

基于遥感图像的1990—2020年盐城海岸带湿地景观时空动态变化

沈昕颖, 杨红, 王春峰, 李经纬

Dynamic changes of wetland landscape in the coastal zone of Yancheng from 1990 to 2020 based on remote sensing images

SHEN Xinying, YANG Hong, WANG Chunfeng, LI Jingwei

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20210403410>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[基于遥感生态指数的上海南汇东滩海岸带湿地生态格局变化评价](#)

Evaluation of ecological pattern change of Nanhui Dongtan wetland in Shanghai based on remote sensing ecological index
上海海洋大学学报. 2020, 29(5): 746 <https://doi.org/10.12024/jsou.20191002841>

[盐城国家级珍禽自然保护区实验北区不同生境鸟类群落多样性研究](#)

Study on bird diversity of different habitats in the Northern Experimental Area of Yancheng National Nature Reserve
上海海洋大学学报. 2018, 27(4): 564 <https://doi.org/10.12024/jsou.20180302252>

[人工湿地处理滨海养殖水效果及机理](#)

Improving performance and removal mechanism of coastal aquaculture water by constructed wetlands
上海海洋大学学报. 2019, 28(5): 643 <https://doi.org/10.12024/jsou.20180402290>

[长江口北支滩涂贝类放流对潮下带大型底栖动物群落的影响](#)

Effects of shellfish release on macrobenthic communities in the subtidal zone in the northern branch of the Yangtze River Estuary
上海海洋大学学报. 2019, 28(2): 277 <https://doi.org/10.12024/jsou.20181002416>

[人工湿地不同植物根系及基质重金属富集特征及其与环境因子相关性](#)

Heavy metal accumulation in roots and substrates of different plants in constructed wetlands and their correlations with environmental factors
上海海洋大学学报. 2018, 27(4): 531 <https://doi.org/10.12024/jsou.20171002156>

文章编号: 1674-5566(2022)04-0972-12

DOI:10.12024/jsou.20210403410

基于遥感图像的 1990—2020 年盐城海岸带湿地景观时空动态变化

沈昕颖, 杨红, 王春峰, 李经纬

(上海海洋大学 海洋生态与环境学院, 上海 201306)

摘要: 基于 Landsat 系列卫星图像、Google earth 卫星图像等并利用面向对象的监督分类方法, 在对景观进行两级分类的基础上, 进行 1990—2020 年江苏省盐城市海岸带湿地景观的变化分析。结果表明: 30 a 间盐城海岸带自然湿地景观总面积呈下降趋势, 人工湿地和非湿地景观面积占比上升。研究区整体与分区自然湿地面积占比变化趋势一致, 呈现“下降-加速下降-略微抬升”的趋势, 其中潮间淤泥海滩的变化速率最高。盐城北区、南区湿地的潮间盐水沼泽分别为北区占比 8.77%、南区占比 17.64%。海岸带整体变化趋势表现为“自然湿地-人工湿地-非湿地”, 其中 2000—2010 年间湿地丧失速率最为显著, 湿地总面积净减少 360.27 km², 年均丧失率高达 1.29%。从不同时间段盐城海岸带景观转移特征来看存在差异: 1990—2000 年间, 各湿地景观转移方向比较分散, 大多以自然湿地或非湿地内部转移为主; 2000—2010 年间, 以潮滩向养殖水域转化为主导; 2010—2020 年间, 耕地、河流、林地和浅海水域都有向淤泥潮间海滩转化的趋势, 潮间淤泥海滩、潮间盐沼水域和养殖水域转化趋势最强烈的方向为建筑用地。建议在经济发展的同时, 合理布局规划、控制规模, 保持盐城海岸带自然湿地的主要功能。

关键词: 湿地景观; 盐城海岸带; 动态变化; 面向对象分类

中图分类号: X 87 **文献标志码:** A

海岸带湿地处于海洋和陆地景观交界处, 是一种典型的开放系统。位于江苏北部的盐城海岸带蕴含着我国重要的湿地资源, 也是人类活动与湿地生态演化机制及演化研究中最具代表性的区域。沿岸多为淤泥质海滩, 潮间带高潮区常有耐盐沼的水生植物生长, 如芦苇、盐地碱蓬^[1]等。湿地生境为勺嘴鹬、麋鹿等野生动物提供保护和栖息之所^[2]。盐城海岸带设有盐城珍禽和大丰麋鹿国家级自然保护区, 也是东亚-澳大利亚候鸟迁徙路线上至关重要的停歇和越冬的区域之一^[3]。如今候鸟迁徙栖息湿地的生境变化也被广泛关注^[4]。自然滩涂在围垦和开发后, 逐渐转变为水产品养殖、农业、盐业、建筑等用地, 导致湿地生态系统结构与功能发生改变。同时由于渔船与工程船的频繁来往, 浅海水域生态系统也承担着很大的噪声与溢油风险^[5]。这种湿地

性质的根本变化、功能严重下降的情况引起了研究者的广泛关注^[6]。

传统湿地调查和专题图绘制方法有着周期长、人力物力耗费大的缺点。如今随着 3S(GPS、RS、GIS)技术和自然资源卫星不断进步, 湿地动态监测进程突飞猛进, 学者对于湿地景观宏观和定量的研究关注度大大提高^[7]。王凌等^[8]基于 RS 和 GIS 提取景观信息为动物栖息地保护提供依据, 利用遥感数据结合历史数据辅助, 提高了地图绘制的精度; 雷金睿等^[9]和杨帆^[10]在此基础上提取湿地景观信息, 并对动态变化开展分析工作, 可以很好地获取湿地景观分布在时间和空间上的恢复或破坏的动态趋势信息。另外, 在遥感信息提取技术方面, 采用基于面向对象的分类方法可以有效改善面向像元的提取方法所产生“椒盐”现象。一些学者利用此类改进技术在对不同

收稿日期: 2021-04-23 修回日期: 2022-01-26

基金项目: 国家电投海上风电场工程鸟类及生境评价项目(D-8006-16-8027); 黄海绿潮业务化预测预警关键技术研究与应用项目(201205010)

作者简介: 沈昕颖(1995—), 女, 硕士研究生, 研究方向为海洋环境遥感。E-mail: 794438900@qq.com

通信作者: 王春峰, E-mail: cfwang@shou.edu.cn

环境领域的遥感信息提取做了很多研究工作,如王志波等^[11]对沙化土地信息提取开展研究,鞠明明等^[12]对围填海工程进行监测,崔齐等^[13]进行了矢量约束的水体信息提取。在湿地景观分类研究方面,基于高分辨率影像的湿地景观分类多于 Landsat 等中低分辨率的影像研究^[14-16],并且动态度模型和转移矩阵等方法也被广泛应用于红树林湿地、三角洲湿地、湖泊湿地和无居民海岛景观动态分析^[17-19]。因此,为了揭示盐城海岸带湿地景观演变的规律,将基于面向对象分类的遥感信息提取方法对盐城海岸带湿地景观进行分类,并运用综合湿地动态度模型和景观面积转移矩阵对其在 1990—2020 年间时空分布进行动态变化分析,以揭示盐城湿地景观每 10 a 时间跨度的时空演变规律,为区域湿地管理政策提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究范围

江苏盐城海岸带地处江苏中部沿海,是典型淤泥质潮滩湿地,研究范围(32°34'N ~ 34°28'N, 119°48'E ~ 120°56'E)覆盖整个江苏省盐城东部沿岸非城镇部分与潮间带(见图 1)。新洋港口(120°37'7.4"E, 33°38'56.8"N)的北部分布着稳定的基岩海岸和冲刷的淤泥质海岸,新洋港口的南部大多为迅速淤长的淤泥质海岸^[20]。本研究以新洋港口为界将研究区域分为北区和南区两个子区,北区涉及响水县、滨海县和射阳县,南区涉及大丰区和东台市。

1.2 数据源与预处理

使用的遥感影像数据来源于 USGS 网站(https://earthexplorer.usgs.gov/)的 1990 年、2000 年、2010 年及 2020 年的 8 期盐城 Landsat 5 ~ Landsat 8 遥感影像(表 1)。为准确获取海岸带解译标志,对解译结果进行验证,于 2019 年进行 2 季度野外勘测,共获取约 200 个点位数据,用于建立海岸带解译标志和精度验证。

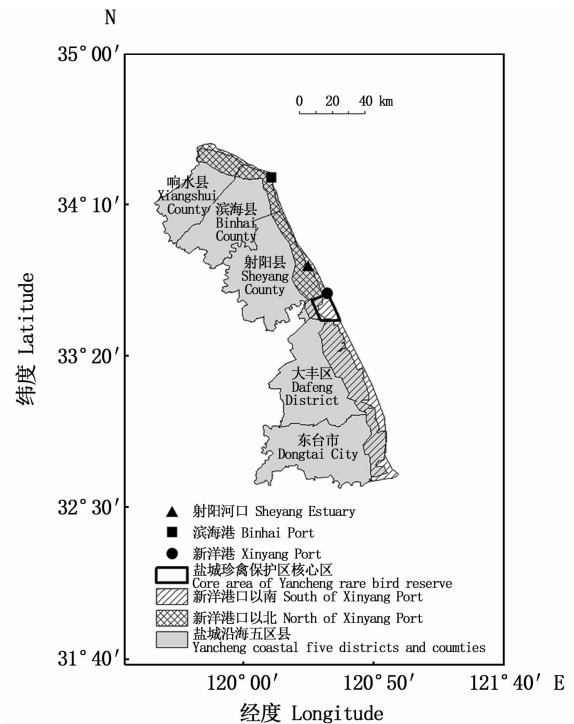


图 1 研究范围及子区域示意图

Fig. 1 Diagram of research area and sub-regions

表 1 遥感图像来源及具体参数

Tab. 1 Data source and specific parameters of remote sensing images

获取时间* Acquisition time	传感器型号 Sensor model	行列号 Rank number	云量 Cloud cover/%	空间分辨率 Spatial resolution/m
1990-04-15 09:51:00	Landsat 5 TM	119/37	0	30
1990-05-08 09:51:00	Landsat 5 TM	120/36	0	30
2000-04-10 10:05:11	Landsat 5 TM	119/37	0	30
2000-04-17 10:05:11	Landsat 5 TM	120/36	0	30
2010-09-21 10:23:04	Landsat 7 ETM	119/37	1.00	30
2010-09-28 10:23:04	Landsat 7 ETM	120/36	1.00	30
2020-05-19 10:30:15	Landsat 8 OLI	119/37	1.20	30
2020-04-24 10:30:15	Landsat 8 OLI	120/36	0.10	30

注: * 表示时间为北京时间。

Notes: * indicates that the time is Beijing time.

通过 ENVI 5.3 软件对表 1 中 Landsat 影像进行辐射定标、大气校正、镶嵌和裁剪,并保留所有波段,坐标轴统一为 WGS_1984 UTM_zone_51N。采用近邻相似像元插补法使数据条带丢失的 Landsat 7 完整连续。研究区范围根据行政区划、水深线与历年湿地范围确定。根据《湿地公约》中对海域部分的界定,基于海图提供的水深点,通过克里金插值法提取 6 m 等水深线作为海域边界。

表 2 盐城海岸带景观分类及其定义

Tab.2 Classification and definition of wetlands along the coast of Yancheng

一级分类 First classification	二级分类 Secondary classification	定义 Definition
自然湿地 Nature wetlands	浅海水域	低潮时水深不超过 6 m 的永久水域,植被盖度 < 30%
	潮间淤泥海滩	植被盖度 < 30%, 底质以淤泥为主
	潮间盐水沼泽	植被盖度 > 30% 的盐沼
	河流	宽度 > 30 m 的河流及河口水域
人工湿地 Artificial wetlands	养殖水域	盐田、水产养殖场
非湿地 Non-wetlands	耕地	农业用地
	林地	灌丛林地、景观用地
	建筑用地	城镇用地、桥梁、工业用地等

1.4 盐城海岸带湿地景观信息提取方法

多尺度分割算法是一种在保证对象与对象之间平均异质性最小、对象内部像元之间同质性最大的前提下,基于区域合并技术实现影像分割^[22]的方法。对盐城海岸带影像进行信息提取时,根据实际情况进行分割参数选择:尺度参数 110、形状因子 0.2 和紧凑度因子 0.5。经过多次的敏感性对比实验,最终确定最优分割参数。分割后可以直观地分辨出河流、堤岸、潮滩等地物形状,各斑块基本达到区分度和聚拢性的平衡。确定了有效波段组合分别为 (NIR, RED, GREEN) = (5, 4, 3) 和 (SWIR1, NIR, BLUE) = (6, 5, 2), 根据盐城海岸带景观分类(表 2)进行对象的训练样本选取。依据研究区相关图文资料和野外调查数据,结合目视解译,进行对象训练样本的选取。样本力求选择典型地物,且在影像上分布均匀。采取监督分类方法,选择训练样本后建立分类规则,从而完成地物分类。最后可通过人工判别、手动修正归类来提高分类精度,以上实验通过软件易康(eCognition)实现。精度验证以 2020 年盐城海岸带遥感影像为例,结合 Google earth 和野外勘测点进行验证。结果表明湿地景观提取精度可达 85.8%, 可满足空间分析

1.3 海岸带景观分类标准设定

根据《湿地公约》中的湿地分类系统,参照《全国湿地资源调查技术规程》中的近海及海岸湿地分类,并结合研究区的特点,按人类活动对景观的影响程度,将海岸带景观划分为两级(表 2)^[21]。一级为自然湿地、人工湿地和非湿地,二级分类包括浅海水域、潮间淤泥海滩、潮间盐水沼泽、河流、养殖水域一类、耕地、林地和建筑用地 8 类,分属一级三类。

的要求。

1.5 景观转移特征分析方法

1.5.1 景观面积净转移矩阵

景观面积净转移矩阵反映研究区从 T 向 $T+1$ 时段内,各景观类型在一时间段内的转移方向、构结等特征,由景观转移矩阵减去它的转置矩阵后得到^[23],其计算公式为

$$R_{ij} = P_{ij} - P_{ij}^T \quad (1)$$

式中: R_{ij} 为研究初期和末期景观 i 净转移到 j 的面积; P_{ij} 是研究时期内景观转移矩阵。景观面积净转移矩阵可以定量反映研究时期内各景观转移方向与强度,以此对各景观空间、时间上的动态变化进行分析。

1.5.2 单一景观年变化速率

采用单一景观年变化速率(K_i)来反映研究区一定时间范围内某种景观面积的变化程度,其计算公式为

$$K_i = (S_{ib} - S_{ia}) \times 1/t \quad (2)$$

式中: K_i 为单一景观年变化速率, km^2/a ; S_{ia} 、 S_{ib} 分别为研究期初和研究期末的某种景观面积, km^2 ; t 为监测时段长度, a 。 $K_i > 0$ 表示监测时间段内某种景观面积增加, $K_i < 0$ 表示监测时间段内某种景观面积减少, K_i 的绝对值越大表示景观面积变

化程度越大。

1.5.3 综合湿地动态度

综合湿地动态度 L_c 用于表征不同时期湿地景观类型变化的速度和剧烈程度,其计算公式^[24]为

$$L_c = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta L_{i-j}}{2 \sum_{i=1}^n L_i} \times \frac{1}{t} \times 100\% \quad (3)$$

式中: L_i 为监测起始时间第 i 类湿地类型面积, km^2 ; ΔL_{i-j} 为监测时段第 i 类湿地类型转为非 i 类湿地景观类型面积的绝对值; n 为景观类型个数; t 为监测时段长度。当 t 为年数时, L_c 为研究区

湿地年综合变化率。

2 结果与分析

通过基于面向对象的监督分类,提取了 1990—2020 年二级的 8 种盐城海岸带景观分布信息(浅海水域、潮间淤泥海滩、河流湿地、潮间盐水沼泽、养殖水域、农田、林地和建筑用地),将每种景观的斑块面积加和得出各景观类型在不同年份的面积。通过 ArcMap 绘制特征专题,分别以不同颜色可视化表达盐城海岸带二级景观(图 2)。

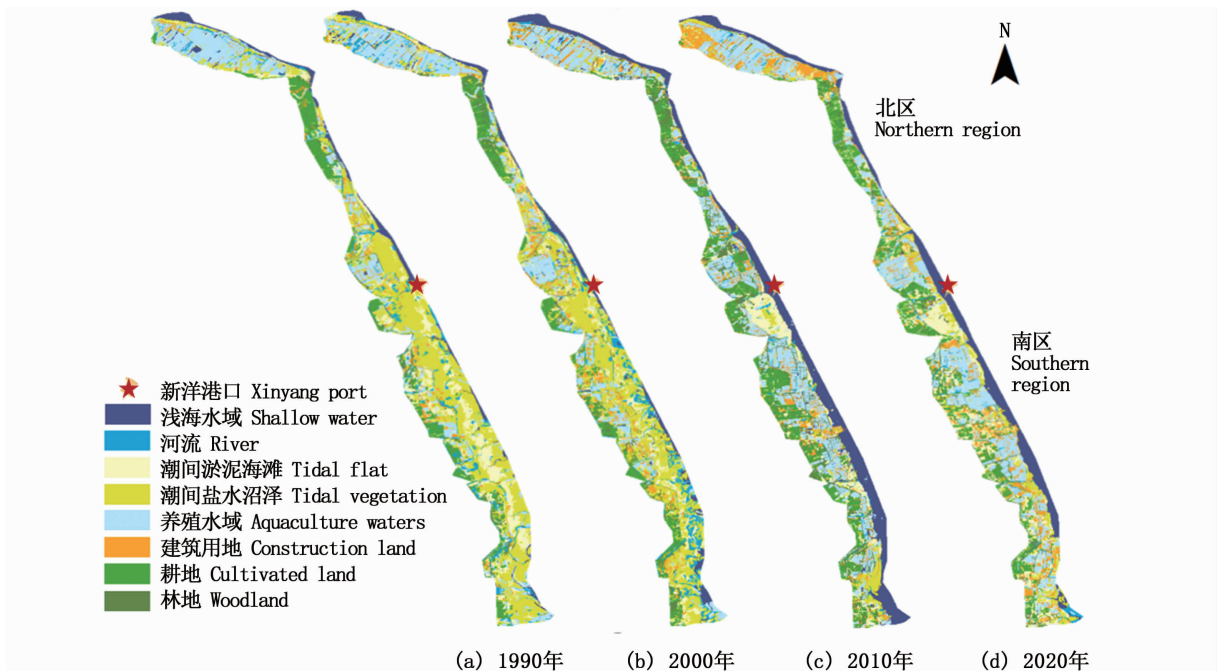


图 2 1990、2000、2010、2020 年盐城海岸带景观分布图

Fig. 2 Distribution of wetlands along the coastal belt of Yancheng in 1990, 2000, 2010 and 2020

2.1 盐城海岸带景观类型时空分布特征

通过景观年变化速率和综合景观动态度量化了盐城海岸带景观动态变化,并分析其时空分布特征。对主要景观分布组成进行分析(图 2): 1990 年盐城海岸带由南至北的景观分布分别为养殖水域-耕地-潮间淤泥海滩和潮间盐水沼泽; 2000 年海岸带由南至北分别为养殖水域-耕地-潮间淤泥海滩和潮间盐水沼泽; 2010 年海岸带由南至北分别为养殖水域-耕地-潮间淤泥海滩和潮间盐水沼泽; 2020 年盐城海岸带由南至北分别为为养

殖水域、建筑用地-耕地-浅海水域、耕地和养殖水域。

从空间上来看,先从北至南分析,滨海港以北的响水段以人工湿地为主要景观,在 2010 年到 2020 年(图 2d)部分人工湿地转变为建筑用地。滨海港-射阳河口以耕地为主要景观。射阳河口至研究区南端除江苏盐城国家级珍禽自然保护区核心区域之外,可以由靠陆一侧至靠海一侧来分析,人工湿地和非湿地交错并占主导的区域逐渐向海迁移,表现为“自然湿地-人工湿地-非湿

地”的变化趋势。对于保护区核心区以北所在区域,外部两侧有潮间盐水沼泽连续分布,中心区域分布着完整、边缘自然弯曲的潮间淤泥海滩。在2000年时各斑块交错,分界逐渐模糊,更多的非湿地斑块分散在其中。2010年,连续大片的潮滩已被人工湿地或耕地等占据并具有一定规模。保护区核心区内在30年间靠海一侧大部分面积保持着自然湿地景观布局,在2000—2010年间有连续的潮间淤泥海滩转为潮间盐水沼泽。

根据公式(3)得出的1990—2020年盐城海岸带湿地综合年动态度可以反映盐城海岸带各湿地(自然湿地、人工湿地)景观各时期的总体变化剧烈程度。从盐城海岸带湿地年综合动态度(表3)可以看出。在1990—2000年和2010—2020年20年间湿地动态度较低,仅为0.07%和0.08%,在这个两个阶段海岸带各湿地类型总体较稳定。2000—2010年这个阶段湿地综合年动态度较高,约为1990—2000年间的3倍。总体来看,盐城海岸带湿地景观在整个研究阶段呈现“稳定-剧烈-稳定”的变化态势,同时也印证了图2中所示不同时间段景观变化趋势。

2.2 盐城海岸带一级景观变化特征

2.2.1 盐城海岸带景观整体变化特征

1990—2020年盐城海岸带景观一级分类面

表4 1990—2020年盐城海岸带一、二级分类景观面积及占比

Tab.4 Landscape area, percentage and landscape dynamics of the coastal zone of Yancheng for four periods,1990-2020

一级分类 First classification	二级分类 Secondary classification	1990		2000		2010		2020	
		面积 Area/km ²	比例 Percentage/%	面积 Area/km ²	比例 Percentage/%	面积 Area/km ²	比例 Percentage/%	面积 Area/km ²	比例 Percentage/%
自然湿地 Natural wetland	潮间淤泥海滩	1 041.13	37.19	932.04	33.29	170.22	6.08	241.50	8.63
	潮间盐水沼泽	454.33	16.23	328.02	11.72	317.63	11.35	470.34	16.80
	浅海水域	151.73	5.42	177.18	6.33	558.90	19.96	386.40	13.80
	河流湿地	178.91	6.39	248.33	8.87	61.16	2.18	64.94	2.32
	自然湿地合计	1 826.10	65.22	1 685.58	60.17	1 107.92	39.58	1 163.18	41.55
人工湿地 Artificial wetland	养殖水域	524.72	18.74	569.45	20.33	786.84	28.11	765.22	27.33
	湿地 (自然湿地+人工湿地)合计	2 350.82	83.96	2 255.03	80.50	1 894.75	67.68	1 928.40	68.88
非湿地 Non-wetland	耕地	275.29	9.83	253.07	9.04	431.14	15.40	384.77	13.74
	建筑用地	105.51	3.77	173.57	6.20	202.47	7.23	359.57	12.84
	林地	68.31	2.44	119.53	4.27	271.10	9.68	126.72	4.53
	非湿地合计	449.11	16.04	546.17	19.50	904.71	32.32	871.06	31.12

从一级景观类型(图3、表4)来看,非湿地景观类型增长明显,面积占比由1990年的16.04%

积变化(表4)表明,研究区在1990—2020年期间景观结构发生了很大变化,自然湿地景观总面积呈下降趋势,人工湿地景观面积有所增长。1990、2000、2010和2020年研究区内湿地总面积分别为2 350.82 km²、2 255.03 km²、1 894.76 km²、1 928.40 km²,占研究区总面积的83.96%、80.50%、67.68%、68.88%。30年间盐城海岸带湿地面积不断缩减,湿地面积净减少422.41 km²,共有15.09%的湿地丧失,年均丧失率为0.50%。其中2000年至2010年间丧失的湿地面积最为显著,丧失速率也明显快于其余20 a,湿地面积净减少360.27 km²,年均丧失率高达1.29%,自1990年起盐城海岸带湿地不断萎缩。

表3 1990—2020年盐城海岸带综合湿地年动态度

Tab.3 Annual comprehensive dynamic degree of Yancheng coastal wetland, 1990-2020 %

时间段 Time period	1990—2000 年间 During 1990-2000	2000—2010 年间 During 2000-2010	2010—2020 年间 During 2010-2020
综合湿地动态度 Comprehensive wetland dynamic degree	0.07	0.22	0.08

增加到2020年的31.12%,面积净增加了421.95 km²,年均增长率达3.13%;与之相反,同期自然

湿地则大幅减少,面积占比由 1990 年的 65.22% 减少到 2020 年的 41.55%,面积净减少了 662.92 km²,年均减少率为 1.21%。人工湿地面积在 1990—2010 年间也不断增长,2010 年后有略微降低,年均增长率为 1.53%。

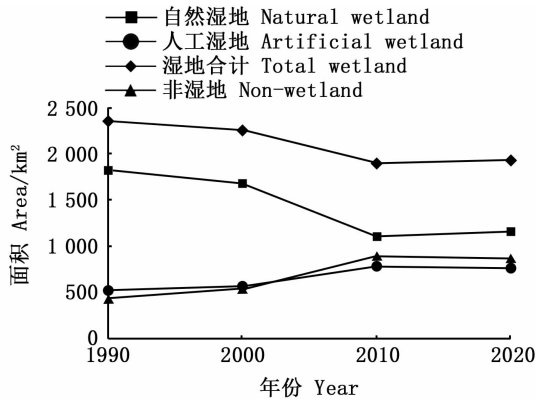


图 3 1990—2020 年盐城海岸带一级分类景观面积变化

Fig. 3 Area changes of Yancheng coastal zone landscape level 1 classification, 1990 - 2020

2.2.2 盐城北区海岸带景观变化特征

盐城北区的海岸带景观变化如图 4 所示,自然湿地占比由 1990 年的 49.62% 逐渐降低至 2020 年的 34.18%,人工湿地占比在 2010 年达到最高的 35.09%,非湿地由 1990 年的 18.73% 增长至 2010 年的 33.06%。

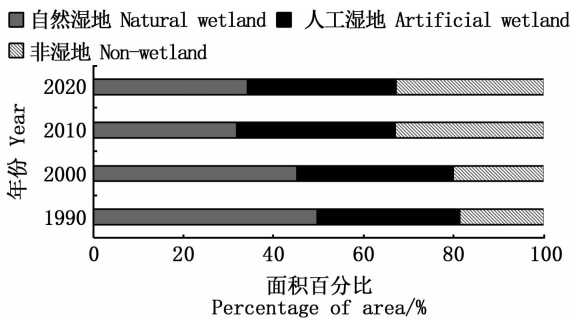


图 4 1990—2020 年盐城北区海岸带一级分类景观面积占比

Fig. 4 North region changes of Yancheng coastal zone landscape level 1 classification, 1990 - 2020

2.2.3 盐城南区海岸带景观变化特征

盐城南区的海岸带景观变化如图 5 所示,自然湿地占比由 2000 年的 70.52% 迅速降低至 2010

年的 44.87%,人工湿地占比在 2000 年为 10.40%,在 2010 年迅速升至 23.30%,10 年中增幅达到 2 倍以上。非湿地由 1990 年的 14.16% 增长至 2010 年的 31.83%,20 年中增幅达到 2 倍以上。

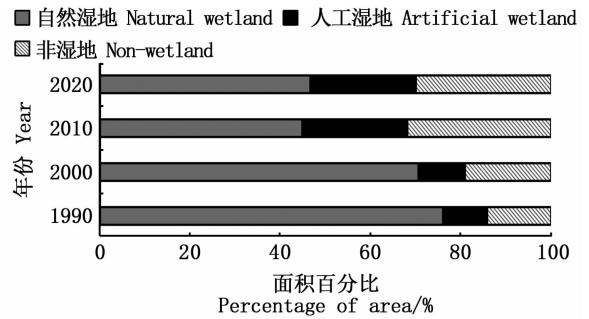


图 5 1990—2020 年盐城南区海岸带一级分类景观面积占比

Fig. 5 South region changes of Yancheng coastal zone landscape level 1 classification, 1990 - 2020

盐城海岸带整体和分区的自然湿地面积占比在 1990—2020 年间变化趋势特征一致,呈现“下降-加速下降-略微抬升”的变化趋势,变化幅度南区大于北区。其中变化最突出的阶段为 2000—2010 年,北区自然湿地面积占比由 45.15% 降低至 31.85%,南区的由 70.52% 降至 44.87%。北区人工湿地面积占比增幅 1%,南区为 124%。

2.3 盐城海岸带二级景观变化特征

2.3.1 盐城海岸带景观整体变化特征

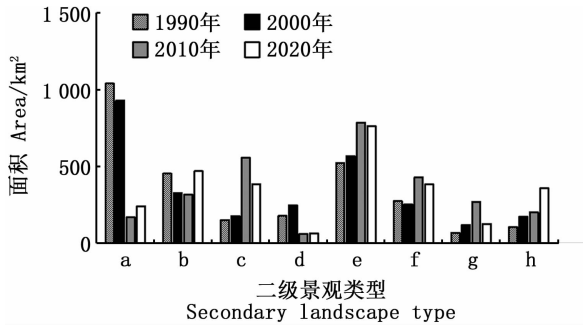
结合表 4、表 5 和图 6 中二级景观类型信息来看,潮间淤泥海滩的面积由 1990 年的 1 041.13 km² 降低到 2020 年的 241.50 km²,年均减少面积达 26.65 km²,其中:2000 年至 2010 年间潮间淤泥海滩面积减少了 27.17%,减少最为剧烈;养殖水域在 1990 年时面积为 524.72 km²,在 2010 年达到最高峰值 786.84 km²,年均增加面积为 8.02 km²。潮间盐水沼泽面积和河流湿地面积的年均变化速率最低,仅为 0.53 km²/a 和 -3.8 km²。

从自然湿地景观年变化速率来看,潮间淤泥海滩面积年变化速率为 -7.68%,其中,浅海水域面积在 2000—2010 年受潮位影响较大,增速为 21.54%。

表 5 盐城海岸带自然湿地景观年变化速率

Tab. 5 Annual rate of changes in natural wetland landscape of Yancheng coastal zone

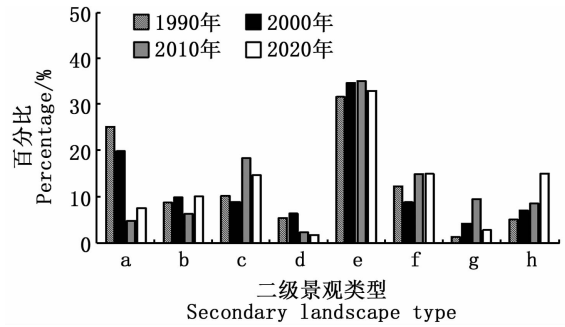
自然湿地景观二级分类 Secondary classification of natural wetland landscape	1990—2000 年间 During 1990 - 2000	2000—2010 年间 During 2000 - 2010	2010—2020 年间 During 2010 - 2020	1990—2020 年间 During 1990 - 2020
潮间淤泥海滩 Tidal flat	-1.05%	-8.17%	4.19%	-7.68%
潮间盐水沼泽 Tidal vegetation	-2.78%	-0.32%	4.81%	0.35%
浅海水域 Shallow water	1.68%	21.54%	-3.09%	15.47%
河流 River	3.88%	-7.54%	0.62%	-4.14%



a. 潮间淤泥海滩; b. 潮间盐水沼泽; c. 浅海水域; d. 河流; e. 养殖水域; f. 耕地; g. 林地; h. 建筑用地。
a. tidal flat; b. tidal vegetation; c. shallow water; d. river; e. aquaculture waters; f. cultivated land; g. woodland; h. construction land.

图 6 1990—2020 年盐城海岸带
二级分类景观面积变化

Fig. 6 Area changes of Yancheng coastal zone
landscape secondary classification, 1990 - 2020



a. 潮间淤泥海滩; b. 潮间盐水沼泽; c. 浅海水域; d. 河流; e. 养殖水域; f. 耕地; g. 林地; h. 建筑用地。
a. tidal flat; b. tidal vegetation; c. shallow water; d. river; e. aquaculture waters; f. cultivated land; g. woodland; h. construction land.

图 7 1990—2020 年盐城北区海岸带
二级分类景观类型面积占比

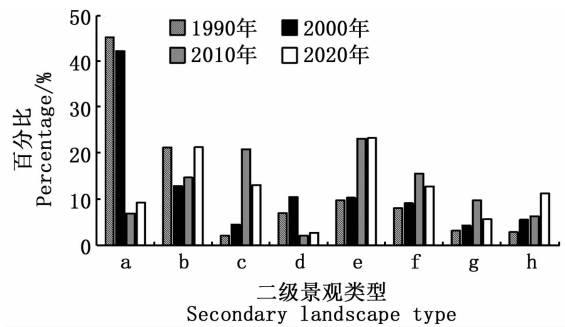
Fig. 7 Northern region changes in the proportion
of Yancheng coastal zone secondary
classification area, 1990 - 2020

2.3.2 盐城北区海岸带景观动态变化

盐城北区景观中养殖水域面积占比(表 4、图 7)最高,在 2020 年时为峰值达到北区总面积的 35.09%,最低面积占比在 1990 年时为 31.65%,在 30 年间维持比较稳定的面积。河流湿地面积的占比在 5% 左右,但从 2010 年开始明显下降,10 年间由 6.40% 下降至 2.32%。建筑用地面积占比逐年上升,由 1990 年的 5.08% 升至 2020 年的 15.05%。耕地面积较为稳定,总体上有小幅度的增加。一些自然岸线转为人工岸线,人工岸堤内景观分布比较稳定。

2.3.3 盐城南区海岸带景观动态变化

盐城南区的人工湿地占比(表 4、图 8)接近 12%,但在 2000 年至 2010 年间占比上升近一倍,且潮间淤泥海滩在此阶段面积比例骤减,面积占比 42.46% 骤降至 6.96%。因此,可以推断南区有相当一部分的潮间淤泥海滩转化为人工湿地用于水产养殖或盐田。建筑用地占比逐年上升,由 1990 年的 2.87% 升至 2020 年的 11.33%。



a. 潮间淤泥海滩; b. 潮间盐水沼泽; c. 浅海水域; d. 河流; e. 养殖水域; f. 耕地; g. 林地; h. 建筑用地。
a. tidal flat; b. tidal vegetation; c. shallow water; d. river; e. aquaculture waters; f. cultivated land; g. woodland; h. construction land.

图 8 1990—2020 年盐城南区海岸带
二级分类景观类型面积占比

Fig. 8 Southern region changes in
the proportion of Yancheng coastal zone
secondary classification area, 1990 - 2020

此外南北两区的河流湿地、潮间盐水沼泽、

建筑用地、耕地和林地面积占比与其变化趋势均较一致,其中两区的潮间盐水沼泽占比有所差别,分别为北区的占比 8.77%、南区的占比 17.64%,面积占比接近 1 倍,这与南边多淤泥质潮滩而北边多基岩海岸与冲刷、过渡的海岸自然地貌相符^[2]。建筑用地在研究区整体和分区中面积占比趋势不断上升,建议可以对建设用地做相应的规划。

2.4 盐城海岸带景观转移特征分析

通过面向对象的监督分类提取了盐城海岸带景观信息后,运用景观面积净转出矩阵模型可以定量分析盐城海岸带二级景观动态变化(公式 1)。表 7 的第一列景观类别表示由此转出,表中显示每 10 年间 8 种景观转出的方向中面积最大的方向及其面积。

表 6 每 10 年间盐城海岸带各二级景观净转出面积最大的方向及其面积

Tab.6 Direction of the largest secondary landscape transfer area and its area of Yancheng coastal zone every 10 years

二级景观类型 Secondary landscape type	1990—2000 年 During 1990 - 2000		2000—2010 年 During 2000 - 2010		2010—2020 年 During 2010 - 2020	
	转出方向 Transform direction	面积 Area/km ²	转出方向 Transform direction	面积 Area/km ²	转出方向 Transform direction	面积 Area/km ²
潮间淤泥海滩 Tidal flat	河流	59.48	养殖水域	218.38	建筑用地	24.02
养殖水域 Aquaculture waters	河流	17.27	浅海水域	44.26	建筑用地	55.22
耕地 Cultivated land	林地	29.33	林地	10.74	潮间盐沼海滩	66.35
河流 River	耕地	12.48	林地	14.72	潮间盐沼海滩	6.19
林地 Woodland	浅海水域	0.31	-	-	潮间盐沼海滩	45.94
浅海水域 Shallow water	河流	2.07	耕地	2.76	潮间淤泥海滩	71.65
建筑用地 Construction land	林地	0.87	耕地	38.71	-	-
潮间盐沼海滩 Tidal vegetation	潮间淤泥海滩	45.45	养殖水域	62.89	建筑用地	6.86

表 7 每 10 年间盐城海岸带各二级景观净转入面积最大的方向及其面积

Tab.7 Direction of the largest secondary landscape transfer area and its area of Yancheng coastal zone every 10 years

二级景观类型 Secondary landscape type	1990—2000 年 During 1990 - 2000		2000—2010 年 During 2000 - 2010		2010—2020 年 During 2010 - 2020	
	转出方向 Transform direction	面积 Area/km ²	转出方向 Transform direction	面积 Area/km ²	转出方向 Transform direction	面积 Area/km ²
潮间淤泥海滩 Tidal flat	潮间盐沼海滩	45.45	河流	2.07	浅海水域	71.65
养殖水域 Aquaculture waters	潮间淤泥海滩	47.77	潮间淤泥海滩	218.38	浅海水域	40.75
耕地 Cultivated land	潮间盐沼海滩	16.00	潮间淤泥海滩	106.74	林地	31.86
河流 River	潮间淤泥海滩	59.48	-	-	浅海水域	10.33
林地 Woodland	耕地	29.33	潮间淤泥海滩	71.57	-	-
浅海水域 Shallow water	潮间淤泥海滩	25.19	潮间淤泥海滩	189.82	林地	1.39
建筑用地 Construction land	潮间盐沼海滩	34.83	潮间淤泥海滩	56.82	养殖水域	55.22
潮间盐沼海滩 Tidal vegetation	-	-	潮间淤泥海滩	120.37	耕地	66.35

从 30 a 盐城海岸带景观净转出矩阵中得出的景观转移和保留的图表(表 6、表 7、图 9)来看,在 1990—2000 年间,潮间淤泥海滩净转出流向河流湿地的面积最大,为 59.48 km²,其次为潮间盐沼海滩转向潮间淤泥海滩的 45.45 km²。这一时段内,海岸带变化方向主要为自然湿地景观内部转化,尤其是潮滩向其他景观的转移。据 1990 年

到 2000 年间数据分析,开始主要是水产养殖的发展。盐城市在 1997 年启动“开发沿海滩涂、建设海上盐城”战略也可以印证转化特征。

在 2000—2010 年间(表 6、表 7、图 9),潮间淤泥海滩保留面积为 275.08 km²,其中净转出到养殖水域的比重最大,为 218.38 km²。除河流和潮间淤泥海滩,新增景观面积的来源主要为潮间

淤泥海滩。养殖业和盐业发展成规模,开发强度大于 1990—2000 年。2005 年江苏省提出的“海上苏东”战略推动了海洋产业的发展,盐城的滩

涂减少速度也印证了这一工程的推进^[25],潮间淤泥海滩向 6 个方向大量转移,呈现出“一面倒”的趋势。

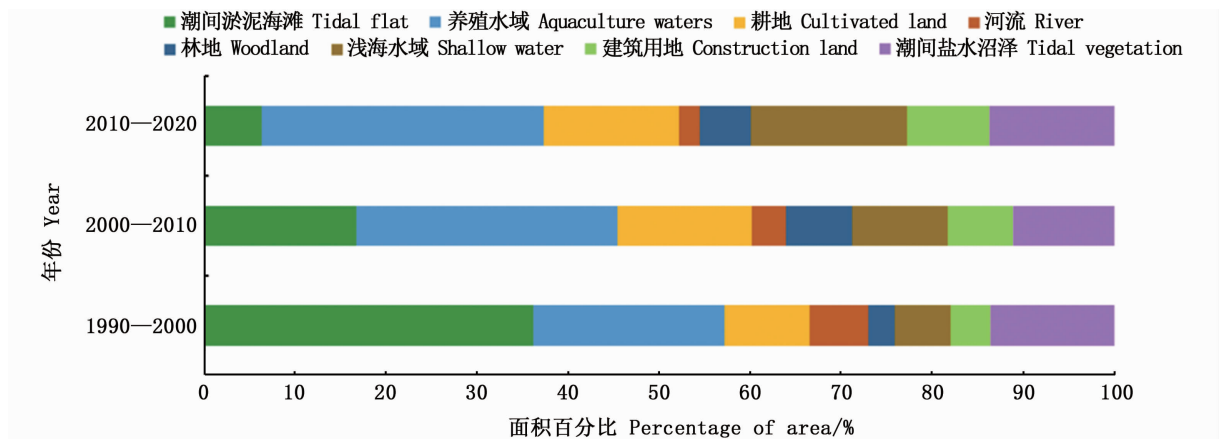


图 9 30 年间各二级景观保留面积占比

Fig. 9 Proportion of the reserve area of each secondary landscape in 30 years

在 2010—2020 年间(表 6、表 7、图 9),浅海水域净转出流向潮间淤泥海滩的面积最大,为 71.65 km²,也有 66.35 km² 的耕地转化为潮间盐沼海滩,河流湿地保留面积为 50.44 km² 较为稳定。据 2010—2020 年遥感影像分析,由于《江苏沿海地区发展规划》促进风电工程等新能源开发,海缆登陆点、沿海公路不断建成,政策也从一味地开发转为保护,盐城产业结构向第三产业倾斜,围垦活动强度减弱,围垦后的土地利用方式发生改变。

在 1990—2000 年间,潮间淤泥海滩保留面积占主要地位,为 870.41 km²。在 2000—2010 年、2010—2020 年间,养殖水域保留面积占主要地位,分别为 472.30 km² 和 692.11 km²。养殖水域、浅海水域、耕地、林地和建筑用地的保留面积均呈现每 10 a 增加趋势。

综上所述,不同时间段景观转移方向和强度存在差异。在 1990—2000 年间,各湿地景观转移方向比较分散,大多以自然湿地或非湿地内部转移为主;在 2000—2010 年间,潮间淤泥海滩和潮间盐水沼泽向养殖水域转化最为强烈,占该时段景观转化的主导;在 2010—2020 年间,耕地、河流、林地和浅海水域都有向淤泥潮间海滩转化的趋势,这与盐城市海岸带整体向东淤长的态势一致。潮间淤泥海滩、潮间盐沼水域和养殖水域转化趋势最强烈的方向为建筑用地。

3 结论

盐城海岸带湿地景观在 1990—2020 年期间时空分布结构变化明显。1990 年由北到南分别为养殖水域-耕地-潮间淤泥海滩和潮间盐水沼泽景观,2020 年盐城海岸带南部景观由自然湿地主导转为人工湿地主导。

从盐城海岸带景观一级分类来看,非湿地类型增长明显,年均增长率达 3.13%,同期自然湿地大幅减少,年均减少率为 1.21%。其中 2000 年至 2010 年间湿地丧失速率最为显著,湿地总面积净减少 360.27 km²。这一时段内,盐城海岸带整体景观变化剧烈程度也与其面积变化趋势相吻合,南、北两区自然湿地面积占比变化均呈现“下降-加速下降-略微抬升”的趋势。

从盐城海岸带景观二级分类来看,1990—2020 年潮间淤泥海滩的变化速率最高,年均减少面积达 26.65 km²,年变化速率为 -7.68%,其中 2000—2010 年间潮间淤泥海滩减少了 27.17%,减少最为剧烈。由于地理条件和历史产业结构的影响,北、南两区湿地景观占比与变化存在较大差异,北区的养殖业与盐业较南部发展更早也更具规模。南、北区域的河流湿地、潮间盐水沼泽、建筑用地、耕地和林地面积占比与其变化趋势均较一致,其中两区的潮间盐水沼泽占比有所差别,分别为北区的占比 8.77%、南区的占比

17.64%,这与南边多淤泥质潮滩而北边多基岩海岸与冲刷、过渡的海岸的自然地貌相符。

盐城海岸带景观转移特征来看,不同时间段景观转移方向和强度存在差异。在 1990—2000 年间,各湿地景观转移方向比较分散,大多以自然湿地或非湿地内部转移为主,潮间淤泥海滩保留率最高;在 2000—2010 年间,潮间淤泥海滩和潮间盐沼沼泽向养殖水域转化最为强烈,占该时段景观转化的主导,且养殖水域的保留率最高。在 2010—2020 年间,养殖水域保留率最高且比例有所增加,潮间淤泥海滩、潮间盐沼水域和养殖水域转化趋势最强烈的方向为建筑用地。建议在经济发展的同时,合理布局规划、控制规模,协调保护与发展之间的关系,保持盐城海岸带自然湿地的主要功能^[26-29]。

由于目前的一级和二级湿地景观尺度的分类包含不同湿地类型,因此具体识别不出面积的增加是否由于淤长,今后的研究可以进一步对湿地景观的内部结构特征研究,运用数值模拟方法针对淤积导致的面积变化做定量的研究。另外为进一步增强数据代表性、削弱涨落潮带来的误差影像,以后的研究可以增加不同时相的遥感卫星影像进行讨论。

参考文献:

- [1] 彭建,王仰麟. 我国沿海滩涂景观生态初步研究[J]. 地理研究, 2000, 19(3): 249-256.
PENG J, WANG Y L. An ecological perspective on shoaly land in China[J]. Geographical Research, 2000, 19(3): 249-256.
- [2] 徐彩璐,濮励杰,朱明. 沿海滩涂围垦对生态环境的影响研究进展[J]. 生态学报, 2018, 38(3): 1148-1162.
XU C Y, PU L J, ZHU M. Effect of reclamation activity on coastal ecological environment: progress and perspectives [J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(3): 1148-1162.
- [3] 赵怡蕾,杨红,焦俊鹏,等. 盐城国家级珍禽自然保护区实验北区不同生境鸟类群落多样性研究[J]. 上海海洋大学学报, 2018, 27(4): 564-572.
ZHAO Y L, YANG H, JIAO J P, et al. Study on bird diversity of different habitats in the northern experimental area of Yancheng national nature reserve [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2018, 27(4): 564-572.
- [4] MAO D H, TIAN Y L, WANG Z M, et al. Wetland changes in the Amur River basin: Differing trends and proximate causes on the Chinese and Russian sides [J]. Journal of Environmental Management, 2021, 280: 111670.
- [5] 张晶磊,杨红,王春峰,等. 江苏滨海海上风电场建设对近岸海洋生态环境的累积影响评价[J]. 海洋环境科学, 2019, 38(6): 884-890.
ZHANG J L, YANG H, WANG C F, et al. Cumulative impacts assessment of offshore wind power on the marineecological environment in Binhai, Jiangsu [J]. Marine Environmental Science, 2019, 38(6): 884-890.
- [6] BROWN C J, ADAME M F, BUELOW C A, et al. Opportunities for improving recognition of coastal wetlands in global ecosystem assessment frameworks [J]. Ecological Indicators, 2021, 126: 107694.
- [7] FENG Y J, LEI Z K, TONG X H, et al. Spatially-explicit modeling and intensity analysis of China's land use change 2000-2050 [J]. Journal of Environmental Management, 2020, 263: 110407.
- [8] 王凌,李秀珍,胡远满,等. 用空间多样性指数分析辽河三角洲野生动物生境的格局变化[J]. 应用生态学报, 2003, 14(12): 2176-2180.
WANG L, LI X Z, HU Y M, et al. Spatial diversity index analysis on wildlife habitat pattern change in the Liaohe Delta [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(12): 2176-2180.
- [9] 雷金睿,陈宗铸,陈毅青,等. 1990—2018 年海南岛湿地景观格局演变及其驱动力分析[J]. 生态环境学报, 2020, 29(1): 59-70.
LEI J R, CHEN Z Z, CHEN Y Q, et al. Landscape pattern changes and driving factors analysis of wetland in Hainan Island during 1990-2018 [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2020, 29(1): 59-70.
- [10] 杨帆. 基于 RS 和 GIS 的辽东湾滨海湿地景观动态变化研究[D]. 大连:大连海事大学, 2007.
YANG F. The study on dynamic change of wetland landscape at Liaodong Bay based on RS and GIS technology [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2007.
- [11] 王志波,高志海,王臻瑜,等. 基于面向对象方法的沙化土地遥感信息提取技术研究[J]. 遥感技术与应用, 2012, 27(5): 770-777.
WANG Z B, GAO Z H, WANG F Y, et al. The study of extracting sandy lands information from remote sensing image based on object-oriented method [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2012, 27(5): 770-777.
- [12] 鞠明明,汪闽,张东,等. 基于面向对象图像分析技术的围填海用海工程遥感监测[J]. 海洋通报, 2013, 32(6): 678-684.
JU M M, WANG M, ZHANG D, et al. Study on the remote-sensing-based monitoring of reclamation project area by using the object-oriented image analysis technique [J]. Marine Science Bulletin, 2013, 32(6): 678-684.
- [13] 崔齐,王杰,汪闽,等. 矢量约束的面向对象高分遥感影像水体提取[J]. 遥感信息, 2018, 33(4): 115-121.
CUI Q, WANG J, WANG M, et al. Water extraction from high-resolution remote sensing imagery based on vector data constraint and object-based image analysis [J]. Remote

- Sensing Information, 2018, 33(4): 115-121.
- [14] ZHAO F C, WU X M, WANG S. Object-oriented vegetation classification method based on UAV and satellite image fusion [J]. *Procedia Computer Science*, 2020, 174: 609-615.
- [15] 周昊昊, 杜嘉, 南颖, 等. 1980 年以来 5 个时期珠江三角洲滨海湿地景观格局及其变化特征 [J]. *湿地科学*, 2019, 17(5): 559-566.
- ZHOU H H, DU J, NAN Y, et al. Landscape patterns of coastal wetlands in Pearl River Delta and their changes for 5 periods since 1980 [J]. *Wetland Science*, 2019, 17(5): 559-566.
- [16] 莫利江, 曹宇, 胡远满, 等. 面向对象的湿地景观遥感分类——以杭州湾南岸地区为例 [J]. *湿地科学*, 2012, 10(2): 206-213.
- MO L J, CAO Y, HU Y M, et al. Object-oriented classification for satellite remote sensing of wetlands: a case study in southern Hangzhou Bay area [J]. *Wetland Science*, 2012, 10(2): 206-213.
- [17] 卢晓宁, 黄玥, 洪佳, 等. 基于 Landsat 的黄河三角洲湿地景观时空格局演变 [J]. *中国环境科学*, 2018, 38(11): 4314-4324.
- LU X N, HUANG Y, HONG J, et al. Spatial and temporal variations in wetland landscape patterns in the Yellow River Delta based on Landsat images [J]. *China Environmental Science*, 2018, 38(11): 4314-4324.
- [18] 王泉斌, 王晶, 张志卫, 等. 无居民海岛旅游开发过程中的景观格局变化分析——以菩提岛为例 [J]. *海洋通报*, 2018, 37(3): 353-359.
- WANG Q B, WANG J, ZHANG Z W, et al. Analysis of landscape pattern changes on uninhabited island during tourism development process—case study of Puti Island [J]. *Marine Science Bulletin*, 2018, 37(3): 353-359.
- [19] 鲁宏旺, 胡文敏, 余济云, 等. 生态退耕对洞庭湖湿地景观格局变化影响研究 [J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2020, 44(3): 171-178.
- LU H W, HU W M, SHE J Y, et al. Study on the influence of ecological poplar withdrawal on the landscape pattern of Dongting Lake wetland [J]. *Journal of Nanjing Forestry University(Natural Sciences Edition)*, 2020, 44(3): 171-178.
- [21] 徐向红. 江苏沿海滩涂开发、保护与可持续发展研究 [D]. 南京: 河海大学, 2004.
- XU X H. The exploitation, protection and sustainable development of mud flat in Jiangsu province [D]. Nanjing: Hohai University, 2004.
- [22] 陆健健. 中国滨海湿地的分类 [J]. *环境导报*, 1996(1): 1-2.
- LU J J. Classification of coastal wetlands of China [J]. *Environment Herald*, 1996(1): 1-2.
- [23] BENZ U, HOFMANN P, WILLHAUCK G, et al. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2004, 58(3/4): 239-258.
- [24] 刘红玉. 湿地景观变化与环境效应 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- LIU H Y. Landscape changes and environmental effects of wetlands [M]. Beijing: Science Press, 2005.
- [25] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨 [J]. *地理科学进展*, 1999, 18(1): 81-87.
- WANG X L, BAO Y H. Study on the methods of land use dynamic change research [J]. *Progress in Geography*, 1999, 18(1): 81-87.
- [26] CUI B S, HE Q, GU B H, et al. China's coastal wetlands: understanding environmental changes and human impacts for management and conservation [J]. *Wetlands*, 2016, 36(s1): 1-9.
- [27] 赵玉灵, 郁万鑫, 聂洪峰. 江苏盐城湿地遥感动态监测及景观变化分析 [J]. *国土资源遥感*, 2010(s1): 185-190.
- ZHAO Y L, YU W X, NIE H F. An analysis of dynamic change and landscape spatial pattern of the wetlands in Yancheng of Jiangsu province based on remote sensing technology [J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2010(s1): 185-190.
- [28] 李永涛, 杜振宇, 王霞, 等. 黄河三角洲自然保护区湿地生态服务功能价值评估 [J]. *海洋环境科学*, 2019, 38(5): 761-768.
- LI Y T, DU Z Y, WANG X, et al. Evaluation of wetland ecosystem services in Yellow River Delta Nature Reserve [J]. *Marine Environmental Science*, 2019, 38(5): 761-768.
- [29] 陈君, 张长宽, 林康, 等. 江苏沿海滩涂资源围垦开发利用研究 [J]. *河海大学学报(自然科学版)*, 2011, 39(2): 213-219.
- CHEN J, ZHANG C K, LIN K, et al. Reclamation and development of coastal tidal flats in Jiangsu Province [J]. *Journal of Hohai University (Natural Sciences)*, 2011, 39(2): 213-219.
- [30] 金志丰, 陈诚, 谢薇. 沿海滩涂开发空间优化与管制研究——以江苏省大丰区为例 [J]. *水土保持通报*, 2017, 37(4): 277-281.
- JIN Z F, CHEN C, XIE W. Spatial optimization and regulation of tidal flat—a case research in Dafeng area, Jiangsu Province [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2017, 37(4): 277-281.

Dynamic changes of wetland landscape in the coastal zone of Yancheng from 1990 to 2020 based on remote sensing images

SHEN Xinying, YANG Hong, WANG Chunfeng, LI Jingwei

(College of Marine Ecology and Environment, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Based on Landsat series satellite images, Google earth satellite images and object-oriented supervised classification method, the changes of coastal wetland landscape in Yancheng City, Jiangsu Province from 1990 to 2020 were analyzed on the basis of two-level classification of landscape. The results showed that : The total area of natural wetland landscape in Yancheng coastal zone showed a downward trend in the past 30 years, and the proportion of constructed wetland and non-wetland landscape area increased. The change trend of natural wetland area proportion in the study area was consistent with that in the partition, showing a trend of ‘decline-accelerated decline-slightly uplift’, and the change rate of intertidal mud beach was the highest. The proportion of intertidal saline marshes in the northern and southern Yancheng wetlands was 8.77 % and 17.64 % , respectively. The overall trend of coastal zone was ‘natural wetland-constructed wetland-non-wetland’. The wetland loss rate was the most significant from 2000 to 2010. The total area of wetland decreased by 360.27 km², and the average annual loss rate was as high as 1.29 % . There were differences in the landscape transfer characteristics of Yancheng coastal zone in different periods. During 1990 – 2000, the landscape transfer directions of each wetland were relatively dispersed, and most of them were transferred within natural wetland or non-wetland. During 2000 – 2010, the transformation from tidal flat to aquaculture waters was dominant. During 2010 – 2020, cultivated land, rivers, woodlands and shallow waters all showed a trend of transformation to intertidal mud beaches. The most intense transformation trend of intertidal mud beaches, intertidal salt marsh waters and aquaculture waters was construction land. It is suggested that the main functions of natural wetlands in Yancheng coastal zone should be maintained with reasonable layout, planning and control of scale during the period of economic development.

Key words: wetland landscape; Yancheng coastal zone; dynamic change; object-oriented classification