

DOI: 10.20098/j.cnki.1001-5132.2022.0513

小区域近岸海域生态系统景观及固碳功能变化分析

——以乐清为例

何奕然¹, 马仁锋¹, 周浩², 马静武², 王建庆^{3*}, 刘雨莹¹

(1.宁波大学 浙江省陆海国土空间利用与治理协同创新中心, 浙江 宁波 315211; 2.温州市自然资源和规划局, 浙江 温州 325000; 3.宁波海洋研究院, 浙江 宁波 315832)

摘要: 海洋生态系统服务功能评估是海洋可持续发展的基础, 可指导人类更好地实现人海和谐发展目标. 以温州乐清市近岸海域作为研究区域, 基于InVEST模型分析1998—2018年研究区生态系统服务功能之固碳服务的时空变化. 结果表明: (1)1998—2018年, 乐清市近岸海域景观由近海水域景观向海岸带景观转变, 并呈现出自然湿地向人工湿地转变, 湿地向建筑用地和养殖鱼塘转移趋势; (2)碳储量下降主导因素为沿海滩涂和建筑用地对滨海沼泽的侵占; (3)1998—2018年, 乐清市近岸海域固碳功能时空变化明显, 碳储量不断增加; 空间变化上, 西门岛、白沙岛及其周边和乐清湾南部沿岸区域碳储量不断增加, 且由碳汇区向碳源区转变. 碳汇区面积呈下降趋势, 碳源区面积呈上升趋势, 分布区域差异较大. 碳收支平衡区面积略有增加, 分布区域较为稳定. 碳储量最高值和较低值面积变化差异大, 最低值区域变化较小.

关键词: 海洋生态系统; 生态系统服务功能; InVEST 模型

中图分类号: S154.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2023) 04-0070-08

海洋作为全球生态环境的一个主要组成, 覆盖了约 71% 的地球表面, 向人类提供各方面服务, 种类可分为供给服务、调节服务、文化服务和支持服务四类^[1]. 随着沿海城市面积和人口不断增长, 建设面积已超过陆地面积 10%, 人口总数占世界总人口 65%^[2]. 显然, 海洋事关滨海城市可持续发展. 我国沿海城市在迅速发展的同时, 城市发展的近岸海洋资源环境影响同样受到高度重视^[3]. 已有的研究包括: 用基础的固碳或碳储时空变化来分析宏观尺度的海岸带或海域生态系统变化^[4]; 通过 InVEST 碳储模块分析, 结果显示黄河源区 2000—2020 年碳储时空变化呈增长趋势^[5]; 通过计算江苏海岸带 1975—2007 年生态系统总碳储量, 发现总碳储量呈上升趋势, 但是单位面积碳储量呈下降趋势^[6]; 分析发现上海 1990—2015 年海洋生态

系统固碳服务功能呈下降趋势, 但是单位面积碳储量呈增长趋势^[7]. 这些研究已经关注到海洋生态系统服务变化衡量方法及中国黄海、东海部分地区海岸带或海域固碳量变化, 但是研究焦点集中于宏观尺度海岸带地区, 而未关注小区域近岸海域及其固碳服务功能. 小区域和大区域的海岸带研究相互区别, 又不可相互替代. 首先, 两者在核算方法上存在区别, 相较而言, 小区域近岸海域研究的核算更为精细化. 此外, 两者在人类海洋活动的研究尺度上存在差异性, 大区域研究关注宏观尺度的人类海洋活动, 小区域研究则关注地方人类活动独特性. 小区域近岸海域研究则通过对具体地方海洋活动的核算与分析, 一方面, 丰富了微观尺度的近岸海域研究, 另一方面, 对地方政府海洋保护和管理政策的制定提供了参考依据. 为此, 本

收稿日期: 2022-05-16.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 浙江省基础公益研究项目(LGF22D010002); 温州市自然资源和规划局咨询项目(WZHX2021-08-211).

第一作者: 何奕然(2000—), 女, 浙江余姚人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 海洋资源环境与涉海规划. E-mail: dingdooo@163.com

*通信作者: 王建庆(1987—), 男, 山东寿光人, 硕士/工程师, 主要研究方向: 海洋资源环境与涉海规划. E-mail: wangjq@nbio.org.cn

文探讨温州乐清市近岸海域生态系统服务功能的时空变化,进而分析碳储量对海域景观类型转移的响应,以期为沿海城市陆海统筹与海域保护管理提供科学参考。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区概况

乐清市系浙江省辖县级市,位于浙江省南部沿海平原山区,东临乐清湾,与台州为邻,南与瓯江相接,辖陆地面积 1 385 km²,海域面积 270 km²。乐清湾潮波为港湾协振动状态,潮流属于规则的半日潮,每天两高两低非常显著,潮汐资源丰富,约占全省潮汐储量的 8%^[8]。乐清湾天然饵料丰富,沿岸滩涂面积广阔,不断淤积发展,是中国最大的泥蚶育苗基地^[9]。乐清湾内水产资源丰富,已成为沿岸各县市主要近海捕捞鱼场^[10]。因此,乐清市近岸海域在温州市乃至在浙江省海洋地位十分重要,海洋对乐清市生态功能、社会经济发展具有举足轻重的作用^[11]。然而,随着乐清市海洋资源的大规模利用,近岸海域生态环境与城市之间矛盾日益突出,导致乐清市近岸海域的生态系统服务出现了较大变化^[12]。

1.2 数据来源与处理

本文使用的 3 期遥感影像数据分别为 1998 年 11 月 8 日和 2008 年 12 月 5 日分辨率 30 m 的 Landsat-5-TM 数据,以及 2018 年 12 月 17 日分辨率 30 m 的 Landsat-8-OLI 数据,均来源于美国地质勘探局 similar tool to the USGS Global Visualization Viewer (GloVis)。以乐清市行政管辖海域为研究范围,基于遥感影像进行数据提取,并在 ENVI 5.3 和 ArcGIS 10.3 中进行数据预处理。

1.3 研究方法

InVEST 碳储存模型所需数据包括海域利用类型,以及四大碳库的碳密度数据。利用 ENVI 5.3 监督分类解译的 3 期乐清市近岸海域景观类型图作为海域利用类型,并转为栅格文件。参照文献[13-17]活动碳密度数据估算方法与结果,分别对乐清湾海域 4 种主要碳储量的碳密度进行分析,得到与不同景观类型相对应的碳库(表 1)。

根据景观生态分类基本原则,首先将乐清市近岸海域景观分为四类,分别为自然湿地、人工湿

表 1 不同景观类型四大碳库碳密度值 $\times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$

海域景观类型	C_{above}	C_{below}	C_{soil}	C_{dead}
草场	2.5	11.1	0.2	26.5
沿海滩涂	2.8	1.8	0	13.8
近海水域	0	0	0	0
养殖鱼塘	0.5	0	0	12.0
建筑用地	0	0	0	8.0
水田	9.0	4.0	0.3	38.6

地、其他景观和近海水域。其次,在四类景观类型基础上区分不同景观类型的子类。其中,将自然湿地分为沿海滩涂、滨海沼泽;将人工湿地分为养殖鱼塘、水田;将其他景观分为建筑用地、灌木草场。

表 2 研究区景观分类

景观	景观类型
自然湿地	沿海滩涂 滨海沼泽
人工湿地	养殖鱼塘 水田
其他景观	建筑用地 灌木草场
近海水域	近海水域

利用 ENVI 5.3 通过建立分类训练样区,在人机交互基础上使用监督分类方法,对乐清市近岸海域 3 期遥感影像进行景观类型划分,生成海域景观类型栅格数据,分类精度评价均达 80%以上。

利用 InVEST 模型评估乐清市近岸海域固碳服务价值的空间变化,主要利用 InVEST 碳储存模型,将景观类型图作为海域利用分类的参照,并分别统计乐清市近岸不同海域利用类对应的四大碳库的碳密度值。随后基于 InVEST 碳储存模型公式输入不同海域类型四大碳库的碳密度值,计算各栅格单元的碳储存量 C_i :

$$C_i = C_{i_above} + C_{i_below} + C_{i_dead} + C_{i_soil}.$$

进而根据各单元的碳储量数值,计算该生态系统的总碳储量值 C_{i_total} :

$$C_{i_total} = C_i \times A_i,$$

式中: C_i 、 C_{i_above} 、 C_{i_below} 、 C_{i_soil} 、 C_{i_dead} 各自代表第 i 种海域利用类、海表、水下、底栖和水中死亡物质的碳密度值; A_i 则代表各海域类面积相加的总和。计算过程主要采用地理信息系统软件 ArcGIS 的空间分析功能的叠置分析、分区统计,并追踪乐

清市 1998—2018 年近岸海域多时段利用景观类型的转移.

2 结果分析

2.1 景观类型时空变化

统计不同年份各海域景观类型面积,明确海域景观的时空变化以及人类利用海洋的趋势. 利用 ENVI 5.3 分别解译 1998、2008、2018 年乐清市近岸海域遥感影像(图 1), 并利用 ArcGIS 10.3 统计不同类型的海域景观面积. 3 期景观分类结果显示, 1998—2018 年海岸带景观呈不断扩大趋势, 近海水域面积不断缩减(表 3). 1998—2018 年乐清市近岸海域的海岸带景观面积增加了 101.27 km², 2018 年海岸带景观面积是 1998 年的 3 倍, 近海水域面积则相应减少了 101.27 km². 沿海滩涂和滨海沼泽是乐清市近岸海域除近海水域外的主要景观类型. 沿海滩涂面积占比在 1998 年、2008 年、2018 年分

别为 3.33%、12.22%和 19.80%, 滨海沼泽面积占比分别为 2.77%、9.44%和 7.53%. 两种主要景观类型总体均呈上升趋势, 且上升显著, 但滨海沼泽面积在 2008—2018 年间减少了 5.48 km², 这与人类利用近岸海域资源不无关系.

从 1998—2018 年乐清近岸海域各景观类型面积变化来看, 除灌木草场外, 各景观类型的面积均有不同程度的扩大. 沿海滩涂、滨海沼泽、养殖鱼塘、水田、建筑用地面积增加较为显著, 其中, 滨海沼泽的面积在 1998—2008 年期间显著增加, 但在 2008—2018 年间有所回落. 各景观类型面积的此消彼长也从一定程度上反映了人类利用海洋资源的方式. 尽管自然湿地的面积不断扩大, 但与此同时, 不能忽视人工湿地与其他景观面积的迅速增加, 这一现象与大规模围垦密切相关.

基于 ArcGIS 10.3 软件统计得表 4, 据此可知 1998—2008 年转出面积最多的景观类型为近海水

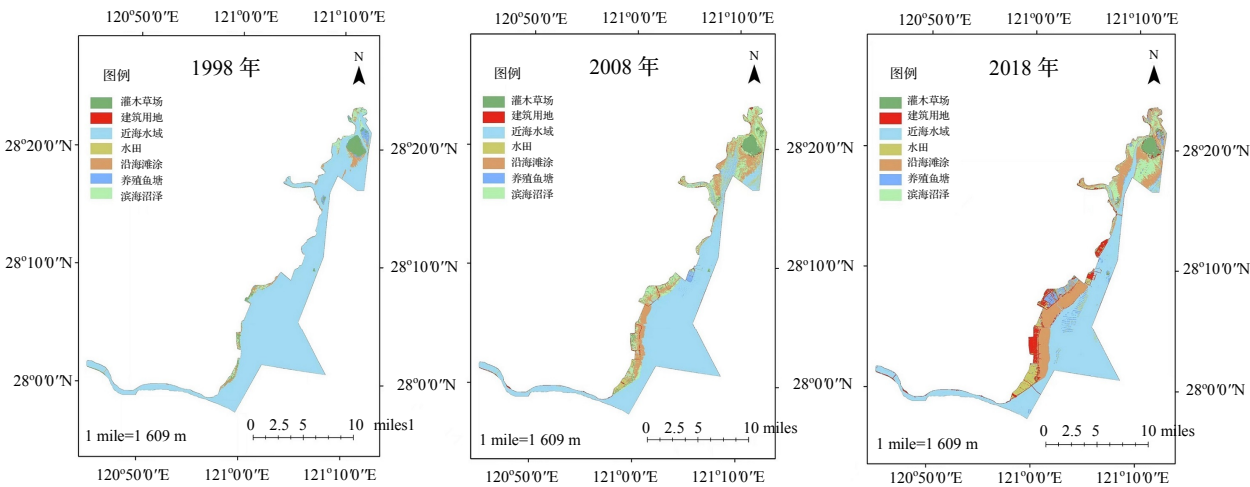


图 1 乐清市 1998—2018 年近岸海域景观类型分布

表 3 研究区 1998—2018 年海域景观类型面积变化 km²

景观类	亚类	1998 年	2008 年	2018 年	1998—2018 年
自然湿地	沿海滩涂	9.57	35.10	57.10	47.53
	滨海沼泽	7.95	27.13	21.65	13.70
人工湿地	养殖鱼塘	3.91	11.00	14.08	10.17
	水田	—	11.80	14.61	14.61
其他景观	建筑用地	—	1.25	16.10	16.10
	灌木草场	10.32	10.85	9.48	-0.84
	小计	31.75	97.13	133.02	101.27
近海水域	近海水域	255.60	190.22	154.33	-101.27
	总计	287.35	287.35	287.35	—

域, 转出面积达到 66.53 km², 主要转为沿海滩涂、滨海沼泽和水田, 面积分别为 29.45、17.02 和 11.14 km². 除近海水域外, 转出面积最大为沿海滩涂景观, 面积 5.92 km², 主要转为滨海沼泽, 面积 3.79 km²; 转入面积较大的景观类型为沿海滩涂、滨海沼泽和水田, 面积分别为 32.41、23.98、13.22 km², 而养殖鱼塘、建筑用地、灌木草场和近海水域的转入面积很小, 分别为 5.96、2.77、4.60、0.40 km², 都在 6 km² 以下. 可见, 乐清市 1998—2008 年间滩涂不断淤积发展, 滩涂资源优势越发显著. 与此同时, 乐清市利用滩涂资源进行围垦来扩展陆地面积, 围垦后土地多用于水田和养殖.

基于 ArcGIS 10.3 软件统计得表 5, 据此可知 2008—2018 年转出面积最多的景观类型仍为近海水域, 转出面积达 39.93 km², 主要转为沿海滩涂、养殖鱼塘、水田和建筑用地, 面积分别为 28.59、5.98、2.57、2.02 km², 与 1998—2008 年期间相比, 近海水域向滨海沼泽转移面积骤减. 除近海水域外, 沿海滩涂和滨海沼泽为主要的转出景观类型, 转出面积相较于 1998—2008 年期间大幅增加, 沿海滩涂转出面积由 5.92 km² 增长到 22.83 km², 滨

海沼泽转出面积由 3.35 km² 增长到 19.58 km². 沿海滩涂主要转出为滨海沼泽、建筑用地、水田和养殖鱼塘, 转移面积分别为 10.12、4.98、4.19、2.32 km²; 滨海沼泽主要转出为沿海滩涂、建筑用地、养殖鱼塘和水田, 面积分别为 7.85、4.27、3.14、2.86 km². 转入面积中, 沿海滩涂的转入面积最大达到 43.86 km², 与前十年相较有所增长. 除灌木草场和近海水域外, 其他景观类型转入面积都在 10 km² 以上, 如养殖鱼塘、建筑用地的转入面积分别为 13.62 km² 和 14.57 km², 与 1998—2008 年相比有明显增长, 但滨海沼泽和水田的转入面积有所下降. 可见, 乐清市 2008—2018 年滩涂面积仍在不断扩大, 通过滩涂围垦增加的土地面积主要用于建筑用地和发展养殖业.

2.2 乐清市近岸海域生态系统服务功能类型与碳储量时空变化

海洋生态系统服务是指通过海洋生态系统的功能结构和生态过程, 以物品和服务等方式直接或间接给予人类提供的各种效用或惠益^[18]. 根据联合国千年生态系统评估框架^[1]将温州乐清市近岸海域生态系统服务分为供给服务、调节服务、文

表 4 研究区 1998—2008 年景观类型面积转移矩阵 km²

1998 年	2008 年							转出面积
	沿海滩涂	滨海沼泽	养殖鱼塘	水田	建筑用地	灌木草场	近海水域	
沿海滩涂	0	3.79	0.05	0.64	0.55	0.76	0.13	5.92
滨海沼泽	2.11	0	0.04	0.51	0.09	0.44	0.16	3.35
养殖鱼塘	0.27	1.74	0	0.59	0.05	1.11	0.06	3.82
灌木草场	0.58	1.43	0.01	0.34	1.31	0	0.05	3.72
近海水域	29.45	17.02	5.86	11.14	0.77	2.29	0	66.53
转入面积	32.41	23.98	5.96	13.22	2.77	4.60	0.40	

表 5 研究区 2008—2018 年景观类型面积转移矩阵 km²

2008 年	2018 年							转出面积
	沿海滩涂	滨海沼泽	养殖鱼塘	水田	建筑用地	灌木草场	近海水域	
沿海滩涂	0	10.12	2.32	4.19	4.98	0.96	0.26	22.83
滨海沼泽	7.85	0	3.14	2.86	4.27	1.27	0.19	19.58
养殖鱼塘	1.91	0.21	0	0.78	0.72	0.12	1.85	5.59
水田	5.06	0.76	1.40	0	0.56	0.11	2.62	10.51
建筑用地	0.11	0.07	0.01	0.12	0	0.17	0	0.48
灌木草场	0.34	0.84	0.77	1.33	2.02	0	0.04	5.34
近海水域	28.59	0.63	5.98	2.57	2.02	0.14	0	39.93
转入面积	43.86	12.63	13.62	11.85	14.57	2.77	4.96	

化服务和支撑服务四类. 并以固碳服务为例, 分析乐清市近岸海域生态系统服务功能时空变化.

碳储量时空变化方面, 基于 3 个时期研究区海域景观类型栅格数据, 采用 InVEST 模型获取 1998—2018 年研究区碳储量时空分布, 并统计分析, 得 3 个时期研究区碳储量分别为 988.48×10^5 、 $3\,074.65 \times 10^5$ 、 $3\,359.12 \times 10^5$ kg, 碳储量呈现明显的上升趋势, 2008 年碳储量达到了 1998 年的 3 倍以上, 而后增长明显放缓(图 2), 这与乐清市滩涂围垦工程有关.

基于表 1 碳密度数据, 采用 InVEST 模型计算每个栅格碳储量, 以及不同年份景观类型变化后的相应碳储量. 根据碳密度数据, 最高值为沼泽、灌木草场、水田, 较低值为滩涂, 最低值为养殖鱼塘和建筑用地. 由于近海水域面积占比大且性质相对稳定, 因此不分析, 运算过程中将其赋值为 0.

1998 年, 研究区内碳储量最高值主要集中分布在西门岛和白沙岛北滩, 乐清湾南部沿岸也有零星呈条带状断续分布, 与植被覆盖密切相关. 碳储量较低值主要分布于西门岛南滩, 乐清湾南部沿岸也有零星分布. 碳储量最低值集中分布于白沙岛中部和南部.

2008 年, 碳储量最高值集中分布于西门岛、白沙岛以及西门岛南滩. 另外, 在乐清湾南部沿岸也有断续的条带状分布, 相较于 1998 年, 该区域面积明显扩大. 碳储量较低值集中分布于西门岛南滩、乐清湾南部沿岸, 小横床岛至蟹钳头也有条块状分布. 与 1998 年相比, 由零星分布汇聚为条带状、块状分布, 面积明显扩大. 碳储量最低值少量分布在乐清湾沿岸, 与 1998 年相比分布位置明显

改变.

2018 年, 碳储量最高值集中分布于西门岛和西门岛南滩, 乐清湾南部沿岸在白山咀头至山外一带呈条块状分布. 相较于 2008 年, 西门岛、白沙岛和乐清湾南部沿岸分布明显减少, 西门岛南滩分布增加. 其中, 西门岛、白沙岛和乐清湾南部沿岸不少图斑由 2008 年的碳储量最高值区域转为碳储量较低值或最低值区域. 碳储量较低值集中分布于西门岛南滩、乐清湾南部沿岸以及小横床岛至蟹钳头沿岸, 分布位置较 2008 年没有明显改变, 其中乐清湾南部沿岸由 2008 年的断续细窄条带状汇聚为连续条块状分布. 碳储量最低值集中分布于乐清湾南部沿岸, 白沙岛有零星分布, 面积较 2008 年有所扩大.

总体看, 研究区 1998—2018 年碳储量最高值和较低值分布区域面积变化大, 说明植被、滨海沼泽和沿海滩涂受影响大. 碳储量最高值区域先增加后减少, 碳储量较高值区域由零星分布汇聚为连续条块状分布, 分布区域面积不断扩大. 碳储量最低值区域面积在 1998—2008 年间变化不大, 在 2008—2018 年间大幅增加.

2.3 碳储量对景观类型转移的响应分析

根据景观类型面积转移矩阵和不同地类的碳密度数据计算分别得到 1998—2008 年和 2008—2018 年的碳储量转移矩阵(表 6、表 7), 从而进行碳储量对海域景观类型转移的响应分析^[18-19]. 根据表 6 进行统计分析, 1998—2008 年, 由于景观类型转移引起研究区碳储量增加 268.4×10^6 kg, 减少 10.3×10^6 kg, 整体净增加 258.1×10^6 kg. 其中, 对碳储量增加贡献最高的三项从高到低分别为近海水

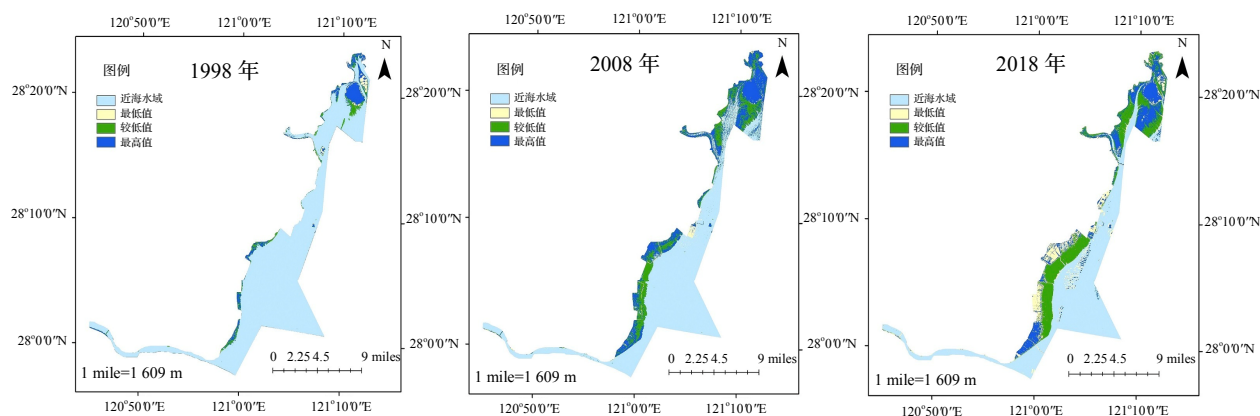


图 2 乐清市 1998—2018 年近岸海域碳储量时空分布

表6 研究区1998—2008年碳储量转移矩阵

 $\times 10^6 \text{ kg}$

1998年	2008年						
	沿海滩涂	滨海沼泽	养殖鱼塘	水田	建筑用地	灌木草场	近海水域
沿海滩涂	0	17.30	-0.02	2.10	-0.05	1.70	-0.20
滨海沼泽	-5.00	0	-0.01	-0.62	-0.50	-1.04	-1.02
养殖鱼塘	0.16	1.74	0	2.32	-0.02	3.09	-0.08
灌木草场	-1.30	1.43	-0.03	0.39	-4.20	0	0.20
近海水域	54.20	108.90	7.30	57.80	0.60	9.20	0

表7 研究区2008—2018年碳储量转移矩阵

 $\times 10^6 \text{ kg}$

2008年	2018年						
	沿海滩涂	滨海沼泽	养殖鱼塘	水田	建筑用地	灌木草场	近海水域
沿海滩涂	0	46.1	-1.4	19.1	-5.2	2.1	-0.5
滨海沼泽	-3.6	0	-16.2	-3.5	-23.9	-3.0	-1.2
养殖鱼塘	1.1	1.1	0	3.1	-0.3	0.3	-2.3
水田	-17.0	0.9	-5.5	0	-2.9	-0.1	-13.6
建筑用地	0.1	0.4	0	0.5	0	0.5	0
灌木草场	-0.7	2.0	-2.1	1.5	-6.5	0	0.2
近海水域	52.6	4.0	7.5	13.3	1.6	0.6	0

域向滨海沼泽、水田、沿海滩涂的转移,分别增加 108.90×10^6 、 57.80×10^6 、 $54.20 \times 10^6 \text{ kg}$, 贡献率分别为 40.6%、21.5%、20.2%; 对碳储量减少贡献最高的三项从高到低分别为滨海沼泽向沿海滩涂的转移、灌木草场向建筑用地、沿海滩涂的转移,分别减少 5.00×10^6 、 4.20×10^6 、 $1.30 \times 10^6 \text{ kg}$, 贡献率分别为 48.5%、40.7%、12.6%。根据表7 进行统计分析, 2008—2018 年由于景观类型转移引起研究区碳储量增加 $158.6 \times 10^6 \text{ kg}$, 减少 $109.5 \times 10^6 \text{ kg}$, 整体净增加 $49.1 \times 10^6 \text{ kg}$ 。其中, 对碳储量增加贡献最高的三项从高到低分别为近海水域向沿海滩涂的转移、沿海滩涂向滨海沼泽及水田的转移, 分别增加 52.6×10^6 、 46.1×10^6 、 $19.1 \times 10^6 \text{ kg}$, 贡献率分别为 33.2%、29.1%、12.0%, 对碳储量减少贡献最高的三项从高到低分别为滨海沼泽向建筑用地的转移、水田向沿海滩涂的转移、滨海沼泽向养殖鱼塘的转移, 分别减少 23.9×10^5 、 17.0×10^5 、 $16.2 \times 10^5 \text{ kg}$, 贡献率分别为 21.8%、15.5%、14.8%。

2.4 固碳量时空变化

计算得出 1998—2008 年、2008—2018 年研究区固碳量分别为 $2\ 086.17 \times 10^5$ 、 $284.47 \times 10^5 \text{ kg}$, 表明乐清市 1998—2018 年近岸海域均为碳汇区, 但固碳量大幅下降。根据 InVEST 模型计算结果, 采用

ArcGIS 10.3 可视化研究区不同时期的碳储量差异得到图 3。并根据固碳量值大小将研究区划分为碳汇区、碳收支平衡区、碳源区。碳汇区为固碳量为正值的区域, 碳收支平衡区为固碳量在 0 值附近的区域, 碳源区为固碳量为负值的区域。

1998—2008 年, 碳汇区广泛分布于研究区, 集中分布于西门岛南滩、白沙岛南部、乐清湾南部沿岸以及小横床岛至蟹钳头沿岸, 碳汇区的增加主要得益于沿海滩涂向沼泽转移以及部分滩涂向水田转移。碳源区面积较小, 零星分布于乐清湾南部沿岸。研究区内碳收支平衡区域除近海水域外, 主要分布在西门岛和白沙岛北部。

2008—2018 年相较于 1998—2008 年, 研究区内碳汇区大幅减少, 西门岛南滩、白沙岛南部的大部分碳汇区转为碳源区或碳收支平衡区, 乐清湾南部的碳汇区基本转为碳源区或碳收支平衡区, 紧邻乐清湾南部条带状分布的碳源区新增了条带状碳汇区, 可能由滩涂面积扩大造成。此外, 近岸水域中出现点状聚集分布的碳汇区, 主要由养殖鱼塘的建设造成。碳源区面积较前一时期扩大, 主要分布在白沙岛和西门岛沿岸, 以及乐清湾南部沿岸地区, 主要由建筑用地、养殖鱼塘的增加引起。碳收支平衡区面积与 1998—2008 年相比略有增加,

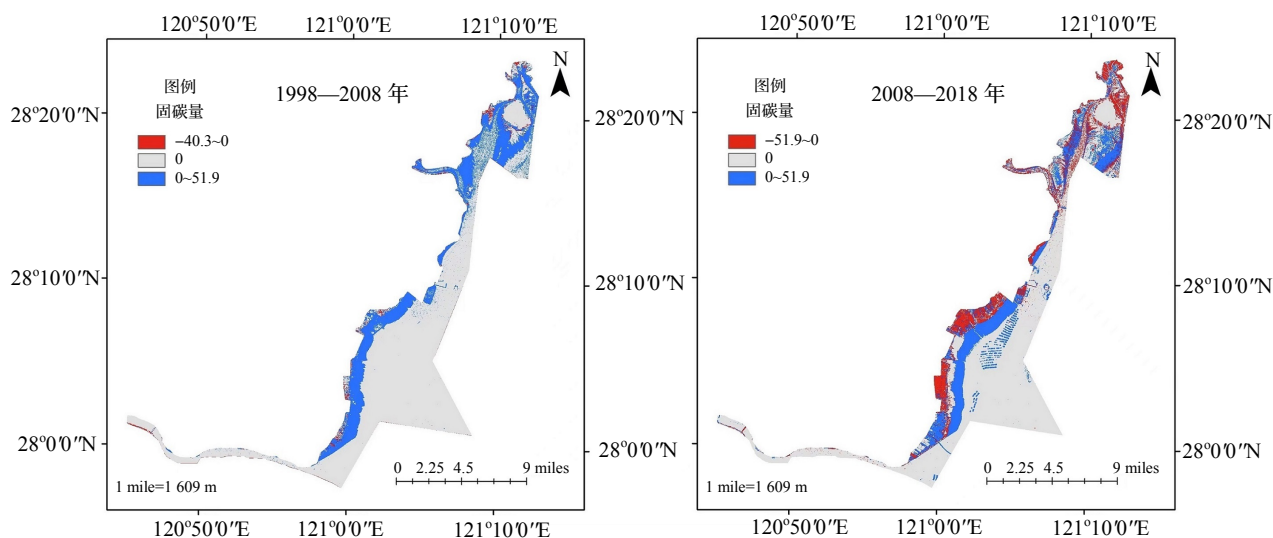


图3 乐清市1998—2018年近岸海域固碳量时空变化的类型分布

主要分布于西门岛和乐清湾南部沿岸。

总体来看,1998—2018年碳汇区面积先增加后减少,碳源区面积不断增加。由于海域利用类型从低碳储量向高碳储量转变,碳汇区面积总体上大幅增加,一方面是由于滩涂面积扩大,且部分滩涂景观向沼泽景观转变,另一方面是由于滩涂景观向水田景观转变。由于景观类型从高碳储量向低碳储量转变,碳源区面积不断增加,主要是由于养殖鱼塘、建筑用地的不断增加,导致滩涂、滨海沼泽和植被景观面积减少。碳收支平衡区面积略有增加,一方面是由于海洋生态系统自身的支持服务,另一方面得益于有效的海洋保护和管理措施。

3 结论

基于InVEST模型与GIS空间分析,以固碳服务为例分析温州乐清市1998—2018年近岸海域生态系统服务功能时空变化。研究发现:(1)1998—2018年,乐清市近岸海域景观由近海水域景观向海岸带景观转变,并呈现出自然湿地向人工湿地转变,湿地向建筑用地和养殖鱼塘转移的趋势。(2)1998—2018年,人类活动对乐清市近岸海域景观产生了显著影响。其中,建筑用地和养殖鱼塘的建设所产生的影响不容小觑。(3)碳储量对海域利用类型转移的响应分析发现碳储量增加的主导因素为沿海滩涂向近海水域的扩展,碳储量下降的主导因素为沿海滩涂和建筑用地对滨海沼泽的侵占。1998—2018年,乐清市近岸海域固碳功能时空变

化明显。研究区内碳储量不断增加,固碳量先增加后减少,呈下降趋势;空间变化上,西门岛、白沙岛及其周边和乐清湾南部沿岸区域碳储量不断增加,且由碳汇区向碳源区转变。碳汇区面积呈下降趋势,碳源区面积呈上升趋势,分布区域差异较大。碳收支平衡区面积略有增加,分布区域较为稳定。碳储量最高值和较低值面积变化差异大,最低值区域变化较小。这既体现出乐清市滩涂资源的优越性,又反映出也应加强近岸海域生态管控,保护海岸带自然景观,实施滨海湿地保护行动,严格管控建筑用地的审批,削弱人类活动对海洋生态环境的负面影响。固碳功能的时空变化分析有利于沿海县级单元实施更为精确的近岸海域生态管理策略。

参考文献:

- [1] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis[M]. Washington DC: Island Press, 2005.
- [2] McGranahan G, Marcotullio P, Bai X, et al. Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends[M]. Washington DC: Island Press, 2005.
- [3] Piwowarczyk J, Kronenberg J, Dereniowska M A. Marine ecosystem services in urban areas: Do the strategic documents of Polish coastal municipalities reflect their importance?[J]. Landscape and Urban Planning, 2013, 109(1):85-93.
- [4] 宋金明. 中国近海生态系统碳循环与生物固碳[J]. 中国水产科学, 2011, 18(3):703-711.

- [5] 侯建坤, 陈建军, 张凯琪. 基于 InVEST 和 GeoSoS-FLUS 模型的黄河源区碳储量时空变化特征及其对未来不同情景模式的响应[J]. 环境科学, 2022(4):35-45.
- [6] 张云倩, 张晓祥, 陈振杰, 等. 基于 InVEST 模型的江苏海岸带生态系统碳储量时空变化研究[J]. 水土保持研究, 2016, 23(3):100-105; 111.
- [7] 陈美田. 上海海洋生态系统服务功能及价值的时空变化和影响因素研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2019.
- [8] 童朝锋, 安福伟, 章家保, 等. 乐清湾内外潮波变形及不对称性分析[J]. 海洋工程, 2020, 38(3):113-123.
- [9] 王航俊, 姚炜民, 林义, 等. 乐清湾大型底栖动物群落及其与环境因子之间的关系[J]. 海洋学报, 2020, 42(2): 75-86.
- [10] 陈显秀, 余铨铨, 黄叶秋鸿. 乐清市“多规合一”打造现代化国土空间规划布局[J]. 浙江国土资源, 2020(1): 28-30.
- [11] 张亚洲, 张琳琳, 印瑞, 等. 浙江乐清湾浮游动物空间生态位[J]. 应用生态学报, 2021, 32(1):342-348.
- [12] 李妙聪, 刘文胜, 江锦花. 乐清湾海水养殖环境水质质量时空变化及富营养化状况评价[J]. 海洋环境科学, 2021, 40(5):724-731.
- [13] 张天雨, 葛振鸣, 张利权, 等. 崇明东滩湿地植被类型和沉积特征对土壤碳、氮分布的影响[J]. 环境科学学报, 2015, 35(3):836-843.
- [14] 周方文, 马田田, 李晓文, 等. 黄河三角洲滨海湿地生态系统服务模拟及评估[J]. 湿地科学, 2015, 13(6):667-674.
- [15] 黄玫, 季劲钧, 曹明奎, 等. 中国区域植被地上与地下生物量模拟[J]. 生态学报, 2006, 26(12):4156-4163.
- [16] 曹磊. 山东半岛北部典型滨海湿地碳的沉积与埋藏[D]. 青岛: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2014.
- [17] 石洪华, 郑伟, 丁德文, 等. 典型海洋生态系统服务功能及价值评估[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(2):101-104.
- [18] Babbar D, Areendran G, Sahana M, et al. Assessment and prediction of carbon sequestration using Markov chain and InVEST model in Sariska Tiger Reserve, India[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 278:123333.
- [19] 郝林华, 何帅, 陈尚, 等. 海洋生态系统调节服务价值评估方法及应用[J]. 生态学报, 2020, 40(13):4264-4278.

On changes in the landscape and carbon sequestration functions of small regional nearshore marine ecosystems: A case study of Yueqing

HE Yiran¹, MA Renfeng¹, ZHOU Hao², MA Jingwu², WANG Jianqing^{3*}, LIU Yuying¹

(1.Zhejiang Collaborative Innovation Center for Land and Marine Spatial Utilization and Governance Research, Ningbo University, Ningbo 315211, China; 2.Wenzhou Bureau of Natural Resources and Planning, Wenzhou 325000, China; 3.Ningbo Institute of Oceanography, Ningbo 315832, China)

Abstract: Marine ecosystem services include provision of service, regulation services, cultural services and supportive services. The study of marine ecosystem services can help promote sustainable development of the ocean and guide people to better achieve the goals set by the United Nations Sustainable Development. Based on the InVEST model, we have studied the spatial and temporal changes of ecosystem services in the sampled area from 1998–2018, with carbon sequestration services as an example. The results show that: (1) During 1998–2018, the near-shore marine landscape of Yueqing City changed from offshore water landscape to coastal zone landscape, and shows a trend of natural wetlands to man-made wetlands, and wetlands to construction land and fish ponds for aquaculture. (2) According to the analysis of the response of carbon stocks to the shift of landscape types, the dominant factor of the decline of carbon deposits results from the encroachment of coastal marshes by coastal mudflats and construction land. (3) The spatial and temporal variation of carbon sequestration function in the nearshore waters of Yueqing City during 1998–2018 is obvious. The carbon deposits in the sampled area has been increasing, and the amount of carbon sequestered first increases followed by decreasing, showing a descending trend.

Key words: marine ecosystem; ecosystem service function; InVEST model

(责任编辑 章践立)