

海岛旅游开发对珊瑚礁累积影响评价

尹娜

海南大堡礁海洋科技有限公司

DOI:10.32629/eep.v9i3.3098

[摘要] 海岛旅游业的快速发展在带动区域经济增长的同时,也对珊瑚礁生态系统产生了多维度的累积性影响。本文以海南岛周边典型珊瑚礁海域为研究区域,运用压力—状态—响应(PSR)模型与层次分析法(AHP)相结合的综合评价框架,从水体环境质量、珊瑚礁群落结构和生态功能完整性三个层面构建了涵盖18项指标的累积影响评价体系。通过遥感影像解译、水质监测数据分析及珊瑚礁生态调查,对旅游开发强度差异显著的三组对照区域进行了系统评估。结果表明,高强度旅游开发区珊瑚覆盖率较对照区下降了约37.6%,活珊瑚物种多样性指数降低了28.4%,水体悬浮物浓度与营养盐水平显著上升。基于评价结果,本文提出了分区分级管控、游客承载力动态调控及珊瑚礁修复工程等针对性管理策略,为海岛旅游可持续开发与珊瑚礁保护协同推进提供科学依据。

[关键词] 海岛旅游; 珊瑚礁; 累积影响评价; 生态保护

中图分类号: P723.6 文献标识码: A

Assessment of the cumulative impact of island tourism development on coral reefs

Na Yin

Hainan Great Barrier Reef Marine Technology Co., Ltd

[Abstract] The rapid development of island tourism has not only driven regional economic growth, but also had multidimensional cumulative impacts on coral reef ecosystems. This article takes typical coral reef waters around Hainan Island as the research area, and uses a comprehensive evaluation framework combining pressure state response (PSR) model and analytic hierarchy process (AHP) to construct a cumulative impact evaluation system covering 18 indicators from three levels: water environmental quality, coral reef community structure, and ecological functional integrity. A systematic evaluation was conducted on three control areas with significant differences in tourism development intensity through remote sensing image interpretation, water quality monitoring data analysis, and coral reef ecological investigation. The results showed that the coral coverage rate in the high-intensity tourism development zone decreased by about 37.6% compared to the control area, the diversity index of live coral species decreased by 28.4%, and the concentration of suspended solids and nutrient levels in the water significantly increased. Based on the evaluation results, this article proposes targeted management strategies such as zoning and grading control, dynamic regulation of tourist carrying capacity, and coral reef restoration projects, providing scientific basis for the coordinated promotion of sustainable development of island tourism and coral reef protection.

[Key words] Island tourism; Coral reef; Cumulative impact assessment; ecological protection

引言

珊瑚礁是热带海洋中生物多样性最丰富的生态系统之一,在维持渔业资源、防护海岸带、调节海洋碳循环等方面发挥着不可替代的生态作用。近年来,海岛旅游产业快速发展,旅游开发与游客活动日益频繁,对珊瑚礁生态系统的干扰持续加剧。传统研究多聚焦于单一环境因素的影响评价,难以真实反映多种压力源叠加作用下珊瑚礁生态退化的累积效应,也无法准确揭

示其退化机制。开展旅游开发对珊瑚礁生态累积影响的定量评价,科学识别各类干扰因子的贡献权重及其相互作用关系,对精准掌握珊瑚礁受损状况、制定科学合理的保护管理措施、推动海岛旅游与珊瑚礁生态保护协同发展,具有十分迫切的现实需求与重要的实践意义。

1 研究区域概况与旅游开发现状分析

1.1 研究区域自然地理特征

本研究以海南岛南部沿海三个典型的珊瑚礁分布区为研究对象,分别为三亚蜈支洲岛附近海域、陵水分界洲岛附近海域和万宁大洲岛附近海域。该区域地处北纬 $18^{\circ}09'$ 至 $18^{\circ}42'$ 、东经 $109^{\circ}30'$ 至 $110^{\circ}15'$ 之间,属于热带海洋性季风气候,年均海表温度为 25.8°C 至 27.3°C ,年均降水量约1600毫米。海域水深大多在3到25米之间,底质主要是珊瑚砂和礁石。该区域珊瑚礁发育类型主要是岸礁,局部发育有裙礁,造礁珊瑚种类超过110种,优势种为鹿角珊瑚属、蔷薇珊瑚属、滨珊瑚属等。由于地形、洋流等条件的不同,三处区域的水动力特征以及沉积物的输移模式也存在着较大的差别,这就为开展对照分析创造了良好的自然本底条件。海域透明度在旅游旺季时有明显下降,与船舶航行搅动、岸基排放增大有关。

1.2 旅游开发强度梯度划分

根据年均游客接待量、旅游设施密度、海上娱乐项目种类等指标,把三处研究区域分为高、中、低三个旅游开发强度等级。蜈支洲岛为国家级旅游度假区,年接待游客超过320万人次,岛上及周边建有大型酒店群、潜水基地、游艇码头等设施,海上娱乐项目包括潜水、摩托艇、拖伞、海底漫步等12种以上活动,属于高强度开发区。分界洲岛年接待游客约180万人次,开发项目以潜水观光、珊瑚礁科普体验为主,旅游设施规模中等,属于中等强度开发区。大洲岛是国家级海洋生态自然保护区的核心区域,没有大规模的旅游开发,只有少量的科研考察活动,每年进入的人数不到2000人次,作为低强度对照区纳入比较分析。三组区域纬度、水温、珊瑚礁发育类型等相似性大,可以减少自然背景差异给评价结果带来的影响。

2 累积影响评价方法与指标体系构建

2.1 PSR模型框架设计

珊瑚礁旅游累积影响评价以压力-状态-响应(PSR)模型为分析框架,将干扰因子、生态变化、管理措施三个主要方面区分开来,建立科学完善的评价体系。压力层主要针对旅游活动给珊瑚礁生态系统造成的各种干扰,包括水体污染负荷、游客和设施物理接触损伤、海底沉积物再悬浮、旅游活动产生的噪声振动等主要干扰因子,全方位地体现人类活动的直接和间接影响。状态层主要体现珊瑚礁在承受各种压力的叠加影响之后,生态系统变化的特性,如珊瑚覆盖率、物种多样性的水平、群落结构的完整度、生态功能的稳定性等等重要的评价参数,从直观的角度上反映出生态系统的健康状况。响应层是对已经实施和潜在可以实施的管理干预措施效果进行评价,即珊瑚礁保护区划定、游客流量控制、生态修复工程、环保宣传教育等。

在PSR框架的基础上,用层次分析法(AHP)确定各个评价指标的权重系数,邀请15名珊瑚礁生态学、海洋环境科学和旅游管理方面的专家,对两轮判断矩阵打分,经过一致性检验合格之后取算术平均数,得到最终的权重分配方案。压力层、状态层、响应层综合权重分别占0.35、0.45、0.20,说明生态状态评价在整个评价中占有非常重要的地位。为了加强评价时间维度的相关性,用累积影响系数(CIF)把旅游活动持续时长和干扰发生的频次

纳入到量化计算当中,较好地区分出短期脉冲式干扰和长期慢性累积的影响,从而提高评价结果的准确性以及针对性^[1]。

2.2 评价指标选取与数据获取

评价指标体系共有18个具体的指标。压力层设6个指标,分别是近岸水体化学需氧量(COD)浓度、无机氮和活性磷酸盐含量、水体悬浮颗粒物浓度、潜水和水上项目日均活动人次、船舶锚泊频次和人工光照强度。状态层设8个指标,分别是活珊瑚覆盖率、硬珊瑚和软珊瑚比例、珊瑚物种多样性Shannon-Wiener指数、珊瑚白化率、珊瑚病害发生率、珊瑚补充量、礁栖鱼类密度和大型底栖无脊椎动物丰度。响应层有4个指标,保护区面积占比较高的比例,游客管理机制完善度高、生态修复投入强度大、环境监测频次高等等。数据来源有2020年到2025年期间的卫星遥感影像(Sentinel-2和Landsat-9)、海南省海洋环境监测站的水质监测数据、现场珊瑚礁样线调查和样方调查记录、各个景区运营管理部门给出的游客流量及设施建设数据。遥感数据主要用来做珊瑚礁底质分类、水质参数反演,空间分辨率是10米。现场调查每年春季、秋季各一次,每个区域设5条永久样线,每条样线长50米,在样线两侧各2米范围内做样方调^[2]。

3 累积影响评价结果与空间差异分析

3.1 压力层评价结果

压力层评价结果显示,不同开发强度区域的综合压力指数存在显著差异:高强度开发区(蜈支洲岛)综合压力指数为0.782,中等强度开发区(分界洲岛)为0.456,低强度对照区(大洲岛)仅为0.128,呈现出开发强度越高、生态压力越大的明显规律。

从各分项评价指标来看,水体悬浮颗粒物浓度的空间差异最为突出。其中,高强度开发区旅游旺季(5-10月)平均悬浮物浓度达18.6毫克/升,是低强度对照区同期水平的3.2倍,主要源于高频次快艇运行对浅水区底质的持续搅动,导致沉积物悬浮,进而影响水体环境。

营养盐浓度方面,高强度开发区无机氮平均浓度为0.32毫克/升,活性磷酸盐平均浓度为0.038毫克/升,均超出珊瑚礁健康生长的适宜上限值。岸基生活污水、餐饮废水的间歇性排放,是导致该区域营养盐浓度升高的主要诱因,长期高营养盐环境会削弱珊瑚免疫能力,加剧其退化风险。

物理扰动方面,船舶锚泊时的锚链拖拽会对礁体造成直接破坏,高强度开发区每年因锚泊导致的珊瑚破坏面积达120平方米;潜水活动中的踢蹬、跪踩等行为,会对浅水区脆弱珊瑚群体产生累积性伤害,监测数据显示,潜水路线周边珊瑚断裂率是非潜水区域的2.8倍,进一步凸显了人类旅游活动对珊瑚礁生态系统的潜在威胁^[3]。

3.2 状态层评价结果与生态退化趋势

状态层评价显示,旅游开发强度同珊瑚礁生态退化程度存在明显的正相关联系。高强度开发区活珊瑚覆盖率21.3%,比2020年低37.6个百分点;中等强度开发区为38.7%,比五年前低15.2个百分点;对照区52.6%左右,变化范围属于自然波动区间内。物种多样性上,高强度开发区的Shannon-Wiener指数为1.86,

比对照区的2.60低了28.4%,优势种由耐受性较强的块状滨珊瑚逐渐被分枝状鹿角珊瑚取代,群落结构越来越单一。珊瑚白化率在高强度开发区为16.8%,比对照区4.2%高得多,这与全球海温升高大背景有关,旅游活动引起局部水温微升、水体浊度增大也起到协同加剧的作用。珊瑚补充量数据表明,高强度开发区每平方米新生珊瑚幼体数只有2.3个,对照区为7.8个,说明长期旅游干扰使珊瑚的自然恢复和种群补充受到严重影响。礁栖鱼类密度、大型底栖生物丰度也随着开发强度增大而呈空间梯度下降的趋势,在高强度开发区的礁栖鱼类密度为每百平方米46尾,比对照区低53.5%^[4]。

4 管理对策与珊瑚礁保护协同路径

4.1 分区分级管控体系设计

根据累积影响评价结果来建立珊瑚礁海域三级管控分区体系。把累积影响指数大于0.7的区域划为严格保护区,禁止所有水上和水下娱乐活动,只允许科研监测人员在审批后进入,同步开展珊瑚移植和底质修复工作。累积影响指数在0.4到0.7之间的是限制利用区,实行游客总量控制和项目类型准入制度,禁止珊瑚礁损伤大的拖伞、摩托艇等高速水面运动项目,保留低干扰的浮潜观光、玻璃底船项目,潜水活动必须配备持证导潜员,每组人数不超过6人。累积影响指数小于0.4的区域划分为适度利用区,可以进行多样化的旅游活动,在环境容量内开展,但是需要建立水质实时监测预警系统,水体浊度或者营养盐浓度达到阈值的时候,自动采取临时管控措施。管控分区的边界每年根据最新的监测评价数据进行调整,防止因为分区固化而造成管理滞后。各个区域之间应该留出宽度不小于200米的生态缓冲带来减小高强度活动区对临近珊瑚礁的边缘效应^[5]。

4.2 游客承载力动态调控与长效监测机制

游客承载力的科学测定,是保证旅游开发和珊瑚礁保护两者之间平衡的重要技术环节。根据珊瑚覆盖率年变化率不超过自然波动幅度(±3%)的生态阈值约束条件,利用水体自净能力模型和潜水活动损伤概率函数进行测算,得出蜈支洲岛珊瑚礁海域生态承载力上限为日均水上活动人次不超过800人,潜水活动不超过200人次。该承载力阈值应该由智能票务系统和海域电子围栏来精准调控,在旺季高峰期实行分时段预约的方式分散客流压力。长效监测机制的建立要融合卫星遥感、水下机器人巡检以及固定站位自动监测这三种技术途径。卫星遥感以季度为周期更新珊瑚礁底质分类图,用来观测珊瑚覆盖率、礁体面积等的变化趋向。水下机器人每季度对重点区域做高分辨率影像

采集工作,为珊瑚白化、病害等早期发现提供数据支持。固定站位的温盐深仪、浊度传感器进行水质参数的连续自动监测,数据经物联网平台实时传送到管理决策中心。监测数据要每年形成珊瑚礁健康状况评价报告,成为管控分区动态调整以及游客承载力更新的主要参照。促进科研机构和旅游企业之间建立数据共享合作机制,把游客行为数据同生态监测数据结合起来加以分析,不断改进管理策略的准确性与时效性^[6]。

5 结束语

海岛旅游开发给珊瑚礁带来的累积影响,是诸多因素相互作用、时空叠加的结果。本文通过建立PSR-AHP综合评价体系,对旅游开发强度梯度下珊瑚礁生态系统覆盖率、多样性、群落结构、生态功能等各方面的退化规律进行定量分析。评价结果清楚地显示,高强度旅游开发区的珊瑚礁已经处在中度到重度退化的状况之中,如果不及时采取有效的干预措施,那么生态系统就会存在不可逆转的功能丧失的风险。分区分级管控体系以及游客承载力动态调节机制的创建,可以在保证合理的旅游收益的基础上,把珊瑚礁生态损耗控制在可以接受的范围内。未来研究应该把气候变化因子(海温升高、海洋酸化)加入到累积影响评价体系中,创建起旅游压力和气候压力的交互作用模型,在更大的时空范围内预估珊瑚礁的变化趋向,并且改善保护管理决定。实现海岛旅游产业可持续发展、珊瑚礁生态系统的长久保育两个目标需要政府管理部门、科研机构、旅游企业、社会公众等多方参与,并且需要不断投入资金。

[参考文献]

- [1]郑蔚恒.基于生态适宜性和陆海统筹视角的海岛分类开发管理研究[D].华东师范大学,2020.
- [2]孙小兴.海岛旅游开发生态影响及保护分析[J].旅游与摄影,2020,(04):71-72.
- [3]杨奇美,王艳平.海岛旅游独特性研究[J].特区经济,2018,(10):118-120.
- [4]匡巧娟.海南蜈支洲岛景观资源的保护与利用研究[D].海南大学,2018.
- [5]李明华.三沙旅游资源开发与保护的法律问题研究[D].海南大学,2014.
- [6]夏阳.三沙市海岛旅游开发研究[D].中国海洋大学,2014.

作者简介:

尹娜(1984-),女,汉族,辽宁阜新人,研究生,工程师,研究方向:海洋环境影响评价。