



1986—2016年黄河三角洲土地利用/覆被变化及景观格局分析

孔祥伦 李云龙 韩美 田立鑫 朱继前 牛学锐

Analysis of Land Use/Cover Change and Landscape Pattern in the Yellow River Delta During 1986-2016

Kong Xianglun, Li Yunlong, Han Mei, Tian Lixin, Zhu Jiqian, Niu Xuerui

引用本文:

孔祥伦, 李云龙, 韩美, 田立鑫, 朱继前, 牛学锐. 1986—2016年黄河三角洲土地利用/覆被变化及景观格局分析[J]. [西南林业大学学报](#), 2020, 40(4):122-131. doi: 10.11929/j.swfu.201908006

Kong Xianglun, Li Yunlong, Han Mei, Tian Lixin, Zhu Jiqian, Niu Xuerui. Analysis of Land Use/Cover Change and Landscape Pattern in the Yellow River Delta During 1986-2016[J]. [Journal of Southwest Forestry University\(Natural Science\)](#), 2020, 40(4):122-131. doi: 10.11929/j.swfu.201908006

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11929/j.swfu.201908006>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[湘江流域土地利用时空变化及其影响因子研究](#)

Temporal and Spatial Variation of Land Use and Impact Factors in Xiangjiang River Basin

西南林业大学学报. 2017, 37(5): 179 <https://doi.org/10.11929/j.issn.2095-1914.2017.05.027>

[1986—2015年滇西北地区土地利用类型时空动态研究](#)

Temporal and Spatial Dynamics of the Land-use Types in the Northwest Yunnan from 1986 to 2015

西南林业大学学报. 2019, 39(6): 137 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.201903116>

[基于Landsat影像的抚仙湖流域土地利用变化及预测研究](#)

Landsat Images Based Simulations of Land Use Change in Fuxian Lake Basin

西南林业大学学报. 2020, 40(3): 131 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.201811027>

[典型岩溶小流域不同土地利用类型土壤钙分布及形态特征](#)

Distribution and Morphological Characteristics of Soil Calcium in Different Land Use Types in Typical Karst Small Watershed

西南林业大学学报. 2018, 38(2): 83 <https://doi.org/10.11929/j.issn.2095-1914.2018.02.013>

[1998—2014年阿克苏河流域耕地景观时空变化研究](#)

Spatial temporal Change of Cultivated Land in Aksu River Basin During 1998-2014

西南林业大学学报. 2017, 37(2): 171 <https://doi.org/10.11929/j.issn.2095-1914.2017.02.028>

DOI: 10.11929/j.swfu.201908006

引文格式: 孔祥伦, 李云龙, 韩美, 等. 1986—2016年黄河三角洲土地利用/覆被变化及景观格局分析 [J]. 西南林业大学学报 (自然科学), 2020, 40(4): 122-131.

1986—2016年黄河三角洲土地利用/覆被 变化及景观格局分析

孔祥伦 李云龙 韩美 田立鑫 朱继前 牛学锐

(山东师范大地理与环境学院, 山东 济南 250014)

摘要: 基于 Landsat 影像获取 1986 年、1996 年、2006 年和 2016 年的土地利用/覆被变化数据, 使用变化轨迹模型和景观格局指数研究黄河三角洲近 30 年土地利用/覆被结构变化、变化轨迹时空特征及景观格局。结果表明: 1996—2016 年黄河三角洲耕地、人工水体、建设用地面积呈增加趋势, 未利用地、林地、草地和天然水体面积减少, 其中未利用地面积减少 2 072.75 km², 变化幅度最大。人工水体、建设用地及耕地的增加速度不断减缓; 草地和天然水体于 1986—1996 年缓慢增加, 1996 年后持续减少; 林地、未利用地在 3 个时段均呈快速减少趋势。“人为因素”驱动轨迹面积占研究区总面积的 56.13%, 主要类型变化为耕地与人工水体, 分布在河流两侧和滩涂向陆一侧; “自然因素”驱动轨迹占比 15.80%, 主要类型为变化为海域、草地和天然水体, 集中分布在北部和东部沿海地区; 研究区 28.07% 的土地利用/覆被类型未发生变化。黄河三角洲“人为因素”驱动轨迹的景观破碎度、集聚程度和结构复杂程度均高于“自然因素”驱动轨迹, 人类活动在研究区土地利用/覆被变化过程中起主导作用。该研究结果可为黄河三角洲土地资源开发、管理与保护提供参考。

关键词: 土地利用/覆被变化; 景观格局; 时空特征; 黄河三角洲

中图分类号: F301.2; P901

文献标志码: A

文章编号: 2095-1914(2020)04-0122-10

Analysis of Land Use/Cover Change and Landscape Pattern in the Yellow River Delta During 1986-2016

Kong Xianglun, Li Yunlong, Han Mei, Tian Lixin, Zhu Jiqian, Niu Xuerui

(College of Geography and Environment, Shandong Normal University, Jinan Shandong 250014, China)

Abstract: In this study, the Yellow River Delta was used as a research area to obtain land use/cover change data from 1986, 1996, 2006 and 2016 by interpreting Landsat images, and using the trajectory model and landscape pattern index to analyze land use/cover change structure, spatio-temporal characteristics and landscape pattern in the Yellow River Delta for nearly 30 years. The results showed that the area of cultivated land, artificial water, construction land increased, and the area of unused land, forest, grassland and natural water surface decreased in the Yellow River Delta from 1996 to 2016. Among them, the area of unused land was reduced by

收稿日期: 2019-08-07; 修回日期: 2020-03-04

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (41371517) 资助; 山东省社科规划重点项目 (18BJJ05) 资助。

第 1 作者: 孔祥伦 (1996—), 男, 硕士研究生。研究方向: 环境变化与可持续发展。Email: 13573125257@163.com。

通信作者: 韩美 (1963—), 女, 博士, 教授, 博士生导师。研究方向: 湿地生态与流域水资源可持续利用。
Email: hanmei568568@126.com。

2 072.75 km², with the largest change. The increase rate of artificial water, construction land and cultivated land continued to slow down; Grassland and natural water increased slowly during 1986-1996, and continued to decrease after 1996; Forest and unused land showed a rapid decrease trend in all 3 periods. The area of human induced trajectories accounting for 56.13% of the total land area in the Yellow River Delta. The main types are changed to cultivated land and artificial water, which mainly distributed on both sides of the river and strips on land side of the tidal flats. The area of natural trajectories accounting for 15.80% of the total land area of the study area. The main types are changed to sea, grassland and natural water surface, which mainly distributed in the northern and eastern coastal areas. 28.07% of land use/cover types in the study area remained unchanged. The landscape fragmentation, agglomeration degree and structural complexity of human induced trajectories in the Yellow River Delta are higher than the natural trajectories. Human activities play a leading role in the land use/cover change process in the study area. This study can provide a certain reference value for development, management and protection of land resources in the Yellow River Delta.

Key words: land use/cover change; landscape pattern; spatio-temporal characteristic; Yellow River Delta

1995年国际地圈与生物圈计划(IGBP)和全球变化人文因素计划(IHDP)联合提出了“土地利用/覆被变化研究计划”,土地利用/覆被变化(LUCC)成为全球环境变化研究的热点领域^[1-2]。LUCC不仅通过影响全球气候波动、生态系统服务与功能变化、生物地球化学循环演变等^[3-7],直接引起全球环境变化,还通过水^[8-10]、土壤^[11-13]、生物^[14-16]等媒介影响着区域资源和社会经济的可持续发展。因此,了解LUCC特征及机制对保持自然环境与人类社会系统平衡有重要意义。

黄河三角洲是中国乃至全球土地资源增长最快的区域,也是典型的生态脆弱区,还是生态环境变化研究的关键区^[17-19]。特殊的发育进程和资源禀赋,使得黄河三角洲成为LUCC研究的热点区域。许学工等^[20]研究了1979—1996年黄河三角洲土地利用/覆被的质量变化,认为其质量向好发展;汪小钦等^[21]以黄河三角洲油田集中区为靶区,研究1984—1999年间其土地利用演化特征,并分析了油田开发对土地利用结构演化的影响;叶庆华等^[22]利用土地利用/覆被变化图谱模型分析了1956—1996年黄河三角洲新生湿地的土地利用强度变化、结构变化和格局变化,并指出水域、牧草地、耕地和未利用地在研究区始终占优势。吴大千等^[23]评价了1992—2005年间土地利用变化对黄河三角洲生态系统服务价值的影响,并对2010年的土地利用构成和生态系统服务价值进行了预测;周文佐^[24]分析了1995—2004年黄河三角洲土地利用/覆被变化及其驱动因素,指出人类活动和自然因素共同作用于该区土地利用/覆被变化过程,且部分人类活动对于区域生态

可持续发展造成了不良影响;赵志杰等^[25]对1992—2010年间黄河三角洲的土地利用/覆被的时空演变趋势和驱动因子进行了研究,结果表明耕地成为研究区主要的土地类型,城镇用地不断增加,并具体指出黄河泥沙造陆和海水侵蚀岸线是研究区LUCC的主要自然驱动力,区域人口增长、经济发展和土地利用政策规划是主要社会经济驱动力。

综上所述,众多研究者运用不同的研究方法对黄河三角洲不同范围、不同时间跨度上LUCC过程及其驱动力进行分析。但关于黄河三角洲LUCC研究多以分析研究区不同时相土地利用/覆被的静态分布为主,对其动态过程关注不足,且研究时限跨度较短。鉴于此,本研究使用土地利用动态度模型、变化轨迹模型分析研究区近30年来的LUCC过程,分析其变化方向和特征,并利用景观指数法对其景观格局进行分析。研究结果能够动态化深层次的表达研究区土地利用/覆被变化的过程及趋势,弥补以往双时相变化检测无法探测中间过程的不足,全面掌握研究区土地利用/覆被变化的景观格局,明晰空间配置信息。为研究区土地资源开发、配置、管理与保护提供参考,也对其他河流三角洲区域乃至更大范围的环境变化等相关领域研究提供借鉴。

1 研究区概况

黄河三角洲位于渤海湾南岸和莱州湾西岸,根据成陆时间的早晚,可分为古代、近代和现代黄河三角洲。本研究以近代黄河三角洲为研究区(图1),该区域以宁海为顶点,西起套儿河

口,南抵支脉河口,总面积约 5 683 km²,行政区划上主要分布在山东省东营市境内。研究区位于 118°04′~119°17′ E 和 37°20′~38°11′ N 之间,气候温和、四季分明、雨热同季,光照充足、热量

丰富,多年平均气温 12.9 ℃,多年平均降水量约为 585 mm,降水量年内分配不均,集中于 7—9 月,属典型的暖温带半湿润季风气候。

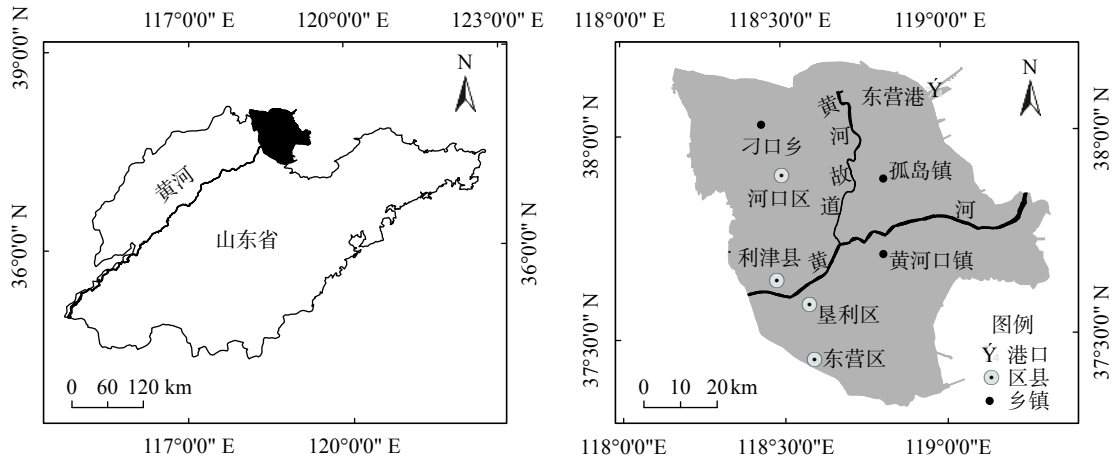


图 1 研究区位置与范围

Fig. 1 Location and scope of the study area

2 研究方法

2.1 数据来源及处理

本研究选取 1986 年、1996 年、2006 年、2016 年 4 期 Landsat TM/OLI 影像作为数据源 (表 1),

影像拍摄时间均在 7—10 月,研究区内云量较少,图像较清晰。利用 ENVI 5.1 对影像进行几何精校正、大气校正、辐射校正、图像融合以及影像裁剪等预处理,将校正误差控制在 1 个像元之内。

表 1 遥感影像信息

Table 1 Data of remote sensing map

数据类型	时间	行列号	分辨率/m	云量/%	数据来源
Landsat TM	1986-08-08	121/34	30	0	USGS
Landsat TM	1996-07-02	121/34	30	9.00	USGS
Landsat TM	2006-09-16	121/34	30	0	USGS
Landsat OLI	2016-08-26	121/34	30	0.13	USGS

2.2 土地利用/覆被影像分类

结合中国土地利用现状分类标准及黄河三角洲实际情况^[26-28],将研究区土地利用/覆被划分为耕地、林地、草地、人工水体、天然水体、建设用地、未利用地和海域 7 种类型。由于研究区海岸线进退幅度较大^[29-30],为避免叠加统计时缺失数据,将 4 期影像叠加后的最大边界作为研究区外边界,各期影像补充区域归为海域。

影像分类采用面向对象与目视解译,生成土地利用/覆被分类图。利用 eCognition 软件对影像进行多尺度分割,由于 2016 年影像为 Landsat OLI

影像,受影像质量等因素影响,为保证分类结果的准确性,确定分割尺度为 120,其他 3 期分割尺度为 20。根据不同地类的色调、纹理、形状等特征建立解译标志^[31-32],采用决策树方法获取黄河三角洲 4 期土地利用/覆被类型空间分布信息 (图 2)。采用同期土地利用调查资料及课题组野外调查数据进行精度验证,4 期影像解译总体精度分别为 90.12%、92.15%、93.36%、92.68%,Kappa 系数分别为 0.86、0.87、0.85、0.88,解译精度满足研究需要。

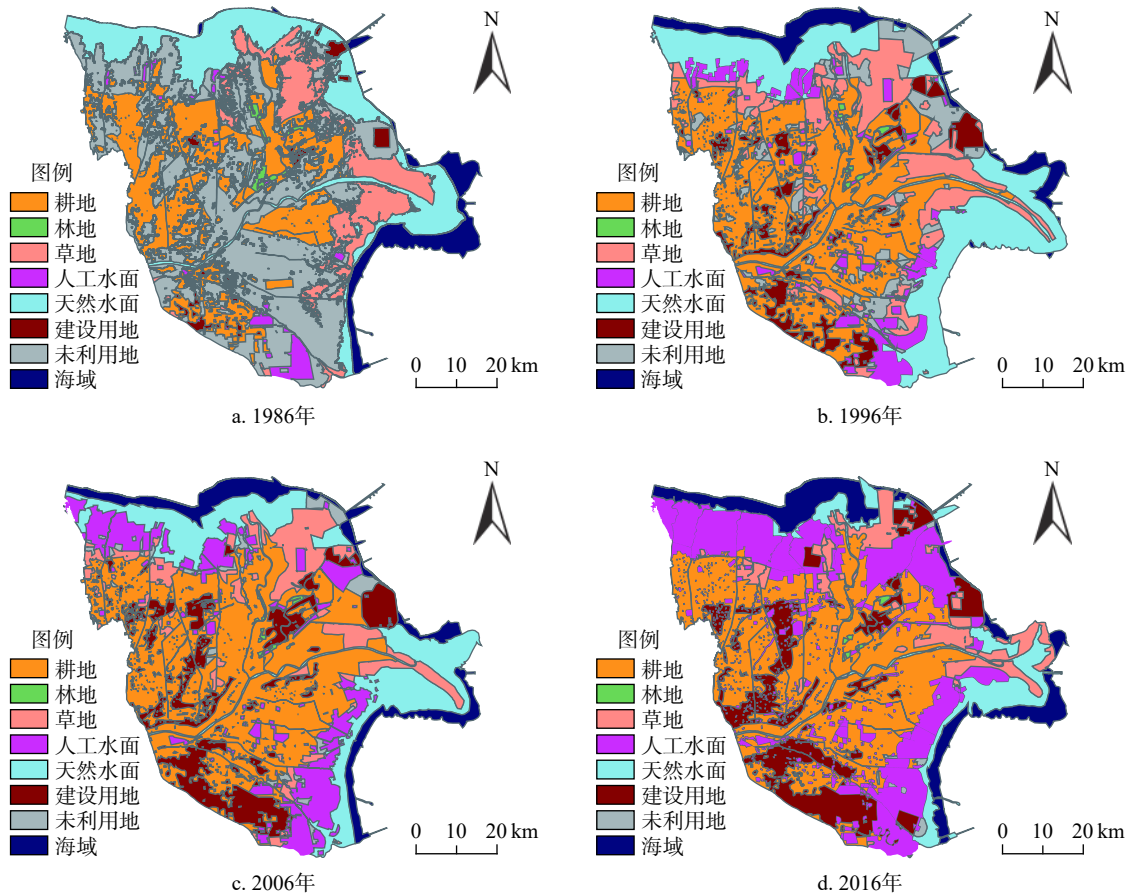


图2 黄河三角洲土地利用/覆被变化特征

Fig. 2 The characteristic of land use/cover changes in the Yellow River Delta

2.3 土地利用动态度

本研究采用该模型分析研究区各土地利用类型在不同时期的变化速度和剧烈程度^[33]，从总体上研究1986—2016年各土地利用类型的变化趋势。土地利用动态度能够刻画某时段土地利用类型的数量变化特征，计算方法如下：

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中： K 为研究时段内某一土地利用类型动态度； U_a 、 U_b 分别为研究期初及研究期末某种土地利用类型的数量； T 为研究时段长。

2.4 构建土地利用/覆被变化轨迹模型

变化轨迹表示某一像元在不同时期发生的土地利用/覆被类型的变化过程^[34-35]，与传统的双时相比较分析相比，该模型最大程度上保障了动态变化过程的完整性，更能精确的揭示时间尺度上土地利用/覆被变化的过程与趋势，本研究使用该模型来揭示黄河三角洲土地利用/覆被类型的时空动态、趋势及机理。时间序列的变化轨迹可以通过变化代码表示，本研究对各土地利用/覆被类型编码为：1—耕地、2—林地、3—草地、4—人工

水体、5—天然水体、6—建设用地、7—未利用地、8—海域。在土地利用/覆被类型数小于10类的情况下，变化轨迹的计算式为：

$$T_{ij} = (G_1)_{ij} \times 10^{n-1} + (G_2)_{ij} \times 10^{n-2} + \dots + (G_n)_{ij} \times 10^{n-n} \quad (2)$$

式中： T_{ij} 代表变化轨迹结果中第*i*行、第*j*列的代码值； n 代表时间节点个数； $(G_1)_{ij}$ ， $(G_2)_{ij}$ ， \dots ， $(G_n)_{ij}$ 表示给定的某一像元在各时期所对应的用地类型代码值。

2.5 景观格局指数计算

土地利用/覆被类型的景观格局作为区域土地利用/覆被状况的直接反映，是区域内部土地政策、经济发展情况、自然环境演化等多种因素共同作用的结果，开展土地利用/覆被景观格局研究能够全面揭示其景观格局空间特征，可以有效掌握区域的土地利用状况及各土地利用/覆被类型间的关系，对土地的管理与利用具有重要意义^[36]。本研究根据研究目的并结合前人研究经验，选取斑块类型面积（CA）、斑块数量（NP）、斑块密度（PD）、最大斑块指数（LPI）、景观类型形状指数（LSI）（公式（3）~（7）），应用景观格局分析软件Fragstats，从类型水平上分析黄

河三角洲土地利用/覆被变化轨迹的景观格局。其中, CA、NP 和 PD 可综合表征斑块的破碎化程度^[37-38], LPI 可以反映各轨迹类型在空间上的聚集程度^[39], LSI 可以表征轨迹类型的形状复杂程度和规则性^[40]。各指数计算方法如下:

1) 斑块类型面积指数:

$$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (3)$$

式中: i 是斑块类型, $i = 1, \dots, n$; j 是斑块数目, $j = 1, \dots, m$ 。取值范围: $CA > 0$ 。

2) 斑块数量:

$$NP = N \quad (4)$$

式中: N 是斑块个数。取值范围: $NP \geq 1$ 。

3) 斑块密度:

$$PD = \frac{N}{A} \quad (5)$$

式中: N 是斑块个数; A 是研究区面积。取值范围: $PD > 0$ 。

4) 最大斑块指数:

$$LPI = \frac{\text{Max}(a_1, \dots, a_n)}{A} \times 100 \quad (6)$$

式中: a_n 是斑块 n 的面积; $\text{Max}(a_1, \dots, a_n)$ 指斑块类型中的最大斑块面积; A 是研究区面积。取值范围: $0 < LPI \leq 100$ 。

5) 景观类型形状指数:

$$LSI = \frac{0.25E}{\sqrt{A}} \quad (7)$$

式中: E 是边界总长度; A 是研究区面积。取值范围: $0 < LSI \leq 100$ 。

3 结果与分析

3.1 黄河三角洲土地利用/覆被变化特征分析

3.1.1 土地利用/覆被结构变化

黄河三角洲土地利用/覆被类型面积变化见图3。1986—2016年, 黄河三角洲耕地、人工水体、建设用地呈增加趋势。其中, 人工水体及建设用地面积分别由 131.80、98.92 km² 增至 1 283.71 km² 和 787.94 km², 增加幅度最大; 耕地净增 779.35 km², 占研究区总面积比例由 23.92% 增至 37.63%。未利用地、林地及天然水体面积呈减少趋势, 未利用地面积由 2 101.21 km² 减少至 28.46 km², 占研究区土地总面积的比例由 36.96% 减至 0.50%, 变化幅度在所有地类中最大。林地、草地和天然水体面积分别减少 20.77、264.95 km² 和 473.48 km², 占研究区总面积比例分别降至 0.37%、4.70% 和 8.83%。

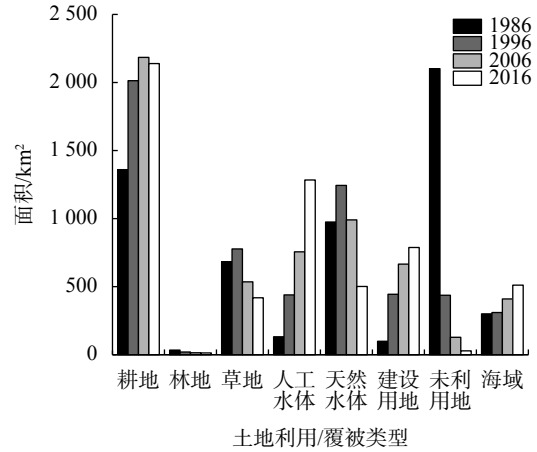


图3 黄河三角洲土地利用/覆被类型面积变化
Fig. 3 The change of the area of land use/cover in the Yellow River Delta

3.1.2 土地利用/覆被变化动态度分析

黄河三角洲土地利用/覆被动态度变化见表2。1986—2016年间, 黄河三角洲人工水体和建设用地的增速最快, 分别为 29.13% 和 23.22%; 耕地动态度为 1.91%, 增速较慢; 未利用地动态度为 -29.59%, 减少速度最快, 林地、天然水体和草地动态度分别为 -2.04%、-1.62%、-1.29%, 减少速度均较慢。不同时段各土地利用/覆被类型变化速度有显著差异。人工水体、建设用地及耕地的增加速度不断减缓, 分别由 1986—1996 年的 23.34%、34.90%、4.80% 减小到 2006—2016 年的 6.98%、1.84% 和 -0.21%。其中耕地在 2006—2016 年出现负增长。草地和天然水体于 1986—1996 年缓慢增加, 1996—2016 年持续减少, 且减少速度快于增加速度。3 个时段林地、未利用地均减少, 未利用地减少速度远快于林地。

表2 黄河三角洲土地利用/覆被动态度变化

Table 2 The change rate of land use/cover in the Yellow River Delta

土地利用/覆被类型	动态度			
	1986—1996年	1996—2006年	2006—2016年	1986—2016年
耕地	4.80	0.85	-0.21	1.91
林地	-4.08	-2.78	-0.88	-2.04
草地	1.38	-3.11	-2.19	-1.29
人工水体	23.34	7.20	6.98	29.13
天然水体	2.76	-2.04	-4.94	-1.62
建设用地	34.90	4.98	1.84	23.22
未利用地	-7.92	-7.07	-7.78	-29.59
海域	0.32	3.22	2.48	2.34

3.2 黄河三角洲土地利用/覆被变化过程

3.2.1 土地利用/覆被变化时间轨迹分析

黄河三角洲土地利用/覆被变化轨迹分类见表3。为反映时间序列上人类活动及自然要素变化对环境所产生的影响，本研究将变化轨迹划分为3类：“人为因素”驱动轨迹、“自然因素”驱动轨迹、未变化轨迹。耕地、林地、人工水体及建设用地的变化主要受人类活动控制，属人工地类；草地、天然水体、未利用地及海域的变化主要受自然环境影响，属自然地类^[41-42]。研究期

末土地利用/覆被类型为人工地类的变化为“人为因素”驱动轨迹，代表轨迹如7—1—1—1、1—1—6—6等；研究期末土地利用/覆被类型为自然地类的变化为“自然因素”驱动轨迹，代表轨迹如8—8—8—3、8—8—8—5等；变化轨迹中形如1—1—1—1、2—2—2—2及受分类误差影响产生的轨迹，如1—2—1—1、6—1—6—6等，均重分类为未变化轨迹，代表30年间该像元的土地利用/覆被类型相同。

表3 黄河三角洲土地利用/覆被变化轨迹分类

Table 3 The classification of land use/cover trajectories in the Yellow River Delta

变化轨迹类型	占土地总面积比例/%	土地利用类型	典型轨迹代码	面积/km ²	占土地总面积比例/%
“人为因素”驱动轨迹	56.13	耕地	7—1—1—1/7—3—1—1	1 277.02	22.47
		林地	7—7—7—2/7—7—5—2	5.86	0.10
		人工水体	8—8—8—4/7—4—4—4	1 185.96	20.87
		建设用地	7—6—6—6/1—1—6—6	721.31	12.69
“自然因素”驱动轨迹	15.80	草地	5—5—5—8/7—7—8—8	271.57	4.79
		天然水体	7—4—4—4/2—4—4—4	242.73	4.27
		未利用地	7—5—5—7/5—8—8—7	23.07	0.41
		海域	5—8—8—8/5—5—5—8	360.25	6.34
未变化轨迹	28.07	耕地	1—1—1—1	862.68	15.18
		林地	2—2—2—2	156.21	0.13
		草地	3—3—3—3	146.73	2.58
		人工水体	4—4—4—4	96.82	1.70
		天然水体	5—5—5—5	258.80	4.55
		建设用地	6—6—6—6	66.80	1.18
		未利用地	7—7—7—7	5.39	0.09
海域	8—8—8—8	150.70	2.65		

黄河三角洲“人为因素”驱动轨迹面积为3 190.15 km²，占土地总面积的56.13%。变化为耕地占此类轨迹的比例高达40.03%，主要由草地和未利用地转化而来；变化为人工水体、建设用地和林地分别占土地总面积的37.18%、22.61%和0.18%，其中，人工水体和建设用地主要由未利用地和耕地转化而成，林地主要由未利用地转化而成。“自然因素”驱动轨迹面积为897.62 km²，

占土地总面积的15.80%。变化为海域和天然水体占此类轨迹的比例分别为40.13%和27.04%，其轨迹主要由海域与滩涂之间的相互转化构成；变化为未利用地的面积为23.07 km²，仅占研究区总面积的0.41%，该类轨迹在研究区较为少见。未变化轨迹面积为1 595.31 km²，占土地总面积的28.07%。其中，耕地未变化轨迹面积为862.68 km²，占研究区总面积的15.18%，说明耕地是研究区最

重要的土地利用/覆被类型之一；其次是天然水体未变化轨迹，面积为 258.80 km²，占研究区总面积的 4.55%。

3.2.2 土地利用/覆被变化轨迹空间分布

黄河三角洲土地利用/覆被变化轨迹分布见图 4。研究区土地利用/覆被变化轨迹的空间分布有显著差异，“人为因素”驱动轨迹在研究区分布范围较广。其中，向盐田、养殖池等人工水体变化的轨迹呈带状分布于滩涂带近陆地一侧；变化为耕地沿黄河及其他河流向两侧均匀分布，便利的灌溉水源条件是这种特点形成的主要原因；

变化为建设用地主要分布在人口集聚的城镇及居民点周边，该类轨迹在胜利油田采油区也有分布；变化为林地主要分布在黄河故道沿岸、孤岛北部、军马场和大汶流保护区内。“自然因素”驱动轨迹占比很小，紧邻研究区北部及东部海岸线分布，主要为北部沿海滩涂向海域的变化以及东部沿海海域向滩涂和未利用地的变化。未变化轨迹的分布有两个特点：一是分布在研究区各城镇、居民点周边，表现为常年未变化的建设用地、耕地等；二是沿东南部海岸线分布，表现为海域和常年未变化的滩涂、草地等。

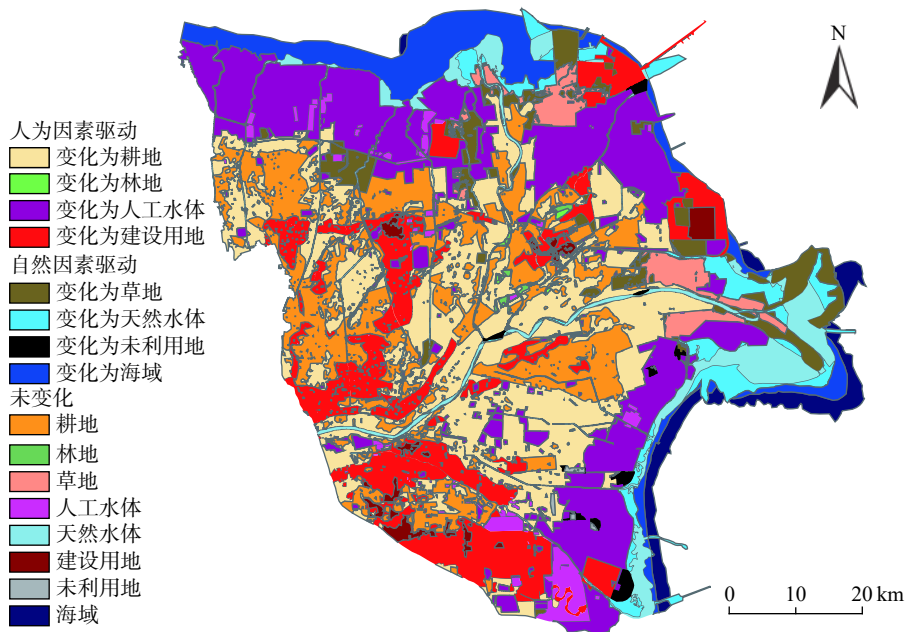


图 4 1986—2016 年黄河三角洲土地利用/覆被变化轨迹分布

Fig. 4 The change trajectories of land use/cover in the Yellow River Delta during 1986-2016

3.3 黄河三角洲土地利用/覆被变化景观格局

从景观类型面积指数 (CA) 来看，未变化轨迹 CA 值最高 (159 749)，其次为变化为耕地 (127 679) 和变化为人工水体 (118 620)，这说明未变化轨迹、变化为耕地和变化为人工水体是研究区最主要的变化轨迹类型。由于研究区林地面积较小，除变化为林地外，“人为因素”驱动的各变化轨迹 CA 值高于“自然因素”驱动的变化轨迹，说明人类活动在研究区土地利用/覆被过程中发挥了重要的作用。从斑块数量 (NP)、斑块密度 (PD) 来看，变化为天然水体的 NP 值 (1 517) 及 PD 值 (0.266 9) 均最大，而该类轨迹面积较小，说明其被分割的程度最高，破碎化最严重；变化为人工水体的 NP 值 (1 191) 及 PD 值 (0.209 6) 也较高，该类轨迹受人类影响呈

分散式分布，景观类型破碎度较高。

从表 4 可知，“人为因素”驱动轨迹 LPI 值均较高，从空间上呈现与原有土地利用/覆被类型聚合的趋势，由于研究区林地主要为集中种植的刺槐 (*Robinia pseudoacacia*) 林，后期补种林地斑块较小，但多分布在原林地周边，因此林地的 LPI 值相对较小。其中变化为耕地的 LPI 值为 7.554 6，其聚集程度最高。研究区各变化轨迹的 LSI 值均较大，发生变化的轨迹中，变化为耕地的 LSI 值最大 (29.636 6)，其次为变化为天然水体 (23.883 5)，说明这两类轨迹的形状最不规则。对比来看，“人为因素”驱动轨迹 LSI 值普遍高于“自然因素”驱动轨迹，说明人类活动影响下发生的变化轨迹成因较复杂，边界形状不规则。综上所述，“人为因素”驱动轨迹的破碎

度、集聚度和结构复杂程度均高于“自然因素”过程产生了深刻的影响。驱动轨迹，人类活动对研究区土地利用/覆被变化

表4 类型水平上的景观格局指数
Table 4 Landscape index in the class level

变化轨迹类型	轨迹变化方向	CA	NP	PD	LPI	LSI
“人为因素”驱动轨迹	变化为耕地	127 679	875	0.154 0	7.554 6	29.636 6
	变化为林地	587	65	0.002 6	0.152 7	8.000 0
	变化为人工水体	118 620	1 191	0.209 6	4.130 4	19.293 9
	变化为建设用地	72 109	111	0.019 5	2.408 2	16.198 8
“自然因素”驱动轨迹	变化为草地	27 158	178	0.031 3	1.012 6	14.005 5
	变化为天然水体	24 282	1 517	0.266 9	0.769 9	23.883 5
	变化为未利用地	2 309	15	0.002 6	0.152 7	5.040 5
	变化为海域	36 034	20	0.003 5	4.604 5	6.629 5
未变化轨迹	未变化轨迹	159 749	1 250	0.219 9	4.667 6	37.062 3

4 结论与讨论

近30年来黄河三角洲经历社会经济高速发展时期，土地利用/覆被结构发生巨大变化，本研究使用土地利用动态度模型、变化轨迹模型和景观指数法，深层次分析了研究区土地利用/覆被的变化过程及主要动因，得出以下结论：

1) 1986—2016年黄河三角洲耕地、人工水体和建设用地呈增加趋势。其中，人工水体及建设用地面积增幅最大，分别为29.13%和23.22%；未利用地、林地、草地及天然水体面积呈减少趋势。其中，未利用地面积由2 101.21 km²减少至28.46 km²，变化幅度居所有地类之首。不同时段各土地利用/覆被变化速度有显著差异。人工水体、建设用地及耕地的增加速度不断减缓，其中耕地在2006—2016年出现负增长。草地和天然水体于1986—1996年缓慢增加，1996年后持续减少，且减少速度快于增加速度。林地和未利用地在3个时段持续减少。

2) 土地利用/覆被变化轨迹分析显示，黄河三角洲28.07%的土地利用/覆被类型未发生变化。“人为因素”驱动轨迹面积为3 190.15 km²，占土地总面积的56.13%，其变化轨迹反应了人口增长、经济发展、城市建设和地方政策的变化。其中，变化为耕地占此类型的比例高达40.03%，沿研究区主要河流向两侧分布；变化为人工水体占此类型的比例为37.18%，主要分布在北部和东南部沿海区域。“自然因素”驱动轨迹面积为897.62 km²，仅占土地总面积的15.80%，由沿海

滩涂和海域的相互变化组成，紧邻北部和东部海岸线分布。

3) 类型水平上的景观格局指数分析表明，研究区“人为因素”驱动轨迹景观破碎度、集聚程度和结构复杂程度均高于“自然因素”驱动轨迹，人类活动在研究区LUCC过程中起主导作用。

黄河三角洲是我国著名的资源富集区和经济开发热点区^[43]，研究者针对黄河三角洲LUCC过程在多时间尺度和地理范围上展开了一定研究。王薇等^[44]指出20世纪90年代以来，耕地、盐田、建筑用地和水体之间的互相转换是黄河三角洲地类的主要演化形式。政策导向、人口与经济构成、社会经济规模与结构等人类活动因素是决定研究区土地利用开发的主导因素；李静等^[45]将黄河三角洲LUCC演变过程划分为3个阶段，19世纪50年代以前，自然因素是土地利用的主导因素，50—70年代自然因素和人类活动处于均势状态，20世纪80年代以来，人类活动成为研究区土地利用的主导因素；汪小钦等^[46]研究发现，耕地和未利用地的转化是主要形式。河、海、陆的交互作用和水资源是土地利用的主要自然因子，盲目垦荒和粗放经营、人口变化、农业生产效益等社会因子是土地利用的主导因素。综上所述，黄河三角洲土地利用/覆被是自然因素与人类活动等多重因素综合作用的结果，自然因素在黄河三角洲更多扮演限制性因素，人类活动则是土地利用/覆被的主导因素，这与本研究所得结论是一致的。

黄河三角洲与长江三角洲、珠江三角洲并称

我国三大河流三角洲,但研究表明,不同三角洲土地利用/覆被演化特征和驱动机制也不相同。土地利用类型变化过程主要表现为耕地数量持续减少,建设用地和坑塘增加。社会经济因素是长江三角洲土地利用变化的主要影响因子^[47-49];城镇公交用地和耕地变动剧烈是珠江三角洲土地利用/覆被的主要演化特征,工业化和城市化过程是土地利用的主导驱动力^[50-52]。与上述两者相比,黄河三角洲耕地、人工水体呈增长态势,未利用地和天然水体呈减少状态。人类活动是黄河三角洲LUCC演化的主导驱动力,自然因素在该过程中也扮演着重要的限制性因素。表明与其他2个三角洲相比,黄河三角洲生态系统具有显著的新生性特征,社会经济发达程度亦有一定差别。

[参 考 文 献]

- [1] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域: 土地利用/土地覆被变化的国际研究动向 [J]. *地理学报*, 1996, 51(6): 553-558.
- [2] 葛全胜, 赵名茶, 郑景云. 20世纪中国土地利用变化研究 [J]. *地理学报*, 2000, 55(6): 698-706.
- [3] Verburg P H, Kok K, Pontius R G Jr, et al. Modeling land-use and land-cover change[M]//Lambin E F, Geist H. *Land-Use and Land-Cover Change*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2006: 117-135.
- [4] López E, Bocco G, Mendoza M, et al. Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2001, 55(4): 271-285.
- [5] 王宽, 蔡正华, 齐增湘, 等. 2000-2013年衡阳市土地利用格局转变对生态系统服务的影响 [J]. *中国生态农业学报*, 2017, 25(7): 1060-1070.
- [6] Foley J A, Defries R, Asner G P, et al. Global consequences of land use [J]. *Science*, 2005, 309(5734): 570-574.
- [7] 张新荣, 刘林萍, 方石, 等. 土地利用、覆被变化(LUCC)与环境变化关系研究进展 [J]. *生态环境学报*, 2014, 23(12): 2013-2021.
- [8] Shi P, Zhang Y, Li Z B, et al. Influence of land use and land cover patterns on seasonal water quality at multi-spatial scales [J]. *Catena*, 2017, 151: 182-190.
- [9] 刘丰, 刘静玲, 张婷, 等. 白洋淀近20年土地利用变化及其对水质的影响 [J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(10): 1868-1875.
- [10] 张冉, 王义民, 畅建霞, 等. 基于水资源分区的黄河流域土地利用变化对人类活动的响应 [J]. *自然资源学报*, 2019, 34(2): 274-287.
- [11] Islam K, Weil R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2000, 79(1): 9-16.
- [12] Kizilkaya R, Dengiz O. Variation of land use and land cover effects on some soil physico-chemical characteristics and soil enzyme activity [J]. *Zemdirbyste*, 2010, 97(2): 15-24.
- [13] 刘欢, 刘梦云, 刘丽雯, 等. 黄土台塬不同土地利用方式土壤CH₄通量特征及主控因子分析 [J]. *中国生态农业学报*, 2018, 26(7): 937-947.
- [14] Lammert M, Allan J D. ENVIRONMENTAL AUDITING: assessing biotic integrity of streams: effects of scale in measuring the influence of land use/cover and habitat structure on fish and macroinvertebrates [J]. *Environmental Management*, 1999, 23(2): 257-270.
- [15] Zhao G S, Liu J Y, Kuang W H, et al. Disturbance impacts of land use change on biodiversity conservation priority areas across China: 1990-2010 [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2015, 25(5): 515-529.
- [16] 荣月静, 张慧, 王岩松. 基于Logistic-CA-Markov与InVEST模型对南京市土地利用与生物多样性功能模拟评价 [J]. *水土保持研究*, 2016, 23(3): 82-89.
- [17] 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.
- [18] 韩美. 黄河三角洲湿地生态研究 [M]. 济南: 山东人民出版社, 2009.
- [19] 刘高焕, 刘庆生, 叶庆华, 等. 黄河三角洲土地利用动态监测与海岸带综合管理 [J]. *资源科学*, 2006, 28(5): 171-175.
- [20] 许学工, 陈晓玲, 郭洪海, 等. 黄河三角洲土地利用与土地覆被的质量变化 [J]. *地理学报*, 2001, 56(6): 640-648.
- [21] 汪小钦, 王钦敏, 刘高焕, 等. 黄河三角洲油田集中区土地利用演化的遥感分析 [J]. *地球信息科学*, 2002, 4(4): 75-79.
- [22] 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 [J]. *地理科学进展*, 2003, 22(2): 141-221.
- [23] 吴大千, 刘建, 贺同利, 等. 基于土地利用变化的黄河三角洲生态服务价值损益分析 [J]. *农业工程学报*, 2009, 25(8): 256-261.
- [24] 周文佐. 近10a黄河三角洲LUCC及其驱动因素分析 [J]. *农业工程学报*, 2010, 26(1): 341-345, 390.
- [25] 赵志杰, 张成扬. 黄河三角洲土地利用/覆盖时空变化研究 [J]. *应用基础与工程科学学报*, 2016, 24(4):

- 731-740.
- [26] 张景华, 封志明, 姜鲁光. 土地利用/土地覆被分类系统研究进展 [J]. 资源科学, 2011, 33(6): 1195-1203.
- [27] 李云龙, 韩美, 孔祥伦, 等. 近30年来黄河三角洲耕地轨迹转化及驱动力研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(9): 136-143.
- [28] 李云龙, 孔祥伦, 韩美, 等. 1986-2016年黄河三角洲地表水体变化及其驱动力分析 [J]. 农业工程学报, 2019, 35(16): 105-113.
- [29] 栗云召, 于君宝, 韩广轩, 等. 基于遥感的黄河三角洲海岸线变化研究 [J]. 海洋科学, 2012, 36(4): 99-106.
- [30] 王奎峰, 李念春, 王薇. 黄河三角洲多年海岸线动态变迁特征及演化规律 [J]. 应用海洋学学报, 2018, 37(3): 330-338.
- [31] 陈琳, 任春颖, 王灿, 等. 6个时期黄河三角洲滨海湿地动态研究 [J]. 湿地科学, 2017, 15(2): 179-186.
- [32] 韩美. 基于多期遥感影像的黄河三角洲湿地动态与湿地补偿标准研究 [D]. 济南: 山东大学, 2012.
- [33] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨 [J]. 地理科学进展, 1999, 18(1): 81-87.
- [34] Zhou Q, Li B, Kurban A. Trajectory analysis of land cover change in arid environment of China [J]. International Journal of Remote Sensing, 2008, 29(4): 1093-1107.
- [35] Zhou Q M, Li B L, Kurban A. Spatial pattern analysis of land cover change trajectories in Tarim Basin, north-west China [J]. International Journal of Remote Sensing, 2008, 29(19): 5495-5509.
- [36] 郭莎莎, 胡守庚, 瞿诗进. 长江中游地区多尺度耕地景观格局演变特征 [J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(7): 1637-1646.
- [37] 梁发超, 刘诗苑, 刘黎明. 近30年厦门城市建设用地景观格局演变过程及驱动机制分析 [J]. 经济地理, 2015, 35(11): 159-165.
- [38] 解雪峰, 濮励杰, 朱明, 等. 基于典范对应分析的滨海滩涂围垦区景观格局与土壤盐渍化关系 [J]. 地理研究, 2017, 36(3): 495-505.
- [39] 韩美, 张翠, 路广, 等. 黄河三角洲人类活动强度的湿地景观格局梯度响应 [J]. 农业工程学报, 2017, 33(6): 272-281.
- [40] 陈永林, 谢炳庚, 李晓青. 长沙市土地利用格局变化的空间粒度效应 [J]. 地理科学, 2016, 36(4): 564-570.
- [41] 容芳芳, 塔西甫拉提·特依拜, 田源, 等. 于田绿洲土地利用/覆盖变化轨迹分析 [J]. 水土保持研究, 2010, 17(3): 259-263.
- [42] 黄方, 张学敏. 白山市土地利用/覆被变化轨迹分析与趋势预测 [J]. 应用基础与工程科学学报, 2015, 23(3): 439-451.
- [43] 王红, 宫鹏, 刘高焕. 黄河三角洲土地利用/土地覆盖变化研究现状与展望 [J]. 自然资源学报, 2004, 19(1): 110-118.
- [44] 王薇, 王昕, 黄乾, 等. 黄河三角洲土地利用时空变化及驱动力研究 [J]. 中国农学通报, 2014, 30(32): 172-177.
- [45] 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 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2003, 31(3): 117-122.
- [46] 汪小钦, 王钦敏, 励惠国, 等. 黄河三角洲土地利用/覆盖变化驱动力分析 [J]. 资源科学, 2007, 29(5): 175-181.
- [47] 章波, 濮励杰, 黄贤金, 等. 城市区域土地利用变化及驱动机制研究: 以长江三角洲地区为例 [J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(1): 28-33.
- [48] 周炳中, 陈浮, 包浩生, 等. 长江三角洲土地利用分类研究 [J]. 资源科学, 2002, 24(2): 88-92.
- [49] 刘敏, 许世远, 侯立军, 等. 长江三角洲土地利用/土地覆被动态变化及其环境效应 [J]. 资源科学, 2010, 32(8): 1533-1537.
- [50] 管东生, 董文福, 宋巍巍. 珠江三角洲的土地利用变化研究 [C]//中国地理学会自然地理专业委员会. 自然地理学与生态建设论文集. 北京: 气象出版社, 2006: 318-324.
- [51] 张文忠, 王传胜, 吕昕, 等. 珠江三角洲土地利用变化与工业化和城市化的耦合关系 [J]. 地理学报, 2003, 58(5): 677-685.
- [52] 叶长盛, 王枫. 珠江三角洲地区土地利用和景观格局变化研究 [J]. 水土保持通报, 2012, 32(1): 238-243.

(责任编辑 陆 驰)

