

黄河三角洲滨海湿地的景观格局空间演变分析

王永丽^{1,2}, 于君宝¹, 董洪芳^{1,2}, 栗云召^{1,2},
周 迪^{1,2}, 付玉芹^{1,2}, 韩广轩¹, 毛培利¹

(1. 中国科学院烟台海岸带研究所滨海湿地生态实验室, 中国科学院山东省海岸带
环境过程重点实验室, 山东 烟台 264003; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 利用GIS技术、RS影像和Fragstats3.3等景观统计软件, 从景观面积变化、景观斑块特征和景观整体水平格局等方面, 对比研究了黄河三角洲2000年和2009年湿地不同时空尺度的景观格局变化。结果表明: 10 a间黄河三角洲滨海湿地海岸线和陆地面积整体呈增长趋势, 天然湿地面积急剧减少, 平均分维数大部分降低, 湿地景观破碎度降低, 多样性和均匀性指数增加, 蔓延度指数增加。湿地景观格局指数的变化反映了旱田及水田的大面积种植, 盐田养殖业的大力发展以及石油开采等人为活动对景观格局的深刻影响, 人类活动已经成为黄河三角洲滨海湿地景观格局变化的主要驱动因子。

关键词: 滨海湿地; 3S技术; 景观格局演变; 黄河三角洲

中图分类号: X142; X171.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-0690(2012)06-0717-08

近几年景观生态学作为一门多学科之间交叉学科已成为前沿学科之一, 其研究焦点是在较大的空间和时间尺度上生态系统的空间格局和生态过程^[1-4]。它的兴起为湿地研究注入了新的活力, 为在区域尺度上开展湿地的综合研究起到了启发和指导作用^[5, 6]。景观格局变化及其驱动机制分析是地理学和景观生态学领域长期关注的热点问题^[9, 10]。目前国内外用于计算景观格局指数的应用软件包括FRAGSTAS、APACK、Patch Analyst等^[7], 可以计算上百个景观指数^[8]。

黄河三角洲位于黄河入海口处, 是中国三大河口三角洲之一, 也是中国暖温带地区最完整、最广阔、最年轻的新生湿地生态系统^[9]。这里资源丰富, 生境独特, 景观类型多样, 主要以滨海湿地、河流和河漫滩为主。但由于诸多因素影响, 黄河河口出现了黄河河道断流、淡水湿地萎缩、植被生态功能退化、物种多样性衰减等生态环境问题, 对黄河三角洲湿地生态系统稳定和区域经济社会可持

续发展产生了威胁^[14]。因此本研究选择黄河三角洲滨海湿地这一具有代表性的湿地作为研究对象。

近几年有关黄河三角洲的景观变化及其成因的研究较多^[15-18], 但时间多在2004年以前, 而且研究范围大, 就格局分析方面还不是很深入。本文以景观生态学原理为基础, 在RS和GIS技术支持下, 研究了黄河三角洲滨海湿地2000~2009年期间的景观格局的时空变化情况, 将其形成原因与黄河三角洲的发育联系起来, 并对其影响因素如时间的变化、演替以及人类活动等进行了分析。本研究分析结果将有助于黄河三角洲滨海湿地的资源利用与开发, 生物多样性的保护及资源的优化管理等。

1 区域概况和研究方法

1.1 区域概况

黄河三角洲北临渤海湾, 东靠莱州湾, 主要在山东省东营市和滨州市境内。该区独特的地理位

收稿日期: 2011-07-12; **修订日期:** 2012-03-20

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-223; KZCX2-YW-359); 公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903001); “十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAC02B01); 中国科学院国家外国专家局创新团队国际合作伙伴计划项目和中国科学院百人计划项目(O929051041)资助。

作者简介: 王永丽(1984-), 女, 山东临沂人, 博士研究生, 主要从事湿地生态过程研究工作。E-mail: ylwang@yic.ac.cn

通讯作者: 于君宝, 研究员。E-mail: Junbao.yu@gmail.com

置和气候特征,使该地区蕴藏着丰厚的湿地资源^[18]。本研究鉴于区域景观格局研究的全面性、代表性和完整性,选取位于东营市的黄河三角洲滨海湿地作为研究区域,即 $37^{\circ}26'N\sim38^{\circ}09'N$ 和 $118^{\circ}33'E\sim119^{\circ}18'E$ 之间(图1),主要包括东营市的垦利县和河口区的大部分,区内自然湿地总面积约为 $2\,200\text{ km}^2$ 。区内湿地植被以水生植被和盐生植被为主(85%以上),植物种群组成简单,建群种少,芦苇(*Phragmites australis*)、怪柳(*Tamarix chinensis*)及翅碱蓬(*Suaeda heteroptera*)分布较广,植物的分布主要受土壤盐碱化程度影响;土壤质地以轻壤土和中壤土为主,土壤类型以潮土和盐土为主;区域气候属温带大陆性季风气候,四季分明,年平均气温为 12.1°C ,年降水量为 551.6 mm ^[19,20]。

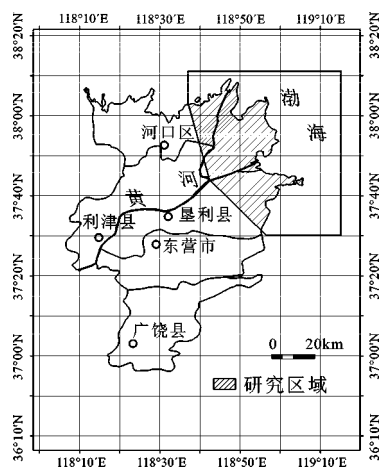


图1 研究区地理位置

Fig.1 The geographic position of coastal wetland in Yellow River Delta

1.2 数据来源和研究方法

本文所用的数据是黄河三角洲2000年和2009年空间分辨率为 30 m 的两期TM影像数据和1984年1:5万地形图,以及野外实地考察后广泛收集的有关黄河三角洲^[16-21]的研究资料。以ArcGIS和ERDAS为技术平台,对两期影像信息进行了提取和计算。首先对TM遥感图像进行几何校正,然后进行光谱特征分析,结合相关图件以及实地调查结果对遥感影像进行目视解译和分类。景观类型的划分是进行景观格局和动态分析的首要步骤,确定适宜的基本分类单元对景观生态研究十分关键^[22,23]。土地利用/土地覆被变化是景观格局变化的重要原因,且土地利用现状分类系统的

地类定义明确,因此,本文根据黄河三角洲滨海湿地的土地资源特征和景观变化差异以及Landsat影像数据特点,将黄河三角洲滨海湿地的景观划分为滩涂、河流水库、苇草地、林草地、灌草地、盐渍化湿地、盐田养殖池、农田(包括旱田和水田)和建筑用地9种类型(图2),然后通过遥感专家样地比较以及实地考察,以确保分类方法的精确性。2000年和2009年两期遥感影像的分类解译精度分别为82.58%和83.75%;总的Kappa检验值分别为80.09%和80.06%。然后应用Fragstats3.3软件来计算研究区景观的常用景观指数。

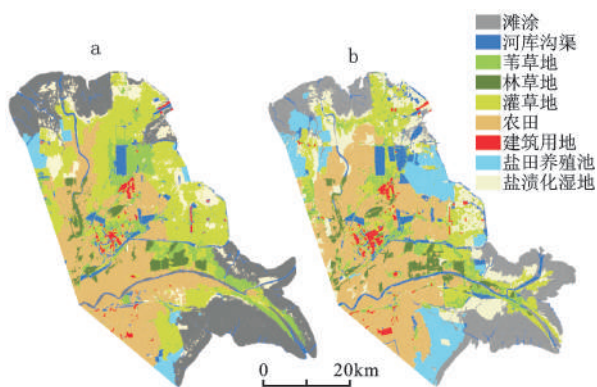


图2 2000年(a)和2009年(b)黄河三角洲滨海湿地景观类型

Fig.2 Landscape type of coastal wetland in Yellow River Delta in 2000(a) and 2009(b)

为了能够有效而准确的反应景观的结构信息,景观类型的属性数据选取斑块个数(NP)、斑块密度(PD)、平均斑块面积(MPS)、最大斑块指数(LPI)、斑块分维数(FD)、景观类型百分比(%)、蔓延度指数(Contagion Index, CONTAG)、景观优势度指数(Landscape Dominance Index, LDI)、Simpson's多样性指数(Simpson's Diversity Index, SHDI)和Simpson's均匀度指数(Simpson's Evenness Index, SHEI)等指数进行分析。

2 黄河三角洲滨海湿地景观格局分析

2.1 黄河三角洲滨海湿地面积变化

2.1.1 海岸线及陆地面积变化分析

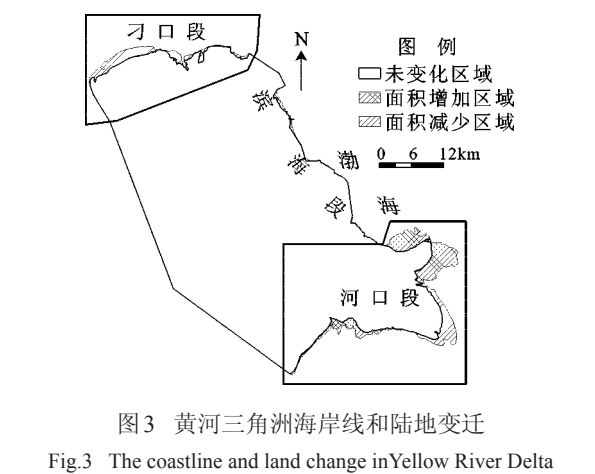
本文根据遥感影像在ArcGIS9.3中统计了2000年和2009年黄河三角洲海岸线长度与陆地面积的变化(表1、图3)。研究区2000年和2009年的总面积分别为 $2\,114\text{ km}^2$ 和 $2\,124\text{ km}^2$,年均增长 1.16 km^2 ,增长率为0.55%。面积变化主要表现为

表1 黄河三角洲海岸线长度与陆地面积变化

Table 1 The change of coastal shoreline and area in Yellow River Delta

年份	海岸线长度 (km)	刁口段陆地面积 (km ²)	河口段陆地面积 (km ²)
2000年	237.79	274.63	739.13
2009年	274.22	246.24	766.75

注: 海岸线长度为整个研究区内黄河三角洲岸线; 刁口段与河口区陆地面积分别指两个重点研究区的陆地面积。



北部刁口地区的不断侵蚀和南部河口地区的不断淤积。发生变化的主要原因是由于黄河三角洲沉积物以粉砂为主,呈松散—稍密状态,局部为淤泥质,孔隙度较高,稳定性较差^[18],极易受到海洋动力侵蚀造成海岸发生变化^[19]。

2000~2009年,黄河三角洲岸线总长度增长,增长率平均为3.6 km/a;图3显示了海岸线增长的位置主要是在河口段,刁口段无论是海岸线长度还是面积都呈缩小趋势;河口段陆地面积有增有减,但是增长幅度大于减小率。黄河三角洲海岸线变迁的总体趋势为:北部刁口地区岸线不断侵蚀后退,东北部黄河港地区基本稳定,南部河口地区受黄河断流及来水来沙量的变化,使得北汉沙嘴不断向海淤积扩张;而南部大沙嘴持续侵蚀,其陆地面积缩小。岸线的变化对景观的影响主要体现在为滩涂面积的改变。

造成上述变化的原因主要有:一方面,目前黄河河口入海流路是1976年人工改道后的新河道。1976年以来,黄河分别改道清水沟和清八汉;黄河携带泥沙向海淤积—延伸—摆动和侵蚀同时存在,侵蚀速率较慢;而刁口区的滩涂湿地面的在海水的不断侵蚀作用下开始萎缩^[26, 27]。另外黄河成陆

速度同每年的受来水来沙条件密切相关。由利津水文站的数据表明,同水沙输出量的减少相比,黄河河口区海岸线及其面积退缩的比率更明显^[26]。

河口区的部分淤积扩张,形成大片的滩涂;而刁口及河口区域的滩涂湿地面积在海水的不断侵蚀作用下萎缩,不仅失去了大片的裸露淤泥质滩涂,而且使零星分布在边缘的耐盐植物群落以及分布在地势较高处的苇草地退化消失^[27]。

2.1.2 景观类型的面积转移变化分析

黄河三角洲滨海湿地景观整体结构变化如表2所示。从各景观类型的面积与相对比重来看,9种景观类型中面积及其比重最大的是农田(包括旱田和水田),其次为滩涂和灌草地。3种景观类型在2000年所占比重相差不大,都占到总面积的20%以上,而2009年,灌草地和滩涂所占比例都有了明显的下降,苇草地面积比重相对灌草地和滩涂的降低幅度较小。其他类型的景观类型面积都有所增加,农田的面积一直是稳中有增,而盐田养殖池的面积比重增长的最大,也可反映出在研究期间黄河三角洲滨海湿地的人类活动(主要包括开垦和养殖)日益频繁和强烈。

表2 黄河三角洲滨海湿地景观类型结构

Table 2 The landscape structure of coastal wetland in Yellow River Delta in 2000 and 2009

景观类型	2000年		2009年	
	面积(km ²)	比例(%)	面积(km ²)	比例(%)
滩涂	477.78	22.61	381.23	17.95
河库沟渠	125.96	5.96	141.84	6.68
苇草地	208.82	9.88	162.88	7.70
林草地	60.87	2.88	78.48	3.70
灌草地	493.44	23.35	269.00	12.67
农田	507.74	24.01	590.62	27.80
建筑用地	24.34	1.15	37.94	1.79
盐田养殖池	52.48	2.48	212.92	10.03
盐渍化湿地	161.73	7.65	248.90	11.72

为了研究黄河三角洲滨海湿地景观类型之间的相互转化关系,利用ArcGIS9.3的空间分析中的交叉列表统计(tabulate areas)功能^[20, 29],得到景观类型转移矩阵(表3)。为了更好的分析景观类型的转移情况,将农田分为旱田和水田四化建设析。可知,2000~2009年,黄河三角洲滨海湿地盐田养殖池的面积增加迅速,盐田养殖池的增加主要是由灌草地、滩涂和盐渍化湿地转化而来的,其

表3 2000~2009年黄河三角洲滨海湿地景观类型面积转移矩阵(km²)

Table 3 Landscape conversion matrix of coastal wetland in Yellow River Delta from 2000 to 2009

	滩涂	河库沟渠	苇草地	林草地	灌草地	建筑用地	盐田养殖池	盐渍化湿地	旱田	水田	总计
滩涂	257.96	25.63	4.85	1.45	17.81	0.13	47.88	69.90	3.01	0.07	428.70
河库沟渠	20.44	43.17	14.33	1.92	8.43	2.08	8.46	9.28	12.97	0.03	121.11
苇草地	5.11	21.76	48.41	9.57	56.48	4.62	10.42	12.34	37.60	1.98	208.30
林草地	0.02	1.06	3.96	34.16	2.46	0.07	0.10	2.17	16.42	0.36	60.79
灌草地	9.10	19.67	55.52	7.25	130.90	3.68	70.18	67.54	124.69	4.62	493.14
建筑用地	0.07	0.38	2.11	0.30	1.60	15.22	0.00	0.62	3.94	0.08	24.32
盐田养殖池	2.07	0.16	0.35	0.00	0.39	0.19	46.58	1.55	0.81	0.00	52.10
盐渍化湿地	23.67	12.41	5.72	0.41	27.01	0.83	26.32	47.85	12.41	3.79	160.42
旱田	1.65	13.58	27.38	23.40	23.59	11.02	2.79	34.90	348.11	15.95	502.36
水田	0.04	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	2.10	1.69	4.03
总计	320.13	137.81	162.79	78.48	268.67	37.84	212.73	246.19	562.06	28.56	2055.27

注:元素 A_{ij} 代表从2000年到2009年黄河三角洲滨海湿地景观类型*i*转化为*j*的面积。

中灌草地和滩涂分别占了新增盐田养殖池面积比重的42.2%和28.8%,此外还有15.8%的新增盐田养殖池面积由盐渍化湿地转化而来。在此期间,黄河三角洲滨海湿地的耕地面积有超过10%的相对增长率,其主要来源于灌草地的转化,林草地和苇草地也有一定的贡献率,而耕地中的水田面积增长比例高达70%以上,多为旱田转化而来,说明研究区为滨海湿地,土壤盐渍化严重,旱田种植作为多为棉花、玉米等,而水稻价格相比旱田,收益较好,因此部分旱田改种水田,以提高种植收入。同时河库沟渠随着水田的增加也有较大比例的增长,其中用于水田及农田的水利设施如水渠、水库等,主要由苇草地和林草地转化而来,分别占到23%和20.8%。2000~2009年,盐渍化湿地的面积增加显著,主要是由滩涂、灌草地和旱田转化而来。导致滩涂转化成盐渍化湿地的原因多是由于当地的气候变化(包括气温、降水等)。然而盐渍化本身就是滨海湿地面临的一个不可避免的问题,人类的灌溉、引水、采矿以及森林采伐等一系列活动则是加剧湿地盐碱化的又一主要原因。

2.2 湿地景观组分水平格局变化分析

2.2.1 景观斑块的面积和结构特征

黄河三角洲湿地景观斑块面积和结构在组分水平格局上的变化趋势(图4)表明:在斑块数量上,2000~2009年间,数值变化较大的各景观类型均呈减少趋势,其中苇草地、灌草地、河库沟渠和盐渍化湿地减少显著,而水田、建筑用地和盐田养殖池的斑块数量均有极小幅度的增加。斑块密度的变化趋势与斑块数量的发展趋势基本一致(图

4a、图4b);2000~2009年,除盐田养殖池之外,其他景观类型的平均斑块面积均呈上升趋势,其中旱田的平均斑块面积增加的最多。滩涂、苇草地、灌草地和旱田的最大斑块指数呈下降趋势,而盐田养殖池到2009年的最大斑块指数则是急剧升高。10 a来,旱田的平均斑块面积增加了104.08 km²,斑块数量减少了238个,斑块破碎化程度呈降低的趋势;斑块数量发生明显减少的包括河库沟渠、苇草地、灌草地和盐渍化湿地,分别减少了1 011个、1 598个、2 199个和1 477个,其对应的平均斑块面积均呈增加趋势;河库沟渠和盐渍化湿地对应的最大斑块指数呈增加趋势,苇草地和灌草地的最大斑块指数则呈减少趋势(图4c、图4d)。这种变化主要与人为活动的密切相关,越来越多的苇草地和灌草地被人类开发成农田、河库沟渠及盐田养殖池。除此之外石油的开采也是导致景观发生变化的重要原因之一。到2009年,仅研究区范围内油井的数量就高达3 000多个,密集程度可见一般。虽然油井多占地面积并不大,然而由于石油开发造成了周边土地的严重污染,使一些植被不能成活,直接导致了景观类型的改变。

2.2.2 景观斑块的形状特征

采用斑块平均分维数来分析黄河三角洲湿地各景观类型的形状特征(图5)。可以看出,10 a间平均分维数呈减少趋势,但变化不大,这说明了人类干扰程度的增加使得斑块的自我相似性增强,几何形状趋于简单化。2000年和2009年各景观类型中的平均斑块分维数都以水田最大。这是由于水田多呈相互间隔的块状分布,形状相对比较复

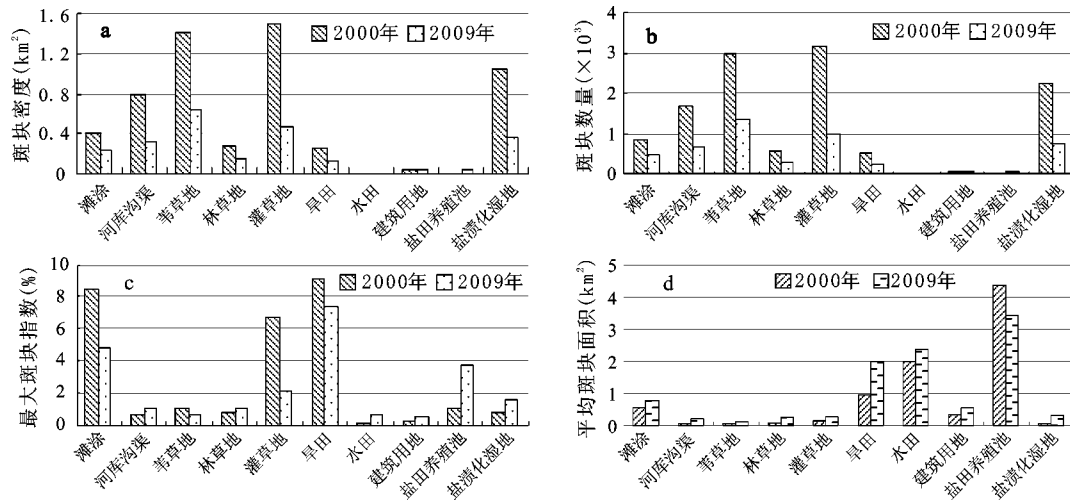


图4 黄河三角洲滨海湿地景观组分主要特征指数

Fig.4 The main characteristic indexes of landscape components of coastal wetland in Yellow River Delta

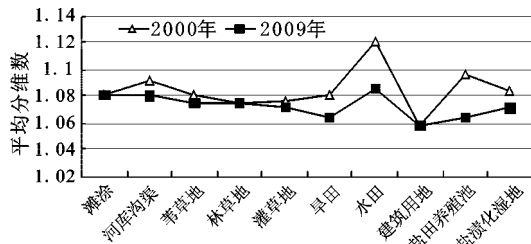


图5 黄河三角洲滨海湿地各景观类型的平均分维值

Fig.5 Mean fractal dimension index of coastal wetland in Yellow River Delta

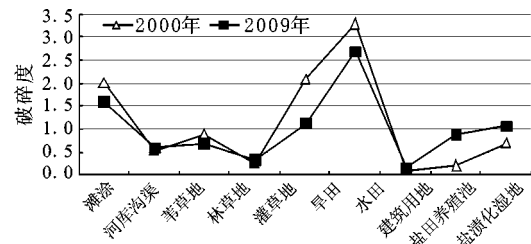


图6 黄河三角洲滨海湿地各景观类型的破碎度指数

Fig.6 The landscape fragmentation index of coastal wetland in Yellow River Delta

杂。而平均斑块分维数减小最大的景观组分同样是水田,由1.122减小到1.086,说明这10 a间人们把更多的旱田开垦成水田,使得水田面积连成大片,形状趋于简单化。变化次之的是盐田养殖池,由1.095减小到1.064,这与10 a间养殖业的迅猛发展,人类有意识干扰程度的增加是分不开的。9种景观类型中,只有滩涂的平均分维数有微小的增加。

2.2.3 景观类型破碎度变化

黄河三角洲滨海湿地各景观类型的破碎化指数状况如图6所示。10 a来,黄河三角洲滨海湿地各景观的破碎度除了盐田养殖池和盐渍化湿地有明显的上升以外,其他景观类型的破碎度值均有所下降,这与景观的整体破碎度值变化趋势一致。其中灌草地、农田和滩涂的破碎化程度下降的幅度较大,灌草地的破碎度值减小的最大,其次为农田,分别由2.101和3.297减小到1.139和2.700,这主要是由于越来越多的小斑块的灌草地被人为开垦成农田与盐田养殖池,同时那些原本

分布于农田间的灌草地及苇草地等一系列小斑块被开垦为农田,从而也使得农田的破碎度降低。盐田养殖池的破碎度增加的主要原因是:10 a来其面积增加比例是最大的,而且其分布范围广、斑块分散。其次破碎度增加的是盐渍化湿地,由0.689增加到1.053,引起这种变化的主要原因是由于气候变化及海水入侵使得其他各景观类型尤其是滩涂和灌草地的盐渍化加重,退变为分散的块状盐渍化湿地,导致破碎度增加。

2.2.4 湿地景观整体水平格局变化分析

本研究选取 Simpson's 多样性指数和均匀度指标及其他的修正公式来度量景观镶嵌图的特点^[28]。与2009年相比,2000年黄河三角洲滨海湿地的总体格局的景观指数除破碎度出现下降外(表4),其他各指数都有所增加。10 a内景观的多样性指数和均匀度指数分别由0.817和0.908增加到0.846和0.940。研究区多样性值增加而研究区的湿地类型数量并没有发生变化,则表明各种湿

表4 黄河三角洲滨海湿地整体景观格局指数

Table 4 Overall landscape pattern index of coastal wetland in Yellow River Delta

	多样性指数 <i>SIDI</i>	均匀度指数 <i>SIEI</i>	破碎度指数 <i>FN</i>	蔓延度指数 <i>CONTAG</i>
2000年	0.817	0.908	0.057	49.469
2009年	0.846	0.940	0.024	50.635

地类型所占的比例差异增加,2000~2009年,滩涂、农田、灌草地、盐田养殖池和盐渍化湿地等所占的比例发生了很大的变化。而均匀度指数的增加说明不同湿地景观类型分配程度越来越均匀,比例结构悬殊减小。整体景观的破碎化指数减小,这是由于到2009年,黄河三角洲滨海湿地中最小等级的斑块面积大幅度减少导致的,主要体现在河库沟渠和盐渍化湿地的变化。

本研究区的蔓延度指数值都小于60,且变化非常小,说明研究区内的景观均比较破碎,小斑块较多,且主要受到少数几种大的景观类型(主要有农田、滩涂、灌草地和盐渍化湿地等)控制,10 a来的整体景观蔓延度指数从49.469上升到50.635,它的直接表现是斑块数目的减少和斑块平均面积的增加,从而反映出黄河三角洲滨海湿地的大规模开发与利用程度。

3 结论与讨论

3.1 结论

本文研究结果表明,在进入21世纪初期的10 a中,黄河三角洲滨海湿地总的景观格局的演变特征是因泥沙淤积滩涂面积不断扩大和人类活动导致的景观在不同区域逐渐分异。

1) 2000~2009年黄河三角洲海岸线总长度增长,刁口段岸线侵蚀率较大,陆地面积呈减小趋势;河口段岸线淤进与蚀退交替进行,总体呈增长趋势。

2) 2000年以来,黄河三角洲滨海湿地总面积增加,在这10 a间,滩涂、苇草地和灌草地的面积大幅度减少,其他的景观类型面积都有所增加。

3) 黄河三角洲滨海湿地景观的破碎化程度降低,多样性、均匀度和蔓延度增加。研究区斑块数量和斑块密度都显著降低,景观斑块的分布变的均匀,景观类型中各类嵌块体的复杂程度趋于增加。

4) 黄河三角洲滨海湿地的直接开垦导致自

然景观(如滩涂、灌草地和苇草地等)面积减少。从自然景观类型转化来看,灌草地向农田及盐田养殖池的转化分别占到转化总量的57.9%和31.4%,而滩涂向盐田养殖池的转化占到转化总量的49.7%。

3.2 讨论

本研究分别从景观组分水平格局以及整体景观格局进行分析,发现2000~2009年,黄河三角洲滨海湿地的斑块数量减少,斑块面积相应增大,破碎化程度不断降低。但这并不意味着黄河三角洲滨海湿地的生态环境处于转好的趋势,相反的,近10 a来人类的一系列的开垦活动比如农田开垦、滩涂的开发与围垦、油田开发、人工建筑等都对环境造成了严重的破坏。由于点状的油井以及现状的水渠堤坝并未加以考虑,且其仅占总面积的小部分,因此整体景观的破碎化程度偏低是由滩涂、农田、灌草地、盐田养殖池以及盐渍化湿地等占据大部分面积的景观类型决定的。而多样性指数、均匀度指数和蔓延度一直在增加,表明黄河三角洲滨海湿地景观类型并未有大的改变,但是斑块类型呈多样化,湿地景观中占明显优势的类型十年来相互转化率较高且各斑块类型在景观中均匀分布。

纵观各位学者对黄河三角洲滨海湿地景观格局的分析结果可以看出^[14-21],自从20世纪90年代以来,黄河三角洲区域非湿地与湿地之间面积转化剧烈,主要是由人类活动造成的,研究区自然湿地退化和破坏严重,这种情况会对区域生物多样性的发展产生极其不利的影响。因此在以后对宜农荒地等未利用地的开发过程中,应该注意与保护相结合,严格防止进一步毁林毁草种植,控制石油开采造成的污染,适时退耕还湿还牧,合理利用海涂资源,从而防止生态平衡失调,保护生态环境。

致谢:本研究得到“中国科学院黄河三角洲滨海湿地生态试验站”的大力支持。

参考文献:

- [1] 肖笃宁. 景观生态学 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [2] Wang Y, Hong W, Wu C, et al. Application of landscape ecology to the research on wetlands [J]. Journal of Forestry Research 2008, 19 (2): 164-170.
- [3] Gu D Q, Zhang Y Z, Fu J, et al. The landscape pattern characteristics of coastal wetlands in Jiaozhou Bay under the impact of human activities [J]. Environmental Monitoring and Assess-

- ment, 2007, **124** (1-3): 361-370.
- [4] 肖笃宁, 李秀珍. 当代景观生态学的进展和展望 [J]. 地理科学, 1997, **17** (4): 356~364.
- [5] 吕宪国, 刘晓辉. 中国湿地研究进展——献给中国科学院东北地理与农业生态研究所 50 周年 [J]. 地理科学, 2008, **28** (3): 301~308.
- [6] 胡巍巍, 王根绪. 湿地景观格局与生态过程研究进展 [J]. 地球科学进展, 2007, **22** (9): 969~975.
- [7] Xu Ch, Sheng Sh, Zhou W, et al. Characterizing wetland change at landscape scale in Jiangsu Province, China [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2001, **179** (4): 279-292.
- [8] Robert A,Z, Richard G L. Landscape changes in Atlantic white cedar(*Chamaecyparis thyoides*) wetlands of the New Jersey Pinelands[J]. Landscape Ecology, 1997, **12**: 397-408.
- [9] 叶功富, 谭芳林, 罗彩莲, 等. 泉州湾河口湿地景观格局变化研究[J]. 湿地科学, 2010, **8** (4): 360~365.
- [10] Wood R, Handley J. Landscape dynamics and the management of change [J]. Landscape Research, 2001, **26**: 45-54.
- [11] 刘恩峰, 侯伟, 崔莉, 等. 南四湖湿地景观格局变化及原因分析 [J]. 湿地科学, 2009, **7** (3): 261~265.
- [12] 郑彩红, 曾从盛, 陈志强, 等. 闽江河口区湿地景观格局演变研究 [J]. 湿地科学, 2006, **4** (1): 29~35.
- [13] 崔保山, 刘兴土. 黄河三角洲湿地生态特征变化及可持续性管理对策 [J]. 地理科学, 2001, **21** (3): 250~256.
- [14] 陈建, 王世岩, 毛战坡. 1976~2008年黄河三角洲湿地变化的遥感监测[J]. 地理科学进展, 2011, **30** (5): 585~592.
- [15] 王薇, 陈为峰, 王燃黎, 等. 黄河三角洲新生湿地景观格局特征及其动态变化——以垦利县为例 [J]. 水土保持研究, 2010, **17** (1): 82~87.
- [16] 杨敏, 刘世梁, 孙涛, 等. 黄河三角洲湿地景观边界变化及其对土壤性质的影响 [J]. 湿地科学, 2009, **7** (1): 67~73.
- [17] 郭笃发. 黄河三角洲滨海湿地土地覆被和景观格局的变化 [J]. 生态学杂志, 2005, **24** (8): 907~912.
- [18] 宗秀影, 刘高焕, 乔玉良, 等. 黄河三角洲湿地景观格局动态变化分析 [J]. 地球信息科学学报, 2009, **11** (01): 91~97.
- [19] 邵秋玲, 解小丁, 李法曾. 黄河三角洲国家级自然保护区植物区系研究 [J]. 西北植物学报, 2002, **22** (4): 947~951.
- [20] 贺强, 崔保山, 赵欣胜, 等. 水盐梯度下黄河三角洲湿地植被空间分异规律的定量分析 [J]. 湿地科学, 2007, **5** (3): 209~214.
- [21] 汪小钦, 王钦敏, 励惠国, 等. 黄河三角洲土地利用/覆盖变化的微地貌区域分异 [J]. 地理科学, 2008, **25** (4): 513~517.
- [22] 张秋菊, 傅伯杰, 陈利顶. 关于景观格局演变研究的几个问题 [J]. 地理科学, 2003, **23** (3): 264~270.
- [23] 陈菁, 傅新, 刘高焕. 黄河三角洲景观变化中人为影响力的时空分异 [J]. 水土保持学报, 2010, **24** (01): 134~138.
- [24] 尹明泉, 韩淑萍. 黄河三角洲地区软土的初步研究 [J]. 山东国土资源, 1993, (2): 12~19.
- [25] 尹明泉, 李采. 黄河三角洲河口段海岸线动态及演变预测 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2006, **26** (6): 35~40.
- [26] Yu J B, Fu Y Q, Li Y Z, et al. Effects of water discharge and sediment load on evolution of modern Yellow River Delta, China, over the period from 1976 to 2009[J]. Biogeosciences Discussions, 2011, **8**: 4107-4130.
- [27] 刘艳芬, 张杰, 马毅, 等. 1995~1999年黄河三角洲东部自然保护区湿地景观格局变化[J]. 应用生态学报, 2010, **21** (11): 2904~2911.
- [28] 郑新奇, 付梅臣. 景观格局空间分析技术及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [29] 汤国安, 杨玮莹, 秦鸿儒, 等. GIS技术在黄土高原退耕还林草工程中的应用 [J]. 水土保持通报, 2002, **22** (5): 46~50.

Spatial Evolution of Landscape Pattern of Coastal Wetlands in Yellow River Delta

WANG Yong-li^{1,2}, YU Jun-bao¹, DONG Hong-fang^{1,2}, LI Yun-zhao^{1,2},
ZHOU Di^{1,2}, FU Yu-qin^{1,2}, HAN Guan-xuan¹, MAO Pei-li¹

(1. Key Laboratory of Coastal Zone Environmental Processes, Shandong Provincial Key Laboratory of Coastal Zone
Environmental Processes, Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai,
Shandong 264003, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Wetland ecosystem is a special natural complex under the interaction between land and water. Its functions are mainly decided by landscape pattern. With the support of GIS technology, RS images and Frag-stats3.3 statistical software, this paper studied the changes of wetland landscape pattern of coastal wetlands in Yellow River Delta including the size of landscape area, landscape patch characteristics and the overall level of landscape pattern under different temporal-spatial scales of the Yellow River Delta in 2000 and 2009. The results showed that the coastline length and the total area of the coastal wetland in the Yellow River Delta show a rising trend as a whole in recent 10 years. The natural wetland area has a sharp reduction. Mean fractal dimension indices of the most landscape types are lower and the landscape fragmentation indices generally decrease. While the landscape diversity index, evenness index and contagion index all increase. Overall, the indices changes of wetlands landscape pattern reflect the profound impact from human activities including large-scale cultivation of dry farming fields and paddy fields, the development of salt farming industry and oil exploration, etc.. This study indicates that the human activities have become the main driving factor for landscape pattern changes in coastal wetland of Yellow River Delta. In the future, the coordinated development of the ecological environment protection and economic development should be focused on in the Yellow River Delta.

Key words: coastal wetland; 3S technologies; landscape pattern evolution; Yellow River Delta