

基于GIS的海岛生态脆弱性评价研究与实践

——以海坛岛为例

Research and Practice on Island Ecological Frangibility Assessment Based on GIS

——A Case Study of Haitan Island

郭晓峰, 李青生

(国家海洋局第三海洋研究所 厦门 361005)

摘要 基于生态敏感度、生态弹性度和生态压力度,构建了海岛生态脆弱性评价的指标体系,采用综合指数法和GIS相结合的方法对海坛岛的生态脆弱性进行了定量评价,并绘制了生态脆弱性等级分布图,分析了生态脆弱度的空间差异和不同区域生态脆弱性的主导成因。评价结果与该区域的生态环境状况较为一致,对于海坛岛的生态保护和资源利用具有一定的指导意义。

关键词 GIS 海岛 生态脆弱性 评价

Abstract Based on ecological sensitivity, ecological elasticity and ecological pressure, assessment index system for island ecological frangibility was established. This paper made the ecological frangibility assessment of Haitan island with a combination of comprehensive index method and GIS approach, drew the picture of ecological frangibility dominant index level, and analyzed spacial difference and reasons of ecological frangibility in different regions. The results was agreed with the ecological environment conditions, which can provide scientific evidence for ecological conservation and resource usage of Haitan island.

Key words GIS Island Ecological Frangibility Assessment

海岛是指四面环海水并在高潮时高于水面的自然形成的陆地区域,包括有居民海岛和无居民海岛^[1]。海岛及其周围海洋中蕴藏着丰富的资源,开发利用海岛是解决我国面临资源短缺问题的一个重要途径。但是,由于海岛相对独立,与大陆及其他岛屿之间联系较为困难;并且面积相对狭小,地域结构简单,淡水缺乏,资源数量有限,因此,海岛是典型的生态环境脆弱区。多年的实践表明,海岛开发对脆弱海岛生态环境的损害程度和速度惊人,如不加强对海岛生态脆弱性的研究,很容易导致难以估量的损失^[2]。

生态脆弱性是指生态环境对外界干扰抵抗力弱,在被干扰后恢复能力低,容易由一种状态转变为另一种状态,而且一经改变很难恢复到初始状态^[3],它是生态系统的固有属性,并在干扰作

用下表现出来,包括生态敏感性、生态弹性和生态压力三方面^[4-7]。海岛生态脆弱性是海岛生态系统固有的一种特征,它表征的是海岛生态系统易于受到伤害的性质。地理信息系统(Geographic Information System,简称GIS)作为获取、存储、分析和处理地理空间数据的重要工具,近年来得到了迅猛发展,在处理大尺度、大批量的空间信息数据上具有独特的优势。海岛生态系统复杂,而GIS系统能够快速、精确和综合的对复杂海岛生态系统进行空间信息集成和分析^[8]。

1 海岛生态脆弱性评价的基本思路

1.1 海岛生态脆弱性评价指标体系

采用层次分析法,构建3个层次的评价指标体系。第1层次是目标层,即生态脆弱度;第2层

收稿日期:2011-01-12

作者简介:郭晓峰(1981-),男,工程师。研究方向:环境与资源评价。E-mail:enchon@sina.com

次是准则层，指出生态脆弱性从哪些方面去衡量，亦即生态脆弱性的基本判定指标，包括生态敏感度、生态弹性度和生态压力度3个指标；第

3层次是指标层，即每一个准则层上的要素用哪些具体指标来表达，详见表1。

表1 海岛生态脆弱性评价指标体系及权重

目标层	准则层	权重	指标层	单位	权重	数据来源
生态脆弱度	生态敏感度	0.50	平均潮差	m	0.2	相关部门的统计数据
			平均浪高	m	0.2	相关部门的统计数据
			海岸侵蚀速率	$m \cdot a^{-1}$	0.3	相关部门的统计数据
			地形坡度	°	0.1	遥感图件
			土壤侵蚀率	%	0.2	遥感图件
	生态弹性度	0.25	植被覆盖率	%	0.2	遥感图件
			海域水质综合指数	mm	0.2	地方志
			平均降雨量	无量纲	0.3	现状调查资料
			叶绿素a含量	$mg \cdot m^{-3}$	0.3	现状调查资料
	生态压力度	0.25	经济产出密度	万元· km^{-2}	0.3	地方统计年鉴
GDP年增长率			%	0.3	地方统计年鉴	
户籍人口密度			人· km^{-2}	0.2	地方统计年鉴	
			人口自然增长率	%	0.2	地方统计年鉴

1.2 生态脆弱度指数的计算方法

目前，生态脆弱性的定量评价，都是在建立评价指标体系并确定各指标因子权重后，利用各种数学方法进行计算分析的。本研究生态脆弱度指数(Ecological Vulnerable Index, EVI)的计算采用综合指数法，并将生态敏感度指数(Ecological Sensitivity Index, ESI)、生态弹性度指数(Ecological Elasticity Index, EEI)和生态压力度指数(Ecological Pressure Index, EPI)作为生态脆弱性评价的3个基本判定指标。按照式(1)，首先计算出ESI, EBI和EPI，然后进一步计算生态脆弱度指数。

$$I_j = \sum_{i=1}^j P_i W_i \quad (1)$$

式中I为指数值，为最终复合结果值，其值介于0~1之间； P_i 为指标标准值， W_i 为各指标的权重，j为指标的个数。需要说明的是，对于生态脆弱度指数而言，生态敏感度指数和生态压力度指数属于正向指标，即ESI和EPI越大，EVI越大；而生态弹性度指数则属于逆向指标，即EEI越大，EVI越小。

2 海坛岛生态脆弱性评价

2.1 海坛岛概况

海坛岛位于福建省中部，为平潭综合实验区

的主岛，面积274.33 km^2 ，介于东经118°08' ~ 120°31'，北纬25°15' ~ 26°29'之间，是福建省第一大岛、全国第五大岛，周边四面临海，拥有海域面积2 164 km^2 。海坛岛属典型的南亚热带海洋性季风气候，光照充足，热量丰富。海坛岛共有10个乡镇，包括潭城镇、苏澳镇、澳前镇、北厝镇、流水镇、敖东镇、中楼乡、平原乡、白青乡和芦洋乡。

海坛岛陆域呈南北长条状，岛中部为海积与风积平原、海滩地，北部、南部为丘陵、台地，山体多呈北东向展布，沿海岸延伸入海，形成环岛诸多天然良港。海岸线呈向西敞开弧形海湾，岸边基岩裸露，沿岸多礁石，潮间带为砂泥质潮滩。在各种内外应力的长期作用下，形成岛礁、港湾、丘陵与平原相间等多种类型地貌。由于受强烈上升的新构造运动，海蚀和风化剥蚀，以及沿节理剧烈机械崩塌等共同作用，残留许多典型的海蚀地貌遗迹，构成独特的海蚀地貌景观群。

2.2 评价指标体系

根据构建的海岛生态脆弱性评价指标体系进行海坛岛的生态脆弱性评价，权重由专家打分法获得，具体指标及其权重可见表1。

2.3 评价单元的确定

采用矢量单元（行政单元）和栅格单元二者相结合的办法，使指标因子数据载体与评价单元分开的实现办法，即采用栅格点状单元 100 m × 100 m 栅格作为指标因子的数据载体和单因子的基本评价单元，用矢量面状单元作为综合评价单元，两者之间用模型予以关联。

2.4 指标标准化

由于各评价指标的指标值有不同的量纲，首先要对原始数据进行标准化处理，以消除量纲的不同影响。采用Krasovsky-940-Albers投影坐标和GCS-Krasovsky-1940地理坐标系统，在地理信息系统软件Arcgis的GRID模块支持下，利用其数学运算功能，将选定的指标进行标准化处理。

标准化后的指标值为0~1。

在实际中，由于考虑因子较多或数据差距较大，为了客观评价各因子的影响，可进行适当的数据转换，使得转换后的数据 X_i 越大，此因子对生态系统的作用越大。当因子 X_i 值与生态脆弱性成正相关时使用公式(2)；当因子 X_i 值与生态脆弱性成反相关时使用公式(3)。

$$X_i' = (X_i - X_{imin}) / (X_{imax} - X_{imin}) \quad (2)$$

$$X_i' = 1 - (X_i - X_{imin}) / (X_{imax} - X_{imin}) \quad (3)$$

式中， X_i 表示第i个指标的标准化值， X_i 表示第i个指标的初始值， X_{imin} 、 X_{imax} 分别表示第i个指标在研究区内的最小值和最大值。

2.5 基于GIS的海岛生态脆弱性评价结果与分析

将指标体系中的各评价因子数字化，获取影响因子的分布图，统一于同一投影系统的矢量图中（DEM等数据除外），利用Arcgis栅格运算的功能，将矢量数据转换为栅格数据，栅格单元大小为100 m × 100 m，接着对各因子进行标准化和分级处理。再利用Arcgis强大的空间分析功能，在空间分析模块中对各因子进行叠加运算，最终形成生态脆弱度的空间分布图。

海坛岛的生态脆弱性评价结果见表2和图1~图4。为了进一步揭示海坛岛的生态脆弱性特征，根据国内研究现状^[9-11]，把生态脆弱度分为三级（级~级），即低度脆弱、中度脆弱和高度脆弱，其相应的生态脆弱度指数分别为0~0.33，0.34~0.66，0.67~1.00。

表2 海坛岛各乡镇的生态脆弱性评价指数

序号	乡镇	生态压力度	生态敏感度指数	生态弹性度指数	生态脆弱度指数	生态脆弱度等级
1	敖东	0.60	0.11	0.38	0.41	中度脆弱
2	澳前	0.58	0.11	0.11	0.51	中度脆弱
3	白青	0.63	0.26	0.89	0.32	低度脆弱
4	北厝	0.06	0.22	0.17	0.30	低度脆弱
5	流水	0.99	0.25	0.91	0.49	中度脆弱
6	芦洋	0.14	0.03	0.32	0.16	低度脆弱
7	平原	0.01	0.12	0.43	0.10	低度脆弱
8	苏澳	0.40	0.20	0.66	0.26	低度脆弱
9	潭城	0.60	0.08	0.08	0.52	中度脆弱
10	中楼	0.02	0.15	0.17	0.23	低度脆弱

由表2可见，中度脆弱度区域有4个镇，占研究区总面积的39.13%，低度脆弱区有6个镇，占研究区总面积的60.87%，由于海坛岛目前尚未大规模开发，没有乡镇处于高脆弱度水平。以镇级行政单位为评价单元计算出的各镇域生态脆弱

度指数，最大值为0.52，出现在潭城镇；由于潭城是平潭县政府的所在地，社会经济活动频繁，开发强度较大，因此生态环境也相对较为脆弱。生态脆弱度指数最小值为0.10，出现在平原乡。

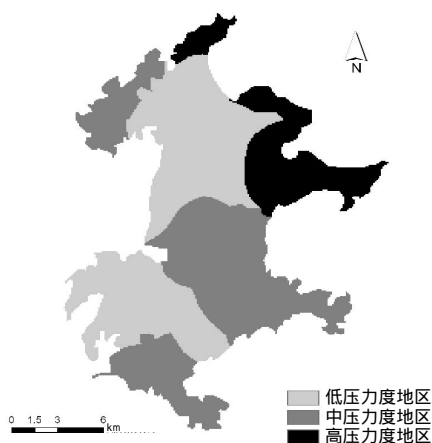


图1 海坛岛生态压力度

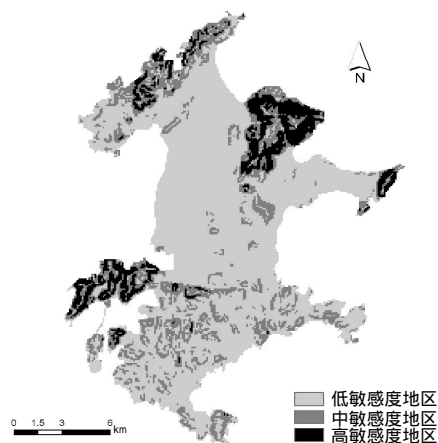


图2 海坛岛生态敏感度

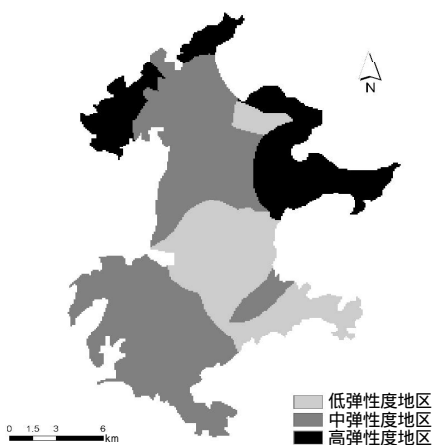


图3 海坛岛生态弹性度

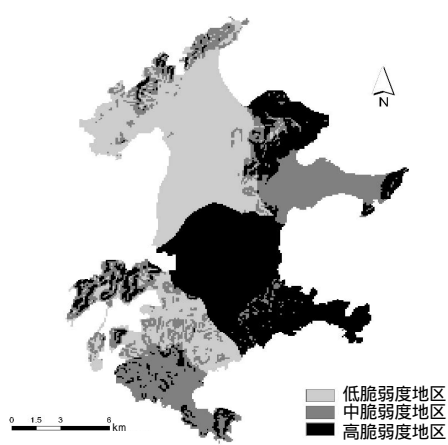


图4 海坛岛生态脆弱度

图1~图4分别表示海坛岛生态压力度、敏感度、弹性度和脆弱度分布,从图中可以看出,生态高脆弱度的区域主要分布在该岛的东北部,中脆弱度区域主要分布在中东部和南部,而中部和西部则主要属于低脆弱度区域。这种分布规律与平均浪高、潮差、海岸侵蚀以及地形地貌有较大的相关性,海坛岛东北部岩崖发育,浪高、潮差较大,海岸侵蚀严重,地势起伏明显,这反映其生态敏感度较高。中等脆弱区一般处于丘陵地区,坡度不大,其面临的海岸线也一般较长。而低脆弱区一般地势平坦,且其所邻海域一般处于内湾,潮差、浪高较小,海岸侵蚀相对较轻,自然环境差异小,因而区域生态脆弱性具有趋同性。该结果表明,海洋水文及地形地貌是海岛脆弱生态

环境空间分异的主导因素,潮差、浪高决定了海域对陆地的侵蚀,进而也会影响地形地貌、植被类型分布和人类活动,并最终反映出人类在该区域内的资源开发和土地利用活动明显受到地形地貌和海洋水文动力等自然因素的控制。

3 结语

从生态脆弱性的内涵出发,将生态敏感度指数、生态弹性度指数和生态压力度指数作为生态脆弱性评价的3个基本判定指标,构建了多层次的海岛生态脆弱性评价指标体系框架,形成了以综合指数方法和GIS相结合的海岛生态脆弱性综合评价方法。基于该方法的海岛生态脆弱性评价结果不但可以得出区域整体脆弱度及其内部空间

分异规律，还能明确脆弱性发生的环节，对于有针对性地开展海岛生态脆弱区的生态保护和资源开发利用具有重要的指导意义。

参考文献

[1]全国人民代表大会常务委员会.中华人民共和国海岛保护法[Z].2009.
 [2]冷悦山,孙书贤,王宗灵,等.海岛生态环境的脆弱性分析与调控对策[J].海岸工程,2008,27(2):58-63.
 [3]乔青,高吉喜,王维,等.生态脆弱性综合评价方法与应用[J].环境科学研究,2008,21(5):117-123.
 [4]刘康,欧阳志云,王效科,等.甘肃省生态环境敏感性评价及

其空间分布[J].生态学报,2003,23(12):2711-2718.
 [5]欧阳志云.中国生态功能区划[J].中国勘察设计,2007(3):70.
 [6]高吉喜.可持续发展理论探索:生态承载力理论、方法与应用[M].北京:中国环境科学出版社,2001.
 [7]卞建民,李凤全.松嫩平原西部生态脆弱环境脆弱性及成因分析[J].国土开发与整治,2001(1):18-29.
 [8]付博.3S技术支持下的扎龙湿地生态脆弱性评价研究[D].东北师范大学硕士学位论文,2006.
 [9]蒋卫国,李京,李加洪,等.辽河三角洲湿地生态系统健康评价[J].生态学报,2005,25(3):408-414.
 [10]叶亚平,刘鲁军.中国省域生态环境评价指标体系研究[J].环境科学研究,2000,13(3):33-36.
 [11]苏维词,杨汉奎.贵州岩溶区生态环境脆弱类型的初步划分[J].环境科学研究,1994,7(6):35-41.

(上接第25页)

曝气对好氧菌处理含油废水来说是非常必要的，但过量曝气并不利于固定化颗粒对COD_{Cr}的去除。由图5可知：摇床振荡速度小于140 rpm时，随着摇床振荡速度的增加，COD_{Cr}的去除率逐渐提高，这是因为适当曝气有利于好氧菌的生长繁殖、氧化分解废水中的有机物是降解含油废水中COD_{Cr}必不可少的条件之一；但是在试验过程中发现，当转速超过140 rpm时，有明显的菌体脱落现象，超过180 rpm时，固

定化颗粒开始破碎，这可能是由于固定化颗粒受到的冲刷力过大引起的。因此，在实际工程应用时，建议采用间歇曝气方式且曝气强度不易过大。

2.3 温度对COD_{Cr}处理效果的影响

将在最优化条件下制得的4种固定化颗粒以10%的接种量接种于试验废水中，在不同的温度10、20、25、30、35及40℃下，于120 rpm振荡速度，培养56 h后，固定化颗粒在不同温度下对废水中COD_{Cr}的去除率见图6。

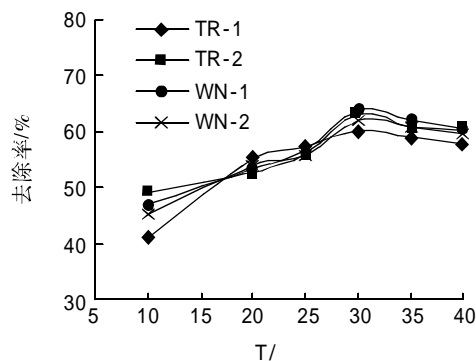
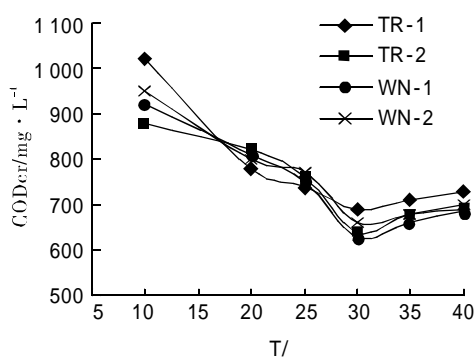


图6 温度对COD_{Cr}处理效果的影响

由图6可知：固定化颗粒最适宜的温度为30℃。在试验过程中发现：当温度低于35℃时，颗粒形状均能保持良好。当温度高于35℃时，经过56 h后，固定化颗粒会出现软化现象，即表示颗粒的寿命缩短。这说明：温度是影响菌体颗粒机械强度的因素之一，温度过高不利于保持颗粒的形状。而当温度大于40℃时，加之在摇床振荡培养下，颗粒之间的摩擦会逐渐破坏颗粒内部的交联结构，从而导致颗粒的逐渐溶解^[5]。

3 结论

含油废水的水质复杂，难以处理，现有的处理方法都存在一些不足之处，固定化颗粒处理含

油废水具有较好的前景。试验结果表明：在采用适当的曝气方式和曝气强度下，采用10%的接种量，4种固定化颗粒对含油废水COD_{Cr}的降解均有良好的效果。固定化颗粒最适宜的反应温度为30℃，温度过高，固定化颗粒会出现软化现象，还有可能发生自身的溶解。

参考文献

[1]唐受印,戴友芝.水处理工程师[M].北京:化学工业出版社,2002.
 [2]中国化工防止污染技术学会.化工废水处理技术[M].北京:化学工业出版社,2000.
 [3]李爱阳,蔡玲.膜分离技术处理含油废水研究进展[J].化工时刊,2007,21(6):62-64.
 [4]国家环境保护总局.《水和废水分析检测方法》编委会.水和废水分析检测方法[M].北京:中国环境科学出版社,2002,375-378.
 [5]Wiesel I. Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by an immobilized mixed bacterial culture[J].Appl Microbiol. Biotechnol, 1993,39: 111-115.