

DOI: 10.5846/stxb201401040023

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. 生态学报, 2015, 35(3): 641-651.

Fang R J, Shen Y M, Shi H D. The changes of coastal wetland landscape pattern based on the characteristics of reclamation: a case study in coastal wetland of Yancheng, Jiangsu Province, China. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(3): 641-651.

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

方仁建, 沈永明*, 时海东

南京师范大学地理科学学院, 南京 210046

摘要:为探讨滩涂围垦对海滨地区景观格局带来的影响,选取 1973—2013 年 Landsat1、4、5、7、8 影像数据,利用 GIS (Geographic Information System)、RS (Remote Sensing) 和景观指数计算方法,对盐城国家级自然保护区(川东港-新洋港段)已围垦区和未围垦区,以及典型垦区(海丰、海北和金丰垦区)围垦前后景观变化情况进行对比分析。1973—2013 年研究区围垦特征如下:以 10a 为间隔,围垦区域平行于海岸线呈条带状向海推进,且条带逐渐变窄;围垦难度逐渐加大,总体上围垦强度呈减小趋势,过程上围垦面积呈升降交替状态;围垦后垦区利用方式各异,主要以种植业和养殖业为主。受围垦影响该区景观格局变化如下:1973—2013 年,未围区(I 区)自然植被面积增加 4762 hm²,斑块形状日益复杂、自然,分维数由 1.10 上升到 1.15,景观破碎化水平较低,在 0.17—0.21 之间,多样性指数由 1.11 上升至 1.52;已围区(II、III、IV 区)自然植被面积不断减少,分别减少了 9873、13788 hm² 和 6890 hm²,斑块形状更加简单、规则,分维数分别下降了 0.03、0.03 和 0.02,破碎化程度分别上升了 0.21、0.23 和 0.17,多样性均先升后降,升幅约 0.8,降幅约 0.5。海北、海丰、金丰垦区自然景观不断向人工景观转移,海北和海丰垦区斑块形状不断趋于简单规则,形状指数分别下降 0.8 和 0.5,而金丰垦区形状指数上升 0.4,景观破碎度方面分别呈“升—降—升”、“降—升—降”和“升—降”趋势。围垦前,各垦区景观面积和斑块形状变化差异不大,而景观破碎度变化差异明显;围垦期间各垦区景观格局变化一致;围垦后,各垦区除非受新一轮人类活动干扰,其景观格局基本维持围垦末期状态。

关键词:围垦;海滨湿地;景观格局;破碎化指数;盐城

The changes of coastal wetland landscape pattern based on the characteristics of reclamation: a case study in coastal wetland of Yancheng, Jiangsu Province, China

FANG Renjian, SHEN Yongming*, SHI Haidong

College of Geography, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China

Abstract: To investigate the impact of reclamation on the landscape pattern of coastal wetlands in Yancheng, northern Jiangsu of China, RS, GIS and FRAGSTATS technologies were applied to analyze the remote sensing data from 1973 to 2013 as basic information resource. Changes of landscape between reclaimed and unreclaimed zones in the national nature reserve of Yancheng, were compared and analyzed from Chuandong Port to Xinyang Port, especially among Haifeng, Haibei and Jinfeng reclamation sites. Characteristics of the reclamation in studied areas from 1973 to 2013 were concluded as follows by a 10-year time interval: Firstly, the ranges of reclamation were stripped in shape, parallel to the coastline, and advanced offshore with width narrowing gradually. Secondly, the difficulty of reclamation increased progressively, and the overall intensity of reclamation showed a decrease tendency while the areas hovered unsteadily during its processes. Thirdly,

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2013CB956503);浙江省海洋文化与经济研究中心项目(13HYJDYY08)

收稿日期:2014-01-04; **修订日期:**2014-07-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yongmsh@163.com

the land use types diversified remarkably after the reclamation, which were mainly crop cultivation and aquaculture. Consequently, it was found that in the unreclaimed zone I, the natural vegetation area increased by 4762 hm², the patch shape tended to be more complex or irregular, FRAC_AM increased from 1.10 to 1.15, and the degree of landscape fragmentation remained low between 0.17 to 0.21 while the landscape diversity increased from 1.11 to 1.52. On the contrary, in reclamation zones II, III and IV, the natural vegetation area increased by 9873 hm², 13788 hm² and 6890 hm², the patch shape tended to be more simple or regular, FRAC_AM decreased by 0.03, 0.03 and 0.02, and the degree of landscape fragmentation increased by 0.21, 0.23 and 0.17 while the landscape diversity firstly increased and then decreased by 0.8 and 0.5 respectively. Though the changes of landscape areas and the shape of patches in single reclamation sites were similar to that of the whole reclamation zone, landscape fragmentation primarily increased and then decreased. The natural landscape was progressively transformed into artificial landscape, and the patch shape tended to be more simple or regular in Haifeng, Haibei, while more complex and natural in Jinfeng. Meanwhile, the changes of fragmentation were distinctive from each other that, the trend of which were “up-down-up”, “down-up-down” and “up-down”, respectively. Before reclamation, the differences between the changes of landscape area and patch shape were neglectable, but was significant in the landscape fragmentation. Landscape pattern changes were similar among Haifeng, Haibei and Jinfeng during the period of land reclamation, and that of each site maintained the condition at the end of reclamation, except in the presence of a new round of human disturbance.

Key Words: reclamation; coastal wetlands; landscape pattern; fragmentation index; Yancheng, China

海岸湿地是全球生物生产量最高的生态系统之一,具有极高的资源开发价值和环境调节功能^[1]。海岸滩涂是江苏海岸最重要的自然资源之一,也是海岸湿地的重要组成部分^[2]。江苏沿海地区拥有丰富的滩涂资源,总面积 500167 hm²,约占全国滩涂总面积的 1/4^[3]。滩涂围垦是人类利用盐沼湿地资源最主要也是最广泛的方式^[4]。目前国内外在围垦方面取得较多的研究成果,主要集中于围垦现状^[5]与湿地资源的开发利用^[4,6]、围垦强度与速率^[2]及围垦对生态环境影响^[5,7]等。然而伴随着围垦过程,原有的湿地景观结构和格局发生翻天覆地的变化,进而影响整个生态环境,因此加强围垦对湿地景观格局变化影响的研究十分重要。

景观格局是指景观组成单元的类型、数目以及空间分布与配置^[8]。对某一区域的景观格局的研究能揭示该区域生态状况和空间变异特征^[9]。国际上对景观格局的研究主要集中于景观格局边缘效应^[10]、景观异质性^[11]及其对物质能量流动影响^[12]等。对苏北盐城海滨地区景观格局方面的研究已有许多,如景观格局演变^[13]、驱动力因子探讨^[14]、生态功能评价^[15]等,近几年景观变化与生态过程相结合^[16]的研究逐渐增多。而围垦作为引起该地区景观格局变化的主要因素,对围垦对景观格局变化影响方面的案例研究较少。因此,本文利用 RS 和 GIS 手段,对 1973—2013 年盐城海滨地区景观格局进行分析,旨在了解围垦对景观格局产生的具体影响,并为今后该地区或其他类似地区海岸带管理和资源开发提供指导。

1 研究区概况

江苏盐城海滨地区位于中国海岸带的中部,分属响水、滨海、射阳、大丰和东台 5 县市,纬度位置为 32°34'N—34°28'N,119°27'E—121°16'E。该区处于亚热带向暖温带的过渡地带,季风气候显著,受南北气流和海洋、大陆双重气候的影响,年平均气温介于 13.7—14.8 °C 之间,年降水量为 900—1100 mm,雨量丰沛,南部多于北部。另外,该区拥有全球意义的生物多样性保护基地,盐城国家级丹顶鹤自然保护区和大丰麋鹿保护区。

根据国内外对海岸带的定义,结合目前盐城海滨地区湿地现状以及滩涂围垦强度,本文选取代表性的已围垦和未围垦区域,其范围界定如下:分别以川东港和新洋港为南北界,以保护区西边为西界。由于 1973 年和 2013 年海岸滩涂位置发生明显变化,为保证研究范围一致,本文将 2013 年 TM 影像上能最大程度覆盖陆地区域的边界为东界。为探讨围垦对景观格局变化的影响,本次研究将新洋港-斗龙港段保护区核心区作为

未围垦区域(图1),为保证与围垦区域在尺度范围上的可比性,将剩下的部分分为3个小区,具体分区如下:I区为新洋港—斗龙港段;II区为斗龙港—四卯西河段;III区为四卯西河—王港段;IV区为王港—川东港段。

2 研究方法

2.1 数据来源及处理

为探索研究区域初始状态到目前的景观变化,选取TM1(1973年)、TM4(1979年)、TM5(1984、1992、1995、1998年)、TM7(2000、2003、2005、2008、2010年)和TM8(2013年)这40年间的Landsat影像作为基础数据,以2013年影像为基准,利用ENVI 4.7对其他年份影像进行几何校正,对校正后的影像进行二次线性拉伸处理,均方根误差最大为0.2875,再根据研究区和具体垦区范围对影像进行裁剪。通过野外样区调查与遥感影像对照,采用最大似然法监督分类和目视解译相结合的方法,确定各种植被类型和土地利用的解译标志。2013年10月初完成野外调查和实地验证,2013年解译精度为92%,其他年份解译精度验证参考历史文献^[14-15]等其他历史资料,精度范围为82%—88%,平均精度约为86%,满足本次研究的需要。根据盐城海滨湿地植被分布的层次性,并结合海滨地区土地开发利用特点,将研究区景观类型划分为自然景观和人工景观两大类,其中自然景观包括光滩、芦苇(*Phragmites communis*)、碱蓬(*Suaeda* spp.)、茅草(*Aeluropus littoralis*)、互花米草(*Spartina* spp.)和河流或潮沟,人工景观包括农田、水产养殖塘、盐田、建筑用地和道路。

2.2 研究思路与景观指数选取

本文研究围垦对景观格局的影响主要从围垦对区域景观格局的影响、围垦对垦区内部景观格局的影响和不同垦区在围垦前、围垦期间及围垦后景观格局变化差异3个方面进行研究。

区域景观格局变化分析中,将研究区分为南北跨度相当的4个分区:未围区(I区,下同)和已围区(II、III、IV区,下同),对比未围垦区与已围垦区之间景观变化差异,并分析其中的原因;垦区内部景观格局变化分析中,对海丰垦区、海北垦区和金丰垦区围垦过程中景观变化状况及原因进行分析;不同垦区景观格局变化对比分析中,对各个垦区围垦前、围垦期间以及围垦后这3个阶段景观格局变化情况进行对比分析,并探索其中的差异与原因。最后根据以上研究结果,并结合研究区围垦现状及围垦特征方面信息,探索和讨论围垦与景观格局变化之间的联系。

由于定量描述景观格局的指数较多,而且很多指数之间的相关性也很高,所以同时采用多种指数(尤其是同一种景观类型的指数)并不增加“新”的信息^[17]。本文从类型水平上选取斑块面积(CA)分析围垦对各研究范围景观结构的影响;从景观水平选取斑块个数(NP)和斑块密度(PD)来描述景观破碎度变化;从景观水平选取面积加权平均斑块分维数(FRAC_AM)和香农多样性指数(SHDI)描述景观形状与多样性变化。景观格局指数的计算与获取均在FRAGSTATS 3.3中完成。景观指数计算公式^[8]见表1。

3 研究结果

3.1 围垦现状及其特征

江苏沿海滩涂资源丰富,围垦历史悠久,围垦经验丰富,1949年中华人民共和国成立以来,主要经历了4

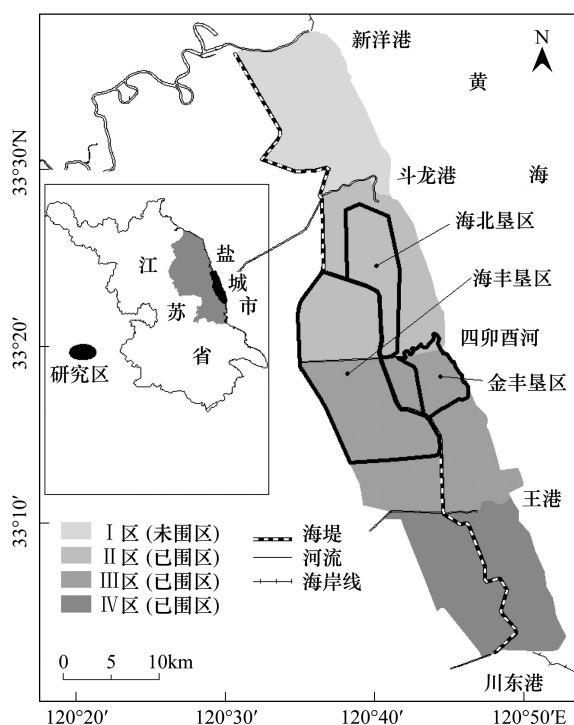


图1 研究区示意图

Fig.1 Location of study and functional area

次较大规模的滩涂围垦开发活动^[18],累计围垦滩涂 203 个垦区,围垦滩涂总面积 268 667 hm^2 ^[3]。本次研究中,1973—2013 年期间研究区内共围垦了 60281 hm^2 ,5 个时间段分别围垦了 2491、24018、5381、23414 hm^2 和 7467 hm^2 。研究区内围垦活动具有如下几方面特征:从不同时段垦区空间布局(图 2)来看,1995 年以前围垦活动主要为高滩围垦,垦区范围边界平行于海岸线,1995 年以后主要集中于高、中潮带。从不同时段垦区空间形状来看,围垦区由块状向条带状转变,并平行于海岸线向海推进,且离海岸线越近条带特征越明显。这从侧面反映了随着围垦强度加大,围垦难度也在上升:早期围垦过程中,起围点较高,潮滩发育稳定,潮沟较少,围垦难度小,垦区面积较大且较规整;而后期围垦中,起围高程下降,滩面发育不稳定,潮沟也较多,围垦难度加大,垦区面积较小且分布破碎。从不同时段围垦强度来看,1973 年以来年平均围垦面积总体上呈减少趋势,以 10a 为间隔各阶段围垦面积也表现出升降交替的特征(图 3),在 1973—1984 年和 1995—2005 年两个时段内年平均围垦面积较大,分别为 2183.4 hm^2/a 和 2341.5 hm^2/a (表 2)。

前者受 20 世纪 70 年代中后期至 80 年代初期“解决人多地少的矛盾,以增加耕地为目的的单一经营粮棉”计划影响,后者受“九五”期间建设“海上苏东”的百万亩滩涂加速围垦开发计划刺激;而 1984—1995 年和 2005—2013 年两个时段较小,仅有 489.2 hm^2/a 和 933.5 hm^2/a (表 2),这主要受前两个阶段已经开发了大面积滩涂的限制。

3.2 围垦对区域景观格局影响

1973—2013 年研究区内景观变化情况见图 4。研究区景观结构变化选取 CA 指数表示,不同景观类型 CA 值的大小能够反映出其间物种、能量和养分等信息流的差异^[8]。从表 3 中可以看出:未围区由于基本未受围垦活动影响,景观类型一直以自然景观为主导,且面积较为稳定,维持在 13000 hm^2 以上;而已围区随着围垦强度不断加大,自然景观面积不断减少,1973—2013 年 II、III、IV 区共减少了 57502.5 hm^2 ,在此过程中自然景观的主导地位逐渐丧失,大致在 2000 年以后景观类型以人工景观为主导。这主要由于随着围垦活动不断进行,海滨地区茅草、碱蓬、芦苇和互花米草等自然景观不断被侵占,取而代之的是农田、水产养殖塘、盐田和建筑用地等人工景观。

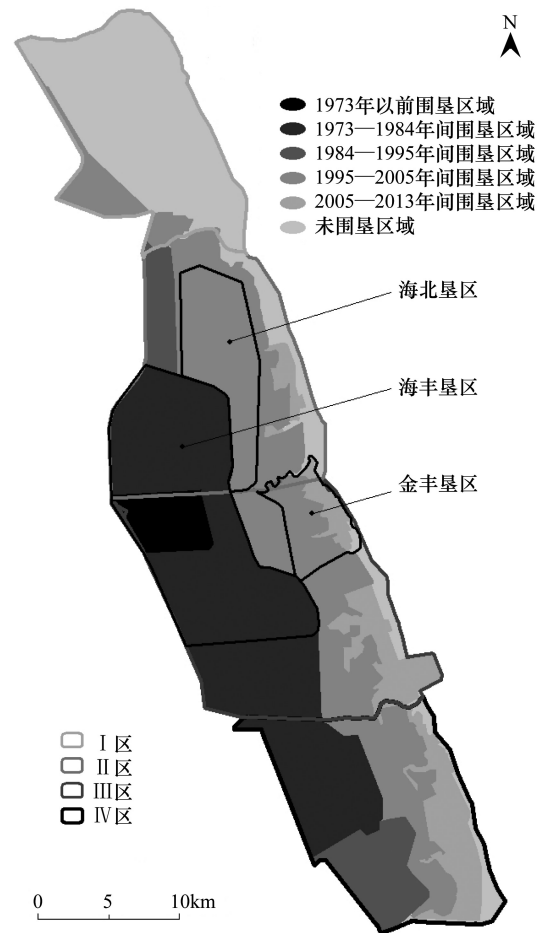


图 2 1973—2013 江苏盐城海滨地区不同时段围垦范围

Fig.2 The range of reclamation in different time periods from 1973 to 2013 in Yancheng, Jiangsu

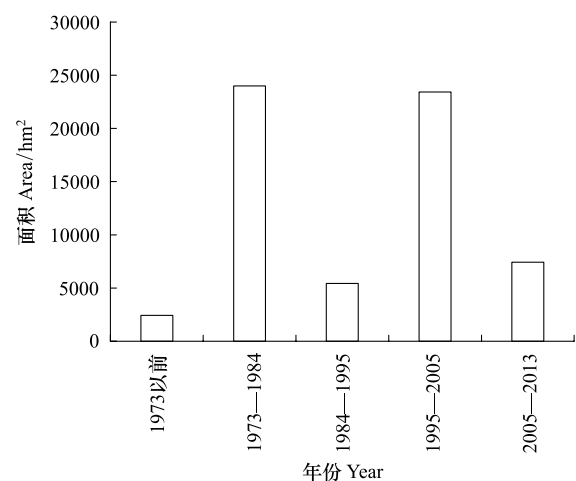


图 3 1973—2013 年江苏盐城海滨地区不同时段围垦面积

Fig.3 The area of reclamation in different time periods from 1973 to 2013 in Yancheng, Jiangsu

表 1 景观指数计算方法

景观指数 Landscape index	计算公式 Computational formula	描述 Description
斑块面积 Total class area	$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij} (1/10000)$	a_{ij} 为某一类型斑块面积 (hm^2)
斑块个数 Number of patches	$NP = n_i$	n_i 为景观中第 i 类型斑块的总个数 (个)
斑块密度 Patch density	$PD = \frac{n_i}{A} (10,000) (100)$	n_i 为某类型斑块的总个数, A 为景观总面积 (个/ 100 hm^2)
面积加权平均斑块分维数 Area-Weighted mean fractal dimension	$FRAC_AM = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[\frac{2 \ln(0.25 P_{ij})}{\ln(a_{ij})} \left(\frac{a_{ij}}{A} \right) \right]$	a_{ij} 是斑块 ij 的面积, P_{ij} 是斑块 ij 的周长, m 指斑块类型数目, n 是各类型包含的斑块数目
香农多样性指数 Shannon's diversity index	$SHDI = - \sum_{i=1}^m (P_i \ln P_i)$	P_i 类型 (级) 占景观面积的比例, m 指斑块类型数目, $SHDI > 0$

表 2 1973—2013 年江苏盐城海滨地区不同时段围垦速率

Table 2 The rate of reclamation in different time periods from 1973 to 2013 in Yancheng, Jiangsu			
时期 Period	围垦速率/(hm^2/a) The rate of reclamation	时期 Period	围垦速率/(hm^2/a) The rate of reclamation
1973—1984	2183.4	1984—1995	489.2
1995—2005	2341.5	2005—2013	933.5

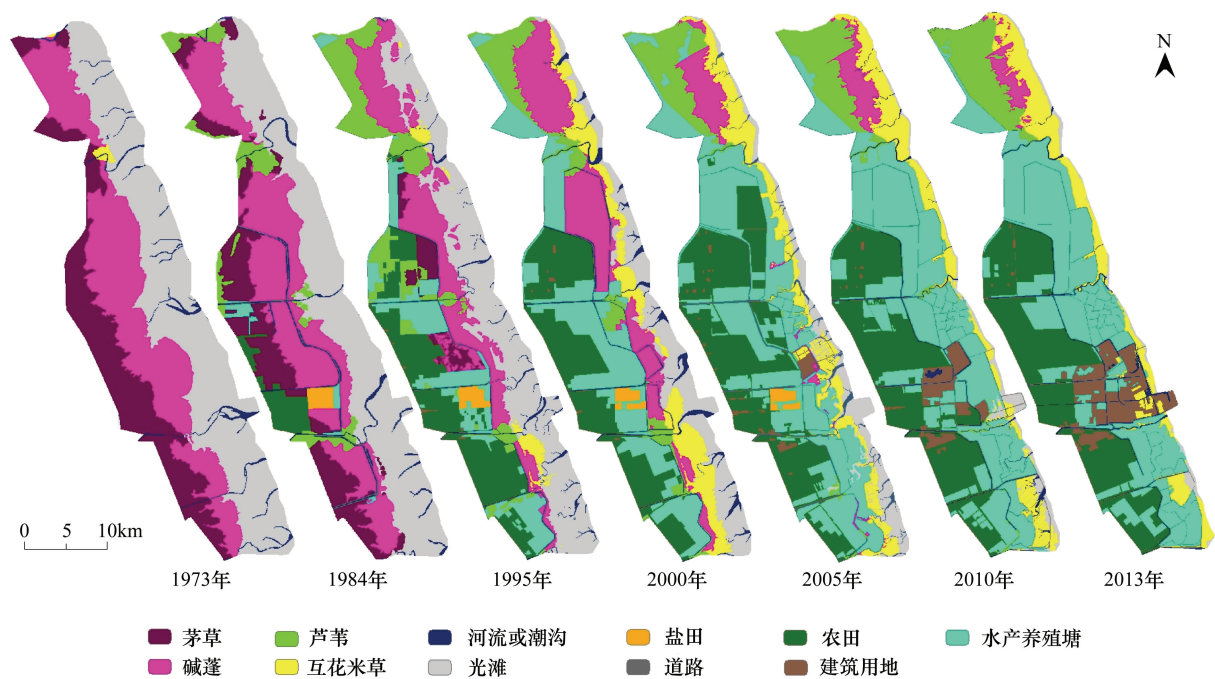


图 4 1973—2013 年江苏盐城海滨地区 (研究区) 景观格局变化

Fig.4 Landscape pattern of study area from 1973 to 2013 in Yancheng, Jiangsu

FRAC_AM 在一定程度上也反映了人类活动对景观格局的影响。一般来说,受人类活动干扰小的自然景观的分数维值高,而受人类活动影响大的人工景观的分数维值低^[8]。如图 5 所示,未围区形状分维指数呈上升趋势,1973—2013 年由 1.10 上升到 1.15,说明该区自然植被由于未受人类围垦活动影响,在原始状态下保持自然演替,其斑块形状较为自然。而已围区形状分维指数变化略显复杂:总体来看呈下降趋势,1973—2013 年Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ区分别下降了 0.026、0.028 和 0.026,这是由于随着围垦强度不断加大,斑块形状较为复杂的自然斑块逐渐消失,取而代之的是斑块形状较为规则的人工景观;具体来看,形状分维指数在前期又有一段上

表 3 1973—2013 年未围区和已围区景观类型结构变化 (hm²)
Table 3 The changes of landscape structure in reclamation and unreclamation from 1973 to 2013

垦区类型 The type of reclamation	年份 Time	光滩 Mudflats	河流或潮沟 River or tidal flat	互花米草 Spartina spp.	芦苇 Pragmites communis	碱蓬 Suaeda spp.	茅草 Aeluropus littoralis	水产 养殖塘 Aquaculture pond	道路 Road	农田 Farmland	建筑用地 Building land	盐田 Salt field	自然景观 Natural landscape	人工景观 Artificial landscape
未围区 Unreclamation zones	1973	7577.9	270.5	0	205.3	5506.7	2066.8	0	0	0	0	0	15627.2	0
	1984	7339.3	278.3	0	1612.8	4602.2	1795.3	0	0	0	0	0	15627.9	0
	1995	4462.6	167.6	418.7	5113.9	5033.4	0	335	96.4	0	0	0	15196.2	431.4
	2000	1168	363.5	2131.5	3585.2	5897.1	0	2374.5	107.8	0	0	0	13145.3	2482.3
	2005	712	187.4	3048.8	5124.2	3534.1	0	2891.9	128.8	0	0	0	12606.5	3020.7
	2010	312.7	155.6	3671.5	5958.1	2932.7	0	2473.4	123	0	0	0	13030.6	2596.4
	2013	539	137.2	4202.8	6383.4	1945.5	0	2268.8	151	0	0	0	13207.9	2419.8
已围区 Reclamation zones	1973	28033.4	1457.4	0	146.5	20274	14691.2	0	0	0	0	0	64602.5	0
	1984	22933.9	1813.7	0	2834.6	19944	11875.1	839.1	717.2	2871	0	775.1	59401.3	5202.4
	1995	19966.6	1572.2	1046.6	4763.7	9972.9	2770	9320.1	980.7	13314.3	96.6	799.7	40092	24511.4
	2000	10660.3	1972.1	6597.5	2319.6	9122.9	0	16568.7	1334.3	15184.6	121.5	721.2	31172.4	33430.3
	2005	6049.5	1672.5	5504.4	275.7	500.8	0	26929.7	1826.6	20173.2	964.6	707.1	14002.9	50601.2
	2010	2545.7	1352.6	4355.6	329.9	0	0	31040.4	2051.2	19352.6	3575.5	0	8583.8	56019.7
	2013	955	1584.4	4560.6	0	0	0	29328.6	2176.5	19925.3	6072.7	0	7100	57503.1

升过程(图 5),这可能由于前期围垦活动时间跨度长,堤内潮滩湿地与外部海域全部或部分隔绝,垦区水域盐度逐渐降低,土壤表层不再有波浪或潮汐带来的泥沙沉积,土壤因地下水位下降而不断脱盐^[19]。生境条件的变化,促进原有植被在相对较短周期内演替与扩张,导致斑块形状复杂程度上升。

NP 反映景观的空间格局,用于描述整个景观的异质性;PD 与 NP 呈正相关关系,两者的结合能够明确的反映景观空间结构的复杂性,与景观破碎化程度成正比^[8]。从图 5 可以看出:未围区斑块数量和斑块密度都保持较低水平,除了 1995 年略有上升外,分别基本维持在 30 和 0.2 左右,1995 年上升是由于互花米草正处于扩散期,说明在未受围垦活动影响下,景观破碎度维持较低水平;已围区斑块数量和斑块密度总体上呈上升趋势,1973—2013 年 II、III、IV 区这两个指标分别上升了 56 和 0.23,34 和 0.23,19 和 0.18。而整个过程中又先升后降,主要由于随着围垦强度不断加大,自然植被斑块由整体连贯状态被分割成零星破碎状态,破碎化程度总体上升,但随着茅草、碱蓬和芦苇等自然植被围垦殆尽,破碎的小斑块也将被人工景观替代,因此破碎化程度有稍有下降。

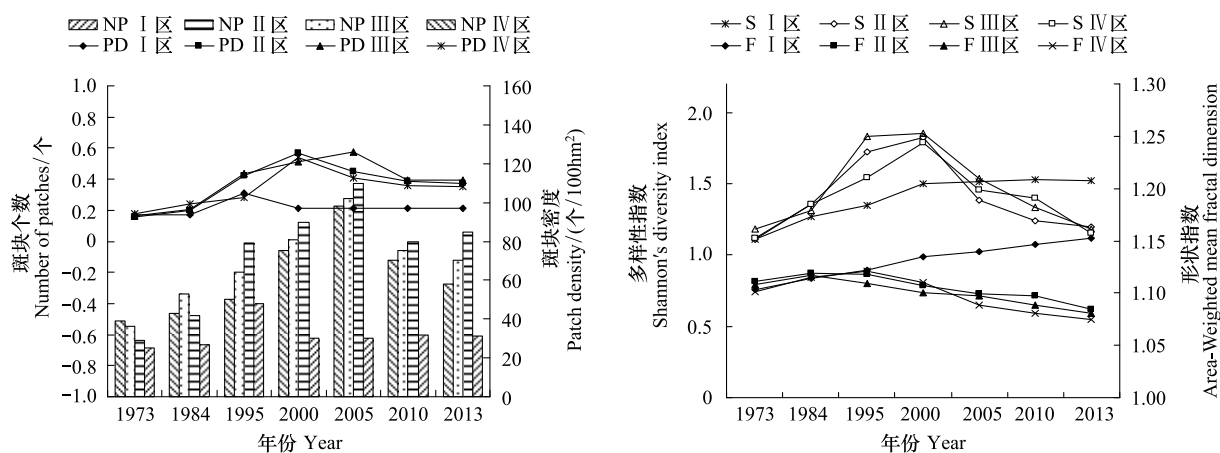


图 5 1973—2013 年未围区和已围区景观破碎度、面积加权平均斑块分维数和多样性变化

Fig.5 The changes of PD, FRAC_AM, SHDI in reclamation and unreclamation from 1973 to 2013

景观多样性指数值的大小反映景观的多少和各景观要素所占比例的变化。SHDI=0 表明整个景观仅由一个斑块组成;SHDI 增大,说明斑块类型增加或各斑块类型在景观中呈均衡化趋势分布^[8]。未围区多样性指数不断上升(图 5),到 2000 年达 1.50,之后维持较高水平。这主要由于新增植被—互花米草面积不断增加,且于 2000 年完成其加速扩散过程而大面积成片分布。已围区多样性指数都呈现先升后降的“n 型”趋势,且 II、III、IV 区峰值均出现在 2000 年,分别为 1.82、1.85 和 1.79。这主要由于 2000 年以前围垦区域主要为潮上带,围垦导致茅草、碱蓬为代表的占主导地位的自然景观斑块面积不断下降,而农田、水产养殖塘等新增人工景观斑块面积相应的上升,导致景观多样性指数上升;2000 以后,围垦活动转向中、高潮带导致茅草、碱蓬和互花米草等自然景观斑块面积减少甚至消失,而农田和水产养殖塘等人工景观斑块面积主导地位逐渐加大,因此多样性指数下降。

3.3 围垦对垦区内景观格局影响

海丰垦区景观结构初期以茅草和碱蓬为主(图 6),围垦使得这两类斑块类型逐渐转为农田和水产养殖塘,反映了该垦区利用方式主要为种植业和养殖业。另外围垦初期芦苇面积有所上升,可能由于围垦加快土壤脱盐而有利于芦苇生长与扩散^[20],而围垦后期由于港口建设以及政策影响,建筑用地和农田面积略有增加。由于该区人工景观面积不断增加,斑块形状分维指数总体上呈下降趋势(图 6),由 1973 年的 1.11 下降到 2013 年的 1.05,斑块形状变得简单规则。垦区内破碎化程度都呈现先升后降再升(图 6),1973—1984 年斑块密度上升到 0.53,这是由于围垦前自然植被扩散过程中出现一些新增小斑块,景观破碎度上升;1984—2000 年又上升到 0.65,主要由于围垦使原有植被大斑块破碎,导致斑块数量有所上升;随着围垦结束,破碎的自然

植被斑块完全被人工景观取代,斑块密度下降到 0.35,景观破碎度下降;而随着新一轮沿海发展计划进行,斑块密度又上升到 0.56,景观破碎度上升。

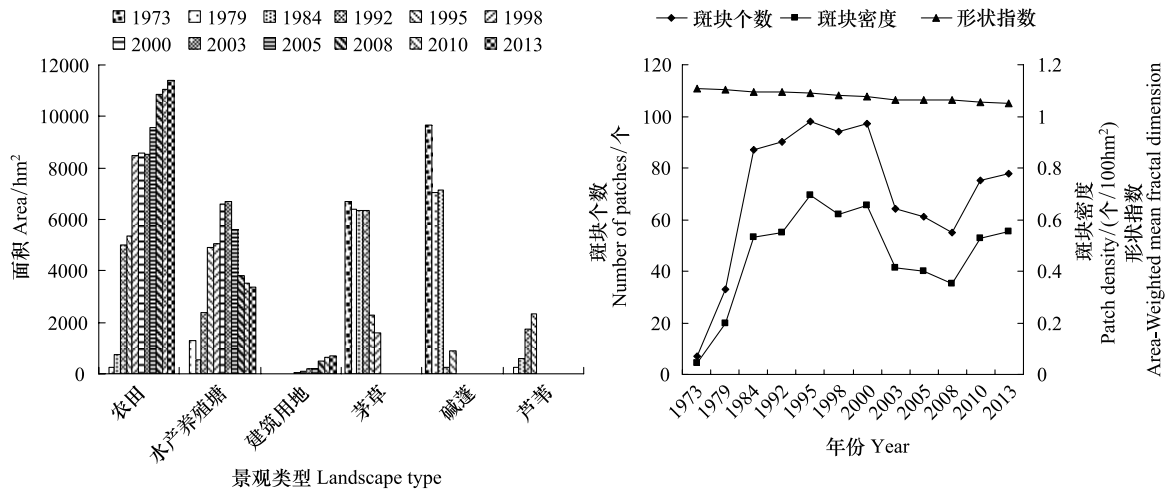


图 6 1973—2013 年海丰县景观结构、景观破碎度和面积加权平均斑块分维数变化

Fig.6 The changes of landscape structure, PD and FRAC_AM in Haifeng reclamation from 1973 to 2013

海北垦区围垦初期景观类型以碱蓬和光滩为主(图 7),围垦活动使得这两种斑块类型转为水产养殖塘和农田,而在围垦后期大面积水产养殖塘又转为农田,这反映该垦区利用方式以种植业为主。形状分维指数除了前 3 个年份略有上升外,总体呈下降趋势(图 7),由 1998 年 1.13 下降到 2013 年 1.04。这主要由于前期未受围垦影响,碱蓬处于自然扩展状态,斑块形状较为复杂,而之后在围垦影响下,斑块形状日趋规则。景观破碎度方面,斑块密度指数由 1992 年 0.48 先降到 1998 年 0.38(图 7),先降是由于围垦前碱蓬斑块扩张过程中,零星的小斑块被合并,斑块数量的以减少;后来受围垦活动影响,碱蓬斑块出现破碎,斑块数量增多,破碎度上升,到 2005 年上升至 0.54;而围垦后期破碎的碱蓬斑块完全消失,斑块数量得以下降,到 2013 年又降为 0.44。

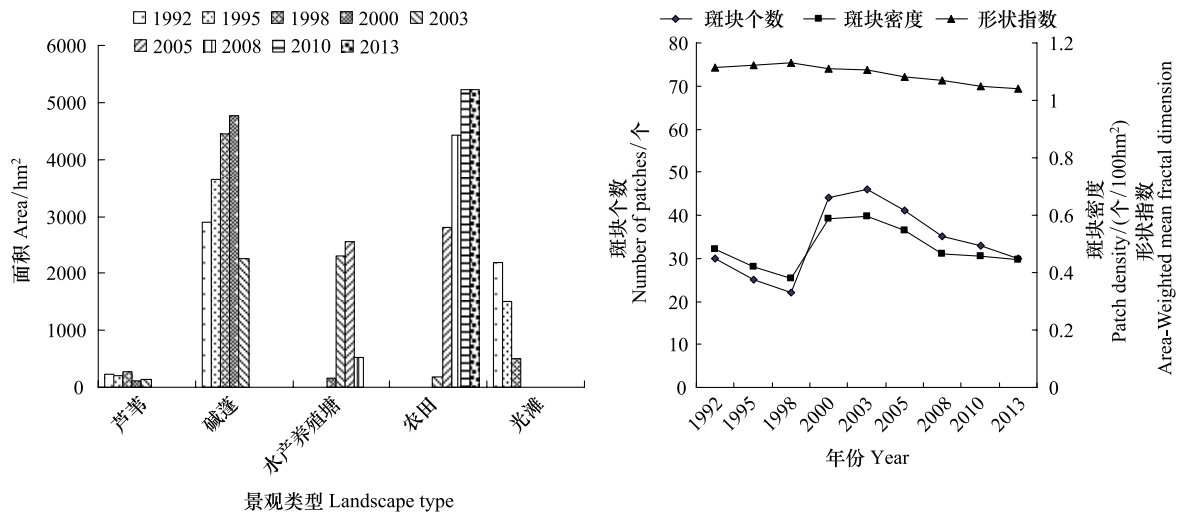


图 7 1992—2013 年海北垦区景观结构、景观破碎度和面积加权平均斑块分维数变化

Fig.7 The changes of landscape structure, PD and FRAC_AM in Haibei reclamation from 1992 to 2013

金丰垦区围垦前主要以光滩为主(图 8),到 2003 年互花米草和碱蓬占较大一部分面积,受围垦影响,2005 以后全区以水产养殖塘斑块为主导,且主导地位不断加强,说明该垦区利用方式为水产养殖。形状分维指数方面,由 1995 年的 1.04 先升至 2005 年的 1.19,主要由于围垦前自然植被在原始状态下扩张,斑块形状趋

于复杂,而之后受围垦影响,整体斑块形状日益简单、规则,到 2013 年又降至 1.08(图 8)。景观破碎度方面,1995—2003 年,全区由裸滩状态逐渐到有碱蓬和互花米草等斑块类型分布,斑块数量和斑块密度均略有上升,分别上升了 7 和 0.52;2003—2008 年受围垦活动影响,斑块数量和斑块密度指数迅速上升,分别上升了 13 和 0.8,破碎化程度加速上升;围垦后期,全区逐渐以水产养殖塘斑块为主导,斑块数量和斑块密度下降,分别下降了 10 和 0.5,破碎化程度减缓。

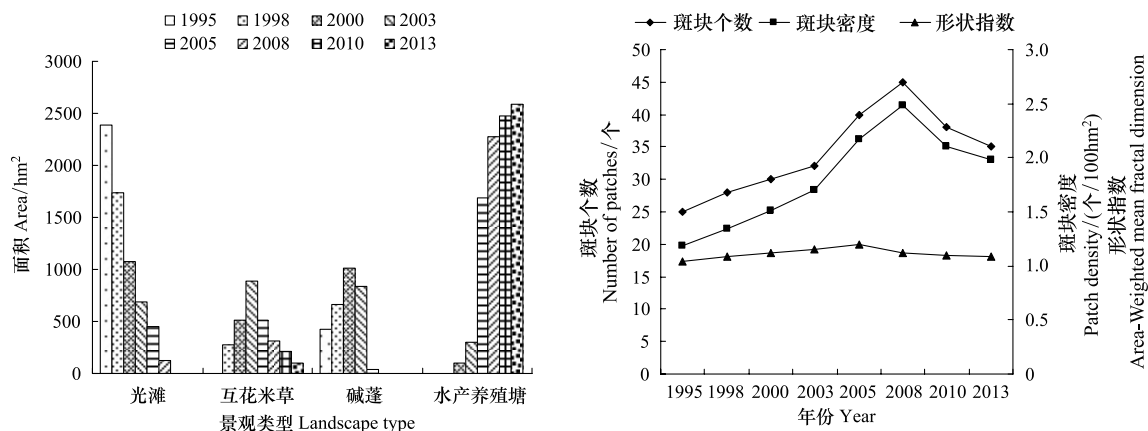


图 8 1995—2013 年金丰垦区景观结构、景观破碎度和面积加权平均斑块分维数变化

Fig.8 The changes of landscape structure, PD and FRAC_AM in Jinfeng reclamation from 1995 to 2013

3.4 垦区之间景观格局变化对比

尽管不同垦区建立时间不一致,景观变化在同一时间没有可比性,而各个垦区具有的相同围垦阶段(即围垦前、围垦期间和围垦后),表 4 是根据不同垦区的围垦阶段对影像数据的年份进行划分。

表 4 1973—2013 年海丰、海北和金丰垦区围垦阶段与利用方式

Table 4 The stages and development modes of Haifeng, Haibei and Jinfeng reclamation

垦区名称 The name of reclamation	围垦前(年份 Year) Before the reclamation	围垦期间(年份 Year) During the period of land reclamation	围垦后(年份 Year) After the reclamation	利用方式 Using types
海丰垦区 Hai feng reclamation	1973	1979, 1984, 1992, 1995, 1998, 2000	2003, 2005, 2008, 2010, 2013	种植业, 养殖业
海北垦区 HaiBei reclamation	1992, 1995, 1998	2000, 2003, 2005	2008, 2010, 2013	种植业
金丰垦区 Jinfeng reclamation	1995, 1998, 2000, 2003	2005, 2008	2010, 2013	养殖业

结合图 6—图 8 数据,围垦前,景观面积方面,3 个垦区都以自然景观为主导,且海北和金丰垦区由于植被扩散或演替,植被面积逐渐增加,分别增加了 1565 hm^2 和 1290 hm^2 ;海丰垦区由于相对处于内陆,垦区内早已被植被覆盖,围垦使植被面积减少了 2645 hm^2 。斑块形状方面,海北和金丰垦区形状指数呈下降趋势,均趋于复杂、自然;海丰垦区基本不变,原因与面积变化相同。景观破碎度方面,海丰垦区斑块密度有所上升,约为 0.15,原因可能由于该垦区相对处于内陆,淤积较早,其内部某些地区在植被生长过程中土壤环境得以改良,而更加适合邻近其他植被生长而受到入侵^[20](如部分茅草被芦苇取代),导致斑块数量增多,斑块破碎度上升;海北垦区破碎度不断下降,斑块密度指数下降了 0.1,原因为垦区内部植被主要为碱蓬,向海先锋斑块多呈破碎、分离状态,随着碱蓬不断向海扩散,这些小斑块相互合并成大斑块,导致斑块数量变少,斑块破碎度下降;而金丰垦区由于离海较近,植被生长较晚,垦区内植被主要为碱蓬和米草,在这两种植被刚扩散时,植被斑块处于零星、分散状态,导致斑块密度增加了 0.52,斑块破碎度出现上升。

围垦期间,3 个垦区的景观面积、斑块形状以及景观破碎度变化趋势一致。景观面积方面,3 个垦区自然

景观面积分别减少了 5691、4781 hm^2 和 2022 hm^2 , 而人工景观逐渐占主导地位。正是由于人工景观面积不断增多, 斑块形状分维指数不断下降, 3 个垦区分别下降了 0.02、0.05 和 0.03, 斑块形状由之前的复杂状态转为简单、规则。景观破碎度也均呈现先升后降的趋势, 先升是由于围垦初期开发强度不断增大, 自然斑块不断破碎, 另外出现农田和水产养殖塘等新斑块类型, 导致斑块数量增多, 景观破碎度上升; 围垦后期, 受可围垦面积限制, 围垦强度下降, 另外大多破碎的自然斑块陆续被规整的人工斑块取代, 斑块数量逐渐下降, 景观破碎度下降。

围垦后, 海丰和海北垦区景观面积均维持围垦末期状态, 即人工景观占主导, 面积基本不变; 而金丰垦区人工景观面积不断增加, 约为 361 hm^2 , 这是由于垦区建立后, 垦区周边临近海的地区围垦活动仍在继续。3 个垦区的斑块形状与围垦期间变化一致, 即趋于简单、规则, 这是由于围垦后景观格局基本定型, 只有部分人工景观的调整。景观破碎度方面, 海北和金丰垦区均维持围垦末期状态, 景观破碎度呈下降趋势, 原因与斑块形状相似; 而海丰垦区破碎度先降后升, 下降的原因与前者一致, 之后上升是受港口建设的影响, 导致建筑用地等斑块数量增多, 导致景观破碎度有所上升。

4 讨论

4.1 滩涂围垦特征对景观格局变化影响

江苏盐城海滨地区围垦特征可以从时间和空间两个方面概括。从围垦时间上看, 1973—2013 年 5 个时段内, 围垦面积呈升降交替的特征。沈永明等^[5]在对江苏沿海围垦现状的研究结果表明: 从 20 世纪 50 年代开始到现在, 总体上看, 江苏沿海滩涂年平均围垦面积有减少的趋势, 而在每一个时期又呈现出 10a 间隔的一升一降特性。这一结果与本次研究结果基本一致(图 3)。然而围垦面积这样一升一降特征, 导致景观格局变化也出现类似的差异: 如 1995—2005 年, 围垦面积较大, 相应地斑块面积和景观破碎度变化也较大; 而在 2005—2013 年, 围垦面积、斑块面积和景观破碎度方面变化较小。从围垦区域的空间分布看, 1973—2013 年围垦区域平行于海岸线, 且呈条带状向海推进, 这种条带带宽在推进过程中逐渐变窄, 这从侧面反应围垦难度增大, 围垦强度总体下降。王红艳等^[2]在研究江苏沿海滩涂的淤积状况中指出, 现实情况中江苏沿海围垦速率远快于滩涂的自然淤长速率, 起围高程在逐年降低, 90 年代下降到 3.7 m 左右, 2004 年围成的大唐吕四港电厂围区的起围高程更降低到了 3 m 以下, 这也侧面反应沿海围垦难度逐渐加大, 可围区域不断减少。1995 年以前围垦区域基本在海堤以内, 而之后围垦活动在海堤外进行, 随着堤外围垦活动不断进行, 海滨地区景观结构由原来自然景观为主逐渐转为人工景观占主导, 斑块形状逐渐趋于简单规则, 景观多样性逐渐下降。本文对围垦特征与景观格局变化关系作出的研究还停留于现象分析, 而更多有关围垦与景观生态学影响机理的研究目前仍然缺乏, 今后应将围垦引起的潮滩生态因子变化与景观格局变化相联系, 对其中的内在关联进行探讨。

4.2 垦区利用方式对景观格局变化影响

另外, 从垦区景观格局变化比较中发现, 围垦后垦区利用方式差异对景观格局变化具有一定的影响。杨晓玲等^[21]对不同利用方式的垦区(农业区、笆斗区和三仓区)景观格局变化差异进行分析: 农业区(以种植业为主)景观破碎度减小, 斑块形状趋于简单规则; 笆斗区(以种植业、林业和养殖业为主)和三仓区(以种植业、养殖业和风力发电为主)景观破碎度增大, 斑块形状趋于复杂自然。本文研究也表明, 不同利用方式的垦区斑块形状和破碎度变化也存在差异, 特别是破碎度方面, 海丰垦区变化最为复杂, 呈“升—降—升”趋势, 由 0.04 升到 0.70, 再降到 0.35, 最后再升到 0.56; 海北垦区呈“降—升—降”趋势, 由 0.48 降到 0.38, 再升到 0.60, 最后再降到 0.44; 而金丰垦区呈“升—降”趋势, 由 1.19 上升到 2.49, 再降到 1.98(图 6—图 8)。出现这种差异的原因可能是因为: 以种植业为主的垦区, 对土地质量要求较高, 加之垦区建立时间较早, 垦区开发水平和力度也较低, 围垦后土壤脱盐时间相对较长, 因此围垦周期较长, 局部地区在较长时间内出现围而不垦的现象, 这也为景观格局变化留下了较多的“痕迹”, 如海北垦区; 以养殖业为主的垦区, 对土地质量要求相对较低, 加

之垦区建立时间较晚,垦区开发水平和力度也较高,因此土地覆盖类型变化较快,围垦周期较短,景观格局变化过程较短暂,如金丰垦区;而两种开发方式混合开发的垦区,受到这两种开发方式的综合影响,如海丰垦区。围垦方式差异与景观格局变化方面确实存在一定的联系,而受数据的限制,本文及之前的研究中都没有得出其中内在的本质关联,更多有关机理性联系,需要对更多垦区景观数据进行分析。

5 结论

1973—2013 年江苏盐城海滨地区围垦特征以 10a 为间隔,围垦区域平行于海岸线呈条带状向海推进,且条带逐渐变窄;围垦难度逐渐加大,总体上围垦强度呈减小趋势,过程上围垦面积呈升降交替状态;围垦后垦区利用方式差异,主要以种植业和养殖业为主。这种围垦特征对区域和垦区景观格局变化的影响如下:

(1) 区域景观格局变化方面,1973—2013 年,已围垦区域自然植被面积共减少了 30551 hm^2 ,斑块形状指数均降到 1.08 左右,整体形状趋于简单规则,破碎化程度分别上升了 0.21、0.23 和 0.17,多样性均先升后降,升幅约 0.8,降幅约 0.5;而未围垦区域自然景观面积增加了 4753 hm^2 ,斑块形状由 1.10 上升到 1.15,整体形状日益复杂自然,景观破碎度保持较低水平,在 0.17—0.21 之间,而景观多样性指数上升了 0.41。

(2) 垦区内部景观格局变化方面,海北、海丰、金丰垦区自然景观不断向人工景观转移,围垦期间分别转移了 5691、4781 和 2022 hm^2 ;海北和海丰垦区斑块形状不断趋于简单规则,形状指数分别下降 0.8 和 0.5,而金丰垦区形状指数上升了 0.4;景观破碎度方面 3 个垦区分别呈“升—降—升”、“降—升—降”和“升—降”趋势。

(3) 各垦区景观格局变化比较方面,围垦前,各垦区景观面积和斑块形状变化差异不大,而受地理位置距海远近的影响,景观破碎度变化差异明显,海丰垦区上升了 0.15,海北垦区下降了 0.1,而金丰垦区上升了 0.52;围垦期间各垦区景观格局变化较一致;围垦后,各垦区景观格局变化也基本维持围垦末期状态,除非受新一轮人类活动干扰。

参考文献(References):

- [1] 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. 自然资源学报, 2005, 20(6): 822-829.
- [2] 王艳红,温永宁,王建,张忍顺. 海岸滩涂围垦的适宜速度研究——以江苏淤泥质海岸为例. 海洋通报, 2006, 25(2): 15-20.
- [3] 张长宽,陈君,林康,丁贤荣,袁汝华,康彦彦. 江苏沿海滩涂围垦空间布局研究. 河海大学学报:自然科学版, 2011, 39(2): 206-212.
- [4] 陈君,张长宽,林康,丁贤荣,袁汝华. 江苏沿海滩涂资源围垦开发利用研究. 河海大学学报:自然科学版, 2011, 39(2): 213-219.
- [5] 沈永明,冯年华,周勤,刘咏梅,陈子玉. 江苏沿海滩涂围垦现状及其对环境的影响. 海洋科学, 2006, 30(10): 39-43.
- [6] Yan H K, Wang N, Yu T L, Fu Q, Liang C. Comparing effects of land reclamation techniques on water pollution and fishery loss for a large-scale offshore airport island in Jinzhou Bay, Bohai Sea, China. Marine Pollution Bulletin, 2013, 71(1/2): 29-40.
- [7] 毛志刚,谷孝鸿,刘金娥,任丽娟,王国祥. 盐城海滨盐沼湿地及围垦农田的土壤质量演变. 应用生态学报, 2010, 21(8): 1986-1992.
- [8] 邬建国. 景观生态学-格局、过程、尺度与等级. 北京:高等教育出版社, 2000.
- [9] David H. Spatial structure of disturbed landscapes in Slovenia. Ecological Engineering, 2005, 24(1/2): 17-27.
- [10] Parker D C, Meretsky V. Measuring pattern outcomes in an agent-based model of edge-effect externalities using spatial metrics. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2004, 101(2/3): 233-250.
- [11] Fahrig L, Baudry J, Brotons L, Burel F G, Crist T O, Fuller R J, Sirami C, Siriwardena G M, Martin J L. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. Ecology Letters, 2011, 14(2): 101-112.
- [12] Okanga S, Cumming G S, Hockey P A R, Peters J L. Landscape structure influences avian malaria ecology in the Western Cape, South Africa. Landscape Ecology, 2013, 28(10): 2019-2028.
- [13] 王艳芳,沈永明. 盐城国家级自然保护区景观格局变化及其驱动力. 生态学报, 2012, 32(15): 4844-4851.
- [14] 左平,李云,赵书河,周鑫,滕厚峰,陈浩. 1976 年以来江苏盐城滨海湿地景观变化及驱动力分析. 海洋学报, 2012, 34(1): 101-108.
- [15] 李玉凤,刘红玉,孙贤斌,朱丽娟. 基于水文地貌分类的滨海湿地生态功能评价——以盐城滨海湿地为例. 生态学报, 2010, 30(7): 1718-1724.
- [16] 张华兵,刘红玉,李玉凤,候明行. 自然条件下海滨湿地土壤生态过程与景观演变的耦合关系. 自然资源学报, 2013, 28(1): 63-72.
- [17] Hargis C D, Bissonette J A, David J L. The behavior of landscape metrics commonly used in the study of habitat fragmentation. Landscape Ecology, 1998, 13(3): 167-186.
- [18] Peng B R, Lin C C, Jin D, Rao H H, Jiang Y X, Liu Y. Modeling the total allowable area for coastal reclamation: a case study of Xiamen, China. Ocean & Coastal Management, 2013, 76: 38-44.
- [19] 李加林,杨晓平,童亿勤. 潮滩围垦对海岸环境的影响研究进展. 地理科学进展, 2007, 26(2): 43-51.
- [20] 高宇,赵斌. 人类围垦活动对上海崇明东滩滩涂发育的影响. 中国农学通报, 2006, 22(8): 475-479.
- [21] 杨晓玲,沈永明. 滩涂围垦对东台海岸带景观格局影响研究. 海洋科学, 2012, 36(1): 94-99.