

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2023.06.034.

路琦, 邢韶华, 刘昌, 等. 近20年黄河三角洲地区植被覆盖度时空变化及其趋势分析[J]. 水土保持研究, 2023, 30(6): 366-375.

Lu Qi, Xing Shaohua, Liu Chang, et al. Spatiotemporal Variation of the Vegetation Coverage and Its Response to Land Use/Cover Changes in the Yellow River Delta in Recent 20 years[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(6): 366-375.

近20年黄河三角洲地区植被覆盖度 时空变化及其趋势分析

路琦¹, 邢韶华¹, 刘昌¹, 汪生财¹, 陈梦缘¹, 袁秀²

(1.北京林业大学 生态与自然保护学院, 北京 100083; 2.中国科学院 科技战略咨询研究院, 北京 100190)

摘要: [目的]探究黄河三角洲地区植被覆盖度的时空动态变化以及植被覆盖度对土地利用变化的响应机制, 为地区生态保护、建设与高质量发展提供参考。[方法]基于2000—2019年的归一化植被指数(NDVI)数据和2000—2020年5期土地利用数据, 采用slope趋势分析和相关性分析方法, 分析了2000—2019年东营市植被覆盖度的时空动态变化及其对土地利用类型变化的响应。[结果]植被覆盖度在东营市南部地区、黄河沿岸以及黄河故道地区较高, 而北部和东部沿海地区较低。在时间上, 2000—2019年东营市NDVI为0.25~0.33, 植被覆盖度呈现先增加后减少的趋势, 在2010年达到最高水平。在空间上, 东营市植被覆盖度改善区域面积大于退化区域, 其面积占比分别为44.86%, 37.94%。[结论]草地和未利用土地向城乡、工矿、居民用地和水域转化是造成植被覆盖退化的主要原因。

关键词: NDVI; 植被覆盖度; 土地利用/覆盖变化; 黄河三角洲; 图谱单元

中图分类号: X37; TP79; Q948

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2023)06-0366-10

Spatiotemporal Variation of the Vegetation Coverage and Its Response to Land Use/Cover Changes in the Yellow River Delta in Recent 20 years

Lu Qi¹, Xing Shaohua¹, Liu Chang¹, Wang Shengcai¹, Chen Mengyuan¹, Yuan Xiu²

(1.School of Ecology and Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2.Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: [Objective] The study aims to investigate the spatial and temporal dynamics of vegetation cover in the region, and the response mechanism of vegetation cover to land use changes, so as to provide reference for the ecological protection, construction and high-quality development of the Yellow River Delta. [Methods] Based on moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) 16-day normalized difference vegetation index (NDVI) at a spatial resolution of 250 m, trend analysis method and correlation analysis method were used to detect vegetation dynamics in Dongying City during 2000—2019. In addition, the geo-spectrum of land use and land cover change (LUCC) was established by using land-use remote sensing data to explore the process and driving forces of LUCC, which was expected to comprehensively understand the relationship between temporal and spatial changes of the fractional vegetation coverage (FVC) and the land-use changes in Dongying City from 2000 to 2019. [Results] By and large, the strong FVC areas mainly distributed in the south of Dongying City, along the Yellow River, and the old course of the Yellow River, while the low FVC areas distributed in the north and east coastland. As for the temporal variation, the annual average NDVI value in Dongying City ranged from 0.25 to 0.33, the FVC of Dongying City appeared to have an overall trend

收稿日期: 2022-06-25

修回日期: 2022-10-10

资助项目: 国家自然科学基金(42107510); 国家重点研发计划项目(2017YFC0505802-3); 黄河流域生态保护和高质量发展联合研究一期项目(2022-YRUC-01-0103)

第一作者: 路琦(1998—), 女, 山东日照人, 硕士研究生, 研究方向为自然保护区规划与生物多样性保护。E-mail: luqi_1998@163.com

通信作者: 袁秀(1981—), 女, 重庆渝北区人, 博士, 副研究员, 主要从事资源环境可持续发展研究。E-mail: yuanxiu@casisd.cn

<http://stbcyj.paperonce.org>

of increasing initially and decreasing afterwards, with the FVC reaching the highest in 2010. As for the spatial variation, the proportion of FVC improvement area was larger than that of degradation area, accounting for 44.86% and 37.94%, respectively. [Conclusion] The conversion of grassland and unused land to construction land and waters is the main reason for the degradation of FVC.

Keywords: NDVI; fractional vegetation coverage (FVC); land use and land cover change (LUCC); Yellow River Delta; geo-spectrum unit

黄河三角洲是我国最大的三角洲之一,是陆地生态系统、水生生态系统、河口湿地生态系统和海洋海岸湿地生态系统相互交织的典型地区^[1],为濒危鸟类、底栖动物等多种珍稀物种的生存提供了关键场所。但快速的城市化以及随之而来的土地利用变化,导致了物种栖息地保护与土地开发利用的矛盾越来越大。公开资料显示,东营市建设用地由 1995 年的 540 km² 增加到 2019 年的 1 421.30 km²,开垦耕地、水产养殖等其他人类活动也对当地生态系统产生了重大影响^[2]。黄河三角洲湿地生态系统的保护问题一直是人们关注的焦点,前人在黄河三角洲地区的土地利用/覆盖变化(land use and land cover change, LUCC)以及植被变化监测等方面已经开展过大量研究^[3-6],主要包括湿地环境退化及修复措施,土壤、水盐、气候因子以及人类活动与植被生长的关系,土地覆盖动态及驱动力,生态系统服务价值评估等方面。而基于遥感影像数据,研究植被覆盖度的长时间序列、大范围变化,及其对土地利用/覆盖变化的响应,这是我们需要探讨的重要问题。

植被覆盖度(fractional vegetation coverage, FVC)是衡量地表植被分布的常用重要参数,被定义为植被垂直投影的面积与地表面积的比值^[7]。作为陆地生态系统与全球环境变化长期监测的关键指标,植被覆盖度在碳循环、陆地气候和环境保护等方面发挥着重要作用,研究植被覆盖度的动态变化及其影响因素对于监测和评估当地生态环境质量具有重要意义。在众多的遥感指数中,1973 年由 Rouse 提出的归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)是最常用的遥感监测植被指数,常被用来表征植被覆盖、生长、产量和健康状况。NDVI 是红外光波段和近红外波段光谱反射率的归一化差值^[8],不仅可以有效反映植被生长和覆盖信息,而且能最大限度地减少人们在单个光谱波段可能遇到的某些类型的噪声(如云影、太阳高程角、卫星观测角、地形效应等),因此许多学者利用 NDVI 数据研究全球和区域尺度的植被覆盖变化^[9-11]。MODIS 数据的近红外波段较窄,对大气湿度的敏感度较低,大气水汽吸收对植被反射率值的影响较小^[13]。前人已选用

MODIS NDVI 植被指数开展了多个地区的植被覆盖度相关研究^[13-15],揭示了植被覆盖度的时空变化以及和人为因素、气候因素的关系。

本文基于 2000—2019 年 MODIS NDVI 长时序遥感数据和 2000—2020 年 5 期土地利用数据,利用 slope 趋势分析和相关性分析等方法探究东营市植被覆盖度的时空动态变化,并运用土地利用变化图谱分析法,探究植被覆盖度对土地利用变化的响应,以期对东营市生态环境的可持续发展与黄河三角洲地区的湿地保护政策的制定提供科学的理论依据和数据支撑。

1 研究区概况

黄河三角洲,多指近代黄河三角洲,即以垦利县宁海为顶点,北起套尔河口,南至支脉沟口的扇形地带,面积约 5 400 km²,其中 5 200 km² 在东营市境内。本文结合实际情况,以东营市全域为研究范围。东营市位于山东省东北部渤海南岸,是黄河三角洲高效生态经济区的重要城市之一,地理位置为 118°05′—119°15′E, 37°00′—38°10′N。该市总面积约 7 900 km²,海岸线长约 350 km。东营区域地势平坦,南部丘陵海拔最高 37 m,北部和东部沿海地区海拔不足 1 m,平均高程低于 15 m,地貌类型复杂,湿地广布丰富。土地利用类型以农业用地为主,其中耕地面积占全市土地总面积的 27.66%。此外,建设用地和未利用土地分别占总面积的 17.13%, 30.19%。该地属于暖温带半湿润大陆性季风气候,光照充足,四季分明,雨热同期,多年平均气温 11.7~12.6℃,年均降水量约为 600 mm,具有强烈的季节性。东营市无地带性植被类型,木本植物较少,以草本植物为主。在天然植被中,以滨海盐生植物为主,芦苇(*Phragmites australis*)、碱蓬(*Suaeda salsa*)、怪柳(*Tamarix chinensis*)为主要群落优势种,人工植被主要为农田植被。

2 数据与方法

2.1 数据来源及处理

本文选用空间分辨率为 250 m 的 MODIS 16 d NDVI 合成图像(MOD13Q1)计算植被覆盖度(FVC)。数据集来源于美国国家航天局 NASA(National Aeronautics and Space Administration)(http:

//lpdaac.usgs.gov)^[16],从该网站下载 2000—2019 年(4—10 月份)期间的遥感影像(图幅号为 h27v05)。MODIS 产品提供了经过大气校正、去除薄卷云和气溶胶影响的 NDVI 数据,在此基础上利用 MRT (MODIS Reprojection Tools) 工具进行投影转换和波段提取,最后利用东营市边界数据,在 ArcGIS 中裁剪得到研究区范围。

选用 2000—2020 年 5 期(2000 年、2005 年、2010 年、2015 年和 2020 年)环渤海 LUCC 矢量数据,该土地覆盖数据产品通过北京揽宇方圆信息技术有限公司购买获取。基于 Landsat TM 遥感影像,采用遥感信息提取方法,并结合野外实测,以及参照国内外现有的土地覆盖分类体系,经过波段选择及融合,图像几何校正及配准并对图像进行增强处理、拼接与裁剪,将土地利用类型划分为 6 个一级分类和 25 个二级分类,本文仅使用一级分类进行分析,一级分类分别为耕地、林地、草地、水域、城乡、工矿、居民用地和未利用土地。首先利用东营市矢量边界数据,在 GIS 中裁剪出研究范围内的 LUCC 数据。之后再将矢量数据转为栅格数据,空间分辨率选择 100 m。本文中,LUCC 数据的空间分辨率(100 m)和 MODIS NDVI 数据的空间分辨率(250 m)不一致并不会对研究结果造成影响,因此没有将二者的分辨率进行统一^[17]。

2.2 研究方法

本文利用 NDVI 变化斜率和植被覆盖度两个指标,分别从时间和空间维度上分析植被变化。为研究 2000—2019 年东营市植被动态变化,我们计算每个像元 20 a 平均植被覆盖度,分析植被在时间上的变化,在此基础上,求得每个像元的年均植被覆盖度的变化斜率,分析植被覆盖度时间上的变化。

2.2.1 植被覆盖度计算 NDVI 是遥感中广泛应用的植被指数,本文基于 NDVI 与植被覆盖度的线性相关关系,采用像元二分模型估算植被覆盖度。植被覆盖度的计算表达式为:

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s} \quad (1)$$

式中:NDVI_s 为仅覆盖土壤的像元对应的 NDVI 值;NDVI_v 为仅覆盖植被的像元对应的 NDVI 值;FVC 为植被覆盖度。NDVI_s 和 NDVI_v 理论上应该接近 0,1,计算过程中,NDVI_s 和 NDVI_v 分别为置信区间中累计频率为 0.5%,99.5% 的 NDVI 值。

根据中国水利部 2008 年颁布的《土壤侵蚀分类分级标准》文件中的植被覆盖度分级标准(表 1),将植被覆盖度(FVC)划分为低(<30%)、中低(30%~45%)、中(45%~60%)、中高(60%~75%)和高(>75%)5 个等级^[18]。

表 1 东营植被覆盖度分级标准

Table 1 Grading criteria for FVC in Dongying

序号	植被类型	分级标准
1	低覆盖度	<30%
2	中低覆盖度	30%~45%
3	中覆盖度	45%~60%
4	中高覆盖度	60%~75%
5	高覆盖度	>75%

2.2.2 趋势分析 本文选 slope 趋势分析法对每个栅格点逐像元拟合斜率,分析研究区近 20 a 的植被变化趋势。利用 ArcGIS 10.4.1 的栅格计算器工具对东营市 2000—2019 年 NDVI 的时空变化进行分析,求得 20 a NDVI 的变化率,计算公式为:

$$\theta_{\text{slope}} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n (i \times C_i)}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (2)$$

式中: n 为样本的数量, $n=20$; i 为研究时段年份的序号,取值 1, ..., n ; θ_{slope} 为单个像元 NDVI 回归方程的斜率; C_i 为第 i 年生长期(4—10 月)平均 NDVI 值。 θ_{slope} 表示研究区所有像元 NDVI 与时间变量(2000—2019 年)拟合的回归方程的斜率。若 $\theta_{\text{slope}} > 0$,说明 NDVI 为增加趋势,植被覆盖度改善;若 $\theta_{\text{slope}} < 0$,说明 NDVI 为减少趋势,植被覆盖度退化。

此外,还使用相关性分析拟合植被覆盖度和时间序列曲线,分析植被覆盖度沿时间序列的变化趋势。

2.2.3 土地利用变化图谱分析 土地利用图谱是研究土地利用“格局与过程”时空变化的基本时空复合体,它能够以图谱单元的形式记录土地利用变化的时空信息。因此,通过该方法可以反映一定时期内土地利用格局变化以及时空演变规律^[19]。

根据东营市 2000—2020 年 5 期 LUCC 数据,将不同时期 6 类一级土地利用类型的图谱单元进行融合,建立东营市研究时期内多个时段的土地利用信息图谱。

(1) 土地利用变化图谱的建立。

① 确定图谱的基本单元。由于本文使用的 LUCC 数据空间分辨率为 100 m,因此土地利用变化图谱单元大小为 100 m×100 m。为了便于土地利用变化模式的计算,将 6 类一级分类的土地利用类型进行重新编码,见表 2。由于研究使用的 LUCC 数据的时间分辨率为 5 a,因此,土地利用变化图谱的时序单元为以下 4 个阶段:2000—2005 年、2005—2010 年、2010—2015 年、2015—2020 年。

② 图谱的构建。在 ArcGIS 10.4.1 中,利用相交和栅格计算器功能将某一图谱时序单元的前后两期土地利用类型编码进行相交并代数计算,得到 4 期土地利用

变化图谱,图谱是由前后两期编码值组成的两位数字,十位数字为图谱时序单元的前期年份,个位数字为图谱时序单元的后期年份^[20]。图谱的计算公式为:

$$C=10A+B$$

(3)

表 2 东营市土地利用分类体系及编码

Table 2 LUCC classification system and codes in Dongying

编码	土地利用类型	解释说明
1	耕地	种植农作物的土地,包含水田和旱地
2	林地	包括有林地、疏林地和其他林地(苗圃及各类园地等)
3	草地	高植被覆盖度、中植被覆盖度和低植被覆盖度草地
4	水域	河渠、湖泊、水库坑塘、滩地和滩涂等
5	城乡、工矿、居民用地	城镇用地、农村居民点和其他建设用地(油田、盐场、采石场以及大型工业区等用地)
6	未利用土地	目前还未利用的土地,包括裸土地、沙地、盐碱地、沼泽地等难利用土地

最终生成东营市 2000—2005 年、2005—2010 年、2010—2015 年、2015—2020 年 4 个时间段的土地利用变化图谱。

(2) 土地利用图谱特征分析。

为了更好地分析不同图谱变化模式之间是否存在联系,在图谱单元的基础上,利用变化比率和空间分离度两个指标,进一步反映土地利用的时空变化特征。

土地利用变化比率是指某种发生变化的图谱单元数量占有所有发生改变的图谱单元数量的百分比,变化比率的计算公式为:

$$C_{ij}=\frac{A_{ij}}{\sum_{i=1}^n\sum_{j=1}^nA_{ij}}\times100\% \quad (i\neq j)$$

(4)

式中: C_{ij} 为图谱单元的变化比率; i,j 分别为前期与后期的图谱单元类型; n 为土地利用类型的个数; A_{ij} 为前期第*i*种图谱单元类型转变为后期第*j*种图谱单元类型的图谱单元面积。

空间分离度是指图谱单元在空间分布上的分散

式中: A 为前一时期的土地利用类型编码值; B 为后一时期的土地利用类型编码值; C 为研究时段内土地利用变化的图谱编码,如编码 64 表示土地利用类型由未利用土地转向水域。

程度,其计算公式为:

$$F_{ij}=\frac{\frac{1}{2}\sqrt{N_{ij}/\sum_{i=1}^n\sum_{l=1}^nA_{il}}}{A_{ij}/\sum_{i=1}^nA_{ij}\sum_{j=1}^nA_{ij}}$$

(5)

式中: F_{ij} 为图谱单元的空间分离度,数值越大,图谱单元的离散程度越高; N_{ij} 为前期第*i*种图谱单元类型转变为后期第*j*种图谱单元类型的图谱单元数量。

3 结果与分析

3.1 植被覆盖度时空变化特征

3.1.1 植被覆盖度的年际变化特征 对比东营市 2000—2019 年 4—10 月平均 NDVI(图 1A)以及平均植被覆盖度(图 1B)发现,2000—2019 年东营市平均 NDVI 在 0.25~0.33 变化,整体呈现先增加后减少的趋势。而 2000—2019 年东营市平均植被覆盖度同样呈现先增加后减少的趋势。

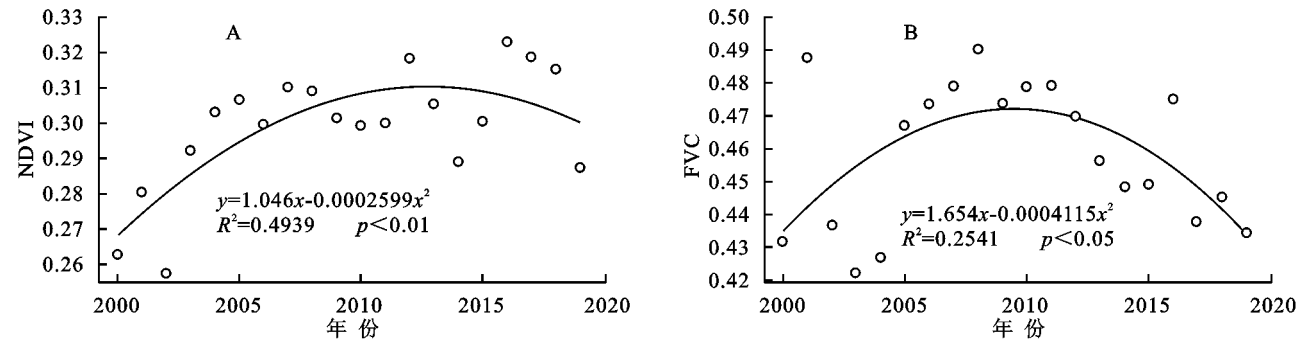


图 1 2000—2019 年东营市平均 NDVI、平均植被覆盖度变化趋势

Fig. 1 Trends in average NDVI and average vegetation cover in Dongying from 2000 to 2019

由图 2 所示,较其余 4 种等级的植被覆盖度而言,20 a 来低植被覆盖度的面积占比相对稳定,维持在 24%~29%;中低、中植被覆盖度的变化趋势较为一致,均为前期波动增长,中期缓慢下降,后期波动增长的状态;而中高植被覆盖度则呈现前期波动增长,后期波动

减少的变化趋势,2011 年占比最高(40.42%),2000 年占比最低(21.30%);高植被覆盖度的面积占比变化幅度较大,在 1%~16%波动较为剧烈,2001 年占比最高,2003 年占比最低,虽然中间年份高植被覆盖度占比波动较大,但 2019 年与 2000 年面积占比无太大变化。

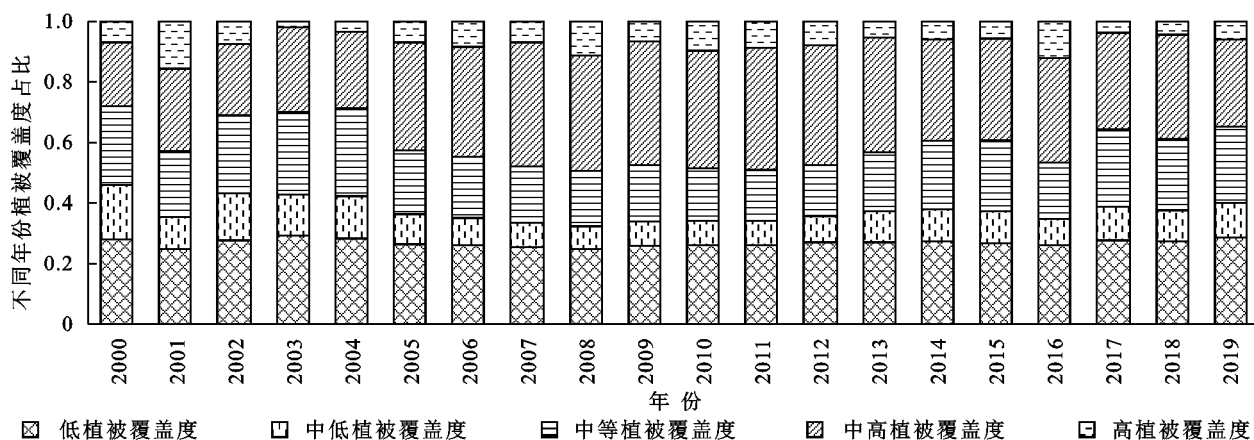
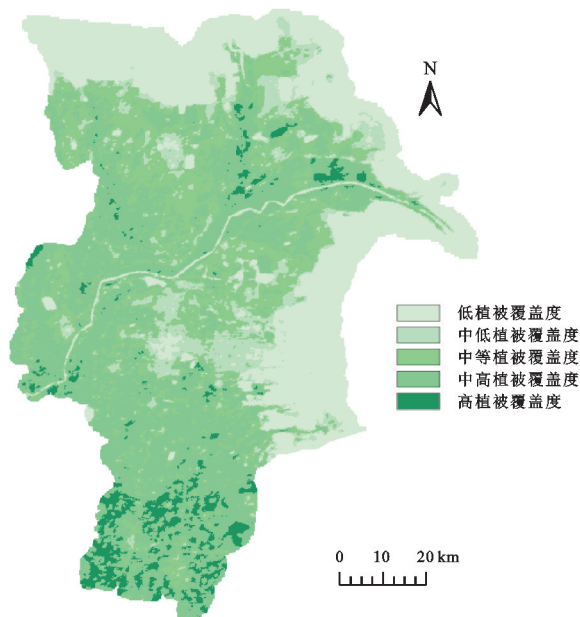


图2 2000—2019年不同类型植被覆盖度时间变化

Fig. 2 Temporal changes in FVC of different types from 2000 to 2019

3.1.2 植被覆盖度的空间变化特征 利用2000—2019年生长季(4—10月)MODIS NDVI的平均值计算东营市的植被覆盖度。由东营市20 a植被覆盖度不同等级分布图(图3)可以看出:东营市中高植被覆盖度的面积占比最高(34.88%),其次是低植被覆盖度(27.29%)和中植被覆盖度(23.49%),中低植被覆盖度(9.73%)和高植被覆盖度(4.61%)的面积占比最少。从空间分布来看,中低、中、中高、高植被覆盖度的区域广泛分布于东营内陆地区,离散程度较高。其中,高植被覆盖度主要分布于东营市南部地区以及黄河北部沿岸地区。相较而言,低植被覆盖度空间集聚性更为显著,集中分布于东营市东部和北部海岸带15 km以内的沿海地区,这与海岸带大面积滩涂有直接关系。



注:基于标准地图服务系统下载的审图号GS(2019)3266号的标准地图制作,底图未做修改,下同。

图3 东营市20 a平均植被覆盖度分布

Fig. 3 Distribution of 20-year average vegetation cover in Dongying
本文参考前人的分类方法^[21-22],将植被覆盖的变

化情况分为如下7种类别(表3),由不同植被覆盖变化趋势的空间分布图可以看出(图4),植被覆盖度明显退化区域主要分布在东营市北部、南部、东部沿海地区以及黄河沿岸地带,其中东营北部明显退化的面积占比最大,退化趋势最为显著。植被覆盖度改善区域范围较广,在东营中部地区有大面积分布,但明显改善区域没有明显的聚集性,零散分布于研究区域内;近20%的研究区域植被覆盖度没有明显的变化趋势。总体而言,植被覆盖度改善区域面积较多于退化区域面积,整体呈改善状态。

表3 不同变化趋势对应的变化程度及面积占比

Table 3 Degree of change and percentage of area corresponding to different change trends

序号	变化趋势斜率	变化程度	面积/km ²	比重/%
1	<-0.010	明显退化	132.59	8.34
2	$-0.010 \sim -0.005$	中度退化	168.01	10.57
3	$-0.005 \sim -0.001$	轻度退化	302.49	19.03
4	$-0.001 \sim 0.001$	基本不变	273.43	17.20
5	$0.001 \sim 0.005$	轻度改善	355.08	22.34
6	$0.005 \sim 0.010$	中度改善	247.52	15.57
7	>0.010	明显改善	110.64	6.96

3.2 土地利用图谱变化

3.2.1 土地利用时空变化特征 由图5可以看出,2000—2020年东营市土地利用的变化主要表现为:耕地、城乡、工矿、居民用地以及水域的面积呈现明显的增加趋势,而林地、草地、未利用土地面积则显著减少。在所有土地利用类型中,耕地面积比重最大,其次为水域,林地面积比重趋近于0。比较2000年与2020年不同土地利用类型的分布(图6),20 a间变化非常显著。2000年未利用土地集中分布在东营北部沿海地区,中部也有小范围集中分布;20 a后北部的未利用土地大部分转移为水域,海岸带5 km范围内转移为水域,而城市中部未利用土地基本全部转

移,被城镇用地和耕地所占据,呈现城市扩张的显著趋势。由图 6 可见,2000 年草地覆盖的区域在 20 a 后基本转移为城乡、工矿、居民用地和水域,因此该部分区域的植被覆盖发生显著退化。

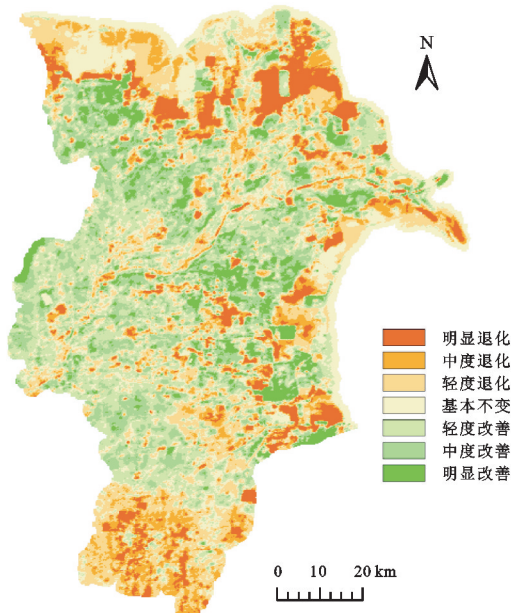


图 4 东营市 20 a 植被覆盖度变化趋势

Fig. 4 20-year trend of vegetation cover change in Dongying

从东营市 2000—2020 年各土地利用类型累计变化情况(表 4)来看,在所有土地利用类型中,草地的面积近 20 a 急剧减少,其被占用率(24.23%)与补充比率(2.79%)差值最大,相差 21.44%;未利用土地的比差率次之,为-19.17%,水域所占面积增加了 602.32 km²,增加趋势较为明显。此外,耕地、建设用地的补充面积也显著大于占用面积,变化比差率分别为 13.16%,

13.10%,呈现明显的扩张趋势。唯有林地整体变化趋势不显著,变化比差率仅为-0.33%。

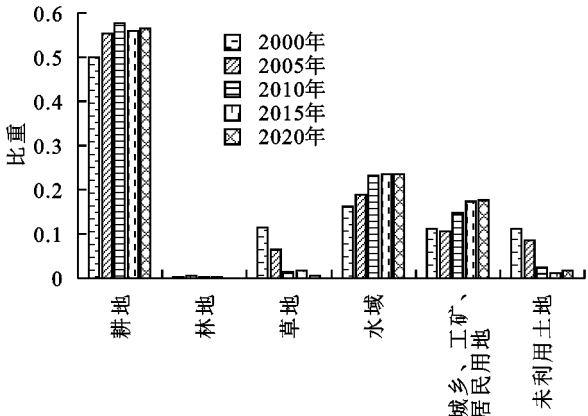


图 5 2000—2020 年东营市土地利用变化

Fig. 5 Land use changes in Dongying from 2000 to 2020

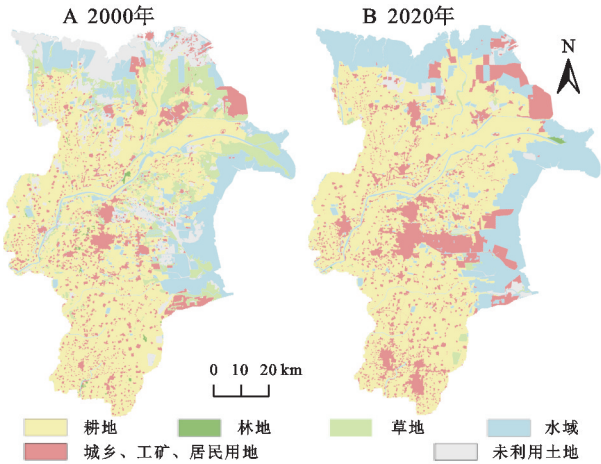


图 6 东营市 2000 年、2020 年不同土地利用类型分布

Fig. 6 Distribution of different land use types in Dongying in 2000 and 2020

表 4 2000—2020 年各土地利用类型累计变化情况

Table 4 Cumulative changes by land use type from 2000 to 2020

编码	土地利用类型	变化比率/%			面积/km ²		
		被占用	补充	比差率	被占用	补充	面积差
1	耕地	18.44	31.60	13.16	756.57	1296.46	539.89
2	林地	1.18	0.85	-0.33	48.39	34.69	-13.70
3	草地	24.23	2.79	-21.44	994.18	114.63	-879.55
4	水域	19.16	33.84	14.68	785.92	1388.24	602.32
5	城乡、工矿、居民用地	11.26	24.36	13.10	462.00	999.31	537.31
6	未利用土地	25.72	6.56	-19.17	1055.32	269.05	-786.27

3.2.2 图谱单元数量变化特征 由图 7 可以看出,2000—2020 年期间东营市共有 30 种土地利用图谱发生变化(总面积 4 102.38 km²)。东营市的土地利用变化主要源于未利用土地向水域和耕地的大量转出(编码 64,61),草地和水域向耕地的大量转入(编码 31,41)以及耕地和城乡、工矿、居民用地(编码 15,51)的相互转化。

图谱单元的空间分离度与变化比率呈反比例关系,变化比率越高,空间分离度越小。按照变化比率大小进行排序,土地利用变化最为显著的图谱单元类型为“未利用土地→水域”(编码 64;变化比率 14.9%),其空间分离度最低,即说明该类型在空间上分布较为集中;其次,“草地→耕地”(编码 31;变化比率 11.8%)和“耕地→城乡、工矿、居民用地”(编码

15;变化比率11.7%)也是分布相对集中的图谱单元。而变化比率最低的“城乡、工矿、居民用地→林地”(编

码52)和“林地→未利用土地”(编码26),这两种图谱单元在空间分布上的离散程度较高。

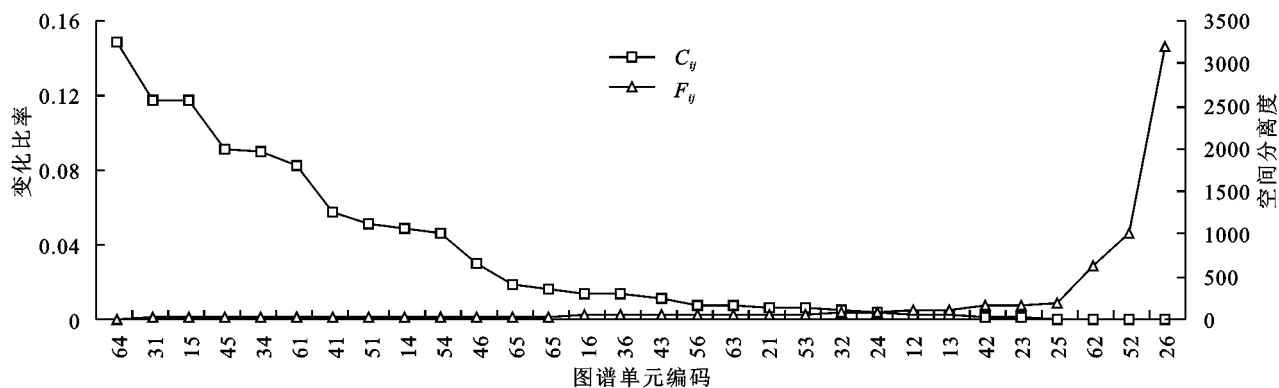


图7 东营市不同图谱单元的变化比率和空间分离度

Fig. 7 Ratio of change and spatial separation of different mapping units in Dongying

如图8所示,土地利用转移主要发生在2000—2005年、2005—2010年两个时间段,到后期土地利用类型基本保持不变。其中2000—2005年最主要土地转移类型为草地→耕地(编码31),未利用土地→耕地(编码61)和未利用土地→水域(编码64);2005—2010年最主要的土

地转移类型为未利用土地→水域(编码64)和耕地→城乡、工矿、居民用地(编码15);2010—2015年变化最为明显的图谱单元类型是水域→城乡、工矿、居民用地(编码45);2015—2020年最主要的土地转移类型为水域→城乡、工矿、居民用地(编码45)。

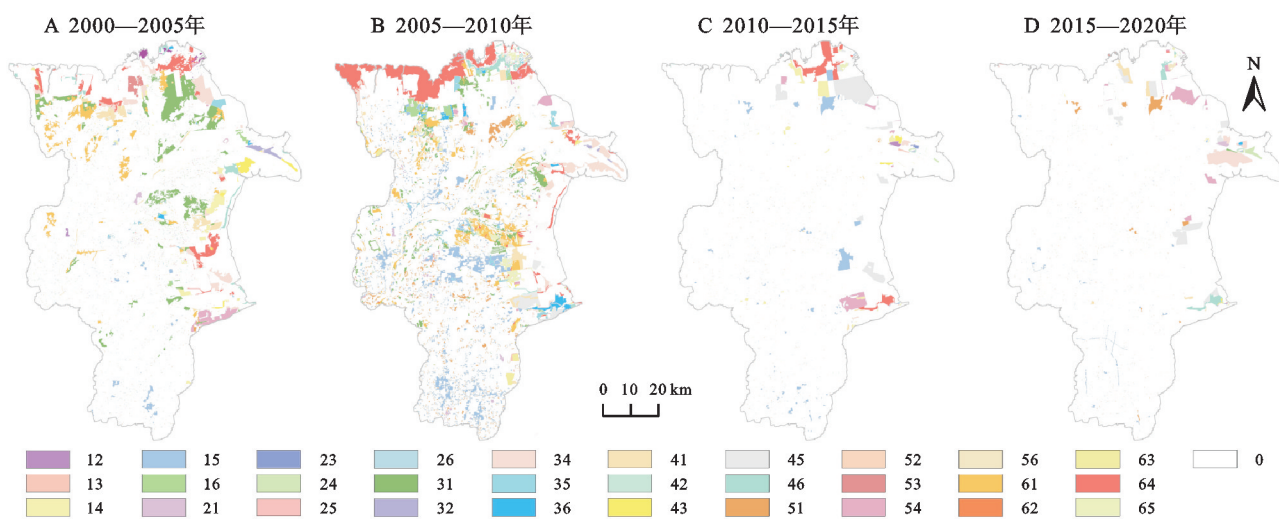


图8 2000—2020年4个阶段东营市土地利用变化图谱单元分布

Fig. 8 Distribution of land use change mapping units in Dongying in four stages from 2000 to 2020

3.3 植被覆盖度对土地利用的响应

为了更深入地探究植被覆盖变化与土地利用变化之间的联系,基于东营市2000—2019年生长期(4—10月)平均NDVI的变化趋势,分析7类变化趋势下的像元对应的前3种主要土地利用变化模式。由表3和表5可知,植被覆盖度改善的像元(轻度改善、中度改善、明显改善)面积为713.24 km²,其中轻度改善的区域面积最大(355.08 km²)。在植被变化趋势为改善的3类像元中,土地利用类型未发生变化的像元占比最高(轻度改善76.58%,中度改善63.66%,明显改善48.44%),且均为耕地,这表明植被变化趋势为改善的像元主要集中在土地利用类型稳定不变的区域。植被覆盖退化的像元(轻度

退化、中度退化、明显退化)面积为603.09 km²,其中轻度退化所占比重最高(19.03%)。除土地利用类型未发生变化的像元外,轻度退化和中度退化类型中,最主要的图谱单元类型是未利用土地→水域。而在明显退化的像元中,土地利用变化模式主要为草地→城乡、工矿、居民用地和耕地→城乡、工矿、居民用地,因此,城市建设用地扩张是植被退化的主要原因。

结合图3,图4和图6,植被覆盖度的明显退化区域分布在研究区南部和北部,而研究区南部的植被覆盖度等级主要为中高植被覆盖度,且土地利用类型主要由耕地转变为城乡、工矿、居民用地;东营市的北部和东部为低植被覆盖度区,对应的植被覆盖变化趋势

主要为退化,土地利用类型 2020 年大部分转变为水域。而植被覆盖度表现为改善趋势的区域,集中分布在东营中部,该部分主要为中、中高植被覆盖度,而对应的土地利用类型主要为耕地,未发生转变。

表 5 不同变化趋势的像元对应的前 3 种主要土地利用变化模式

Table 5 Top 3 major LUCC patterns corresponding to image elements with different change trends		
NDVI 变化程度	土地利用变化(2000—2020 年)	占该类像元比例/%
明显退化	耕地→耕地	15.65
	草地→城乡、工矿、居民用地	10.90
	耕地→城乡、工矿、居民用地	9.39
中度退化	耕地→耕地	38.07
	未利用土地→水域	13.73
	水域→水域	9.80
轻度退化	耕地→耕地	46.55
	水域→水域	12.18
	未利用土地→水域	11.98
基本不变	耕地→耕地	40.03
	水域→水域	28.14
	城乡、工矿、居民用地→城乡、工矿、居民用地	6.58
轻度改善	耕地→耕地	57.80
	城乡、工矿、居民用地→城乡、工矿、居民用地	12.25
	水域→水域	6.52
中度改善	耕地→耕地	51.31
	城乡、工矿、居民用地→城乡、工矿、居民用地	12.36
	未利用土地→耕地	6.95
明显改善	耕地→耕地	34.47
	水域→水域	13.97
	未利用土地→耕地	11.01

4 讨论与结论

4.1 讨论

4.1.1 植被覆盖度时间变化趋势 2000—2010 年东营市整体的植被覆盖度呈增加趋势,2010—2020 年植被覆盖呈下降趋势。人类活动造成的土地利用变化是植被覆盖度变化的重要影响因素。在 2000—2010 年,东营市植被覆盖度的增加与大量未利用土地(盐碱地等)转变为耕地有密切关系(图 8),这与前人研究结果一致,魏斌等^[23]对东营市植被覆盖度动态变化的研究结果同样表明 2000—2010 年东营市整体的植被覆盖度呈增加趋势,中高和高植被覆盖度所占比例显著增高。而 2010—2020 年植被覆盖呈下降趋势,主要原因可能有以下两点:(1) 人口数量的增加。2020 年东营市人口普查数量为 219.35 万人,较上一次 2010 年人口普查结果相比,人口总数增加了 15.8 万人,增长率为 7.77%,其中城镇人口增加 34.6 万人,增长率为 11.43%,因此 10 a 期间城镇人口的比重显著提高,这加大了对植被覆盖度的干扰。由此

表明,城市的快速扩张造成了城市人口与居民住房面积的增加,导致了东营市植被覆盖的退化。(2) 沿海工业和水产养殖业的发展。由图 4 可知,植被明显退化区域主要分布在研究区东部和北部沿海地区,该地区的土地覆盖类型主要为水库坑塘和湿地滩涂等水域(图 6B),而 2010 年之后,东营沿海地区的土地利用类型未发生显著变化。沿海主要的盐化工、水产养殖等行业的发展可能是东营沿海地区植被覆盖度减少的另一个重要驱动因素。

4.1.2 植被覆盖度空间变化趋势 2000—2019 年,东营市的植被覆盖改善区域面积大于退化区域,整体呈改善趋势。但由于研究范围定在整个东营市,除了海岸带范围内的自然植被外,还包括内陆大面积的人工植被(农作物、人工林等),而依据植被覆盖变化趋势图(图 4)可知,植被覆盖度改善区域基本分布在离海岸线 30 km 之外的内陆地区,而内陆地区在 2000—2020 年的土地利用类型变化,主要是由草地→耕地,草地→城乡、工矿、居民用地,并且原有耕地类型保持不变,这表明近年来东营的耕地面积不断增

加。同时,随着科学技术的发展,农作物种植、灌溉和管理水平的提高使得耕地作物质量、产量显著提高,耕地区域的植被覆盖度随之升高。此外,根据《中国气候变化蓝皮书(2021)》可知,近年来我国北方地区地表温度呈显著上升趋势,降水量也持续增加^[24],降水充足、雨热同期的气候特点更有利于东营市植被的生长。所以,耕地的主要植被覆盖类型(农作物,如小麦、棉花、玉米等)的覆盖度增加可能是东营中部地区植被覆盖度改善的另一重要原因。综上所述,耕地面积和农作物长势增加是东营整体植被覆盖度指数增高的主要原因,然而耕地面积的增加并不能说明东营市植被情况有所改善,仍需要进一步对植被进行修复及持续监测。

4.2 结论

(1) 在时间上,2000—2020年东营市NDVI和植被覆盖度均呈现先增加后减少的变化趋势,最大值出现在2010年。东营市的北部、东部沿海区域以及南部地区呈现出较明显的集中退化趋势,黄河沿岸及故道地区植被覆盖度也呈现较明显的植被退化现象;植被改善区域大面积分布于东营市的中部,其中明显改善区域的分布相对零散。总体上,东营市植被覆盖度呈改善趋势。

(2) 在空间上,2000—2020年东营市中高、中植被覆盖度区域面积最大,主要分布在东营中部地区和南部内陆地区,分布相对零散;低、中低植被覆盖度主要分布在北部沿海地区和东部沿海地区;高植被覆盖度主要分布在东营南部地区、黄河及其支流沿岸地区。整体而言,研究区植被覆盖度呈现由内陆向沿海递减的趋势。

(3) 在土地利用类型上,2000—2020年东营市土地利用类型分布格局及所占比重的变化显著,耕地、水域、城乡、工矿、居民用地面积显著增加,草地、未利用土地显著减少。植被退化区域主要分布在东营北部,南部以及东部沿海地区,其主要的土地利用转移类型为草地→城乡、工矿、居民用地,草地→耕地,未利用土地→水域以及未利用土地→城乡、工矿、居民用地;植被改善区域主要的土地利用转移类型为草地→耕地、未利用土地→耕地。此外,土地利用变化主要发生在2000—2010年、2010年后的土地利用类型相对稳定。

参考文献:

- [1] Ding Q L, Chen Y, Bu L, et al. Multi-Scenario analysis of habitat quality in the Yellow River delta by coupling FLUS with InVEST model[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18(5):2389.
- [2] Ottinger M, Kuenzer C, Liu G, et al. Monitoring land cover dynamics in the Yellow River Delta from 1995 to 2010 based on Landsat 5 TM[J]. *Applied Geography*, 2013, 44:53-68.
- [3] Wang M J, Qi S Z, Zhang X X. Wetland loss and degradation in the Yellow River Delta, Shandong Province of China[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2012, 67(1): 185-188.
- [4] 侯学会,李新华,徐洪彪,等.基于时序特征的黄河三角洲土地覆盖动态及驱动力分析[J].*水资源与水工程学报*, 2021, 32(1):233-240.
Hou X H, Li X H, Xu H B, et al. Dynamic changes of the wetland land use and land cover in the Yellow River Delta and the driving factors based on time-series satellite data[J]. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 2021, 32(1):233-240.
- [5] 张心茹,曹茜,季舒平,等.气候变化和人类活动对黄河三角洲植被动态变化的影响[J].*环境科学学报*, 2022, 42(1):56-69.
Zhang X R, Cao Q, Ji S P, et al. Quantifying the contributions of climate change and human activities to vegetation dynamic changes in the Yellow River Delta[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2022, 42(1):56-69.
- [6] 刘玉斌,王晓利,侯西勇,等.4个时期和模拟情景下2025年黄河三角洲的土地利用格局和生态系统服务价值评估[J].*湿地科学*, 2020, 18(4):424-436.
Liu Y B, Wang X L, Hou X Y, et al. Land use pattern and evaluation of ecosystem service values of Yellow River Delta for 4 periods and in 2025 under simulation scenarios[J]. *Wetland Science*, 2020, 18(4):424-436.
- [7] 刘培君,张琳,艾里西尔·库尔班,等.用TM数据估测光学植被盖度的方法[J].*遥感技术与应用*, 1995(4):9-14.
Liu P J, Zhang L, Alishir K, et al. An estimate method of optical vegetation coverage using TM data[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 1995(4):9-14.
- [8] Caparros-Santiago J A, Rodriguez-Galiano V, Dash J. Land surface phenology as indicator of global terrestrial ecosystem dynamics: A systematic review[J]. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2021, 171:330-347.
- [9] De Jong R, Verbesselt J, Zeileis A, et al. Shifts in global vegetation activity trends[J]. *Remote Sensing*, 2013, 5(3):1117-1133.

- [10] Kong D, Zhang Q, Singh V P, et al. Seasonal vegetation response to climate change in the Northern Hemisphere(1982—2013)[J]. *Global and Planetary Change*, 2017,148:1-8.
- [11] Jong R D, Bruin S D, Wit A D, et al. Analysis of monotonic greening and browning trends from global NDVI time-series[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2011,115(2):692-702.
- [12] Huete A, Didan K, Miura T, et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002,83(1/2):195-213.
- [13] Liu H, Zheng L, Yin S J. Multi-perspective analysis of vegetation cover changes and driving factors of long time series based on climate and terrain data in Hanjiang River Basin, China[J]. *Arabian Journal of Geosciences*, 2018,11(17):1-16.
- [14] Liu X F, Zhang J S, Zhu X F, et al. Spatiotemporal changes in vegetation coverage and its driving factors in the Three-River Headwaters Region during 2000—2011 [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2014,24:288-302.
- [15] 马晓妮,任宗萍,谢梦瑶,等.砒砂岩区植被覆盖度环境驱动因子量化分析:基于地理探测器[J].*生态学报*, 2022,42(8):3389-3399.
- Ma X N, Ren Z P, Xie M Y, et al. Quantitative analysis of enviromental driving factors of vegetation coverage in the Pisha sandstone area based on geodetector [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022,42(8):3389-3399.
- [16] Xie Y C, Sha Z Y, Yu M. Remote sensing imagery in vegetation mapping: A review [J]. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 1(1):9-23.
- [17] 王思,张路路,林伟彪,等.基于 MODIS-归一化植被指数的广东省植被覆盖与土地利用变化研究[J].*生态学报*, 2022,42(6):2149-2163.
- Wang S, Zhang L L, Lin W B, et al. Study on vegetation coverage and land-use change of Guangdong Province based on MODIS-NDVI [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022,42(6):2149-2163.
- [18] 王朋.基于 3S 技术的大渡河上游植被覆盖度时空变化研究[D].成都:四川农业大学,2012.
- Wang P. Study on Temporal and Spatial Variation of the Vegetation Coverage in the Upper Reaches of Dadu River'Based on 3S Technology[D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2012.
- [19] 马海超,刘吉平.吉林省西部土地利用格局变化图谱与驱动力分析[J].*水土保持研究*, 2015,22(2):193-199,346.
- Ma H C, Liu J P. Analysis on TUPU and driving force of land use pattern change in the Western Jilin Province [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2015,22(2):193-199,346.
- [20] 杨爱民,朱磊,陈署晃,等.1975—2015 年玛纳斯河流域土地利用变化的地学信息图谱分析[J].*应用生态学报*, 2019,30(11):3863-3874.
- Yang A M, Zhu L, Chen S H, et al. Geo-informatic spectrum analysis of land use change in the Manas River Basin, China during 1975—2015 [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019,30(11):3863-3874.
- [21] 李双双,延军平,万佳.近 10 年陕甘宁黄土高原区植被覆盖时空变化特征[J].*地理学报*, 2012,67(7):960-970.
- Li S S, Yan J P, Wan J. The spatial-temporal changes of vegetation restoration on Loess Plateau in Shaanxi-Gansu-Ningxia Region [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2012,67(7):960-970.
- [22] 黄栋,李鹏,董南.近 20 年环渤海地区 GS_NDVI 时空分异及其对气候变化和 LUCC 的响应[J].*生态环境学报*, 2021,30(12):2275-2284.
- Huang D, Li P, Dong N. Spatial-temporal differentiation of GS_NDVI in recent 20 years and its responses to climate change and LUCC in the Bohai Coastal Region [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2021,30(12):2275-2284.
- [23] 魏斌,张安定,崔青春,等.基于遥感的东营市植被覆盖动态变化研究[J].*鲁东大学学报:自然科学版*, 2014,30(1):69-72,97.
- Wei B, Zhang A D, Cui Q C, et al. Study on dynamic change of vegetation coverage in Dongying City based on RS [J]. *Ludong University Journal: Natural Science Edition*, 2014,30(1):69-72,97.
- [24] 冯刚.《中国气候变化蓝皮书(2021)》发布[J].*环境*, 2021(11):75-77.
- Feng G. Blue book on climate change in China 2021 [J]. *Environment*, 2021(11):75-77.