

DOI: 10.5846/stxb201307151899

李晓敏, 张杰, 曹金芳, 马毅. 广东省川山群岛开发利用生态风险评价. 生态学报, 2015, 35(7): 2265-2276.

Li X M, Zhang J, Cao J F, Ma Y. Ecological risk assessment of exploitation and utilization in Chuanshan Archipelago, Guangdong province, China. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(7): 2265-2276.

广东省川山群岛开发利用生态风险评价

李晓敏*, 张 杰, 曹金芳, 马 毅

国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266061

摘要: 随着海洋经济的迅猛发展, 海岛的开发利用程度不断加大, 海岛生态环境遭到极大地冲击和破坏, 导致海岛生态系统出现环境恶化、灾害加剧的趋势。广东省川山群岛, 主岛为上川岛和下川岛, 因岛上旅游娱乐和养殖用海等开发利用活动频繁, 使其生态系统面临严峻的挑战。根据 EPA 提出的生态风险评价框架, 分析了川山群岛的生态终点、生境类型和压力源状况, 构建了一个用以描述川山群岛压力源、生境和评估终点间相互关系的概念模型, 采用 RRM 模型思想进行了川山群岛开发利用风险评价。结果表明: 上川岛属于开发利用的高风险区, 主要风险区域是潮间带和近海两个生态子系统, 其中以岩滩的开发利用压力最大, 旅游娱乐和养殖用海是风险压力的主要来源, 珍稀水禽是主要受威胁的物种; 下川岛较上川岛的开发利用风险低, 其岛陆、潮间带和近海 3 个生态子系统的开发利用压力都不大, 养殖用海、旅游娱乐和城镇用地是风险压力的主要来源, 也是威胁珍稀水禽和猛禽的主要压力源。基于此, 从旅游管理、养殖用海管理等方面给出了上川岛和下川岛的风险管理对策, 以为海岛环境保护和可持续利用提供科学依据。

关键词: 海岛生态系统; 生态风险评价; 开发利用; 相对风险模型; 川山群岛

Ecological risk assessment of exploitation and utilization in Chuanshan Archipelago, Guangdong province, China

LI Xiaomin*, ZHANG Jie, CAO Jinfang, MA Yi

The First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China

Abstract: Islands are an important part of marine territory and of significant economic and military importance. At the same time, islands are a kind of special ecosystem with unique and fragile ecological environment. With the rapid development of marine economy, the exploitation and utilization degree has increased significantly, and the ecological environment of islands has suffered from the great shock and damage. These lead to the trend of environment degradation and disaster exacerbation. For a long period, natural disasters have been the main risk source of island ecosystem, but in recent years human exploitation and utilization activities have been major risk source. The Chuanshan Archipelago consists of the Shangchuan Island, Xiachuan Island, Mangzhou Island and so on. It is located in the west of Pearl River estuary and is an important sea barrier in central Guangdong province, China. Affected by ocean monsoon, the climate there is mild and pleasant. And the tourism resources are abundant and unique, so the number of tourists to island is too many. In addition, it also has many natural harbors such as Shadi harbor and Nao'ao harbor. Therefore, the exploitation and utilization activities such as tourism recreation and marine aquaculture are frequent, which causes the great challenge in the ecosystem of Chuanshan Archipelago. Based on the ecological risk assessment frame proposed by the Environmental Protection Agency (EPA), this paper analyzed the ecological endpoints, habitat types and press sources of Chuanshan Archipelago. A conceptual model which was proposed to characterize the relationships between the above three factors. The ecological risk of exploitation and utilization in Chuanshan Archipelago was evaluated using the Relative Risk Model (RRM). The

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(GY02-2009T03)

收稿日期: 2013-07-15; 修订日期: 2014-10-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lixiaomin@fio.org.cn

comprehensive risk value is 7.745 in Shangchuan Island, which shows the utilization risk is high. The two subsystems of Shangchuan Island, tidal flats and shallow sea, are the major risky regions, especially the rocky beach in the tidal flats. The tourism recreation and marine aquaculture are the main sources of risk. The rare waterfowl is the most threatened species. The comprehensive risk value is 2.317 in Xiachuan Island, the exploitation risk is lower than that of Shangchuan Island because the pressure from the three subsystems of insular terrene, tidal flats and shallow sea is small. The main risks come from the marine aquaculture, tourism recreation and urban land-use which also threaten the rare waterfowls and accipiter. Based on the result above, this paper outlines the risk management countermeasure of tourism and marine aquaculture in Shangchuan Island and Xiachuan Island, which includes the following parts: controlling the number of tourists to island strictly, strengthening the ecological management of island, reducing the waste caused by tourism and domestic garbage to the best of their abilities, reinforcing the management of marine aquaculture and removing the abandoned and illegal breeding pools, prohibiting production and exploitation activities in nature reserve, and so on. These findings may provide decision-making support and management basis for the ecological environment protection and sustainable utilization of island.

Key Words: island ecosystem; ecological risk assessment; exploitation and utilization; relative risk model; Chuanshan Archipelago

生态风险评价是伴随着环境管理目标和环境观念的转变而逐渐兴起并得到发展的一个新的研究领域^[1]。美国国家环保局(Environmental Protection Agency, EPA) 1992 年对其的定义为:对由于一种或多种应力(物理、化学和生物应力等)接触的结果而发生的或正在发生的负面生态影响概率的评估过程^[2]。作为一种重要的生态环境管理手段,生态风险评价已应用到湖泊流域^[3-6]、三角洲湿地^[7-8]、海岸带和海湾地区^[9-11]、行政区域^[12-13]等方面。

海岛是海洋国土的重要组成部分,具有很高的经济价值和国防价值;同时,海岛是一种特殊的生态系统,生态环境单一、脆弱性强。随着海洋经济的迅猛发展,海岛的开发利用程度不断加大,使得海岛生态环境遭到极大地冲击和破坏,海岛生态系统出现环境恶化、灾害加剧的趋势。长久以来,自然灾害一直是海岛生态系统的主要风险源,但近年来人类开发利用活动已发展成为海岛生态系统的首要风险源。然而,关于海岛生态系统风险评价的研究还不多。国家海洋局第一海洋研究所承担的国家自然科学基金委主任基金“海岛生态系统评价方法研究”开展了海岛生态系统风险评价方法研究。在该基金的支持下,王小龙等发展了非线性海岛自然灾害风险评价模型和基于相对风险模型的海岛人类开发利用风险评价方法^[14-15],辛红梅等提出了基于景观格局的海岛自然灾害风险评价方法和模型^[16],王常颖等建立了基于景观格局的海岛开发利用风险评价模型^[17],这些方法均在渤海海域长岛南五岛中得到了应用。

广东省川山群岛分布在珠江口西侧,为粤中海上重要屏障。因长期受海洋季风影响,气候温暖宜人,以丰富独特的旅游资源吸引着八方游客,还分布有沙堤港、南澳港等许多天然优良港湾,所以岛上旅游娱乐和养殖用海等开发利用活动频繁,导致川山群岛生态系统面临严峻的挑战。本文根据 EPA 提出的生态风险评价框架,对川山群岛生态系统进行开发利用风险评价,以期对海岛生态环境保护、可持续开发利用提供决策支持和管理依据。

1 海岛开发利用风险评价框架

根据 EPA 的生态风险评价框架体系^[2],生态风险评价框架主要由问题形成、风险分析(包括暴露分析和危害分析)、风险表征和风险管理 4 个步骤构成。王小龙等^[15]在此基础上,构建了海岛开发利用风险评价框架,本文采用了该框架。

问题形成阶段分析的内容包括生态终点、区域生境结构、压力源和概念模型 4 项。海岛生态系统可选取区域特有的物种种群及数量的减少、鸟类种群及数量的减少、珍稀濒危鸟类的消失、潮间带的退化等作为相应

的生态终点。区域生境结构主要是分析评价区域内的生境特征、类型及其分布状况,了解不同生境类型的风险状况。海岛生态系统压力源可以分为自然和人为压力源两类,自然压力源包括干旱、热带气旋、虫害等,人为压力源包括过度开发利用、排污污染、化学物质泄漏、溢油等。概念模型的构建在极大程度上决定着评价结果的可靠性,正确的概念模型可以真实地反应区域现实存在的压力源-生境-生态终点的暴露和响应路径,对于区域风险评价和最终的风险管理均具有指导意义。

风险分析阶段需要解决的问题是如何对各类压力源—生境—生态终点的暴露和响应进行度量。采用相对风险模型^[18](RRM)思想,通过计算压力密度和生境丰度,来实现海岛开发利用压力与生态终点之间的暴露和响应的量化。RRM 得到的生态风险关系是一种相对风险关系,可用于区域内不同评价小区间风险程度的比较。

采用 RRM 模型进行风险表征,主要基于 4 个基本假设:(1) 任意风险小区,其压力源的区域尺度或密集度越大,则该压力源释放的压力也越大;与生态终点相联系的生境的密集度越大,其暴露于压力之下的可能性就越高。(2) 评估终点的类型和种群密度与其相联系的生境密切相关。(3) 风险受体对压力源的敏感程度随生境类型的不同而不同。受体对压力源越敏感,则对压力的响应程度就越高。(4) 为便于负荷风险压力的累积,作用于评估终点的多个风险压力可以按其相对应的风险等级进行累加。

风险管理是海岛开发利用风险评价的重要组成部分。根据 RRM 模型评价结果,针对不同区域、不同的生境以及不同的压力源,对风险较大的区域、压力源或生境提出风险规避的方法和手段,以达到降低区域风险的目的。

2 研究方法

2.1 川山群岛风险评价小区划分

川山群岛行政隶属于广东省江门市的台山市,位于北纬 21°34'—21°47'、东经 112°25'—112°54',包括上川岛、下川岛、潯洲、王府洲、黄麋洲、坪洲、围夹岛、乌猪洲等多个海岛,集中分布于上川岛和下川岛周边(图 1)。

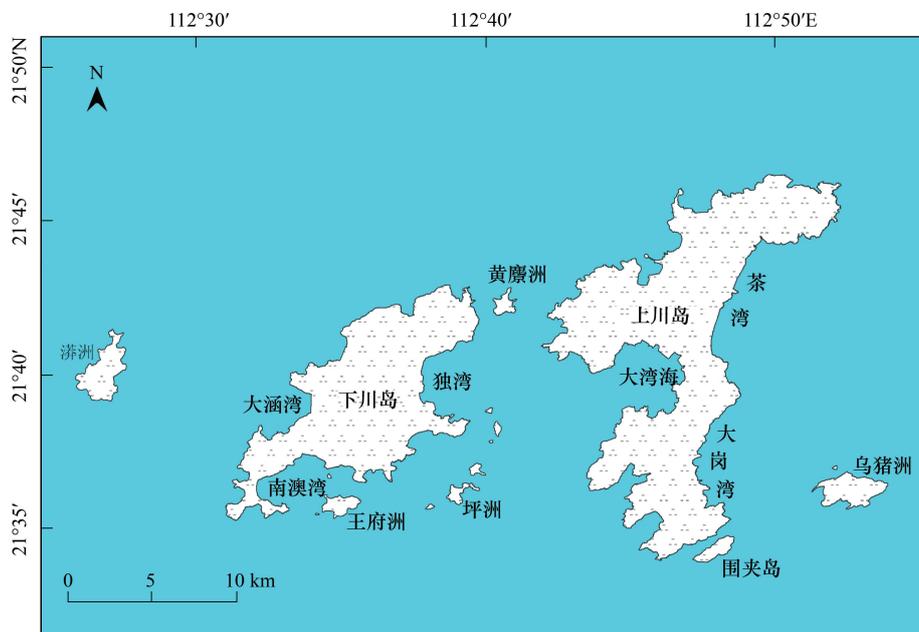


图 1 川山群岛位置图

Fig.1 Location of Chuanshan Archipelago

风险小区是区域生态风险评价与风险等级划分的基础,每个风险小区是一个独立的单元。通过对不同风险小区内生态风险状况的评价和对比,可以实现评价区域范围内生态风险等级的划分。风险小区的划分可采

用自然存在的或者人为划定的边界,如山脉、河流以及保护区的界线等;对于有水域存在的评价区域,往往还采用等深线进行风险小区边界的界定。本文的海岛生态系统包括岛陆、潮间带和近海部分,因此风险小区的划分结合自然边界和海水等深线来确定。参考王小龙等的成果^[15],本文采用海岛近海湿地子系统来定义海岛生态系统近海范围。最终划分为两个相邻的风险小区,分别是上川岛区和下川岛区(图2)。

(1) 上川岛区

上川岛是江门市第一大岛、广东省第二大岛,海岛面积为 24474.66 hm^2 、岸线长 154.039 km,岛上设有上川镇,常住居民较多,有 1.4 万多人,岛上交通条件便利。气候温暖宜人,因地理纬度与美国夏威夷大致相同,旅游资源与夏威夷媲美,被誉为“东方夏威夷”,以其丰富独特的旅游资源吸引着八方游客;在车骑顶和米筒湾分布有原始次生林,栖息着国家二级保护动物-猕猴^[19],设有上川岛猕猴省级自然保护区,位于上川岛的东北端,东与飞沙滩旅游区相连,东、西、北三面邻海,总面积 2000 多 hm^2 ;在岛的西南端分布有广东省八大渔港之一的沙堤渔港。

(2) 下川岛区

下川岛与上川岛毗邻相望,海岛面积为 17173.87 hm^2 、岸线长 91.384 km,人口较上川岛少,海岛开发利用程度较低,植被覆盖好。长期受海洋季风影响,阳光充足,气候温和,四季如春,岛上椰树成荫,有沙质优良天然海滩、温婉秀丽的海湾、引人入胜的古迹、茂密的原始森林,还有南澳港等天然深水良港。

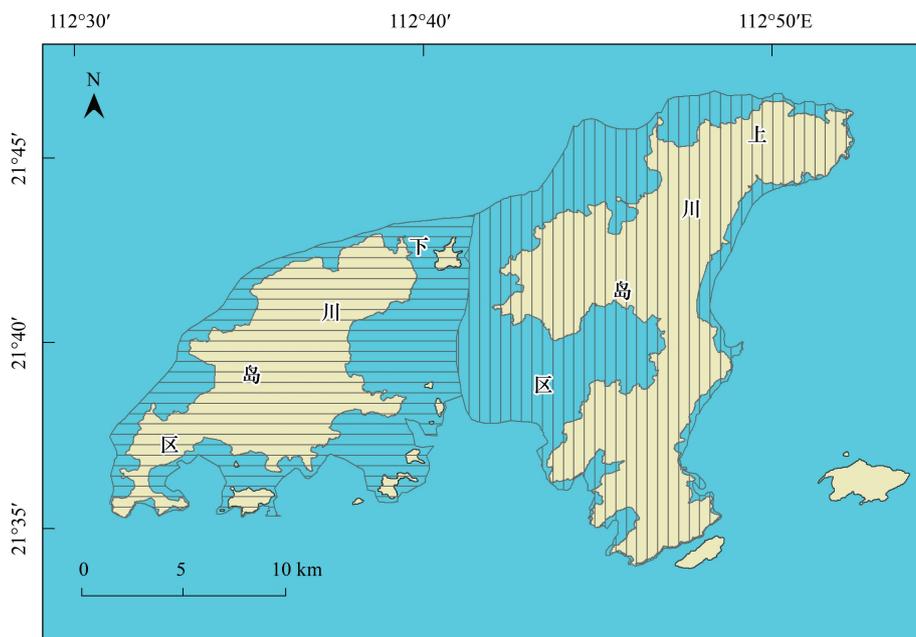


图2 风险评价小区划分结果图

Fig.2 The plotting result of risk assessment

2.2 风险表征计算

按照 RRM 模型的 4 个基本假设,对任意评价小区,RRM 模型通过综合计算区域压力源的压力密度、生境丰度、暴露系数和响应系数之积,来累积计算区域的相对风险。对于川山群岛开发利用风险评价,由于选取的生态终点针对的是生物群落,因此风险计算采用如下公式^[15]:

$$RS = \sum \left(S_{ij} \times \frac{1}{H_{il}} \times X_{jl} \times E_{lm} \right) \quad (1)$$

式中,RS 表示相对风险值; i 为风险小区的标号; j 为压力源类型的标号; l 为生境类型的标号; m 为生态终点类型的标号; S_{ij} 为风险小区内压力源的密度等级; H_{il} 为风险小区内生境的丰度等级; X_{jl} 为压力源-生境暴露途径的暴露系数; E_{lm} 为生境-生态终点响应途径的响应系数。

利用公式(1),对不同的标号进行求和计算,就可得到针对不同主体的风险评价结果:
针对不同压力源类型的潜在风险的风险评价

$$RS_j = \sum \left(S_{ij} \times \frac{1}{H_{il}} \times X_{jl} \times E_{lm} \right) \quad (2)$$

针对不同生境类型的潜在风险的风险评价

$$RS_l = \sum \left(S_{ij} \times \frac{1}{H_{il}} \times X_{jl} \times E_{lm} \right) \quad (3)$$

针对不同物种的潜在风险的风险评价

$$RS_m = \sum \left(S_{ij} \times \frac{1}{H_{il}} \times X_{jl} \times E_{lm} \right) \quad (4)$$

针对不同风险小区的潜在风险的风险评价

$$RS_i = \sum \left(S_{ij} \times \frac{1}{H_{il}} \times X_{jl} \times E_{lm} \right) \quad (5)$$

3 结果与分析

3.1 问题形成

川山群岛生存着上千种植物,动物除猕猴(*Macaca mulatta*)外还有蟒蛇(*Python molurus*)、巨蜥(*Varanus salvator*)、穿山甲(*Manis pentadactyla*)、小灵猫(*Viverricula india*)、大壁虎(*Gekko gekko*)等多种珍贵的野生动物,以及数百种海洋生物等。为了保护区域环境和这些宝贵的生物资源,该区先后建立有省级自然保护区、省级风景名胜区,对该区生态环境和物种的保护起到了积极作用。但是,随着上下川岛经济的迅猛发展,作为上下川岛经济支柱产业的渔业和旅游业,以及日益加剧的海岛开发利用,给该区的生态环境造成了潜在的生态压力。

3.1.1 生态终点

经过对该区物种与区域生态的相关性分析,确定以珍稀水禽、猕猴、蟒蛇和珍稀猛禽 4 类有代表性的物种的种群数目、结构变化作为评估的生态终点。其中,上川岛区的主要评估对象为猕猴、蟒蛇、珍稀水禽和珍稀猛禽;下川岛区的主要评估对象为珍稀水禽、珍稀猛禽。

3.1.2 区域生境

本文研究的海岛类型属于基岩岛,且为有居民海岛,根据该类海岛生态系统常见的生境类型以及上述 4 类物种生存、觅食对生境的需求,采用遥感解译的手段,结合实地调研资料,在 GIS 技术的支持下,共区分了 7 种生境类型:建设用地、耕地、有林地、养殖水面、内陆水体、岩滩和近海水域。其中,除建设用地生境与选定的评估终点关联较小外,其余 6 种生境类型均与选取的评估终点有较强联系。采用遥感影像解译得到的上下川岛区生境类型分布见图 3,不同生境类型的面积信息见表 1。

表 1 各类生境面积信息表

Table 1 Area of different habitat types in Shangchuan Island and Xiachuan Island

生境 Habitat	上川岛区 Shangchuan Island	下川岛区 Xiachuan Island
耕地 Cultivated land/hm ²	851.02	869.92
建设用地 Construction land/hm ²	242.42	175.72
近海水体 Water column/hm ²	9717.34	7896.97
内陆水体 Inland water/hm ²	72.50	11.85
岩滩 Rocky beach/hm ²	962.74	996.85
养殖水面 Aquaculture water/hm ²	203.95	198.27
有林地 Woodland/hm ²	12424.69	7024.29
合计 Total/hm ²	24474.66	17173.87

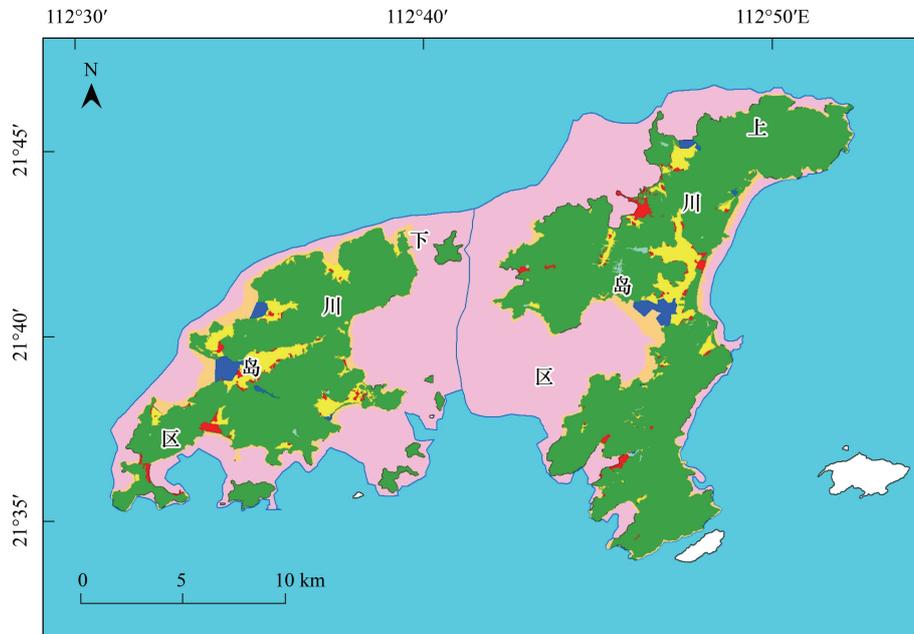


图3 上下川岛区生境类型分布图

Fig.3 Distribution of habitat types in Shangchuan Island and Xiachuan Island

3.1.3 压力源

随着改革开放的深入,上下川岛进入了经济高速发展的时期,城区面积的不断扩展、岛上人口数量的增加、养殖业和旅游业的快速发展等都给该区生态带来了巨大的压力。其中,岛陆生态子系统的生态压力主要来自于土地利用,包括城镇用地和农业用地两大类,其压力主要集中于岛陆的点源污染和排污污染;潮间带生态子系统的生态压力主要为港口码头和旅游娱乐活动,其压力多来自于人为物理扰动,此外,城镇污水的排放对潮间带也形成一定压力;近海生态子系统的生态压力则主要来自海水养殖业、渔业和运输业,其生态压力以污染为主,物理扰动次之。

为了描述上下川岛人类开发利用行为对该区生态的影响,将与人文有关的生态压力源归纳为六大类:城镇用地、农业用地、港口码头、养殖用海、船舶运输和旅游娱乐。

(1) 城镇用地

根据遥感解译结果,上下川岛城镇用地面积占全部土地面积的 1.89%左右,其中上川岛为 1.76%,下川岛为 2.12%。毗邻山林的城镇交通和生产噪声,不仅干扰林地及近海生境中的野生物种,而且来自城镇的污水、废弃物还会引起陆地点源污染,导致近海营养物质、毒性物质以及浑浊度的增加,进而改变近海沉积。这些污染源主要包括:工业废水和生活污水。川山群岛海区海岛居民生活污水以及生活污水中有害物质排放量^[20]见表 2。

表 2 川山群岛海区生活污水及有害物质排放量

Table 2 Discharge amount of domestic wastewater and harmful substance in Chuanshan Archipelago

海区 Region	生活污水排放量/ $(\times 10^4 \text{ t/a})$ Discharge amount of domestic wastewater	废水中有害物质排放量/ (t/a) Discharge amount of harmful substance of domestic wastewater				
		Pb	Zn	Hg	油类	COD
川山群岛 Chuanshan Archipelago	120.13	0.0001	0.0170	0.00003	0.0967	27.481

(2) 农业用地

农业用地在上下川岛土地利用中所占比重虽然很少,但非常重要,农业投放的化肥和农药是该区生态环

境的重要压力源。上下川岛多山地,农田、菜地位于山坡之上居民点附近,采用梯田种植,来自梯田的径流所携带的大量化肥、农业除草剂和杀虫剂以及泥土顺山坡直接进入近海,不仅导致了近海营养物质和海水浑浊度的增加,也增加了近海和陆域的毒性物污染,进而在生物体内形成沉积。此外,农业用地的扩张还会导致自然植被的减少,直接或间接地影响到野生物种。

(3) 港口码头

港口和码头是海岛潮间带的一种重要生态压力源。上川岛拥有 19 个海湾,大部分条件欠佳,比较隐蔽和水深条件较好的有三洲港和沙堤港;下川岛拥有大小港湾 17 个,可供港口资源开发的海湾有南澳港、下川岛西南港口、独湾港、宁澳湾港和下川东北港口 5 处^[9]。数目较多的港口、码头不仅占用了自然岸线,缩减了潮间带生物及珍稀水禽的生存和觅食空间,而且出入海港的船只排放的含油废水也给近岸的海滩和底质带来了污染,改变了近岸底质的沉积模式,并导致底质沉积物的增加,在某些区域甚至引起岸滩的贫瘠。此外,港口码头的兴建和扩建铲除了近岸的植被,降低了沿岸的植被覆盖度。

(4) 养殖用海

海水养殖会产生大量废弃物,养殖投放的残饵、化肥、消毒药品会严重污染海区水质,特别是残饵溶生的氮、磷等营养元素会导致海区水质的富营养化,上下川岛区养殖污染给野生物种和区域生态带来了巨大的压力^[20]。从图 4 可以明显地看出 2000—2010 年间川山群岛海区海水养殖面积的变化情况。

(5) 船舶运输

川山群岛海区船舶往来极为频繁,数目众多的船舶给近海生物带来的不仅是物理扰动和噪声的压力,由渔船排放的含油废水已经是该海区水质的主要压力源,根据统计数据,到 2010 年底,川山群岛海区约有大小船舶 800 多只,总马力达到 1.52 万。根据船舶排油量计算方法:

$$\text{机舱废水产生量} = 0.005 \text{ t/d} \times \text{马力}$$

$$\text{排油量} = 0.005 \text{ t/d} \times \text{马力} \times 0.2\% (\text{废水含油浓度})$$

估算出 2010 年川山群岛海区船舶废油日排放量约为 150 kg。除油污污染外,大型船舶的压舱水也存在引入外来物种的威胁。

(6) 旅游娱乐

主要包括岛陆旅游活动和海滩娱乐活动。被誉为“东方夏威夷”的飞沙滩以及王府洲、金沙湾、银沙滩等天然优质海水浴场共 20 多处,总长 30 多 km;有栖息着上千只猕猴的原始次生林 500 多 hm^2 ,有被誉为“植物王国钻石”的珍稀物种-竹柏 60 多 hm^2 ,被定为省级自然保护区。20 世纪 90 年代之后,游客人数逐年上升,到 2008 年底,川山群岛全年接待的游客已经突破了 100 万人次(图 5)。

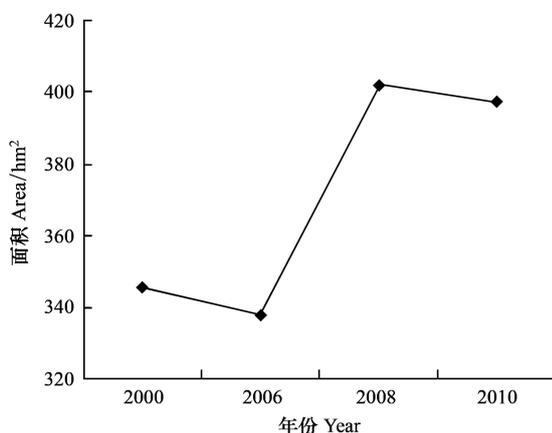


图 4 川山群岛海区海水养殖面积的变化

Fig.4 Area change of marine aquaculture in Chuanshan Archipelago

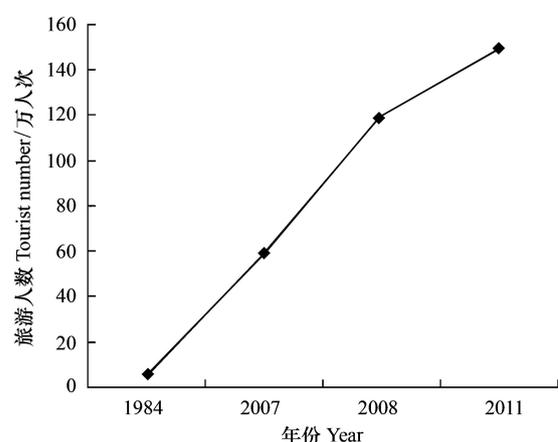


图 5 川山群岛登岛旅游人数的变化

Fig.5 Tourist numbers change in Chuanshan Archipelago

3.1.4 概念模型

概念模型是对压力源、压力、生境和终点之间的一系列假设,它通常可以通过图来表示,以此来说明风险评估各组分之间的假设关系。通过分析上文确定的开发利用风险源及相应的评估终点间的接触暴露关系,得到了上下川岛区开发利用压力由压力源到生态终点的接触、暴露途径示意图(图6)。

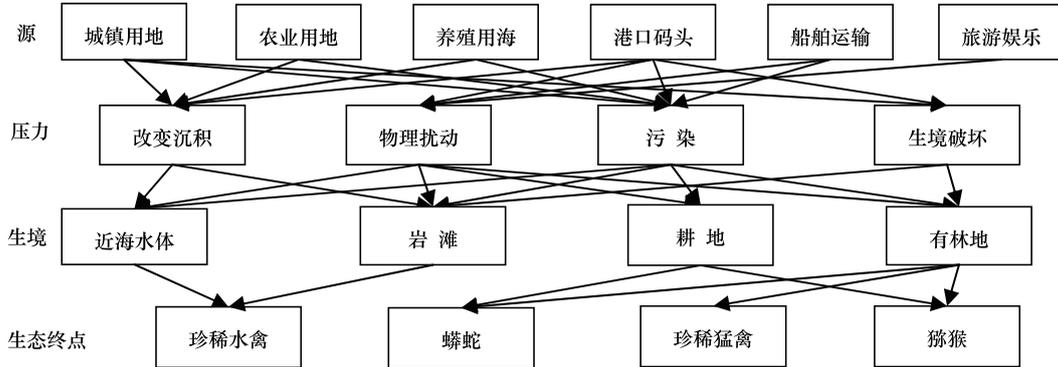
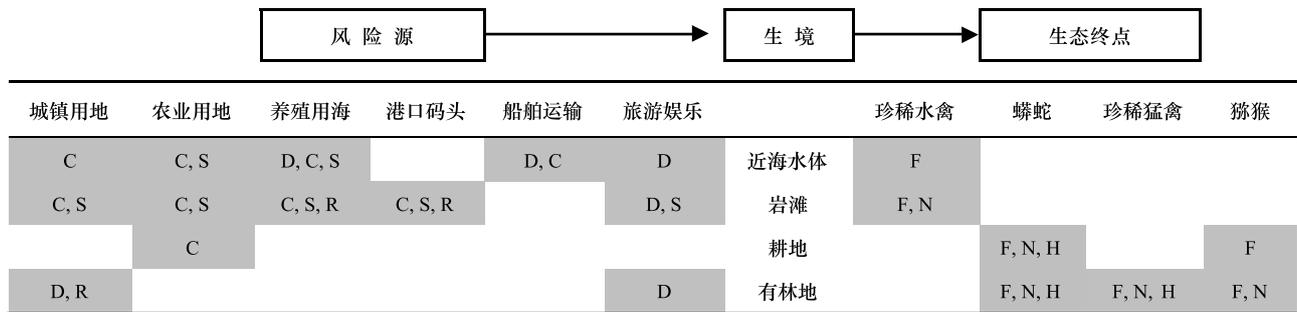


图6 上下川岛开发利用风险接触暴露途径示意图

Fig.6 The contact and exposure approach of exploitation and utilization risk in Shangchuan Island and Xiachuan Island

根据图6所示的上下川岛开发利用风险接触暴露途径,本文构建了一个概念模型用以描述上下川岛区压力源、压力、生境和评估终点间的相互作用关系(图7)。



风险源释放风险压力,风险压力借助生境作用于评估的生态终点。其中,由风险源释放的风险压力包括:C—污染、D—物理扰动、R—移除原有生境、S—改变沉积;风险压力与生态终点的暴露方式为:F—觅食、H—孵化、N—栖息

图7 上下川岛开发利用风险暴露、响应概念模型

Fig.7 Conceptual model of exposure and response of exploitation and utilization risk in Shangchuan Island and Xiachuan Island

3.2 风险分析

采用 RRM 模型思想,通过计算压力密度和生境丰度,来开展上下川岛开发利用风险分析工作。

六类开发利用压力源在上川岛和下川岛的分布情况见表3。基于此,计算得出这六类压力源在上川岛和下川岛的压力密度(表4)。

需要说明的是:采用 RRM 模型思想评估得到的区域生态风险值反映的是生态风险在不同区域间的空间差异,因此表4中的六类压力源的压力密度值仅体现了它们在区域间的相对多少,是一个相对的数值,压力密度值高并非代表压力源在生态系统中的释放或引起的绝对暴露量就大。

对上下川岛风险小区内各生境类型的丰度进行计算(表5)。

图7所示的上下川岛开发利用风险暴露、响应概念模型中,各条由压力源-生境-生态终点的暴露和响应途径的暴露和响应程度是各不相同的。为了表征在暴露和响应程度上的差异,将上述每条完整的暴露和响应途径分为两段分析:一段单纯地考虑压力源的暴露过程,主要研究压力源-生境的暴露量;另一段主要考虑生态终点对压力的响应过程,重点分析生境-生态终点的密切程度,以此反映生态终点对压力的响应程度。在此基础上,以低、较低、中、较高、高5种程度来描述暴露和响应的相对强度,并量化为相应的暴露系数或响应系

数 0、0.3、0.5、0.7 和 1。对于暴露系数来说,0 表示暴露路径不存在;1 表示暴露路径存在且暴露量大;0.5 表示暴露路径存在但暴露量适中;以此类推。通过对上川岛和下川岛的现场调查和数据资料收集,给出了上下川岛开发利用风险暴露系数和响应系数(表 6 和表 7)。代表生态终点对压力源响应程度的生境-生态终点的响应系数是按照风险小区给出的,因为 4 类与生态终点相联系的物种在各个风险小区并不都出现。

表 3 上下川岛六类压力源信息表

Table 3 six pressure source information in Shangchuan Island and Xiachuan Island

压力源 Press source	数据来源 Data source	上川岛 Shangchuan Island	下川岛 Xiachuan Island
城镇用地 Urban landuse	遥感解译获得(面积/hm ²)	242.42	175.72
农业用地 Agricultural landuse	遥感解译获得(面积/hm ²)	851.02	869.92
养殖用海 Cultural sea-area use	遥感解译获得(面积/hm ²)	203.95	198.27
港口码头 Piers stress	遥感解译获得(占用岸线长度/km)	15.005	9.421
船舶运输 Vessel traffic	环保数据(油污排放量(kg/d))	81.290	70.125
旅游娱乐 Recreational activities	广东省政府网站(旅游人次(万人次/a))	70	50

表 4 上下川岛六类压力源的密度表

Table 4 Pressure density of six pressure source in Shangchuan Island and Xiachuan Island

压力源 Press source	压力密度计算依据 Calculation basis of pressure density	上川岛 Shangchuan Island	下川岛 Xiachuan Island
城镇用地 Urban landuse	陆地占用百分比与最大百分比比值	0.861	1
农业用地 Agricultural landuse	陆地占用百分比与最大百分比比值	0.547	1
养殖用海 Cultural sea-area use	海域占用百分比与最大百分比比值	0.839	1
港口码头 Piers stress	岸线占用百分比与最大百分比比值	0.945	1
船舶运输 Vessel traffic	油污排放量与最大排放量比值	1	0.863
旅游娱乐 Recreational activities	旅游人次与最大旅游人次比值	1	0.714

表 5 上下川岛的生境丰度表

Table 5 Habitat abundance in Shangchuan Island and Xiachuan Island

生境 Habitat	生境丰度计算依据 Calculation basis of habitat abundance	上川岛 Shangchuan Island	下川岛 Xiachuan Island
近海水体 Water column	生境面积百分比与区域生境最大面积百分比	0.863	1
岩滩 Rocky beach		0.678	1
耕地 Cultivated land		0.686	1
有林地 Woodland		1	1

表 6 上下川岛开发利用风险暴露系数表

Table 6 Exposure coefficient of exploitation and utilization risk in Shangchuan Island and Xiachuan Island

城镇用地 Urban landuse	农业用地 Agricultural landuse	养殖用海 Cultural sea-area use	港口码头 Piers stress	船舶运输 Vessel traffic	旅游娱乐 Recreational activities	生境 Habitat
C 0.3	C, S 0.3	D, C, S 0.7	0	D, C 1	D 0.3	近海水体
C, S 0.5	C, S 0.3	C, S, R 0.7	C, S, R 0.3	0	D, S 1	岩滩
0	C 0.5	0	0	0	0	耕地
D, R 0.3	0	0	0	0	D 0.5	有林地

C: 污染 Contamination, D: 物理扰动 Physical disturbance, R: 移除原有生境 Removing original habitat, S: 改变沉积 Changing sediment

表 7 上下川岛开发利用风险响应系数表

Table 7 Response coefficient of exploitation and utilization risk in Shangchuan Island and Xiachuan Island

风险小区 Risk area	生境 Habitat	珍稀水禽 Rare waterfowl	蟒蛇 Python	珍稀猛禽 Rare accipiter	猕猴 Rhesus monkey
上川岛区 Shangchuan Island	近海水体	F 0.7	0	0	0
	岩滩	F, N 1	0	0	0
	耕地	0	F, N, H 0.7	0	F 0.3
	有林地	0	F, N, H 1	F, N, H 1	F, N 1
下川岛区 Xiachuan Island	近海水体	F 0.3	0	0	0
	岩滩	F, N 0.5	0	0	0
	耕地	0	0	0	0
	有林地	0	0	F, N, H 0.3	0

F: 觅食 Foraging, H: 孵化 Hatching, N: 栖息 Inhabit

3.3 风险表征

利用公式(2)计算得到的六类压力源在上下川岛风险小区的相对压力状况见图 8。结果表明:上下川岛区开发利用风险主要来自城镇用地、养殖用海和旅游娱乐活动的压力,其中,旅游活动压力最大,城镇用地和养殖用海次之;对于上川岛区,旅游活动的压力最大,港口码头的压力最小;对于下川岛区,养殖用海的压力最大,港口码头的压力最小。可见,旅游娱乐是该区的首要风险压力源,其次是城镇用地和养殖用海,它们 3 个构成了上下川岛区生态压力的主要来源;而港口码头的压力最小。

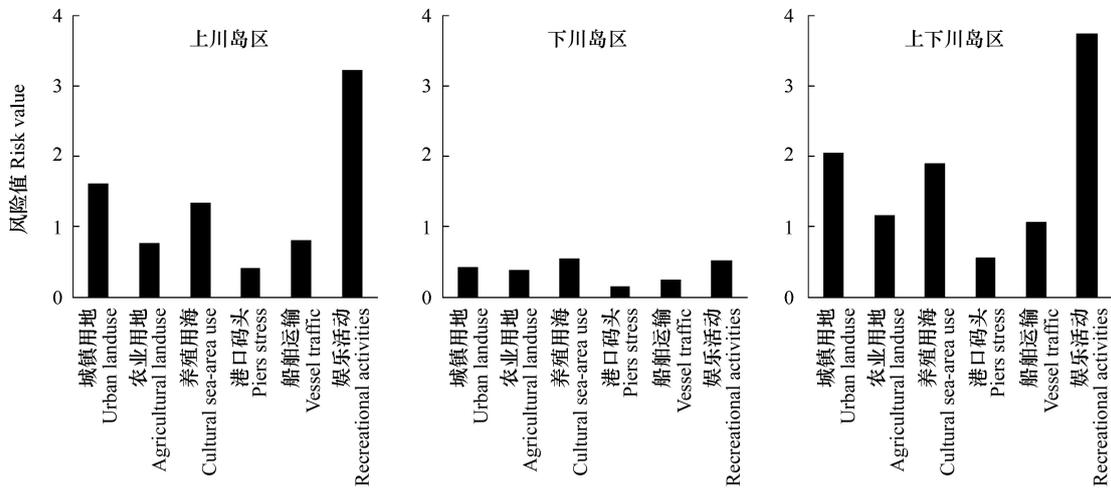


图 8 上下川岛六类压力源的相对压力状况对比图

Fig.8 Relative pressure comparison of six pressure source in Shangchuan Island and Xiachuan Island

利用公式(3)计算得到的 4 种主要生境类型在上下川岛风险小区所受的风险压力状况见图 9。结果表明:在上下川岛区的各类生境中,岩滩和近海水体受到的开发利用压力最大,相比而言,上川岛近海水体和潮间带受到的压力均明显高于下川岛;上川岛区的岩滩压力最大,且明显高于其它生境所受的压力;下川岛区同样岩滩所受压力最大,近海水体的压力也较大;此外,上川岛区的有林地生境也存在着较大压力。总体来说,在上下川岛区,首要关注的生境类型应是岩滩,其次为近海水体,二者分别对应于海岛潮间带生态子系统和近

海生态子系统。

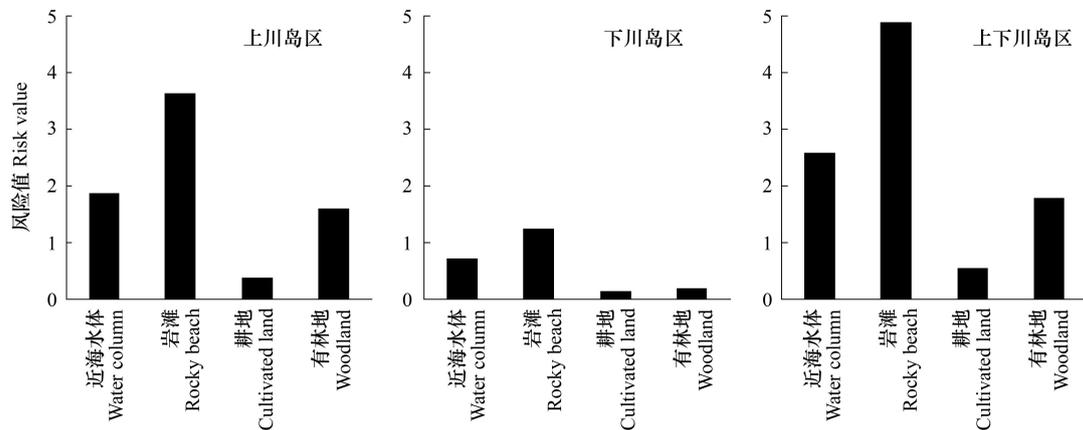


图9 上下川岛四种主要生境类型所受的压力对比图

Fig.9 Pressure comparison of four habitat types in Shangchuan Island and Xiachuan Island

利用公式(4)计算得到的四类评价物种在上下川岛风险小区所受的风险压力状况见图10。图中风险值为零对应的物种并非指该物种不受压力作用,而是指该物种在这个岛区不出现或很少出现。从结果可以看出:珍稀水禽在上下川岛区受到的潜在风险压力最大,其中,在上川岛区的潜在风险更大些;由于蟒蛇和猕猴仅出没于上川岛区,因此仅在该岛区进行了蟒蛇和猕猴的潜在风险压力评估,结果显示上川岛区猕猴的压力略大于蟒蛇。

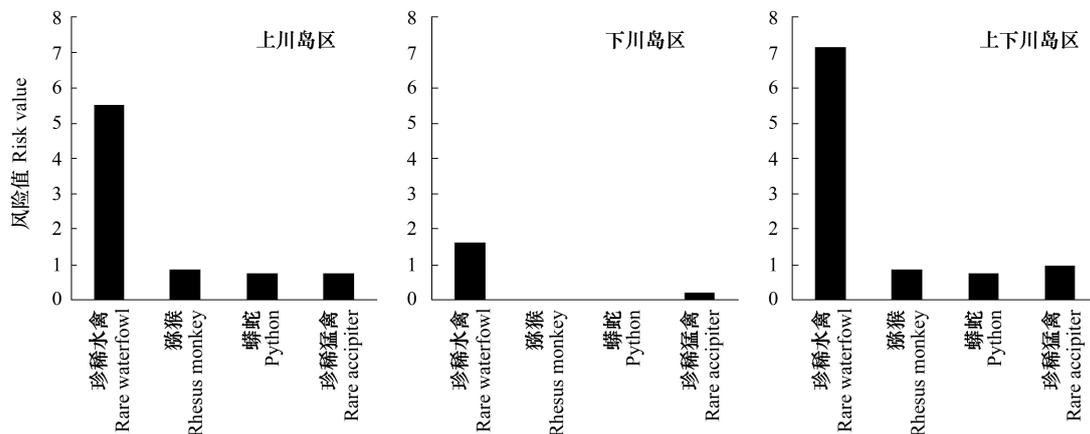


图10 上下川岛四类评价物种的相对风险状况对比

Fig.10 Relative risk comparison of four assessment species in Shangchuan Island and Xiachuan Island

最后,将上下川岛区的开发利用风险按照海岛生态子系统进行综合,得到上川岛区的区域综合风险值为7.745,属开发利用的高风险区;下川岛区的区域综合风险值为2.317,属开发利用的低风险区。

4 讨论与结论

本文根据生态风险评价框架:问题形成、风险分析(包括暴露分析和危害分析)、风险表征和风险管理,对广东省的川山群岛进行开发利用生态风险评价。评价结果显示:在本文划分的两个风险小区中,不同压力源及生境类型的风险各有差异,个别风险源或生境类型的潜在风险压力已经达到了较高的程度,亟待进行相关的风险管理。

上川岛区的区域综合风险值为7.745,属开发利用的高风险区,其主要风险区域是潮间带和近海两个生态子系统,其中以潮间带系统中岩滩的开发利用压力最大,旅游娱乐和养殖用海是风险压力的主要来源,珍稀水

禽是主要受威胁的物种。基于此,本文给出了上川岛区开发利用风险管理的三点建议:(1) 控制登岛游客的数量,使其不超过该岛的旅游承载力;加强旅游景区的生态管理,尽量减少旅游造成的废物垃圾。(2) 沿岸开发的养殖池占据了很长的岸段,使得原有潮间带退化,造成珍稀水禽失去了觅食和栖息的环境,因此建议在开辟新的养殖用海区前进行使用论证,同时拆除原有违法的养殖池,尤其是在紧邻保护区的岸段。(3) 由于上川岛猕猴省级自然保护区位于该区内,保护着国家二级保护动物——猕猴及其栖息环境,具有极为重要的生态意义,因此建议在猕猴省级自然保护区内严禁进行生产和开发活动,确保猕猴的栖息环境不被破坏掉。

下川岛区的区域综合风险值为 2.317,属开发利用的低风险区,其岛陆、潮间带和近海三个生态子系统的开发利用压力都不大,养殖用海、旅游娱乐和城镇用地是风险压力的主要来源,也是威胁珍稀水禽和猛禽的主要压力源。为此,本文建议下川岛的开发利用管理采取以下措施:加强养殖用海管理,拆除废弃和违法的养殖池;加强旅游管理,严格控制游客数量;应妥善处置城镇的污水和废物,尽量减少生活垃圾的随意堆放和污水直接排放。这些措施可确保该区良好的生态环境,使得珍稀水禽和珍稀猛禽不至于失去觅食和栖息环境。

参考文献(References):

- [1] 付在毅,许学工. 区域生态风险评价. 地球科学进展,2001,16(2):267-271.
- [2] U.S. EPA. Framework for Ecological Risk Assessment. Report No. EPA (6301R-92/001). US Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, Washington, D.C., 1992.
- [3] 卢宏伟,曾光明,谢更新,张硕辅,黄国和,金相灿,刘鸿亮. 洞庭湖流域区域生态风险评价. 生态学报,2003,23(12):2520-2530.
- [4] 文军. 千岛湖区域生态风险评价研究[D]. 长沙:中南林学院,2004.
- [5] 许妍,高俊峰,郭建科. 太湖流域生态风险评价. 生态学报,2013,33(9):2896-2906.
- [6] Xie H L, Wang P, Huang H S. Ecological risk assessment of land use change in the Poyang Lake eco-economic zone, China. International Journal of Environment Research and Public Health, 2013, 10(1): 328-346.
- [7] 许学工,林辉平,付在毅,布仁仓. 黄河三角洲湿地区域生态风险评价. 北京大学学报:自然科学版,2001,37(1):111-120.
- [8] 付在毅,许学工,林辉平,王宪礼. 辽河三角洲湿地区域生态风险评价. 生态学报,2001,21(3):365-373.
- [9] 凌虹,孙翔,朱晓东,王慧中,李扬帆. 江苏沿海化工快速发展下区域生态风险评价模型研究. 生态环境学报,2010,19(5):1138-1142.
- [10] Hassaan M A. GIS-based risk assessment for the Nile Delta coastal zone under different sea level rise scenarios case study: Kafr EL Sheikh Governorate, Egypt. Journal of Coastal Conservation, 2013, 17(4): 743-754.
- [11] 陈作志,蔡文贵,徐姗姗,黄梓荣,邱永松. 广西北部湾近岸生态系统风险评价. 应用生态学报,2011,22(11):2977-2986.
- [12] 张继权,梁馨丹,周道玮. 基于 GIS 技术的吉林省生态灾害风险评价. 应用生态学报,2007,18(8):1765-1770.
- [13] 卢亚灵,徐丽芬,马宗文,颜磊,许学工. 环渤海五省市生态风险评价. 生态学杂志,2012,31(1):227-234.
- [14] Wang X L, Zhang J. A nonlinear model for assessing multiple probabilistic risks a case study in South five-island of Changdao National Nature Reserve in China. Journal of Environmental Management, 2007, 85(4): 1101-1108.
- [15] 王小龙. 海岛生态系统风险评价方法及应用研究[D]. 青岛:中国科学院海洋研究所,2006.
- [16] 辛红梅,张杰,王常颖,付军. 一种基于景观格局的卫星遥感海岛自然灾害风险评价方法. 海洋学报,2012,34(1):90-94.
- [17] 王常颖,张杰,辛红梅,付军. 基于景观格局的海岛开发潜在生态风险评价. 生态学报,2008,28(6):2811-2817.
- [18] Landis W G, Wingers J A. Design considerations and a suggested approach for regional and comparative ecological risk assessment. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 1997, 3(3): 287-297.
- [19] 广东省地方志编撰委员会. 广东省志:海洋与海岛志. 广州:广东人民出版社,2000.
- [20] 广东省海岛资源综合调查大队. 广东省海岛资源综合调查报告. 广州:广东科技出版社,1995.