

大山包地区土地利用的地形梯度效应与空间结构特征

张丽¹, 王平¹, 段霄¹, 赵子蛟²

(1. 云南师范大学 地理学部, 云南 昆明 650500; 2. 云南大山包黑颈鹤国家级自然保护区管护局, 云南 昭通 657000)

摘要: [目的] 探究地形因素对土地利用格局与空间结构特征的影响, 为大山包地区土地开发利用的规划和决策提供科学参考。[方法] 运用地形梯度分析法和分形理论来探讨其土地利用的地形梯度效应与空间结构特征。[结果] ① 大山包地区各土地利用类型在不同海拔、坡度和地形位指数的空间分布格局存在显著差异。② 耕地、建设用地、水域优势分布的地形位指数区间均为 0.26~0.53, 林地 0.53~1.21, 草地 0.44~0.60, 未利用地为 0.26~0.53, 0.71~1.21。③ 土地利用综合强度指数和土地利用多样性指数随着海拔和坡度增加分别由 234.75, 0.82 逐渐降低至 218.49, 0.63 再分别升高至 221.02, 0.67, 且二者随着海拔和坡度的增加呈现出先降低后升高的趋势。④ 各地类分布的分形特征明显, 分维数介于 1.191 1~1.668 8, 各地类的稳定性大小依次为林地(0.308 9) > 建设用地(0.282 8) > 耕地(0.264 1) > 未利用地(0.199 7) > 水域(0.168 8) > 草地(0.135 1)。[结论] 大山包地区土地利用格局与空间结构特征受地形因素影响显著, 地形梯度特征明显。

关键词: 土地利用; 地形梯度效应; 空间结构; 大山包地区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)02-0315-07

中图分类号: F301.2

文献参数: 张丽, 王平, 段霄, 等. 大山包地区土地利用的地形梯度效应与空间结构特征[J]. 水土保持通报, 2022, 42(2): 315-321. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.02.042; Zhang Li, Wang Ping, Duan Xiao, et al. Terrain gradient effect and spatial structure characteristics of land use in Dashanbao area [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(2): 315-321.

Terrain Gradient Effect and Spatial Structure Characteristics of Land Use in Dashanbao Area

Zhang Li¹, Wang Ping¹, Duan Xiao¹, Zhao Zijiao²

(1. Department of Geography, Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan 650500, China;

2. Yunnan Dashanbao Grus Nigricollis National Nature Reserve Management and Protection Bureau, Zhaotong, Yunnan 657000, China)

Abstract: [Objective] The influence of topographical factors on land use pattern and spatial structure characteristics was explored in order to provide a scientific reference basis for the planning and decision-making of land development and utilization in Dashanbao area. [Methods] Terrain gradient analysis method and fractal theory were used to explore the terrain gradient effect and spatial structure characteristics of land use. [Results] ① There were significant differences in the spatial distribution patterns of various land use types in Dashanbao area at different altitudes, slopes and topographic index. ② The topographic index range of the dominant distribution of cultivated land, construction land and water area were all 0.26~0.53, forest land was 0.53~1.21, grassland was 0.44~0.60, unused land was 0.26~0.53 and 0.71~1.21. ③ The comprehensive land use intensity index and the land use diversity index gradually decreased from 234.75 and 0.82 to 218.49 and 0.63 respectively with the increase of altitude and slope, and then increased to 221.02 and 0.67 respectively, and the both decreased first and then increased with the increase of altitude and slope. ④ The fractal characteristics of the distribution of each category were obvious, and the fractal dimension was between 1.191 1~1.6 688. The stability of each category was in the order of forest land (0.308 9) > construction land (0.282 8) >

收稿日期: 2021-09-07

修回日期: 2021-11-17

资助项目: 云南师范大学研究生科研创新项目“云南轿子山国家级自然保护区主要植被类型生态化学计量特征研究”(YJSJJ21-B87)

第一作者: 张丽(1993—), 女(汉族), 云南省昭通市人, 硕士研究生, 研究方向为区域生态与土地规划。Email: 1729057634@qq.com。

通讯作者: 王平(1965—), 男(汉族), 云南省昭通市人, 硕士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事区域自然地理及自然环境保护研究。Email: ynwangping@163.com。

cultivated land (0.264 1) > unused land (0.199 7) > water (0.168 8) > grass (0.135 1). [Conclusion] The land use pattern and spatial structure characteristics of Dashanbao area are significantly affected by topographic factors, and the characteristics of topographic gradient are obvious.

Keywords: land use; terrain gradient effect; spatial structure; Dashanbao area

土地利用空间格局作为土地利用/土地覆被变化(LUCC)研究的重要内容之一,不仅受当地自然地理环境(如水文、生物、气候等)及人类社会经济等多重因素的影响,而且陆地自然表体特征对其影响也十分显著^[1]。土地利用格局发生变化的同时必然会伴随着周围的自然环境发生一系列改变,其与之密切相关的生物植被的平衡和自然资源的持续利用等问题也会随之而来^[2]。

地形作为自然地理环境的一个重要组成部分,使区域内水、热条件发生再分配,进而深刻影响着人类利用土地的方式和程度,对区域土地利用空间格局产生重要影响^[3-6]。梁发超等^[7]引入地形位指数和分布指数分别在海拔、坡度、地形位 3 个地形因子不同等级上分析土地利用类型分布特征,斯钧浪等^[8]、董顺周等^[9]、徐州等^[10]则在此基础上引入土地利用综合强度指数,探究在不同地形梯度上土地利用程度特征,简萍等^[11]、王权等^[12]又引入土地利用多样性指数,探究了不同地形梯度上的土地利用均匀程度。以上学者的研究表明,对土地利用分布与地形梯度的联系进行探讨,能够合理有效地分析土地利用受地形因子影响而表现出来的分布特点。区域社会经济的优化程度和速率在一定意义上取决于对土地资源的高效利用。

大山包地区地形为典型极大起伏亚高山,各类生产活动受地形的限制较大,土地利用的变化对当地经济可持续发展产生直接影响。大山包地区(大山包黑颈鹤国家级自然保护区及附近地区)社会经济发展深受海拔和坡度等地形因子的影响。大山包地区生态环境抵御风险能力较低,政策法规对土地利用和生态环境产生较大影响,如退耕还林还草、退耕还湿、湿地保护、封山育林、育草等,也影响着区域经济发展模式^[13]。该地区生态环境脆弱,水土流失严重,森林资源基础脆弱,地质灾害易发。另外,该地区还是金沙江下游一小江流域水土流失控制生态保护红线^[14]的重要组成部分,分布有大山包黑颈鹤国家级自然保护区和大山包国际重要湿地。本文基于 DEM 和 GIS 空间分析功能,结合地形梯度分析法和分形理论就大山包地区土地利用类型、土地利用程度与地形因子关系,通过其空间分布格局的差异性,来揭示土地利用的地形梯度效应,并在此基础上探讨土地利用的空间结构特征,以期为该地区土地开发利用的规划和决策提供科学参考。

1 研究区概况

大山包地区位于金沙江下游滇东北昭通市境内,由昭阳区大山包镇、大寨子乡、炎山镇、田坝乡和鲁甸县梭山镇、新街镇和龙树镇龙树河以西区域构成,总面积 688.87 km²。境内海拔 490~3 364 m,地势高低起伏大,地形为典型极大起伏亚高山,土地利用以草地、耕地和林地为主。高耸地势使该区域成为多条河流的发源地,是金沙江下游和滇东北地区重要的水源涵养区之一,水塔效应显著。气候类型属于暖湿性高原季风气候,冬寒夏凉。大山包黑颈鹤自然保护区主要位于大山包镇境内,小面积分布在新街镇西部,面积 192 km²,占大山包地区总面积的 27.9%,2005 年被列入“国际重要湿地名录”,是我国现有 64 个国际重要湿地之一,该湿地是世界唯一一种在高原上繁殖和越冬的珍稀濒危鹤类——黑颈鹤的重要越冬地之一^[15]。

2 数据处理与研究方法

2.1 数据来源与数据处理

土地利用数据来源于地理空间数据云 2020 年 Landsat 8 遥感影像,遥感数据分辨率为 30 m,解译精度为 88.76%。参照刘纪远等学者^[16-17]的中国土地利用分类系统,将大山包地区土地利用类型分为林地、草地、耕地、建设用地、水域及未利用地共 6 类,最后将分类结果叠加到 Google 影像上进行校正,得到土地利用类型空间分布图(附图 9)。地形数据包括数字高程模型(DEM)、坡度和地形位指数(附图 9)。DEM 数据来自 ALOS,其空间分辨率为 12.5 m。运用 ArcGIS 10.2 软件,借助 Spatial Analyst Tool 工具分析功能,基于 DEM 提取出坡度,地形位指数由海拔和坡度进行栅格计算得到。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用地形梯度效应分析 选取海拔、坡度、分布指数、地形位指数、土地利用综合强度指数、土地利用多样性指数和分形理论等来分析大山包地区土地利用的地形梯度效应。依据该地区土地利用类型及地形分布情况,结合 ArcGIS 10.2 软件,对生成的海拔、坡度和地形位指数数据进行分级,进而定量分析土地利用特征。以 500 m 为间隔,将研究区海拔分为 6 个级别。参照《第三次全国国土调查技术

规程》^[18]中的坡度分级标准和水土保持坡度分级^[19],并结合该区域实际的地表形态特征,将坡度划分为6个级别。同时,用自然间断法将地形位指数划分为6级(表1)。

表1 大山包地区海拔、坡度和地形位指数分级

级别	海拔/m	坡度/(°)	地形位指数
1级	490~1 000	0~5	0.26~0.44
2级	1 000~1 500	5~15	0.44~0.53
3级	1 500~2 000	15~25	0.53~0.60
4级	2 000~2 500	25~35	0.60~0.65
5级	2 500~3 000	35~45	0.65~0.71
6级	3 000~3 364	>45	0.71~1.21

(1) 分布指数。分布指数能够通过土地利用出现的频率,定量地反映其在空间上的分布情况,该指数具有消除地貌分级和土地利用面积差异影响的优势,是一个标准化、无量纲指数^[20],计算公式为:

$$P = \frac{S_{ie}/S_i}{S_e/S} \quad (1)$$

式中: P 为分布指数; S_{ie} 为 e 地貌分级上 i 种地类面积; S_i 为 i 种地类的总面积; S_e 为 e 地貌因子的总面积; S 为研究区的面积。 P 值代表某地类出现的频率, P 值大于或等于1,表明某地类处于优势分布,值越大,优势度越大; P 值小于1,其分布处于劣势。

(2) 地形位指数(T)。地形位指数将高程和坡度两者相结合,来综合反映地形对土地利用空间格局的影响^[21]。计算公式为:

$$T = \log \left[\left(\frac{E}{\bar{E}} + 1 \right) \times \left(\frac{S}{\bar{S}} + 1 \right) \right] \quad (2)$$

式中: E 为空间内任何一点的高程值; \bar{E} 为研究区平均高程值; S 为空间内任何一点的坡度值; \bar{S} 为研究区平均坡度值,海拔越高,坡度越大,地形位指数越大,反之则越小。在ArcGIS 10.2软件平台中提取高程和坡度数据,利用焦点统计工具提取上述参数,利用栅格计算器,参照上式,计算地形位指数,并用自然间断法将该指数划分为6级生成地形位指数空间分布图(图1)。

(3) 土地利用综合强度指数(L_a)。土地利用综合强度指数可以揭示人类对土地开发利用程度在不同地形等级下的分布规律,计算公式^[22]为:

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

式中: A_i 表示研究区域内第 i 种地类所占的比重; C_i 表示研究区域内第 i 种地类的分级指数,具体参照庄大方等^[23]提出的土地利用程度的分级指数进行确定。

(4) 土地利用多样性指数(Y_h)。土地利用多样

性指数可定量表示研究区内各土地利用类型组成在不同地形梯度上的均匀程度,其表达式为^[24]:

$$Y_h = \frac{-\sum_{i=1}^n P_i \cdot P_i}{\ln n} \quad (4)$$

式中: Y_h 为土地利用多样性指数; P_i 为第 i 种土地利用类型所占面积的比例; n 为土地利用类型的数量。多样性指数介于0~1,越接近于1则说明研究区内所有土地利用类型处于相对均匀分布状态,反之,分布均匀度较差。

2.2.2 土地利用空间结构分析 引入分形理论,分形维数计算公式^[25]为:

$$\ln A(i) = \frac{2}{D \ln P(i)} + C \quad (5)$$

式中: D 为分形维数; $A(i)$ 为某一地类图斑的面积; $P(i)$ 为某一地类图斑的周长; C 为常数项。采用Fragstats软件计算不同土地利用类型的面积和周长,再运用SPSS 26.0软件分别计算面积和周长的自然对数 $\ln A$ 和 $\ln P$,然后建立面积一周长的线性回归模型,可求得各土地利用类型的分维数 D 。同时,基于分形维数 D ,可以求得各地类空间结构稳定性指数SK,其计算公式^[25]为:

$$SK = |1.5 - D| \quad (6)$$

式中:SK为地类空间结构稳定性指数。

3 结果与分析

3.1 土地利用地形梯度效应分析

3.1.1 不同海拔各地类分布格局 大山包地区各地类在海拔梯度上呈现出较明显的分布差异(图1)。随着海拔的增加,水域和未利用地的分布指数呈现先迅速减小后又平稳上升的趋势,水域分布优势区间为490~1 000 m和3 000~3 364 m。低海拔区域其汇水面积相对较大,符合水域受重力影响的自然分布,而在3 000~3 364 m海拔段,因地势高耸,降水较多,径流深度大,单位面积产水量高,部分盆地、洼地和海子发育有河流和沼泽,有泉水补给,河川径流量较丰富,具备筑坝修建水库的有利地形和水文条件,以致该海拔段水域分布指数有所回升。林地和耕地分布指数随着海拔的升高呈现先增加后减少趋势。表明随着海拔的升高热量条件难以满足林木的生长;耕地与人类活动分布相一致。草地分布指数随海拔升高,有逐渐增加趋势,其优势区间为2 500~3 364 m,该海拔段内冷湿的气候有利于大面积亚高山草甸的生长。建设用地分布指数随海拔升高波动较明显,呈先增加后减少再增加的趋势,其分布优势区间为2 000~2 500 m,人类居住生活多分布在该海拔段的剥夷面上。

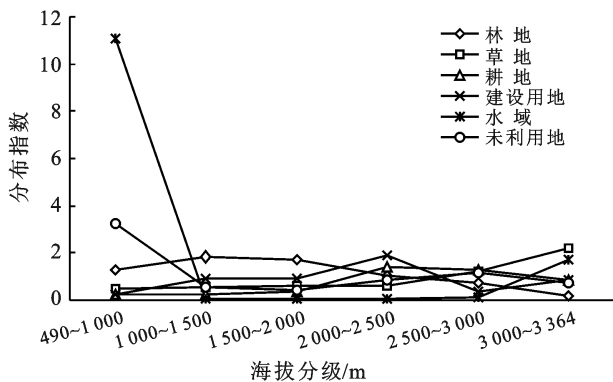


图 1 大山包地区海拔梯度上土地利用类型分布指数

3.1.2 不同坡度各地类分布格局 大山包地区各土地利用类型坡度变率梯度差异显著(图 2)。除林地和未利用地外,其他各地类的分布指数随着坡度的增加均呈现出减小态势。在缓坡和斜坡范围内,草地、耕地、水域和建设用地分布占主导地位,且分布指数随坡度增加有逐渐降低的趋势,表明这 4 种用地类型的分布对坡度具有较强的选择性。林地分布指数随坡度增加有逐渐升高的趋势,其分布优势区间为缓陡坡、急坡、险坡。坡度越大,限制了其他地类的分布,导致林地分布面积相对较高。未利用地分布指数随坡度增加先降低后增加,其分布优势区间为平坡、缓坡、险坡,在山顶平坡、缓坡部分为沼泽,而险坡区域土体较薄,植被覆盖度较差,甚至为裸岩,不适宜生产生活,开发利用难度大。

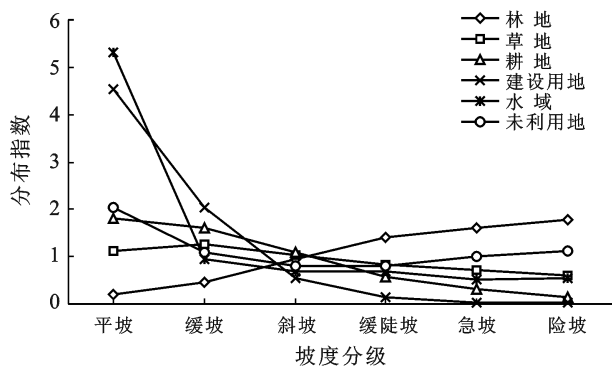


图 2 大山包地区坡度梯度上土地利用类型分布指数

3.1.3 不同地形位指数各地类分布格局 大山包地区土地利用类型地形梯度差异明显(图 3)。随着地形位指数的增加,林地和草地的分布指数呈现出缓慢上升趋势,当地形位指数大于 0.53 时处于优势分布,表明林地和草地主要分布在地形位较大的区域。耕地、建设用地和未利用地的分布指数在地形位梯度上呈现先下降再上升趋势。地形位指数为 0.26~0.57 的区间是耕地、建设用地和未利用地的优势分布区域,表明这 3 类用地的分布受地形条件的影响大,对

地形条件的选择性强。水域分布指数随海拔和坡度地形位指数增加先剧烈下降后趋于平稳再缓慢上升,其分布优势区间为 0.26~0.53。

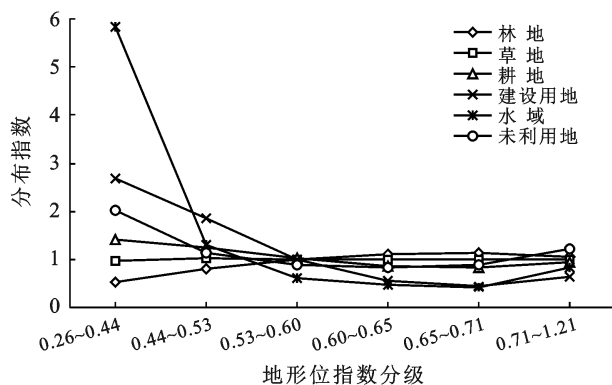


图 3 大山包地区地形位梯度上土地利用类型分布指数

3.1.4 不同地形梯度下土地利用强度及多样性特征 由图 4 可知,大山包地区土地利用强度综合指数随着海拔和坡度增加而呈逐渐降低趋势,但在第 0.65~0.71 区间之后有缓慢上升趋势,其变化范围为 218.49~234.75,随着海拔和坡度增大,土地开发利用难度逐渐增大,土地利用强度逐渐降低,而在第 0.71~0.21 区间范围内由于水域面积有增多趋势,人类利用水资源强度有所提高,从而导致土地利用强度增大。由图 4 可知,大山包地区土地利用多样性指数随着海拔和坡度增加与土地利用综合强度指数变化趋势相一致,其变化范围为 0.63~0.82,这主要原因是低地形位指数的区域,海拔低、坡度小,有利于人类充分、合理地土地资源进行开发和利用,使得土地利用多样性增加且分布均匀。

3.2 土地利用空间结构特征分析

3.2.1 各地类分形维数 分形维数值的大小可以反映各地类空间结构形态的复杂程度,其值越大,表明该地类的空间结构形态越复杂;相反,则越简单。采用 Fragstats 软件计算出大山包地区不同土地利用类型的面积和周长,再运用 SPSS.26.0 软件分别计算出面积和周长的自然对数 $\ln A$ 和 $\ln P$,然后建立面积一周长的线性回归模型(图 5),各参数值统计详见(表 2)。由计算结果可知,各地类相关系数均大于 0.85,表明不同地类的周长与面积相关性显著,同时表明运用分形理论来探讨大山包地区土地利用的空间结构特征是切实可行的。由表 2 可知,大山包地区各地类的分维值由大到小依次为:水域(1.668 8) > 草地(1.364 9) > 未利用地(1.300 3) > 耕地(1.235 9) > 建设用地(1.217 2) > 林地(1.191 1)。由此可知,水域(1.668 8)的分维值最大,表明水域用地的空间形态结构最为复杂,这是因为水域的边界主要受自然因素

影响而呈现出不规整的形态,且受人类活动等因素的干扰小。草地、未利用地和耕地这 3 类用地是在各种自然环境条件共同作用下形成的,而人为影响较小,且地块形态各异,结构复杂多样。建设用地受人为规

划因素的影响较大,该地类地块形状规整,空间结构形态简单。分维值最小的是林地,从实际情况来看,林地大多分布于海拔较高的山地,人类对林地开发利用程度较低,使其较好地保持着原始形态。

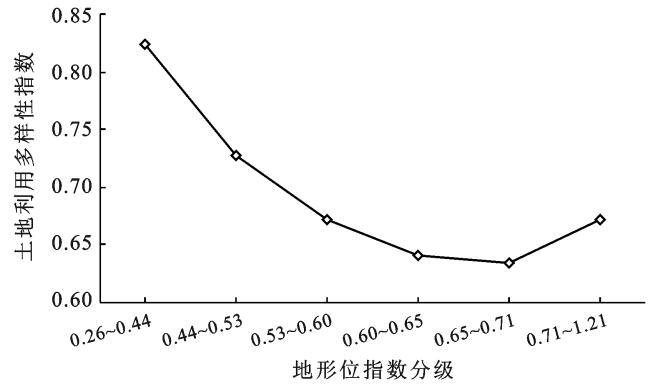
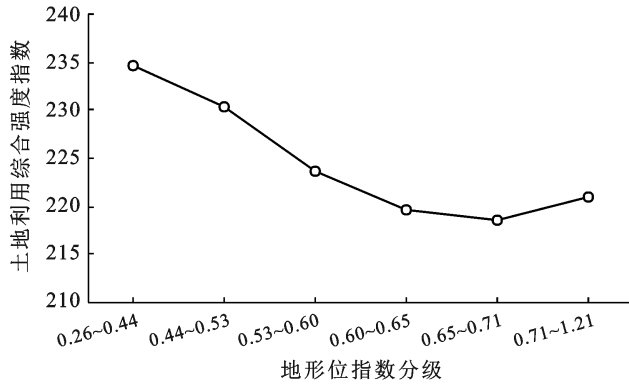
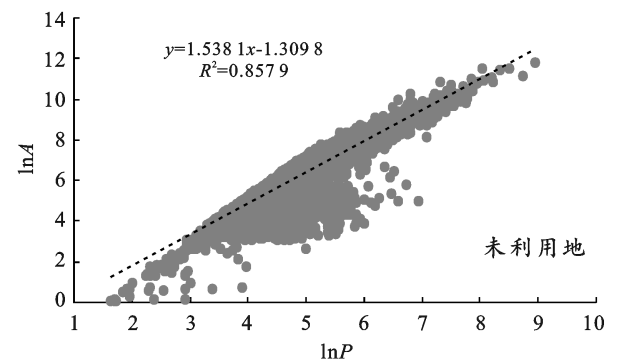
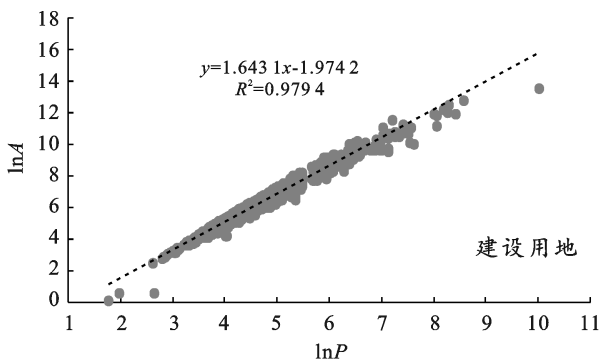
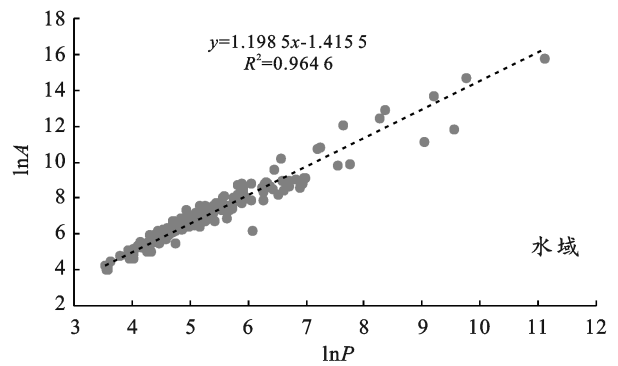
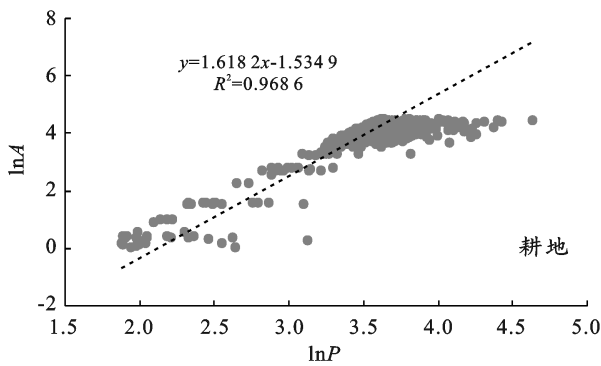
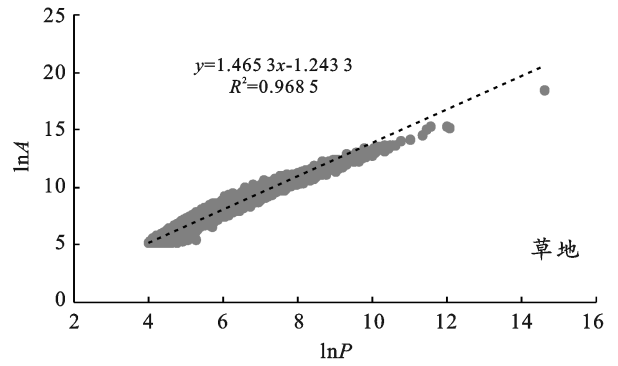
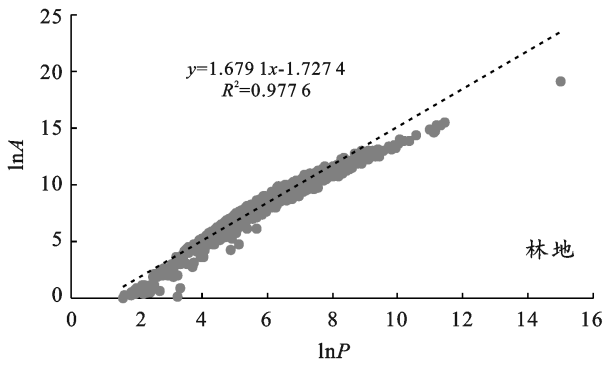


图 4 大山包地区基于地形位指数分级的土地利用综合强度及多样性指数



注:A 为面积;P 为周长

图 5 大山包地区各地类面积自然对数和周长自然对数散点图

3.2.2 各地类稳定性指数 土地利用稳定性指数作为土地利用稳定性的检测指标,可反映出各地类的利用状况稳定程度。其值越大,表明该地类稳定性越好;反之,表明其稳定性越差。

由表 2 可知,大山包地区各地类的稳定性指数由大到小依次为林地(0.308 9) > 建设用地(0.282 8) > 耕地(0.264 1) > 未利用地(0.199 7) > 水域(0.168 8) > 草地(0.135 1)。

表 2 各地类分布形态的分形结构模型及相关量统计结果

土地利用类型	分形结构模型	R^2	F 统计量	分维值 D	稳定性指数
林地	$y=1.679 1x-1.727 4$	0.977 6	798 516.645	1.191 1	0.308 9
草地	$y=1.465 3x-1.243 3$	0.968 5	2 315 648.572	1.364 9	0.135 1
耕地	$y=1.618 2x-1.534 9$	0.968 6	282 081.352	1.235 9	0.264 1
建设用地	$y=1.643 1x-1.974 2$	0.979 4	15 725.455	1.217 2	0.282 8
水域	$y=1.198 5x+1.415 5$	0.964 6	95 966.999	1.668 8	0.168 8
未利用地	$y=1.538 1x-1.309 8$	0.857 9	2 170 784.488	1.300 3	0.199 7

由此可知,林地的稳定性最好,表明林地的空间分布状况更加趋近稳定状态。这与近年来该地区对退耕还林、荒山绿化和育林护林工作的重视,以及生态建设战略具有重要关系。随着灌木林地转变为乔木林地,乔木林地的增加多为人工种植长大形成。林地增加使得该区域林木的郁闭度及密度得到不断提高,进而使得稳定性指数也高。其次是建设用地、耕地和未利用地,建设用地和耕地受人为规划干预,在建成后其形态与规模在短期内变化不明显,地块形状较为规整,稳定性较好;未利用地随着近年来生态修复技术的发展,可能会被改造为湿地、林地和草地等其他生态用地,其开发利用方式受人为因素的影响较大,空间结构形态也趋于规整和相似,稳定性也相对较好。水域用地稳定性较差,由于该地河流、水库等季节性变动较大,影响了水域的空间结构形态,在地理空间上零散分布,稳定性相对较差。草地稳定性最差,草地受气候等环境因素的影响,季节性变化大,其结构和功能难以保持原状,抵抗外界干扰的能力弱。此外,草地受人类生产生活干扰较大,如放牧、退耕还草等对其空间分布形态影响显著,故稳定性最差。

4 讨论与结论

(1) 基于地形梯度分析法和分形理论与方法,选取海拔、坡度和地形位指数指标对大山包地区土地利用结构特征和空间格局进行分析,研究结果表明各地类在海拔、坡度和地形位梯度这 3 个指标上的空间分布具有显著差异性。从海拔梯度来看,水域在第 1 级分布占绝对优势,低海拔区汇水面积较大;林地、耕地和未利用地优势分布于海拔低于 3 000 m 的区域,草地优势分布则集中于高海拔和坡度较缓的区域,表明各地类间竞争较为激烈,是未来土地利用规划的重点区域。从坡度梯度来看,草地和耕地优势分布的坡度

区间均为平坡、缓坡和斜坡,林地为缓陡坡、急坡、险坡,建设用地为平坡和缓坡,水域仅为平坡,未利用地为平坡、缓坡和险坡。除林地和未利用地外,其他各地类的分布指数随着坡度的增加均呈现出减小态势。从地形位梯度来看,林地和草地的分布指数呈现出缓慢上升趋势,林地和草地优势分布在地形位较大的区域,该地区在进行土地开发规划时可充分考虑各地类的优势分布区间;耕地、建设用地和未利用地的分布指数在地形位梯度上呈现先下降再上升趋势;水域分布指数随海拔和坡度地形位指数增加先剧烈下降后趋于平稳再缓慢上升,水域对地形的选择性也较强,主要分布在海拔较低的区域。

(2) 总体上各土地利用类型在不同海拔、坡度和地形位指数上的分布具有一致性,但在同级区间上,各土地利用类型在不同海拔、坡度和地形位指数的空间分布格局存在显著差异。地形位是海拔和坡度两者信息的综合,与单个的地形因子相比,用地形位来研究土地利用的空间格局能更有效地分析土地利用类型随地形变化的分布特征。

(3) 土地利用综合强度指数和多样性指数随着海拔和坡度增加呈现出先降低后升高的趋势。符合云贵高原山原的实际情况,可见,该区域土地利用的主要限制性因素是地形。因此,在未来进行土地开发规划时可充分考虑地形因子的影响,做到因地制宜,合理规划,使区域的土地开发利用更加科学合理。

(4) 各地类的分形特征明显,水域分维值最大,林地最小。林地稳定性指数最高,草地最低。水域用地的空间形态结构最为复杂,这是因为水域的边界主要受自然因素影响而呈现出不规整的形态,且受人类活动等因素的干扰小;从实际情况来看,林地大多分布于海拔较高的山地,人类对林地开发利用程度较低,使其较好地保持着原始形态。各地类的分形特征

与云贵高原山原的实际情况相一致,对认识云贵高原山原土地利用的空间分布特征具有一定的参考价值。

(5) 运用地形梯度法和分形理论来探讨了大山包地区土地利用类型、土地利用程度、土地多样性与地形因子的关系,通过其空间分布特征的差异性,来揭示地形的土地利用效应,可为该地区土地开发利用的规划和决策提供科学依据。但由于数据的局限性,本文只针对 2020 年的土地利用格局和空间结构特征进行了分析,而对其不同时间尺度上的动态研究有待深入探讨。

[参 考 文 献]

- [1] 路昌,雷国平,周浩,等.挠力河流域土地利用变化及地形梯度效应分析[J].中国土地科学,2017,31(8):53-60,97.
- [2] 肖建设,乔斌,陈国茜,等.黄河源区玛多县土地利用和生态系统服务价值的演变[J].生态学报,2020,40(2):510-521.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Zhang Zhimin, Zinda J A, Yang Zijiang, et al. Effects of topographic attributes on landscape pattern metrics based on redundancy ordination gradient analysis[J]. Landscape & Ecological Engineering, 2018, 14(1): 67-77.
- [6] 王启名,杨昆,许泉立,等.滇池流域土地利用格局变化的地形梯度效应[J].水土保持通报,2017,37(4):106-113, 118.
- [7] 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..
- [8] 斯钧浪,齐伟,曲衍波,等.胶东山区县域土地利用在地形梯度上的分布特征[J].应用生态学报,2009,20(3):679-685.
- [9] 董顺舟,赵宇鸾,李秀彬.基于地形梯度的高原山地区土地利用格局时空特征:以贵州省盘县为例[J].水土保持研究,2017,24(2):213-222.
- [10] 徐州,林孝松,何浪.基于地形梯度的巫山县土地利用空间分布特征研究[J].中国农机化学报,2019,40(10):193-199.
- [11] 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.
- [12] 王权,李阳兵,刘亚香,等.基于地形梯度的岩溶槽谷区土地利用空间格局分析[J].生态学报,2019,39(21):7866-7880.
- [13] 褚永彬,朱利东,唐斌,等.疏勒河上游流域地面坡谱特征[J].干旱区地理,2015,38(2):345-350.
- [14] 云南省人民政府.云南省人民政府关于发布云南省生态保护红线的通知[EB/OL]. <http://www.yn.gov.cn/zwgk/zcwj/zxwj/201911/t20191101-184159.html>, 2018-06-29/2020-10-16.
- [15] 彭明春,王崇云,钟兴耀,等.云南大山包黑颈鹤自然保护区综合科学考察研究[M].北京:科学出版社,2013.
- [16] LIU Jiyuan, KUANG Wenhui, ZHANG Zengxiang, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns, and causes of land-use changes in China since the late 1980s [J]. Journal of Geographical Sciences, 2014,24(2):195-210.
- [17] 刘纪远,张增祥,庄大方,等.20世纪90年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析[J].地理研究,2003,22(1):1-12.
- [18] 中华人民共和国自然资源部.TD/T1055-2019 第三次全国国土调查技术规程[S].中华人民共和国自然资源部,2019.
- [19] 杨斌,王占岐,姚小微,等.鄂西北山区土地利用的地形梯度效应与空间结构特征[J].长江流域资源与环境,2019,28(2):313-321.
- [20] 董顺舟,赵宇鸾,李秀彬.基于地形梯度的高原山地区土地利用格局时空特征:以贵州省盘县为例[J].水土保持研究,2017,24(2):213-222.
- [21] 张平,陆龙妹,王世航,等.基于地形梯度的皖南地区土地利用分布特征[J].土壤,2018,50(5):1041-1045.
- [22] 龚熊波,杨波,刘雨先,等.湘西州山区土地利用类型的地形梯度效应与景观格局分析[J].生态科学,2020,39(4):137-144.
- [23] 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,1997,12(2):10-16.
- [24] 赵斐斐,张学雷,任圆圆,等.土地利用多样性与热力景观多样性的特征分析[J].环境科学与技术,2015,38(11):42-48.
- [25] 张珂,赵耀龙,付迎春,等.滇池流域1974—2008年土地利用的分形动态[J].资源科学,2013,35(1):232-239.