湖北省湿地生态系统的服务价值评估

周文昌[1,2], 张 维[1], 胡兴宜[1], 付 甜[1], 史玉虎[1,2]

(1.湖北省林业科学研究院, 湖北 武汉 430075; 2.湖北洪湖湿地生态系统国家定位观测研究站, 湖北 洪湖 433200)

摘 要: [目的] 本研究以湖北省湿地为对象,开展湿地生态系统的服务价值评估,旨在为长江流域湿地保护、恢复和人类可持续发展提供决策参考。[方法] 基于湿地资源、生态学和经济学原理,采用市场价值法、影子工程法和旅行费用支出法等,选择了 12 项指标,评估了 2019 年度湖北省湿地生态系统服务价值。[结果] 湖北省湿地生态系统服务价值总量达 1.89×10^{12} 元,占 2019 年度全省国民生产总值的 40%。12 项指标中的价值量大小顺序依次为:气候调节(占 58.18%)、调蓄洪水(占 16.49%)、淡水产品(占6.24%)、释放氧气(占 5.50%)、能源生产(占 4.04%)、水资源供给(占 3.07%)、固碳(占 2.68%)、休闲娱乐(占2.41%)、航运(占 1.16%)、水质净化(占 0.23%)、原材料生产(占 0.003%)和科研教育(占 0.001%)。[结论] 气候调节、调蓄洪水和淡水产品 3 项服务价值为主导服务(占服务价值总量的 80%),体现了湖北省湿地的重要性及其生态属性特征。

关键词: 服务价值; 湿地生态系统; 长江流域; 湖北省

文献标识码: A **文章编号:** 1000-288X(2021)03-0305-07 **中图分类号:** Q148

文献参数: 周文昌, 张维, 胡兴宜, 等.湖北省湿地生态系统的服务价值评估[J].水土保持通报,2021,41(3):305-311.DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2021.03.040; Zhou Wenchang, Zhang Wei, Hu Xingyi, et al. Evaluation of wetland ecosystem service value in Hubei Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021,41(3):305-311.

Evaluation of Wetland Ecosystem Service Value in Hubei Province

Zhou Wenchang[1,2], Zhang Wei[1], Hu Xingyi[1], Fu Tian[1], Shi Yuhu[1,2]

(1.*Hubei Academy of Forestry, Hubei, Wuhan* 430075, *China*;

2.*Honghu National Research Station for Wetland Ecosystem of Hubei Province, Honghu, Hubei* 433200, *China*)

Abstract: [Objective] The wetland ecosystem service value in Hubei Province was studied in order to provide a reference for decision-making regarding wetland protection and restoration, and for human sustainable development in the Yangtze River basin. [Methods] Based on principles of wetland resources, ecology, and economics, 12 indicators were selected to evaluate the wetland ecosystem service value in Hubei Province in 2019 by using market value, reflection engineering, and travel expense methods. [Results] The total value of wetland ecosystem service in Hubei Province reached 1.89×10^{12} Yuan in 2019, accounting for 40% of the provincial GDP in 2019. Among the 12 indicators evaluated, the order of values ranked as follows: climate regulation (58.18% of the total value), flood control (16.49%), fresh water products (6.24%), oxygen release (5.50%), hydropower (4.04%), water supply (3.07%), carbon sequestration (2.68%), recreation (2.41%), shipping (1.16%), water quality purification (0.23%), production of raw materials (0.003%), and scientific research and education (0.001%). [Conclusion] Climate regulation, flood control, and fresh water products were the leading ecosystem service values (accounting for 80% of the total value), essentially reflecting most of the important ecological characteristics of wetland ecosystems in Hubei Province.

Keywords: service value; wetland ecosystem; the Yangtze River basin; Hubei Province

收稿日期:2021-02-10 **修回日期:**2021-03-22

资助项目:湖北省林业科技支撑重点项目"湖北省林业生态效益价值评价"([2020]LYKJ17);湖北洪湖湿地生态系统国家定位观测研究站运行补助项目(2019132064)

第一作者:周文昌(1983—),男(汉族),贵州省镇远县人,博士,助理研究员,主要从事湿地碳循环与湿地效益评价研究。Email: zwclky@126.com。

通讯作者:张维(1971—),男(汉族),湖北省洪湖市人,硕士,高级工程师,主要从事林业生态管理研究。Email:775261871@qq.com。

生态系统服务是指人类从生态系统中获得的效益[1]。Costanza 等[2]对全球生态系统服务价值进行了评价,指出了湿地生态系统具有重要的服务价值,价值占据全球生态系统的 15%,其单位面积价值是森林的 15 倍,草地的 64 倍。这篇论文的报道大大促进了湿地服务功能价值评价的进展,引起了人类对湿地生态系统的重视,加强了对湿地生态系统的保护恢复。千年生态系统评估(MA)为人类评估生态系统服务价值提供了一套标准与范式,并将生态系统服务分为供给服务、调节服务、文化服务和支持服务四大类[1]。于是,21 世纪初,学者们大幅度地开展了湿地服务价值评估案例的研究,比如盘锦地区湿地、长江口湿地、鄱阳湖湿地、洞庭湖湿地等生态系统服务价值估算[3-6]。这些湿地服务价值的估算为人类认识湿地价值,提高湿地保护意识作出了重要贡献。

然而,湿地本质属性是一种公共产品,由于人类过度利用了湿地资源及其低估了功能价值,导致了湿地大量损失、景观破碎化和生态系统功能退化[7-8],这严重制约了湿地服务功能价值的发挥。此外,管理者通常在面对湿地巨大的服务价值时(往往是数亿元),起初难以接受,主要是管理者过于重视直接效益,很少重视间接效益,可能就是 Wallace 指出的生态系统的服务类型很多,但不是所有的服务都是管理者追求的目标[9]。这可能是中国第二次湿地资源调查成果显示,从 2003 年到 2013 年的 10 a 余间,中国湿地面积仍然减少 3.40×10^6 hm^2,部分湿地物种种群数量明显减少,有的湿地物种甚至濒临灭绝(http://www.forestry.gov.cn/main/1039/content-929100.html)。从科学研究的角度出发,一些学者认为可能是千年生态系统评估的四大服务分类中存在重复计算的问题[10-11]。因此,为了避免重复计算,研究者们认为调节服务和支持服务是通过供给服务间接为人类提供效益的,而供给服务大多是调节服务和支持服务的最终服务[10,12]。于是,Fisher 和 Turner[13]、Mäler 等[14]将供给服务和文化服务归类为最终服务,这类服务为人类效益产生直接贡献并对人福祉产生直接影响,而支持服务和调节服务归类为中间服务,通过服务的组合方式形成最终服务,间接地影响人类福祉。因此,在评估生态系统服务时,将最终服务价值作为生态系统服务总价值,确定为最终服务的唯一标准就是对人类效益产生直接贡献[12]。因此,开展以生态系统最终服务价值的评估更有利于接近于管理者的追求目标,更好发挥生态系统服务价值评估的作用。

湖北省地处长江之腰,素有“千湖之省、鱼米之乡”的美誉,自 2008 年评估湿地生态系统服务价值量达 4 000 多亿元以来[15],已有 10 a 余,其中湿地面积、功能及人类对湿地服务价值的认知已发生较大变化。有研究表明,湿地面积是影响湿地生态系统服务价值的最大因素[7,16],而人类活动的影响又加大了湿地生态系统服务价值的不确定性[17-19]。因此,近 5 a 来,随着“两山理论”和“国家长江保护战略”的提出,省委省政府加强了湖北省湿地保护修复,进一步改善湿地生态环境,湿地服务价值可能发生变化,继而对长江流域内湿地生态系统服务价值进行评估将有助于为人类可持续发展和湿地保护修复与管理提供决策参考。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

湖北省位于中国长江中游,属于典型的亚热带季风性气候,多年平均降水量 800~2 500 mm,平均日照1 300~2 157 h,由西南向东北递增;年均气温 15~17 ℃,无霜期 200~260 d。全省境内江河纵横,水系发育,流域面积在 50 km^2 及以上的河流有 1 232 条,大于 1.33 hm^2 的湖泊湿地 755 个,湖泊水域面积达 2 706.85 km^2,还有兼顾防洪、发电、供水和旅游功能的三峡水库和丹江口库区湿地。全省现有湿地 1.44×10^6 hm^2,其中自然湿地 7.64×10^5 hm^2(含河流湿地4.50×10^5 hm^2,湖泊湿地 2.77×10^5 hm^2,沼泽湿地 3.69×10^4 hm^2),人工湿地 6.81×10^5 hm^2,湿地分布格局见图 1。

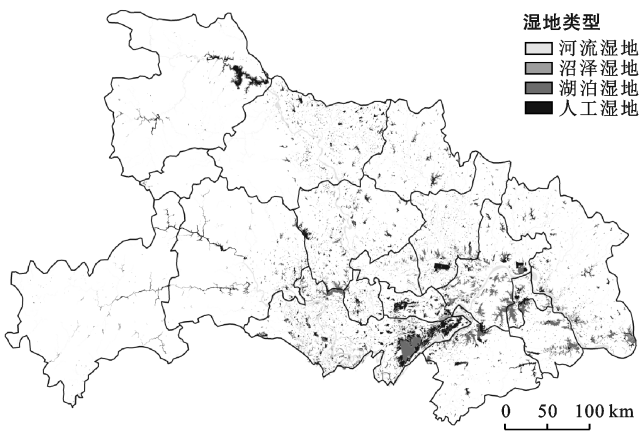


图 1 湖北省湿地空间分布格局

1.2 数据来源与研究方法

根据全国第二次湿地资源调查成果,兼顾全省湿地资源现状、数据有效性和最终服务,分为供给服务、调节服务和文化服务三类服务,评估湖北省湿地生态系统服务价值。然而,调节服务中的土壤保持服务(保土和保肥)和支持服务中的生物栖息地维持服务

(物种多样性)是为人类发展基础提供的服务,因目前数据的限制,暂不评估。于是,本研究确定了 12 项评估指标和为人类提供的效益(表 1)。评估数据来源主要为湖北省湿地第二次湿地资源调查成果、中国知网、官方网站(湖北省人民政府网、国家林业和草原局网、湖北省林业局网和湖北省水利厅网)。

表 1　湖北省湿地生态系统最终服务价值评估指标和评估方法

服务类型	评估指标	计算指标	人类获得的效益	评估方法
供给服务	1 淡水产品	淡水产品价值	食物产品	市场价值法
	2 水资源供给	地表水资源供给量价值	清洁水源	市场价值法
	3 原材料生产	芦苇产量价值	产品原材料	市场价值法
	4 航运	水运货物和旅客运输价值	经济收入	运输成本价值
	5 能源生产	水力发电量价值	能 源	市场价值法
调节服务	6 调蓄洪水	调蓄洪水量价值	降低财产损失	影子工程法
	7 水质净化	废水污水入河量的湿地净化价值	降低水处理成本	废水处理成本法
	8 气候调节	湿地夏季期间降温和增湿价值	改善人类生存环境舒适度	替代成本法
	9 固碳	植物生物量固定 CO_2 价值	减缓气候变化,更适合人类生存	造林成本法
	10 释氧	植物生物量释放 O_2 价值	有益于人类健康	工业制氧法
文化服务	11 科研教育	湿地领域学术论文产出价值	为人类提供研究教育基地和自然科普知识	科研成本投入法
	12 休闲娱乐	旅游费用支出和时间成本价值	提供身心愉悦,促进身体健康	旅行费用支出法

1.3　评估方法

1.3.1　供给服务价值　淡水产品价值计算公式:

$$V_1=\sum Q_{1i}\times P_{1i} \tag{1}$$

式中:V_1 为淡水产品价值(元);Q_{1i} 为淡水产品产量(鱼类、虾蟹、贝类和其他淡水鱼类,t);P_{1i} 为淡水产品价格,$i=1,2,3,4$。

水资源供给价值计算公式:

$$V_2=\sum Q_{2i}\times P_{2i} \tag{2}$$

式中:V_2 为水资源供给价值(元);Q_{2i} 为供水量(农业、工业和生活,m^3);P_{2i} 为供水量单价(元/m^3),$i=1,2,3$。

原材料生产价值计算公式[20]:

$$V_3=\sum Q_3\times P_3 \tag{3}$$

式中:V_3 为原材料芦苇价值(元);Q_3 芦苇产量(t);P_3 为芦苇单价(元/t)。

航运价值计算公式[15,20]:

$$V_4=E_4\times D_4+Q_4\times P_4 \tag{4}$$

式中:V_4 为水运(货物运输和旅客运输)价值(元);E_4 为航道水路运输货物周转量(t/km);D_4 为货物运输单价〔元/(t/km)〕;Q_4 为旅客周转量(人 · km);P_4 为旅客运输单价〔元/(人 · km)〕。

能源生产价值计算公式:

$$V_5=Q_5\times P_5 \tag{5}$$

式中:V_5 为水力发电价值(元);Q_5 为水力发电量(kW);P_5 为市场电价(元/kW · h)。

1.3.2　调节服务价值　调蓄洪水价值计算公式:

$$V_6=Q_6\times P_6 \tag{6}$$

式中:V_6 为调蓄洪水价值(元);Q_6 为调蓄洪水量(m^3);P_6 为水库造价成本(元/m^3)。

水质净化价值计算公式:

$$V_7=Q_7\times P_7 \tag{7}$$

式中:V_7 为湿地废水污水净化价值(元);Q_7 为废水污水入河量(t);P_7 为废污水处理成本价格(元/t)。

气候调节价值计算公式[21]:

$$V_8=(C\times E\times k\times A\times P_8\times 10^{-3})+(Q_8\times P_8)/(\mathrm{EER}\times 3\,600) \tag{8}$$

式中:V_8 为湿地气候调节价值;C 为单位体积水量(1 m^3)转化为蒸汽耗电量(125 kW · h);E 为夏季期间湿地水面多年平均蒸发量(mm);k 为水体蒸发量的转化系数(0.75);A 为湿地面积(m^2);P_8 为电价(元/kW · h);Q_8 为湿地蒸发吸收的总热量,水面蒸发降低气温按照空调制冷消耗进行计算,EER 为空调制冷能效比(数值取 3.2)。

固碳价值计算公式[22]:

$$V_9=Q_9\times P_9 \tag{9}$$

式中:V_9 为湿地固碳价值(元);Q_9 为植物固碳量(t);P_9 为造林成本价格(元/t,以 C 计)。

释放氧气(O_2)价值计算公式[21-22]:

$$V_{10}=Q_{10}\times P_{10} \tag{10}$$

式中:V_{10} 为植物光合作用释放 O_2 价值(元);Q_{10} 为植物光合作用释放 O_2 量(t);P_{10} 为工业制氧价格(元/t)。

1.3.3　文化服务价值　科研教育价值计算公式[21]:

$$V_{11}=Q_{11}\times P_{11} \tag{11}$$

式中：V_{11}为湿地提供科研教育价值(元)；Q_{11}为湿地年度科研论文产出量(篇/a)；P_{11}为论文产出成本价格(元/篇)。

休闲娱乐价值计算公式：

$$V_{12}=Q_{12}\times P_{12}+Q_{12}\times D_{12}\times S_{12}\times 30\% \quad (12)$$

式中：V_{12}为湿地休闲娱乐价值(元)；Q_{12}为湿地旅游客量(人/a)；P_{12}为人均旅游消费支出价格(元/人)；D_{12}为每人在湿地旅游 1 d 的价格(d/人·a)；S_{12}为人均日工资(元/d)，时间成本价值按照人均工资的 30%计算[22]。

2 结果与分析

2.1 淡水产品

根据《湖北统计年鉴(2020)》，湖北省 2019 年度淡水产品产量包含鱼类产量、虾蟹产量、贝类产量、其他类产量分别为 3.49×10^6，1.13×10^6，8 000 t 和 7.06×10^4 t，采用市场调查法，各自价格大约为 13.98，60，53，13.98 元/kg，则水产品价值为 1.18×10^{11}元。

2.2 水资源供给

《湖北省水利发展“十三五”规划》中指出全省多年平均地表水资源总量达 1.01×10^{11} m³，但是《湖北水资源公报(2019)》显示全省 2019 年地表淡水供给量达 3.03×10^{10} m³，其中农业灌溉用水量 1.53×10^{10} m³，工业用水量 9.13×10^9 m³，居民生活用水量 5.88×10^9 m³，根据市场用水价格，大约各自为 0.50，3.49，3.15 元/m³，得到水资源供给价值达 5.80×10^{10}元。

2.3 原材料生产

原材料生产价值主要以芦苇作为造纸材料，根据湖北省芦苇协会最近报道，湖北省芦苇面积下降为 8 400 hm²（https://baijiahao.baidu.com/s?id=1601784684244177100&wfr=spider&for=pc），沈鸣铜[23]报道长江中游芦苇面积和产量之间关系，得到湖北省芦苇产量大约为 9.45×10^4 t，芦苇市场价格为 660 元/t[20]，原材料生产价值为 6.24×10^7 元。

2.4 航 运

全省境内江河纵横交错，水系发育，全省流域面积50 km² 及以上河流 1 232 条，湖泊 755 个，湖泊水域面积 2 706.85 km²，是重要的黄金水道。根据《湖北统计年鉴(2020)》，2019 年货物周转量为 2.16×10^{10} t/km，旅客周转量为 4.76×10^8 人/km，根据2008 年各自运输成本[15]，并结合《湖北统计年鉴(2020)》2019 年居民消费平均支出价格修正，2019 年货运和旅客水路运输成本价格分别为 0.10 元/(t·km)和 0.58 元/(人·km)，得到水路运输价值达 2.19×10^{10}元。

2.5 能源生产

湖北非常重视水力发展，建成了丹江口、葛洲坝、三峡、引江济汉等重大水利枢纽，漳河、徐家河、王英、富水等 77 座大型水库，282 座中型水库和 6 100 多座小型水库。根据《湖北统计年鉴(2020)》，全省 2019 年度水力发电量达 1.33×10^{11} kW/h，根据武汉市居民电价收费标准〔0.573 元/(kW·h)〕，水力发电价值达 7.62×10^{10}元。

2.6 调蓄洪水

全省有湖泊湿地、河流湿地、沼泽湿地和人工湿地(水库)4 种类型。最近研究报道，湖北省湖泊湿地和水库调蓄洪水量各自为 7.97×10^9 m³ 和 3.36×10^{10} m³，合计为 4.16×10^{10} m³[24]。然而，河流湿地和沼泽湿地的调蓄洪水量按照湿地面积和水深为 1 m 计算，则河流湿地和沼泽湿地调蓄洪水量为 4.51×10^9 m³ 和 3.69×10^8 m³。故湖北省湿地调蓄洪水量达 4.645×10^{10} m³。根据省人民政府印发的《湖北省水利发展“十三五”规划的通知》投资碾盘山枢纽水库项目建设经费约为 6.70 元/m³。采用影子工程法，水库造价成本评估调蓄洪水价值，则调蓄洪水价值达 3.11×10^{11}元。

2.7 水质净化

《湖北水资源公报(2019)》报道，2019 年全省入河废水污水量达 3.58×10^9 t。《湖北统计年鉴(2020)》报道全省废水处理成本达 1.19 元/t，则全省湿地水质净化价值达 4.26×10^9 元。

2.8 气候调节

全省江河水系发达，湖泊水库密，湿地在夏季期间具有重要的降温增湿的气候调节功能，水面蒸发导致湿地周边温度比城市陆地要低，空气湿度大。湖北省地处长江中游，长江区湿地水面蒸发量采用文献报道的长江流域多年平均水面蒸发量，夏季占全年蒸发量的比例，结合湖北省宜昌、葛洲坝水面夏季蒸发量占多年平均蒸发量比例进行计算。中国长江流域多年平均水面蒸发量 1 413.6 mm，夏季蒸发量占全年蒸发量的 38.6%[25]，葛洲坝水库夏季水面蒸发量占全年的 39.2%[26]，三峡水库夏季水面蒸发量占全年的 42.9%[27]，宜昌地区夏季水面蒸发量占全年的 39.3%[28]，湿地夏季期间水面蒸发量占全年蒸发量的 40%，则湖北省湿地夏季期间水面蒸发量为 565.44 mm。

(1) 降低温度。湖北省湿地(湖泊、河流、人工湿地)水面全年蒸发损失量 5.97×10^9 m³。考虑到随着温度升高，水的汽化热会降低，取水在 100 ℃，1 标准大气压的汽化热 2 260 kJ/kg[29]。水体密度为

1 000 kg/m^3,则全省湿地蒸发吸收的总热量为 1.35×10^{16} kJ。水面蒸发降低气温按照空气的制冷消耗进行计算,空调的能效比取 3.2,电价采用武汉居民用电电价 0.573 元/(kW·h)。湿地降温价值达 6.71×10^{11} 元。

(2) 增加空气湿度。全省湿地蒸发损失量达 5.97×10^9 m^3,也就是说全省湿地生态系统全年为空气提供了 5.97×10^9 m^3 的水汽,提高了湿地周边空气湿度,其水面蒸发提高空气湿度价值以市场常见家用加湿器 32 W 计算,将 1 m^3 的水转化为蒸汽耗电量为 125 kW·h[29],电价取 0.573 元/ (kW·h)。则全省湿地增加空气湿度价值达 4.28×10^{11} 元。

综上所述,湖北省湿地气候调节价值为降低温度的价值和增加空气湿度的价值之和,达 1.10×10^{12} 元。

2.9　固 碳

湿地具有重要的碳汇功能,植被通过光合作用将大气中二氧化碳(CO_2)转化为固定在植被和土壤中。这里以植物生物量为计算依据,植物每生产 1 kg 干物质,固定 1.63 kg 的 CO_2,相当于 0.44 kg 碳。由于数据有限,主要依据江汉平原 5 个典型湖泊湿地面积、植被覆盖率、植被平均生物量[30]和全省湖泊水域面积(2 706.86 km^2),得到湖泊湿地植物生物量 8.65×10^7 t,以及芦苇产量(9.45×10^4 t),神农架大九湖沼泽湿地植物生物量(15 t/hm^2)[31]和湖北恩施太庙山泥炭沼泽植被地上生物量(18.30 t/hm^2)[32]计算沼泽植物生物量(16.65 t/hm^2),沼泽植物生物量 6.14×10^5 t,则植物总生物量为 8.72×10^7 t。CO_2 造林成本取 1 320 元/t(以 C 计)[33],则全省湿地固碳价值为 5.06×10^{10} 元。

2.10　释放氧气

植物进行光合作用,固定大气中 CO_2 时,同步释放 O_2,植被固定 1 kg 干物质,释放 O_2 1.19 kg,植物总生物量为 8.72×10^7 t,释放 O_2 1.04×10^8 t,中华人民共和国卫生部网站报道的工业制氧价格为 1 000 元/t(以 O_2 计)[22],则全省湿地植物释放 O_2 价值达 1.04×10^{11} 元。

2.11　科研教育

湿地为高校科研院所、大中小学生提供了探索自然界奥妙的教育基地。据不完全统计,通过中国知网搜索,涉及全省“十三五”期间(2016—2020 年)发表湿地领域的期刊论文约为 671 篇,相当于每年产出 134 篇期刊论文。再加上中国期刊论文成本投入约为 9.00×10^4 元/篇[34]。则全省湿地科研教育价值达 1.21×10^7 元。

2.12　休闲娱乐

休闲娱乐价值包含旅游消费支出、时间成本价值和剩余价值,这里由于数据的限制,仅计算旅游消费支出和时间成本价值。根据湖北省林业局 2020 年公布数据,湖北省拥有国家湿地公园 66 个,省级湿地公园 38 个,国际重要湿地 4 个,国家重要湿地 8 个,省级重要湿地 36 个(http://lyj.hubei.gov.cn/zwbhz/gg/202011/t20201119_3039370.shtml)。这些重要湿地为全国人民提供了优质的生态产品,具有重要的休闲娱乐价值。根据国家林业和草原局新闻发布会,2016—2019 年间,全国森林旅游游客量达到 6.00×10^9 人次,其中 2019 年森林旅游游客量达到 1.80×10^9 人次,占国内年旅游人数的 30%(https://new.qq.com/rain/a/20201015a0bg3k00)。森林旅游是指人们以森林、湿地、荒漠和野生动植物资源及其外部物质环境为依托,所开展的观光游览、休闲度假、健身养生、文化教育等旅游活动的总称(http://env.people.com.cn/n1/2018/0126/c1010-29789037.html)。根据人民日报报道,2019 年度国家湿地公园接待游客量达 3.85×10^8 人次(https://www.sohu.com/a/438248631_777803),则国家湿地公园游客量占 2019 年森林旅游游客量的 21.39%。根据《湖北统计年鉴(2020)》,2019 年全省国内旅游游客量达 60 143.70 万人次,人均消费为 1 121 元/人,得到 2019 年度湖北省湿地旅游游客量为 3.86×10^7 人次,湿地旅游消费支出价值达 4.33×10^{10} 元。

旅游时间成本价值按照日工资率的 30%计算[21-22],国家统计局公布 2019 年度国家城镇非私营单位就业人员年均工资 90 501 元,城镇私营单位就业人员年均工资为 53 604 元,则全国就业人员日均工资为 197 元。由于缺乏每个游客游览湿地天数的数据,以湿地旅游游客量每人次游览湿地 1 d,则 2019 年游客观光湿地风光和文化资源天数为 3.86×10^7 d,则得到旅行消费时间成本价值为 2.28×10^9 元。

综上,湿地休闲娱乐价值为 4.55×10^{10} 元(4.33×10^{10} 元+2.28×10^9 元)。

2.13　湖北湿地生态系统服务价值总量

本研究结果表明,2019 年度湖北省湿地生态系统服务价值总量达 1.89×10^{12} 元(表 2),占 2019 年度全省国民生产总值(4.58×10^{12} 元)的 41.20%。评估的 12 项指标中,以气候调节价值最大,达 1.10×10^{12} 元,占价值总量的 58.18%;其次是调蓄洪水价值 3.11×10^{11} 元,占价值总量的 16.49%;第三是淡水产品价值,价值量达 1.18×10^{11} 元,占价值总量的 6.24%,最小为科研教育价值(1.21×10^7 元),占价值总量的

0.001%。本研究表明全省湿地生态系统服务价值以气候调节、调蓄洪水和淡水产品供给为主导服务(占服务价值总量的 80.91%),充分体现了湖北省境内江河纵横,水系发育,千湖之省和鱼米之乡的服务功能特征。

表 2 湖北省湿地生态系统服务价值

服务类型	评估指标	价值量/10^8 元	比例/%
供给服务	1 淡水产品	1 177.72	6.24
	2 水资源供给	580.34	3.07
	3 原材料生产	0.62	0.00
	4 航运	218.62	1.16
	5 能源生产	762.24	4.04
调节服务	6 调蓄洪水	3 113.89	16.49
	7 水质净化	42.63	0.23
	8 气候调节	10 985.17	58.18
	9 固碳	506.42	2.68
	10 释放氧气	1 037.60	5.50
文化服务	11 科研教育	0.12	0.00
	12 休闲娱乐	455.45	2.41
合 计		18 880.82	100.00

3 讨 论

湿地生态系统具有多种服务,本研究依据全国第二次湿地资源调查成果和官方数据报道,并结合研究进展,确定了 12 项评估指标。以 2019 年度数据为基准年,采用市场价值法、影子工程法、替代成本法、旅行费用支出法等,评估了湖北省湿地生态系统服务价值总量达 1.89×10^{12} 元,占全省国民生产总值的 40%,其评估价值远高于 2008 年度评估的结果(4.28×10^{11} 元)[15],2008 年评估的湖北省湿地生态系统服务价值,缺乏对气候调节价值(增温降湿)的评估,仅这 1 项,本研究评估价值达 1.00×10^{12} 元,远远超过 2008 年评估总服务价值的 4.00×10^{11} 元。此外,2008 年评估的湖北省湿地休闲娱乐价值的方法是采用 Costanza 等(1997)[2] 等成果的应用,评估结果仅为 7.10×10^{9}[15] 元,仅是本研究结果的 15%。因此,通过本研究对湖北省湿地生态系统最终服务价值的评估,更增进人类对湿地价值的认知。本研究结果也高于长江经济带域内部分省份湿地生态系统服务价值(云南省 1.65×10^{12} 元,四川省 7.48×10^{11} 元,湖南省 8.63×10^{11} 元,重庆市 4.81×10^{10} 元)[20,35-37]。以上这些湿地生态系统服务价值总量存在差异,可能由于以下几方面的原因:①省域之间湿地面积的差异。Zhou 等[7] 报道湿地面积显著影响服务价值;②湿地价值认知理念的变化,导致不同研究者采用的评估指标体系、评估方法和评估数据之间存在差异。比如,作为最终服务,湖库湿地蓄水的最终服务是提供人类使用清洁水资源(生活用水、工业用水、农业用水),而未使用的水资源就未产生价值,而无须再评估湿地蓄水价值,否则易产生重复评价。另外,在湿地调蓄洪水和蓄水价值中,为了避免重复评价,不能再以水库或者湖泊蓄水量评估湿地调蓄洪水价值,这是由于过去评价调蓄洪水价值中,未考虑野生动植物最小生态需水量,而实际调蓄洪水价值应是确保动植物最小生态需水量后的调蓄洪水价值,而雷波等[15] 将湖北省湿地湖(库)蓄水价值作为调蓄洪水价值,这可能不够合理。③经济成本增加。吴后建等[20] 评估的 2013 年湖南省湿地调洪蓄水价值的水库造价成本是 3.07 元/m^3,雷波等[15] 评估的 2008 年湖北省湿地调蓄洪水价值的水库造价成本采用 1990 年的 0.67 元/m^3,甚至目前一些学者采用的水库造价成本还是 0.67 元/m^3[38],而本研究采用的是现在湖北省水库造价 6.70 元/m^3。由于可获取数据限制,尚待于加强湿地生态系统组成、结构及其过程动态的监测研究,为精准评估湖北省湿地生态系统服务价值提供数据支持。

本研究评估的 12 项服务价值中,以气候调节、调蓄洪水和淡水产品为主导服务(占服务价值总量的 80%),彰显了湖北省湿地生态属性特征,体现了湿地保护恢复的重要性。当下,国家正在加快探索绿水青山转化金山银山的途径,以及湖北省“十四五”规划中也强调在提升绿水青山“颜值”中要做大金山银山“价值”,本研究的主导服务,可为湖北省湿地探索“绿水青山”转化“金山银山”路径提供决策咨询服务。比如,通过气候调节服务价值为最大服务,做大鄂西山区湿地(如神农架大九湖湿地、七姊妹山湿地)和江汉平原区湖泊湿地(比如东湖湿地、洪湖湿地、梁子湖湿地)生态旅游篇;其次,做强淡水产品供给价值,强化高品质的生态养殖业发展;最后,由于最近几年(2016—2020 年)长江中下游地区极端气候事件(暴雨、干旱)频繁发生,要不断加强湿地生态系统的恢复,强化湿地调洪蓄水功能,避免人类财产严重损失。由于过去人类对湿地价值的认识不高,中国第二次湿地资源调查成果指出,2003 年至 2013 年中,自然湿地仍在继续大幅度降低,主要是围垦和基建导致的结果。因此,本研究的主导服务功能评价,可能为探索“两山理论”的实现路径提供决策参考。

4 结 论

(1) 湖北省湿地生态系统服务价值总量达 1.89×10^{12} 元,占 2019 年度全省国民生产总值的 40%。

其中以气候调节、调蓄洪水和淡水产品为主导服务(占服务价值总量的 80%),体现了湖北省湿地生态系统的重要性及其生态特征。

(2) 本研究评估的 12 项指标中,价值量大小顺序依次为气候调节(占 58.18%)、调蓄洪水(占 16.49%)、淡水产品(占 6.24%)、释放氧气(占 5.50%)、能源生产(占 4.04%)、水资源供给(占 3.07%)、固碳(占 2.68%)、休闲娱乐(占 2.41%)、航运(占 1.16%)、水质净化(占 0.23%)、原材料生产(占 0.003%)和科研教育(占 0.001%)。

[参 考 文 献]

[1] Millennium Ecosystem Assessment (MA). Ecosystems and human well-being: wetlands and water synthesis [M]. Washington, DC: World Resources Institute, 2005.

[2] 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):253-260.

[3] 辛琨,肖笃宁.盘锦地区湿地生态系统服务功能价值估算[J].生态学报,2002,22(8):1345-1349.

[4] 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[J].长江流域资源与环境,2003,12(5):411-416.

[5] 崔丽娟.鄱阳湖湿地生态系统服务功能价值评估研究[J].生态学杂志, 2004,23(4):47-51.

[6] 庄大昌.洞庭湖湿地生态系统服务功能价值评估[J].经济地理, 2004(3):391-394,432.

[7] Zhou Jingbo, Wu Jian, Gong Yazhen. Valuing wetland ecosystem services based on benefit transfer: a meta-analysis of China wetland studies [J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 276:122988.

[8] Zhang Fei, Yushanjiang Ayinuer, Jing Yunqing. Assessing and predicting changes of the ecosystem service values based on land use/cover change in Ebinur Lake Wetland National Nature Reserve, Xinjiang, China [J]. Science of The Total Environment, 2019,656(15):1133-1144.

[9] Wallace K J. Classification of ecosystem services: Problems and solutions[J]. Biological Conservation, 2007, 139(3/4):235-246.

[10] Camacho-Valdez V, Ruiz-Luna A, Ghermandi A, et al. Valuation of ecosystem services provided by coastal wetlands in Northwest Mexico [J]. Ocean and Coastal Management, 2013,78:1-11.

[11] McDonough S, Gallardo W, Berg H, et al. Wetland ecosystem service values and shrimp aquaculture relationships in Can Gio, Vietnam [J]. Ecological Indicators, 2014,46:201-213.

[12] 崔丽娟,庞丙亮,李伟,等.扎龙湿地生态系统服务价值评价[J].生态学报,2016,36(3):828-836.

[13] Fisher B, Turner R K. Ecosystem services: Classification for valuation [J]. Biological Conservation, 2008, 141(5):1167-1169.

[14] Mäeler K G, Aniyar S, Jansson A. Accounting for ecosystem services as a way to understand the requirements for sustainable development [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2008, 105(28): 9501-9506.

[15] 雷波,石道良,刘胜祥.湖北省湿地生态系统服务功能评价[J].湖北林业科技,2010(3):9-13.

[16] 杨玲,孔范龙,郗敏,等.基于 Meta 分析的青岛市湿地生态系统服务价值评估[J].生态学杂志,2017,36(4):1038-1046.

[17] 薛嵩嵩,高凡,何兵,等.近 30 年乌伦古河流域土地利用与生态系统服务价值变化研究[J].水土保持通报,2019,39(6):223-229, 322.

[18] 荔琢,蒋卫国,王文杰,等.基于生态系统服务价值的京津冀城市群湿地主导服务功能研究[J].自然资源学报,2019,34(8):1654-1665.

[19] 刘玉斌,王晓利,侯西勇,等.四个时期和模拟情景下 2025 年黄河三角洲的土地利用格局和生态系统服务价值评估[J].湿地科学,2020, 18(4):424-436.

[20] 吴后建,但新球,刘世好,等.湖南省湿地生态系统服务价值初步评价[J].湿地科学,2016,14(6):781-787.

[21] 周文昌,史玉虎,潘磊,等. 2017 年武汉东湖湿地生态系统最终服务价值评估[J].湿地科学,2019,17(3):318-323.

[22] 江波,陈媛媛,饶恩明,等.博斯腾湖生态系统最终服务价值评估[J].生态学杂志,2015,34(4):1113-1120.

[23] 沈鸣铜.长江中游芦苇的供需现状与未来需求形势分析[J].湖北造纸,2007(4):8-9.

[24] 潘方杰,王宏志,王璐瑶.湖北省湖库洪水调蓄能力及其空间分异特征[J].长江流域资源与环境,2018,27(8):1891-1900.

[25] 任国玉,郭军.中国水面蒸发量的变化[J].自然资源学报,2006,21(1):31-44.

[26] 张祎,牛兰花,樊云.葛洲坝蓄水以后库区蒸发水量的计算与分析[J].水文,2000,20(3):33-35.

[27] 张祎,刘杨,张释今.三峡水库近 20 年水面蒸发量分布特征及趋势分析[J].水文,2018,38(3):90-96.

[28] 张祎,李红卫.宜昌地区水面蒸发量时空分布探讨[J].人民长江,2006,37(12):30-31.

[29] 江波,欧阳志云,苗鸿,等.海河流域湿地生态系统服务功能价值评价[J].生态学报,2011,31(8):2236-2244.

[30] 吴秋君.江汉平原湖泊湿地生态服务功能价值评估研究[D].武汉:华中师范大学,2013.

(下转第 364 页)

on national survey data and comparison with the results from a top-down approach [J]. Soil Science and Plant Nutrition, 2012,58(1):83-90.

[15] 冯倩,刘聚涛,付莎莎,等.江西省畜禽粪便污染物产生量及其耕地负荷分析[J].安全与环境学报,2014,14(6):316-319.

[16] 张建杰,郭彩霞,覃伟,等.山西省畜禽业发展及粪尿养分时空变异[J].应用生态学报,2016,27(1):207-214.

[17] 宋大平,庄大方,陈巍.安徽省畜禽粪便污染耕地、水体现状及其风险评价[J].环境科学,2012,35(1):110-116.

[18] 王雪蕾,吴传庆,冯爱萍,等.利用 DPeRS 模型估算巢湖流域氨氮和化学需氧量的面源污染负荷[J].环境科学学报,2015,35(9):2883-2891.

[19] 阎波杰,潘瑜春,闫静杰.安徽省县域耕地畜禽养殖废弃物养分负荷时空演变特征[J].生态与农村环境学报,2016,32(3):466-472.

[20] 安徽省统计局.安徽省统计年鉴(2009—2018)[M].北京:中国统计出版社,2017.

[21] 国家畜牧养殖废弃物资源化利用科技创新联盟.土地承载力测算技术指南[M].北京:中国农业出版社,2017.

[22] 王晓燕,张雅帆,欧洋.北京密云水库上游太师屯镇非点源污染损失估算[J].生态与农村环境学报,2009,25(4):37-41.

[23] Richard Arthur, Martina Baidoo. Harnessing methane generated from livestock manure in Ghana, Nigeria, Mali and Burkina Faso [J]. Biomass & Bioenergy, 2011,35(11):4648-4656.

[24] 刘晓永,李书田.中国畜禽粪尿养分资源及其还田的时空分布特征[J].农业工程学报,2018,34(4):1-14,316.

[25] 国家环境保护总局自然生态保护司.全国规模化畜禽养殖业污染情况调查及防治对策[M].北京:中国环境科学出版社,2002:14-103.

[26] 李书田,刘荣乐,陕红.我国主要畜禽粪便养分含量及变化分析[J].农业环境科学学报,2009,28(1):179-184.

[27] Choi Hong L, Sudiarto S I A, Renggaman A. Prediction of livestock manure and mixture higher heating value based on fundamental analysis [J]. Fuel, 2014, 116:772-780.

[28] Cantrell K B, Hunt P G, Uchimiya M, et al. Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar [J]. Bioresource Technology, 2012,107:419-428.

[29] 宣梦,许振成,吴根义,等.我国规模化畜禽养殖粪污资源化利用分析[J].农业资源与环境学报,2018,35(2):126-132.

[30] 贾伟.我国粪污养分资源现状及其合理利用分析[D].北京:中国农业大学,2014.

[31] 刘雪刚.安徽省畜禽养殖污染状况调查与治理技术适用性分析[D].安徽 合肥:合肥工业大学,2015.

[32] 朱建春,张增强,樊志民,等.中国畜禽粪便的能源潜力与氮磷耕地负荷及总量控制[J].农业环境科学学报,2014,33(3):435-445.

[33] Anjum R, Grohmann E, Krakat N. Anaerobic digestion of nitrogen rich poultry manure: Impact of thermophilic biogas process on metal release and microbial resistances [J]. Chemosphere, 2017,168:1637-1647.

[34] 阎波杰,潘瑜春,闫静杰.基于 GIS 的安徽省耕地畜禽养殖废弃物氮负荷估算及污染潜势研究[J].地球与环境,2016,44(5):566-571.

[35] 肖琴,周振亚,罗其友.长江中下游地区畜禽承载力评估与预警分析[J].长江流域资源与环境,2019,28(9):2050-2058.

[36] 王奇,陈海丹,王会.基于土地氮磷承载力的区域畜禽养殖总量控制研究[J].中国农学通报,2011,27(3):279-284.

[37] 曾悦,洪华生,田燕,等.南方山地丘陵区规模畜禽养殖对水环境影响及评价[J].水资源保护,2010,26(5):45-49.

[38] Li Shutian, Liu Xiaoyong, Ding Wencheng. Estimation of organic nutrient sources and availability for land application [J]. Better Crops with Plant Food, 2016, 100(3):4-6.

[39] 易秀,陈生婧,田浩.陕西省养殖业畜禽粪便氮磷耕地负荷的时空分布[J].水土保持通报,2016,36(3):235-240.

(上接第 311 页)

[31] 余明勇,姚玲.神农架大九湖保护涉水工程对湿地生态环境的影响[J].中国农村水利水电,2013(12):57-61, 64.

[32] 王涵,吴林,薛丹,等.湖北省恩施市太山庙泥炭藓泥炭沼泽分布及其环境特征研究[J].湿地科学,2020,18(3):266-274.

[33] 李文华.生态系统服务功能价值评估的理论、方法与应用[M].北京:中国人民大学出版社,2008.

[34] 刘彩娥.把论文写在祖国大地上:国内科研论文外流现象分析[J].北京工业大学学报(社会科学版),2018,18(2):64-72.

[35] 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.

[36] 袁艺.四川省湿地生态系统服务功能价值评估[J].安徽农业科学,2011,39(4):2177-2179,2198.

[37] 薛兰兰,袁兴中,王轶浩,等.重庆湿地生态系统服务功能值评价与分析[J].四川林业科技,2015,36(5):7-10,15.

[38] 陈炜,张雨珂,炊雯,等.黄土高原湿地生态系统服务功能价值评估:以陕西省千湖国家湿地公园为例[J].水土保持通报,2019,39(4):270-274,280.