

基于PSR模型的渔业用岛生态状况评价

——以菜坨子岛为例

董华洋^{1,2}, 邓勇³, 张立夫¹

(1.自然资源部大连海洋中心 大连 116000; 2.国家海洋环境监测中心 大连 116023;
3.大连交通大学 大连 116028)

摘要:菜坨子岛位于大连市长海县,为无居民海岛,功能定位为渔业用岛。依据无居民海岛生态系统的特点和渔业用岛功能定位,文章使用压力-状态-响应模型设置3层指标体系,对菜坨子岛生态状况进行评价。指标评价方法采用专家评价法及单因子环境质量指数法、综合评价指数法等计算各级权重值和指标值。基于2015年现场调查数据,采用层次分析法对压力-状态-响应模型进行计算,得出菜坨子岛年生态状况分值及评价结果。结果表明,菜坨子岛总体状态为“优”(分值为0.811 1)。此外,经过对评价指标进一步优化后,可将该评价方法推广到对其他渔业用无居民海岛的生态状况评价,为其开发和保护提供依据。

关键词:无居民海岛;渔业用岛;压力-状态-响应模型

中图分类号:P74 文献标志码:A 文章编号:1005-9857(2023)03-0106-07

Ecological Evaluation of Fishery Island Based on PSR Model: A case study of Caituozi Island

DONG Huayang^{1,2}, DENG Yong³, ZHANG Lifu¹

(1. Dalian Ocean Center, MNR, Dalian 116000, China; 2. National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116023, China; 3. Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, China)

Abstract: Caituozi Island is located in Changhai County of Dalian, which is an uninhabited island with the function of fishery. According to the characteristics of uninhabited island ecosystem and the function of fishery island, the pressure-state-response (PSR) model with three-layer index was built to evaluate the ecological status of Caituozi Island. Expert evaluation method, environmental quality index of single element method and comprehensive evaluation index method were applied to calculate weight value and index value of each level indexes. Based on field investigation data in 2015, ecological status score of Caituozi Island was calculated by using the analytic hierarchy process of PSR model. The result showed that the status of Caituozi Island was “Excellent” (The score was 0.811 1). In addition, the evaluation

收稿日期:2022-05-05;修订日期:2023-02-13

基金项目:北海分局海洋科技项目“北海区基岩类无居民海岛生态系统评价体系建设 and 应用的初步研究”(2016B17);国家海洋环境监测中心科技人员发展基金“倾废船只倾倒地统计与全国海洋倾废监督管理系统的研究”(2020-A-01)。

作者简介:董华洋,高级工程师,博士,研究方向为海洋生态修复

通信作者:张立夫,工程师,研究方向为海洋环境监测

method could be extended to assess the ecological status of other uninhabited islands for fishery by further optimizing the evaluation indexes.

Keywords: Uninhabited island, Fishery island, The PSR model

0 引言

海岛及其周边海域自然资源丰富,是我国海洋资源的重要组成部分。无居民海岛具有很高的政治、经济、社会和军事价值,但海岛生态环境较为脆弱,加之盲目开发造成的破坏导致其生态状况问题日益突出。因此,为合理保护利用海岛,亟须开展海岛生态状况评价。

海岛生态评价是自 20 世纪 60 年代开始发展。Macrthur 等^[1]共同编撰的《岛屿生物地理学理论》中首次提出了海岛生态系统研究,可视为海岛生态系统研究的开端。Copson 等^[2]对 Macquarie 岛的管理工作提出了构想,包括对动植物数量及分布变化的监测、对海岛的生态修复以及管理措施等。我国学者也开展了关于海岛生态评价的相关研究。陈秋明^[3]建立了基于生态—经济价值的无居民海岛开发适宜性评价指标体系,并对厦门鳄鱼屿进行评价,得出鳄鱼屿适宜发展生态旅游的结论。林志兰等^[4]认为无居民海岛开发适宜程度取决于其生态重要性和开发利用可行性,并建立开发适宜性评价指标体系,对厦门海域 18 个无居民海岛的开发适宜性进行评价,并提出了无居民海岛保护建议。叶祖超等^[5]依据广西壮族自治区无居民海岛的特点,建立了无居民海岛开发利用适宜性评价指标体系,以防城港市六墩岛为例,从生态保护重要性和经济开发可行性两个方面评价其开发利用适宜性。汲生磊^[6]运用压力—状态—响应模型(Pressure—State—Response, PSR),通过对无居民海岛生态系统和开发活动的压力特点选取评价指标,构建无居民海岛评价指标体系。由以上研究成果可见,指标体系的构建是海岛生态状况评价的核心,应体现海岛自然属性、用途及开发利用状况等要素。

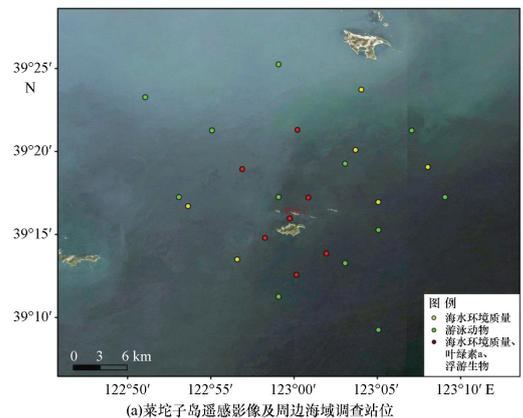
本研究以大连市长海县菜坨子岛为研究对象,从海岛自然属性、功能定位及开发利用状况出发,应用 PSR 模型构建能反映该海岛生态状况的评价指标体系,评价所使用的数据为 2015 年菜坨子岛实

测数据,运用层次分析法、专家评价法、单因子环境质量指数法等对菜坨子岛生态状况进行了评价,得出该海岛 2015 年生态状况的综合评价结果。

1 材料与方法

1.1 调查区域

菜坨子岛又名财坨子岛,位于乌蟒岛北侧,地理坐标 39°16.3'N, 123°00.1'E,为无居民基岩类海岛。该海岛距离大长山岛 28 km、小长山岛 22.3 km。海岛呈梭形,东西走向,岸线长度 1.77 km,陆域面积 0.134 5 km²,最高点高程 76.8 m,海蚀地貌发育。根据 2015 年秋季调查结果,菜坨子岛植被主要以天然植被为主,珍稀植物为野大豆,国家二级保护植物(图 1)。



(b)菜坨子岛海岸礁岩



(c)菜坨子岛植被

图 1 菜坨子岛遥感影像及照片

Fig.1 The remote sensing image and photos of Caituozi Island

菜坨子岛周边海域潮流为往复流,正规半日潮,年平均浪高 0.3~0.7 m。海水水温季节性变化明显,表层水温 8 月最高,平均 23.3℃,2 月最低,平均 1.5℃。海岛周边海域已开展底播养殖和浮筏养殖。2015 年调查结果表明,该海域渔业资源密度较

高,种间分布较均匀。

1.2 研究方法

1.2.1 PSR 模型指标体系的构建

本研究应用 PSR 模型为框架,建立能够客观反映菜坨子岛生态状况的评价指标体系,具体包括:以可能导致海岛生态状况退化的原因作为压力,包括自然因素和人为因素;以岛体和周边海域的现状作为状态,包括非生物环境和生物环境;人类为保护海岛生态而采取的相应措施作为响应,包括污染控制、生态管理、生态保护与建设。通过压力、状态和响应的相互作用,海岛生态状况可得到维护甚至提高。

指标选取是评价的基础,也是关键,许多学者对此进行过讨论^[3,5-7]。综合多位学者的研究及菜坨子岛的实际情况,指标选取重点考虑以下几个方面。

(1)指标选取能够体现海岛自然属性。菜坨子岛为无居民海岛,兼具海洋、陆地双重属性,评价指标在空间上应涵盖海岛的岛陆、潮间带及周边海域。

(2)指标选取应符合海岛功能定位。按照《辽宁省海岛保护规划(2012—2020 年)》的相关内容,菜坨子岛为适度利用类海岛,功能为农林牧渔业用岛。

(3)指标选取能够反映海岛所在区域的产业规划和现状。菜坨子岛已纳入辽宁沿海经济带重点支持的渔业养殖区。依据长海县 2021 年 5 月《长海县情简介》^[8]的产业状况介绍:长山群岛的主导产业依海展开,主要有海水增养殖业、海洋捕捞业、水产品加工业和海岛旅游业。

此外,指标选取还应充分考虑其可获得性、稳定性、可操作性及层次性等因素。

综上,压力指标选取了菜坨子岛自然状况和人类活动的要素指标。养殖活动会对海岛周边海域水质和原有生物群落结构产生影响,为突出菜坨子岛渔业用岛的功能定位,状态指标选取时重点关注潮间带生物及海岛周边海域水质和生物状况。响应指标选取了污染治理、生态管理和保护。最终形成如表 1 所示的压力、状态、框架下的三级指标体系,其中,第三级指标值为 2015 年实测数据。

表 1 指标体系及二级指标值结果

Table 1 Index system and the secondary index results

PSR 模型 框架	一级 指标	二级 指标	二级 指标值	三级 指标	三级指标值 实测值	三级指标 评价 标准值
压力	自然 因素	气候条件	1	——	——	——
		水文条件	1	——	——	——
		自然灾害	1	——	——	——
	人为因素	人类 开发活动	0.8	——	——	——
状态	非生物 环境	淡水环 境质量	0.78	pH	7.08	6.5~8.5
				氯化物/(mg·L ⁻¹)	254	≤250
				高锰酸盐指数/(mg·L ⁻¹)	1.11	≤3.0
				氨氮/(mg·L ⁻¹)	0.105	≤0.2
				亚硝酸盐(以 N 计)/(mg·L ⁻¹)	0.022	≤0.02
		硝酸盐(以 N 计)/(mg·L ⁻¹)	40.68	≤20		
	海水环 境质量	0.92	pH	8.1	7.8~8.5	
			溶解氧/(mg·L ⁻¹)	8.02	>6	
			无机氮/(mg·L ⁻¹)	0.064 6	≤0.20	
			活性磷酸盐/(mg·L ⁻¹)	0.013 8	≤0.015	
	土壤环 境质量	0.94	pH	6.1	≤6.5	
			镉/(mg·kg ⁻¹)	0.134	≤0.2	
			铅/(mg·kg ⁻¹)	33.61	≤35	
	生物环境	植被覆盖	1	植被覆盖/%	98	≥85
				珍稀物种	1	≥1
潮间带 生物		0.85	潮间带藻类/种(a1)	23	60~90	
			潮间带底栖动物密度/ (个·m ⁻²)(a2)	430	30~940	
			近海海 域生物	0.625	叶绿素 a 含量/ (mg·m ⁻³)(a3)	1.47
浮游植物细胞总量/ (个·m ⁻³)(a4)		1.56			17.04~ 110.69	
浮游动物生物量/ (mg·m ⁻³)(a5)		77.64			573~972	
游泳动物资源平均尾数密度/ (个·km ⁻²)(a6)	121 550	1 388.46~ 72 737.07				
游泳动物资源平均密度/ (kg·km ⁻²)(a7)	1 380	1 194.41				
响应	政策、 管理与 措施	污染控制	0.8	——	——	
		生态管理	0.8	——	——	
		生态保护 与建设	0.8	——	——	

1.2.2 调查内容及站位的布置

菜坨子岛的调查包括岛陆、潮间带和周边海域。其中:岛陆调查包括淡水环境、土壤环境、植被覆盖及岛陆珍稀物种;潮间带开展了藻类种数和底栖动物密度的调查;周边海域开展了海水环境质量、叶绿素 a 含量、浮游生物及游泳动物的调查。菜坨子岛周边海域调查站位布置见图 1(a)。

1.2.3 二级指标值计算方法

由表 1 所示的指标体系可见,压力和响应框架下各设置 2 层指标,分别为一级指标和二级指标,二级指标值采用专家评价法赋值,一级指标值由二级

指标值和权重值合成。状态框架下设置 3 层指标,其中第三级指标为实测数据。本研究以国家环境质量标准、地方环境质量标准、国家专项调查结果及当地历史值作为评价第三级指标的基准,评价方法采用单因子评价指数法、综合评价指数法和当地历史值为标准的区间赋分等方法进行评价,得出状态框架下各二级指标值,再与权重值共同合成一级指标值。状态框架下各二级指标值计算方法如下。

1.2.3.1 状态框架下“非生物环境”中二级指标值计算方法

状态框架下“非生物环境”二级指标包括“淡水环境质量”“海水环境质量”及“土壤环境质量”,评价标准为《地下水质量标准》(GB/T 14848-93)^[9]中Ⅲ类标准、《海水水质标准》(GB3097-1997)^[10]中Ⅰ类标准和《土壤环境质量标准》(GB15618-1995)^[11]中Ⅰ类标准,评价方法包括单因子评价指数法和综合评价指数法^[12],对三级指标值进行评价后得到二级指标值。具体方法如下:

$$\text{二级指标值} = H_1 \times 0.5 + H_2 \times 0.5$$

式中: H_1 , H_2 分别为单因子评价指数分值、综合评价指数分值。以下为 H_1 , H_2 计算方法:

(1)单因子评价指数 H_1 采用平均浓度指数 A 和单项指标超标率 B 两个指标综合打分。 $H_1 = A + B$ 。 A 和 B 计算方法如下:

① A 的计算方法:计算各三级指标单项指标污染指数;第 i 个评价因子环境质量指数的计算采用式(1):

$$P_i = C_i / S_i \quad (1)$$

式中: C_i 为第 i 个因子的实测值; S_i 为该因子的标准值。

如三级指标的标准值为区间值,例如 pH 值,可采用式(2)或式(3)计算:

$$P_i = (7.0 - \text{pH}_i) / (7.0 - \text{pHsd}) \quad (\text{pH} \leq 7.0) \quad (2)$$

$$P_i = (\text{pH}_i - 7.0) / (\text{pHsu} - 7.0) \quad (\text{pH} > 7.0) \quad (3)$$

式中: pHsd 为 pH 标准值下限, pHsu 为 pH 标准值上限。

计算各三级指标的 P_i 后,则计算平均指数 P ,

计算见式(4):

$$P = \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{i=1}^n P_i \quad (4)$$

若平均指数 $P \leq 1$,则 $A = 0.5$,若平均指数 $P > 1$,则 $A = 0$ 。

② B 的计算方法: $B = 0.5 \times (1 - a)$,其中 $a = \frac{\text{超标因子数}}{\text{总因子数}}$ 。

(2)综合评价指数 H_2 的计算方法。

计算指数:

$$T = \sum_{i=1}^n W_i P_i \quad (5)$$

W_i 为第 i 个评价因子权重, P_i 计算见式 1。本研究权重均取相同,即 $W_i = 1/n$ 。

若 $T < 0.75$,则 $H_2 = 1$;若 $0.75 \leq T \leq 1.25$,则 $H_2 = (2.5 - 2 \times T)$;若 $T > 0.75$,则 $H_2 = 0$

1.2.3.2 状态框架下“生物环境”各二级指标评价方法

状态框架下“生物环境”二级指标包括“植被覆盖”“珍稀物种”“潮间带生物”及“近海海域生物”。以当地历史值或专项调查结果作为参考对评价指标进行分段、赋值(赋值在 0~1 之间),进而得到实测结果对应的分值。具体为:

(1)植被覆盖。植被覆盖按照覆盖率进行评分,即植被覆盖率大于 85%,二级指标赋分 1;植被覆盖率在 50%和 85%之间,二级指标赋分 0.6;植被覆盖率小于 50%,二级指标赋分 0.3。

(2)珍稀物种。珍稀物种按照是否存在作为评价依据,珍稀物种数量大于等于 1 种,二级指标赋分 1;珍稀物种数量 0 种,二级指标赋分 0。

(3)潮间带生物。潮间带生物指标包括 2 个三级指标,为“潮间带藻类”(记为 α_1)和“潮间带底栖密度”(记为 α_2)。以《中国海岛志》(辽宁卷第一册辽宁长山群岛)^[13]中记录的历史调查结果作为参考,对评价指标进行分段、赋值,具体如下:

潮间带藻类种数小于 60 种, $\alpha_1 = 0.7$;潮间带藻类种数在 60~90 种之间,二级指标值为 $\alpha_1 = 1$;潮间带藻类种数大于 90 种, $\alpha_1 = 0.4$ 。

潮间带底栖动物密度小于 30 个/ m^2 , $\alpha_2 = 0.7$;潮间带底栖动物密度在 30~940 个/ m^2 之间, $\alpha_2 =$

1; 潮间带底栖动物密度大于 940 个/m², $\alpha_2 = 0.4$ 。

本研究取 2 个三级指标权重相同, 因此二级指标值计算如式(6)。

$$\text{潮间带生物二级指标值} = 0.5 \times \alpha_1 + 0.5 \times \alpha_2 \quad (6)$$

(4) 近海海域生物。近海海域生物包括 5 个三级指标, 分别为: “叶绿素 a 含量”(指标值记为 α_3)、 “浮游植物细胞总量”(指标值记为 α_4)、 “浮游动物生物量”(指标值记为 α_5)、 “游泳动物资源平均尾数密度”(指标值记为 α_6) 及 “游泳动物资源平均密度”(指标值记为 α_7)。评价指标进行分段、赋值依据“908 专项”调查^[13]中的游泳动物值; 叶绿素 a、浮游生物引用书中记载的 2007—2008 年的调查结果。三级指标赋分情况如下:

叶绿素 a 含量小于 0.4 mg/m³, $\alpha_3 = 0.7$; 叶绿素 a 含量在 0.4~3.3 mg/m³ 之间, $\alpha_3 = 1$; 叶绿素含量大于 3.3 mg/m³, $\alpha_3 = 0.4$ 。

浮游植物细胞总量小于 17.04 个/m³, $\alpha_4 = 0.7$; 浮游植物细胞总量在 17.04~110.69 个/m³ 之间, $\alpha_4 = 1$; 浮游植物细胞总量大于 110.69 个/m³, $\alpha_4 = 0.4$ 。

浮游动物生物量小于 573 mg/m³, $\alpha_5 = 0.7$; 浮游动物生物量在 573~972 mg/m³ 之间, $\alpha_5 = 1$; 浮游动物生物量大于 972 mg/m³, $\alpha_5 = 0.4$ 。

游泳动物资源平均尾数密度小于 1 388.46 个/km², $\alpha_6 = 0.7$; 游泳动物资源平均尾数密度在 1 388.46~72 737.07 个/km² 之间, $\alpha_6 = 1$; 游泳动物资源平均尾数密度大于 72 737.07 个/km², $\alpha_6 = 0.4$ 。

游泳动物资源平均密度小于 0.04 kg/km², $\alpha_7 = 0.7$; 游泳动物资源平均密度在 0.04~1 157.05 kg/km² 之间, $\alpha_7 = 1$; 游泳动物资源平均密度大于 1 157.05 kg/km², $\alpha_7 = 0.4$ 。

由以上 5 个三级指标合成二级指标:

$$\text{近海海域生物二级指标值} = \frac{1}{4} \times [\alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 + \frac{1}{2} \times (\alpha_6 + \alpha_7)]$$

其中: 游泳动物资源平均尾数密度 (α_6)、游泳动物资源平均密度 (α_7) 共同体现所调查海域游泳动物特征, 因此合成二级指标时作为一个因素体现

在二级指标值中。

按照以上方法计算得出状态框架下各二级指标值计算结果, 详见表 1。

1.2.3.3 压力和响应框架下指标评价方法

压力和响应框架下各二级指标采用专家评价法评价, 即专家依据菜坨子岛的状况及个人经验给予评分, 由定性分析转化为定量计算, 分值在 0~1 之间。压力框架下, 一级指标包括自然因素和人为因素。自然因素下各二级指标值专家打分均为 1; 人为因素下由于海岛周边海域已开展养殖活动, 且在岛陆建设约 15 m² 的临时用房用于看护养殖的人使用, 说明岛陆及海岛周边海域有人为开发活动, 因此人为因素下二级指标值专家打分为 0.8。具体见表 1 中的二级指标值。

响应框架下二级指标包括“污染控制”“生态管理”及“生态保护与建设”。由于菜坨子岛上人为活动和周边海域存在养殖活动, 因此会对岛陆及周边海域产生一定的污染。虽然人为活动产生的污染并没有菜坨子岛非生物环境产生严重影响, 但是目前没有对菜坨子岛污染进行控制, 因此专家对二级指标“污染控制”打分 0.8。辽宁省发布了《辽宁省海岛保护规划》(2012—2020)^[14], 给出了菜坨子岛保护和利用现状及海岛保护措施和要求。但管理部门并未在此基础上对菜坨子岛制定具有针对性的保护措施, 也并未进行生态修复建设, 因此专家对二级指标“生态管理”“生态保护与建设”均给予 0.8 的分值。响应框架下各二级指标值见表 1。

2 综合评价结果

本级指标值需要低一级指标值和其权重值共同合成, 例如, 计算一级指标值需要各二级指标值和其权重值计算合成。本研究使用层次分析法^[15](the Analytic Hierarchy Process, AHP) 计算权重, 该方法将问题分解, 体现为每一级指标, 再将这些因素分组形成递阶层次结构。同一层中的因素, 可通过两两比较的方法确定该层次中诸因素的相对重要性, 给出重要性的比例标度, 通过专家评价法确定各指标的比例标度后, 应用“yaahp 一层次分析法软件”建立各要素间相对重要性的判断矩阵并对矩阵进行一致性判断, 确认矩阵判断结果可

行,再计算各指标权重。得出权重后通过公式7计算本级的指标值,以此类推,最终得出菜坨子岛生态状况的综合分值。本研究各指标层权重及指标值计算结果如表2所示。

$$M = W_1 I_1 + W_2 I_2 + \dots + W_i I_i + \dots + W_n I_n \quad (7)$$

其中: $1 \leq i \leq n$, I_i 为第 i 个上一层指标值; W_i 为第 i 个上一层指标的权重值; M 为本级指标值。

依据层析分析法,得出菜坨子岛各级指标值及

生态状况的综合分值,指标值和综合分值均在 $0 \sim 1$ 区间内,详见表2。为了更直观地评价海岛生态状况,采用等间距法将海岛生态状况综合指数平均划分为5个等级^[16]并对应5个数值化区间,分别为:极差 $[0, 0.2]$,差 $(0.2, 0.4]$,中等 $(0.4, 0.6]$,良 $(0.6, 0.8]$ 和优 $(0.8, 1.0]$ 。根据表2计算结果,菜坨子岛生态状况综合评分为0.8112,处于“优”的状态。说明2015年菜坨子岛整体生态状况保持了较好水平。

表2 菜坨子岛评价各分级指标及权重

Table 2 Evaluation of each rating index and weight of Caotuozi Island

	综合分值	框架指标	框架指标权重值	框架指标值	一级指标	一级指标权重值	一级指标值	二级指标	二级指标权重值	二级指标值
菜坨子岛生态系统综合评价	0.8112	压力	0.2	0.8333	自然因素	0.1667	1	气候条件	0.3333	1
								水文条件	0.3333	1
								自然灾害	0.3333	1
					人为因素	0.8333	0.8	人类开发活动	1	0.8
		状态	0.5	0.8089	非生物环境	0.1250	0.9030	淡水环境质量	0.1429	0.78
								海水环境质量	0.7143	0.92
								土壤环境质量	0.1429	0.94
					生物环境	0.8750	0.7954	植被覆盖	0.0679	1
								珍稀物种	0.1524	1
								潮间带生物	0.3899	0.85
		响应	0.3	0.7999	政策、管理与措施	1	0.7999	污染控制	0.3333	0.8
								生态管理	0.3333	0.8
生态保护与建设	0.3333							0.8		

此外,菜坨子岛作为渔业用岛,评价体系中二级指标“海水环境质量”和“近海海域生物”也是本研究关注的重点。“海水环境质量”下所有三级指标均未超标,说明菜坨子岛周边海水水质保持较好,并未因养殖活动产生水体富营养化现象。“近海海域生物”下的三级指标,“游泳动物资源平均尾数密度”及“游泳动物资源平均密度”,其实测值均高于标准范围最高值,而“浮游植物细胞总量”“浮游动物生物量”则均低于标准值最低值。分析其原因,菜坨子岛作为渔业用岛,其周边人类养殖活动扩张导致了食物链上端的掠食性动物数量增加,致使低端生物数量减少,生物群落分布发生了改变,从评价结果来看二级指标“近

海海域生物”的评分已处于良(评分为0.625)。以上分析认为菜坨子岛周边海域的生物资源受到人为养殖活动的负面影响,建议管理部门给予重视。

3 结论与建议

本研究应用PSR模型,对位于大连市长海县的无居民海岛——菜坨子岛建立了评价指标体系,并使用层次分析法对菜坨子岛状况进行综合评价,结果为优。为保护海岛生态健康,在没有新增项目建设的情况下,建议在3~5年进行一次海岛调查和评价,及时掌握菜坨子岛生态状况的动态变化。如发现有恶化趋势,应采取保护措施对其生态系统进行修复。如有新增项目申请,建议审批前进行一次海

岛生态状况调查和评价作为本底,对新增项目的建设运营对海岛生态状况的影响进行预评估。

此外,本研究选取的评价指标基本能够全面客观地体现无居民海岛生态系统特点及渔业用岛的功能定位,经过进一步优化调整,可将本评价指标和方法推广到其他渔业用无居民海岛的生态状况评价,为该类海岛的保护和利用提供依据。

参考文献(References):

- [1] MACRTHUR R H, WILSON E O. The theory of island geography [M]. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1967.
- [2] COPSON G, WHINAM J. Review of ecological restoration programme on subantarctic Macquarie Island: Pest management progress and future directions[J]. Ecological Management & Restoration, 2001, 2(2):129-138.
- [3] 陈秋明. 基于生态-经济的无居民海岛开发适宜性研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2009.
CHEN Qiuming. Research on non-resident islands' exploitation suitability based on ecology and economy[D]. Xiamen, Xiamen University, 2009.
- [4] 林志兰, 黄宁, 陈秋明, 等. 无居民海岛开发适宜性评价指标体系的构建和在厦门海域的应用[J]. 台湾海峡, 2012, 31(1): 136-142.
LIN Zhilan, HUANG Ning, CHEN Qiuming, et al. Index system establishment for exploitation suitability assessment of uninhabited island and it's application in Xiamen sea area[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2012, 31(1):136-142.
- [5] 叶祖超, 孙燕, 高劲松, 等. 无居民海岛开发利用适宜性评价: 以防城港市六墩岛为例[J]. 海洋环境科学, 2018, 37(6):843-848.
YE Zuchao, SUN Yan, GAO Jinsong, et al. Suitability evaluation of exploitation and utilization in uninhabited islands: A case study in Liudun island of Fangchenggang city[J]. Marine Environmental Science, 2018, 37(6):843-848.
- [6] 汲生磊. PSR 模型在无居民海岛开发及评价中的应用: 以跳尾岛为例[D]. 上海: 上海海洋大学, 2018.
JI Shenglei. Application of the PSR Model on the assessment of non-resident island ecosystem after development: Tiaowei Island as an example[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018.
- [7] 王芳, 唐伟, 于灏. 无居民海岛开发利用现状评价体系构建的研究[J]. 科技创新导报, 2011(15): 2.
WANG Fang, TANG Wei, YU Hao. Study on the construction of evaluation system for development and utilization status of uninhabited islands[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2011(15): 2.
- [8] 长海县政府办秘书科. 长海县情简介[EB/OL]. (2021-05-04) <https://www.dlch.gov.cn/details/index/tid/517193.html>. Secretary section of government office in Changhai Country. Brief introduction to Changhai County[EB/OL]. (2021-05-04) <https://www.dlch.gov.cn/details/index/tid/517193.html>.
- [9] 中华人民共和国国家技术监督局. GB/T 14848-93 地下水质量标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1994.
The State Bureau of Quality and Technical Supervision of the People's Republic of China. GB/T 14848-93 Quality standard for ground water[S]. Beijing: Standard Press of China, 1994.
- [10] 中华人民共和国国家环境保护局, 国家海洋局. GB3097-1997 海水水质标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997.
State Environmental Protection Bureau of the People's Republic of China, State Oceanic Administration. GB3097-1997 Sea water quality standard[S]. Beijing: Standard Press of China, 1997.
- [11] 中华人民共和国国家环境保护局, 国家技术监督局. GB15618-1995 土壤环境质量标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
State Environmental Protection Bureau of the People's Republic of China, The State Bureau of Quality and Technical Supervision of the People's Republic of China. GB15618-1995 Environmental quality standard for soil [S]. Beijing: Standard Press of China, 1995.
- [12] 肖佳媚. 基于 PSR 模型的南麂岛生态系统评价研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2007.
XIAO Jiamei. Ecosystem assessment of Nanji Island based on PSR model[D]. Xiamen: Xiamen University, 2007.
- [13] 《中国海岛志》编纂委员会. 《中国海岛志》(辽宁卷第一册 辽宁长山群岛)[M]. 北京: 海洋出版社, 2013.
Compilation committee of China Island Annals. China Island Annals (Liaoning Volume 1, Changshan Islands, Liaoning Province)[M]. Beijing: China Ocean Press, 2013.
- [14] 辽宁省海洋与渔业厅. 辽宁省海岛保护规划(2012-2020)[EB/OL]. (2014-04-25) http://zrzy.ln.gov.cn/zwgk/ghjh/hygh/201912/t20191223_3711209.html
Department of Oceans and Fisheries of Liaoning Province. Island protection Plan of Liaoning Province(2012-2020)[EB/OL]. (2014-04-25) http://zrzy.ln.gov.cn/zwgk/ghjh/hygh/201912/t20191223_3711209.html
- [15] 王莲芬, 许树柏. 层次分析法引论[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1990.
WANG Lianfen, XU Shubo. Introduction to analytic hierarchy process[M]. Beijing: China Renmin Unniversity Press, 1990.
- [16] 胡灯进. 福建典型海岛生态系统评价[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
HU Dengjin. Typical islands ecosystem assessment of Fujian Province[M]. Beijing: China Science Press, 2014.