

文章编号:1000-1735(2017)03-0395-12

DOI:10.11679/lisxblk2017030395

# 环渤海地区海洋生态经济系统脆弱性与协调性时空演变及动态模拟

伏捷<sup>1,2</sup>, 孙才志<sup>1,2</sup>, 彭飞<sup>2</sup>

(1. 辽宁师范大学 城市与环境学院, 辽宁 大连 116029;

2. 辽宁师范大学 海洋经济与可持续发展研究中心, 辽宁 大连 116029)

**摘要:**海洋生态经济系统脆弱性与协调性研究的最终目的是实现海洋经济的可持续发展。基于海洋生态经济系统脆弱性与协调性的内涵构建海洋生态经济系统评价指标体系,运用模糊综合评判法、3E 协调度函数、BP 神经网络预测模型等,对环渤海地区 2006—2012 年海洋生态经济系统的脆弱性与协调性及空间差异进行了定量分析,并对 2015—2024 年海洋生态经济系统的脆弱性与协调性进行了动态模拟,对环渤海地区海洋生态经济系统脆弱性与协调性进行动态模拟研究,结果表明:(1)2006—2012 年,环渤海地区海洋生态经济系统脆弱性在波动中微降(较重脆弱—中度脆弱)且空间分异明显,整体呈现出“双环”的空间结构。(2)2006—2012 年,环渤海地区海洋生态经济系统协调性变化较小,呈轻度失调状态,其中,经济子系统与生态子系统协调度不断降低,而经济子系统与社会子系统、生态子系统与社会子系统的协调性均呈上升态势,环渤海各地区间的内部差异也较为显著。(3)2015—2024 年,环渤海地区海洋生态经济系统脆弱性仍不容乐观,长期处于中度脆弱与较重脆弱水平之间;环渤海地区海洋生态经济系统协调性整体呈上升态势,发展态势良好。

**关键词:**环渤海地区;海洋生态经济系统;脆弱性;协调性;BP 神经网络

**中图分类号:**F062.2 **文献标识码:**A

脆弱性与协调性研究是可持续发展科学的重要研究范式,凭借其独特的理论价值与实践应用前景已成为地理学及其相关学科诠释人地(海)关系地域系统中各要素的作用过程、格局、机理的重要途径。改革开放以来,中国沿海地区以 13% 的陆地面积,滋养 40% 以上的人口,创造 65% 以上的国内生产总值,2014 年,中国海洋生产总值占国内生产总值的比重达 9.4%。然而海洋经济在快速发展的同时,诸如海洋资源能源短缺、陆海空间争夺、环境污染、海洋生态破坏等海洋生态经济系统脆弱性、不协调问题日益凸显。显然,中国沿海地区已成为人类社会系统、陆地系统、海洋系统之间交互作用最为激烈的地区之一,该地区具有典型的脆弱性特征又包含复杂的系统间协调发展问题。因此,中国共产党十八届五中全会及其“十三五”规划建议中明确指出绿色、协调的发展理念以及坚持陆海统筹、建设海洋强国的发展目标。在此背景下,通过对海洋生态经济系统的脆弱性与协调性评价可以有效识别我国海洋生态经济系统运行过程中存在的问题并采取必要的措施进行调控,这对于我国海洋生态经济可持续发展具有重要的理论与现实意义。

收稿日期:2017-03-20

基金项目:国家自然科学基金青年基金资助项目(41601114);教育部人文社会科学青年基金资助项目(16YJC790080)

作者简介:伏捷(1985-),男,甘肃静宁人,辽宁师范大学博士研究生。E-mail:fujie365@126.com

生态经济系统的相关研究成果丰富,海洋生态经济系统的研究却十分匮乏。目前,国内外学者大多是建立不同模型评价从区域到全球的海洋生态经济系统内涵<sup>[1]</sup>、价值<sup>[2-4]</sup>、作用过程<sup>[5-6]</sup>、作用机理<sup>[7]</sup>、可持续发展模式<sup>[8-10]</sup>、综合管理<sup>[11-12]</sup>等方面,其涉及的评价方法主要包括生态足迹<sup>[13]</sup>、GIS 系统下的空间分析<sup>[14]</sup>、因果链分析<sup>[15]</sup>、能值分析等<sup>[16]</sup>。在研究内容上,国外学者侧重于海洋生态经济价值与贡献的理论探索<sup>[3]</sup>、海洋生态系统的单循环作用机理研究<sup>[4]</sup>、海洋生态经济系统综合管理研究<sup>[17]</sup>;国内学者主要侧重于海洋生态经济系统的内涵分析<sup>[1]</sup>、海岸带海洋生态经济系统多循环作用协调发展测度及其可持续发展模式分析<sup>[18-20]</sup>。综合来看:(1)脆弱性作为一项重要研究内容被 IHDP、IPCC、IGBP 等国际性科学计划与机构提上研究日程<sup>[21-23]</sup>,现已发展成为全球环境变化和可持续性科学研究的前沿与热点<sup>[24]</sup>。1999 年联合国开发计划署(UNDP)正式提出“经济脆弱性”的概念<sup>[25]</sup>,脆弱性的研究对象也逐步由自然生态环境系统扩展到包含自然、社会、经济、制度等综合因素及恢复力机制的海陆人地(海)关系地(海)域系统<sup>[26-27]</sup>,然而国内外对于海洋生态经济系统脆弱性的相关研究尚未展开。(2)国内外对于海洋生态经济协调性的相关研究较多,海洋生态系统、海洋经济系统、海洋社会系统共同演进的脆弱性与协调性时空演变研究仍十分薄弱。(3)海洋生态经济系统是复杂的耗散结构,表现为非线性耦合协调模式,已有的线性研究方法很难准确模拟其发展趋势,而人工神经网络分析法能较好地模拟这一问题。(4)2013 年,环渤海地区常住人口数占全国总人口数的 16.9%,生产总值与海洋生产总值均在中国沿海地区中占比最高,分别达到 36.15%和 36.33%<sup>[28]</sup>。从地理环境和发展现状来看,该地区海洋资源丰富,港口、河流以及人口分布密集,海洋经济的飞速发展且发展方式粗放等因素对该地区的海洋生态经济系统造成了巨大的冲击。因此,本研究以环渤海地区为例,在评价海洋生态经济系统脆弱性与协调性时空演变的基础上,运用 BP 神经网络模拟预测分析法,探索环渤海地区海洋生态经济系统脆弱性与协调性未来演变趋势,为新常态背景下的环渤海地区海洋经济可持续发展提供决策参考。

## 1 海洋生态经济系统及其指标体系构建

### 1.1 海洋生态经济系统的内涵

海洋生态经济系统的概念是在海洋生态、经济、社会的固有特征的基础上结合生态经济系统的相关研究演化而来<sup>[1,29-30]</sup>。海洋生态经济系统是指在特定的地域范围内,由相互影响、相互作用的海洋生态子系统、海洋经济子系统、海洋社会子系统构成的具有一定结构和功能的特殊复合系统(图 1)<sup>[20]</sup>。海洋生态子系统是由自然资源和海洋生态环境组成;海洋经济子系统则是以开发利用海洋资源所形成的海洋产业为核心,是海洋生产力与生产关系的集中体现;海洋社会子系统则是人类为实现对海洋的利用与追求所创造的具有海洋特性的思想、观念、意识等要素的组合。海洋生态系统的良性循环在为海洋社会系统和海洋经济系统提供健康的生活环境和良好的资源发展基础的同时,也制约着二者过度发展,而海洋经济系统和海洋社会系统的发展又为海洋生态系统的运行提供了必要的物质保证和劳力、智力支撑。

### 1.2 海洋生态经济系统脆弱性与协调性

海洋生态经济系统脆弱性是指海洋生态经济系统在内外环境各要素的扰动下,由系统自身所具有的敏感性与应对力之间相互牵制所表现出的结构或功能易受到损害的一种系统属性。主要表现在两个方面<sup>[31-33]</sup>:(1)在海洋生态—经济—社会大系统运行中,海洋生态经济系统本身所具有的不稳定性,是系统自身的一种属性。(2)海洋生态经济系统对各类因素变化的敏感性,抵御各种影响的限制因子,以及防止或减轻这种影响的可能性,而这些则体现了海洋生态经济系统本身应对外部影响的承受能力,表现为海洋生态经济系统脆弱程度的大小。海洋生态经济系统协调性是指海洋生态系统各子系统之间通过相互影响、相互作用而表现出的海洋生态结构功能、海洋经济结构功能与海洋社会结构功能的统一、稳定的动态平衡状态<sup>[7]</sup>。同样体现在两个方面:(1)海洋生态经济各子系统之间协调互动所产生的

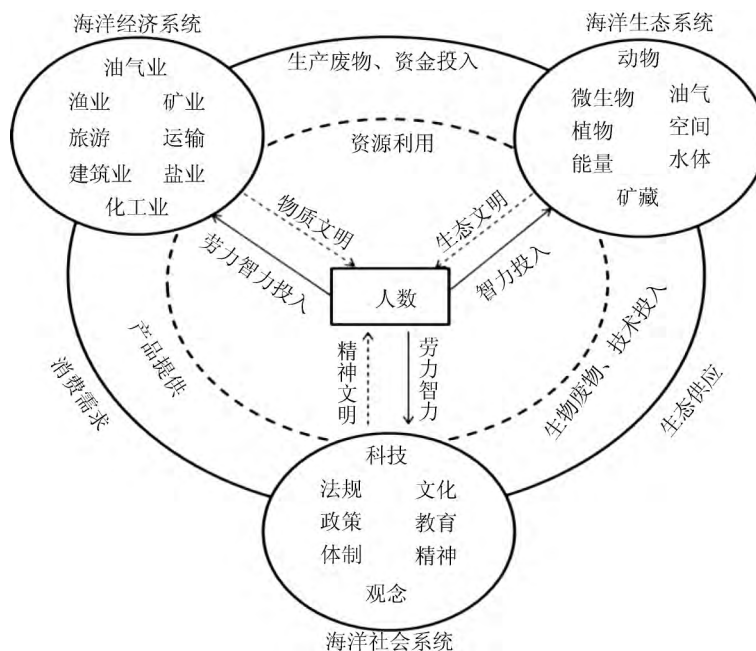


图 1 海洋生态经济系统构成及其运行方式

Fig. 1 Structure and operation mode of marine eco-economic system

结构有序状态。(2)各子系统之间的相互协调作用促使海洋生态经济系统各要素呈现功能稳定有效的状态。

脆弱性与协调性是对立统一的关系<sup>[34]</sup>。脆弱性和协调性是地(海)关系作用过程中所固有的两种相反属性,是矛盾统一和斗争的对立面,同时,脆弱性与协调性的统一是矛盾着的对立面之间内在的有机的、不可分割的联系,可以实现互相转化。在地(海)关系激烈作用的过程中,沿海地区海洋生态经济系统自身及其子系统脆弱性特征显著,主要表现在资源能源短缺、灾害频发、环境污染、生态破坏、经济危机等方面;海洋生态经济系统的不协调方面主要体现在内部各个子系统间结构和功能的紊乱,例如粗放的经济增长方式导致资源短缺、生态破坏等问题,政府体制机制的不健全又会导致经济发展效率低下,也会影响生态环境可持续发展等一系列问题。因此,海洋生态经济系统及其子系统间的脆弱性与协调性相互作用、相互影响,同时对二者进行考察有利于全面发现环渤海地区海洋生态经济可持续发展存在的问题。考虑到海洋生态经济子系统脆弱性量化的复杂性以及数据获取难度,本研究主要考察海洋生态经济系统整体的脆弱性与协调性及其子系统间的协调性关系。

### 1.3 构建指标体系及确定权重

考虑到海洋数据获取的限制,很难实现面面俱到的综合评价,因此,关键性指标的选取和把握十分重要,从而也规避了大而全导致无法深入研究的问题。中国海洋产业系统脆弱性的关键指标内涵主要体现在海洋生态子系统、海洋经济子系统、海洋社会子系统三个方面。因此,从国情出发,在科学性、系统性、全面性、实用性、与评价方法一致性原则的指导下,根据海洋生态经济系统综合评价的科学内涵,参考相关脆弱性和协调性评价文献<sup>[1,35]</sup>,最终确定包括 10 个经济子系统指标、10 个生态子系统指标、15 个社会子系统指标在内的 35 个海洋生态经济系统综合指标体系(表 1)。为了保持权重赋值的客观性,本文选用熵值法对指标权重进行测算,熵值法是利用评价指标固有的信息来判别指标的效用价值的方法,从而在一定程度上避免了主观因素带来的偏差,具有一定的客观性,其主要步骤详见文献<sup>[33]</sup>,各评价指标的权重值见表 1。

表 1 海洋生态经济系统脆弱性与协调性评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of vulnerability and coordination of marine eco-economic system

系统	子系统层	权重	状态层	权重	基础指标层	指标正负	权重	
海洋生态经济系统	经济子系统 0.341	海洋经济规模 0.253			人均海洋生产总值/万元	+	0.260	
					海洋生产总值占 GDP 比重/%	+	0.253	
					海洋经济增长波动率/%	-	0.226	
					海洋经济技术投入率/%	+	0.262	
		海洋经济结构 0.288			海洋第二、三产业比重/%	+	0.264	
					海洋产业结构偏离度/%	-	0.301	
					海洋产业结构多样化指数	+	0.313	
					海洋经济资本收益率/%	+	0.385	
		海洋经济活力 0.459			海洋经济增长弹性系数/%	+	0.364	
					国际竞争力指数/%	+	0.306	
					生物多样性指数/%	+	0.264	
					人均海水产品产量/kg	-	0.315	
	生态子系统 0.333	海洋生态压力 0.372			海水浴场健康指数/%	+	0.421	
					可养殖面积利用率/%	+	0.198	
					单位面积工业废水排放量/t	-	0.224	
		海洋生态响应 0.350				单位面积工业固体废物生产率/%	-	0.180
						年均单位岸线海洋灾害损失/(万元/km <sup>-1</sup> )	-	0.184
						海洋自然保护区面积比重/%	+	0.213
	社会子系统 0.326	社会人口 0.180			环保投入占 GDP 比重/%	+	0.350	
					近岸海洋生态系统健康指数	+	0.300	
					人口密度/(人·km <sup>-2</sup> )	-	0.330	
					城镇化水平/%	+	0.239	
					文盲或半文盲人数比例/%	-	0.244	
					涉海就业人员比重/%	+	0.246	
生活质量 0.322					城镇居民人均可支配收入/元	+	0.271	
					城镇居民人均消费总额/元	+	0.255	
					人均用电量/(kW·h)	+	0.252	
					恩格尔系数/%	-	0.252	
					海洋科技研究人员比重/%	+	0.241	
					海洋科技创新能力即发表论文数/篇	+	0.244	
科技水平 0.169				海洋科研机构数/个	+	0.244		
				海洋科研课题数/项	+	0.236		
				单位岸线海滨观测台站密度/(个·km <sup>-1</sup> )	+	0.276		
				年均出台政策文件/个	+	0.344		
				确权海域面积比重/%	+	0.383		
				管理能力 0.329				

注:各指标性质的(+)(-)判断是相对于海洋生态经济系统而定. 海洋经济技术投入率=科研机构经费投入/海洋 GDP×100%;海洋产业结构偏离度=(海洋产业产值占 GDP 的比重/涉海就业人员比重)-1;海洋产业结构多样化指数 =  $\sum I_i \ln I_i$ ,  $I_i$  为海洋第  $i$  次产业产值占海洋 GDP 比重,  $i=1,2,3$

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

鉴于海洋数据的可获得性和延续性,以及 2013 年、2014 年海洋统计年鉴统计口径的变化,本章以 2006—2012 年作为研究时段,对环渤海地区海洋生态经济系统的脆弱性与协调性进行评价分析. 评价

基础数据主要来源于 2007—2013 年的《中国海洋统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《中国农业年鉴》《中国海洋环境质量公报》《中国海平面公报》《海域使用管理公报》，以及 EPS 全球统计分析平台。

### 2.2 海洋生态经济系统脆弱性评价模型构建

指标体系中的各个指标之间存在无量纲差异，为了消除差异首先要按照指标的正负性质对原始指标值进行标准化处理<sup>[26]</sup>。采用模糊综合评判法评价海洋生态经济子系统的脆弱性，计算公式为

$$z_i = \sum_{j=1}^m \omega_i \varphi_{ij} \tag{1}$$

其中， $z_i$  表示第  $i$  个指标或系统的脆弱度， $m$  为指标个数， $\omega_i$  是第  $i$  个指标的权重， $\varphi_{ij}$  是指标的隶属度。正向指标的隶属度采用半升梯形模糊隶属度函数确定，公式为

$$\varphi_{ij} = \begin{cases} 1, & x_{ij} = m_{j,\max}, \\ \frac{x_{ij} - m_{j,\min}}{m_{j,\max} - m_{j,\min}}, & m_{j,\min} < x_{ij} < m_{j,\max}, \\ 0, & x_{ij} = m_{j,\min}. \end{cases} \tag{2}$$

负向指标的隶属度采用半降梯形模糊隶属度函数确定，公式为

$$\varphi_{ij} = \begin{cases} 1, & x_{ij} = m_{j,\min}, \\ \frac{m_{j,\max} - x_{ij}}{m_{j,\max} - m_{j,\min}}, & m_{j,\min} < x_{ij} < m_{j,\max}, \\ 0, & x_{ij} = m_{j,\max}. \end{cases} \tag{3}$$

其中， $x_{ij}$  为评价指标原始数据， $m_{j,\max}$  和  $m_{j,\min}$  分别为同一时期不同地区间第  $j$  个指标的最大值和最小值， $\varphi_{ij}$  是相应指标的隶属度， $\varphi_{ij} \in [0, 1]$ ，表示评判指标  $x_{ij}$  相邻的两分级标准。

海洋生态经济系统综合脆弱性指数模型为

$$V = \sqrt{\omega_1 z_1^2 + \omega_2 z_2^2 + \omega_3 z_3^2}, \tag{4}$$

其中， $V$  为海洋经济系统综合脆弱性指数， $z_1$ 、 $z_2$ 、 $z_3$  分别为经济子系统、生态子系统和社会子系统的脆弱性指数， $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 、 $\omega_3$  分别为子系统相应的权重。借鉴脆弱性的相关研究<sup>[35]</sup>，将海洋生态经济系统的脆弱性评价划分为 6 个等级，分别为：轻度脆弱、较轻脆弱、中度脆弱、较重脆弱和重度脆弱、濒临崩溃（表 2）。

表 2 海洋生态经济系统脆弱性评价分级标准

Table 2 Vulnerability degree grade classification of marine eco-economic system

等级	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	6 级
脆弱程度	轻度脆弱	较轻脆弱	中度脆弱	较重脆弱	重度脆弱	濒临崩溃
脆弱性指数	[0, 0.15)	[0.15, 0.3)	[0.3, 0.45)	[0.45, 0.6)	[0.6, 0.75)	[0.75, 1]
表征状态	极好	良好	一般	警戒	危机	崩溃

### 2.3 海洋生态经济系统协调性评价模型构建

海洋生态经济系统协调性要求各系统之间评价指数越接近，综合水平越高，则系统协调性越好。用  $f(x)$ 、 $g(y)$  和  $h(z)$  分别表示经济系统、生态系统和社会系统协调度的评价函数，采用加权求和算法得出。协调性评价函数为

$$D = \left\{ \left[ (p \cdot k) \left( \frac{p+k}{2} \right)^{-2} \right]^n \cdot [\alpha p + \beta k] \right\}^{1/2}, \tag{5}$$

其中， $D$  为协调性指数，用来表示两系统之间的协调性<sup>[34]</sup>， $p$  和  $k$  可分别代入  $f(x)$ 、 $g(y)$  和  $h(z)$ ， $\alpha$ 、 $\beta$  为待定权重，一般取  $\alpha = \beta = 0.5$ ， $n$  为调节系数，本文取  $n = 2$ 。式 (5) 可以计算海洋生态经济系统中经济子系统、生态子系统和社会子系统两两之间的协调性。

海洋生态经济系统整体协调性借用 3E 协调度模型来测度,3E 模型是用来定量描述整体系统下 3 个密切相关的复杂子系统之间相互耦合关系即协调度的方法.对于海洋生态经济系统而言,经济子系统、生态子系统和社会子系统的地位同等重要,因此 3E 协调度计算公式为

$$M = (f(x) \cdot g(y) \cdot h(z))^{1/3}, \quad (6)$$

其中, $M$  表示综合协调度, $f(x)$ 、 $g(y)$ 和  $h(z)$ 分别表示经济系统、生态系统和社会系统协调度.协调度等级和划分采用样本相关系数检验的临界值进行划分<sup>[36]</sup>,如表 3 所示.

表 3 海洋生态经济系统协调度等级和划分标准

Table 3 Coordination degree grade classification of marine eco-economic system

等级	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	6 级
协调程度	严重失调	中度失调	轻度失调	初级协调	中级协调	高级协调
协调指数	[0, 0.15]	(0.15, 0.3]	(0.3, 0.5]	(0.5, 0.7]	(0.7, 0.85]	(0.85, 1]

## 2.4 BP 神经网络预测模型构建

BP 神经网络是一个非线性动力学系统,学习和存贮大量的输入-输出模式映射关系,在学习的过程中通过反向传播不断调整网络的权值和阈值,使网络误差平方和最小,在数据预测研究上已有广泛的应用<sup>[34]</sup>.本文使用 BP 神经网络对海洋经济生态系统的未来数据进行预测,首先将原始数据进行 0~1 连续量处理,采用三层神经网络结构(图 2),35 个输入层,1 个隐藏层和 35 个输出层,利用输入输出样本对网络进行训练,实现网络输入输出映射关系,最后输入数据进行预测.利用脆弱性和协调性计算公式对得到的未来年份预测数据进行计算,预测未来海洋经济生态系统脆弱性和协调性发展.

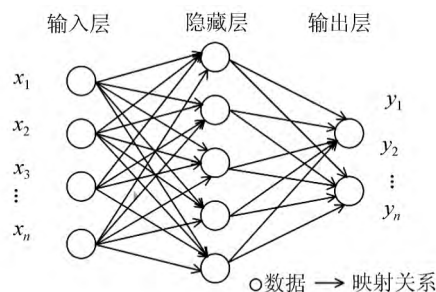


图 2 BP 神经网络拓扑结构

Fig. 2 The architecture of BP neural net work

## 3 结果与分析

### 3.1 海洋生态经济系统脆弱性时空演变分析

通过所构建海洋生态经济系统脆弱性评价模型(式(1)~式(4)),测算 2006—2012 年各区域脆弱性指数,结合海洋生态经济系统脆弱性评价分级标准(表 2)进行分类(表 4).从时空演变的视角分析(图 3、图 4),2006—2012 年间,环渤海地区海洋生态经济系统脆弱性整体呈波动中降低的态势;环渤海地区海洋生态经济系统脆弱性空间分异显著,整体呈现出“双环”的空间结构.其中,辽宁省、山东省、天津市的海洋生态经济系统脆弱性明显高于河北省,辽宁省和山东省呈现波动增长趋势,河北省和天津市波动下降趋势明显.究其原因:(1)在“十一五”“十二五”规划实施的过程中,环渤海地区海洋经济发展迅猛,经济结构不断优化以及科技水平不断提高,生态环境保护以及海岸带管理取得较大进展,环渤海地区海洋生态经济系统脆弱性整体呈现下降态势.(2)辽宁省、山东省、天津市等“港口—腹地”型经济区域把海洋石油加工、海洋化工、化学原料及化学制品制造、黑色金属冶炼及压延加工业、设备制造业等相关重化工业作为优势行业发展,产业结构趋同并对海洋生态环境构成较大压力;其次,辽宁沿

海经济带、山东蓝色经济区、天津滨海新区的高强度开发是造成该区域生态经济脆弱维持较高水平的诱因,对区域资源需求及环境破坏可能性不断增大,环渤海地区海洋生态经济系统脆弱性“双环”空间结构显著。(3)天津市是环渤海地区海洋经济规模最大的城市,凭借其优越的地理位置以及经济结构转型不断深入,高端制造业发展水平较高、国际竞争力较大.同时,随着《环境影响评价法》《可再生能源法》《国家海洋经济发展规划纲要》等法律政策的不断落实,近年来海洋生态经济系统脆弱性不断降低。(4)河北省尚处于海洋经济发展的初期,海洋经济子系统、社会子系统的发展对海洋生态系统的压力远小于其他区域,脆弱性较低.其中,唐山市与天津市发展趋势相似,秦皇岛市的国家领导疗养区区域海洋生态保护力度要大于一般海域.

表 4 2006—2012 年环渤海地区海洋生态经济系统脆弱性指数

Table 4 Vulnerability of marine eco-economic system in Bohai Rim from 2006 to 2012

地区	2006 年		2007 年		2008 年		2009 年		2010 年		2011 年		2012 年	
	指数	类型	指数	类型	指数	类型	指数	类型	指数	类型	指数	类型	指数	类型
辽宁	0.456	较重	0.450	较重	0.411	中度	0.464	较重	0.455	较重	0.449	中度	0.485	较重
河北	0.363	中度	0.358	中度	0.373	中度	0.349	较轻	0.322	较轻	0.344	较轻	0.327	较轻
天津	0.536	较重	0.547	较重	0.517	较重	0.472	较重	0.500	较重	0.512	较重	0.481	较重
山东	0.464	较重	0.457	较重	0.464	较重	0.420	中度	0.529	较重	0.468	较重	0.536	较重
环渤海	0.463	较重	0.462	较重	0.454	较重	0.430	中度	0.468	较重	0.443	中度	0.449	中度

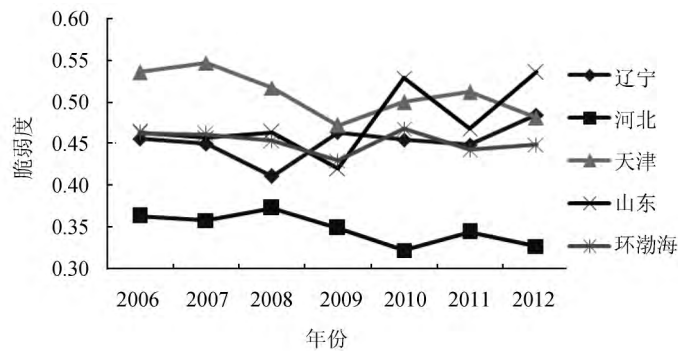


图 3 2006—2012 年环渤海地区海洋生态经济系统脆弱性变化趋势

Fig. 3 Vulnerability change trend of marine eco-economic in Bohai Rim from 2006 to 2012

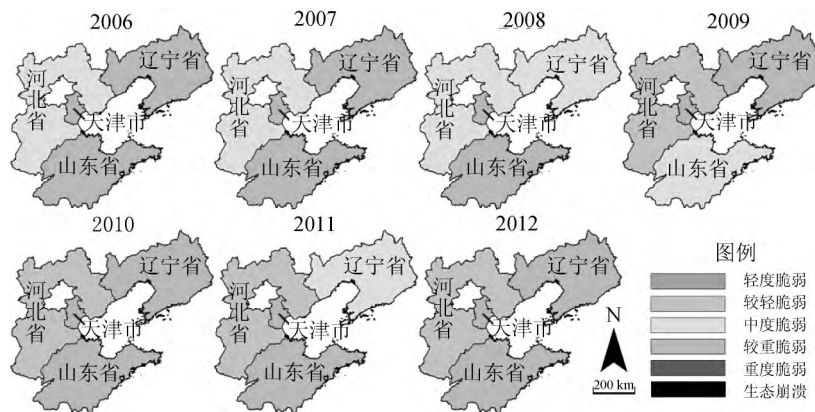


图 4 2006—2012 年海洋生态经济系统脆弱性空间演变

Fig. 4 Spatial evolution of vulnerability of marine eco-economic in Bohai Rim from 2006 to 2012

### 3.2 海洋生态经济系统协调性时空演变分析

#### 3.2.1 协调性总体时空演变分析

通过式(6)测算 2006—2012 年环渤海地区海洋生态经济系统协调性指数,结合海洋生态经济系统协调性评价分级标准进行分类(表 5).

表 5 2006—2012 年环渤海地区海洋生态经济系统协调度

Table 5 Coordination degree of marine eco-economic system in Bohai Rim from 2006 to 2012

地区	2006 年		2007 年		2008 年		2009 年		2010 年		2011 年		2012 年	
	指数	类型	指数	类型	指数	类型	指数	类型	指数	类型	指数	类型	指数	类型
辽宁	0.456	轻度	0.450	轻度	0.411	轻度	0.464	轻度	0.455	轻度	0.449	轻度	0.485	轻度
河北	0.363	轻度	0.358	轻度	0.373	轻度	0.349	轻度	0.322	轻度	0.344	轻度	0.327	轻度
天津	0.536	初级	0.547	初级	0.517	初级	0.472	轻度	0.500	轻度	0.512	初级	0.481	轻度
山东	0.464	轻度	0.457	轻度	0.464	轻度	0.42	轻度	0.529	初级	0.468	轻度	0.536	初级
环渤海	0.463	轻度	0.462	轻度	0.454	轻度	0.430	轻度	0.468	轻度	0.443	轻度	0.449	轻度

2006—2012 年,环渤海地区海洋生态经济系统协调性发展整体变化较小,呈轻度失调状态.其中,辽宁省与河北省整体处于轻度失调状态,天津市协调性波动较明显,协调性呈下降态势.山东省的协调度呈上升态势,由轻度失调逐渐演变为初级协调状态.从环渤海各区域空间演变可看出,虽然国家众多政策、法案的出台对区域脆弱性影响相对较大,但对区域协调性相对影响较小或者存在一定的滞后性.

#### 3.2.2 协调性子系统时空演变分析

通过对海洋生态经济系统中各子系统之间的协调性进行计算,分别绘制各子系统间的协调度折线图(图 5~图 7),以揭示海洋生态系统整体协调性的内部影响因素.

2006—2012 年,环渤海地区经济子系统与生态子系统协调度整体呈下降趋势(图 5),说明经济发展与生态协调存在一定的冲突.特别是 2009 年下降趋势最为明显,当年国内 GDP 增速达到 8.7%,经济的高强度发展对生态环境产生较大冲击,特别是中国沿海地区,这种冲击性表现更为强烈.协调性不断降低说明环渤海地区生态环境正处于受经济发展高度压迫状态,因此注重降速提质、优化产业结构、注重海洋经济的可持续发展尤为重要.从各地区空间演变来看,河北省的协调度最低,河北省从 2006 年的轻度失调状态转变为 2012 年的重度失调状态,2011 年《河北沿海地区发展规划》上升为国家战略后,河北省海洋经济靠资源要素、投资驱动的发展方式对海洋生态系统造成巨大压力.辽宁省、天津市、山东省从 2006 年的初级协调状态转变为 2012 年的轻度失调状态,演变趋势不容乐观,说明环渤海地区整体经济结构都有待优化升级.

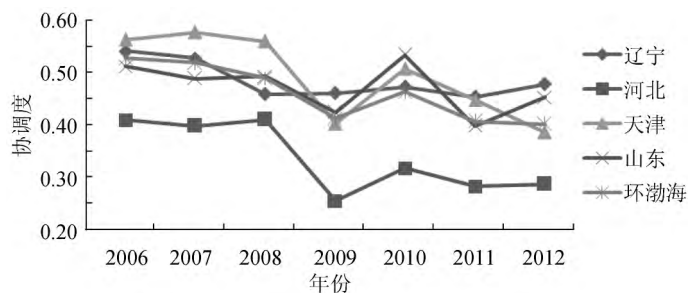


图 5 2006—2012 年环渤海地区海洋经济子系统与生态子系统协调度变化趋势

Fig. 5 Change trend of coordination degree between marine economic subsystem and marine ecological subsystem in

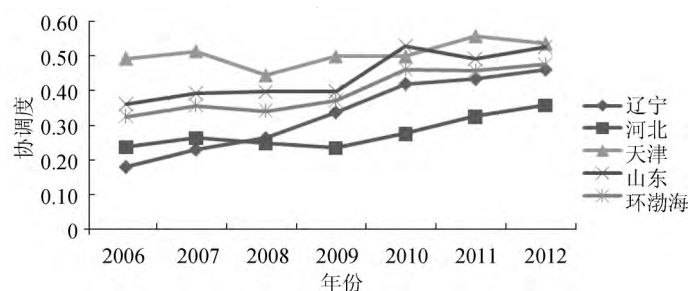


图 6 2006—2012 年环渤海地区海洋经济子系统与海洋社会子系统协调度变化趋势

Fig. 6 Change trend of coordination degree between marine economic subsystem and marine social subsystem in Bohai Rim from 2006 to 2012



2006—2012年,环渤海地区海洋经济子系统与社会子系统协调性呈整体上升态势(图6),但整体仍处于轻度失调状态。其中,辽宁省上升势头迅猛,由中度失调状态演变为轻度失调状态。河北省的上升趋势较为缓慢。天津市、山东省从轻度失调转变为初级协调,发展态势良好。究其原因,随着环渤海地区人口质量的不断提高、政府对科技创新逐渐重视以及科研经费投入力度逐年加大,环渤海地区的海洋经济效益日益显现,海洋经济水平的不断提高又会促进海洋社会系统的不断优化。

环渤海地区海洋生态子系统与社会子系统协调度整体呈上升态势,辽宁省、山东省的上升幅度较大,河北省变化较为平稳,天津市的协调度略微较低并呈轻度失调状态(图7)。其中,辽宁由2006年中度失调转变为2012年的初级协调,山东省由2006年的轻度失调状态转变为2012年的初级协调,波动变化明显。究其原因,随着人们的海洋环保意识增强、海洋科技水平的不断发展以及政府加强退耕还海、海洋生态修复、禁渔休渔以及海洋生态保护区建设等措施的管控,环渤海地区海洋生态子系统与社会子系统的协调度呈上升态势。

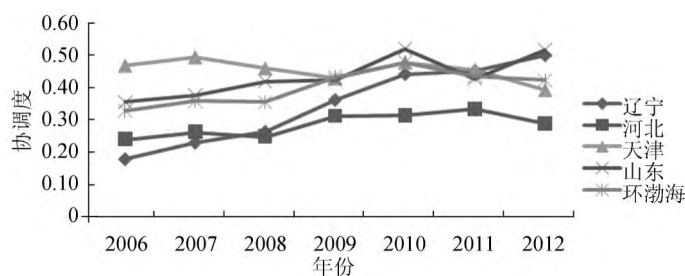


图7 2006—2012年环渤海地区海洋生态子系统与海洋社会子系统协调度变化趋势

Fig. 7 Change trend of coordination degree between marine ecological subsystem and marine social subsystem in Bohai Rim from 2006 to 2012

### 3.3 预测脆弱性与协调性演变趋势及对比分析

应用BP神经网络预测环渤海地区2015—2024年海洋生态经济系统脆弱性与协调性变化趋势,利用测算结果绘制预测趋势图(图8)。脆弱性预测结果表明未来十年:(1)环渤海地区海洋生态经济系统脆弱性整体呈波动态势并长期处于中度脆弱与较重脆弱之间。除河北省外,其他省市在预测期内仍会保持较高的脆弱状态。(2)环渤海地区内部各省市海洋生态经济系统脆弱性演变趋势空间分异显著。其中,山东省的海洋生态经济系统脆弱性逐渐降低,发展态势良好,而辽宁省、河北省、天津地区的脆弱性在波动中上升态势显著。协调性预测结果表明未来10a:(1)环渤海地区海洋生态经济系统协调性整体呈上升态势,发展态势良好。(2)天津市协调性预测不容乐观,未来海洋生态经济系统非协调(由初步协调到轻度失调)态势骤显,其他地区发展态势良好但仍处于轻度失调状态。

由测算结果数据绘制2015—2024年环渤海地区海洋生态经济脆弱性和协调性关系预测趋势,结果表明:天津市未来海洋生态经济系统脆弱性与协调性发展趋势不容乐观,其脆弱性不断上升、协调性不断下降并在2022年达到极值;山东省未来海洋生态经济系统发展态势良好,脆弱性和协调性整体向好的方向发展;辽宁省未来海洋生态经济系统脆弱性不断走高,协调性变化不大呈平稳状态;河北省未来海洋生态经济系统脆弱性呈平稳发展状态,协调性发展态势良好。

## 4 结论与讨论

(1)通过对海洋生态经济系统脆弱性与协调性的时空演变研究可以识别区域海洋经济可持续发展过程中存在的主要问题及其时空演变特征,是海洋经济可持续发展的重要基础工作。笔者在提出海洋生态经济系统及其脆弱性与协调性内涵的基础上,构建海洋生态经济系统脆弱性与协调性指标体系和评价模型,不仅完善了海洋生态经济相关研究的理论基础,还丰富了脆弱性与协调性在海洋经济领域的应用,这对于其他领域的研究也具有参考意义。

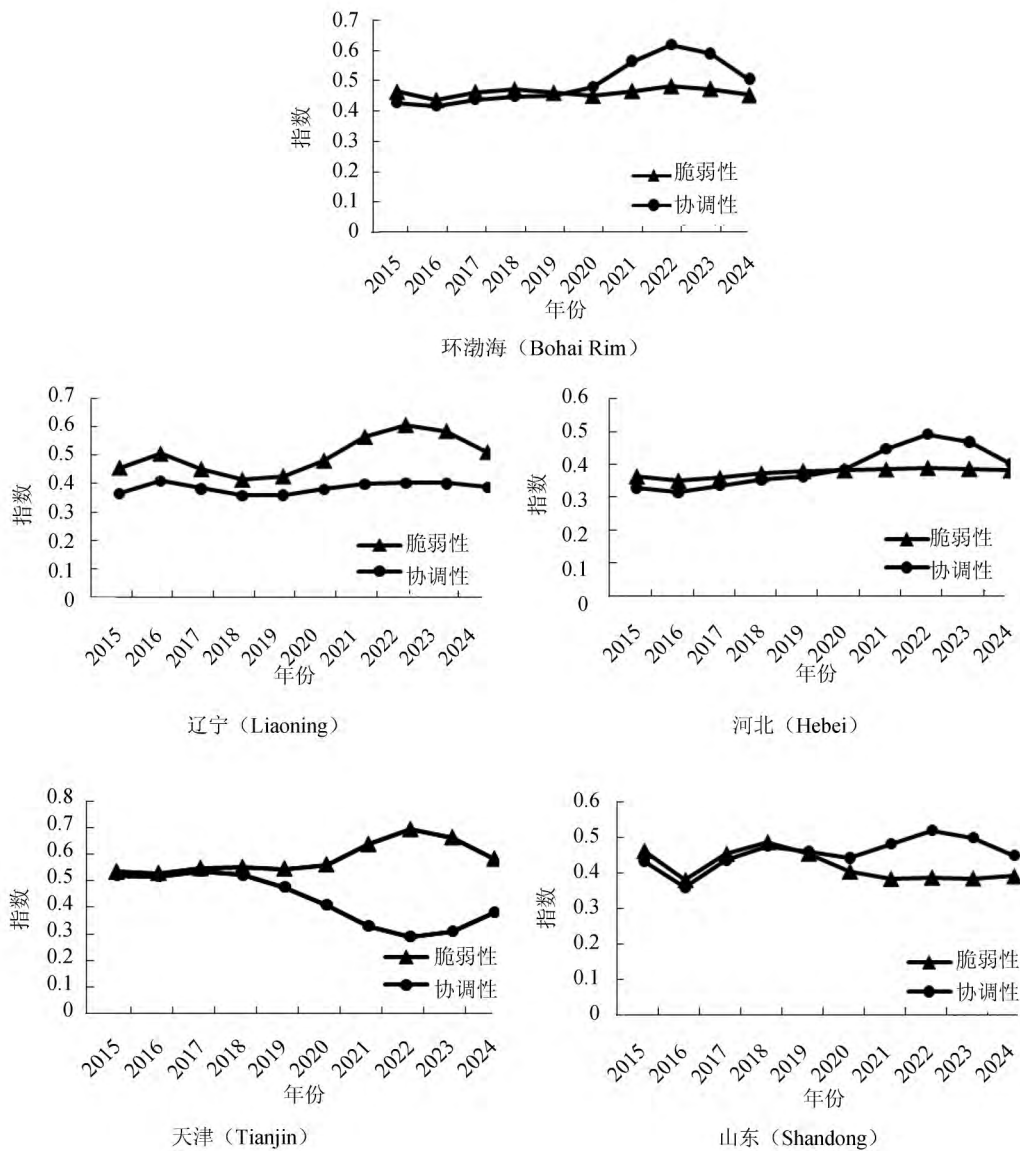


图 8 2015—2024 年环渤海地区海洋生态经济系统脆弱性和协调性演变趋势

Fig. 8 Change trend of vulnerability (a) and coordination (b) of marine eco-economic system in Bohai Rim from 2015 to 2024

(2)通过对环渤海地区海洋生态经济系统脆弱性与协调性量化研究发现:2006—2012年,①环渤海地区海洋生态经济系统脆弱性在波动中略微降低,但整体发展趋势不容乐观.海洋经济的快速发展与海洋生态环境优化之间的矛盾仍然凸显;海洋社会系统对海洋经济系统的支撑作用有待强化,对生态系统的调控作用仍未显现.②环渤海地区海洋生态经济系统协调性整体变化较小,呈轻度失调状态,其中,经济子系统与生态子系统协调度整体呈下降趋势,而经济子系统与社会子系统、生态子系统与社会子系统的协调性均呈上升态势,环渤海各地区间的内部差异也较为显著.区域经济发展方式粗放、各个子系统间结构无序等是环渤海区域部分地区海洋生态经济系统脆弱性较高、协调性较差的主要诱因.未来环渤海地区在调结构、转方式、惠民生等方面面临巨大挑战,海洋经济的发展方式应当从资源要素、投资驱动转向为创新驱动发展的新常态.因此,从国家法律法规等政策约束着手,以生态经济提质降速为契机,深化海洋生态经济优质发展.

(3)利用 BP 神经网络预测模型对海洋生态经济系统脆弱性和协调性进行预测分析,结果表明:

2015—2024年,环渤海地区海洋生态经济系统脆弱性整体呈波动态势,未来发展趋势仍不容乐观。山东省的海洋生态经济系统脆弱性逐渐降低,发展态势良好,而辽宁省、河北省、天津地区的海洋生态经济系统脆弱性仍然较高;环渤海地区海洋生态经济系统协调性整体发展态势良好。虽然BP神经网络的预测存在一定的主观性和随意性,且对于长时间序列的数据更为敏感,但从预测的结果不难看出:环渤海地区在适应经济新常态的过程中仍面临巨大压力,仍需要较长时间去调整 and 适应,调整的压力主要表现在产业结构的优化升级、各方面创新能力的提高以及体制机制的不断健全等诸多方面。因此,科技含量高、环境污染少、资源消耗低的循环经济方式应当作为未来环渤海地区海洋经济发展的新常态。

(4)在以下方面存在不足,亟须进一步研究:①海洋生态经济系统非常复杂,其脆弱性与协调性的影响因素较多,但限于海洋数据的获取、制度政策等难以量化等因素的影响,海洋生态经济系统及其子系统脆弱性的综合指标体系有待进一步深化。②中国沿海地区海洋生态经济系统脆弱性与协调性时空演变研究更有意义,结论也更为丰富,这将是未来海洋生态经济重点研究方向。

#### 参考文献:

- [1] 高乐华,高强. 海洋生态经济系统界定与构成研究[J]. 生态经济, 2012, 28(2): 62-66.
- [2] MARTINEZ M L, INTRALAWAN A, VAZQUEZ G, et al. The coasts of our world: Ecological economic and social importance [J]. *Ecological Economics*, 2007, 63(2-3): 254-272.
- [3] BEAUMONT N J, AUSTEN M C, MANGI S C, et al. Economic valuation for the conservation of marine biodiversity[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2008, 56(3): 386-396.
- [4] KILDOW J T, MCLL GORM A. The importance of estimating the contribution of the oceans to national economies[J]. *Marine Policy*, 2010, 34(3): 367-374.
- [5] REBECCA C, RICHARD Y. Global biodiversity decline of marine and freshwater fish: Across-national analysis of economic, demographic, and ecological influences[J]. *Social Science Research*, 2008, 37(4): 1310-1320.
- [6] 楼东,谷树忠,钟赛香. 中国海洋资源现状及海洋产业发展趋势分析[J]. *资源科学*, 2005, 27(5): 20-26.
- [7] 高乐华. 我国海洋生态经济系统协调发展测度与优化机制研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- [8] HOAGLAND P, JIN D. Accounting for marine economic activities in large marine ecosystems[J]. *Ocean and Coastal Management*, 2008, 51(3): 246-258.
- [9] 岳明,李敏强. 海岸带生态经济耦合系统可持续发展研究[J]. *科学管理研究*, 2008, 26(2): 65-67.
- [10] 赵月皎. 山东省海洋生态经济可持续发展评价及模式研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- [11] 陈豫,黄冬梅,杨东方. 海洋生态模型管理系统的设计与实现[J]. *海洋科学*, 2009, 33(4): 45-49.
- [12] 黎树式,林俊良. 海洋生态经济系统可持续发展研究——以钦州湾为例[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(25): 14065-14067.
- [13] GARRY W M, MURRAY G P. Ecological footprints and interdependencies of New Zealand Regions[J]. *Ecological Economics*, 2004, 50(1/2): 49-67.
- [14] DAY V, PAXINOS R, EMMETT J, et al. The marine planning framework for South Australia: A new ecosystem-based zoning policy for marine management[J]. *Marine Policy*, 2008, 32(4): 535-543.
- [15] 陈斌林,郭亚伟,贺心然,等. 连云港近岸海域环境演变与生态修复对策研究[J]. *海洋科学*, 2009, 33(6): 18-24.
- [16] 王栋. 基于能值分析的区域海洋环境经济系统可持续发展评价研究——以环渤海区域为例[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
- [17] LLORET J, RIERA V. Evolution of a mediterranean coastal zone: Human impacts on the marine environment of cape creus[J]. *Environmental Management*, 2008, 42(6): 977-988.
- [18] 高乐华,高强. 海洋生态经济系统交互胁迫关系验证及其协调度测算[J]. *资源科学*, 2012, 34(1): 173-184.
- [19] 高乐华,史磊,高强. 我国海洋生态经济系统发展状态评价及时空差异分析[J]. *国土与自然资源研究*, 2013(2): 51-55.
- [20] 高乐华,高强,史磊. 我国海洋生态经济系统协调发展模式研究[J]. *生态经济*, 2014, 30(2): 105-110.
- [21] BOHLE H G. Vulnerability and criticality: Perspectives from social geography[J]. *IHDP Update*, 2001, 2(1): 3-5.
- [22] MCCARTHY J J, CANZIANI O F, LEARY N A, et al. *Climate change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability*[M]. Cambridge: Stockholm Environment Institute(SEI), Cambridge UK: University Press, 2001.
- [23] GLP(Global Land Project). *Global land project: Science plan and implementation strategy*[R]. IGBP Re-port No. 53/ IHDP Re-port No. 19. IGBP Secretariat, Stockholm, 2005.

- [24] KATES R W, CLARK W C, CORELL R, et al. Environment and development: Sustainability science[J]. Science, 2001, 292(5517): 641-642.
- [25] BRIGUGLIO L, CORDINA G, ARRUGIA N, et al. Economic vulnerability and resilience concepts and measurements[J]. Oxford Development Studies, 2009, 37(3): 229-247.
- [26] 李博, 韩增林, 孙才志, 等. 环渤海地区人海资源环境系统脆弱性的时空分析[J]. 资源科学, 2011, 34(11): 2214-2224.
- [27] 苏飞, 张平宇. 中国区域能源安全供给脆弱性分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2008, 18(6): 94-99.
- [28] 马晓琳. 环渤海地区海洋经济产业结构优化研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2014.
- [29] 王松霏, 迟维韵. 自然资源利用与生态经济系统[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992: 25-36.
- [30] 姜学民, 徐志辉. 生态经济学通论[M]. 北京: 中国林业出版社, 1993: 60-72.
- [31] 李晓琴, 张炜熙. 海洋经济脆弱性的研究综述[J]. 海洋经济, 2014, 4(1): 44-50.
- [32] 孙平军, 修春亮. 基于 PSE 模型的矿业城市经济发展脆弱性研究[J]. 地理研究, 2011, 30(2): 301-310.
- [33] 殷培红, 方修琦. 中国粮食安全脆弱区的识别及空间分异特征[J]. 地理学报, 2008, 63(10): 1064-1072.
- [34] 陈晓红, 万鲁河. 城市化与生态环境耦合的脆弱性与协调性作用机制研究[J]. 地理科学, 2013, 33(12): 1450-1457.
- [35] 陈晓红, 吴广斌, 万鲁河. 基于 BP 的城市化与生态环境耦合脆弱性与协调性动态模拟研究——以黑龙江东部煤电化基地为例[J]. 地理科学, 2014, 34(11): 1338-1343.
- [36] 李鹤, 张平宇, 刘文新. 1990 年以来辽宁省环境与经济协调度评价[J]. 地理科学, 2007, 27(4): 486-492.

## Temporal and spatial variation and dynamic simulation of vulnerability and coordination of the marine ecological and economic system around the Bohai Sea area

FU Jie<sup>1,2</sup>, SUN Caizhi<sup>1,2</sup>, PENG Fei<sup>2</sup>

(1. College of Urban and Environmental Science, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China;

2. Center for Studies of Marine Economy and Sustainable Development, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China)

**Abstract:** The ultimate goal of studying marine ecological and economic systems' vulnerability and coordination is to help establish sustainable development of marine economies. Based on the above connotation, this paper first constructs an index system for marine economic systems, and then gives a quantitative analysis to the marine ecological and economic system's vulnerability, coordination, temporal and spatial variation from the year 2006 to 2012, also gives a dynamic simulation to this area from the year 2015 to 2024. The methods include fuzzy comprehensive evaluation, 3E coordination function and BP artificial neural networks. The findings include: (1) from 2006 to 2012, the marine ecological and economic system's vulnerability declined slightly (from severe vulnerability to moderate vulnerability) and significant spatial differentiation was found. (2) from 2006 to 2012, the marine ecological and economic system's coordination changed slightly, showing a situation of mild maladjustment. To be specific, the vulnerability between the economic subsystem and ecological subsystem continuously declined, while the vulnerabilities, both between the economic subsystem and social subsystem and between the ecological subsystem and social subsystem, increased continuously. (3) for the years from 2015 to 2024, the marine ecological and economic system's vulnerability will not be so optimistic, and be expected to maintain a moderate to severe situation, while the marine ecological and economic system's coordination will increase, showing an optimistic trend.

**Key words:** Bohai region; the marine ecological and economic system; vulnerability; coordination; BP artificial neural network