

基于地学信息图谱的河道、海岸线演变对黄河三角洲景观格局影响研究*

李丹 王庆^① 徐洋 战超 刘现彬 王龙升
崔步礼 于祥 孙晓 王秋贤

(鲁东大学海岸研究所 烟台 264025)

摘要 本文利用 1988、1998、2009 和 2016 年四期遥感影像,运用 GIS 技术,将地学信息图谱的图形思维与景观生态学的定量思维相结合,以距今不同时期的亚三角洲和滨海湿地为研究区,从景观结构和景观演替两个方面探究黄河三角洲河道、海岸线演变对景观格局的影响。结果表明:(1) 距今不同时间的河道对黄河三角洲景观结构的影响程度不同,距今时间越长的亚三角洲研究区内耕地占总面积的比例越大且耕地是亚三角洲研究区中的第一优势景观类型。在 1855—1889 亚三角洲研究区内,除耕地和建筑用地外,其他各类景观占总面积的比例都较小且随时间变化不明显;在 1929—1934 亚三角洲研究区内,盐田、养殖池占总面积的比例从 2009 年到 2016 年增加了近 40%,涨幅明显;在 1964—1976 亚三角洲研究区内,各类景观占总面积的比例趋于平均;在 2017 至今的亚三角洲研究区内,耕地和光滩占总面积的比例较高,达到 24%左右。(2) 距今不同时间的海岸线对黄河三角洲景观结构的影响程度也不同,在 1855 滨海湿地研究区内,耕地占总面积比例为 60%左右,而海域占总面积比例接近于 0,极差较大;在 1934 和 1974 滨海湿地研究区内,光滩、柽柳、碱蓬群落、芦苇、白茅群落占总面积比例随时间变化几乎呈逐渐下降趋势,而建筑用地和盐田、养殖池则呈逐渐上升趋势;2009 滨海湿地研究区,河流、人工水域占总面积比例在 2009 年和 2016 年均达到 32%以上。(3) 根据景观类型重心变化特征,分析河道、海岸线演变对景观演替的影响程度,将不同时期亚三角洲和滨海湿地研究区景观演替分为如下几类:亚三角洲人类活动主导型、废弃河道主导型、行水河道主导型、滨海湿地人类活动主导型、废弃海岸主导型、新海岸主导型。

关键词 黄河三角洲;景观信息图谱;景观格局;河道;海岸线

中图分类号 P901 doi: 10.11693/hyhz20180200033

黄河三角洲是我国暖温带地区最年轻、最广阔、生物多样性最丰富的河口滨海湿地,但受海岸线变迁、黄河河道摆动以及人类活动的影响,黄河三角洲景观格局变化显著(夏江宝等, 2016; 李敏等, 2017)。景观格局是指形状、大小不同的景观斑块在空间上的分布情况,探究其变化的目的是解释景观格局与生态过程之间的关系,推理出景观变化的驱动因素并预测

发展趋势(Zheng *et al.*, 2010; 彭建等, 2015)。近几年,国内外关于景观格局的研究多集中在探究景观格局变化与生态过程的耦合(傅伯杰等, 2010; Li *et al.*, 2015, 2017; Wu *et al.*, 2017)、景观格局演变驱动力(刘吉平等, 2014; Yang *et al.*, 2014)、数据源对景观格局分析的影响(赵永华等, 2013; 赵银军等, 2017)以及景观格局梯度分析(白元等, 2013; Tanner *et al.*, 2018)等方

*国家自然科学基金项目, U1706220 号, 41471005 号, 41271016 号; 山东省科技厅面上项目, ZR2017MD015 号; 山东省教育厅项目, J16LH02 号。李丹, 硕士研究生, E-mail: ld11cy@163.com

通讯作者: 王庆, 博士生导师, 教授, E-mail: schingwang@126.com

收稿日期: 2018-02-07, 收修改稿日期: 2018-03-30

面,研究方法多采用二维、三维景观指数分析(Chen *et al.*, 2014; 刘富强等, 2017; Cabral *et al.*, 2017; Hassan *et al.*, 2017)、构建数学模型(孙才志等, 2014; 廖芳均等, 2014)、缓冲区分析(白元等, 2013; 赵芳等, 2017)和移动窗口分析法(刘世梁等, 2017)等。

目前关于黄河三角洲景观格局的研究大都采用计算面积和景观指数的方法(王永丽等, 2012; 孔欣欣等, 2015),侧重于定量分析思维,使得对黄河三角洲景观格局变化的空间表达不够清晰,且都是分析黄河三角洲整体景观格局的变化,而关于黄河三角洲河道和海岸线演变对景观格局影响的研究较少,尤其对于废弃河道和海岸线对黄河三角洲景观格局影响的研究更为缺乏(洪佳等, 2016; 孙万龙等, 2017)。因此,本文将地学信息图谱与景观生态学相结合,利用地学信息图谱的图形和谱系双重表达优势(陈述彭等, 2000),从局部出发,分析黄河三角洲地区 1855—1889 年(距今 128 年)、1929—1934 年(距今 83 年)、1964—1976 年(距今 41 年)、2007 年至今行水的河道以及 1855 年(距今 162 年)、1934 年(距今 83 年)、1974 年(距今年 43 年)、2009 年(距今 8 年)的海岸线演变对其景观格局变化的影响,旨在探究距今不同时间河道和海岸线对景观格局的影响程度,为进一步研究黄河三角洲景观格局演变驱动力提供科学依据。

1 研究区概况

黄河三角洲北临渤海湾,东靠莱州湾,主要分布在山东省东营市,是通过河口改道、频繁摆动和泥沙沉积发展而来(刘艳丽等, 2015)。1855 年至今,黄河河道发生了 10 次影响国民生计的重大改道且与之相对的海岸线也发生了较大的变化。由于受到海洋和黄河河道的摆动、径流测渗等因素的影响,该地区土壤盐渍化较为严重并有明显的空间变化。该区域属于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 551.6mm(刘波等, 2015)。受气候和土壤盐渍化的影响,该地区的景观类型主要有光滩、养殖池、盐田、柾柳、碱蓬、芦苇、白茅、旱地、水田以及林地等。

根据文章研究目的并结合河道、海岸对景观格局的影响范围,在研究不同时期河道对景观格局变化影响时,采用时间间隔为 40 年左右的河道冲淤形成的亚三角洲为研究区范围。文章中选用 1855—1889 年亚三角洲、1929—1934 年亚三角洲、1964—1976 年亚三角洲和 2007 年至今的亚三角洲作为研究区范围。研究不同时期海岸对景观格局变化影响时,采用不同时期的滨海湿地为研究区范围,文中将海岸线向陆 20km,向海 10km 的区域划定为滨海湿地。与亚

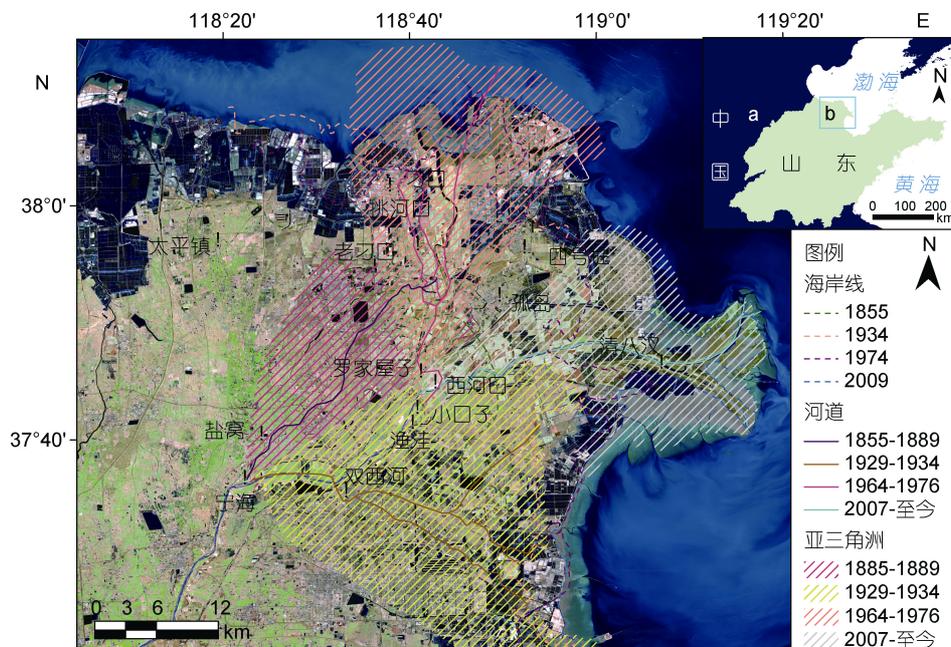


图 1 研究区地理位置

Fig.1 Geographical location of the study area

三角洲研究区的时间相对应,文章中选用了 1855 年滨海湿地、1934 年滨海湿地、1974 年滨海湿地和 2009 年滨海湿地作为研究区范围。

2 数据来源及处理

2.1 数据概况

根据研究需要,本文中所用到的数据主要包括:(1) 1855—1976 年的黄河河道、海岸线以及亚三角洲分布图。数据来自山东省黄河口区海岸带和三角洲资源综合调查报告。(2) 1984 年 1:5 万地形图。(3) 遥感影像数据:1988 年 9 月分辨率为 30m 的 TM 数据、1998 年 9 月分辨率为 30m 的 TM 数据、2009 年 10 月分辨率为 30m 的 TM 数据,2016 年 10 月分辨率为

15m 的 OLI 数据。数据来源于美国地质调查局(USGS)网站。由于黄河三角洲地区部分植被在秋季呈现出特殊颜色,利于景观分类的进行(叶庆华等, 2004),所以本文中采用的四期遥感影像均为 9 月份或 10 月份。(4) 黄河三角洲野外考察数据。2016 年 10 月于黄河三角洲地区进行野外实地考察,采集得到 107 个点的景观类型数据。

2.2 景观分类系统

由于受到河道摆动和海洋运动的作用,黄河三角洲地区土壤的含盐量和含水量不同(马玉蕾等, 2013),本文为了探究河道和海岸线变化对该地区景观格局变化的影响,将黄河三角洲地区的景观类型分为 9 类(表 1)。

表 1 黄河三角洲景观分类方案
Tab.1 Yellow River Delta landscape classification scheme

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
景观类型	海域	光滩	盐田、养殖池 景观	柽柳、碱蓬群落 景观	芦苇、白茅群落 景观	耕地景 观	林地景 观	建筑用地 景观	河流、人工水域 景观

2.3 数据处理

对收集到的不同数据进行处理:(1) 将 1855—1976 年的黄河河道、海岸线以及亚三角洲分布图进行扫描,在 ArcGIS 中进行地理配准和矢量化。(2) 为提高所用遥感影像的可判读性,利用 ENVI 分别对四期遥感影像进行投影转换、几何精校正、数据融合、重采样以及增强处理等(Ottinger *et al.*, 2013; Jiang *et al.*, 2015)。(3) 根据文章中定义的景观分类系统,结合黄河三角洲地区景观解译标志的特点,本文采用最大似然法对四期遥感影像进行监督分类,再对其分类结果进行目视解译,最后,对遥感影像的解译进行精度分析(精度大于 85%)。最终得到黄河三角洲地区 1988 年、1998 年、2009 年和 2016 年四期景观分布图。

3 结果与分析

本文主要从黄河三角洲景观结构特征和景观演替两个方面来探究距今不同时间河道和海岸线对景观格局的影响,所以将不同时期的亚三角洲和滨海湿地分别与 1988 年、1998 年、2009 年和 2016 年的景观分布图进行叠加,得到不同时期亚三角洲和滨海湿地在 1988 年、1998 年、2009 年和 2016 年的景观分布图谱(图 2, 图 3),进而计算各景观类型面积占总面积的比例,得到不同时期亚三角洲和滨海湿地景观类型占总面积比例变化图谱(图 4, 图 5)。关于景观演替

方面,文中采用区域质心函数计算景观分布重心,再将不同时期亚三角洲和滨海湿地研究区内 1988 年、1998 年、2009 年和 2016 年景观分布重心坐标数据合成重心演替过程图谱(图 6, 图 7)。

3.1 河道、海岸线变迁对黄河三角洲景观结构特征的影响

由图 4 分析可得,在四个时期的亚三角洲研究区内,耕地占总面积的比例都较大,且在距今时间越长的亚三角洲研究区耕地占总面积的比例越大,1855—1889 亚三角洲研究区内耕地占总面积的比例最大为 60%—80%,是亚三角洲研究区中的第一优势景观类型。

在 1855—1889 亚三角洲研究区内,景观结构主要受人类活动的影响,因此除耕地和建筑用地外,其他各类景观占总面积的比例都较小且随时间变化不明显。耕地随时间增加占总面积比例越来越小,而建筑用地占总面积比例则越来越大。较 1855—1889 亚三角洲研究区,在 1929—1934 亚三角洲研究区内,除耕地外,其他各类景观占总面积的比例也都有所增加。由于经济发展的需要,盐田、养殖池占总面积的比例增幅明显,成为该研究区的第二优势景观,且呈现逐年增加的态势,从 2009 年到 2016 年涨幅最大,增加了近 40%。在 1964—1976 亚三角洲研究区内,除林地、建筑用地和河流、人工水域外,其他各类景

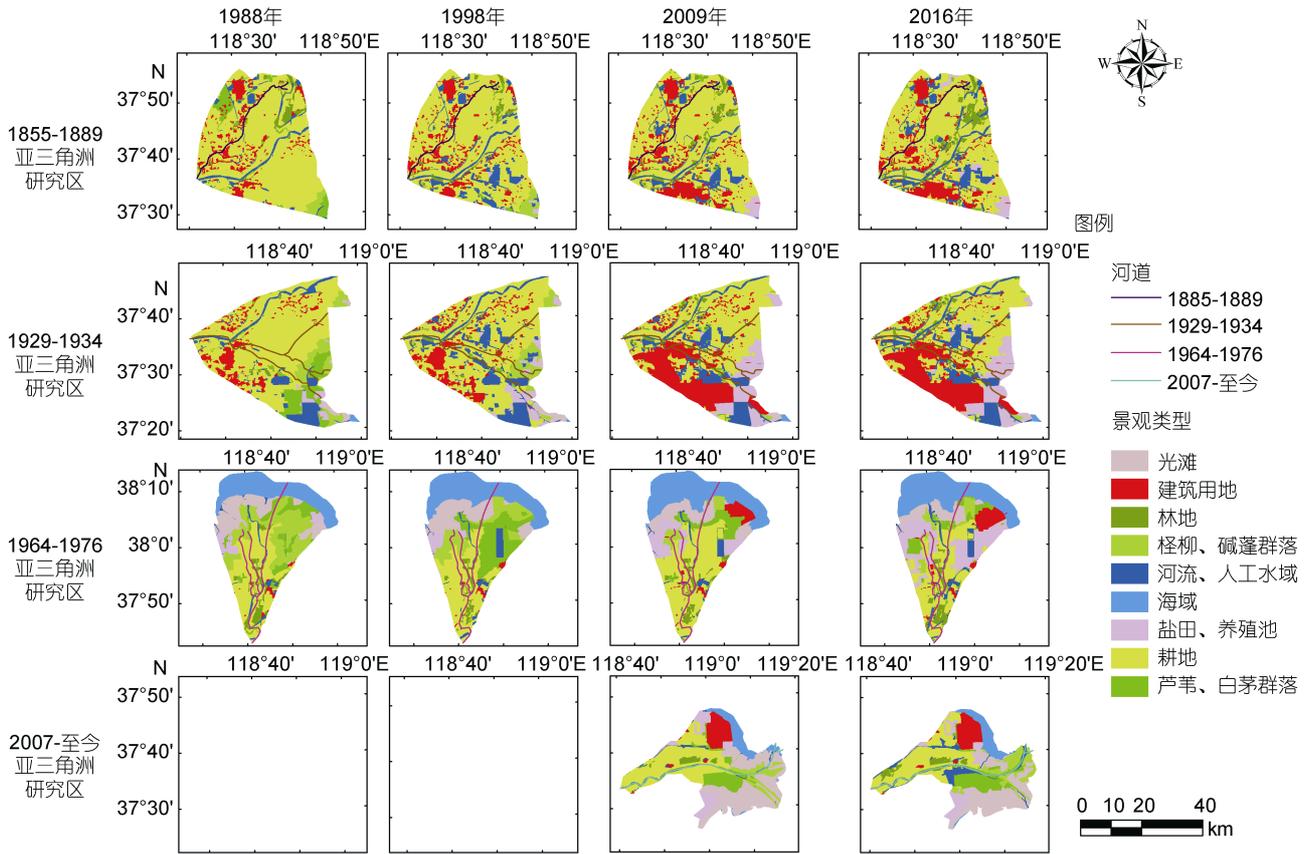


图 2 不同时期亚三角洲景观分布图谱

Fig.2 Atlas for the landscape distribution of sub-delta in different periods

观占总面积的比例趋于平均,其中柽柳、碱蓬群落占总面积比例由 1988 年的 21%下降到 2016 年的 4%左右,呈现逐年下降的趋势。在 2017—至今的亚三角洲研究区内,耕地和光滩占总面积的比例较高,耕地占总面积的比例最低为 24%左右,其他各类景观占总面积的比例较平均,基本都在 8%—10%之间。除光滩外,各类景观占总面积比例随时间变化不明显。

从图 5 可明显看出,在 1855 年、1934 年和 1974 年滨海湿地研究区内,耕地占总面积的比例都是最大的,为第一优势景观。除此之外,各时期滨海湿地研究区中,盐田、养殖池占总面积的比例也较大,都在 20%以上,成为第二优势景观。

在 1855 滨海湿地研究区内,各类景观占总面积比例存在较大的极差,耕地占总面积比例为 60%左右,而海域占总面积比例接近于 0。各类景观占总面积比例随时间变化几乎不明显,但盐田、养殖池占总面积比例呈逐年增加的态势,且在从 1998 年到 2009 年增长了近 15%,涨幅明显。在 1934 滨海湿地研究区内,光滩、柽柳、碱蓬群落、芦苇、白茅群落占总

面积比例随时间变化几乎都呈逐渐下降趋势,且从 1998 年到 2009 年柽柳、碱蓬群落下降了近 15%,下降幅度明显,而建筑用地和盐田、养殖池则呈逐渐上升趋势。1974 滨海湿地研究区景观结构变化几乎与 1934 滨海湿地研究区一致,仅个别景观变化略微有所差别。2009 滨海湿地研究区,河流、人工水域占总面积比例最大,在 2009 年和 2016 年均 32%以上。2009—2016 年光滩占总面积比例减少了近 8%,而盐田、养殖池占总面积比例增加了 5%左右,其他各类景观占总面积比例变化较小。

3.2 河道、海岸线变迁对黄河三角洲景观演替的影响

3.2.1 不同时期亚三角洲景观演替图谱分析 在 1855—1889 年的亚三角洲研究区内,单一时期的景观类型分布重心较为分散,且沿河道景观分布并无明显特征。在不同时期,受人类活动影响较大的景观类型变化特征明显。例如耕地在 1988 年、1998 年和 2009 年的分布重心主要在废弃河道附近而 2016 年耕地的分布重心则远离河道向东扩展。建筑用地和河流、人工

水域的分布重心也随时间推移向远离河道的方向扩展。

1929—1934 亚三角洲研究区和 1964—1976 亚三角洲研究区内,景观分布情况相似。在单一时期内较 1855—1889 研究区景观分布重心集中,且沿河道景观分布有一定的规律性。不同年份景观分布虽有所变

化,但沿河道延伸方向景观类型基本呈林地、建筑用地、耕地、芦苇、白茅群落、盐田、养殖池、河流、人工水域、桉柳、碱蓬群落、光滩和海域依次分布。随着时间的推移,受人类活动影响较大的耕地和建筑用地景观沿河道延伸方向变化幅度较大。

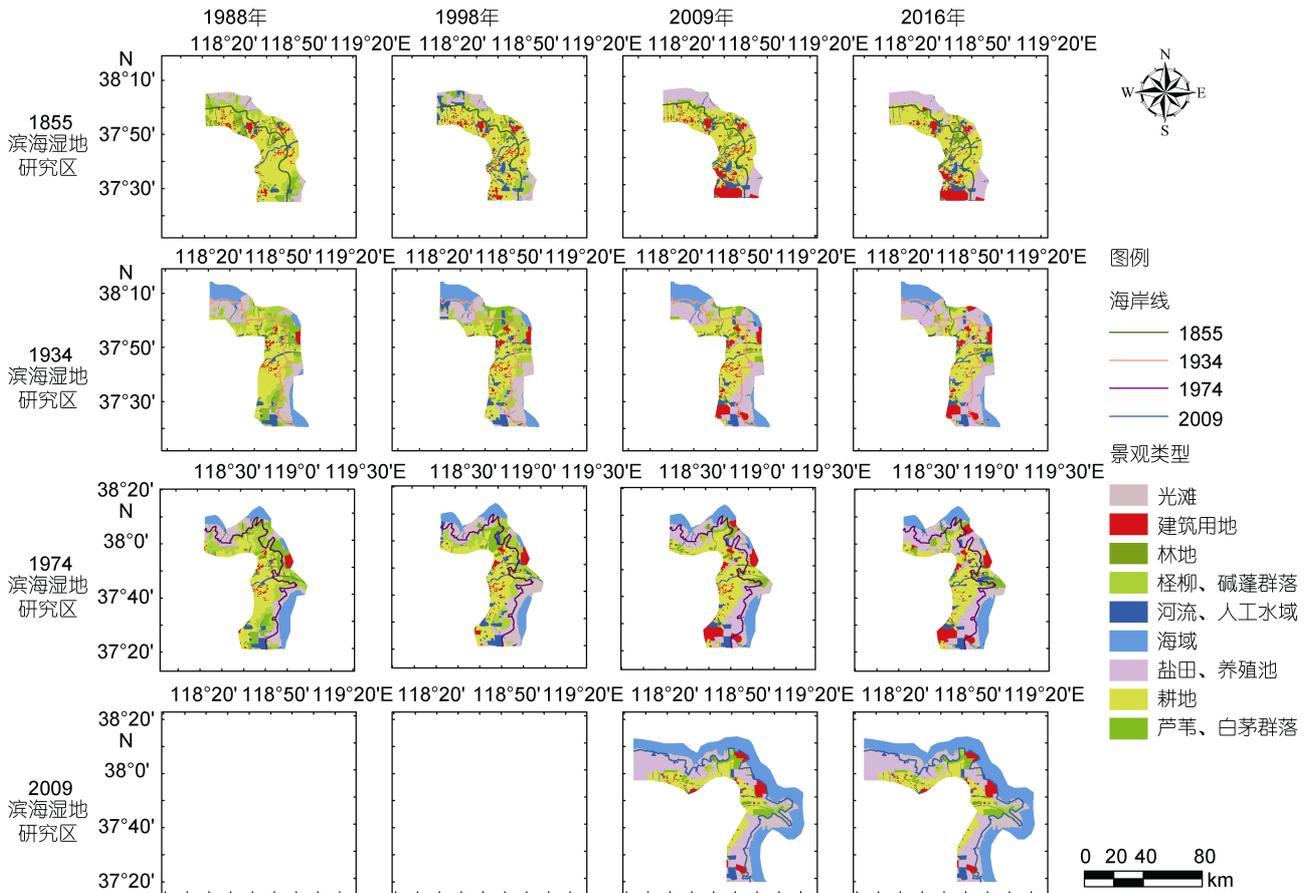
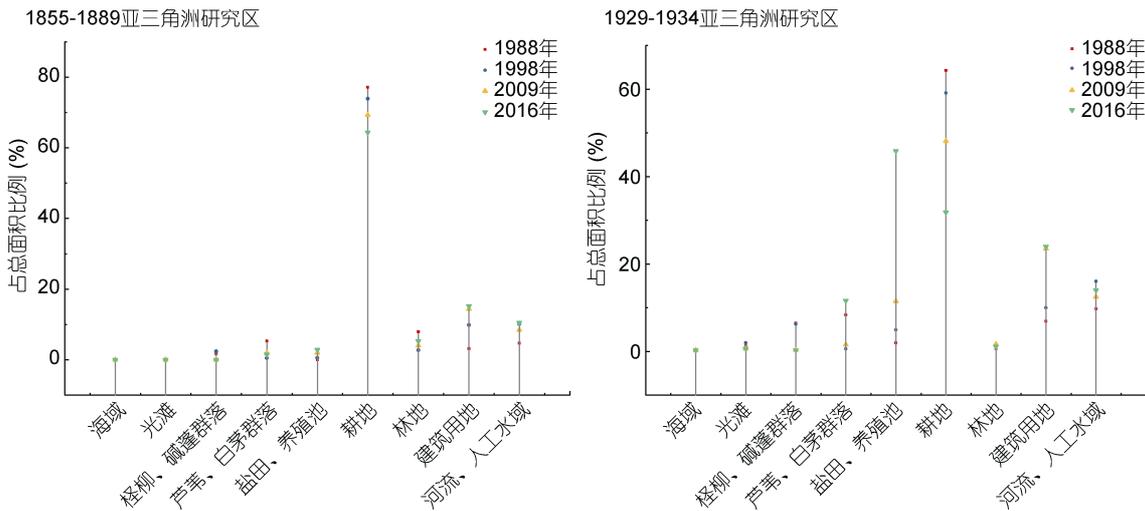


图3 不同时期滨海湿地景观分布图谱

Fig.3 Atlas for the landscape distribution of coastal wetland in different periods



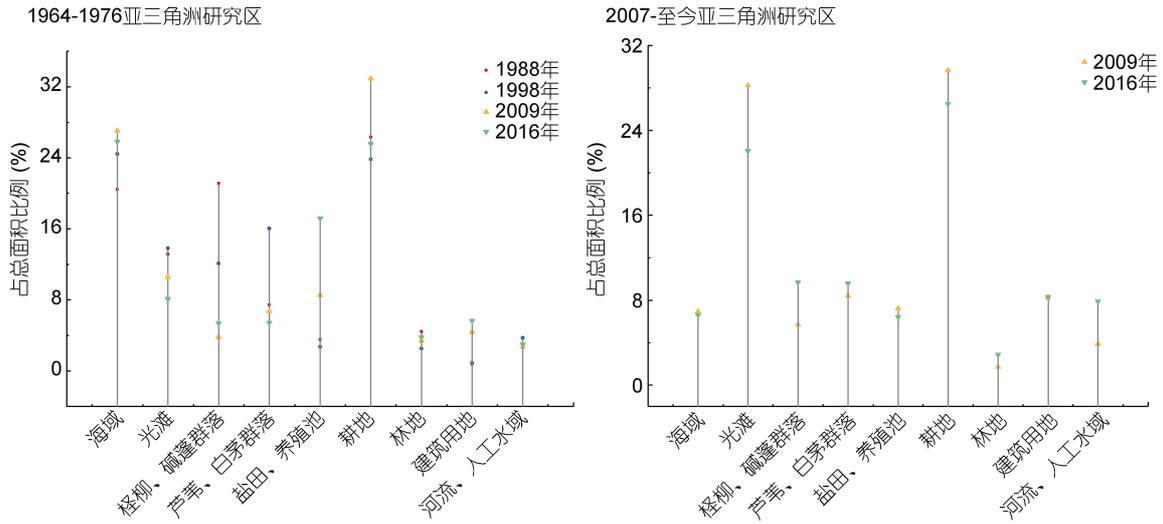


图 4 不同时期亚三角洲景观类型占总面积比例变化图谱

Fig.4 Atlas for the proportion change of sub-delta landscapes to the total area in different periods

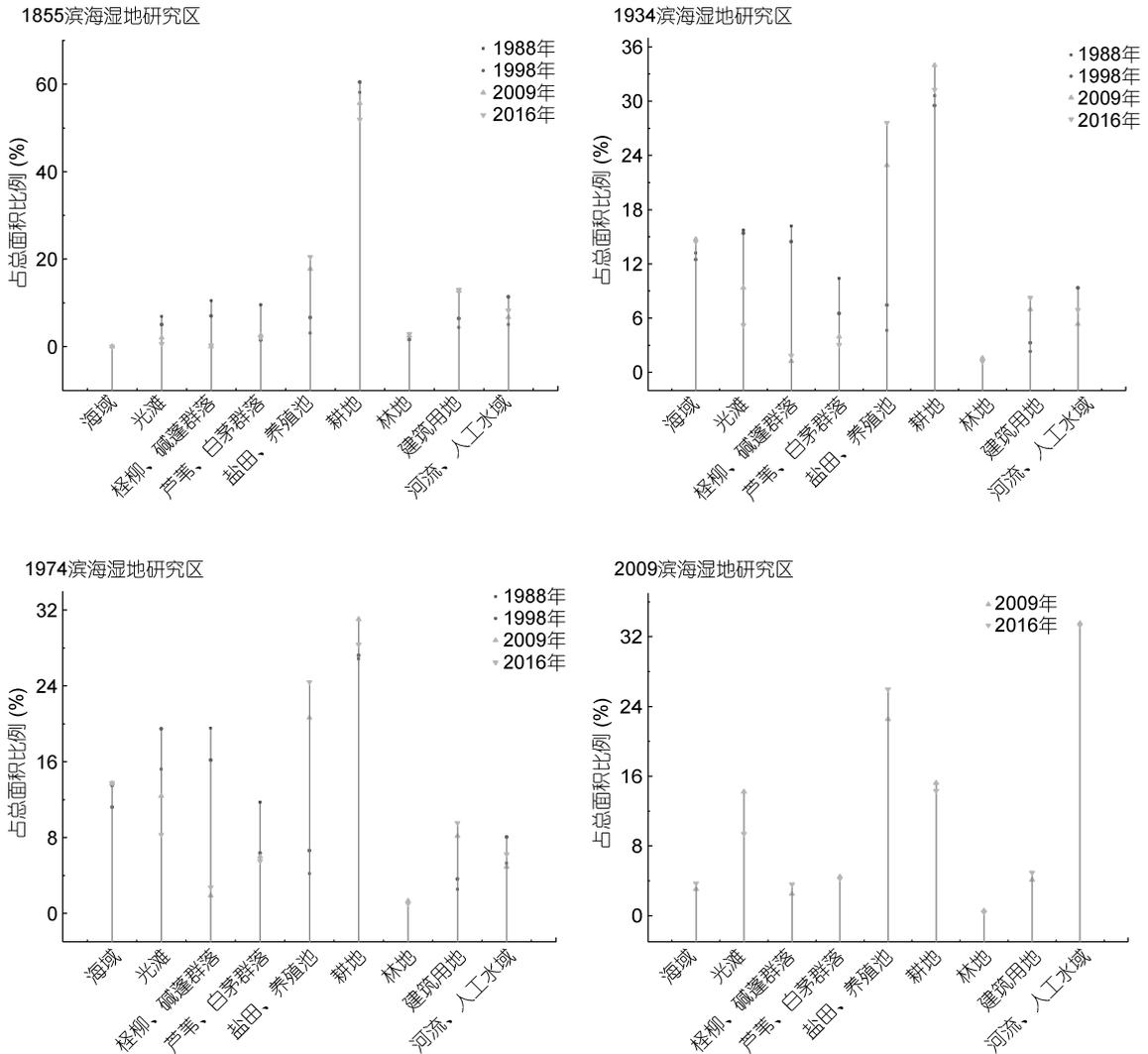


图 5 不同时期滨海湿地景观类型占总面积比例变化图谱

Fig.5 Atlas for the proportion change of coastal wetland landscapes to the total area in different periods

由于 2007 年至今行水的河道对 1988 年和 1998 年的景观分布没有影响,所以不予分析。在 2007 年至今的亚三角洲研究区内,耕地、林地、河流、人工水域、芦苇、白茅群落以及柽柳、碱蓬群落的景观重心都位于黄河河道附近,沿着河道略微向两侧扩展并沿河道的延伸方向依次分布。这些景观的分布主要受黄河淡水补给的影响(赵永华等, 2013)。盐田、养殖池、建筑用地、河流、人工水域以及光滩的景观重心则分布在距河道较远的两侧。

综上,可将不同时期亚三角洲景观演替分为三类:

(1) 亚三角洲人类活动主导型。这一类型的景观分布特点是景观重心分布较分散;单一时期内,沿河道景观分布无明显规律;受人类活动影响大的景观随时间推移向海和远离河道的方向扩展。

(2) 废弃河道主导型。较人类活动主导型,其景观重心分布相对集中;单一时期内,沿河道景观分布规律性明显;随着时间的推移,受人类活动影响较大的景观沿河道延伸方向变化幅度明显。

(3) 行水河道主导型。这一类型景观分布重心多在河道附近且单一时期沿河道分布规律性明显。

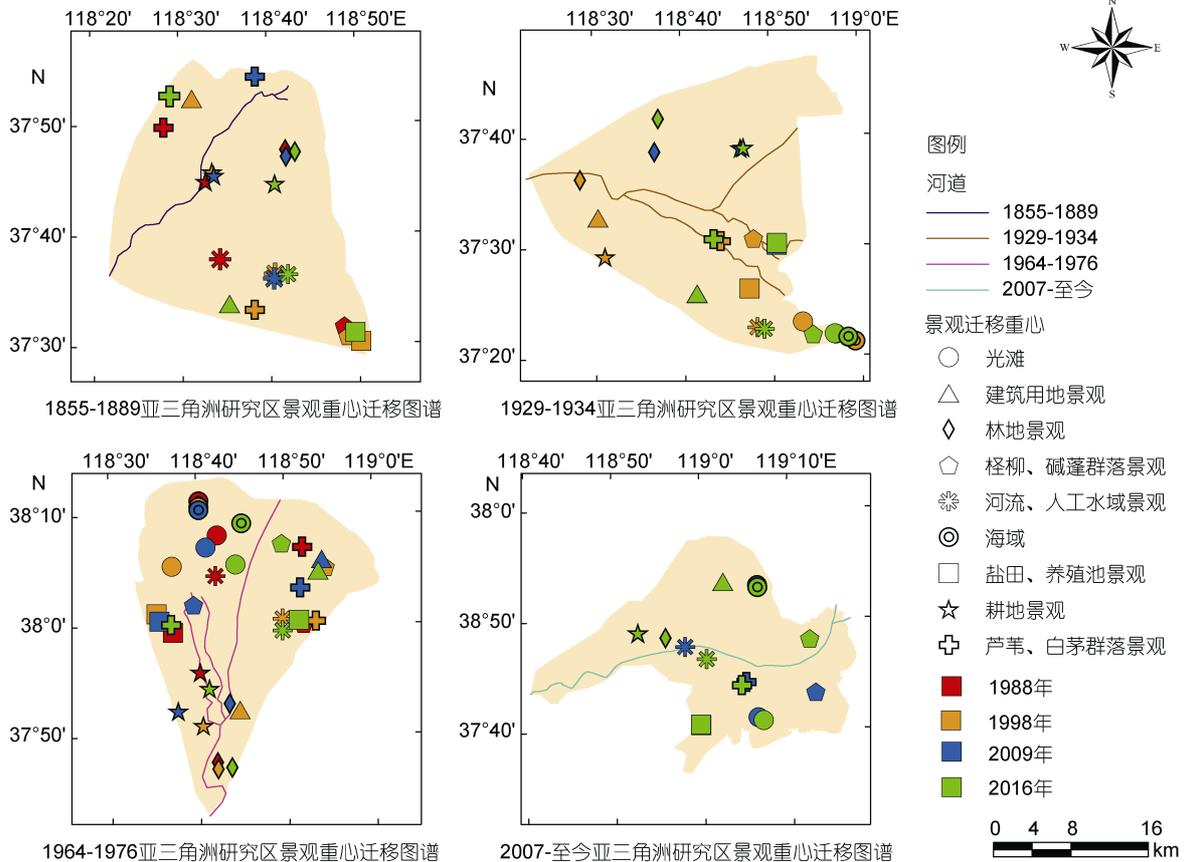


图 6 不同时期亚三角洲景观重心迁移图谱

Fig.6 Atlas for the migration of gravity center of sub-delta landscape in different periods

3.2.2 不同时期滨海湿地景观演替图谱分析 与亚三角洲研究区景观演替不同,在四个滨海湿地研究区中,单一时期内,沿海岸线景观分布无明显变化规律。在 1855 滨海湿地研究区内,受人类活动影响较大的建筑用地和河流、人工水域的景观重心均分布在向陆一侧且随时间推移沿海岸线南北迁移幅度较大,建筑用地景观重心在 1998 年后沿海岸线向南迁移至整个滨海湿地的最南端,河流、人工水域景观重心

1998 年迁移至整个滨海湿地的最北端,2009 年沿海岸线又迁移到最南端。其他景观重心变化不是十分明显。

在 1934 和 1974 滨海湿地研究区中,随时间推移,除建筑用地外,其他各类景观重心沿海岸线迁移不明显,多是垂直于海岸线由陆向海迁移或重心不变,如耕地在 1934 和 1974 滨海湿地研究区内,景观重心从 1988 年到 2016 年逐渐由陆向海扩展。

2009 年海岸变迁对 1988 年和 1998 年景观分布无影响,不予研究。在 2009 滨海湿地研究区内,2009 年和 2016 年景观分布重心基本重合,由海到陆景观重心基本呈海域、光滩、盐田、养殖池、柽柳、碱蓬群落、芦苇、白茅群落、建筑用地、河流、人工水域、林地、耕地依次分布,景观重心分布规律性明显。在该研究区内,光滩、柽柳、碱蓬群落、芦苇、白茅群落、林地、建筑用地景观重心多分布在河流入海口区域,即整个研究区的东部,耕地、盐田、养殖池和海域的景观重心则位于整个研究区的北部,河流、人工水域景观重心分布在研究区的南端,景观重心分布的

空间方位特征明显。

综上,可将不同时期滨海湿地景观演替分为三类:

(1) 滨海湿地人类活动主导型。这类景观演替的特点是,研究区内景观重心分布较均匀,无明显聚集区;受人类活动影响较大的景观重心,沿河道南北迁移幅度较大;垂直于河道,景观迁移无明显规律。

(2) 废弃海岸主导型。各类景观沿海岸线迁移不明显,多为垂直于岸线由海向陆迁移。

(3) 新海岸主导型。单一时期,由海到陆景观重心分布规律性明显且有明显的方位特征。

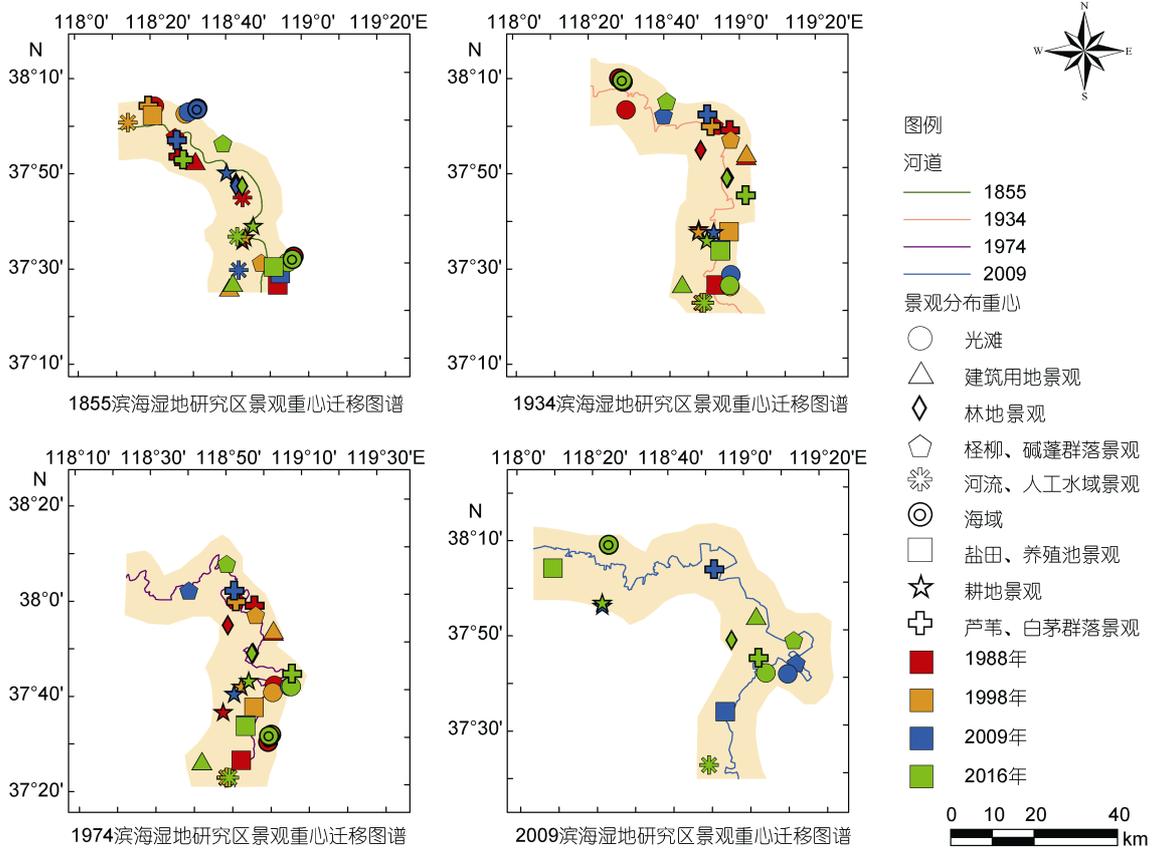


图 7 不同时期滨海湿地景观重心迁移图谱

Fig.7 Atlas for the migration of gravity center of coastal wetland landscape in different periods

4 讨论

本文基于遥感影像以及历史数据,并结合实地考察,对河道、海岸线演变对黄河三角洲景观格局的影响进行了分析。但由于数据精度以及分类方法的限制,本文中只采用了 1988 年、1998 年、2009 年和 2016 年的 Landsat 遥感影像进行景观格局分析,认为距今不同时期的河道和海岸线对黄河三角洲景观格局的影响程度不同。这也与叶庆华和孙万龙的部分研

究结果一致(叶庆华等, 2004; 孙万龙等, 2017)。未来可以通过改善数据精度和优化数据分类方法等措施进一步探究河道、海岸线演变对更长时间跨度黄河三角洲景观格局影响。

此外,目前对景观演替类型的划分大多结合景观演替的驱动因素,本文中根据景观重心的分布特征以及河道、海岸线演变和人类活动等影响因素,将研究区的景观演替类型划分为六大类:亚三角洲人类活动

主导型、废弃河道主导型、行水河道主导型、滨海湿地人类活动主导型、废弃海岸主导型、新海岸主导型,未来可结合景观的时空分布与驱动因素对黄河三角洲景观演替类型的划分进一步探讨。

黄河三角洲景观格局变化的主要影响因素有气候、黄河河道变迁、风暴潮、政策以及经济因素等。本文着重研究了河道、海岸线变迁对黄河三角洲景观格局的影响,而影响黄河三角洲景观格局演变的因素很多且不同时期黄河三角洲景观格局变化的主导因素也不同,所以希望未来有更多的学者使用更为定量和直观的方法研究不同因素对黄河三角洲景观格局的影响。

5 结论

本文利用 1988、1998、2009 和 2016 年四期遥感影像,运用 GIS 技术,将地学信息图谱的图形思维与景观生态学的定量思维相结合,以距今不同时期的亚三角洲和滨海湿地为研究区,从景观结构和景观演替两个方面探究黄河三角洲河道、海岸线演变对景观格局的影响。研究认为耕地是亚三角洲研究区中的第一优势景观类型,但距今时间越短的亚三角洲内耕地占总面积的比例越小,各类景观占总面的比例越平均。此外,距今不同时间的海岸线对黄河三角洲景观结构的影响程度也有所不同,在 1855 滨海湿地研究区内耕地占总面积比例最大,约为 60%,而海域占总面积比例接近于 0;在 1934 和 1974 滨海湿地研究区内,废弃海岸对景观结构的影响随时间变化逐渐减弱,而人类活动对景观结构的影响逐渐增强,因此,光滩、柽柳、碱蓬群落、芦苇、白茅群落占总面积比例随时间变化几乎呈逐渐下降趋势,而建筑用地和盐田、养殖池则呈逐渐上升趋势;2009 滨海湿地研究区,景观结构受新海岸的影响较大,河流、人工水域占总面积比例在 2009 年和 2016 年均达到 32%以上。关于亚三角洲景观演替分类研究,本文中根据不同时期亚三角洲和滨海湿地内景观演替的特征,将亚三角洲景观演替分为三类:亚三角洲人类活动主导型、废弃河道主导型和行水河道主导型;将不同时期滨海湿地景观演替分为滨海湿地人类活动主导型、废弃海岸主导型和新海岸主导型。

参 考 文 献

马玉蕾,王 德,刘俊民等,2013. 黄河三角洲典型植被与地下水埋深和土壤盐分的关系. 应用生态学报, 24(9): 2423

- 2430
- 王永丽,于君宝,董洪芳等,2012. 黄河三角洲滨海湿地的景观格局空间演变分析. 地理科学, 32(6): 717—724
- 孔欣欣,李新举,2015. 小浪底运行对黄河三角洲湿地景观的影响. 水土保持学报, 29(6): 321—326
- 叶庆华,田国良,刘高焕等,2004. 黄河三角洲新生湿地土地覆被演替图谱. 地理研究, 23(2): 257—264
- 白 元,徐海量,刘新华等,2013. 塔里木河干流景观格局梯度分析. 干旱区研究, 30(6): 1064—1072
- 刘 波,彭相楷,束龙仓等,2015. 黄河三角洲清水沟湿地三次生态补水对地下水的影响分析. 湿地科学, 13(4): 393—399
- 刘世梁,安南南,尹艺洁等,2017. 广西滨海区域景观格局分析及土地利用变化预测. 生态学报, 37(18): 5915—5923
- 刘吉平,赵丹丹,田学智等,2014. 1954—2010 年三江平原地土地利用景观格局动态变化及驱动力. 生态学报, 34(12): 3234—3244
- 刘艳丽,李成亮,高明秀等,2015. 不同土地利用方式对黄河三角洲土壤物理特性的影响. 生态学报, 35(15): 5183—5190
- 刘富强,吴 涛,蒋俊国等,2017. 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. 生态学报, 37(22): 7427—7437
- 孙才志,闫晓露,2014. 基于 GIS-Logistic 耦合模型的下辽河平原景观格局变化驱动机制分析. 生态学报, 34(24): 7280—7292
- 孙万龙,孙志高,田莉萍等,2017. 黄河三角洲潮间带不同类型湿地景观格局变化与趋势预测. 生态学报, 37(1): 215—225
- 李 敏,刘帅帅,徐 飞,2017. 黄河三角洲芦苇-碱蓬群落结构和功能对 3 种人为干扰的响应. 湿地科学, 15(1): 92—98
- 陈述彭,岳天祥,励惠国,2000. 地学信息图谱研究及其应用. 地理研究, 19(4): 337—343
- 赵 芳,卢 涛,2017. 道路扩展对青藏高原东缘土地利用及景观格局的影响. 生态科学, 36(4): 146—151
- 赵永华,贾 夏,刘建朝等,2013. 基于多源遥感数据的景观格局及预测研究. 生态学报, 33(8): 2556—2564
- 赵银军,曾 兰,何 忠等,2017. 基于多源遥感影像的喀斯特地貌景观解译及格局研究. 水土保持研究, 24(4): 158—162
- 洪 佳,卢晓宁,王玲玲,2016. 1973—2013 年黄河三角洲湿地景观演变驱动力. 生态学报, 36(4): 924—935
- 夏江宝,赵西梅,刘俊华等,2016. 黄河三角洲莱州湾湿地柽柳种群分布特征及其影响因素. 生态学报, 36(15): 4801—4808
- 彭 建,党威雄,刘焱序等,2015. 景观生态风险评估研究进展与展望. 地理学报, 70(4): 664—677
- 傅伯杰,徐延达,吕一河,2010. 景观格局与水土流失的尺度特征与耦合方法. 地球科学进展, 25(7): 673—681
- 廖芳均,赵东升,2014. 南岭国家级自然保护区森林景观格局变化与动态模拟. 地理科学, 34(9): 1099—1107
- Cabral A I R, Costa F L, 2017. Land cover changes and landscape pattern dynamics in Senegal and Guinea Bissau borderland. Applied Geography, 82: 115—128
- Chen Z Y, Xu B, Devereux B, 2014. Urban landscape pattern

- analysis based on 3D landscape models. *Applied Geography*, 55: 82—91
- Hassan M M, 2017. Monitoring land use/land cover change, urban growth dynamics and landscape pattern analysis in five fastest urbanized cities in Bangladesh. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 7: 69—83
- Jiang P H, Cheng L, Li M C *et al*, 2015. Impacts of LUCC on soil properties in the riparian zones of desert oasis with remote sensing data: a case study of the middle Heihe River basin, China. *Science of the Total Environment*, 506—507: 259—271
- Li H L, Peng J, Liu Y X *et al*, 2017. Urbanization impact on landscape patterns in Beijing City, China: a spatial heterogeneity perspective. *Ecological Indicators*, 82: 50—60
- Li J, Zhou Z X, 2015. Coupled analysis on landscape pattern and hydrological processes in Yanhe watershed of China. *Science of the Total Environment*, 505: 927—938
- Ottinger M, Kuenzer C, Liu G H *et al*, 2013. Monitoring land cover dynamics in the Yellow River Delta from 1995 to 2010 based on Landsat 5 TM. *Applied Geography*, 44: 53—68
- Tanner E P, Fuhlendorf S D *et al*, 2018. Impact of an agri-environmental scheme on landscape patterns. *Ecological Indicators*, 85: 956—965
- Wu H P, Zeng G M, Liang J *et al*, 2017. Responses of landscape pattern of China's two largest freshwater lakes to early dry season after the impoundment of Three-Gorges Dam. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, 56: 36—43
- Yang X, Zheng X Q, Chen R, 2014. A land use change model: integrating landscape pattern indexes and Markov-CA. *Ecological Modelling*, 283: 1—7
- Zheng Q H, Luo G P, Zhu L *et al*, 2010. Prediction of landscape patterns in Ili River Delta based on CA_Markov model. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 21(4): 873—882

INFLUENCE OF RIVER AND COASTLINE EVOLUTION ON LANDSCAPE PATTERN IN THE YELLOW RIVER DELTA BASED ON GEOSCIENCE-INFORMATION ATLAS

LI Dan, WANG Qing, XU Yang, ZHAN Chao, LIU Xian-Bin, WANG Long-Sheng, CUI Bu-Li, YU Xiang, SUN Xiao, WANG Qiu-Xian

(Coast Institute, Ludong University, Yantai 264025, China)

Abstract The 1988, 1998, 2009 and 2016 four period remote sensing image and GIS technology were used, it integrated quantitative thinking of landscape ecological and graphic thinking of geoscience-information atlas. The influence of the evolution of channel and coastline on the landscape pattern in the Yellow River delta from two aspects of landscape structure and landscape succession was explored in different periods of the sub-delta and coastal wetland research area. The results show that: (1) The impacts of channel at different times have different impacts on the landscape structure of the Yellow River Delta. Not only the arable land is the first dominant landscape type in the sub-delta research area, but also it occupies a larger proportion in earlier formed areas. In the study area of the sub-delta in 1855—1889, except for arable land and construction land, other types of landscapes accounted for a smaller proportion of the total area and changing with time is not obvious. In the study area of the sub-delta in 1929—1934, the proportion of the total area of the salt field and the aquaculture pool increased by nearly 40% from 2009 to 2016. In the study area of the sub-delta in 1964—1976, various types of landscape tended to average the proportion of the total area; In the sub-delta study area from 2017 to the present, arable land and light beach accounted for a high proportion of the total area, reaching about 24%. (2) The impacts of coastlines at different times have different impacts on the landscape structure of the Yellow River Delta, too. In the study area of the coastal wetlands in 1855, the proportion of the total area of arable land is about 60%, while the proportion of the sea area is close to 0; In the 1934 and 1974 coastal wetlands research area, with the passage of time, the proportions of the total area of construction land, salt fields and aquaculture ponds are gradually increasing, while the light beach, Tamarisk+Suaeda Community and Reed+Imperata Community underwent a gradual downward trend. In 2009 Coastal wetland research area, rivers and artificial waters accounted for the largest proportion of the total area, reaching over 32%. (3) Characteristics of landscape type gravity, the sub-delta different periods and coastal wetland of landscape succession into the following categories: Sub-Delta Human Activities-led, Abandoned Channel-led, Row Water Channel-led, Coastal Wetland Human Activity-led, Abandoned Coast-led, New Coast-led.

Key words Yellow River Delta; landscape information map; landscape pattern; channel; coastline