESV)是指人类直接或间接从生态系统获得的利益。因为生态系统功能是多样的,其服务功能的价值体现也是多元的。结合生态普适性和突出区域特色、坚持生物生产性、坚持实物度量性和坚持数据可获性等湿地生态系统价值评估原则[4],将国家湿地公园生态系统服务价值分为供给服务价值(A)、生态调节服务价值(B)、精神文化服务价值(C)3 个一级指标,食物生产($A1$)、淡水资源($A2$)、气候调节($B1$)、固碳释氧($B2$)、水质净化($B3$)、生物栖息地($B4$)、美学旅游($C1$)和文化科研($C2$)8 个二级指标进行价值计算。所采用评估方法主要有:市场价值法[5-6]、旅行费用法[7]、影子工程法[8-9]、替代成本法[10]、科研投入法[11-12]、生态价值法等(表 1)。根据国内外研究情况,选择不同的评价方法对不同指标进行核算和评估。

2 抚仙湖湿地公园生态系统服务价值评估

2.1 供给服务价值

抚仙湖湿地公园内总面积为 22 971.65 hm^2,以水面及林地为主,并主要分布于西岸和东岸[13]。因此将产品供给服务分为食物生产($A1$)、淡水资源($A2$)两个二级指标,并采用市场价值法进行核算。其中,食物生产涉及淡水渔类产品及农作物种植;湿地提供的淡水资源主要指其生活及工农业的用水量,计算公式为:

$$ESV_A = A_1 \times P_1 + A_2 \times P_2 + A_3 \times P_3 \quad (1)$$

式中:ESV_A 为供给服务价值;A_1 为渔产品产量;P_1

表 1　云南玉溪抚仙湖国家湿地公园生态系统服务价值核算指标

Tab. 1　Evaluation indicators of ecosystem service value of Xuxi Fuxian Lake National Wetland Park in Yunnan

一级指标	二级指标	评估范围	评价方法
供给服务(*A*)	食物生产(*A*1)	渔产品	市场价值法
		作物产量	市场价值法
	淡水资源(*A*2)	工农业、生活用水	市场价值法
生态调节服务(*B*)	气候调节(*B*1)	温度调节	影子工程法
		湿度调节	影子工程法
	固碳释氧(*B*2)	固碳	替代成本法
		释氧	替代成本法
	水质净化(*B*3)	降解污染物	影子工程法
	生物栖息地(*B*4)	避难所价值	生态价值法
精神文化服务(*C*)	美学旅游(*C*1)	旅游消费	旅行费用法
	文化科研(*C*2)	湿地面积	科研投入法

为渔产品价格;A_2 为作物生产量;P_2 为作物单价;A_3 为淡水资源利用量;P_3 为淡水利用价格。

2.2 生态调节服务价值

生态调节服务包括气候调节(*B*1)、固碳释氧(*B*2)、水质净化(*B*3)、生物栖息地(*B*4)4 个二级指标,计算公式为:

$$ESV_B = ESV_{B1.1} + ESV_{B1.2} + ESV_{CO_2} + ESV_{O_2} + ESV_J + ESV_{live} \quad (2)$$

式中:ESV_B 为生态调节服务价值;$ESV_{B1.1}$ 为湿度调节价值;$ESV_{B1.2}$ 为温度调节价值;ESV_{CO_2} 为固碳价值;ESV_{O_2} 为释氧价值;ESV_J 为水质净化价值;ESV_{live} 生物栖息地价值。

2.2.1 气候调节价值

抚仙湖湿地公园地理位置优越,流域常年均温 15.5℃,湖面气温略高于湖四周其他地区气温,因而湖泊是个天然热库[13],对湿度(*B*1.1)和温度(*B*1.2)的调节作用较明显,因此采用影子工程法从这两个功能上计算其价值。

湿度调节价值计算公式为:

$$ESV_{B1.1} = S_{B1.1} \times E_{B1.1} \times V_{B1.1} \times P_{1.1} \quad (3)$$

式中:$S_{B1.1}$ 为湿地水面面积;$E_{B1.1}$ 为湿地公园年均水面蒸发量;$V_{B1.1}$ 为加湿器蒸发 1 m^3 水的耗电量;$P_{1.1}$ 为当年电价。

温度调节价值计算公式为:

$$ESV_{B1.2} = \frac{Q_{B1.2} \times P_{1.2}}{EER} \quad (4)$$

式中:$Q_{B1.2}$ 为湿地蒸发吸收的总热量;$P_{1.2}$ 为当年电价;EER 为常见空调能效比均值。

2.2.2 固碳释氧价值

固碳释氧价值包括湿地植物固定 CO_2 与释放 O_2 两方面。

固碳价值计算公式为:

$$ESV_{CO_2} = S_4 \times Q_4 \times P_4 \quad (5)$$

式中:S_4 为湿地植被面积;Q_4 为云南省植被碳储量(t);P_4 为固碳价格(元/t)。

释氧价值计算公式为:

$$ESV_{O_2} = \frac{S_4 \times Q_4 \times 1.63}{1.2 \times P_5} \quad (6)$$

式中:S_4 为湿地植被面积;Q_4 为云南省植被碳储量;P_5 为释氧价格。根据光合作用方程式 $CO_2+H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6+O_2$ 计算可知,生态系统每生产出 1 g 干物质,能固定 CO_2 1.63 g,释放 O_2 1.2 g。

2.2.3 水质净化价值

湿地内的植物、微生物可以通过对 N 元素、P 元素进行吸收和土壤对 N 元素、P 元素的过滤两个方面来实现对水质的净化及污染降解,计算公式为:

$$ESV_J = S_{B3} \times P_6 \quad (7)$$

式中:S_{B3} 为湿地总面积;P_6 采用 Robert Costanza 的研究成果,即湿地生态系统降解污染功能的单位面积价值为 29 982.92 元/(hm^2·a)。

2.2.4 生物栖息地价值

抚仙湖湿地公园内具有丰富的动植物资源,目前公园内 462 种维管植物中,包括栽培植物 158 种,自然分布野生植物 304 种,隶属于 87 科、220 属。脊椎动物共 295 种,其中,兽类 5 目、9 科、14 种,鸟类 16 目、39 科、196 种,两栖动物 2 目、7 科、16 种,爬行动物 1 目、6 科、26 种,鱼类 7 目、14 科、43 种[13]。

$$ESV_{live} = S_{B3} \times P_7 \quad (8)$$

式中:S_{B3} 为湿地面积;P_7 为湿地避难所价值,采用 Robert Costanza 研究成果 2 182.14 元/(hm^2·a)[14]。

2.3 精神文化服务价值

抚仙湖湿地公园景观资源丰富,精神文化服务包括美学旅游(*C*1)和文化科研(*C*2)两个二级指标,采用旅行费用法、科研投入法计算其湿地生态系统的精神文化服务价值,计算公式为:

$$ESV_C = V_C + P_C + (S_{B3} \times P_m) \quad (9)$$

式中:V_C 为旅游收入(包括路费、食宿费、公园门票等);P_C 为时间价值;S_{B3} 为湿地面积;P_m 为单位面积科研文化价值。

3 结果与分析

3.1 供给服务

抚仙湖湿地公园内共有鱼类 43 种,属 7 目、14 科,每年仅有半年为开湖期,且对于捕捞种类有着严格的把控,因此鱼类产品以银鱼为主,近几年的抚仙湖渔业年均总产量约为 1 800 t。在作物种植上,谢高地等[14]将 1 个标准生态系统生态服务价值当量因子定义为 1 hm^2 全国平均产量农田每年自然粮食产量的经济价值,并根据生态系统类型设定生态系统服务价值当量[14],1 个生态服务价值当量因子的经济价值量为当年全国平均粮食单产市场价值的 1/7[15]。根据抚仙湖湿地公园规划显示,生活、工农业用水约 $8.67\times10^6 m^3$[13],抚仙湖水质为Ⅰ类水,水费按当年居民用水与非居民用水价格的平均值 3.34 元/m^3 进行计算。

抚仙湖湿地公园供给服务价值约为 4.94×10^7 元。其中,食物生产价值为 2.05×10^7 元(渔产品价值 2.00×10^7 元,作物价值 4.73×10^5 元);淡水资源价值为 2.90×10^7 元。

3.2 生态调节服务

3.2.1 气候调节服务

抚仙湖湿地公园水面面积为 21 655.74 hm^2,流域年均温 15.5℃,多年平均水面蒸发量为 1 374 mm,综合市面常见家用加湿器参数得到加湿器蒸发每立方米水的耗电量 89.29 kW · h,2020 年云南省居民电价为 0.46 元/kW · h,水的汽化热值为 2 260 kJ/kg,常见空调能效比均值为 3[16]。由此计算可得气候调节服务价值为 1.63×10^9 元,其中温度调节价值为 4.07×10^8 元,湿度调节价值为 1.22×10^9 元。

3.2.2 固碳释氧服务

抚仙湖湿地公园内植被面积为 683.81 hm^2。湿地植被碳储量采用 IPCC 的研究结果,一般湿地植被碳储量为 43 t/hm^2;固碳价格采用瑞典的碳税率,折合人民币为 1 076.72 元/t;释氧价格则采用现在工业制氧价格 400 元/t。抚仙湖湿地公园固碳释氧服务价值为 4.77×10^7 元。其中,固碳价值为 2.82×10^7 元,释氧价值约为 1.60×10^7 元。

3.2.3 降解污染、生物栖息地服务

降解污染功能的单位面积价值为 29 982.92 元/(hm^2 · a),湿地的避难所价值为 2 182.14 元/(hm^2 · a)[17]。因此,降解污染价值为 6.89×10^8 元,生物栖息地价值为 5.01×10^7 元。

由上述数据相加可得,抚仙湖湿地公园生态调节服务总价值为 2.41×10^9 元。

3.3 精神文化服务

因 2020 年受新冠病毒疫情影响,旅游人数数据以正常年份 2019 年为主。抚仙湖湿地公园 2019 年共接待国内外游客 1 244.7 万人,以一日游居多[18]。据国家统计局发布的《2020 年城镇单位就业人员平均工资》[19],全国城镇私营单位就业人员年均工资 57 727 元,城镇非私营单位就业人员年均工资 97 379 元。因此,人均年工资为 77 553 元,日均工资约为 212 元/天,花费时间价值以日工资的 30%进行计算。全球湿地生态系统科研文化价值沿用我国单位面积湿地生态系统的科考旅游价值 382 元/hm^2 和 Costanza 等对全球湿地生态系统科考旅游功能价值 6 180.34 元/hm^2 的平均值 3 281.17 元/hm^2 进行计算[17]。因此,抚仙湖国家湿地公园精神文化服务价值为 1.71×10^9 元,其中美学旅游价值为 1.63×10^9 元,文化科研价值为 7.54×10^7 元。

3.4 抚仙湖湿地公园生态系统服务价值总体特征

抚仙湖湿地公园生态服务系统价值总量为 4.17×10^9 元(表 2)。其中,生态调节服务价值最高为 2.41×10^9 元,占价值总量的 57.90%;其次为精神文化服务价值 1.71×10^9 元,占 40.91%;最后为供给服务价值 4.95×10^7 元,占 1.19%。

4 结　论

1)在供给服务价值方面,价值最大为淡水资源 2.90×10^7 元,占公园生态服务系统价值总量的 0.70%;其次为食物生产 2.05×10^7 元(渔产品价值 2.00×10^7 元,作物价值 4.73×10^5 元),占 0.49%。抚仙湖 $2.062\times10^{10} m^3$ 的水资源可为全国人均储备 15 t 优质地表Ⅰ类水,可深知对其淡水资源的保护是重中之重。

2)在生态调节服务价值方面,气候调节价值最高,为 1.63×10^9 元(温度调节价值 4.07×10^8 元,湿度调节价值 1.22×10^9 元),占总量的 39.02%;其次为水质净化价值,为 6.89×10^8 元,占 16.53%;其后为生物栖息地价值 5.01×10^7 元,占 1.20%;最后为固碳释氧价值 4.77×10^7 元(固碳价值 3.17×10^7 元,释氧价值 1.60×10^7 元),占 1.14%。从数据可以看出,抚仙湖湿地公园最重要的生态调节服务为气候调节,这也正体现出湿地公园在改善小气候方面有着重要作用。

3)在精神文化服务方面,美学旅游价值为 1.63×

表 2　云南玉溪抚仙湖国家湿地公园生态系统服务价值核算结果

Tab. 2　Evaluation results of ecosystem service value of Xuxi Fuxian Lake National Wetland Park in Yunnan

一级指标	二级指标	评估范围	价值/元	占比/%
供给服务(*A*)	食物生产(*A*1)	渔产品	2.00×10^7	0.48
		作物产量	4.73×10^5	0.01
		合计	2.05×10^7	0.49
	淡水资源(*A*2)	生活、工农业用水	2.90×10^7	0.70
		小计	4.95×10^7	1.19
生态调节服务(*B*)	气候调节(*B*1)	温度调节	4.07×10^8	9.76
		湿度调节	1.22×10^9	29.27
		合计	1.63×10^9	39.03
	固碳释氧(*B*2)	固碳	3.17×10^7	0.76
		释氧	1.60×10^7	0.38
		合计	4.77×10^7	1.14
	水质净化(*B*3)	降解污染物	6.89×10^8	16.53
	生物栖息地(*B*4)	避难所价值	5.01×10^7	1.20
		小计	2.41×10^9	57.90
精神文化服务(*C*)	美学旅游(*C*1)	旅游消费	1.63×10^9	39.10
	文化科研(*C*2)	湿地面积	7.54×10^7	1.81
		小计	1.71×10^9	40.91
总价值			4.17×10^9	100.00

注:价值、占比仅保留 2 位小数点。

10^9 元,占总量的 39.10%;文化科研价值为 7.54×10^7 元,占 1.81%。美学旅游价值为精神文化服务价值中最高,主要原因是抚仙湖湿地公园生态系统整体保存较好,且可达性强,能发挥生态服务功能和合理利用价值,是认识高原湖泊湿地保护、观赏高原湖泊景观、品味高原湖泊特色的理想场所。

4)通过科学有效的措施选择有效的评估指标,建立湿地生态系统的服务价值评估体系,对湿地公园的全面保护、科学恢复和合理利用具有重要意义。本研究所选用的方法和建立的评估体系能快速有效地对国家湿地公园生态系统服务价值进行评估,具有良好的适用性,为管理计划和决策的制定提供科学依据。但价值体系的估算过程中,不同数据的选取可能会存在误差,比如在计算过程中,因无法确定具体游客的交通费用,故以昆明市区为主要出发城市进行交通费用计算其最小的旅游美学价值;在水资源利用方面,其淡水资源价值未来潜力巨大,但目前仅计算实际生活及工农业用水的使用价值,因此较于实际会相对偏小。同时不同价值因在计算过程中部分数据所参考的观点不同,也会存在一定误差,这些将会在以后的研究中逐步完善。

参考文献:

[1] 马广仁. 中国国际重要湿地生态系统评价[M]. 北京:科学出版社,2016.

[2] 杨永峰,张晓云,郗敏,等. 供给侧改革视角下中国国家湿地公园建设研究[J]. 湿地科学,2018,16(2):165-170.

[3] 郑维川. 云南省情(2008 年版)[M]. 昆明:云南人民出版社,2009.

[4] 张林波,高艳妮,李凯,等. 生态系统生产价值核算与业务化体系研究——以厦门市为例[M]. 北京:科学出版社,2020.

[5] 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[J]. 应用生态学报,1999(5):635-640.

[6] WODDWARD R T,WUI Y S. The economic value of wetland services:a meta-analysis[J]. Ecological Economics,2001,37(2):257-270.

[7] 薛达元. 生物多样性价值评估[M]. 北京:中国环境科学出版社,1994.

[8] 任志远. 区域生态环境服务功能经济价值评价的理论与方法[J]. 经济地理,2003(1):1-4.

[9] SIMON T P. The use of biological criteria as a tool for water resource management[J]. Environmental Science & Policy,2000(3):43-49.

[10] COSTANZA R,GROOT R D,SUTTON P,et al. Changes in the global value of ecosystem services[J]. Global Environ Change,2014,26:152-158.

[11] 周文昌,史玉虎,潘磊,等. 神农架林区大九湖湿地生态系统服务价值评价[J]. 水土保持通报,2018,38(1):208-213.

[12] 王其翔. 黄海海洋生态系统服务评估[D]. 青岛:中国海洋大学,2009.

[13] 中国建筑科学研究院. 云南玉溪抚仙湖国家湿地公园总体规划(2016—2020 年)[Z]. 2015.

[14] 谢高地,张彩霞,张昌顺,等. 中国生态系统服务的价值[J]. 资源科学,2015,37(9):1740-1746.

[15] 喻露露,张晓祥,李杨帆,等. 海口市海岸带生态系统服务及其时空变异[J]. 生态学报,2016,36(8):2431-2441.

[16] 谢畅. 云南省湿地生态系统服务功能价值动态评估[J]. 湖北农业科学,2016,55(17):4619-4624.

[17] COSTANZA R,D'ARGE R,BELT M,et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature,1997,387:253-260.

[18] 澄江市人民政府办公室. 澄江市政府工作报告[R]. 2020.

[19] 国家统计局. 2020 年城镇单位就业人员平均工资[EB/OL]. (2021-05-19). https://www.gov.cn/xinwen/2021-05/19/content_5608863.htm.

责任编辑:杨焌熔