

山地流域土地利用时空演变的地形梯度特征

——以乌江北源为例

吴彦潮, 赵翠薇, 韩冰倩

(贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵阳 550001)

摘要:地形因子是丘陵山区土地利用空间分布格局的重要影响因素之一,对土地的利用方式和空间格局有着直接作用。以乌江北源 2000 年、2005 年和 2010 年 Landsat TM/ETM 遥感影像为数据源,采用高程、坡度、地形位指数 3 个指标,分析了山地流域土地利用时空演变的地形梯度特征。结果表明:(1) 2000—2010 年,林地、建设用地和水域用地面积增加,耕地和草地面积减少。土地利用类型以林地和耕地为主,反映了山地流域土地利用结构特点;(2) 研究区土地利用类型的地形梯度特征明显。耕地、建设用地、水域用地在低地形梯度上有明显分布优势。林地、未利用地分布优势在高地形梯度上;(3) 耕地、建设用地优势分布主要受坡度梯度的影响,高程梯度决定了水域用地的分布,这与其他平原、丘陵地区有所不同。地形因素是山地流域土地利用结构演变的决定性因素,其他社会、经济、人文因素都对该区域土地利用格局的转变起到推动作用。在对山地流域土地开发利用过程中,应兼顾生态效益和社会经济效益,保障河流源区生态经济的持续发展。

关键词:土地利用;地形梯度;效应分析;山地流域

中图分类号:F301.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)01-0161-06

Characteristics of Land Topographic Gradient Caused by Temporal and Spatial Evolution in Mountainous Watershed

—A Case Study of Northern Wujiang

WU Yanchao, ZHAO Cuiwei, HAN Bingqian

(School of Geography and Environment Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

Abstract: Terrain factor is one of the most important factors in spatial distribution pattern of land use in hilly and mountainous areas, which has a direct effect on the land use pattern and spatial pattern. Based on the remote sensing data of Landsat TM/ETM images in 2000, 2005, and 2010, from the perspectives of elevation, slope and terrain index, we analyzed the land use spatiotemporal evolution along the terrain gradient features in mountainous watershed area. The results showed that: (1) from 2000 to 2010, forestland, construction land and water area increased, farmland and grassland areas reduced, land use type gave the priority to forestland and cultivated land which reflected the characteristics of mountain watershed land use structure; (2) type terrain gradient feature of study area land use was obvious, cultivated land, construction land, water area had obvious advantages in low gradient and forestland and unused land had distribution advantage on the high terrain gradient; (3) the advantage of distribution of cultivated land and construction land was mainly affected by slope, elevation gradient determined the distribution of water area, which was different from plain and hilly regions. Topography is the decisive factor in the evolution of the land use structure in mountainous watershed regions, and social, economic, cultural factors promote the change of the land use pattern. In the course of land exploitation of mountain watershed, the consideration should be given to both ecological profit, social profit and economic profit to ensure sustainable development of ecological economy in the river source areas.

Keywords: land use; topographic gradient; effect analysis; mountainous watershed

收稿日期:2016-01-08

修回日期:2016-02-04

资助项目:国家自然科学基金“西南山地流域城市化与生态环境的耦合关系研究——以乌江北源为例”(41261039);贵州省科技厅社发攻关项目“资金约束条件下河流源区生态重建研究——以乌江流域为例”(黔科合SY字[2013]3168号)

第一作者:吴彦潮(1990—),男,江苏徐州人,在读硕士,研究方向为土地利用与资源环境。E-mail:745778788@qq.com

通信作者:赵翠薇(1968—),女(白族),贵州大方人,教授,主要从事山地流域土地利用与生态环境保护研究。E-mail:zhaocuiwei@sohu.com

土地利用/覆被变化(Land use/cover change, LUCC)作为人类活动与自然环境相互作用最直接的表现形式^[1-2],自20世纪90年代以来,逐渐成为全球环境变化和可持续发展研究的核心^[3-5]。地形是丘陵山区土地利用空间分布格局的重要影响因素之一^[6],在一定程度上决定着土地利用的方向^[7-9],对土地利用方式和空间格局有着直接作用^[10]。国内外学者选取高程、坡度、坡向、地形起伏度等因子分析地形对土地利用的影响^[11-12],并将高程和坡度综合为地形位指数揭示土地利用变化的地形梯度特征^[13-15]。在已有研究中,以流域为尺度的研究主要集中在丘陵、平原地区,对山地流域的研究相对较少。研究山地流域土地利用变化的地形梯度特征,对其土地利用结构优化及生态环境保护具有重要意义。

乌江北源是贵州省第一大河乌江的北部发源地,区内海拔较高,地形起伏度大,地形梯度特征明显。近年来,随着经济社会的发展,河流源区退耕还林等政策的实施,使流域内土地利用发生深刻变化。拟选取高程、坡度、地形位指数3个表征区域地形特征的指标,分析2000—2010年乌江北源土地利用时空演变的地形梯度特征,以期为区域土地利用格局的调控及生态保护提供科学依据。

1 研究区概况

乌江北源即六冲河,是乌江最大的一级支流,流域范围位于 $104^{\circ}19'17''$ — $106^{\circ}7'24''$ E, $26^{\circ}32'7''$ — $27^{\circ}33'19''$ N,流域总面积 $10\,874\text{ km}^2$,其中,除小部分位于云南省镇雄县境内,大部分位于贵州省西北部的毕节市境内。

研究区属亚热带高原气候,年均气温 10°C ,降雨主要集中在夏季,占全年降雨量的86.06%。区域土地利用以林地和耕地为主,两种土地利用类型的面积占研究区总面积的80%以上。地带性植被为亚热带常绿阔叶林,土壤主要以黄壤和黄棕壤为主,二者占土壤总面积的62.92%。该区域经济发展基础薄弱,由于山地面积比重大,河谷深切,人口多分布在狭窄的河谷或坡麓地带,人口分布不均,人地矛盾较为突出。受资料限制,研究区范围限定在贵州省境内,主要流经毕节市的赫章、七星关区、纳雍、大方、织金、黔西和威宁7个县共计128个乡镇。

2 研究方法

2.1 数据来源与处理

DEM数据来源于地球系统科学数据共享平台,空间分辨率为 $30\text{ m}\times 30\text{ m}$ 。通过ArcGIS水文分析

模块提取生成乌江北源流域范围。

土地利用数据运用监督分类方式,通过研究区2000年、2005年、2010年空间分辨率为 30 m 的Landsat TM/ETM遥感影像,以研究区1:5万地形图作为参考进行解译。经检验,Kappa系数分别为0.82,0.83,0.83,解译结果能满足研究需要。依据全国生态系统土地覆被I、II级分类系统,将土地利用方式分为林地、耕地、草地、建设用地、水域用地和未利用地6类(附图2—3)。将3期土地利用矢量数据转化为栅格数据,栅格大小为 $30\text{ m}\times 30\text{ m}$ 。

2.2 研究方法

2.2.1 地形梯度分级 高程和坡度是影响山地丘陵地区景观格局分布最主要的因素,但高程和坡度往往综合发生作用,因此在选取高程和坡度的同时,选取叠加了高程和坡度信息的地形位指数^[16],分析土地利用的地形梯度特征。

根据坡度对土地利用的影响,参照《贵州农业地貌区划》坡度分级指标,将坡度梯度分为6类(表1)。以DEM数据为基础,利用ArcGIS空间分析工具,生成高程和坡度图(图1)。

为了定量分析土地利用变化与地形梯度之间的相互关系,选取地形位指数来度量地形梯度特征,其公式为^[7,17]:

$$T = \ln \left[\left(\frac{E}{E_0} + 1 \right) \cdot \left(\frac{S}{S_0} + 1 \right) \right] \quad (1)$$

式中: T 为地形位指数; E 和 S 分别为某点的高程(m)和坡度($^{\circ}$); E_0 和 S_0 分别为该点所在区域的平均高程(m)和坡度($^{\circ}$)。高程越高,坡度越大,则地形位指数 T 越大,反之越小;高程较高,但坡度较小,或高程较低,但坡度较大,则地形位指数 T 居中。

结合研究区实际情况,采用Equal Interval法将地形位指数分为12级,并将其分为低、较低、较高、高4个梯度(表2)。通过地理信息建模将高程图和坡度图叠加,生成地形位图。

2.2.2 地形梯度效应分析 分布指数可以反映土地利用类型在不同地形梯度上的分布特征,同时能够消除地形区段和土地利用面积比重差异带来的量纲影响^[18-19]。公式如下:

$$P = \left(\frac{S_w}{S_i} \right) \cdot \left(\frac{S}{S_e} \right) \quad (2)$$

式中: P 为分布指数; e 代表地形因子; S_w 为 e 地形位下第 i 种地类面积; S_i 是 i 地类面积; S_e 为 e 种地形位下的总面积; S 是研究区域总面积。若分布指数大于1,表明该土地利用类型呈优势分布,指数值越大,优势度越高;若分布指数小于1,则呈现劣势分布,指数值越小,优势度越低。

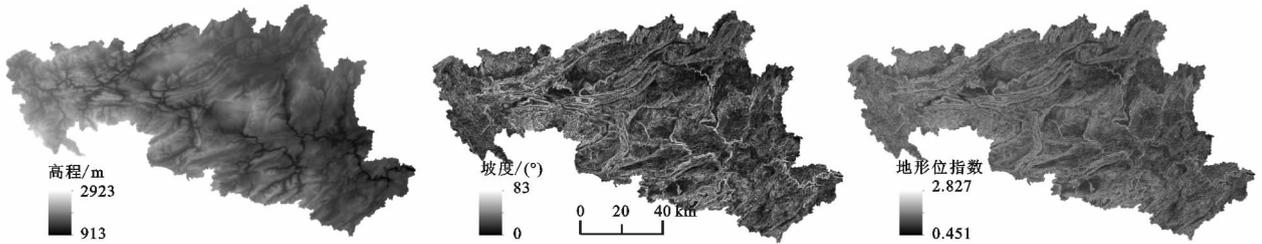


图 1 研究区高程、坡度、地形位示意图

表 1 高程、坡度分级及面积比例

项目	分级	面积比例/%	
高程	1	<1200	2.17
	2	>1200~1400	12.99
	3	>1400~1600	29.94
	4	>1600~1800	26.32
	5	>1800~2000	16.98
	6	>2000	11.60
坡度	1	0~5	9.79
	2	>5~8	12.76
	3	>8~15	32.16
	4	>15~25	29.60
	5	>25~35	11.69
	6	>35	4.00

表 2 地形位因子分级及面积比例

地形位	分级	面积比例/%	
低	1	$\geq 0.451 \sim 0.649$	
	2	$> 0.649 \sim 0.847$	18.20
	3	$> 0.847 \sim 1.045$	
较低	4	$> 1.045 \sim 1.243$	44.60
	5	$> 1.243 \sim 1.441$	
较高	6	$> 1.441 \sim 1.639$	31.30
	7	$> 1.639 \sim 1.837$	
	8	$> 1.837 \sim 2.035$	
高	9	$> 2.035 \sim 2.233$	
	10	$> 2.233 \sim 2.431$	5.90
	11	$> 2.431 \sim 2.629$	
	12	$> 2.629 \sim 2.827$	

3 结果与分析

3.1 研究区土地利用变化特征

乌江北源 2000 年、2005 年、2010 年土地利用数量结构表明(表 3):区域内土地利用以耕地和林地为主,两种土地利用类型的面积分别占研究区 2000 年、2005 年、2010 年总面积的 81.81%,81.04%,81.05%,其中林地面积最大,2000 年、2005 年、2010 年分别占研究区总面积的 49%,49.23%,50.53%;水域用地面积最小,但面积比例有所增加,从 2000 年的 0.24% 提升到 2010 年的 0.71%。

2000—2010 年耕地数量呈减少趋势,除了退耕还林变化为林地之外,建设用地占用耕地也是重要原因

之一。10 年间,建设用地面积有所增加,所占比例由 2000 年 1.39% 增加到 2010 年 1.44%。但总体看来,研究区建设用地面积较小,增长速度较慢,主要原因在于研究区经济社会发展相对落后,发展速度较为缓慢。2000—2005 年草地面积呈先增加后降低趋势,这归因于退耕还林/还草政策的实施,2005 年后部分草地转化为林地。水域用地比例在 10 年间大幅增加,主要原因在于水利设施的建设,加强了水库蓄水功能,例如:洪家渡水电站自 2004 年建成以来,总库容达 45.89 亿 m^3 ,增加了水域面积,改变了水库附近的土地利用结构。研究区内地形起伏度大,地形情况复杂,未利用地多分布于海拔较高处,加之坡度等自然因素影响,使研究区未利用地面积未发生较大变化。

3.2 土地利用变化的地形梯度特征

3.2.1 高程梯度及变化特征 研究区土地利用的高程梯度特征明显。耕地在海拔 1 600 m 以下地形分布指数 > 1 ,呈优势分布,其中在 1 200~1 400 m 带最大,为 1.57,在 $> 2 000$ m 最小,为 0.5;2000—2010 年其分布指数在 1 200 m 以下区域显著减小,1 200~1 600 m 略有上升且逐年增高,其余高度带分布优势变化不大。林地分布优势区域在海拔 1 600 m 以上,在海拔 2 000 m 以上地区呈最优分布。2010 年较 2000 年相比,其分布指数在海拔 1 800 m 以上地区有所降低,但仍为优势分布区域。在 $> 2 000$ m 地区,分布指数为 1.30,优势度依然最高。但 2000—2010 年分布指数最小值所在区间有所不同,2000 年分布优势最小值为海拔 1 200~1 400 m,2010 年在 $< 1 200$ m 地区,分布指数分别为 0.61,0.51。草地的分布优势区域在 1 200~1 600 m,其中,在 1 200~1 400 m 分布指数最大,2005 年为 1.11,但 2010 年有所下降;在 $> 2 000$ m 地区内,仅 2000 年呈优势分布。建设用地在 $< 1 600$ m 地区随着高程增加分布指数逐年提高,在海拔 1 200~1 600 m 分布指数大于 1,在 1 400~1 600 m 区域分布优势最大。随着海拔的增高,建设用地的分布优势大幅降低,在 $> 2 000$ m 处分布指数达到最低值。水域用地在 $< 1 200$ m 呈最优分布,未利用地在高程 $> 1 800$ m 区间分布指数大于 1,并在 $> 2 000$ m 地区分布指数达到最大(表 4)。

表3 2000—2010年乌江北源土地利用变化统计

地类	2000年		2005年		2010年	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
耕地	3259.62	32.81	3160.05	31.81	3032.05	30.52
林地	4869.13	49.00	4891.82	49.23	5021.02	50.53
草地	1369.86	13.79	1403.89	14.13	1390.75	14.00
建设用地	137.83	1.39	138.68	1.40	143.25	1.44
水域用地	23.98	0.24	65.78	0.66	70.36	0.71
未利用地	275.26	2.77	275.46	2.77	278.25	2.80
合计	9935.68	100.00	9935.68	100.00	9935.68	100.00

表4 2000—2010年乌江北源土地利用类型高程梯度特征

高程分级/m	不同地类分布指数																	
	耕地			林地			草地			建设用地			水域用地			未利用地		
	2000年	2005年	2010年	2000年	2005年	2010年	2000年	2005年	2010年	2000年	2005年	2010年	2000年	2005年	2010年	2000年	2005年	2010年
<1200	1.42	1.07	1.02	0.64	0.50	0.51	0.80	0.79	0.77	0.45	0.45	0.43	32.26	41.00	41.09	0.91	0.91	0.91
1200~1400	1.54	1.56	1.57	0.61	0.61	0.64	1.10	1.11	1.10	1.51	1.52	1.53	1.27	0.47	0.44	0.74	0.74	0.74
1400~1600	1.29	1.30	1.31	0.79	0.80	0.81	1.05	1.05	1.05	1.67	1.67	1.68	0.26	0.10	0.11	0.70	0.70	0.69
1600~1800	0.83	0.83	0.82	1.14	1.14	1.14	0.96	0.96	0.96	0.74	0.74	0.73	0.13	0.05	0.05	0.99	0.99	1.01
1800~2000	0.64	0.64	0.64	1.27	1.27	1.25	0.93	0.93	0.93	0.41	0.40	0.39	0.13	0.05	0.04	1.26	1.26	1.26
>2000	0.48	0.49	0.50	1.33	1.33	1.30	1.00	0.98	0.99	0.26	0.25	0.25	0.01	0	0	1.72	1.72	1.71

高程分级/m	不同地类面积比例/%																	
	耕地			林地			草地			建设用地			水域用地			未利用地		
	2000年	2005年	2010年	2000年	2005年	2010年	2000年	2005年	2010年	2000年	2005年	2010年	2000年	2005年	2010年	2000年	2005年	2010年
<1200	3.08	2.32	2.22	1.39	1.08	1.11	1.73	1.70	1.67	0.97	0.97	0.94	69.95	88.90	89.09	1.97	1.97	1.98
1200~1400	20.04	20.22	20.35	7.90	7.99	8.26	14.26	14.45	14.33	19.59	19.68	19.88	16.47	6.11	5.76	9.67	9.67	9.64
1400~1600	38.60	38.98	39.20	23.80	23.95	24.26	31.35	31.52	31.36	49.97	50.03	50.36	7.77	2.87	3.17	20.82	20.82	20.72
1600~1800	21.90	21.97	21.55	29.91	30.00	30.05	25.17	25.18	25.23	19.61	19.52	19.33	3.48	1.27	1.18	26.15	26.17	26.51
1800~2000	10.80	10.89	10.88	21.54	21.53	21.25	15.88	15.73	15.88	6.88	6.84	6.63	2.18	0.79	0.74	21.40	21.40	21.37
>2000	5.57	5.63	5.80	15.47	15.44	15.08	11.61	11.41	11.54	2.98	2.96	2.86	0.15	0.06	0.05	19.99	19.98	19.78

3.2.2 坡度梯度及变化特征 研究区土地利用结构变化坡度梯度特征明显(表5),除林地、草地、未利用地外,其他地类主要集中分布于25°以下区域。林地、未利用地在>15°地区分布优势较为显著,分布指数大于1。其中,林地随着坡度的增加分布指数逐渐加大,在35°以上区域优势度最大,分布指数为1.37,2000—2010年分布优势区间集中在15°以上区域,优势分布特征逐渐显现。未利用地分布指数随着坡度等级加大,优势度也不断提升,在35°以上区域提升最为明显,并达到分布指数最大值。耕地、建设用地在15°以下地区呈优势分布,分布指数随坡度的增大而减小。耕地最优分布区间为0°~5°,2000—2010年耕地分布指数在0°~5°,5°~8°,8°~15°区间有所增加,在0°~5°范围内分布指数提升幅度最大。建设用地在0°~5°区域内优势度最为明显,分布指数为2.59,随着坡度等级的增加,其分布指数下降明显,2000—2010年不同坡度等级上的分布指数相对稳定。草地在8°~35°分布指数大

于1,呈优势分布,10年间优势度未发生明显波动。水域用地在0°~5°优势度最大,2010年分布指数较2000年有所降低,其优势分布逐步向5°~8°转移。

3.2.3 地形位梯度及变化特征 高程、坡度虽能表现土地利用的空间格局及其时空变化特征,但高程、坡度等往往对土地利用产生综合影响。因此,从综合角度系统研究地形梯度对土地利用空间分布及其格局变化的影响,更具科学性和实践意义^[7]。

地形位梯度及变化特征显示(表6),耕地、建设用地地形梯度特征相似,分异明显,在1—4区间上分布优势突出,分布指数均大于1。2000—2010年,耕地的最优分布区域由第1级转向第2级,分布指数均为1.82。2000年、2005年和2010年,建设用地的分布指数最大值均在第2级,分别为3.28,3.28,3.30。两种土地利用类型在2—4级优势度持续减弱。这表明,地形特征影响了人类活动范围,在高程、高坡度地区人类活动受到限制。林地在5—12级呈优势分布,并随

着地形位分级的增大,分布优势逐渐加强,但在 10—12 级分布指数出现回落,最大值分布在第 10 级。在林地优势分布区间内,2000—2010 年分布指数主要波动同样出现在第 10—12 级,其他年份基本保持平衡。草地优势分布区域处于较低和较高区间内,2000 年、2005 年和 2010 年分布指数较为平稳,优势度未发生明显改变。水域用地优势区域集中分布于低地形位梯度,在

1 级分布优势最大,说明水域分布严格受地形位制约,集中分布于低地形位区域,其优势分布区体现了研究区湖泊和水库的分布状况。未利用地分布优势随着地形位指数的增大持续增强,2000 年、2005 年和 2010 年峰值均出现在 12 级,2010 年分布指数较 2000 年有所降低。整体看来,2000—2010 年未利用地分布优势减弱力度随着地形位等级的升高而加大。

表 5 2000—2010 年乌江北源土地利用类型坡度梯度特征

坡度分级/(°)	不同地类分布指数																	
	耕地			林地			草地			建设用地			水域用地			未利用地		
	2000 年	2005 年	2010 年	2000 年	2005 年	2010 年	2000 年	2005 年	2010 年	2000 年	2005 年	2010 年	2000 年	2005 年	2010 年	2000 年	2005 年	2010 年
0~5	1.47	1.49	1.53	0.69	0.68	0.68	0.86	0.85	0.85	2.58	2.58	2.59	2.55	2.23	2.18	0.72	0.71	0.71
5~8	1.33	1.34	1.37	0.78	0.78	0.78	0.94	0.93	0.94	1.90	1.87	1.87	1.35	1.42	1.41	0.79	0.79	0.79
8~15	1.11	1.11	1.13	0.93	0.93	0.92	1.01	1.00	1.00	1.05	1.05	1.05	0.79	0.95	0.97	0.92	0.92	0.92
15~25	0.81	0.81	0.79	1.12	1.12	1.12	1.06	1.06	1.06	0.46	0.45	0.45	0.61	0.61	0.61	1.12	1.12	1.12
25~35	0.59	0.58	0.53	1.27	1.28	1.29	1.04	1.05	1.04	0.24	0.24	0.24	0.67	0.56	0.56	1.19	1.19	1.19
>35	0.48	0.45	0.39	1.35	1.35	1.37	0.96	0.99	0.97	0.22	0.22	0.21	1.65	1.27	1.25	1.55	1.55	1.54

坡度分级/(°)	不同地类面积比例/%																	
	耕地			林地			草地			建设用地			水域用地			未利用地		
	2000 年	2005 年	2010 年	2000 年	2005 年	2010 年	2000 年	2005 年	2010 年	2000 年	2005 年	2010 年	2000 年	2005 年	2010 年	2000 年	2005 年	2010 年
0~5	14.43	14.59	14.97	6.72	6.67	6.62	8.41	8.32	8.35	25.30	25.31	25.39	24.98	21.82	21.33	7.00	7.00	6.99
5~8	16.94	17.10	17.48	9.98	9.96	9.89	12.01	11.92	11.95	23.79	23.81	23.87	17.20	18.07	18.03	10.11	10.11	10.10
8~15	35.67	35.83	36.25	29.89	29.89	29.76	32.33	32.23	32.27	33.74	33.74	33.72	25.41	30.43	31.08	29.68	29.68	29.71
15~25	24.12	23.94	23.51	33.13	33.18	33.23	31.26	31.35	31.34	13.49	13.46	13.36	17.97	17.99	18.05	33.07	33.07	33.09
25~35	6.94	6.76	6.24	14.89	14.92	15.04	12.14	12.24	12.21	2.83	2.81	2.82	7.83	6.60	6.52	13.94	13.94	13.93
>35	1.90	1.79	1.55	5.39	5.39	5.46	3.85	3.94	3.89	0.87	0.86	0.84	6.61	5.08	5.00	6.20	6.20	6.17

表 6 2000—2010 年乌江北源土地利用类型地形位梯度特征

地形位 分级	不同地类分布指数																		
	耕地			林地			草地			建设用地			水域用地			未利用地			
	2000 年	2005 年	2010 年	2000 年	2005 年	2010 年	2000 年	2005 年	2010 年	2000 年	2005 年	2010 年	2000 年	2005 年	2010 年	2000 年	2005 年	2010 年	
低	1	1.82	1.58	1.60	0.35	0.23	0.23	0.48	0.46	0.46	2.49	2.49	2.47	52.30	42.34	40.86	0.22	0.22	0.22
	2	1.78	1.78	1.82	0.49	0.47	0.47	0.79	0.78	0.78	3.28	3.28	3.30	4.53	4.94	4.85	0.45	0.45	0.45
	3	1.48	1.50	1.53	0.68	0.67	0.67	0.92	0.92	0.92	2.26	2.26	2.27	1.71	1.91	1.93	0.67	0.67	0.66
较低	4	1.22	1.23	1.25	0.85	0.85	0.85	1.00	1.00	1.00	1.29	1.29	1.29	0.90	0.96	0.98	0.84	0.84	0.84
	5	0.96	0.97	0.97	1.02	1.02	1.02	1.04	1.04	1.04	0.68	0.68	0.68	0.53	0.51	0.51	1.03	1.03	1.03
较高	6	0.74	0.73	0.72	1.17	1.17	1.18	1.04	1.05	1.05	0.37	0.37	0.36	0.42	0.34	0.34	1.18	1.18	1.18
	7	0.55	0.54	0.51	1.30	1.30	1.31	1.03	1.03	1.03	0.24	0.24	0.23	0.40	0.32	0.32	1.28	1.29	1.28
	8	0.40	0.39	0.34	1.41	1.41	1.41	0.98	0.99	0.99	0.17	0.17	0.17	0.54	0.39	0.38	1.39	1.39	1.39
高	9	0.31	0.28	0.24	1.48	1.48	1.48	0.85	0.87	0.86	0.12	0.12	0.12	0.60	0.43	0.41	1.93	1.93	1.92
	10	0.23	0.21	0.18	1.54	1.55	1.53	0.70	0.70	0.71	0.11	0.11	0.11	0	0	0	2.57	2.57	2.54
	11	0.04	0.04	0.04	1.54	1.53	1.49	0.85	0.83	0.84	0	0	0	0	0	0	4.22	4.22	4.17
	12	0	0	0	1.44	1.44	1.40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.58	10.57	10.47

4 结论与讨论

(1) 通过对乌江北源流域土地利用类型时空演变的地形梯度特征研究发现,研究区土地利用类型的

空间分布和其变化明显受到地形因素的影响和制约。2000—2010 年,林地、建设用地和水域用地面积增加,耕地和草地面积减少,土地利用类型以林地和耕地为主。耕地、建设用地和水域用地的优势分布区域

主要在低地形梯度上,耕地、建设用地分布主要受到坡度梯度的影响,高程梯度决定了水域用地的分布。耕地多分布于海拔较低、坡度平缓地区,其分布优势逐渐增强。建设用地主要分布于高程略高,但坡度平缓地区,其分布优势在 $0^{\circ}\sim 5^{\circ}$ 地区出现扩张。林地和草地的分布除了地形因素外,退耕还林/还草等政策因素也对其产生一定的影响。林地的分布优势集中在海拔高、坡度陡的较高和高地形位梯度上。草地优势分布区域在较低和较高地形梯度上,分布指数相对平稳。综上,地形因素是山地流域土地利用结构演变的决定性因素,其他社会、经济、人文因素都对该区域土地利用格局的转变起到推动作用。

(2) 山地流域土地利用地形梯度特征明显,但与其他研究区域相比,存在明显差异性。主要表现在以下几个方面:① 主要土地利用类型不同。研究区土地利用类型以林地为主,相比较,哈尔滨市^[20]以耕地为主,黄土丘陵沟壑地区^[12]以草地为主,反映了山地流域土地利用的结构特点。② 地形位梯度差异较大。研究区地形位指数为 $0.451\sim 2.827$,较河北太行山区 $0.025\sim 3.512$ ^[21]、环京津贫困带 $0.017\sim 3.107$ ^[7]、甘肃白龙江流域 $0.21\sim 2.44$ ^[22]都有较大差别,尤其在低值上存在明显差异。这是由山地流域高海拔,地形起伏度较大的地形特点所导致的。③ 土地利用类型的分布优势存在差异。主要体现在建设用地和水域用地上。建设用地最优分布在海拔相对较高位置,水域用地最优分布集中于低地形梯度上。反映了研究区河流深切的特殊地貌并在低地形梯度上形成较多的水塘湖泊。在对山地流域土地开发利用过程中,应兼顾生态效益和社会经济效益,保障河源区生态经济的持续发展。

参考文献:

- [1] 刘纪远,匡文慧,张增祥,等. 20世纪80年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 3-14.
- [2] 李丹,刘丹丹,赵金祥. 基于DEM的山区土地利用变化分析[J]. 水土保持研究, 2014, 21(1): 66-70.
- [3] 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.
- [4] 武爱彬,刘欣,赵艳霞,等. 浅山丘陵区土地利用格局的地形梯度特征与变化研究[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(1): 181-185.
- [5] 蔡运龙. 土地利用/土地覆被变化研究:寻求新的综合途径[J]. 地理研究, 2001, 20(6): 645-652.
- [6] 陈楠,杨武年,李娟. 巴中市丘陵山区土地利用在地形梯度上的分布特征[J]. 水土保持通报, 2012, 32(1): 185-188.
- [7] 孙丕苓,许月卿,王数. 环京津贫困带土地利用变化的地形梯度效应分析[J]. 农业工程学报, 2014, 30(14): 277-288.
- [8] 刘文,陈世发. 基于GIS的土地利用变化的地形梯度分析:以韶关市大塘镇为例[J]. 水土保持研究, 2015, 22(3): 79-82.
- [9] 韦乐章,邓南荣,吴志峰,等. 粤北山区地形因素对耕地分布及其动态变化的影响[J]. 山地学报, 2008, 26(1): 76-83.
- [10] 贺敬滢,张桐艳,李光录,等. 基于DEM的土地利用与地形因子关系研究:以商州区张地沟小流域为例[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(2): 206-212.
- [11] 邱扬,傅伯杰,王军,等. 黄土丘陵小流域土地利用的时空分布及其与地形因子的关系[J]. 自然资源学报, 2003, 18(1): 20-29.
- [12] 钟德燕,常庆瑞,宋丰骥. 黄土丘陵沟壑区土地利用空间分布与地形因子关系研究[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(6): 102-107.
- [13] 梁发超,刘黎明. 基于地形梯度的土地利用类型分布特征分析:以湖南省浏阳市为例[J]. 资源科学, 2010, 32(11): 2138-2144.
- [14] 马士彬,张勇荣,安裕伦. 山区城市土地利用动态空间分布特征:以贵州省六盘水市为例[J]. 自然资源学报, 2012, 27(3): 489-496.
- [15] 郭洪峰,许月卿,吴艳芳. 基于地形梯度的土地利用格局与时空变化分析:以北京市平谷区为例[J]. 经济地理, 2013, 33(1): 160-166.
- [16] 喻红,曾辉,江子瀛. 快速城市化地区景观组分在地形梯度上的分布特征研究[J]. 地理科学, 2001, 21(1): 64-69.
- [17] 郜红娟,张朝琼,张凤太. 基于地形梯度的贵州省土地利用时空变化分析[J]. 四川农业大学学报, 2015, 33(1): 62-70.
- [18] 刘玲,王勇,谢世友,等. 基于GIS的岩溶区土地利用的地形梯度分布研究:以西阳县板溪乡为例[J]. 中国岩溶, 2013, 32(4): 462-471.
- [19] Mottet A, Ladet S, Coqué N, et al. Agricultural land-use change and its drivers in mountain landscapes: a case study in the Pyrenees[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2006, 114(2): 296-310.
- [20] 龚文峰,袁力,范文义. 基于地形梯度的哈尔滨市土地利用格局变化分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(2): 250-259.
- [21] 许宁,张广录,刘紫玉. 基于地形梯度的河北省太行山区土地利用时空变异研究[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(10): 1284-1292.
- [22] 高彦净,巩杰,贾珍珍,等. 甘肃白龙江流域土地利用在地形梯度上的空间分布[J]. 兰州大学学报:自然科学版, 2014, 50(5): 680-686.