

引用格式: 刘佳琦, 栗云召, 宗敏, 等. 黄河三角洲人类干扰活动强度变化及其景观格局响应[J]. 地球信息科学学报, 2018, 20(8): 1102-1110. [ Liu J Q, Li Y Z, Zong M, et al. Intensity change of human disturbance and its response to landscape pattern in the Yellow River Delta[J]. Journal of Geo-information Science, 2018, 20(8): 1102-1110. ] DOI:10.12082/dqxkx.2018.180105

## 黄河三角洲人类干扰活动强度变化及其景观格局响应

刘佳琦<sup>1,2</sup>, 栗云召<sup>3</sup>, 宗敏<sup>4</sup>, 张保华<sup>1</sup>, 吴晓青<sup>2\*</sup>

1. 聊城大学环境与规划学院, 聊城 252059; 2. 中国科学院烟台海岸带研究所, 烟台 264003; 3. 鲁东大学资源与环境工程学院, 烟台 264000; 4. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016

### Intensity Change of Human Disturbance and Its Response to Landscape Pattern in the Yellow River Delta

LIU Jiaqi<sup>1,2</sup>, LI Yunzhao<sup>3</sup>, ZONG Min<sup>4</sup>, ZHANG Baohua<sup>1</sup>, WU Xiaoqing<sup>2\*</sup>

1. College of Environment and Planning, Liaocheng University, Liaocheng 252059, China; 2. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China; 3. Faculty of Resources and Environmental Engineering, Ludong University, Yantai 264000, China; 4. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China

**Abstract:** The coastal wetlands of the Yellow River Delta is the most integral, broadest and youngest wetland ecosystem in the warm temperate zone of China. Also, it has unique ecological landscape as well as important ecological service functions. With the increase in population and the intensification of high-intensity development and construction activities, the sensitivity/fragility of the area is highlighted, which poses a great threat to the sustainable development of coastal areas. Aiming at the unique geographic location and resource characteristics of the Yellow River Delta, based on RS and GIS, the hemeroby model as well as the man-made ditches density were used in this study to intuitively reveal the temporal and spatial characteristics of human disturbance intensity in 1995, 2004 and 2015 at the regional and local scales. The response of the wetland landscape pattern to human interference activities was explored as well. A grid analysis method was used to calculate the hemeroby index and man-made ditches density. The data source included the following: Landsat TM, ETM<sup>+</sup> and OLI Remote Sensing Data (30 m resolution) in 1995, 2004, 2015, SPOT image of 2004 (5m resolution), GF-1 image of 2015 (2 m resolution) and topographic map. This study aims to provide decision support for ecological regulation and spatial control on human activities in coastal wetlands of the Yellow River Delta. The results showed that: (1) From 1995 to 2015, both the hemeroby index and the density of artificial ditches in the Yellow River Delta had increased significantly, and its spatial distribution showed a trend of expansion from the southwest to the east and north, and from inland to coastal areas; (2) With the increase of human activities, the area of natural wetlands in the study area have been decreased from 3232.11km<sup>2</sup> in 1995 to 2165.48km<sup>2</sup> in 2015, the landscape diversity and spatial heterogeneity increased, ecological connectivity weakened, the plaque shape tended to be regular and simplistic. (3) The response of landscape pattern to

收稿日期 2018-02-09; 修回日期: 2018-05-04.

基金项目: 国家自然科学基金项目(31670471); 中国科学院科技服务网络计划项目资助(KFJ-ST-127)。[ **Foundation items:** National Natural Science Foundation of China, No.31670471; Science and Technology Service Network Initiative (STS) Project of the Chinese Academy of Sciences, No.KFJ-ST-127. ]

作者简介: 刘佳琦(1994-), 女, 硕士生, 研究方向为 GIS 应用和景观生态学。E-mail: jqliu23@126.com

\*通讯作者: 吴晓青(1978-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向为海岸带规划管理、GIS 与遥感应用。E-mail: xqwu@yic.ac.cn

hemeroby index varies regionally and temporally. In the Kenli Agricultural Area, Hekou Agricultural Area and Shengli Oil Field Area, where the intensity of human interference activities had been relatively high, the intensity increased significantly, and the regional landscape pattern changed obviously in different phases. In the Yiqianer Management Station and the Yellow River Estuary Management Station area, where the intensity of human interference activities had been relatively low, due to the increase in the density of artificial ditches, the landscape pattern had presented a decreasing trend in landscape diversity, patch complexity and ecological connectivity from 2004 to 2015. (4) The indices of hemeroby and the density of man-made ditches supplement each other and confirm each other, which can reflect the degree of human disturbance activities in the Yellow River Delta more comprehensively and objectively.

**Key words:** human disturbance activities; hemeroby; man-made ditches density; landscape pattern; the Yellow River Delta

\*Corresponding author: WU Xiaoqing, E-mail: xqwu@yic.ac.cn

**摘要:** 本研究以湿地变化较为剧烈的黄河三角洲为研究对象, 基于RS技术和GIS空间分析方法, 利用人为干扰度模型, 结合区域人工沟渠建设情况, 从区域和局地两个尺度直观揭示人类干扰强度时空分异特征, 并探究区域景观格局对人类干扰活动的响应, 以期为黄河三角洲滨海湿地生态保护与人类活动调控提供决策支持。结果表明: ① 1995-2015年现代黄河三角洲区域人为干扰度和人工沟渠密度均明显增加, 空间分布呈现从西南部向东部、北部, 自内陆向沿海的扩展趋势; ② 随着人类活动强度增强, 研究区自然湿地面积减少, 区域景观多样性和空间异质性增加, 景观整体连通性减弱, 景观复杂性降低; ③ 景观格局对人类干扰强度变化的响应关系呈现出地区和时间差异; 人类干扰活动强度相对较低的保护区受人工沟渠建设的影响, 也呈现出斑块团聚程度降低、景观多样性增加和景观复杂性降低的变化趋势; ④ 人为干扰度指数和人工沟渠密度指标互为补充, 互相印证, 可以较为全面、客观地反映黄河三角洲地区人类干扰活动强度。

**关键词:** 人类干扰活动; 人为干扰度; 人工沟渠密度; 景观格局; 黄河三角洲

## 1 引言

滨海湿地具有碳存储、维持生物多样性、调节气候、涵养水源等多种生态服务功能, 在维持沿海地区生态安全方面发挥了重要作用<sup>[1]</sup>。由于其位于海陆交界处的生态过渡地带, 受海陆共同作用影响, 生态系统极为脆弱和敏感<sup>[2]</sup>, 易受人类活动的干扰而发生退化。据了解, 过去一百年来, 因人类干扰活动导致全球约有30%~50%的滨海湿地呈现不同程度的退化<sup>[3]</sup>。特别是近几十年来, 滨海湿地区域农业围垦、海水养殖、城市和旅游设施建设、油田开采等人类活动强度逐渐增大, 直接或者间接改变着滨海湿地生态过程和景观格局, 引发了湿地大面积减少、景观破碎化、土地盐碱化、生物多样性降低、水质污染等一系列生态环境问题<sup>[4-5]</sup>, 严重制约了区域滨海湿地生态保护与资源可持续开发利用。因此, 辨识、量化人类干扰活动空间分布及其强度, 揭示滨海湿地景观格局对人类干扰活动的响应关系, 对合理调控人类活动, 保护滨海湿地具有重要意义。

目前, 国内外已有不少学者引用人为干扰度模型<sup>[6]</sup>对滨海湿地人类干扰活动强度进行空间化和半定量研究, 分析滨海湿地景观格局对人类干扰的响应关系<sup>[7-11]</sup>; 也有学者分别从土地利用<sup>[12]</sup>、道路建设<sup>[13]</sup>、油田开发<sup>[14-15]</sup>、沿海滩涂围垦<sup>[16]</sup>等特定人类活动角度探讨人类干扰对滨海湿地生态系统演变和景观格局的影响机制。2种研究思路各有优势, 前者间接反映人类活动强度, 适宜景观、区域尺度的快速评价研究, 后者直接揭示人类活动范围和强度, 研究较为深入, 但往往比较片面化; 若将二者结合, 将有助于全面、客观地揭示多种人类活动对滨海湿地生态系统和景观变化的综合影响。

鉴于此, 本研究以湿地变化较为剧烈的黄河三角洲为研究对象, 在遥感和GIS空间分析等技术方法支持下, 利用人为干扰度模型, 结合人工沟渠建设变化情况, 对黄河三角洲人类干扰影响进行评价研究, 从区域和局地2个尺度全面揭示人类干扰强度时空分异特征, 并探究区域景观格局对人类干扰活动的响应, 以期为黄河三角洲滨海湿地生态保护、景观恢复与人类活动调控管理提供决策支持。

## 2 研究区概况、数据源与研究方法

### 2.1 研究区概况

研究区主要位于现代黄河三角洲区域,地处118°31'~119°23' E, 37°34'~38°14' N, 涉及东营市河口区、垦利县、利津县等行政区(图1)。海岸线长177.43 km, 区域总面积为4129.97 km<sup>2</sup>。其中, 滩涂和近岸海域面积1334.36 km<sup>2</sup>。该区域建有黄河三角洲国家级自然保护区, 拥有黄河口新生湿地生态系统和多种珍稀、濒危鸟类, 区域内物种资源丰富<sup>[17-18]</sup>。近年来, 随着地区社会经济的快速发展, 黄河三角洲地区人类活动强度增加, 土地开发利用类型日益多样化, 带来自然景观破碎化、湿地面积大幅缩减、生物多样性减少等一系列生态环境问题, 威胁地区可持续发展。

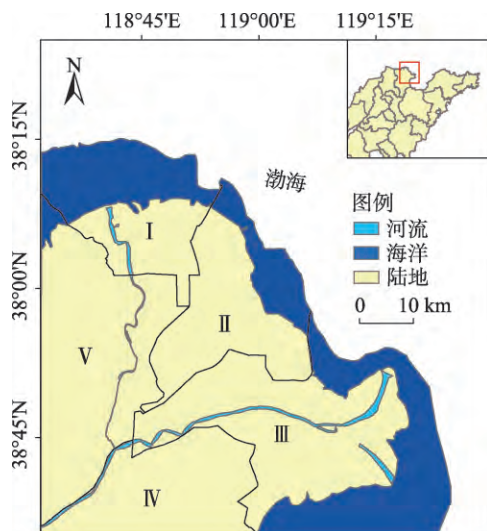


图1 研究区位置图

Fig. 1 Location of the study area

为深入揭示区域景观格局变化和人类干扰强度的空间分异特征, 综合考虑区域开发利用主导功能和行政管理现状, 将研究区划分为5个分区, 即一二管理站区(I)、胜利油田区(II)、黄河口管理站区(III)、垦利农业区(IV)和河口农业区(V)(图1)。

### 2.2 数据源与处理

遥感数据来源于1995、2004和2015年的Landsat TM、ETM+和OLI遥感影像(空间分辨率为30m), 季节时相基本一致。根据黄河三角洲湿地景观特征和相关研究成果, 参照国家林业局《全国湿地资源调查技术规程(试行)》和《第二次全国土地调查技术规程》(TD/T1014-2007), 将黄河三角洲湿地景观分

为自然湿地景观、人工湿地景观和非湿地景观3大类共计16种类型。在ERDAS 8.6与ArcGIS 10.3软件平台支持下, 图像经过波段合成、大气校正、几何校正等预处理后, 运用非监督分类、目视解译法, 结合高精度遥感影像(2004年SPOT影像、2015年的GF-1号卫星影像)、1:5万地形图和实地调查数据, 辨别区域景观类型, 制作得到1995、2004和2015年景观类型分布图(图2(a))。解译精度验证结果显示, 影像分类总体精度在80%以上, 满足本次研究要求。

人工沟渠主要是指与道路相伴而生的季节性湿地或农田间用于排水(泄洪)或灌溉的水道, 人工沟渠同时兼备河流和湿地的景观特征<sup>[19]</sup>。因此, 本研究首先采用修正水体指数法(MNDWI)<sup>[20]</sup>提取地表水体分布, 然后依据人工沟渠的特征, 参考地形图、土地利用图、高分辨率影像图等图件信息, 结合交通道路、农田、养殖池等信息的分布, 目视、综合判别人工沟渠的分布, 并用线状要素标示出人工沟渠的位置、走向和长度等信息(图2(b))。

### 2.3 人类干扰活动强度评估方法

采用人为干扰度和人工沟渠密度2个指标来量化评估研究区人类干扰活动强度。其中, 人为干扰度(HI)指标计算公式如下:

$$HI = \sum_{i=1}^m \left( \frac{A_i}{A_j} \right) \cdot P_i \quad (1)$$

式中:  $m$  为景观类型的数量;  $A_i$  为单元网格或区域中第  $i$  种景观类型的面积;  $A_j$  为单元网格或区域面积;  $P_i$  为第  $i$  种景观类型的人为干扰度系数。参照相关学者的研究成果<sup>[7,21]</sup>, 并结合黄河三角洲实际情况, 对研究区景观类型进行干扰度系数赋值(表1)。

农业垦殖、工矿业建设、油田开发等人类活动往往伴随着人工沟渠的扩展, 而人工沟渠作为湿地中高强度人类活动的缩影, 强烈影响着湿地的水文过程与生态环境, 加剧湿地景观破碎化程度<sup>[19]</sup>。采用人工沟渠密度表征人工沟渠建设强度及其对黄河三角洲生态环境的影响。计算公式如下:

$$M_j = L_j / A_j \quad (2)$$

式中:  $M_j$  为单元网格或区域  $j$  的人工沟渠密度;  $A_j$  为单元网格或区域面积;  $L_j$  为单元网格或区域内人工沟渠总长度/km, 包括农业沟渠和道路沟渠。

基于GIS统计、分析区域整体和5个分区人为干扰度和人工沟渠密度值的总体变化情况, 同时利

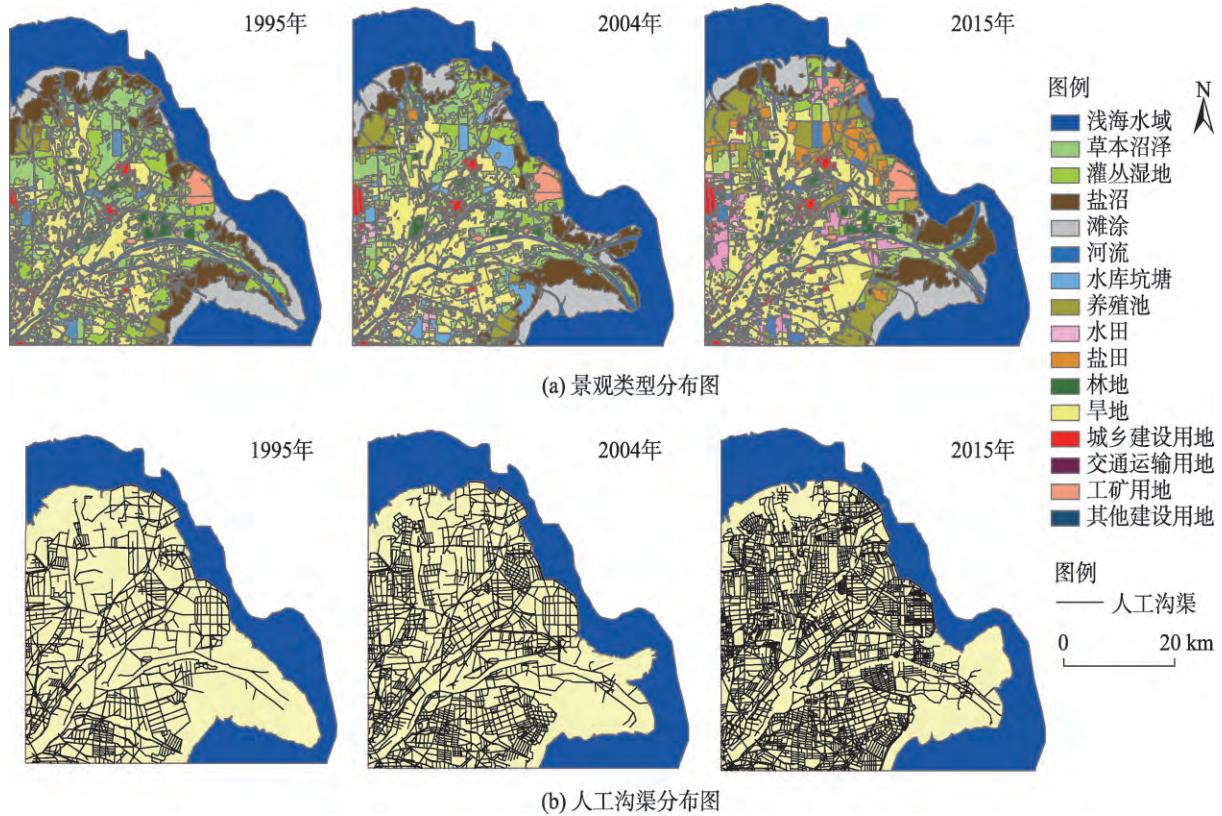


图2 1995-2015年黄河三角洲景观类型分布图与人工沟渠分布图

Fig. 2 Spatial distribution of landscape type and man-made ditches in the Yellow River Delta from 1995 to 2015

表1 黄河三角洲景观类型及其人为干扰度系数

Tab. 1 The landscape type and assignment of hemeroby index in the Yellow River Delta

一级景观分类	二级景观分类	含义	人为干扰度系数
自然湿地	浅海水域	低潮时水深不超过6 m 的水域	0.10
	草本沼泽	芦苇湿地、草甸湿地等	0.15
	灌丛湿地	灌丛为主的咸水沼泽	0.15
	盐沼湿地	芦苇盐沼、盐化草甸	0.15
	滩涂	淤泥质海滩	0.17
	河流	河口水域和主要河流水面	0.23
人工湿地	水库坑塘	水库等人工水工设施或坑塘	0.30
	养殖池	养虾池、鱼池、蟹池	0.63
	水田	稻田、藕田等	0.65
	盐田	采盐场、晒盐池等	0.75
非湿地	林地	自然林、稀疏林、人工林等	0.55
	旱地	棉花地、玉米地、菜地等	0.70
	城乡建设用地	农村居民点、城镇建设用地	0.98
	交通运输用地	公路	0.98
	工矿用地	工业生产、石油开采、仓储用地、港口码头等	0.99
	其他建设用地	科教用地、旅游设施和河流堤坝、防潮堤坝等	0.95

用 3 km×3 km 的网格覆盖研究区,分别计算 1995、2004 和 2015 年单位网格内的人为干扰度和人工沟

渠密度,用以评价不同时段人类干扰活动强度的时空分异特征。

### 2.4 景观格局指数选择

基于研究目标和黄河三角洲区域特点,从景观水平上选取6个景观格局指数分析量化黄河三角洲地区景观格局对人类干扰活动的响应关系,包括最大斑块指数(LPI)、斑块密度(PD)、边缘密度(ED)、面积加权平均斑块分维数指数(AWMPFD)、蔓延度指数(CONTAG)和香农多样性指数(SHDI),指数计算方法、涵义和公式见文献[22]-[23],指数计算借助Fragstas 4.2完成。

## 3 结果与分析

### 3.1 区域景观类型变化特征

从图3可看出,浅海水域、草本沼泽和灌丛湿地等自然湿地为现代黄河三角洲区域的优势景观类型,占据绝对主导地位。但随着人类活动强度的增强,研究区自然湿地面积比由1995年的78.26%下降至2015年的52.43%;20年间,有46.35 km<sup>2</sup>的草本沼泽和灌丛湿地转化为旱地,同时部分浅海水域和滩涂转化为水库、养殖池、盐田等人工湿地景观。

分区来看,一千二管理站区和黄河口管理站区的自然湿地面积比均在76%以上,但是2004年以来,部分自然湿地被围垦,养殖池塘、水田、盐田等人工湿地面积有所增加;垦利农业区和河口农业

区,受农业开垦活动的影响,大面积自然湿地被转化为旱地、养殖池等非自然湿地,并成为区域优势景观类型;2004-2015年,胜利油田区因受油田开发、港口码头和盐田建设活动的影响,优势景观类型从自然湿地,发展为自然湿地、人工湿地和非湿地“三足鼎立”的态势。

### 3.2 区域人类干扰强度时空变化特征

#### 3.2.1 时间变化特征

统计分析发现,1995-2015年现代黄河三角洲区域人为干扰度逐渐增加,但是区域整体干扰度值未超过0.5,低于以农业活动为主导的垦利农业区和河口农业区(图4)。这主要是由于湿地自然保护区的建设与管理行动保护住了大面积的自然湿地,将一千二管理站和黄河口管理站区域的人为干扰强度控制在相对较低的水平。胜利油田区人为干扰度介于上述农业区和保护区之间,呈现出明显的阶段性变化特征;其中,2004-2015年人为干扰度值迅速增加,成为区域人类活动热点区域,这主要归因于这一时间段东营港及临港产业区的建设以及盐田和养殖池的开发。

与区域整体人为干扰度随时间日益增加的变化趋势一致,区域人工沟渠密度也明显增大。研究区整体的人工沟渠密度由1995年的0.75 km/km<sup>2</sup>增

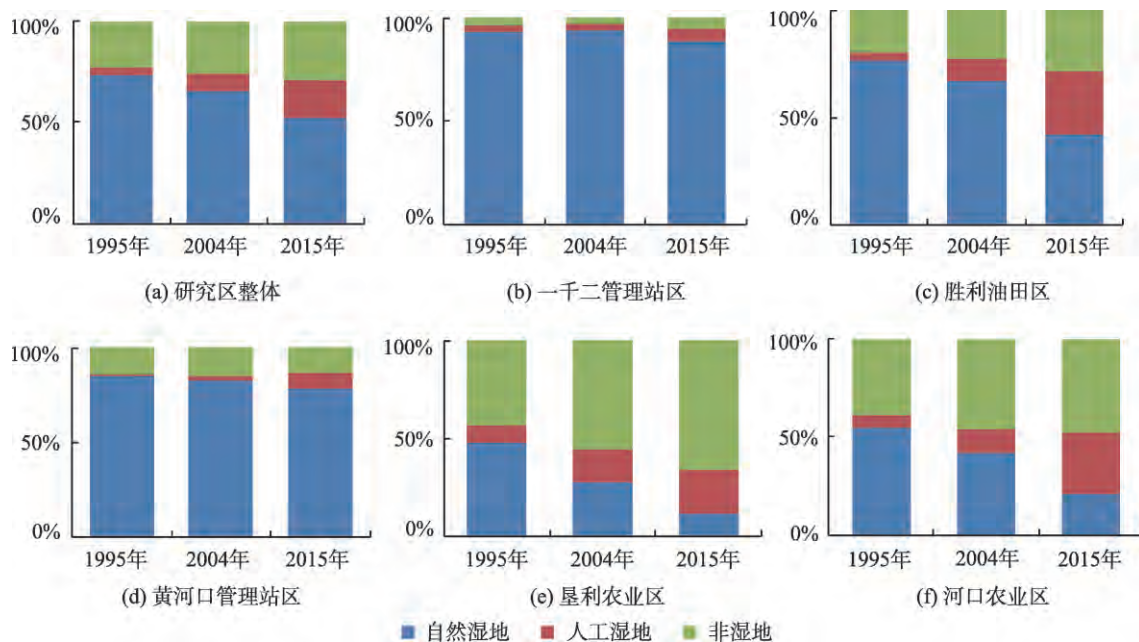


图3 1995-2015年黄河三角洲不同区域景观类型面积比变化

Fig. 3 The area proportion of landscape types in the Yellow River Delta in1995, 2004 and 2015

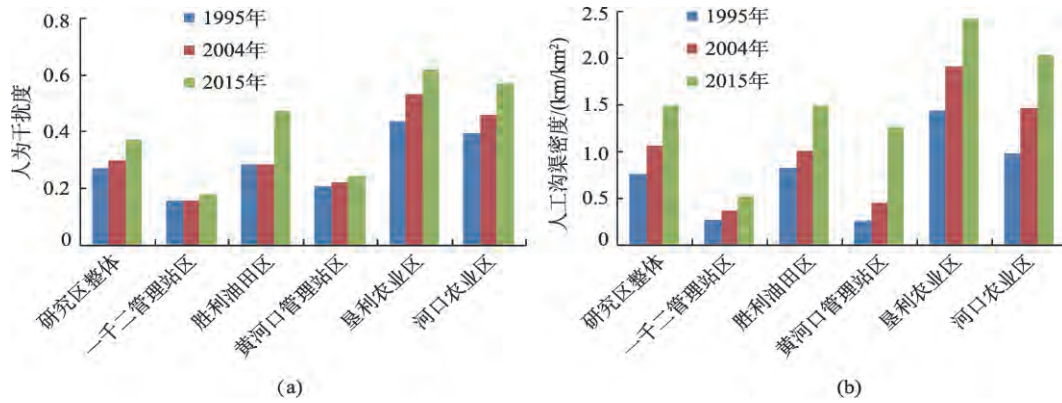


图4 1995-2015年黄河三角洲不同区域人为干扰度与人工沟渠密度变化

Fig. 4 The variation of hemeroby index and man-made ditches density in the Yellow River Delta from 1995 to 2015

加至2015年的1.49 km/km<sup>2</sup>,增长近2倍。其中,黄河口管理站区人工沟渠密度增长最为明显,这主要是由于保护区内旅游业、养殖业的发展,促进了道路、堤坝、引水渠等基础设施建设。与人为干扰度区域分布一致,一千二管理站区和黄河口管理站区人工沟渠密度相对较低,垦利农业区和河口农业区人工沟渠密度相对较高,胜利油田区与全区整体水平接近。

3.2.2 空间变化特征

将单元网格的人为干扰度值和人工沟渠密度值在 ArcGIS 中进行分级显示,结果如图5所示。经

GIS 统计分析发现,1995-2015年现代黄河三角洲地区人为干扰度高值区(0.50以上)向北部、东部,特别是东北部方向迅速扩展,原先分布较为分散的高值区逐步连接成片,黄河故道两岸以及东北部海岸地区成为人类活动热点区域。从面积比重上来看,1995年人为干扰度高值区仅占17.00%,2004年增加到26.43%,2015年又迅速提高到43.44%,说明现代黄河三角洲区域人类活动范围和强度均日益增大,给黄河三角洲自然湿地保护和海岸带生态保护带来巨大压力。

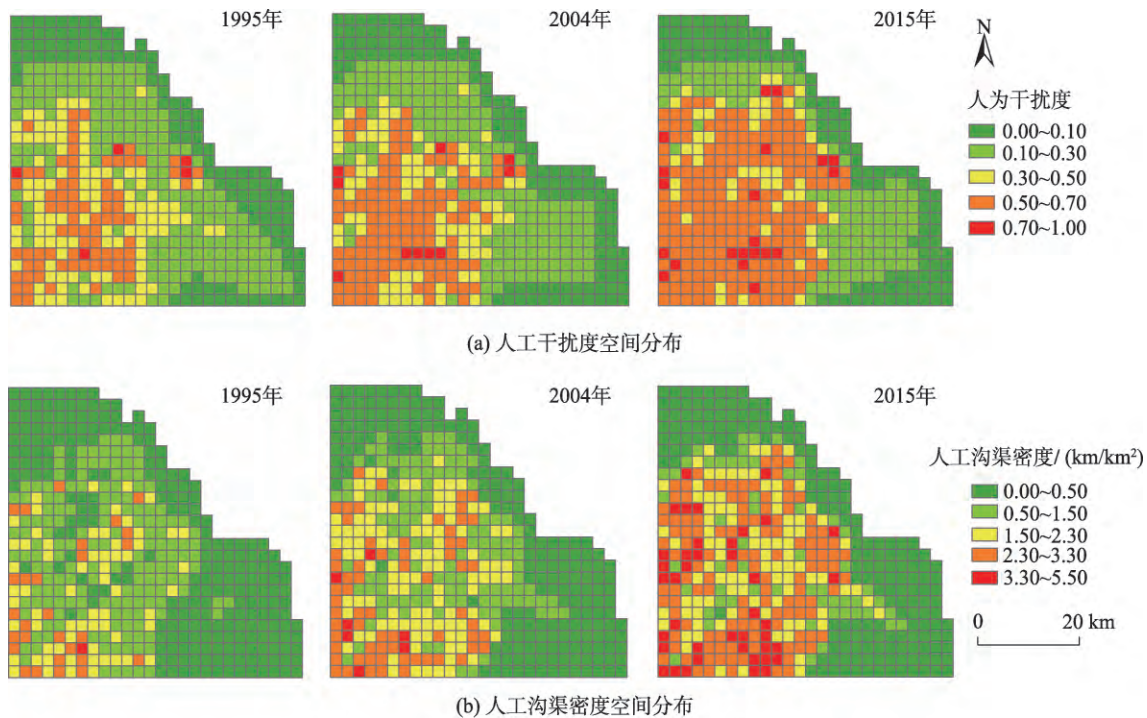


图5 1995-2015年黄河三角洲人为干扰度与人工沟渠密度空间分布图

Fig. 5 Spatial distribution of hemeroby index and man-made ditches density in the Yellow River Delta from 1995 to 2015

人工沟渠密度中高值区(1.50以上)分布变化特征总体上与人为干扰度变化趋势一致,呈现从内陆向沿海,自西南部向东部、北部方向扩展的态势。其中,1995–2004年受农业开垦活动的影响,人工沟渠密度中高值区从垦利农业区向河口农业区扩展;2004–2015年则进一步向东北部的孤东油田、东营港及附近区域扩展。

### 3.3 区域景观格局对人类干扰活动强度变化的响应

人类干扰活动往往会影响区域景观格局与生态过程。景观格局指数计算结果显示(图6),1995–2015年随着人为干扰度增加和人工沟渠密度增大,全区PD值呈现先下降后上升的变化趋势,LPI值正好相反,呈现先增加后减少的趋势。2个值总体上变化都不大,这主要是由于近20年尽管自然湿地斑块增多,湿地生境呈现破碎化趋势,但是人工湿地和非湿地扩张也非常迅速,其斑块逐步连接成片,二者呈现相互抵消的发展态势;加之保护管理措施到位,自然湿地的景观优势地位并未被改变。然而,这并不能说明人类干扰强度的增加并未明显改变区域景观格局,从SHDI指数增加,ED、CONTAG和AWMPFD值明显降低,可以看出黄河三角洲东营港及临港产业区的建设、农田的扩张以及盐田、养殖池开发,使得区域景观类型异质性增加,斑块复杂性下降,斑块团聚程度降低,景观整体连通性减弱。

由分区来看,由于一千二管理站区和黄河口管

理站区受自然保护区建设管理的影响,自然湿地景观的优势地位未改变,PD值均低于0.2,LPI值保持较高水平,且年度变化不明显。但是,随着保护区内旅游、农业和养殖开发活动以及生态修复项目的开展,区域内人工湿地和非湿地景观类型增多,景观异质性增大;同时,养殖池、水田、道路以及相伴而生的人工沟渠的建设使得区域斑块边缘和形状日益简单化,景观复杂性降低,这可以从ED、AWMPFD、CONTAG和SHDI值的变化情况得到进一步印证。河口农业区、胜利油田区内,农业开垦和油田开发活动成为该区域的主要人类干扰活动,人工沟渠密度增加明显,自然湿地退化较为严重,非自然湿地景观类型成为优势类型,景观类型逐渐多样化,景观形状变得规则和简单,因此SHDI值上升,ED、AWMPFD、CONTAG明显降低。2000年后,东营市开始积极推动农业和农村经济结构调整,垦利农业区的农田成为主要景观类型,到2015年,农田占该区域面积比例高达53.99%,农田呈规模化、集约化趋势发展,在一定程度上导致SHDI降低,CONTAG增加,其他指数变化情况和河口农业区、胜利油田区一致。

## 4 结论

本研究基于RS和GIS技术,利用人为干扰度和人工沟渠密度2个指标,从区域尺度和局地尺度

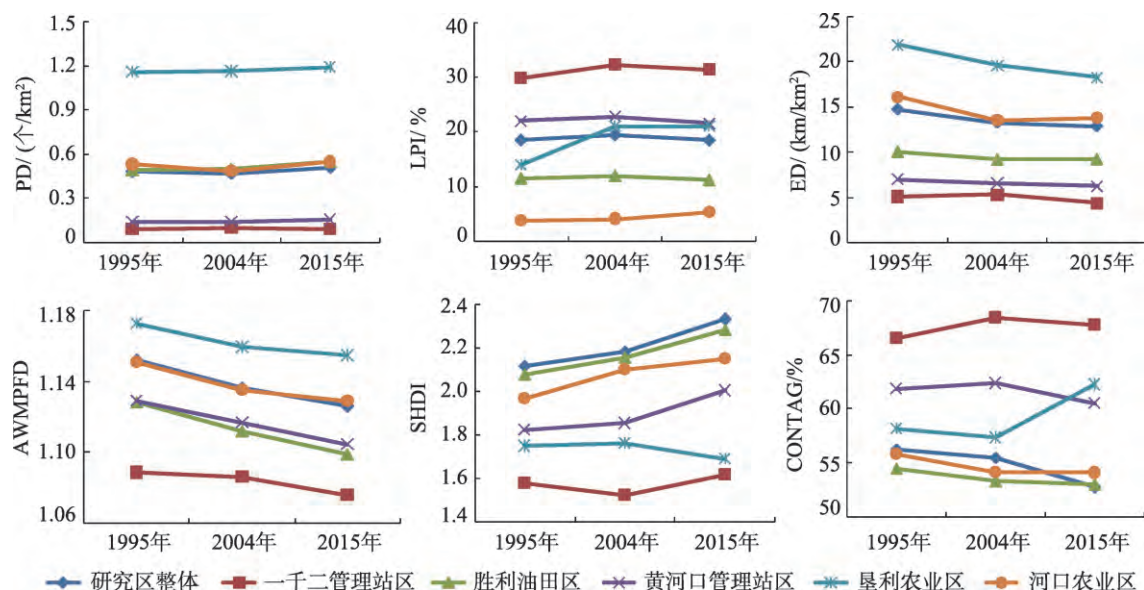


图6 1995–2015年黄河三角洲不同区域景观格局指数变化

Fig. 6 Changes of landscape pattern index in different areas of the Yellow River Delta from 1995 to 2015

揭示了人类活动对黄河三角洲的干扰强度变化特征及其对区域景观格局的影响,主要结论如下:

(1)1995-2015年现代黄河三角洲区域人为干扰度和人工沟渠密度均明显增大,空间分布呈现从西南部向东部、北部,自内陆向沿海的扩展趋势;

(2)随着人类干扰活动增强,区域自然湿地面积大幅减少,斑块团聚程度降低,景观整体连通性减弱,但区域景观多样性和空间异质性增加,斑块形状趋于规则化、简单化;

(3)景观格局对人类干扰强度变化的响应关系呈现地区和时间差异;人类干扰活动强度较高,且强度增加明显的垦利农业区、河口农业区和胜利油田区,区域景观格局变化呈现出明显的阶段性特征;人类干扰强度相对较低的一千二管理站区和黄河口管理站区,因人工沟渠密度的增加,在2004-2015年区域景观格局呈现出景观多样性增加、斑块复杂性降低、景观整体连通性降低的变化趋势。

研究发现,人为干扰度指标可以直接用于评价区域内景观类型受到人为干扰活动的影响强度<sup>[24-25]</sup>;人工沟渠密度指标从局地尺度直观反映了保护区等人类活动相对较弱的区域的人类干扰强度,对揭示区域自然生态系统破碎化及生态系统演变机制具有重要意义。2个指标互为补充,互相印证,提供了一种综合性描述人类干扰活动变化的时空分析方法,为全面揭示人类干扰活动的影响程度和范围提供了很好的思路。当然,滨海湿地景观变化,还受到全球气候变化、水文地貌改变等自然因子的影响,下一步将从不同人类活动类型、范围和强度等角度,建立滨海湿地生态系统人类活动强度综合性评价指标体系,以更为客观、全面地揭示黄河三角洲人类干扰活动对湿地生态系统的胁迫压力。

#### 参考文献(References):

- [1] 李伟,崔丽娟,赵欣胜,等.中国滨海湿地及其生态系统服务功能研究概述[J].林业调查规划,2014,39(4):24-30. [Li W, Cui L J, Zhao X S, et al. An overview of Chinese coastal wetland and their ecosystem services[J]. Forest Inventory and Planning, 2014,39(4):24-30.]
- [2] 梁晨,李晓文,崔保山,等.中国滨海湿地优先保护格局构建[J].湿地科学,2015,13(6):660-666. [Liang C, Li X W, Cui B S, et al. The pattern construction of priority protection for coastal wetlands in China[J]. Wetland Science, 2015,13(6):660-666.]
- [3] Shabman L A, Batie S S. Economic value of natural coast-

al wetlands: A critique[J]. Coastal Management, 1978,4(3):231-247.

- [4] 陈琳,任春颖,王宗明,等.黄河三角洲滨海地区人类干扰活动用地动态遥感监测及分析[J].湿地科学,2017,15(4):613-621. [Chen L, Ren C Y, Wang Z M, et al. Remote sensing monitoring and analysis on dynamics of land use of human disturbances in coastal area of the Yellow River Delta[J]. Wetland Science, 2017,15(4):613-621.]
- [5] Than Y L, Luo L, Mao D H, et al. Using Landsat images to quantify different human threats to the Shuangtai Estuary Ramsar site[J]. Ocean & Coastal Management, 2017, 135:56-64.
- [6] 陈鹏,傅世锋,文超祥,等.1989-2010年间厦门湾滨海湿地人为干扰影响评价及景观响应[J].应用海洋学学报,2014,33(2):167-174. [Chen P, Fu S F, Wen C X, et al. Assessment of impact on coastal wetland of Xiamen Bay and response of landscape pattern from human disturbance from 1989 to 2010[J]. Journal of Applied Oceanography, 2014,33(2):167-174.]
- [7] 孙永光,赵冬至,吴涛,等.河口湿地人为干扰度时空动态及景观响应——以大洋河口为例[J].生态学报,2012,32(12):3645-3655. [Sun Y G, Zhao D Z, Wu T, et al. Temporal and spatial dynamic changes and landscape pattern response of Hemeroby in Dayang estuary of Liaoning Province, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012,32(12):3645-3655.]
- [8] 肖翠,解雪峰,吴涛,等.浙江西门岛湿地景观格局与人为干扰度动态变化[J].应用生态学报,2014,25(11):3255-3262. [Xiao C, Xie X F, Wu T, et al. Dynamic changes of landscape pattern and hemeroby in Ximen isand wetland, Zhejiang Province, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014,25(11):3255-3262.]
- [9] 刘吉平,董春月,盛连喜,等.1955-2010年小三江平原沼泽湿地景观格局变化及其对人为干扰的响应[J].地理科学,2016,36(6):879-887. [Liu J P, Dong C Y, Sheng L X, et al. Landscape pattern change of marsh and its response to human disturbance in the small Sanjiang Plain,1955-2010[J]. Scientia Geographica Sinica, 2016,36(6):879-887.]
- [10] 张月,张飞,王娟,等.近40年艾比湖湿地自然保护区生态干扰度时空动态及景观格局变化[J].生态学报,2017,37(21):7082-7097. [Zhang Y, Zhang F, Wang J, et al. Analysis of the temporal and spatial dynamics of landscape patterns and hemeroby index of the Ebinur Lake Wetland Nature Reserve, Xinjiang, over the last 40 years[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017,37(21):7082-7097.]
- [11] 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]. Environment Monitor-



- ing and Assessment, 2007,124:361-370.
- [12] 张荣群,乔月霞,刘欢.湿地景观演变与土地利用强度变化的响应关系——以银川平原为例[J].测绘科学,2015,40(10):54-59. [ Zhang R Q, Qiao Y X, Liu H. The map analysis of wetland landscape evolution with land use intensity change response in Yinchuan plain[J]. Science of Surveying and Mapping, 2015,40(10):54-59. ]
- [13] 衷平,杨志峰,崔保山,等.公路对湿地的生态效应及其反馈的研究进展[J].湿地科学,2009,7(1):89-98. [ Zhong P, Yang Z F, Cui B S, et al. Advance on ecological effects of highway construction on wetland and its reactions[J]. Wetland Science, 2009,7(1):89-98. ]
- [14] 任雯,岳勇,陈梅梅.石油开发对辽河油田湿地景观格局变化的影响分析[J].油气田环境保护,2012,22(3):47-49, 81. [ Ren W, Yue Y, Chen M M. Analysis of impact of oil development on Liaohe oilfield wetland landscape pattern change[J]. Environmental Protection of Oil & Gas Fields, 2012,22(3):47-49,81. ]
- [15] 修长军,王晓慧.胜利油田开发对黄河三角洲湿地的环境影响及环境管理[J].中国环境管理,2003(3):59-60. [ Xiu C J, Wang X H. Environmental impact and management for the Yellow River Delta swamp with Shengli oilfield development[J]. China Environmental Management, 2003(3):59-60. ]
- [16] 徐彩瑶,濮励杰,朱明.沿海滩涂围垦对生态环境的影响研究进展[J].生态学报,2018,38(3):1148-1162. [ Xu C Y, Pu L J, Zhu M. Effect of reclamation activity on coastal ecological environment: progress and perspectives. Acta Ecologica Sinica, 2018,38(3):1148-1162. ]
- [17] 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. [ Liu Y F, Zhang J, Ma Y, et al. Changes of wetland landscape pattern in Eastern Yellow River Delta Nature Reserve from 1995 to 1999[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010,21(11):2904-2911. ]
- [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(1):91-97. [ Zong Y X, Liu G H, Qiao Y L, et al. Study on dynamic change of wetland landscape pattern in Yellow River Delta[J]. Journal of Geo-information Science, 2009,11(1):91-97. ]
- [19] 宗敏,王光镇,韩广轩,等.1976—2015年黄河三角洲人工沟渠时空演变及驱动机制[J].鲁东大学学报(自然科学版),2017,33(1):68-75. [ Zong M, Wang G Z, Han G X, et al. Spatial and temporal evolution and driving mechanism of man-made ditches in the Yellow River Delta from 1976 to 2015[J]. Journal of Ludong University (Natural Science Edition), 2017,33(1):68-75. ]
- [20] 徐涵秋.利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J].遥感学报,2005,9(5):589-595. [ Xu Q H. A Study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index(MNDWI)[J]. Journal of Remote Sensing, 2005,9(5):589-595. ]
- [21] 陈爱莲,朱博勤,陈利顶,等.双台河口湿地景观及生态干扰度的动态变化[J].应用生态学报,2010,21(5):1120-1128. [ Chen A L, Zhu B Q, Chen L D, et al. Dynamic changes of landscape pattern and eco-disturbance degree in Shuangtai estuary wetland of Liaoning Province, China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010,21(5):1120-1128. ]
- [22] 肖笃宁,李秀珍,高峻,等.景观生态学(第二版)[M].北京:科学出版社,2010. [ Xiao D N, Li X Z, Gao J, et al. Landscape ecology (second edition) [M]. Beijing: Science Press, 2010. ]
- [23] 傅伯杰,陈利顶,马克明,等.景观生态学原理及应用(第二版)[M].北京:科学出版社,2011. [ Fu B J, Chen L D, Ma K M, et al. Landscape ecology method and application (second edition)[M]. Beijing: Science Press, 2011. ]
- [24] 刘慧明,刘晓曼,李静,等.生物多样性保护优先区人类干扰遥感监测与评价方法[J].地球信息科学学报,2016,18(8):1103-1109. [ Liu H M, Liu X M, Li J, et al. Assessment method and application of human disturbance by remote sensing in the biodiversity conservation priority area[J]. Journal of Geo-information Science, 2016,18(8):1103-1109. ]
- [25] 刘富强,吴涛,蒋国俊,等.海岸线与海岸景观格局对人为干扰度的动态响应——以营口市南部海岸为例[J].生态学报,2017,37(22):7427-7437. [ Liu F Q, Wu T, Jiang G J, et al. Dynamic response of the coastline and coastal landscape patterns to Hemeroby: A case study along the south coast of Yingkou[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017,37(22):7427-7437. ]