

兴化湾海湾生态系统退化评价

程建新, 肖佳媚, 陈明茹, 胡文佳, 杨璐, 杨圣云*

(厦门大学海洋与地球学院, 福建 厦门 361005)

摘要:依据“压力-状态-响应”(PSR)概念模型,构建了兴化湾海湾生态系统退化评价的指标体系,并采用综合指数法和模糊评价法对该海湾生态系统的退化程度进行了定量评价.结果表明:自 2005 年兴化湾海湾生态系统呈现出退化的趋势,到 2008 年生态系统处于“中度退化”状态;兴化湾海湾生态系统受到的环境胁迫作用较大,尤其从 2005 年以来生态系统面临的压力有所增大.导致兴化湾海湾生态系统退化的主要胁迫因子有富营养化、围填海、GDP 增长对环境的压力、滨海电厂温排水以及海洋捕捞等;在持续较大的压力下海湾生态系统的状态表现出恶化趋势.

关键词:生态系统退化;指标体系;综合评价;兴化湾

中图分类号:Q 356.1

文献标志码:A

文章编号:0438-0479(2012)05-0944-07

生态系统退化是指生态系统在人为或自然干扰下的逆行演替,或者复合生态系统的失调,其特征是系统的合理结构解体、服务功能下降^[1].对于生态系统退化程度的确定是开展生态恢复的基础和前提,其重要性已为国内外诸多学者所重视^[2-4].

海湾处于海陆过渡带,具有优越的开发环境,由于人类对海湾开发利用强度较大,沿湾地区环境污染日趋严重,导致海湾生态系统退化、生态服务功能下降.据报道,全球约 41% 的海域,尤其是河口、海湾已经受到人类活动的严重干扰^[5].因此,科学评价海湾生态系统的退化程度,对开展海湾生态系统恢复和管理,实现海湾资源的可持续利用具有重要意义.

国际上开展生态系统退化的研究主要从陆地开始,其概念及其评价方法的研究最初来自于森林、草地、河流与湖泊生态系统等领域^[6-8].随着研究的深入,以河口、泻湖等为研究对象的海洋生态系统评价也相继开展起来^[9-10].如 Bettinetti 等^[11],利用地理信息系统(GIS)技术和模型的分析、评价和预测等功能,对威尼斯泻湖的退化及其周围环境的人类活动进行了研究,从藻类爆发、蔓草床消失、溶解氧下降、水中硫化氢释放、物种多样性减少等方面来确定泻湖的退化程度.国内有关生态系统退化评价的研究尚处于探索阶段,且主要集中于湿地、草原、湖泊和森林等方面^[12-14].目前在生态系统退化评价研究中被广泛承认和应用的是

“压力-状态-响应”(PSR)概念框架,如李永建^[15]采用 PSR 模型,从人类活动干扰、非生物环境、生物因子、生态功能和经管结构等层面筛选出指标因子,建立评价指标体系和评价模式,对拉鲁湿地的退化进行了评价.有关海湾生态系统退化的研究,国内尚未见报道.本研究依据 PSR 模型构建了兴化湾海湾生态系统退化评价指标体系,利用综合指数法和模糊评价法对该海湾生态系统退化状况进行评价,为兴化湾地区可持续发展和海湾生态系统管理提供科学决策依据.

1 研究区域概况

兴化湾地处福建省沿海中部,是福建省最主要的大海湾之一.兴化湾地理位置处于 119°00′~119°37′ E, 25°14′~25°37′ N 之间,海域总面积 704.77 km²,是福建省最大的海湾(图 1).兴化湾拥有广阔的海岸和滩涂资源,是重要的水产养殖基地,也是福建省非常重要的水鸟越冬地和迁徙过境觅食地.据调查,世界受胁鸟种黑脸琵鹭(*Platalea minor*)在兴化湾调查中最多发现了 99 只,约占全球数量的 6.2%^[16].

2 兴化湾海湾生态系统退化评价指标体系的建立

2.1 指标体系的构建

指标体系(indicator system, IS)的建立是进行海湾生态系统退化评价或预警研究的首要 and 关键步骤^[17].基于 PSR 模型,将兴化湾海湾生态系统退化评

收稿日期:2012-04-08

基金项目:海洋公益性行业科研专项(200905019,201005012)

* 通信作者:yangsy@xmu.edu.cn

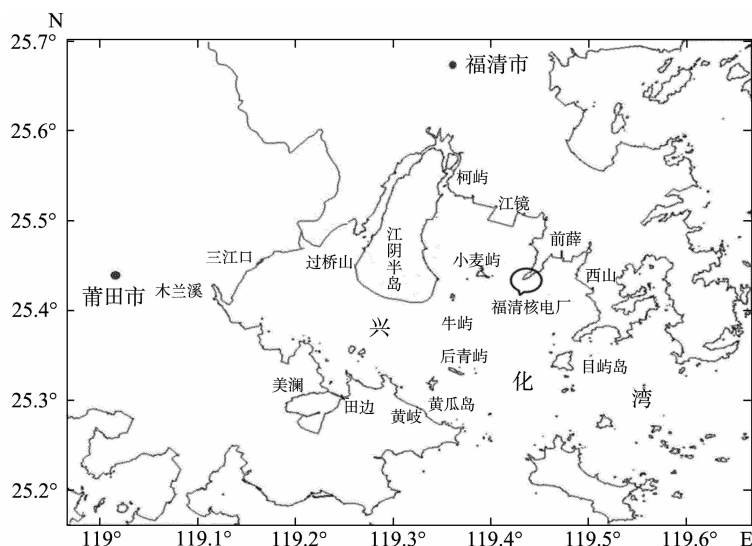


图1 兴化湾研究区域示意图

Fig. 1 Map of Xinghua Bay

价指标体系分为4个层次:第1层是目标层,以兴化湾海湾生态系统退化程度的评价为目标;第2层为准则层,分为压力、状态、响应3个子系统;第3层为因素层,即组成准则层的各个因素;第4层是指标层,是指标体系的最基本层面,根据因素层各组成要素的特征和意义进行筛选.根据海湾生态系统特点,本研究共筛选出29个指标,形成兴化湾海湾生态系统退化评价指标体系(表1).

2.2 指标的计算方法

2.2.1 数据来源及标准化处理

本文数据来源于《莆田市统计年鉴(2005、2008)》、《福州市统计年鉴(2005、2008)》、《福州港江阴港区8#、9#泊位工程海域使用论证报告》^①、福建省港湾数模项目研究成果^[16]、福建省历年海洋环境质量公报及课题组现场调查资料等.由于指标体系中各指标的类型复杂,且不同指标的量纲不同,为使评价指标具有可比性和可度量性,需对各评价指标的原始数据进行标准化处理,按正指标和负指标将原始数据无量纲化处理.

采用隶属度打分法计算指标的无量纲值:

当评价指标为正指标时:

$$L = L_1 + \frac{(X - X_1)}{(X_2 - X_1)} \times (L_2 - L_1),$$

$$L_1 < L_2, X_1 < X_2, \quad (1)$$

当评价指标为负指标时:

$$L = L_2 + \frac{(X - X_2)}{(X_1 - X_2)} \times (L_1 - L_2),$$

$$L_2 < L_1, X_1 < X_2, \quad (2)$$

式中, L 表示某指标的赋值结果; X 表示该指标的实际值; X_1 、 X_2 表示该指标的2个标准参照值, L_1 表示点 X_1 对应的分值; L_2 表示点 X_2 对应的分值.

2.2.2 指标权重的确定

本文采用层次分析法(AHP)^[18]确定指标权重,在操作过程中,应用yaahp 0.5.2层次分析软件进行权重分析,各指标的权重见表1.

2.3 评价方法

2.3.1 综合指数法

在指标原始数据标准化处理和权重确定的基础上,采用综合指数法能得出生态系统退化状况的单一指数,评价效果明确,综合指数的计算方法为:

$$DI = \sum_{i=1}^n L_i W_i, \quad (3)$$

式中, DI 表示兴化湾海湾生态系统的退化指数, L_i 为指标 i 的评价值, W_i 为指标 i 的权重值, n 为指标个数. DI 值在 $[0, 1]$ 之间,其值越小,表明生态系统退化程度越严重.兴化湾海湾生态系统退化程度分级标准如表2所示.

2.3.2 模糊评价法

综合指数法具有简单明了的特点,但是由于指标的划分刚性,评价结果往往会损失一些信息.例如,假设海湾生态系统退化程度分为 $0 \sim 0.4$, $0.4 \sim 0.7$, $0.7 \sim 1$ 这3个级别,评价结果 0.39 和 0.41 之间的差

① 中国海洋大学.福州港江阴港区8#、9#泊位工程海域使用论证报告,2010.

表 1 兴化湾海湾生态系统退化评价指标体系
Tab. 1 Index system of ecosystem degradation evaluation for Xinghua Bay

目标层	准则层	因素层	指标层	单位	权重
兴化湾海湾生态系统退化评价	压力子系统	生态灾害	台风、风暴潮个数	个/年	0.0391
			富营养化指数		0.0320
		人口压力	人口密度	人/km ²	0.0480
			人口增长率	%	0.0480
		经济压力	围填海占海湾面积比重	%	0.0522
			海洋捕捞	t	0.0350
			人均 GDP	万元/人	0.0317
			GDP 增长率	%	0.0317
		环境压力	万元工业增加值 COD 排放量	万元/吨	0.0353
			万元工业增加值氨氮排放量	万元/吨	0.0353
			海水养殖密度	%	0.0237
			电厂温升区面积	km ²	0.0289
	状态子系统	环境质量	海水水质综合指数		0.0563
			海洋沉积物质量综合指数		0.0309
			海洋生物质量综合指数		0.0377
		生物与生态	叶绿素 a 含量	mg/m ³	0.0211
			浮游植物多样性指数		0.0211
			浮游动物多样性指数		0.0211
			潮间带底栖生物多样性指数		0.0211
			浅海底栖生物多样性指数		0.0211
			鱼卵、仔鱼密度	ind/m ²	0.0211
			珍稀鸟类种群数量	只	0.0258
		生境质量	生境面积	km ²	0.0418
			生境质量		0.0418
	响应子系统	社会经济响应	环保相关法律法规与政策		0.0327
			第三产业产值比重	%	0.0192
			环保投资占 GDP 比重	%	0.0373
		环境保护响应	工业废水达标排放率	%	0.0652
			城镇污水集中处理率	%	0.0437

表 2 兴化湾海湾生态系统退化程度分级标准及含义
Tab. 2 Standard of ecosystem degradation degree and significance in Xinghua Bay

等级	DI	状态	含义
I	≥0.81	未退化	生态系统具有稳定的结构和功能,系统恢复再生力强
II	0.61~0.80	轻度退化	生态系统功能较为完善,受到干扰后一般可以恢复
III	0.41~0.60	中度退化	受到一定程度破坏,尚可维持其基本功能
IV	0.21~0.40	严重退化	生态系统结构和功能退化,生物多样性降低,环境问题突出
V	≤0.20	极度退化	生态系统结构崩溃,生态环境遭到严重破坏

别并不大,但却被划分到了2个不同级别;而得分0.01和0.39被划入同一级别,显然也不够合理.因此,本文引入模糊评价法,对兴化湾海湾生态系统退化进行进一步探讨.模糊评价法的步骤如下:

1) 确定评价对象的因子论域 X ,由海湾生态系统退化评价指标体系构成,根据已建立的指标体系,确定因子论域 $X = \{x_{\text{压力}}, x_{\text{状态}}, x_{\text{响应}}\}$,下一级的因子论域为 $x_{\text{压力}} = \{u_{\text{灾害}}, u_{\text{人口}}, u_{\text{经济}}, u_{\text{环境}}\}$,其他因子集同理.

2) 建立评价等级论域 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$,本文建立的评价论域为5级,同综合指数法计算保持一致,即 $V = \{\text{未退化}, \text{轻度退化}, \text{中度退化}, \text{严重退化}, \text{极度退化}\}$.

3) 建立模糊关系矩阵

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

其中, m 表示评价等级论域级别数量, $m=5$, n 表示评价因子所包含的指标个数, r_{ij} 表示因子论域 x 中第 i 个因素对应于评价等级论域 V 中第 j 个等级的隶属度.

指标的隶属度计算方法:确立5个评价等级,即 $V = \{\text{未退化}, \text{轻度退化}, \text{中度退化}, \text{严重退化}, \text{极度退化}\}$,每个具体指标的分级标准有标志值集合 $s_i = \{\text{未退化}, \text{轻度退化}, \text{中度退化}, \text{严重退化}, \text{极度退化}\}$,其中“未退化”和“极度退化”是设定的最优和最差状态,以大于或小于分级标志值来确定,本文设立5个分级标志值,即 $s_i = \{0.8, 0.6, 0.4, 0.2, 0\}$.采用降半梯形分布法计算隶属度,计算公式如下:

第1级别 v_1 的隶属度:

$$\mu(x)_{n1} = \begin{cases} 1 & x_n > s_{n1} \\ \frac{x_n - s_{n2}}{s_{n1} - s_{n2}} & s_{n2} \leq x_n \leq s_{n1} \\ 0 & x_n < s_{n2} \end{cases}, \quad (5)$$

第5级别 v_5 的隶属度:

$$\mu(x)_{n5} = \begin{cases} 1 & x_n < s_{n4} \\ \frac{x_n - s_{n4}}{s_{n3} - s_{n4}} & s_{n4} \leq x_n \leq s_{n3} \\ 0 & x_n > s_{n3} \end{cases}, \quad (6)$$

第2~4级别的隶属度:

$$\mu(x)_{nm} = \begin{cases} 1 & x_n > s_{nm-1} \\ \frac{s_{nm-1} - x_n}{s_{nm-1} - s_{nm}} & s_{nm} \leq x_n < s_{nm-1} \\ \frac{x_n - s_{nm-1}}{s_{nm} - s_{nm-1}} & s_{nm+1} \leq x_n \leq s_{nm} \\ 0 & x_n < s_{nm+1} \end{cases}, \quad (7)$$

4) 模糊矩阵综合评价模型,根据指标体系的建立原则,兴化湾海湾生态系统退化模糊评价模型为:

$$B = W_i \cdot R = (B_{1r}, B_{2r}, B_{3r}, B_{4r}, B_{5r}), \quad (8)$$

$$W_i = (w_{1r}, w_{2r}, w_{3r}, \dots, w_{ir}), \quad (9)$$

式中, B 为生态系统退化程度判断结果, w_i 为各评价指标对应的权重,此处仍采用层次分析法得到的权重,与综合指数法评价保持一致.

3 评价结果

3.1 综合指数法评价结果

根据综合指数法计算公式,得出兴化湾海湾生态系统2005年和2008年的退化状况.结果如图2所示.

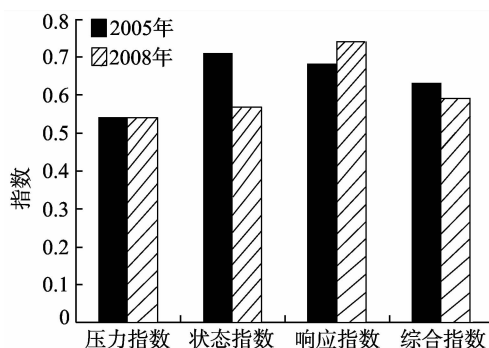


图2 综合指数法评价结果

Fig. 2 Evaluation results of comprehensive index method

2005年和2008年压力指数均较低,分别为0.55和0.54,表明现阶段兴化湾海湾生态系统受到的胁迫作用较为强烈.导致压力指数较小的指标主要有富营养化、海洋捕捞、GDP增长率以及围填海活动,这几项指标的标准化值都在0.5以下,尤其是富营养化指数,2个年份的标准化值均为0.

2005年兴化湾海湾生态系统状态指数较高,为0.71,原因是海洋环境质量和生物与生态中各指标的得分较高,其中海水水质综合指数和海洋沉积物综合指数分别达到了0.87和0.91,海湾环境质量总体较好.2008年的状态指数与2005年相比下降幅度较大,评价分值仅为0.57,原因是生物与生态因素层中各指标的多样性指数下降明显,如浮游植物和浮游动物多样性指数分别由2005年的0.68和0.71下降到2008年的0.53和0.56.

评价指标体系中响应指数较高且2008年较2005年有所上升,从0.68上升到0.74,这主要得益于政府对海湾环保投资的增加、法律法规与政策的完善以及

环保措施的实施,如工业废水和城镇污水的排放达标率分别从 92%和 61%提高到 94%和 70%.

综合指数法评价结果表明,2005 年和 2008 年兴化湾海湾生态系统退化的综合指数分别为 0.63 和 0.59,根据表 2 确定的分级标准,2 个年份的海湾生态系统分别处于“轻度退化”和“中度退化”状态,表明近年来随着兴化湾周边社会经济的发展,海湾生态系统的退化程度加剧.

3.2 模糊评价法评价结果

应用模糊评价法分别计算了兴化湾海湾生态系统退化程度相对评价等级的隶属度(图 3)和各子系统的隶属度(表 3).由图 3 可以看出,2005 年兴化湾海湾生态系统对应于“未退化”的隶属度最大,为 40.22%,对应“轻度退化”和“中度退化”的隶属度也分别达到了 36.97%和 18.75%;到 2008 年生态系统则对应于“中度退化”的隶属度最大,达到了 37.71%,是 2005 年的 2 倍左右,对应“未退化”和“轻度退化”的隶属度分别为 34.25%和 26.33%.可以看出,兴化湾海湾生态系统对应“未退化”和“轻度退化”的隶属度从 2005 年到

2008 年均有所下降,而对应“中度退化”的隶属度上升,表明自 2005 年以来兴化湾海湾生态系统退化的趋势明显.

从各子系统的隶属度来看,2005 年压力对应于“轻度退化”的隶属度最大,为 45.43%,而到 2008 年,对应于“中度退化”的隶属度最大,为 43.80%,表明兴化湾海湾生态系统面临的压力有不断加大的趋势.导致这种变化的原因是经济压力对应于“中度退化”隶属度的升高,其中围填海和 GDP 增长率两项指标是造成压力增大的最重要因子.2005 年生态系统状态子系统在 60.28%的程度上属于“未退化”,海湾生态系统状态较好;而 2008 年状态子系统对应“中度退化”的隶属度最高,为 50.95%,说明生态系统状态有所下降,主要原因是生物与生态因素层对应“中度退化”的隶属度增加,从具体指标看,浅海底栖生物多样性下降幅度最大,多样性指数由 2005 年的 4 下降到 2008 年的 1.33.并且 2005 年和 2008 年 2 个年份生态系统响应子系统均对应于“未退化”的隶属度最高,2008 年比 2005 年有所增加,表明在响应调控方面呈现出向好的态势.

从模糊评价结果对应评价等级的隶属关系来看,可以较为清晰地反映海湾生态系统状况的变化趋势.如压力对应“中度退化”和“未退化”的隶属度均有所上升,说明尽管总体上兴化湾海湾生态系统所面临的压力有增大的趋势,但在评价体系中,有一部分压力指标是呈现好转趋势.

通过综合指数法和模糊评价法 2 种方法,可以得出,自 2005 年以来兴化湾海湾生态系统总体上呈现出退化的趋势,到 2008 年生态系统处于“中度退化”状态;兴化湾海湾生态系统承受的压力较大且有增加的趋势,生态系统状态的恶化趋势较明显,相应的响应则呈现向好的态势.

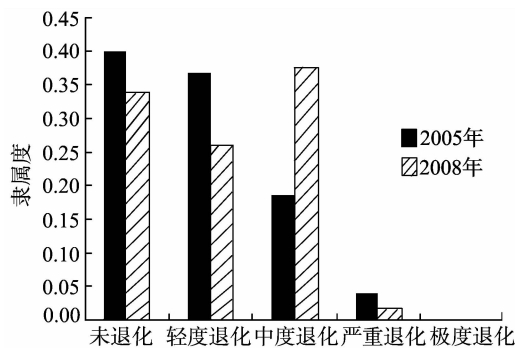


图 3 模糊评价法评价结果

Fig. 3 Evaluation results of fuzzy evaluation method

表 3 兴化湾生态系统子系统退化隶属度

Tab. 3 Subordinate degree of subsystems degradation of Xinghua Bay

%

年份	子系统	隶属度				
		未退化	轻度退化	中度退化	严重退化	极度退化
2005	压力	17.72	45.43	27.64	9.20	0.00
	状态	60.28	28.13	11.59	0.00	0.00
	响应	53.77	34.24	11.99	0.00	0.00
2008	压力	22.56	29.75	43.80	3.88	0.00
	状态	34.58	14.47	50.95	0.00	0.00
	响应	59.65	40.35	0.00	0.00	0.00

4 讨 论

综合指数法和模糊评价法结果均显示兴化湾海湾生态系统呈现出退化的趋势,且到2008年生态系统处于“中度退化”状态,2种方法评价结果基本吻合.根据文献记载,兴化湾富营养化问题较突出,20世纪90年代初海水中无机氮和活性磷酸盐含量大幅上升,2005年无机氮含量为1990年的3.3倍^[22-23],2004—2008年海域富营养化指数均大于4,处于高富营养化状态^[24];浅海底栖生物由20世纪80年代中期的314种下降到2005年的197种,下降幅度将近40%;湾内珍稀、濒危物种栖息地丧失,产卵场和和育幼场破坏,红树林消失等问题突出^[18,25].综上分析,表明兴化湾海湾生态系统已受到较强的干扰,加上现阶段兴化湾周边开发利用强度不断加大,滨海电厂、港口码头工程、临港工业等海洋工程建设项目持续推进,生态系统面临的胁迫作用仍在增强.可见,2种方法的评价结果科学可信,总体上能够反映兴化湾海湾生态系统的退化状况和变化趋势.

就生态系统变化而言,模糊评价法对生态系统的变化较为敏感.应用综合指数法评价得出的2005年和2008年压力指数较为接近,变化趋势不明显.根据模糊评价法的评价结果,压力子系统2005年对应“轻度退化”的隶属度最大,而到2008年则对应“中度退化”的隶属度最大,系统压力增大趋势明显.分析各指标的得分情况,可以看出围填海、滨海电厂温排水以及海洋捕捞是压力增大的主要原因.根据统计资料,兴化湾围垦的总面积约为122.08 km²,约占整个海湾面积的17.32%^[16],大规模的围填海活动对湾内的红树林生态系统、海岛生态系统、珍稀濒危物种等关键物种栖息地、海洋生物产卵场和育幼场造成了重大破坏;兴化湾周边福清核电厂项目完工后,1℃温升影响范围约为45.4 km²^②,由于电厂厂址所在的前薛半岛南北两侧分布有大片潮滩,浅水区的水深条件不利于温排水掺混散热,受纳海域热环境的改变对海洋生态系统的理化性状及海洋生物的生长和繁殖具有不可忽视的影响^[22].综上所述,模糊指数法能够更为清晰地表现出生态系统及各子系统的变化趋势.

本研究采用综合指数法和模糊评价法均得出状态子系统中海水环境质量较好的结论,这是因为海水水质综合指数反映的兴化湾海水质量的整体状况,掩盖

了某些单因子存在的问题.海水环境质量评价的11项指标中,有6项是重金属,而兴化湾海水中重金属含量历来都维持在较低水平^[23],根据已有研究成果,兴化湾海水环境主要的问题是富营养化,2005年的富营养化指数高达6.28^[24-25],而从木兰溪输入的营养盐也逐年增加^③,在福建省防灾减灾公报中,兴化湾被列为福建沿海易发生赤潮的水域,兴化湾海水环境质量实际上不容乐观.由此可见,在对生态系统退化程度进行整体评价的同时,系统中的单项指标问题应引起足够的关注,在实际工作中应逐一分析评价指标的变化情况,这样才能得出较为综合客观的评价结果.

参考文献:

- [1] 李洪远,鞠美庭.生态恢复的原理与实践[M].北京:化学工业出版社,2005.
- [2] Cairns J J, Dicksos K L, Herricks E E. Recovery and restoration of damaged ecosystems[M]. Charlottesville: University Press of Virginia, 1977.
- [3] 陈灵芝,陈伟烈.中国退化生态系统研究[M].北京:中国科学技术出版社,1995.
- [4] Hobbs R J, Norton N A. Towards a conceptual framework for restoration ecology[J]. Restoration Ecology, 1996, 4(2): 93-110.
- [5] Halpern B S, Walbridge S, Selkoe K A, et al. A global map of human impact on marine ecosystems[J]. Science, 2008, 319(5863): 948-952.
- [6] Reinhard F H, Bemd U S. Forest ecosystem degradation and rehabilitation[J]. Ecological Engineering, 1998, 10(1): 19-21.
- [7] de Ceballos B S O, Konig A, de Oliveira J F. Dam reservoir eutrophication: a simplified technique for a fast diagnosis of environmental degradation[J]. Water Research, 1998, 32(11): 3477-3483.
- [8] Li W H. Degradation and restoration of forest ecosystems in China[J]. Forest Ecology and Management, 2004, 201(1): 33-41.
- [9] Alden R W, Dauer D M, Ranasinghe J A, et al. Statistical verification of the Chesapeake Bay benthic index of biotic integrity[J]. Environmetrics, 2002, 13(5/6): 473-498.
- [10] Painting S J, Devlin S L, Malcolm E R, et al. Assessing the impact of nutrient enrichment in estuaries: susceptibility to eutrophication[J]. Marine Pollution Bulletin, 2007, 55(1): 74-90.
- [11] Bettinetti A, Pypaert P, Sweerts J P. Application of an integrated management approach to the restoration project of the lagoon of Venice[J]. Journal of Environmental Management, 1996, 46(3): 207-227.
- [12] 杨娟,李静,宋永昌,等.受损常绿阔叶林生态系统退化评价指标体系和模型[J].生态学报,2006,26(11): 3749-3756.
- [13] 冯海云,何利平,常华,等.滨海新区湿地生态系统退化

② 国家海洋局第三海洋研究所.福建福清核电厂3~6号机组工程海域使用论证报告(修改稿).2010.

③ 2007—2010年福建省海洋环境质量公报. <http://www.fjof.gov.cn/>.

- 程度诊断分析[J]. 环境科学与管理, 2010, 35(9): 99-104.
- [14] 张振锋, 游广永, 张瑞芳, 等. 我国草原生态系统退化与恢复研究的进展与启示[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(20): 9581-9583.
- [15] 李永建. 拉鲁湿地生态环境质量评价的景观生态学方法应用研究[D]. 成都: 四川大学, 2002.
- [16] 陈伟, 陈彬. 福建省海湾数模与环境研究: 兴化湾[M]. 北京: 海洋出版社, 2010.
- [17] 章家恩, 徐琪. 退化生态系统的诊断特征及其评价指标体系[J]. 长江流域与资源环境, 1999, 8(2): 216-219.
- [18] Masero J A, Perezgonzalez M, Basadre M, et al. Food supply for waders (Aves: Charadrii) in an estuarine area in the bay of Cadiz (SW Iberian Peninsula) [J]. Acta Oecologica, 1999, 20(4): 429-434.
- [19] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志: 第七分册 • 福建北部海湾[M]. 北京: 海洋出版社, 1994.
- [20] 胡晴晖. 兴化湾水域 DIN、DIP 分布及营养状态评价[J]. 海洋环境科学, 2001, 20(4): 45-48.
- [21] 李国珍. 兴化湾近海海域水体营养状态分析及发展趋势[J]. 海峡科学, 2011, 6: 88-90.
- [22] Gooseft K, Chapra S C. Modeling the potential of climate change on water temperature downstream of a shallow reservoir, lower madison river, MT[J]. Climatic Change, 2005, 68(3): 331-353.
- [23] 蔡海清. 福建主要港湾的环境质量[M]. 北京: 海洋出版社, 2007.
- [24] 陈水土. 福建省兴化湾海域营养盐分布变化特征及其影响因素[J]. 海洋通报, 2000, 19(5): 26-31.
- [25] 王珊珊, 曹志敏, 蓝东兆, 等. 福建省兴化湾湾口海域营养盐的分布状况及其影响因素[J]. 环境化学, 2006, 25(2): 234.

Ecosystem Degradation Assessment of Xinghua Bay

CHENG Jian-xin, XIAO Jia-mei, CHEN Ming-ru, HU Wen-jia, YANG Lu, YANG Sheng-yun*

(College of Ocean & Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: Based on the "Pressure-State-Response" (PSR) concept model, an ecosystem degradation assessment index system was established for Xinghua Bay, organising 29 indicators into pressure, state, response indicators. The degree of the ecosystem degradation was evaluated by using the comprehensive index method and the fuzzy synthetic evaluation method. The results showed that Xinghua Bay ecosystem had a trend of degradation from 2005 to 2008 mainly due to the increasing environmental pressure, and the ecosystem was moderately degraded in 2008. Eutrophication, coastal reclamation, GDP growth, cooling water discharged from coastal power plants and marine fishing were the main stress factors which caused the degradation. The state of Xinghua Bay ecosystem had shown a degrading tendency under continuous and enormous pressures. It is mainly reflected by the biodiversity indicators, of which the values all decreased from 2005 to 2008. The response indicators had increased from 2005 to 2008, which could be considered that the government interventions had played an important role in reducing the ecological and environmental pressures.

Key words: ecosystem degradation; index system; comprehensive evaluation; Xinghua Bay