

黄河三角洲湿地景观格局动态变化分析

宗秀影¹, 刘高焕², 乔玉良¹, 林松¹

(1 太原理工大学, 太原 030024; 2 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 在 RS 和 GIS 技术的支持下, 以黄河三角洲 1986, 1996, 2006 年的三期 TM 影像为数据源, 利用遥感图像处理软件对近代黄河三角洲湿地信息进行了提取。借助于地理信息系统软件和景观生态学软件, 我们对 20 年来黄河三角洲湿地景观格局的动态变化, 以及影响其格局动态变化的驱动力进行了分析。结果表明: (1) 近 20 年来, 人工湿地面积有了大幅度的增加, 而天然湿地的比重在降低。其中, 滩涂和柽柳灌草丛景观明显萎缩。(2) 一些重要的景观格局指数的计算结果表明, 20 世纪 90 年代以来, 黄河三角洲湿地景观斑块个数、香农多样性指数、香农均匀度指数一直在增加。黄河三角洲湿地景观的破碎化程度在加剧, 斑块类型更加多样化, 湿地景观中没有明显的优势类型且各斑块类型在景观中均匀分布。(3) 湿地与湿地、湿地与非湿地之间发生着类型转化。其中, 18.1% 的芦苇草甸转化为农田; 26.6% 的翅碱蓬草甸转化为盐田; 11.9% 的芦苇沼泽转化为芦苇草甸。(4) 在黄河三角洲湿地演化的过程中, 受到自然和人为方面演化驱动力的共同作用。其中, 自然因素主要有: 黄河断流、泥沙淤积和自身演替动力等。人为驱动力主要为农田开垦、滩涂的开发与围垦、油田开发和人工建筑等。

关键词: 湿地; 景观格局; 黄河三角洲

1 引言

湿地是喜水生物和过湿环境构成的特殊自然综合体, 与森林、海洋并列为全球三大生态系统类型^[1]。湿地不仅是一种重要的自然资源, 也是人类赖以生存的最重要的环境之一, 它不仅直接为人类的生产、生活提供原材料, 而且还具有调节气候、调蓄洪水、控制污染和降解污染等环境调节功能, 被喻为“地球之肾”^[2]。然而由于人类活动的加剧以及人们对湿地功能与价值认识的不足等原因, 导致近些年来湿地遭到不合理的开采和破坏^[3]。

黄河三角洲是我国三大河口三角洲之一, 同时也是世界上成土最快的河口三角洲^[4], 这是一个新生的生态系统。黄河三角洲湿地作为东亚以至全球重要的水禽繁殖与栖息地, 具有重要的生物保护价值。湿地对于黄河三角洲的经济和社会发展有重要意义。近几年有关黄河三角洲的景观变化及其成因的研究较多^[5-10], 但对整个近代黄河三角洲湿地的景观还没有过多的研究。因此本文

以景观生态学原理为基础, 在 RS 和 GIS 技术支持下, 分析了 1986~2006 年期间黄河三角洲湿地的景观格局动态变化规律, 并探寻引起这些变化的驱动力因子。

黄河三角洲北临渤海湾, 东靠莱州湾, 主要分布于山东省东营市和滨州市境内, 即 118°07'~119°18'E 和 36°55'~38°12'N 之间。黄河三角洲属于温带大陆季风性气候, 四季分明, 光照充足, 雨热同期。年平均气温 12.1℃, 年平均降水量 551.6mm。该区独特的地理位置和气候特征, 使该地区蕴藏着丰厚的湿地资源。由于黄河常年携带大量泥沙入海, 使黄河每年向海延伸平均达 22km, 平均造陆 32.4km², 从而使黄河三角洲湿地的面积在逐年增大, 成为世界上土地面积自然增长最快的地区之一。黄河三角洲的自然保护区地处山东省东营市黄河入海口处, 是中国暖温带最年轻、最广阔、保存最完整、面积最大的以保护黄河口新生湿地生态系统和珍稀濒危鸟类为主体的湿地类型保护区。它是东北亚内陆和环西太平洋鸟类迁徙重要的“中转站”、越冬栖息地和繁殖地,

收稿日期: 2008-07-24; 修回日期: 2008-10-23.

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(kzcx2-yw-308)和国家自然科学基金项目(40771172)资助。

作者简介: 宗秀影(1982-), 女, 安徽宿州人, 硕士生, 研究方向为遥感与 GIS 应用。E-mail: zongxy@reis.ac.cn

是我国最大的河口三角洲自然保护区。

2 黄河三角洲湿地数据与处理

2.1 湿地数据采集

本文所用到的数据主要包括 1986 年、1996 年、2006 年的三期 Landsat TM 遥感影像数据（空间分辨率为 30m）、1996 年 1:1 万东营市土地利用图、1:1 万航片测绘图（由东营市土管局规划站提供），以及多次野外湿地考察的数据和收集的有关黄河三角洲和国内外湿地的研究资料^[11]。

2.2 湿地分类系统

湿地的定义众说纷纭，关于湿地的分类系统也是百家争鸣。因此，目前还没有世界上公认的湿地分类标准^[12]。本文在“湿地公约”中的湿地分类系统的基础上，借鉴国内外前人的研究^[13-17]，结合黄河三角洲湿地景观的分布特点，提出了黄河三角洲湿地分类系统。该系统共分为 3 级：第一级根据成因的自然属性，将湿地分为天然湿地和人工湿地两大类。第二级根据土地覆被的不同，分为水库、坑塘水面、人工水渠、养殖水面、盐田、上农下渔、滩涂、河流、草甸湿地、沼泽湿地和灌草丛湿地 11 类。第三级根据典型湿地植被类型分为 12 类。黄河三角洲湿地分类系统如表 1。

表 1 黄河三角洲湿地分类系统

Tab. 1 Wetland Classification System in Yellow River Delta

一级分类	二级分类	三级分类
人工湿地	水库	水库
	坑塘水面	坑塘水面
	人工水渠	人工水渠
	养殖水面	养殖水面
	盐田	盐田
	上农下渔	上农下渔
天然湿地	滩涂	滩涂
	河流	河流
	草甸湿地	芦苇草甸 翅碱蓬草甸
	沼泽湿地	芦苇沼泽
	灌草丛湿地	怪柳灌草丛

2.3 湿地图像处理与制图和湿地指数计算

首先，对 1986、1996、2006 年的 Landsat TM

遥感图像作预处理：①影像的几何精校正。以黄河三角洲地区 1:50 000 地形图作为影像校正的基准图件，采用控制点校正方式对 1999 年 6 月 25 日的 TM 影像进行几何精校正。在地形图和影像上选取近 30 个地面控制点对（均匀分布在整个影像区域内），采用二次多项式模型，双线性内插法对影像进行重采样。校正误差在 0.3 个像元以内。②影像配准。以 1999 年 6 月 25 日校正后影像为基础，以高斯-克吕格投影为投影坐标系，将上述影像配准到同一地理坐标系中。③假彩色合成。本文采用 Landsat(TM) 的 4、3、2 (RGB) 假彩色合成影像，这三个波段合成的影像可以更好地突出湿地的景观斑块、植被特征和水体特征。

图像分类采用监督分类和目视解译，生成湿地分布图。应用监督分类和非监督分类对影像进行预分类，其分类结果可以用于辅助目视解译。黄河三角洲课题组多年的野外考察数据、照片、相关矢量层和 2005 年 SPOT 图像，用于辅助目视解译。根据湿地分类系统，我们采用非监督分类，并借助相关的辅助数据，选择训练样本；运用最大似然法对影像进行监督分类；用其分类结果辅助目视解译，最终得到黄河三角洲 1986、1996、2006 年 3 个时期的湿地资源分布图（如图 1）。在 ERDAS 8.7 中，采用分层随机采样方法，进行精度评估，在研究区域内随机选择 500 个点，并确保落在每一类型的点不少于 40 个，进行野外调绘核实，得到遥感解译整体的精度在 85% 左右。

景观格局分析常常需要运用各种量化的指数来进行景观结构描述与评价^[18]。景观指数是能反映其结构组成和空间配置某些方面特征的定量指标。本文选取了以下的景观指数进行了计算。（1）斑块个数 (NP)；（2）斑块所占景观面积比例 (% LAND)；（3）平均斑块面积 (MPS)；（4）景观多样性指数 (SHDI)：景观多样性指数是指组成景观的镶嵌斑块类型的多样性，是用来度量系统结构组成复杂程度，斑块类型的齐全程度或多样化状况。通常采用 Shannon 多样性指数来计算，计算公式为：

$$H = - \sum_{k=1}^n P_k \log_2 P_k$$

式中 P_k 为斑块 k 的景观比例， n 为斑块的种类。（5）景观均匀度指数 (SHEI)：均匀度则反映景观中各斑块在面积上分布的不均匀程度。其计算

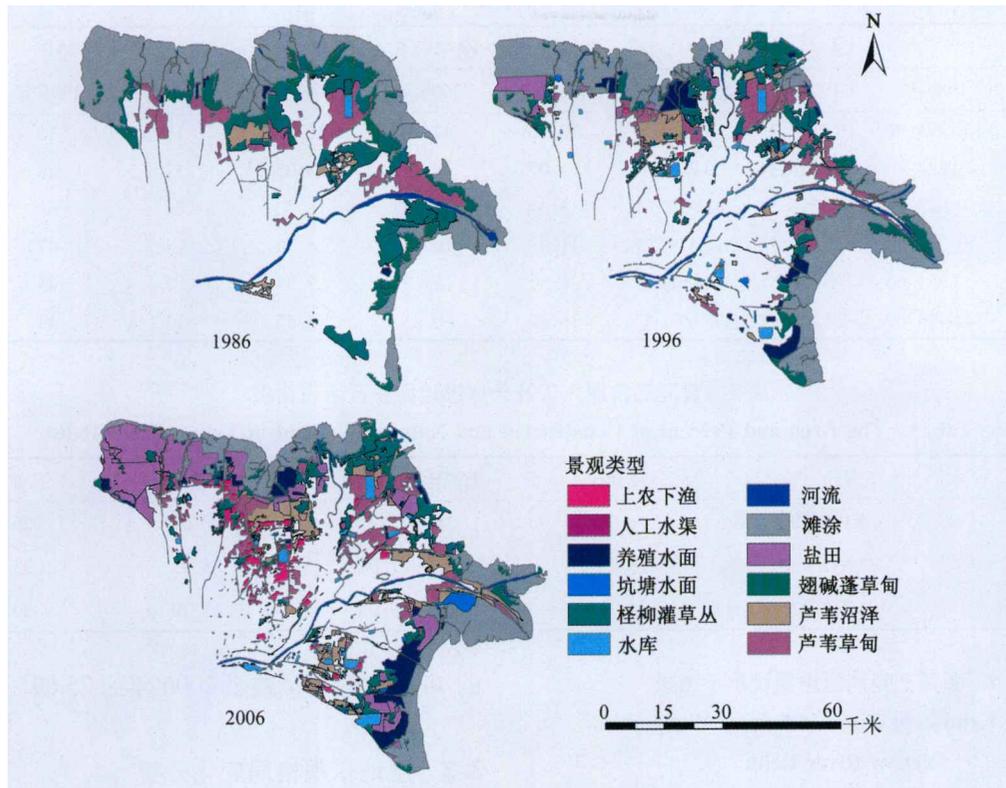


图1 1986, 1996, 2006年湿地资源分布图

Fig. 1 Wetland resources distribution in 1986, 1996 and 2006

公式分别为：

$$E = \frac{\sum_{k=1}^n P_k \log_2 P_k}{\log_2 n}$$

式中， H_{max} 为多样性指数的最大值， P_k 是斑块类型 k 在景观中的比例， n 为研究区中景观类型的总数。(6) 聚集度 (CONT)：聚集度指数反映景观中不同斑块类型的聚集程度和延展趋势，还能够反映景观组分的空间配置特征。计算公式为：

$$CONT = \left[1 + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{P_{ij} \ln(P_{ij})}{2 \ln(m)} \right] \times 100$$

式中， m 为斑块类型总数， P_{ij} 是随机选择的两相邻栅格细胞属于类型 i 与 j 的概率。(7) 周长 - 面积分维数 (PAFRAC)：分维数反映类型斑块的形状复杂程度。PAFRAC 越接近 1 时，类型景观斑块越简单，PAFRAC 越接近 2，说明该类景观要素形状越复杂。其计算公式为： $P = kA^{F_d/2}$ ，式中， P 是斑块周长， A 是斑块面积， F_d 是分维数， k 是常数。

首先把湿地资源分布的矢量图转化为 Grid 格式，然后在软件 Fragstas3.3 上进行计算，得到黄河三角洲湿地景观指数 (表 2，表 3，表 4)。

表 2 黄河三角洲湿地类型水平指数

Tab. 2 Class Level Indices of Wetland in Yellow River Delta

类型	CA (hm ²)			LAND (%)			NP		
	1986 年	1996 年	2006 年	1986 年	1996 年	2006 年	1986 年	1996 年	2006 年
水库	1 770. 21	6 823. 17	7 949. 43	0. 68	2. 70	2. 63	11	46	66
坑塘水面	739. 35	4 766. 94	6 255. 18	0. 28	1. 88	2. 07	42	119	199
人工水渠	175. 14	627. 03	1 139. 31	0. 07	0. 25	0. 38	3	6	28
养殖水面	2 176. 38	14 509. 08	21 540. 69	0. 83	5. 73	7. 14	12	38	49
盐田	331. 11	8 081. 10	54 403. 56	0. 13	3. 19	18. 03	3	12	28
上农下渔	0	835. 11	13 429. 80	0	0. 33	4. 45	0	13	80

续表 2

类型	CA (hm ²)			LAND (%)			NP		
	1986年	1996年	2006年	1986年	1996年	2006年	1986年	1996年	2006年
滩涂	131 295.96	109 109.25	80 056.08	50.16	43.10	26.54	19	36	20
河流	10 648.80	11 063.34	9 203.58	4.07	4.37	3.05	32	28	49
芦苇草甸	34 918.74	37 396.53	43 515.72	13.34	14.77	14.42	21	68	101
翅碱蓬草甸	31 326.48	25 848.72	14 429.25	11.97	10.21	4.79	25	47	52
芦苇沼泽	3 954.60	6 656.31	24 061.41	1.50	2.63	7.98	7	45	96
怪柳灌草丛	44 418.69	27 422.91	25 693.02	16.97	10.83	8.52	12	48	62

表 3 黄河三角洲人工及天然湿地面积及所占比例

Tab. 3 The Area and Percent of Constructed and Natural Wetland in Yellow River Delta

年份	人工湿地 (hm ²)	百分比	天然湿地 (hm ²)	百分比	总面积 (hm ²)
1986	5 192.19	1.98	256 563.27	98.02	261 755.46
1996	35 642.43	14.08	217 497.06	85.92	253 139.49
2006	104 717.97	34.71	196 959.06	65.29	301 677.03

表 4 黄河三角洲湿地景观水平指数

Tab. 4 Landscape Level Indices of Wetland in Yellow River Delta

年份	NP	CONT	PAFRAC	MPS	SHDI	SHEI
1986	187	67.98	1.39	205.57	1.47	0.61
1996	506	61.35	1.40	142.22	1.83	0.74
2006	830	54.15	1.37	165.97	2.13	0.87

3 黄河三角洲湿地景观格局变化分析

3.1 湿地类型变化分析

从表 2 可以看出,这 20 年来,人工湿地中的水库、坑塘水面、人工水渠、养殖水面、盐田、上农下渔等的面积逐年增加,而自然湿地中的滩涂与怪柳灌草丛的面积大幅度减少。其中演化最活跃的人工湿地是上农下渔,自然湿地为滩涂。在 1986 年,还没有上农下渔这种湿地类型,到 1996 年已经增加到了 835.11hm²,而到 2006 年,增至 13 429.80hm²,比 1986 年增加了 12 594.69hm²。20 年来,滩涂明显下降。滩涂面积由 1986 年的 131 295.96 hm²减少到 1996 年的 109 109.25hm²,到 2006 年继续在减少。此外,天然湿地中的河流面积 1996 年比 1986 年略有增加,但是到 2006 年又有所减少,减少了 1 859.76hm²。沼泽面积大幅度增加,沼泽湿地由 1986 年的 3 954.60 hm²增至 2006 年为 24 061.41hm²。怪柳灌草丛则由 1986 年

的 44 418.69 hm²减至 2006 年的 25 693.02hm²。

3.2 湿地景观格局变化分析

从表 3 可以看出,1986 年湿地的总面积为 261 755.46 hm²,其中天然湿地几乎占全部,人工湿地仅占 1.98%。1996 年湿地的总面积略有减少,比 1986 年减少了 9 615.97hm²,其中人工湿地占 14.08%,比 1986 年增加了 12%。到 2006 年,天然湿地面积虽然减少了 20 538.00hm²,但是人工湿地却有了大幅度的增加,增加了 69 075.54hm²。湿地的总面积还是有所增加,比 1996 年增加了 48 537.54hm²,其中人工湿地占的比重也大幅度的加大,占湿地总面积的 34.71%。

同时从表 4 可以知道,1986~2006 年期间,黄河三角洲斑块个数、香农多样性指数、香农均匀度指数一直在增加,其中斑块个数由 187 增加到 830,香农多样性指数由 1.47 增加到 2.13,香农均匀度指数由 0.61 增至 0.87。这表明这 20 年来,黄河三角洲湿地景观的破碎化程度在一直加剧,斑块类型更加多样化,湿地景观中没有明显的优势类型且各斑块类型在景观中均匀分布。这主要是因为这段时期黄河三角洲区域内不仅修建了多条公路,并修筑了水库、人工水渠,人口增加,等都破坏了湿地的完整性,加速了湿地的破碎化。此外,周长-面积分维数变化幅度不大。平均斑块面积 1986 年为 205.57m²,而到 1996 年为 142.22m²,减少了 63.35m²。到 2006 又增加到

165.97m²，比1996年增加了23.75m²。聚集度指数一直在减少，由67.98减少至54.15。这表明景观类型更加多样化，但是景观覆盖的密度在降低。

3.3 湿地转移矩阵分析

近20年来，湿地与湿地之间、湿地与非湿地之间发生着类型转换。根据1986年和2006年数据求出湿地类型的转移矩阵（表5）。其公式为

$$p_{ij} = \frac{n_{ij}}{\sum_{j=1}^m n_{ij}} \times 100\% \quad (1)$$

其中， n_{ij} 为前期湿地类型*i*转化为湿地类型*j*的面

积， $\sum_{j=1}^m n_{ij}$ 为前期湿地类型未转化前的总面积。 p_{ij} 为湿地类型*i*转化为湿地类型*j*的转化概率。

从表5可以看出，有大量的天然湿地转化为农田。其中，31.9%的河流面积转化为农田；18.1%的芦苇草甸转化为农田；15.1%的芦苇沼泽转化为农田；10.9%的柽柳灌草丛转化为农田。天然湿地与人工湿地之间也发生着相互转化，其中，33.9%的滩涂转化为盐田；13.9%的翅碱蓬草甸转化养殖水面；26.6%的翅碱蓬草甸转化为盐田。天然湿地之间也发生着大量的转化，其中，22.4%的翅碱蓬草甸转化为滩涂；11.9%的芦苇沼泽转化为芦苇草甸。

表5 1986~2006年湿地类型转移矩阵(%)

Tab.5 The Transfer Matrix of Wetland from 1986 to 2006 (%)

2006 1986	水库	坑塘	水渠	养殖	盐田	上下	滩涂	河流	农田	林地	居民点	公路	未利用地	芦苇	翅草	芦沼	柽柳
水库	89.5	0.3	1.9	0	0	0	0	0	2.3	1.1	0.4	0	0	1.9	0	1.0	1.5
坑塘	2.0	15.6	0.3	8.3	0	6.1	3.4	8.4	37	5.8	5.1	0	0	3.6	0	4.2	1.0
水渠	8.0	0.3	0	2.2	0.5	0	22.9	0	17.5	0	0	0	0	9.3	4.6	2.5	32.2
养殖	2.8	0.3	0	69.9	1.9	0	14.7	0	0.2	0	0.2	0	0	0.1	5.7	4.2	0
盐田	0	0	0	46.6	46.6	0	4.7	0	0	0	2.1	0	0	0	0	0	0
上下	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
滩涂	0.1	0.7	0.3	4.2	33.9	0	44.0	1.2	0.3	0	0.2	0.1	3.3	2.0	5.0	1.7	3.2
河流	0	1.3	0.3	0.1	1.2	0	6.8	42.7	31.9	4.7	0.4	0	0.1	5.0	0.4	4.6	0.4
农田	1.7	0.7	0.2	1.7	2.6	4.5	0	0.8	62.5	1.6	8.3	0.3	0.9	4.4	0.7	5.0	4.1
林地	0.2	0.4	0.1	0	0	0	0.5	1.0	45.7	30.9	0.7	0.2	0.2	1.9	0.8	12.0	5.4
居民点	0.1	0.6	0	0.1	0	1.5	0	0.1	8.0	0	84.5	0	0	4.2	0	0.4	0.6
公路	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
未利用地	3.5	0.3	0.2	20.0	8.8	0.6	18.2	0.3	10.2	0.6	1.9	0.5	17.6	2.8	0.2	9.1	5.2
芦苇	0.6	0.3	0.2	0.8	2.1	4.3	4.1	1.2	18.1	4.5	2.1	0.3	2.0	25.5	2.6	23.6	7.6
翅草	0	0.8	0.3	13.9	26.6	0.9	22.4	1.1	7.1	0	0.1	0.1	0.4	5.2	10.0	4.0	7.1
芦沼	0	0.8	0	0	2.5	4.7	0	0.3	15.1	0	19.8	0.4	0	11.9	0	44.2	0.1
柽柳	4.0	6.9	0.2	5.9	7.5	2.5	4.1	0.5	10.9	0.6	3.2	0.2	0.2	17.8	4.1	11.8	19.6

注：坑塘-坑塘水面；水渠-人工水渠；养殖-养殖水面；上下-上农下渔；芦苇-芦苇草甸；翅草-翅碱蓬草甸；芦沼-芦苇沼泽；柽柳-柽柳灌草丛

3.4 湿地变化的驱动力分析

自然驱动力和人为驱动力是湿地景观格局动态变化的主要驱动因素^[19]。自然驱动因子常常是在较大的时空尺度上作用于景观格局，引起大面积的景观发生变化。经常变化的人文驱动因子则是景观格局变化的直接驱动力^[19]。人口增长和科技进步导致人类对湿地的开垦力度不断加大，使人工湿地的面积有所增加，而自然湿地面积的比重相对下降。在黄河三角洲，对湿地景观变化起

主要作用的自然和人为驱动力包括以下几个方面：

(1) 自然驱动力

黄河断流和泥沙淤积：20世纪90年代以来，黄河持续发生断流，断流时间不断延长，断流时间最长的一次是在1997年，利津站断流天数长达226天^[20]。黄河断流使黄河入海流量不断减少，从根本上影响并改变着黄河三角洲湿地的水动力和水境条件，促使黄河三角洲湿地的景观格局发生了变化。1996年湿地面积比1986年的湿地面积

减少了9 615.97hm²。滩涂湿地和河流湿地面积范围也在缩小。

自身演替动力：黄河三角洲湿地自身演替主要体现在其湿地植被方面。肖笃宁等利用1975年，1984年，1997年的卫片和20世纪60年代的航测地形图研究了最近30多年黄河三角洲湿地植被的演化过程^[21]。研究表明在没有外界干扰的情况下，黄河三角洲湿地以如下模式演化：裸露滩涂湿地→盐地碱蓬滩涂湿地→柽柳—盐地碱蓬滩涂湿地→潮上带盐地碱蓬湿地→潮上带盐地碱蓬→柽柳湿地、潮上带碱蓬湿地→芦苇沼泽湿地→草甸湿地→陆上农田。但在自然和人为的干扰下，湿地类型之间发生着转变。20年来，5%的滩涂转化为翅碱蓬草甸；11.9%的芦苇沼泽转化为芦苇草甸；18.1%的芦苇草甸转化为农田。湿地类型之间按照上述演化模式进行着演化，影响着湿地格局的变化。

(2) 人为驱动力

农田开垦：由于人口增长，人们大力进行农田开垦，使得很多湿地变成农田。从1986年至今，农田面积在持续增加。近20年来，大量的湿地类型转化为农田。

滩涂的开发与围垦：在我国，滩涂长期以来都被作为土地的后备资源而被积极开发。滩涂被大量的盐田、养殖水面所代替。黄河三角洲的滩涂面积由1986年的131 295.96hm²减少到了2006年的80 056.08hm²，其退化速率很快，而此期间养殖水面和盐田的面积迅速增加。

油田开发和人工建筑：在黄河三角洲的发展中，油田开发、道路设施、住房工矿、沿岸大堤等大量的被修建。这些设施占用并切割了湿地，破坏了湿地的完整性，使湿地景观趋向破碎化。1986斑块个数为187个，到2006年斑块个数增加到870个，导致黄河三角洲湿地景观的破碎化程度在加大。

4 结语

景观格局与景观的功能和动态变化密切相关，通过对景观格局的研究，从纵横斑块镶嵌形成的景观中分析其空间结构特征，可以揭示景观格局形成的原因，把握景观格局与景观功能变化的有机联系，为景观格局的优化、景观生态的合理规

划以及景观生态的监测和评价提供理论依据和实践操作。

研究表明：

(1) 这20年来，由于黄河断流，黄河入海流量的不断减少、自身演替动力、农田开垦、滩涂的开发与围垦、油田开发、人工建筑等的影响，黄河三角洲湿地景观的破碎化程度在加大。

(2) 人工湿地的面积在增加，所占湿地总面积的比重也在加大。而天然湿地中滩涂湿地、翅碱蓬草甸湿地和柽柳灌草丛的面积明显萎缩。

(3) 黄河三角洲斑块个数、香农多样性指数、香农均匀度指数一直在增加。蔓延度一直在减少，由67.98减少至54.15。这表明黄河三角洲景观类型更加多样化，但是景观覆盖的密度在降低。斑块类型更加多样化，湿地景观中没有明显的优势类型且各斑块类型在景观中均匀分布。

(4) 在黄河三角洲湿地演化的过程中，受到自然方面和人为方面演化驱动力的共同作用。宏观上，前期黄河三角洲湿地演化以自然因素为主，后期湿地的演化则逐步渗入越来越强的人为因素。微观上，黄河三角洲湿地的自身演化模式随着外界干扰贯穿始终，使整个湿地生态系统进行着或顺或逆的演替。

参考文献

- [1] 兰樟仁, 张东水, 邱荣祖等. 闽江口湿地遥感时空演变应用分析. 地球信息科学, 2006, 8(1): 114 - 120.
- [2] 余国营. 湿地研究的若干基本科学问题初论. 地理科学进展, 2001, 20(2): 177 - 183.
- [3] 徐丽君. 黄河三角洲湿地生态需水量研究. 中国科学院地理科学与资源研究所硕士论文, 2006.
- [4] 韩美, 张晓慧, 刘丽云. 黄河三角洲湿地研究进展. 生态环境, 2006, 15(40): 872 - 875.
- [5] 郭笃发. 黄河三角洲滨海湿地土地覆被和景观格局的变化. 生态学杂志, 2005, 24(8): 907 - 912.
- [6] 李静, 赵庚星, 范瑞彬. 黄河三角洲土地利用及土地覆盖变化驱动力分析. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2003, 31(3): 117 - 122.
- [7] 李兴东. 黄河三角洲草地退化的研究. 生态学杂志, 1989, 8(5): 47 - 49.
- [8] 陈利顶, 傅伯杰. 黄河三角洲地区人类活动对景观结构的影响分析——以山东省东营市为例. 生态学报, 1996, 16(8): 337 - 344.
- [9] 穆从如, 胡远满. 黄河三角洲湿地生态系统的形成及

- 其保护. 应用生态学报, 2000, 11(1): 123 - 126.
- [10] 叶庆华, 刘高焕, 姚一鸣 等. 黄河三角洲新生湿地土地利用变化图谱. 地理科学进展, 2003, 22(2): 141 - 150.
- [11] 周连义, 江南, 吕恒 等. 长江南京段湿地景观格局变化特征. 资源科学, 2006, 28(5): 24 - 28.
- [12] 张国坤, 邓伟, 吕宪国 等. 新开河流域湿地景观格局动态变化过程研究. 自然资源学报, 2007, 22(2): 204 - 210.
- [13] Wickham J D, Norton D J. Mapping and analyzing landscape patterns. *Landscape Ecology*, 1994, (9): 7 - 23.
- [14] Shannon C, Weaver W. *The Mathematical Theory of Communication*. Univ. Illinois Press, Urbana, 1999.
- [15] Franklin J F, Forman R T T. Creating landscape pattern by forest cutting: ecological consequences and principles. *Landscape Ecology*, 1987, (1): 5 - 18.
- [16] Daniel M. Deocampol. Wetland diagenesis and traces of early hominids. *Quaternary Research*, 2002, (57): 271 - 281.
- [17] Musacchio L R. Landscape ecological planning process for wetland, waterfowl, and farmland conservation. *Landscape and Urban Planning*, 2001, (56): 12 - 147.
- [18] 卢玲. 黑河流域景观结构与景观变化研究. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所硕士论文, 2000.
- [19] 郭程轩, 徐颂军. 基于 3S 与模型方法的湿地景观动态变化研究述评. *地理与地理信息科学*, 2007, 23(5): 86 - 90.
- [20] 杨立凯. 黄河断流对黄河三角洲地区农业生态环境的影响及对策. *中国环境管理*, 2005, 3: 27 - 30.
- [21] 肖笃宁, 胡远满, 李秀珍 等. 环渤海三角洲湿地的景观生态学研究. 北京: 科学出版社, 2001, 21 - 35.

Study on Dynamic Changes of Wetland Landscape Pattern in Yellow River Delta

ZONG Xiuying¹, LIU Gaochuan², QIAO Yuliang¹, LIN Song¹

(1 *Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China*; 2 *State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China*)

Abstract: In this paper, the information about wetland landscape features of the Yellow River Delta in 1986, 1996, and 2006 were extracted respectively based on TM images and by support of Remote Sensing (RS) and Geographic Information System (GIS) techniques. By analyzing the information, we investigate the spatial and temporal changes of wetland landscape and explore the driving forces for wetland landscape pattern change in the Yellow River Delta within the past 20 years. Our results show that: (1) the area of man - constructed wetland demonstrated a sharp increase, whereas the proportion of natural wetland decreased accordingly. As an important part of the natural wetland, the tidal flat and Chinese tamarisk shrub wetlands in the Yellow River Delta has significantly shrank in coverage and degraded during the past two decades. (2) Since 1990s, some of the important landscape indices such as the number of patches, Shannon's diversity index, and Shannon's evenness index have increased. This indicates that the fragmentation degree of wetland landscape in the Yellow River Delta intensified, the type of landscape was much diversified, and each type is distributed uniformly in the wetland landscape and no dominant wetland landscape types can be recognized. (3) Landscape style transfer occurred between wetland and wetland, wetland and non - wetland. During the interval from 1986 to 2006 A. D, about 18.1% Reed meadow had been transferred to farmland, 26.6% Seablite meadow transferred to salt pan and 11.9% Reed swamp transferred to Reed meadow. (4) The driving forces for wetland landscape pattern change analyses were conducted, and the result implies that both natural factors and anthropogenic factors have played important role in altering the pattern. The former includes decrease of discharge and sediment, self succession, while the latter mainly consists farmland reclamation, exploitation of tidal flat and oilfield development and construction.

Key words: wetlands; landscape pattern; Yellow River Delta