资源科学
第35卷 第1期 2013年1月 2013,35(1):21-29
Resources Science
Vol.35,No.1 Jan.,2013

文章编号:1007-7588(2013)01-0021-09

基于生物免疫学理论的海域生态承载力综合测度研究
——以辽宁省为例

狄乾斌,吴佳璐,张 洁
(辽宁师范大学海洋经济与可持续发展研究中心,大连 116029)

摘 要:本研究根据海洋生态承载力对海洋生态系统健康的作用与人体免疫力对人体健康的维系作用的相似性,利用生物免疫学原理,构建了辽宁省海域生态承载状态综合测度指标体系,并进行了辽宁省海域2000年-2009年10年间的综合测度研究。结果表明:辽宁省海域自然承载力指数和承载力潜力指数整体分别呈下降和上升趋势,但是资源环境承载力总体却是波动下降趋势;人口与社会经济发展压力指数在2000年-2005年间波动较小,2006年呈现大幅度上升,之后稍有下降,总体上后期比前期增长较多。近几年来,辽宁省海域资源环境承载力的可持续发展状态较差,需要在海洋产业结构调整、污染治理和海洋科研方面加大力度。

关键词:生物免疫学;海域生态承载力;综合测度;辽宁省

1 引言

目前,有关承载力的研究越来越受到各界重视,承载力作为资源环境可持续发展的基础已经得到大家的普遍认可,生态承载力、资源承载力、环境承载力等概念相继被提出,承载力研究已从以非人类生物种群的增长规律研究逐渐转向人类经济社会发展面临的实际问题。随着对海洋问题的重视,部分学者开始关注海域承载力问题。作为衡量海洋经济可持续发展水平的重要依据,海域承载力已经成为评判沿海人口、资源、环境与社会协调发展与否的重要标识,其核心是根据海洋资源与环境的实际承载力,确定沿海社会经济发展速度、结构及其规模,以期更好的解决沿海经济发展、资源配置与海洋生态环境承载能力之间的平衡与协调发展的问题,进而促进海洋生态系统的良性循环,实现沿海经济的可持续发展。但在目前的研究成果中,针对海洋的特殊性及其海域承载力进行系统研究的成果比较有限,主要限于海域承载力的内涵特征、评价指标与方法等方面,定性研究较多,定量研究较少,还没有能够指导海洋经济开发实践活动的可行性与实用性定量测度方法,影响了对海域承载力与海洋经济可持续发展能力的总体判断与认识。考虑到海洋生态承载力对海洋生态系统健康的作用与人体免疫力对人体健康的维系作用的相似性,本文拟借鉴生物免疫学原理构建海洋生态承载力的综合测度模型,并以辽宁省海域为例进行了实证研究。

2 生物免疫学理论与海域生态承载力

2.1 生物免疫学理论的基本内容

“免疫系统”一词最早出现在医学领域,其主要由免疫器官、免疫细胞和免疫分子等组成。传统上将免疫体系分为天然免疫和获得性免疫。天然免疫是机体先天所具备的,其防御机制多样,但缺乏免疫记忆性,对统一抗原的多刺激反应雷同。而获得性免疫是机体防御系统的另一个组成部分,对不同的抗原具有特异性和免疫记忆性,正常情况下还具有自我调节能力,能区别自我和非我[1]。免疫系统是维持人体健康的最基本组织结构,对于免疫系统达不到的修复与抵抗能力,还可通过药物结合临床治疗手段完成。免疫系统的作用主要发挥于人

收稿日期:2012-05-05;修订日期:2012-09-07
基金项目:国家自然科学基金项目(编号:41101571);教育部人文社会科学青年基金项目(10YJC790045)。
作者简介:狄乾斌,男,山东滕州人,博士、副教授,研究方向为经济地理。E-mail:dqbwmn@163.com

http://www.resci.cn
© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

体致病前的健康维系阶段，因此，主要表现为防御能力与抵抗能力。目前，免疫理论除了应用于医学领域，也出现在审计、企业管理和承载力等领域，罗欣贤[2]认为参与企业产权反应的各要素如侵权要素、识别要素和维权要素类似于生物免疫系统的入侵病原、识别细胞和杀伤细胞；刘家义[3]用免疫系统论对政府审计的本质、职能进行了新的诠释；何卫红[4]运用生物免疫系统的相关理论，整合内部控制要素，构建了基于免疫理论的内部控制框架；徐琳瑜[5]认为城市生态复合承载力的生态支持子系统的支持能力与天然免疫系统相似，而社会经济子系统的发展能力与获得性免疫系统相似。

2.2 海域生态承载力的概念及其内涵

海域承载力是一种特定的区域承载力概念，是指一定时期内，以海洋资源的可持续利用、海洋生态环境的不被破坏为原则，在符合现阶段社会文化准则的物质生活水平的条件下，通过海洋的自我调节、自我维持，海洋所能支持人口、环境和社会经济发展的能力或限度[6]。针对海岸带地区，狄乾斌等给出的承载力定义为："一定时期内，以海洋资源的可持续利用、海洋生态环境的不被破坏为原则，在符合现阶段社会文化准则的物质生活水平下，通过自我维持与自我调节，海洋能够支持人口、环境和经济协调发展的能力或限度。"[7]刘康等认为，海域承载力应包含两层含义：①海洋资源承载力，通过海洋产业发展规模来体现；②海洋环境承载力，通过海域周边社区的社会经济发展总量来表征[8]。对海域承载力概念而言，可包括海域养殖承载力、海域环境承载力、海洋环境承载力以及海岸带社会承载力等多种类型。海域承载力具有系统性、开放性、动态性和综合性等特点，因此，可以这样理解，海域资源承载力是基础，海域环境承载力是关键，生态承载力是综合。海域生态承载力是相对于生态系统的压力而存在的，在实际研究中，只有通过分析海域生态承载力与生态系统压力的相关变化情况来了解海域生态发展态势，这样的研究结果才会具有实际意义。因此，海域生态承载力应包含两层涵义，一是海域资源环境系统的支撑力和二是海域周边地区的人口社会经济系统的压力两个方面。

2.3 海域生态承载力生物免疫学理论模型

海洋及沿海生态系统经常存在着资源消耗、污染排放、环境破坏等问题，这些问题好比病菌。在一定的范围或时间内，海域生态支持子系统的自净能力会将这些"病菌"消灭殆尽。当二者的速度与强度能达到平衡时，海域生态系统便会维持正常状态，这与免疫系统所起的作用类似。然而一旦前者大于后者，则会出现环境污染、资源枯竭和生态破坏等海洋问题，单靠资源的再生能力和系统的自净能力已经于事无补。这时从外界输入资源或利用新能源，并通过环境保护建设等手段针对性地恢复生态系统的正常功能便成为更重要的防御手段。这里将极具社会特征的经济、技术和建设能力以及人类的生态环境保护意识的行为能力等统称为社会经济子系统的发展能力。因此，海域生态系统具有类似于生物免疫系统的作用机理，海域生态承载力是由生态支持子系统的支撑能力以及社会经济子系统的发展能力共同作用而成。前者与天然免疫系统相似，属于内支持力。后者受人的主观意识影响较大，且有记忆性功能，好比是获得性免疫系统，主要表现为外发展力。内支持力和外发展力共同担负着海域生态系统承载力所具有的功能，维持并推动着海域生态系统、稳定地发展。

3 海域生态承载力评价指标的建立及赋权

为了对海域生态承载力和承载状态进行合理的评估，构建一套系统全面、层次清晰、可量可比的指标体系是必不可少的工作。海洋是一个开放的系统，海域承载力有其动态性和发展性。在陆地上生活的人类已从对海洋的开发之中获取了极大的生存发展支撑，海域承载力考虑的是人海关系，是人口、资源、环境、经济等子系统，及其相互联系、相互依存、相互影响。海域生态系统的平衡是一种相对稳定的状态，海洋开发对海洋系统造成一定的压力，但是，只要在承受范围内，海洋可以通过自我调节来达到某种平衡与稳定。如果人类的活动强度超过海洋承受范围，则会破坏海洋的平衡。人类可以按照有利的方式去积极地提高海域承载力，使海域承载力稳定向前发展。

http://www.resci.net
© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

依据海域生态承载力生物免疫学理论模型,在参考城市生态系统承载力评价指标体系及相关研究基础上,本论文认为海域生态承载力综合测度指标体系是由海域资源环境承载力综合指标和社会经济发展压力综合指标两部分组成(见表1)。其中海域资源环境承载力指标表征的是海域生态系统所天然具备的、具有防御能力、类似于天然性免疫的内支持力指标,包括经济社会发展集聚程度指标、海洋资源支撑能力指标、海洋环境容量指标、整合集约水平指标和科技发展指标5个指标层和13个具体指标,反映了海域生态支持子系统对资源消耗、环境污染、经济社会发展等问题的天然免疫力以及海域生态承载力提高的潜力,由此所计算的指数亦可称为海域生态承载力潜力指数。而社会经济发展压力综合指标表征的是海域系统承受的社会经济发展所带来压力,以及同时所具备的自我保护、承接外界输入、类似于获得性免疫的外发展力指标,包括人口增长指标、经济发展指标、资源消耗指标和环境污染指标4个指标层和13个具体指标,反映了社会经济子系统对海域生态系统在生产、生活和生态方面的压力影响以及受人主观意识影响的获得性免疫能力,由此所计算的指数亦可称为社会经济发展压力指数(见表1)。同时,对于指标体系权系数的赋值的科学性直接关系到综合测度结果的合理性和对海域资源环境承载状态进行科学评价的准确性。本研究采用层次分析法(AHP)对

表1 海域生态承载状态综合测度指标体系及指标权重

Table 1 The general measuring indicator system and weighted values of marine ecological carrying capacity

系统层	准则层	指标层 C	指标层权重
资源环境承载力综合指标	集聚程度指数	人口密集度 C_1	0.0300
		产业集中度 C_2	0.0350
		城镇密集度 C_3	0.0200
		交通网络通达度 C_4	0.0150
	海洋资源支撑指数	海洋资源丰度 C_5	0.1500
		人均海域面积(万 km^2) C_6	0.1500
	海洋环境容量指数	清洁海域面积(万 km^2) C_7	0.1500
		海水纳污能力 C_8	0.1500
	整合集约水平指数	空间相互作用强度 C_9	0.0600
		海洋产业结构相似性系数 C_{10}	0.0900
	科技发展指数	工业废水排放达标率(%) C_{11}	0.0500
		环保投资占GDP比重(%) C_{12}	0.0500
		海洋科技项目数(个) C_{13}	0.0500
社会经济发展压力综合指标	人口增长指数	人口总数(人) C_{14}	0.1000
		人口自然增长率(%) C_{15}	0.0750
		人口密度(人/ km^2) C_{16}	0.0750
	经济发展指数	海洋产业产值(亿元) C_{17}	0.0625
		人均海洋产业产值(元/人) C_{18}	0.0625
		海洋第三产业比重(%) C_{19}	0.0625
		海洋产业年均增长率(kg/人) C_{20}	0.0625
	资源消耗指数	人均海洋水产品产量(kg/人) C_{21}	0.0900
		人均海洋盐业产量(kg/人) C_{22}	0.0700
		人均海洋原油产量(kg/人) C_{23}	0.0900
	环境污染指数	入海工业废水量(万t) C_{24}	0.0900
		工业固体废物排放量(万t) C_{25}	0.0700
		赤潮发生率(次/年) C_{26}	0.0900

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net
http://www.resci.cn

指标体系中的指标层指标的权系数进行确定，然后用信息论中的熵技术[9]对确定结果进行修正，最后采用专家群民主决策[10]的赋权方法具体确定综合测度指标体系中指标层指标的权系数，得到的结果见表1。

4 海域生态承载力综合测度模型

海域生态承载力是一个特殊区域资源环境承载力概念，对其理论探讨和定量测算的研究仍处于探索阶段。由于海域生态承载力影响因素的复杂性，各影响因素作用机理和作用效果的差异性，海域资源环境承载力和社会经济系统压力的综合测度模型和方法不应是一种简单的加权求和，而是应按照各影响因素作用机理和作用效果构建能充分反映各个影响因素作用程度和效果的模型与方法。由于海域生态系统具有类似于生物免疫系统的作用机理，海域生态承载力的生态支持子系统的支持能力与天然免疫系统相似，经济社会子系统的发展能力与获得性免疫系统相似。本论文借鉴徐琳瑜利用生物免疫学理论构建城市生态系统复合承载力计量模型的思路与方法，构建了能较全面反映海域生态承载力的内在功能和外在表现特征的综合测度模型，通过对海域资源环境承载力与其相对的社会经济发展压力综合测度结果的比较，进一步评判海域生态是否保持稳定或向可持续方向发展。

4.1 承载力测度模型

根据作用机理和影响程度的不同，可将海域资源环境承载力分为自然承载力和承载潜力两部分，其中，自然承载力是由海域自然系统的自身属性所决定的承载力，而承载力潜力是指由沿海地区人类社会因素影响下所获得的承载力。因此，与之相对应，海域资源环境承载力模型分为自然承载力模型和承载力潜力模型两部分，并以某种关系耦合在一起。具体计算方法如下：

自然承载力模型：

$$N=\alpha^2\cdot e^{\beta} \tag{1}$$

式中 N 为海域自然承载力指数；α 为资源消耗指数；β 为环境容量指数。

承载力潜力模型：

$$F=\mu\cdot\delta\cdot e^{Con} \tag{2}$$

式中 F 为海域承载潜力指数；μ 为科技发展指数；δ 为集聚程度指数；Con 为整合集约水平指数。

承载力耦合模型：

$$MECCC=N\cdot e^{F} \tag{3}$$

式中 $MECCC$ 为海域资源环境承载力。

4.2 人口与社会经济发展压力模型

沿海地区人口与社会经济发展对海域生态系统的压力由人口增长指数、经济发展指数、资源消耗指数、环境污染指数等因素综合作用而成，根据各影响因素的作用机理构建人口与社会经济发展压力模型如下：

$$PSEPI=[\alpha'\cdot(P+E)]^2\cdot e^{\beta'(P+E)} \tag{4}$$

式中 $PSEPI$ 为人口与社会经济压力指数；α' 为资源消耗指数；β' 为环境污染指数；P 为人口增长指数；E 为经济发展指数。

4.3 海域生态系统可持续发展状态判断

海域生态承载力是相对于人口与社会经济系统压力而存在的，只有通过分析两者的相关变化情况来了解海域发展态势，进而指导人类的行为活动，其计算结果才有实际意义。具体计算中，海域资源环境承载力与人口与社会经济发展压力归一化模型如下：

$$MECCC_{Ri}=\frac{MECCC_{Ai}-\min MECCC_{Ai}}{\max MECCC_{Ai}-\min MECCC_{Ai}} \tag{5}$$

$$PSEPI_{Ri}=\frac{PSEPI_{Ai}-\min PSEPI_{Ai}}{\max PSEPI_{Ai}-\min PSEPI_{Ai}} \tag{6}$$

式中 $MECCC_{Ri}$ 和 $MECCC_{Ai}$ 分别为某一段时间相对承载力和绝对承载力；$\min MECCC_{Ai}$ 和 $\max MECCC_{Ai}$ 分别为某一时间序列中绝对承载力的最小值和最大值；$PSEPI_{Ri}$ 和 $PSEPI_{Ai}$ 分别为相对压力和绝对压力；$\min PSEPI_{Ai}$ 和 $\max PSEPI_{Ai}$ 分别为某一时间序列中绝对压力的最小值和最大值，

在二维坐标系中取海域资源环境承载力增长率（$\Delta MECCC$）和人口与社会经济压力增长率（$\Delta PSEPI$）的夹角为 θ，以此来判断海域生态系统能否可持续发展：

（1）$\theta>0$ 时，即 $\Delta MECCC>\Delta PSEPI$ 时，海域资源环境承载力增长率大于人口与社会经济发展压力增长率，海域生态系统可持续发展；

http://www.resci.net
© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(2) $\theta=0$ 时,即 $\Delta MECCC=\Delta PSEPI$ 时,海域资源环境系统稳定,人口规模与社会经济活动强度适度;

(3) $\theta<0$ 时,即 $\Delta MECCC<\Delta PSEPI$ 时,海域资源环境承载力增长率小于人口与社会经济发展压力,如果这种模式长时间持续,压力最终远远超过承载力,海域生态系统将崩溃。

5 辽宁省海域承载力计算结果与分析

根据2001年–2010年中国海洋统计年鉴和辽宁省统计年鉴的数据进行计算,得到了综合测度指标的原始值。其中,对于人口密集度、产业集中度、城镇密集度、交通网络通达度、海水纳污能力、空间相互作用强度以及海洋产业结构相似性是参照方创琳[11]、张蓉[12]、吴传钧[13]以及乔璐璐[14]等人的研究成果计算得出。鉴于篇幅有限,便不在此一一列举。为了消除不同指标之间量纲的影响,本研究采用标准差标准化方法对两个指标体系中指标层的各个指标值进行标准化处理,其中,对指标体系中"交通网络通达度"和"海洋产业结构相似性系数"等逆向指标取其相反数表示。为消除负值,将坐标统一向右平移3个单位,得到指标标准化变换[15],然后按照指标的标准化值和指标权系数值计算指标体系指数结果,然后将指标值数值带入公式,分别计算2000年–2009年不同年份辽宁省海域资源环境承载力和人口与社会经济发展压力综合测度指数值,结果如表2、表3所示。

根据表2数据可知,过去10年间,辽宁省海域环境容量指数波动较大,后期同前期相比整体上有所降低;而海域资源支撑指数总体上是处于下降趋势,降幅比较大。集聚程度指数在2006年和2007年有减少,总体上也呈上升趋势;整合集约水平波动幅度不大,但有轻微下降;科技发展指数呈现波浪式上升趋势。与资源环境承载力分指标指数相比,辽宁沿海人口与社会经济发展压力各分指标指数中,资源消耗指数和环境污染指数总体上呈下降趋势,而人口增长指数和经济发展指数总体上呈现

表2 2000年–2009年辽宁省海域生态承载状态综合测度指标数值

Table 2 The values of genral measuring indicators of Liaoning marine ecological capacity from 2000 to 2009

年份	资源环境承载力指标					人口与社会经济发展压力指标			
	集聚程度指数	资源支撑指数	环境容量指数	整合水平指数	科技发展指数	人口发展指数	经济增长指数	资源消耗指数	环境污染指数
2000	0.1903	1.3068	0.9797	0.4832	0.3726	0.6911	0.5181	0.8814	0.7950
2001	0.2042	1.2530	1.2149	0.5161	0.2504	0.5687	0.4696	0.8797	0.7597
2002	0.2240	1.1737	0.7775	0.5304	0.4232	0.6265	0.5772	0.8257	0.7090
2003	0.2630	1.0261	1.1395	0.4065	0.4318	0.5352	0.6442	0.5886	0.7005
2004	0.2723	0.9634	0.5148	0.3943	0.4763	0.6276	0.8759	0.6768	0.7477
2005	0.3598	0.8707	0.8836	0.4319	0.5237	0.7551	0.6913	0.6944	0.8327
2006	0.3288	0.7545	0.9093	0.4322	0.5553	0.8653	0.9362	0.7245	0.8981
2007	0.3217	0.6427	0.7746	0.4280	0.4342	0.9577	0.8899	0.6745	0.7687
2008	0.3862	0.5784	0.9009	0.4569	0.4468	0.9392	0.9294	0.8226	0.6220
2009	0.4496	0.4307	0.9052	0.4204	0.5857	0.9335	0.9682	0.7319	0.6665

表3 2000年–2009年辽宁省海域资源环境承载力和人口与社会经济发展压力综合测度指数

Table 3 The general measuring index values of Liaoning marine resources and environemnt carrying capacity and population and economic development pressure from 2000 to 2009

综合测度指数 年份	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
自然承载力	4.5489	5.2909	2.9975	3.2906	1.5532	1.8341	1.4134	0.8963	0.8235	0.4586
承载力潜力	0.1149	0.0857	0.1611	0.1706	0.1923	0.2902	0.2813	0.2143	0.2726	0.4010
资源环境承载力	5.1030	5.7643	3.5216	3.9026	1.8826	2.4516	1.8726	1.1105	1.0815	0.6848
经济社会发展压力	2.9706	1.8359	2.3189	1.1010	3.1872	3.3641	8.5896	6.4274	7.5540	6.8804

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net
http://www.resci.cn

上升趋势。

将表3中的自然承载力指数、承载潜力指数按照模糊隶属度函数模型分别计算模糊隶属度函数值，并绘制各年份相对变化趋势图(图1–图4)。

由图1–图3可知，辽宁省海域资源环境承载力指数和资源环境承载力潜力指数整体分别呈下降和上升趋势，但是资源环境承载力总体却呈现波动下降趋势，这主要是因为资源环境承载力中起主导作用的资源支撑指数和环境容量指数总体上是下降的，而承载潜力指数上升有限。一方面，影响资源支撑指数的海洋资源丰度和人均海域面积都处于逐年减少状态，其中，海洋资源丰度减少得最为严重，2009年辽宁省的海洋资源丰度仅为2000年的19.4%。影响环境容量指数的海水纳污能力和清洁海域面积也处于下降趋势，相比2000年，2009年辽宁省的清洁海域面积和海水纳污能力分别减少2.61%和1.56%，以上因素导致了海洋自然承载力的下降。另一方面，影响承载力潜力的集聚程度指数和科技发展指数分别处于逐年上升和波动上升状态，这主要取决于辽宁省社会经济的发展、海洋科学技术的进步和海洋保护意识的增强。然而，资源支撑指数的较大幅度下降使得即便有承载潜力的支撑作用，但并不能改变自然承载力的下降势头，进而出现辽宁省海域资源环境承载力的下降。由图4可以看出，人口与社会经济发展压力指数在2000年–2005年间波动较小，2006年呈现大幅度上升，之后稍有下降，总体上后期比前期增长较多。

根据表2数据，分别计算辽宁省海域资源环境承载力和人口与社会经济发展压力年际变化率，并通过比较两者大小判断辽宁省海域不同年份的可持续状态，结果如表4所示。对于资源环境承载力，测度值越大表示资源环境系统的支撑能力越高，测度值越小，表明支撑能力越低；对人口与社会经济系统压力，测度值越高，表示系统所受的压力越大。根据前文分析，关于承载力与压力的相应关系，当 $\Delta MECCC > \Delta PSEPI$ 时，$\theta > 0$；当 $\Delta MECCC = \Delta PSEPI$ 时，$\theta = 0$；当 $\Delta MECCC < \Delta PSEPI$ 时，$\theta < 0$。以此判断海域生态系统的可持续发展状

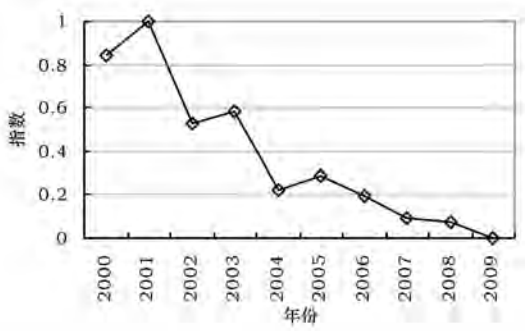

图1 自然承载力指数动态变化

Fig.1 The dynamic change of natural carrying capacity index

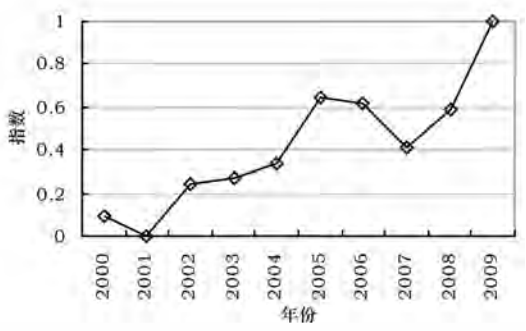

图2 承载力潜力指数动态变化

Fig.2 The dynamic change of potential carrying capacity index

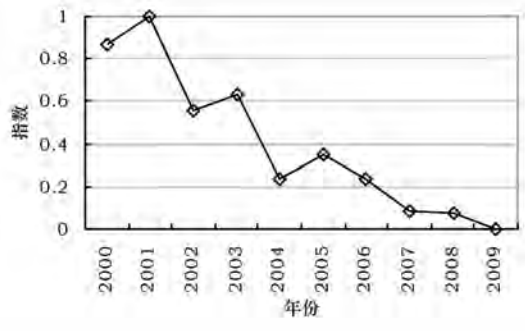

图3 资源环境承载力指数动态变化

Fig.3 The dynamic change of general carrying capacity index

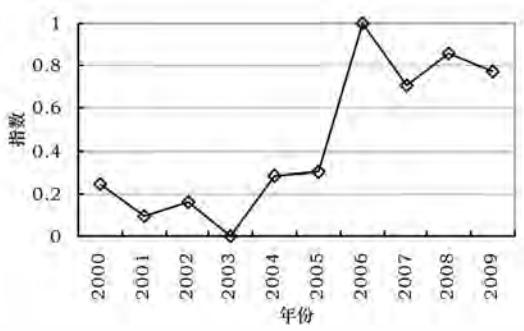

图4 经济社会发展压力指数动态变化

Fig.4 The dynamic change of population and economic evelopment pressure

http://www.resci.net
© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表4 辽宁省海域可持续发展状态评价

Table 4 The evaluation of sustainable development state of Liaoning marine area

	△*RECCC*	△*PSEPI*	θ	可持续发展状态
2000	–	–	–	–
2001	0.1296	–0.3820	+	良好
2002	–0.3891	0.2631	–	较差
2003	0.1082	–0.5252	+	良好
2004	–0.5176	1.8949	–	较差
2005	0.3023	0.0555	+	良好
2006	–0.2362	1.5533	–	较差
2007	–0.4069	–0.2517	–	较差
2008	–0.0261	0.1753	–	较差
2009	–0.3668	–0.0892	–	较差

态。根据表4中θ的正负情况判断,辽宁省海域除2001年、2003年和2005年的可持续发展状态良好外,其它年份承载力的变化率均小于压力的变化率,可持续发展状态较差。尤其是2006年以来承载力的变化率持续小于压力的年际变化率,天然免疫即海域资源环境支持子系统的支持能力和获得性免疫即社会经济子系统的发展力的协调配合出现了问题,资源环境子系统的天然免疫虽然具有作用迅速,并可以通过多种途径和机制来保护自己免受有害物质的侵袭的特点,然而由于此间入侵的病原体即对海洋产生极具破坏的污染和资源过度开发早已对海洋机体产生严重侵害,获得性免疫即社会经济子系统对海洋环境的保护和恢复措施的反应过程较长,使得天然免疫和获得性免疫发挥的作用不及时,即海洋的防御和恢复能力远落后于外界对海洋的破坏力。作为限制因子的经济社会发展压力逐渐占据有利生态位,使得系统发展停滞,辽宁省海域的可持续发展状态形式严峻。究其原因,可以从以下几个方面分析:

(1)辽宁省海洋经济的迅速发展。从2000年到2009年,辽宁省海洋经济总产值由326.58亿元增加到2281.2亿元,平均增速达到24.1%,辽宁省海洋第三产业的比重从2000年的18.0%上升至2009年的42.4%,其中在2004年的增幅最大,比2003年增长了15.1%。随着第三产业比重的增加,对海洋资源有较大依存度的海洋第一产业比重的降低也在一定程度上缓解了辽宁海洋资源的压力。经济结构的调整在降低了对环境的压力的同时也提高了资源的利用效率。近几年,对海洋的固体废弃物及废水排放总量也处于波动下降趋势,这对辽宁省海域生态系统的可持续发展都产生了积极的作用。

(2)近海产业缺乏保护意识,资源开发利用不合理。辽宁是中国海岸线较长的省份,然而,由于人为海岸工程建设对岸线的改造及海岸侵蚀等原因,辽宁海岸线的长度由2000年的2017km,目前已缩减到不足2000km。近海捕捞业在短利驱动下的盲目发展大大超过了海洋生物的繁殖更新能力,导致渔业资源严重衰退,部分海洋珍稀物种消失殆尽;一些沿海工程以及沿海产业的开发利用不合理,工业废水、生活污水,海上作业的各种渔船、运输船的油污染,极大影响了浅海水域的环境质量,使得海岸生态系统遭到破坏,辽宁滨海湿地锐减。资源的减少以及环境的破坏对于辽宁省海洋经济的发展是极为不利的,辽宁海域生态系统的可持续发展状态也令人堪忧。

(3)海洋环保产业投入比重低。辽宁省海洋产业十多年来迅速发展,经济的飞速发展必然带来污染的加剧和环境质量的下降,唯有在节能环保方面下大力度才能有效地减少海域生态环境的污染成本。“十一五”期间,辽宁省政府先后制定和实施了《辽宁省海洋经济发展“十一五”规划》、《辽宁省碧海行动“十一五”计划》以及《辽宁省海洋保护区建设规划》,并积极开展入海排污口普查以及加大赤潮监控区监测密度,这些规划的实施和行动的采取都表明了辽宁省各级政府保护海洋的决心,但政府的决心的背后还需要公众的支持以及海洋从业人员对海洋保护意识的提升。然而,辽宁省的环保投入却一直徘徊往复,进展缓慢,2000年环保投资占GDP的比重为1.46%,仅有2003年、2005年和2006年三年达到2%以上,2009年的环保投资比重仅为1.59%。在巨大的GDP面前,这样数额的环保投资实在少的可怜。同时,面对海域生态系统的自然承载力急剧下降的现状,人科技类的发展对海洋承载潜力的提升的作用也显得力不从心。

6 结论与讨论

(1)本研究参考相关研究成果,建立了辽宁省

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net
http://www.resci.cn

海域承载力评价指标体系，并根据熵技术以及层次分析法对各指标层指标赋予不同权重，最后利用生物免疫学理论模型，构建了辽宁省海域生态系统承载状态的综合测度模型，并计算了辽宁省2000年–2009年间的海域承载状态。结果表明：辽宁省海域生态承载力的处于下降趋势，其经济社会发展压力在波动中上升，其中在2006年的上升幅度最大，主要是该年的社会经济快速增长，项目投资力度加大，相比污染排放也较往年有明显增加，这与“十一五”规划的开启年有很大关系。“十一五”规划期间，国家对东北老工业基地振兴的关注以及辽宁沿海经济带上升为国家战略，辽宁省的经济能力有了跨越式提高，也使生态环境有了一定的改善，即海洋生态系统的获得性免疫能力有了一定的提高。但是环境改善的力度远慢于社会经济发展的速度，海域污染的加重，海洋资源的过渡开发利用，海洋的天然免疫和获得性免疫的防御和恢复能力不及外界对海洋的破坏力大，导致了辽宁海域生态承载力的逐年下降，这对未来辽宁省海域的可持续利用极为不利，因此，辽宁省在产业结构调整、海洋环境保护以及海洋科学研究和应用技术方面应加大投入力度，刻不容缓。

（2）目前，尚未有学者将生物免疫系统应用到海域生态承载力研究中来，笔者的应用尚属首次，鉴于资料和数据的有限，一些评价指标的选取存在一定的不完备性，有待于在以后的研究中进一步丰富。但将天然性免疫和获得性免疫应用到海域生态承载力中来，开阔了海域生态承载力的新视野。第一，在指标体系构建上，目前对海域承载力的研究较少，主要是将海域承载力分为压力指标和承压指标，其中承压指标的划分比较粗糙，而生物免疫学原理将指标体系划分为天然性免疫、获得性免疫和破坏力，即抵御力、恢复力和压力三个方面，将承压力分为抵御力和恢复力两个方面，更深刻、细致地讨论了海域承载力的划分；第二，针对目前海域生态承载力研究的重点主要放在承载力指数的计算上，对于相关社会经济发展的问题研究和政府政策制定的建议相对较少，笔者从生物免疫学原理出发，通过分析海洋天然性免疫和获得性免疫之间的协同作用原理，了解海洋生态系统的健康状态，找出病菌和胁迫因子，制定获得性免疫应答，有针对性地通过生态环境建设等手段恢复海域生态子系统的重要功能，将人类活动的反馈作用更加深刻地反映到承载力中来，这样的评价结果可信度更高，具有一定的应用和推广价值。

参考文献（References）：

[1] 刘红，余雨生. 免疫系统的现代概念（上）[J]. 肾脏病与透析肾移植杂志，2001（1）:53–57.

[2] 罗欣贤. 基于免疫视角的企业产权安全反应模型[J]. 中南财经政法大学学报，2007，（2）:116–122.

[3] 刘家义. 全国审计工作会议报告[J]. 审计研究，2009（1）:3–11.

[4] 何卫红. 基于免疫理论的内部控制实施与评价框架[J]. 现代经济探讨，2011，（6）:45–48.

[5] 徐琳瑜，杨志峰. 城市生态系统承载力[M]. 北京：北京师范大学出版社，2011.

[6] 刘容子，吴珊珊. 环渤海地区海洋资源对经济发展的承载力研究[M]. 北京：科学出版社，2009.

[7] 狄乾斌，韩增林，刘楷. 海域承载力研究的若干问题[J]. 地理与地理信息科学，2004，20（5）:50–53.

[8] 刘康，韩立民. 海域承载力本质及内在关系探析[J]. 太平洋学报，2008，（9）:69–75.

[9] 方创琳，毛汉英. 区域发展规划指标体系建立方法探讨[J]. 地理学报，1999，54（5）:410–419.

[10] 刘晓丽，班茂盛，宋吉涛，等.城镇土地集约利用与转变增长方式综合评价研究—以北京市海淀区北部新区为例[J]. 地理科学进展，2007，（5）: 65–76.

[11] 方创琳，祁巍锋，宋吉涛. 中国城市群紧凑度的综合测度分析[J]. 地理学报，2008，63（10）:1011–1021.

[12] 张蓉. 江苏省产业集聚与产业竞争力关系研究[D]. 南京：南京航空航天大学，2007.

[13] 吴传均，刘健一，甘国辉. 现代经济地理学[M]. 南京：江苏教育出版社，1997.

[14] 乔璐璐，刘容子，鲍献文等. 经济增长下的渤海环境容量预测[J]. 中国人口·资源与环境，2008，18（2）:76–81.

[15] 郭显光. 改进的熵值法及其在经济效益评价中的应用[J]. 系统工程理论与实践，1998，18（12）: 98–102.

http://www.resci.net
© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

General Measurement of Marine Ecological Carrying Capacity and Biological Immunology : A Case Study in Liaoning Province

DI Qianbin, WU Jialu, ZHANG Jie

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

Abstract: Research on carrying capacity, regarded as the basis for the sustainable development of resources and the environment, is gaining more and more attention. With the growing popularity of marine issues, scholars are following the field of marine carrying capacity closely. Studies on marine carrying capacity are instrumental in planning economic development of coastal regions; however, most research findings are quantitative rather than qualitative. Because of the role of marine ecological carrying capacity in marine ecosystems is similar to the role of the human immune system in human health, we introduce a model of biological immunology using the Liaoning marine system as a case study. Numerical models such as entropy, discriminant models of sustainable development and fuzzy membership functions were used to calculate related index values. Results show that from 2000-2009 the natural carrying capacity index increased and the potential capacity index decreased, while overall carrying capacity experienced a floating decline. From 2000-2005 the pressure index of population and economic development was relatively stable, but after 2006 it encountered a sharp rise and then declined slightly with a general rise. Rates of change between marine resources and environmental carrying capacity and economic and social development pressures showed that Liaoning marine ecological carrying capacity does not have a favorable sustainable development state (except in the years 2001, 2003 and 2005); for four consecutive years (2006-2009) the sustainable development state of the marine ecosystem was unfavorable. Liaoning governments at all levels developed marine protection plans during the Eleventh Five-Year Plan period, but the decline in marine ecological carrying capacity highlights real-world contradictions. Under the temptation of GDP growth and short-term interests, many people involved in marine industries exploited marine resources at the cost of marine environment integrity. To sustainably use marine resources, more attention is needed on marine industrial structural adjustment, pollution control and marine technology. To our knowledge, this is the first time that the theory of the biological immune system has been applied to marine ecological carrying capacity. This conceptual model will broaden the field of vision and means that human activities are better reflected in marine ecological carrying capacity calculations.

Key words: Biological immunology; Marine ecology; Carrying capacity; Liaoning Province

http://www.resci.cn
© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net