

人类活动影响下的滨海湿地时空演化特征分析

——以盐城、杭州湾南岸及象山港湿地为例

李加林^{1,2}, 童晨², 黄日鹏², 田鹏², 刘瑞清², 王丽佳², 周子靖²

(1. 宁波大学 东海研究院, 浙江 宁波 315211; 2. 宁波大学 中欧旅游与文化学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 滨海湿地是自然界最具保护价值的生态系统之一, 加强对人类活动干扰下的滨海湿地演化研究是实现滨海湿地综合管理的前提。基于 1990、2000、2008、2017 年盐城、杭州湾南岸及象山港湿地的土地利用数据, 对滨海湿地的时空演化特征和环境质量特征进行分析。结果表明: (1)除 1990~2000 年象山港自然湿地增加了 60.54 km² 以外, 27 年间 3 个研究区自然湿地面积持续减少, 人工湿地面积和非湿地面积持续增加; (2)人类活动对滨海湿地的影响强度为杭州湾南岸湿地>象山港湿地>盐城湿地, 相比于 1990~2000 年与 2000~2008 年阶段, 3 个研究区人类围垦活动的强度在 2008~2017 年阶段有所下降; (3)湿地环境质量从优到劣依次为盐城湿地、杭州湾南岸湿地、象山港湿地, 3 个研究区湿地环境质量的总体水平均呈下降趋势。

关键词: 人类活动; 滨海湿地; 演化特征; 环境质量

中图分类号: K903; Q149

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2020) 01-0001-09

滨海湿地是自然界中最有环境价值的生态系统之一, 其作为沿海地区发展的自然复合体, 受陆地和海洋相互作用的影响。陆海相互作用动力机制造成了滨海湿地复杂多样的湿地类型和生态环境, 产生了显著的演替现象^[1-2]。特殊的植被、水文和土壤条件使滨海湿地具有更高的自然生产力和演替速率, 使其在维护湿地生态平衡、维护生物多样性、降低污染、调节气候和控制土壤侵蚀方面发挥着重要作用^[3-4]。在以滩涂围垦为主要方式的人类活动影响下, 滨海湿地的土地利用方式逐渐从自然状态转变为人工状态^[5-6], 且其更替范围不断扩大, 更替速度不断加快^[7-9], 进而影响整个生态环境, 因此加强人类活动对滨海湿地时空演变影响的研究十分必要^[10]。张绪良等^[11]发现在围垦活动的影响下莱州湾南岸自然湿地逐渐转变为鱼塘、盐田等人工湿地, 导致景观破碎度不断增加。张濛等^[12]发现在围垦作用下连云港、盐城和南通岸段的滨海湿地在近 30 年间分别减少了 53.15%、71.60% 和 71.40%, 米草湿地逐渐变为优势景观, 而茅草、

芦苇湿地不断减少甚至完全消失。黄日鹏等^[13]、何改丽等^[14]发现随着滩涂围垦的推进, 北仑区、杭州湾地区滨海湿地景观斑块的数量、破碎度和优势度不断增加, 而景观多样性指数和湿地质量则不断下降。虽然对于滨海湿地的研究较多, 但对不同开敞条件下的滨海湿地景观演化进行比较, 并分析其湿地环境质量的研究还很少。

本文将海洋动力条件、沿岸输沙及径流水各异的完全开敞型(盐城湿地)、开敞型(杭州湾南岸湿地)和半开敞型(象山港湿地)滨海湿地作为研究对象, 比较不同开敞类型滨海湿地时空演变特征, 揭示其在人类活动影响下的不同演化规律和环境质量特征, 以为滨海湿地的开发和保护提供科学合理的参考。

1 研究区概况

盐城湿地、杭州湾南岸湿地、象山港湿地位于我国东部沿海(图 1), 三者均属于人类围垦活动影响较为强烈的滨海湿地。盐城滨海湿地位于江苏

收稿日期: 2019-09-10.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journal1g.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金-浙江两化融合联合基金(U1609203)。

第一作者: 李加林(1973-), 男, 浙江台州人, 博士/教授, 主要研究方向: 海岸带资源环境演化。E-mail: nbj2001@163.com

省盐城市,东濒黄海,南邻南通市、泰州市,西连扬州市、淮安市,北接连云港市,总面积达 4530 km²,占江苏省滩涂面积的 75%,属完全开敞型滨海湿地.杭州湾南岸湿地位于浙江省宁波市,是世界珍稀濒危物种黑嘴鸥的主要迁徙停息地,生长有互花米草、海三棱藨草、碱蓬和芦苇等湿地植被群落,是我国八大咸水湿地之一,属于开敞型滨海湿地.大规模的围垦,使得杭州湾南岸天然湿地面积不断缩小,潮滩逐渐陡化,湿地生境和生态功能退化明显.象山港湿地位于浙江省象山港内,属半开敞型滨海湿地.大规模的潮滩围垦等湿地开发活动,使得陆源水沙输入通量发生改变,天然湿地面积不断缩小.同时,港湾内水产养殖、火力发电产业的快速发展也使得象山港水域环境污染严重,生态系统遭受严重破坏^[15-16].

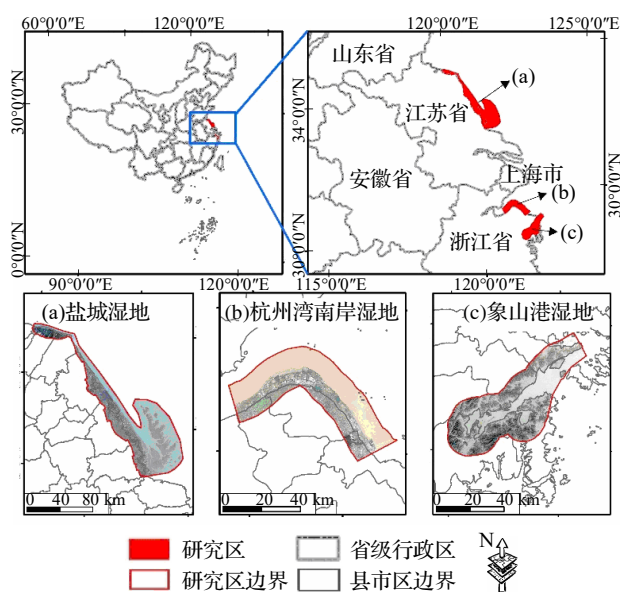


图1 研究区区位

2 研究数据与研究方法

2.1 数据来源与处理

本文以地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)提供的盐城湿地、杭州湾南岸湿地、象山港湿地 3 个研究区域 1990、2000、2008、2017 年份 4 个时期冬季的 16 景 Landsat TM/OLI 遥感影像为数据源,轨道号分别是 118-39、118-40、119-37、120-36,分辨率均为 30 m. 基于 ENVI 5.2 软件对原始遥感影像进行预处理,通过设置多个控制点,采用双线性内插进行重采样,对每年影像进行几何精校正,使

用 Seamless Mosaic 功能,采用直方图匹配的匀色方法,获得研究区完整的遥感影像.从 2017 年 4 景研究区影像中分别提取盐城、杭州湾南岸、象山港湿地的海岸线,以海岸线为中心向左右各做 10 km 缓冲区作为研究区范围.其中,由于盐城湿地海岸线过长,故对其缓冲区中无用区域进行了删减,之后将已获得的研究区范围作为掩膜,对遥感影像进行栅格提取,最终获得研究区影像.此外,本文还参考了研究区的行政区划图、土地利用图、海岸带调查报告等各类辅助数据.

2.2 研究区湿地与非湿地土地分类

本文基于湿地的形成特点,参考《湿地公约》分类系统以及湿地水文、植被和湿地开发与利用等特征^[17-18],构建了研究区土地分类系统,见表 1.

表1 研究区土地分类系统

一级分类	二级分类	三级分类
自然湿地	光滩	光滩
	盐生植被用地	芦苇地
		碱蓬地
		互花米草地
人工湿地	人工湿地	鱼塘
		盐田
		水域
非湿地	干塘	干塘
	耕地	耕地
	林地	林地
	建设用地	
		建设用地

根据分类系统,建立起主要地物类型解译标志,选择训练区,采用最大似然法进行监督分类,获得湿地地物的初步分类.在监督分类的基础上,通过目视判读对分类结果进行检查与修改,最终获取盐城湿地、杭州湾南岸湿地、象山港湿地的土地分类数据.

2.3 土地利用动态度

土地利用动态度能够较为直观地反映出土地利用类型变化的程度与速度,是描述土地利用变化的重要工具^[19].其公式如下:

$$L = \frac{S_t - S_0}{S_0} \times \frac{1}{t} \times 100\%, \quad (1)$$

式中: S_0 为监测开始时某类用地类型的面积; S_t 为监测结束时该类用地类型的面积; t 为监测过程的

时间; L 为这类土地利用类型在监测时段内的土地利用动态度, 表征该类土地利用变化的速率。

2.4 湿地环境质量评价

不同土地利用类型存在于同一湿地区域, 其所占比重不同, 并根据自身所占权重对湿地环境的质量做出不同的贡献。借鉴土地利用强度分级标准^[20], 对研究区的各等级湿地比重进行评价, 形成一个在 1~5 之间连续分布的综合指数, 其值反映了某一区域的湿地环境质量, 数值越小, 其湿地环境质量越优, 见表 2。具体算法如下:

$$Q = \sum Z_i \times S_i, \quad (2)$$

式中: Q 为区域湿地环境质量量化指标; Z_i 为第 i 级土地分级指数; S_i 为第 i 级土地面积百分比。

表 2 土地分级与湿地环境质量赋值

湿地级别	湿地类型	分级指数	品质评价
一级	盐生植被用地	1	特优
二级	光滩	2	优
三级	人工湿地	3	良
四级	耕地、干塘	4	一般
五级	建设用地	5	差

3 结果分析

3.1 滨海湿地土地利用时空变化特征分析

盐城湿地在研究期内土地利用时空格局发生较大变化。由表 3 可知, 盐城湿地的土地利用变化主要表现为自然湿地面积减少, 人工湿地与非湿

地面积增加。1990~2017 年间, 自然湿地面积减少了 963.47 km², 土地利用动态度为 -1.12%, 说明人类对滨海湿地的改造利用程度越来越深, 超出了滨海湿地自然淤长的速度。自然湿地中光滩面积减少了 661.66 km², 平均土地利用动态度为 -0.97%, 互花米草、芦苇、碱蓬 3 类盐生植被土地类型面积分别变化了 165.04、-239.35、-227.5 km²。与自然湿地逐渐萎缩不同, 人工湿地面积在 3 个时间段内均有增加, 27 年间累计增加了 527.64 km², 土地利用动态度为 4.12%。其中, 鱼塘面积增加显著, 共增加了 751.53 km², 土地利用动态度也达到了 25.66%; 而盐田面积则不断萎缩, 27 年间减少了 223.89 km²。非湿地面积也由原先的 983.26 km² 增加至 1 311.47 km², 累计增加 328.21 km², 土地利用动态度为 1.24%。其中耕地由 870.30 km² 增加至 1 148.07 km², 共计增加了 277.77 km²。

结合图 2 可知, 光滩在盐城湿地中占比最高, 为 84.10%, 主要分布在海岸带的中南部, 并且在南部的东台市近海区域形成了大面积的辐射沙脊。随着人类活动不断增强, 以及互花米草等的快速扩张, 光滩在中部地区减少明显。芦苇地、碱蓬地最初大量紧密分布在盐城湿地的中部与南部, 但随着时间推移, 两类盐生植被土地类型面积骤缩, 2017 年绝大部分都处在射阳县南部。27 年间互花米草带在射阳县、大丰区、东台市海岸带迅速扩张, 由 1990 年的 6.14 km² 增长至 2017 年的 171.18 km²,

表 3 盐城研究区土地利用面积构成及其变化

土地分类	面积/km ²				面积变化/km ²			1990~2017 年土地利用动态度/%
	1990 年	2000 年	2008 年	2017 年	1990~2000 年	2000~2008 年	2008~2017 年	
光滩	2 522.26	2 384.15	2 132.66	1 860.60	-138.11	-251.49	-272.06	-0.97
互花米草地	6.14	145.72	136.94	171.18	139.58	-8.78	34.24	99.55
碱蓬地	273.34	106.16	86.82	45.84	-167.18	-19.34	-40.98	-3.08
芦苇地	374.04	166.04	107.48	134.69	-208.00	-58.56	27.21	-2.37
盐田	365.55	362.59	233.92	141.66	-2.96	-128.67	-92.26	-2.27
鱼塘	108.47	377.33	758.89	860.00	268.86	381.56	101.11	25.66
干塘	112.96	75.61	104.78	92.96	-37.35	29.17	-11.82	-0.66
耕地	870.30	1 056.44	1 089.42	1 148.07	186.14	32.98	58.65	1.18
建筑用地	0	0	21.54	70.44	0	21.54	48.90	
自然湿地	3 175.78	2 802.07	2 463.9	2 212.31	-373.71	-338.17	-251.59	-1.12
人工湿地	474.02	739.92	992.81	1 001.66	265.90	252.89	8.85	4.12
非湿地	983.26	1 132.05	1 215.74	1 311.47	148.79	83.69	95.73	1.24

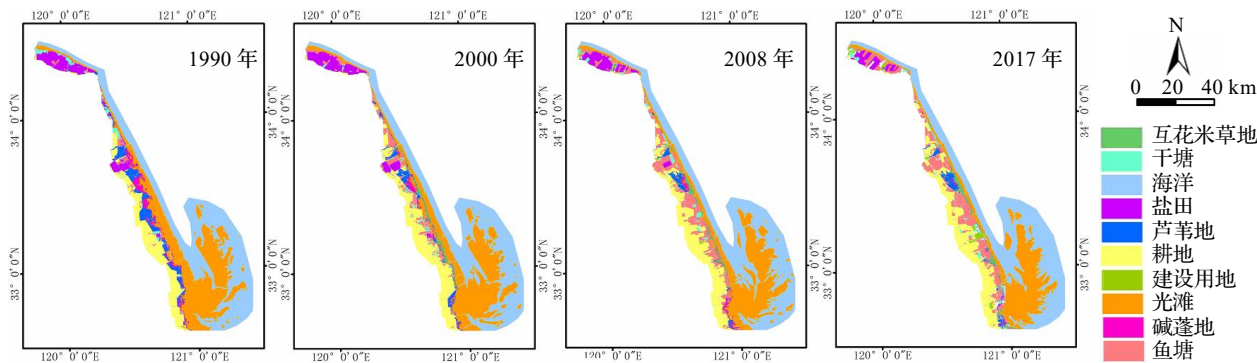


图2 盐城湿地4个年份土地利用类型

增加十分显著. 人工湿地在南部、北部均有分布, 北部的响水县、滨海县分布有大面积的盐田, 但呈现出不断萎缩的趋势, 其中滨海县的盐田在 2017 年基本消失, 主要是转化为鱼塘. 中部和南部的射阳县、大丰区、东台市分布有较多的鱼塘, 并且有明显增加趋势. 研究区中耕地、干塘、建设用地等非湿地也广泛分布于中南部, 其中耕地在射阳县和大丰区扩张明显, 大部分由自然湿地转化而来. 总体来看, 盐城湿地中自然湿地分布呈现由北到南逐渐增加的趋势, 但是总的分布面积不断减少. 人工湿地中有较大面积的盐田转化为鱼塘, 使得鱼塘分布面积逐步超过并远大于盐田面积. 非湿地中 3 种类型面积均呈现增加趋势, 主要由自然湿地转化而来, 其分布范围也向南北和海岸线方向不断扩散.

由表 4 可知, 杭州湾南岸湿地的土地利用变化主要表现为自然湿地面积减少, 人工湿地大幅增

加, 非湿地面积保持相对稳定. 自然湿地面积由最初的 444.15 km² 减少至 2017 年的 231.37 km², 在 3 个阶段中则分别减少了 23.05、67.27、122.46 km², 这说明人类对杭州湾南岸湿地的开发利用强度越来越大, 逐渐改变了湿地的原生利用类型. 自然湿地中光滩减少了 348.00 km², 互花米草地面积增加了 135.22 km². 与自然湿地不同, 人工湿地面积大幅增加, 1990 年时人工湿地面积仅为 55.09 km², 其后逐渐增加, 27 年间累计增加了 180.97 km², 土地利用动态度达到了 12.17%. 其中, 鱼塘面积增加 122.10 km², 是人工湿地的主要增加类型; 水域面积增加了 49.52 km²; 盐田面积增加量较小, 27 年内仅增加了 9.35 km². 非湿地面积 27 年间累计增加 93.60 km², 其中耕地从 1990 年的 360.73 km² 增长至 2017 年的 378.82 km², 而建设用地从 1990 年的 70.01 km² 增长至 2017 年的 161.36 km², 土地利用动态度达到 4.83%, 变化速率较高. 此外, 杭州湾

表 4 杭州湾南岸研究区土地利用面积构成及其变化

土地分类	面积/km ²				面积变化/km ²			1990~2017 年土地 利用动态度/%
	1990 年	2000 年	2008 年	2017 年	1990~2000 年	2000~2008 年	2008~2017 年	
光滩	441.01	381.36	287.06	93.01	-59.65	-94.30	-194.05	-2.92
互花米草地	3.14	39.74	66.77	138.36	36.60	27.03	71.59	159.50
鱼塘	40.80	61.75	139.84	162.90	20.95	78.09	23.06	11.08
盐田	0	0	0	9.35	0	0	9.35	
水域	14.29	26.35	54.92	63.81	12.06	28.57	8.89	12.83
林地	36.81	36.02	35.03	20.97	-0.79	-0.99	-14.06	-1.59
耕地	360.73	372.55	322.84	378.82	11.82	-49.71	55.98	0.19
建设用地	70.01	69.72	118.85	161.36	-0.29	49.13	42.51	4.83
自然湿地	444.15	421.10	353.83	231.37	-23.05	-67.27	-122.46	-1.77
人工湿地	55.09	88.10	194.76	236.06	33.01	106.66	41.30	12.17
非湿地	467.55	478.29	476.72	561.15	10.74	-1.57	84.43	0.74

南岸研究区围填海活动较为强烈, 泥沙在外围淤积形成新的陆地, 研究区内陆地面积增加 61.79 km², 年均增加 2.29 km², 而增加的陆地主要转化为互花米草地、建设用地和鱼塘等用地类型。

由图 3 可知, 1990~2017 年间杭州湾南岸海岸带土地利用空间格局变化显著. 1990 年杭州湾南岸自然湿地面积占各地类(不包括海域)总面积的 45.94%, 而在 2017 年时自然湿地面积仅占 22.49%, 人工湿地和非湿地类型面积达到了 22.95% 和 54.56%, 远超过了自然湿地的分布面积. 1990 年时, 研究区中光滩面积占自然湿地的 99.29%, 主要分布于陆地凸出的庵东镇和新浦镇, 但随着时间的推移, 光滩面积明显减少, 主要原因是向鱼塘和互花米草地转移了大量面积. 1990 年时互花米草地面积仅有 3.14 km², 但在 2017 年时已广泛分布于杭州湾南岸各海岸段. 人工湿地中, 鱼塘面积在 1990 年时为 40.80 km², 主要分布在庵东、新浦两镇, 2017 年时鱼塘面积为 162.90 km², 除了原先两镇之外, 泗门镇、观海卫镇也有大量的鱼塘分布. 研究区盐田所占面积相对较小, 2017 年时盐田面积为 9.35 km², 且仅分布于龙山镇. 杭州湾南岸水网密布, 且新建了不少积水塘, 水域的面积也从 1990 年的 14.29 km² 增长至 2017 年的 63.81 km², 在空间上也逐步向海岸线延伸. 林地、耕地与建设用地等非湿地广泛分布于研究区中部和南部, 大量鱼塘以及林地转化为耕地和建设用地, 导致了这两种土地类型的增加。

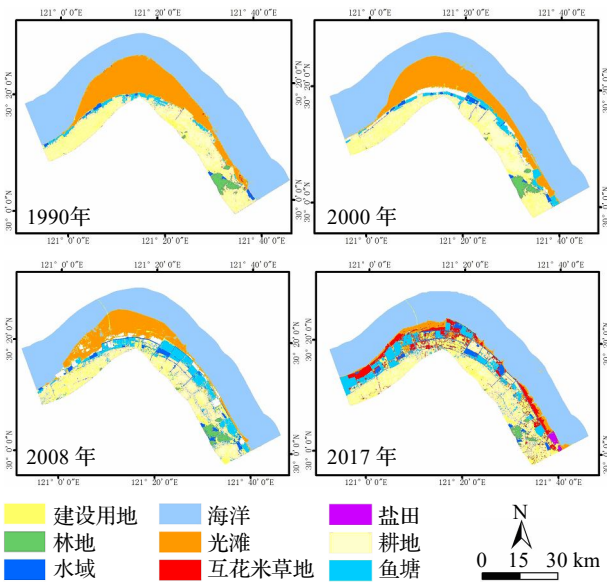


图 3 杭州湾南岸湿地 4 个年份土地利用类型

从时间尺度上看(表 5), 象山港湿地的土地利用变化主要表现为自然湿地面积有所增加, 人工湿地大幅增加, 非湿地面积保持相对稳定. 从 1990~2017 年自然湿地面积由原先的 41.82 km² 增加至 67.51 km², 增加了 25.69 km², 土地利用动态度为 2.28%, 是 3 个研究区中唯一一个自然湿地面积在 27 年内增加的区域. 其中光滩面积增加了 17.32 km², 盐生植被土地面积增加了 8.37 km². 由于港湾内水动力弱, 入湾河流携带泥沙淤积作用强于海洋水动力对海岸的侵蚀作用, 使得潮滩面积不断扩大, 加之人类活动对自然湿地干预相对较小, 故自然湿地面积得以增加. 1990~2000 年、

表 5 象山港研究区土地利用面积构成及其变化

土地分类	面积/km ²				面积变化/km ²			1990~2017 年土地利用动态度/%
	1990 年	2000 年	2008 年	2017 年	1990~2000 年	2000~2008 年	2008~2017 年	
光滩	39.08	80.07	54.54	56.40	40.99	-25.53	1.86	1.64
互花米草地	2.74	22.29	27.69	11.11	19.55	5.40	-16.58	11.31
鱼塘	33.60	58.23	99.74	56.12	24.63	41.51	-43.62	2.48
盐田	0	0	10.73	53.24	0	10.73	42.51	
水域	2.64	26.51	13.78	33.38	23.87	-12.73	19.60	43.13
耕地	532.25	396.74	259.27	428.20	-135.51	-137.47	168.93	-0.72
林地	1 199.95	1 241.88	1 232.76	1 068.62	41.93	-9.12	-164.14	-0.41
建设用地	34.39	84.16	184.84	205.55	49.77	100.68	20.71	18.43
自然湿地	41.82	102.36	82.23	67.51	60.54	-20.13	-14.72	2.28
人工湿地	36.24	84.74	124.25	142.74	48.50	39.51	18.49	10.88
非湿地	1 766.59	1 722.78	1 676.87	1 702.37	-43.81	-45.91	25.50	-0.13

2000~2008 年、2008~2017 年 3 个时间段内人工湿地面积分别增加了 48.50、39.51、18.49 km², 土地利用动态度达到 10.88%, 变化明显. 其中, 盐田面积增加最为显著, 27 年内增长了 53.24 km². 非湿地面积由原先的 1 766.59 km² 减少至 1 702.37 km², 共减少了 64.22 km², 土地利用动态度为-0.13%, 变化程度较小. 其中建设用地从 1990 年的 34.39 km² 增长至 2017 年的 205.55 km², 土地利用动态度为 18.43%, 增长较为显著. 由于象山港半封闭海湾较弱的海洋动力条件, 使得象山港成为 3 个研究区中泥沙最易淤积的地区, 27 年内新增陆地 67.97 km², 年均新增 2.52 km².

由图 4 可知, 1990~2017 年间, 象山港海岸带土地利用空间格局相对其余 2 个滨海湿地变化较小. 相比研究区面积, 象山港自然湿地面积较小, 其主要类型为光滩, 2017 年占自然湿地面积的 83.54%, 主要分布于西沪港、铁港、黄墩港、莼湖镇及周边. 1990 年时互花米草地面积较小, 为 2.74 km², 2017 年时西沪港已有明显的互花米草覆盖, 此时互花米草地面积为 11.11 km². 2017 年时象山港内人工湿地面积为 142.74 km², 各类人工湿地所占面积相对较小, 多分布于海岸附近, 但其在 27 年间的面积变化仍然比较明显. 鱼塘分布较为分散, 只有北仑区有较大面积的集中鱼塘. 研究区内盐田所占面积很少, 主要分布于北仑区的梅山岛南部. 象山港沿岸地区水网较少, 水域面积相对较小, 但是分布区域十分广泛. 研究区中林地、耕地

与建设用地等非湿地为主要地类, 由于象山港周边地形以低山为主, 因此林地环象山港广泛分布. 建设用地面积变化较大, 北仑区、宁海县和象山县区域内均有大面积耕地和林地转化为建设用地. 而耕地主要分布在沿海低地, 并随着林地的转移而逐渐扩展.

3.2 研究区湿地动态度综合对比

盐城湿地、杭州湾南岸湿地、象山港湿地在研究区面积、湿地面积上有较大的差距, 但可以通过对比自然湿地、人工湿地的土地利用动态度来研究 3 个区域的湿地演变方向与速度. 生态关键区域是维护区域生态系统功能、结构和良性运营的重要生态空间. 而在滨海湿地中, 最为重要的生态空间就是盐生植被覆盖区和光滩, 对生态关键区的分析有助于把握 3 个研究区滨海湿地的演变情况.

自然湿地受到人工围垦与海涂淤长的双重影响, 当其面积持续增加时, 对该地的生态系统良性运转有重要意义. 1990~2017 年各湿地演变动态度见表 6. 3 个研究区中, 盐城与杭州湾南岸的自然湿地面积持续下降, 但下降模式有所区别: 盐城湿地在 3 个时段湿地动态度分别为-1.18%、-1.51%、-1.13%, 说明盐城自然湿地的围垦速度高于滩涂淤长速度, 且 3 个时间段内盐城自然湿地面积减少的速度比较接近; 而杭州湾南岸地区自然湿地的动态度在 3 个阶段分别为-0.52%、-2.00%、-3.85%, 自然湿地动态度在 2008~2017 年远高于 1990~2000 年, 表明该地区人类活动更加频繁, 导致自然湿地面积减少愈发快速. 象山港区域的自然湿地面积在 27 年内有所增加, 其土地利用动态度绝对值逐渐下降, 说明 2000 年后象山港的滨海自然湿地变化较小. 人工湿地的土地利用动态度可以表征该地区人类围垦等活动的强度. 3 个研究区各阶段的人工湿地都处于增加的状态, 1990~2017 年盐城、杭州湾南岸、象山港人工湿地土地利用动态度分别为 4.12%、12.17%、10.88%, 这表明人类围垦活动的强度为杭州湾南岸湿地>象山港湿地>盐城湿地. 但是也应看到 3 个研究区人工湿地的面积在 2008~2017 阶段相比于前 2 个阶段增长速度都有所下降, 这表明各研究区内人工围垦活动强度都有所下降, 这可能与国家制定的湿地和海洋保护政策有关.

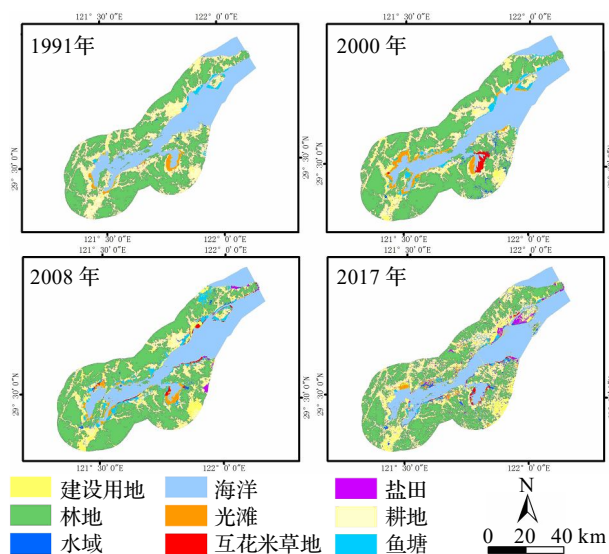


图 4 象山港湿地 4 个年份土地利用类型

表 6 1990~2017 年各湿地演变动态 %

湿地区域	自然湿地			人工湿地		
	1990~ 2000 年	2000~ 2008 年	2008~ 2017 年	1990~ 2000 年	2000~ 2008 年	2008~ 2017 年
盐城	-1.18	-1.51	-1.13	5.61	3.42	0.09
杭州湾南岸	-0.52	-2.00	-3.85	5.99	12.11	2.12
象山港	14.47	-2.46	-1.99	13.38	4.66	1.49

由各湿地生态关键区面积演变情况(表 7)可知, 27 年间盐城湿地、杭州湾南岸湿地与象山港湿地生态关键区面积变化显著. 受人工围垦与植被生长扩张双重影响, 导致不同区域盐生植被面积表现出不同的变化趋势. 盐城湿地在 27 年内盐生植被土地面积大量减少, 由 653.52 km² 减少至 351.71 km², 27 年内减少了 301.81 km². 杭州湾南岸湿地盐生植被土地有大面积的增长, 由 1990 年的 3.14 km² 增长至 2017 年的 138.36 km², 年均增加 5.01 km². 象山港湿地盐生植被面积经历了先增后减的过程, 27 年增加了 8.37 km². 光滩一方面会因为海涂自然淤积而扩张, 另一方面也可能因为海洋动力的侵蚀、盐生植被的扩张、人类活动的侵占等原因缩小. 盐城湿地光滩面积在 1990~2017 年持续减少, 由 2 522.26 km² 降低至 1 860.60 km², 这是由于盐城湿地地区强海洋动力下泥沙不易淤积, 海涂增长缓慢, 而互花米草向光滩扩张比较显著造成的. 杭州湾南岸在人类围垦等开发活动直接侵占的影响下, 光滩面积持续下降, 由 1990 年的 441.01 km² 降低至 2017 年的 93.01 km². 不同于其他 2 个区域, 象山港湿地光滩面积有所增加, 由 39.08 km² 增加至 56.40 km², 年均增长 1.64%, 表明象山港地区海涂淤积作用比海岸侵蚀作用更强.

表 7 1990~2017 年各湿地生态关键区面积演变 km²

湿地	盐生植被面积			
	1990 年	2000 年	2008 年	2017 年
盐城湿地	653.52	417.92	331.24	351.71
杭州湾南岸湿地	3.14	39.74	66.77	138.36
象山港湿地	2.74	22.29	27.69	11.11

湿地	光滩面积			
	1990 年	2000 年	2008 年	2017 年
盐城湿地	2 522.26	2 384.15	2 132.66	1 860.60
杭州湾南岸湿地	441.01	381.36	287.06	93.01
象山港湿地	39.08	80.07	54.54	56.40

3.3 研究区湿地环境质量评价

研究区 1990、2000、2008、2017 年湿地环境质量指数变化见表 8.

表 8 研究区不同年份湿地环境质量指数变化

湿地	1990 年	2000 年	2008 年	2017 年
盐城湿地	2.39	2.55	2.67	2.74
杭州湾南岸湿地	3.06	3.05	3.14	3.33
象山港湿地	3.86	3.66	3.80	3.90

由表 8 可知, 3 个研究区环境质量差距较大, 且从 1990~2017 年, 湿地环境质量都有所下降. 盐城湿地是湿地面积最大的区域, 也是湿地环境质量最好的区域, 在 27 年内湿地环境质量从原先的 2.39 演变至 2.74. 杭州湾南岸湿地环境质量居于第 2 位, 4 个年份湿地环境质量指数分别是 3.06、3.05、3.14、3.33, 随着时间推移, 湿地环境质量整体呈下降趋势. 在 1990~2000 年, 象山港湿地由原先的 3.86 下降至 3.66, 是 3 个研究区中唯一湿地环境质量有过好转的区域, 但在 2000~2017 年湿地环境质量指数又开始上升, 在 2017 年湿地环境质量指数为 3.90, 达到历史最差. 由于湿地环境质量指数取决于各土地类型的面积百分比和对应的土地分类等级, 而分类等级较为固定, 因此得出的结果主要与湿地的面积所占比重密切相关. 盐城湿地中自然湿地所占比重虽不断下降, 但一直维持在 48% 以上, 人工湿地和非湿地所占比重不断增加, 但人工湿地在 2017 年也仅为 22.13%, 非湿地比重也一直维持在 30% 以下, 土地分类等级数值最高的建设用地面积最高仅为 1.56%, 因此盐城湿地的环境质量指数虽不断增加, 但在 3 个研究区中处于最好水平. 杭州湾南岸湿地自然湿地占比由 45.94% 下降为 22.49%, 人工湿地和非湿地占比不断增加, 非湿地所占比重维持在 48% 以上, 特别是等级为 4 和 5 的耕地和林地所占比重很高, 导致了杭州湾南岸湿地的环境质量较差. 象山港湿地相较于杭州湾南岸湿地, 自然湿地占比不足 6%, 等级数值较高的非湿地占比达 89% 以上, 造成了象山港湿地环境质量指数最高, 环境质量最差. 总的来看, 由于人类活动的不断加强, 为了弥补土地资源的不足, 加大了对自然湿地的围垦, 使得自然湿地向人工湿地和非湿地类型转移, 并由此带来了湿地环境质量的下降. 特别是杭州湾南岸湿地和象山港

湿地位于人类活动的集中区,高强度的土地利用必然导致较低的环境质量。

4 结论

利用土地利用动态度、湿地环境质量指数等指标,对1990、2000、2008和2017年盐城湿地、杭州湾南岸湿地和象山港湿地的时空演化特征和环境质量变化进行分析,研究发现:

(1)研究区土地利用时间演化方面,1990~2017年间,3个研究区土地利用时空格局发生较大变化。盐城湿地的自然湿地面积减少 963.47 km^2 ,人工湿地与非湿地面积分别增加 527.64 和 328.21 km^2 ,鱼塘和耕地面积增加最为显著。杭州湾南岸湿地自然湿地面积持续减少,人工湿地大幅增加,非湿地面积保持相对稳定的状态。象山港湿地的土地利用变化主要表现为自然湿地面积少量增加,盐田、水域等人工湿地面积大幅增加,除建设用地增加 171.16 km^2 以外,非湿地面积总体保持相对稳定。

(2)研究区土地利用空间演化方面,盐城湿地中自然湿地分布不断减少,但互花米草地向南北海岸带扩张显著。人工湿地中,北部响水县、滨海县有较大面积的盐田转化为鱼塘,中部的鱼塘分布面积也逐步扩大。非湿地类型由于自然湿地的转化也使其向南北和海岸线不断扩展。杭州湾南岸湿地中光滩向鱼塘和互花米草地转移较多,导致面积减少明显。人工湿地中的鱼塘和水域分布范围也逐步扩大。林地、耕地与建设用地等非湿地广泛分布于研究区中部和南部,并有总体增加趋势。象山港湿地相对变化较小,其中以建设用地面积变化最大,主要是北仑区、宁海县和象山县区域内的耕地和林地向其转化导致的。

(3)研究区土地利用动态变化方面,盐城湿地、杭州湾南岸湿地、象山港湿地的人工湿地面积土地利用动态度分别为 4.12% 、 12.17% 、 10.88% ,这表明人类围垦活动的强度为杭州湾南岸湿地>象山港湿地>盐城湿地。相比于1990~2000年与2000~2008年阶段,3个研究区人工湿地面积的增长速度在2008~2017年阶段都有所下降,这可能与国家湿地保护政策有关。

(4)研究区湿地环境质量方面,由于3个研究区中自然湿地、人工湿地和非湿地面积所占比重的

不同,导致湿地环境质量从优到劣依次为盐城湿地、杭州湾南岸湿地、象山港湿地。湿地环境质量总体水平均呈下降趋势,主要是由于人类加强了对湿地资源的开发利用,使得自然湿地向人工湿地和非湿地类型转移,自然湿地逐渐萎缩导致的。

通过对3种不同开敞类型的滨海湿地演化和环境质量的比较研究可以发现,在自然因素和人类活动双重影响下,不同开敞类型的湿地演化会表现出不同的特征。呈喇叭状形态的象山港湿地(半开敞型)海洋动力较弱,利于人类对湿地的开发利用,这就导致了象山港湿地的土地利用动态变化十分显著,湿地环境质量也最差。盐城湿地作为完全开敞型湿地,在相对较强的水沙动力条件和人类活动双重影响下,湿地发生了较大的变化,但较其他2种湿地类型来说变化最小。杭州湾南岸湿地作为开敞型湿地则居于两者之间。总体而言,较为封闭的开敞类型滨海湿地在较弱的海洋动力条件下更易受人类活动的影响,导致湿地土地利用类型人工化更为显著,进而会导致较低的湿地环境质量。

参考文献:

- [1] Kline J D, Swallow S K. The demand for local access to coastal recreation in southern New England[J]. Coastal Management, 1998, 26(3):177-190.
- [2] Mulder J P M, Hommes S, Horstman E M. Implementation of coastal erosion management in the Netherlands[J]. Ocean & Coastal Management, 2011, 54(12):888-897.
- [3] 徐东霞,章光新. 人类活动对中国滨海湿地的影响及其保护对策[J]. 湿地科学, 2007, 5(3):282-288.
- [4] 郭岳,徐清馨,佟守正,等. 黄河三角洲滨海湿地退化原因分析及生态修复[J]. 吉林林业科技, 2017, 46(5):40-44.
- [5] 李加林,杨磊,杨晓平. 人工地貌学研究进展[J]. 地理学报, 2015, 70(3):447-460.
- [6] 李加林,刘闯,张殿发,等. 土地利用变化对土壤发生层质量演化的影响——以杭州湾南岸滨海平原为例[J]. 地理学报, 2006, 61(4):378-388.
- [7] 冯佰香,李加林,龚虹波,等. 30年来象山港海岸带土地开发利用强度时空变化研究[J]. 海洋通报, 2017, 36(3):250-259.
- [8] 黄日鹏,李加林,段义斌,等. 快速城镇化对杭州湾南岸慈溪市土地利用及生态系统服务价值的影响[J]. 中

- 国水土保持科学, 2018, 16(5):105-113.
- [9] 黄日鹏, 李加林, 杨磊, 等. 象山港海岸带人工建设地貌强度指数及其空间格局演变特征[J]. 海洋学研究, 2018, 36(1):46-57.
- [10] 方仁建, 沈永明, 时海东. 基于围垦特征的海滨地区景观格局变化研究——以盐城海岸为例[J]. 生态学报, 2015, 35(3):641-651.
- [11] 张绪良, 张朝晖, 徐宗军, 等. 莱州湾南岸滨海湿地的景观格局变化及累积环境效应[J]. 生态学杂志, 2009, 28(12):2437-2443.
- [12] 张濛, 濮励杰. 近30年来江苏省滨海湿地变化过程及其受围垦活动的影响[J]. 湿地科学与管理, 2017, 13(3):56-60.
- [13] 黄日鹏, 李加林, 叶梦姚, 等. 东南沿海景观格局及其生态风险演化研究——以宁波北仑区为例[J]. 浙江大学学报(理学版), 2017, 44(6):682-691.
- [14] 何改丽, 李加林, 史小丽, 等. 杭州湾南岸城乡建设用地时空演化特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(3):483-492.
- [15] 宁修仁, 刘子琳, 蔡昱明. 象山港潮滩底栖微型藻类现存量 and 初级生产力[J]. 海洋学报(中文版), 1999, 21(3):98-105.
- [16] 黄秀清, 齐平, 秦渭华, 等. 象山港海洋生态环境评价方法研究[J]. 海洋学报, 2015, 37(8):63-75.
- [17] 张健, 何祺胜, 崔同, 等. 基于遥感和GIS的江苏滨海地区湿地信息提取及动态变化分析[J]. 长江科学院院报, 2017, 34(4):144-150.
- [18] 牟晓杰, 刘兴土, 阎百兴, 等. 中国滨海湿地分类系统[J]. 湿地科学, 2015, 13(1):19-26.
- [19] 刘纪远, 刘明亮, 庄大方, 等. 中国近期土地利用变化的空间格局分析[J]. 中国科学(D辑: 地球科学), 2002, 32(12):1031-1040.
- [20] 刘纪远. 中国资源环境遥感宏观调查与动态研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996.

Spatio-temporal evolution of coastal wetlands affected by human activities: A case study of Yancheng City, south coast of Hangzhou Bay and Xiangshan Harbor wetlands

LI Jialin^{1,2}, TONG Chen², HUANG Ripeng², TIAN Peng², LIU Ruiqing², WANG Lijia², ZHOU Zijiang²

(1. Donghai Institute, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2. Sino-European Institute of Tourism and Culture, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: Coastal wetland is one of the most valuable ecosystems in nature. The study on the evolution of coastal wetlands under the interference of human activities is the prerequisite for the comprehensive management of coastal wetlands. Based on the land use data of Yancheng City, south coast of Hangzhou Bay and Xiangshan Harbor wetlands collected in 1990, 2000, 2008 and 2017, the spatio-temporal evolution characteristics and environmental quality characteristics of coastal wetlands are analyzed. The results show that: (1) Except that the natural wetland of Xiangshan Harbor increased by 60.54 km² from 1990 to 2000, the natural wetland area of the three sampled areas continue to decrease over the past 27 years, and the area of constructed wetland and non-wetland increased constantly. (2) The intensity of human activities on coastal wetlands can be listed in the descending order as the south coast of Hangzhou Bay wetland > Xiangshan Harbor wetland > Yancheng wetland. Compared with the data collected covering 1990~2000 and 2000~2008, the intensity of human reclamation activity in three sampled areas declined in 2008~2017. (3) The wetland environmental quality of Yancheng wetland, south coast of Hangzhou Bay wetland and Xiangshan Harbor wetland are gradually deteriorating. The overall level of wetland environmental quality in the three study areas also shows a downward trend.

Key words: human activities; coastal wetlands; evolution characteristics; environmental quality

(责任编辑 韩超)