

基于地形梯度的纯喀斯特和非喀斯特及 亚喀斯特区土地利用格局分析

陆清平^{1,2}, 赵翠薇^{1,2}, 王杰^{1,2}

(1. 贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵阳 550025; 2. 喀斯特山地生态环境保护与资源利用协同创新中心, 贵阳 550025)

摘要:以黔中地区为研究区,利用地形位指数和分布指数,探究其纯喀斯特、亚喀斯特及非喀斯特地貌类型区土地利用的地形梯度空间分布特征。结果表明:(1)研究区土地利用类型整体上有相似的地形梯度特征,农村居民点、水田、园地、道路、基础设施用地、城镇建设用地、水浇地和水域等在 1~3 地形梯度优势分布显著,有林地、灌木和草地及未利用地在 7~10 地形位有分布优势,而旱地的优势分布主要集中于低和一般地形位。(2)不同地貌类型区相同景观类型地形梯度特征差异显著,非喀区有林地地形分布范围最广(地形位 5~9 范围)、纯喀区次之(4~8),亚喀区较窄(4~7);草地在纯喀区和非喀区均分布于地形位 5~10 范围,亚喀区最差(4~9);纯喀区水田对地形选择性最强(1~3),亚喀和非喀区选择性较弱(1~4);农村居民点在纯喀与非喀区均为单调递减趋势,而亚喀区则是呈先增后减;旱地和未利用地在非喀区的优势分布变化速率低于亚喀区,更远低于纯喀区,而水域却恰恰与之相反。不同喀斯特地貌区相同土地利用类型在优势分布范围和变化趋势及速率上有差异,土地利用具有显著的地形梯度特征。

关键词:纯喀斯特;亚喀斯特;非喀斯特;地形梯度;分布指数;空间格局

中图分类号:F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)05-0333-07

Analysis of Land Use Patterns in Pure Karst, Non-karst and Subkarst Areas Based on Terrain Gradient

LU Qingping^{1,2}, ZHAO Cuiwei^{1,2}, WANG Jie^{1,2}

(1. School of Geography and Environmental Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550025, China; 2. Collaborative Innovation Center for Ecological Environment Protection and Resource Utilization in Karst Mountains, Guiyang 550025, China)

Abstract: To explore the spatial distribution characteristics of topographic gradient of land use in pure karst, semi-karst and non-karst, Qianzhong area was taken as the research area, and topographic position index and distribution index were used. The results show that: (1) the land use types in the research area have similar topographical gradient characteristics on the whole; rural residential areas, paddy fields, gardens, roads, infrastructure land, urban construction land, irrigated land and water areas are in 1~3 terrain gradients; the distribution of advantages is significant, with woodland, shrubs and grassland and unused land having distribution advantages in topographical positions 7~10, while the distribution of advantages in dry land mainly concentrates in low and general topographical positions; (2) there are significant differences in topographic gradient characteristics of the same landscape type in different landform types; the non-karst area has the widest distribution of woodland topography (topography range 5~9), followed by the pure karst area (topography range 4~8), and the semi-karst area is more narrow (topography range 4~7); grassland distributes in the topography range of 5~10 in both pure karst and non-karst, semi-karst is the worst (topography range 4~9); pure karst paddy field has the strongest topography selectivity (topography range 1~3), the selectivity of the subkarst and non-karst areas is weak (topography range 1~4); the rural settlements in pure karst and non-karst areas are monotonously

收稿日期:2020-08-21

修回日期:2020-10-08

资助项目:国家自然科学基金重大研究计划项目(41471032);国家自然科学基金委员会:贵州省人民政府喀斯特科学研究中心项目(u1612441)

第一作者:陆清平(1994—),男,贵州遵义人,硕士研究生,主要从事土地生态与环境保护研究。E-mail:1776280435@qq.com

通信作者:赵翠薇(1968—),女(白族),贵州大方人,教授,博士,主要从事土地利用规划与生态环境保护方面的研究。E-mail:zhaocuiwei@sohu.com

decreasing, while in the semi-karst areas, they increase first and then decrease; the rate of change of the dominant distribution of dry land and unused land in the non-karst area is lower than that in semi-karst area, and much lower than that in the pure karst area, while the water area is just the opposite. The different karst landforms with the same land use types have differences in the dominant distribution range, change trend and rate, and land use has significant topographic gradient characteristics.

Keywords: pure karst; semi-karst; non-karst; terrain gradient; distribution index; spatial pattern

土地利用/覆被与地球大气、土壤、水文和生物及物质循环等息息相关^[1-2],对人类的生存环境和发展影响深刻持久^[3-4],已成为全球生态环境变化的热点研究^[5-7]。地形是土地利用格局形成的基础,在一定程度上决定了土地利用的结构和方向^[8-9],使得土地利用在地形上呈现明显梯度特征^[10]。

近年来,土地利用结合地形的研究较为丰富,Liyew Birhanu 等探究了埃塞俄比亚土地利用与海拔和坡度的关系^[11],李京京等运用综合高程和坡度的地形位指数分析了汾河流域土地利用的地形梯度演变规律^[12]。从研究内容看,主要包括地形的土地利用图谱变化^[13-14]和景观生态空间风险及效应分析等^[15-17];研究区域主要集中在生态脆弱区、流域及高原山地等^[18-21],且国外更加偏重对人为因素的探究。对喀斯特山区研究有林地的地形梯度变化^[22],城市建设用地扩展梯度特征^[23]和流域的土地利用地形梯度演化规律等^[24],然都是将研究区整体作为纯喀斯特或非喀斯特地貌分析其地类梯度特征,而 Cvijic^[25]、安裕伦^[26]、贺中华^[27]等发现,纯喀斯特与非喀斯特间还存在与两者景观差异较大的“半喀斯特”或“过渡喀斯特”地貌,即亚喀斯特地貌^[28]。

当前,对纯喀区、非喀区及亚喀地貌区的土地利用地形梯度格局研究较匮乏,3种地貌区土地利用地形梯度特征是否存在差异,若有差异,差异体现在哪些方面尚不清楚。基于此,以贵州黔中地区为研究区,根据岩性划分喀斯特区、非喀区和亚喀区,运用地形位指数和优势分布指数,揭示土地利用类型在不同地貌区的地形梯度规律,从而为统筹国土资源的合理空间配置提供基础数据支撑,也为区域因地制宜开展资源精细和差异化管理及可持续发展提供参考。

1 研究区概况

研究区位于贵州中偏西和南部,包括安顺市全境,外加六枝特区、织金县、清镇市和花溪区,共 1 个县级市、4 个区和 7 个县,总面积为 20 283.80 km²。地势为西北高东南低,海拔范围 314~2 225 m,地形高差较大,其中西北部织金县和西部六枝特区海拔最高,处于贵州西部第一阶梯向中部第二阶梯的过

渡带(贵州地势自西向东分为三级阶梯^[29]),河流纵横且河谷深切;中部西秀区、东部花溪区和北部清镇市为贵州高原面,东南部和南部区域海拔最低,地处第三阶梯地势带范围。岩性以连续型石灰岩为主,还伴随着大量的非碳酸盐岩等;地质成分以灰岩碎屑岩互层和灰岩夹碎屑岩组合为主。地处亚热带季风区,年均温、年均降雨量分别在 14~16℃和 1 300~1 400 mm,雨热同季利于农业生产。土地利用以林地、耕地和草地为主,其中林地面积最大,占研究区的 38.67%,耕地次之,占 36.52%,草地占 10.32%,建设用地达 4.47%。2017 年 GDP 总量 2 098.58 亿元,占全省的 14.17%,常住人口达 480.60 万人,城镇化率 53.32%略高于贵州省(46%),是贵州城镇化及经济发展水平较高的区域。

2 材料与方法

2.1 数据来源与处理

研究基础数据包括土地利用和 DEM(数字高程模型)及岩性数据。土地利用数据由贵州省 2017 年土地调查年度变更成果数据库裁剪获得;岩性数据由 1:20 万图件扫描、精校正、矢量化等处理后得到;坡度和高程数据由日本地球观测卫星 ALOS(分辨率为 12.5 m,重采样为 30 m)网站(<https://search.asf.alaska.edu/>)下载 DEM,在 ArcGIS 空间分析工具中提取得到。

根据 2017 年全国土地利用现状分类标准,结合研究区实际需要,分为草地、旱地、有林地、灌木林地、水域(水库和坑塘及河流等水面)、未利用地(沼泽地、沙地、内陆滩涂和裸地)、农村居民点、其他林地、水田、园地(果园和其他园地)、道路、基础设施用地(港口码头、沟渠、管道运输、设施农用地、机场和水工建筑用地)、工矿用地、城镇建设用水浇地共 15 种地类。利用 ArcGIS 栅格计算器计算研究区地形位指数并采用自然断点法进行分级;最后将土地利用与地形位指数和地貌图叠加,获得不同地貌区各地类的地形位指数。

2.2 地貌类型划分

安裕伦等认为岩性是区分纯喀斯特、非喀斯特和亚喀斯特地貌的主要因素^[28],苏琪娇等总结出 3 种

类型分布特征,即纯喀斯特在纯碳酸盐岩间发育强烈,亚喀斯特在不纯碳酸盐岩区集中,非喀斯特与非碳酸盐岩密切相关^[30]。因此本次研究以1:20万岩性数据为基础,将岩性进行合并归类(表1),最终获得研究区3种喀斯特地貌类型分布范围(图1)。

表1 地貌类型划分标准及面积

地貌	岩性	面积/km ²	占比/%
纯喀斯特	灰岩白云岩混合岩类	2314.54	11.41
	灰岩夹碎屑岩组合	2977.45	14.68
	连续型白云岩	548.39	2.70
	连续型石灰岩	5430.36	26.77
非喀斯特	非碳酸盐	4356.98	21.48
	白云岩夹碎屑岩组合	1124.11	5.54
亚喀斯特	白云岩碎屑岩互层	14.63	0.07
	灰岩碎屑岩互层	3517.34	17.34

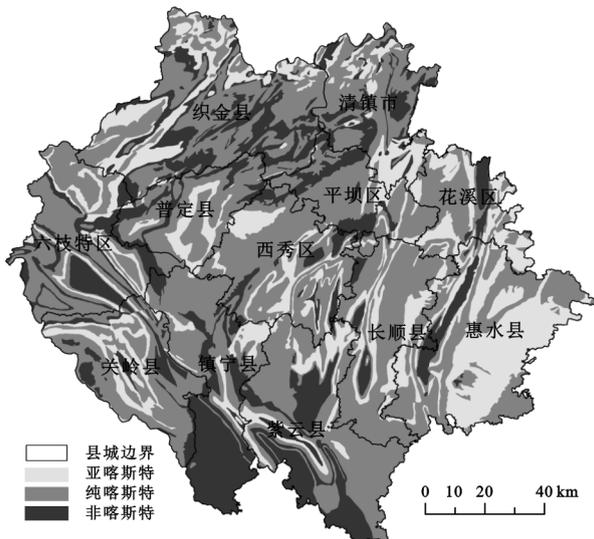


图1 地貌类型分布

2.3 研究方法

2.3.1 地形位指数 单一因子难以全面表征地形特征^[31]。土地利用类型分布与高程和坡度有关,故采用坡度和高程组成的地形位指数综合表征地形特征。计算公式如下:

$$T = \lg[(E/E_0 + 1) \times (S/S_0 + 1)] \quad (1)$$

式中: E, E_0 分别表示高程及平均高程值; S 及 S_0 表示坡度和坡度均值,坡度和高程增加时, T 随之增大,相反则会减小,而当坡度增大高程减小,或者高程增加坡度减小时, T 则处于前两者的中间。

2.3.2 分布指数 地形对地类分布产生的影响,实质可认为是各梯度上地类的分布频率,故用分布指数来表达景观分布特征,还可消除地形梯度下各个土地利用类型面积比例差异而造成的量纲差异。公式如下:

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

式中: P 为分布指数,分布优势和 p 值两者具有正相关性; S_{ie} 表示 i 地类在 e 地形内的面积; S_i 为 i 地类

的总面积, S_e 表示 e 地形的总面积;当 $p=1$ 时,表明 e 地形内 i 地类的面积占比与研究区内 i 的面积比例相等; $p < 1$ 时,该地类在 e 梯度内呈劣势分布,反之则为优势分布,且 P 越大,分布优势越明显。

3 结果与分析

3.1 地形位指数梯度分区

根据公式(1)获得研究区地形位指数分布图,采用自然断点法分为10个等级,并归为低地形梯度、一般地形梯度、较高地形梯度和高地形梯度4个类型,统计出各地形位等级的面积(表2)。统计结果显示,研究区以3~7地形梯度为主,3~7级各地形梯度面积比例均大于10%,合计面积占比达68.26%。低地形梯度面积占15.22%,一般地形梯度区占44.58%,较高地形梯度区占27.70%,高地形位面积比例最小,仅2.50%。高地形位分布在西北和西部及南部区域,以织金、六枝和紫云最显著,织金县、六枝特区海拔高、坡度大,紫云县处于贵州高原向广西丘陵过渡地带,地形破碎,坡度较大,地形位指数大;平坝、花溪、西秀区和普定县南部及惠水县一带,为贵州高原面,地势较为平坦,为喀斯特溶蚀盆地、谷地,虽然海拔较高但坡度小,成为低地形位集中区域(图2)。

表2 地形梯度区间及面积统计

地形 梯度	分级 区间	面积/km ²	面积 占比/%
1	≤ 1.15	836.99	4.13
2	低 (1.15~1.37]	1968.77	9.70
3	(1.37~1.60]	2310.52	11.39
4	(1.60~1.78]	2839.20	14.00
5	一般 (1.78~1.98]	3017.98	14.88
6	(1.98~2.18]	3185.38	15.70
7	(2.18~2.37]	2492.47	12.29
8	较高 (2.37~2.58]	1894.83	9.34
9	(2.58~2.82]	1231.49	6.07
10	高 > 2.82	506.17	2.50

3.2 不同地貌区土地利用的地形分布

3.2.1 纯喀斯特区 纯喀斯特地貌类型在研究区域内分布范围较广,占研究区总面积的55.57%。根据公式(2)和Origin 2017软件获得研究区不同地形梯度的分布指数(图3)。

由图3可知,水域分布指数变化最大,在第1梯度内指数达4.57,在1~3梯度内为优势分布,随着地形梯度的增加分布指数逐渐降低,说明水域集中分布在低地形梯度区,在地形位高的区域水域面积较少。水田在1~3梯度为优势分布,水浇地和园地是1~4梯度,最大分布指数分别是3.60,2.66及1.99,表明3

种地对坡度海拔低的区域选择性较强,主要分布在西秀、平坝、普定和惠水等地。旱地在第 5 梯度有最大值 1.16,优势区间为 2~6,说明其对地形选择性较小,能在较高梯度有较好的适应性^[19]。有林地和其他林地在 4~8 梯度为优势分布区,与地形呈现先增后减趋势,多分布在地形位一般区域(4~6 梯度),有林地第 8 梯度时分布指数为 1,表明第 8 梯度内的有林地与在研究区内的比例相同,是其优势向劣势的分界点,而其他林地分界点在 8~9 地形梯度间。灌木林地在 1~5 为劣势分布,6~10 梯度为优势分布,与梯度变化呈正相关关系,在较高地形位适宜性较好^[32]。草地地形梯度特征呈倒“U”型变化,第 4 梯度前为劣势而 5~10 呈优势分布,第 7 梯度达到优势分布峰值 1.64,后又逐渐降低。农村居民点和城镇建设用地在 1~3 梯度为优势分布,在第 1 梯度有最大指数 2.37,4.05,均随着梯度增加而减小,农村居民点由优势向劣势转变发生在 4~5 地形位,而城镇建设用地过渡区间为 3~4,说明城镇用地对地形的选择性比农村居民点强。未利用地分布指数与梯度表现为正相关性,6~10 梯度为优势分布,第 10 梯度有最大分布值 2.06,主要集中在紫云西北部、东部和关岭中部。

3.2.2 非喀斯特区 非喀斯特地貌类型在研究区分布范围较小,主要集中在镇宁和紫云,在织金、清镇和六枝及花溪有少许分布(图 4),占研究区总面积的 21.48%。

由图 4 可知,有林地优势分布为 5~9 地形梯度阶段,草地为 5~10,灌木林地和其他林地为 6~10,

除有林地外,其余均与地形梯度呈正相关,在第 10 梯度有最大分布值,分别是 1.35,1.67,2.12,有林地第 7 梯度时就达到最大分布值 1.15,但几类生态用地均分布在较高地形位区域。农村居民点、水田、园地、道路、基础设施用地、城镇建设用地、水浇地及水域均随着地形梯度增加而减小,在第 1 梯度均有最大分布值,城镇建设用地和水域高达 7.36,6.18,其他几类均在 2~2.5 之间。旱地在 3~6 梯度为优势分布,最大分布值 1.05 位于第 4 梯度,在地形梯度上表现为先增后减特征。未利用地与地形位具有正相关性,7~10 地形位为优势分布,其余阶段为劣势分别,第 10 梯度有最大值 3.24。

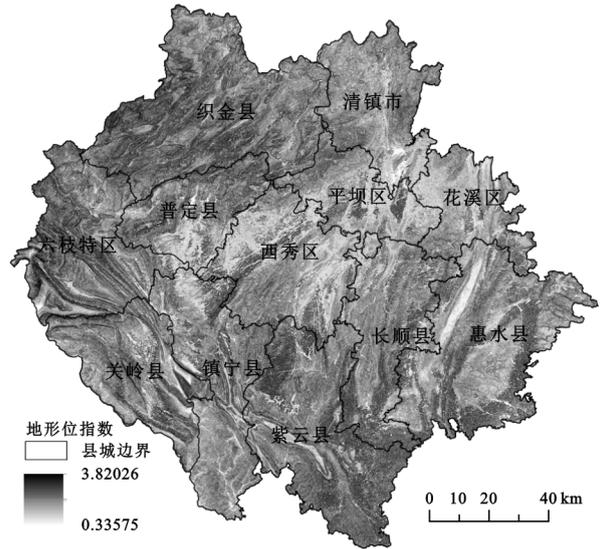


图 2 研究区地形位指数

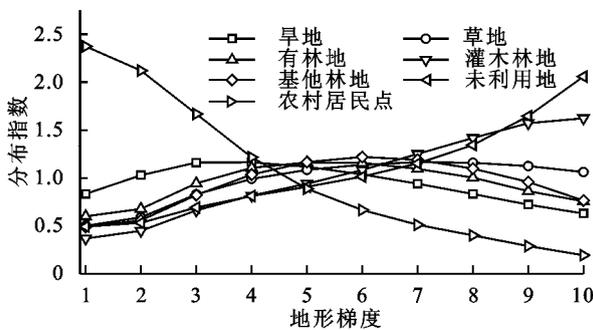


图 3 纯喀斯特区域土地利用类型在各地形梯度上的分布指数

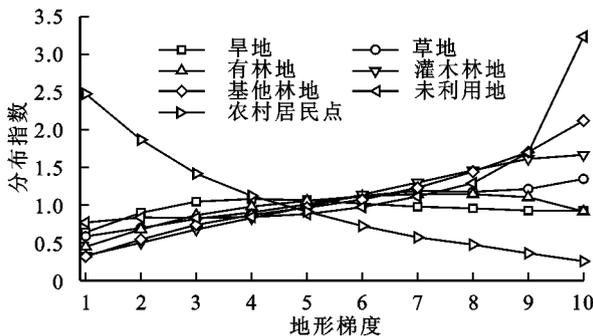
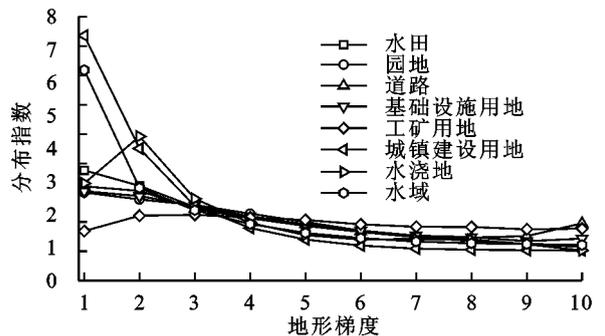
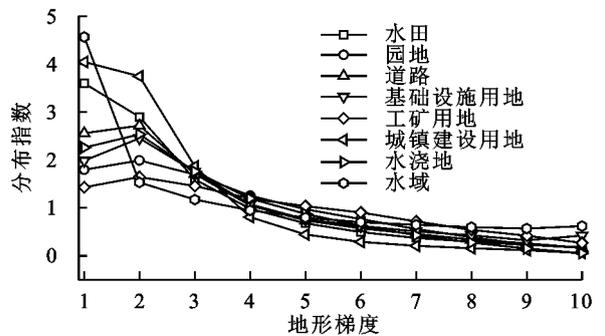


图 4 非喀斯特区域土地利用类型在各地形梯度上的分布指数



3.2.3 亚喀斯特区 亚喀斯特地貌类型在研究区内分布范围较小,主要集中在惠水、长顺、花溪、西秀、普

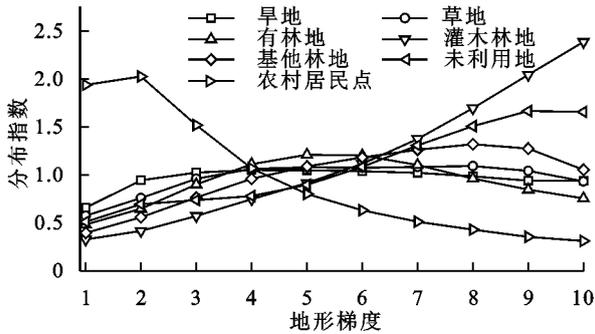


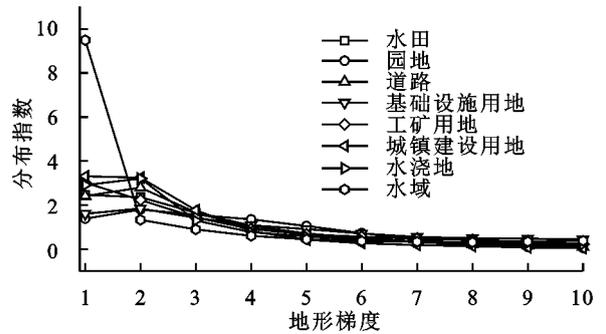
图5 亚喀斯特区域土地利用类型在各地形梯度上的分布指数

由图5可知,工矿用地、道路、城镇建设用水和水浇地在1~3地形梯度为优势分布,工矿和城镇建设用地在第2梯度有最大值3.02,3.31,道路在第1梯度时有最大值2.41,3种地类优势分布主要集中在六枝、普定、西秀等县城中心和清镇市东南部及花溪东北部区域;农村居民点、水田和基础设施用地在1~4梯度为优势分布,水田在第1梯度有最大值2.47,而农村居民点和基础设施用地最大值在第2梯度,分别是2.03,1.85;园地优势分布区域为1~4梯度,在第2梯度有最大值1.80;水域优势区间为1~2梯度,最大优势分布值在第1梯度,达9.49,两区间分布值相差8.16;上述9地类均与地形梯度呈现负相关关系,水域变化最为明显,表明在亚喀斯特区域,这几种土地利用类型对低地形的选择性最强,如水田在平坝、西秀和惠水等地分布较广。灌木林地和未利用地在6~10梯度为优势分布,与梯度成单调递增关系,在第10梯度有最大值2.39,1.66,而旱地、有林地、草地和其他林地均是先增加后减小,旱地在3~7梯度为优势分布,草地为4~9,有林地是4~7,而其他林地则为5~10,分布指数均没有较大差异,但旱地分布指数更接近于1,说明旱地在3~7梯度的比重接近于整个亚喀斯特内旱地的比重。

3.3 研究区土地利用分布指数差异

纯喀斯特与非喀斯特及亚喀斯特存在着土地利用地形的差异,主要表现在:(1)土地利用从优势向劣势以及从劣势向优势分布过渡的地形梯度带不同,如有林地在纯喀斯特地貌过渡地形梯度为4和8,非喀斯特为5和9,亚喀斯特则是4和7,其对非喀斯特地形适应更强。(2)土地利用类型变化趋势和速率不同,变化趋势上如农村居民点在纯喀与非喀区是单调递减,而亚喀区则是先增后减趋势;在变化速率上如旱地在纯喀区由0.83增加至1.16后降至0.63,非喀则是从0.64增加到1.08在降至0.94,而亚喀区则是由0.66上升至1.05再降至0.92,旱地在非喀区变

化和织金等地方,其他区域也有少许分布(图5),占研究区总面积的22.95%。



化速率低于亚喀区,更远低于纯喀区。(3)耕地的优势分布地形位面积占比顺序是:纯喀区(26.26%)<亚喀区(26.61%)<非喀区(26.64%),水田在纯喀区优势区间为1~3,亚喀和非喀区则为1~4,同时亚喀区在优势向劣势的过渡值(1.07)比非喀区(1.12)小,旱地在纯喀区优势分布最小梯度为第2级,亚喀和非喀区则为第3等级且由劣势向优势过渡值分别是1.03,1.05,非喀区优势值大于亚喀区。综上表明耕地在非喀区地形选择性小于亚喀区,更低于纯喀区。

4 讨论

4.1 基于地形梯度的土地利用一般规律

通过对不同梯度上地类及其分布指数进行统计分析,发现存在区域差异性的同时,也有共同的分布特征。

(1)无论是纯喀、非喀还是亚喀区,农村居民点、水域水田、园地、水浇地和基础设施及城镇建设用等地7类景观,均随梯度增加逐渐从优势向劣势分布过渡,都在1~2梯度内呈现优势分布,水域在第1梯度有最大优势分布值,其余6类在第2梯度分布范围最广,且水田为1~2梯度内生活生产的主要利用类型,原因是贵州省平地本底稀少^[33],水田对地形和水资源条件要求较高。旱地在3~6梯度为优势分布,但其优势分布指数均趋近于1,表明旱地在此区间的分布比重与整个研究区旱地的比重相近,与梯度呈现先增后减的变化,同时旱地在2~7梯度面积分布较多,与贵州1991年开始的坡改梯工程有密切关系^[34]。(2)草地、灌木林地、未利用地、有林地和其他林地优势分布均在较高地形位,除有林地外其他景观类型均随梯度增加而增加,有林地表现为先增加后减小趋势,表明有林地适宜性范围小于这几种地类,这与植被的垂直地带性分异有关,随着地形位的增加,坡度和高程逐渐增加,温度逐渐下降,有林地生长环境受限,被灌木和草地及未利用地(裸地)等所替代,第8

梯度后气温持续降低,草地优势范围逐渐缩小,发生向灌草丛和未利用地的演替。(3) 总体而言,地形位较小区域,生活条件较好,适宜人类从事生产生活,随着地形位增加,环境逐渐变差,人类发展受限,适宜生态用地的分布指数逐渐趋近于 0,而生态用地分布指数与之相反。

4.2 土地利用类型空间分布影响因素

土地利用类型空间分布是由社会经济和政府政策及自然因素综合作用的结果^[35],坡度高程等决定其空间分布格局^[36]。研究区土地利用具有显著的地形梯度特征,从自然角度出发,纯喀区经过千万年形成复杂地表地下二元结构,土层浅薄、保水性差,而亚喀区则拥有较厚的土层,土壤保肥性好覆被度高,宜农耕地多,且非喀区最为理想^[28]。研究表明非喀区最大持水率均值>纯喀区>亚喀区,且同等条件下亚喀区土壤侵蚀量最高^[37],这就是为什么在纯喀区和非喀区水域优势地形位区为 1~3,而亚喀区为 1~2 的原因。人类生产活动主要在地形位较小的区域,对高海拔坡度大区域的涉及较少,所以林草地及未利用地得以在地形位较大区域占据优势。社会经济涵盖城镇化、经济、交通建设和对生活高质量追求等,是土地利用分布的内在动力^[38],由于工业和城镇化进程的加快,经济发展集聚效应诱使人们为增加收入远离农村,此外,生活质量的不断上升,土地属性不断变化,城市草地、林地和公园绿地面积增长,使得城镇建设用地在低地形位不断向外扩张,并逐渐占据优势。政策方面受退耕还林和精准扶贫的影响,大于 25° 的耕地严格实行退耕,造成高海拔坡度大的区域出现向森林和草地及未利用地转型现象^[39];同时,异地扶贫搬迁,人口向低地形位聚集,高地形位大量耕地撂荒,发生自然向草地、灌木和其他林地(疏林地)演替,使得林草地的分布优势增加。

4.3 研究特色及不足

景观类型格局研究成果丰硕,然而已有研究,只是简单指出其空间分布,较少进行对比不同地貌的空间格局研究,尤其是不同喀斯特地貌景观类型地形梯度的对比探究。本文特色之处在于将景观与不同地貌类型和地形梯度三者联系起来,指出地类在各地貌的不同地形位上的分布特征。不足之处在于,不同地貌上景观类型的地形梯度影响因素,只是简单从定性方面进行阐述,没有定量探究,同时也未开展长时间序列的演化特征分析,对地形梯度上不同地貌的景观类型演化规律和影响因素定量研究是下一步工作的重点。

5 结论

研究区土地利用具有显著的地形梯度特征,农村居民点、水田、园地、道路、基础设施用地、城镇建设用地、水浇地和水域等在 1~3 地形梯度有显著分布优势,有林地、灌木和草地及未利用地在 7~10 地形梯度优势分布突出,而旱地优势主要集中于低和一般地形位。研究区不同地貌的城镇建设用地、基础设施用地和灌木林地具有相同的优势分布地形位区间,其他土地利用类型虽在整体上表现出较强相似的地形梯度特征,但不同地貌内的相同景观类型地形梯度特征具有差异性,在优势分布范围变化和趋势及速率有所不同。有林地对非喀区地形适应范围最广(地形位范围 5~9)、纯喀区次之(4~8),亚喀区较窄(4~7);草地在纯喀区和非喀区都集中在地形位 5~10 范围,亚喀区最差(4~9);纯喀区水田对地形选择性最强(1~3),亚喀和非喀区选择性较弱(1~4);农村居民点在纯喀区与非喀区均呈现单调递减趋势,在亚喀区则表现为先增加再单调减小;旱地和未利用地在非喀区的优势分布变化速率低于亚喀区,更远低于纯喀区,而水域却恰恰与之相反。

参考文献:

- [1] 唐华俊,吴文斌,杨鹏,等.土地利用/土地覆被变化(LUCC)模型研究进展[J].地理学报,2009,64(4):456-468.
- [2] Stohlgren T J, Chase T N, Pielke R A, et al. Evidence that local land use practices influence regional climate, vegetation, and stream flow patterns in adjacent natural areas[J]. *Global Change Biology*, 1998,4(5):495-504.
- [3] 黄贤金.城乡土地市场一体化对土地利用/覆被变化的影响研究综述[J].地理科学,2017,37(2):200-208.
- [4] 冉晨,白晓永,谭秋,等.典型喀斯特地区石漠化景观格局对土地利用变化的响应[J].生态学报,2018,38(24):8901-8910.
- [5] 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.
- [6] Shellberg J G, Spencer J, Brooks A P, et al. Degradation of the Mitchell River fluvial megafan by alluvial gully erosion increased by post-European land use change, Queensland, Australia [J]. *Geomorphology*, 2016(266):105-120.
- [7] Herrick J E, Urama K C, Karl J W, et al. The global land-potential knowledge system(LandPKS):Supporting evidence-based, site-specific land use and management through cloud computing, mobile applications, and crowdsourcing[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2013,68(1):5-12.

- [8] 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.
- [9] 张学儒,周杰,李梦梅.基于土地利用格局重建的区域生境质量时空变化分析[J].地理学报,2020,75(1):160-178.
- [10] 冯小燕,朱文博,张静静,等.基于地形梯度的洪河流域土地利用时空变异分析[J].农业现代化研究,2019,40(4):601-611.
- [11] Birhanu L, Hailu B T, Bekele T, et al. Land use/land cover change along elevation and slope gradient in highlands of Ethiopia[J]. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 2019(16):1-9.
- [12] 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,2016,32(7):230-236.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 曹玉红,陈晨,张大鹏,等.皖江城市带土地利用变化的生态风险格局演化研究[J].生态学报,2019,39(13):4773-4781.
- [16] Alahuhta J, Kanninen A, Vuori K M. Response of macrophyte communities and status metrics to natural gradients and land use in boreal lakes [J]. Aquatic Botany, 2012,103:106-114.
- [17] 崔王平,李阳兵,李睿康,等.基于梯度分析的重庆市主城区城市扩展的景观生态效应[J].生态学杂志,2017,36(1):205-215.
- [18] 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):250-256.
- [19] 张红旗,尚二萍,于竹筱.基于地形分异指数的黔桂喀斯特山地土地利用垂直分布特征[J].资源科学,2017,39(10):1964-1974.
- [20] 翟荣飞,赵翠薇,杨莉.基于地形因子的喀斯特山地土地利用变化分析:以乌江北源为例[J].湖南师范大学自然科学学报,2016,39(1):9-15.
- [21] 王敏,吴映梅,胡平平.地形梯度视域下的云南山区土地利用时空格局变化研究[J].江西农业学报,2020,32(4):123-131.
- [22] 郜红娟,杨广斌,罗绪强,等.岩溶山区林地景观梯度变化分析[J].水土保持研究,2015,22(1):225-228.
- [23] 魏小芳,赵宇鸾,朱昌丽,等.岩溶山地城市建设用地扩展的地形梯度特征:以贵阳市为例[J].湖南师范大学自然科学学报,2020,43(1):22-29.
- [24] 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.
- [25] 李玉辉.喀斯特的内涵的发展及喀斯特生态环境保护[J].中国岩溶,2000,19(3):260-267.
- [26] 安裕伦,吕涛,熊康宁,等.“3S”在贵州喀斯特石漠化现状研究中的应用探讨[C].全国第一届水土保持监测学术研讨会论文集.北京:中国水利水电出版社,2001:144-152.
- [27] 贺中华,杨胜天,梁虹,等.基于GIS和RS的喀斯特流域枯水资源影响因素识别:以贵州省为例[J].中国岩溶,2004,23(1):48-55.
- [28] 胡锋,安裕伦,许璟.“亚喀斯特”概念与景观特征的初步探讨:以贵州为例[J].地理研究,2015,34(8):1569-1580.
- [29] 周国富.贵州喀斯特石漠化分布的空间差异与防治区划探讨[J].中国岩溶,2006(1):79-84.
- [30] 苏琪娇,安裕伦,马士彬.喀斯特山区不同岩性分区下的景观生态质量差异:以罗甸县为例[J].中国岩溶,2017,36(4):454-462.
- [31] 幸瑞桑,周启刚,李辉,等.基于地形梯度的三峡库区万州区土地利用时空变化分析[J].水土保持研究,2019,26(2):297-304.
- [32] 韩会庆,杨建强,刘悦,等.喀斯特山区贫困乡村土地利用的地形梯度特征[J].中国农机化学报,2020,41(2):224-230.
- [33] 陈美淇,魏欣,张科利,等.基于CSLE模型的贵州省水土流失规律分析[J].水土保持学报,2017,31(3):16-21,26.
- [34] 罗松平,顾再柯.贵州省实施坡耕地水土流失综合治理试点工程的实践与探索[J].中国水土保持,2012(10):12-13.
- [35] 肖以恒,朱晓玥,杨春霞,等.基于RS和GIS的旗山森林公园景观格局变迁分析[J].西南林业大学学报,2017,37(4):140-149.
- [36] 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.
- [37] 尤倩,周秋文.喀斯特与非喀斯特地区森林枯落物持水性对比分析[J].人民珠江,2017,38(9):43-46.
- [38] 陈勇杰,张朝琼,王济.西部欠发达地区生态宜居城市评价与建设研究:以贵阳市为例[J].贵州师范大学学报:自然科学版,2017,35(2):7-13.
- [39] 赵宇鸾,葛玉娟,旷成华,等.乡村振兴战略下贵州山区森林转型路径研究[J].贵州师范大学学报:自然科学版,2018,36(1):1-7.