

近40年盐城海岸带湿地景观结构动态研究

闫文文^{1,2}, 谷东起¹, 孙惠凤¹, 赵晓龙¹, 赵锦霞^{1,2},
王晶¹, 黄沛^{1,2}, 明洁³, 王景川¹

(1.自然资源部第一海洋研究所, 山东 青岛 266061; 2.中国海洋大学 海洋环境与生态教育部重点实验室, 山东 青岛 266100; 3.青岛大学 外语学院, 山东 青岛 266071)

摘要: 基于地理信息和遥感技术, 应用景观格局指数法, 以 1980 年盐城海岸带植被图和 4 期 (1991 年, 2000 年, 2008 年, 2018 年) 遥感影像为数据源, 提取了 5 个时期的湿地景观信息, 通过计算能够准确反映景观结构变化的景观多样性指数、优势度指数、均匀度指数、分形维数、破碎化指数和廊道密度指数等, 分析了研究区近 40 年的湿地景观结构动态变化特征。研究结果表明, 盐城海岸带自然湿地面积锐减, 景观结构发生了明显变化。景观多样性指数和均匀度指数均表现为 0.4 倍的增大趋势, 优势度指数则表现为 0.4 倍的减小趋势; 廊道密度指数和景观斑块破碎化指数均表现为逐年增大的趋势, 前者增大了 18 倍, 后者增大了 13 倍; 分形维数平均值 1.05 是人工湿地和自然湿地的界限值。盐城海岸带湿地景观结构变化总体上呈斑块数量增加、单个斑块面积减小、廊道长度增加和景观破碎化加剧的趋势。

关键词: 长时间尺度; 盐城; 海岸带; 湿地; 景观结构

中图分类号: P74 文献标识码: A 文章编号: 1007-6336(2022)03-0437-07

Dynamic study on landscape structure of Yancheng coastal wetlands in recent 40 years

YAN Wen-wen^{1,2}, GU Dong-qi¹, SUN Hui-feng¹, ZHAO Xiao-long¹,
ZHAO Jin-xia^{1,2}, WANG Jing¹, HUANG Pei^{1,2},
MING Jie³, WANG Jing-chuan¹

(1.The First Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Qingdao 266061, China; 2.Key Laboratory of Marine Environment and Ecology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 3.School of Foreign Languages, Qingdao University, Qingdao 266071, China)

Abstract: Based on GIS and RS, using landscape pattern index method, taking the vegetation map of the coastal zone of Yancheng in 1980 and remote sensing images of four periods(1991, 2000, 2008, 2018) as data sources, the information of wetlands landscape elements in five periods was extracted, and the landscape diversity index, dominance index, evenness index, fractal dimension, fragmentation index and corridor density index which can accurately reflect the changes of landscape structure were calculated. The results show that from 1980 to 2018, the landscape structure of wetlands landscape area in the coastal zone of Yancheng has changed obviously, and

收稿日期: 2021-04-29, 修订日期: 2021-12-21

基金项目: 科技基础资源调查专项(中沙群岛及邻近海域海洋水动力环境调查, 2018FY100102); 国家重点研发计划(海水淡化取水口优化布局与预处理技术研究, 2018YFC0408001); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(海岸带保护区保护范围围选划方法研究, 2014G16)

作者简介: 闫文文(1985-), 男, 研究生, 山东招远人, 工程师, 主要从事海岛海岸带环境演变及海洋资源保护利用方面研究, E-mail: yanwenwen@fio.org.cn

通讯作者: 谷东起, E-mail: friendgu@fio.org.cn

the landscape diversity index and evenness index have both increased by 0.4 times, while the dominance index has decreased by 0.4 times. The corridor density index shows a trend of increasing year by year, increasing by 18 times; the fragmentation index of landscape patches increased by 13 times; the average fractal dimension of 1.05 is the boundary value between constructed wetlands and natural wetlands. The landscape structure change of the coastal wetlands of Yancheng generally shows the trend of increasing the number of patches, decreasing the area of single patch, increasing the length of corridor and intensifying the fragmentation of landscape.

Key words: long time scale; Yancheng; coastal zone; wetlands; landscape structure

海岸带湿地受海洋和陆地双重影响^[1],具有丰富的生物多样性、显著的生态服务功能和价值^[2-3]。景观结构是人类活动和自然环境耦合作用的结果^[4-5],其动态变化控制着海岸带区域内物质和能量的传递、交换和转化,制约着人类的生产和生活方式,影响到生物物种延续和生态系统平衡。景观格局指数法是目前研究海岸带湿地景观变化的主要方法之一^[6-10]。通过掌握景观结构的动态变化,揭示海岸带湿地演变与人类活动的响应关系,是海岸带湿地科学研究的重要理论基础,已成为海洋领域的研究热点^[11-13]。

盐城海岸带湿地是全球最重要的国际湿地之一^[14],研究人员关注到其特有的景观结构、功能和格局分布,在景观生态系统、植被演替、土地利用变化及驱动力分析等方面已取得了一系列研究成果^[15-18],对了解研究区的生态环境演变乃至全球环境变化均产生了重要意义。然而,为满足社会经济发展需求,盐城海岸带地区人类开发活动表现为利用类型多变、强度稳定性差等更为复杂的态势,现有的成果具有时效性差、时间尺度小、区域局限性大等不足,已很难更深层次地准确反映当前海岸带湿地景观的结构变化。

本文以江苏盐城海岸带湿地作为研究对象,基于5期景观类型、分布和面积等数据,应用景观格局指数分析法,开展了长时间尺度、大区域范围的湿地景观结构动态变化研究,以期揭示研究区海岸带湿地景观内层结构组成和空间配置特征,掌握景观结构动态变化规律及其演变趋势,为科学保护管理和合理开发利用海岸带湿地资源提供科学依据。

1 数据来源与方法

1.1 数据处理

湿地景观数据来源主要包括数字栅格图和

遥感影像,其中,数字栅格图为1980年第1次海岸带调查植被分布图(扫描分辨率300DPI),比例尺为1:200000,西安1980坐标系。遥感影像共分4景,分别为1991年和2000年TM影像(空间分辨率为30m)和2008年SPOT5影像(空间分辨率为5m)以及2018年的OLI影像(空间分辨率为30m)。

通过现场调查,利用RTK测量研究区域内均匀分布的地面控制点(定位精度优于0.5m,坐标系为WGS84),并获取湿地景观类型的遥感解译标志。基于地面控制点对SPOT5影像进行几何精校正,误差小于2个像素。为了保证空间参考一致,利用精校正的SPOT5影像分别配准2景TM影像和1景OLI影像,配准误差均小于1个像素,并对SPOT5影像进行降分辨率处理,使之与TM、OLI影像的空间分辨率相同,从而保证空间尺度的一致性和湿地分类结果的可比性。首先,以植被分布图上的经纬网交叉点为控制点,对栅格图进行几何校正处理,校正误差小于2个像素。然后,利用七参数法将其坐标系统转换为WGS84坐标系,使之与遥感影像的空间参考一致。1:200000比例尺的植被专题图与30m空间分辨率遥感影像反映的湿地景观空间尺度基本一致,具有可比性。最后,以潮位最高的2000年TM遥感影像的研究区域范围为基准,切割其他时期影像,从而获得相同潮位下的5期湿地景观分布数据。

将以上数据处理后,根据研究区海岸带植被类型、分布特点和土地开发利用状况,并借鉴前人的成果^[4,14],将湿地景观类型划分为自然湿地和人工湿地,其中,自然湿地类型包括河口水域、盐蒿滩、芦苇沼泽、互花米草滩、光滩湿地5种;人工湿地类型包括建设用地、养殖池、盐田和耕地4种。在GIS处理分析软件的支持下,基

于解译标志,利用监督分类和专家分类相结合的方法,进行湿地景观类型、斑块数量、面积和周长等属性数据提取,最终得到 1980 年、1991 年、

2000 年、2008 年和 2018 年 5 期湿地景观格局分布数据(见图 1),并以此为据分析各时期研究区湿地景观结构特征及其动态变化趋势。

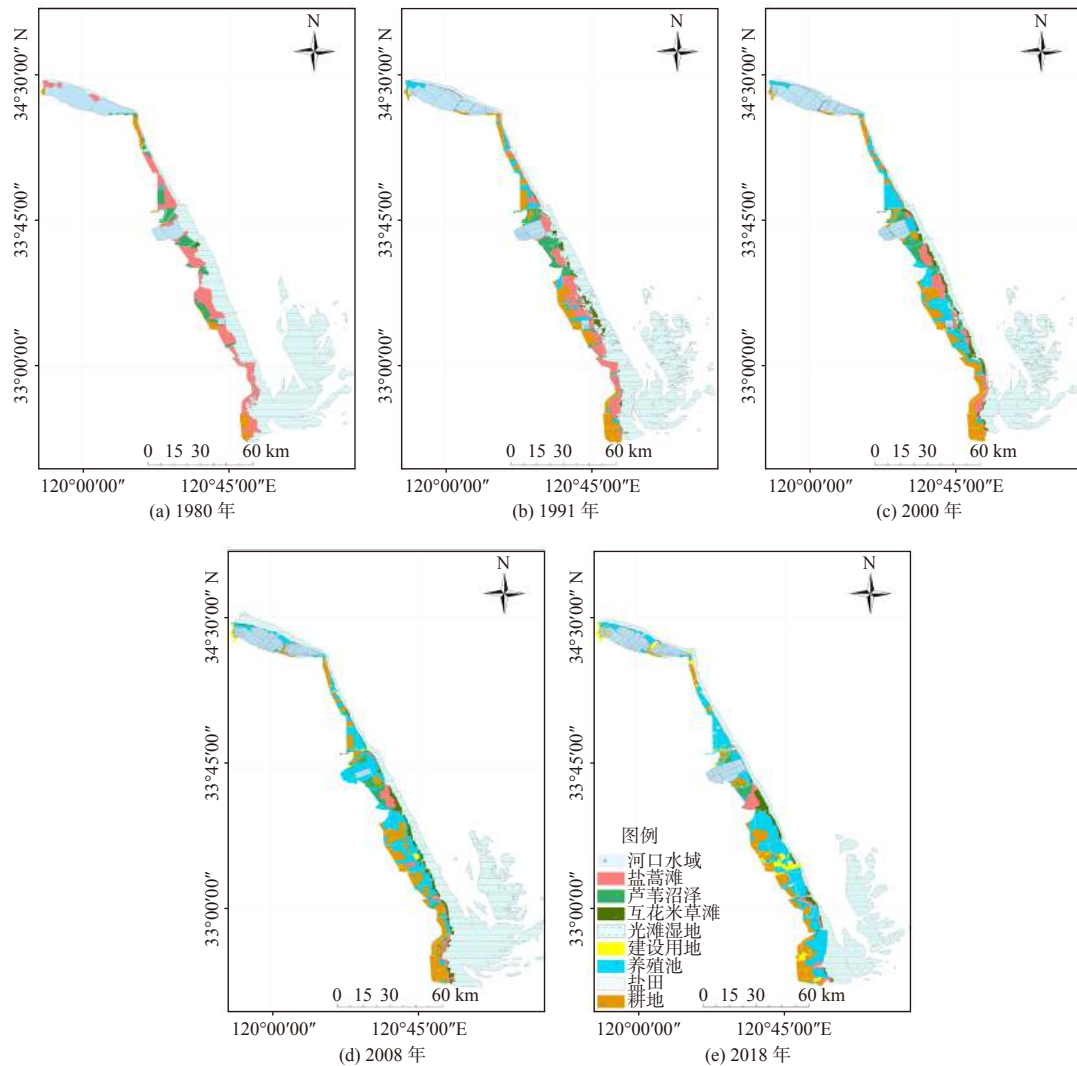


图 1 近 40 年来盐城海岸带湿地景观格局演变

Fig. 1 Landscape pattern evolution of yancheng coastal wetlands in recent 40 years

1.2 研究方法

景观指数高度浓缩景观格局信息,是能够准确反映景观内层结构组成和空间配置特征的定量指标^[19-20]。目前景观格局指数法主要应用于陆地、城市等景观分析^[21-23],是一种较为成熟、可信的景观结构研究方法。研究重点不同,选取的景观结构参数也会不同。为详细分析 5 个时段湿地景观结构的动态变化规律及其演变趋势,本文引入景观多样性指数 H 、优势度指数 Do 、均匀度指数 E 、斑块的分形维数 D 、景观斑块破碎

化指数 FN 以及廊道密度指数 $I(x)$ 等景观结构指数模型^[24],并应用景观结构指数软件计算各景观结构的参数。

多样性指数表示湿地景观类型的多样性;优势度指数表示由少数主要景观类型控制的程度;均匀度指数表示不同景观类型的分配均匀程度;斑块分形维数表示景观斑块的自相似程度;破碎化指数表示景观的破碎化程度;廊道密度指数反映斑块间的连通性,是分割景观、造成景观进一步破碎的主要因素,单位面积内廊道越长,景观

破碎化程度越高。

多样性指数的计算公式为:

$$H = - \sum_{k=1}^m (p_k) \log_2(p_k) \quad (1)$$

式中: P_k 为 k 种景观类型占总面积的比, m 是研究区中景观类型的总数。

优势度指数计算公式为:

$$Do = H_{\max} + \sum_{k=1}^m (p_k) \log_2(p_k) \quad (2)$$

式中: H_{\max} 为各类景观所占比例相等时的多样性指数, 即最大多样性指数。

均匀度指数计算公式为:

$$E = (H/H_{\max}) \times 100\% \quad (3)$$

分形维数计算公式为:

$$D = 2 \ln(P/K) / \ln A \quad (4)$$

式中: P 为单个斑块周长; A 为单个斑块面积; $K=4$ 为常数, 一般 D 值为 1 ~ 2。

破碎化指数计算公式为:

$$FN = (Np - 1) / Nc \quad (5)$$

式中: Nc 为景观数据矩阵的方格网中格子总数; Np 为景观里各类斑块的总数, 一般 FN 值为 0 ~ 1。

廊道密度指数计算公式为:

$$I(x) = L/A \quad (6)$$

式中: $I(x)$ 为廊道密度指数; L 为廊道总长度; A 为景观总面积。

2 结果与讨论

2.1 景观面积和斑块变化特征

海岸带湿地受人为和自然因素控制, 其水质、土壤、地形、地貌以及植被等会发生变化, 彼此之间也相互影响和制约, 从而导致景观结构发生分异, 产生不同类型的景观斑块。同时, 随着人类活动影响的加剧, 景观面积也会随之发生变化, 呈现多类型的景观面积变化模式。

对于整体平缓的盐城海岸带区域, 地形是影响滨海植被分布的主要因素之一。相关研究表明^[25], 由陆向海, 芦苇沼泽主要分布于高程 2.1 ~ 2.7 m, 盐蒿滩则主要分布于 1.5 ~ 2.1 m, 互花米草滩主要分布于 0.9 ~ 1.5 m, 具有明显的梯度分布特征, 这在图 1 中也得到了验证。

景观面积变化由表 1 所示, 其模式可总结概括为逐年增长型、逐年减少型、先增后减型以及先减后增再减型。

表 1 湿地景观面积变化(ha)

Tab.1 The change of Yancheng coastal wetlands area(ha)

年份	河口水域	建设用地	盐蒿滩	芦苇沼泽	互花米草	耕地	养殖池	盐田	光滩湿地
1980	2120	0	62293	20094	584	10354	486	43609	324293
1991	3176	328	42398	23943	15245	24685	18517	47394	202444
2000	3777	1148	19813	15089	19828	41797	38695	50177	147553
2008	4051	3303	12628	14113	12606	50710	66064	32261	231910
2018	4782	11262	9764	12357	10479	52896	71579	26118	204652

逐年增长型的景观类型包括河口水域、建设用地、耕地和养殖池, 其中河口水域和耕地的增长速度较为稳定, 年平均增长约 70.1 ha 和 1119.5 ha; 建设用地和养殖池则表现为爆发增长的态势, 年平均增长分别约为 296.4 ha 和 1870.9 ha。

逐年减少型的景观类型主要为盐蒿滩, 由 1980 年的 62293 ha, 快速减少到 2018 年的 9764 ha, 年平均减少约 1382.3 ha。

先增后减型的景观类型包括芦苇沼泽、互花

米草滩以及盐田。其中, 芦苇沼泽在 1980—1991 年为增长阶段, 年平均增长约 349.9 ha, 1991—2018 年为快速减少阶段, 年平均减少约 429.1 ha。互花米草滩在 2000 年之前为增长阶段, 其中 1980—1991 年增长速度最快, 年平均增长约 1332.8 ha, 1991—2000 年增速放缓, 年平均增长约 509.2 ha, 2000—2018 年则进入快速减少阶段, 年平均减少约 519.4 ha。盐田在 2000 年之前为稳定增长阶段, 由 1980 年的 43609 ha 增加至

2000年的50177 ha, 年平均增长约328.4 ha, 2000年之后则进入快速减少阶段, 年平均减少约1336.6 ha。

1980年、1991年、2000年、2008年和2018年研究区景观斑块数量分别为160个、505个、623个、1081个和2157个, 表现为快速增多的变化模式。近40年来, 斑块数量增加了近13倍。

盐城海岸带湿地不同景观类型面积变化的模式多样和景观斑块数量的迅速增多, 均说明了自然环境与人类活动综合作用的日渐复杂。地形差异、互花米草外来生物入侵等自然环境变化和经济利益驱使、人口压力影响导致的湿地围垦等人类活动, 是控制研究区湿地景观面积和斑块数量发生剧变的主要原因^[4]。特别是围垦后建设用地、养殖池以及盐田等人工湿地景观面积和斑块数量的增加^[26], 使人类活动对海岸带湿地的干扰程度不断加强。人类活动已逐渐替代自然环境, 成为控制研究区景观面积变化的主导因素。

2.2 景观多样性、优势度、均匀度变化解析

景观多样性指数反映景观类型数量和所占比例的变化, 揭示景观的复杂程度。1980—2000年(表2), 研究区景观多样性指数呈逐渐增大的态势, 由1.4474增大为2.4423, 增大了0.9949, 表明该阶段研究区景观类型数量和面积比例有所增加, 主要表现为建设用地景观类型的增加和互花米草滩、耕地、养殖池等人工景观面积比例的快速增长。2000年以后, 随着盐蒿滩、互花米草滩以及盐田面积的逐步缩减, 景观多样性指数开始下降至2018年的2.0781, 减小0.3642。近40年来, 景观多样性指数增大了约0.4倍。

优势度指数的增减揭示优势景观类型的变化, 数值越大, 表明景观类型间的数量和面积比差异越大, 占主导地位的景观要素越明显。1980年, 研究区除北部盐田分布区外, 受人类活动影响程度较弱, 光滩湿地、盐蒿滩和芦苇沼泽等景观斑块大面积存在, 自然湿地占主导地位, 优势度指数最高, 达到1.5526。随着人类开始高强度开发利用湿地, 至2000年, 光滩湿地、盐蒿滩和芦苇沼泽等被大面积开垦利用为盐田、养

殖池、耕地和建设用地等, 削弱了原优势景观类型的主导地位, 优势度指数下降至0.5577, 此时光滩湿地、盐田和耕地为主导景观类型。2000年以后, 人类受经济利益的驱使, 收益更高的养殖池和耕地面积迅速增大, 盐田面积萎缩, 优势度指数出现上升波动。至2018年, 光滩湿地、养殖池和耕地成为主导地位景观类型, 优势度指数增长至0.8865。近40年来, 优势度指数减小了约0.4倍。

表2 景观多样性、优势度和均匀度指数

Tab.2 The diversity, dominance and evenness landscape structure indexes of Yancheng coastal wetlands

年份	<i>H</i>	<i>Do</i>	<i>E</i>
1980	1.4474	1.5526	0.4825
1991	2.1878	0.8122	0.7293
2000	2.4423	0.5577	0.8141
2008	2.1213	0.7768	0.7071
2018	2.0781	0.8865	0.6769

均匀度指数揭示景观类型分配的均匀程度, 数值越大, 表明不同景观类型分配越均匀, 面积差距越小。研究区均匀度指数增减趋势与多样性指数一致, 均表现为1980—2000年逐渐增大, 2000—2018年逐步减小。1980年, 研究区无建设用地分布, 优势景观类型为光滩湿地、盐田、盐蒿滩和耕地, 优势景观与其他景观类型差距大, 均匀度指数最小, 为0.4825。1980年以后, 随着优势景观面积的逐渐缩减, 非优势景观面积的递增, 各类景观类型分配差距变小, 均匀度指数增加至2018年的0.6769, 增大了0.1944, 增大约0.4倍, 表明不同景观类型的分配均匀程度增强, 趋于一致。

2.3 分形维数变化解析

分形维数揭示不同景观类型占有空间的有效性, 反映斑块不规则性的程度, 是对不规则图形的定量描述, 一般数值处于1~2。分形维数越趋近于1, 则斑块的几何形状越趋向简单, 斑块形状越有规则、自相似程度也越高, 表明受人类控制的程度也越大。在表3的5个时期景观斑块分形维数中, 盐田分形维数的平均值最小, 为1.0272, 其次为养殖池、耕地和建设用地, 分形

维数平均值分别是 1.0329、1.0354 和 1.0465, 均小于 1.05。

分形维数的变化主要是由于盐田、养殖池、耕地和建设用地等属于人为加工产物, 形状一般较为简单且规则, 常近似于长方形, 斑块间的自相似程度较高, 因此分形维数较低。光滩湿

地、互花米草滩、盐蒿滩、芦苇沼泽和河口水域等分形维数平均值则较大, 均大于 1.05, 其中河口水域分形维数平均值最大, 为 1.1789。说明自然湿地景观受人类活动的影响较小, 斑块形状复杂且不规则、自相似程度较低, 因此分形维数平均值较大。

表 3 景观斑块分形维数

Tab.3 The landscape patches fractal dimension of Yancheng coastal wetlands

景观类型	D					平均值
	1980	1991	2000	2008	2018	
河口水域	1.1308	1.1795	1.1876	1.2040	1.1928	1.1789
建设用地	—	1.0470	1.0486	1.0493	1.0413	1.0465
盐蒿滩	1.0228	1.0372	1.0685	1.0929	1.0816	1.0606
芦苇沼泽	1.0316	1.0904	1.0902	1.1071	1.1004	1.0839
互花米草滩	1.0289	1.0465	1.0476	1.0849	1.0932	1.0602
耕地	1.0216	1.0322	1.0456	1.0443	1.0335	1.0354
养殖池	1.0091	1.0281	1.0428	1.0390	1.0457	1.0329
盐田	1.0204	1.0255	1.0329	1.0278	1.0294	1.0272
光滩湿地	1.0350	1.0585	1.0632	1.0489	1.0577	1.0526

2.4 景观斑块破碎化变化解析

景观斑块破碎化指数揭示了景观斑块在给定时间内斑块数量的变化程度, 在较大尺度景观结构的研究中, 斑块破碎化状况与景观格局、湿地生态功能、能量流动以及人类活动等密切相关, 是各类湿地景观的重要属性特征之一。景观斑块破碎化指数越大, 说明景观斑块数量越多, 破碎化程度越剧烈。

研究区 1980 年景观斑块破碎化指数为 0.0034(表 4), 此时有大面积盐蒿滩、芦苇沼泽等自然湿地景观斑块存在, 斑块总数量较小, 且单个斑块面积较大。1991 年景观斑块破碎化指数迅速增大至 0.0133, 增大了近 3 倍, 可以看出人类开发利用海岸带湿地程度迅速增强。2000 年景观斑块破碎化指数为 0.0185, 并逐年递增, 最终增加到 2018 年的 0.0483。

表 4 景观斑块破碎化指数

Tab.4 The Landscape patches fragmentation index of Yancheng coastal wetlands

年份	1980	1991	2000	2008	2018
FN	0.0034	0.0133	0.0185	0.0254	0.0483

近 40 年来, 景观破碎化指数增大了 13 倍。这表明盐城海岸带湿地的破碎化程度随着人类

干扰活动力度的增强而加剧, 特别是养殖池、盐田、建设用地等人工湿地景观斑块数量和面积的激增, 割裂了周边原有自然湿地景观类型的分布, 导致景观斑块破碎化的程度日渐强烈。

2.5 廊道密度变化解析

廊道是指不同于两侧湿地景观类型的狭长地带, 在本研究区主要为堤坝、田埂、道路等。廊道是分割景观、造成景观破碎化加剧的内因, 单位景观面积的廊道越长, 景观破碎化程度越高。由表 5 可以得出, 研究区廊道密度指数表现为逐渐增大的趋势。特别是在 1980—1991 年时段, 廊道密度指数增大最为迅速, 增大了近 4 倍; 1991—2018 年增大速度相对稳定, 增大倍数均小于 1。近 40 年来, 廊道密度指数增大了 18 倍。

表 5 景观廊道密度指数

Tab.5 The Landscape patches corridor density index of Yancheng coastal wetlands

年份	1980	1991	2000	2008	2018
$l(x)/m \cdot ha^{-1}$	0.4955	2.2506	4.4687	6.8581	9.5716

廊道密度指数的迅速增大, 主要是由于人类活动不断的干扰和湿地大规模的开发利用, 特别是耕地、养殖池面积的增加, 使道路、田埂总长度迅速增加, 阻碍物质和能量交换的同时, 使廊道

密度指数逐年增大,景观破碎化程度逐年加剧。

3 结论

(1)大面积自然湿地景观被人工湿地景观替代,面积增加最明显的是建设用地,特别是研究区中部和南部区域。景观面积变化模式主要包括逐年增长型、逐年减少型、先增后减型和先减后增再减型4种。

(2)建设用地景观类型的增加和互花米草滩、耕地、养殖池等景观面积比例的快速增长,导致景观多样性指数迅速减小;斑块面积较小的人工湿地景观,逐渐取代了原有斑块面积较大的自然湿地景观,景观类型间的数量和面积比差异变小,景观类型分配的均匀程度变大,人工景观成为主导景观,是优势度指数减小、均匀度指数变大的主要原因;人工湿地景观斑块数量和面积的迅速增长是斑块破碎化指数和廊道密度指数迅速增大的主要原因;人工湿地景观和自然湿地景观斑块分形维数平均值的界限约为1.05,可作为区分自然湿地和人工湿地类型的重要参数。

(3)人类高强度开发利用海岸带湿地资源是景观类型替代、斑块数量增加、单个斑块面积变小、景观类型分配趋于均匀、廊道长度增加、景观破碎化逐年加剧的直接原因。严格控制人类的开发强度,认真落实集约、节约的规划用地政策,加强监督执法,并因地制宜实施退耕还湿、退养还湿等,逐步减少人工湿地类型、斑块数量和增加单个景观的斑块面积,是有效保护和合理利用海岸带湿地资源的重要举措。

参考文献:

- [1] MITSCH W J, GOSELINK J G. Wetlands[M]. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2000.
- [2] 毛志刚,王国祥,刘金娥,等.苏北滨海湿地不同植被带沉积物粒度特征分析[J].海洋科学进展,2008,26(4):454-463.
- [3] MARTIN C A, PROULX R, VELLEND M, et al. How the relationship between vegetation cover and land-cover variance constrains biodiversity in a human dominated world[J]. Landscape Ecology, 2021, 36(11): 3097-3104.
- [4] 闫文文,谷东起,王勇智,等.盐城海岸带湿地景观演变分析[J].中国海洋大学学报,2012,42(12):130-137.
- [5] LI Y N. Research progress of landscape ecology[J]. Journal of Landscape Research, 2021, 13(4): 67-68,72.
- [6] SU M R, ZHENG Y, HAO Y, et al. The influence of landscape pattern on the risk of urban water-logging and flood disaster[J]. Ecological Indicators, 2018, 92: 133-140.
- [7] SCHNEIDE D C. The rise of the concept of scale in ecology: the concept of scale is evolving from verbal expression to quantitative expression[J]. BioScience, 2001, 51(7): 545-553.
- [8] 刘润红,梁士楚,赵红艳,等.中国滨海湿地遥感研究进展[J].遥感技术与应用,2017,32(6):998-1011.
- [9] 柏叶辉,李洪忠,李向新,等.1990年以来4个时期深圳市海岸线与海岸带景观格局及其对人类活动强度的响应[J].湿地科学,2019,17(3):335-343.
- [10] 褚琳,黄翀,刘庆生,等.2000-2010年辽宁省海岸带景观格局与生境质量变化研究[J].资源科学,2015,37(10):1962-1972.
- [11] 何艳虹.基于GIS—RS的海口市海岸带景观格局变化分析[J].资源与环境,2014(9):101.
- [12] 刘世梁,安南南,尹艺洁,等.广西滨海区域景观格局分析及土地利用变化预测[J].生态学报,2017,37(18):5915-5923.
- [13] 黄建涛,郑伟,万年新,等.近30年来莱州湾滨海湿地景观格局变化特征研究[J].海洋科学,2021,45(2):76-90.
- [14] 李杨帆,朱晓东,邹欣庆,等.江苏盐城海岸湿地景观生态系统研究[J].海洋通报,2005,24(4):46-51.
- [15] WANG C. Impacts of expansion of spartina alterniflora on Yancheng tidal flat wetland in Jiangsu Province of China[J]. Journal of Landscape Research, 2017, 9(1): 65-70.
- [16] 孙贤斌,刘红玉,傅先兰.土地利用变化对盐城自然保护区湿地景观的影响[J].资源科学,2010,32(9):1741-1745.
- [17] 王琳,卢小凤.基于TM影像的盐城市土地利用时空变化研究[J].中国农学通报,2011,27(4):464-468.
- [18] 何华春,周汝佳.基于景观格局的盐城海岸带土地利用时空变化分析[J].长江流域资源与环境,2016,25(8):1191-1199.
- [19] 邬建国.景观生态学:格局、过程、尺度与等级[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [20] 陈利顶,刘洋,吕一河,等.景观生态学中的格局分析:现状、困境与未来[J].生态学报,2008,28(11):5521-5531.
- [21] 王振宇,付梅臣,胡利哲.汉沽农场景观指数筛选与景观格局分析[J].安徽农业科学,2011,39(18):11148-11151,11259.
- [22] 吴浩,孙钰蓉,崔巍,等.基于景观指数的武汉市轨道交通沿线土地利用变化研究[J].安徽农业科学,2009,37(31):15602-15604.
- [23] 游丽平,林广发,杨陈照,等.景观指数的空间尺度效应分析——以厦门岛土地利用格局为例[J].地球信息科学,2008,10(1):74-79.
- [24] 谷东起,赵晓涛,夏东兴,等.基于3S技术的朝阳港潟湖湿地景观格局演变研究[J].海洋学报,2005,27(2):91-97.
- [25] 侯明行,刘红玉,张华兵,等.地形因子对盐城滨海湿地景观分布与演变的影响[J].生态学报,2013,33(12):3765-3773.
- [26] 蒋佳文,温小荣,王海龙,等.10年间盐城滨海湿地类型信息提取及动态变化分析[J].西北林学院学报,2019,34(3):167-173,184.