

厦门杏林湾生态修复效果评估和保护对策

庄乾,余兴光,林志兰,温瑞,张继伟,龙邹霞

(自然资源部第三海洋研究所 厦门 361005)

摘要:为加强杏林湾生态环境保护,强化厦门自然保护地选划和滨海湿地保护管理,文章分析自园博园建设以来,海岸带开发对杏林湾生态功能的影响;基于生态系统服务价值理论,通过构建杏林湾生态修复效果评估指标体系,对杏林湾生态修复效果进行评估和分析。研究表明:杏林湾生态系统服务价值由2005年的6 313.03万元提升至2018年的10 415.93万元,区域开发过程中的保护措施对生态系统服务有促进作用,但尚未完全发挥杏林湾应有的价值,原生生境保护有待加强。运用“山水林田湖草”生命共同体和陆海统筹理念提出保护措施:通过划定自然保护地对荒野地进行严格保护,并开展以自然恢复为主的生态修复,从而进一步提升生态价值;针对杏林湾水污染问题,通过湖海共治提升水质,改善生态环境质量。

关键词:杏林湾;生态修复;生态系统服务;生命共同体;陆海统筹

中图分类号:X826;X171.4;P748

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2021)04-0091-08

Assessment of Ecological Restoration Effect and Conservation Measures of Xinglin Bay in Xiamen

ZHUANG Qian, YU Xingguang, LIN Zhilan, WEN Rui, ZHANG Jiwei, LONG Zouxia

(Third Institute of Oceanography, MNR, Xiamen 361005, China)

Abstract: In order to strengthen the environmental protection of Xinglin Bay, promoting the selection of protected area and conservation of marine wetland in Xiamen, the paper analyzed the impact of coastal development on the ecological functions of Xinglin Bay since the construction of Xiamen Garden Expo Park. Based on the theory of ecosystem service value, this paper evaluated and analyzed the ecological restoration effect by constructing an evaluation index system for the ecological restoration effect of Xinglin Bay. The results showed that the ecosystem service value of the Xinglin Bay had increased from 63.130 3 million yuan in 2005 to 104.159 3 million yuan in 2018. Protective measures in the process of regional development promoted ecosystem services, but had not yet fully played Xinglin Bay's due role. Natural habitat protection need to be strengthened. Conservation measures were put forward by the concept of the life community of

收稿日期:2020-05-08;修订日期:2021-03-18

作者简介:庄乾,硕士研究生,研究方向为环境规划与评价

通信作者:余兴光,研究员,博士生导师,博士,研究方向为环境生态保护

mountains, rivers, forests, farmlands, lakes and grasslands and the land-sea coordination. One was to strictly protect the wilderness by establishing protected areas, and carry out ecological restoration mainly based on natural restoration to further enhance the ecological value. The second was to solve the water pollution problem and improve the water quality of Xinglin Bay by co-governance of lakes and seas.

Keywords: Xinglin Bay, Ecological restoration, Ecosystem services, Life community, Land-sea coordination

0 引言

海岸带是重要的生态功能区,提供净化污染物、维持生物多样性、调洪蓄水、文化娱乐、科学教育和消浪护岸等生态系统服务^[1]。海岸带也是生态敏感区和生态脆弱区,快速城市化、围海造地、海平面上升和全球气候变暖等因素都在威胁海岸带生态系统^[2-5]。保护海岸带生态系统服务功能,开展退化或受损生态系统的生态修复工程,是生态文明建设的重要举措^[6-7]。

杏林湾所处的集美新城是厦门海岸带较早开发的区域,城市建设发展迅速。为满足周边区域的环境需求,避免筶湖鱼虾绝迹和飞鸟难寻的历史在杏林湾重演,自 2005 年园博园建设以来,杏林湾及其周边区域开展了一系列生态修复工程。目前相关研究主要集中在环境质量评价、生态风险评估、景观设计和生物多样性等方面^[8-12],对于生态修复工程对杏林湾生态功能产生的影响研究相对缺乏,以至于无法了解杏林湾经过十数年生态修复后取得的成效。本研究从生态系统服务功能的视角,定量评估厦门杏林湾生态修复效果,为杏林湾的生态建设和环境保护提供科学依据。

1 研究区域

杏林湾位于厦门市北部集美区内,位于 $118^{\circ}2' - 118^{\circ}5'E$ 、 $24^{\circ}34' - 24^{\circ}37'N$,集水面积为 142 km^2 ,水域面积约为 6 km^2 ,平均水深约为 2.5 m ,最大水深为 5.5 m ^[13-14]。杏林湾北部有后溪注入,南部为集杏海堤,东部以教育科研区为主,西部为杏林村。杏林湾原属海湾滩涂堆积地貌,1956 年集杏海堤修筑后成为封闭水库,北部由于上游水库和降水注入

为淡水,南部呈表层淡水、底层海水的特征^[10]。

自集杏海堤修建以来,杏林湾内的景观格局以滩涂湿地为主,岸线由于围垦和清淤等活动长期处于动态变化中。环湾主要道路向水方向变化较大,而向陆方向变化不大,且杏林湾水库以人工道路(集杏海堤)为边界与海域分隔。因此,本研究的研究区域以环杏林湾水域的道路为边界,北至海翔大道与集美大道交界点,东至集美大道与田集连接线交界点,南至集灌路(即集杏海堤),西至海翔大道与杏锦路交界点(图 1)。

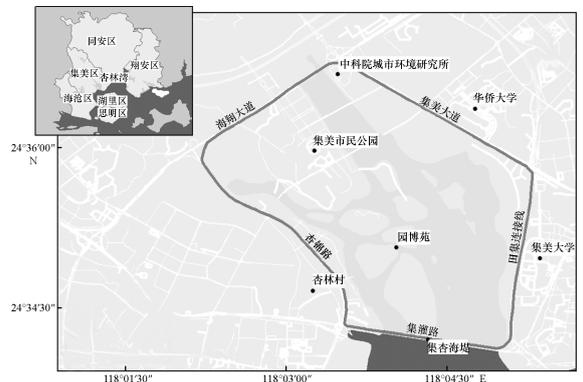


图 1 研究范围

2 研究方法

2.1 数据来源与处理

根据杏林湾和所掌握数据资料的实际情况,本研究选取园博园建设前(2005 年)和 2018 年作为评估生态修复效果的 2 个阶段。研究数据来自 2005 年杏林湾生态环境调查资料^[15]以及相关政府网站、统计年鉴、统计公报和遥感影像。

本研究采用的生态修复效果评估方法涉及不同用地类型的数据,主要通过文献资料、遥感数据和处理软件获得。园博园建设前(2005 年)的用地

情况^[15-16]通过 ArcGIS 10.2 软件矢量化后,计算得到土地利用类型和面积;2018 年的土地利用数据根据 Landsat 8 OLI_TIRS 遥感影像资料经人工目视解译得到,参照《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2017)划分土地利用类型;遥感影像数据来自地理空间数据云(www.gscloud.cn),卫星产品拍摄于 2018 年 3 月 11 日,分辨率为 30 m,云量为 2.98%,都已经过系统辐射校正和几何校正。为保证影像解译质量,采用 Google Earth 高分辨率影像、相关规划区划资料和网络全景地图为辅助。人工目视解译方法首先利用 ENVI 5.1 软件选取训练样本,再利用监督分类方法进行影像分类,分类器选择支持向量机。采用混淆矩阵进行精度验证,总体精度为 96.116 5%,Kappa 系数为 0.950 1,满足研究需求。

杏林湾土地利用变化如表 1 所示。

表 1 杏林湾土地利用变化 km²

年份	林地	草地	农田	鱼塘 湿地	湖泊	建设 用地	裸地
2005	1.4	1.1	1.5	7.8	2.9	0.8	0.0
2018	0.7	3.8	0.0	0.0	5.4	5.1	0.6

2.2 评估方法

为使生态修复效果评估具有合理性和科学性,在参考相关研究成果^[17]的基础上,本研究基于供给服务(B₁)、调节服务(B₂)、文化服务(B₃)和支持服务(B₄)四大生态系统服务功能,考虑数据的掌握情况和可操作性,选取食物生产(C₁)、原材料生产(C₂)、废物处理(C₃)、气候调节(C₄)、调洪蓄水(C₅)、水土保持(C₆)、休闲旅游(C₇)、景观美学(C₈)、教育(C₉)、初级生产(C₁₀)和维持生物多样性(C₁₁)11 个指标,构建杏林湾生态修复效果评估指标体系,采用成果参照法、影子工程法、旅行费用法和替代成本法估算指标值。结合运用层次分析法和专家咨询法确定各指标的权重,采用 1~9 标度法将不同因素两两比较,将对应于判断矩阵最大特征根的特征向量归一化后,得到该指标的权重(表 2)。

表 2 杏林湾生态修复效果评估指标体系和指标权重

目标层	准则层 (权重)	指标层 (权重)	总权重
杏林湾 生态 修复 效果 评估 (A)	B ₁ (0.126 4)	C ₁ (0.666 7)	0.084 3
		C ₂ (0.333 3)	0.042 1
		C ₃ (0.167 2)	0.033 2
	B ₂ (0.198 8)	C ₄ (0.114 5)	0.022 8
		C ₅ (0.346 3)	0.068 8
		C ₆ (0.372 0)	0.074 0
	B ₃ (0.326 3)	C ₇ (0.311 9)	0.101 8
		C ₈ (0.197 6)	0.064 5
		C ₉ (0.490 5)	0.160 1
	B ₄ (0.348 5)	C ₁₀ (0.250 0)	0.087 1
		C ₁₁ (0.750 0)	0.261 4

定义一致性比率为:

$$CR = CI/RI$$

$$CI = (\lambda - n)/(n - 1)$$

式中:CR 为一致性比率;CI 为一致性指标;RI 为随机一致性指标; λ 为矩阵的最大特征根; n 为矩阵的阶数。

当 CI=0 时具有完全一致性,CI 接近于 0 则具有满意的一致性,CI 越大则不一致越严重;引入 RI 的目的是衡量 CI 的大小(表 3)。

表 3 随机一致性指标

n	RI
1	0.00
2	0.00
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45
10	1.49

当 CR<0.1 时,不一致程度在容许范围内,即

通过一致性检验,反之则须重新调整比较矩阵。本研究涉及一致性检验的有 $A-B$ 、 B_2-C 和 B_3-C ,其一致性比率分别为 0.063 239、0.089 581 和 0.046 329,均通过一致性检验。

3 评估结果

3.1 生态系统服务价值估算

3.1.1 供给服务

(1)食物生产。杏林湾食物生产服务价值主要来自海水养殖和农田。采用成果参照法估算,参照福建海水养殖生产服务价值为 2.56 元/ m^2 /年^[18],2005 年杏林湾海水养殖生产服务价值为 1 996.80 万元;由于自 2007 年起厦门禁止海水养殖,2018 年杏林湾海水养殖生产服务价值为 0 万元。参照杏林湾农田生产服务价值为 449.1 元/ hm^2 /年^[19],此外 2018 年杏林湾所有农田景观都已转为交通或公用建设用地,2005 年和 2018 年杏林湾农田生产服务价值分别为 6.83 万元和 0 万元。综上,2005 年和 2018 年杏林湾食物生产服务价值分别为 2 003.63 万元和 0 万元。

(2)原材料生产。原材料包括为人类提供的生活、医药和工业生产等原料,杏林湾原材料生产服务价值主要来自林地、草地和湿地。采用成果参照法估算,参照杏林湾林地、草地和湿地原材料生产服务价值分别为 1 338.32 元/ hm^2 /年、161.68 元/ hm^2 /年和 107.78 元/ hm^2 /年,2005 年和 2018 年杏林湾原材料生产服务价值分别为 28.36 万元和 15.04 万元。

3.1.2 调节服务

(1)废物处理。杏林湾在去除周边和上游流域带来的多余养分和化合物的分解方面具有重要作用,废物处理服务价值主要来自林地、草地和湖泊。采用成果参照法估算,参照杏林湾林地、草地和湖泊废物处理服务价值分别为 772.45 元/ hm^2 /年、592.81 元/ hm^2 /年和 6 669.14 元/ hm^2 /年,2005 年和 2018 年杏林湾废物处理服务价值分别为 213.27 万元和 387.50 万元。

(2)气候调节。杏林湾气候调节服务价值主要来自林地、草地和湖泊。采用成果参照法估算,参照杏林湾林地、草地和湖泊气候调节服务价值分别为 1 827.84 元/ hm^2 /年、700.60 元/ hm^2 /年和

925.15 元/ hm^2 /年,2005 年和 2018 年杏林湾气候调节服务价值分别为 82.57 万元和 48.31 万元。

(3)调洪蓄水。采用影子工程法估算,即以修建水库的费用作为调洪蓄水服务价值。参照厦门莲花水库工程,其总库容为 3 286 万 m^3 ,概算总投资为 86 365 万元,工程等别为 III 等,工程规模为中型。根据《水利水电工程合理使用年限及耐久性设计规范》(SL 654—2014),莲花水库工程的使用年限为 50 年。经计算,莲花水库的工程造价为 1.05 万元/万 m^3 /年,计算公式为:

$$I_p = \frac{I(1+2\%n)}{n \times V}$$

式中: I_p 为单位体积库容的工程造价; I 为工程总投资; V 为总库容; n 为工程使用年限; 2% 为每年的维护成本占比。

参照 2005 年和 2018 年杏林湾水库的有效库容分别为 643 万 m^3 和 1 306.8 万 m^3 ^[20-21],2005 年和 2018 年杏林湾调洪蓄水服务价值分别为 675.99 万元和 1 373.85 万元。

(4)水土保持。杏林湾滨海岸线的植被覆盖率较高,水土流失状况不明显。杏林湾水土保持服务价值主要来自林地和草地。采用成果参照法估算,参照杏林湾林地和草地水土保持服务价值分别为 1 805.38 元/ hm^2 /年和 1 005.98 元/ hm^2 /年,2005 年和 2018 年杏林湾水土保持服务价值分别为 35.93 万元和 49.95 万元。

3.1.3 文化服务

(1)休闲旅游。园博园于 2007 年建成后成为杏林湾的主要旅游景点,因此 2005 年杏林湾暂无休闲旅游服务价值。采用旅行费用法估算,由于目前相关数据仅统计至 2017 年^[22],参照 2017 年园博园接待游客 71.80 万人次,其中单人次票价为 60 元,2018 年杏林湾休闲旅游服务价值为 4 308 万元。

(2)景观美学。杏林湾的山地次生林、荷塘和黄槿林带均是重要的生态景观资源^[15]。采用成果参照法估算,参照杏林湾景观美学服务价值为 35 000 元/ hm^2 /年^[23-24],2005 年和 2018 年杏林湾景观美学服务价值分别为 1 902.61 万元和 3 441.38 万元。

(3)教育。园博园的中华教育岛是杏林湾研学旅行胜地,因此在2005年园博园建成前杏林湾暂无教育服务价值。采用替代成本法估算,园博园的规划面积为676 hm²,总投资为28亿元,以中华教育岛的面积占比2.99%作为投资占比,可得其总投资为8372万元;由于此类建筑使用年限较长,按照《建筑结构可靠性设计统一标准》(GB 50068—2018)中的最长设计使用年限即100年计算,2018年杏林湾教育服务价值为83.72万元。

3.1.4 支持服务

(1)初级生产。采用成果参照法估算,参照Whittaker^[25]的研究成果,先计算杏林湾内景观类型的净初级生产量,再加上生物量得到有机质总量,采用碳税法计算初级生产服务价值,计算公式为:

$$V_p = \sum_{i=1}^n \{ [(NPP_A \times A_i + B_i) \times 264/162 - E_{CO_2}] \times P_{CO_2} \}$$

式中: V_p 为初级生产服务价值; NPP_A 为单位面积的净初级生产量; A_i 为第 i 种景观的斑块面积; B_i 为第 i 种景观中的生物量; 264/162 为 CO_2 与有机质总量的换算比; E_{CO_2} 为生物释放 CO_2 的量; P_{CO_2} 为碳税价格。

杏林湾林地、草地、农田、湿地和湖泊的净初级生产量分别为 700 g/m²/年、600 g/m²/年、650 g/m²/年、2 000 g/m²/年和 250 g/m²/年,生物量分别为 6 kg/m²、1.6 kg/m²、1 kg/m²、15 kg/m² 和 0 kg/m²,生物释放 CO_2 的量取 327 t/km²^[26],碳税价格取 20 元/tC^[27]。经计算,2005 年和 2018 年杏林湾初级生产服务价值分别为 470.74 万元和 39.57 万元。

(2)维持生物多样性。杏林湾拥有鸟类 93 种和游泳动物 38 种^[15],林地、滨水灌丛、鱼塘湿地和湖泊等对于维持其生物多样性具有重要作用。采用成果参照法估算,参照厦门海域白鹭的生态服务价值为 0.68 元/m²/年^[23-24],2005 年和 2018 年杏林湾维持生物多样性服务价值分别为 899.93 万元和 668.61 万元。

3.2 生态修复效果评估

经计算,2005 年和 2018 年杏林湾生态系统服务价值如表 4 所示。

表 4 杏林湾生态系统服务价值 万元

评估指标		2005 年	2018 年
准则层	指标层		
供给服务	食物生产	2 003.63	0
	原材料生产	28.36	15.04
调节服务	废物处理	213.27	387.50
	气候调节	82.57	48.31
	调洪蓄水	675.99	1 373.85
	水土保持	35.93	49.95
文化服务	休闲旅游	0	4 308.00
	景观美学	1 902.61	3 441.38
支持服务	教育	0	83.72
	初级生产	470.74	39.57
	维持生物多样性	899.93	668.61
合计		6 313.03	10 415.93

由表 4 可以看出:与 2005 年相比,2018 年生态系统服务价值增长 4 102.90 万元,增长率为 64.99%;供给服务、调节服务、文化服务和支持服务的价值占比,2005 年分别为 32%、16%、30%和 22%,2018 年分别为 0%、75%、18%和 7%;与 2005 年相比,2018 年实现价值增长的生态系统服务为调节服务和文化服务,分别增长 851.85 万元和 5 930.49 万元,增长率分别为 84.53%和 311.70%;价值降低的生态系统服务为供给服务和支持服务,分别下降 2 016.95 万元和 662.49 万元。

4 讨论

4.1 生态修复效果评估结果分析

从总体上看,杏林湾生态修复工程的实施较大地提升其生态系统服务价值,在调洪蓄水、休闲旅游、景观美学和教育等调节和文化服务方面取得较好效果,但在食物生产、初级生产和维持生物多样性等供给和支持服务方面损失较多,究其原因在于杏林湾功能定位的转变。

自 2002 年厦门“跨岛发展”战略决策提出以来,岛外产业园区和岛外新城的规划建设速度加快,杏林湾区域的发展方向由第一产业转变为第三产业,逐渐关注提升景观质量和增强湖库水资源调节能力,但也导致水产品产出降低以及自然生境向人工生境转变。在园博园建设前,杏林湾以农业和水产

养殖业作为主要支柱产业,景观类型多为山地次生林、荷塘湿地、鱼塘、虾池、农田和湖岸灌草等自然和半自然景观^[15];建设用地主要为农村居民地、海堤和道路等,面积约为0.8 km²,仅约占杏林湾陆域面积的6%。为满足园博园的用地需求以及预留未来区域发展空间,杏林湾清除大量自然和半自然景观,逐渐转为以住宅、公共绿地、商业和旅馆等人工景观为主。2018年杏林湾建设用地面积约为5.1 km²,约占陆域面积的50%,相比2005年增加4.3 km²,增幅约500%。

与此同时,杏林湾生态系统服务功能也发生巨大转变。在园博园建设前,杏林湾生态系统以供给服务为主,2005年供给服务价值为2 031.99万元,占生态系统服务总价值的32%。随着用地需求的增加,大量农业用地转为建设用地,大规模的农田、养殖鱼塘和虾池被逐步清退,不再提供农产品和水产品,导致供给服务接近消失。杏林湾生态系统开始以文化服务为主,2018年文化服务价值为7 833.10万元,与2005年相比增加5 930.49万元,有力提升生态系统服务总价值。

4.2 现有生态修复策略存在的不足

4.2.1 建设用地增加,人工化增强,自然性降低

随着园博园的开发建设,杏林湾城市化进程加快,区域内原有的自然和半自然生态系统保留较少。尤其是在园博园规划范围外修建大量人工建筑,导致区域自然性和生境价值降低。例如:杏林湾北部陆地上30~40 m高程的小山头和相思林地转为城市建设用地,部分农田景观转为交通或公用建设用地,部分荷塘湿地转为居住用地和桥梁道路^[15]。

生态修复的目的在于恢复生态平衡。根据本研究评估结果,杏林湾支持服务价值在2 005年为1 370.67万元,至2018年仅为708.18万元,降低近50%,表明杏林湾的公共绿地多为社区和道路的绿化用地,难以满足野生生物的栖息条件。

4.2.2 水质未得到根本性改善

自2005年园博园建设带来杏林湾历史上首次大规模环境整治以来,2005—2018年杏林湾陆续开展一系列生态修复工程。

(1)2005—2007年园博园开发建设。范围西起杏林北环路,东至杏林湾水域,南接集杏海堤,北至杏北路延伸段;目标为建成集居住和旅游于一体的海湾型新城;措施包括湖库清淤、吹填造地、园博大道工程、北溪饮水渠盖板工程和道路桥梁工程。

(2)2010—2012年集杏海堤开口改造。范围为集杏海堤;目标为提高防洪排涝能力,改善杏林湾与厦门西海域的水体交换;措施包括开口建设总长为335 m的水闸。

(3)2015年6—10月环杏林湾截污整治。范围为田集连接段、滨水西岸、新城核心区和集美大道;目标为解决杏林湾污水排放问题;措施包括建设截污管道、截流井、截流泵站和初雨调蓄池。

(4)2018年集美新城杏林湾湿地一期工程。范围为集美沈海高速公路以南,杏林湾路以北,后溪水闸口附近区域;目标为建成“海绵城市”的组成部分;措施包括建设梯田湿地、桥下湿地、叠水湿地和沿岸湿地以及提升垂直驳岸景观、现状绿道景观和现状河道景观。

然而杏林湾水质并没有得到太大改善,2005—2018年属于四类至劣五类海水水质标准,并出现水体富营养化等问题。尤其是2012年集杏海堤开口以来,2013—2018年杏林湾水质均属于劣五类海水水质标准,且大部分年份水体呈重度富营养状态(表5)。

表5 2005—2018年杏林湾水质状况

年份	水质等级	营养状态	环境整治工程
2005	五类	—	—
2006	五类	—	—
2007	四类	—	园博园开发建设
2008	五类	—	—
2009	四类	重度富营养	—
2010	五类	—	—
2011	五类	—	—
2012	五类	重度富营养	集杏海堤开口改造
2013	劣五类	重度富营养	—
2014	劣五类	重度富营养	—
2015	劣五类	重度富营养	环杏林湾截污整治
2016	劣五类	中度富营养	—
2018	劣五类	重度富营养	集美新城杏林湾湿地一期工程

4.3 建议

4.3.1 划定自然保护地,开展以自然恢复为主的生态修复

“再野化”是新兴的生态修复方法,是指特定区域荒野程度的提升过程,尤其强调提升生态系统韧性和维持生物多样性^[28]。建议从再野化的角度开展杏林湾及其周边区域的生态修复,以“山水林田湖草生命共同体”理念为指导思想,严格保护杏林湾及其周边区域基本没有受到人类干扰的荒野地,划定自然保护地并明确范围。

在园博园施工建设期间保留多处芦苇丛和岸边灌草等,目前已成为白鹭等多种鹭鸟的主要栖息场所,可在这类野生生物天然聚集地设置生态屏障(如在附近河岸栽种树木和水草),减少人类干扰。在现有岸线的基础上,可结合本土植物设计和搭配生态护岸,在不影响行洪的情况下,多堆填建造人工小岛并在岛上种植植物使其自然恢复,不仅可形成连通自然生境的生态廊道,而且可形成湖面、岸线、滩涂、灌丛、树木和岛屿等多样化和多层次景观,在为人类提供良好自然体验的同时,也为鸟类和水生生物提供足够的栖息空间。由于可达性不足,园博园内的海洋岛部分区域及其北部未开发荒岛基本没有受到人类干扰,经过多年的自然演替和恢复,顶级植物逐渐取代原始先锋植物,吸引众多鸟类在此栖息,并已形成较稳定的生态系统,建议采取严格措施加以保护。

4.3.2 陆海统筹,湖海共治,提升水环境质量

杏林湾水质与集美新城品质之间的矛盾已得到广泛重视,集美区政府已成立杏林湾及其流域污水处理专项工作领导小组,并制定《杏林湾流域污水处理系统建设总体方案》,对环湾基础设施建设、水面执法管理和流域综合整治等工作做出具体部署,取得一定成效。随着集美海堤的开口,杏林湾与厦门西海域实现连通,具备水体交换的条件^[29];而厦门西海域为轻中度污染海域,杏林湾水质可能会受到污染海水的影响。此外,杏林湾和马銮湾外成片的滩涂淤泥长期受自然侵蚀和人工侵占,尽管目前已清退海水养殖,但仍存在严重的污染问题,导致周边环境恶化。因此,建议在杏林湾水污染处

理过程中充分考虑海洋因素,建立陆海统筹的污染治理机制。

5 结语

本研究将生态系统服务价值提升作为生态修复的目标,结合区域实际情况和所掌握的数据资料,构建杏林湾生态修复效果评估指标体系,运用成果参照法、影子工程法、旅行费用法和替代成本法等方法,估算2005年和2018年杏林湾生态系统服务价值。本方法具有科学性、全面性和可操作性,可揭示杏林湾生态系统服务价值的主要变化特征,为生态修复效果评估提供基础。杏林湾生态修复总体取得较好效果,但仍面临快速城市化带来的环境问题。杏林湾应基于“山水林田湖草生命共同体”和“陆海统筹”理念,加强生态保护修复,进一步提高生态系统服务价值。

参考文献

- [1] COSTANZA R, D'ARCE R, GROOT R D, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [2] CUI L, LI G, LIAO H, et al. Integrated approach based on a regional habitat succession model to assess wetland landscape ecological degradation[J]. *Springer Netherlands*, 2015, 35(2): 281-289.
- [3] TIAN B, WU W, YANG Z, et al. Drivers, trends, and potential impacts of long-term coastal reclamation in China from 1985 to 2010[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2016, 170: 83-90.
- [4] LOTZE H K, LENIHAN H S, BOURQUE B J, et al. Depletion, degradation, and recovery potential of estuaries and coastal seas[J]. *Science*, 2006, 312(5781): 1806-1809.
- [5] MARK S, TOM S, STIJN T, et al. Future response of global coastal wetlands to sea-level rise[J]. *Nature*, 2018, 561(7722): 231-234.
- [6] 张建春, 彭补拙. 河岸带研究及其退化生态系统的恢复与重建[J]. *生态学报*, 2003, 23(1): 56-63.
- [7] 谷树忠, 胡咏君, 周洪. 生态文明建设的科学内涵与基本路径[J]. *资源科学*, 2013, 35(1): 2-13.
- [8] 丘华恩. 基于空间句法的城市水岸景观研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.
- [9] 马丽, 李吉鹏, 陆志强. 厦门杏林湾表层沉积物重金属污染特征及潜在生态风险评价[J]. *生态科学*, 2013, 32(2): 212-217.
- [10] 王静, 刘瑞志, 李捷, 等. 厦门市杏林湾水库水环境质量评价分

- 析[J].浙江农业科学,2014,349(10):1599—1607.
- [11] 程启明,黄青,廖祯妮,等.厦门杏林湾水系表层沉积物中PAHs分析与风险评估[J].环境科学,2015,36(1):179—185.
- [12] 邓希.厦门市新机场鸟类生态补偿地选择[D].厦门:厦门大学,2018.
- [13] 龙邹霞.基于生态系统健康的湖泊生态需水研究[D].厦门:国家海洋局第三海洋研究所,2007.
- [14] 黄永春,卢亚芳,周立红,等.杏林湾水库水质的理化特性[J].集美大学学报(自然科学版),2002,7(4):300—303.
- [15] 国家海洋局第三海洋研究所.厦门杏林湾生态环境保护与建设研究报告[R].厦门:国家海洋局第三海洋研究所,2007.
- [16] 余兴光.海洋城市滨水环境生态系统服务功能保护与区域开发协调研究[D].厦门:厦门大学,2006.
- [17] 程健华.基于生态系统服务的城市海岸带生态修复效果评估研究[D].厦门:国家海洋局第三海洋研究所,2010.
- [18] 朱慧娟.海洋生态系统海水养殖服务价值评估:福建省案例研究[D].厦门:厦门大学,2017.
- [19] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等.一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J].自然资源学报,2008,23(5):911—919.
- [20] 厦门市水利局.2005年厦门市水资源公报[Z].2006.
- [21] 厦门市水利局.2018年厦门市水资源公报[Z].2019.
- [22] 厦门市集美区地方志办公室.集美年鉴[M].北京:方志出版社,2018.
- [23] 彭本荣,洪华生,陈伟琪.海岸带环境资源价值评估:理论与方法与案例研究[J].厦门大学学报(自然科学版),2004,43(S1):184—189.
- [24] 彭本荣,洪华生.海岸带生态系统服务价值评估理论与应用研究[M].北京:海洋出版社,2006.
- [25] WHITTAKER R H. Communities and ecosystems[M]. New York: Macmillan, 1975.
- [26] 肖寒,欧阳志云,赵景柱,等.海南岛生态系统土壤保持空间分布特征及生态经济价值评估[J].生态学报,2000,20(4):552—558.
- [27] 王金南,严刚,姜克隽,等.应对气候变化的中国碳税政策研究[J].中国环境科学,2009,29(1):101—105.
- [28] 杨锐,曹越.“再野化”:山水林田湖草生态保护修复的新思路[J].生态学报,2019,39(23):8763—8770.
- [29] 于东生,杨金艳.厦门高集、集杏海堤开口后水动力变化研究[A].中国海洋学会海洋工程分会.第十四届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集(上册)[C].北京:海洋出版社,2009:640—644.