

海岛生境破碎化评估方法研究综述

何丛颖^{1,2}, 毋瑾超^{1,3}, 严小军^{1,2}

(1. 宁波海洋研究院 宁波 315040; 2. 宁波大学 宁波 315000;
3. 国家海洋局第二海洋研究所 杭州 310012)

摘要: 由于海洋工程、海岸工程大量兴建,海岛及周边海域开发需求不断增加,将不可避免导致生境破碎。而海岛具有脆弱的生态系统,生态结构和功能更容易遭到损害,并难以通过系统的自我调节能力与自组织能力恢复至受损前的状态。现已有部分研究关注海岛生境破碎化问题,但方法尚未完善,评估技术仍处于研究的初级阶段,很多关键技术仍为空白。应深入探讨海岛生态功能破碎化的定量评价方法,并进行景观和生态系统相结合的定量分析,建立评价体系,获得更科学的研究与评价结果。

关键词: 海岛; 生境破碎化; 评估方法

中图分类号: P74 文献标志码: A 文章编号: 1005-9857(2017)05-0076-06

Review of the Assessment Method on Island Habitat Fragmentation

HE Congying^{1,2}, WU Jinchao^{1,3}, YAN Xiaojun^{1,2}

(1. Ningbo Institute of Oceanography, Ningbo 315040, China; 2. Ningbo University, Ningbo 315000, China;
3. Second Institute of Oceanography, SOA, Hangzhou 310012, China)

Abstract: Since a large number of marine and coastal engineering will spring up, and the demand of islands and water surroundings development will increase, it will inevitably lead to habitat fragmentation. Island has a fragile ecosystem, ecological structure and function, is more vulnerable to damages, and it is difficult to restore to the undamaged state through the system's self-adjustment and self-organization ability. A lot of researches have focused on the island habitat fragmentation problems, but the method is not perfect. The evaluation technology is still in the initial stage of research, many key technologies are still blank. The quantitative evaluation method of island ecological function fragmentation, and quantitative analysis of landscape and ecological system combination should be discussed, and the evaluation system for research and evaluation results should be established more scientifically.

Key words: Island, Habitat fragmentation, Assessment method

生境破碎化(habitat fragmentation)是指连续破碎,形成分散、孤立的岛状生境或生境碎片的现象。造成生境破碎化的主要因素有道路、桥梁、水的生境,受到人类建设活动的破坏和干扰,被分割、

利水电、海岸海洋等工程建设,以及建设项目衍生的其他人为活动干扰。生境破碎化可导致生态系统完整性遭受破坏,匀布的小气候发生变化,生态系统服务功能减少,栖息地质量下降,生物多样性降低,更易遭受病原体侵袭。特别是在海岛、草原、流域、河口等较脆弱的生态系统中,生境破碎化的加剧将产生严重后果。较典型的例子有,法属圭亚那陆地桥梁岛的森林生境破碎、脊椎动物多样性降低,直接导致地理隔离后海岛特有物种的灭失。

由于海洋经济发展建设项目陆续推进,海洋工程、海岸工程大量兴建,海岛及周边海域开发需求不断增加,将不可避免导致海岛生境破碎。而海岛土地面积有限、地域结构简单、生物多样性偏低、环境承载力较弱,天然的海水屏障阻碍了与外界环境交流的通道,当受到干扰时生态结构和功能更容易遭到损害,并难以通过系统的自我调节能力与自组织能力恢复至受损前的状态。如果不处理好保护与开发的关系,降低生境破碎程度,减少不利影响,不仅会造成海岛生物多样性降低、生态系统受损,更为重要的是将影响海洋经济可持续发展、损害国家海洋权益、威胁国防安全。所以,科学评估海岛生境破碎化是十分必要的。

面对近年来全球性的海洋开发利用热潮,已有部分研究关注海洋生境破碎化问题,但方法尚未完善,定性非定量研究较多,且大多数研究仅关注景观破碎化而忽视了物种和生态系统的破碎化问题,评估技术仍处于研究的初级阶段,很多关键技术仍为空白。由于缺少成熟的评估方法,导致海岛生境破碎化程度及影响机理均不甚清楚。

综上所述,海岛生境破碎化评估具有重要的科学意义和迫切的现实需求,但目前尚无合适的评估方法可借鉴运用。开展海岛生境破碎化评估方法研究是景观生态学和保护生物学研究的重要补充,评估方法的建立能够为海岛生境破碎化的深入分析与合理调控提供切实依据,是海岛及周边海域保护和开发管理工作的重要技术支撑,是“十三五”时期海洋经济发展和生态文明建设所必需的技术储备工作。

1 国内外研究现状和研究趋势

1.1 生境破碎化理论研究

1835年Darwin考察南美的加拉帕格斯群岛,

对岛屿的动物和植物区系进行研究,是可查的最早关于海岛生态系统的记录^[1]。但直到1935年,生态学家Tansley才真正提出生态系统的概念。1973年,人与生物圈计划开展了较为系统、完整的海岛生态系统研究,并对海岛开发和保护的关系进行了初步探讨^[2]。

国外海岛生态系统研究主要涉及海岛资源、可持续发展、典型生态系统、环境影响评价、渔业资源管理、海洋保护管理等方面^[3]。自20世纪80年代开始,我国的海岛生态系统研究开始起步,以海岛及周边海域资源调查为主,如1980—1985年海岸带调查、1988—1996年海岛资源综合调查^[4]以及2004—2009年“908”专项近海海洋综合调查工作。其中,海岛资源综合调查对全国6500多个海岛进行了摸底调查,并积累了大量有关海岛植被、淡水、地质等资源环境资料,为海岛生态系统的研究奠定了基础^[5]。随着生态系统理论的深入发展及国家对海岛开发的重视,陆续出现海岛生态旅游^[6]、无居民海岛保护和管理^[7]、海岛生态环境可持续发展^[8-9]和海岛生态系统脆弱性等报道^[10]。

生境破碎化研究相关理论有岛屿生物地理学、复合种群和景观连接度等。

岛屿生物地理学理论(island biogeography theory)关注点是物种丰富度与外界隔离程度的关系,广泛应用于岛状生境,是生境破碎化最基础也是最核心理论。该理论认为物种的丰富度是由新物种的迁入和原物种的灭绝这两个动态过程决定^[11],当迁入率和灭绝率相等时,物种数量呈现动态平衡,而物种组成不断变化和更新。

复合种群(meta-population)是由产生地理隔离而在某些程度上相互作用或联系的同类群物种所组成的种群斑块系统^[12],由Levins在1970年提出,用他自己的话来说,复合种群是“由种群组成的种群”。该模型最初用于描述田间昆虫的种群动态模型,后来广泛应用于自然的或受到人为干扰的生境破碎,已经成为分析破碎化生境中物种存续的基础性理论^[13]。该理论不仅在陆地生态学中有较好的应用,同样也适用于海洋研究领域。如活动度相对较小的海洋物种占据相对独立的生境斑块,种群

的补充不仅可依靠本地物种,也可由复合种群中的其他亚群进行补充。

同样,景观结构的连续性也对种群的存续和发展起着至关重要的决定作用。景观连接度(landscape connectivity)是对景观空间结构单元连续性的度量。景观连接包括两个方面:一个是结构;一个是功能。结构连接度主要是空间结构特征标新的连续性,而功能结构连接度则需评估生态过程和功能之间的关系^[14]。除此之外,景观生态学概念还有边缘效应、斑块动态和渗透理论等。

1.2 生境破碎化影响研究

生境破碎化影响着生态系统的各个方面。从结构来看,生境破碎引起物种栖息地面积减少、空间格局发生变化、物种多样性和数量均下降、景观结构遭受破坏;从功能来看,限制物种迁移、扩散等生态过程,导致物质循环、能量流动均受阻^[15]。

(1)改变小气候。木麻黄具有较强的防风护岸作用,在上世纪 50—80 年代的沿海防风林建设中在中国海岛及海岸带有大量种植,现已成为海岛森林生态系统中的主要树种。惠安木麻黄沿海防护林内平均地面温度为 20.4℃,比林外低 2.7℃,木麻黄林分对低温的影响,夏季降暑冬季防寒的作用比气温大^[16]。区域尺度上的森林生境破碎,导致气候条件分化,某些斑块长年处于干燥期,而其他斑块则呈现持续降水,但尚无证据表明气候模式与斑块距离具有相关性^[17]。

(2)阻碍基因流动。破碎化造成遗传隔离,使残存种群中遗传可塑性缺乏而导致繁殖失败。森林的破碎化导致花卉及动物种群的隔离,阻碍了森林斑块之间的基因流动^[18],遗传结构分化^[19]。Wiberg 通过对自交不亲和繁殖系灌木 *Linnaea borealis* 的生境破碎研究,发现破碎化的 123 个斑块中,91%的斑块距离比花粉传播最长距离(30 m)大。10 个微卫星标记结果显示,只有 21%的斑块产生多位点基因型。*Linnaea borealis* 种群正在经历一种基因影响,长期的种群隔离导致仅 16%的斑块拥有种子繁殖能力^[20]。与此同时,生境破碎化也可导致美洲豹等高等动物产生遗传漂变,种内交配受阻,种群结构简单化^[21]。

(3)种群数量下降。Wahungu 等^[22]通过对塔纳河森林破碎化对灵长类多样性和丰度研究发现,红疣猴和白眉猴种群数量与森林规模显著相关,森林丧失和生境破碎化对两个种群产生了深远影响,如种群组成不稳定,高幼崽死亡率,多雄种群增加,家庭规模减小等^[23]。灵长类种群随着生境面积的减少和人为干扰,物种多样性呈下降的趋势^[23]。人类活动导致野生塔里木马鹿生境丧失和破碎化,限制了种群复壮和发展,致使野生种群仅剩 450 余头,物种现已处于极度濒危状态^[24]。红树林沙化、红树林区养殖、砍伐和采矿行为都会给红树林植被带来一定的破坏,使大型底栖动物群落异质化,使动物群落的物种数量、密度和生物量显著下降。乌氏招潮蟹等地表活动的大型底栖动物对生境破碎化的响应较明显,不分布在砍伐林的空旷区域^[25]。

(4)限制自由扩散。破碎化的生境对物种的自由扩散产生不同程度的影响,不少研究发现,迁移能力强的物种受生境破碎化的影响更大。长江口深水航道治理工程对安氏白虾的捕捞场、中华绒螯蟹的产卵场和洄游通道、鳊苗洄游通道以及中华鲟、鲟鱼、刀鲚、松江鲈等诸多海河洄游鱼类的河口通道产生较大影响^[35],影响了鱼类的自由扩散。通过对蝗虫扩散行为的研究表明,斑块结构和沙地动力对性别的影响较为明显。在斑块面积大、连通性差的条件下,雌性呈现出小体型和短翅膀;生境斑块的沙地动力条件较好,雌性和雄性均体型较大^[26]。

(5)影响生态功能。生境破碎化影响多种生态学过程,诸如种群动态、种子或生物体的传播、捕食者—猎物相互作用、群落演替、干扰传播、物质循环、能量流动等^[12]。长江口大型工程建设改变了河口地貌、沉积相分布与水动力条件,导致了河口生境破碎化,以底栖生境的影响最为明显。作为经济鱼类的天然饵料,浮游和底栖生态系统结构与功能的改变,通过捕食者—猎物相互作用,最终将导致河口渔业资源等生态系统服务功能的动态变化^[35]。雪灾会造成森林短时期的生境破碎化,破碎化程度与受灾程度成正相关关系。通过分析雪灾对武夷山毛竹林凋落物分解和养分释放的影响发现,不同

受灾程度样地凋落物 C、N、P、K 分解速率随受灾程度的加重而显著加快,而重度受灾样地中 C、N、K 释放速率显著快于中度、轻度受灾样地,但 P 释放速率无显著差异。雪灾导致的生境破碎加速了毛竹林生态系统凋落物的分解和养分的释放^[27]。

1.3 生境破碎化评估方法研究

生境破碎化数量分析对象分为种群/物种、生态系统/群落和景观/区系 3 个层级,每个层级分为结构和功能两方面。

随着景观生态学的成熟和发展,大量的数学方法被引入其研究之中^[28]。数量化分析景观格局,可以阐明景观要素空间分布的基本规律以及与人工干扰的关系^[29],是描述景观破碎化的要求,也是进一步研究景观功能和动态的基础。景观破碎化数量分析方法按其内容可分为景观要素斑块特征的破碎化分析、景观异质性破碎化分析和景观要素空间相互关系破碎化分析 3 部分^[30]。具体分析指标见表 1。

表 1 景观破碎化数量分析方法汇总^[30]

分析内容	分析指标		
景观要素 斑块特征 的破碎化 分析	景观要素 斑块规模	斑块面积	平均斑块面积
			面积比例
			斑块变异系数
		景观内部 生境面积	内部生境总面积
			平均内部生境面积
		人工干扰指数	
	景观要素 斑块形状	斑块内缘比	
		斑块形状指数	
		分数维	
		景观斑块形状破碎化指数	
景观异质 性破碎化 分析	景观斑块 数量	景观斑块密度	
		斑块多度	
		景观斑块数破碎化指数	
		廊道密度指数	
	景观多样性	景观多样性 指数	shannon-weaver 多样性指数
			simpson 多样性指数
		景观优势度指数	
		景观均匀性	

续表

分析内容	分析指标
景观要素 空间相互 关系破碎 化分析	最近距离指数
	连接度
	连接指数
	分离度指数
	景观组分的邻近度

雷声等以景观破碎化指数来表征水电站建设工程对建设区域的影响,定量分析了水电梯级开发规划对生态系统的影响^[31]。李涛等通过目视解议获取广东省 7 个有居民海岛的土地利用数据,进行了海岛土地利用景观格局变化的分析。林明太等在 RS 和 GIS 技术支持下,利用遥感资料,对福建旅游性海岛景观格局变化进行了分析。

近年来,虽然生态学家对种群/物种、生态系统/群落破碎化评估予以关注,但有关数量分析方法的报道仍较少。周伟等^[32]在研究了河流生境破碎化与河流生态系统完整性的对应关系后,借鉴河流生态系统完整性评价的指标体系,初步构建河流生境破碎化评价的指标体系,通过调查收集数据对指标进行筛选和赋值,确立适合广西河池地区河流生境破碎化评价的指标体系,并应用该指标体系对研究区的部分河流进行评价。该研究建立的指标体系排除了生物体本身状况,仅对河流水质、水文、形态结构和河岸带状况等环境因子的指标评价体系。唐宪等^[33]鉴于人为干扰在森林生态系统中影响的重要性,建立人为干扰指标体系,对人为干扰的影响进行有效评定,成为森林生态系统完整性评价中的重要一环。池源等^[10]对海岛生态脆弱性的内涵、特征及成因进行探析,建立起脆弱性概念体系,为海岛生态脆弱性的深入分析与合理调控提供切实依据。

生境破碎化评估方法的应用主要集中在大型交通工程、水利工程、城镇建设等方面。李双成等^[34]对中国道路网与生态系统破碎化关系进行了统计分析,各级别道路对生态系统及生境的切割作用非常明显,以切割后斑块数目的变化情况作为破碎化表征,斑块数目增加了 119.3 倍,我国道路建设

导致的生境破碎化十分严重。叶属峰等^[35]对长江口大型工程对河口生境破碎化的研究表明,长江口深水航道治理一期工程对长江口生境破碎化的影响已开始表现出来,而以底栖生境的影响最为明显,河口浮游和底栖生态系统结构与功能的改变,必将引起鱼类饵料基础的变化,并通过食物网关系,最终将导致河口渔业资源等生态系统服务功能的动态变化。周伟等^[32]指出,河流生境破碎化的主要人为干扰因素是水利水电工程建设和水体污染等,导致连续的河流生态系统在结构和功能上被分隔成不连续的环境单元,从而破坏了河流生态系统的完整性。雷声等^[31]利用景观生态学中景观内部生境面积的破碎化指数表示规划水电站对生境的破坏程度,定量分析了水电梯级开发规划对生态系统的影响,是将生境破碎化评估方法运用于规划环评中的有益尝试。

2 研究展望

从上述研究现状来看,海岛生态系统和生境破碎化的相关理论研究工作依托于生态学的发展开始较早,成果较成熟,具有一定程度的累积。随着城市化进程和人类干扰增加,近 20 年来,生境破碎化影响研究有了长足发展,已形成较为完善的研究体系。上述成果均为今后进行海岛生境破碎化评估的深入研究提供了理论基础和模式借鉴。面对近年来全球性的海洋开发利用热潮,已有部分研究关注到了海洋生境破碎化问题,但方法尚未完善,定性非定量研究较多,且大多数研究仅关注景观破碎化而忽视了物种和生态系统的破碎化问题,评估技术仍处于研究的初级阶段,很多关键技术仍为空白。现将海岛生境破碎化评估方法研究的发展方向归纳为以下几点。

(1)充分考虑海岛海、陆二相性特征,评估对象应涉及岛陆生态系统、潮间带生态系统及周边海域生态系统。

(2)虽然海岛生境破碎化评估方法未见明显述及,但可通过借鉴生态系统完整性、生态系统脆弱性和人为干扰影响评估等研究成果,从已有评价指标中选取科学、独立、可评价、代表性强的指标,建立海岛生境破碎化评估指标体系。

(3)深入探讨海岛生态功能破碎化的定量评价方法,并进行景观和生态系统相结合的定量分析,建立评价体系,获得更科学的研究与评价结果。

参考文献

- [1] 王小龙.海岛生态系统风险评价方法及应用研究[D].青岛:国家海洋局第一海洋研究所,2006.
- [2] UNESCO.Expert panel on project 7:ecology and rational use of island ecosystems;final report[J].Mab Report,1973(11).
- [3] 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.
- [4] 全国海岛资源综合调查报告编写组.全国海岛资源综合调查报告[M].北京:海洋出版社,1996.
- [5] 杨文鹤.中国海岛[M].北京:海洋出版社,2000.
- [6] 杜道林,苏杰,张建会,等.海南海岛生态旅游资源开发与保护[J].海南师范学院学报,1999,12(1):94—98.
- [7] 黄发明,谢在团.厦门市无居民海岛开发利用现状与管理保护对策[J].台湾海峡,2003,22(4):531—536.
- [8] 任海,李萍,彭少麟,等.海岛与海岸带生态系统恢复与生态系统管理[M].北京:科学出版社,2004.
- [9] 李金克,王广成.海岛可持续发展评价指标体系的建立与探讨[J].海洋环境科学,2004,23(1):54—57.
- [10] 池源,石洪华,郭振,等.海岛生态脆弱性的内涵、特征及成因探析[J].海洋学报,2015,37(12):93—105.
- [11] ROBERT H M,EDWARD O W.The theory of island biogeography[M].Princeton:Princeton University Press,1967.
- [12] 邬建国.景观生态学:格局、过程、尺度与等级[M].2 版.北京:高等教育出版社,2007.
- [13] GAONA P,FERRERAS P,DELIBES M.Dynamics and viability of a metapopulation of the endangered Iberian lynx (*Lynx pardinus*) [J].Ecological Monographs,1998,68(3):349—370.
- [14] TISCHENDORF L,FAHRIG L.How should we measure landscape connectivity[J].Landscape Ecology,2000,15:633—641.
- [15] BOUTIN S,HEBERT D.Landscape ecology and forest management:developing an effective partnership[J].Ecological Application,2002,12:390—397.
- [16] 李志真,谭芳林,叶功富,等.木麻黄沿海防护林小气候效应的定位研究初报[J].福建林业科技,2000,27(1):1—4.
- [17] Ramos FN,Santos FAM.Microclimate of Atlantic forest fragments:regional and local scale heterogeneity[J].Brazilian Archives of Biology & Technology,2006,49(6):935—944.
- [18] MARSH C M.Ecology and social organization of the Tana river red colobus(*Colobus badiusrufomitrat*) [D].Ph D Dis-

sertation;University of Bristol,Bristol,UK.1978.

[19] ZHANG Q,XIA L,HE J,et al.Comparison of phylogeographic structure and population history of two *Phrynocephalus* species in the tarim basin and adjacent areas[J].MolecularPhylogenet Evolution,2010,57(3):1091—1104.

[20] WIBERG RAW,SCOBIE A R,A'HARA S W,et al.The genetic consequences of long term habitat fragmentation on a self-incompatible clonal plant, *Linnaea borealis*, L. [J]. Biological Conservation,2016,201:405—413.

[21] HAILA Y.A conceptual genealogy of fragmentation research; from island biogeography to landscape ecology[J].Ecological Applications,2002,12(2):321—334.

[22] WAHUNGU G M,MUORIA P K,MOINDE N N,et al.Changes in forest fragment sizes and primate population trends along the river Tana floodplain[J].African Jouranal of Ecology,2005,43,81—90.

[23] DECKER B S. Effects of habitat disturbance on the behavioural ecology and demographics of the Tana river red colobus (*Colobus badiusrufomitratu*s) [J]. International Journal of Primatology,1994,15(5):703—737.

[24] 迪力夏提·阿不力孜,马合木提·哈力克,艾尼瓦尔·吐米尔,等.新疆塔里木马鹿沙雅种群的生境变化分析[J].动物学杂志,2010,45(4):72—80.

[25] 陈光程,余丹,叶勇,等.红树林植被对大型底栖动物群落的影响[J] 生态学报,2013,33(2):0327—0336.

[26] HEIDINGER IMM,HEIN S,BONTE D.Patch connectivity and sand dynamics affect dispersal-related morphology of the blue-winged grasshopper *Oedipodacaerulescens*, in coastal grey dunes[J].Insect Conservation & Diversity,2010,3(3):205—212.

[27] 徐涵涓,阮宏华.雪灾对武夷山毛竹林凋落物分解和养分释放的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版),2013,37(6):69—72.

[28] 李海滨,伍业刚.景观生态学的数量研究方法[C]// 当代生态学博论.北京:中国科学技术出版社,1992:209—230.

[29] 徐天蜀,彭世揆.九溪河小流域森林景观空间格局研究[J].西南林学院学报,2002,22(2):21—25.

[30] 由畅,周永斌,于丽芬.景观破碎化数量分析方法概述[J].林业科学,2006,22(5):146—151.

[31] 雷声,潘峰.生境破碎法在水电规划环评中的应用研究[J].安徽农业科学,2009,37(16):7599—7603.

[32] 周伟,刘恺,李凤莲,等.广西河池地区人类干扰下的河流生境破碎化评价[J].广西师范大学学报(自然科学版),2010,28(4):90—95.

[33] 唐宪,李际平,胡小飞.森林生态系统中人为干扰影响指标的研究[J].湖南林业科技,2010,37(2):43—47.

[34] 李双成,许月卿,周巧富,等.中国道路网与生态系统破碎化关系统计分析[J].地理科学进展,2004,23(5):78—86.

[35] 叶属峰,吕吉斌,丁德文,等.长江口大型工程对河口生境破碎化影响的初步研究[J].海洋工程,2004,22(3):41—47.