

# 人类活动对盐城海岸线与滨海 湿地的影响研究<sup>1</sup>

郭紫茹<sup>1</sup>, 王刚<sup>1</sup>, 吴玉琴<sup>1</sup>, 陈浩<sup>2</sup>, 李玉凤<sup>3</sup>, 刘红玉<sup>3</sup>

(1. 南京师范大学地理科学学院, 江苏南京 210023;

2. 江苏盐城国家级珍禽自然保护区, 江苏盐城 224333;

3. 南京师范大学海洋科学与工程学院, 江苏南京 210023)

**【摘要】**综合采用RS、GIS技术和野外调查方法研究1987—2018年盐城海岸线和滨海湿地变化。结果表明,1987—2018年人类活动对盐城海岸线及滨海湿地的影响十分明显。(1)围垦导致自然岸线长度减少30.23%,人工岸线长度占比提高到43.92%,自然湿地面积丧失106751.6hm<sup>2</sup>;围垦主要发生在淤蚀交替岸段(射阳河口-斗龙港口)和淤长岸段(斗龙港以南),改变了盐城岸线的淤蚀规律,导致淤长岸段淤积加快,加速了淤蚀交替岸段的侵蚀,淤蚀交替点不断南迁。(2)另一重要人类活动港口建设对海岸线性质和湿地丧失产生严重影响。射阳港区和大丰港区分别位于淤蚀交替岸段和淤长岸段,港区自然岸线长度缩短,2个港区人工岸线长度占比分别达25.45%和47.53%;建港后射阳港区湿地面积损失速率为18.4hm<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup>,低于建港前,而大丰港区湿地面积损失速率为335.3hm<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup>,是建港前的近5倍。同时,港口建设形成独特的促淤格局,港口导堤两侧淤积空间格局由双拱形向拱形和S形,再向拱形和斜坡形演变。

**【关键词】**滨海湿地; 围垦; 海岸线; 港口建设

**【中图分类号】**P737.1; P715.7 **【文献标志码】**A **【文章编号】**1673-4831(2021)03-0295-10

滨海湿地是介于陆地和海洋生态系统间复杂的自然综合体,是生物多样性丰富、生产力高、具较高保护价值的湿地生态系统之一<sup>[1]</sup>;同时,滨海湿地也是受人类活动影响最严重的湿地类型。目前,我国滨海湿地因围垦丧失的面积比例高达50%以上,各种人类活动对原有湿地生态功能的影响也日益显著<sup>[2]</sup>。围垦、港口建设等人类活动不仅导致大量湿地丧失与破碎化,而且导致湿地生境质量逐渐降低,功能逐渐丧失,严重影响区域生物多样性保护功能<sup>[2-4]</sup>。为此,人类活动对滨海湿地影响的研究受到国内外研究者、政府部门及湿地管理者的广泛关注。

江苏盐城滨海区域是由古黄河三角洲和长江三角洲所存泥沙在黄海和东海波浪冲撞及潮汐作用下形成的淤泥质平原海岸。

**收稿日期:** 2020-04-30

**基金项目:** 国家自然科学基金(31971547, 41871188); 江苏省重点研发项目(BE2018681)

**通信作者 E-mail:** liuhongyu@njnu.edu.cn

**作者简介:** 郭紫茹(1994-),女,安徽芜湖人,主要从事滨海湿地景观研究。E-mail: 1626304252@qq.com

它是东北亚-澳大利亚候鸟迁徙的重要通道、停歇地和越冬地,对生物多样性保护尤其对水禽保护具有重要意义<sup>[5-6]</sup>。然而,盐城滨海自古是人类活动频繁地区,滩涂围垦、港口建设和人为引进互花米草是人类活动作用无,盐城滨海最主要也是最广泛的方式<sup>[7]</sup>。这些人类活动对滨海湿地的影响主要体现在2个方面:二是湿地边缘-自然海岸线发生变化;二是自然湿地类型向人工湿地类型转变<sup>[8]</sup>。由于海堤、港口建设需要,人工岸线不断发展,自然岸线发生改变,湿地大量丧失<sup>[9]</sup>。目前,相关研究主要集中在海岸线时举变化<sup>[10-11]</sup>、湿地景观变化<sup>[12-13]</sup>、土地利用与湿地变化<sup>[14-15]</sup>以及围垦对环境的影响<sup>[16-17]</sup>等方面,针对人类活动对自然岸线和滨海湿地的影响尚不够全面与深入。为此,利用遥感和GIS技术研究围垦、港口建设和互花米草扩张等人类活动对盐城自然岸线及湿地的影响,揭示共时空演变特征与趋势,为科学合理开发利用滨海湿地提供科学依据。

## 1 研究区概况

盐城滨海滩涂面积广大,约占江苏省滩涂总面积的75%,分属响水县、滨海县、射阳县、大丰市和东台市<sup>[1]</sup>(图1)。盐城海岸整体为粉砂淤泥质类型,以射阳河口为界南淤北侵,其湿地围垦历史悠久,坐落着射阳港、大丰港等多个大中型港口。

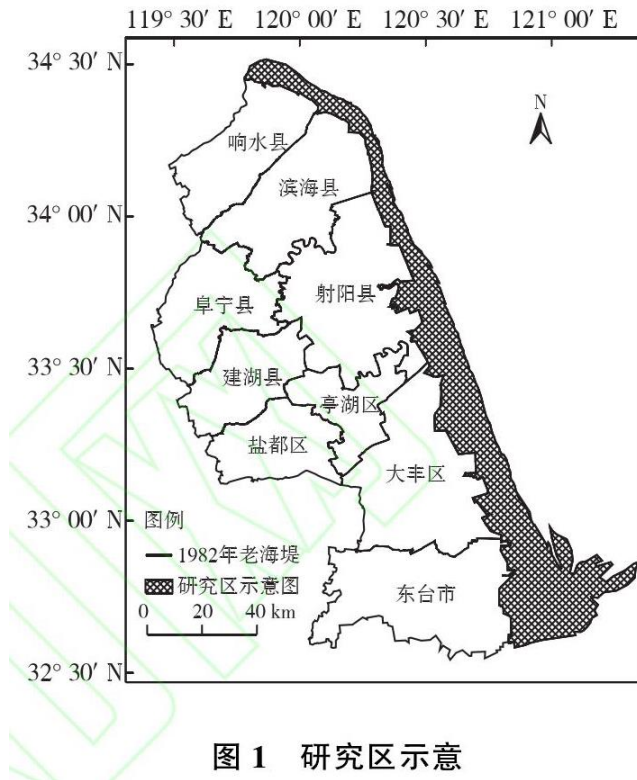


图1 研究区示意

## 2 研究方法

### 2.1 数据获取与处理

岸线信息提取自1987—2018年Landsat OLI/TM/ETM数据,分辨率均为30m。考虑到港口建设时间和数据可获取性,大致以5a为时间间隔,分别选取1987、1992、1998、2002、2007、2011和2018年每年各2期遥感影像。所用Landsat影像均来自地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)(表1)。

表1 各期数据来源影像列表

序号	卫星平台	传感器	空间分辨率/m	轨道号	成像时间
----	------	-----	---------	-----	------

1	Landsat 5	TM	30	119037, 120036	1987-06-10, 1987-09-21
2	Landsat 5	TM	30	119037, 120036	1992-05-22, 1992-05-29
3	Landsat 5	TM	30	119037, 120036	1998-05-23, 1998-05-30
4	Landsat 5	TM	30	119037, 120036	2002-09-23, 2002-09-22
5	Landsat 7	ETM	30	119037, 120036	2007-05-08, 2007-04-13
6	Landsat 7	ETM	30	119037, 120036	2011-09-24, 2011-10-17
7	Landsat 8	OLI	30	119037, 120036	2018-04-28, 2018-04-19

通过野外沿海调查,并辅助结合近海海洋综合调查与评价专项(“908专项”)盐城海岸专题数据和 Google 影像,与遥感影像对照,采用面向对象监督分类和目视解译相结合的方法,对研究区 2018 年湿地类型进行解译,经 2018 年 11 月中旬沿海调查验证,2018 年影像解译精度均超过 93%。以 2018 年解译图层为底图,对照遥感影像、Google 影像和其他历史文献资料,依次解译其他年份影像,从而避免解译误差。

## 2.2 岸段划分与岸线、湿地信息提取

根据张学勤等<sup>[18]</sup>研究结果以及盐城海岸淤蚀和分布特征,将盐城海岸分成 4 段:灌河口—翻身河口(岸段 1)、翻身河口—射阳河口(岸段 2)、射阳河口—斗龙河口(岸段 3)和斗龙河口以南(岸段 4),其中岸段 1 和岸段 2 为侵蚀岸段,岸段 3 为淤蚀交替岸段,包括盐城保护区核心区、北缓冲区和部分北实验区,岸段 4 为淤长岸段。

选择植被线作为盐城海岸线的指示岸线。同时结合地域特征和研究目标,将海岸线分为自然岸线和人工岸线。研究区不同类型海岸线采用的遥感判读原则<sup>[19]</sup>见表 2。

表 2 遥感解译标志

岸线类型	解译标志
自然岸线	向陆一侧植被生长茂盛,在假彩色合成影像中呈红色或者暗红色;向海一侧植被较为稀疏呈浅红色或没有植
粉砂淤泥质岸线	被一般以最接近河口的防潮闸或跨河道路桥梁为河海分界线,如果没有明显分界线,则一般定在河流缩窄或
河口岸线	两岬曲率最大处
人工岸线	包括养殖围堤、建设围堤、海堤公路和农田围堤等,一般具有规则的水陆分界线,采用人工湿地和非湿地向海一侧的界线为人工岸线

参照《湿地公约》将盐城滨海湿地划分为 3 大类:自然湿地类型(水域、光滩、草滩、碱蓬沼泽、芦苇沼泽和互花米草沼泽)、人工湿地类型(待利用地、养殖塘和水田)和非湿地类型(建设用地)。其中芦苇类型包括人工芦苇和自然芦苇;待利用地指新围垦的区域,由于尚未开发,还保留着大面积的光滩或荒草地。<sup>[20]</sup>

## 2.3 岸线速率计算

利用美国地质调查局(USGS)研发的数字海岸线分析系统(digital shoreline analysis system, DASA)<sup>[21]</sup>,采用 ArcGIS10.5 软件,对 1987—2018 年江苏盐城围垦岸线和海岸线进行定量化分析。首先,根据盐城围垦岸线走向,在向海一侧生成一条与围垦岸线大致平行的基线。其次,以 500m 为间隔,进行多次拟合、调整后生成与基线垂直,并与所有海岸线及围垦岸线相交的 499 条垂线,自北向南编号为 1~499(其中编号 1~106 为岸段 1,107~213 为岸段 2,214~297 为岸段 3,298~499 为岸段 4)。由于射阳港区和大丰港区范围较小,以 20m 为间隔自北向南再生成垂线,并重新进行编号(其中编号 1~513 为射阳港,514~1141 为大丰港)。

根据研究需要计算不同时段岸线终点变化速率，以反映岸线变化的空间差异。终点变化速率（end point rate）计算公式为

$$R_{EP,i,j} = \frac{S_{i,j}}{\Delta Y_{i,j}} \quad (1)$$

式（1）中， $R_{EP,i,j}$ 为相邻年份间某条垂线处岸线终点变化速率； $S_{i,j}$ 为沿垂线第  $j$  期与第  $i$  期海岸线的距离； $\Delta Y_{i,j}$ 为第  $j$  期与第  $i$  期岸线年差值。

### 3 结果与分析

#### 3.1 围垦对盐城海岸线影响

##### 3.1.1 岸线长度及类型变化

1987-2018 年盐城湿地围垦致使岸线长度与类型发生巨大变化（图 2~3）。从岸线长度来看，研究区岸线总长度以 2007 年为转折点，呈现先减短后增长趋势，2007 年之前，研究区海岸线由 1987 年的 325399m 缩减至 2007 年的 279045m，年均缩短 2318m，其中，1998—2002 年减短最快，达  $4027\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$ 。2007 年之后，岸线整体上呈增长趋势，11a 共增长 4892m，年均增长速率为  $445\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$ ，且岸线增速由 2007—2011 年的  $1060\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$  减小到 2011—2018 年的  $93\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$ ，岸线长度逐渐趋于稳定。不同岸段岸线长度变化不同，侵蚀岸段（岸段 1 和岸段 2）岸线长度以 2002 年为转折点，呈现先增长后减短趋势，但变化率较小。淤积交替岸段（岸段 3）岸线长度大致呈现缩短趋势，仅在 2011—2018 年岸线略有增长，其中 1987—1998 年缩短速率较快，年均缩短 502m，1998—2011 年岸线缩短速率较慢，为  $199\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$ 。淤积岸段（岸段 4）岸线在 1987—1992 年年均缩短 1398m，2002—2011 年增长速率为  $623\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$ ，2011—2018 年岸线又年均减少 444m。

从岸线类型变化来看，整个盐城滨海湿地自然岸线不断缩短，共减少 125001m，年均缩短  $4129\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$ ，人工岸线长度持续增加，岸线人工化趋势明显。1987—1998 年人工岸线长度缓慢增加，年均增加 657m，人工岸线长度占比由 12.03% 增加到 15.71%；1998—2007 年，由于港口建设等围垦开发活动，人工岸线长度迅速增加，增速高达  $5501\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$ ，人工岸线长度占比迅速提升到 34.57%；2007 年之后，围垦活动得到严格监管，人工岸线长度增速减缓，但由于开展互花米草治理，自然岸线长度缩短明显，人工岸线长度占比提高到 43.92%。不同岸段岸线类型及其占比变化也不同，其中侵蚀岸段（岸段 1 和岸段 2）由 1987 年的 84844.8m 缩短到 2018 年的 40129m，人工岸线长度占比由 28.21% 增加到 66.07%；2011 年之前，岸段 3 均为自然岸线，2011—2018 年人工岸线长度增加 2748m，占比增加到 6.15%；岸段 4 自然岸线不断缩减，以 2002 年为界缩短速率先快后慢，年均缩短 753m，岸线人工化程度在 2002 年之后迅速提升，2018 年人工岸线长度占比达 36.33%。

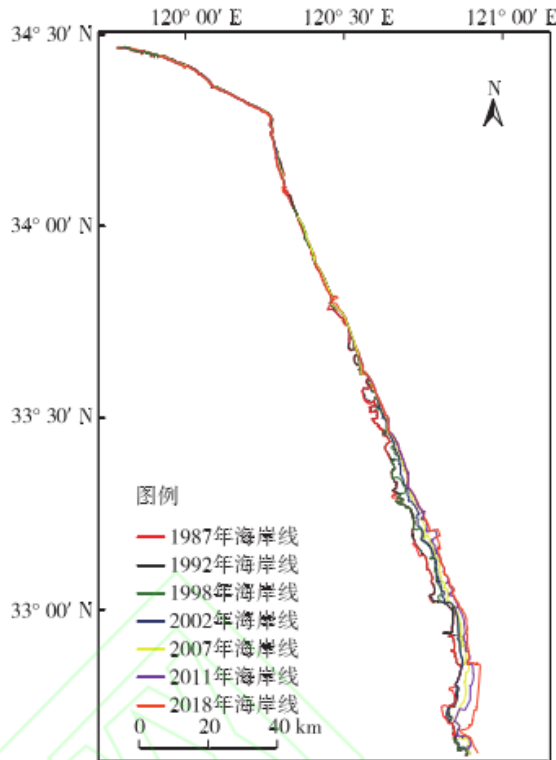


图2 盐城海岸线分布

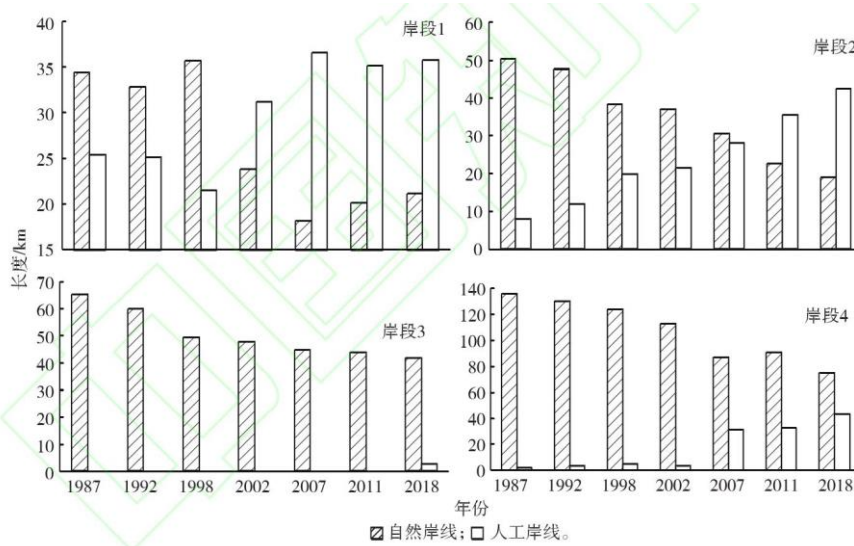


图3 盐城不同岸段岸线长度及构成变化

### 3.1.2 海岸线迁移速率变化

盐城海岸线依然保持“南淤北蚀”的大规律，岸线迁移速率时空差异明显（图4）。1987—1998年岸段1海岸线略有侵蚀，年均西蚀2.8m；1998—2002年岸段1侵蚀加剧，蚀退速度高达 $20.0\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$ ，侵蚀主要发生在废黄河口—翻身河口岸段；2002—2011年继续保持侵蚀，但蚀退速度下降到 $8.7\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$ ；2011—2018年灌河口附近淤积明显，整体淤积大于蚀退，岸段平均东淤 $3.0\text{m}$

•a<sup>-1</sup>。1987-2007 年岸段 2 以扁担港为界呈“北蚀南淤”趋势，且岸段变化速率整体由 1987—1992 年的 9.7 m•a<sup>-1</sup> 下降到 2002—2007 年的 -9.0 m•a<sup>-1</sup>；2007 年之后淤蚀交替点不断南移至射阳河口，侵蚀岸段增长，但侵蚀速率减慢，由 2007—2011 年的 20.1 m•a<sup>-1</sup> 减慢到 2011—2018 年的 -10.9 m•a<sup>-1</sup>。2011 年之前岸段 3 以淤积为主，快速淤积岸段主要集中在江苏盐城国家级珍禽自然保护区核心区，1992—1998 年岸段整体淤积速率最快，高达 111.4 m•a<sup>-1</sup>，2011—2018 年岸线由淤转蚀，保护区核心区和北缓冲区岸段蚀退速率达 10.2 m•a<sup>-1</sup>。1987—2007 年岸段 4 海岸线东淤速率不断提高，由 41.3 m•a<sup>-1</sup> 增加到 240.8 m•a<sup>-1</sup>，2007 年之后淤积速率减缓，2011—2018 年淤积速率下降到 142.0 m•a<sup>-1</sup>，淤积重心南移。

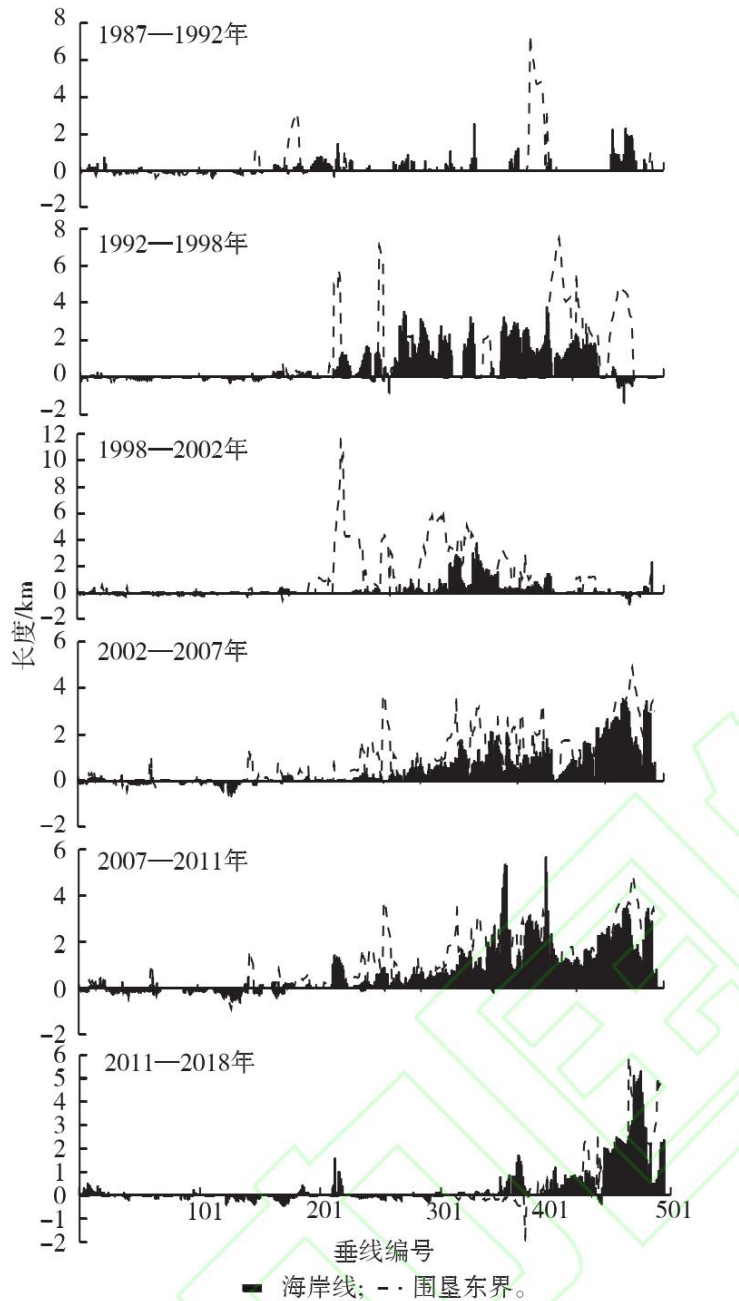


图 4 盐城海岸线与围垦东界变迁速率

如图 4 所示, 通过对比 30a 来盐城海岸线和围垦岸线迁移速率发现, 1987—1992 年研究区围垦强度较小, 仅在岸段 2 和岸段 4 有部分围垦, 海岸线受人类活动影响较少, 其变迁以自然因素为主导, 岸线迁移速率较小, 保持“南淤北蚀”的大规律; 1992 年之后, 人类活动强度增加, 围垦等人类活动逐渐成为海岸线变迁的主导因素, 海岸线变迁规律与围垦岸线变迁规律基本保持一致, 淤蚀交替点随着围垦重心南移而不断南迁。

### 3.1.3 港口工程建设对岸线的影响

港口建设同其他围垦活动一致, 也会导致海岸线人工化, 促进岸线明显东迁。但不同于其他围垦活动, 港区岸线呈独特的淤积格局。以射阳港区和大丰港区为例, 其中射阳港区位于岸段 3, 属于淤蚀交替岸段, 大丰港区位于岸段 4, 属于淤长型岸段。如表 3 和图 5 所示, 受海陆作用和人为开发综合影响, 31a 来射阳港区和 31a 来大丰港区海岸线长度呈波动增长态势, 但因所处地理位置不同, 开发时间和利用程度也不尽相同, 岸线变化存在一定区别。

表 3 射阳港区和 31a 来大丰港区海岸线构成长度变化

年份	射阳港区岸线长度		大丰港区岸线长度	
	自然	人工	自然	人工
1987	13580.5	0	14654.3	0
1992	12893.9	0	15048.5	0
1998	11735.9	0	17365.5	3575.6
2002	11975.6	0	16369.1	1084.5
2007	12042.1	0	18305.0	1365.7
2011	9912.5	1888.6	13277.9	6476.4
2018	11086.2	3783.9	9970.0	9030.8

如表 3 所示, 从岸线长度来看, 2011—2018 年射阳双导堤建成, 射阳港区岸线总长度增加 1173.7m, 年均增加  $146.6\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$ 。大丰港区于 1992 年开始建设, 直到 1998 年建成一期导堤, 海岸线长度年均增加  $982.1\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$ ; 1998—2002 年之后, 受互花米草入侵影响, 岸线趋于平直, 总长度年均缩短 581.3m; 2002—2007 年, 港区建设导致岸线外伸, 增长  $443.4\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$ , 2007—2018 年, 受围垦外伸与裁弯取直共同作用, 岸线长度基本稳定。

如表 3 所示, 从岸线类型变化来看, 2007 年之前, 射阳港区港口建设尚未开始, 射阳港区岸线均为自然岸线, 2007 年之后, 人工岸线占比呈增加趋势。2007—2011 年射阳港区人工岸线达到 1888.6m, 占总长度的 16.00%; 2011—2018 年人工岸线长度增加到 3783.9m, 人工岸线长度占比达 25.45%。相比于射阳港区, 大丰港港口码头开发建设较早, 1992 年之前, 大丰港区均为自然岸线; 1992—1998 年大丰港一期工程建设和互花米草斑块外伸, 自然岸线随着海洋作用和互花米草的引进种植增长明显, 人工岸线长度也迅速增加, 人工岸线长度占比达 17.07%; 1998—2002 年互花米草扩张集中成片, 自然岸线长度占比增加, 人工岸线长度缩短, 人工岸线长度占比降低到 6.21%; 2002 年之后, 海岸线开发利用强度和人工岸线规模越来越大。其中 2007—2011 年大丰港区人工岸线长度增长率最大, 是 1992—1998 年的近 5 倍, 2018 年大丰港区人工岸线长度占岸线总长度的 47.53%。

从岸线迁移速率来看, 2011 年射阳港港口双导堤建成后, 其南北两侧出现不同程度拱形淤积。2011—2018 年射阳港区导堤南侧辐射岸段海岸线平均向海(向东)淤进 716.6m; 2016 年导堤北侧开始围垦, 出现“凸”字形围堤, 围堤北边界与导堤基本平行, 围垦地北侧促淤辐射岸段平均向海推进 371.2m。由于导堤及互花米草的促淤作用, 1998—2002 年大丰港区港口两侧出现明显淤积, 南北侧分别平均向海推进 631.7 和 239.5m, 促淤导致的新增陆地面积分别达到 59.2 和 18.8 $\text{hm}^2$ 。只考虑导堤促淤作用, 2002—2007 年大丰港区辐射岸段略有延长, 北侧岸线淤积格局保持不变, 岸线平均向海扩张 277.0m, 新增陆地 90.1 $\text{hm}^2$ ; 南侧岸线形态变成斜 S 形, 岸线变迁速率呈减小-增大-减少趋势, 整体向海推进 707.1m, 新增陆地 22.0 $\text{hm}^2$ 。2007—2018 年, 大丰港区导堤辐

射影响范围北侧海岸线基本保持稳定,没有明显淤蚀,岸线平均变迁速率 $<5\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$ 。大丰港区南侧岸线在2007—2011年受南来潮流影响,继续发生变化,由斜S形变为斜坡形,岸线变迁速率向南一直减小,在距导堤南侧约297.3m处海岸线开始发生侵蚀,侵蚀速率慢于、淤积,但范围大于淤积范围,淤蚀套本抵消,所以辐射岸段总体保持稳定;在2011—2018年基本保持稳定,同时期变迁速率小于北侧。

## 3.2 围垦对湿地面积和类型的影响

### 3.2.1 新增围垦面积变化

1987—2018年研究区围垦面积不断增加,自然湿地面积累计损失达 $106751.6\text{hm}^2$ ,年均围滩速率为 $3443.6\text{hm}^2\cdot\text{a}^{-1}$ ,围垦强度以2002年为界呈现先增加后减少趋势。1987—1992年研究区经济欠发达,围垦速率慢,围垦面积新增 $6865.7\text{hm}^2$ ,年均围滩速率仅 $1173.1\text{hm}^2\cdot\text{a}^{-1}$ ;1998—2007年围垦速率最快,新围滩地面积共计 $51924.3\text{hm}^2$ ,围滩速率高达 $5769.4\text{hm}^2\cdot\text{a}^{-1}$ ,是1987—1992年的4倍,占31a来研究区围垦总面积的48.6%;2007—2018年围垦速率有所下降,但围垦强度仍保持 $2189.2\text{hm}^2\cdot\text{a}^{-1}$ 的较高水平。

### 3.2.2 围垦对滨海湿地类型的影响

围垦对研究区湿地类型影响十分严重。如图6所示,整体来看,由于围垦大量自然湿地转化成人工湿地或者非湿地。1987—2018年的31a间,自然湿地面积由 $322063.08\text{hm}^2$ 缩小到 $220642.96\text{hm}^2$ ,损失的主要是碱蓬沼泽(占比为30.92%)和光滩(占比为47.08%);人工湿地面积由 $7968.66\text{hm}^2$ 扩大到 $104579.96\text{hm}^2$ ,增长12倍多,增加的主要是养殖塘(占比为66.64%)和水田(占比为27.90%);非湿地类型也直接增加 $4808.9\text{hm}^2$ ,面积相对较小,但增速很快。

如表4所示,1987—1992年研究区新增围垦区域原湿地以碱蓬沼泽、草滩沼泽和芦苇沼泽为主,分别占总围垦面积的43.34%,34.01%和18.36%,围垦后40.88%的自然湿地转为养殖塘,58.96%转为待利用地;1992—1998年被围垦的自然湿地面积陡然上升,围垦原湿地类型以芦苇沼泽(64.67%)为主,转为养殖塘的面积为 $8381.2\text{hm}^2$ ,是1987—1992年的近4倍,转为水田的面积为 $8381.2\text{hm}^2$ ,新增养殖塘和水田面积占该时段新增围垦面积的93.68%;1998—2002年自然湿地主要转为养殖塘,面积为 $28308.1\text{hm}^2$ ,占该时段新增围垦面积的91.92%;2002年之后,新增围垦区域以养殖塘、待利用地和水田为主,被围垦的自然湿地中芦苇、草滩和碱蓬等原生盐沼湿地面积较1998—2002年大幅下降,光滩和互花米草沼泽面积占比则不断上升,由16.18%上升到69.16%,被围垦的碱蓬湿地面积也明显减少。由于大丰港和射阳港口的建设,1998年之后研究区出现部分自然湿地直接转为建设用地的情况,同时由于生态保护,部分养殖塘恢复为芦苇沼泽,2011—2018年条子泥垦区出现待利用地转为碱蓬沼泽的逆利用,进一步推动了自然湿地保护。

从岸段来看,围垦导致的湿地类型转变主要发生在淤蚀交替岸段(岸段3)和淤长岸段(岸段4),即射阳河北以北区域。岸段1湿地类型变化以芦苇沼泽、米草沼泽、碱蓬沼泽和光滩转为养殖塘为主,转化面积达 $1338.6\text{hm}^2$ 占比为78.73%;岸段2以芦苇沼泽和碱蓬沼泽转为养殖塘为主,转化面积达 $3261.2\text{hm}^2$ ,占比为65.65%;岸段3以芦苇沼泽转为养殖塘和水田以及碱蓬沼泽转为养殖塘为主,转化面积分别为 $13310.5\text{hm}^2$ (占比为63.72%)和 $4406.5\text{hm}^2$ (占比为21.09%);岸段4主要有 $14317.3\text{hm}^2$ (占比为17.98%)的草滩沼泽转为人工湿地、 $26769.6\text{hm}^2$ (占比为33.62%)的碱蓬沼泽和米草沼泽转为养殖塘以及 $17764.9111\text{hm}^2$ (占比为22.31%)的光滩转为养殖塘和待利用地。

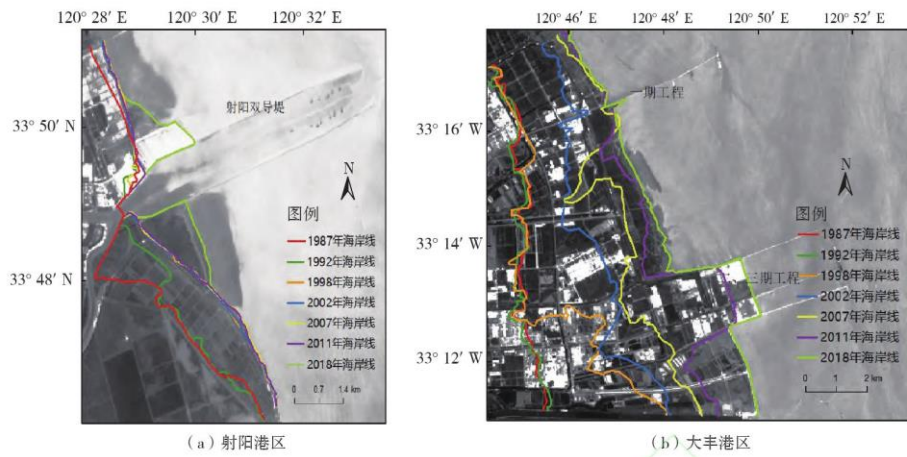


图 5 1987—2018 年射阳港区和 大丰港区海岸线分布

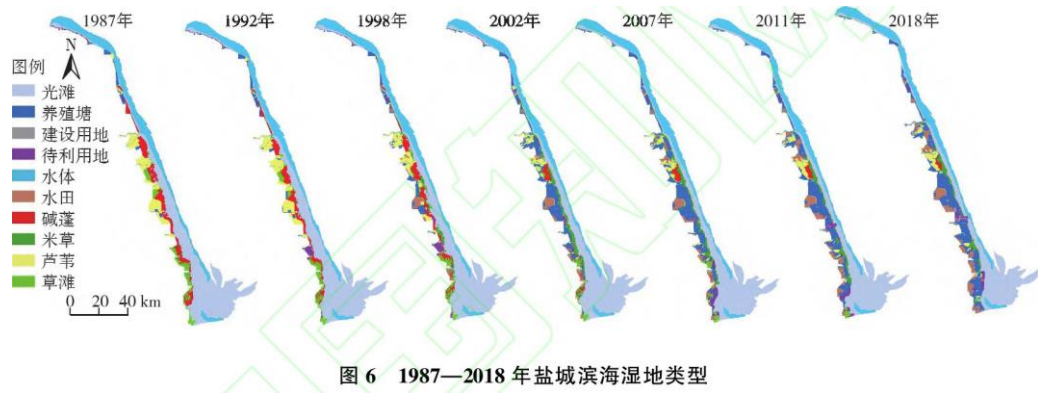


图 6 1987—2018 年盐城滨海湿地类型

表 4 盐城新增围垦区域内湿地土地利用类型变化

土地利用类型	1987—1992 年		1992—1998 年		1998—2002 年		2002—2007 年		2007—2011 年		2011—2018 年	
	面积 /hm <sup>2</sup>	占比 /%	面积 /hm <sup>2</sup>	占比 /%	面积 /hm <sup>2</sup>	占比 /%	面积 /hm <sup>2</sup>	占比 /%	面积 /hm <sup>2</sup>	占比 /%	面积 /hm <sup>2</sup>	占比 /%
原土地利用类												
型水体	0	0	0	0	0	0	2.5	0.01	35.1	0.24	113.8	0.74
米草	209.1	3.04	88.6	0.50	2420.4	7.86	8214.5	38.885	281.6	35.66	4055.6	26.47
芦苇	1260.2	18.36	11527.9	64.67	9202.1	29.88	3165.2	14.981	843.0	12.44	2701.8	17.63
碱蓬	2975.9	43.34	1888.7	10.60	13756.6	44.67	2215.9	10.49	553.8	3.74	36.0	0.24
光滩	85.2	1.24	205.1	1.15	2562.3	8.32	5638.5	26.69	4249.6	28.69	6542.1	42.69
草滩	2335.3	34.01	4114.8	23.08	2347.1	7.62	1890.9	8.95	2848.9	19.23	1875.0	12.24
现土地利用类												
型建设用地	10.8	0.16	29.8	0.17	50.1	0.16	12.0	0.06	414.2	2.80	793.9	5.18
待利用地	4048.1	58.96	1096.2	6.15	318.2	1.03	5128.8	24.283	234.1	21.83	2514.3	16.41
水田	0	0	8318.0	46.66	2120.4	6.88	3173.0	15.023	772.8	25.47	1785.3	11.65
养殖塘	2806.9	40.88	8381.2	47.02	28308.1	91.92	12813.6	60.657	391.0	49.90	10231.0	66.76

### 3.2.3 港口工程建设对滨海湿地的影响

相比于其他围垦活动，港口工程建设土地利用

变化程度更大。射阳港区和大丰港区 2 个港区划定面积共 20503.7hm<sup>2</sup>，港区建设导致自然湿地损失面积达 8619.0hm<sup>2</sup>，占港区面积的 42.04%，其中建港后自然湿地面积损失计 6834.9 hm<sup>2</sup>，占港区面积的 33.33%。港区建设等工程建设对滨海湿地生态系统的影响明显。

射阳港区位于淤蚀交替岸段，建设时间较晚，建港之前湿地演化由自然因素主导，湿地变化规律与岸段 3 基本一致，主要为互花米草沼泽的扩张利用以及碱蓬沼泽和芦苇沼泽转为养殖塘。如表 5 所示，2011—2018 年射阳港口建设兴起，自然湿地面积继续减少 128.9 hm<sup>2</sup>，年均减少 18.4hm<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup>，待利用地和建设用地面积迅速增加。

大丰港区位于完全淤长岸段，建设时间较早，建港前湿地演化同样由自然因素主导，变化趋势与岸段 4 一致。如表 6 所示，1998 年建港之后，20a 来港区自然湿地面积减少 6705.9hm<sup>2</sup>，侵占的自然湿地以碱蓬和光滩为主，占大丰港区面积的 51.01%，年均减少 335.3hm<sup>2</sup>，缩减速率是建港前的近 5 倍，养殖塘和待利用地等人工湿地面积迅速增加，建设用地占比提高到 17.56%。

表 5 射阳港区湿地土地利用类型变化

土地利用类型	1987 年		1992 年		1998 年		2002 年		2007 年		2011 年		2018 年	
	面积/ hm <sup>2</sup>	占比/ %	面积/ hm <sup>2</sup>	占比/ %	面积/ hm <sup>2</sup>	占比/ %	面积/ hm <sup>2</sup>	占比/ %	面积/ hm <sup>2</sup>	占比/ %	面积/ hm <sup>2</sup>	占比/ %	面积/ hm <sup>2</sup>	占比/ %
光滩	2022.5	27.49	1873.8	25.47	1463.9	19.90	1378.5	18.74	1364.6	18.55	1348.7	18.33	1002.8	13.63
碱蓬	465.3	6.33	375.4	5.10	307.0	4.17	61.0	0.83	23.7	0.32	0	0.00	0	0.00
芦苇	130.7	1.78	112.9	1.53	107.5	1.46	82.5	1.12	82.5	1.12	13.6	0.18	58.8	0.80
米草	0	0.00	238.6	3.24	673.0	9.15	774.6	10.53	783.3	10.65	241.1	3.28	499.1	6.78
水体	4737.9	64.40	4744.7	64.50	4742.0	64.46	4742.0	64.46	4736.7	64.39	4732.4	64.33	4646.0	63.16
待利用地	0	0.00	0	0.00	44.8	0.61	0	0.00	0	0.00	0	0.00	163.2	2.22
养殖塘	0	0.00	11	0.15	18.3	0.25	317.9	4.32	365.6	4.97	993.7	13.51	899.3	12.22
建设用地	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	27.0	0.37	87.2	1.18

表 6 大丰港区湿地土地利用类型变化

土地利用类型	1987 年		1992 年		1998 年		2002 年		2007 年		2011 年		2018 年	
	面积/ hm <sup>2</sup>	占比/ %	面积/ hm <sup>2</sup>	占比/ %	面积/ hm <sup>2</sup>	占比/ %	面积/ hm <sup>2</sup>	占比/ %	面积/ hm <sup>2</sup>	占比/ %	面积/ hm <sup>2</sup>	占比/ %	面积/ hm <sup>2</sup>	占比/ %
光滩	8709.2	66.24	8705.2	66.21	7847.6	59.69	6120.2	46.55	4676.4	35.57	3475.4	26.43	2704.9	20.57
碱蓬	1728.3	13.15	1713.7	13.03	1088.1	8.28	172.9	1.32	9.6	0.07	0	0.00	0	0.00
芦苇	139.0	1.06	157.6	1.20	157.6	1.20	38.4	0.29	38.4	0.29	10.5	0.08	10.5	0.08
米草	86.3	0.66	86.3	0.66	806.2	6.13	2175.4	16.55	1993.7	15.16	597.9	4.55	504.1	3.83
水体	2484.4	18.90	2484.4	18.90	2484.4	18.90	2484.4	18.90	2484.4	18.90	2469.4	18.78	2458.5	18.70
待利用地	0	0.00	0	0.00	741.4	5.64	710.7	5.41	523.8	3.98	2411.4	18.34	2591.9	19.71
养殖塘	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1373.7	10.45	3168.3	24.10	3335.3	25.37	2568.2	19.53
建设用地	0	0.00	0	0.00	21.9	0.17	71.4	0.54	252.6	1.92	847.3	6.44	2309.2	17.56

## 4 结论

利用 GIS 和 RS 技术对盐城滨海湿地与海岸线进行监测, 通过分析得到以下结论:

(1) 围垦改变了盐城海岸线长度与构成类型。随着围垦工程不断实施, 盐城围海大堤持续向海推进, 岸线长度总体呈现减少趋势, 岸线长度以 2007 年为转折呈现先减小后增长趋势, 缩短速率为  $2318\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$ , 增长速率为  $444.7\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$ , 近年来基本保持稳定。人工岸线不断增长, 占比由 12.03% 提高到 43.92%, 大大增强了人工干扰。1987—1992 年盐城海岸线变迁以自然因素为主导, 保持南淤北蚀的规律; 1992 年之后, 由于人类活动增强, 围垦等人类活动逐渐成为海岸线变迁的主导因素, 海岸线变迁规律与围垦岸线变迁规律基本保持一致。

(2) 围垦对盐城湿地面积和类型影响十分突出。从湿地面积时间变化来看, 围垦导致自然湿地面积丧失  $106751.6\text{hm}^2$ , 占 1987 年自然湿地总面积的 33.14%, 其中稳定岸段(岸段 3)和淤长岸段(岸段 4)自然湿地面积减少  $100521.0\text{hm}^2$ , 占整个岸段的 94.16%。1998—2007 年盐城围垦速率最快, 侵占自然湿地面积为  $51924.3\text{hm}^2$ , 占 1987—2018 年湿地损失总面积的 48.6%; 2007—2018 年侵占速率有所下降, 但仍保持  $2189.2\text{hm}^2\cdot\text{a}^{-1}$  的较高水平。从湿地类型变化来看, 围垦导致大量自然湿地转为人工湿地和非湿地, 研究区围垦土地利用以养殖塘为主, 自然湿地转为养殖塘的面积达  $69973.2\text{hm}^2$ , 占土地利用类型变化面积的 65.50%。其中侵蚀岸段(岸段 1 和岸段 2)围垦土地利用以养殖塘为主; 岸段 3 除转为养殖塘外, 还有  $4475.4\text{hm}^2$  (占比为 21.42%) 的芦苇沼泽转为水田; 岸段 4 围垦的草滩沼泽明显高于其他岸段, 围垦的湿地转为待利用地的比例也高于其他岸段, 达 19.97%。

(3) 港口建设对盐城海岸线性质和湿地丧失产生严重影响。射阳港区人工岸线长度占比达 25.45%, 而大丰港区高达 47.53%。港口导堤建设促淤格局较独特, 对岸线迁移产生独特影响, 导堤南、北两侧岸线淤积形态由双拱形转为斜 S 形和拱形后再转为拱形和斜坡形, 受南来潮流影响, 南侧岸线淤积辐射范围明显大于北侧, 且岸线稳定期也迟于堤北。港区建设导致自然湿地面积损失达  $6834.9\text{hm}^2$ , 占 1987—2018 年港区自然湿地损失总面积的 79.30%, 其中大丰港区人工湿地和非湿地面积增加速率明显高于射阳港区。

盐城滨海湿地是 2 个国家级保护区和 1 个世界遗产名录所在地, 是东亚-澳大利亚候鸟迁徙金要停歇地, 是以丹顶鹤为代表的许多珍稀濒危鸟类越冬地, 生物多样性极其丰富。人类活动带来的岸线和湿地变化, 对鸟类栖息地利用产生较大负面影响。为此, 建议控制盐城围垦速率, 减小围垦强度, 使围垦速率与岸线自然淤长速率相宜, 不影响其自然演替; 建议加强对盐城海岸岸线和自然湿地的监测和研究, 加强滨海湿地保护与立法, 重点保护海岸线和湿地资源; 建议推广退渔还湿等湿地恢复工程, 协调好栖息地生态保护与区域经济社会发展的关系。

### 参考文献:

[1] 谷东起, 付军, 闫文文, 等. 盐城滨海湿地退化评估及分区诊断[J]. 湿地科学, 2012, 10(1): 1-7. [GU Dong-qi, FU Jun, YAN Wen-wen, et al. Evaluation of Coastal Wetlands Degradation in Yancheng City and Zonal Diagnosis[J]. Wetland Science, 2012, 10 (1): 1-7.]

[2] 马田田, 梁晨, 李晓文, 等. 围填海活动对中国滨海湿地影响的定量评估[J]. 湿地科学, 2015, 13(6): 653-659. [MA Tian-tian, LIANG Chen, LI Xiao-wen, et al. Quantitative Assessment of Impacts of Reclamation Activities on Coastal Wetlands in China [J]. Wetland Science, 2015, 13(6): 653-659.]

[3] MA Z, MELVILLE D S, LIU J, et al. Rethinking China's New Great Wall[J]. Science, 2014, 346(6212): 912-914.

[4] 张强, 马克明, 李金亚, 等. 不同尺度下停歇点湿地对迁徙水鸟的影响研究综述[J]. 生态学报, 2017, 37(8): 2520-2529. [Z

---

HANG Qiang, MA Ke-ming, LI Jin-ya, et al. The Effect of Stopover Wetlands on Migratory Waterbirds at Different Scales: A Review[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(8) : 2520-2529. ]

[5]左平, 李云, 赵书河, 等. 1976 年以来江苏盐城滨海湿地景观变化及驱动力分析[J]. *海洋学报(中文版)*, 2012, 34(1): 101-108. [ZUO Ping, LI Yun, ZHAO Shu-he, et al. Landscape Changes of Jiangsu Yancheng Coastal Wetlands and Their Driving Forces since 1976 [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2012, 34(1): 101-108. ]

[6]王颖. 黄海陆架辐射沙脊群[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2003: 10-19.

[7]吴小根, 王爱军. 人类活动对苏北潮滩发育的影响[J]. *地理科学*, 2005, 25(5): 614-620. [WU Xiao-gen, WANG Ai-jun. Impacts of Human Beings' Activities on North Jiangsu Tidal Flat[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2005, 25(5) : 614-620. ]

[8]闫晓露, 钟敬秋, 韩增林, 等. 近 40 年辽东湾北部围垦区内外滨海湿地景观演替特征及驱动力分析[J]. *地理科学*, 2019, 39(7): 1155-1165. [YAN Xiao-lu, ZHONG Jing-qiu, HAN Zeng-lin, et al. Driving Forces Analysis and Landscape Succession Features of Coastal Wetland both Outside and Inside Reclamation Areas in the Northern Liaodong Bay, China in Recent 40 Years [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(7): 1155-1165. ]

[9]王爱军, 高抒. 江苏王港海岸湿地的围垦现状及湿地资源可持续利用[J]. *自然资源学报*, 2005, 20(6): 822-829. [WANG Ai-jun, GAO Shu. Reclamation of Coastal Wetlands and Sustainable Utilization of Wetland Resources: A Case Study from Wanggang, Jiangsu Province[J]. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20(6): 822-829. ]

[10]HOU X Y, WU T, HOU W, et al. Characteristics of Coastline Changes in Mainland China since the Early 1940s [J]. *Science China Earth Sciences*, 2016, 59(9): 1791-1802.

[11]徐进勇, 张增祥, 赵晓丽, 等. 2000-2012 年中国北方海岸线时空变化分析[J]. *地理学报*, 2013, 68(5): 651-660. [XU Jin-yong, ZHANG Zeng-xiang, ZHAO Xiao-li, et al. Spatial-temporal Analysis of Coastline Changes in Northern China from 2000 to 2012 [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(5) : 651-660. ]

[12]侯西勇, 张华, 李东, 等. 渤海围填海发展趋势、环境与生态影响及政策建议[J]. *生态学报*, 2018, 38(9): 3311-3319. [HOU Xi-yong, ZHANG Hua, LI Dong, et al. Development Trend Environmental and Ecological for Bohai Sea Reclamation and Policy Recommendations for Bohai Sea Reclamation [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(9): 3311-3319. ]

[13] 李建国, 濮励杰, 徐彩瑶, 等. 1977—2014 年江苏中部滨海湿地演化与围垦空间演变趋势[J]. *地理学报*, 2015, 70(1): 17-28. [LI Jian-guo, PU Li-jie, XU Cai-yao, et al. The Changes and Dynamics of Coastal Wetlands and Reclamation Areas in Central Jiangsu from 1977 to 2014 [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(1): 17-28. ]

[14]黄贤峰, 杨永菊, 武艺, 等. 1990-2017 年喀斯特自然保护区土地利用变化对生境质量的影响[J]. *水土保持通报*, 2018, 38(6): 345-351. [HUANG Xian-feng, YANG Yong-ju, WU Yi, et al. Land Use Change and Its Impact on Habitat Quality in Karst Nature Reserve from 1990 to 2017[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2018, 38(6): 345-351. ]

[15]王华, 蔡春梅, 徐海燕. 近 10 年东台市滨海湿地围垦及土地利用[J]. *湿地科学与管理*, 2018, 14(3): 30-33. [WANG Hua, CAI Chun-mei, XU Hai-yan. Reclamation and Land Uses in Dongtai Coastal Wetland in Recent 10 Years[J]. *Wetland*

---

Science & Management, 2018, 14(3): 30-33.]

[16]徐彩瑶, 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 Cai-yao, PU Li-jie, ZHU Ming. Effect of Reclamation Activity on Coastal Ecological Environment: Progress and Perspectives [J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(3): 1148-1162.]

[17] SHI J Q, SUN J L. Research on the Influence of Reclamation to the Marine Ecological Environment: Taking Lianyungang New City Constructing as an Example[J]. Advanced Materials Research, 2012, 610/611/612/613: 3236-3241.

[18]张学勤, 王国祥, 王艳红, 等. 江苏盐城沿海滩涂淤蚀及湿地植被消长变化[J]. 海洋科学, 2006, 30(6): 35-39, 45. [ZHANG Xue-qin, WANG Guo-xiang, WANG Yan-hong, et al. The Changes of Erosion or Progradation of Tidal Flat and Retraction or Extension of Wetland Vegetation of the Yancheng Coast, Jiangsu [J]. Marine Sciences, 2006, 30(6): 35-39, 45.]

[19]李飞, 曹可, 赵建华, 等. 典型海岸线指标识别与特征研究: 以江苏中部海岸为例[J]. 地理科学, 2018, 38(6): 963-971. [LI Fei, CAO Ke, ZHAO Jian-hua, et al. Identification and Characteristics of the Typical Coastline Indicators: A Case Study of the Central Jiangsu Coast [J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(6): 963-971.]

[20]刘大伟, 张亚兰, 孙勇, 等. 江苏盐城滨海湿地越冬丹顶鹤种群动态变化与生境选择[J]. 生态与农村环境学报, 2016, 32(3): 473-477. [LIU Da-wei, ZHANG Ya-lan, SUN Yong, et al. Population Dynamics and Habitat Selection of Overwintering Red-crowned Cranes in Coastal Wetland of Yancheng, Jiangsu Province [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2016, 32(3): 473-477.]

[21]THIELER E R, HIMMELSTOSS E A, ZICHICHI J L, et al. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 4.0: An ArcGIS Extension for Calculating Shoreline Change (Ver. 4.4, July 2017): U. S. Geological Survey Open-file Report 2008-1278 [R]. Reston: USGS, 2017.