
山地城市边缘土地利用格局与变化的 地形梯度分布特征分析 ——以重庆市巴南区为例¹

李靖¹，廖和平^{1, 2}，蔡进¹，李涛¹，张甜¹

(1. 西南大学地理科学学院，重庆 400715；

2. 西南大学国土资源研究所，重庆 400715)

【摘要】：地形作为重要的自然基底因子，在很大程度上影响土地利用变化与空间格局形成。以重庆市巴南区为例，借助GIS和RS手段，利用Landsat TM遥感数据和DEM数据，采用地形位指数、分布指数和土地利用程度综合指数等计算方法，对巴南区2000、2010和2015年土地利用格局与变化的地形梯度分布特征进行了分析，探讨了土地利用格局与变化和地形梯度的相互关系，以期对相似地形条件下的山地城市边缘区的人地关系研究提供支撑或参考。研究表明：（1）巴南区土地以中、高级地形位为主，海拔200m以下，坡度8°以下的土地资源较为匮乏；（2）研究期内，中、低级地形位区间内大量耕地转变为建设用地，土地分布结构变化导致二者的分布优势区间均向更高级地形位区间转移；（3）土地利用程度综合指数曲线呈倒“V”型，波峰逐渐向中级地形位区间移动，可以印证在研究期内巴南区低丘缓坡区域内土地利用强度逐渐提升。

【关键词】：地形梯度；地形位；分布指数；土地利用格局与变化；山地城市；巴南区

【中图分类号】：F301.24 **【文献标识码】**：A **【文章编号】**：1004-8227(2018)02-0296-10

【DOI】：10.11870/cjlyzyyhj201802008

中国是一个多山的国家，丘陵山区面积约占陆域国土面积的70%，尤其在西南地区，丘陵山区分布更是广泛^[1]。相较于平原地区城市，复杂的地形造就了山地城市迥然不同的城市形态，多样化的地形、地貌条件带来了丰富的视觉景观和自然资源^[2]，但山地城市通常也面临生态环境脆弱^[3]、宜建土地匮乏^[4]、基础设施建设难度大^[5]、交通成本高^[6]等多种困扰，随着我国城镇化和工业化的快速推进，受地形条件约束，山地城市正接受建设空间横向拓展的有限性与优质耕地保护双重压力的考验^[7, 8]。因此，基于地形因素分析土地利用格局在地形梯度上分布及变化规律成为了当今探讨城镇化、工业化进程中山地城市人地关系的重要课题之一。

¹[收稿日期]：2017-05-11；[修回日期]：2017-07-25

[基金项目]：国家科技支撑计划项目（2013BAJ11B02）；教育部人文社会科学重点研究基地重大项目（16JJD790064）；中央高校基本科研业务费专项资金（XDJK2017C007）

[作者简介]：李靖（1990~），男，博士研究生，主要从事国土资源与区域发展研究。E-mail: freelj@qq.com

在分析地形梯度的过程中，以 GIS 为分析平台，采用 DEM (Digital Elevation Model) 提取区域的高程、坡度、坡向等信息是当下最为流行的研究手段^[9, 10]，采用地形位指数将高程和坡度合二为一实现综合研究地形梯度对土地利用的影响是当下地形梯度研究中较为流行的方法之一^[11]。目前，关于土地利用的地形梯度研究已取得丰硕的实证研究成果，部分学者以自然区划研究对象开展研究，例如，豫西黄河流域^[12]、甘肃白龙江流域^[13]、汾河流域^[14]、乌江北源^[15]、太行山区^[16]、秦巴山区^[17]、黄土丘陵区^[18]、岩溶地区^[19]等；部分学者行政区划为研究对象，例如，北京市海淀区、延庆县和平谷区^[20, 21]、浏阳市^[22]、哈尔滨市^[23]、贵州省^[24]、安徽省^[25]等。可以发现，现有土地利用地形梯度相关研究中对山地城市尤其是快速城镇化和工业化的山地城市区域的关注仍然不足，研究成果仍然较少。

巴南区坐落于重庆市主城区南部边缘，地处长江南岸，地貌条件以丘陵山地为主，具备重庆市“大城市、大农村、大库区、大山区”特征，城乡差距较大，区域发展不平衡，资源节约和环境保护任务重。同时在较长时间范围内，城镇化、工业化等带动的土地利用演变较为剧烈^[26]，人地矛盾突出，其基本概括了山地城市边缘县域层面土地利用时空演变的一般特点。鉴于此，本文以重庆市巴南区为研究对象，运用 GIS 空间分析功能，借助 DEM 提取高程、坡度等地形因子，采用地形位指数和分布指数等方法，分析巴南区土地利用的地形梯度特征，探讨地形条件与土地利用格局和时空演变的相互关系，以期为在地形条件影响下的快速城镇化和工业化山地城市边缘区的人地关系研究提供支撑或参考。

1、研究区概况与数据准备

1.1 研究区概况

巴南区是重庆市主城九区之一(图 1)，既承载重庆市都市南拓功能，重点打造新兴制造业和物流产业，又肩负着耕地保护、粮食生产和主城生态屏障的重任^[26]。全区土地以丘陵为主，低山次之，平地极少，境内有大小低山和山脉 11 座，丘陵地貌遍布于各个向斜与背斜中，地势起伏较大，区内最低点海拔 154m，位于北部边缘华光村冉家湾，最高处为东南方斗山，海拔 1132m。全区属亚热带湿润气候区，气候温和，冬暖夏热，无霜期长，雨量充沛，年均降水 1097.2mm；日照较少，年均 1160.4h，为全国低值中心；年均温 18.5 度；风力小，湿度大，四季均宜作物生长。伴随着城镇化与工业化快速发展，全区建设用地供需矛盾日渐突出，2000~2015 年建设用地由 28.60km²增加至 215.78km²，同时耕地面积由 707.78km²减少至 579.10km²。

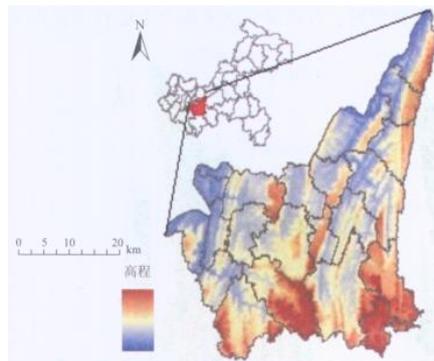


图 1 巴南区区位示意图

1.2 数据准备

本文所用土地利用数据以 Landsat TM 遥感影像为数据源，利用 ErdasImagine9.2 进行预处理，并结合监督分类与人机交互解译的方式进行遥感影像的分类，借助 Google Earth 软件和野外调查方法进行检验和修正，得到 2000、2010 和 2015 年三期土地利用数据。参考《土地利用现状分类》国家标准，将其划分为耕地、林地、草地、水域用地、建设用地和未利用地 6 个大类。

地形数据以 ASTER GDEM 高程数据为数据源，空间分辨率为 30m，并运用 GIS 坡度分析得到区域内坡度图。

2、研究方法

本文基于地形梯度等级的划分，结合地形位指数、分布指数和土地利用程度综合指数等计算方法，分析不同土地利用类型在地形梯度上的变化特征。

2.1 地形位指数

地形条件对土地利用空间格局的影响通常是地形和高程的综合作用，单一的高程或坡度因子上的空间分析无法体现出这种综合影响。地形位指数将高程和坡度结合并组成一个地形位指数，可定量分析土地利用空间格局和高程与坡度变化的相互关系^[11]。地形位指数公式如下：

$$T = \lg \left[\left(\frac{E}{\bar{E}} + 1 \right) \cdot \left(\frac{S}{\bar{S}} + 1 \right) \right] \quad (1)$$

式中：T 为地形位；E 和 \bar{E} 分别为空间任意一点的高程值和该点所在区域的平均高程值；S 和 \bar{S} 分别是任意一点的坡度值和该点所在区域内的平均坡度值。通过该公式计算，区域空间内任意一点的地形属性（高程和坡度）即可转换成地形位指数来描述。可以发现，高程低、坡度小的地方其地形位值小，而高程高、坡度大的地方其地形位值大，另外其他组合（高程高、坡度小，高程低、坡度大，高程与坡度均中等水平）的地方其地形位值通常位于中间值区间。

2.2 土地利用类型的地形分布指数

利用地形位指数可以反映地形条件对土地利用空间格局的影响，即在各地形梯度上不同土地利用类型出现的频率，但地形位区段面积差异和不同土地利用类型比重不同使得这种分布频率尚无可比性^[22]。因此，引入土地利用类型的地形分布指数来描述不同土地利用类型在地形梯度上的分布情况，以消除量纲影响^[21]。分布指数公式如下：

$$P = \frac{(S_{ie}/S_i)}{(S_e/S)} \quad (2)$$

式中：S_{ie} 为 e 地形位下 i 土地利用类型的面积；S_i 是 i 土地利用类型的面积；S_e 为整个区域 e 地形位的总面积；S 是整个区域的总面积。根据计算公式可知，不同土地利用类型的地形位分布曲线可以反映出该地类在地形梯度上的分布和变化情况，当分布曲线呈平缓状时，表明该地类分布和标准分布偏离不大，对地形差异的适宜性情况较好；若曲线起伏明显，则该地类分布和标准分布偏离较大，对地形差异有更强的选择性。

2.3 土地利用程度综合指数

为进一步描述土地利用程度变化的地形梯度特征，本文引入了土地利用程度数量化综合指标（M），综合指数大小即可反映土地利用程度高低。结合庄大方等^[27]学者的研究成果，根据对土地资源的利用和开发程度，对各土地利用类型分级赋值（表 1）。土地利用程度综合指数计算公式如下：

$$La = 100 \times \sum_{i=1}^n A_i \times C_i \quad (3)$$
$$La \in [100, 400]$$

表 1 土地利用程度分级赋值表

土地利用类型	未利用地	林地、草地、水域	耕地	建设用地
分级指数	1	2	3	4

式中： L_a 是土地利用程度综合指数； A_i 是第 i 级地类利用程度分级指数； C_i 为第 i 级地类利用程度面积所占比例。

在分析土地利用类型的地形梯度之前，本文结合巴南区的地形特征和土地利用特点，对坡度图、高程图和地形位图进行分级（图 2）。研究发现区域内海拔 1000m 以上土地类型分布相对单一，在进行高程分级时，将 1000m 以上和 100m 以下各分一级，100~1000m 高程范围内按海拔 100m 为间隔进行分级，共 11 个等级（图 2a）；与高程等级数对应，坡度等级同样划分为 11 个等级， 40° 以下每 4° 为一级， 40° 以上为一级，同样我们也可以发现坡度在 40° 以上，土地利用情况单一（图 2b）；在 ArcGIS 软件支持下，地形位图由公式 1 计算，地形位等级划分按坡度和高程分隔的对应点计算同为 11 个等级（图 2c）。地形梯度 11 级分级划分为 3 个等级，低、中、高，分别是高程在 200m 以下，坡度为 $0^\circ \sim 8^\circ$ ；高程 200~500m，坡度为 $8^\circ \sim 20^\circ$ 。高程 500m 以上，坡度为 20° 以上（表 2）。

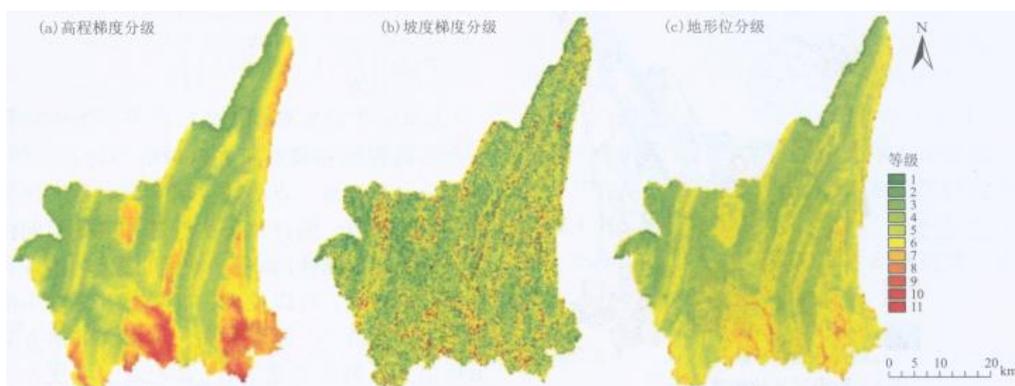


图 2 巴南区高程、坡度和地形位指数分级情况

表 2 巴南区地形位分级与高程、坡度分级对应情况

梯度等级	分级	高程 (m)	坡度 ($^\circ$)	对应地形位区间
低	1 级	≤ 100	≤ 4	0.033~0.197
	2 级	100~200	4~8	0.197~0.358
中	3 级	200~300	8~12	0.358~0.493
	4 级	300~400	12~16	0.493~0.610
	5 级	400~500	16~20	0.610~0.713
高	6 级	500~600	20~24	0.713~0.805
	7 级	600~700	24~28	0.805~0.888
	8 级	700~800	28~32	0.888~0.964
	9 级	800~900	32~36	0.964~1.034

10级	900~1000	36~40	1.034~1.099
11级	>1000	>40	1.099~1.286

3、结果分析

3.1 基于高程梯度的土地利用类型结构特征分析

通过分析土地利用在各级别高程梯度上的时空变化情况，可全面掌握区域内土地利用在水平空间和垂直方向上的时空分异特征。从表 3 和图 3a 可以发现，巴南区中级别（200~500m）高程所含区域面积最大，占巴南区总面积的 64.33%，其次是高级别（>500m）高程，占 31.49%；低级别（≤200m）高程仅占 4.19%。可见，巴南区土地利用类型主要分布中、尚级别（>200m）高程的区域内。

表 3 巴南区 2000 年和 2015 年各高程分级地类面积统计表 (hm²)

类型		高程级别			合计
		低 (≤200m)	中 (200~500 m)	高 (>500m)	
耕地	2000 年	3027.24	49622.56	18128.32	70778.12
	2015 年	1368.03	38460.95	18081.07	57910.05
	面积变化	-1659.21	-11161.61	-47.25	-12868.07
林地	2000 年	1460.13	60981.23	37732.07	100173.4
	2015 年	1277.27	57723.53	34578.6	93579.4
	面积变化	-182.86	-3257.7	-3153.47	-6594.03
草地	2000 年	109.9	3732.8	1127.89	4970.59
	2015 年	22.07	1789.51	1126.53	2938.12
	面积变化	-87.83	-1943.29	-1.36	-2032.47
水域用地	2000 年	2094.75	757	263.07	3114.82
	2015 年	3526.81	2379.33	324.08	6230.22
	面积变化	1432.06	1622.33	61.01	3115.4
建设用地	2000 年	566.84	2178.15	113.96	2858.95
	2015 年	1434.26	16879.15	3265.04	21578.44
	面积变化	867.42	14701	3151.08	18719.49
未利用地	2000 年	373.75	26.39	55.59	455.73
	2015 年	4.17	65.66	45.58	115.4
	面积变化	-369.58	39.27	-10.01	-340.33

低级别（<200m）高程分级中，2015 年主要的土地利用类型为水域用地，占该地类总面积 56.61%。2000~2015 年间，土地利用发生了明显变化，规模减少的地类有耕地、林地、草地和未利用地，共减少了 2299.48hm²，另外，水域用地和建设用地的

别增加了 1432.06 和 867.42hm²。

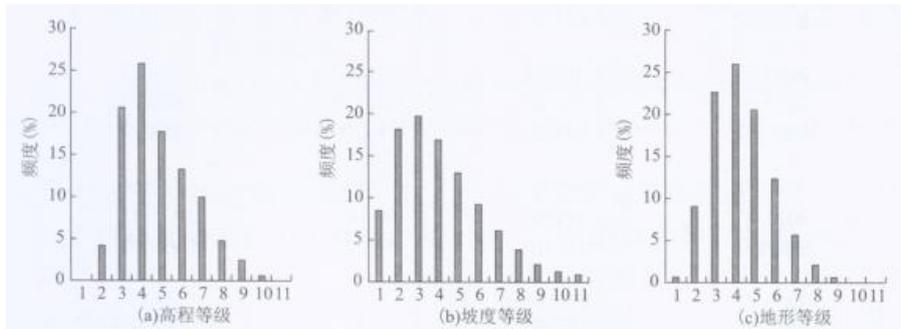


图 3 研究区高程、坡度和地形位指数的分布频度

中级别（200~500m）高程分级中，主要的土地利用类型按 2015 年面积大小依次为林地、耕地、草地、建设用地，分别占各地类总面积 61.68%、66.41%、60.91%、78.22%。研究期间，中级别高程梯度中地类变化情况与低级别高程梯度类似，面积减少的地类为耕地、林地、草地，共减少了 16362.60hm²，同时，建设用地和水域用地分别增加了 14701 和 1622.33hm²。

高级别（>500m）高程分级中，主要的土地利用类型为林地和耕地，分别占各地类总面积的比例为 36.95%和 31.22%。研究期内，高级别高程分级中面积减少的地类：林地、耕地、草地、未利用地，共减少了 3212.09hm²，水域用地和建设用地则分别增加了 61.01 和 3151.08hm²。

分析可知：作为巴南区的主要高程类型，海拔 200~500m 范围内土地利用类型多且结构复杂，耕地、林地、建设用地和草地均都主要分布在此高程范围内；在研究期内由于城镇化和工业化的发展，各级别高程范围内建设用地面积均大量增加，占用了大量海拔 500m 以下的耕地、林地和草地，海拔 500m 以上则主要由林地转化而来；研究期内，巴南区加强了对海拔 200m 以下的未利用地开发利用。

3.2 基于坡度梯度的土地利用类型结构特征分析

从表 4 和图 3b 可以发现，巴南区中级别（8°~20°）坡度梯度所含区域面积最大，占巴南区总面积的 49.63%，其次是低级别（≤8°）坡度，占 31.49%；高级别（>20°）占 23.54%。巴南区土地利用类型主要分布中级别（8°~20°）坡度梯度内。

低级别（≤8°）坡度分级中主要土地利用类型有水域用地、建设用地、耕地，分别占 2015 年各地类总面积的 52.20%、41.59%、29.23%。2000~2015 年间，该坡度级中地类转换活跃，其中耕地减少 7902.77hm²，草地减少 631.35hm²，未利用地减少 214.20hm²，建设用地增加 7471.61hm²，水域用地增加 1433.26hm²。由此可知，该坡度级范围内土地利用变化类型主要为耕地、草地和未利用地等转为建设用地。

中级别（8°~20°）坡度分级中主要土地利用类型为未利用地、耕地、林地、建设用地，分别占 2015 年各地类总面积 54.51%、52.52%、49.14%、48.33%。研究期间，该坡度级内土地主要由耕地、林地、草地和未利用地向建设用地和水域用地转变，变化情况为：耕地、林地、草地、未利用地共减少 10654.61hm²，建设用地和水域用地增加了 9258.11 和 1396.50hm²。

高级别（>20°）坡度分级中主要土地利用类型为草地和林地，分别占 2015 年地类总面积 42.44%和 30.20%。研究期间，该坡度级内土地主要由林地、草地和未利用地向建设用地和耕地转变，林地、草地和未利用地共减少了 4012.91hm²，建设用地增加了 1989.77 和 1737.50hm²。

可以发现：研究期内，中低坡度级中的耕地大量转换为建设用地和其他地类，新增耕地主要集中在 20° 以上；建设用地在各坡度级内均有所增加，但主要集中在中低级别坡度级中，8° ~20° 坡度范围内逐步取代 0° ~8° 坡度范围成为开发建设的主战场；各坡度级内的未利用地均有所减少，但随着坡度增加，未利用地开发利用难度越大，其面积减少量随坡度增加而减少。

表 4 巴南区 2000 年和 2015 年各坡度分级地类面积统计表 (hm²)

类型		坡度分级			合计
		低 (≤8°)	中 (8° ~20°)	高 (>20°)	
耕地	2000 年	24827.42	37114.39	8836.31	70778.12
	2015 年	16924.65	30411.59	10573.81	57910.05
	面积变化	-7902.77	-6702.8	1737.5	-12868.07
林地	2000 年	19494.39	48693.87	31985.17	100173.43
	2015 年	19337.84	45984.37	28257.2	93579.41
	面积变化	-156.55	-2709.5	-3727.97	-6594.02
草地	2000 年	1031.27	2425.13	1514.19	4970.59
	2015 年	399.92	1291.37	1246.83	2938.12
	面积变化	-631.35	-1133.76	-267.36	-2032.47
水域用地	2000 年	1818.62	926.63	369.57	3114.82
	2015 年	3251.88	2323.13	655.21	6230.22
	面积变化	1433.26	1396.5	285.64	3115.4
建设用地	2000 年	1503.28	1170.01	185.66	2858.95
	2015 年	8974.89	10428.12	2175.43	21578.44
	面积变化	7471.61	9258.11	1989.77	18719.49
未利用地	2000 年	247.4	171.46	36.87	455.73
	2015 年	33.2	62.91	19.29	115.4
	面积变化	-214.2	-108.55	-17.58	-340.33

3.3 基于地形位梯度的土地利用类型分布特征分析

根据巴南区高程图和坡度图，运用公式 1 计算区域内的地形位指数 (0.033~1.286)，并重分类划分为 11 级。分别叠加巴南区 2000、2010、2015 年土地利用影像解译图，结合公式 2 计算和统计耕地、林地、草地、水域用地、建设用地和未利用地在各地形位分级的分布指数 (图 4)，探讨各地类在地形梯度上的分布特征。

2010~2015 年耕地分布指数结构基本一致，耕地分布指数在地形位梯度上表现为先增加，再衰减趋势。2015 年，在第 3~5 级地形位区间 (0.197~0.610) 耕地分布指数均大于 1 (P>1)，其分布占有明显的分布优势，巴南区耕地较多分布于中级地形位区间内。

与 2000 年和 2010 年对比，2015 年耕地分布指数曲线的波峰逐渐向较高的地形位区间移动，第 4 级及以上地形位区间 (0.493~1.286) 的耕地分布指数均高于 2000 年和 2010 年，区域内的耕地分布优势区间的地形位等级在逐步增加，表明随着城镇化发展，地势较为平坦的区域耕地逐渐被侵占，而新增的耕地多分布于海拔较高和坡度较大的区域内。

林地的分布指数在地形位梯度上总体呈现出逐渐增大趋势，在第 5~11 地形位区间 (0.610~1.286)，林地分布指数均大

于 1 ($P>1$)，表明巴南区林地主要分布于地形位较大的区域。2015 年林地在地形位第 5~11 地形位区间的分布指数略小于 2000 年和 2010 年，高级地形位区间中的林地有减少趋势。

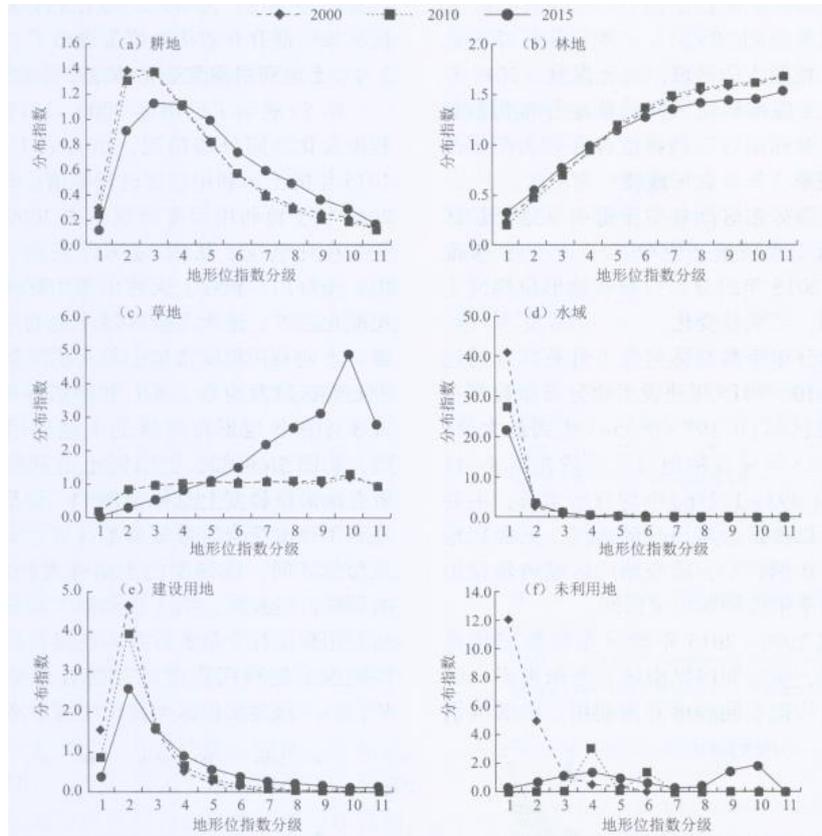


图 4 巴南区 2000、2010 和 2015 年各土地利用类型分布指数的地形梯度情况对比

2010 年和 2000 年，草地总体上呈逐渐增大趋势，第 4~10 级地形位区间 (0.493~1.099) 是草地分布的优势空间 (PW)，表明巴南区草地也多分布于地形位较大的区域。对比发现，2015 年巴南区第 5~11 级地形位区间的草地分布指数显著增大，其主要原因区间内可能存在较为严重的农用地撂荒现象，导致农用地转变为草地。

水域的优势分布区间集中于低级别地形位区间，主要是由于水域最适宜分布于 $0^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 坡度区域，2000~2015 年的分布指数在地形位梯度上的总态势相似，无明显变化。

建设用地分布指数总体呈先上升后减少的趋势，2000、2010、2015 年建设用地分布指数都在第 2 级地形位区间 (0.197~0.358) 达到最大值。可以发现，2015 年建设用地分布指数在第 4~11 级地形位区间 (0.493~1.286) 中均有所增长，主要原因是，由于巴南区为多山丘陵地区，低级别地形位土地所占比例甚小，研究期内区域内建设用地扩张多分布于中高级地形位区间。

未利用地 2000~2015 年的分布指数变化显著，可以发现，研究期内巴南区各等级地形位区间的未利用地均被不同程度开发利用，中低级别地形位区间的未利用地逐渐被开发利用导致高级别地形位区间的分布优势增加。

由此可见，全区各地类除未利用地和草地之外，2000、2010 和 2015 年分布指数的地形梯度特征基本一致，耕地、草地、水域、建设用地多分布于中、低级地形位区间，林地分布指数随地形位梯度增大而增大。从变化趋势来看，随着城镇化发快速发

展和建设用地扩张，地势平坦的耕地较多的被建设占用，其优势分布区间逐渐由中低级向高级地形位区间转移；由于巴南区平坝区域土地资源匮乏，中、高级地形位区间建设用地分布指数增加，低丘缓坡土地逐渐成为建设用地扩张的主战场；从草地的变化趋势来看，山高坡陡区域可能存在农用地撂荒现象。

3.4 土地利用程度变化的地形梯度情况分析

图 5a 展示了巴南区 2000~2015 年土地利用程度变化空间分布情况，结合表 1 对 2000 年和 2015 年的土地利用程度进行赋值，并在叠加后由 2015 年土地利用程度指数减去 2000 年得到地块程度变化情况。从图 5a 可以发现，全区除云篆山、圣灯山、樵坪、天坪山等山区土地利用程度无变化之外，绝大多数区域土地利用程度有所增强，土地利用程度值增幅较大的区域主要分布在中心城区以及南泉、界石和南彭等街镇。根据公式 3 计算各地形位等级的土地利用程度综合指数，由图 5b 可知，巴南区土地利用程度综合指数在地形位梯度上总体呈倒“V”型形状，全区土地利用程度综合指数较高的区域主要集中于中级地形位区间，该梯度内土地开发利用程度较高。由折线可以发现，第 3 级和第 7 级地形位作为土地利用程度综合指数折线的拐点，1~3 级地形位区间内土地利用程度综合指数均呈快速上升趋势，3~7 级地形位区间内呈快速下降趋势，7~11 级地形位区间内呈缓慢降低趋势。对比分析发现，随着时间推移，土地利用程度综合指数较高的区域逐渐向中级地形位区间移动，1~3 级地形位区间内，2015 年土地利用程度综合指数较 2000、2010 年均降低；3~7 级地形位区间内，2015 年土地利用程度综合指数较 2000 年和 2010 年升高；而 7~11 级地形位区间内均无明显变化。分析发现 2000~2015 年内，第 3~7 级地形位区间内建设用地总量增长是该地形位区间内土地利用程度综合指数明显增大的主要原因；第 1~3 级地形位区间内土地利用程度综合指数有所减小是由于区间内耕地和建设用地的比重有所降低，研究期间耕地大量转变为建设用地，耕地总量减少；而建设用地逐年增加且主要集中于中级梯度地形位区间内导致 1~3 级地形位区间内建设用地比重降低。

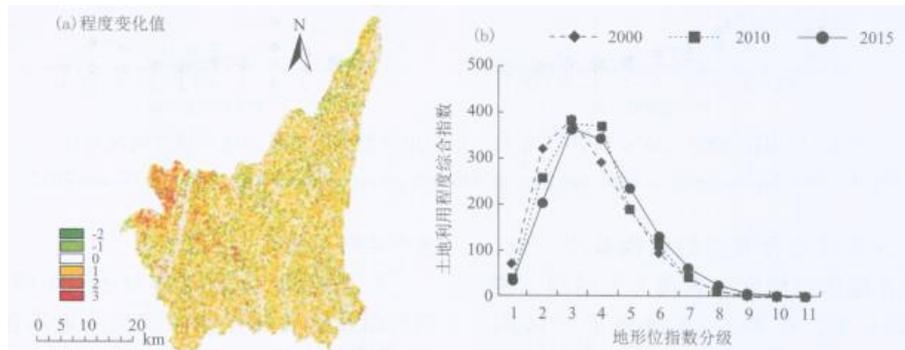


图 5 巴南区 2000~2015 年土地利用程度综合指数变化及地形梯度情况

4、结论与不足

(1) 作为典型的山地城市区域，巴南区具有明显的地形梯度特征：低级别地形位区间（海拔 $\leq 200\text{m}$ ，坡度 $\leq 8^\circ$ ）的区域占全区土地总面积的 9.75%；中级别地形位区间（海拔 200~500m，坡度 $8^\circ \sim 20^\circ$ ）的区域占 69.25%；高级别地形位区间（海拔 $> 500\text{m}$ ，坡度 $> 20^\circ$ ）的区域占 21.01%。巴南区土地以中、高级地形位土地为主，最适宜人类生产生活的地形（海拔 200m 以下，坡度 8° 以下）土地资源在巴南区较为匮乏。

(2) 通过计算各地类的地形位分布指数发现，不同于平原地区^[21]的是，巴南区耕地、水域、草地、建设用地等优势分布区间多为中、低级别地形位区间，这与土地利用适宜性和实际情况基本一致。林地在地形位等级上的分布趋势为随着地形位指数增大而增大，分布优势区间集中于高级别地形位区间；由于平坝区土地资源匮乏，研究期内，中低级地形位区间大量耕地转变为建设用地，土地分布结构的变化导致二者分布的优势区间均向更高地形位区间转移，低丘缓坡区域土地已成为城镇化和工业

化发展的主战场；高级地形位区间耕地和草地分布指数同时增加，由于山高坡陡区域农业发展条件差，新增耕地的质量是否达标和区域内可能存在的耕地“边新增、边撂荒”现象应引起高度重视。

(3) 巴南区土地利用程度综合指数曲线在地形梯度上呈倒“V”型，全区中、低级别地形位区间内土地开发利用强度相对较高。第3级、7级地形位区间作为拐点，土地利用程度综合指数在1~3级地形位区间快速增加，在第3~7级快速下降，第7~11级缓慢下降。研究期内，土地利用程度综合指数曲线的波峰逐渐向中级地形位区间移动，可以印证在研究期内巴南区低丘缓坡区域内土地利用强度逐渐提升。

(4) 本文以巴南区为研究对象，发现低丘缓坡土地作为山地城市中人类经济与社会活动的重要区域，对此类型区域内的低丘缓坡土地利用程度量化有待进一步细化。本文中，计算该区域土地利用程度综合指数的地形梯度分布情况，主要是就地表景观下人类利用土地基本情况的地形分布和变化情况的综合分析。显然，单考虑土地利用类型作为土地利用程度的综合指数的衡量指标还存在不足，土地利用程度的定量分析还有待从气候、地质、地貌、水文等自然基底方面进行综合量化，方能强化对低丘缓坡土地等区域性土地利用格局及变化的微观性研究。

[参考文献]:

- [1] 吴晓, 吴宜进. 基于灰色关联模型的山地城市生态安全动态评价——以重庆市巫山县为例[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(03): 385-391.
- [2] 曹珂. 山地城市设计的地域适应性理论与方法[D]. 重庆大学, 2016.
- [3] 黄光宇, 林锦玲. 山地资源型城市的生态环境空间控制初探——以攀枝花市攀密片区为例[J]. 规划师, 2006, 22(4): 11-14.
- [4] 杨子生. 山区城镇建设用地适宜性评价方法及应用——以云南省德宏州为例[J]. 自然资源学报, 2016, 31(1): 64-76.
- [5] 陈国建, 刁承泰, 黄明星, 等. 重庆市区城市建设用地预测研究[J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(5): 403-408.
- [6] 李泽新, 王蓉. 山地城市道路交通环境特点及其控制对策[J]. 山地学报, 2014, 32(1): 46-51.
- [7] 刘骏, 沈广哲. 基于效能优化的山地城市绿地空间研究[J]. 西部人居环境学刊, 2015(3): 116-119.
- [8] 吕志强, 邓睿, 卿珊珊. 大型山地城市建设用地空间扩展及地形分异[J]. 水土保持研究, 2017(1): 232-238. LYUZ
- [9] 崔步礼, 李小雁, 姜广辉, 等. 基于DEM的山地丘陵区土地利用/覆被研究——以青海湖流域为例[J]. 自然资源学报, 2011(5): 871-880.
- [10] 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.
- [11] MOTTET A, LADET S, COQUE 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(2-4): 296-310.
- [12] 申怀飞, 吴国玺, 丁圣彦. 豫西黄河流域土地利用空间格局地形梯度特征分析[J]. 地域研究与开发, 2012, 31(3):

159-162.

[13]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(自科版), 2014(5): 680-686.

[14]李京京, 吕哲敏, 石小平, 等. 基于地形梯度的汾河流域土地利用时空变化分析[J]. 农业工程学报, 2016, 34(7): 230-236.

[15]吴彦潮, 赵翠薇, 韩冰倩. 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[J]. 水土保持研究, 2017, 24(1): 161-166.

[16]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.

[17]张静, 任志远. 秦巴山区土地利用时空格局及地形梯度效应[J]. 农业工程学报, 2016, 32(14): 250-257.

[18]庄逐舟, 黄秋昊, 石云. 黄土丘陵区土地利用变化与地形梯度关系研究[J]. 水土保持研究, 2016, 23(4): 331-337.

[19]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——以酉阳县板溪乡为例[J]. 中国岩溶, 2013, 32(4): 462-471.

[20]陈利顶, 杨爽, 冯晓明. 土地利用变化的地形梯度特征与空间扩展——以北京市海淀区和延庆县为例[J]. 地理研究, 2008, 1(6): 1225-1234.

[21]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.

[22]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.

[23]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.

[24]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(1): 62-70.

[25]吴见, 王帅帅, 谭靖. 基于安徽省土地利用变化的地形梯度效应分析[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(2): 239-248.

[26]李靖. 都市功能拓展区城乡建设用地演变机制及利用战略研究[D]. 西南大学, 2015.

[27]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(2): 105-111.