

内蒙古十大孔兑区土地利用类型变化与生态环境效应

曾令建^{1,2,3}, 杨振奇^{2,3}, 秦富仓¹, 郭建英^{2,3}

(1.内蒙古农业大学 沙漠治理学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 2.中国水利水电科学研究院 内蒙古阴山北麓荒漠草原生态水文野外科学观测研究站, 北京 000383; 3.水利部 牧区水利科学研究所, 内蒙古 呼和浩特 010020)

摘要: [目的] 研究十大孔兑区土地利用变化与生态过程之间的关系, 揭示人类活动和土地利用与生态环境效应, 为研究区土地利用结构优化和区域生态环境保护提供依据。[方法] 选取 2000, 2010, 2020 年 landsat 影像, 采用监督分类的方法结合地统计模块来获取不同时期土地利用数据和转移矩阵, 对土地利用动态度、土地利用程度综合指数进行分析, 在此基础上, 运用数理统计等方法, 选取 NDVI 值、生态环境质量指数等指标, 对十大孔兑区生态环境质量进行综合评价。[结果] ①研究期内, 林地和草地面积比例变化幅度最大, 水域面积比例最小, 各土地利用类型之间转换频繁, 林地“涨势”和草地、未利用地“落势”, 十分明显。②十大孔兑区 2000, 2010, 2020 年土地利用类型转化的生态环境质量指数分别为 0.526 1, 0.537 3, 0.543 3, 整体呈现上涨趋势; 在空间分布方面, 生态环境质量东高西低、南高北低。③年平均降水量、年平均风速会对生态环境质量产生显著的正向影响, 年平均气温会对生态环境质量产生显著的负向影响。[结论] 2000—2020 年, 城镇化快速发展的同时, 十大孔兑区生态环境质量也在向好发展, 研究区范围内生态环境质量呈现整体改善, 局部恶化的局面, 建设用地、林地、草地、未利用地之间的转化是主要原因, 退耕还林等环境保护政策使研究区环境质量不断上升。

关键词: 土地利用变化; 土地利用程度; 生态环境效应; 十大孔兑

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2023)01-0214-10

中图分类号: F301.24, X171.1

文献参数: 曾令建, 杨振奇, 秦富仓, 等. 内蒙古十大孔兑区土地利用类型变化与生态环境效应[J]. 水土保持通报, 2023, 43(1): 214-223. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2023.01.025; Zeng Lingjian, Yang Zhenqi, Qin Fucang, et al. Changes in land use type and ecological environment effect at ten tributaries in Inner Mongolia [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(1): 214-223.

Changes in Land Use Type and Ecological Environment Effect at Ten Tributaries in Inner Mongolia

Zeng Lingjian^{1,2,3}, Yang Zhenqi^{2,3}, Qin Fucang¹, Guo Jianying^{2,3}

(1. College of Desert Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China; 2. Field Scientific Observation and Research Station of Desert Grassland Ecology and Hydrology at the North Foot of Yinshan Mountain, Inner Mongolia, China Academy of Water Resources and Hydropower, Beijing 000383, China; 3. Institute of Water Resources for Pastoral Area, Ministry of Water Resources, Hohhot, Inner Mongolia 010200, China)

Abstract: [Objective] The relationship between land use change and ecological process in the ten tributaries area in Inner Mongolia was studied to reveal the relationship between human activities, land use, and ecological environment in order to provide a basis for the optimization of land use structure and regional ecological environment protection. [Methods] Landsat images from 2000 to 2020 were selected. Land use data and transfer matrices in different periods were obtained by using the method of supervised classification combined with a land statistical module. The dynamic change of land use and the comprehensive index of land use degree were analyzed. On this basis, the NDVI value, ecological environment quality index, and other indicators

收稿日期: 2022-04-25

修回日期: 2022-07-19

资助项目: 内蒙古自治区科技兴蒙行动重点专项“十大孔兑综合治理与水资源集约高效利用集成示范”(KJXM-EEDS-2020005); 内蒙古自治区科技计划项目(2021GG0052); 内蒙古自治区自然科学基金项目(2019MS03026)

第一作者: 曾令建(1995—), 男(汉族), 甘肃省民勤县人, 硕士研究生, 主要从事生态系统与服务功能方向的研究。Email: zenglj0210@163.com。

通信作者: 秦富仓(1966—), 男(汉族), 教授, 内蒙古自治区呼和浩特市人, 博士, 主要从事水土保持与荒漠化防治教学与研究。Email: 843296578@qq.com。

were selected by using mathematical statistics and other methods to comprehensively evaluate the ecological environment quality of the ten tributaries. [Results] ① During the 20 years of the study period, the proportion of forest land and grassland area changed the most, and the proportion of water area was the smallest, with frequent transitions between land use types, An obvious “upward trend” for forest land and an obvious “downward trend” for grassland and unused land were observed; ② The ecological environment quality indexes of the transformation of land use types in 2000, 2010, and 2020 in the ten tributaries were 0.526 1, 0.537 3 and 0.543 3, showing an overall upward trend. In terms of spatial distribution, the ecological environment quality was high in the east and low in the west, and high in the south and low in the north; ③ The annual average precipitation and annual average wind speed had significant positive impacts on the ecological environment quality. The annual average temperature had a significant negative impact on the ecological environment quality. [Conclusion] With the rapid development of urbanization occurring from 2000 to 2020, the ecological environment quality of the ten tributaries has also developed in a good direction. The ecological environment quality in the study area has improved overall and deteriorated locally. The transformation between construction land, forest land, grassland, and unused land is the main reason for changes in ecological environment quality. Environmental protection policies such as returning farmland to forest have continuously improved the environmental quality of the study area.

Keywords: land use change; land use degree; ecological environment effect; ten tributaries in Inner Mongolia

土地资源是人类生存和可持续发展的主要载体,对维持区域生态稳定起着十分重要的作用^[1],而土地利用变化则影响着区域乃至全球的生态系统过程,对生物多样性、水分循环、气候变化等都有着很大的影响。近年来,随着经济社会的快速发展,工业化水平的提高,致使土地资源的开发强度和利用方式发生了巨大的变化,使人地与自然之间的矛盾更加激烈,由此带来的生态环境问题也不断凸显出来^[2-3],包括水资源短缺、水土流失加剧、淡水资源污染等,特别是在干旱半干旱区生态环境问题尤为明显。

针对土地利用变化和生态环境效应的研究逐渐引起各国学者的普遍关注,并成为自然及社会科学共同关心而感兴趣的热点和核心内容之一^[4]。傅伯杰等^[5]、郭旭东等^[6]开展了黄土丘陵沟壑区等地生态环境效应演变过程及驱动机制的研究,大部分研究指出,土地利用、气候变化、土壤侵蚀等因素是导致区域生态环境效应演变的关键因素,也有部分学者认为,植被覆盖度、环境污染等也导致生态环境质量变化的主导因素^[7]。十大孔兑位于黄河内蒙古段,上游为丘陵沟壑区,地表支离破碎,植被稀疏,矿产资源开发频繁,水土流失严重,成为黄河的主要产沙区之一,中游为库布齐沙漠,风沙入黄问题严重,下游为冲积平原区,农业生产经营活动频繁。一系列生态环境问题不仅影响当地广大农民的生存环境和生活水平,而且制约着当地社会可持续发展,从而进一步对黄河流域中下游地区的发展带来一定的影响^[8],通过分析十大孔兑区土地利用变化与生态环境质量之间的关系及其影响因素对于区域发展有着重要意义。然而,在以往

的研究中,大多数国内外学者以行政区划为研究单位^[9-11],人为地分割了生态系统的整体性,也使得研究结果产生了一定的误差。

基于上述背景和科学问题,本文基于 GEE(Google Earth Engine)数据平台以及相应的处理技术,采用监督分类的方法,选取十大孔兑区 2000,2010,2020 年 3 a 的 Landsat 历史影像数据,进行土地利用变化分析,同时,基于遥感影像,运用生态环境质量指数,对 2000,2010,2020 年十大孔兑区土地利用变化多引起的生态环境效应展开研究,以期对十大孔兑区土地资源开发利用及区域生态环境保护提供依据。

1 研究区概况

十大孔兑发源于鄂尔多斯高原北缘,位于黄河内蒙古段右岸,横穿库布齐沙漠,经过下游冲洪积平原后汇入黄河的 10 条季节性河流,人们称之为“十大孔兑”。十大孔兑水流自南向北直接注入黄河—宁蒙段,是黄河内蒙古段的主要泥沙来源地,各流域主河道沿着南北走向大致平行排列,涉及鄂尔多斯市的达拉特旗(76.2%的流域面积位于达旗)、杭锦旗、东胜区、准格尔旗 4 个旗(区),10 条河流的流域面积变化于 213~1 261 km²,总面积达 10 767 km²^[12]。

研究区降水少,且时空分布不均,蒸发十分强烈约为降水量的 7 倍,气候干燥,多年平均降水量 242.1~292.3 mm,年均降水量 200~350 mm。降水年际变化大,7—9 月降水量占全年的 70%左右。由于降水量少,气候干旱,常有大风大沙天气出现,大风天气一般集中在 3—5 月,年平均大风日数为 24 d,风速达

17 m/s,最多可持续 3 d,瞬间最大风速可达 28 m/s,相当于 10 级大风。十大孔兑区土壤和植被类型分布特征具有极强的地带性,上游丘陵沟壑区以黄土、栗钙土为主,中游风沙区以流动、固定半固定风沙土为主,下游冲积平原区土壤以灌淤土、盐土、碱土、草甸土为主,植被类型从东南部的典型草原逐渐向西北部的荒漠草原、草原化荒漠过渡。区内植被以旱生与半旱生灌丛和草原植被为主。

2 研究方法

2.1 数据来源及处理

本文以十大孔兑区为研究区,选用 2000,2010,2020 年 Landsat 影像,基于 GEE 平台的 API 编程,筛选成像时间为 5—9 月,云量小于 3%,分辨率为 30 m,并进行遥感影像预处理。

本文 NDVI 数据来源于美国国家航天局 NASA 提供的 MOD13Q1 级产品 (<http://lpdaac.usgs.gov>),16 d 合成的归一化植被指数(NDVI),空间分辨率为 250 m,选取植被生长季(6—9 月)作为研究时段,数据通过 GEE 云平台变成完成下载(表 1)。

表 1 Landsat 系列卫星影像产品信息

Table 1 Landsat series satellite image product information

卫星传感器	影像获取时间	空间分辨率/m	行号	列号
Landsat-5 TM	2000824	30	127	32
Landsat-5 TM	2000831	30	128	32
Landsat-5 TM	2010905	30	127	32
Landsat-5 TM	2010827	30	128	32
Landsat-8 OLI	2020612	30	127	32
Landsat-8 OLI	2020705	30	128	32

2.2 土地利用分类方法

基于 GEE 平台运用随机森林分类方法,将研究区的土地利用类型按照《土地利用现状分类(GB/T21010-2017)》标准划分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地 6 类^[13],未利用地主要为沙地和盐碱地。本次试验数据为 2000,2010,2020 年。分别选取样本数为 632,662,640 个,其中 80%为训练样本,20%为测试样本(表 2)。

表 2 土地利用分类精度验证结果

Table 2 Results of land use classification accuracy verification

年份	kappa 系数	总体精度/%
2000	0.852	87.70
2010	0.863	88.74
2020	0.930	94.20
平均	0.882	90.21

在精度验证中,选取 kappa 系数、总体精度、用户精度和生产者精度 4 个指标进行验证,对土地分类数据结果进行验证,2000,2010,2020 年平均 kappa 系数为 0.882,2000,2010,2020 年平均总体精度为 90.21%,精度较高,满足研究需求^[14]。

2.3 指标计算

(1) 土地利用动态度^[15]。表达特定区域一定时间范围内某种土地利用类型变化情况。

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

式中: k 为某一土地利用类型动态度; U_a, U_b 分别为研究初期和研究末期某一土地利用类型的面积; T 为研究期时长。

(2) 土地利用程度综合指数^[16]。该指数反映人类对区域土地开发利用的程度,是衡量区域土地利用深度和广度的重要指标。

$$L = 100 \times \sum_{i=1}^n A_i \times C_i \quad (2)$$

式中: L 为土地利用程度综合指数; A_i 为第 i 级土地利用程度分级指数; C_i 为第 i 级土地利用程度面积所占比例。

(3) 生态环境质量指数。通过构建土地利用变化与生态环境质量之间的定量关系,来表征区域内生态环境质量的总体特征。

$$EV_i = \sum_{i=1}^n LU_i \cdot C_i / T_A \quad (3)$$

式中: EV_i 为 t 时期环境质量指数; LU_i 为 t 时期第 i 种土地利用类型面积; C_i 为第 i 种土地利用类型的生态质量指数; T_A 为研究区的总面积; i 为土地利用类型数。

(4) 土地利用类型转化的生态贡献率。该指标指某种土地利用变化类型所导致的区域生态质量的改变,可表征土地利用之间的相互转换对区域生态环境质量的影响(表 3)。

$$LEI = (LEI_{t+1} - LEI_t) \times LA / TA \quad (4)$$

式中: LEI_{t+1}, LEI_t 分别为研究末期和初期的土地利用类型生态环境指数; LA 为土地利用类型的转化面积; TA 为研究区总面积。

表 3 不同土地利用类型及其生态环境质量指数^[17]

Table 3 Different land use types and their eco-environmental quality index

土地利用类型	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
生态质量指数	0.25	0.75	0.45	0.6	0.2	0.01

2.4 生态环境效应

(1) NDVI 差值分析。通过差值分析的方法,可

以得到 2000,2010,2020 年 NDVI 的变化趋势,差异大于 0 意味着栅格的 NDVI 趋势在增加,相反则意味着 NDVI 趋势在减少,而差值等于 0 意味着栅格的 NDVI 值在没有变化^[18]。

(2) 生态环境质量指数时空分布。依据采样区尺度,研究区采用 2 000 m×2 000 m 的正方形网格,以相等的间隔取样,并在取样区的中心点赋予生态环境质量指数值,通过 Kriging 插值法得到整个研究区的生态质量空间分布。按照自然断面点法将生态质量分为 5 个等级:低质量区(≤0.40)、较低质量区(0.40~0.49)、中质量区(0.49~0.56)、较高质量区(0.56~0.62)和高质量区(>0.62)^[19]。

在生态环境质量指数分级的基础上,对各年的不同等级质量区的变化进行转移矩阵分析,进而得到十大孔兑区生态环境质量的动态变化,利用 ArcGIS 中的重分类工具,将 2000,2010,2020 年的生态环境质量指数变化划分为明显恶化、恶化、稳定、改善和明显改善 5 个等级。

2.5 逐步回归分析

生态环境质量改善与恶化与土地利用类型变化

有着密切的关系,而自然因素、社会经济因素又影响着土地利用的变化。因此本文按照逐步分析回归的思路和要求,以及十大孔兑区现有的资料情况,选取耕地面积、未利用地面积、林地面积、年平均降水量、年平均气温、年平均风速、人口密度、国内生产总值 GDP 等影响因素,运用 SPSS 26 软件回归分析功能,对土地利用与生态环境质量进行回归分析^[20]。

3 结果与分析

3.1 土地利用变化分析

3.1.1 土地利用空间分布特征 由图 1 可知,十大孔兑区的耕地主要分布在下游的冲积平原区,而上游的丘陵沟壑区和中游的风沙区主要分布在沿河地带,占研究区总面积的比重为 22.03%;林地主要集中在中游风沙区的东部和南北两侧;草地在丘陵沟壑区分布更为广泛,在下游冲积平原区也有小块的草地分布;水域面积主要是黄河,呈带状分布;建设用地集中于达拉特旗政府位置以及研究区上游丘陵沟壑区的矿区,其他区域呈现零星分布的特征;未利用地以中游风沙区为主,分布面积较为集中。

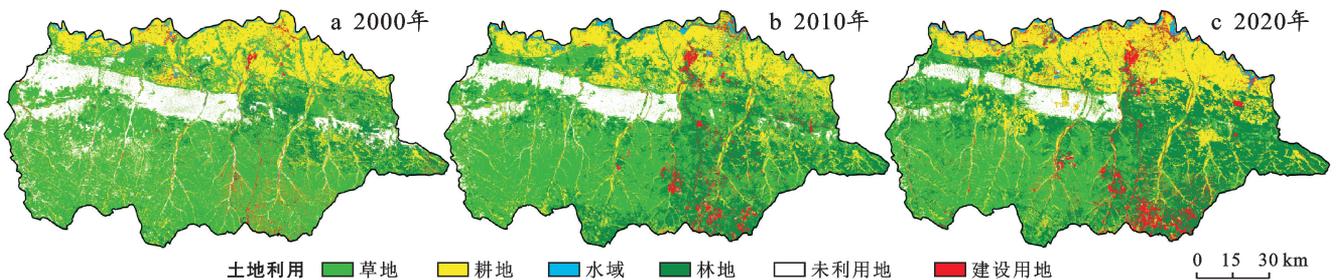


图 1 十大孔兑区 2000—2020 年土地利用变化特征

Fig.1 Change characteristics of land use data at ten tributaries from 2000 to 2020

3.1.2 土地利用时间分布特征 在 2000—2020 年期间,各地类都有或多或少的波动,在土地利用数量的变化方面,也有明显的上升和下降趋势。由图 2 可见,从 2000—2020 年,十大孔兑区不同类型的土地利用变化量显示,面积变化最大的土地利用类型是林地,增加了 2 269.18 km²,其次是草地,减少了 2 162.85 km²,耕地、水域和建设用地都有不同程度的增加,未利用土地减少了 1 021.88 km²。

从土地利用动态度来看,2000,2010,2020 年林地土地利用动态度最大,动态度为 13.03%,所占面积比 2000 年增加 2.30 倍;其次为建设用地,土地利用动态度为 9.74%,这一变化与城市的快速发展和矿产开采密切相关;耕地面积总体呈现增加的趋势,土地利用动态度为 3.81%,2000—2010 年耕地面积增加主要是由于人口增加而导致,在十大孔兑所在的达拉特旗

2000 年末总人口为 328 626 人,2010 年末总人口为 364 161 人,较 2000 年增长了 10.81%,是导致耕地面积增加的主要因素,2010—2020 年耕地面积增长速度较前 10 a 的增长速度明显减缓,这一变化与人口增加和经济发展以及退耕还林还草等政策实施相关,但由于近几年的退林还耕、退草还耕政策、保护耕地红线等措施致使耕地面积有小幅度增加;水域面积 2020 年相较于 2000 年面积增加了 27.49 km²,主要是水利工程、水库的修建以及黄河流域的治理措施致使水域面积有些许上升;未利用地面积在 2000 年面积较大,但此后面积逐年下降,到 2020 年面积仅为 693.02 km²;草地面积逐年下降,2000—2020 年,减少面积达 2 162.85 km²;总体来看,未利用地面积的不断减少,灌木林及林地面积的增加说明研究区各项治理措施起到了有效的作用,生态环境得到了极大地改善(表 4)。

表 4 十大孔兑区 2000—2020 年土地利用动态变化
Table 4 Changes in land use dynamics at ten tributaries from 2000 to 2020

年份	动态度/%					
	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
2000—2010	2.53	7.90	-2.59	-0.39	6.51	-3.86
2010—2020	1.02	2.86	-2.31	3.49	1.96	-3.42
2000—2020	3.81	13.03	-4.30	2.97	9.74	-5.96

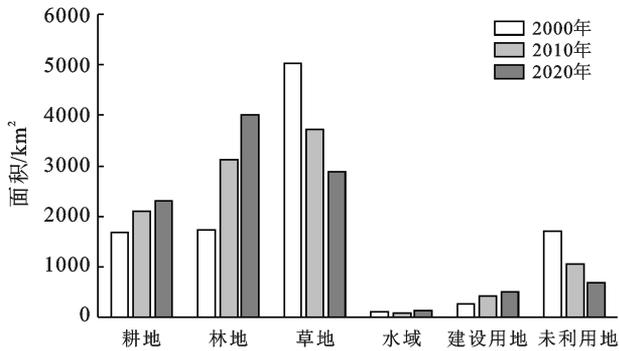


图 2 十大孔兑区 2000, 2010, 2020 年土地利用面积

Fig.2 Land use area at ten tributaries in 2000, 2010 and 2020

3.1.3 土地利用转移矩阵 根据十大孔兑区土地利用转移矩阵可知, 20 a 间, 十大孔兑区各类土地利用

类型相互之间转化较为频繁, 均有转入和转出。在 2000—2010 年, 草地转出面积最大, 分别有 443.67 km², 1 553.53 km² 转为耕地和林地, 其次是未利用地, 分别有 717.55 km², 81.95 km² 转为草原和林地。转入林地的面积最大, 转入 2 083.17 km², 主要来自草原和耕地; 其次是草地, 转入 1 301.60 km², 主要来自未利用地和林地(见图 3)。

2010—2020 年, 草地面积转出最多, 为 1 988.81 km², 同时有 790.59 km² 转为草地, 最终导致草地面积减少了 1 198.22 km², 转出草地的土地利用类型以林地为主, 转出面积 1 242.35 km², 占转出草原面积的 62.47%; 林地转出面积为 907.83 km², 转入面积为 1 702.42 km², 2010—2020 年林地面积净增加 794.58 km²。

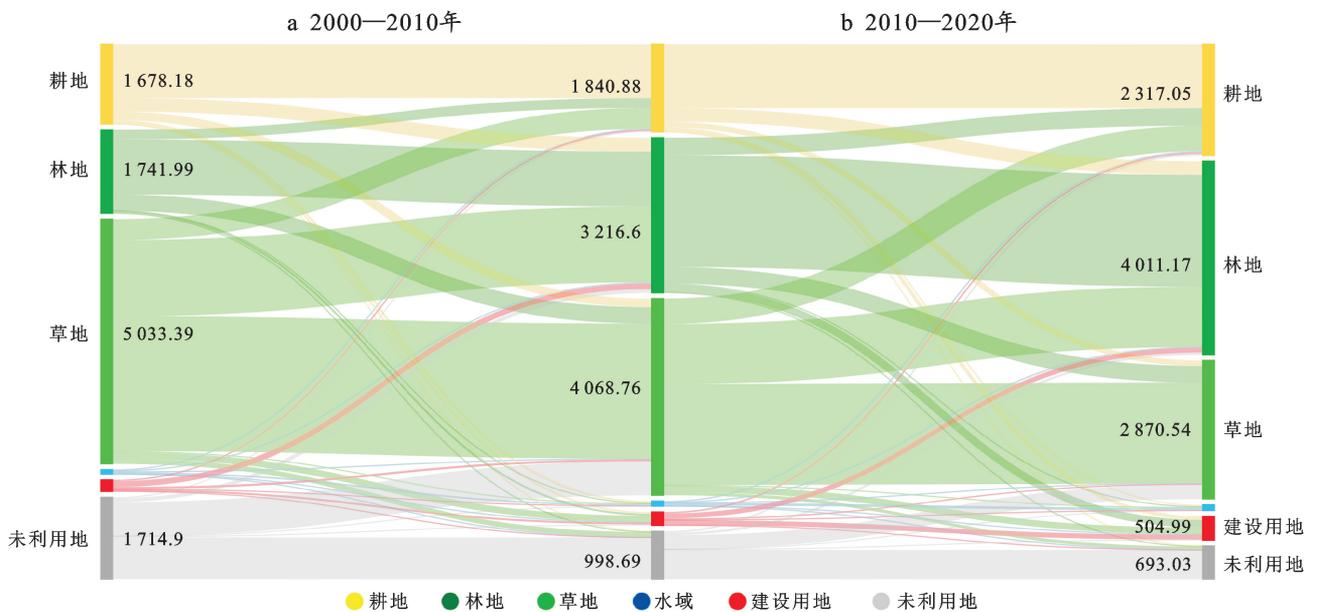


图 3 十大孔兑区 2000—2020 年土地利用转移矩阵图

Fig.3 Land use transfer matrix diagram at ten tributaries from 2000 to 2020

3.1.4 土地利用程度综合指数 2000, 2010, 2020 年的土地利用程度综合指数分别为 204.51, 218.04, 225.02, 土地利用程度综合指数整体呈上升趋势, 但速度有所减缓(表 5)。

本研究区土地利用程度综合指数为 200~230, 研究期内土地利用程度综合指数一直处于中低等水平, 这是由于研究区草地和未利用地面积占比较大, 认为利用程度较低。

表 5 十大孔兑区 2000—2020 年土地利用程度综合指数分析
 Table 5 Analysis on comprehensive index of land use degree at ten tributaries from 2000 to 2020

年份	2000	2010	2020
土地利用程度综合指数	204.51	218.04	225.02
年份	2000—2010	2010—2020	2000—2020
土地利用程度综合指数变化值	13.53	6.98	20.51
土地利用程度综合指数增速/%	6.62	3.02	10.03

3.2 生态环境效应评价

3.2.1 NDVI 年际变化 运用差值分析对研究区两个时间段的 NDVI 变化进行分析可知,2000—

2010 年差值的最大值为 0.690 5,最小值为-0.707 8,平均值为 0.057,差值大于 0 的区域面积所比例为 85.56%;2010—2020 年差值的最大值为 0.820 9,平均值为 0.133 6,差值大于 0 的区域面积所比例高达 96.29%。此外,通过对十大孔兑区 2000—2020 年研究区内每年 NDVI 求平均值,得到研究区 20 a 间 NDVI 变化趋势。由图 4,图 5 可知,2000—2020 年,NDVI 在个别年份出现下降情况,但整体呈上升趋势,总体来说,十大孔兑区植被覆盖度在研究区内整体呈上升趋势,生态环境也在向好的方向发展。

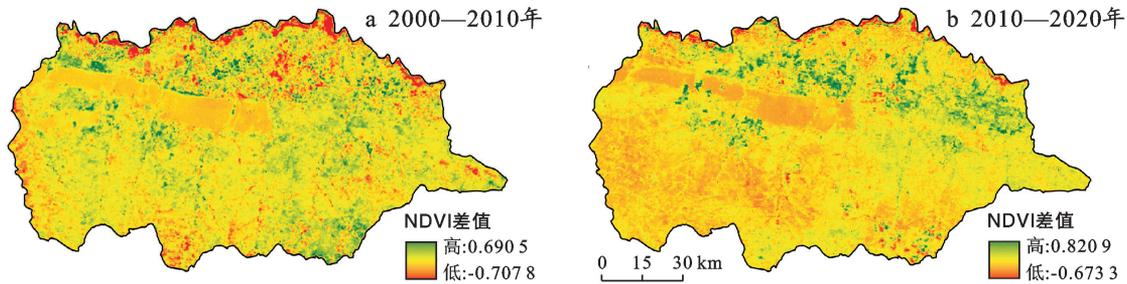


图 4 十大孔兑区 2000—2020 年 NDVI 差值分析
 Fig.4 NDVI difference analysis chart at ten tributaries from 2000 to 2020

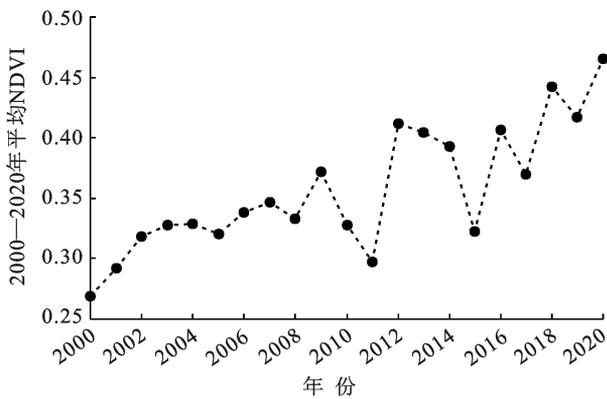


图 5 十大孔兑区 2000—2020 年 NDVI 值变化趋势
 Fig.5 Variation Trend of NDVI at ten tributaries from 2000 to 2020

3.2.2 生态环境质量等级时间变化特征 十大孔兑区 200,2010,2020 年土地利用类型转化的生态环境质量指数分别为 0.526 1,0.537 3,0.543 3(见表 6),20 a 间生态环境质量指数呈上升趋势,研究期前 10 a 上升 0.011 2,后 10 a 上升 0.006,前后 10 a 增速分别为 2.13%,1.12%。

根据生态环境质量分区空间分布情况,统计可得十大孔兑区生态环境质量等级面积及比例(见表 7)。从时间上来看,2000—2020 年高质量区面积增长最多,面积占比增长 13.39%,较高质量区面积比例从 2000 年的 4.91% 上升到 2020 年的 14.33%,一般质

量区面积从 2000 年的 908.85 km² 增长到 2020 年 2 011.26 km²,低质量区面积占比从 2000 年的 49.05% 减少到 2020 年的 28.05%,较低质量区面积减少 1 293.94 km²,面积占比减少 12.30%。总体来说,十大孔兑区的生态环境质量等级分区时间变化表现为低质量区和较低质量区面积大幅度向一般质量区、较高质量区和高质量区转移,整体生态环境质量呈现改善趋势(图 6)。

表 6 十大孔兑区 2000—2020 年生态环境质量指数
 Table 6 Ecological environment quality index at ten tributaries from 2000 to 2020

年份	2000 年	2010 年	2020 年
生态环境质量指数	0.526 1	0.537 3	0.543 3
年份	2000—2010	2010—2020	2000—2020
生态环境质量指数变化值	0.011 2	0.006	0.017 2
生态环境质量指数增速/%	2.13	1.12	3.27

3.2.3 生态环境质量等级空间变化特征 十大孔兑区的生态环境质量指数空间分布情况见图 7。从空间变化上来看,2000—2010 年,低质量区主要分布在下游冲积平原区和中游库布齐风沙区,总体呈现缩减趋势,主要是库布齐风沙区的治理,致使生态环境改善;较低质量区主要分布在上游丘陵沟壑区,面积有所减少,减少面积主要转化为中质量区和较高质量区,是草地逐渐更新为林地所导致;中质量区面积占

比较少,但面积有所增加;较高质量区和高质量区向丘陵沟壑区明显扩张,主要的转入类型是较低质量区,主要因林地面积的增加。2010—2020年,低质量区和较低质量区面积持续减少,但是丘陵沟壑区东部有较低质量区的增加,主要是因为矿区开采造成了生态环境质量的下降;中质量区面积有所增加,但一直

保持相对稳定的状态;较高质量区和高质量区逐步向丘陵沟壑区扩张,面积不断增加,主要是草地和林地之间转化所导致的。

整体来看,十大孔兑区 2000—2020 年生态环境质量空间变化表现为从西北到东南生态环境质量不断改善的趋势。

表 7 十大孔兑区 2000—2020 年生态环境质量面积及比例变化

Table 7 Changes of area and proportion of ecological environment quality at ten tributaries from 2000 to 2020

类型区	2000 年		2010 年		2020 年	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
低质量区	5 158.14	49.05	3 204.27	30.47	2 950.12	28.05
较低质量区	3 742.08	35.58	3 079.79	29.29	2 448.14	23.28
一般质量区	908.85	8.64	1 841.60	17.51	2 011.26	19.12
较高质量区	516.26	4.91	1 399.84	13.31	1 507.54	14.33
高质量区	191.22	1.82	991.27	9.43	1 599.48	15.21

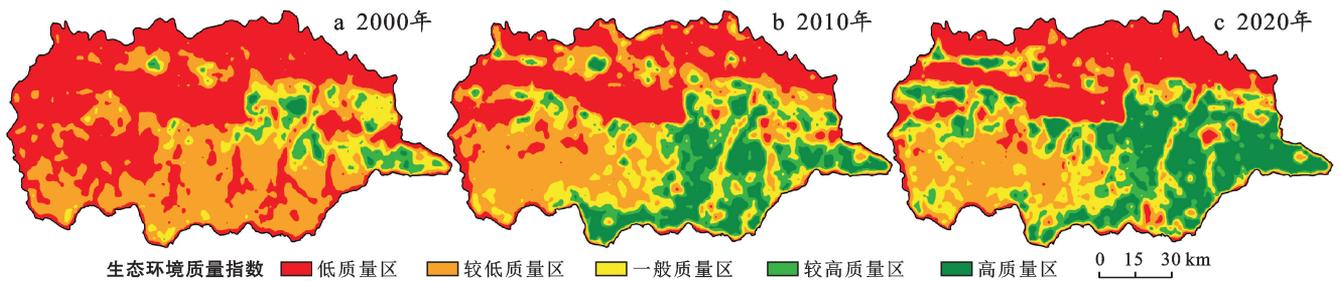


图 6 十大孔兑区 2000—2020 年生态环境质量空间分布

Fig.6 Spatial distribution of ecological environment quality at ten tributaries from 2000 to 2020

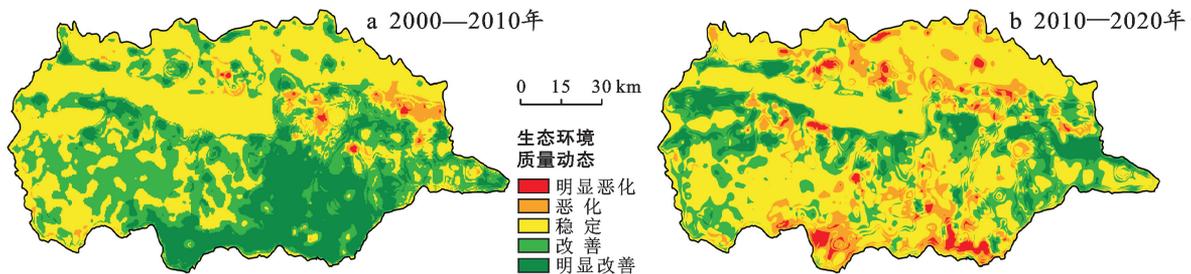


图 7 十大孔兑区 2000—2020 年生态环境质量指数动态变化

Fig.7 The dynamic change of ecological environment quality index at ten tributaries from 2000 to 2020

3.2.4 生态环境质量动态监测 通过对 2000 年、2010 年、2020 年生态环境质量动态变化进行,由图 7 可知,十大孔兑区在 2000—2020 年主要以稳定和改善为主,2000—2010 年的改善和明显改善面积为 5 026.30 km²,2010—2020 年改善和明显改善区域面积为 3 236.57 km²,研究期前 10 a 的环境质量改善程度要大于后 10 a。

2000—2010 年上游冲积平原区生态环境质量以稳定为主,面积比例 48.03%;向改善和明显改善趋势发展的面积分别为 3 123.87,1 902.43 km²,主要是由于草地转为林地,从而生态环境质量上升;部分地区表

现为生态环境质量的恶化和明显恶化,主要分布在下游冲击平原区的东部,造成生态环境质量恶化的主要原因是林地和草地的退化以及耕地面积的增加。

2010—2020 年生态环境质量改善区域主要分布在中游风沙区,零星分布恶化和明显恶化区域。研究区生态环境质量变化依旧以稳定为主,其中生态环境质量变化较大的是改善和明显改善的面积,主要分布在中游风沙区,是库布齐风沙区治理带来的效益,致使生态环境质量逐渐向好;部分地区出现恶化和明显恶化的现象,主要分布在上游丘陵沟壑区和下游冲击平原区,上游生态环境恶化是由于城市的快速发展以

及矿区开采所导致,下游生态环境的恶化是由于耕地面积的增加而导致。

3.2.5 土地利用类型的生态贡献率分析 一个区域生态环境质量的变化一般会有改善和恶化的两种完全相反的现象,这两种现象在一定区域的指数计算统计过程中会相互抵消,从而使得生态环境质量指数总体上维持相对稳定。因此,研究区生态环境质量指数的下降或上升,并不能完全判断生态环境的恶化或改善,通过计算生态贡献率来进一步分析。由表 8 可知,2000—2010 年林地转为草地、草地转为耕地是导

致十大孔兑区生态环境质量恶化的主要原因,占累计生态贡献率的 55.81%。另外,林地转为耕地在导致生态环境恶化的过程中也起到一定作用;促使生态环境质量改善的土地利用类型较为多样,主要是草地转为林地、未利用地转为草地和耕地转为林地,分别为 0.006 485,0.003 746,0.001 546,占累计生态贡献率的 81.40%。这一研究期,促进十大孔兑区生态环境质量改善的土地利用转换的累计贡献值大于导致十大孔兑区生态环境质量恶化的土地利用转换的累计贡献值,所以在这一阶段,生态环境质量呈现改善的趋势。

表 8 十大孔兑区 2000—2010 年生态环境改善和恶化的主要土地利用类型及贡献率

Table 8 Main land use types and contribution rate of ecological environment improvement and deterioration at ten tributaries from 2000 to 2010

导致生态环境恶化的主要土地利用类型及贡献率				促使生态环境改善的主要土地利用类型及贡献率			
土地利用变化类型	面积/km ²	贡献率	比例/%	土地利用变化类型	面积/km ²	贡献率	比例/%
林地—草地	344.56	1.80×10 ⁻³	24.40	草地—林地	1 242.35	6.49×10 ⁻³	44.82
林地—耕地	209.25	1.09×10 ⁻³	14.82	耕地—林地	296.25	1.55×10 ⁻³	10.69
林地—建设用地	41.47	0.22×10 ⁻³	2.94	建设用地—林地	105.60	0.55×10 ⁻³	3.81
水域—耕地	17.22	0.09×10 ⁻³	1.22	未利用地—林地	47.52	0.25×10 ⁻³	1.71
草地—耕地	443.67	2.32×10 ⁻³	31.41	耕地—草地	181.17	0.95×10 ⁻³	6.54
草地—建设用地	137.11	0.72×10 ⁻³	9.71	建设用地—草地	45.99	0.24×10 ⁻³	1.66
耕地—建设用地	35.88	0.19×10 ⁻³	2.54	未利用地—草地	717.55	3.75×10 ⁻³	25.89
草地—未利用地	111.88	0.58×10 ⁻³	7.92	建设用地—耕地	28.17	0.15×10 ⁻³	1.02
建设用地—未利用地	35.88	0.19×10 ⁻³	2.54	未利用地—耕地	36.18	0.19×10 ⁻³	1.31
总计	1 418.89	7.39×10 ⁻³	97.49	总计	2 771.70	14.47×10 ⁻³	97.44

注:表中只陈列了对生态环境质量变化有主要作用的土地利用转移类型,剔除贡献比重低于 1.0%的土地利用转型方式。

2010—2020 年,导致生态环境质量恶化的主要原因是耕地面积的增加,主要由草地和林地转入,两者生态贡献率分别占累计生态贡献率的 29.94%和 20.70%,此外,林地转为草地的贡献率为 0.001 152,也是导致

生态环境质量恶化的原因之一;林地面积的增加是促使生态环境质量指数上升的主导因素,主要是由草地和未利用地转换,生态贡献率分别是 0.004 123,0.000 983,占累计生态贡献率的 67.77%(表 9)。

表 9 十大孔兑区 2010—2020 年生态环境改善和恶化的主要土地利用类型及贡献率

Table 9 Main land use types and contribution rate of ecological environment improvement and deterioration at ten tributaries from 2010 to 2020

导致生态环境恶化的主要土地利用类型及贡献率				促使生态环境改善的主要土地利用类型及贡献率			
土地利用变化类型	面积/km ²	贡献率	比例/%	土地利用变化类型	面积/km ²	贡献率	比例/%
林地—草地	347.04	1.55×10 ⁻³	19.60	草地—林地	1 242.35	4.12×10 ⁻³	54.72
林地—耕地	366.45	1.22×10 ⁻³	20.70	耕地—林地	296.25	0.98×10 ⁻³	13.05
林地—建设用地	161.74	0.54×10 ⁻³	9.13	建设用地—林地	105.60	0.35×10 ⁻³	4.65
水域—耕地	26.91	0.09×10 ⁻³	1.52	未利用地—林地	47.52	0.16×10 ⁻³	2.09
草地—耕地	530.14	1.76×10 ⁻³	29.94	耕地—水域	25.80	0.09×10 ⁻³	1.14
草地—建设用地	139.04	0.46×10 ⁻³	7.85	耕地—草地	116.82	0.39×10 ⁻³	5.14
耕地—建设用地	72.25	0.24×10 ⁻³	4.08	建设用地—草地	28.17	0.09×10 ⁻³	1.14
草地—未利用地	66.62	0.22×10 ⁻³	3.76	未利用地—草地	294.37	0.98×10 ⁻³	12.96
				建设用地—耕地	32.46	0.11×10 ⁻³	1.43
				未利用地—耕地	36.18	0.12×10 ⁻³	1.59
总计	1 770.64	5.68×10 ⁻³	96.58	总计	37.18	7.54×10 ⁻³	98.01

注:表中只陈列了对生态环境质量变化有主要作用的土地利用转移类型,剔除贡献比重低于 1.0%的土地利用转型方式。

2000—2020年,草原转为林地和未利用地转为草地,对改善生态质量的贡献最大,占累计生态贡献率的72.05%,而未利用地转为林地和耕地转为森林分别占累计生态贡献率的8.73%和6.84%。生态质量恶

化的主要原因是耕地和建设用地的增加,耕地主要由林地和草地转化而来,建设用地主要由草地和耕地转化而来,占累计生态环境贡献率的60.07%和24.54%(表10)。

表 10 十大孔兑区 2000—2020 年生态环境改善和恶化的主要土地利用类型及贡献率

Table 10 Main land use types and contribution rate of ecological environment improvement and deterioration at ten tributaries from 2000 to 2020

导致生态环境恶化的主要土地利用类型及贡献率				促使生态环境改善的主要土地利用类型及贡献率			
土地利用变化类型	面积/km ²	贡献率	比重/%	土地利用变化类型	面积/km ²	贡献率	比重/%
林地—草地	145.88	1.25×10^{-3}	8.77	草地—林地	2 029.30	17.33×10^{-3}	54.16
林地—耕地	271.44	2.32×10^{-3}	16.33	耕地—林地	256.26	2.19×10^{-3}	6.84
林地—建设用地	53.42	0.46×10^{-3}	3.21	建设用地—林地	124.95	1.07×10^{-3}	3.33
水域—耕地	20.62	0.18×10^{-3}	1.24	未利用地—林地	326.93	2.79×10^{-3}	8.73
草地—耕地	706.66	6.03×10^{-3}	42.51	耕地—水域	50.14	0.43×10^{-3}	1.34
草地—建设用地	258.41	2.21×10^{-3}	15.54	耕地—草地	73.28	0.63×10^{-3}	1.96
耕地—建设用地	82.19	0.70×10^{-3}	4.94	未利用地—草地	670.30	5.72×10^{-3}	17.89
草地—未利用地	66.74	0.57×10^{-3}	4.01	未利用地—耕地	72.80	0.62×10^{-3}	1.94
总计	1 662.55	14.20×10^{-3}	96.56	总计	3 746.75	31.99×10^{-3}	96.19

注:表中只陈列了对生态环境质量变化有主要作用的土地利用转移类型,剔除贡献比重低于1.0%的土地利用转型方式。

综上所述,2000—2010,2010—2020,2000—2020年促进十大孔兑区生态环境质量改善的土地利用转换的累计生态贡献率均大于导致十大孔兑区生态环境质量恶化的土地利用转换的累计生态贡献率,所以在这一阶段,生态环境质量呈现改善的趋势。

3.3 土地利用变化与生态环境效应的回归分析

土地利用变化与自然因素、社会因素、人为因素等密不可分。本文将研究区2000,2010,2020年年平均降水量、年平均气温、年平均风速、日照时数、人口密度、GDP作为自变量,而将生态环境质量作为因变量进行逐步回归分析,经过模型自动识别,最终余下年平均降水量、年平均气温、年平均风速一共3项在模型中, R^2 值为0.634,调整后 R^2 为0.605,意味着年平均降水量、年平均气温、年平均风速可以解释生态环境质量60.5%变化原因。而且模型通过F检验($F=21.955, p=0.000 < 0.05$),说明模型有效(表11)。

表 11 逐步回归模型估算结果

Table 11 Stepwise regression model estimation results

变量	非标准化系数		标准系数	<i>t</i>	sig.
	<i>B</i>	标准错误	β		
常量	0.528	0.205	—	2.581	0.014
年平均降水量	0.001	0.000	0.668	5.087	0.000
年平均气温	-0.076	0.025	-0.387	-3.097	0.004
年平均风速	0.105	0.047	0.271	2.244	0.031
R^2	0.634				
调整后 R^2	0.605				
<i>F</i>	21.955				
sig.	0.000				

通过对各自变量系数总结分析可知:年平均降水量、年平均风速会对生态环境质量产生显著的正向影响关系。另外,年平均气温会对生态环境质量产生显著的负向影响关系。

4 讨论与结论

4.1 讨论

土地利用变化包含了大量的人类活动信息,土地利用结构的变化将直接影响生态环境质量,成为生态环境变化的重要驱动因素^[21],对生态环境质量和空间转换进行定量分析具有重要意义。本文从土地利用的角度,研究了十大孔兑土地利用和生态环境质量指数的时空变化,以及土地利用变化对生态环境质量的影响。研究表明,近20a来,十大孔兑区的生态环境质量指数总体呈上升趋势,其空间分布格局的特点是研究区东部的丘陵沟壑区和中游风沙区东部的生态环境质量水平较高,冲积平原区和风沙区西部的生态环境质量水平较低。研究区生态环境质量的改善主要是由于森林面积的增加,这与退耕还林还草、库布其风沙区以及丘陵沟壑区的水土流失治理措施密切相关;而研究区生态环境质量的恶化主要是由于城市化进程的加快,工矿活动和植被的退化。这表明,土地利用转换与生态环境质量指数密切相关,这与畅田颖等人对黄河流域“三生”地区土地利用转换及其生态环境影响的研究结果一致^[19]。在未来的土地利用规划中,应更多地关注土地利用变化对十大孔兑生态环境质量的影响,明确生态红线的范围,并建立相应

的保护机制。此外,林地和草地对生态环境质量有积极影响,而耕地则有消极影响,因此因地制宜地实施退耕还林还草、植树造林等生态修复措施,以改善生态环境质量。城市化会带来经济和社会的发展,也会对生态环境产生不利影响,所以要合理限制土地的开发,避免土地过度开发影响生态环境。

4.2 结论

本文通过 GEE 平台,运用监督分类的方法对十大孔兑区的土地利用进行分析,采用土地利用动态度、土地利用程度综合指数、土地利用转移矩阵、NDVI 差值分析、生态环境质量指数、生态价值指数和数理统计等方法研究了 2000,2010,2020 年十大孔兑区土地利用变化和生态环境效应之间的变化特征。

(1) 2000—2020 年,土地利用变化方面,十大孔兑区土地利用转移的总体特征为耕地、林地、水域、建设用地面积增加,草地主要转为林地,未利用地主要转为草地和林地。

(2) 通过对 2000,2010,2020 年的生态环境进行研究发现,十大孔兑区植被覆盖度在研究期内整体呈上升趋势;生态环境质量指数在空间分布总体呈现东高西低、南高北低的分布特征,呈现整体向好,局部恶化的趋势。

(3) 2000—2020 年,土地利用类型的生态贡献率进行分析可知,导致生态环境恶化的主要是由于林地—草地、草地—耕地转化的贡献,促使生态环境改善的主要是由于草地—林地、未利用地—草地转化的贡献。

(4) 通过逐步回归分析可知年平均降水量、年平均风速会对生态环境质量产生显著的正向影响关系,而年平均气温会对生态环境质量产生显著的负向影响关系。

[参 考 文 献]

- [1] Tolessa T, Senbeta F, Kidane M. The impact of land use/land cover change on ecosystem services in the Central Highlands of Ethiopia [J]. *Ecosystem Services*, 2017, 23: 47-54.
- [2] Mooney H A, Duraiappah A, Larigauderie A. Evolution of natural and social science interactions in global change research programs [J]. *PNAS*, 2013, 110 (S1): 3665-3672.
- [3] Du Xuejun, Huang Zhonghua. Ecological and environmental effects of land use change in rapid urbanization: The case of Hangzhou, China [J]. *Ecological Indicators*, 2017, 81: 43-251.
- [4] 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(6):553-558.
- [5] 傅伯杰,陈利顶,马克明.黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响:以延安市羊圈沟流域为例[J].*地理学报*,1999,54(3):241-246.
- [6] 郭旭东,陈利顶,傅伯杰.土地利用/土地覆被变化对区域生态环境的影响[J].*环境科学进展*,1999(6):66-75.
- [7] 苏迎庆,张恩月,刘源,等.汾河流域土地利用变化及生态环境效应[J].*干旱区研究*,2022,39(3):968-977.
- [8] 张翔.黄河上游十大孔兑地区风水复合侵蚀产沙过程研究[D].陕西 西安:西安理工大学,2016.
- [9] 吕立刚,周生路,周兵兵,等.区域发展过程中土地利用转型及其生态环境响应研究:以江苏省为例[J].*地理科学*,2013,33(12):1442-1449.
- [10] 张杨,刘艳芳,顾渐萍,等.武汉市土地利用覆被变化与生态环境效应研究[J].*地理科学*,2011,31(10):1280-1285.
- [11] 秦丽杰,张郁,许红梅,等.土地利用变化的生态环境效应研究:以前郭县为例[J].*地理科学*,2002,22(4):508-512.
- [12] 王慧.黄河内蒙古段十大孔兑生态脆弱性演变及驱动力分析[D].内蒙古 呼和浩特:内蒙古农业大学,2020.
- [13] 胡云锋,商令杰,张千力,等.基于 GEE 平台的 1990 年以来北京市土地变化格局及驱动机制分析[J].*遥感技术与应用*,2018,33(4):573-583.
- [14] 肖文娟.基于 GEE 的近 10 年来云南省耕地变化遥感监测研究[D].云南 昆明:云南师范大学,2020.
- [15] 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.
- [16] 庄大方,刘纪远.中国土地利用程度的区域分异模型研究[J].*自然资源学报*,1997,12(2):105-111.
- [17] 李晓文,方创琳,黄金川,等.西北干旱区城市土地利用变化及其区域生态环境效应:以甘肃河西地区为例[J].*第四纪研究*,2003,23(3):280-290.
- [18] 陈学兄,张小军,陈永贵,等.陕西省 1998—2008 年植被覆盖度的时空变化研究[J].*武汉大学学报(信息科学版)*,2013,38(6):674-678.
- [19] 畅田颖,张仲伍,乔旭宁,等.黄河流域 2000—2020 年“三生”空间土地利用转型及其生态环境效应[J].*水土保持通报*,2021,41(4):268-275.
- [20] 孔冬艳,陈会广,吴孔森.中国“三生空间”演变特征、生态环境效应及其影响因素[J].*自然资源学报*,2021,36(5):1116-1135.
- [21] Nelson E, Sander H, Hawthorne P, et al. Projecting global land-use change and its effect on ecosystem service provision and biodiversity with simple models [J]. *PLoS One*, 2010, 5(12): e14327.