

DOI:10.13870/j.cnki.stbcbx.2024.01.031

娄佳乐,党晓宏,蒙仲举,等.1986—2020年黄河流域十大孔兑土地利用变化及驱动力分析[J].水土保持学报,2024,38(1):319-327,336.

LOU Jiale, DANG Xiaohong, MENG Zhongju, et al. Land use change and driving force analysis of Ten Tributaries Basin in the Yellow River Basin from 1986 to 2020[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2024, 38(1):319-327,336.

1986—2020年黄河流域十大孔兑土地利用变化及驱动力分析

娄佳乐¹, 党晓宏^{1,2}, 蒙仲举¹, 张昊¹, 宋慧芳¹

(1.内蒙古农业大学沙漠治理学院,呼和浩特 010018;2.包头市林业和草原局,内蒙古 包头 014030)

摘要: [目的]十大孔兑是黄河几字湾的重要组成部分,生态环境敏感脆弱,开展其土地利用变化与驱动力分析对黄河流域高质量发展具有重要生态意义。[方法]对十大孔兑基于1986年、2000年、2010年、2020年4期遥感影像,运用ArcMap 10.8空间分析法和主成分分析法系统分析其土地利用变化情况及驱动因素。[结果]林地、建设用地、耕地呈逐期扩张趋势,未利用地、草地、水域呈逐期缩减趋势,截至2020年林地成为占地面积最大地类,面积达6 308.43 km²,占总面积的59.99%。2010—2020年综合动态度最高,达1.59%,表明土地利用变化在2010—2020年变化最为剧烈。平原区地势平坦,耕地和建设用地在此扩张明显;风沙区在生态治理政策与工程作用下,未利用地向林草地转变,在风沙区东部尤为明显,而在风沙区中部则小比例转变为光伏发电建设用地;丘陵区主要由未利用地转变为林地,由于区域工矿业发达,丘陵区东南部极小部分林地转变为城乡工矿建设用地;水域在孔兑内部共减少75.81 km²,而耕地除北部平原区扩张外,在孔兑沿岸增加明显。土地利用变化主要受社会经济、农业生产力、地势、政策驱动变化。[结论]近35年来,十大孔兑土地利用变化较大,整体生态向好的方向发展较为明显。该研究结果可为决策部门制定黄河流域生态保护政策提供科学参考。

关键词: 土地利用; 时空演变; 驱动力; 十大孔兑

中图分类号:F301.24; S157.2

文献标识码:A

文章编号:1009-2242-(2024)01-0319-09

Land Use Change and Driving Force Analysis of the Ten Tributaries Basin in the Yellow River Basin from 1986 to 2020

LOU Jiale¹, DANG Xiaohong^{1,2}, MENG Zhongju¹, ZHANG Hao¹, SONG Huifang¹

(1. College of Desert Management, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China;

2. Research Forestry and Grassland Bureau of Baotou, Baotou 014030, China)

Abstract: [Objective] The Ten Tributaries Basin, an important part of Yellow River Jizi Bay, exhibits a sensitive and fragile ecological environment. Investigating the alterations in land use and identifying the driving forces behind these changes are essential for fostering high-quality development within the Yellow River Basin, which holds significant ecological implications. [Methods] Employing remote sensing images from the years 1986, 2000, 2010 and 2020, This study analyzed the land use changes in the Ten Tributaries Basin using the spatial analysis via ArcMap 10.8 and Principal Component Analysis (PCA). [Results] The results showed a gradual expansion in forestland, construction land, and cultivated land over the periods studied, while unused land, grassland, and water bodies demonstrated a reduction trend. By 2020, forestland had emerged as the predominant land category, covering an area of 6 308.43 km², accounting for 59.99% of the total area. The highest comprehensive dynamic attitude was observed between 2010 and 2020 at 1.59%, indicating the most substantial changes in land use during this period. The plain area, with its relatively flat terrain, witnessed expansions in cultivated land and construction land. In contrast, due to ecological management policies and projects, the sandstorm area saw a transformation of unused land into forestland

收稿日期:2023-07-25 修回日期:2023-10-10 录用日期:2023-10-20 网络首发日期(www.cnki.net):2023-12-13

资助项目:内蒙古自治区“科技兴蒙”行动重大专项(KJXM—EEDS—2020006—4—01);国家自然科学基金项目(41967009)

第一作者:娄佳乐(1999—),男,硕士研究生,主要从事水土保持与荒漠化防治研究。E-mail:lj15628390832@163.com

通信作者:党晓宏(1986—),男,博士,副教授,博士生导师,主要从事水土保持与荒漠化防治研究。E-mail:dangxiaohong1986@126.com

and grassland, especially evident in the eastern sandstorm area. A small proportion transformed into photovoltaic power generation areas in the central sandstorm area. In the hilly area, the primary shift was from unused land to forestland, although a minimal conversion from forestland to industrial and mining area occurred in the southeastern hilly area due to the region's advanced industrial and mining activities. Water bodies within the Tributaries Basin decreased by 75.81 km², whereas the cultivated land along the coast increased significantly, except in the northern plain area. Land use change was mainly driven by socio-economic factors, agricultural productivity, topographical conditions, and policy initiatives. [Conclusion] Over the past 35 years, the Ten Tributaries Basin has experienced considerable land use changes, with a notable positive shift in overall ecological conditions. The results of this study provide a scientific reference for policy-making entities in formulating ecological protection policies within the Yellow River Basin.

Keywords: land use; spatio-temporal evolution; driving force; Ten Tributaries Basin

Received: 2023-07-25

Revised: 2023-10-10

Accepted: 2023-10-20

Online(www.cnki.net): 2023-12-13

十大孔兑地处西北内陆腹地,位于黄河几字湾^[1],是国家“两个屏障”“两个基地”“一个桥头堡”发展格局的重要组成部分,同时是西北地区生态文明建设和生态高质量发展备受关注的生态功能区。受区域地形特点和气候影响及外在人为扰动下,水土流失十分严重,生态系统抗干扰能力低下,是典型人地间矛盾突出区域^[2]。自上世纪90年代以来,国家水利部将其划入黄河流域重点治理区域,在《全国生态环境建设总体规划》指导下,地区政府联合相关科研部门,研判和落实了一系列符合该区域特点的治理政策与措施,土地资源开发和变化更加活跃,土地利用形态发生显著变化。

土地是人类赖以生存的物质基础,可持续利用土地资源是全人类共同的目标,然而土地利用结构的变化,致使部分地区人地间矛盾愈加明显^[3],早在1993年提出的“国际地圈与生物圈计划(IGBP)”和“全球变化人类因素计划(IHDP)”,就将土地利用/土地覆盖变化(LUCC)作为研究全球变化的核心内容^[4]。生物多样性和生态系统服务政府间科学—政策平台(IPBES)发布的《全球生物多样性与生态系统服务评估报告》中指出,土地利用变化是生物多样性和生态系统服务丧失的主要驱动因素,而除生物多样性和生态系统服务价值外,土地利用变化对区域生态敏感性、产水量时空演变、碳储量时空格局等都会产生影响^[5-6]。近年来,学者们不断从土地利用结构、土地利用转移矩阵、土地利用重心转移、土地利用动态等方面对土地利用变化展开研究^[7-10],结合空间自分析、加权回归分析、主成分分析等方法对其变化驱动力展开分析^[11-12]。土地利用变化驱动力研究已然成为一大研究热点,黄河流域十大孔兑区域因人类活动与生态治理政策的落实与生态治理工程的实施等,区域土地利用形态改变明显,但鲜有对其土地利用变化

驱动力分析的报道,而开展其土地利用变化驱动力研究对黄河流域及十大孔兑区域发展具有极重要的生态意义。

综上所述,以十大孔兑为研究区域,基于1986—2020年4期遥感影像,从土地利用时间、空间变化和驱动因素等维度出发,利用土地利用动态度,转移矩阵、桑基图、主成分分析等方法系统分析近35年来十大孔兑土地利用时空变化规律及驱动因素,旨在为黄河流域和该区域生态治理及高质量发展决策提供科学理论参考。

1 研究区概况

十大孔兑($39^{\circ}50'00''$ — $40^{\circ}30'00''$ N, $108^{\circ}06'00''$ — $111^{\circ}00'00''$ E)是蒙古语,意为季节性洪水沟,总面积为1.05万km²,位于鄂尔多斯境内,北邻黄河。气候属典型大陆性气候,年平均气温6℃,东南至西北年均降水量400~200mm,年平均潜在蒸发量2200mm,平均无霜期130~140天,年日照时间3159.4h,年均大风日数24天。海拔由南向北逐渐降低,南部丘陵区海拔最高,风沙区次之,冲积平原区最低(图1)。自然植被主要由禾本科草本植物、菊科(Asteraceae)、豆科(Fabaceae)等植物组成;人工植被包含新疆杨(*Populus alba* var. *pyramidalis*)、旱柳(*Salix matsudana*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、柠条锦鸡儿(*Caragana Korshinskii*)、黑沙蒿(*Artemisia ordosica*)、紫苜蓿(*Medicago sativa*)等。土壤包含砾砂岩土、粗骨性栗钙土、覆沙栗钙土等。

2 材料与方法

2.1 材料获取与处理

选取1986年、2000年、2010年、2020年4期2景Landsat TM/OLI遥感影像,空间分辨率为30m,

作为基础数据,通过ENVI 5.3预处理,根据《土地利用现状分类》GB/T 21010—2017^[13]一级分类标准,利用ENVI 5.3结合Google Earth Pro人机交互处理目视解译,应用ArcMap 10.8获得十大孔兑研究区土地利用分类数据。1986—2020年社会经济数据来源于《鄂尔多斯统计年鉴》^[14]。

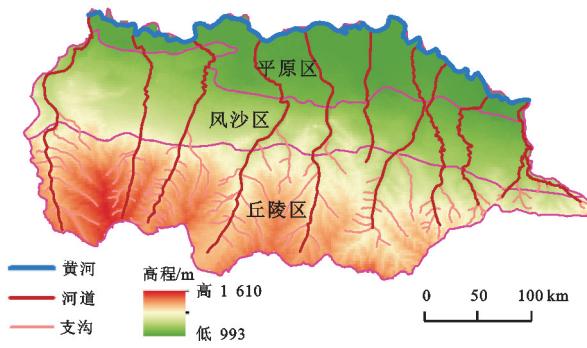


图1 十大孔兑研究区概况

Fig. 1 Overview of the Ten Tributaries Basin study area

2.2 研究方法

2.2.1 遥感解译检验 遥感影像解译检验分为室内检验和野外实地走访调查验证^[15]。经室内检验4期解译的遥感影像,Kappa系数为0.82,满足研究需要;野外实地调查在研究区设定由西北向东南方向核查线,利用GPS随机抽取若干个定位点,根据野外实地走访调查,逐个判断土地利用类型图斑遥感解译的准确性,经检验总体精度大于80%,满足研究需要。(图2)。

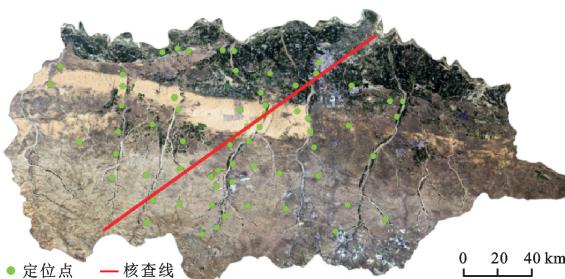


图2 野外实地走访调查点分布

Fig. 2 Field survey point distribution map

2.2.2 土地利用动态变化 土地利用面积变化^[16]:指前后2个时期某种地类面积发生改变的量,表达式为:

$$\Delta S = S_{\text{后}} - S_{\text{前}} \quad (1)$$

式中: $S_{\text{后}}$ 、 $S_{\text{前}}$ 分别为土地利用变化末期、初期某一地类面积(km^2); ΔS 为这一时期某一地类土地利用面积变化量(km^2)。

土地利用单一动态度^[16]:用于计算某一地类在某一时期内面积变化情况,同时也可用于估计未来土地利用变化趋势和速度,其表达式为:

$$K = \frac{S_{\text{后}} - S_{\text{前}}}{S_{\text{前}}} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

式中: K 为这一时期土地利用单一变化率(%); $S_{\text{后}}$ 、 $S_{\text{前}}$ 为土地利用变化末期、初期某一地类面积(km^2); T 为研究时段。

土地利用综合动态度^[16]:综合土地利用动态度可以反映研究区土地利用变化速率整体差异,LC越大表示土地利用类型转化越剧烈,其表达式为:

$$LC = \left[\frac{\sum_{i=1}^n \Delta LW_{i-1}}{2 \sum_{i=1}^n \Delta LW_i} \right] \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (3)$$

式中: LC 为土地利用综合动态度; LW_i 为研究初期第*i*类土地利用类型面积(km^2); ΔLW_{i-1} 为在研究期内第*i*类土地利用类型转为非*i*类其他土地类型的面积绝对值; T 为研究时长。

2.2.3 土地利用转移矩阵 土地利用转移矩阵不仅可以刻画土地利用变化的结构特征,而且能够反映各类型之间的转移方向,是定量研究土地利用类型间相互转化的数量和方向特征的主要方法^[17]。其表达式:

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1i} & \cdots & S_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{i1} & \cdots & S_{ij} & \cdots & S_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{n1} & \cdots & S_{nj} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中: S 为研究时段内的转移矩阵; S_{ij} 为研究时段内第*i*种土地利用/土地覆被类型转化为第*j*种类型的面积(km^2); n 为土地利用/土地覆被类型数量。

2.2.4 桑基图 桑基图是一种描述大量复杂数据之间流动情况的有效方法,它不仅能反映各类型的占比,也清晰地表达了不同土地利用类型间的转移轨迹和数量^[17]。因此,为了识别不同时段土地利用变化的流量、流向及多样性,利用Origin 2021软件将土地利用转移矩阵在桑基图中可视化。

2.2.5 主成分分析 主成分分析法是将标准化处理的驱动因素进行降维,根据主成分特征(>1)和累计贡献率统计出能够影响所有变量的几个综合变量,并描述出原始多个变量之间较多的信息^[18]。自然因素和人为因素是影响区域土地利用变化的主要驱动力,自然因素较为稳定,起累积性作用,而人为因素对地区的土地利用类型起决定性作用。本文根据十大孔兑实际情况选取了13个主成分指标(表1)。

由于年鉴数据中选取的13个指标量纲不同,因此需将其进行降维处理,通过将其导入SPSS 27.0标准化处理后,对其进行自变量KMO检验和Bartlett球形检验。经检验选取因子KMO值为0.685,大于临界值0.6;显著性为0.036,小于临界值0.05(表2),因此所选因子适宜进行因子分析。

表1 土地利用影响因子分类

Table 1 Classification of land use impact factors

序号	指标
X_1	年末总人口/人
X_2	生产总值/万元
X_3	第一产业产值/万元
X_4	第二产业产值/万元
X_5	第三产业产值/万元
X_6	工矿业产值/万元
X_7	建筑业产值/万元
X_8	城镇居民人均收入/元
X_9	农村居民人均收入/元
X_{10}	年均气温/℃
X_{11}	年均降水/mm
X_{12}	农业机械总动力/kW
X_{13}	粮食生产总量/t

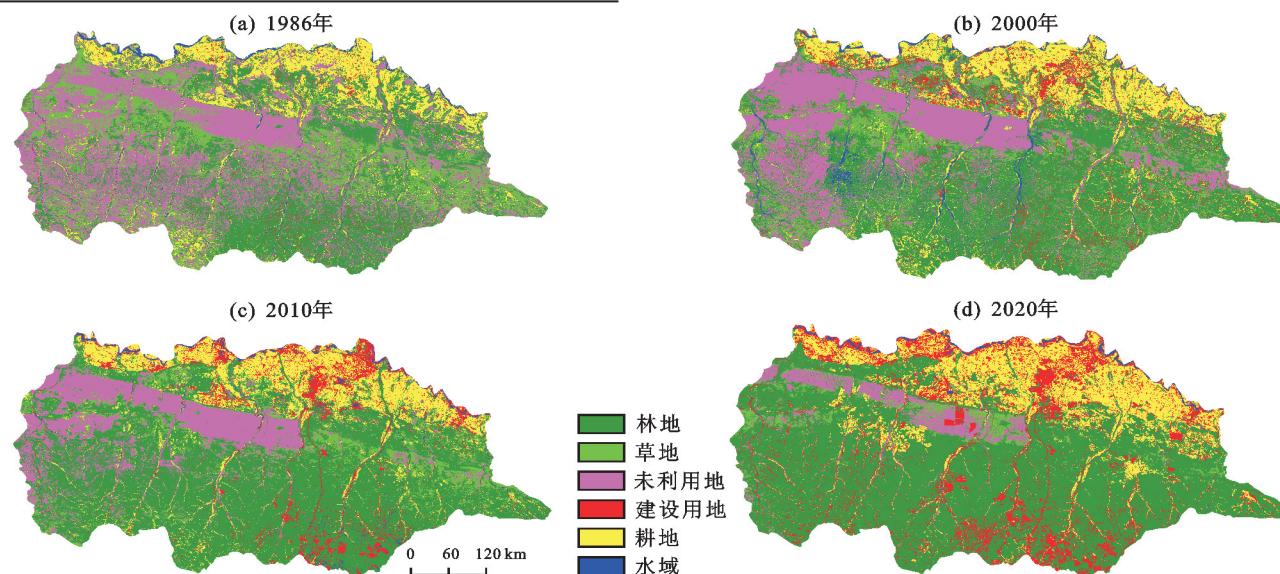


图3 十大孔兑1986年、2000年、2010年、2020年土地利用类型

Fig. 3 Land use type map of the Ten Tributaries Basin in 1986, 2000, 2010 and 2020

对十大孔兑1986—2020年4期土地利用数据进行像元面积统计得到各地类面积(图4),至2020年,林地净增长最多,未利用地净减少最多,其他地类均有变化,但变化幅度相对较小。其中林地净增长2 876.39 km²,未利用地净缩减2 926.37 km²。

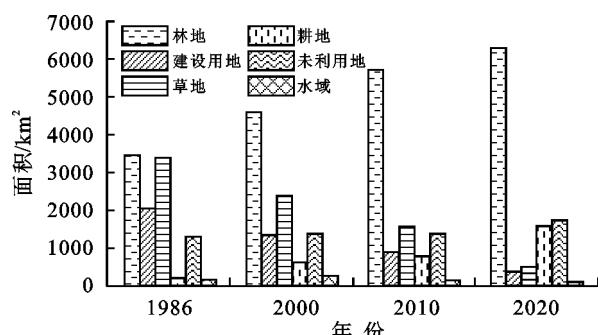
图4 十大孔兑1986年、2000年、2010年、2020年土地利用面积
Fig. 4 The land use area of the Ten Tributaries Basin in 1986, 2000, 2010 and 2020

表2 自变量KMO检验以及Bartlett球形检验

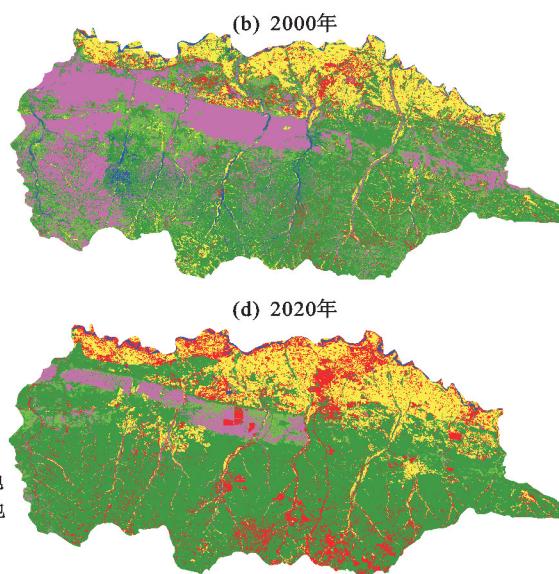
Table 2 Independent variable KMO test and Bartlett spherical test

	指标	数值
	KMO 取样适切性量数	0.658
	近似卡方	408.359
巴特利特球形度检验	自由度	62.000
	显著性	0.036

3 结果与分析

3.1 土地利用时间演变

3.1.1 土地利用面积变化 根据《土地利用现状分类》GB/T 21010—2017^[13]一级分类标准结合十大孔兑实际情况,使用ArcMap 10.8绘制得出十大孔兑区域1986年、2000年、2010年、2020年土地利用类型图(图3)。由图3可知,近35年,林地、建设用地、耕地逐期扩张,未利用地、草地、水域逐期缩减。



3.1.2 土地利用动态度 由表3可知,综合动态度在1986—2000年、2000—2010年、2010—2020年3个时段逐时段增大,表明土地利用变化在2010—2020年变化最为剧烈。

1986—2000年建设用地单一动态度高达15.12%,扩张最为明显;此外,水域、林地、耕地也呈扩张趋势;而草地和未利用地在此时段内呈缩减趋势,且草地缩减比例最大。

2000—2010年单一动态度最大的为水域,其值为-4.57%,减少比例最高,草地、未利用地也呈减少状态;而建设用地、林地、耕地在该时段都呈增加趋势。

而2010—2020年建设用地单一动态度达10.36%,建设用地增长比例最大,该时段同为增长趋势的还有耕地和林地;未利用地、草地、水域呈下降趋势。

表3 十大孔兑1986—2020年土地利用动态度

Table 3 The dynamic degree of land use in Ten Tributaries Basin from 1986 to 2020

年份	单一动态度						综合 动态度
	林地	草地	未利用地	水域	建设用地	耕地	
1986—2000	2.36	-2.44	-2.18	4.54	15.12	0.45	1.17
2000—2010	2.55	-3.24	-3.34	-4.57	2.82	0.08	1.28
2010—2020	1.01	-5.80	-6.89	-3.89	10.36	2.08	1.59

3.1.3 土地利用转移情况 为明晰十大孔兑地类间相互转变,将土地利用转移情况,应用Origin 2021软

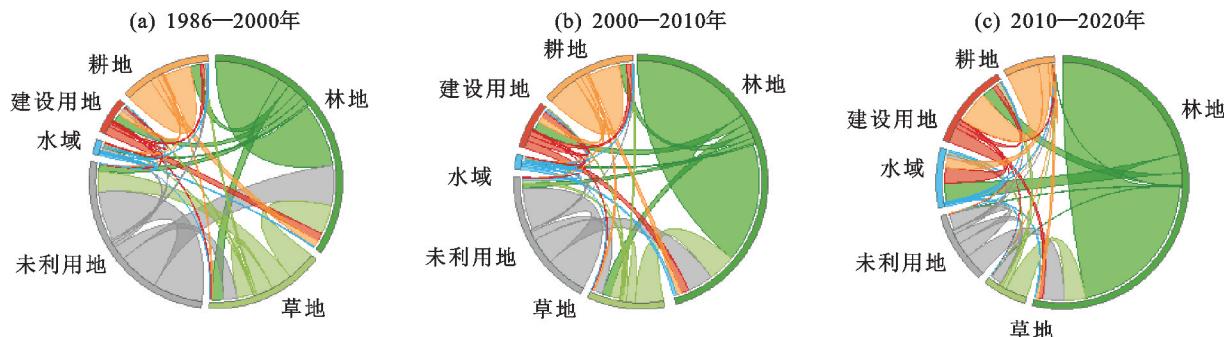


图5 十大孔兑1986—2000年、2000—2010年、2010—2020年土地利用转移弦图

Fig. 5 Land use transfer chord diagram in the Ten Tributaries Basin in 1986—2000, 2000—2010 and 2010—2020

表4 十大孔兑1986—2000年土地利用转移矩阵

Table 4 Land use transfer matrix of the Ten Tributaries Basin from 1986 to 2000

1986年	2000年						km ²
	林地	草地	未利用地	水域	建设用地	耕地	
建设用地	250.39	29.51	21.62	18.98	52.57	93.26	466.34
草地	892.06	484.17	626.93	12.12	48.11	68.41	2 131.79
耕地	209.95	32.40	14.84	30.67	151.47	813.71	1 253.04
水域	32.62	5.13	10.37	64.56	12.78	35.77	161.24
未利用地	1 219.48	417.77	1 495.91	79.44	94.98	56.77	3 364.35
林地	1 960.55	353.31	205.83	65.47	242.41	311.27	3 138.85
总和	4 565.05	1 322.30	2 375.50	271.25	602.33	1 379.19	10 515.62

由图5、表5可知,草地、未利用地及部分耕地向林地分别转入830.44,785.58,154.71 km²,而林地向耕地和建设用地分别转出203.11,272.58 km²,转出面积小于转入面积,林地面积持续增长。建设用地增

件将其制作成转移弦图(图5)。由图5、表4可知,1986—2000年,林地增加主要由未利用地转入1 219.48 km²,草地转入892.06 km²。同时林地向草地转出353.31 km²、向耕地转出311.27 km²,转出面积小于转入面积,林地面积增加。在此时段,建设用地增长,源于林地和耕地以及未利用地分别向其转入242.41,151.47,98.48 km²。而耕地扩张主要来源于林地向其转入311.27 km²。未利用地除向林地转出1 219.48 km²,还向草地转出417.77 km²。

表4 十大孔兑1986—2000年土地利用转移矩阵

Table 4 Land use transfer matrix of the Ten Tributaries Basin from 1986 to 2000

长,来源于林地与耕地,分别转入272.58,187.56 km²。水域面积增长,主要来源于未利用地向其转入。此期间,未利用地向其他地类转出,转出量最大的为林地和草地,分别转移758.58,259.64 km²,少有转入。

表5 十大孔兑2000—2010年土地利用转移矩阵

Table 5 Land use transfer matrix of the Ten Tributaries Basin from 2000 to 2010

2000年	2010年						km ²
	林地	草地	未利用地	水域	建设用地	耕地	
建设用地	3 630.70	261.49	140.90	56.02	272.58	203.11	4 564.81
草地	830.44	281.42	108.52	3.13	36.19	62.54	1 322.22
耕地	785.58	259.64	1 257.89	6.17	52.74	13.42	2 375.44
水域	92.62	3.68	60.02	46.04	53.52	15.26	271.14
未利用地	234.99	31.94	7.26	12.36	169.16	146.56	602.27
林地	154.71	55.14	8.60	23.48	187.56	949.49	1 378.99
总和	5 729.05	893.30	1 583.20	147.19	771.75	1 390.38	10 514.87

由图5、表6可知,林地占地面积增长主要来源于未利用地和草地,分别转入665.90,661.02 km²,虽有部分林地向耕地转出,但转出面积小于转入面积。耕地

面积增长来源于部分建设用地和草地,分别转入146.63,127.27 km²。此期间,未利用地减少,主要向草地和林地分别转移320.93,661.02 km²。

表6 十大孔兑2010—2020年土地利用转移矩阵

Table 6 Land use transfer matrix of the Ten Tributaries Basin from 2010 to 2020

km²

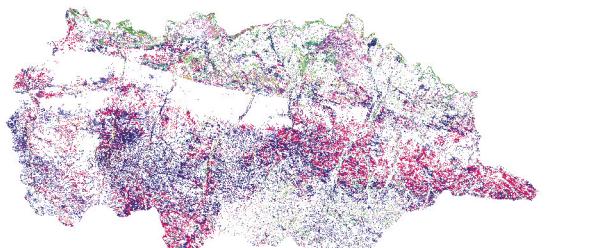
2010年	2020年						
	林地	草地	未利用地	水域	建设用地	耕地	总和
建设用地	4 735.18	18.89	17.69	571.91	374.90	10.86	5 729.44
草地	665.90	23.48	4.61	71.59	127.27	0.56	893.41
耕地	661.02	320.93	460.84	107.32	29.63	3.41	1 583.15
水域	28.68	1.62	1.73	61.61	20.52	33.09	147.26
未利用地	117.98	7.60	6.10	466.77	146.63	26.77	771.85
林地	99.28	2.31	0.96	292.35	980.33	15.19	1 390.41
总和	6 308.03	374.84	491.94	1 571.56	1 679.27	89.88	10 515.52

3.2 土地利用空间变化

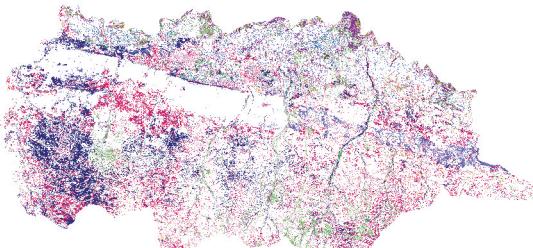
为明晰土地利用空间变化情况,利用ArcMap 10.8对十大孔兑4期遥感影像进行空间叠加处理(图6)。1986—2000年,林地扩张主要在风沙区东部及丘陵区东部和中部,在风沙区东部草地转变为林地尤

为明显。丘陵区西南部未利用地向林地转变。耕地和建设用地扩张主要在北部沿黄平原区,且建设用地集中连片地扩张。此外,在南部丘陵区,孔兑沿岸有耕地出现,以及丘陵区东部略有扩张。草地在风沙区东部向林地转移。

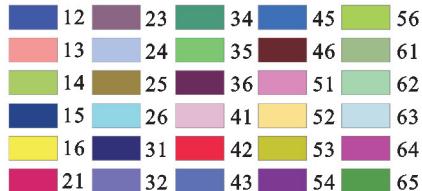
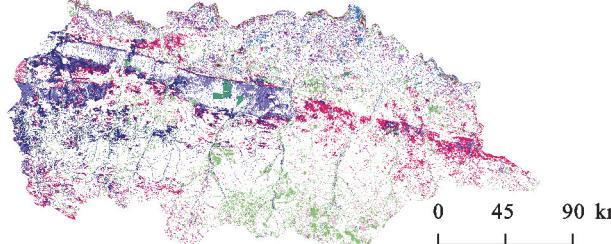
(a) 1986—2000年



(b) 2000—2010年



(c) 2010—2020年



注:图例中数字1,2,3,4,5,6分别表示林地、草地、未利用地、建设用地、耕地、水域;图例中12表示由林地转变为草地,其他同理。

图6 十大孔兑1986—2000年、2000—2010年、2010—2020年土地利用变化空间分布

Fig. 6 Spatial distribution map of land use change in the Ten Tributaries Basin in 1986—2000, 2000—2010 and 2010—2020

2000—2010年,林地在丘陵区均有扩张趋势,且在风沙区北缘与平原区交界处,形成林带。北部平原区建设用地与耕地扩张更加明显,且在丘陵区东南部,占用林地呈点状扩张。此外,耕地在丘陵区十大孔兑沿岸,增长较上一时期更为明显。未利用地在风沙区东部向草地转变明显,风沙区东部裸露沙地变成点状分布。

2010—2020年,风沙区东部草地向林地转移,风沙区与平原区间已形成明显林带。建设用地和耕地在北部平原区扩张,丘陵区东南部点状分布建设用地面积增长,且在风沙区中部形成小片建设用地。耕地在风沙区与丘陵区交界中部和东部有所扩张。风沙区东部草地基本转化为林地,而风沙区西部未利用地向林地以及草地转变。前2个时期在十大孔兑及支沟的

水域,不断减少,至2020年水域几乎仅为黄河的干流。

3.3 土地利用变化驱动力分析

计算特征值与各成分贡献率和旋转后的成分载荷矩阵,选取特征值大于1且累计贡献率高于85%的主成分因子进行分析。由表7可知,选取的13个指标通过标准化处理,有2个主成分符合特征值大于1的标准,二者值分别为8.863,1.758;且二者累计贡献率达96.554%。

表7 影响因子特征值及累计贡献率

Table 7 Characteristic value and cumulative contribution rate of influencing factors

成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	总计	方差百分比	累计/%	总计	方差百分比	累计/%
1	8.863	80.575	80.575	8.863	80.575	80.575
2	1.758	15.979	96.554	1.758	15.979	96.554

应用SPSS 27.0旋转后,得到主成分矩阵(表8),按照数值越接近于1相关性越大的原则,可以看出主成分1与生产总值、第一产业产值、第二产业产值、第三产业产值、工矿业产值、建筑业产值相关性较高,可以将其概括为经济因素;主成分2与年末总人口、农业机械总动力、粮食生产总量相关性较高,可以概括为农业生产力因素。

表8 主成分矩阵

Table 8 Principal component matrix

影响因子	主成分1	主成分2
X_1	0.587	0.917
X_2	0.999	0.020
X_3	0.994	0.047
X_4	0.998	0.009
X_5	0.997	0.025
X_6	0.993	0.045
X_7	0.965	-0.116
X_8	0.298	0.030
X_9	0.391	0.053
X_{10}	-0.089	0.631
X_{11}	-0.065	0.533
X_{12}	0.642	0.949
X_{13}	0.347	0.926

通过将主成分1与主成分2得分矩阵进行计算后,得到主成分1和主成分2的表达式为:

$$Y_1 = 0.197X_1 + 0.336X_2 + 0.334X_3 + 0.335X_4 + 0.335X_5 + 0.334X_6 + 0.324X_7 + 0.100X_8 + 0.131X_9 - 0.030X_{10} - 0.022X_{11} + 0.216X_{12} + 0.117X_{13}$$

$$Y_2 = 0.632X_1 + 0.015X_2 + 0.035X_3 + 0.007X_4 + 0.019X_5 + 0.034X_6 - 0.087X_7 + 0.023X_8 + 0.040X_9 - 0.476X_{10} - 0.402X_{11} + 0.716X_{12} + 0.698X_{13}$$

主成分1和主成分2的表达式加权运算后,得到驱动力综合得分表达式为: $Y = 0.8058Y_1 + 0.1598Y_2$ 。综上所述,近35年来十大孔兑区域土地利用变化主要受社会经济因素、农业生产力因素驱动发生改变。

从社会经济因素层面调查发现,2000年以前,该区域生产总值上升趋势缓慢,自2000年开始,生产总值与建筑业生产值、工矿业生产值都出现明显增长趋势。据产业产值变化可知,经济迅猛发展是在2000年以后,土地利用受经济发展影响,在2000年以后建设用地面积扩张尤为明显,在平原区、城乡居住用地、公路都有所扩张。经济的发展使当地政府对水土保持的投入更加明显,在风沙区建设的光伏发电基地,不仅使未利用地实现向建设用地的转化,同时为风沙区防风固沙起到一定作用。

从农业生产力层面调查发现,研究区域人口数量急剧增长,尤其是2000年以后,人口增长更加明显。

人口增长导致人们对农业用地、工业用地、商业用地、交通用地等地类的需求量增大,地表形态和土地用途随土地利用程度的不断提高而改变。在平原区,建设用地的扩张,导致耕地面积减少。平原区的耕地面积缩减,但人口增长所需粮食变多,而在风沙区的中部,出现成片集中的“圆形”耕地,致使风沙区中部的未利用地向耕地转移。除风沙区,丘陵区沟间沿河道区域也被利用,种植农作物,使耕地沿河道规律增长,是南部丘陵区未利用地向耕地转移的另一原因。

除主成分1和主成分2的影响外,地形和政策因素对区域土地利用影响也起着至关重要的作用。从地势上看,南部丘陵区沟壑纵横,中部风沙区地势多变,平原区则海拔较为一致,地势平坦。北部地势平坦,适宜人类生存、居住、发展,十大孔兑区域建设用地与耕地在35年来不断扩张,绝大部分发生在北部平原区域。在丘陵区风沙复合侵蚀结合地势,导致该区域水土流失极其严重,由于其特殊性,近年来不断人工干预,进行水土保持与生态治理,致使林地面积扩张,原有未利用地进行人工林种植,未利用地减少。由于风沙区与北部平原区紧密相连,且地势南高北低,向平原区输沙更加容易,在近35年中,在风沙区与平原区相接处,实现未利用地向林地草地转化。

从政策上看,由于区位特殊,加之其地形地貌复杂,生态环境恶劣、水土流失严重,不但是黄河中下游泥沙来源地之一,更是京津冀地区风沙来源地之一^[19]。自上世纪80年代起,就被国家水利部纳入重点治理区域。在已有治理成果上,又制定一系列政策法规等,1999年鄂尔多斯市颁布了禁牧、休牧和轮牧政策^[20],2003年实施《退耕还林条例》^[21],2008年颁布《黄河内蒙古河段十大孔兑治理规划》^[22]。近年来又增添新的工程与政策,例如,京津风沙源治理工程、全国防沙治沙规划、沙化土地封禁保护修复制度方案、北方防沙带生态保护和修复重大工程建设计划等^[23]。一系列生态保护政策与治理措施执行促使十大孔兑土地利用不断变化,林草地占比增大,未利用地面积持续缩减。此外,2000年西部大开发政策的实施,驱动区域内城乡建设加速,加大建设用地占比。

4 讨论

已有土地利用数据集在大空间尺度上误差较小,满足其研究需要,但缩放到某一局部区域误差可能会被放大,具有局限性。针对其他研究区所展开土地利用变化分析,部分学者利用已有数据集,通过下载查看后发现,已有数据集在土地利用划分上存在一定误差,虽数据集整体误差不大,但缩小至十大孔兑区域后,误差面积相对较大,不足以更加贴切反映出此区

域近年来的土地利用情况及变化情况,而基于遥感影像利用ENVI 5.3、ArcMap 10.8等软件,对土地利用变化、土地利用变化动态度、土地利用转移矩阵、土地利用空间变化分布进行制图、统计分析,不仅能够从时空角度探明某一区域土地利用变化情况,而且可以对变化进行量化研究^[24],更加切实反映区域土地利用变化情况。

各个研究区土地利用变化驱动因素,在宏观角度上具备相似性,而微观角度上又存在其区域自身特性。土地利用变化在区域内受社会、自然、政策等因素驱动下,土地利用变化在某一时期内均有加速变化的趋势,本研究结论相似。基于各个研究区区位、经济、自然地理状况等不同,土地利用变化情况不同,其主要驱动因素也有所不同^[25]。研究区由于区位加地形因素影响,属于生态极度脆弱区,加之向黄河河道输沙及京津冀地区沙尘暴输沙原因,该区域生态治理政策实施较多,力度较大。滑永春等^[26]对十大孔兑生态环境质量评价研究发现,该区域生态环境正在不断改善;管亚兵等^[27]对该区域林草植被盖度研究发现,区域内林草植被盖度保持持续增长趋势;本研究发现,林地面积不断增长,未利用地面积持续下降,生态向好发展,与二者研究结论趋于一致。通过对空间分析,未利用地转化为林草地,主要集中在南部丘陵区以及中部风沙区,白雪莲等^[28]对该区进行健康系统评价研究也发现,健康区在十大孔兑以集中连片团聚结构为绝对优势,尤其是南部和中部表现明显。

土地利用变化受气候、地形等一系列因素影响,但在某些区域人为干预、调控对区域内土地利用变化具备一定主导性。江文甲等^[29]通过对福建省安溪县土地利用变化及驱动力研究发现,土地利用类型变化,除了受地理因素的制约外,主要受社会经济指标和宏观政策的驱动因素调控,由于茶产业是当地支柱产业,其对土地利用变化的驱动具有明显作用,而本研究发现,十大孔兑位于鄂尔多斯境内,受鄂尔多斯工矿业发达影响,区域东南部城乡工矿建设用地不断扩张,占用丘陵区小部分林草地。近35年十大孔兑水域面积减小,且主要发生在孔兑与干支沟内,可能与林草面积增加、未利用地面积缩减,以及淤地坝和淤沙坝^[30]建设有关。林草植被覆盖面积的加大,加之受淤地坝和淤沙坝作用,十大孔兑区域水土保持能力增强,雨后地表雨水多被林草植被吸收入渗,减少地表径流,导致水域面积呈持续下降趋势。

5 结论

(1)土地利用近35年来变化剧烈,2010—2020年最为明显,各种地类均有所转变,但林地的增长以

及未利用地的缩减最为明显。

(2)平原区耕地、建设用地扩张最为明显;风沙区未利用地不断缩减,向林草地转变,小部分转变为光伏发电建设用地;丘陵区未利用地缩减转变为林地,而在丘陵区东南部原有林地小部分转变为建设用地,由于鄂尔多斯矿业发达,经实地调查发现转变为城乡工矿建设用地。

(3)土地利用变化驱动因素复杂,主要受社会经济因素、农业生产力因素驱动变化,经加权运算得到驱动力综合得分表达式为 $Y=0.8058Y_1+0.1598Y_2$;此外还受地势和政策的影响。

(4)近35年来,未利用地与1986年比缩减85.61%,而林草地不断增长,共占区域总面积的63.56%。综合来看,近35年来所实施生态治理政策与工程取得一定成效,生态向好的方向发展较为明显。

参考文献:

- [1] 滑永春,陈家豪,孙小添,等.内蒙古段黄河流域景观生态风险分析[J].自然资源遥感,2023,35(2):220-229.
- [2] HUA Y C, CHEN J H, SUN X T, et al. Analysis of landscape ecology risk of the Yellow River Basin in Inner Mongolia[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2023,35(2):220-229.
- [3] 姚海芳,师长兴,顾畛達.气候变化和人类活动对黄河上游十大孔兑水沙过程的影响[J].干旱区地理,2018,41(3):472-479.
- [4] YAO H F, SHI C X, GU Z K. Impacts of climate change and human activities on water discharge and sediment load of ten tributaries (the Ten Kongduis) of the upper Yellow River[J]. Arid Land Geography, 2018,41(3):472-479.
- [5] NINA H, JOSCHA N B, THOMAS G, et al. Riparian wetland properties counter the effect of land-use change on soil carbon stocks after rainforest conversion to plantations [J]. Catena, 2021,196:e104941.
- [6] 龙花楼,陈坤秋.基于土地系统科学的土地利用转型与城乡融合发展[J].地理学报,2021,76(2):295-309.
- [7] LONG H L, CHEN K Q. Urban-rural integrated development and land use transitions: A perspective of land system science [J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(2):295-309.
- [8] SIMONCINI R, RING I, SANDSTRÖM C, et al. Constraints and opportunities for mainstreaming biodiversity and ecosystem services in the EU's Common Agricultural Policy: Insights from the IPBES assessment for Europe and Central Asia[J]. Land Use Policy, 2019, 88(C):e104099.
- [9] LIANG J, LIU Q, ZHANG H, et al. Interactive effects of climate variability and human activities on blue and green water scarcity in rapidly developing watershed[J].

Journal of Cleaner Production, 2020, 265: e121834.

[7] WANG S, FU B J, PIAO S L, et al. Reduced sediment transport in the Yellow River due to anthropogenic changes[J]. Nature Geoscience, 2016, 9(1): 38-41.

[8] YANG X H, ZHANG X P, LÜ D, et al. Remote sensing estimation of the soil erosion cover-management factor for China's Loess Plateau[J]. Land Degradation and Development, 2020, 31(15): 1942-1955.

[9] 黄天能,张云兰.基于“三生空间”的土地利用功能演变及生态环境响应:以桂西资源富集区为例[J].生态学报,2021,41(1):348-359.

HUANG T N, ZHANG Y L. Transformation of land use function and response of eco-environment based on “production-life-ecology space”: A case study of resource-rich area in western Guangxi[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(1): 348-359.

[10] 宋戈,王越,松嫩高平原土地利用格局变化时空分异[J].农业工程学报,2016,32(18):225-233.

SONG G, WANG Y. Spatial and temporal distribution of land use pattern change in Songnen high plain[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(18): 225-233.

[11] 张经度,梅志雄,吕佳慧,等.纳入空间自相关的FLUS模型在土地利用变化多情景模拟中的应用[J].地球信息科学学报,2020,22(3):531-542.

ZHANG J D, MEI Z X, LÜ J H, et al. Simulating multiple land use scenarios based on the FLUS model considering spatial autocorrelation[J]. Journal of Geo-Information Science, 2020, 22(3): 531-542.

[12] 宁秀红,郭龙,张海涛.基于空间自回归和地理加权回归模型的不同尺度下土地利用程度研究[J].华中农业大学学报,2013,32(4):48-54.

NING X H, GUO L, ZHANG H T. Comprehensive degree of land-use at different scales based on spatial autocorrelation regression and geographically weighted regression models[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2013, 32(4): 48-54.

[13] 徐勇,赵燊,段健.国土空间规划的土地利用分类方案研究[J].地理研究,2019,38(10):2388-2401.

XU Y, ZHAO S, DUAN J. Studies on the land use classification scheme for territory spatial planning[J]. Geographical Research, 2019, 38(10): 2388-2401.

[14] 鄂尔多斯市统计局.《鄂尔多斯统计年鉴》[M].北京:中国统计出版社,2021.

Ordos City Bureau of Statistics. Ordos statistical yearbook [M]. Beijing: China Statistical Publishing House, 2021.

[15] 陶艳成,葛文标,刘文爱,等.基于高分辨率卫星影像的广西红树林面积监测与群落调查[J].自然资源学报,2017,32(9):1602-1614.

TAO Y C, GE W B, LIU W A, et al. A survey on the spatial distribution and community types of mangroves in Guangxi based on high-resolution satellite imageries[J]. Journal of Natural Resources, 2017, 32(9): 1602-1614.

[16] 厉静文,董锁成,李宇,等.中蒙俄经济走廊土地利用变化格局及其驱动因素研究[J].地理研究,2021,40(11): 3073-3091.

LI J W, DONG S C, LI Y, et al. The pattern and driving factors of land use change in the China-Mongolia-Russia economic corridor[J]. Geographical Research, 2021, 40(11): 3073-3091.

[17] 闫志远,王怡璇,李瑞平,等.2000—2020年锡林郭勒草原土地利用/土地覆被时空演变特征及驱动力分析[J].农业工程学报,2022,38(14):275-284.

YAN Z Y, WANG Y X, LI R P, et al. Spatiotemporal and evolutionary characteristics and driving forces of land use/land cover in Xilingol Steppe during 2000—2020[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022, 38(14): 275-284.

[18] 宋媛,石惠春,谢敏慧,等.2000—2017年甘肃省生态环境质量时空演变格局及其影响因素[J].生态学杂志,2019,38(12):3800-3808.

SONG Y, SHI H C, XIE M H, et al. Spatiotemporal evolution pattern and influencing factors of eco-environmental quality in Gansu from 2000 to 2017[J]. Chinese Journal of Ecology, 2019, 38(12): 3800-3808.

[19] 雷燕慧,丁国栋,李梓萌,等.京津风沙源治理工程区土地利用/覆盖变化及生态系统服务价值响应[J].中国沙漠,2021,41(6):29-40.

LEI Y H, DING G D, LI Z M, et al. Land use/cover change and its ecosystem service value response in the Beijing-Tianjin sandstorm source control project area[J]. Journal of Desert Research, 2021, 41(6): 29-40.

[20] 佟斯琴,刘桂香,包玉海.2000—2012年鄂尔多斯禁牧区植被覆盖度变化监测[J].水土保持通报,2015,35(2):136-140.

TONG S Q, LIU G X, BAO Y H. Monitoring of vegetation coverage changes in graze-prohibited area of Ordos from 2000 to 2012[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2015, 35(2): 136-140.

[21] 徐国劲,谢永生,骆汉,等.重大生态工程规划设计的理论探讨[J].自然资源学报,2018,33(7):1139-1151.

XU G J, XIE Y S, LUO H, et al. Theoretical discussion on planning and design of major ecological engineering[J]. Journal of Natural Resources, 2018, 33(7): 1139-1151.

[22] 达古拉,史芮嘉.十大孔兑综合治理问题及经验探索[J].中国水土保持,2022(9):55-57.

DA G L, SHI R J. Issues and experience exploration of comprehensive management of the Ten Kongduis In-ner Mongolia [J]. Soil and Water Conservation in China, 2022(9): 55-57.

(下转第336页)

REN J W, WANG J J, ZHOU L, et al. Distribution of carbon, nitrogen and phosphorus in sediments of Lhalu wetland in dry and wet seasons and its pollution risk assessment[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2021, 37(2): 172-181.

[26] 刘智杰,黄丽,李峰,等.秸秆还田对水稻土黏土矿物组成和钾素释放的影响[J].土壤通报,2018,49(6):1390-1396.

LIU Z J, HUANG L, LI F, et al. Effects of straw returning on clay mineral composition and potassium release in paddy soils[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2018, 49(6): 1390-1396.

[27] 张锴慧.邢家渡引黄灌区土壤水盐运移变化特征研究[D].济南:山东大学,2018.

ZHANG K H. Study on the characteristics of soil water and salt transport and change in Xingjiadu Yellow River diversion irrigation area [D]. Ji'nan: Shandong

University, 2018.

[28] 张丽微,陈雷,朱丽清,等.广西沙塘林场2种人工林土壤pH与电导率的研究[J].河池学院学报,2017,37(5):34-38.

ZHANG L W, CHEN L, ZHU L Q, et al. Study of pH and electric conductivity of the soil from two planted forest at Shatang of Guangxi Province [J]. Journal of Hechi University, 2017, 37(5): 34-38.

[29] 曹明,朱启林,汤水荣,等.添加秸秆及其生物质炭对淹水条件下砖红壤N₂O和CH₄排放的影响[J].土壤通报,2021,52(4):895-902.

CAO M, ZHU Q L, TANG S R, et al. Effects of corn straw and its biochar application on N₂O and CH₄ emissions from laterite soil under strong reductive condition[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2021, 52(4):895-902.

(上接第327页)

[23] 周颖,杨秀春,徐斌,等.我国防沙治沙政策的演进历程与特征研究[J].干旱区资源与环境,2020,34(1):123-131.

ZHOU Y, YANG X C, XU B, et al. Evolution and characteristics of China's national defense policies for sand control[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2020, 34(1): 123-131.

[24] 付乐,迟妍妍,于洋,等.2000—2020年黄河流域土地利用变化特征及影响因素分析[J].生态环境学报,2022,31(10):1927-1938.

FU L, CHI Y Y, YU Y, et al. Characteristics and driving forces of land use change in the Yellow River Basin from 2000 to 2020 [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2022, 31(10): 1927-1938.

[25] 郭瑞,刘蔚,李宗省,等.祁连山甘肃片区土地利用变化特征及驱动力[J].中国沙漠,2023,43(3):188-198.

GUO R, LIU W, LI Z X, et al. An analysis on the land use change characteristics and driving forces in Gansu part of the Qilian Mountain[J]. Journal of Desert Research, 2023, 43(3): 188-198.

[26] 滑永春,孙小添,白澳,等.基于遥感黄河流域内蒙古段十大孔兑生态环境质量监测评价[J].水土保持研究,2022,29(5):199-205.

HUA Y C, SUN X T, BAI A, et al. Monitoring and evaluation of Ten Kongdui eco-environmental quality changes in Inner Mongolia section of the Yellow River Basin based on remote sensing[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022, 29(5): 199-205.

[27] 管亚兵,杨胜天,周旭,等.黄河十大孔兑流域林草植被覆盖度的遥感估算及其动态研究[J].北京师范大学学报(自然科学版),2016,52(4):458-465.

GUAN Y B, YANG S T, ZHOU X, et al. Study on shrubs-herbs-arbor vegetation coverage and dynamic changes in the ten tributaries of Yellow River in Inner Mongolia by remote sensing method [J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science Edition), 2016, 52(4):458-465.

[28] 白雪莲,王理想,季树新,等.鄂尔多斯草原沙漠交错区生态系统健康评价:以十大孔兑为例[J].中国沙漠,2020,40(1):187-194.

BAI X L, WANG L X, JI S X, et al. Assessment of ecosystem health in grassland-desert ecotone in northern Ordos: A case study of Ten Tributaries Basin [J]. Journal of Desert Research, 2020, 40(1): 187-194.

[29] 江文甲,林满红,翁佩莹,等.福建省安溪县土地利用时空演变规律及其关键驱动因素[J].生态学报,2022,42(2):513-527.

JIANG W J, LIN M H, WENG P Y, et al. Spatio-temporal evolution of land use and its key driving factors in Anxi County of Fujian Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(2): 513-527.

[30] 刘殿君,于森森,孟庆东,等.黄河流域鄂尔多斯十大孔兑淤地坝减沙效应[J].水土保持研究,2023,30(2):42-49.

LIU D J, YU S M, MENG Q D, et al. Effect of check dams on sediment retention of the Ten Tributaries in the Ordos Basin of the Yellow River Basin[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(2): 42-49.