

# 基于 GEE 数据平台的北洛河流域 1970—2019 年 土地利用结构变化特征

邹亚东<sup>1</sup>, 何亮<sup>1</sup>, 张晓萍<sup>1,2</sup>, 马宝有<sup>3</sup>, 王浩嘉<sup>1</sup>, 王妙倩<sup>1</sup>, 薛帆<sup>1</sup>, 贺洁<sup>1</sup>

(1.西北农林科技大学 水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与干旱农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 2.中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3.延安市黄龙国有林管理局, 陕西 延安 71600)

**摘要:** [目的] 探究北洛河流域土地利用时空变化及其驱动力, 为该区土地资源优化、环境质量改善和水沙生态要素变化分析等提供科学依据。[方法] 基于 GEE 平台整理和处理北洛河流域 1970—2019 年间 6 期遥感影像数据, 从时间变化、动态度、转移方向和空间分布等角度分析流域土地利用变化特征, 并对其驱动因素进行探讨。[结果] 研究时段内, 北洛河流域土地利用类型以耕地、林地和草地为主, 数量结构从 2000 年前的 1:1.1:0.6 变化到 2000 年后的 1:2.7:0.7。1970—2019 年研究区耕地、草地和水域的减少率分别为 16.6%, 6.7% 和 0.1%, 林地和建设用地的面积增加率为 19.9% 和 1.3%。流域耕地和草地斑块趋于分散且简单化, 林地斑块趋于聚集和复杂化。土地利用转移主要以耕地转林地、耕地转建设用地和草地转林地为主。流域土地利用综合动态度先增后减, 2000—2010 年间达最大。流域中, 上游丘陵沟壑区土地利用结构变化最为显著, 其次为中游的甘泉、宜君、华池、合水等县。[结论] 国家政策的演变、社会经济发展和人口增长决定了土地利用变化的方向和程度, 自然因素为长期辅助影响因素。

**关键词:** 时空变化; 动态度; 转移方向; 土地利用程度; 北洛河流域

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2021)06-0209-11

**中图分类号:** TP79, X87, F301.1

**文献参数:** 邹亚东, 何亮, 张晓萍, 等. 基于 GEE 数据平台的北洛河流域 1970—2019 年土地利用结构变化特征[J]. 水土保持通报, 2021, 41(6): 209-219. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.06.028; Zou Yadong, He Liang, Zhang Xiaoping, et al. Characteristics of land use structure change in Beiluo River basin during 1970—2019 based on google earth engine [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(6): 209-219.

## Characteristics of Land Use Structure Change in Beiluo River Basin During 1970—2019 Based on Google Earth Engine

Zou Yadong<sup>1</sup>, He Liang<sup>1</sup>, Zhang Xiaoping<sup>1,2</sup>, Ma Baoyou<sup>3</sup>,

Wang Haojia<sup>1</sup>, Wang Miaoqian<sup>1</sup>, Xue Fan<sup>1</sup>, He Jie<sup>1</sup>

(1.State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi, 712100, China;

2.Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3.Yan'an Huanglong State Forestry Administration, Yan'an, Shaanxi 71600, China)

**Abstract:** [Objective] The spatial-temporal changes and associated driving forces of land use in the Beiluo River basin were investigated in order to provide a scientific basis for the optimization of land resources, the improvement of environmental quality and further exploration on runoff-sediment dynamics in the area. [Methods] Based on the google earth engine (GEE) platform, we sorted and processed six-phase remote sensing images acquired in 1970—2019 for the Beiluo River basin. The characteristics of land use change in the basin were captured from the perspectives of temporal variation, dynamics attitude, transfer direction and spatial structure, and the associated driving factors were explored. [Results] During the study period,

收稿日期: 2021-07-10

修回日期: 2021-09-01

资助项目: 国家自然科学基金项目“黄土高原径流泥沙过程对土地利用变化和植被演替的响应及其区域差异”(41877083); 国家自然科学基金项目(41440012, 41230852, 41101265)

第一作者: 邹亚东(1997—), 男(汉族), 陕西省榆林市人, 硕士研究生, 研究方向为土地利用与环境变化。Email: z1005@nwafu.edu.cn。

通讯作者: 张晓萍(1971—), 女(汉族), 河南省焦作市人, 博士, 研究员, 主要从事土地利用、水土流失规律及水土保持研究。Email: zhangxp@ms.iswc.ac.cn。

the land use types in the Beiluo River basin were mainly woodland, cultivated land and grassland, and the quantitative structure changed from 1 : 1.1 : 0.6 before 2000 to 1 : 2.7 : 0.7 after 2000. During 1970—2019, cultivated land, grassland and water area in the basin decreased by 16.6%, 6.7% and 0.1%, respectively, while contrarily woodland and construction land have increased by 19.9% and 1.3%, respectively. The patches of cultivated land and grassland in the basin tended to be dispersed and simple, while the woodland tended to be aggregated and complicated. Land use transfer mainly occurred as the conversion of cultivated land to woodland and construction land, and the conversion of grassland to woodland. The comprehensive land use dynamic attitude of the basin increased firstly and then decreased, reaching a peak during 2000—2010. In the basin, the upstream hilly and ravine area saw the most significant change of land use structure, followed by Ganquan, Yijun, Huachi and Heshui counties in the middle reaches. [Conclusion] The evolution of national policies, socio-economic development and population growth determine the direction and extent of land use change, and natural factors are long-term auxiliary influencing factors.

**Keywords:** temporal and spatial changes; dynamic degree; transfer direction; land use degree; Beiluo River basin

土地资源是承载社会经济发展以及人类活动过程的重要载体<sup>[1-2]</sup>。自 20 世纪 90 年代以来,土地利用/覆被变化(land use and land cover change, LUCC)在全球环境变化与可持续发展研究中变得越来越重要,成为国际地圈—生物圈计划(IGBP)和国际全球环境变化人文因素计划(IHDP)的关键研究课题<sup>[3-4]</sup>,自此 LUCC 成为全球环境变化研究的前沿和热点。土地利用结构变化按照其成因和基本特征可分为数量结构变化和空间结构变化两方面,是人类在社会活动中对自然环境作用而导致的最直观的结果<sup>[5-8]</sup>,对当地的经济、生态环境的保护以及提高全人类的生活水平质量起着至关重要的作用。目前已有许多学者围绕区域土地利用从不同角度展开了大量的研究工作,并取得了一定的研究成果。王思远等<sup>[9]</sup>对我国 20 世纪 90 年代中期至末期近 5 a 来土地利用的时空动态特征进行了定量分析,得出我国土地利用类型变化主要发生在东部和北部;周书贵等<sup>[10]</sup>以黄土高原为研究区域,运用转移矩阵的方法,描述了近 20 a 黄土高原土地利用的时空变化特征;Agaton 等<sup>[11]</sup>利用 GIS 和 RS 技术对西塔鲁姆河流域的土地利用变化进行分析,得出城市化是流域土地利用变化的主要驱动力。马晴等<sup>[12]</sup>利用遥感影像数据和土地利用变化模型,对疏勒河流域下游绿洲的土地利用变化趋势及驱动机制进行了分析。李宗怡等<sup>[13]</sup>以南京市为研究区域,从土地利用动态度、信息熵和转移方向等方面分析了其土地利用变化情况。对于土地利用变化的研究主要以国家、省、市和县等行政尺度和流域等自然区域为研究单元,通过土地利用变化的数量、转移方向、土地利用动态度和趋势预测等数学模型和方法,来揭示土地利用变化规律和驱动因素<sup>[14-15]</sup>。

北洛河流域位于黄土高原腹地,地貌类型和植被分带在黄土高原具有典型性。在退耕还林(草)等一系列政策落实之后,北洛河流域植被覆盖率得到了很大的提升<sup>[16]</sup>,极大地改善了生态环境,河道径流和输沙量显著降低<sup>[17-18]</sup>。土地利用变化作为影响区域生态环境与自然资源变化的重要因素,能为生态水文过程及碳源碳汇研究提供重要的理论基础数据支持。而目前对于北洛河流域土地利用变化的研究成果普遍较早且时间序列较短<sup>[19-20]</sup>,对于驱动力分析研究内容较少。鉴于此,本研究基于 GEE(google earth engine)数据平台和数据处理技术,选取北洛河流域 1970—2019 年间 6 期历史影像数据,对土地利用变化及驱动力进行探析,旨在揭示政策、人类活动和自然作用下,北洛河流域近 50 a 土地利用变化规律,以期为该区生态水文过程研究、碳源碳汇足迹演化及优化土地利用等提供理论依据。

## 1 研究区概况

北洛河流域位于陕西省中部、北部,地理坐标 34°39'55"—37°18'22"N,107°33'33"—110°10'30"E,是黄河二级支流,渭河一级支流,河长 680.3 km<sup>2</sup>,为陕西省跨越长度最长的河流。河流自西北向东南,流经陕、甘两省 5 地(市)18 县(区),至大荔县三河口注入渭河,流域总面积为 2.69×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>。流域地处黄河中游地区,地貌类型多样,可分为黄土丘陵沟壑区、黄土高原沟壑区、土石山区和阶地平原区。气候类型属温带半干旱和大陆性季风气候,多年平均降雨量为 514.2 mm,由北向南、自西向东递增,年内分布不均,其中 5—9 月降雨量占全年降雨量的 76.2%,多以暴雨形式出现,破坏性大,水土流失极为严重。流域植被物种多样性较为丰富,受温度及地理因素的影响,

流域内不同区位处于不同的植被分布带,定边县和靖边县处温带典型草原亚地带;华池县和吴起县处温带森林草原亚地带;甘泉县和志丹县处温带森林草原向暖温带北部落叶栎树林亚地带的过渡地带;合水县处暖温带北部落叶栎林亚地带;黄陵县、洛川县、黄龙县、宜君县、富县和甘泉县处暖温带落叶栎林亚地带<sup>[21]</sup>。上中游地区主要土壤类型为风沙土和黄绵土土壤颗粒结构多孔,易塌陷流失,下游为黑垆土、灰褐土和水稻土利于农业生产。下游阶地平原区地势平坦,耕地为主要地类。1970—2019年,耕地、林地、草地、建设用地和水域面积分别占区域总面积的79.26%,9.81%,0.62%,9.98%和0.31%。研究时段内耕地面积减少8.06%,林地增加3.02%,草地增加0.51%,建设用地增加4.76%,水域减少0.23%,主要为耕地向林地和建设用地的转移变化,地类变化较小,所以本文主要对土地利用变化较大的上中游丘陵沟壑区、土石山区和高塬沟壑区土地利用变化进行分析。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源与处理

本研究中所使用的主要数据源包括:1980(以1985年左右影像为主),1990,2000,2010和2019年5期空间分辨率为30m的Landsat TM/ETM<sup>+</sup>/OLI遥感影像,基于GEE API编程,筛选成像时间为当年5—9月,云量小于3%的Landsat遥感影像。1970年的MSS遥感影像,分辨率为80m,数据均来自于USGS(美国地质调查局)。

本研究在GEE平台上对5期Landsat TM/ETM<sup>+</sup>/OLI遥感影像进行辐射定标、大气校正和影像拼接等处理,本文根据研究区实际情况,对全部影像数据建立统一的地理坐标系(WGS),并重投影至Albers投影。解译过程:通过人工目视方式,在本研究区域内随机选取452个训练样本,并将样本点以kml格式转化为shapefile格式,以便导入GEE API中进行调用。并选取流域范围内平均分布的1000个点位,在Google Earth中对相应5期Landsat影像逐点位进行验证。参照区域地形图、土地利用现状图、Google Earth高分现实影像(0.5m分辨率)进行核校,以确保点位解译信息的准确性<sup>[2]</sup>。在1980年Landsat TM数据的基础上,利用20世纪60年代末分辨率的KH遥感影像数据,对比影像的差异,目视判断两时段土地利用类型发生变化的图斑,进行图斑形状及属性信息修正,参考1970—1980年间逐县土地利用统计数据,保证1970年数据精度,生

成1970年土地利用图。流域内随机生成1000个点位,通过GEE验证6期数据分类结果,精度分别达到78.80%,78.76%,79.32%,77.91%,82.67%和83.94%,kappa系数分别为0.6903,0.6873,0.7021,0.6732,0.7296和0.7325。土地利用类型的划分参照《土地利用现状分类》标准,依据研究区土地利用现状和特点,将其划分为耕地、林地、草地、建设用地和水域5类。

本研究涉及到的社会经济数据来源于《吴起统计年鉴》《富县统计年鉴》和《白水县统计年鉴》,还有部分数据来源于各县的统计局。

### 2.2 研究方法

2.2.1 土地利用动态度 土地利用动态度指数可以分为单一土地利用动态度 $K_1$ 和综合土地利用动态度LU,这两种模型都是对土地利用数量变化表征的模型。单一土地利用动态度。单一土地利用动态度表征的是某研究区一定时间范围内某种土地利用类型的数量变化情况,其计算公式<sup>[22]</sup>为:

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

式中: $K$ 为动态度; $U_a, U_b$ 分别为研究区初期和末期某一种土地利用类型的面积; $T$ 为研究时段长(a)。

土地利用综合动态度。与单一土地利用动态度相比,土地利用综合动态度表征的是整个研究区域在一定时间范围内各种土地利用类型的综合变化情况,是反映地类整体变化的指标,其计算公式<sup>[23]</sup>为:

$$LU = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta LU_{i-j}}{2 \sum_{i=1}^n LU_i} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

式中:LU是研究时段内的综合土地利用类型的动态度; $LU_i$ 为研究时段初期第*i*类土地利用类型面积; $\Delta LU_{i-j}$ 是研究时段内第*i*类土地利用类型转为非*i*类土地利用类型面积的绝对值; $T$ 为研究时段长。

### 2.2.2 土地利用程度

(1) 土地利用程度综合指数。人类对土地资源开发利用的改造程度和土地资源的变化程度可用土地利用综合指数来表达,其值越大,说明人类对该区域的土地利用强度越大,反之越小<sup>[24]</sup>。其计算公式为:

$$L_j = 100 \times \sum_{i=1}^n A_i \cdot C_i \quad (3)$$

$$L_j \in [100, 400] \quad (4)$$

式中: $L_j$ 为土地利用程度综合指数; $A_i, C_i$ 分别为

研究区内第  $i$  级土地利用程度分级指数和面积比重; $n$  为分级数。根据刘纪远<sup>[25]</sup>的土地利用程度分级标准进行分级(表 1)。

(2) 土地利用程度变化。土地利用程度变化是研究区内多种土地利用类型变化的结果,土地利用程度及变化量(率)可定量揭示该区域内土地利用的综合水平和变化趋势。其计算公式<sup>[25]</sup>为:

$$L_{b-a} = L_b - L_a = 100 \times \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (A_i \cdot C_{I,b}) - \sum_{i=1}^n (A_i \cdot C_{I,a})}{\sum_{i=1}^n (A_i \cdot C_{I,b})} \right] \quad (5)$$

式中: $L_a, L_b$  分别为时间  $a$  和  $b$  时间的区域土地利用程度综合指数; $A_i$  为第  $i$  级的土地利用程度分级指数; $C_{i,a}, C_{i,b}$  分别为某区域时间  $a$  和  $b$  第  $i$  级土地利用程度的面积比例。土地利用类型指数分别为:未利用地 1;林地、草地和水域 2;耕地 3;建设用地 4<sup>[26]</sup>。

2.2.3 形状结构演变分析 土地利用斑块形状和大小会影响一系列生态过程,可以反映生态环境恢复的程度。最大斑块指数(LPI)反映景观最大斑块的变化方向,值越大表明研究区受该景观大斑块的影响越大,优势度逐渐增强。周长—面积分形维数(PAFRAC)反映地类斑块的复杂程度<sup>[20]</sup>。计算公式为:

$$LPI = \frac{\max a_{ij}}{A} \quad (6)$$

$$PAFRAC = \frac{2}{\frac{[n_i \sum_{j=1}^n (\ln P_{ij} \ln a_{ij})] - \{[\sum_{j=1}^n (\ln P_{ij})] (\sum_{j=1}^n \ln a_{ij})\}}{(n_i \sum_{j=1}^n \ln P_{ij}^2) - (\sum_{j=1}^n \ln P_{ij})}} \quad (7)$$

式中: $a_{ij}$  为斑块  $ij$  的面积; $P_{ij}$  为斑块  $ij$  的周长; $A$  为地类  $i$  的总面积; $n$  为斑块数量。 $0 < LPI \leq 100$ , 值越大,表明地类大斑块优势越显著, $1 \leq PAFRAC < 2$ , 当值等于 1 时,表明斑块很简单,是一个矩形,值越接近 2,斑块越不规则。

2.2.4 聚散程度演变分析 景观生态学中用景观聚集度(AL)和景观分裂指数(division)等指标来描述景观类型中不同斑块空间分布的集聚(或离散)程度,来反映土地利用类型的空间分布特征<sup>[20,27]</sup>。其计算公式为:

$$AI = \left[ \frac{g_{ii}}{\max \rightarrow g_{ii}} \right] \times 100 \quad (8)$$

$$Division = 1 - \sum_{j=1}^n \left( \frac{a_{ij}}{A} \right) \quad (9)$$

式中: $g_{ii}$  为基于统一算法的地类  $i$  下斑块间的似然临近值; $0 \leq AI \leq 100$ , 值越大,斑块聚集度越大; $a_{ij}$  为斑块  $ij$  的面积; $A$  为地类  $i$  的总面积; $0 \leq Division < 1$ , 值越接近 1,景观分裂度越大。

表 1 北洛河流域不同时期土地利用面积及比例

土地利用类型	1970 年		1980 年		1990 年		2000 年		2010 年		2019 年	
	面积/km <sup>2</sup>	比例/%										
耕地	9 836.87	36.57	9 825.41	36.53	9 668.94	35.95	7 760.16	28.85	6 576.11	24.45	5 916.51	22.00
林地	10 427.27	38.77	10 474.93	38.94	10 602.40	39.42	13 048.01	48.51	15 255.39	56.72	15 799.05	58.74
草地	6 098.80	22.68	6 053.37	22.50	6 087.20	22.63	5 467.78	20.33	4 273.34	15.89	4 297.79	15.98
建设用地	473.38	1.76	485.88	1.81	478.24	1.78	572.28	2.13	744.79	2.77	823.69	3.06
水域	60.04	0.23	60.53	0.23	60.79	0.23	47.41	0.18	46.24	0.17	58.78	0.22

## 3 结果与分析

### 3.1 土地利用类型时空变化

从空间分布上(图 1 和表 2)来看,1970—2019 年间北洛河流域土地利用类型主要以耕地、林地和草地为主,分别占流域面积的 30.72%,46.87%和 17.14%,其中林地面积增加明显,增加面积主要分布在丘陵沟壑区和高塬沟壑区,分别占增加面积的 33.53%和 39.37%。建设用地在阶地平原区扩张较明显。在空间分布上,林地面积的 84.32%主要分布土石山区和高塬沟壑区;草地主要分布于丘陵沟壑区,占草地总面积的 77.9%;耕地在 4 个地貌区都有分布,主要集中于阶地平原区。从土地利用结构来看(表 1),地类变化

呈现明显的升降特征,流域内林地和建设用地所占比例持续增加,其中林地增幅最大,增幅达 5371.78 km<sup>2</sup>,所占比例从 1970 年的 38.77%上升至 2019 年的 58.74%,建设用地所占比例从 1970 年的 1.76%上升至 2019 年的 3.06%。耕地和草地所占比例呈下降趋势,其中耕地所占比例从 1970 年的 36.57%下降至 2019 年的 22.00%,草地所占比例从 1970 年的 22.68%下降至 2019 年的 15.98%。从地貌类型区(表 2)来看,丘陵沟壑区、土石山区和高塬沟壑区的耕地、林地和草地的面积比从 1970 年的 1:0.1:1.4,1:6.1:0.7 和 1:0.6:0.4 变成 2019 年的 1:1.6:2.9,1:15.8:0.5 和 1:2.9:0.2,3 种主要地类面积比例发生了很大的变化,丘陵沟壑区最为显著,生态环境得到了极大的改善。

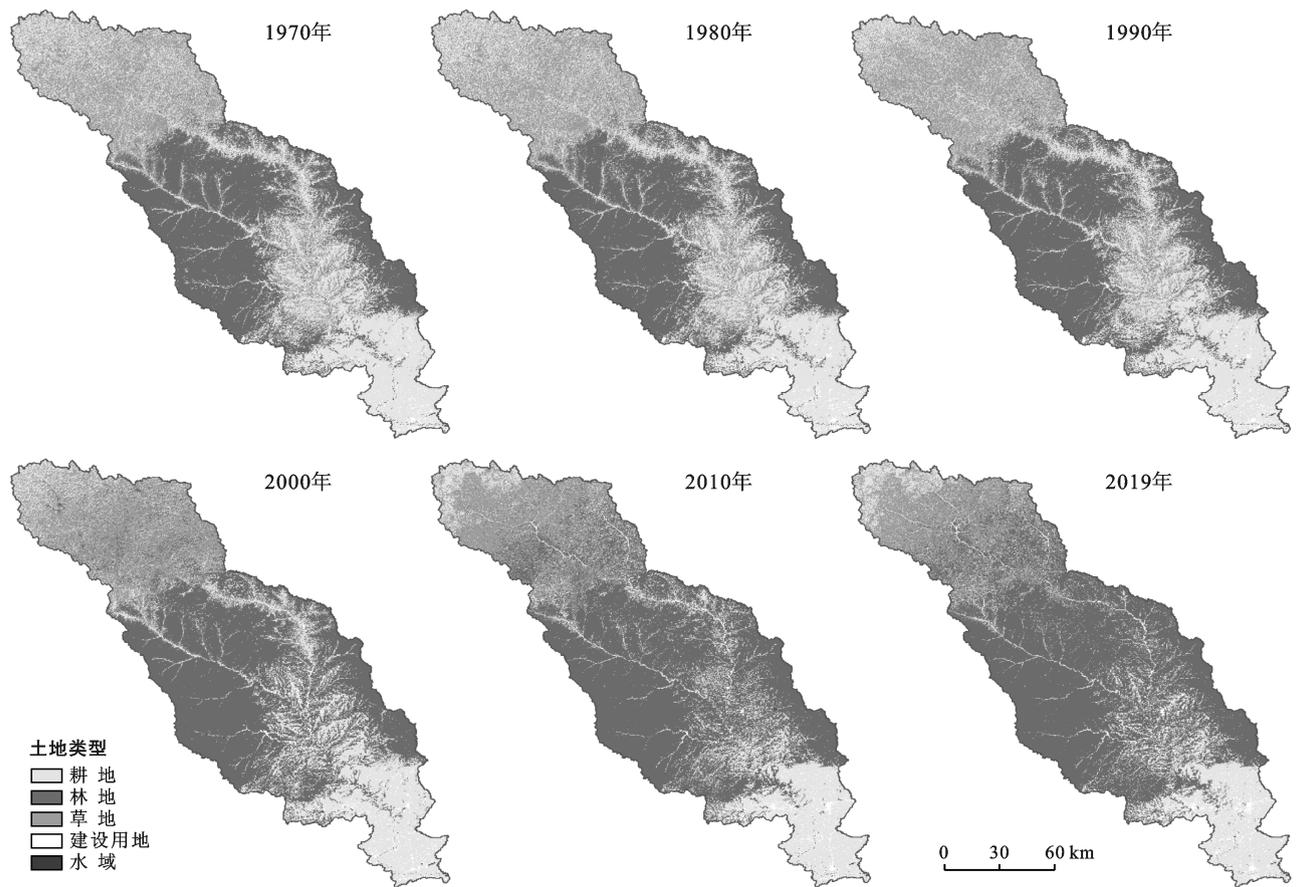


图 1 北洛河流域土地利用现状图

表 2 各地貌类型区耕地、林地和草地面积及比例

区域	土地利用类型	1970 年		1980 年		1990 年		2000 年		2010 年		2019 年	
		面积/km <sup>2</sup>	比例/%										
丘陵沟壑区	耕地	2 792.33	39.00	2 825.95	39.47	2 524.92	35.27	1 540.89	21.52	1 280.17	17.88	1 283.63	17.93
	林地	225.04	3.14	221.03	3.09	294.59	4.11	975.6	13.63	1 814.27	25.34	2 024.75	28.28
	草地	4 012.71	56.05	3 965.17	55.39	4 312.81	60.24	4 628.81	64.66	3 977.41	55.6	3 766.2	52.61
高原沟壑区	耕地	2 590.08	48.44	2 604.56	48.71	2 729.60	51.05	2 125.63	39.75	1 577.37	29.50	1 246.74	23.32
	林地	1 561.20	29.20	1 546.81	28.93	1 638.09	30.64	2 833.70	53.00	3 575.60	66.87	3 680.09	68.83
	草地	1 125.49	21.05	1 122.60	20.99	904.63	16.92	255.15	4.77	231.27	4.77	201.98	3.78
土石山区	耕地	1 376.43	12.86	1 419.28	13.26	1 451.82	13.57	1 171.66	8.28	886.17	8.28	606.32	5.67
	林地	8 332.84	77.88	8 275.57	77.34	8 338.01	77.93	8 897.52	83.15	9 455.78	88.37	9 644.09	90.13
	草地	944.88	8.83	949.61	8.87	853.81	7.98	563.99	5.27	276.28	2.58	327.27	3.06

### 3.2 土地利用变化速度

土地利用变化速度是以研究时段内土地利用类型的面积为基础,单位时段内面积变化的结果。由表 3 可知,在研究时段内,流域土地利用综合动态度呈“先增后减”的变化趋势,在 2000—2010 年间达到最大值为 12.45%,表明该时期人类活动对土地利用的影响最为强烈。从单一土地利用动态度来看,1970—2019 年间林地面积始终增加,动态度介于 0.06%~2.33%,且在 1990—2000 年间达到最大值为 2.33%。耕地面积在研究时段内均在减少,减少速度介于

0.46%~2.14%,1990—2000 年减少速度达到最大为 2.14%。草地面积在 1980—2010 年 3 个时期均在减少,并且减少速度呈增加趋势,在其余两时段均少量增加。建设用地整体呈扩张趋势发展,在 2000—2010 年变化速度达到最快。以县域为研究单元,计算各时段县域土地利用综合动态度,来反映人类活动的区域差异性。如图 2 所示,1970—1980 年各县土地利用变化速度较慢,动态度介于 0.17%~13.26%。1980—1990 年各县土地利用动态度介于 0.32%~19.81%,该时期土地利用变化速度也相对较为缓慢,动态度较

大的县主要分布在上游地区(定边、吴起、志丹、华池等县);1990—2000年各县土地利用变化速度普遍增加,吴起、富县和白水等5个县的动态度均大于30,成为该时段内土地利用变化最快的几个县域;2000—2010年各县土地利用综合动态度介于2.54%~61.17%,成为5个时期土地利用变化最快的时期;2010—2019年

间,流域内各县土地利用综合动态度相比于前一时段有所下降,综合动态度介于0.23%~42.25%,其中吴起、华池、合水和洛川等7个县的土地利用综合动态度超过30。由此看出,5个时期内丘陵沟壑区和高塬沟壑区的土地利用综合动态度较大,受人类活动影响最为剧烈。

表 3 不同时期北洛河流域土地利用动态度指数

土地利用动态度	土地利用类型	时 段				
		1970—1980年	1980—1990年	1990—2000年	2000—2010年	2010—2019年
单一土地利用动态度/%	耕地	-0.46	-0.99	-2.14	-1.63	-1.25
	林地	0.06	0.14	2.33	1.82	0.34
	草地	0.44	-1.52	-1.59	-2.49	0.61
	建设用地	1.21	-1.87	1.57	4.25	1.12
	水域	0.53	-0.36	-2.39	-1.49	0.61
综合土地利用动态度/%		4.72	6.84	9.81	12.45	5.27

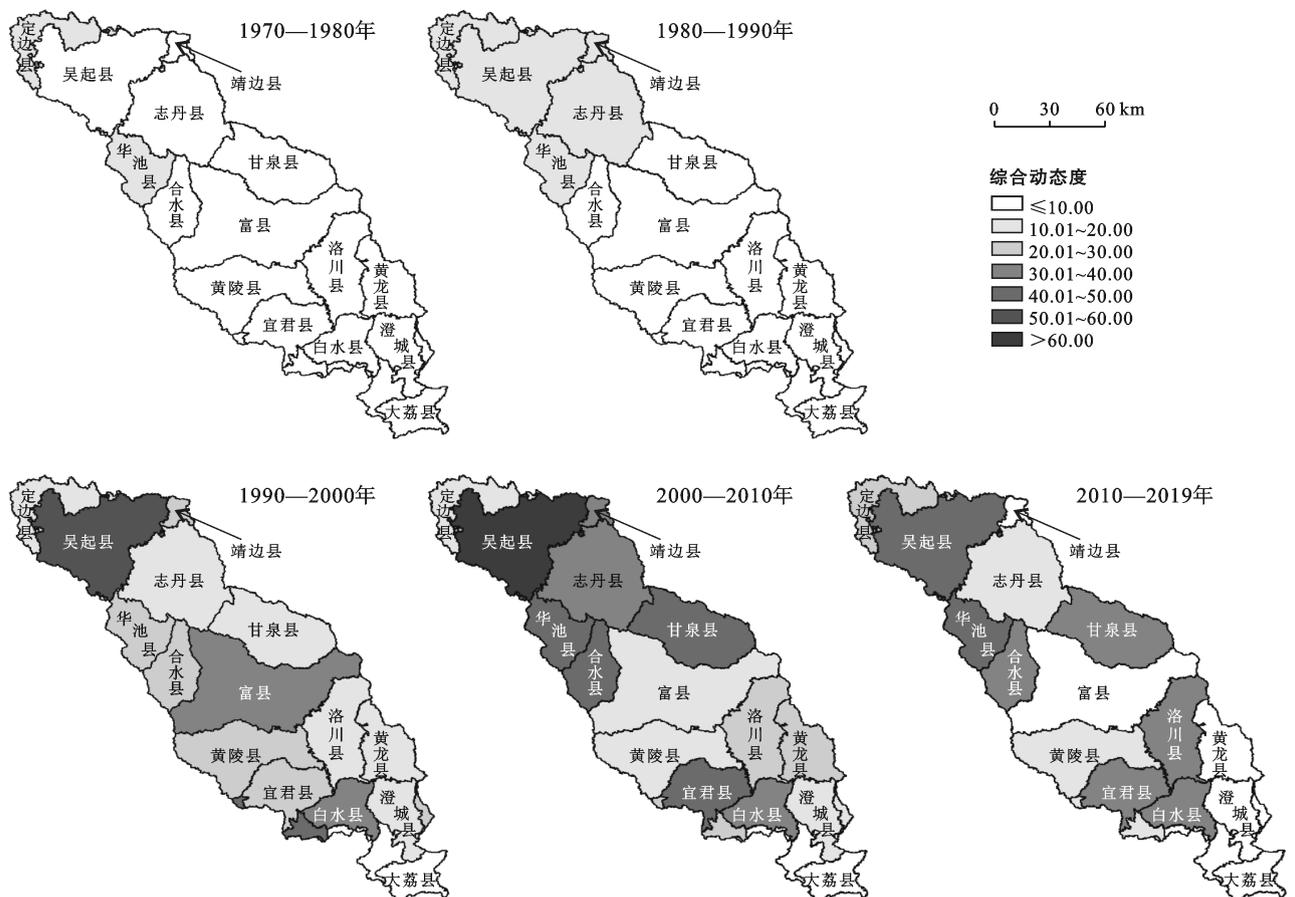


图 2 不同时期北洛河流域各县土地利用综合动态度

### 3.3 土地利用程度

如图 3 所示,流域土地利用程度综合指数呈“先增后减”变化,其值介于 228.4~240.7 之间,1990 年达到最大值,然后逐渐减少。流域地貌类型多样,各地貌类型区土地利用程度差异较大,其中阶地平原区土地利用程度最大且总体呈上升趋势,这是因为阶地

平原区主要地类为耕地,随着社会经济的快速发展,建设用地快速扩张使得地类开发程度越来越大。丘陵沟壑区、高塬沟壑区和土石山区由于退耕还林(草)工程的实施,土地利用程度综合指数总体呈递减的趋势,且丘陵沟壑区递减趋势最明显。在流域基础上,以县为研究单元计算各时段土地利用程度综合指数

变化值,反映出随着社会经济的发展,人类活动对土地利用的影响程度。由图 4 可知,1970—1990 年间流域内绝大多数县域土地利用程度处于发展期,18 个县只有少数县域的综合指数变化值为负值,其余都为正值,说明土地利用程度综合指数升高是该时期的主要趋势;1990—2000 年间,除阶地平原区(白水县、澄城县、合阳县和大荔县)外,其余各县综合指数变化量均为负,上游的吴起、志丹最为明显;2000—2010 年间,各县土地利用程度综合指数变化幅度增大,18 个县中有 17 个县的综合指数变化值为负值,其中吴起县最大达到 -19.6,主要是因为土地利用程度分级指数高的耕地向分级指数低的林地转换,说明该时期人类活动对土地利用的影响主要表现为退耕还林

(草);2010—2019 年间,各县土地利用程度综合指数减小幅度较前一时期有所减弱,吴起县仍为变化幅度最大的县。

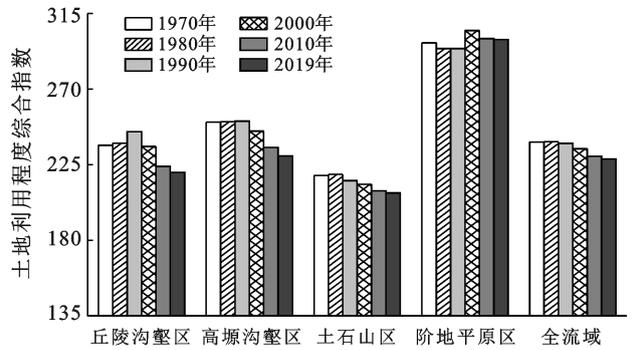


图3 全流域及各地貌类型区土地利用程度综合指数

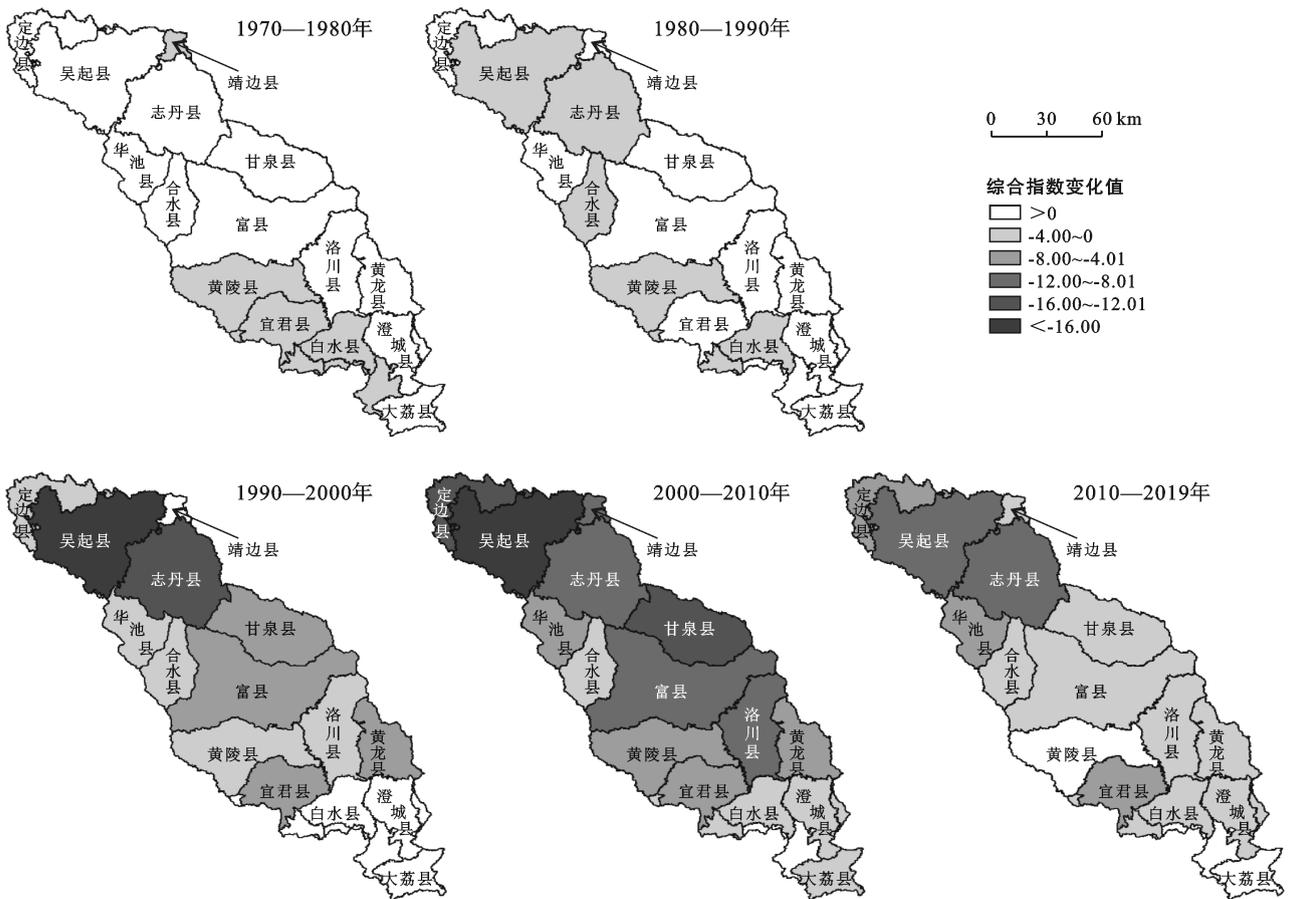


图4 不同时期流域各县土地利用程度综合指数变化

### 3.4 土地利用类型转移

基于北洛河流域土地利用转移矩阵(表4)可知,1970—1980年流域内土地利用类型变化较小,主要以林、草地向耕地转移和草地向建设用地转移为主;1980—1990年流域内地类转化类型主要为耕地转林、草地和草地转耕、林地,占流域内所有地类转化面积的77.19%。1990—2000年耕地面积净减少7.73%,主要转化为林地和草地,占转出面积的48.34%和48.96%。

林地面积增加最多,净增加9.09%,主要来自于耕地和草地,分别占转入面积的41.15%和58.43%。2000—2010年土地利用变化速度加快,以耕地、草地和林地之间转化为主。耕地面积减少4.17%,主要转化为林地,占净减少面积的92.1%。林地面积增加8.78%,主要来自于耕地和草地,分别占转移面积的43.72%和54.37%。草地面积转入4.76%,转出10.03%,主要转化成林地。2010—2019年耕地面积持续减

少,净转出 3.14%,主要转向林地、草地和建设用。林地面积持续增加,面积净增加 2.92%,但是较前一时明显减弱,耕地仍然是林地的主要来源。草地转出 3.69%,转入 4.59%,面积稍有增加,主要来自于耕

地,占转入面积的 57.19%。建设用地面积增加 0.28%,主要来源于耕地;同时有部分建设用地经土地整治转化为其他地类,以耕地为主,占转出面积的 68.35%。

表 4 北洛河流域 1970—2019 年土地利用转移矩阵

时段	地类	面积比例/%				
		耕地	林地	草地	建设用地	水域
1970—1980 年	耕地	34.16	0.65	1.20	0.17	0.02
	林地	0.85	37.74	0.44	0.03	0.00
	草地	1.30	0.52	20.78	0.15	0.00
	建设用地	0.19	0.03	0.07	1.45	0.01
	水域	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02
1980—1990 年	耕地	37.73	0.67	1.24	0.20	0.03
	林地	0.62	37.40	0.49	0.04	0.03
	草地	4.53	1.02	18.50	0.04	0.03
	建设用地	0.45	0.03	0.20	1.48	0.03
	水域	0.02	0.00	0.01	0.02	0.18
1990—2000 年	耕地	23.23	5.15	6.85	1.05	0.04
	林地	1.41	37.18	0.70	0.10	0.01
	草地	3.06	6.01	12.97	0.16	0.02
	建设用地	0.79	0.13	0.04	0.78	0.03
	水域	0.09	0.01	0.02	0.03	0.07
2000—2010 年	耕地	17.69	6.30	3.80	1.57	0.05
	林地	2.46	44.65	0.96	0.14	0.02
	草地	4.03	5.73	9.99	0.26	0.01
	建设用地	1.01	0.32	0.00	0.77	0.02
	水域	0.05	0.01	0.00	0.05	0.06
2010—2019 年	耕地	17.38	4.33	2.62	0.84	0.04
	林地	2.46	52.45	1.88	0.21	0.01
	草地	1.62	2.00	11.05	0.07	0.00
	建设用地	0.59	0.13	0.08	1.91	0.06
	水域	0.02	0.02	0.01	0.02	0.10

注:流域总面积为 26 905 km<sup>2</sup>。

### 3.5 土地利用空间结构演变分析

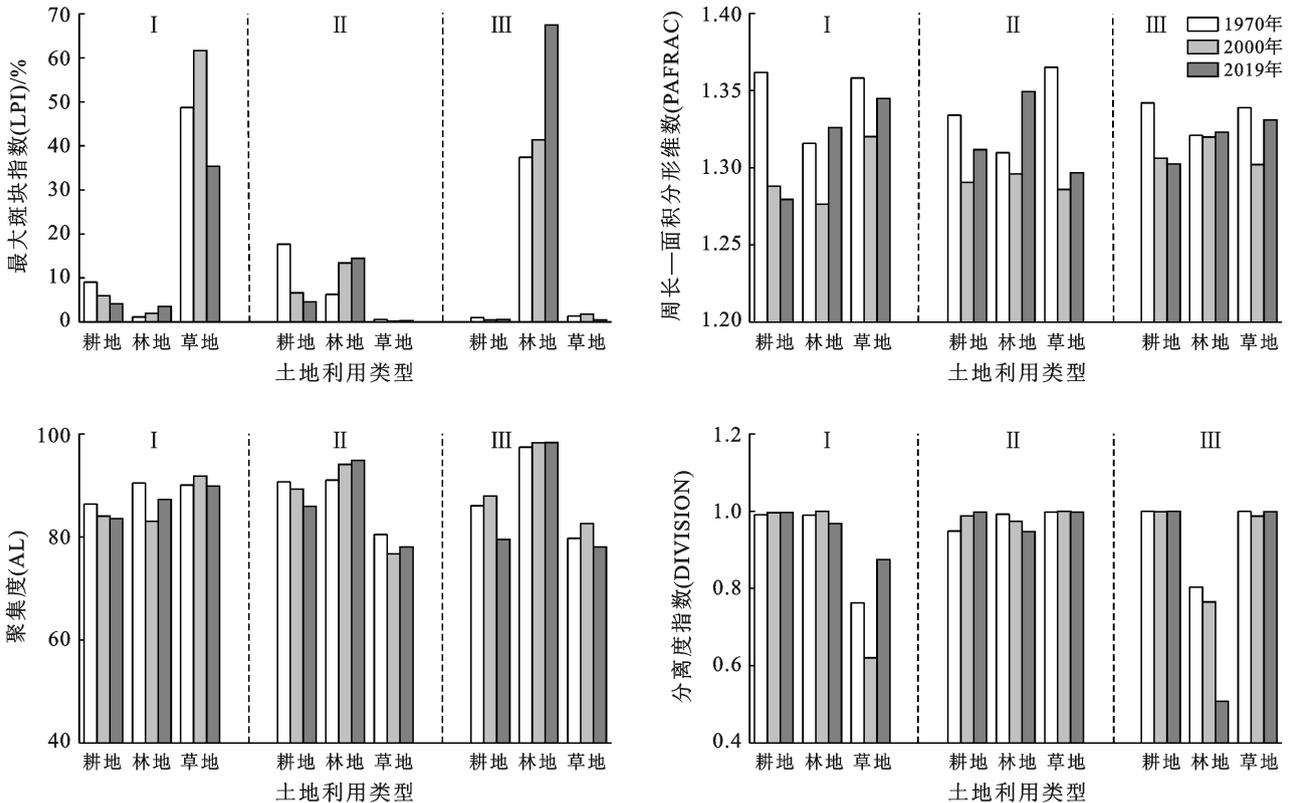
土地利用空间结构变化是指景观类型在空间上的分布、几何特征及排列特征在人类活动和气候变化影响下发生变化。在退耕还林(草)工程的影响下,北洛河流域的耕地、林地和草地无论在形状结构还是在聚散程度上都发生了很大的变化,进而对其生态功能和生态环境复杂程度有很大的影响。所以,基于退耕前、退耕初和退耕稳定期对流域内丘陵沟壑区、高塬沟壑区和土石山区的耕地、林地和草地的空间结构特征变化进行分析,来描述各地类的斑块聚集程度及大小变化。

最大斑块指数(LPI)是反映景观最大斑块的变化方向,值越大表明研究区受该景观大斑块的影响越大,优势度逐渐增强。如图 5 所示,丘陵沟壑区、高塬沟壑区和土石山区耕地 LPI 在退耕前、初和稳定期都呈递减趋势;林地 LPI 在 3 个时期都呈增加趋势,表

明林地大斑块逐渐增多,对区域生态景观的影响逐渐增强;草地 LPI 在 3 个时期除高塬沟壑区呈逐渐递减趋势,其余两个区都呈先增再减的变化趋势。周长—面积分形维数(PAFRAC)是描述斑块的复杂性的指数,值越大表明斑块形状越不规则,生态环境越复杂。如图 5 所示,丘陵沟壑区和土石山区耕地 PAFRAC 在退耕前、初和稳定期都呈逐渐递减趋势,林地和草地 PAFRAC 呈先降低后增加的变化趋势;高塬沟壑区耕地、林地和草地 PAFRAC 在 3 个时期都呈先降低后增加。LPI 和 PAFRAC 指标反映出研究区耕地向小斑块转化,林地大斑块优势越来越大,丘陵沟壑区和高塬沟壑区的林地在退耕初期分布较为破碎,且面积较小,斑块形状较为规范,随着退耕还林工作深入,大斑块开始增多,斑块形状变得越来越复杂。由图 6 可知,丘陵沟壑区和高塬沟壑区耕地 AL 在退耕前、初和稳定期均呈递减趋势, DIVISION 呈递增趋

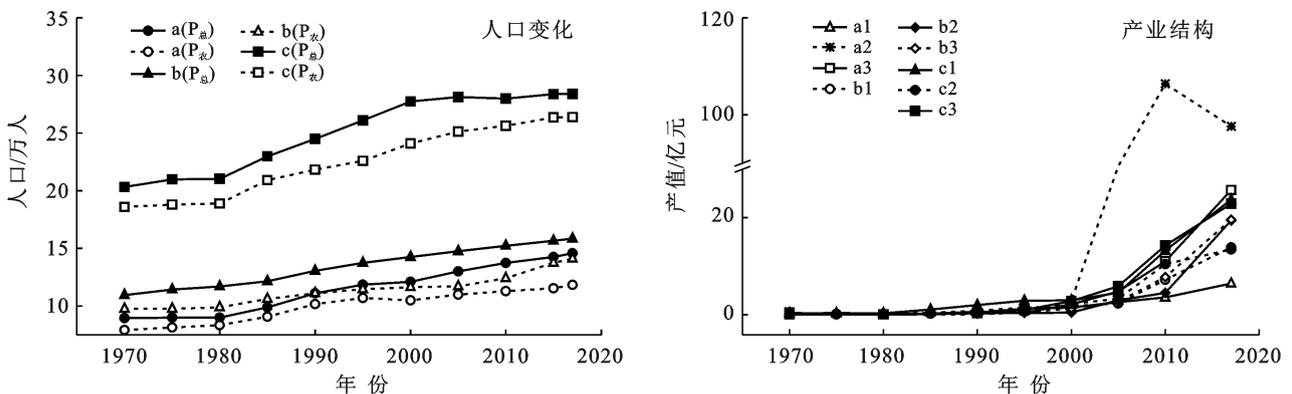
势,土石山区耕地 AL 和 DIVISION 指数反映出该区耕地先聚集后离散的变化趋势,且以离散为主。林地 AL 除丘陵沟壑区呈先减后增的变化趋势,其余两个区呈逐年增加趋势,林地 DIVISION 则和 AL 指数呈相反变化趋势,表明林地随着退耕还林(草)工作的深

入,逐渐向大斑块、聚集过程发展。丘陵沟壑区和土石山区草地 AL 呈先增后减, DIVISION 呈先减后增变化,高原沟壑区草地 AL 呈先减后增, DIVISION 呈先增后减变化趋势,3 个区域草地主要以离散变化为主。



注: I 丘陵沟壑区; II 高原沟壑区; III 土石山区

图 5 退耕前(1970 年)、初(2000 年)和稳定期(2019 年)景观空间结构指数变化



注: a 吴起县; b 富县; c 白水县; P<sub>总</sub> 表示总人口; P<sub>农</sub> 表示农村人口; 1, 2, 3 表示第一、二、三产业。

图 6 吴起县、富县和白水县 1970—2019 年社会经济因素的变化

#### 4 土地利用变化驱动因素分析

土地利用变化是一个复杂的过程,对该过程的驱动因素总体可概括为自然系统和社会系统两个方面。自然驱动因子包括气候、地貌、土壤、水文等因子,在

较大的时空尺度上对土地利用变化起着主导作用,与人类相关的经济、社会、人口和政策等方面的因素在较小的时空尺度上作用明显。基于土地利用时空演变特征分析可以看出,由于流域地貌特征差异及国家政策、水土保持、经济发展和人口增长等驱动因素的

作用方式不同,使得流域土地利用在时空尺度上有较大的差异。因此,本文从自然因素和社会系统因素两方面,并以吴起、富县、白水 3 县域代表流域上、中、下游区,对流域土地利用变化驱动因素进行分析。

#### 4.1 自然驱动因素影响

北洛河流域地貌特征多样,从上游到下游依次为丘陵沟壑区、土石山区、高塬沟壑区和阶地平原区。丘陵沟壑区地处流域上游,该区域地形起伏,沟壑纵横,水土流失严重。自然条件恶化及耕地地力下降使得一部分山地和坡地出现撂荒,由于该区属于半干旱草原区,降雨量少,气候干燥,所以撂荒耕地主要演替为草灌等地类,而且倒春寒等气候对杏、苹果等经济林产业发展有很大的影响。

土石山区和高塬沟壑区位于北洛河流域中游地区,地貌特征与丘陵沟壑区相似,该区属于暖湿性森林草原区,相对于上游降雨量较多,而且子午岭次生林区对当地气候具有很大的调节作用,气候温暖湿润,对当地的苹果等经济林发展及植被演替都具有促进作用。阶地平原区位于北洛河下游,地貌特征相比于上中游差异较大,该地区地势平坦,土壤肥沃,耕地为优势地类,适宜的气候及充足的水源,使得农业产业发展较好。

#### 4.2 社会驱动因素影响

在国家政策层面上,国家战略政策的宏观调控对土地利用影响着主导作用。1970—1990 年间,土地利用动态大的地区主要分布在上游丘陵沟壑区,该地区耕地和草地的变化率较大,主要由土地利用程度低的林草地向土地利用程度高的耕地转变;1990—2019 年动态较大的地区主要分布在中上游地区,该时期流域耕地、草地和林地的变化率较大,这种前后两时期的明显差异主要受国家政策影响。1966—1976 年间“以粮为纲”以及后来的家庭联产承包责任制促进了农村经济发展,一些荒坡、较为适宜林草地等被开垦成耕地。使得原本脆弱的自然环境更加雪上加霜,土壤侵蚀、草地退化等带来的土地退化问题更加严重,农民陷入了广种薄收,薄收更广种的耕作模式。也正是如此,1991 年颁布了《水土保持法》,尤其在 1998 年长江流域洪灾后国家加大了生态环境改善的步伐,在生态环境脆弱的西北地区大力推进三北防护林、天然林保护工程,特别是退耕还林(草)工程的大力开展使得 2000 年以来上中游林草面积增加明显,尤其上游地区最为显著,丘陵沟壑区林草地面积由 1970 年的 59.19% 增加到 2019 年的 80.89%。

同时,为了缩减东西部发展差距,国家对西部地区制定了一系列的经济扶持政策,上中游地区石油、

天然气及煤炭等矿产资源丰富,使得上中游地区二、三产业快速发展,尤其是上游地区第二产业快速成为地方经济发展的主要支柱产业,这使得一些经济效益低的耕地和草地转化成工矿用地。下游地区适宜的气候及充足的水源使得以苹果、枣等为主的农业经济产业得到了发展,同时,政府在资金和政策上的扶持,使得农业经济产业逐渐规模化,产业化发展。餐饮、商贸、旅游服务等第三产业的快速发展也促进了下游地区城市群的发展。这些对一、三产业扶持政策促进了下游阶地平原区耕地向苹果、枣等经济林地和建设用地的转化。

在社会经济层面上,自 1970 年以来人口数量快速增长,例如:吴起县人口为 14.343 万人,增加了 59.36%,富县人口为 15.89 万人,增加了 35.46%,白水县人口为 27.59 万人,增加了 35.02%(图 6)。为了满足人们对物质生存的需求,不断增加的住房、交通及公共服务设施等必然会占用大量的耕地、林地及草地等。经济发展过程实际上是对土地利用结构的优化调整和土地利用集约度提高的过程,为了实现土地利用的高收益,土地利用类型也在不断的向产出高的方向转化。1970—2019 年间,研究区的第一、二、三产业的生产值均呈逐年增加的趋势,但是由于地貌的差异性,上中下游产业比重有较大的差异。如图 7 所示,1980—2000 年吴起县、富县和白水县的第一、二、三产业产值都呈缓慢增长,该时期主要以农业经济为主;2000—2019 年吴起县产业结构发生了很大的变化,第二产业成为主导产业,产值占比由 44% 增加到 76.8%,一、三产业发展较慢;富县产业结构相对均衡;白水县第一和第三产业增长速度要大于第二产业,主要以农业和商业为主。由表 1 和表 5 可知,1970—2019 年,流域中建设用地面积增加了 350.38 km<sup>2</sup>,主要来源于耕地和草地,且在 2000 年以后增速加快。因此可以看出,人口增长和产业结构变化对土地利用变化也有很大的影响。

## 5 结论

(1) 1970—2019 年北洛河流域土地利用类型主要以林地、耕地和草地为主,土地利用变化过程中,耕地和草地面积持续减少,所占百分比分别从 1970 年的 36.57% 和 22.68% 减少到 2019 年的 22% 和 15.98%;林地和建设用地面积持续增加,增幅分别为 19.97% 和 1.3%;水域面积呈动态变化,稍有较少。结构上,流域耕地和草地趋于分散且斑块简单化,林地斑块趋于聚集复杂化发展。人类活动对北洛河流域土地利用的影响方式主要表现为耕地转林地、耕地转建设用

地、草地转林地的土地利用转移特点。

(2) 1970—2019 年北洛河流域土地利用综合动态度分别为 6.72%, 6.84%, 9.81%, 12.45% 和 5.27%, 呈现先增后减的趋势, 其中上中游地区的吴起、志丹、黄陵、甘泉和黄陵等县土地利用变化速度较快。

(3) 1970 年以来, 北洛河流域土地利用程度综合指数总体呈下降的趋势, 土地利用开发水平不断减小, 地貌类型的多样性使得区域之间以及区域和整个流域之间的土地利用程度差异较大, 阶地平原区农业经济较为发达, 土地利用程度大于全流域, 且整体呈增加的趋势, 其他地貌区整体呈下降趋势。

(4) 北洛河流域土地利用变化主要驱动因素为人为因素, 自然因素为长期的辅助影响因素, 其中国家政策、社会经济发展和人口增长为主要驱动力。

**致谢:** 许小明、易海杰、田起隆和吕渡在文章思路、数据处理、绘图及后期文章修改过程中的指导和帮助, 在此一并感谢老师及整个课题组同学们在文章撰写过程中的帮助。

#### [参 考 文 献]

- [1] 张丽, 杨国范, 刘吉平. 1986—2012 年抚顺市土地利用动态变化及热点分析[J]. 地理科学, 2014, 34(2): 185-191.
- [2] 王治良, 路春燕. 呼伦贝尔草原区土地利用及景观格局变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(12): 91-97.
- [3] Turner B L, Skole D, Sanderson S, et al. Land-use and Land-Cover Change Science/Research Plan [M]. Stockholm: IGBP, 1995.
- [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, 51(6): 553-558.
- [5] Ramankutty N, Foley J A. Estimating historical changes in global land cover: Croplands from 1700 to 1992 [J]. Global Biogeochemical Cycles, 1999, 13(4): 997-1027.
- [6] Tesfaw A T, Pfaff A, Kroner R G, et al. Land-use and land-cover change shape the sustainability and impacts of protected areas [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2018, 115(9): 2084-2089.
- [7] 程磊, 徐宗学, 罗睿, 等. 渭河流域 1980—2000 年 LUCC 时空变化特征及其驱动力分析[J]. 水土保持研究, 2009, 16(5): 1-6, 30, 287.
- [8] 马才学, 孟芬, 赵利利. 1990-2005 年武汉市土地利用时空变化及其政策驱动因素分析[J]. 水土保持研究, 2015, 22(2): 117-122.
- [9] 王思远, 刘纪远, 张增祥, 等. 中国土地利用时空特征分析[J]. 地理学报, 2001, 56(6): 631-639.
- [10] 周书贵, 邵全琴, 曹巍. 近 20 年黄土高原土地利用/覆被变化特征分析[J]. 地球信息科学学报, 2016, 18(2): 190-199.
- [11] Agaton M, Setiawan Y, Effendi H. Land use/land cover change detection in an urban watershed: A case study of upper Citarum watershed, West Java Province, Indonesia [J]. Procedia Environmental Sciences, 2016, 33(2): 654-660.
- [12] 马晴, 李丁, 廖杰, 等. 疏勒河中下游绿洲土地利用变化及其驱动力分析[J]. 经济地理, 2014, 34(1): 148-155.
- [13] 李宗怡, 葛欣怡. 南京市土地利用变化及其驱动力分析[J]. 中国林业经济, 2020, 14(5): 14-18.
- [14] 杨庆媛, 毕国华, 陈展图, 等. 喀斯特生态脆弱区休耕地的空间配置研究: 以贵州省晴隆县为例[J]. 地理学报, 2018, 73(11): 2250-2266.
- [15] 司慧娟, 付梅臣, 袁春, 等. 青海省土地利用结构信息熵时空分异规律及驱动因素分析[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(6): 38-42.
- [16] 何亮, 吕渡, 张晓萍, 等. 基于 MODIS 的北洛河流域植被盖度变化研究[J]. 人民黄河, 2020, 42(2): 67-71, 76.
- [17] 刘二佳, 张晓萍, 谢名礼, 等. 生态恢复对流域水沙演变趋势的影响: 以北洛河上游为例[J]. 生态学报, 2015, 35(3): 622-629.
- [18] 张亭亭, 张建军, 郭敏杰, 等. 北洛河流域不同地貌和植被类型区径流演变特征及控制因素[J]. 水土保持学报, 2014, 28(4): 78-84.
- [19] 吴琳娜, 杨胜天, 刘晓燕, 等. 1976 年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 54-63.
- [20] 何亮. 1980-2019 年北洛河流域土地利用和土地覆被变化分析[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2020.
- [21] 田起隆, 许小明, 张晓萍, 等. 北洛河流域植物多样性地理格局与环境因子关系[J/OL]. 中国环境科学: [2021-04-05]. <https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20210326.001>.
- [22] 鲁春阳, 齐磊刚, 桑超杰. 土地利用变化的数学模型解析[J]. 资源开发与市场, 2007, 23(1): 25-27.
- [23] 冯舒芮, 黄琦, 杨京彪, 等. 三江源地区土地利用程度的时空变化分析[J]. 中央民族大学学报(自然科学版), 2020, 29(3): 21-27, 60.
- [24] 周云凯, 白秀玲, 姜加虎. 1989 年至 2006 年鄱阳湖区土地利用动态变化研究[J]. 资源科学, 2011, 33(6): 1186-1194.
- [25] 刘纪远. 国家资源环境遥感宏观调查与动态监测研究[J]. 遥感学报, 1997, 1(3): 225-230.