

基于系统动力学模型的海洋碳汇银行生态与经济 效应研究——以浙江省为例

贺义雄^{1,2}, 王燕炜¹, 张风轩¹, 董华洋³

(1.浙江海洋大学 经济与管理学院, 浙江 舟山 316022; 2.南方海洋科学与工程广东省实验室, 广东 珠海 519000; 3.国家海洋环境监测中心, 辽宁 大连 116023)

摘 要:有效开发海洋碳汇能够为碳中和目标的实现提供有力支撑。为激发利益相关者参与海洋碳汇开发的积极性, 促进海洋碳汇生态与经济双重价值的充分实现, 本文选取浙江省五个沿海城市, 构建海洋碳汇银行——海洋资源环境——区域经济——社会发展系统动力学模型, 模拟分析海洋碳汇银行的建立对五市海洋资源环境及经济社会发展的影响, 结果表明: (1) 海洋碳汇银行的建立对滨海湿地面积恢复有明显的促进作用, 与未建立海洋碳汇银行情景相比, 建立海洋碳汇银行情景下滨海湿地面积以较快的速度增加; (2) 海洋碳汇银行建立后, 海洋资源环境状况更加优良, 与未建立海洋碳汇银行情景的差异较大; (3) 海洋碳汇银行对经济增长的贡献较强, 特别是从模拟期第 20 年开始, 海洋碳汇银行收益开始急速增长。因此, 海洋碳汇银行有明显的经济和生态效应。为更好地发展海洋碳汇银行, 提出如下建议: (1) 建立事务管理体系; (2) 实施适应性治理; (3) 提升海洋碳汇资源开发的技术支撑水平。

关键词:海洋碳汇银行; 系统动力学; 价值实现; 浙江省

中图分类号:P74; X22 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-6336(2025)02-0284-10

Study on ecological and economic effects of marine carbon sink bank based on system dynamics model —— Taking Zhejiang province as an example

HE Yixiong^{1,2}, WANG Yanwei¹, ZHANG Fengxuan¹, DONG Huayang³

(1.School of Economics and Management, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China; 2.Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Zhuhai), Zhuhai 519000, China; 3.National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116023, China)

Abstract: The effective development of marine carbon sink can provide strong support for the realization of the carbon neutral goal. To increase the enthusiasm of stakeholders to participate in the development of marine carbon sink and promote the full realization of the dual ecological and economic value of marine carbon sink, this paper selects the five coastal cities in Zhejiang province, constructs system dynamics model of marine carbon sink bank-marine resources and environment-regional economy-social development, simulates and analyzes the impact of establishment of marine carbon sink bank on the marine resources, environment and

收稿日期: 2023-10-05, 修订日期: 2023-11-20

基金项目:国家社科基金项目(23BJY197); 浙江省软科学研究计划项目(2023C35059); 浙江省省属高校基本科研业务费项目(2021RD001); 浙江省大学生科技创新活动计划暨新苗人才计划项目(2023R411053); 国家海洋环境监测中心博士科研启动经费(2020-A-01)

作者简介:贺义雄(1981—), 男, 天津人, 教授, 博士, 硕士生导师, 研究方向为海洋资源环境价值核算与管理、海洋资源产权交易与风险管理、海洋经济运行评价与政策分析, E-mail: heyixiongmail@163.com

通信作者:董华洋, 博士, E-mail: hydong@nmemc.org.cn

economic and social development of the five cities. The results show that: (1) the establishment of marine carbon sink bank has a significant promotion effect on the restoration of coastal wetland area, compared to the no-established carbon sink bank scenario, under the scenario of establishing a marine carbon sink bank, the area of coastal wetland increases at a relatively fast speed; (2) after the establishment of marine carbon sink bank, the marine resources and the environment are even better, different from the no marine carbon sink bank scenario; (3) marine carbon sink banks have a strong contribution to economic growth, in particular, starting from the year 20 of the simulation period, marine carbon sink bank earnings began to grow rapidly. Therefore, marine carbon sink banks have significant economic and ecological effects. In order to better develop marine carbon sink banks, the following suggestions are proposed: (1) establish a transaction management system; (2) implement adaptive governance; (3) enhance the technical support level for the development of marine carbon sink resources.

Key words: marine carbon sink bank; system dynamics; value realization; Zhejiang province

气候变化的治理关乎人类命运共同体的构建和中华民族的永续发展,尤其是二氧化碳的排放总量问题已成为人类关注的焦点。碳中和的基本逻辑是通过碳减排和碳捕获达到排放与吸收的相对平衡^[1]。海洋碳汇是通过海水的溶解度泵以及红树林、盐沼、海草床、渔业资源、微生物等海洋生态系统的生物泵(含碳酸盐泵),吸收二氧化碳等温室气体,并将其固定和储存的过程、活动和机制^[2],其本身是重要资源。研究表明,海洋每年可从大气中净吸收约22亿吨的碳,在长时间尺度上,海洋甚至可以吸收大约85%的人为碳排放,并具有更大的碳吸收速率、更高的储存密度以及更长的储存时间^[2-3]。因此,开发海洋碳汇并将其纳入市场进行交易,可为实现“碳中和”目标提供新的途径^[4]。

另外,在人类活动和气候变化的双重压力下,海洋生态环境面临着严峻的考验。近年来,我国沿海地区发展迅速,围海造田、过度的资源开发和污染活动造成滨海湿地面积萎缩、海洋生物多样性减少、海洋生境缺失、海洋生态功能退化等问题^[5],不利于海洋碳汇的产生,抑制了海洋碳汇资源价值的实现。据此,如何保护海洋生态系统并探寻保障海洋碳汇持续供给的机制创新,从而更好地将海洋碳汇资源生态价值转化为经济价值,是亟待解决的一大问题。

参照湿地补偿银行、森林生态银行、水生态银行等生态银行概念^[6-7],海洋碳汇银行是借鉴商业银行模式,搭建一个促进海洋碳汇资源利用、价值提升、市场化交易和可持续发展的专业平台,通过对海洋碳汇资源的开发经营,将其转

换成优质资产包,引入投资者及购买者,使海洋碳汇资源转变为具有经济价值的生态资本。构建这一海洋碳汇资源开发与交易专业平台,将丰富的海洋碳汇资源纳入市场进行交易,不仅有利于高效减排增汇这一目标的实现,同时还可以延伸海洋经济产业链,为海洋经济高质量发展提供新的增长极。因此,理论上,海洋碳汇银行可以是充分实现海洋碳汇资源生态价值的重要途径。

当前,关于海洋碳汇价值实现方面的研究,大多关注于海洋碳汇交易本身,包括市场机制、政策制度、技术供给、案例分析等方面^[8],对海洋碳汇银行的相关研究很少。如赵云等^[9]对海洋碳汇的发展机制与交易模式进行了探索,提出要设计合理的碳汇交易规则将海洋碳汇引入碳交易市场。焦念志等^[10]在海洋碳交易体系和量化生态补偿机制方面提出未来研发重点。谢素美等^[2]从海洋碳汇交易市场的构建原则、模式选择、发展路径、要素设计、运行机制及保障措施等方面综合分析探讨了我国海洋碳汇交易市场的构建策略。李明昕等^[11-12]概述了国际碳交易市场的主要碳汇交易机制,结合典型案例得出启示,并对我国海洋碳汇交易机制进展、面临的挑战及发展策略做出具体阐释。Yu等^[13]构建合作博弈模型比较了独立和协同管理模式的成本收益,为海洋碳汇的区域协同管理提供理论参考。

作为理论上的一种促进海洋碳汇资源价值实现的选择途径,海洋碳汇银行能否成为我国海洋碳汇资源开发的一种有效政策选择?预计会产生什么样的政策效果?只有对此类问题进行

明确回答,才能有效促进海洋碳汇银行在我国的发展,从而助力我国海洋碳汇的开发,最终促进我国“双碳”目标的实现。因此,模拟海洋碳汇银行的价值实现效果,证明其在推进海洋资源环境恢复、提升经济发展水平及促进海洋碳汇生态价值实现中的作用,对推动我国海洋碳汇资源开发具有重要的理论和现实意义,在助力“双碳”目标如期完成的同时,也为推动我国海洋经济高质量发展注入不竭动力。

1 材料与方法

1.1 海洋资源环境及经济社会发展系统动力学模型构建

1.1.1 系统动力学

系统动力学模型(System Dynamics, SD)是美国麻省理工学院J.W.Forrester教授于1955年创立,是一种主要研究社会系统、通过图示化表现系统内部结构、应用回归分析等现代数学手段推导变量之间关系方程、借助计算机相关软件工具模拟分析系统发展现状及其演变趋势的方法^[14]。SD模型适用于模拟包含多要素相互作用的复杂动力学系统的变化过程^[15-16],在模拟分析社会经济与资源环境相互作用中应用广泛^[17]。SD模型的基本结构可表示为:

$$\begin{cases} TEELS = \bigcup_{i=1}^j S_i \\ S_i = f(L, R, A, \delta, t) \end{cases} \quad (1)$$

式中: S_i 到 S_j 分别代表模型研究的子系统; L 代表水平变量; R 代表速率变量; A 代表辅助变量; δ 代表参数; t 代表时间变量。

1.1.2 子系统设定及模型构建

海洋碳汇的开发利用与海洋资源环境、区域经济、社会发展密不可分,各子系统间存在多重反馈关系,子系统中的变量随时间和空间一起改变。参考以往研究^[18-19]和海洋碳汇与海洋资源环境、区域社会经济相互作用的相互作用^[8,20],本文将海洋资源环境及社会经济发展系统动力学模型划分为三个子系统:海洋资源环境子系统、区域经济子系统、社会发展子系统。

(1)海洋资源环境子系统

海洋资源环境子系统主要描述在区域经济社会的发展过程中海洋资源环境开发利用及变动

情况。主要反馈关系为:良好的海洋资源环境随修复得到增加,随占用和破坏而不断减少。经济发展水平决定了用于海洋资源环境保护和修复的财政投入力度,海洋资源环境保护修复的投入及修复技术水平决定了海洋资源环境修复数量及质量;海洋资源环境的数量和质量决定了海洋渔业等海洋产业的规模,是海洋经济发展的坚实基础。另外,经济发展促进了城市化,城市化进程推进引致的用地矛盾将加速海洋资源环境的占用和海域生态环境的破坏。此外,经济发展及区域居民生活的工农业排污、生活污染物排放将导致海洋资源环境受损,海洋资源环境生态服务功能下降^[21]。

(2)区域经济子系统

区域经济子系统主要描述海洋资源环境区域的经济的发展情况及影响因素。主要反馈关系为:沿海区域经济发展受益于海洋资源环境条件,海洋资源环境可为海水养殖、海洋捕捞等农业生产经济活动所利用;海洋资源环境为工业生产提供原料与场所,是影响工业发展的重要因素;海洋资源环境可以转化成丰富的海洋旅游资源,是海洋服务业发展的主要依托^[22-24]。另外,经济的发展,医疗、教育等的投入有助于人力资本和科技水平的提升,可以促进海洋资源环境利用效率的提高,为区域经济的进一步发展提供助力,但同时,区域经济发展所导致的海洋资源环境破坏也将加剧经济发展的资源制约效应。

(3)社会发展子系统

社会发展子系统主要描述海洋资源环境区域的社会发展及居民生活水平情况。主要反馈关系为:沿海区域居民生活水平受区域经济发展水平和海洋资源环境生态服务功能水平的双重作用影响。经济发展水平的提升能够提高医疗、教育、文化、社会保障等的投入,增加区域居民福祉;教育的投入能够推动人力资本和科技水平的提升,为经济增长提供智力驱动^[25];就业的增加有利于增加居民收入,并为经济发展提供劳动支持^[26]。海洋资源环境为区域居民提供更多的优美环境和休闲娱乐,有助于提高居民的生活水平及生活质量;但人口增加、污染物排放导致的海洋资源环境生态服务功能受损又将反作

用于区域居民生活水平。

通过上述各子系统的分析,综合考虑各变量间的关系以及数据可获取性,经过多轮筛选确定了具体评测指标,见表1。

在确定各个子系统变量以及因果反馈关系的基础上,使用 Vensim 软件进行模型构建,建立海洋资源环境-区域经济-社会发展复合系统,其系统动力学存量流量模型结构如图1所示。

表1 海洋资源环境及经济社会发展评测指标

Tab.1 Evaluation indicators of marine resources, environment and social and economic development

主系统	子系统	评测指标
海洋资源环境-区域经济社会-社会发展系统	海洋资源环境子系统	海洋自然保护区面积、海岸线长度、滨海湿地面积(含红树林面积、海草床面积、盐沼湿地面积)、围填海面积、中度及以上污染海域面积比重、年均赤潮等灾害发生次数、赤潮面积、海洋自然保护区建设数等
	区域经济子系统	GDP总量、海洋服务业产值、海洋渔业产值、海洋生产总值、渔业投资、海洋资源环境保护修复投入、医疗教育投入、科技投入、科研机构数量、科研人员数、海洋旅游人数、海洋旅游收入、休闲渔业收入、海洋捕捞量、海水养殖量、海水养殖面积、水产品产量等
	社会发展子系统	人均可支配收入、人口总数、城市化水平、城镇人口数量、海洋人口数量、海洋从业人数、医院学校数量、科研人员数、科研机构数、废弃物排放量等

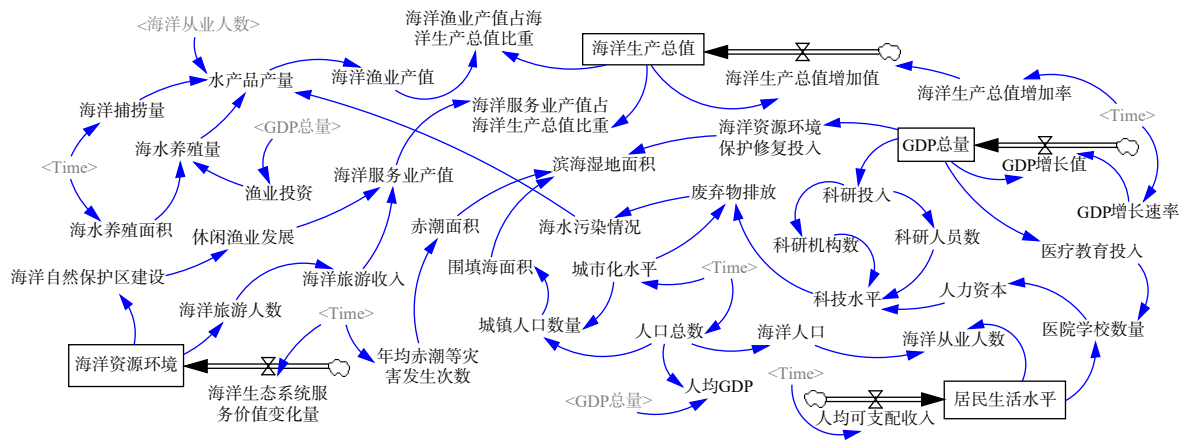


图1 海洋资源环境及经济社会发展系统动力学模型存量流量

Fig. 1 Stock flow diagram of the system dynamics model of marine resources and environment and economic and social development

1.2 海洋碳汇银行系统动力学模型构建

当前,海洋碳汇的主要研究热点为其作用机理、效应、开发技术、核算等^[27],如何使海洋碳汇从生态资源转化为生态资产,再转化为生态资本,最终通过市场交易实现海洋碳汇产品或服务价值的保值与增值过程有待深入研究。因此,本文参照森林生态银行^[28-29]、湿地银行^[6, 30]等研究,借鉴商业银行模式,将生态银行与海洋碳汇有机结合,认为海洋碳汇银行是一个促进海洋碳汇资源利用、价值提升、市场化交易和可持续发展的平台,基于资源收储与托管等操作,通过对海洋碳汇资源的开发经营,将其转换成优质资产

包,吸引投资者及购买者,使海洋碳汇资源转变为具有经济价值的生态资本,同时通过附带发展生态旅游等海洋服务业及出售水产品等附属产品,还可以延伸产业链,促进海洋经济高质量发展。鉴于此,本文在海洋资源环境及经济社会发展模型的基础上,加入海洋碳汇银行子系统,从而模拟海洋碳汇银行政策实施对海洋资源环境和经济社会发展的影响效应。海洋碳汇银行子系统选取海洋碳汇银行利润来表征系统的状态,选取收入和成本来调控存量变化速率。海洋碳汇银行运营过程中产生的海洋碳汇的售出所得、海洋服务业产值和海洋水产品出售额等共

同构成收入,海洋碳汇资源收储成本、委托运营费用和固定的经营管理成本等共同构成海洋碳汇银行的支出。考虑到当前海洋碳汇项目开发对应的海洋资源大多为贝藻、红树林、海草床等^[31-32],因此模型选取滨海湿地面积、海洋捕捞量和海

水养殖量作为海洋碳汇量的基础统计来源。同时,将海洋碳汇银行产生的利润作为海洋生产总值的来源之一。

基于上述分析,加入海洋碳汇银行后的系统存量流量如图2所示。

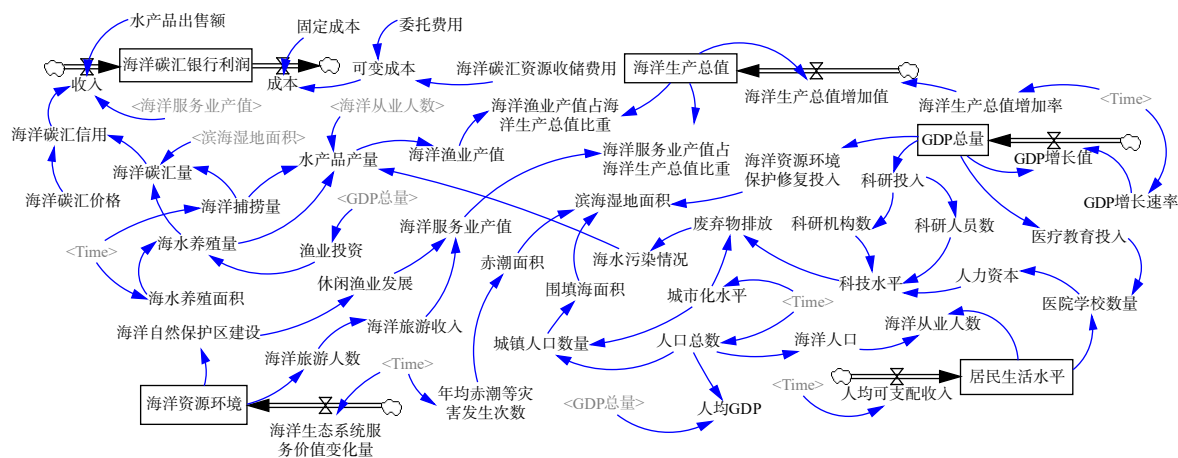


图2 海洋碳汇银行-海洋资源环境-区域经济-社会发展系统动力学存量流量

Fig. 2 Marine carbon sink bank-marine resources and environment-regional economy-kinetic stock flow chart of social development system

1.3 研究区域概况

浙江省位于我国东南沿海长江三角洲南翼,东临东海、南接福建、西与江西和安徽相连、北与上海和江苏接壤,地理位置优越,海陆交互作用明显。其中,嘉兴市、宁波市、舟山市、台州市、温州市、杭州市和绍兴市是沿海城市,但由于杭州市和绍兴市没有管辖海域^[33],因此本文未将这两座城市纳入研究范围(以下简称“五市”)。

全省海岸线总长 6600 km,沿海红树林、滩涂湿地、养殖渔业资源十分丰富,生物种类繁多,碳汇潜力巨大。当前,浙江拥有海域面积 26 万平方千米,海水养殖面积 80924 ha,近海湿地面积 69.25 万公顷^[34]。此外,根据《浙江省红树林保护修复专项行动实施方案(2020—2025)》,未来将营造红树林 200 ha,保护修复提升现有红树林 257.2 ha,共计 457.2 ha。据此计算,2020 年浙江海水养殖碳汇总量约 10.48 万吨^[35],预计到 2025 年,红树林年碳汇量将达到 28 万吨^[34]。

得天独厚的海洋资源环境是浙江省发展海洋碳汇产业的底气,随着海洋碳汇在缓解气候问

题上的研究与应用不断深入,如何利用好富集的沿海资源优势,充分发挥海洋碳汇潜能,激发资源价值,从而为推动率先实现“碳中和”目标及充分展现共同富裕的示范效应服务,是新时代浙江省海洋经济高质量发展和建设社会主义现代化先行省过程中高度重视的课题。2022 年 10 月,浙江省首笔海洋渔业碳汇交易在温州苍南达成,开创了省内海洋碳汇交易的先河。此后,杭州南岸海岸带碳汇调查、苍南红树林碳汇储量测算等工作陆续展开。2023 年 3 月,省发改委、省自然资源厅、省生态环境厅联合印发《浙江省海洋碳汇能力提升指导意见》,进一步强调海洋碳汇的重要性。因此,针对浙江省开展海洋碳汇银行政策效果模拟研究,具有代表性现实意义。

1.4 数据来源

本文原始参数数据来源于《浙江省统计年鉴》《舟山市国民经济和社会发展统计公报》《宁波市国民经济和社会发展统计公报》《台州市国民经济和社会发展统计公报》《温州市国民经济和社会发展统计公报》《嘉兴市国民经济和社会

发展统计公报》《浙江省环境状况公报》《中国渔业统计年鉴》及相关文献和公开资料。

2 结果与讨论

2.1 模型有效性检验

运用 Vensim 软件建立系统动力学模型流程图,根据收集处理的数据,参考相关文献[36-37],通过数学计算、回归分析和经验预测方法推导变量之间关系的方程表达式,定量反映变量之间相互反馈关系。本文反映变量间关系的因素方程通过 Matlab 软件进行数据拟合,或根据实际情况设定(限于篇幅原因,只列出了部分因素方程,见表2)。

系统动力学模型的建立,目的是在分析系统复杂关系基础上模拟反映变量的未来变化趋势,这就意味着模型反映出的行为必须与实际系统行为基本一致才能保证模型预测结果的有效性。因此,模型仿真模拟之前必须进行有效性检验。本文采用历史检验的方法来验证海洋资源环境与经济社会发展系统模型的有效性。模型设定初始年份为2012年,模拟时间为2013—

2042年,其中,2013—2022年为实际发生期,作为模型检验期。囿于统计数据资料和篇幅所限,选取5个城市的GDP总量、海洋生产总值、城镇人口数量和水产品产量4个变量作为代表性数据,进行有效性检验,检验结果见表3。从表3的检验结果可以看出,所有变量2013—2022年的仿真模拟输出数据与真实数据的误差率均在10%以内,说明模型拟合程度较好^[38],模型行为与现实系统的行为趋势基本一致,能够预测未来发展趋势。

2.2 仿真结果及分析

本文首先仿真预测在未建立海洋碳汇银行条件下,浙江省五个沿海城市海洋资源环境及其经济社会发展变化情况,作为基础对照结果。将建立海洋碳汇银行情景下,各变量的仿真趋势变化作为对比方案,模拟反映海洋碳汇银行的建立对五市海洋资源环境及其经济社会发展的影响。其中,海洋资源环境水平主要通过海洋生态系统服务价值来衡量。生态系统服务是人类维持生存与发展所依存的自然环境条件^[39-40],作为

表2 部分因素方程
Tab.2 Partial factor equations

变量	计算公式	单位
GDP总量	INTEG(GDP增加值, GDP总量初始值)	亿元
海洋生产总值	INTEG(海洋生产总值增加值, 海洋生产总值初始值)	亿元
居民生活水平	INTEG(人均可支配收入, 居民生活水平初始值)	万元
海洋资源环境水平	INTEG(海洋生态系统服务价值变化量, 海洋资源环境状况初始值)	亿元
科研投入	GDP总量 $\times$ 0.012-2.5757	亿元
海洋资源环境保护修复投入	GDP总量 $\times$ 0.07-508.26	亿元
医疗教育投入	GDP总量 $\times$ 医疗教育投入比重	亿元
科研人员数	科研投入 $\times$ 0.82+0.02	万人
科研机构数	科研投入 $\times$ 0.95+0.03	万家
科技水平	科研机构数 $\times$ 1.5-科研人员数 $\times$ 0.7-人力资本 $\times$ 0.06+0.13	万件
医院学校数量	医疗教育投入 $\times$ 1.02+居民生活水平 $\times$ 0.01-0.04	万个
人力资本	医院学校数量 $\times$ 0.99-0.059	名
人口总数	WITH LOOKUP(Time),[(2013,2000)-(2022,4000)], (2013,2860),(2014,2913),(2015,2960),(2016,3003),(2017,3051),(2018,3102), (2019,3152),(2020,3198),(2021,3234),(2022,3252) ¹	万人
人均GDP	GDP总量/人口总数	元
城镇人口	城市化水平 $\times$ 人口总数	万人

注:¹式中“WITH LOOKUP”为系统动力学中表函数功能符号,用于建立自变量“Time”和因变量“人口总数”的非线性关系,并通过具体的点值列出,其他表函数公式以此类推

表 3 变量实际数值与模型仿真模拟值对照
Tab.3 Actual values of variables and model simulation values

变量		2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年
GDP总量/亿元	实际值	18748	20046	21165	23028	25575	28379	30531	31762	36025	38466
	仿真值	20060	21464	22988	24643	26467	28452	30529	32605	34561	37361
	误差/(%)	7.0	7.1	8.6	7.0	3.5	0.3	-0.01	2.7	-4.1	-2.9
海洋生产总值/亿元	实际值	2692	2968	3001	3262	3679	3942	4457	5104	5864	6785
	仿真值	2880	3082	3269	3549	3822	4120	4458	4864	5435	6250
	误差/(%)	7.0	3.8	8.9	8.8	3.9	4.5	0.01	-4.7	-7.3	-7.9
城镇人口数量/万人	实际值	1828	1892	1962	2033	2102	2171	2239	2306	2373	2386
	仿真值	1830	1878	1947	2012	2074	2140	2206	2308	2351	2373
	误差/(%)	0.07	-0.74	-0.80	-1.05	-1.36	-1.47	-1.48	0.07	-0.95	-0.56
水产品产量(万吨)	实际值	269.4	280.8	292.3	295.6	290.7	288.3	282.0	288.3	292.9	297.8
	仿真值	246.5	268.1	274.3	288.1	297.8	290.7	276.2	262.3	281.9	285.6
	误差/(%)	-8.5	-4.5	-6.2	-2.5	2.5	0.8	-2.06	-9.0	-3.76	-4.1

其在海洋领域具体解释的海洋生态系统服务的价值就是利用统一标准对与人类息息相关的海洋资源环境情况的反映^[41]。本文整合市场法、成果参照法、替代成本法等方法对供给、调节、文化和支持等 4 大类 13 小项海洋生态系统服务的价值进行核算,具体计算内容、方法与过程见文献 [31]。

(1)海洋碳汇银行的建立促使五市滨海湿地面积增速加快。在未建立海洋碳汇银行的对照情景中(图 3),随着时间推进,五市的滨海湿地面积先减少后增加,但上升趋势缓慢。建立海洋碳汇银行情景下,五市滨海湿地面积减少的趋势变缓。模拟期第 10 年是一个转折点,在此之后滨海湿地面积在未建立和建立海洋碳汇银行的情况下都呈现增加的趋势。这主要是因为随着浙江省经济的发展和城市化进程的加快,对滨海湿地资源造成了持续的侵占、污染和破坏,尤其是围填海项目对滨海湿地资源造成了不可逆的影响,致使滨海湿地资源受损、滨海湿地面积不断减少。但近年来对滨海湿地的保护日益得到重视,2019 年制定的《浙江省加强滨海湿地保护严格管控围填海实施方案》提出有效遏制围填海等破坏性开发活动,2022 年浙江省自然资源厅发布《浙江省自然资源厅关于统筹做好自然资源“强保障、优配置、优服务”工作的意见》,其中提到要合理利用历史围填海面积。在政府相

关规定的不断出台和严格管理下,五市的滨海湿地面积减少趋势得到有效缓解。进一步地,在建立海洋碳汇银行情景下,在经历 10 年左右的波动变化后,滨海湿地面积增加速度呈现逐渐加快的状态。由于滨海湿地中红树林等产生的碳汇能够在碳市场上得到广泛的交易,因此随着海洋碳汇银行的建设日益完善,滨海湿地的经济价值不断得到提升,社会对滨海湿地的保护与重视程度也将相应提高,促使滨海湿地面积减少得到明显抑制,与未建立海洋碳汇银行情景相比,五市的滨海湿地面积的差距由小到大逐渐拉开。

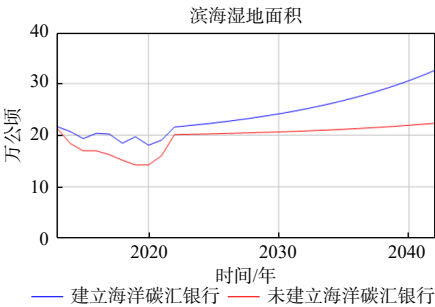


图 3 浙江省五市滨海湿地面积仿真预测
Fig. 3 Simulation prediction of coastal wetland area in five cities of Zhejiang Province

(2)海洋碳汇银行的建立促进五市海洋资源环境水平稳步上升。随着经济的发展,五市经济高速增长,人口数量迅速膨胀,需要有更多土地来支持城市化发展,因此围海造田现象屡见不

鲜。同时,工业扩张、海洋旅游业兴起等也加剧了海洋资源环境的消耗。此外,生产、生活污水及固体废弃物排放的不断增加,进一步导致海洋生物多样性下降,海洋生态系统服务功能受损。2012年,党的十八大报告首次提出“建设海洋强国”,强调保护海洋生态环境的重要性。此后,浙江省海洋环境保护工作迈入新阶段,从《浙江省海洋环境保护管理条例》不断改进,到《浙江省近岸海域污染防治实施方案》《浙江省加强滨海湿地保护严格管控围填海实施方案》等方案的颁布,全方面促进了海洋生态修复和保护。因此,在未建立海洋碳汇银行的对照情景中(图4),随着政府在海洋生态环境和海洋资源开发利用方面的管理越发严格,加上国民海洋保护意识提高,将使得海洋生态状况有所好转,五市的海洋资源环境水平持续上升,但涨幅很小。

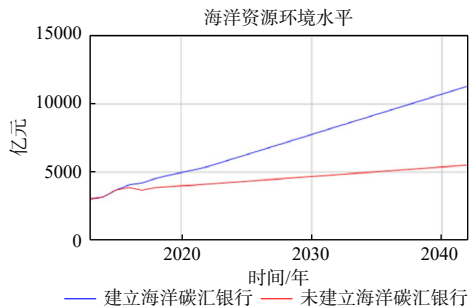


图4 浙江省五市海洋资源环境水平仿真预测

Fig. 4 Simulation and prediction of marine resources and environment level in five cities of Zhejiang Province

海洋碳汇银行建立后,从模拟期第6年起,五市的海洋资源环境水平逐渐高于未建立海洋碳汇银行时的状况,并呈快速增加趋势。这是由于随着海洋碳汇银行的建设发展,可以更好地将滨海湿地和海洋渔业资源产生的碳汇供给市场,因此在一定程度上推动了海洋资源环境保护工作的开展,增加了海洋资源环境恢复的渠道,有效促进了海洋资源环境合理利用,最终有利于海洋生物多样性保护和海洋生态系统服务功能等的提升。因此,从长期来看,建立海洋碳汇银行后,五市的海洋资源环境水平将不断上升。

(3)海洋碳汇银行的建立推动了五市GDP总量大幅提升。通过建立海洋碳汇银行情景和未建立海洋碳汇银行情景的对比结果发现(图5),

模拟期前10年,建立海洋碳汇银行情景下的五市经济发展水平与未建立海洋碳汇银行情景下的水平基本持平,无显著差异;从模拟期第11年起,建立海洋碳汇银行情景下的五市经济发展水平开始显现逐步高于同期未建立海洋碳汇银行的水平,海洋碳汇银行带来的经济助推效应开始显现,两种情景下的经济发展水平差异逐渐拉大。这主要是因为海洋碳汇银行建立初期,需要投入较大的管理成本,且海洋碳汇银行的业务与一般银行最大的不同是其交易对象——海洋碳汇资源——在收储、运营和交易等全过程中可能存在较高的自然、技术等风险^[12, 42],需要有较强的技术保障来支撑业务的发展。因此海洋碳汇银行的可变成本较高,使得海洋碳汇银行建立初期盈利水平不高,甚至海洋渔业和海洋服务业的收益被用以抵消海洋碳汇产业的成本(图6),因此无法通过海洋碳汇交易对经济发展产生显著影响。之后,随着海洋碳汇交易实践不断取得新进展,海洋碳汇银行由最初的盈利能力不高,逐渐显现出可观的利润水平,从而大幅推动了海洋产业和环保产业发展并带动五市经济发展。

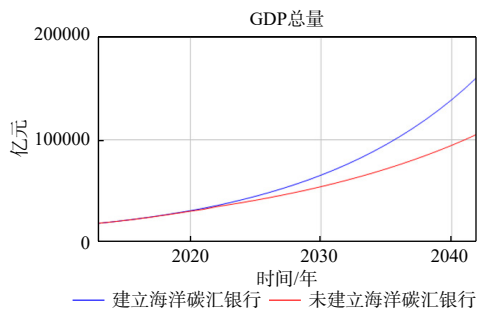


图5 浙江省五市GDP总量仿真预测

Fig. 5 GDP simulation prediction of five cities in Zhejiang Province

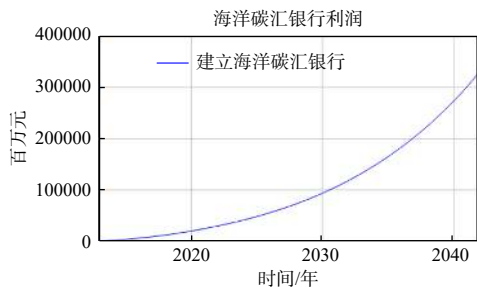


图6 海洋碳汇银行利润仿真预测

Fig. 6 Marine carbon sink bank profit simulation forecast

2.3 政策建议

实证模拟结果表明,海洋碳汇银行对海洋资源环境恢复及经济社会发展均具有长期正向效应,建立海洋碳汇银行是实现海洋碳汇价值的重要政策手段。因此,为了保障海洋碳汇银行能够顺利建立并稳定运行,本文提出以下三方面建议。

首先,要建立事务管理体系,通过政策引导、强化监管以确保海洋碳汇银行运行的长期性与稳定性。一是借鉴厦门产权交易中心、海南国际碳排放权交易中心等涉及海洋碳汇的交易平台的运行经验和国家核证自愿减排量(CCER)项目的管理办法,明确海洋碳汇资源开发运营项目的申报、审核等工作的管理办法与海洋碳汇的市场交易规则,制定海洋碳汇银行设立准则与市场交易流程。二是依照《海洋碳汇核算方法》等标准,确立科学的海洋碳汇价格评估及海洋资源收购补偿评估技术规程。三是发挥好政府部门在海洋碳汇银行运行中的监管职能。四是与财政或金融部门建立联动机制,参照江西、广西、广东、山东等地自然资源产业金融发展的实践经验,建立健全海洋碳汇交易的金融财税政策、专项配套基金,创新开发基于海洋碳汇的金融工具和产品,关注市场需求,提高业态策划水平和项目对接成功率,不断引导企业和资本进入海洋碳汇银行领域。

其次,要实施适应性治理,做好风险防范。一是针对运行过程中存在的碳汇能力下降等自然风险、生态环境破坏等人类行为风险、价格水平下降等市场风险和政策条件变化等风险^[5,8],在建立良好的风险预警机制的同时,也要注重海洋碳汇银行自身管理机制的适应性和灵活性创新与建构;二是构建完善的多层次、多部门合作的深度协商机制,增进海洋碳汇银行、渔农民、市场等主体间的相互理解,使各利益相关方发挥不同但又互为补充的风险管理作用;三是系统掌握各种风险情况对不同利益主体造成的结果及其可能采取的应对行动选择,建设适应性政策体系,不断调整海洋碳汇银行经营管理政策在实现个体行动、管理组织结构和社会生态系统的适应性方面的能力,同时确保政策执行的稳定性和可持续性。

最后,要提升海洋碳汇资源开发的技术支撑水平。一是依托各级各类科研机构,系统组织开展海洋碳汇基础研究、战略研究和实践探索,做好关于海洋固碳机制与增汇途径的科学研究工作;二是做好海洋生态监测的网络体系建设,形成对海洋碳汇资源开发关键要素的全面观测、监测能力;三是深入开展风暴潮、海浪等灾害的观测预警、综合调查与评估等工作,为海洋碳汇自然风险的有效防范做好支撑;四是制定好海洋碳汇发展规划,并将其纳入现有国土空间规划体系中,与土地等其他规划充分衔接,同时提升规划体系的技术理性,将海洋碳汇资源开发推向更科学、全尺度的综合考量;五是进一步推进海洋生态的保护与修复,结合海洋生态红线划定、国家海洋公园设立等工作,陆海统筹,建立完善的海洋生态治理制度体系。同时,将碳汇作为成效评价的重要指标。

3 结论

(1)海洋碳汇银行的建立会促使滨海湿地面积以较快的速度稳定增加,与未建立海洋碳汇银行情景下的滨海湿地面积产生较大差距。

(2)海洋碳汇银行的建立是五市海洋资源环境恢复与维护的重要助力,在模拟期内五市的海洋资源环境水平稳步提升,而在未建立海洋碳汇银行情景下,五市的海洋资源环境水平只有小幅度上升。

(3)海洋碳汇银行的建立将大幅推动五市经济发展。从第11年起,建立海洋碳汇银行情景下五市经济发展水平将逐渐高于未建立海洋碳汇银行情景下的发展水平,从第20年开始,海洋碳汇银行对经济发展的贡献将会显著增加。

参考文献:

- [1] 杨卫东,曾联波,李想. 碳汇效应及其影响因素研究进展[J]. 地球科学进展, 2023, 38(2): 151-167.
- [2] 谢素美,罗伍丽,贺义雄,等. 中国海洋碳汇交易市场构建[J]. 科技导报, 2021, 39(24): 84-95.
- [3] 邢庆会,于彩芬,廖国祥,等. 浅析我国海岸带蓝碳应对气候变化的发展研究[J]. 海洋环境科学, 2022, 41(1): 1-7.
- [4] 毛竹,陈虹,孙瑞钧,等. 我国海洋碳汇建设现状、问题及建议[J]. 环境保护, 2022, 50(7): 50-53.
- [5] 徐淑升,赵东蕾,谢敬谦,等. “生态银行”对海洋生态修复

- 和价值实现的启示——建立“红树林生态银行”的构想[J]. 海洋开发与管理, 2021, 38(12): 67-73.
- [6] 柳 荻, 胡振通, 靳乐山. 美国湿地缓解银行实践与中国启示: 市场创建和市场运行[J]. 中国土地科学, 2018, 32(1): 65-72.
- [7] 蒋 凡, 秦 涛, 田治威. “水银行”交易机制实现三江源水生态产品价值研究[J]. 青海社会科学, 2021 (2): 54-59.
- [8] 杨 越, 陈 玲, 薛 澜. 中国蓝碳市场建设的顶层设计与策略选择[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(9): 92-103.
- [9] 赵 云, 乔 岳, 张立伟. 海洋碳汇发展机制与交易模式探索[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(3): 288-295.
- [10] 焦念志, 刘纪化, 石 拓, 等. 实施海洋负排放践行碳中和战略[J]. 中国科学: 地球科学, 2021, 51(4): 632-643.
- [11] 李明昕, 梁 晨, 张麒麟, 等. 海洋碳汇交易国际进展与经验启示[J]. 海洋经济, 2022, 12(5): 95-102.
- [12] 李明昕, 徐丛春, 王 涛, 等. “双碳”目标下我国海洋碳汇交易机制进展、面临的挑战及发展策略[J]. 科技管理研究, 2023, 43(4): 193-200.
- [13] YU L H, ZHENG S, GAO Q. Independent or collaborative management? Regional management strategy for ocean carbon sink trading based on game theory[J]. Ocean & Coastal Management, 2023, 235: 106484.
- [14] 段哲哲, 艾 健, 秦 强. 系统理论中系统动力学方法论的困境、问题与未来——基于经典定性与定量方法的批判视角[J]. 系统科学学报, 2022, 30(2): 30-34.
- [15] 王其藩. 系统动力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1988: 1-10.
- [16] 谭木魁, 张 路, 齐 睿. 基于系统动力学的区域耕地压力指数研究[J]. 自然资源学报, 2012, 27(5): 757-765.
- [17] 牛方曲, 孙东琪. 资源环境承载力与中国经济发展可持续性模拟[J]. 地理学报, 2019, 74(12): 2604-2613.
- [18] 王奕淇, 李国平. 基于SD模型的黄河流域生态环境与社会经济发展可持续性模拟[J]. 干旱区地理, 2022, 45(3): 901-911.
- [19] 刘开迪, 杨多贵, 王光辉, 等. 基于系统动力学的生态文明建设政策模拟与仿真研究[J]. 中国管理科学, 2020, 28(8): 209-220.
- [20] 于贵瑞, 郝天象, 朱剑兴. 中国碳达峰、碳中和行动方略之探讨[J]. 中国科学院院刊, 2022, 37(4): 423-434.
- [21] 李 华, 高 强. 科技进步、海洋经济发展与生态环境变化[J]. 华东经济管理, 2017, 31(12): 100-107.
- [22] KILDOW J T, MCILGORM A. 测算海洋对国民经济的贡献意义重大[J]. 周秋麟, 译. 经济资料译丛, 2011 (2): 87-100.
- [23] 薛永杰, 闫金玲. 区域经济视角下滨海旅游业对海洋产业的贡献研究——以山东半岛蓝色经济区为例[J]. 北方经济, 2012 (4): 69-70.
- [24] 邹智深, 苏勇军. 国内滨海旅游研究进展与展望[J]. 海洋经济, 2015, 5(4): 18-25.
- [25] 王 维, 于 洁. 长江经济带社会-经济-资源-环境协调机理及其时空格局[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2019, 40(5): 73-83.
- [26] 柴倩倩, 李喆溪. 环境规制对高质量就业的影响路径及效应[J]. 税务与经济, 2023 (2): 91-99.
- [27] 贺义雄, 王燕炜, 谢素美, 等. 我国海洋碳汇研究进展——基于CNKI(2006-2021年)的文献分析[J]. 海洋经济, 2022, 12(4): 1-16.
- [28] 窦亚权, 杨 琛, 赵晓迪, 等. 森林生态产品价值实现的理论与路径选择[J]. 林业科学, 2022, 58(7): 1-11.
- [29] 崔 莉, 厉新建, 程 哲. 自然资源资本化实现机制研究——以南平市“生态银行”为例[J]. 管理世界, 2019, 35(9): 95-100.
- [30] 沈洪涛, 任树伟, 何志鹏, 等. 湿地缓解银行——美国湿地保护的制度创新[J]. 环境保护, 2008 (12): 72-74.
- [31] 张继红, 方建光, 唐启升. 中国浅海贝藻养殖对海洋碳循环的贡献[J]. 地球科学进展, 2005, 20(3): 359-365.
- [32] SHI Y S, GUAN Y H, LI L, et al. Empirical analysis on the impacts of carbon sink afforestation project on county industrial structural upgrading[J]. Alexandria Engineering Journal, 2022, 61(1): 207-216.
- [33] 贺义雄, 宋伟鸣, 杨 帆. 长三角海洋资源环境一体化治理策略研究——基于海洋生态系统服务价值影响分析[J]. 海洋科学, 2021, 45(6): 63-78.
- [34] 贺义雄. 为何浙江需要建设“海洋碳汇银行”? [EB/OL]. (2023-02-16)[2023-10-04]. <https://mp.weixin.qq.com/s/xs4UdfUJOoZS4nPachd3-w>.
- [35] 向 爱, 揣小伟, 李家胜. 中国沿海省份蓝碳现状与能力评估[J]. 资源科学, 2022, 44(6): 1138-1154.
- [36] 张樾樾, 刘 鹏. 中国海洋牧场生态系统优化的政策仿真与模拟[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(12): 168-176.
- [37] 夏正启, 王 凯, 彭道民, 等. 基于系统动力学模型的胶州湾海域承载力预测[J]. 中国海洋大学学报, 2023, 53(6): 123-133.
- [38] 刘志强, 陈 渊, 金 剑, 等. 基于系统动力学的农业资源保障及其政策模拟: 以黑龙江省为例[J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(9): 1586-1592.
- [39] 欧阳志云, 王效科, 苗 鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 607-613.
- [40] DAILY G C. Nature's services: societal dependence on natural ecosystems[M]. Washington DC: Island Press, 1997: 3-4.
- [41] 沈满洪, 毛 狄. 海洋生态系统服务价值评估研究综述[J]. 生态学报, 2019, 29(3): 2255-2265.
- [42] 贺义雄, 王燕炜, 谢素美. 供给主体视角下红树林碳汇项目全生命周期风险测度与评价研究: 以湛江红树林造林项目为例[J]. 海洋通报, 2024, 43(2): 248-264.

(本文编辑: 曲丽梅)