

• 研究报告 •

基于压力–状态–响应模型的辽宁省长海海域海洋生物多样性评价

黄 备^{1,2*} 魏 娜¹ 孟伟杰¹ 张明霞³

1 (浙江省舟山海洋生态环境监测站, 浙江舟山 316021)

2 (海洋生态系统监测与评价联合实验室, 浙江舟山 316021)

3 (辽宁省大连长海县环境监测站, 辽宁长海 116500)

摘要: 为了准确评价我国北方沿海地区生物多样性状况, 研究社会经济发展对生物多样性的影响, 我们选择辽宁省长海县开展研究。长海县是中国唯一的海岛边境县, 也是我国北方著名的渔业县, 捕捞、海水养殖为长海县的支柱产业, 境内海洋生物资源丰富。我们收集和监测2004–2013年间长海县的社会经济、生态环境和环境保护等数据, 以压力–状态–响应框架模型(PSR框架模型)为基础, 筛选出19项指标组成长海县海洋生物多样性评价指标体系。运用层次分析法确定各指标的权重, 并计算海洋生物多样性指数, 结果发现: 2004年海洋生物多样性指数为历年最大, 达0.660, 评价等级为良; 2013年为历年最小, 只有0.471, 评价等级为中。2004–2007年的海洋生物多样性状况要好于2008–2013年。分析其中的压力、状态和响应指标的变化, 发现构成压力指标的工业废水排放量、固定资产投资额、外来物种养殖产量、旅游人数和海上货运量等诸多指标的归一化值多年来均呈明显的下降趋势, 说明生物多样性压力呈加大的趋势, 对长海县的生物多样性状态存在潜在的影响。

关键词: 压力–状态–响应模型; 海洋生物多样性指数; 长海县

Marine biodiversity evaluation based on the pressure-state-response (PSR) model of Changhai County, Liaoning Province

Bei Huang^{1,2*}, Na Wei¹, Weijie Meng¹, Mingxia Zhang³

1 Zhoushan Marine Ecological Environment Monitoring Station, Zhoushan, Zhejiang 316021

2 Joint Laboratory of Marine Ecosystem Monitoring and Health Assessment, Zhoushan, Zhejiang 316021

3 Environment Monitoring Station of Changhai County, Dalian City, Liaoning Province, Changhai, Liaoning 116500

Abstract: Biodiversity is the basis for survival and development of human society and it affects various aspects of modern life. In order to assess the marine biodiversity status in coastal areas of northern China, and to study the impacts of socio-economic development on the local marine biodiversity, we conducted a trial study in Changhai County. Changhai is the only island county in the China, which is also rich in various biological resources. As a famous northern fishery county, the primary industries in Changhai are marine fisheries and aquaculture. We collected data on social economic development, the ecological environment, and environmental protection in Changhai County during 2004–2013. We selected 19 indicators to build the marine biodiversity assessment framework based on the pressure-state-response (PSR) model, determined the weight values using the Analytical Hierarchy Process approach, and calculated the Marine Biodiversity Index. The results showed that the Marine Biodiversity Index reached a maximum value of 0.660 and thus matched to level “Good” in 2004, and then declined to 0.471 and to level “Medium” in 2013. During the investigated period, the state of marine biodiversity in 2004–2007 was better than that in 2008–2013. Changes in pressure, state, and response indices revealed that the trends of weighted scores of several pressure indicators, such as the discharge of industrial waste water, fixed asset investment, aquaculture of non-indigenous species, num-

收稿日期: 2015-06-09; 接受日期: 2015-09-27

基金项目: 国家自然科学基金(41206186)、浙江省科技厅公益重点项目(2014C23002)和浙江省环保厅科研项目(2012A033 和 2013A020)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: bighb@163.com

ber of tourists, and port cargo all showed an obvious decreasing tendency, which suggest growing pressures on marine biodiversity, and potential impacts on biodiversity in Changhai.

Key words: PSR model; Marine Biodiversity Index; Changhai County

我国是一个海洋生物多样性丰富的国家, 据2008年统计, 中国海域共发现和记录海洋生物约22,600种, 约占全球总数的1/10 (刘沫茹和姜涛, 2012)。但近年来, 随着沿海经济的快速发展, 人口趋海性移动持续增加, 改变了沿海生态系统的空间结构和特征^①。污水排海、围垦和围填海、侵占海岸及海滩等, 超出了生态系统的承载能力, 使海岸带和海洋的生态系统健康和生物多样性受到严重威胁。

随着生物多样性问题的日益凸显, 在全球、区域、国家、地方、保护区等不同的空间尺度上开展生物多样性评价的研究也日渐增多(Xu et al, 2009; Butchart et al, 2010; Xu, 2014)。在全球尺度上, 开展的评价项目有: 全球生物多样性展望(Global Biodiversity Outlook)、千年生态系统评估(Millennium Ecosystem Assessment)、全球山地生物多样性评估(Global Mountain Biodiversity Assessment)、国际生物多样性计划、国际海洋生物普查计划(2000-2010年)等。1992年在巴西召开的《生物多样性公约》缔约方大会和联合国环境规划署均要求各国加强生物多样性监测体系的建设, 制定生物多样性评价指标, 开展生物多样性评估^②。我国对生物多样性评价指标的研究虽然起步较晚, 但也取得了一定成果(Xu et al, 2009)。如张峥等(1999)从物种多样性和生态系统多样性两个方面选取物种多度、物种相对丰度、物种稀有性、物种地区分布、生境类型、人类威胁6个指标, 来评价湿地生物多样性状况。万本太等(2007)选取物种丰富度、生态系统类型多样性、植被垂直层谱的完整性、物种特有性、外来物种入侵度等5个指标, 确立了生物多样性综合评价方法。但迄今为止, 专门针对海洋生物多样性评价的案例研究很少。

压力-状态-响应(pressure-state-response, PSR)模型广泛用于环境问题研究中(Walz, 2000; 肖理等, 2014), 可用于阐述社会与环境的因果关系链, 即社会和经济因素对环境施加压力, 导致环境状态改变

(Tang et al, 2012); 同时, 环境状态的改变反过来对人体健康、生态系统服务和物质循环等造成影响, 进而影响人类社会经济活动和健康福利。政府部门可以通过政策制度约束、管理调控等手段对不利影响作出反应, 以期扭转环境质量恶化的趋势。

本文借鉴和参考国内外生物多样性评价成功的经验和最新的研究成果(杨一鹏等, 2004; 麦少芝等, 2005), 以PSR模型为基础(Scholes & Biggs, 2005; Leonard et al, 2006; Chen et al, 2009), 通过对大连市长海县2004-2013年间社会经济和生态环境的跟踪调查, 筛选出19项生物多样性评价指标, 采用层次分析法确定了各指标的权重, 并以计算获得的生物多样性指数对长海县的海洋生物多样性进行评价, 旨在揭示近十年来长海县海洋生物多样性的变迁情况和人类活动对生物多样性的影响。

1 研究区域

长海县位于辽宁省辽东半岛东侧的黄海北部海域(122°17'36"-123°13'18" E, 38°55'47"-39°34'10" N), 由112个岛礁组成。2013年底, 全县总人口为7.3万, 人口密度为463人/km²。陆域面积156.89 km², 海域面积7,720 km², 岛岸线长358.9 km。长海县坐落在我国著名的海洋岛渔场之中, 资源丰富, 是对虾等经济鱼虾的重要产地, 还是刺参等海珍品的重要养殖基地。

2 PSR评价模型的构建

2.1 评价指标的选择

参照陈彬(2012)阐述的原则, 结合长海县海域生态环境和社会经济状况, 并根据数据的可获取性, 同时考虑避免指标间可能存在的相关性。我们以长海县海洋生物多样性评价为目标层, 在压力、状态和响应3个项目层下, 设置了由19个指标构成的海洋生物多样性评价指标体系, 包括7个压力指标、10个状态指标和2个响应指标。

(1)压力指标。根据目前国内外对生物多样性影响因子的研究, 生境破坏、海洋污染、外来种入侵和过度捕捞是海洋生物多样性的主要威胁^①(李纯

① 张传荣 (2005) 我国海洋生物多样性面临的问题——原因及对策. 硕士学位论文, 大连理工大学, 大连.

② 房艳 (2008) 《生物多样性公约》与中国海洋生物多样性保护. 硕士学位论文, 中国海洋大学, 青岛.

厚和贾晓平, 2005)。我们结合长海县海域生态环境实际情况及资料的可获取性, 重点关注外来物种和海洋污染, 同时考虑到人口和社会经济发展是关键的推动因素, 也是主要的压力因素, 选择的7个压力指标为: 人口密度、旅游人数、固定资产投资额、海上货运量、化肥使用量、外来物种养殖产量、工业废水排放量。各指标数据来源于相关年份的《大连市统计年鉴》。

(2)状态指标。状态指生物多样性的现状或发展趋势, 它是多因子时空相互耦合的综合反映。在深入分析生物多样性的概念、内涵和研究区域实际情况的基础上, 设置了涉及海洋环境状态、海洋生物物种多样性的10项状态指标, 具体为: 海水悬浮物浓度、海水活性磷酸盐、海水无机氮、溶解氧、海水化学需氧量、海水石油类、浮游植物种类数、浮游植物密度、底栖生物种类数、底栖生物密度。

于每年的4月、7月和11月对长海县附近海域(监测站位见表1)的海水水质、浮游植物和底栖生物等生态环境指标进行年度例行监测, 各指标以年均值参与本文的生物多样性评价。各指标的调查分析方法及所用仪器设备见表2。

(3)响应指标。响应是描述政府、组织、人群和个人为预防、减轻、改善生物多样性状况而采取

表1 长海县海洋生态环境调查站位
Table 1 Sampling sites of marine ecological environmental investigation

站位号 Station no.	经度 Longitude (E)	纬度 Latitude (N)
D1	122°38'30"	39°15'45"
D3	122°35'05"	39°16'00"
D4	122°35'38"	39°16'55"
D5	122°34'20"	39°16'05"
X1	122°40'43"	39°13'50"
X2	122°41'30"	39°13'50"
LN043	122°45'10"	39°13'20"
LN046	122°38'30"	39°15'10"
LN071	122°34'24"	39°16'05"

的对策、活动或投资。响应与压力构成一对因果关系, 通过响应来减轻生物多样性的压力。考虑到研究区域开展海洋生物多样性保护的实际情况及资源的可获取性, 设置2项响应指标: 工业固废综合利用率和海洋保护区面积占有率。数据来源于相关年份的《大连市统计年鉴》。

2.2 评价指标归一化值和权重的确定

生物多样性评价指标的判断需要通过与一定的基准值进行比较来确定。但评价指标涉及到社会、经济、环境多个领域, 绝大多数指标没有相应的基准标准。本文采用3个途径对指标进行归一化

表2 本研究中海洋生态环境调查分析方法及仪器设备
Table 2 Analysis methods and equipment of marine ecological environmental investigations in this study

项目 Item	采样器具 Sampling instrument	分析方法 Analysis method	方法来源 Method source	分析仪器 Analytical instrument
海水悬浮物 Suspended solid	GO-FLOW采水器 GO-FLOW bottle	重量法 Weight method	GB17378.4-2007	电子天平 Electronic balance
溶解氧 Dissolve oxygen	GO-FLOW采水器 GO-FLOW bottle	碘量法 Iodimetry	GB17378.4-2007	Brand 滴定分析仪 Brand automatic titrator
化学需氧量 Chemical oxygen demand	GO-FLOW采水器 GO-FLOW bottle	碱性高锰酸钾法 Basicity KMnO ₄	GB17378.4-2007	Vitlab 滴定分析仪 Vitlab automatic titrator
活性磷酸盐 Active phosphate	GO-FLOW采水器 GO-FLOW bottle	流动注射比色法 Flow injection colorimetric method	EPA 365.5-1997	Quaatro流动分析仪 Quaatro flow analyzer
无机氮 Dissolved inorganic nitrogen	GO-FLOW采水器 GO-FLOW bottle	流动注射比色法 Flow injection colorimetric method	EPA 349.0-1997	Quaatro流动分析仪 Quaatro flow analyzer
海水石油类 Seawater oil	GO-FLOW采水器 GO-FLOW bottle	荧光分光光度法 Fluorospectrophotometry	GB17378.4-2007	F230分光光度计 F230 spectrophotometer
浮游植物 Phytoplankton	III型浮游植物网 Plankton net III	镜检 Microscopic exam	GB17378.7-2007	Leica DM4000B显微镜 Leica DM4000B microscopy
底栖生物 Benthos	静力式采泥器 Van Veen grab sampler	镜检 Microscopic exam	GB17378.7-2007	Nikon-SMZ1500解剖镜 Nikon-SMZ1500 anatomical lens

表3 长海县海洋生物多样性评价指标的归一化权重
Table 3 Normalized weight for each assessing indicators of marine biodiversity in Changhai County

	压力 Pressure	状态 State	响应 Response	权重 Weight
人口密度 Population density	0.1402			0.0467
固定资产投资额 Fixed asset investment	0.0935			0.0312
外来物种养殖产量 Aquaculture of non-indigenous species	0.0935			0.0312
化肥使用量 Usage of fertilizer	0.0561			0.0187
工业废水排放量 Discharge of industrial waste water	0.0561			0.0187
旅游人数 Number of tourists	0.2804			0.0935
海上货运量 Port cargo	0.2804			0.0935
活性磷酸盐 Active phosphate		0.1533		0.0767
无机氮 Dissolved inorganic nitrogen		0.1533		0.0767
溶解氧 Dissolve oxygen		0.1533		0.0767
化学需氧量 Chemical oxygen demand		0.1533		0.0767
石油类 Oil		0.075		0.0375
悬浮物 Suspended solid		0.1533		0.0767
浮游植物种类 Phytoplankton species		0.0383		0.0192
浮游植物密度 Phytoplankton abundance		0.0511		0.0256
底栖生物种类 Benthos species		0.0307		0.0154
底栖生物密度 Benthos density		0.0383		0.0192
固废利用率 Percentage of solid waste utilized			0.5	0.0834
海洋保护区面积占有率 Percentage of marine protected area			0.5	0.0834

处理: (1)有关生态环境指标, 参考相关的国家标准或行业标准(如国家环境保护局颁布的海洋水质标准GB 3097-1997)。(2)有关社会经济发展的指标, 以国家环境保护总局公布的2005、2006、2007年全国环境保护重点城市“城考结果”中的数据为参照^①。(3)没有国家标准和行业标准的, 本研究引用或根据海域多年监测研究结果和《大连市统计年鉴》的资料以最大值和最小值进行归一化处理。

在建立生物多样性评价体系后, 需要对各个评价指标的权重进行定量化。为了避免片面性和主观性, 本文采用层次分析法, 这是一种定性与定量相结合的决策分析方法。它通过两两比较的形式对每一层次的指标建立判断矩阵, 通过计算来判断矩阵的特征值, 得到各层次各指标的相对权重, 并进行一致性检验。当判断矩阵的随机一致性比率 $CR = CI/RI < 0.1$ 时, 则认为判断矩阵具有满意的一致性。判断矩阵公式为:

$$B = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \quad (1)$$

为了确定各级指标的权重, 邀请专家通过两两比较的方法确定各层次中各指标的相对重要性并为之打分, 然后按层次分析法通过在Matlab环境下开发相应的程序计算各指标权重^②。计算所得的各指标权重如表3所示。

2.3 指标的归一化及多样性指数的计算

由于各项评价指标的类型复杂、量纲不统一, 相互间缺乏可比性, 因此必须对参评因子进行归一化处理, 即进行无量纲化处理。本文采用离差归一化方法, 其公式如下:

$$\text{标准值} I_i = 1 - |(X - X_{\max}) / (X_{\min} - X_{\max})| \quad (2)$$

其中, 指标的归一化值 I_i 范围为0-1, X 表示指标测量值, X_{\max} 表示指标的最佳值, X_{\min} 表示指标的最差值。那么建立的海洋生物多样性指数(Marine Biodiversity Index, MBDI)计算公式如下:

$$MBDI = \sum w_i I_i \quad (3)$$

其中, w_i 表示指标 i 的归一化权重值, I_i 为第 i 种指标的归一化标准值。

2.4 海洋生物多样性评价分级

海洋生物多样性指数从大到小的排序反映了

① 吕文利 (2014) 长三角城市群城市生态安全评价与比较研究. 硕士学位论文, 华东师范大学环境与资源学院, 上海.
② 孙龙启 (2014) 广西近海生态系统健康评价. 硕士学位论文, 厦门大学, 厦门.

海洋生物多样性状态从优到劣的变化, 本文按等间距法同时参照国内外生态系统评价标准的研究成果(陈美球等, 2012), 将海洋生物多样性状态划分为优、良、中、差和劣5个等级, 每个等级的海洋生物多样性指数值和多样性状态有如下特征。

优: $0.8 \leq \text{MDBI} \leq 1$; 生物多样性所受压力轻微; 生物物种高度丰富, 特有属、种繁多, 生态系统丰富多样且具有稳定的结构和功能; 系统恢复再生力强, 生境质量高度适宜生物生存。

良: $0.6 \leq \text{MDBI} < 0.8$; 生物多样性所受压力较小;

生物物种较丰富, 特有属、种较多, 生态系统类型较多, 局部地区生物多样性高度丰富, 生态系统功能较为完善; 受到干扰后一般可以恢复, 生境质量一般适宜生物生存。

中: $0.4 \leq \text{MDBI} < 0.6$; 生物多样性所受压力中等; 局部地区生物多样性较丰富, 生物多样性总体水平一般, 生态环境受到一定程度破坏, 尚可维持其基本功能; 生境质量勉强适宜生物生存。

差: $0.2 \leq \text{MDBI} < 0.4$; 生物多样性所受压力较大; 生物物种较少, 特有属、种不多, 生物多样性较低,

表4 2004–2013年长海县海洋生物多样性评价指标汇总表

Table 4 Marine biodiversity index in Changhai County during 2004–2013

指标 Index	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004
压力 Pressure										
固定资产投资额 Fixed asset investment	0	0.0042	0.0204	0.0226	0.0241	0.0256	0.0281	0.0287	0.0306	0.0312
工业废水排放量 Discharge of industrial waste water	0.0174	0.0014	0.0017	0.0000	0.0000	0.0015	0.0036	0.0064	0.0187	0.0187
人口密度 Population density	0.0422	0.0422	0.0422	0.0421	0.0420	0.0420	0.0420	0.0419	0.0419	0.0394
化肥使用量 Usage of fertilizer	0.0079	0.0076	0.0154	0	0.0059	0.0106	0.0148	0.0151	0.0169	0.0187
外来物种养殖产量 Aquaculture of non-indigenous species	0	0.0050	0.0127	0.0168	0.0184	0.0241	0.0265	0.0263	0.0311	0.0311
旅游人数 Number of tourists	0	0.0131	0.0274	0.0388	0.0498	0.0599	0.0593	0.0764	0.0843	0.0935
海上货运量 Port cargo	0.0043	0	0.0016	0.0089	0.0162	0.0110	0.0611	0.0611	0.0788	0.0935
小计 Sum	0.0718	0.0736	0.1212	0.1291	0.1564	0.1747	0.2354	0.2560	0.3023	0.3259
状态 State										
海水溶解无机氮 Seawater dissolved inorganic nitrogen	0.0501	0.0457	0.0399	0.0383	0.0388	0.0445	0.0396	0.0358	0.0330	0.0347
海水活性磷酸盐 Seawater active phosphate	0.0690	0.0715	0.0588	0.0485	0.0562	0.0639	0.0639	0.0613	0.0613	0.0690
海水悬浮物浓度 Seawater suspended solid	0.0765	0.0756	0.0750	0.0741	0.0739	0.0741	0.0739	0.0745	0.0747	0.0739
溶解氧 Dissolved oxygen	0.0204	0.0026	0.0102	0	0.0281	0.0307	0.0256	0.0256	0.0179	0.0153
化学需氧量 Chemical oxygen demand	0.0485	0.0562	0.0460	0.0485	0.0485	0.0460	0.0511	0.0562	0.0562	0.0460
海水石油类 Seawater oil	0.0349	0.0348	0.0356	0.0353	0.0353	0.0356	0.0354	0.0359	0.0365	0.0358
浮游植物种类数 Phytoplankton species	0.0115	0	0.0192	0	0.0192	0.0192	0.0192	0.0192	0.0192	0.0153
浮游植物密度 Phytoplankton abundance	0	0.0016	0.0256	0.0249	0.0138	0.0138	0.0138	0.0138	0.0138	0.0172
底栖生物种类数 Benthos species	0	0.0154	0.0092	0.0092	0.0092	0.0092	0.0092	0.0092	0.0092	0.0092
底栖生物密度 Benthos density	0	0.0192	0.0128	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106
小计 Sum	0.3109	0.3225	0.3321	0.2896	0.3337	0.3475	0.3423	0.3420	0.3324	0.3271
响应 Response										
工业固废综合利用率 Percentage of solid waste utilized	0.0834	0.0710	0.0636	0.0720	0.0691	0.0715	0.0583	0.0267	0.0136	0.0022
海洋保护区面积占有率 Percentage of marine protected area	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045
小计 Sum	0.0879	0.0755	0.0681	0.0765	0.0736	0.0760	0.0628	0.0312	0.0181	0.0067
海洋生物多样性指数 MDBI	0.4706	0.4716	0.5214	0.4951	0.5637	0.5982	0.6404	0.6292	0.6529	0.6597
等级 Grade	中 Medium	中 Medium	中 Medium	中 Medium	中 Medium	中 Medium	中 Medium	良 Good	良 Good	良 Good

环境问题突出, 生态系统结构和功能退化, 生物多样性总体水平较差; 不适合生物长期生存。

劣: $0 \leq \text{MBDI} < 0.2$; 生物多样性所受压力很大; 生物多样性极低, 物种数匮乏, 生态系统类型单一, 生态系统结构和功能几乎崩溃, 生态环境遭到严重破坏, 且极难恢复; 生物无法生存。

3 结果

从表4可以发现, 2004年MBDI值为历年最大, 达0.6597, 海洋生物多样性评价等级为良, 2013年MBDI值为历年最小, 只有0.471, 评价等级为中。总体上看, 整个研究期间长海县的海洋生物多样性状态可以分为2个阶段: 前一阶段(2004–2007年)的海洋生物多样性状况要好于后一阶段(2008–2013年)。表明前一阶段生物多样性所受压力较小, 生物物种较丰富, 局部地区生物多样性高度丰富, 生态系统功能较为完善, 受到干扰后一般可以恢复, 生境质量一般适宜生物生存。后一阶段生态系统所受压力中等, 生物多样性总体一般, 生境质量勉强适宜生物生存。

4 讨论

MBDI值在2004–2007年间基本保持稳定, 2007年后呈明显下降趋势, 主要是因为工业废水排放量、固定资产投资额、外来物种养殖产量、旅游人数和海上货运量等压力指标的标准化值呈明显的下降趋势所致, 表明随着污染排放、外来物种和经济活动的逐年增加, 每项指标对生态环境和生物多样性的负面影响在逐年增大。

海洋外来物种入侵途径大致有3种: 人们有意引入生存能力强、产量高或抗灾害能力强的域外生物物种; 通过海运船舶压载水携带的外来物种; 随出入境人员携带的生物种类。有研究表明, 一艘载重10万吨的货船携带的压载水达5–6万吨, 每年全球船舶携带的压载水大约有100亿吨, 全球每天在压载水中携带的生物有7,000多种, 每过9个星期, 1种新的海洋生物入侵种就会被释放出来。全球已确认有500种左右的生物物种是由船舶压载水传播的。这些外来海洋生物一旦入侵到新的适宜生存的海域, 就可能发生不可控制的“雪崩式”大量繁殖, 疯狂掠夺当地生物的食物, 造成有害寄生虫和病原体大面积迅猛传播(黄莉, 2013)。本研究中外来物

种养殖、旅游人数和海上货运量的指标较全面地反映了长海县外来物种入侵的3个途径, 此3项指标所反映的外来物种入侵潜在风险在逐年增加。

固定资产投资额是以货币形式表现的建造和购置固定资产活动的量, 它是反映固定资产投资规模、速度等的综合性指标。但长海县是个海岛县, 各类资源特别是土地资源缺乏, 伴随投资增长, 土地资源过度占用, 必定会引起生境的改变, 对生态环境造成潜在的威胁。长海县的固定资产投资额近年来有较快的增长, 这必定会对生态环境带来负面影响。

由5项海水水质参数、浮游植物和底栖生物指标组成的长海县海域环境状态指标多年来变化不大, 基本保持稳定。说明多年来长海县的社会经济活动对生态环境的影响还没有引起环境质量的根本变化。由海洋保护区面积占有率和工业固废利用率组成的响应指标值从2004–2013年呈现一定的上升趋势, 可见当地政府在污染治理和保护生态环境方面的工作力度在不断加大。但从综合压力、状态和响应三方面因素看, 长海县海洋生物多样性状态有下降的趋势。

海洋生物多样性状况与人类活动有关, 故在选取指标时, 不仅要考虑到海洋中的生物或环境因子, 还应考虑人类活动对其的影响。因此本文在充分考虑研究区域的社会经济实际情况的基础上, 根据海域生态环境的典型特征, 兼顾评价数据的可获得性, 确定了19个多样性评价指标。

基于PSR模型的生态系统评价结构简明, 便于操作, 易于找出主导因子, 从而有助于决策者采取合适的政策和管理措施。除了参考国家标准外, 我们更重视多年来研究区域的实地生态环境调查结果和社会经济统计数据, 来确定当地生物多样性评价时的最优值和最差值, 从而使评价结果能更准确客观地反映生物多样性的真实变化。

当然海洋生物多样性评价指标的建立是一个不断修改完善的过程。本研究基于PSR框架所提出的海洋生物多样性评价指标体系尽可能地兼顾科学性和实际可操作性, 但是由于我国普遍缺乏对于县级区域的生态系统和多样性的基础调查, 社会经济关键资料数据欠缺, 缺失了一些多样性评价重要因子(如船舶压舱水排放量、滨海湿地围垦面积、外来物种入侵等), 这也是本文评价指标体系的一大遗憾, 需要今后进一步完善、调整和补充。

参考文献

- Butchart SHM, Walpole M, Collen B (2010) Global biodiversity: indicators of recent declines. *Science*, 328, 1164–1168.
- Chen B, Huang H, Yu WW (2009) Marine biodiversity conservation based on integrated coastal zone management—a case study in Quanzhou Bay, Fujian, China. *Ocean and Coastal Management*, 52, 612–619.
- Chen B (2012) Marine Biodiversity Protection Management Techniques Based on Integrated Coastal Zone Management. China Ocean Press, Beijing. (in Chinese) [陈彬 (2012) 基于海岸带综合管理的海洋生物多样性保护管理技术. 海洋出版社, 北京.]
- Chen MQ, Xu L, Liu TJ, Huang HS (2012) Ecosystem health assessment of Gan River upstream based on PSR model. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 34, 839–845. (in Chinese with English abstract) [陈美球, 许莉, 刘桃菊, 黄宏胜 (2012) 基于PSR框架模型的赣江上游生态系统健康评价. 江西农业大学学报, 34, 839–845.]
- European Environment Agency (2007) Halting the Loss of Biodiversity by 2010: Proposal for a First Set of Indicators to Monitor Progress in Europe. European Environment Agency, Copenhagen.
- Huang L (2013) The impact and countermeasures of alien species invasion on marine ecological environment. *Marine Development and Management*, 10, 86–88. (in Chinese with English abstract) [黄莉 (2013) 外来物种对海洋生态环境的影响和对策. 海洋开发与管理, 10, 86–88.]
- Leonard DRP, Clarke KR, Somerfield PJ (2006) The application of an indicator based on taxonomic distinctness for UK marine biodiversity assessment. *Journal of Environmental Management*, 78, 52–62.
- Li CH, Jia XP (2005) Advances and hot topics for the marine biodiversity protection in China. *South China Fisheries Science*, 1, 66–70. (in Chinese with English abstract) [李纯厚, 贾晓平 (2005) 中国海洋生物多样性保护研究进展与几个热点问题. 南方水产, 1, 66–70.]
- Liu MR, Jiang T (2012) The protective status and legal countermeasures of the marine biodiversity in China. *Journal of Heilongjiang Administrative Cadre College of Politics and Law*, (2), 126–128. (in Chinese with English abstract) [刘沫茹, 姜涛 (2012) 我国海洋生物多样性的保护现状及法律对策. 黑龙江省政法管理干部学院学报, (2), 126–128.]
- Mai SZ, Xu SJ, Pan YJ (2005) Application of the PSR model to the evaluation of wetland ecosystem health. *Tropical Geography*, 25, 317–321. (in Chinese with English abstract) [麦少芝, 徐颂军, 潘颖军 (2005) PSR模型在湿地生态系统健康评价中的应用. 热带地理, 25, 317–321.]
- Scholes RJ, Biggs R (2005) A biodiversity intactness index. *Nature*, 434, 45–49.
- Tang X, Li Q, Wu M (2012) Ecological environment protection in Chinese rural hydropower development practices. *Water, Air and Soil Pollution*, 223, 3033–3048.
- Walz R (2000) Development of environmental indicator systems: experience from Germany. *Environmental Management*, 25, 613–623.
- Wan BT, Xu HG, Ding H, Liu ZL, Wang J (2007) Methodology of comprehensive biodiversity assessment. *Biodiversity Science*, 15, 97–106. (in Chinese with English abstract) [万本太, 徐海根, 丁晖, 刘志磊, 王捷 (2007) 生物多样性综合评价方法研究. 生物多样性, 15, 97–106.]
- Xiao L, Hu WJ, Yang SY, Li W, Xie WY, Yang L, Chen MR (2014) Integrated assessment of Chinese white dolphin (*Sousa chinensis*) in Xiamen waters based on PSR model. *Marine Science*, 38, 57–64. (in Chinese with English abstract) [肖理, 胡文佳, 杨圣云, 李雯, 谢雯瑜, 杨璐, 陈明茹 (2014) 基于PSR模型的厦门海域中华白海豚综合评价. 海洋科学, 38, 57–64.]
- Xu HG, Ding H, Wu JY (2009) National indicators show biodiversity progress. *Science*, 329, 900–901.
- Xu HG (2014) China's ecological steps forward. *Science*, 346, 1068.
- Yang YP, Jiang WG, He FH (2004) Assessment of wetland eco-environment in western Songnen Plain based on PSR model. *Ecology and Environment*, 13, 597–600. (in Chinese with English abstract) [杨一鹏, 蒋卫国, 何福红 (2004) 基于PSR模型的松嫩平原湿地生态环境评价. 生态环境, 13, 597–600.]
- Yu WW, Chen B, Zhou J, Huang H, Du JG (2011) Marine biodiversity assessment indicator systems and their application in Quanzhou Bay. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 30, 430–436. (in Chinese with English abstract) [俞炜炜, 陈彬, 周娟, 黄浩, 杜建国 (2011) 海洋生物多样性指标体系的研究及在泉州湾的应用. 台湾海峡, 30, 430–436.]
- Zhang Z, Zhang JW, Li YN, Wang X, Liu H, Zhang JG (1999) Study on ecological evaluation index system for wetland. *Agro-Environmental Protection*, 18, 283–285. (in Chinese with English abstract) [张峥, 张建文, 李寅年, 王欣, 刘泓, 张敬国 (1999) 湿地生态评价指标体系研究. 农业环境保护, 18, 283–285.]

(责任编辑: 李新正 责任编辑: 闫文杰)