

基于 DPSIR 模型的山东半岛蓝色经济区海洋生态可持续发展能力综合评价

王 俊^{1,2}, 何海霞³, 陈 凯³, 刘 妍^{1,2}, 张 英⁴, 柯宏伟¹, 蔡明刚^{1,3}

(1. 厦门大学 海洋与地球学院, 福建 厦门 361102; 2. 中国海洋大学 经济学院, 山东 青岛 266100; 3. 厦门大学 海洋与海岸带发展研究院, 福建 厦门 361102; 4. 山东师范大学 地理与环境学院, 山东 济南 250000)

摘要: 山东半岛作为我国最大的半岛, 其地理位置决定了海洋生态可持续发展对其的重要性。本文使用 DPSIR(驱动力-压力-状态-影响-响应)模型, 结合社会经济和自然生态两个方面搭建指标体系评估其蓝色经济区生态可持续发展能力。结果表明: 山东半岛承受的社会经济压力正不断增大。海洋生态系统综合状态评价价值为 0.53, 其中海水、沉积物质量及生物综合评价价值分别为 0.22、0.19 及 0.123, 生态环境现状不容乐观。影响和响应评价价值分别为 2.5 和 4.3, 海洋灾害的影响范围较大, 危害程度较深, 但海洋管理部门在面对生态环境变化时的反应较为迅速、有效。

关键词: DPSIR 模型; 沿岸海域; 山东半岛; 蓝色经济; 生态可持续发展

中图分类号: X32 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2017)07-0129-08

DOI: 10.11759/hyxx20170110003

当前, 可持续发展已成为世界共同关注的议题。科学合理开发利用海洋资源, 实现海洋经济、生态环境协调发展成为沿海国家发展的重要方向^[1]。近年来, 我国海洋经济一直保持着稳定上升的良好发展态势^[2], 但我国海洋经济的发展, 基本沿袭粗犷扩张为主的外延式增长模式, 对近海生态系统造成严重威胁^[3]。经济快速发展引发的环境、生态问题日益凸显, 海洋生态可持续发展研究迫在眉睫。

海洋生态可持续发展评价是个综合、复杂、动态的评价系统, 全面的评价既要包括经济发展和生态环境的动态协调, 也要充分考虑评价的全面性、关联性和平衡性。近年来, 时间序列分析^[4]、多元统计分析^[5]、系统动力学模型^[6]、模糊综合评价^[7]等多种方法, 被学者们引入到海洋可持续发展评价过程中, 并根据研究对象的不同特点, 对研究方法进行了有效改进和综合运用。上述方法侧重于对自然系统的研究, 同时也探寻人类活动对全球变化的影响。DPSIR(Driving-Pressure-State-Impact-Responses)模型的提出, 将人文方面的研究包括人类安全、城市化、工业转型、环境治理等纳入海洋生态可持续发展研究范围, 更有利于被决策者所采纳^[8]。

加拿大学者 David Rapport 和 Tony Friend 首先提出 PSR(Pressure-State-Response)模型, 应用于生态系统健康评价^[9]。20 世纪 90 年代, 经济合作与发展组

织(OECD)和欧洲环境局(EEA)进一步完善了原有框架并发展为 DPSIR 模型, 使之逐步成为一种在环境系统中广泛使用的评价指标体系概念模型^[8]。在 DPSIR 模型中, D(驱动力)是指导致环境变化的原因; P(压力)是指人类的开发活动对环境造成的影响; S(状况)是指在压力作用下环境的当前状态; I(影响)是指环境当前状态对社会经济和环境整体的影响; R(响应)是指为保证系统可持续发展而采取的一系列对策^[10]。DPSIR 模型作为一种因果关联分析方法, 在国际 LOICZ(海岸带海陆交互作用)项目中已得到了广泛的应用。例如, Sekovski 等^[11]建立了海岸带巨型城市建设与评价指标体系; Atkins 等^[12]将生态系统与社会效益的概念整合, 应用于英国夫兰巴洛岬的自然资源变化及环境可持续评估; Pinto 等^[13]建立生态安全评价指标体系, 服务于区域生态安全预警、土地利用规划和环境经济协调等决策过程; Newton 和 Weichselgartner^[14]将此模型运用到欧洲沿海半封闭

收稿日期: 2017-01-10; 修回日期: 2017-05-26

基金项目: 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金计划项目 (BS2014SF011)

[Foundation: the Foundation for Outstanding Young Scientist of Shandong Province, No. BS2014SF011]

作者简介: 王俊(1984-), 男, 云南景洪人, 博士研究生, 从事海岸带综合管理研究, E-mail: 258509816@qq.com; 刘妍, 通讯作者, 讲师, 从事计量经济学研究, E-mail: liuyan_ouc@126.com

系统和一些泻湖的生态状况和脆弱性评价中。国内基于 DPSIR 模型的海岸带环境分析集中于的生态系统健康评价、围填海工程影响, 如雷坤等^[15]在 DPSIR 模型基础上构建了渤海湾生境退化诊断的指标体系; Lin 等^[16]利用 DPSIR 模型分析厦门湿地环境变化与社会发展水平的关系; 胡聪^[17]构建了基于 DPSIR 的围填海开发活动对海洋资源影响框架体系, 并应用于天津曹妃甸区和滨海新区的发展对策研究等。

2011 年 1 月 6 日, 国务院正式批复《山东半岛蓝色经济区发展规划》, 山东半岛获批成为国家创新示范区, 其海洋可持续发展能力也随之成为各方关注的焦点^[18]。基于 DPSIR 模型评价山东半岛蓝色经济区生态可持续发展能力, 能够为山东省的产业结构调整、污染废弃物排放、城市土地利用规划等方面提出针对性建议。本文拟选择胶州湾及莱州湾海域开展生态可持续发展评价, 为山东半岛蓝色经济建设提供决策支持与科学保障。

1 研究区域与方法

1.1 研究区域

山东半岛是中国第一大半岛, 三面环海, 北面与辽东半岛隔渤海相望, 东部与朝鲜半岛隔黄海相望。山东半岛位于环渤海地区与长江三角洲地区的重要衔接地带, 是黄河流域地区最便捷的出海通道、还是我国长三角以北最优良的深水港发展区域。山东半岛蓝色经济区范围包括山东全部海域和青岛、东营、烟台、潍坊、威海、日照 6 市及滨州市的无棣、沾化 2 个沿海县所属陆域, 海域面积 15.95 万 km², 陆域面积 6.4 万 km²。位于山东半岛的莱州湾是渤海三大海湾之一, 是我国重要的渔盐生产基地, 并蕴藏丰富的石油和天然气资源, 人类活动影响显著^[19]; 胶州湾是我国北方重要的航运不冻港, 为区域建设和发展提供重要的支撑, 同时也面临着严峻的环境污染压力^[20]。因此, 本文选此两个海湾作为山东半岛蓝色经济区的典型性海域, 可使研究结果更具代表性。

1.2 海洋生态可持续发展能力评价指标体系的构建

DPSIR 模型将表征一个自然系统的评价指标分成驱动力(Driving)、压力(Pressure)、状态(State)、影响(Impact)和响应(Responses)5 种类型, 每种类型中又分成若干种指标。其主要思想是人类的活动, 诸如

工业、农业、牧业、旅游、交通等生产生活活动对自然资源和生态环境施加了一定的压力, 改变了生态环境的状态和自然资源的数量与质量, 这种压力所引起的状态变化以一定的状态指标传递到管理层, 人们通过环境、经济、土地等政策对这些状态变化做出响应, 以减缓由于人类活动对环境造成的压力, 维持环境系统的可持续性。



图 1 山东半岛蓝色经济区示意图

Fig. 1 Shandong Peninsula Blue Economic Zone

本文结合山东半岛经济发展特征, 在经济发展指标中, 增加了港口货物吞吐量和海洋捕捞量 2 个三级指标, 用以衡量山东半岛蓝色经济发展的初步状况。基于山东半岛气候水文特点, 在影响指标中加入海水入侵和海冰两个具有地区特色的二级评价指标。指标体系分为 5 类 4 级, 共 57 项指标。具体指标见表 1。

1.3 指标权重的构建

在本研究中, 通过向 10 位山东省海洋环境监测中心、海洋相关研究所、高校等机构的工作人员发放调查问卷的方式, 评价各指标间的相对优先级。即按一定的标准将每一指标划分为不同等级进行赋分, 并对所得分值标准化后, 再用层次分析法确定每一指标的权重。其中, 层次分析法其作为一种定性定量分析方法相结合的综合评价方法, 已在安全和环境研究的多个领域得到广泛应用。

权重设置见表 1。

1.4 评价方法与数据的标准化处理

1.4.1 驱动力、压力数据的标准化处理

驱动力、压力指标数据量大, 类型复杂, 没有统一的量纲, 且压力指标没有统一的评价标准, 故本文正、负向指标(Y_{ij})分别采用如下方式进行标准化处理。

表 1 山东半岛生态可持续发展评价指标权重表

Tab. 1 Shandong Peninsula Ecologically Sustainable Development Index

评价指标	一级指标	二级指标	三级指标	四级指标	权重	
驱动力(D)	社会活动	常住人口			0.1	
		人口自然增长率			0.1	
		城市化率			0.1	
	经济发展	经济产业发展状况		人均国内生产总值		0.0672
				城镇居民可支配收入		0.06482
		第一产业		农业总产值		0.04529
				林业总产值		0.007
				牧业总产值		0.01421
				渔业总产值		0.07917
				工业总产值		0.21462
		第二产业		建筑业总产值		0.07154
			第三产业		服务业总产值	
				旅游人数		0.01729
		资源利用		港口货物吞吐量		0.05194
				海洋捕捞量		0.01729
压力(P)	废弃物排放	化学需氧量			0.225	
		总氮排放量			0.225	
	土地利用变化	城市用地面积			0.25	
		围填海面积			0.15	
		海水养殖面积			0.15	
状态(S)	环境质量	海水环境	pH		0.058333	
			溶解氧		0.058333	
			化学需氧量		0.058333	
			无机氮		0.058333	
			活性磷酸盐		0.058333	
			石油类		0.058333	
		沉积物环境	有机质		0.035	
			硫化物		0.035	
			石油类		0.035	
			铬		0.035	
			铜		0.035	
			锌		0.035	
	近海生物多样性	砷		0.035		
		镉		0.035		
		汞		0.035		
		铅		0.035		
		近海生产力	叶绿素 a		0.06	
		生物质量	浮游植物	浮游植物密度		0.03
浮游植物多样性				0.03		
浮游动物密度				0.03		
浮游动物多样性				0.03		
底栖生物	底栖生物密度			0.03		
	底栖生物多样性			0.03		
	游泳生物		游泳生物密度		0.03	

续表

评价指标	一级指标	二级指标	三级指标	四级指标	权重
状态(S)	生物质量	近海生物多样性	游泳生物	游泳生物多样性	0.03
	环境影响	公众对环境满意度			0.5
影响(I)	自然灾害	赤潮最大分布面积			0.15
		海冰最大分布面积			0.10
		风暴潮直接经济损失			0.15
		海水入侵和土壤盐渍化断面长度			0.10
响应(R)	生态环境保护 与治理	环保相关法律执行			0.20
		环保机构设置			0.15
		环保资金投入			0.15
	社会经济响应	工业污水处理率			0.15
		生活污水处理率 宣传教育			0.15 0.20

正向指标采用: $Y_{ij} = X_{ij} / X_{ij, \max} + X_{ij, \min}$

负向指标采用: $Y_{ij} = 1 - X_{ij} / X_{ij, \max} + X_{ij, \min}$

其中, $X_{ij, \max}$, $X_{ij, \min}$ 分别为历年统计值的最大值和最小值。按照上述公式的函数关系, 将压力数据进行变化, 可消除量纲差异, 得到各指标在时间序列上的变化特征。

1.4.2 状态数据的标准化处理

状态指标数据的标准化处理, 运用了定量和非定量相结合的方法。海水质量标准参考国家《海水水质标准(GB 3097-1997)》, 选取三类标准进行评价。沉积物环境标准参考国家《海洋沉积物质量(GB 18668-2002)》, 取二类标准进行评价。生物生态指标评价标准参考《近岸海洋生态健康评价指南(HY/T 087-2005)》莱州湾部分^[21], 将山东半岛的生物生态由劣至优划分为 3 个等级, 分别打分 0.5, 0.3 和 0.1。

1.4.3 影响、响应数据的评价方法

本研究以问卷形式, 采用德尔菲法对山东半岛生态系统响应进行评价, 较系统调查了以下三方面的问题: 即山东半岛总体海洋管理状况评价, 公共管理部门、非公共管理部门(商业机构、企业单位等、社会组织等)及民众对生态环境状态的响应程度。

问卷采用李克特量表(Likert Scale), 每个问题设有 A—E 五个选项可供选择, 分别赋予 5~1 分, 代表着管理成效由显著到不足五个层次。分数高则代表各界对生态环境状态变化反应较为迅速、有效, 反之亦然。

1.4.4 综合指数的计算

采用加权法计算山东半岛海洋可持续发展的驱动力、压力、状态综合指标, $H = \sum W_i Q_i$ 。其中, H 为

综合指数, W_i 为第 i 参数的权重值, Q_i 为第 i 参数的标准化值。对于影响和响应评价, 则采用赋分法, 分别对每个指标给出评价, 求和后即为响应综合评价指数。

2 评价结果与讨论

2.1 数据来源

本研究统计数据主要源于 2009—2014 年度《山东省统计年鉴》、《山东省海洋环境质量公报》、《山东省环境质量公报》等政府报告, 及山东省各市的环境检测质量监测资料及评价报告, 影响、响应指标数据源自山东省海洋专家调查问卷。

2.2 数据处理与评价

2.2.1 驱动力、压力指标评价结果

2012—2014 年, 莱州湾驱动力各指标的变化范围不尽相同: 常住人口和人口自然增长率均持续增长, 三产中工业总产值最高, 截止到 2012 年已达 837.22 亿元, 且持续增长。胶州湾社会活动指标均处在持续增长之中。与 2012 年相比, 山东半岛蓝色经济区常住人口增加了 18 万人, 除了生育/死亡率的正面人口增长之外, 区外人口向区内移民被认为是常住人口增加的主要因素。山东半岛蓝色经济区可为区外人口提供更好的就业机会, 更高的收入水平以及更便利的生活条件, 因而区内常住人口增加显著以及城市化率上升^[22]。

经济发展方面, 一二三产业整体呈走高趋势, 但与海洋经济发展直接相关的渔业总产值却在小范围内有一定波动。海洋资源利用指标中, 港口货物吞

吐量和海洋捕捞量较 2012 年分别增加了 14%、23%。结果显示, 总体驱动力评价逐年递增, 莱州湾和胶州湾与 2012 年相比, 增幅分别到达 33.8% 和 21.9%。据相关研究, 就渔业资源总体情况来说, 由于过度捕捞, 一些重要的经济种类减少, 经济鱼类低龄化明显, 近海生态环境不断遭到破坏, 鱼群数量锐减, 沿岸近海急剧下降。海洋渔业资源存在着衰退的现象^[23]。港口航运的快速发展会产生石油泄漏, 进而威胁自然栖息地, 引起藻华, 并可能通过压载水排放导致外来物种入侵^[24]等。此外, 为了提供和维护大型船舶的通道, 航道的拓宽和清淤会导致水文条件和泥沙通量的变化。

2012—2014 年中, 压力指标方面, 两湾驱动力指标中社会活动和经济发展指标均在匀速增长中, 较 2012 年, 社会活动指标平均增幅可达 26.8%。截止到 2014 年, 山东省常住人口 9789 万人, 人口增长成为压力增长的主要驱动力, 具体数据参见表 2。

与 2013 年相比, 莱州湾、胶州湾压力指数均增长了近 20%, 化学需氧量和氨氮排放量平均减少 4%, 但城市用地面积、围填海面积增长程度幅度较大, 导致压力综合指数平均升高了 18.5%。研究显示, 2002 年后胶州湾围填海主导因素为港口用海, 随着城市扩张的需要, 围填海造地速度加快, 围填海成为海湾面积减小的最主要原因^[17]。

表 2 压力指标评价结果
Tab. 2 Pressure Indicators Evaluation Results

一级指标	二级指标	莱州湾			胶州湾		
		2012 年	2013 年	2014 年	2012 年	2013 年	2014 年
废弃物排放	化学需氧量排放量	0.0773	0.0750	0.0727	0.0765	0.0739	0.0735
	氨氮排放量	0.0761	0.0740	0.0738	0.0762	0.0740	0.0738
土地利用变化	城市用地面积	0.1192	0.1236	0.1308	0.1258	0.0902	0.1598
	围填海面积	0.0195	0.0610	0.1305	0.0760	0.0742	0.0740
	海水养殖面积	0.0729	0.0771	0.0764	0.0773	0.0753	0.0727
综合评价指数		0.3651	0.4198	0.4842	0.4317	0.3875	0.4540

2.2.2 状态指标评价结果

参照第三节确定的评价方法, 对山东省胶州湾、莱州湾环境状态进行评价, 结果如表 3 所示。

综合山东半岛莱州湾、胶州湾水环境状态、沉积物环境状态以及生物质量三项, 莱州湾总体评价价值 0.4168, 胶州湾总体评价价值 0.6458, 胶州湾海洋生态环境情况较莱州湾略劣。其中汞元素在沉积物中超标八倍之多。据《近岸海洋生态健康评价指南 (HY/T 087-2005)》中河口及海湾生态系统生物评价指标赋值标准, 生物质量各项指标评价结果均处在三级以下, 由此可以判定生物质量处在不健康状态, 原因主要在于浮游植物及浮游动物生物量过多, 密度过大。2015 年对山东半岛潮间带大型底栖生物的采样调查也发现, 群落物种小型化更重要的原因可能就是人类活动的干扰和环境污染^[25]。

2010 年对胶州湾生态系统健康评价中, 影响胶州湾生态系统健康的主要因素是沉积环境、栖息地和生物类指标, 尤以生物类指标最为严重, 胶州湾鱼卵和仔鱼密度过低、浮游植物密度过大是评估生物类指标不健康的主要原因^[26]。莱州湾海域生态环境承

载力综合评价中确定该海域 2006—2009 年, 以及 2013 年生态环境承载力均值为 0.471, 处于超载状态^[27]。Lin 等^[16]分析了厦门湾 1950—2000 年的红树林污染水平和生态质量, 显示在快速发展的城市化地区, 生态系统健康普遍面临着巨大的压力。相反地是, Ye 等^[28]报道了泉州湾 2004—2010 年的状态指标评价结果, 在经济发展的同时若能有效地实施海岸带管理, 可显著改善海洋生态质量。

2.2.3 影响与响应指标评价结果

山东半岛影响指标体系综合评价为 2.5 分, 响应指标的综合评价为 4.3 分。其中公众对环境满意度评价为 1.5 分, 表明大众对环境现状处于较满意的状态, 但由于赤潮、海冰、风暴潮等自然灾害频繁, 自然灾害影响评价价值仅为 1 分, 导致整体评价价值不高。

山东半岛历来是我国海洋灾害比较严重的省份, 近年来, 灾害的影响范围和危害程度也有加大的趋势, 2012 年山东省沿岸共发生 12 次风暴潮, 造成直接经济损失 31.59 亿元; 2011—2012 年冬季山东省海域冰清为常冰年(冰级 3.0), 直接经济损失 1.54 亿元。

表 3 海水与沉积物环境状态指标评价结果

Tab. 3 State of Water and Sediment Environment Index Evaluation Results

指标	二类 标准值	权重	莱州湾			胶州湾		
			调查值	单因子环境 质量指数	评价值	调查值	单因子环境 质量指数	评价值
pH	6.8-8.8	0.0583	8.0880	0.6044	0.0353	8.09	0.6056	0.0353
溶解氧	4.000	0.0583	7.4470	1.8618	0.1086	6.67	1.6675	0.0973
化学需氧量	4.000	0.0583	1.9455	0.4864	0.0284	1.404	0.3510	0.0205
无机氮	0.400	0.0583	0.4095	1.0236	0.0597	0.138	0.3450	0.0201
活性磷酸盐	0.030	0.0583	0.0096	0.3206	0.0187	0.005	0.1633	0.0095
石油类	0.300	0.0583	0.0301	0.1003	0.0059	0.043	0.1433	0.0084
海水质量综合评价指数					0.2565			0.1911
有机质	3.000	0.035	0.592	0.1973	0.0069	0.67	0.2233	0.0078
硫化物	500.0	0.035	9.032	0.0181	0.0006	/	0.0000	/
石油类	1000	0.035	53.15	0.0532	0.0019	91.33	0.0913	0.0032
铬	150.0	0.035	36.14	0.2409	0.0084	9.08	0.0605	0.0021
铜	100.0	0.035	14.24	0.1425	0.0050	7.78	0.0778	0.0027
锌	350.0	0.035	43.57	0.1245	0.0044	45.89	0.1311	0.0046
砷	65.00	0.035	5.310	0.0817	0.0029	0.012	0.0002	0.0000
镉	1.500	0.035	0.1662	0.1108	0.0039	0.61	0.4067	0.0142
汞	0.500	0.035	0.072	0.1440	0.0050	4.20	8.4000	0.2940
铅	130.0	0.035	19.55	0.1504	0.0053	1.14	0.0088	0.0000
沉积物质量综合指数					0.0442			0.3287

严重的海洋灾害，破坏海岸带生态系统，威胁沿海基础设施安全，影响沿海居民正常生产生活。也影响了各项海洋开发活动的正常进行，成为制约山东省海洋渔业资源可持续利用的重要因素。

2.3 山东半岛生态环境响应对策

2012 年以来，山东省发布了多部海洋可持续发展能力建设相关文件，协调渔业及相关产业，海洋空间资源，海岛资源、生态环境的开发与保护活动，在国内具有较强的引导作用。然而据 2009—2014 年《山东省统计年鉴》，近五年山东省环保资金投入稳定在 100 亿元以上，2014 年山东全省环保投入资金 166 亿元，用于环境与生态保护的资金仅占当年全省 GDP 的 2.7%，海洋生态可持续发展能力建设缺乏足够的资金支持。制定配套的政策法规和项目将促进海洋可持续发展能力建设的有效实施和执行，同时强大的能力建设离不开足够的资金支持。制定和落实生态补偿制度，包括排放权交易制度、保证金制度等，以经济调节激励生态环境保护和约束生态消费，保障海洋生态可持续发展建设的需要。

山东省工业污水处理率近十年稳定在 98% 以上，

专家调查问卷显示相关环保机构和环保法律的执行良好。但人口增长和城市化率提升导致的市政污水排放量上升，同时农村地区非点源污染排放量监管仍存在空白，难以扭转承载力超载的趋势。超载的海洋环境承载力将直接影响生态可持续发展，有必要制定基于生态系统的海域使用空间规划，限制生态受损海域的利用类型，降低人为扰动的强度。海洋生态的修复需要长期的努力，难以短期明显改善，鼓励和引导公众参与有助于保证环境修复项目的实施。

联合区域内海洋环境监测中心、研究院和科研高校，建立可靠的区域风险管理综合灾害报告与应对系统。通过提高涉海科研能力和灾害预报能力，完善灾害应对方案，减少自然灾害引起的损失。

3 结论

(1) 山东半岛承受的社会经济压力正不断增大。山东半岛生态系统综合状态评价值为 0.5313。其中海水和沉积物质量综合评价价值分别为 0.22 和 0.19。

(2) 影响评价值为 2.5(0~5)，山东半岛常年受自然灾害侵袭，由灾害造成的经济损失直接影响了公众对环境的满意程度。

(3) 响应评价值为 4.3(0~5), 距离满分五分仅有 0.7 分的差距, 表明山东省政府在面对生态环境变化时的反应较为迅速、有效, 能够采取一定措施对自然保护区等生态脆弱地区进行及时保护, 有关宣传也能够落实。

运用 DPSIR 模型进行评价能够综合较多不同学科方向的指标对海洋生态可持续发展能力, 但对于海洋这一特殊的研究对象, 仍难反映出研究对象的动态性、预测未来趋势变化。此模型还有待于在实践中进一步改进完善, 以发挥其更大的价值。

参考文献:

- [1] 李虎, 宋秀贤, 俞志明, 等. 山东半岛近岸海域生态系统健康综合评价[J]. 海洋科学, 2014, 38(10): 40-45.
Li Hu, Song Xiuxian, Yu Zhiming, et al. An integrative assessment of marine ecosystem health in coastal waters along the Shandong Peninsula[J]. Marine Sciences, 2014, 38(10): 40-45.
- [2] 杨蔚皎. 我国海洋经济发展规律分析及产业结构变化预测[J]. 可持续发展, 2015, 5(1): 1-8.
Yang Weijiao. Development Tendency Analysis and Industrial Structure Change Forecast of Chinese Marine Economic[J]. Sustainable Development, 2015, 5(1): 1-8.
- [3] 吴永华. 我国海洋区域污染防治管理模式研究——以渤海海域污染防治模式为例[D]. 重庆: 西南大学, 2014.
Wu Yonghua. Sea Area Pollution Prevention Management Research in China - Based on Sea Pollution Control Mode of Bohai[D]. Chongqing: Southwest University, 2014.
- [4] Cai M, Liu Y, Chen K, et al. Quantitative analysis of anthropogenic influences on coastal water – A new perspective[J]. Ecological Indicators, 2016, 67: 673-683.
- [5] Kai C, Yan L, Huang D, et al. Anthropogenic activities and coastal environmental quality: a regional quantitative analysis in southeast China with management implications[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2017: 1-15.
- [6] Qin H, Sun A C, Liu J, et al. System dynamics analysis of water supply and demand in the North China Plain[J]. Water Policy, 2012, 14(2): 214-231.
- [7] Gong L, Jin C. Fuzzy comprehensive evaluation for carrying capacity of regional water resources [J]. Water Resources Management, 2009, 23(12): 2505-2513.
- [8] Gari S R, Newton A, Icely J D. A review of the application and evolution of the DPSIR framework with an emphasis on coastal social-ecological systems[J]. Ocean and Coastal Management, 2015, 103: 63-77.
- [9] Rapport D, Friend A. Towards a Comprehensive Framework for Environmental Statistics: A Stress-response Approach[M]. Ottawa: Minister of Supply and Services Canada, Statistics Canada, 1979.
- [10] Jago-on K A B, Kaneko S, Fujikura R, et al. Urbanization and subsurface environmental issues: an attempt at DPSIR model application in Asian cities[J]. Science of the Total Environment, 2009, 407(9): 3089-3104.
- [11] Sekovski I, Newton A, Dennison W C. Megacities in the coastal zone: Using a driver-pressure-state-impact-response framework to address complex environmental problems[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2012, 96: 48-59.
- [12] Atkins J P, Burdon D, Elliott M, et al. Management of the marine environment: integrating ecosystem services and societal benefits with the DPSIR framework in a systems approach[J]. Marine Pollution Bulletin, 2011, 62(62): 215-226.
- [13] Pinto R, de Jonge V N, Neto J M, et al. Towards a DPSIR driven integration of ecological value, water uses and ecosystem services for estuarine systems[J]. Ocean and Coastal Management, 2013, 72: 64-79.
- [14] Newton A, Weichselgartner J. Hotspots of coastal vulnerability: A DPSIR analysis to find societal pathways and responses[J]. Estuarine Coastal and Shelf Science, 2014, 140(2): 123-133.
- [15] 雷坤, 孟伟, 郑丙辉, 等. 渤海湾海岸带生境退化诊断方法[J]. 环境科学研究, 2009, (12): 1361-1365.
Lei Kun, Meng Wei, Zheng Binghui, et al. Diagnosing Coastal Zone Habitat Degradation in the Bohai Bay [J]. Research of Environmental Sciences, 2009, (12): 1361-1365.
- [16] Lin T, Xue X Z, Lu C Y. Analysis of coastal wetland changes using the “DPSIR” model: a case study in Xiamen, China[J]. Coastal Management, 2007, 35(2-3): 289-303.
- [17] 胡聪. 围填海开发活动对海洋资源影响评价方法研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
Hu Cong. Evaluation Methods of Reclamation Impact on Marine Resources[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014.
- [18] 秦宏, 谷佃军. 山东半岛蓝色经济区海洋主导产业发展实证分析[J]. 海洋科学, 2010, 34(11): 84-90.
Qin Hong, Gu Dianjun. Empirical analysis on development of marine leading industries in blue economic zone of Shandong Peninsula[J]. Marine Sciences, 2010, 34(11): 84-90.
- [19] 杨建强, 朱永贵, 宋文鹏, 等. 基于生境质量和生态响应的莱州湾生态环境质量评价[J]. 生态学报, 2014, 34(1): 105-114.
Yang Jianqiang, Zhu Yonggui, Song Wenpeng, et al. The eco-environmental evaluation based on habitat quality

- and ecological response of Laizhou Bay[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(1): 105-114.
- [20] 刘健. 胶州湾海岸带环境脆弱性分析[J]. *海洋环境科学*, 2016, 35(5): 750-755.
Liu Jian. Analysis on environmental vulnerability of the coastal zone in Jiaozhou Bay[J]. *Marine Environmental Science*, 2016, 35(5): 750-755.
- [21] 孙永坤, 杨光, 李超伦, 等. 胶州湾浮游动物生物完整性指数的建立[J]. *海洋科学*, 2015(10): 1-7.
Yang Jianqiang, Yang Guang, Li Chaolun, et al. Establishment of zooplankton index of biotic integrity for Jiaozhou Bay[J]. *Marine Sciences*, 2015(10): 1-7.
- [22] Jiang Y, Kirkman H, Hua A. Megacity development: managing impacts on marine environments[J]. *Ocean and Coastal Management*, 2001, 44(5): 293-318.
- [23] 丁燕飞. 山东省海洋渔业资源可持续利用研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2014.
Ding Yanfei. Study on Sustainable Utilization of Marine Fishery Resources in Shandong Province[D]. Jinan: Shandong Normal University, 2014.
- [24] Albert R J, Lishman J M, Saxena J R. Ballast water regulations and the move toward concentration based numeric discharge limits[J]. *Ecological Applications*, 2013, 23(2): 289-300.
- [25] 甘志彬, 李新正, 王洪法, 等. 山东半岛宁津沿岸潮间带大型底栖动物生态学研究[J]. *海洋科学*, 2016, 40(6): 41-48.
Gan Zhibin, Li Xinzheng, Wang Hongfa, et al. Ecological characteristics of macrobenthos found in the intertidal zone of Ningjin, Shandong[J]. *Marine Sciences*, 2016, 40(6): 41-48.
- [26] 钟美明. 胶州湾海域生态系统健康评估[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.
Zhong Meiming. Ecosystem Health Assessment of Jiaozhou Bay[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010.
- [27] 李延峰. 山东半岛典型海域生态环境承载力评价[D]. 北京: 中国科学院大学, 2014.
Li Yanfeng. An integrated methodology for assessment of marine eco-environment carrying capacity in Shandong Peninsula[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2014.
- [28] Ye G, Chou L M, Yang L, et al. Evaluating the performance of integrated coastal management in Quanzhou, Fujian, China[J]. *Ocean and coastal management*, 2014, 96: 112-122.

DPSIR Model-based Assessment of ecologically sustainable development in Shandong Peninsula Blue Economic Zone

WANG Jun^{1, 2}, HE Hai-xia³, CHEN Kai³, LIU Yan^{1, 2}, ZHANG Ying⁴, KE Hong-wei¹, CAI Ming-gang^{1, 3}

(1. College of Ocean and Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen 361102, China; 2. School of Economics, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 3. Coastal and Ocean Management Institute, Xiamen University, Xiamen 361102, China; 4. College of Geography and Environment, Shandong Normal University, Jinan 250000, China)

Received: Jan. 10, 2017

Key words: DPSIR model; Coastal sea area; Shandong Peninsula; Blue Economic Zone; Ecologically sustainable development

Abstract: Shandong Peninsula is the largest peninsulas in China and its geographical position plays a vital role in its ecological health. In this paper, we used the Driving-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) model, combined with social economic and natural ecological parameters, to establish an ecologically sustainable development evaluation index system. The results show there to be increasing social and economic pressures on the Shandong Peninsula, and the comprehensive state evaluation value for its ecological system is 0.5313. The water, sediment and biological quality values are 0.22, 0.19, and 0.123, respectively. Current conditions are not encouraging. The impact indicator and response indicator values are 2.5 and 4.7, respectively, which indicates that marine disasters have great influence on the Peninsula and can cause serious damage, although the government's response to changes in the ecological environment is typically quick and efficient.

(本文编辑: 康亦兼)