

近30年苏北滨海滩涂湿地演变特征与空间格局

廖华军^{1,2}, 李国胜^{1,3}, 王少华¹, 崔林林^{1,2}, 欧阳宁雷^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 陆地表层格局与模拟院重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国地质调查局滨海湿地生物地质重点实验室, 山东 青岛 266071)

摘 要: 苏北滨海滩涂湿地位于现代长江口与废黄河口之间, 是最典型的淤泥质平原海岸, 其演变特征及空间格局具有鲜明的特征。本文选用1980年、1992年、2008年的TM和ALOS影像为主要数据源, 构建了基于空间分割和转移矩阵分析模型, 研究了近30年来苏北滨海滩涂湿地的演变特征及其空间格局。结果表明: ①苏北滨海滩涂发生了巨大变化, 近30年间滩涂总面积减少了1273.11 km², 平均每年减少45.47 km²; 滩涂湿地侵蚀/淤积面积约965.14 km², 0 m等深线冲刷后退减少的面积约为307.97 km²。②苏北滨海滩涂湿地区域差异性明显。南北方向上可划分为6个自然地理单元, 东西方向上可划分为3个区域。③苏北滨海滩涂湿地演变中, 湿地转型、湿地丧失和湿地演替分别占总面积的38.39%、14.80%、20.51%; 其中天然湿地减少354.1 km², 人工湿地增加1061.45 km², 非湿地增加253.09 km²。④滩涂湿地主要植被群落演替特征和空间分布也呈现出差异性。湿地演替主要发生在净变区, 与对应岸段的海岸侵蚀/淤积类型基本吻合。

关 键 词: 滩涂湿地; 演变特征; 空间格局; 固有区; 净变区; 江苏省

doi: 10.11820/dlkxjz.2014.09.008

中图分类号: X142; X171.1

文献标识码: A

1 引言

滨海滩涂湿地是地球表层重要的景观覆盖类型和独特生态系统, 兼有陆地生态系统和海洋生态系统的过渡相特征, 具有独特的环境调节功能和生态效益, 在维护区域生态平衡和生物多样性保护等方面具有重要作用, 是脆弱的生态敏感区(张晓龙等, 2005; Xie, 2012)。在气候变化、海平面上升及人类活动背景下, 湿地生态系统演化已经成为当前全球变化研究领域关注的热点和焦点问题。

滨海湿地系统景观结构的时空变化研究是湿地系统遥感监测与生态脆弱性评估不可或缺的重要组成部分。湿地生态系统结构、功能和格局具有极强的时空变异性, 气候变化、海平面上升及人类活动对滨海湿地系统结构、服务功能, 以及物质与能量循环等的时空分布均会产生重大影响。长期

以来, 国内外学者对湿地演变及其时空分异规律进行了大量深入细致的分析研究工作, 其中尤以系统结构和功能方面的研究工作占多数(Antogiovanni et al, 2005)。研究方法也非常多样化(Deng et al, 2004), 多采用实地调查(Deng et al, 2004)、水文模拟(Philip, 2013)、遥感技术(Kennedy et al, 2010)以及空间统计和地统计学方法等(Antogiovanni et al, 2005)。同时, 景观转移分析方法在湿地景观演变分析中得到了广泛应用(Kadlee et al, 1996; Keddy et al, 2000)。

时空演变差异性为湿地系统演化发展过程中的普遍现象, 在不同的发展阶段和区域空间, 湿地演变的时空格局不尽相同(Tooth et al, 2007; Zhang et al, 2009)。苏北海岸带位于现代长江口与废黄河口之间, 由废黄河三角洲冲积平原、里下河平原和长江三角洲北翼三部分组成, 独特的地理条件为人

收稿日期: 2014-03; 修订日期: 2014-07。

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAC21B01); 国土资源公益性行业科研专项项目(201511057); 中国地质调查局地质调查项目(GZH201200503)。

作者简介: 廖华军(1977-), 男, 湖北孝感人, 博士生, 主要研究方向为地理信息软件技术应用, E-mail: liaohj.09b@igsrr.ac.cn。

通讯作者: 李国胜(1963-), 男, 江苏常州人, 博导, 研究员, 主要从事海岸海洋环境遥感及数值模式研究,

E-mail: ligs@igsrr.ac.cn。

类开发利用海岸资源提供了良好的物质基础(张忍顺等, 2002)。1855年黄河从苏北平原改道至渤海湾入海,现代废黄河三角洲区域由淤积性河口转为侵蚀后退为主。由此导致近160年以来苏北海岸平原及其滨海湿地系统演化的空间格局发生了巨大的变化。近30年来,中国改革开放背景下差别化的社会、经济、人口、城镇化、土地利用、基础设施建设乃至沿海开发政策,使苏北沿海地区的各个行政区域对海岸带平原及其滨海湿地系统的开发利用也产生了很大的区域差异性。

20世纪50年代以来,江苏省先后进行了“江苏省海岸带和海涂资源综合调查”和“江苏近海海洋综合调查与评价”两次大规模资源调查,从滩涂资源清查的角度进行了面上总体研究。同时,一些学者对近现代江苏滩涂的自然演变过程(王艳红等, 2006; 张芳等, 2010)及景观格局变化(Liang et al, 2004; 丁晶晶等, 2009)等也进行了初步研究。这些研究成果为全面、精细地刻画苏北滨海湿地的区域演变过程和空间格局打下了良好基础。由于苏北沿海地区1855年以来特别是改革开放以来,自然要素(三大地质地貌体系)及差异性的人类开发活动,导致滨海湿地系统的演变过程形成了独特的空间分异格局。因此,通过历史资料及遥感方法研究苏北沿海地区近30年来的湿地系统演变特征与空间格局,必将对科学认识自然环境变化及人类开发活动对现代滨海湿地系统演化的影响提供重要科学依据,形成全新科学认识。

2 研究方法

2.1 滩涂区域的空间分割

2.1.1 平行海岸方向

参考国内外滩涂定义,结合江苏省海岸带滩涂湿地现状,将滩涂湿地定义为潮上带湿地、潮间带滩涂和近海潜在滩涂,即新海堤公路以东至0 m等深线之间的区域,以新海堤公路为西界,0 m等深线为东界,苏北盐城响水县最北边行政边界为北界,南通启东市最南边行政边界为南界(图1)。新海堤公路至岸线为湿地历史演变区域,反映滩涂湿地资源的人为演变特征;沿海0 m等深线作为潮间带滩涂资源的外缘,反映滩涂资源的自然演变特征。滨海滩涂湿地演变特征呈现出明显差异性,为更好地刻画滩涂湿地内部变化特征,将滩涂区域划分为固

有区、净变区和光滩区3部分(图2)。固有区即为1980和2008年两个起止时间段内区域没有发生面积绝对变化的单元,净变区为1980、1992和2008年间隔时间段内岸线侵蚀/淤积变化区域,光滩区即为1980和2008年两个时间段内区域没有发生类型转化的岸线至0 m等深线部分。

2.1.2 垂直海岸方向

本文重点研究固有区和净变区(图2),其总面积2703.08 km²(图1)。参考江苏省海岸带和滩涂资源调查以及江苏近海海洋综合调查与评价专项海岸带调查报告(任美镔, 1986; 江苏省908专项办公室, 2012)成果,根据海岸带自然地理特征、海岸工程、生态保护状况、入海河流流域分区,以及海岸侵蚀/淤积状况等(表1),将研究区域划分为6个自然地理单元(图1):岸段Ⅰ(灌河口—扁担河口)、岸段Ⅱ(扁担河口—射阳河口)、岸段Ⅲ(射阳河口—四卯西河)、岸段Ⅳ(四卯西河—新北凌闸)、岸段Ⅴ(新北凌闸—团结港)、岸段Ⅵ(团结港—连兴港)。

2.2 岸线演变的定量分析

滩涂的自然消涨速度和人类围垦速度如何达到动态平衡,是滩涂资源研究的主要方向。岸线演变一方面可以反映滩涂的自然演变规律,另一方面也反映出人类活动对滩涂利用程度。本文分别提取出1980年、1992年、2008年岸线,通过叠加分析得出岸线间面积,作为30年来各时间段内江苏沿海滩涂资源净变化,即本文定义的净变区(图2),定量分析净变区内天然湿地和人工湿地的演变特征和空间格局。从海岸性质的转变和淤积速率方面系统分析滩涂变化原因,并对未来演变趋势作出科学预测。

2.3 侵蚀/淤积速率计算

侵蚀/淤积速率是指两个时间段海岸线面积净

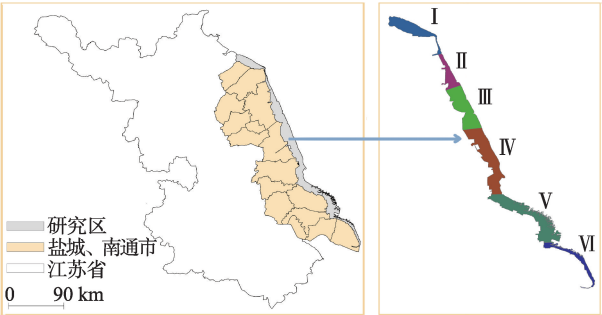


图1 研究区及岸段分区

Fig.1 Study area and different coastal sections

表1 各岸段特征分区表

Tab.1 Coastal section characteristics

岸段	自然地理特征	生态保护区	入海河流域分区	港口建设	海岸工程	海岸侵蚀/淤积状况
I	废黄河三角洲冲积平原，粉砂-淤泥质海岸		三级：南四湖及运河区(灌河、中山河、废黄河、扁担河)	滨海港	废黄河三角洲海岸防护工程	严重侵蚀
II	废黄河三角洲冲积平原，粉砂-淤泥质海岸		三级：里下河(运粮河、射阳河)	射阳港		侵蚀逐渐转向稳定略有淤涨
III	海积平原，粉砂质潮滩，平均潮滩宽3~6 km	盐城珍禽国家级自然保护区	三级：里下河(黄沙港、新洋港、斗龙港)			淤涨
IV	海积平原，粉砂质潮滩，平均潮滩宽3~6 km，弶港附近可达14 km	大丰麋鹿国家级自然保护区	三级：里下河(王港河、疆界河、川东港、东台河、方塘河)	大丰港	大丰港引堤工程、东台近岸高涂匡围工程	淤涨明显
V	长江三角洲冲积平原，粉砂、泥质粉砂为主，平均潮滩宽5~10 km		三级：里下河(长角河、梁垛河、北凌河)	洋口港、吕四港	如东西太阳沙人工岛工程	淤涨
VI	长江三角洲冲积平原，粉砂、泥质粉砂为主，平均潮滩宽0.6~3 km		三级：长江干流(团结河、通启运河)			岸段稳定

变化速率,计算公式为(张芳等, 2010):

$$L = S/L_0 \tag{1}$$

$$V = S/(L_0t) \tag{2}$$

式中: L 表示岸线平均向海推进(或向陆后退)距离/m; V 表示平均向海推进(或向陆后退)速度/(m/a); S 表示向海推进(或向陆后退)面积/km²; L_0 表示两个时期岸线长度的均值; t 表示间隔时间/a。

2.4 滩涂湿地的景观分类

根据区域景观特征,参照 Ramsar《湿地公约》中湿地的定义(Ramsar Convention Secretariat, 2006),将海滨湿地景观分为自然湿地和人工湿地两大类,其中自然湿地包括芦苇、湖泊、大米草、光滩、河流、盐蒿、茅草等7种类型;人工湿地主要为水田、盐田、养殖水体、水库坑塘;非湿地主要为旱地、城镇居民点、农村居民点、建筑用地、林地。

2.5 数据源与处理

(1) 数据源:江苏海岸带 1:20 万植被调查图(1980)、1:20 万土地利用调查图(1980)、1:20 万地貌调查图(1980);1980 年 5-9 月分辨率为 30 m 的 TM 影像数据;1992 年 5-9 月分辨率为 30 m 的 TM 影像数据;日本 2008 年 7-8 月分辨率为 10 m 的 ALOS 影像数据。

(2) 数据处理:将 1980 年图件通过扫描仪输入计算机,以 1:25 万盐城和南通基础图作为参考,在 ArcGIS10.0 软件下进行配准,对景观要素进行矢量化,建立 1980 年盐城和南通海滨湿地植被类型图。对 1980 年、1992 年、2008 年的遥感影像进行合成、配准,然后采取人工目视解译结合野外调查校正,制作 1980 年、1992 年和 2008 年苏北海滨湿地景观类型图(图 3)。在 ArcGIS10.0 中,对研究区南北 6 个自然地理单元及东西固有区和净变区分段分割提取。在 1980 年、1992 年和 2008 年研究区海岸带湿

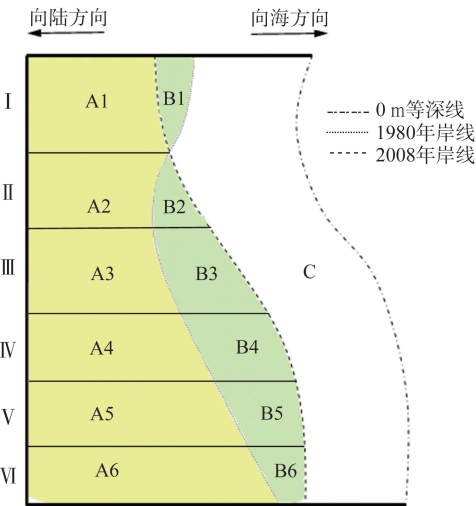


图2 固有区(A)、净变区(B)和光滩区(C)分段示意图

Fig.2 Overlay units (A), changed units (B), and mudflat unit (C) diagram

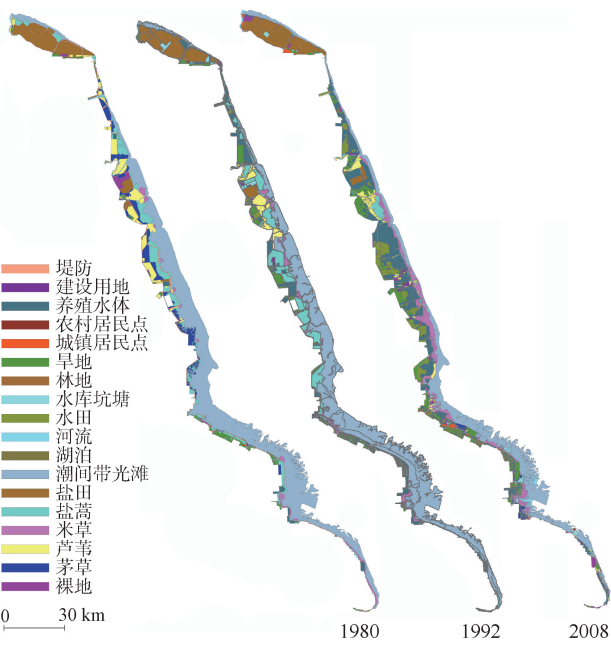


图3 1980、1992、2008年滩涂湿地解译图
Fig.3 Classification maps of coastal wetlands
in 1980, 1992, and 2008

地成果基础上,依据6个自然地理单元和东西区域分别逐级逐层提取,绘制出湿地景观格局特征专题图,并进行转移矩阵分析,利用Excel和SPSS软件对数据统计汇总,对苏北滨海湿地近30年来演变特征及空间分布进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 演变特征与空间格局

3.1.1 海岸冲淤与湿地消涨的空间格局

(1) 从滩涂资源面积整体变化来看,1980年苏北海岸线到0 m等深线之间的潮间带滩涂面积约为5018.11 km²,到2008年减少至3745 km²,近30年间减少了1273.11 km²,平均每年减少45.47 km²。滩涂

资源面积减少主要是人工围垦和自然侵蚀造成的,其中,1980-2008年间潮间带滩涂人工围垦面积约965.14 km²,由于0 m等深线冲刷后退减少的面积约为307.97 km² (孙伟红, 2012), 1992-2008年间潮间带面积变化比1980-1992年面积变化多769.1 km²,增长速率也明显加快。

(2) 从6个自然单元侵蚀/淤积变化速率来看(表2),岸段I是向内陆侵蚀,侵蚀面积为13.34 km²,年平均侵蚀速率为6.77m/a,岸段II、III、IV、V、VI向海淤积,岸段IV淤积面积最大,依次为岸段V、III、VI、II。从6个自然单元的侵蚀/淤积变化速率来看,研究区域6个自然地理单元可以划分为4种基本类型,即:岸段I为轻度侵蚀型岸段;岸段II及岸段VI为轻度淤积型岸段;岸段III及岸段V为中度淤积型岸段;岸段IV为中高度淤积型岸段。海岸淤积速率实际与滩涂围垦速率有关,除岸段I侵蚀外,其他淤积岸段,岸段III内有自然保护区,淤积速率为自然增长;岸段II与岸段VI人工围垦较小,淤积速率增长缓慢;岸段V与岸段IV存在大量人工围垦,其较大的淤积速率增长并非自然特征,实际上是人工滩涂围垦的结果。

3.1.2 湿地面积变化及其区域分异成因

(1) 总体上来看,研究区湿地面积(包括天然湿地和人工湿地)增加了707.35 km² (表3),年增长速率为25.26 km²/a,天然湿地面积减少354.1 km²,年减少速率为12.65 km²/a,人工湿地面积增加了1061.45 km²,年增长速率为37.91 km²/a。总体上,研究区近30年来湿地总面积增加,主要贡献是净变区湿地面积增加,而固有区湿地面积呈逐年减少趋势,净变区和固有区湿地面积变化主要是受人类活动干扰引起的。

(2) 在固有区,湿地面积减少了124.88 km² (表3),其中天然湿地减少了780.52 km²,人工湿地增加

表2 1980-2008年各岸段侵蚀/淤积变化									
Tab.2 Change of erosion/sedimentation of the coastal sections, 1980-2008									
岸段	1980年	1992年	2008年	侵蚀/淤积面积/km ²			速率/(m/a)		
				1980-1992	1992-2008	1980-2008	1980-1992	1992-2008	1980-2008
I	448.59	445.72	435.25	-2.87	-10.47	-13.34	-3.39	-9.29	-6.77
II	213.87	214.59	232.02	0.72	17.43	18.15	1.58	28.64	17.04
III	443.30	493.73	645.65	50.43	151.92	202.35	75.99	171.69	130.68
IV	341.92	392.83	760.04	50.91	367.21	418.12	49.82	269.49	175.35
V	208.06	219.44	480.36	11.38	260.92	272.30	9.89	170.13	101.46
VI	78.77	66.22	146.33	-12.55	80.11	67.56	-12.51	59.93	28.88

表3 1980-2008年研究区各岸段分区面积变化统计表

Tab.3 Change in area of the coastal sections, 1980-2008

岸段	固有区						净变区					
	天然湿地面积变化/km ²			人工湿地面积变化/km ²			天然湿地面积变化/km ²			人工湿地面积变化/km ²		
	1980-1992	1992-2008	1980-2008	1980-1992	1992-2008	1980-2008	1980-1992	1992-2008	1980-2008	1980-1992	1992-2008	1980-2008
I	-52.9	-1.18	-54.08	60.1	-14.35	45.75	-4	-1.34	-5.34	2.19	-3.85	-1.66
II	-80.88	-83.81	-164.69	71.52	67.48	139	8.94	2.07	11.01	0	7.26	7.26
III	52.65	-277.84	-225.19	68.11	148.02	216.13	43.94	34.75	78.69	0.84	120.8	121.64
IV	18.03	-282.69	-264.66	59.3	155.22	214.52	47.48	135.76	183.24	0.23	190.94	191.17
V	2.07	-63.64	-61.57	45.27	-3.5	41.77	10.02	122.19	132.21	2.8	55.93	58.73
VI	-28.79	18.46	-10.33	0.04	-1.57	-1.53	-14.63	41.24	26.61	0.19	28.48	28.67
合计	-89.82	-690.7	-780.52	304.34	351.30	655.64	91.75	334.67	426.42	6.25	399.56	405.81

了655.64 km²。在时间上,1992-2008年天然湿地面积大幅减少,变化速率也明显加快。6个自然单元中,湿地总面积(包括天然湿地和人工湿地)全部减少(表3);其中天然湿地面积全部减少,人工湿地除了岸段Ⅵ外全部增加。而天然湿地绝对面积减少最大区域出现在岸段Ⅳ,其次为岸段Ⅲ;人工湿地绝对面积增加最大的区域也出现在岸段Ⅳ,其次为岸段Ⅲ,这可能与该区域的滩涂开发利用管理政策有关。

(3) 在净变区,湿地面积增加了832.23 km²(表3),占总侵蚀/淤积总面积的86.23%,年增长速率为29.72 km²/a,其中天然湿地增加426.42 km²,人工湿地增加了405.81 km²。6个自然单元中,面积增长比例最大的区域主要在岸段Ⅳ和岸段Ⅴ(分别达到44.99%和22.94%),与这2个岸段在近30年来滩涂面积增长比例最大(分别达到55.01%和55.69%)基本吻合;岸段Ⅳ天然湿地净变化与该段港口建设和东台近岸实施高涂匡围工程有关。各自然单元滩涂湿地面积的净变化与对应岸段的海岸侵蚀/淤积

密切相关,岸段Ⅰ为侵蚀类型,其他岸段主要为淤积型,由于岸段Ⅰ废黄河海岸防护工程建设,采用多组丁坝与离岸堤相结合的保滩工程,一方面可以很好地控制岸线后退,对滩涂下蚀起到控制,另一方面也有较好的促淤效果,因此岸线蚀退程度不大(王建,2012)。

3.1.3 主要转型特征及其空间分布格局

(1) 苏北滨海湿地景观结构总体上发生了很大变化,发生类型转换的总面积为2181.72 km²,占研究区总面积80.71%,表明滨海滩涂区变化程度比较剧烈。从各类型相互转换关系来看,根据变化面积大小,主要转换类型依次为光滩转为养殖水体(16.39%)、光滩转为大米草(14.12%)、盐蒿转养殖水体(6.2%)、茅草转养殖水体(4.61%)、芦苇转养殖水体(3.91%)等,这些转换类型总面积占总变化量的74.53%。

(2) 从湿地丧失分析,湿地丧失总面积为399.95 km²(表4),占研究区总面积的14.80%,其中固有区湿地丧失占68.6%,净变区湿地丧失占

表4 1980-2008年研究区湿地丧失/转移及演替变化

Tab.4 Succession, loss, and transformation of coastal wetlands, 1980-2008

岸段	湿地丧失						湿地转型						湿地演替		
	天然湿地/km ²			人工湿地/km ²			天然湿地/km ²			人工湿地/km ²			天然湿地/km ²		
	1980-1992	1992-2008	1980-2008	1980-1992	1992-2008	1980-2008	1980-1992	1992-2008	1980-2008	1980-1992	1992-2008	1980-2008	1980-1992	1992-2008	1980-2008
I	8.73	13.20	21.93	6.22	5.94	12.16	46.39	0.64	47.03	2.73	2.21	4.94	6.45	1.45	7.90
II	33.00	0.59	33.59	0.33	0.75	1.08	68.97	73.88	142.85	0.00	0.00	0.00	39.05	6.07	45.12
III	18.08	39.57	57.65	3.01	0.02	3.03	42.19	255.36	297.55	0.00	0.00	0.00	97.73	27.71	125.44
IV	43.63	60.78	104.41	0.04	5.58	5.62	49.53	358.16	407.69	0.01	3.19	3.20	95.70	10.09	105.79
V	12.29	103.8	116.09	4.96	9.36	14.32	23.02	71.01	94.03	1.46	0.00	1.46	14.48	3.79	18.27
VI	4.10	12.19	16.29	4.89	8.89	13.78	1.19	28.14	29.33	1.76	7.98	9.74	9.89	2.41	12.30
合计	119.83	230.13	349.96	19.45	30.54	49.99	231.29	787.19	1018.48	5.96	13.38	19.34	263.30	51.52	314.82

31.4%。天然湿地丧失总量为349.96 km²,占研究区总面积12.95%;人工湿地丧失总量为49.99 km²,占研究区总面积1.85%;天然湿地丧失面积是人工湿地丧失面积的7倍。天然湿地丧失中,主要是天然湿地转型为旱地146.21 km²,占天然湿地丧失41.21%。其中,芦苇、盐蒿、茅草、大米草丧失面积分别为79.36、66.74、66.15、11.53 km²。人工湿地丧失中,主要是人工湿地转型为旱地和建筑用地,其中水库坑塘减少9.16 km²,盐田减少13.26 km²,养殖水体减少了26.61 km²。从6个自然分段单元来看,湿地丧失呈现出区域差异性,各岸段分别占湿地丧失比例的8.42%、8.57%、14.99%、27.19%、32.22%、8.61%。岸段Ⅰ、Ⅱ、Ⅵ丧失主要为沿海堤防建设,岸段Ⅲ、Ⅳ主要为港口建设及堤防护岸工程造成湿地丧失,岸段Ⅴ主要由于通州滨海新区规划于岸外滩涂,加上实施了许多大型项目,截至2009年,用地需求达893 hm²。因此,城镇化是此区域湿地丧失主要原因。

(3) 从湿地转型分析,湿地转型总面积为1037.82 km²(表4),占研究区面积38.39%,占总转型面积的45.45%。其中天然湿地转型为人工湿地总量1018.48 km²,占研究区总面积的37.67%;固有区天然湿地转型为人工湿地总量为612.67 km²,净变区天然湿地转型为人工湿地总量为405.81 km²,表明天然湿地转型主要发生在固有区。其中盐蒿、茅草分别减少239.97和229.74 km²,养殖水体、水田分别增加了367.59和210.47 km²。人工湿地转型为天然湿地总量为19.34 km²,占研究区总面积的0.7%。转型对象主要为天然湿地转为养殖水体,表明快速发展的养殖业主要源自对沿海滩涂围垦开发。从6个自然分段单元来看,转型所占比例较大的依次为岸段Ⅳ、Ⅲ、Ⅱ,分别占转型面积的39.59%、28.67%、13.76%,主要由于岸段Ⅳ内大丰港

和东台近岸高涂匡围工程建设,导致围垦区和引堤两侧迅速淤积,水产养殖发展迅速;岸段Ⅲ包含盐城自然保护区,一定程度上受人为影响较小;岸段Ⅳ、Ⅱ处于保护区缓冲带,致使岸段Ⅲ转型面积比岸段Ⅳ、Ⅱ少。

3.1.4 植被群落演替特征及空间分布

(1) 植被群落演替是天然湿地发育的重要组成部分。近30年来,天然湿地演替总量为554.52 km²,占研究区总面积的20.51%。植被群落总面积减少420.07 km²;其中固有区减少793.05 km²,净变区增加了372.98 km²。演替变化最大是光滩转为天然湿地,总面积达448.05 km²,占天然湿地转移面积的80.79%,说明天然湿地演替主要发生在净变区。从6个自然单元分析,岸段Ⅳ、Ⅴ、Ⅲ天然湿地演替面积所占比例依次为35.36%、27.26%、23.11%(表5),与对应岸段的海岸侵蚀/淤积类型基本吻合。

(2) 从植被群落面积变化来看(表5),植被群落总面积减少,主要发生在固有区,人类活动对其影响更为强烈,以芦苇、大米草、盐蒿、茅草为主,其中盐蒿和茅草绝大部分被围垦,导致天然湿地面积急剧减少。在净变区内,植被群落面积除岸段Ⅰ减少外,其他岸段都有增加,增加最多为大米草群落。而在6个自然单元中,有4个岸段区域植被群落总量减少,主要是盐蒿和茅草、芦苇;植被群落面积增加区域为Ⅴ、Ⅵ,增加类型是大米草和芦苇。除岸段Ⅵ外,大米草群落保持了面积增长,其中绝对面积增加最大的是岸段Ⅳ,表明大米草群落的竞争性演替已由长江口岸转移至苏北中部海岸;除岸段Ⅵ外,茅草、盐蒿均保持了总面积减少,其中绝对面积减少最大是岸段Ⅳ;芦苇在岸段Ⅴ、Ⅵ总面积增加,在其他4个岸段均面积减少,而在净变区内部除岸段Ⅰ外面积都增加。

表5 1980-2008年各岸段主要植被分区面积变化

Tab.5 Change in area of vegetation communities of the coastal sections, 1980-2008

分段	芦苇/km ²			大米草/km ²			盐蒿/km ²			茅草/km ²		
	1980-1992	1992-2008	1980-2008	1980-1992	1992-2008	1980-2008	1980-1992	1992-2008	1980-2008	1980-1992	1992-2008	1980-2008
Ⅰ	0.45	-22.38	-21.93	+1.38	2.54	+3.92	-3.57	-32.73	-36.3	0.45	-5.13	-4.68
Ⅱ	-17.47	-31.2	-48.67	+2.97	7.74	+10.71	31.24	-81.85	-50.61	-16.73	-45.49	-62.22
Ⅲ	42.66	-83.39	-40.73	+7.54	29.28	+36.82	21.85	-84.6	-62.75	-72.05	-16.6	-88.65
Ⅳ	-7.56	-13.91	-21.47	+6.15	133.53	+139.68	82.69	-187.76	-105.07	-81.28	-31.51	-112.79
Ⅴ	+1.68	10.35	+12.03	+11.60	56.97	+68.57	-13.16	-39.99	-53.15	-0.05	4.27	+4.22
Ⅵ	0	13.65	+13.65	-3.89	-7.44	-11.33	+3.89	-2.75	+1.14	0	9.54	+9.54
合计	19.76	-126.88	-107.12	25.75	222.62	248.37	122.94	-429.68	-306.74	-169.66	-84.92	-254.58

(3) 从主要植被转入/转出情况分析,主要植被总量转出占自然湿地演替比例的97.08%,大米草所占比例最大(60.21%),芦苇、茅草、盐蒿依次占自然湿地演替比例的17.18%、7.08%、12.60%。芦苇总量转出是转入数量的2倍,芦苇面积的大幅缩减,主要原因是人工围垦导致的。从芦苇转出的类型来看,芦苇对养殖水体、旱地、水田的贡献率分别是38.83%、29.80%、17.76%,累计贡献率达到86.39%。芦苇转入主要是光滩(35.78%)、盐蒿(21.64%)、茅草(16.67%)。大米草转入总量约是转出量5倍,大米草面积的大幅增加,主要是由于其竞争力远大于盐蒿,导致大米草不断地向岸蚕食盐蒿滩,同时又向光滩蔓延。盐蒿和茅草面积大量减少,转出是转入数量10倍左右,盐蒿、茅草大量转型为养殖水体、水田和旱地,减少的主要原因是潮上带、潮间带上部的大规模围垦,以及大米草竞争性入侵。

3.2 影响因素分析

苏北海岸带位于现代长江口与废黄河口之间,是中国最典型的淤泥质平原海岸,随着长江口逐渐南移和1855年黄河入海口北移,江苏海岸的外来泥沙供给锐减,海岸进入了一个空前的调整阶段(张忍顺等, 2002)。20世纪80年代以来,江苏海岸0 m

等深线发生整体蚀退(陈宏友, 1990; 张忍顺等, 2002)。在许多区域虽然仍可以得到来自岸外和侵蚀岸段的泥沙供给而保持较快的淤积速率,并为近海岸滩涂人工围垦提供较好的物质基础,使江苏滩涂淤积总面积仍然不断增加(张忍顺等, 2002)。但其程度和范围远没有黄河北归之前大,不会改变0 m等深线整体蚀退的趋势。人类长期大规模的围垦才是滩涂面积变化的重要影响因素。本文研究了近30年来苏北滨海滩涂湿地的演变特征及其空间格局。基于转移矩阵和空间分割方法深入挖掘了湿地演变信息,可以真实地、精细地刻画出湿地景观演变的空间格局,分离出自然与人为条件对湿地发育的叠加影响程度,其演变主要受自然与人类活动双重因素影响,自然因素与人为因素在空间上也存在差异性。从图4可以看出,研究区、净变区植被面积变化与近30年来滩涂淤积速率高度正相关($R^2=0.912$, 图4a),增长比例最大的区域主要在岸段IV和岸段V;固有区植被面积变化与近30年来滩涂淤积速率相关性不高($R^2=0.55$, 图4b),面积增长比例最大的区域主要在岸段IV和岸段V,与这2个岸段在近30年来滩涂面积增长比例最大基本吻合;研究区植被总面积变化与近30年来滩涂淤积速率相关

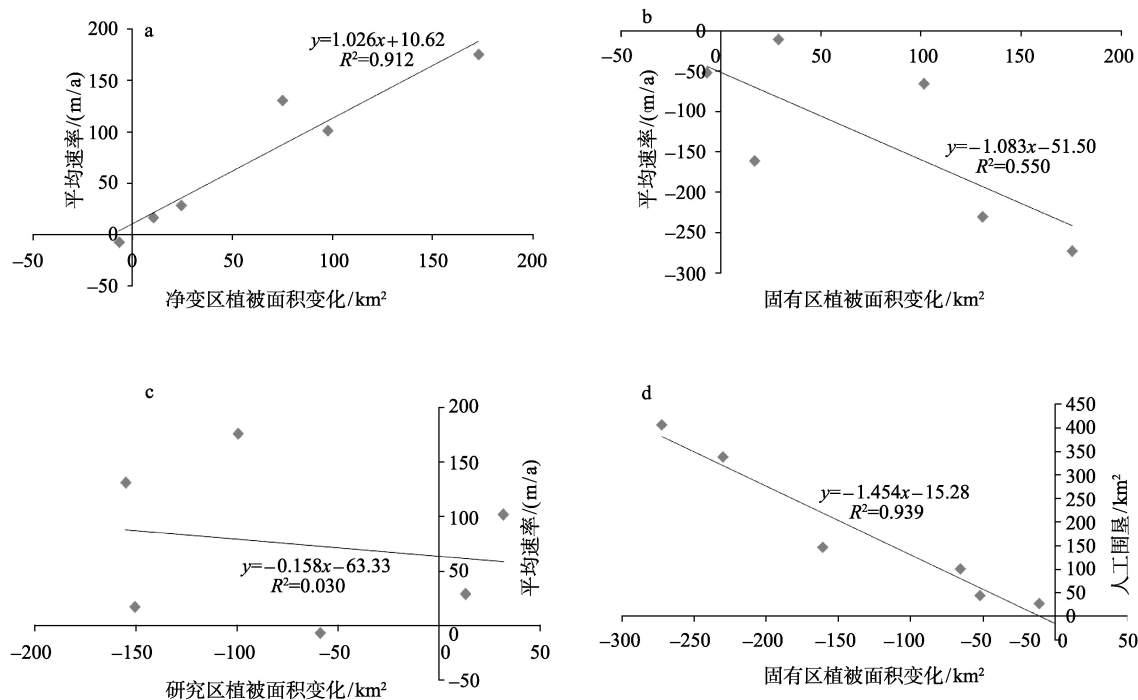


图4 各区域植被面积变化与滩涂淤积速率相关性分析

Fig.4 Correlations of area change of the changed unit vs. average annual erosion rate (a), area change of the overlap unit vs. average annual erosion rate (b), area change of the studied area vs. average annual erosion rate (c), and area change of the overlap unit vs. area change of human reclamation (d).

性不明显($R^2=0.03$, 图4c)。固有区植被面积变化与人工围垦(人工湿地)高度负相关($R^2=0.939$, 图4d), 说明固有区植被面积变化与人工围垦有直接关系。

4 结论

(1) 苏北滨海滩涂景观格局发生了巨大变化, 并且变化程度比较剧烈。近30年间滩涂总面积减少了1273.11 km², 相当于平均每年减少45.47 km²; 由于人工围垦造成的滩涂湿地侵蚀/淤积面积约965.14 km², 0 m等深线冲刷后退减少的面积约为307.97 km²。

(2) 苏北滨海滩涂湿地近30年间演变存在明显区域差异。根据文献资料和实地考察结果, 可在南北方向上将研究区域划分为6个自然地理单元, 同时按海岸滩涂侵蚀/淤积状况划分为4种基本类型; 在东西方向上, 可将研究区划分为固有区、净变区、光滩区3个区域。

(3) 研究区30年来湿地总面积总体上呈增加趋势, 主要贡献来自净变区湿地面积增加; 而固有区湿地面积呈逐年减少趋势, 净变区和固有区湿地面积变化主要影响因素是人类活动和干扰。

(4) 苏北滨海滩涂演变中, 湿地转型、湿地丧失和湿地演替分别占研究区面积的38.39%、14.97%、20.51%。湿地转型和湿地丧失主要发生在固有区, 固有区天然湿地面积急剧减少, 盐蒿和茅草绝大部分被围垦。6个自然单元中岸段Ⅳ、Ⅲ、Ⅱ湿地转型的面积较大, 分别占研究区湿地转型总面积的39.59%、28.67%、13.76%, 主要是与对应区域的滩涂开发利用管理政策有关。

(5) 苏北滨海滩涂天然湿地演替总量为554.52 km², 湿地演替主要发生在净变区, 与对应岸段的海岸侵蚀/淤积类型基本吻合。由于人工围垦, 固有区芦苇、大米草、盐蒿、茅草等植被群落大面积减少; 净变区除岸段Ⅰ外, 其他岸段植被群落面积都有增加, 最多是大米草群落。由此可见米草群落的竞争性演替已由长江口岸转移到了苏北中部海岸。

致谢: 地球系统科学数据共享网提供了数据支持, 在此表示感谢。

参考文献(References)

陈宏友. 1990. 苏北南通海涂近期冲淤动态及其开发. 海洋科学, (2): 28-35. [Chen H Y. 1990. The recent trends of deposition and erosion of beach area in Nantong Jiangsu and its exploitation. Marine Sciences, (2): 28-35.]

丁晶晶, 王磊, 季永华, 等. 2009. 江苏省盐城海岸带湿地景观格局变化研究. 湿地科学, 7(3): 202-207. [Ding J J, Wang L, Ji Y H, et al. 2009. Landscape pattern change of Yancheng coastal wetland in Jiangsu. Wetland Science, 7(3): 202-207.]

江苏省908专项办公室. 2012. 江苏近海海洋综合调查与评价总报告. 北京: 科学出版社. [908 Group of Jiangsu Province. 2012. Comprehensive investigations and assessment of coastal zone in Jiangsu Province. Beijing, China: Science Press.]

任美镔. 1986. 江苏省海岸带和海涂资源综合调查报告. 北京: 海洋出版社. [Ren M E. 1986. Investigation report on Jiangsu comprehensive investigations of the coastal zone and tidal land resources. Beijing, China: Ocean Press.]

孙伟红. 2012. 江苏海岸滩涂资源分布与动态演变[D]. 南京: 南京师范大学. [Sun W H. 2012. Distribution and dynamic evolution of tidal flat resource on Jiangsu coast[D]. Nanjing, China: Nanjing Normal University.]

王建. 2012. 江苏省海岸带滩涂及其利用潜力. 北京: 海洋出版社. [Wang J. 2012. Jiangsusheng hai'andai tantu jiqi liyong qianli. Beijing, China: Ocean Press.]

王艳红. 2006. 废黄河三角洲海岸侵蚀过程中的变异特征及整体防护研究[D]. 南京: 南京师范大学. [Wang Y H. 2006. Study of variation features during coastal erosion processes on the abandoned Huanghe River Delta and integrated protection measures[D]. Nanjing, China: Nanjing Normal University.]

张芳, 陆殿梅. 2010. 遥感技术在江苏沿海滩涂动态变化分析中的运用. 地质学刊, 34(2): 187-191. [Zhang F, Lu D M. 2010. Application of remote sensing technology in analysis of dynamic variation of coastal shoal in Jiangsu. Journal of Geology, 34(2): 187-191.]

张忍顺, 陆丽云, 王艳红. 2002. 江苏海岸侵蚀过程及其趋势. 地理研究, 21(4): 469-478. [Zhang R S, Lu L Y, Wang Y H. 2002. The mechanism and trend of coastal erosion of Jiangsu Province in China. Geographical Research, 21(4): 469-478.]

张晓龙, 李培英, 李萍, 等. 2005. 中国滨海湿地研究现状与展望. 海洋科学进展, 23(1): 87-95. [Zhang X L, Li P Y, Li P, et al. 2005. Present conditions and prospects of study on coastal wetlands in China. Advances in Marine Science, 23(1): 87-95.]

Antogiovanni M, Metzger J P. 2005. Influence of matrix habitats on the occurrence of insectivorous bird species in Amazonian forest fragments. Biological Conservation, 122(3): 441-451.

Brand L A, Smith L M, Takekawa J Y, et al. 2012. Trajectory of early tidal marsh restoration: elevation, sedimentation and colonization of breached salt ponds in the Northern San Francisco Bay. Ecological Engineering, 42: 19-29.

Day J W, Britsch L D, Hawes S R, et al. 2000. Pattern and process of land loss in the Mississippi Delta: a spatial and temporal analysis of wetland habitat change. Estuaries, 23(4): 425-438.

Deng H, Ye Z H, Wong M H. 2004. Accumulation of lead,

- zinc, copper and cadmium by 12 wetland plant species thriving in metal-contaminated sites in China. *Environmental Pollution*, 132(1): 29-40.
- Kadlec R H, Knight R L. 1996. *Treatment wetlands*. Boca Raton, FL: Lewis Publishers.
- Keddy P A. 2000. *Wetland ecology-principles and conservation*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Kennedy Okello W, Kooiman A, Kennedy Okello W, et al. 2010. Application of earth remote sensing and GIS in mapping land cover patterns in kinangop division, Kenya. *Journal of Remote Sensing*, 14(1): 180-196.
- Liang G F, Ding S Y. 2004. Impacts of human activity and natural change on the wetland landscape pattern along the Yellow River in Henan Province. *Journal of Geographical Sciences*, 14(3): 339-348.
- Lin A Y C, Debroux J F, Cunningham J A, et al. 2003. Comparison of rhodamine WT and bromide in the determination of hydraulic characteristics of constructed wetlands. *Ecological Engineering*, 20(1): 75-88.
- Mitsch W J, Gosselink J G. 2000. *Wetlands*. New York, NY: John Wiley & Sons.
- Philip H. 2013. Hydrological modelling of tidal re-inundation of an estuarine wetland in South-Eastern Australia. *Ecological Engineering*, 52: 79-87.
- Prevedello J A, Vieira M V. 2010. Does the type of matrix matter: a quantitative review of the evidence. *Biodiversity and Conservation*, 19(5): 1205-1223.
- Ramsar Convention Secretariat. 2006. *The Ramsar Convention manual: a guide to the convention on wetlands (Ramsar, Iran, 1971)*. Gland, Switzerland: Ramsar Convention Secretariat.
- Tooth S, McCarthy T S. 2007. Wetlands in drylands: geomorphological and sedimentological characteristics, with emphasis on examples from Southern Africa. *Progress in Physical Geography*, 31(1): 19-23.
- Weiers S, Bock M, Wissen M, et al. 2004. Mapping and indicator approaches for the assessment of habitats at different scales using remote sensing and GIS methods. *Landscape and Urban Planning*, 67(1-4): 43-65.
- Xie Z L, Xu L F, Duan X F, et al. 2012. Analysis of boundary adjustments and land use policy change: a case study of Tianjin Palaeocoast and Wetland National Natural Reserve, China. *Ocean & Coastal Management*, 56(3): 56-63.
- Zhang R Q. 2009. Approaches of research on geo-information TuPu. *Science of Surveying and Mapping*, 34(1): 14-16.

Evolution and spatial patterns of tidal wetland in North Jiangsu Province in the past 30 Years

LIAO Huajun^{1,2}, LI Guosheng^{1,3}, WANG Shaohua¹, CUI Linlin^{1,2}, OUYANG Ninglei^{1,2}

(1. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Key Laboratory of Coastal Wetlands Biogeosciences, China Geological Survey, Qingdao 266071, Shandong, China)

Abstract: Coastal wetlands and tidal land in North Jiangsu Province are the most typical mudflat in China, which lies between the estuaries of the Yangtze River and the former Yellow River channel. This article examines the evolution and spatial distribution of wetlands and tidal land in North Jiangsu Province between 1980 and 2008 through image analysis of Landsat TM images from 1980 and 1992 and ALOS images from 2008. The results indicate that: (a) The study region had experienced enormous changes in this time period. The total area of coastal wetlands decreased by 1273.11 km², that is, at an annual rate of 45.47 km²; the erosion-sedimentation area was 965.14 km² and the erosion area was about 307.97 km². (b) This region can be divided into six geographic units from the north to the south, and three zones from the east to the west (overlay unit, changed unit, and mudflat unit); (c) In these natural units, the proportion of transformed wetlands was 38.39%, while the proportion of lost wetlands was 14.97%. Natural wetlands decreased by 354.1 km², constructed wetlands increased by 1061.45 km², and non-wetland area increased by 253.09 km². Changed units were about 20.51% of the total area, in which most wetlands are in natural successions. (d) The study area also had distinct regional succession characteristics and distribution patterns of vegetation communities. Natural wetlands succession occurred mainly in the changed units with a total area of 554.52 km², which is in agreement with the erosion/sedimentation situations of corresponding section.

Key words: tidal wetland; evolution feature; spatial distribution pattern; natural unit; changed unit; Jiangsu Province