

1990—2018 年黄河三角洲人类活动强度时空格局 演变及其驱动因素

朱纹君, 韩 美, 孔祥伦, 李云龙, 孔凡彪, 魏 帆, 荣佳辉

(山东师范大学 地理与环境学院, 济南 250014)

摘 要:黄河三角洲是典型的生态环境脆弱区,定量评价人类活动对黄河三角洲生态环境具有重要意义。基于 1990—2018 年遥感影像数据,提取土地利用信息,运用建设用地当量系数法、空间自相关分析法等方法分析了近 30 年黄河三角洲人类活动强度的时空演变特征,探讨了不同尺度下人类活动强度空间分异的主要驱动因素。结果表明:(1)近 30 年人类活动对黄河三角洲土地利用影响强烈,其中 1990—1997 年影响最强烈,综合土地利用动态度达 2.17%,该时段人类活动对林地、水域和建设用地改造程度最强烈,其单一土地利用动态度分别为 16.70%、6.03% 和 5.10%;(2)1990—2018 年黄河三角洲人类活动强度分布格局大致呈 5、6 级强度带向东部和北部沿海方向推进、1~3 级强度带自内陆向沿海方向消退的特征。近 30 年人类活动强度增长显著,由 18.14% 增长至 35.24%。其中,东营区的城镇建设区、河口区的盐田区以及垦利区的胜利油田人类活动强度等级较高;(3)相关系数结果表明:人口密度、盐田开采量和原油开采量均在 95% 显著水平上与黄河三角洲人类活动强度显著相关。不同县域主要驱动因子存在显著差异性,城镇化率、盐田开采量、原油开采量和 GDP 变化率分别是东营区、河口区、垦利区和利津县主要驱动因子。

关键词:时空演变; 人类活动强度; 建设用地当量系数法; 黄河三角洲

中图分类号: TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2021)05-0287-06

Spatiotemporal Characteristics of Human Activity Intensity and Its Driving Factors in the Yellow River Delta from 1990 to 2018

ZHU Wenjun, HAN Mei, KONG Xianglun, LI Yunlong, KONG Fanbiao, WEI Fan, RONG Jiahui

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

Abstract: The Yellow River Delta is a typical area of the fragile ecological environment. Evaluating human activity intensity quantitatively has a great significance to the ecosystem of the Yellow River Delta. Based on the remote sensing images of the Yellow River Delta from 1990—2018, land use information and using construction land equivalent were extracted, spatial autocorrelation analysis method was used to investigate temporal and spatial distribution of human activity intensity in the Yellow River Delta in the past 30 years, and the main driving factors of human activity intensity at different scales were explored. The results show that: (1) in the past 30 years, the impact of human activities on the land use of the Yellow River Delta was significant, the impact was the strongest from 1990 to 1997, the comprehensive dynamic degree of land use researched 2.17%; during this period, human activities had strong impact on forest land, water area, and construction land; their single land use dynamics were 16.70%, 6.03% and 5.10%, respectively; (2) from 1990 to 2018, the distribution pattern of human activity intensity in the Yellow River Delta showed that fifth and sixth level intensity belts advanced towards east and north coast area, low intensity belts retreated from inland to the coast area; during the study period, the intensity of human activity significantly increased from 18.14% to 35.24%; Among them, the intensities of human activities in the urban construction area of

收稿日期: 2020-09-27

修回日期: 2020-10-19

资助项目: 山东省社科规划重大委托项目黄河三角洲生态保护研究(20AWTJ07); 山东省社科规划重点项目人类活动对莱州湾海岸带生态系统影响机制及预警研究(18BJJJ05); 国家自然科学基金面上项目黄河三角洲湿地生态价值评估与生态补偿标准研究(41371517)

第一作者: 朱纹君(1997—), 男, 吉林敦化人, 硕士研究生, 主要研究自然地理学。E-mail: zwj945945@163.com

通信作者: 韩美(1963—), 女, 山东潍坊人, 教授, 主要从事环境变化与区域响应研究。E-mail: hanmei568568@126.com

Dongying district, salt field of Hekou district and Shengli Oil Field of Kenli district werer higher; (3) the results of the correlation coefficient showed that population density, salt field extraction volume and crude oil extraction volume of the Yellow River Delta were related the human activity intensities at 95% significant level. The main driving factors of different scales were significantly different. The urbanization rate, salt field extraction volume, crude oil extraction volume and GDP change rate are the main driving factors in Dongying District, Hekou District, Kenli District and Lijin County.

Keywords: spatiotemporal evolution; human activity intensity; construction land equivalent coefficient method; Yellow River Delta

人类活动对地表生态系统的演变和发展有重要驱动作用^[1]。随着经济的高速发展,人类活动带来的环境问题日益突出,对生态环境压力不断增大,制约人类社会的发展^[2]。因此,关注人类活动的时空变化,明确其驱动因素,对维持区域生态环境动态平衡、实现区域可持续发展具有重要意义。人类活动强度(Human activity intensity of land surface, HAILS)是对人类活动程度的度量,指某区域受人类活动影响导致该区域地表过程速率发生改变的程度^[3]。在生态系统较为脆弱、敏感的特殊区域,人类活动对区域自然环境影响尤为显著^[4]。在一些学者提出“人类活动在多大程度上影响自然进程”这一问题后,学术界开始探讨人类活动对自然环境的影响^[5-7]。张翠云等^[8]依据研究区域特征构建指标体系,应用权重加权法对黑河流域人类活动强度展开研究,但研究指标体系的构建和权重的确定主观性较强;郭少壮等^[9]通过秦岭的景观格局演变评估人类活动强度,虽减少了主观性对研究结果的影响,但景观格局并非人类活动最直观的表现形式,且方法的普适性较差。

土地利用是人类活动最直接的表现形式。鉴于此,徐勇等^[10]提出建设用地当量法,以土地利用为基础测算区域人类活动强度,客观性较强且适用于生态环境较为特殊的区域。黄河三角洲生态环境比较特殊^[11],随着经济社会的发展和人类活动的不断增强,黄河三角洲自然生态环境演变剧烈^[12-14]。韩美等^[15]、陈珂欣等^[16]对黄河三角洲人类活动强度进行研究,分析在人类活动影响下湿地景观格局的响应;刘佳琦等^[17]指出,随着人类活动强度的增加,区域景观连通性与复杂性下降,景观多样性与空间异质性增加。总之,目前黄河三角洲对人类活动强度的研究主要从人类活动引起的景观格局响应角度展开^[18],揭示人类活动对景观格局的影响机制,但针对人类活动强度的分析较少。鉴于此,本文运用建设用地当量法,计算 1990—2018 年黄河三角洲人类活动强度,分析其主要驱动因子,为黄河三角洲生态环境保持及可持续发展提供科学性支持。

1 研究区概况

近代黄河三角洲位于黄河入海口处(东经 118°07′—119°18′,北纬 37°09′—38°12′),以宁海为顶点,南抵支脉河河口,西起套儿河口,地处渤海湾与莱州湾之间,总面积达 6 445 km²。基于研究目的及数据的可获取性,本研究区域为东营区、河口区、垦利区和利津县。至 2018 年,黄河三角洲总人口数为 143.54 万人,水库建造面积 178.91 km²,耕地面积上升至 3 141.63 km²,占总面积的 48.75%。近 30 a 来,研究区人口数量不断增加,兴修水库、开垦耕地、修建城镇设施和工矿开采等人类活动使环境压力日益增大,人类活动日渐强烈。

2 数据与方法

2.1 数据来源与处理

本研究采用 USGS 提供的 1990 年、1997 年、2004 年、2011 年、2018 年 5 期 Landsat TM/OLI 数据(表 1),分辨率为 30 m,应用 ENVI 对影像进行几何精校正、大气校正、辐射校正、裁切等预处理,控制校正误差在 1 个像元以内,使用面向对象分类法,经人机交互修正后提取土地利用空间位置分布信息。依据《中国土地利用现状分类》(GB/T21010-2017)将研究区土地利用类型分为草地、林地、水域、建设用地、未利用地和耕地 6 个一级类型以及 13 个二级类型(表 2)。通过实地考察并结合高分辨率影像(Google Earth)获取 450 个校正样本验证解译精度,均在 90% 以上,符合研究需要。

表 1 遥感影像信息

数据类型	时间	行列号	分辨率/m	云量/%	数据来源
Landsat TM	1990-09-23	121/34	30	0	USGS
Landsat TM	1997-09-07	121/34	30	0	USGS
Landsat TM	2004-10-12	121/34	30	0	USGS
Landsat TM	2011-07-28	121/34	30	16	USGS
Landsat OLI	2018-10-03	121/34	30	0.13	USGS

本文依据指标选取的全面性、主导性、代表性以

及资料可获取性原则^[19],结合专家知识以及黄河三角洲的特性^[20-22]从经济社会^[23]方面选取与人类活动强度变化联系较大的指标,构建驱动因子指标体系^[24-25],其中,人口是人类活动的基础,人口密度(X_1)决定着区域人类活动。 GDP 变化率(X_2)、农业总产值(X_3)、工业总产值(X_4)是区域经济社会发展水平重要指标。石油业、盐业、农耕地是黄河三角洲最主要的经济发展方向,原油开采量(X_5)、盐田开采量(X_6)、耕地率(X_7)对人类活动的反映最直观。城镇和农村是人类活动的主要区域,城镇化率(X_8),财政支出(X_9)、固定资产投资总额(X_{10}),是研究区人类社会经济活动的映射。上述研究数据均源于 1990—2018 年的《东营市年鉴》、《河口年鉴》、《利津年鉴》、《垦利年鉴》和《东营区年鉴》。

表 2 土地利用类型分类

一级类型	二级类型
耕地	—
草地	天然牧草地、人工牧草地
林地	有林地、灌木林地、未成林造林地
水域	盐田、滩涂、河流、水库、坑塘
未利用地	—
建设用地	农村居民地、城镇居民地、工矿用地

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用动态度 土地利用动态度用于衡量黄河三角洲人类活动对土地利用改造程度,指研究区内土地利用类型数量的变化^[26-27],包括单一土地利用类型动态度和综合土地利用动态度。

(1) 单一土地利用类型动态度表示:研究时段内,黄河三角洲某种土地利用类型的数量变化情况,其公式为:

$$K=\frac{U_b-U_a}{U_a}\times\frac{1}{T}\times100\% \tag{1}$$

式中: K 为单一土地利用类型动态度($\%$); U_a 和 U_b 分别表示研究初期和末期土地利用类型数量(km^2); T 为监测时段,当 T 为年时, K 值就是研究区某种土地利用类型年变化率。

(2) 黄河三角洲的综合土地利用动态度的公式为:

$$LC=\frac{\sum_{i=1}^n\Delta LU_{i-j}}{2\sum_{i=1}^nLU_i}\times\frac{1}{T}\times100\% \tag{2}$$

式中: LC 表示区域综合土地利用动态度($\%$); LU_i 表示研究初期第 i 类土地利用类型面积(km^2); ΔLU_{i-j} 为研究时段内第 i 类土地利用类型转出数量绝对值(km^2); T 为研究时长,当 T 为年时, LC 就是研究区土地利用年变化率。

2.2.2 人类活动强度计算方法 人类活动强度的计

算采用徐勇等^[10]提出的建设用地当量(CLE, Construction land equivalent)模型和土地利用/土地覆被类型的建设用地当量折算系数(CI, Conversion index of construction land equivalent)算法,其公式如下:

$$HAILS=\frac{S_{CLE}}{S}\times100\% \tag{3}$$

$$S_{CLE}=\sum_{i=1}^n(SL_i\times CI_i) \tag{4}$$

式中: $HAILS$ (Human activity intensity of land surface)指地表人类活动强度($\%$); S_{CLE} 为建设用地当量面积; S 为研究区域总面积; SL_i (km^2) 为第 i 种土地利用/土地覆被类型面积; CI_i 为该种土地利用/覆被类型的折算系数; n 为研究区域内土地利用类型的总数。参考相关研究^[28]和研究区域特征,将人类活动强度划分为 $0\%\sim5\%$, $5\%\sim10\%$, $10\%\sim20\%$, $20\%\sim40\%$, $40\%\sim60\%$, $60\%\sim100\%$ 6 个强度带,强度值由低到高分别对应 1—6 号等级,其中 1—3 号为低级强度带,4—6 号为高级强度带。

2.2.3 Pearson 相关系数 Pearson 积差简单相关系数^[29]可用于衡量两个变量的密切程度。本文应用 SPSS 软件计算 Pearson 相关系数,度量所选 10 个因子与人类活动强度的关联程度^[30],其数学表达式为:

$$R=\frac{n\sum_{i=1}^nx_iy_i-\sum_{i=1}^nx_i\sum_{i=1}^ny_i}{\sqrt{n\sum_{i=1}^nx_i^2-(\sum_{i=1}^nx_i)^2}\sqrt{n\sum_{i=1}^ny_i^2-(\sum_{i=1}^ny_i)^2}} \tag{9}$$

式中: n 为样本数; x_i 和 y_i 分别为样本的变量值。计算结果的置信度(Sig 值)以 0.01 级别(95%)和 0.05 级别(90%)两个等级为分界,若 Sig 值大于 0.05,则表明所选自变量与因变量相关性置信度低,不满足假设。在 $0\sim0.05$ 之间,Sig 值越小则表明该驱动因子与人类活动强度相关性的显著度越高。

3 结果与分析

3.1 土地利用时空演变分析

土地系统是人类与自然环境间的纽带,也是自然环境对人类活动的最直观的响应对象^[31]。近 30 a 黄河三角洲土地利用格局变化显著(图 1A),主要土地利用类型为耕地。至 2018 年,耕地的面积达 $3\,141.63\,\text{km}^2$ (图 1B),占总面积的 48.74%,是人类活动面积最大的场所,主要分布在研究区西南内陆地区和黄河沿岸地带;水域的面积为 $1\,929.91\,\text{km}^2$,占比 29.95%,集中分布在黄河三角洲沿岸地区。其中,坑塘、盐田是人类活动的主要区域,水库是人类活动的产物;建设用地是受人类活动影响最强烈的区域,包括城乡居民用地和工矿用地,面积为 $863.78\,\text{km}^2$ 。其他土地利用类型所

占比例大小依次为草地、林地和未利用地。

综合土地利用动态度表明,不同研究时段人类活动对黄河三角洲土地利用的影响程度不同(图2A),大致以2004—2011年时段为界,前期动态度大幅度减小,后期增加。4个时段的动态度分别为2.17%(1990—1997年),1.15%(1997—2004年),1.11%(2004—2011年)和1.26%(2011—2018年),相比其他时段,1990—1997年土地利用变化较为显著,人类活动较为强烈。从单一土地利用动态度看(图2B),

1990—1997年人类活动主要集中在建造林地、修建水域以及扩张建设用地方面,其单一土地利用动态度分别为16.70%,6.03%和5.10%。其中林地的动态度最大,说明该时期人类活动对林地的影响程度最大。2004—2011年人类活动对土地系统的影响较轻,建设用地与林地依旧是人类活动影响较大的土地利用类型,草地和水域的动态度出现负增长,其中草地缩减最为显著,动态度为-3.16%,水域的动态度为-1.04%。

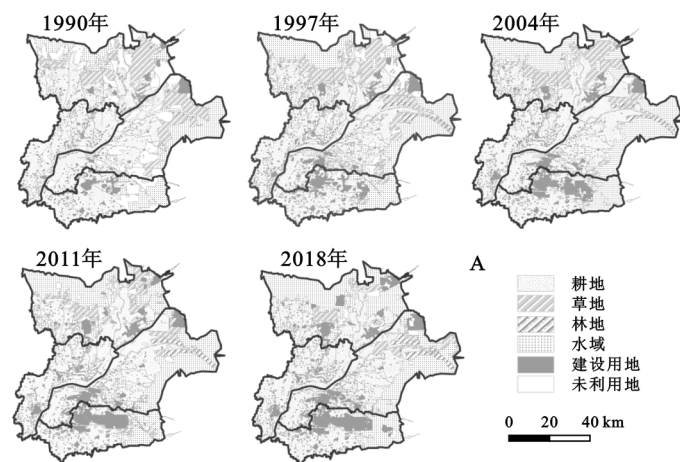


图1 黄河三角洲土地利用类型及其面积变化

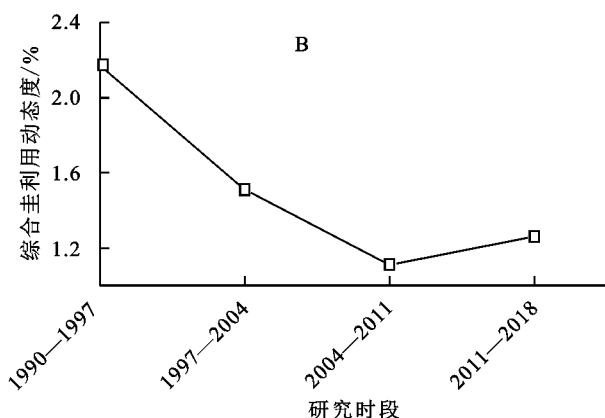
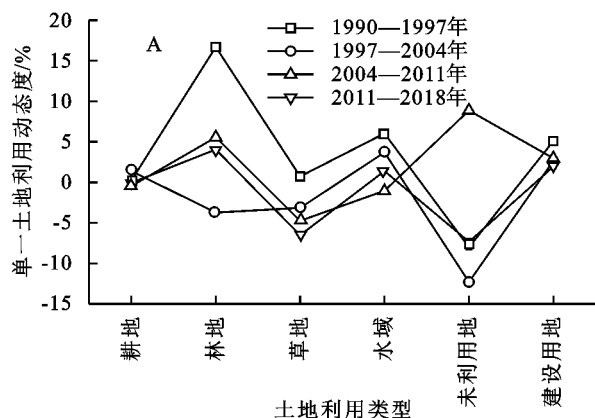


图2 黄河三角洲土地利用动态度

3.2 人类活动强度时空变化分析

从时间上看,黄河三角洲人类活动强度总体呈上升趋势(图3),不同时段人类活动强度变化不同,大致以2004—2011年时段为界,前期强度增长幅度不断减小,后期再次增大。其中1990—1997年增长幅度最大,年均增长0.64%。建设用地当量面积不断增大,变化特征与人类活动强度的变化特征大致相同。

1990—2018年人类活动强度格局变化显著(图4A),人类活动逐渐由区域内部向区域边缘推进,各县域受人类活动影响日益强烈(图4B)。其中,1级强度带变化最为显著,占研究区总面积的10.34%。研究时段内,该强度带自内陆向沿海方向消退,最终稳定在研究区内自然保护区两个分区范围附近。2

级强度带分布较为零散,面积逐渐减少。主要土地利用类型为滩涂、草地,受人类活动影响较轻,故人类活动强度较低;3级强度带主要分布在研究区沿河地带,占比13.76%,面积不断增大,但增长幅度较小;4级强度带与耕地的分布大致相同,占总面积的38.40%,农业是黄河三角洲主要经济发展形式,由于土壤盐渍化^[32]和产业结构的转型,农业逐步向盐业、石油业和养殖业转变,故人类活动强度较低;5级强度带主要分布在6级强度带边缘,占比12.57%;6级强度带面积占研究区总面积的20.78%,集中分布在东营区城镇建设区、河口区盐田区以及胜利油田地区,人类活动较为集中,范围不断扩大且向沿海方向推进。

3.3 人类活动强度变化的驱动因子分析

研究时段内,黄河三角洲各自变量与人类活动强度均呈显著性相关^[33],模型计算效果较优。Pearson 相关性分析结果表明(表 4),人口密度(0.986)、原油开采量(0.969)和盐田开采量(0.994)是黄河三角洲人类活动强度演变的重要驱动因子。随着人口密度的上升,食宿等基础物质需求量不断扩大,从而引起土地利用类型的转变^[34],对黄河三角洲地表过程干扰程度最大,故人口密度与人类活动强度相关性最高。自《黄河三角洲高效生态经济区发展规划》的颁布与实施,区域产业发展方向得到调整,油业与盐业成为近年来黄河三角洲发展最为迅速的区域特色产业^[35],但对产业区域内部及周边范围生态环境影响

显著,例如化学物质污染、地质灾害爆发等^[36-37],同时推动人类活动强度分布格局向沿海方向发展,加大了盐田区和胜利油田区的人类活动强度。

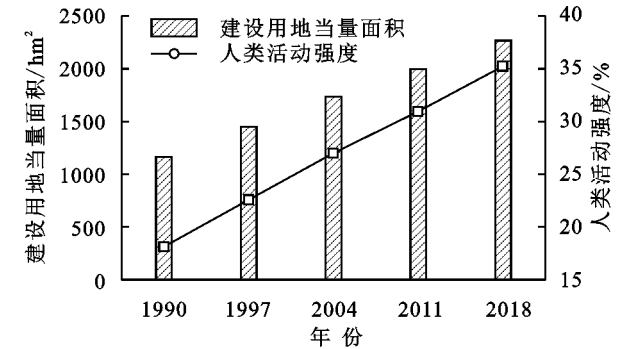


图 3 1990—2018 年黄河三角洲建设用地当量面积和人类活动强度

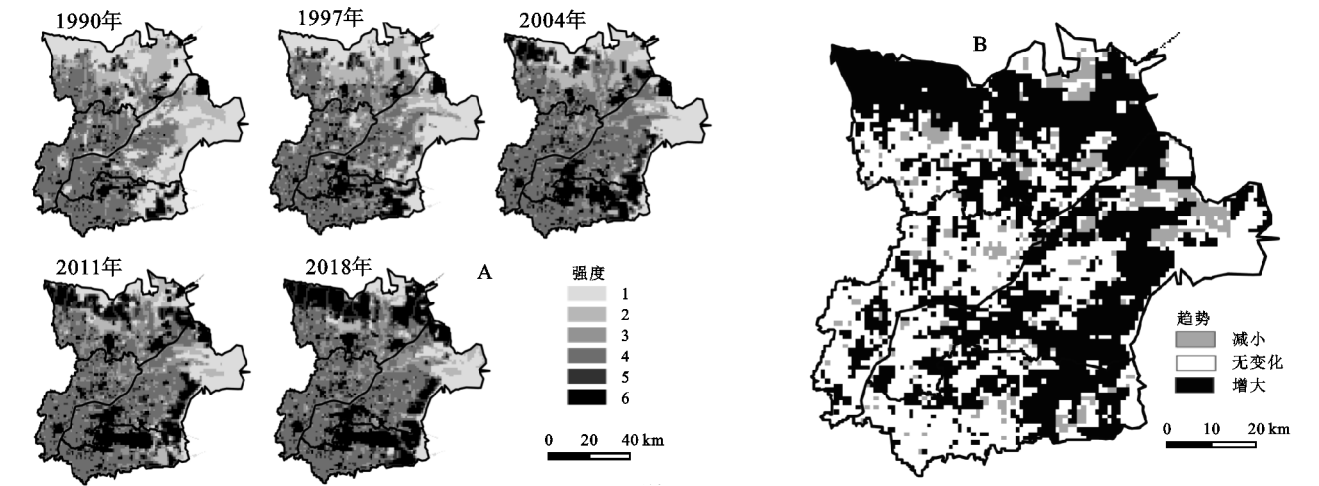


图 4 1990—2018 年黄河三角洲人类活动强度分布及趋势

表 4 1990—2018 黄河三角洲人类活动强度驱动因子 Pearson 相关系数分析结果

因子	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
Pearson 相关性	0.986 **	0.909 *	0.937 *	0.872	0.969 **	0.994 **	0.749	0.925 *	0.912 *	0.914 *

注:*,** 分别代表显著水平为>90%,>95%。

不同县域尺度上人类活动强度的影响因素有显著差异(表 5)。研究时段内东营区人口数量高于其他县区,2018 年东营区总人口数达 66.81 万人,人口密度为 58.21 人/km²。随着社会经济的发展,东营区城镇化率不断提高,建设用地的扩张成为区域人类活动的主要表现形式。故人口密度和城镇化率与东营区人类活动强度相关性较高;河口区盐田数量多,随着黄河三角洲产业重心由农业向工业转移,盐业成为河口区经济发展产业重心之一。因此 GDP 变化率和盐田开采量对河口区人类活动强度解释力较高。垦利区含有胜利油田和大量耕地,是人类活动的集中区域,故垦利区人类活动强度主要受原油开采量和耕地率的驱动。利津县内社会经济活动频繁,除原油开采量、盐田开采量、耕地率和城镇化率外各驱动因子均与人类活动强度具有显著相关性,其中 GDP 变化

率相关性最高。

表 5 黄河三角洲各县域人类活动强度驱动因子 Pearson 相关系数分析结果

自变量	东营区	河口区	垦利区	利津县
X_1	0.956 **	0.876	0.495	0.926 *
X_2	0.846	0.985 **	0.541	0.949 *
X_3	0.829	0.912 *	0.577	0.929 *
X_4	0.795	0.960 *	0.477	0.907 *
X_5	0.825	0.748	0.951 **	0.897
X_6	0.797	0.990 **	0.272	0.873
X_7	-0.862	0.768	0.909 *	0.686
X_8	0.962 **	-0.554	-0.490	-0.258
X_9	0.845	0.932 *	0.537	0.927 *
X_{10}	0.841	0.930 *	0.606	0.940 *

注:*,** 分别代表显著水平为>90%,>95%。

4 讨论与结论

(1) 近 30 a 间黄河三角洲土地利用格局演变剧

烈,其中,水域面积增加幅度最大,共增加了 881.69 km²;未利用地缩减最显著,至 2018 年面积缩减至 103.27 km²,共减少了 1 179.71 km²,其余土地利用类型变化幅度不大。研究时段内,综合土地利用动态度呈先下降后上升的趋势,不同时段人类活动对土地利用干扰程度不同。其中,1990—1997 年人类活动对土地利用的影响最强烈,综合土地利用动态度为 2.17%。根据单一土地利用动态度结果,该时段人类活动主要表现为建造林地、修建水域和扩张建设用地,其单一土地利用动态度分别为 16.70%, 6.03%和 5.10%。

(2) 1990—2018 年黄河三角洲人类活动强度总体呈上升趋势,1990 年黄河三角洲人类活动强度为 18.14%,2018 年达到 35.24%,增长了 16.90%。增长幅度大致以 2011 年为界,前期不断下降,后期增长幅度上升,其中 1990—1997 年增长幅度最大,年均增长 0.64%。从总体上看,研究年限内黄河三角洲人类活动强度分布格局大致呈 5,6 级强度带向北部及东部边缘地区推进且范围不断扩大、低强度带自内陆向沿海方向消退的特征。其中东营区城镇建设用地和胜利油田地区人类活动较集中,人类活动强度一直较高;河口区盐田随着时间的变化逐渐从低强度带转变为高强度带。

(3) 黄河三角洲人类活动强度演变的主要驱动因子是人口密度、原油开采量和盐田开采量。各驱动因素区域差异性显著,东营区主要驱动因子为城镇化率,盐田开采量是河口区主要驱动因子,原油开采量与 GDP 变化率分别是垦利区和利津县的主要驱动因子。由于本文根据研究区独特的生态要素^[15]选取相关指标进行驱动分析,因此主要驱动因子除人口密度外还有盐田开采量和油田开采量,虽与相关研究^[28]略有不同,但符合黄河三角洲的特性。

人类活动强度影响因素多样,由于数据获取的限制,本文指标体系有待进一步完善。在复杂的人类活动体系中,量化重要影响因素如土地利用政策、经济发展政策等对人类活动强度的影响很难实现。因此,寻找合适的量化方法分析人类活动强度演变的驱动机制,是未来值得考虑的问题。

参考文献:

[1] 徐志刚,庄大方,杨琳.区域人类活动强度定量模型的建立与应用[J].地球信息科学学报,2009,11(4):452-460.
[2] 秦大河.气候变化科学与人类可持续发展[J].地理科学进展,2014,33(7):874-883.
[3] 杨俊,李月辰,席建超,等.旅游城镇化背景下沿海小镇

的土地利用空间格局演变与驱动机制研究:以大连市金石滩国家旅游度假区为例[J].自然资源学报,2014,29(10):1721-1733.
[4] 李香云,王立新,章予舒.干旱区人类活动指数的动态研究[J].兰州大学学报:自然科学版,2004,40(4):106-111.
[5] 刘世梁,刘芦萌,武雪,等.区域生态效应研究中人类活动强度量化评价[J].生态学报,2018,38(19):6797-6809.
[6] Sanderson E W, Jaiteh M, Levy M A, et al. The human footprint and the last of the wild[J]. Bioscience, 2002,52(10):891-904.
[7] Turner B L, Kasperson R E, Matson P A, et al. A framework for vulnerability analysis in sustainability science[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2003,100(14):8074-8079.
[8] 张翠云,王昭.黑河流域人类活动强度的定量评价[J].地球科学进展,2004,19(S1):386-390.
[9] 郭少壮,白红英,孟清,等.1980—2015 年秦岭地区景观格局变化及其对人为干扰的响应[J].应用生态学报,2018,29(12):4080-4088.
[10] 徐勇,孙晓一,汤青,等.陆地表层人类活动强度:概念、方法及应用[J].地理学报,2015,70(7):1068-1079.
[11] 王成新.新时代典型区域人地关系理论与实践的新思考:兼评《黄河三角洲生态脆弱型人地系统研究》[J].地理研究,2020,39(8):1947-1948.
[12] 刘凯,任建兰,张宝雷.黄河三角洲人地系统脆弱性演化特征及其影响因素[J].经济地理,2019,39(6):198-204.
[13] 程钰,尹建中,王建事.黄河三角洲地区自然资本动态演变与影响因素研究[J].中国人口·资源与环境,2019,29(4):127-136.
[14] 路广,韩美,王敏,等.近代黄河三角洲植被覆盖度时空变化分析[J].生态环境学报,2017,26(3):422-428.
[15] 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):265-274.
[16] 陈珂欣,丛丕福,雷威.人类活动对 40 年间黄河三角洲湿地景观类型变化的影响[J].海洋环境科学,2019,38(5):736-750.
[17] 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,2018,20(8):1102-1110.
[18] 陈琳,任春颖,王宗明,张柏,宋开山.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.
[19] 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(6):105-113.