

基于地形梯度的高山峡谷区土地利用 时空格局及功能分区

李益敏^{1,2}, 王东驰¹, 袁静¹, 刘心知¹

(1. 云南大学 地球科学学院, 云南 昆明 650500; 2. 云南省高校国产高分卫星遥感地质工程研究中心, 云南 昆明 650500)

摘要: [目的] 分析高山峡谷区土地利用情况及其地形梯度分布格局, 并进行功能分区, 为类似区域土地资源的可持续利用提供参考。[方法] 以云南省泸水市为例, 采用地形位指数和分布指数系统分析高山峡谷区土地利用在地形梯度上的分布变化特征。[结果] ① 泸水市土地利用具有显著的优势分布特征, 2000—2018 年, 林地作为主导地类, 其比例从 77.50% 增长至 84.49%。建设用地也快速增长, 由 2 804.49 hm² 增加到 4 785.65 hm²。未利用地、耕地、草地逐渐向林地转变, 面积分别减少了 14 368.38, 5 171.68 和 4 049.54 hm², 水域面积稳定在 900 hm² 左右。② 泸水市土地利用格局在地形梯度上的层级差异十分显著, 林地在整个地形梯度上具有统治地位, 水域、建设用地、耕地广泛分布于中、低地形位, 草地的优势区间位于坡度高但高程较低的中地形位, 未利用地则在高地形位占据主导优势。③ 基于地形分异规律, 泸水市可分为 4 大功能区: 河谷集约发展区、陡坡综合治理区、中高山生态提升区、山顶生态封禁区。[结论] 高山峡谷区在地形梯度上形成了多层次独特的土地利用分布格局, 具有分区发展的潜力, 不同分区对应着不同的土地利用发展策略。

关键词: 高山峡谷区; 土地利用; 地形位指数; 分布指数; 地形梯度; 功能区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2020)06-0303-09

中图分类号: F301.24

文献参数: 李益敏, 王东驰, 袁静, 等. 基于地形梯度的高山峡谷区土地利用时空格局及功能分区[J]. 水土保持通报, 2020, 40(6): 303-311. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2020.06.043; Li Yimin, Wang Dongchi, Yuan Jing, et al. Temporal and spatial pattern and functional zoning of land use in alpine canyon region based on terrain gradient [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(6): 303-311.

Temporal and Spatial Pattern and Functional Zoning of Land Use in Alpine Canyon Region Based on Terrain Gradient

Li Yimin^{1,2}, Wang Dongchi¹, Yuan Jing¹, Liu Xinzhi¹

(1. School of Earth Sciences, Yunnan University, Kunming, Yunnan 650500, China;

2. Research Center of Domestic High-resolution Ellite Remote Sensing Geological Engineering, Kunming, Yunnan 650500, China)

Abstract: [Objective] The land use situation and its terrain gradient distribution pattern in the alpine canyon area was analyzed to clarify the functional zoning in order to provide references for the sustainable use of land resources in similar areas. [Methods] Taking Lushui City of Yunnan Province as an example, the distribution and change characteristics of land use on the terrain gradient were analyzed by using terrain niche index and distribution index in the alpine canyon area. [Results] ① The land use of Lushui City had a significant dominant distribution characteristic. From 2000 to 2018, the proportion of woodland as the dominant land use type increased from 77.50% to 84.49%. Construction land also increased rapidly, from 2 804.49 hm² to 4 785.65 hm². Unused land, arable land, and grassland gradually converted to woodland, and the area decreased by 14 368.38, 5 171.68, and 4 049.54 hm², respectively. The water area was stable around 900 hm². ② The hierarchical differences in terrain gradient in the land use pattern of Lushui City were remarkable.

收稿日期: 2020-07-02

修回日期: 2020-08-16

资助项目: 国家自然科学基金项目“基于 3S 技术的怒江峡谷农业产业结构调整与生态修复互动研究”(41161070); 中国地质调查局地质调查项目“中印边境东段和中缅边境地区遥感地质解译”(DD20190545); 云南省科技厅—云南大学联合基金重点项目“‘天空地’协同的高山峡谷区重大地质灾害隐患识别监测预警研究”(2019FY003017)

第一作者: 李益敏(1965—), 女(白族), 云南省昆明市人, 学士, 教授, 主要从事 3S 技术在山地环境与地质灾害中的应用研究。Email: 648119611@qq.com。

Woodlands showed a dominant position in the entire terrain gradient. Water, construction land, and arable land were widely distributed in low and middle terrain niche index area. The dominant area of the grassland was in the medium terrain niche index area with a high slope but low elevation. Unused land dominated in the high terrain niche index area. ③ Based on terrain differentiation laws, Lushui City could be divided into 4 major functional areas: river valley intensive development area, steep slope comprehensive treatment area, mid-alpine ecological promotion area, and mountaintop ecological closed area. [Conclusion] The land use in the alpine canyon area has formed a unique multi-level distribution pattern on the terrain gradient, with the potential for zoning development, and should be corresponding to different land-use development strategies.

Keywords: alpine canyon; land use; terrain niche index; distribution index; terrain gradient; functional zone

地形作为制约人类对土地资源的利用和改造的一个关键环境因子,深度参与着区域土地利用时空格局的形成和变化过程。在高程、坡度等地形因子的综合作用下,光、温、水、养分被再次分配^[1],调整着区域内的经济建设和农业生产活动,并最终印刻在土地利用格局的基因之中。近年来,不少学者选择洼地^[2]、平原^[3]、丘陵^[4]、山区等^[5]具有不同地形特征的地区,分析对应的土地利用格局时空变化情况,但是对高山峡谷这一特殊山地形态区域的研究仍然少见。中国是一个多山国家,接近 70% 的陆域国土被山区覆盖,在云南省,山高谷深,山区面积占比达 94% 以上。云南省北部位于横断山脉南延段,多有高山峡谷地形分布,复杂的地形既造就了丰富的山地景观和自然资源,也形成了独特的土地利用分布格局。相较于平原和低山地区,高山峡谷区受地形条件约束,面临生态环境脆弱、耕地匮乏、基建难度大、交通成本高等多方面困扰^[5],易形成贫困聚集区。在我国全面建成小康社会、打赢脱贫攻坚战的的关键节点,针对高山峡谷区进行基于地形梯度的土地利用时空格局分析,有利于了解其土地利用在地形因子作用下的分布变化规律^[6],揭示土地利用格局内在形成与地形环境因子外部作用间的相互关系,促进生态环境、粮食安全和经济社会协同发展。

云南省泸水市是典型的高山峡谷区,自然资源丰富,承担着维护滇西北区域生态安全的战略任务。但这里山高坡陡的自然环境导致人地矛盾突出,地质及生态环境脆弱,滑坡、泥石流灾害频繁,面临着生态保护和资源开发利用的冲突。本文基于 RS 和 GIS 技术,选择 2000,2010,2018 年 Landsat TM/OLI 遥感影像,提取泸水市三期土地利用数据,从高程和坡度切入,采用地形位、分布指数等方法,分析泸水市土地利用时空格局的地形梯度分布特征,揭示地形因素与土地利用的互动关系。同时,针对当前有关土地利用功能分区的研究大多是选择自然、经济、生态等因素作为指标,建立评价模型进行分区^[7-8],而基于土地利用格局的地形梯度分布规律进行分区的研究较为缺

乏的情况。本研究也将根据土地利用地形分异规律对泸水市进行土地利用功能分区,确定各分区的生态和土地利用功能。通过在地形层面合理布局泸水市土地资源,在保证生态安全的基础上,促进高山峡谷区土地资源的合理利用和经济社会跨越式可持续发展,最终摆脱贫困落后面貌。

1 研究区概况

泸水市位于云南省西北部“三江并流”世界自然遗产地,隶属怒江州,国土面积 3 203.04 km²,辖 6 镇 3 乡,2018 年末总人口 18.9 万人。全市地处横断山脉南端,碧罗雪山与高黎贡山夹怒江由北向南纵贯全境,呈“两山夹一江”的格局。主要地貌类型包括河谷、中山和高山地貌,又以中高山为主,是典型的“V”字形高山峡谷地貌。整体地势北高南低,地形起伏较大,境内最高海拔 4 162.1 m,最低海拔 728.5 m,具有“山高谷深,平地少”的特点。受特殊的地貌和印度洋热带季风的综合作用,泸水市从河谷至山巅的立体气候明显,纵跨亚热带、温带和寒带 3 种气候带,整体具有年温差小,日温差大,干湿季分明,四季不明显的气候特征。泸水市特殊的地理环境,多样的气候类型,孕育了境内独特而丰富的自然资源,成为生态战略地位特殊、生态重要性突出的关键区域。但高山峡谷的地貌也深入影响着当地对土地资源的利用,形成了以林地、未利用地为主;耕地、草地少量分布;建设用地和水域稀少;“山多地少”的土地利用格局,可利用土地资源的稀缺极大制约了当地的经济社会发展,至 2020 年 5 月泸水市仍为云南省仅剩的 9 个贫困县(市)之一。

2 数据来源和研究方法

2.1 数据来源与处理

研究选用地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)提供的 Landsat 影像作为主要数据源,具

体数据信息详见表 1,数据质量较好。在 ENVI 5.3 平台下对各时期的遥感影像进行几何校正、大气校正、边界裁剪等预处理后,采用支持向量机法,参照全国土地利用现状分类^[9]并结合泸水市实际情况,按照林地、未利用地、水域、建设用地、耕地、草地的土地利用分类对研究区遥感影像进行监督分类,得到泸水市 2000,2010,2018 年的土地利用数据(附图 15)。结合

野外调查和 Google Earth 高分辨率影像,对分类结果进行精度评价,2000,2010,2018 年分类精度分别为 95.50%,94.94%和 92.68%,kappa 系数分别为 0.83,0.85 和 0.79,满足研究精度要求。DEM 数据则采用获取于地理空间数据云的 30 m 分辨率 GDEM V2 数字高程数据,利用 ArcGIS 10.5 平台提取出高程、坡度等地形因子信息。

表 1 Landsat 遥感影像数据信息

参数	2000 年 11 月	2010 年 10 月	2018 年 11 月
轨道号	132/42	132/42	132/42
传感器类型	TM	TM	OLI
空间分辨率	30 m	30 m	30 m
波段	1,2,3,4,5,6,7,8	1,2,3,4,5,6,7,8	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10
云覆盖率%	<3	<3	<3

2.2 研究方法

2.2.1 地形位指数 地形位模型可以将高程与坡度组合成一个综合指数来描述,可更清晰准确地反映土地利用空间格局和地形梯度的关联性^[10],体现高程与坡度变化对土地利用空间格局的综合影响。其计算公式为:

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

式中: T 为地形位指数; E, \bar{E} 分别代表空间任意一点的高程值和该点所在区域的平均高程值; S, \bar{S} 分别代表空间任意一点的坡度值和该点所在区域的平均坡度值。高程越高、坡度越大,对应的地形位指数就越大,反之则越小;高程较高但坡度较小或高程较小但坡度较高,地形位指数则接近中间值。

2.2.2 地形分布优势指数 地形分布指数可以描述区域不同土地利用类型在各地形梯度上的概率分布情况,能够有效消除地形梯度区段和土地利用面积差异带来的影响,反映不同土地类型的分布优势状况^[11]。其计算公式为:

$$P = (S_e / S_i) \times (S / S_e) \quad (2)$$

式中: P 为地形分布指数; e 代表某一地形因子,本研究为高程、坡度、地形位,分别进行计算; S_e 代表 e 地形因子某一等级下的 i 地类的面积; S_i 代表 i 地类的面积; S_e 代表研究区 e 地形因子在某一等级下的面积; S 代表研究区总面积。分布指数是一个标准化、无量纲的指数^[12]。某种地类分布指数变化越小,表明该地类对地形差异的适宜性越好;反之,则对地形具有较强的选择性^[13-14]。当 $P=1$ 时,表示某地类在某级地形上的比重与该地类占整个研究区的比重

相等;当 $P>1$ 时,表明某地类在某级地形上的比重大于该地类占整个研究区的比重,则将 $P>1$ 的地形区段确定为该地类的优势位。

2.2.3 地形因子分级 泸水市高程和坡度分布范围分别为 728.5~4 162.1 m 和 $0^\circ \sim 78.6^\circ$ (图 1),根据本文的研究内容,对泸水市高程、坡度、地形位指数进行分级。考虑到泸水市高山峡谷地貌具有高差大、坡度陡,低海拔和低坡度地区面积较小的特征,为避免低等级区域面积过小,不能很好的体现梯度性,参考泸水市相关研究^[15],适当提高高程、坡度因子各等级间隔和初始等级范围。研究区高程因子分为 5 级:1 级($\leq 1 600$ m),2 级(1 600~2100 m),3 级(2 100~2600 m),4 级(2 600~3 100 m),5 级($> 3 100$ m);坡度因子分为 5 级:1 级($0^\circ \sim 8^\circ$),2 级($8^\circ \sim 15^\circ$),3 级($15^\circ \sim 25^\circ$),4 级($25^\circ \sim 35^\circ$),5 级($> 35^\circ$);地形位指数由公式(1)计算后,范围为 0.12~0.90(图 1),按照等数量分类法等分为 10 个级别,分别用数字 1—10 表示。

3 结果与分析

3.1 土地利用变化分析

由表 2 可知,泸水市土地利用结构表现出明显的优势分布倾向,林地是泸水市最主要的土地利用类型,具有统治地位,占比达到全市总面积的 75% 以上,且持续增加,体现了泸水市生态战略地位的重要性;未利用地、耕地和草地在土地利用结构中也占据重要地位,在 2000—2018 年均呈持续减少趋势,占比分别从 2000 年的 11.26%,6.95%和 3.09%减少到 2018 年的 6.61%,5.28%和 1.77%,表明退耕还林、封山育林等生态保护治理工程推动了未利用土地、陡

坡耕地、草地向林地的转变,有效改善了当地的生态环境;建设用地和水域占比最小。水域主要由怒江干流构成,常年水量稳定,面积一直稳定在 900 hm² 左右。受高山峡谷地貌限制,建设用地面积和占比一直

不高,2000 年占比仅为 0.91%,但随着当地经济的快速发展和对土地的开发平整,建设用地有明显增加,2018 年增加到 1.55%,但仍低于 2%^[16] 的全国平均水平。

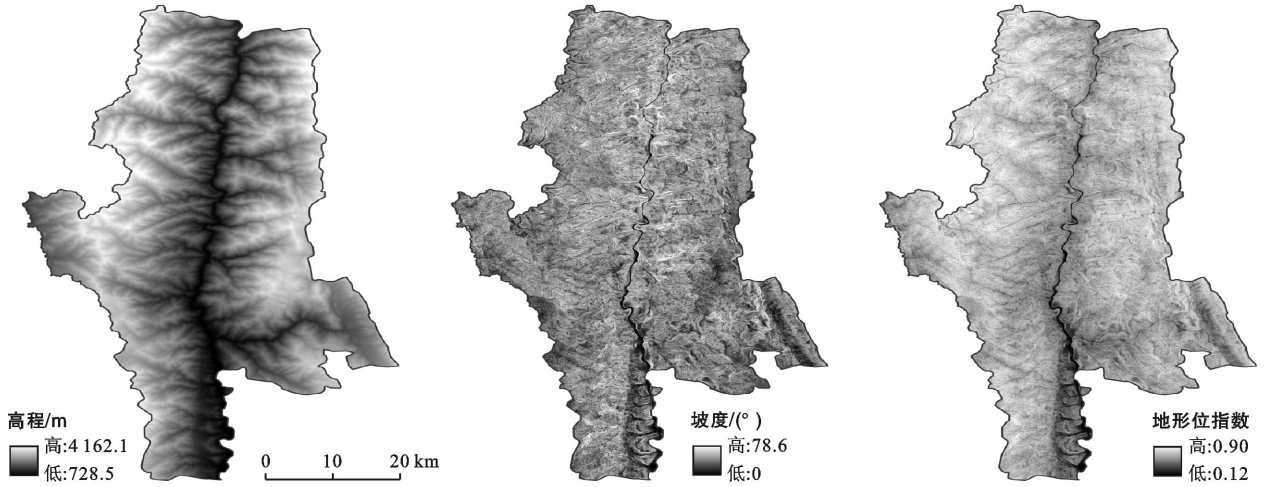


图1 泸水市高程、坡度、地形位指数

表2 泸水市 2000—2018 年土地利用类型面积及其变化

土地利用类型	2000 年		2010 年		2018 年	
	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%
林地	239 434.18	77.50	249 938.06	80.90	261 019.13	84.49
未利用地	34 776.16	11.26	28 315.71	9.17	20 407.78	6.61
水域	909.29	0.29	941.91	0.30	932.78	0.30
建设用地	2 804.49	0.91	3 201.66	1.04	4 785.65	1.55
耕地	21 478.75	6.95	18 542.81	6.00	16 307.07	5.28
草地	9 546.08	3.09	8 008.80	2.59	5 496.54	1.77

3.2 基于高程梯度的土地利用类型分布特征分析

将泸水市高程分级结果与土地利用数据叠加处理,统计 2000,2010,2018 年各地类在 5 个高程等级的分布情况,并计算对应的高程分布指数,得到表 3。可以看出,各高程等级的面积相近,1—5 级分别占泸水市总面积的 17.36%,18.89%,23.00%,21.66%,19.09%。

其中,林地所有高程等级中均为占比最大的地类,第 1 级占比已达 58% 以上,且面积和占比随高程升高逐渐增加,至第 5 级有所减少,体现了林地在垂直方向具有普遍的统治地位。2000—2018 年各等级林地面积持续增加,分布指数变化则表明 2 600 m 以下的林地增速明显快于以上的林地;未利用地总体随高程的升高而增加,在第 5 级具有主导优势,表明海拔越高,气候越恶劣,不适宜植物生长的区域就越大。2000 年之后,随着生态环境的普遍改善,未利用地不断向林地转变,第 1—4 级未利用地显著减少,但第 5 级分布指数却呈增加趋势,结合林地的变化趋势,说

明泸水市高海拔生态脆弱区生态环境的改善程度有限;水域高度集中在第 1 级,占水域总面积的 97%,之后随着高程的增加面积迅速下降,这主要是因为作为泸水市主要水系的怒江干流全部流经 1 600 m 以下区域,其他支流水系也随着高程升高而逐渐减少的缘故;耕地和建设用地随高程的增加逐渐减少,优势位均处在第 1,2 级,这与人类活动的聚集分布规律呈正相关性,说明了两种地类分布受到人为因素的直接影响。2000—2018 年,因泸水市退耕还林的实施和经济发展的需要,各等级耕地持续减少,尤以第 1,2 级的减少面积最多,占耕地总减少面积的 86.76%。建设用地也在经济发展的推动下不断扩张,以第 1 级扩张最为突出,占建设用地总增长面积的 90.38%;草地面积随高程等级增加呈倒 U 字形分布,优势位在第 1—3 级,2000—2018 年面积总体呈现减少趋势,也与退耕还林等生态保护工程的实施有密切关系。以上分析体现了泸水市作为高山峡谷区,土地利用结构在高程梯度上的明显的层级差异。

表 3 泸水市不同高程梯度上各土地利用类型面积及分布指数

土地利用类型	年份	不同高程分级土地利用状况									
		1级(≤1 600 m)		2级(1 600~2 100 m)		3级(2 100~2 600 m)		4级(2 600~3 100 m)		5级(>3 100 m)	
		面积/hm ²	分布指数	面积/hm ²	分布指数	面积/hm ²	分布指数	面积/hm ²	分布指数	面积/hm ²	分布指数
林地	2000	31 597.13	0.76	42 669.98	0.94	59 306.75	1.08	61 197.46	1.18	44 662.86	0.98
	2010	32 924.24	0.76	46 580.8	0.99	63 874.2	1.11	62 460.3	1.15	44 098.52	0.92
	2018	36 177.29	0.80	49 464.7	1.00	66 400.86	1.11	63 774.55	1.13	45 201.73	0.91
未利用地	2000	3 353.09	0.56	5 415.69	0.82	7 580.23	0.95	4 676.45	0.62	13 750.7	2.07
	2010	2 761.51	0.56	2 977.68	0.56	3 877.97	0.60	3 945.45	0.64	14 753.1	2.73
	2018	482.86	0.14	1 628.87	0.42	1 972.55	0.42	2 627.2	0.59	13 696.3	3.52
水域	2000	885.36	5.61	16.28	0.09	7.65	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
	2010	912.35	5.58	19.13	0.11	10.35	0.05	0.00	0.00	0.08	0.00
	2018	905.12	5.59	18.36	0.10	9.3	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
建设用地	2000	2 040.22	4.19	572.4	1.08	141.9	0.22	36.47	0.06	13.50	0.03
	2010	2 322.79	4.18	617.9	1.02	209.6	0.28	32.71	0.05	18.66	0.03
	2018	3 830.78	4.61	693.37	0.77	209.5	0.19	25.74	0.02	26.26	0.03
耕地	2000	13 668.61	3.67	6 212.38	1.53	1 243.2	0.25	212.03	0.05	142.53	0.03
	2010	12 280.47	3.82	5 060.99	1.45	1 113.93	0.26	44.05	0.01	43.37	0.01
	2018	11 002.5	3.89	4 391.7	1.43	844.19	0.23	42.96	0.01	25.72	0.01
草地	2000	2 087.99	1.26	3 463.14	1.92	2 777.34	1.26	802.3	0.39	415.31	0.23
	2010	2 431.04	1.75	3 093.37	2.05	1 971.02	1.07	442.2	0.25	71.17	0.05
	2018	1 233.85	1.29	2 152.87	2.07	1 620.67	1.28	454.26	0.38	34.89	0.03

3.3 基于坡度梯度的土地利用类型分布特征分析

将泸水市坡度分级结果与土地利用数据叠加处理,统计 2000、2010 和 2018 年各地类在 5 个坡度等级的分布情况,并计算对应的坡度分布指数,得到表 4。可以看出,各等级面积差异巨大,坡度等级越高,面积占比就越大,1—5 级分别占泸水市总面积的 1.89%,4.18%,16.10%,34.29%和 43.53%,体现了高山峡谷地貌“山高谷深,平地少”的特点。

其中,林地在坡度梯度上同样占有统治地位,在各坡度等级均为占比最大的地类,又以第 4、5 级为优势位,在 2000—2018 年除 1—2 级有所下降外,3—5 级占比均持续增加,反映了泸水全市生态环境的改善趋势;未利用地面积随坡度的增加也呈上升趋势,优势位在第 2—4 级,2000 年各级分布指数均在 1 上下浮动,表明未利用地分布对坡度的敏感性较低。但 2000 年后,未利用地前 4 级分布指数不断增大,第 5 级明显变小,这可能是由于泸水市未利用地多分布在 >35°的山腰陡坡地带,是生态保护工程干预的重点地区,而山顶缓坡地带的未利用地则受干扰较小;建设用地和耕地主要分布于第 1—3 级,但在 25°以上地区也有一定分布,这是由于泸水市优质缓坡土地的稀缺,使得人们不得不向陡坡区域进行开垦和建设。建设用地和耕地的分布指数也随坡度的升高而降低,优势位均处在第 2—4 级,表明这两种地类更偏向坡度

较低的地区,同时也挤占了林地、草地在低坡地区的分布空间;水域坡度梯度分布规律与高程相似,在第 1 级高度集中,面积和分布也较为稳定。泸水市坡度为 0°~8°的区域主要包括怒江干流及两岸的河滩和冲击区,在 V 字形地貌和重力的作用下,将水域汇流于此;草地虽然在各坡度等级的比重较小,但在坡度梯度上的分布具有较强的规律性,随着坡度的升高占比逐渐增加,优势位在第 5 级,体现了草地对陡坡环境较强的适应性。总体来看,泸水市土地利用结构在第 1—3 级变化剧烈,人类活动及与之相关的地类随着坡度的增加迅速衰减,进入第 4、5 级后,土地利用结构逐渐由林地和未利用地主导。

3.4 基于地形位梯度的土地利用类型分布特征分析

将地形位指数分级结果与泸水市 2000、2010 和 2018 年土地利用数据叠加,分别计算这 3 期各土地利用类型在地形位等级上的分布指数,分析土地利用类型在地形梯度上的分布特征,结果如图 2 所示。

2000—2018 年林地分布指数在地形梯度上表现出先增加后减少的趋势,变化曲线平稳,优势位集中在第 6—8 级。表明林地主要分布在中、高地形位区域,在的经济发展和生态治理保护综合作用下,第 1—4 级地形位区间的分布指数有所下降,而 4 级以上的分布指数则有小幅上升。

表 4 泸水市不同坡度梯度上各土地利用类型面积及分布指数

土地利用类型	年份	坡度分级									
		1级(0°~8°)		2级(8°~15°)		3级(15°~25°)		4级(25°~35°)		5级(>35°)	
		面积/hm ²	分布指数	面积/hm ²	分布指数	面积/hm ²	分布指数	面积/hm ²	分布指数	面积/hm ²	分布指数
林地	2000	2 591.87	0.57	8 143.79	0.81	36 852.85	0.96	83 163.60	1.01	108 482.07	1.04
	2010	2 723.45	0.61	8 518.45	0.83	38 007.45	0.94	86 681.79	1.01	114 006.92	1.05
	2018	2 329.31	0.47	8 360.32	0.77	39 487.80	0.94	90 775.00	1.01	120 066.70	1.06
未利用地	2000	621.64	0.94	1 626.76	1.11	6 139.76	1.09	12 810.60	1.07	13 777.40	0.90
	2010	475.85	0.94	1 448.99	1.24	5 281.30	1.15	10 250.97	1.05	10 858.60	0.88
	2018	367.02	0.95	1 253.57	1.47	4 353.88	1.33	7 765.24	1.11	6 668.07	0.75
水域	2000	713.79	41.33	89.10	2.34	68.70	0.47	25.60	0.08	12.10	0.03
	2010	736.55	43.56	93.98	2.42	69.26	0.45	27.95	0.09	14.17	0.03
	2018	727.37	41.06	93.76	2.40	71.50	0.48	26.42	0.08	13.73	0.03
建设用地	2000	621.48	11.67	451.14	3.84	707.58	1.57	694.29	0.72	330.00	0.27
	2010	862.14	15.00	576.14	4.36	774.23	1.50	655.54	0.60	333.61	0.24
	2018	1574.14	17.32	1 227.44	6.13	1 005.57	1.31	641.29	0.39	337.21	0.16
耕地	2000	1 297.82	3.18	2 524.22	2.81	5 228.78	1.51	6 523.59	0.89	5 904.34	0.63
	2010	1 049.65	3.15	2 196.20	2.87	4 920.43	1.64	6 022.60	0.95	4 353.93	0.54
	2018	858.26	2.77	1 949.54	2.86	4 419.51	1.68	5 171.82	0.93	3 907.94	0.55
草地	2000	21.39	0.12	98.55	0.25	739.72	0.48	2 706.12	0.83	5 980.30	1.44
	2010	20.35	0.14	99.80	0.30	684.72	0.53	2 284.95	0.83	4 918.98	1.41
	2018	11.89	0.11	48.93	0.21	399.13	0.45	1544.03	0.82	3 492.56	1.46

未利用地分布指数在地形梯度上表现出逐渐增大趋势,第 7 级以下随地形位级别的变化较小,第 7 级以上曲线陡然上升,在第 8—10 级分布指数大于 1。从时间变化看,3 期未利用地分布指数的地形梯度分布规律一致,第 7 级以下各级分布指数变化不大,第 8—10 级增长显著,说明未利用地优势区间越发向高地形位倾斜。

水域的优势区段在第 1—4 级,其中第 1 级分布指数最高,并随着地形位等级的升高迅速降低,从第 1 级的 116 左右降至第 5 级的 0.3。从时间变化看,水域分布指数变化不大,表明泸水市水域大量集中在河谷处的低地形位区域且保持稳定。

建设用地分布指数随地形位级别的增加呈连续衰减趋势,衰减曲线较为平滑,优势区段集中在第 1—5 级,符合建设用地宜布局在低海拔平坦区域的趋向,且集中程度明显大于非高山峡谷区。2000—2018 年,第 2,3 级分布指数增加明显,其他等级变化微小,反映除 2,3 级外的其他地形位等级可建设开发的土地已十分稀缺。

耕地的优势区段在第 1—6 级,随地形位等级的增加呈现先上升后减少的趋势,峰值在第 2—3 级,表明耕地偏向分布在中、低地形位。2000 年后,第 1,2 级分布指数逐渐减少,第 3,4 级显著增加,说明在低地形位建设用地占用和中高地形位退耕还林的双向作用下,耕地优势区段逐渐向中低地形位压缩。

草地分布指数在地形位梯度上呈现先增加后减

少的分布,峰值在第 6 级。从时间变化看,草地分布指数变化较为剧烈,2010 年在第 3,4,5 级有明显增加,而第 8,9,10 级则下降明显,可能与当地退耕还林在不同年份的实施侧重点不同有关。

综上,泸水市水域、建设用地、耕地主要聚集于河谷、坝区、中低山等中、低地形位地区。但受高山峡谷地貌的限制,相比于平原、丘陵地区,建设用地和耕地在中地形位的分布更为突出。林地、未利用地则广泛分布于中高地形位,草地在低地形位最为集中。在“山顶封和禁、半山移和退、河谷建和育”的生态保护建设方针指导下,泸水市城镇和耕地愈发向中低地形位集中,未利用地则向高地形位压缩,为林地在中、高地形位的扩张提供了空间。

3.5 土地利用功能分区研究

根据上文分析结果可以发现,泸水市不同土地利用类型呈现出不同的地形梯度分布特征,在坡度和高程上有着明显的等级差异,这为基于地形梯度的土地利用功能分区提供了可能性。利用表 3—4 中的数据,分别将 2018 年每种土地利用类型的各级高程分布指数与坡度分布指数依次相乘,提取各等级乘积大于 1 的地类,即为该高程和坡度级别共同优势地类。基于不同地形级别共同优势地类的聚集差异进行区域划分(表 5),并以优势地类的优先利用和保护为各分区的发展目标,最终基于不同的高程和坡度组合划分出了研究区 4 大土地利用功能区:河谷集约发展区,陡坡综合治理区,中高山生态提升区,山顶生态封禁区(图 3)。

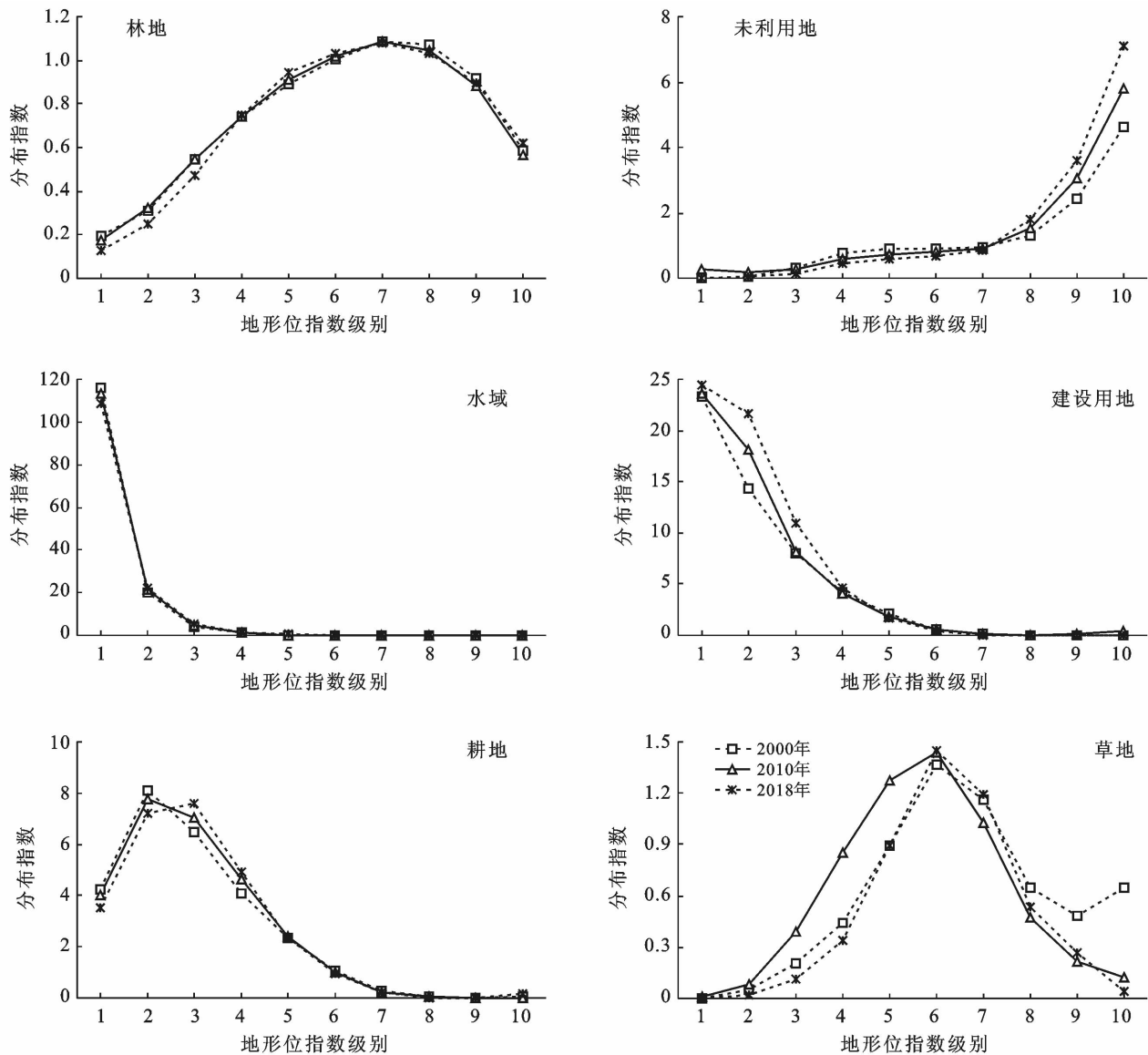


图 2 泸水市各土地利用类型在地形位指数梯度上的分布

表 5 泸水市各高程、坡度等级的共同优势地类分布及分区情况

坡度级别	不同高程级别优势地类				
	1级(≤1 600 m)	2级(1 600~2 100 m)	3级(2 100~2 600 m)	4级(2 600~3 100 m)	5级(>3 100 m)
1级 (0°~8°)	水域(229.27) 建设用地(79.85) 耕地(10.78)	水域(4.11) 建设用地(13.34) 耕地(3.96)	水域(1.64) 建设用地(3.29)		未利用地(3.31)
2级 (8°~15°)	水域(13.42) 建设用地(28.26) 耕地(11.13)	建设用地(4.72) 耕地(4.09)	建设用地(1.16)		未利用地(5.17)
3级 (15°~25°)	水域(2.68) 建设用地(6.04) 耕地(6.54)	建设用地(1.01) 耕地(2.40)	林地(1.04)	林地(1.06)	未利用地(4.68)
4级 (25°~35°)	建设用地(1.80) 耕地(3.62) 草地(1.06)	林地(1.01) 耕地(1.33) 草地(1.70)	林地(1.12) 草地(1.05)	林地(1.14)	未利用地(3.91)
5级 (>35°)	耕地(2.14) 草地(1.88)	林地(1.06) 草地(3.02)	林地(1.18) 草地(1.87)	林地(1.20)	未利用地(2.64)

注:括号内数字为某一地类在该地形等级的高程分布指数与坡度分布指数的乘积。

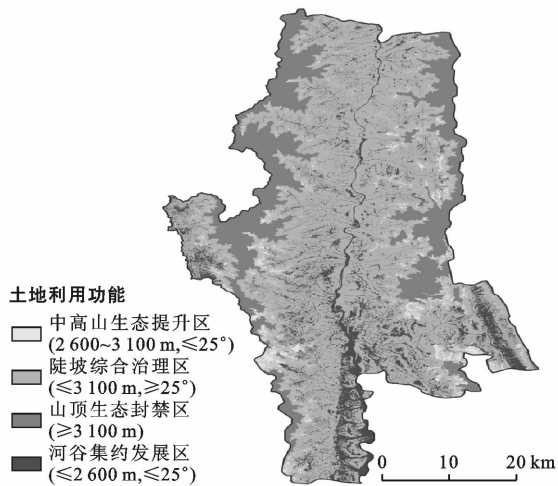


图3 泸水市土地利用功能分区结果

3.5.1 河谷集约发展区 位于高程小于2 600 m,坡度小于 25° 的区域,优势地类以水域、建设用地、耕地为主,主要包括怒江水系的河谷地带,以老窝镇、上江镇、六库镇、片马镇分布较多。这一地区地势平坦但面积狭小,是泸水市仅有的适宜人类生产生活的核心地带,承担着粮食保障、城镇建设、交通运输、工业生产等多项功能。所以,应因地制宜,严格实行土地节约集约利用,以可持续发展为目标,在保护怒江水系的前提下,平衡基本农田保护和经济社会发展的需要,带动全市摆脱贫困。

3.5.2 陡坡综合治理区 位于高程小于3 100 m,坡度大于等于 25° 的区域,优势地类以耕地、草地、林地为主,主要包括怒江河谷两侧的碧罗雪山和高黎贡山,是全市分布最广的功能区。这一地区坡度较陡,但海拔适中,仍有较多人类活动,分布有大量耕地和少量建设用地。但受地形限制和对“三江并流”世界遗产地保护的要求,不适合高强度生产生活用途,应以生态环境保护为首要任务,依托高黎贡山国家自然保护区,坚持退耕还林、陡坡地生态治理等生态恢复工程,同时调整种植业结构,以生态旅游和林业经济为产业支撑,促进耕地、草地向林地转变,提升全市生态环境质量。

3.5.3 中高山生态提升区 位于高程在2 600~3 100 m区间,坡度小于 25° 的区域,没有特别突出的优势地类,但未利用地和林地相对有较多分布,是森林覆盖区和山顶积雪覆盖区之间的过渡地带。这一地区生态环境脆弱,植物生长难度较高,存在向森林覆盖区或裸土裸岩区转变的双面性。应禁止土地开发建设,并对竹材采伐和林下采集业进行严格控制,在保护原有森林资源规模不变的前提下,通过封山育林、荒山绿化等措施,提高森林覆盖率,预防水土流失和地质灾害,增强生态屏障功能。

3.5.4 山顶生态封禁区 位于高程大于等于3 100 m的区域,未利用地具有绝对主导优势,以碧罗雪山和高黎贡山山顶的冬季积雪覆盖区为主体,紧挨泸水市东西两侧行政边界。这一地区海拔较高,主要受气候因素主导,并不适宜植物生长,应贯彻“山顶封和禁”的方针,除环境保护和科研考察需要外,杜绝这一地区的人类活动,保持原生态面貌。

4 结论

(1) 作为典型的高山峡谷区,泸水市土地利用结构具有明显的优势分布特征。林地在全市占统治地位,而耕地、建设用地、草地、水域的占比较小。2000—2018年建设用地增加明显,水域变化不明显,未利用地、耕地、草地持续向林地转变,导致林地面积增加。

(2) 泸水市土地利用格局受高山峡谷地貌影响,在地形梯度上的层级差异十分显著。林地在整个地形梯度上最为突出,且随着生态环境的改善占比持续增加;水域高度汇集于低地形位的河谷地带;建设用地和耕地与人类活动的分布规律一致,在中、低地形位分布广泛,并在退耕还林、经济发展的作用下逐渐向低地形位集中;未利用地对坡度敏感性较低,但在高海拔地区占主导优势,经过治理后,中、低地形位未利用地大量向林地转变;草地主要分布在高程低但坡度较高的中地形位。

(3) 基于不同的高程和坡度组合泸水市可分为4大土地利用功能区,河谷集约发展区作为全市经济增长的中心,应在保护怒江水系生态安全的基础上,促进工、农、服务业集约化发展,高效合理配置土地资源;陡坡综合治理区是全市生态安全的基本盘,应贯彻一系列必要的生态治理恢复工程,在保持良好生态质量的同时,发展生态旅游和林业经济;中高山生态提升区是全市生态环境质量提高的潜力股,应禁止土地开发建设,合理利用自然资源,争取在生态环境上保质提量;山顶生态封禁区生态环境恶劣且脆弱,但有着独特的山顶自然风光,应坚持封山,保持原生态面貌。

高山峡谷区作为一种特殊的地貌区,与平原、丘陵地区相比,地形对土地利用的影响更为显著。在研究中发现,高山峡谷区地形梯度特征明显,低地形位区域面积狭小,以中、高地形位为主,限制了对土地利用,也导致了在土地利用结构及其在地形梯度分布规律上的特殊性,具有明显的优势和层级分布特征。通过分区发展,可以充分挖掘高山峡谷区的发展潜力,促进这一类地区的可持续发展。

[参 考 文 献]

- [1] 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.
- [2] 简萍,李阳兵,王权. 基于地形梯度的典型峰丛洼地区土地利用空间分布格局分析[J]. 长江流域资源与环境,2020,29(5):1128-1139.
- [3] 宋戈,王盼盼. 松嫩高原原县域土地利用空间格局地形梯度特征分析:以巴彦县为例[J]. 地理科学,2017,37(8):1218-1225.
- [4] 牛志君,赵建利,王晓晴,等. 基于地形梯度的冀西北山地丘陵区土地利用格局变化分析:以河北省怀来县为例[J]. 水土保持研究,2017,24(4):95-102.
- [5] 李靖,廖和平,蔡进,等. 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[J]. 长江流域资源与环境,2018,27(2):296-305.
- [6] 徐小任,徐勇. 黄土高原地区人类活动强度时空变化分析[J]. 地理研究,2017,36(4):661-672.
- [7] 原文超,徐明德,杨晨,等. 基于适宜性评价的土地利用分区研究:以山西省汾阳市为例[J]. 干旱地区农业研究,2018,36(2):210-217,225.
- [8] 李丹,韩书成,张燕纯,等. 基于主成分与聚类分析法的城市土地利用规划分区研究:以广州市为例[J]. 中国农业资源与区划,2017,38(6):130-136,143.
- [9] 国土资源部. GB/T21010-2017 土地利用现状分类[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 臧玉珠,刘彦随,杨园园. 山区县域土地利用格局变化及其地形梯度效应:以井冈山市为例[J]. 自然资源学报,2019,34(7):1391-1404.
- [14] 赵艳霞,武爱彬,刘欣,等. 浅山丘陵区土地利用地形梯度特征与生态服务价值响应[J]. 水土保持研究,2014,21(3):141-145.
- [15] 李益敏,谢亚亚,蒋德明,等. 怒江州斜坡地质灾害孕灾环境因素敏感性研究[J]. 水土保持研究,2018,25(5):300-305.
- [16] 樊勇,何宗宜,李敏敏,等. 1980—2015 年中国建设用地变化研究[J]. 测绘通报,2020(1):128-131.

(上接第 296 页)

- [22] 王晓娇,陈英,齐鹏,等. 基于信息熵的张掖市土地利用结构分析及其灰色预测[J]. 干旱区研究,2011,28(1):92-97.
- [23] 彭大雨,鲁成树,曹海涛. 基于信息熵的芜湖市土地利用结构时空变化分析[J]. 安徽农业科学,2018,46(7):18-21.
- [24] 谭永忠,吴次芳. 区域土地利用结构的信息熵分异规律研究[J]. 自然资源学报,2003,18(1):112-117.
- [25] 李平,李秀彬,刘学军. 我国现阶段土地利用变化驱动力的宏观分析[J]. 地理研究,2001,20(2):129-138.
- [26] 尹炀,刘吉平,李晟铭,等. 1960—2016 年吉林省气温时空变化特征[J]. 安徽农业科学,2018,46(28):144-146.
- [27] 刘宝涛,刘惠清,郭佳,等. 吉林省城市建设用地扩张时空特征及驱动因素分析[J]. 资源开发与市场,2018,34(10):1377-1382,1388.
- [28] Li Wenbo, Wang Dongyan, Li Hong, et al. Quantifying the spatial arrangement of underutilized land in a rapidly urbanized rust belt city: The case of Changchun City [J]. Land Use Policy, 2019, 83: 113-123.
- [29] 任永星,李晓燕,王宗明,等. 1990—2015 年吉林省西部耕地变化与“早改水”时空特征研究[J]. 遥感技术与应用,2019,34(5):1064-1072.

(上接第 302 页)

- [14] 赵春芳,董朝阳,伍磊,等. 浙江省水资源生态足迹时空格局[J]. 水土保持通报,2016,36(1):242-248.
- [15] 张倩,谢世友. 基于水生态足迹模型的重庆市水资源可持续利用分析与评价[J]. 灌溉排水学报,2019,38(2):93-100.
- [16] 邓晓军,杨琳,吴春玲,等. 广西水资源与社会经济发展协调度评价[J]. 中国农村水利水电,2013(3):14-17.
- [17] 张义,邹永福,李丰生,等. 基于灰色神经网络模型的水资源生态足迹预测:以广西为例[J]. 人民长江,2017,48(1):37-42.
- [18] 张义. 基于生态足迹模型的河池市水资源可持续利用评价[J]. 南水北调与水利科技,2013,11(4):26-30.
- [19] 莫崇勋,宋丽,蔡德所,等. 广西北部湾经济区水资源承载能力演变分析[J]. 水力发电学报,2015,34(1):45-48,54.
- [20] 黄林楠,张伟新,姜翠玲,等. 水资源生态足迹计算方法[J]. 生态学报,2008,28(3):1279-1286.
- [21] Ang B W, Xu X Y, Su Bin. Multi-country comparisons of energy performance: The index decomposition analysis approach [J]. Energy Economics, 2015, 47: 68-76.