

DOI: 10.5846/stxb202105141269

李京梅, 韩然然, 许志华. 海洋生物多样性损害与沿海地区经济增长关系实证研究. 生态学报, 2022, 42(11): 4665-4675.

Li J M, Han R R, Xu Z H. Empirical research on the relationship between marine biodiversity damage and economic growth in coastal areas, China. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(11): 4665-4675.

海洋生物多样性损害与沿海地区经济增长关系实证研究

李京梅^{1,2}, 韩然然^{3,*}, 许志华¹

1 中国海洋大学经济学院, 青岛 266100

2 中国海洋大学海洋发展研究院, 青岛 266100

3 合肥工业大学经济学院, 合肥 230601

摘要: 海洋生物多样性是海洋生态系统服务的基础, 保护海洋生物多样性不仅对维持地球生态系统的功能至关重要, 也与人类福祉密切相关。基于沿海 11 个省区生态系统亚健康程度指标和物种多样性损害指标, 运用面板回归模型对中国沿海地区经济增长与海洋生物多样性损害的关系进行实证考察。研究结果表明: (1) 海洋生态系统亚健康程度与沿海地区经济增长之间存在显著的线性关系, 随着经济增长, 典型海洋生态系统亚健康状态占比呈现出持续上升趋势。此外, 实施排污费制度和建立海洋自然保护区有利于抑制海洋生态系统的恶化。(2) 海洋物种多样性损害与沿海地区经济增长之间存在显著“倒 U”型关系, 随着经济增长, 海洋物种多样性损害呈现先上升后下降的态势, 转折点为人均 GDP 45145 元, 目前海南省、广西壮族自治区、河北省未跨过转折点。此外, 排污费制度有利于抑制海洋物种多样性损害, 而沿海地区目前的产业结构加重了海洋物种多样性损害。根据实证分析结果, 海洋生态系统健康尚未出现拐点, 沿海地区经济增长如果建立在对生态环境破坏的基础上, 则势必会造成生物多样性的损害。因此从规范海域利用方式, 完善海岸生态保护红线划定, 加强生态系统的监测与管理, 保持绿色可持续发展的经济发展方式, 引导沿海城市紧凑发展等方面提出保护和管理海洋生物多样性的建议。

关键词: 经济增长; 物种多样性; 海洋生态系统; 环境库兹涅茨假说

Empirical research on the relationship between marine biodiversity damage and economic growth in coastal areas, China

LI Jingmei^{1,2}, HAN Ranran^{3,*}, XU Zhihua¹

1 College of Economics, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

2 Institute of Marine Development, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

3 College of Economics, Hefei University of Technology, Hefei 230601, China

Abstract: Marine biodiversity is fundamental to the provision of Marine ecosystem services. Protecting Marine biodiversity is not only essential to the functioning of the earth's ecosystems, but also closely related to human well-being. Based on the indicators of Marine ecosystem health and species diversity damage in China's coastal provinces, this paper use panel regression model to analyze the relationship between economic growth and Marine biodiversity damage in China's coastal areas. The results showed that: (1) there is a significant linear relationship between the sub-health degree of Marine ecosystems and the economic growth in coastal areas. With the economic growth, the sub-health status of typical Marine ecosystems has a continuous upward trend. In addition, the implementation of pollution charge system and the establishment

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(16ZDA049)

收稿日期: 2021-05-14; 网络出版日期: 2022-02-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: acjyhr@163.com

of Marine nature reserves are conducive to suppress the deterioration of Marine ecosystem. (2) There is an inverted U-shaped relationship between the damage of Marine species diversity and the economic growth of coastal areas. The turning point was 45,145 yuan per capita GDP. With economic growth, the damage of Marine species diversity increase first and then decrease. From the perspective of time trajectory, the inflection point of species diversity damage corresponds to the time stage from 2009 to 2010. From the perspective of spatial distribution, Hainan province, Guangxi Zhuang Autonomous Region and Hebei Province are still in the rising part of the curve, The economic growth level of Shandong, Liaoning, Shanghai, Zhejiang, Tianjin, Jiangsu, Guangdong and Fujian provinces has passed the inflection point value, those provinces are in the curve decline stage. The pollution charge system is beneficial to suppress the Marine species diversity damage, but the current industrial structure in coastal areas aggravate the Marine species diversity damage. According to the results of empirical analysis, we know that if the economic growth is based on the destruction of the ecological environment, it is bound to cause damage to biodiversity. Even though there is an inverted U-shaped relationship between Marine species diversity and economic growth in coastal areas, there is still no inflection point between economic growth and Marine ecosystem health, so the sub-health of Marine ecosystem may further lead to the loss of Marine biodiversity, forming a vicious circle. some suggestions are put forward to protect and manage Marine biodiversity: (1) we should strengthen biodiversity protection, broaden the ways of Marine biodiversity protection, and ensure the diversity of Marine biodiversity protection methods; (2) we should maintain a green and sustainable pattern of economic development and promote industrial restructuring and upgrading. meanwhile, we should guide the smart growth of coastal areas and prevent the occupation of coastal wetlands and large-scale reclamation of land due to blind pursuit of economic growth.

Key Words: economic growth; marine species diversity; marine ecosystems; environmental Kuznets curve

生物多样性及其提供的一系列生态服务是全球经济和人类福祉的基石。海洋生物多样性作为生物多样性的重要组成部分,也已经成为人类生存与可持续发展不可或缺的物质基础和实现条件之一^[1]。维护海洋生物多样性不仅对调节全球生态系统的功能至关重要,而且与人类的生存发展密切相关。然而,21 世纪以来全球海洋生物多样性面临持续丧失的重大危机,世界自然基金会《地球生命力报告 2018》的数据显示,1970—2014 年期间全球鱼类、两栖类等动物种群数量已经减少了 60%,海洋物种的种群数量减少过半^[2]。中国作为亚太地区生物物种最丰富的国家,同样面临海洋生物多样性日益下降的压力。中国滨海湿地、红树林等重要自然栖息地日渐破碎化,中华白海豚、文昌鱼等大量海洋物种正在以前所未有的速度消失^[3]。《生态系统与生物多样性经济学》(The Economics of Ecosystems and Biodiversity,TEEB)指出,众多影响因素中,经济增长是加速生物多样性丧失的关键性因素^[4]。近年来,中国沿海地区进入高速的经济增长阶段,沿海地区经济社会活动强度的变化,尤其是沿海城市化进程的加快,人口的迅速膨胀,大量临港产业的布局,滨海旅游娱乐产业的兴起等使得海洋资源的需求扩张、沿岸废水以及固体排放物增加^[5],进而导致海洋生物栖息地的破坏以及海洋生物资源的缩减。那么,中国沿海地区经济增长与海洋生物多样性损害存在什么样的关系?线性关系、“倒 U”关系抑或是其它类型的关系?今后应该如何有效实现经济增长与生物多样性保护的“双赢”目标?这些无疑是沿海地区经济与生态协调发展战略推进中亟需关注的命题。

21 世纪初,国外有学者开始研究生物多样性损害(或生物多样性)与经济增长的关系,研究领域涵盖生态系统和具体生物种群两个层面。在生态系统层面,Mills 等^[6]采用空间回归分析 35 个热带国家人均收入与雨林生物种群破坏的关系,认为两者间存在“倒 U”型关系,即随着人均收入增长,雨林生物种群损失率先增加后减少;Dietz 等^[7]分析了全球热带雨林生态系统内的物种变化,结果表明收入和雨林内生物多样性损失率的关系不存在“倒 U”型趋势,但未能确定准确的关系形式,同时表明保护栖息地和管制濒危物种贸易是保护生物多样性的两个重要手段;Clausen^[8]借助全球 102 个国家的平均营养级(MTL)作为海洋生物多样性的衡量指标,结果显示如果仅考虑平均营养级,海洋生物多样性损害与人均收入水平存在“倒 U”型关系;Ajanaku

等^[9]以非洲森林为研究对象,分析发现砍伐率与经济增长存在“倒 U”型关系,并指出采用适当的土地使用政策和林产品贸易政策可以减少森林生物多样性损害。在具体物种种群层面,学者研究鱼类种群和鸟类种群生物多样性损害与经济增长的关系:Clausen^[10]针对全球海洋和淡水鱼类变化建立负二项回归模型,检验得出经济增长与鱼类物种受到威胁的可能性存在正向的线性关系,经济的进一步增长会加剧鱼类生物多样性危机;Pandit 等^[11]研究发现随着各国人均收入的增加,鸟类濒危物种占比呈现出先上升后下降的“倒 U”型趋势;Strong 等^[12]使用香农指数测算鸟类生物多样性,指出在美国鸟类生物多样性与经济增长之间呈现出一种低弯度的“倒 N 型”形态,随着经济增长,香农指数会呈现出先下降再上升最终下降的趋势,不能仅仅依靠经济增长来扭转鸟类的生物多样性恶化。

近年来,中国海洋经济发展迅猛,给海洋生物多样性带来巨大压力。国内学者开始使用经济学分析工具开展海洋生物多样性保护研究,主要成果集中在海洋生物多样性的价值评估方面。例如,王丽^[13]、郝林华^[14]、李京梅^[15]采用条件价值法分别对福建省罗源湾、海南省三亚、福建省平潭的海洋生物多样性价值进行评估,并梳理了影响居民支付意愿的主要因素。此外,还有学者对中国海洋生态环境与经济增长的关系进行了探讨。王印红^[16]选取劣于第四类水质海域面积、亚健康生态系统占比等四个典型海洋环境指标,系统估算中国海洋环境拐点与经济发展水平之间的关系。本文认为,我们不仅要证明生物多样性对人类生命支撑系统的价值,而且要能够更清晰地认识到经济增长和生物多样性变化以及变化的规律和轨迹,为生物多样性保护提供全面而有说服力的依据。本文基于 2006—2015 年 11 个沿海省市省际数据构建面板回归模型,从生态系统健康和物种多样性两个层面系统探究中国沿海地区经济增长与海洋生物多样性损害之间的关系与演变轨迹。

1 研究方法

科学衡量海洋生物多样性损害是本文研究的重难点。然而依据生态系统健康状态的变化,不能直观反映海洋生物物种的损害情况;单纯计算物种多样性变化,忽略了海洋生态系统的整体性。因此,在衡量生物多样性损害时必须综合考虑生态系统变化和物种变化两方面因素。为此,本文首先详细选取并度量海洋生物多样性损害的指标,接着构建环境库兹涅茨模型分析经济增长与海洋生物多样性损害的关系,具体研究思路与步骤见图 1。

2 模型设置

2.1 模型设定

借助环境库兹涅茨 (Environmental Kuznets Curve, EKC) 假说^[17],构建以海洋生物多样性损害作为被解释变量,以经济增长作为主要解释变量的回归模型,分析沿海地区经济增长与海洋生物多样性损害的内在关系。进一步参照 Shafik 的设定形式^[18],将回归方程表示为三次项形式:

$$MAR_{it} = \alpha_i + \chi_t + \beta_0 + \beta_1 \ln GDP_{it} + \beta_2 (\ln GDP_{it})^2 + \beta_3 (\ln GDP_{it})^3 + \beta_4 \gamma_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中, MAR_{it} 表示 i 省市在第 t 年的海洋生物多样性损害指数, GDP_{it} 表示第 i 省市在第 t 年的人均 GDP。 γ_{it} 表示其他控制变量, α_i 表示个体效应, χ_t 表示时间效应,

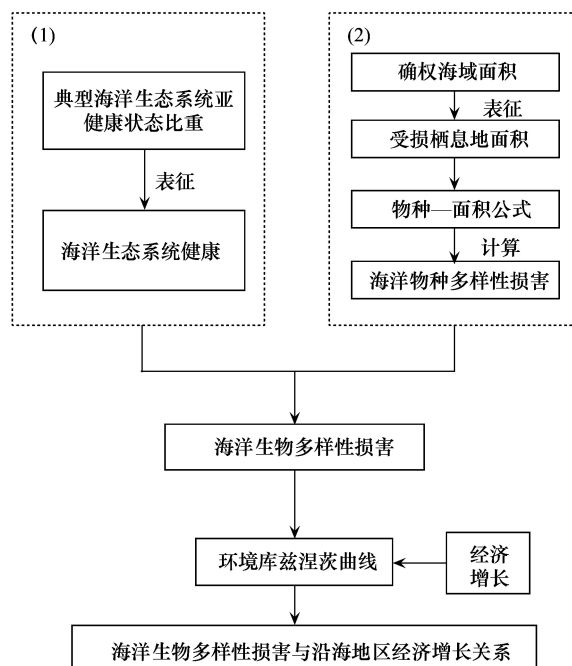


图 1 海洋生物多样性损害与经济增长关系研究流程图

Fig.1 The flowchart of relationship between Marine biodiversity damage and economic growth

ε_{ii} 表示随机误差项。

2.2 变量说明

2.2.1 海洋生物多样性损害指标

《生物多样性公约》(CBD)指出,生物多样性是指包括陆地、海洋和其他水生生态系统以及作为其中一部分的生态综合体在内所有来源的生物有机体之间的变化性,可以划分为遗传多样性、物种多样性和生态系统多样性三个层次^[19]。海洋是生物多样性的宝库,分布着浮游植物、浮游动物、底栖生物等众多生物种群,但是由于监测难度大,各类海洋物种种群的长期数据不可获,难以对具体的海洋生物种群进行分析。此处选取物种面积和生态系统健康作为海洋生物多样性的表征变量,论证分析海洋生物多样性损害与经济增长之间的关系。

(1)海洋生态系统健康。生态系统是生物多样性的组成部分,两者是统一的整体。当一个自然生态系统被破坏或消灭后,其中的物种赖以生存的条件也就随之恶化^[20]。海洋生态系统健康(Marine Ecosystem Health, MEH)是指海洋生态系统内部的自然健康状态,可以综合反映生态功能的变化、系统的组成结构以及生态系统的完整性^[21]。当海洋生态系统处于亚健康或不健康状态时,生态压力超出生态系统的承载能力,生态系统内生物多样性以及生态系统结构发生变化。我国沿海典型的海洋生态系统包括河口、海湾、滩涂湿地、珊瑚礁、红树林和海草床等,海洋生态系统出现亚健康状态,海洋物种的生物多样性必然遭受损害。典型海洋生态系统亚健康状态比重可以有效衡量典型海洋生态系统的亚健康程度,本文采用典型海洋生态系统亚健康状态比重作为生物多样性损害的衡量指标之一。

(2)物种多样性损害。借鉴 Dietz 和 Mills 的研究成果,使用物种-面积公式测算物种数量损失比例,以此作为衡量物种多样性损害的指标,有效剔除了生物种群自身新陈代谢、繁殖发育等自然因素以及气候变化和外来物种入侵等其它因素的影响。物种-面积公式反映了生物栖息地面积与物种数量之间的联系,即随着栖息地面积的扩大,该地区物种数量一般也会随之增多;随着栖息地面积的缩减,该地区物种数量一般也会随之减少。具体的表达形式见式(2)。

$$S_t(i) = cA_t^z(i) \quad (2)$$

式中, $S_t(i)$ 指 i 地区在第 t 年的物种数量; $A_t(i)$ 指 i 地区在第 t 年的生物栖息地面积; c 、 z 为常数。物种多样性的损害表现为生物栖息地面积减少引起的物种数量减少。

引入变量 $S_0(i)$ 、 $A_0(i)$ 分别作为基准年份物种损害数量和栖息地损失面积,假设 $\varphi(i, t)$ 为物种数量损失比例的函数,则:

$$\varphi(i, t) = \frac{S_t(i)}{S_0(i)} = \left(\frac{A_t(i)}{A_0(i)} \right)^z \quad (3)$$

式中, z 值描述了物种数量随着栖息地面积变动而增减的程度,将显著影响物种多样性损害结果。参照 Rosenzweig 的研究,确定 z 值为 0.25^[22]。考虑到数据可获性,本文选取 2002 年作为基准年,2002 年的物种数量即为基准物种数量。此外,为了防止数据聚类和规范数据量纲,将上述所得结果扩大一千倍。则物种数量损失比例的计算公式为:

$$\bar{\varphi}(i, t) = \frac{S_t(i)}{S_{2002}(i)} \times 1000 = \left(\frac{A_t(i)}{A_{2002}(i)} \right)^{0.25} \times 1000 \quad (4)$$

依照式(4)计算物种数量损失程度,必须确定受损的栖息地面积 $A_t(i)$ 。由于海洋生物栖息环境具有随机性、难以监测等特点,无法准确获取受损海洋生物栖息地面积的数据序列,这就给海洋物种多样性损害的估算带来困难。本文选取确权海域使用面积衡量受损的栖息地面积。海域是指海洋中区域性的立体空间,从存在的形态上来看,海域是由水面、水体、海床和底土四部分组成的一个有机整体^[23],同时具有自然、社会、经济等各种属性。从生态角度出发,海域可以定义为海洋生物物种的载体。根据《千年生态系统评估》(The Millennium Ecosystem Assessment, MA),由滨海湿地、红树林、珊瑚礁等众多海洋生态系统构成的海域具有提

供生境的功能,这表明海域是海洋野生动植物物种生存生长的场所,是海洋生物的自然栖息地^[24]。从管理角度出发,海域同时具有经济属性,是开展海洋渔业、海洋工业、海洋运输以及娱乐休闲等生产生活活动,获得经济利益的空间。根据《海域使用管理公报》,海域的用海方式包括填海造地、构筑物、围海和开放式等,这些方式改变了海域的自然属性,侵害了海洋生物的栖息空间,是造成海洋生物多样性变化的主要压力源。据统计,1950—2000年,围垦和填海导致全国滨海湿地消失一半^[25],已经成为近海生物栖息地面积减少的主要原因^[26]。构筑物等用海方式也对海洋生物的生存环境造成扰动,例如,建筑物建设以及船舶行驶会排放重金属、有机合成物等污染,严重侵害海洋生物的栖息环境^[27]。海域内人类的生产活动与海洋生物的生存会产生冲突,被人类活动占用的海域,同时也是海洋生物会受到损害的海域。因此本文使用海域面积的变化表征海洋物种多样性的变化。

2.2.2 经济增长

人均收入通常作为反映经济增长的代理变量,是描述经济增长和生态环境关系不可或缺的解释变量^[28]。本文采用各省市人均 GDP 用以衡量人均收入水平^[29]。为了与其他变量数据保持一致,采用的各省份人均 GDP 指标未经平减。通过研究人均 GDP 本身的系数变化,以及其二次项、三次项的系数变化,以期把握经济发展水平影响海洋生物多样性损害的轨迹。根据一次项、二次项、三次项的符号,可以初步判断沿海地区经济发展水平与海洋生物多样性之间是否存在线性、“U”型、“倒 U”型、“N”型、“倒 N”型等 5 种常见关系形式。

2.2.3 控制变量

海洋生态系统的健康状态与海域使用面积的变化受到多方面因素综合影响,引入人口规模、产业结构、技术水平、环境规制等可能影响海洋生态系统的健康状态和海域使用规模的因素作为控制变量,探究海洋生物多样性损害与经济增长的关系。

(1) 人口规模。近年来,由于频繁的人口流动,沿海地区成为重要的人口迁入地和聚集地^[30]。人口规模的逐渐扩大会引致消费增加,同时造成产品需求量的扩张,导致区域内资源环境面临重大压力。生活垃圾的产出量也会随着人口规模的膨胀呈现递增趋势。此外,人口的激增与土地资源的有限性产生矛盾,占用临近海域已经成为解决矛盾的首选途径之一。因此预期沿海地区的人口规模会对海洋的生态环境质量产生负向影响,等同于其对海洋生物多样性的损害有正向作用。本文采用人口密度指标衡量人口规模,人口密度即行政区内单位面积的常住人口数量。

(2) 产业结构。海洋经济战略的实施给沿海地区带来新一轮的发展契机,大批海洋油气、海洋矿业、海洋化工企业在沿海地区集聚,加速了当地工业化和城市化进程。一方面,以重工业为主导的工业集聚引致了大量海洋能源消费与废水废物排放。房地产市场的繁荣以及城市化的蔓延过程推动建筑业高速发展,建筑业的高速发展会增加钢铁、水泥等建筑材料的需求量,同时产生大量扬尘,其通过碳循环威胁到海洋水体的生态安全^[31]。另一方面,大量临海工业的布局增加了围海造地的需求,致使海域占用日趋严重,挤压了海洋生物的生存空间。本文采用第二产业产值(包括工业和建筑业)占 GDP 的比重表示产业结构,预期当前阶段会对海洋生物多样性损害产生正向影响。

(3) 技术水平。沿海地区借助其独特的地理位置、资源存量等方面优势形成对社会资本的巨大吸引力,而社会资本的积累有效驱动了当地科学技术的进步。技术进步在给沿海地区带来经济效益的同时,也对当地资源环境产生重大影响。一方面,技术进步可以带动生产率的提高,减少对海洋资源的损耗,改变大规模海洋能源消耗以及土地等资源占用的现状。另一方面,清洁技术的发展与海域生态环境状况紧密相关,清洁技术的提高能够降低生产过程中废物、废水以及废气的排放,从而减少陆源污染^[32]。本文采用规模以上工业企业有效发明专利数表征技术水平,预期会对海洋生物多样性损害产生负向影响。

(4) 环境规制。环境规制是解决生态保护与经济发展两难问题、环境承载阈值以及环境污染负外部性问题的必要手段^[33]。政府运用环境规制参与生态环境的管理,协调经济发展与生态环境保护的关系。本文将环境规制细分为命令控制型环境规制、市场激励型环境规制、公众参与型环境规制三种规制手段,以期区分和

衡量其作用效果的差异^[34]。基于各个规制手段的特质,本文选取海洋自然保护区面积度量命令控制型环境规制;选取排污费收入占 GDP 比重度量市场激励型环境规制;选取环境信访来信数占总人口比重度量公众参与型环境规制。由于开展环境规制的核心目标是减少生态环境损害,预期环境规制具有“减排”效用,即对海洋生物多样性损害具有负向影响。

2.3 数据来源

本文的研究区域为辽宁省、河北省等 11 个沿海省市,海洋生物多样性损害数据整理自 2006—2015 年《海域使用管理公报》和《中国海洋环境公报》,经济增长数据和其他变量数据整理自《中国统计年鉴》、《中国环境年鉴》、《中国环境统计年鉴》、《中国海洋统计年鉴》和国家统计局网站。表 1 为变量说明与描述性统计结果,缺失值采用线性插值法补齐,人均 GDP 值未取对数。其中,物种多样性损害指数最大值 2884.875 位于天津市,最小值 433.636 位于上海市。典型海洋生态系统亚健康状态占比的最小值为 0%,位于海南、广西、天津三省。

表 1 变量说明及描述统计
Table 1 Definition of variables and description

符号 Symbol	名称 Name	均值 Mean	标准差 Standard deviation	最大值 Maximum	最小值 Minimum
SPE	海洋物种多样性损害	1100.350	447.438	2884.875	433.636
ECO	典型海洋生态系统亚健康状态占比/%	69.446	30.677	100.000	0.000
GDP	人均 GDP 值/元	49225.070	23239.910	107960.000	10121.000
TEC	规模以上工业企业有效发明专利数/个	24422.630	29583.030	119927.000	43.000
POP	人口密度/(人/km ²)	825.400	1021.781	4182.759	200.435
SEC	第二产业产值占比/%	0.477	0.081	0.601	0.237
POL	排污费收入占比/‰	0.357	0.199	0.936	0.075
PET	信访来信数占比/(封/千人)	0.390	0.486	2.155	0.014
POR	海洋自然保护区面积/km ²	11032.150	45214.310	419874.000	110.000

SPE:海洋物种多样性损害 Damage of Marine Species diversity;ECO:典型海洋生态系统亚健康状态占比(%) Proportion of sub-healthy state in typical Marine ecosystem(%);GDP:人均国内生产总值(元) per capita gross domestic product(yuan);TEC:规模以上工业企业有效发明专利数(个) Number of valid invention patents of Industrial Enterprises above Designated size(number);POP:人口密度(人/km²) Population density (person/km²);SEC:第二产业产值占比(%) Proportion of output value of secondary Industry(%);POL:排污费收入占比(‰) Proportion of pollution discharge fees (‰);PET:信访来信数占比(封/千人) Proportion of petition letter(letter/Thousand people);POR:海洋自然保护区面积(km²) Area of marine Nature Reserve(km²)

3 实证结果与分析

3.1 海洋生态系统健康与沿海地区经济增长关系分析

采用面板回归模型对海洋生态系统健康与人均 GDP 的关系进行检验,其中,Hausman 检验结果未通过 5%的显著性检验,因此采用面板随机效应模型进行分析结果更为准确,最终结果如表 2 所示。模型(1)为线性模型,模型(2)在模型(1)的基础上加入人均 GDP 的二次项;模型(3)在模型(2)的基础上加入了人均 GDP 的三次项,3 个模型中均包括核心解释变量和控制变量。模型(1)、模型(2)、模型(3)分别用于检验海洋物种多样性损害指标与人均 GDP 是否存在单调线性关系、“U”型和“倒 U”型关系、“N”型和“倒 N”型关系。

综合模型(1)、模型(2)、模型(3)的估计结果,核心解释变量人均 GDP 设置为线性形式时,可以通过显著性检验,而且模型(1)的拟合优度更高,因此模型(1)为基准模型。模型(1)估计结果显示,人均 GDP 的一次项系数显著为正,表明沿海地区经济增长与典型海洋生态系统亚健康状态占比之间存在明显的正向线性关系。随着沿海地区人均 GDP 的提高,典型海洋生态系统亚健康状态占比随之呈现持续上升趋势。究其原因,随着沿海区域经济增长,海洋资源的不合理开发、工农业与生活污水废物排放和人为破坏等生态压力逐渐增多,超出海洋生态系统的承载能力,致使海洋生物多样性及生态系统结构逐渐退化并且丧失部分生态服务功

能。尤其是滨海湿地、河口等海洋生态脆弱区,抗干扰能力弱,随着经济增长,滨海湿地成为沿海省市经济开发的重点区域之一,出现大规模的围垦和填海造地活动,一部分滨海湿地转作农业用地、工业用地、城市用地以及基础设施用地,严重损害了海洋生态系统的生境功能以及供给功能等重要生态服务功能。同时,滨海度假区、海洋倾倒区等特定的海洋功能区,由于密集的旅游活动和频繁的废水废物倾倒行为,污染和干扰海域的生态环境,导致自然栖息地的丧失以及破碎化,威胁和破坏海洋生态系统内部正常的功能与结构。

表 2 海洋生态系统健康与经济增长关系的估计结果

Table 2 Parameter estimation of relationship between marine ecosystem health and economic growth in coastal areas

	模型(1) Model(1)	模型(2) Model(2)	模型(3) Model(3)		模型(1) Model(1)	模型(2) Model(2)	模型(3) Model(3)
lnGDP	38.17 ** (2.13)	182.1 (0.90)	2741.5 (0.85)	PET	2.757 (0.62)	1.212 (0.27)	1.569 (0.36)
(lnGDP) ²		-6.852 (-0.71)	-254.5 (-0.82)	PRO	-0.0000645 * (-1.73)	-0.0000634 * (-1.72)	-0.0000639 * (-1.75)
(lnGDP) ³			7.964 (0.80)	常数项 constant	-233.4483 (-1.04)	-2290.589 ** (-2.06)	-25812.61 ** (-2.23)
POP	0.000587 (0.07)	-0.000994 (-0.10)	-0.00304 (-0.26)	R ²	0.8084	0.7861	0.7962
SEC	101.4 (1.21)	13.28 (0.14)	12.80 (0.14)	时间固定效应 Time fixed effect	YES	YES	YES
TEC	-0.000140 (-0.91)	-0.000198 (-1.28)	-0.000181 (-1.17)	地区固定效应 Regional fixed effect	YES	YES	YES
POL	-95.43 *** (-2.86)	-86.82 *** (-2.62)	-83.38 ** (-2.53)				

* * *、* * 和 * 分别表示 1%、5% 和 10% 水平下显著;括号内为标准差, RE 为随机效应模型估计

模型(1)中人口密度、产业结构等控制变量的系数结果反映了其他影响因素对典型海洋生态系统亚健康状态占比的影响效果。第一,人口规模变量系数在模型(1)中的估计值为正,表明人口规模的扩张在一定程度上增加了海洋典型海洋生态系统亚健康状态占比,但效果不显著。第二,模型(1)结果显示,产业结构变量系数在模型(1)中的估计值为正,表明第二产业占比的提高典型海洋生态系统亚健康状态占比产生了一定的正向效应,但影响不明显。第三,技术水平变量系数在模型(1)中的估计值为负,表明技术水平的提高在一定程度上减少了典型海洋生态系统的亚健康状态占比,但效果不显著。第四,排污费制度与典型海洋生态系统亚健康状态占比呈显著的负向相关关系,即排污费制度有利于降低海洋生态系统亚健康程度。排污费制度作为管制生态环境问题的经济手段之一,其固有的优势主要表现在“污染者付费”的原则,使实施污染人面对因行为而带来的环境和社会成本,明确他们应支付的费用,将排污者的经济利益与污染防治责任直接挂钩。第五,信访制度变量系数未通过显著性检验,表明信访制度对改善生态系统亚健康状态的作用效果不明显,未实现预期政策目标。第六,海洋自然保护区的建立对海洋生态系统亚健康程度表现出预期的负向影响,实现了政策的实施目标。原因可能在于,通过划定高度丰富的海洋生物多样性区域或珍稀濒危海洋生物物种集中分布区域作为自然保护区,进行事先防范,禁止在区域内从事有损自然环境和资源的行为,可以维持甚至加强保护区界限内生态系统的服务功能,最直接有效地避免生态退化的成本。

3.2 海洋物种多样性损害与沿海地区经济增长关系分析

采用面板回归模型对海洋物种多样性损害指标与人均 GDP 的关系进行检验,其中 Hausman 检验结果未通过 5% 的显著性检验,因此采用面板随机效应模型,估计结果见表 3。模型检验步骤与上述生态系统亚健康程度指标与人均 GDP 的关系分析保持一致。

综合模型(4)、模型(5)、模型(6)的估计结果,核心解释变量人均 GDP 设置为二次项形式时,可以通过显著性检验,而且模型(5)的拟合优度更高,因此模型(5)为基准模型。模型(5)估计结果显示,人均 GDP 的一次项系数显著为正,二次项系数显著为负,揭示沿海地区经济增长与海洋物种多样性损害之间存在“倒 U”曲

线关系。图 2 是海洋物种多样性损害与经济增长关系的拟合图,二者的拟合曲线也明显呈现出“倒 U”型走势。这一结论表明随着沿海地区人均 GDP 的提高,海洋物种多样性损害经历“上升→下降”的过程。经模型 (3) 系数估计结果计算得到拐点值约为人均 GDP 值 45145 元,这与 Clausen 得到的海洋生物多样性拐点值比较接近,略滞后于 Clausen 得到的拐点值。人均 GDP 值小于 45145 元时,人均 GDP 增加的同时物种多样性损害也随之增加。在这一阶段,沿海地区成为产业和人口的聚集区域,传统海洋产业和高耗能重工业成为当地经济发展的主要的推动力。此时高强度开采海洋资源能源、无限制排放污染物成为常态,必然会造成海水的富营养化,影响海洋生物的栖息环境。更有甚者,沿岸居民出于娱乐或商业性目的无节制捕获某些海洋物种,直接造成海洋生物多样性丧失。此外,由于经济发展水平的不断提高,城市规模急剧扩张,侵占大量沿岸海域。尤其是围填海造地的兴起,破坏了海域的自然岸线,压缩了传统沿海湿地的规模,致使原本建立在沿海湿地上的生物栖息地无法继续支持生物的生存繁衍。人均 GDP 值大于 45145 元时,随着人均 GDP 的增长,海洋物种多样性损害出现了下降趋势。究其原因,随着经济增长沿海地区实现了经济结构的转变,经济增长依赖于日益繁荣的高新技术产业和服务产业,这类产业较少对海洋生态系统造成干扰,同时清洁技术的发展也给海洋生态健康带来了“福音”。此外,沿海地区实施的生物多样性保护政策逐渐完善并发挥效应,通过划定海洋生物多样性自然保护区的形式对重要的或者脆弱的海洋生物栖息地进行涵养和维护。而且居民与游客对海洋物种的认知也逐渐增强,海洋濒危物种的保护更加规范化、制度化、具体化,这些都为鱼类、浮游动植物等海洋种群生存、恢复与繁衍提供了有利条件。

表 3 海洋物种多样性损害与经济增长的估计结果

Table 3 Parameter estimation of relationship between marine species diversity loss and economic growth in coastal areas

	模型(4) Model(4)	模型(5) Model(5)	模型(6) Model(6)		模型(4) Model(4)	模型(5) Model(5)	模型(6) Model(6)
lnGDP	-96.37 (-0.45)	5727.5*** (2.58)	-19700.8 (-0.54)	PET	-68.64 (-0.97)	-95.34 (-1.34)	-99.44 (-1.38)
(lnGDP) ²		-267.2** (-2.54)	2123.2 (0.60)	PRO	-0.0000210 (-0.05)	0.0000532 (0.12)	0.0000739 (0.17)
(lnGDP) ³			-75.15 (-0.66)	常数项 Constant	3359.564 (1.39)	-18954.99 (-1.56)	62876.79 (0.50)
POP	-0.599* (-1.83)	-0.351 (-1.01)	-0.189 (-0.44)	R ²	0.8645	0.8758	0.8744
SEC	1709.8 (1.55)	2893.7** (2.30)	2885.5** (2.28)	时间固定效应 Time fixed effect	YES	YES	YES
TEC	-0.004** (-1.98)	-0.003 (-1.15)	-0.002 (-0.92)	地区固定效应 Regional fixed effect	YES	YES	YES
POL	-1039.0** (-2.56)	-1270.8*** (-3.04)	-1287.6*** (-3.06)				

***、**和* 分别表示 1%、5%和 10%水平下显著;括号内为标准差,RE 为随机效应模型估计

通过比较拐点值与沿海地区各年份人均 GDP 平均值的大小,可以大致判断我国海洋物种多样性损害演变的时间轨迹。2009 年沿海省份人均 GDP 平均值为 40872 元,2010 年沿海省份人均 GDP 平均值约为 45297 元,这意味着拐点(45145 元)相对应的时间阶段为 2009—2010 年。伴随着沿海地区经济增长,海洋物种多样性损害一直处于上升阶段,约在 2009—2010 年跨过拐点,进入到下降阶段。拐点出现的时间段与国家生态文明政策的实施存在较大相关性,2010 年政府发布修订后的环境行政处罚办法,通过行政手段限制公民、法人和其他组织的环境违法违规行为,强调对环境污染、生态破坏等违法行为给予环境行政处罚,为海洋各类生态问题的改善提供了制度基础。

从空间分布来看,将 2015 年各省份人均 GDP 值与拐点值进行大小关系比较,可以得到当前各省份在曲线中的位置。结果表明目前海南省、广西壮族自治区、河北省目前位于曲线上升段,是海洋物种多样性的重点保护区域,应当密切关注海洋物种多样性情况;山东省、辽宁省、上海市、浙江省和天津市、江苏省、广东省、福

建省目前跨过极大值点位于曲线二次下降阶段,经济增长和海洋物种多样性保护呈现协调发展趋势。

此外,模型(5)中人口密度、产业结构等控制变量的系数结果反映了其他影响因素对海洋物种多样性损害的影响效果。第一,人口规模变量系数在模型(5)中未通过显著性检验,表明人口规模的扩张对海洋物种多样性损害的作用效果不明显。第二,产业结构对海洋物种多样性表现出显著的正向促进效果,是导致海洋物种多样性损害的重要因素,与预期一致。原因可能在于,第二产业发展过多依赖于海洋资源能源开采,忽视生产过程对海洋生物物种栖息环境产生的负外部性。第三,技术水平变量系数在模型(5)中的估计值为负,表明技术水平对海洋多样性损害产生了一定的负向影响,但影响不显著。第四,模型(5)结果显示排污费制度变量系

数可以通过 1% 的显著性检验,表明排污费制度对海洋物种多样性损害具有显著的抑制作用,达到了政策的实施目的。这可能与排污费制度有效的降低了污水的排放量,进而减少了对海洋生物物种生存环境的侵害有关。第五,信访制度变量系数未通过显著性检验,这表明信访制度没有对海洋物种多样性损害产生明显的抑制作用,未实现预期政策目标。第六,自然保护区变量系数未通过显著性检验,表明自然保护区对海洋物种多样性损害的抑制作用效果不明显,与预期的政策效果不符。

3.3 稳健性检验

考虑到海洋生物多样性损害可能具有滞后性,往期的损害积累会对当期损害产生影响。因此,为防止内生性偏差,以检验沿海地区经济增长与海洋生物多样性损害关系估计结果的稳健性,建立以下动态面板模型进行稳健性检验:

$$MAR_{it} = \alpha_i + \chi_i + \beta_0 + \beta_1 \ln GDP_{it} + \beta_2 (\ln GDP_{it})^2 + \beta_3 (\ln GDP_{it})^3 + \beta_4 MAR_{i,t-1} + \beta_5 \gamma_{it} + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

式中, $MAR_{i,t-1}$ 表示海洋生物多样性损害的滞后一期, β_4 表示海洋生物多样性损害滞后一期对应的系数,式(5)中的控制变量与静态面板模型式(1)一致。

表 4 是采用 GMM 模型进行稳健性检验的估计结果。稳健性回归结果表明,相比于表 2 和表 3 中的回归结果,稳健性回归模型中核心变量系数估计值的符号没有变化,显著性水平略有差异。工具变量 GMM(IV-GMM) 回归检验所得结论与上文模型中所得结论基本保持一致,没有因实证方法的改变产生实质性变化。也就是说,沿海地区经济增长和海洋生物多样性损害的估计结论较为稳健。该结论再次表明:海洋生态系统亚健康程度与沿海地区经济增长之间存在线性关系,随着沿海地区人均 GDP 增长,生态系统亚健康程度呈现出线性上升趋势;海洋物种多样性损害与沿海地区经济增长之间也存在“倒 U”型关系,随着沿海地区人均 GDP 增长,海洋物种多样性损害呈现出先上升再下降的趋势。

4 结论与建议

本文创新性地构建了海洋生态系统健康指标与物种面积损害指标,在此基础上采用面板数据模型系统探讨了沿海地区经济增长与海洋生物多样性损害的关系,并且建立了动态 GMM 模型进一步检验了估计结果的稳健性,得到了以下主要结论:

(1) 沿海地区经济增长与海洋生态系统亚健康程度之间呈现正向的线性关系,随着沿海地区经济增长,典型海洋生态系统健康状态呈持续恶化趋势。但是,排污费制度和自然保护区的建立和实施均有助于减缓海洋生态系统的持续恶化。

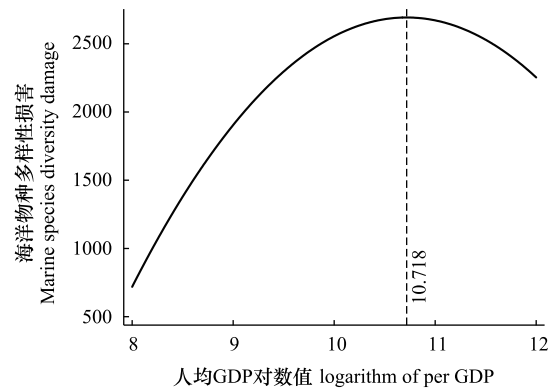


图 2 海洋物种多样性损害与经济增长关系

Fig. 2 Relationship between marine species diversity loss and economic growth in coastal areas

表 4 稳健性检验

Table 4 Robustness test results

	模型(7) Model(7)	模型(8) Model(8)	模型(9) Model(9)	模型(10) Model(10)	模型(11) Model(11)	模型(12) Model(12)
L.MAR	0.130 (0.69)	0.113 (0.81)	0.216 (2.21)	-0.014 (-0.12)	0.026 (0.22)	0.020 (0.18)
lnGDP	39.587 ** (1.97)	161.855 (0.67)	4242.685 (0.96)	-102.03 (-0.88)	4732.6 * (1.71)	-27897.41 (-0.79)
(lnGDP) ²		-6.473 (-0.56)	-397.096 (-0.95)		-225.8 * (-1.73)	2967.797 (0.87)
(lnGDP) ³			12.439 (0.94)			-103.621 (-0.94)

L表示相应变量滞后一期,*、**和***分别表示1%、5%和10%水平下显著,IV-GMM表示工具变量广义矩估计。模型7、8、9被解释变量为海洋生态系统亚健康状态模型10、11、12被解释变量为海洋物种多样性损害

(2)沿海地区经济增长与海洋物种多样性损害之间呈现显著的“倒U”型关系,随着沿海地区经济增长,物种多样性损害先上升后下降,曲线拐点位于人均GDP值45145元。从时间轨迹来看,物种多样性损害拐点相对应的时间阶段为2009年—2010年。从空间分布来看,目前海南省、广西壮族自治区、河北省仍位于曲线上升段;山东省、辽宁省、上海市、浙江省和天津市、江苏省、广东省、福建省的经济增长水平越过拐点值,位于曲线下降阶段。

本文的研究结论进一步证实了,经济的增长如果建立在对生态环境破坏的基础上,则势必会造成生物多样性的损害。即使海洋物种多样性与沿海地区经济增长存在“倒U”型关系,但是经济增长与海洋生态系统健康仍未出现拐点,海洋生态系统的亚健康可能进一步导致海洋生物多样性的丧失,形成恶性循环。因此完全依靠消极等待经济增长水平达到一定规模实现海洋生物多样性的自然恢复是不可行的,需要采取更多预测性的、前置性的海洋生物多样性保护措施。基于协调沿海地区经济增长与海洋生物多样性保护的目标要求,提出以下启示性建议:

第一,强化生物多样性保护力度,拓宽海洋生物多样性保护途径,保证海洋生物多样性保护方式多元化。一方面,从损害的源头出发,制定标准规范海域利用方式,限制污染物排放入海,化解沿岸消费扩张、生产增长与生物多样性损害的矛盾;另一方面,改变以往完全依靠建立海洋生物多样性保护区的单一化方式,完善海岸生态保护红线划定,加强对红树林、珊瑚礁等典型的生态系统的监测与管理,避免海洋生物栖息地的丧失以及破碎化,降低自然栖息地的丧失速率,缓解海洋生态退化和损毁现象。积极借鉴国外经验开展试点实验并进行推广,例如严格实行海洋生物多样性损害的补偿机制,建立生物多样性银行等。

第二,转变沿海地区经济增长方式,预防沿海地区经济增长对海洋生物多样性造成不可逆的损害,避免走“先发展、再治理”的老路,保证在促进经济发展的同时抑制海洋生物多样性的损害。一方面,保持绿色可持续发展的经济发展方式,推动产业结构调整升级,降低沿海产业发展对海洋渔业、石油等海洋资源能源的依赖程度,促进清洁生产技术的研发与推广;另一方面,减少沿海区域经济发展过程中对海域的直接占用,警惕经济增长引起的城市蔓延和产业规模扩张以及随之而来的人地矛盾,引导沿海地区紧凑发展,杜绝出现因盲目追求经济增长侵占滨海湿地和大规模围填海造地的现象。

参考文献(References):

- [1] 王斌.生物多样性与人类可持续发展.中国人口·资源与环境,1996,(2):12-14.
- [2] 卢思骋.共谋全球生态文明建设 深度参与全球环境治理——2020年生物多样性公约第十五次缔约方大会展望.社会治理,2019,(2):85-87.
- [3] 韩庚辰,樊景风.我国近岸海域生态环境现状及发展趋势.北京:海洋出版社,2016.
- [4] Brink P T.国家及国际决策中的生态系统和生物多样性经济学.胡理乐,翟生强,李俊生,译.北京:中国环境出版社,2015.

- [5] 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. 资源科学, 2012, 34(1): 173-184.
- [6] Mills J H, Waite T A. Economic prosperity, biodiversity conservation, and the environmental Kuznets curve. *Ecological Economics*, 2009, 68(7): 2087-2095.
- [7] Dietz S, Adger W N. Economic growth, biodiversity loss and conservation effort. *Journal of Environmental Management*, 2003, 68(1): 23-35.
- [8] Clausen R, York R. Economic growth and marine biodiversity: influence of Human social structure on decline of marine trophic levels. *Conservation Biology*, 2008, 22(2): 458-466.
- [9] Ajanaku B A, Collins A R. Economic growth and deforestation in African countries: Is the environmental Kuznets curve hypothesis applicable? *Forest Policy and Economics*, 2021, 129(8): 7-9.
- [10] Clausen R, York R. Global biodiversity decline of marine and freshwater fish: a cross-national analysis of economic, demographic, and ecological influences. *Social Science Research*, 2008, 37(4): 1310-1320.
- [11] Pandit R, Laband D N. Spatial autocorrelation in country-level models of species imperilment. *Ecological Economics*, 2007, 60(3): 526-532.
- [12] Strong A, Tschirhart J, Finnoff D. Is economic growth for the birds?. *Ecological Economics*, 2011, 70(7): 1375-1380.
- [13] 王丽, 陈尚, 任大川, 柯淑云, 李京梅, 王栋. 基于条件价值法评估罗源湾海洋生物多样性维持服务价值. 地球科学进展, 2010, 25(8): 886-892.
- [14] 郝林华, 陈尚, 王二涛, 夏飞, 夏涛. 基于条件价值法评估三亚海域生态系统多样性及物种多样性的维持服务价值. 生态学报, 2018, 38(18): 6432-6441.
- [15] 李京梅, 单菁竹, 邓云成, 许罕多. 海洋生物多样性价值评估的不确定性偏差修正——以福建平潭为例. 资源科学, 2020, 42(7): 1338-1347.
- [16] 王印红. 中国海洋环境拐点估算研究. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(8): 87-94.
- [17] Grossman G M, Krueger A B. Economic growth and the environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 1995, 110(2): 353-377.
- [18] Shafik N, Bandyopadhyay S. *Economic Growth and Environmental Quality: Time-Series and Cross-Country Evidence*. Washington: World Bank Publications, 1992.
- [19] 中华人民共和国环境保护部. 中国履行《生物多样性公约》第四次国家报告. 北京: 中国环境科学出版社, 2009.
- [20] 于秀波, 张立. 中国沿海湿地保护绿皮书——2017. 北京: 科学出版社, 2018.
- [21] 狄乾斌, 张洁, 吴佳璐. 基于生态系统健康的辽宁省海洋生态承载力评价. 自然资源学报, 2014, 29(2): 256-264.
- [22] Rosenzweig M L. Reconciliation ecology and the future of species diversity. *Oryx*, 2003, 37(2): 194-205.
- [23] 徐敬俊. 海域空间自然资源的立体分布特征与其资产化管理路径探索. 太平洋学报, 2019, 27(4): 91-104.
- [24] 赵士洞, 张永民, 赖鹏飞. 千年生态系统评估报告集(一). 北京: 中国环境科学出版社, 2007.
- [25] 翟伟康, 张建辉. 全国海域使用现状分析及管理对策. 资源科学, 2013, 35(2): 405-411.
- [26] 姜忆涓, 李加林, 龚虹波, 叶梦姚, 冯佰香, 何改丽, 黄日鹏. 围填海影响下海岸带生态服务价值损益评估——以宁波杭州湾新区为例. 经济地理, 2017, 37(11): 181-190.
- [27] 周玲玲, 鲍献文, 余静, 张宇, 武文, 冯若燕. 中国生态用海管理发展初探. 中国海洋大学学报: 社会科学版, 2017, (6): 24-29.
- [28] 魏龙, 潘安. 出口贸易和 FDI 加剧了资源型城市的环境污染吗? ——基于中国 285 个地级城市面板数据的经验研究. 自然资源学报, 2016, 31(1): 17-27.
- [29] 苏为华, 张崇辉. 关于异质性假说的中国 EKC 再检验. 统计研究, 2011, 28(12): 66-71.
- [30] 王桂新. 改革开放以来中国人口迁移发展的几个特征. 人口与经济, 2004, (4): 1-8, 14-14.
- [31] 邵帅, 李欣, 曹建华. 中国的城市化推进与雾霾治理. 经济研究, 2019, 54(2): 148-165.
- [32] 崔鑫生, 韩萌, 方志. 动态演进的倒“U”型环境库兹涅茨曲线. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(9): 74-82.
- [33] 张红凤, 周峰, 杨慧, 郭庆. 环境保护与经济发展双赢的规制绩效实证分析. 经济研究, 2009, 44(3): 14-26.
- [34] 黄清煌, 高明. 中国环境规制工具的节能减排效果研究. 科研管理, 2016, 37(6): 19-27.