

# 喀斯特石漠化及土地利用变化的地貌分异特征

## ——以贵州省关岭贞丰花江石漠化综合示范区为例

尹林江<sup>1,2</sup>, 周忠发<sup>1,2</sup>, 朱昌丽<sup>1,2</sup>, 尚梦佳<sup>1,2</sup>

(1. 贵州师范大学 喀斯特研究院/地理与环境科学学院, 贵州 贵阳 550001;  
2. 国家喀斯特石漠化防治工程技术研究中心, 贵州 贵阳 550001)

**摘要:** [目的] 探讨石漠化地区土地利用变化的地貌分异特征, 揭示不同地貌条件下的土地利用时空变化的特征和规律, 为石漠化地区土地的合理利用提供科学参照。[方法] 以贵州省关岭贞丰花江石漠化综合示范区为例, 运用 GIS 和 RS 技术, 基于 2005、2010 和 2013 年 3 个时期的土地利用数据、石漠化数据和地貌数据, 运用地形分布指数、土地利用程度综合指数, 对研究区土地利用变化的地貌分异进行研究。[结果] ①在 2005—2013 年间, 喀斯特地区草地、建设用地、林地、未利用地和水域的面积有所增加, 耕地、园地的面积在减少; 石漠化的面积有所减少, 石漠化程度正在逐渐减轻。②不同地貌条件下, 每一个土地利用类型都有其存在的优势分布区; 各土地利用类型的地貌分异基本稳定。③土地利用程度的地貌分异特征趋于稳定; 2005—2013 年, 土地利用程度大小表现为: 侵蚀台地 > 峰丛洼地 > 丘峰台地 > V 型峡谷 > 溶蚀—侵蚀陡坡。④不同地貌条件下不同石漠化等级在各土地类型中的分布方面, 由侵蚀台地、峰丛洼地、丘峰台地、V 型峡谷、溶蚀—侵蚀陡坡地貌的石漠化土地类型分布来看, 石漠化主要发生在耕地、林地、园地和未利用地 4 种土地利用上, 水域不存在石漠化现象; 2005—2013 年, 石漠化在不同地貌条件的地类中总体呈较好转变。[结论] 每一土地利用类型都有其分布的优势地貌区; 不同地貌条件下, 石漠化在不同土地利用类型上的分布存在差异, 主要发生在耕地、林地、园地和未利用地 4 种土地利用类型区域。

**关键词:** 土地利用; 石漠化; 地貌; 贵州省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2020)02-0037-10

中图分类号: P951, F301.2

**文献参数:** 尹林江, 周忠发, 朱昌丽, 等. 喀斯特石漠化及土地利用变化的地貌分异特征[J]. 水土保持通报, 2020, 40(2): 37-46. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2020. 02. 006; Yin Linjiang, Zhou Zhongfa, Zhu Changli, et al. Geomorphological differentiation characteristics of land use change in karst rocky desertification area [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(2): 37-46.

## Geomorphological Differentiation Characteristics of Land Use Change in Karst Rocky Desertification Area

### —A Case of Guanling-Zhenfeng Huajiang Rocky Desertification Comprehensive Demonstration Zone in Guizhou Province

Yin Linjiang<sup>1,2</sup>, Zhou Zhongfa<sup>1,2</sup>, Zhu Changli<sup>1,2</sup>, Shang Mengjia<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Karst Science/School of Geography and Environmental Science, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001, China; 2. State Engineering Technology Institute for Karst Desertification Control, Guiyang, Guizhou 550001, China)

**Abstract:** [Objective] The geomorphic differentiation characteristics of land use change in rocky desertification areas was explored, and the spatial-temporal change of land use under different geomorphologic conditions was investigated, in order to provide references for the rational use of land in rocky desertification areas. [Methods] Taking Guanling-Zhenfeng Huajiang rocky desertification comprehensive demonstration zone, Guizhou Province as a case study, the land use data, rocky desertification data, and geomorphic data in three

收稿日期: 2019-05-16

修回日期: 2019-12-20

资助项目: 国家自然科学基金地区项目“喀斯特石漠化地区生态资产与区域贫困耦合机制研究”(41661088); 贵州省科技计划项目(黔科合平台人才[2017]5726-57); 贵州省高层次创新型人才培养计划, “百”层次人才(黔科合平台人才[2016]5674)

第一作者: 尹林江(1993—), 男(汉族), 贵州省德江县人, 硕士研究生, 研究方向为地理信息系统与遥感。Email: ylj8575@163.com。

通讯作者: 周忠发(1969—), 男(汉族), 贵州省遵义市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事喀斯特生态环境、GIS 与遥感方面的研究, Email: fa6897@163.com。

periods of 2005, 2010, and 2013 were collected. The topographic distribution index and the comprehensive index of land use degree were derived by using GIS and RS technology, to study the geomorphic changes of the land use change. [Results] ① From 2005 to 2013, the area of grassland, construction land, forest land, unused land and water area in the karst areas was increased, while the area of cultivated land and garden land was decreased. The area of rocky desertification was decreased and the degree of rocky desertification was gradually reduced. ② Under different geomorphologic conditions, each land use type had its own dominant distribution area, the geomorphic differentiation of each land use type was basically stable. ③ The geomorphic differentiation of land use degree tended to be stable. From 2005 to 2013, the degree of land use showed as follows: erosion platform > peak-cluster depression > hill peak plateau > V-shape valley > dissolution-erosion of steep slope. ④ In terms of the distribution of different rocky desertification levels in different land types under the same geomorphologic conditions, rocky desertification mainly occurred in cultivated land, forest land, garden land and unused land, according to the distribution of rocky desertified land types in erosion platform, peak-cluster depression, hill-peak platform, V-shape valley, and dissolution-erosion of steep slope. There was no rocky desertification in the water area. From 2005 to 2013, rocky desertification in different geomorphologic conditions of the land type generally showed good transformation. [Conclusion] Each land use type has its dominant geomorphic area. Under different geomorphologic conditions, the distribution of rocky desertification vary in different land use types, mainly occurred in cultivated land, forest land, garden land and unused land.

**Keywords:** land use; rocky desertification; geomorphology; Guizhou Province

土地利用变化是人类社会经济活动行为与自然生态过程交互和链接的纽带,是人类活动行为对陆地表层自然生态系统影响的最直观表现<sup>[1-2]</sup>,影响着大气、水文、生态等各种地表活动,已成为全球变化研究的核心内容<sup>[3-6]</sup>。地形地貌作为自然环境的重要因素,直接影响着地表各种物质与能量的交换<sup>[7]</sup>,从而在一定程度上决定着土地利用的方向与方式<sup>[8-10]</sup>。因此,地形地貌与土地利用之间关系的研究,对于人类社会经济活动与自然生态和谐发展,以及土地合理利用都具有重要意义。自 20 世纪 90 年代初,我国就建立了土地利用变化的数据库,为后人研究提供了数据与方法的支持。关于地形地貌与土地利用变化之间关系的研究也层出不穷,研究范围包含了我国南部<sup>[11]</sup>、西南部<sup>[12]</sup>和北部<sup>[13]</sup>等区域。研究区多为丘陵、平原等非喀斯特地区。但对于喀斯特地区,尤其是西南喀斯特山区的研究较少。近年来,国家也对喀斯特石漠化地区开展了一系列治理,如退耕还林、封山绿化、石漠化专项治理等,取得了很好的成效<sup>[14-16]</sup>。在石漠化地区,如何在不损害农民利益的基础上,合理地治理石漠化,是学者们一直在探求的主要方向。由于受地域环境的影响,如何在石漠化区域进行可持续发展,由此对于人类的社会经济活动与石漠化的相关性研究则必不可少<sup>[17-18]</sup>,而对于不同的地貌环境下,地貌与人类活动的关系,则为其中的研究内容之一。高渐飞<sup>[19]</sup>和潘方杰<sup>[20]</sup>等人分别对不同地貌下的石漠化分布规律、土地利用类型的结构差异及其

主导性进行了研究,研究<sup>[21]</sup>表明不同地貌类型下,石漠化发生的主导土地利用类型不同,不同地貌下的主导土地利用类型也存在差异;而复杂的地貌形态特征对土地利用变化影响突出,退耕还草政策和城镇化发展是其主要驱动力。上述均只是运用常用的方法对小范围的进行简单分析,由此程维明和毛蒋兴等人<sup>[22-24]</sup>利用地形综合指数、地形分布优势指数、土地利用转移分布指数、土地利用变化速度等指标,对大范围的土地利用变化与地形因子之间的关系进行了相关分析。学者们从各个方面对土地利用和地貌进行了研究,但对于喀斯特地区土地利用变化的地貌分异特征,以及土地利用、石漠化和地貌三者之间的联系,还需进一步探讨。因此,本文以具有多年研究基础的花江石漠化生态综合治理示范区为研究区域,探讨石漠化地区土地利用变化的地貌分异特征,揭示不同地貌环境下土地利用时空变化的特征和规律,为石漠化地区土地的合理利用以及石漠化地区土地利用变化和地形地貌研究提供科学参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

以贵州省关岭贞丰花江石漠化综合示范区为例(以下简称“花江示范区”),位于贵州省西南部关岭县和贞丰县交界处的北盘江花江段河谷两岸,地理范围为 105°35′00″—105°43′05″E,25°37′20″—25°42′36″N。花江示范区总面积为 51.62 km<sup>2</sup>,其中喀斯特面积为 45.38 km<sup>2</sup>,占区域总面积的 87.9%。地势西高东

低,河谷深切,海拔 450~1450 m,相对高差 1 000 m,年均降水量 1 100 mm<sup>[25]</sup>。由于地下岩溶发育垂直裂隙、节理、孔隙,降雨快速下渗为地下水,且地下水埋藏深(>200 m),地表干旱频发。北盘江北岸是典型峰丛、台地地貌,南岸发育峰丛、峰丛深洼地地貌类型;土壤以石灰土为主,土层薄,且不连续<sup>[26]</sup>,呈斑块状分布,土壤质地黏重、团粒结构缺乏,水分含量低、易干,富含钙质,土壤生产力低,土地质量差。花江示范区的社会经济曾经以简单、粗放的农业为主,人们经济收入低,生活贫困。随着一系列政策和研究项目的开展,土地利用格局、传统农业生产方式发生改变,外出务工、果园、养殖成为当地的主要经济来源,由此可见土地利用与社会经济之间存在密切联系。

## 1.2 数据来源

研究数据主要包括 DEM、土地利用、石漠化数据及地貌数据。DEM 数据由地理空间数据云下载所得;土地利用数据、石漠化数据、地貌数据为 2005, 2010 和 2013 年的数据,主要为前期团队研究所得<sup>[27]</sup>;研究区行政区划数据由地图数字化所得。为了便于研究,根据《土地利用现状分类(GB/T21010-

2007)》<sup>[28]</sup>,并参照彭睿文<sup>[14]</sup>对研究区土地利用的分类,将土地利用现状分为耕地、园地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地 7 种类型;借鉴熊康宁<sup>[29]</sup>等的研究成果,将研究区分为喀斯特地区和非喀斯特地区,将喀斯特区石漠化等级由低到高依次划分为无石漠化、潜在石漠化、轻度石漠化、中度石漠化、强度石漠化、极强度石漠化 6 个等级;地貌单元信息如表 1 和图 1 所示。

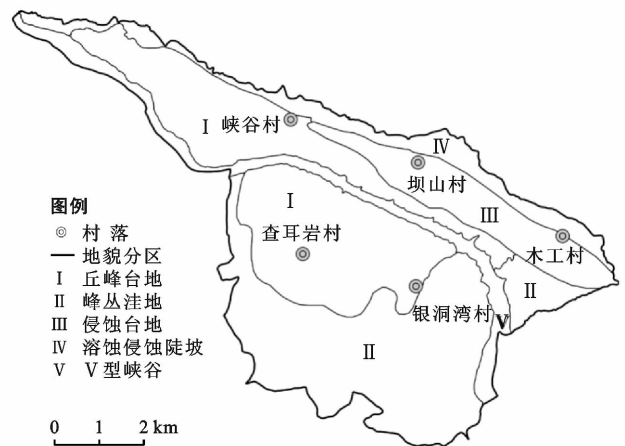


图 1 花江示范区地貌图

表 1 研究区地貌类型划分

项目	V 型峡谷	峰丛洼地	侵蚀台地	丘峰台地	溶蚀—侵蚀陡坡	hm <sup>2</sup>
所占面积	412.79	1 789.92	565.67	1 985.74	407.87	
喀斯特区面积	412.79	1 789.92	48.51	1 936.34	350.93	

## 1.3 研究方法

1.3.1 地形分布指数 为研究不同土地利用类型在各地貌条件下的变化情况,同时消除各土地利用类型面积量纲对不同土地利用类型在不同地貌单元上分布频率可比性的影响,本文采用了标准化、无量纲的地形分布指数<sup>[30]</sup>进行研究。计算公式为:

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

式中: $P$  为地形分布指数; $S_{ie}$  为第  $e$  种地形位下第  $i$  种土地利用类型的面积(hm<sup>2</sup>); $S_i$  为整个研究区第  $i$  种土地利用类型的总面积(hm<sup>2</sup>); $S_e$  为整个研究区第  $e$  种地形位的总面积; $S$  为研究区总面积(hm<sup>2</sup>)。  $P$  值越大,说明该土地利用类型在区域分布得越多;相反,这说明该土地利用类型出现得少。 $P > 1$  时,表明该地貌类型为土地利用类型分布的优势区域; $P < 1$  时,表明土地利用类型对地貌类型具有较强的选择性; $P = 1$  时,表明某土地利用类型在某地貌上的比例与研究区内该土地利用类型的比例相当<sup>[31]</sup>。

1.3.2 土地利用程度综合指数 采用土地利用程度综合指数<sup>[32]</sup>,可以定量分析不同阶段土地利用的地貌分异规律,且可以通过多种土地利用类型变化的综

合结果反映土地利用的广度和深度。参照土地利用程度分级标准<sup>[33]</sup>,将研究区土地利用分为 4 个等级:未利用地的分级指数为 1;林地、草地、水域的分级指数为 2;耕地、园地的分级指数为 3;建设用地的分级指数为 4。其计算公式为:

$$L_a = 100 \times \sum_{i=1}^n (A_i \cdot C_i) \quad (2)$$

式中: $L_a$  为土地利用程度综合指数,范围为  $L_a \in [100, 400]$ ;  $A_i$  为第  $i$  级土地利用分级指数; $C_i$  为第  $i$  类土地利用面积的比例; $n$  为分级的数目。

## 2 结果与分析

### 2.1 土地利用面积变化和石漠化面积变化

2.1.1 土地利用面积变化 2005—2013 年间,花江示范区土地利用的变化情况详见表 2。从表 2 可以看出,草地、建设用地、林地、未利用地和水域的面积有所增加,草地、林地的面积在 2005—2010 年间有所减少,未利用地的面积呈先增加后减少变化态势,但总体上增加了 0.15 hm<sup>2</sup>。水域面积相对于 2005 年整体增加了 42.68 hm<sup>2</sup>,增长了 0.94%,在所有土地利用类型中面积增加最大,这是由于北盘江下游修建董

管水电站,河道水位上升,河面变宽所致。耕地、园地的面积在减少,2013 年园地的面积相对于 2005 年的面积减少了 58.75 hm<sup>2</sup>,下降了 1.29%。

2.1.2 石漠化面积变化 2005—2013 年的喀斯特区石漠化的变化详见表 3。由表 3 可见,在 8 a 间喀斯特区无石漠化的面积在增加,2010 年相对于 2005 年增加了 4.55%,2013 年在 2010 年的基础上增加了 0.24%。轻度石漠化在 2005—2010 年间增加了

7.28%,2010—2013 年间增加了 0.82%。2005—2013 年潜在石漠化、中度石漠化、强度石漠化和极强度石漠化的面积在减少,其中中度石漠化面积减少了 5.19%;强度石漠化面积减少了 3.52%;潜在石漠化面积减少了 2.51%;极强度石漠化面积减少了 1.68%,在 2010 年时,极强度石漠化就完全转为其他等级的石漠化。总体而言,石漠化的面积有所减少,石漠化程度正在逐渐减轻。

表 2 喀斯特区 2005—2013 年土地利用变化

土地利用类型	2005 年		2010 年		2013 年	
	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%
草地	296.86	6.54	293.66	6.47	304.96	6.72
耕地	704.50	15.52	705.70	15.55	689.15	15.18
建设用地	76.05	1.68	90.08	1.98	92.29	2.03
林地	1708.49	37.64	1695.14	37.35	1715.41	37.80
水域	74.11	1.63	116.85	2.57	116.79	2.57
未利用地	776.23	17.10	784.91	17.29	776.38	17.11
园地	902.24	19.88	852.14	18.78	843.49	18.59
喀什特面积	4 538.49	100.00	4 538.49	100.00	4 538.49	100.00

表 3 喀斯特区 2005—2013 年石漠化变化

石漠化等级	2005 年		2010 年		2013 年	
	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%
非喀斯特	623.50	12.08	623.50	12.08	623.50	12.08
无石漠化	583.21	11.30	818.16	15.85	830.82	16.09
潜在石漠化	1 062.02	20.57	930.44	18.02	932.33	18.06
轻度石漠化	1 129.79	21.89	1 505.62	29.17	1 548.01	29.99
中度石漠化	910.67	17.64	657.87	12.74	642.50	12.45
强度石漠化	766.31	14.85	626.39	12.13	584.82	11.33
极强度石漠化	86.49	1.68	0.00	0.00	0.00	0.00

## 2.2 土地利用的地貌分异特征

从 2005,2010 和 2013 年的地形分布指数来看(表 4—6)。2005 年,草地的优势分布区为侵蚀台地和丘峰台地;耕地的优势分布区为峰丛洼地和侵蚀台地,分布指数为 1.87 和 2.06;建设用地的优势分布区为峰丛洼地和丘峰台地;林地的优势分布区在 V 型峡谷、峰丛洼地和侵蚀台地;水域的优势分布区在 V 型峡谷;未利用地的优势分布区在溶蚀—侵蚀陡坡,分布指数为 3.77;园地的优势分布区在丘峰台地,这是由于从本世纪初期,对花江示范区的石漠化进行治理,发展该区的农业,进行花椒和火龙果的种植。与 2005 年相比,2010 年的耕地、建设用地、林地、水域和园地的优势分布区没有改变,但林地在 V 型峡谷地貌上的分布优势有所下降,这是由于 2009 年 8 月 20 日下游的董箐水电站开始蓄水,水位上升,使得植被被水淹没;草地的优势分布区增加了溶蚀—侵蚀陡坡区,此时  $P=1$ ,草地在溶蚀—侵蚀陡坡上的比例与草地在研究区内的比例相当;未利用地的优势分布区增加

了丘峰台地,在 2005 年时,丘峰台地以草地、建设用地和园地为主。

在 2010—2013 年间,除了草地在溶蚀—侵蚀陡坡上的分布优势有所增加,其余土地利用类型的优势分布区域没有明显的变化,说明该期间各土地利用类型的地貌分异基本稳定。总体而言,建设用地、园地、水域和耕地在不同的地貌之间一直保持着较强优势分布区的稳定性。草地的分布区在溶蚀—侵蚀陡坡的分布指数有所增加,主要是农业生产方式转变提高了草地对地貌的选择性。林地的优势分布区一直都比较广泛,只在 2005—2010 年间,在 V 型峡谷区额度分布指数有所下降,这主要是距花江示范区 20 km 的北盘江下游修建董箐水电站所致,这也是其他地类在 V 型峡谷区分布指数下降的原因。未利用地优势分布区 2010 年后就趋于稳定,主要为丘峰台地和溶蚀—侵蚀陡坡。从各地类在不同地貌的分布指数变化幅度可以看出,相对于其他地类,建设用地、园地和水域对地形地貌的选择性更强。

表 4 研究区 2005 年各地类在不同地貌上的分布指数

项目	草地	耕地	建设用地	林地	水域	未利用地	园地
V 型峡谷	0.36	0.18	0.42	1.50	10.99	0.82	0.28
峰丛洼地	0.61	1.45	1.05	1.53	0.00	0.52	0.25
侵蚀台地	1.87	2.06	0.11	1.05	0.00	0.45	0.42
丘峰台地	1.48	0.88	1.27	0.45	0.00	0.99	2.04
溶蚀—侵蚀陡坡	0.99	0.17	0.02	0.70	0.00	3.77	0.00

表 5 研究区 2010 年各地类在不同地貌上的分布指数

项目	草地	耕地	建设用地	林地	水域	未利用地	园地
V 型峡谷	0.28	0.17	0.48	1.32	10.99	0.72	0.25
峰丛洼地	0.62	1.45	1.05	1.55	0.00	0.53	0.24
侵蚀台地	1.89	2.06	0.09	1.06	0.00	0.45	0.45
丘峰台地	1.49	0.89	1.27	0.48	0.00	1.01	2.06
溶蚀—侵蚀陡坡	1.00	0.17	0.01	0.71	0.00	3.73	0.00

表 6 研究区 2013 年各地类在不同地貌上的分布指数

项目	草地	耕地	建设用地	林地	水域	未利用地	园地
V 型峡谷	0.36	0.17	0.47	1.33	10.99	0.67	0.21
峰丛洼地	0.59	1.44	1.05	1.54	0.00	0.54	0.24
侵蚀台地	2.00	2.10	0.09	1.03	0.00	0.41	0.45
丘峰台地	1.46	0.89	1.27	0.48	0.00	1.02	2.07
溶蚀—侵蚀陡坡	1.17	0.17	0.01	0.70	0.00	3.68	0.00

### 2.3 土地利用转移的地貌分异特征

通过对土地利用转移变化和地貌的分析,得到了不同时期土地利用转移的地貌分布情况,这里选取了不同地类转移面积占该期间转移总面积百分比前 10 的转移类型及其发生的地貌分布(表 7)。

从表 7 可以看出,在 2005—2010 年间,土地利用变化的主要地貌区为丘峰台地区和 V 型峡谷区。土

地利用变化最明显的是发生在 V 型峡谷区的林地向水域的转移,其次是发生在丘峰台地的园地变林地;在 2010—2013 年间,土地利用最明显的是发生在峰丛洼地的耕地变林地,其次是发生在丘峰台地上的园地变林地。从地貌类型来看,发生转移变化频率最高的是丘峰台地,其次是溶蚀—侵蚀陡坡,V 型峡谷发生变化最少。

表 7 不同时期土地利用转移的地貌分布情况

转移方式	2005—2010 年		转移方式	2010—2013 年	
	比例/%	地貌分布		比例/%	地貌分布
林地变水域	26.51	V 型峡谷	耕地变林地	15.75	峰丛洼地
园地变林地	16.24	丘峰台地	园地变林地	10.95	丘峰台地
园地变未利用地	10.17	丘峰台地	未利用地变草地	10.68	溶蚀—侵蚀陡坡
未利用地变水域	8.71	V 型峡谷	耕地变未利用地	6.87	峰丛洼地
园地变未利用地	5.44	峰丛洼地	园地变林地	6.32	V 型峡谷
园地变耕地	5.26	丘峰台地	未利用地变草地	5.42	V 型峡谷
耕地变建设用地	4.89	峰丛洼地	耕地变草地	3.75	丘峰台地
园地变耕地	3.50	峰丛洼地	未利用地变林地	3.66	V 型峡谷
耕地变建设用地	3.18	丘峰台地	园地变草地	3.66	丘峰台地
园地变水域	2.78	V 型峡谷	未利用地变草地	3.16	丘峰台地

从整体上来看,在 2005—2010 年间,土地利用变化主要集中在丘峰台地的查尔岩村和银洞湾村以及 V 型峡谷区。在丘峰台地区多为园地转为其他地类,斑块面积大且集中成片,而 V 型峡谷区,以其他地类

转为水域为主,呈条带状分布,这是由于 2009 年 8 月 20 日北盘江下游的董箐水电站开始蓄水,水位上升,河面变宽,其他地类被水淹没所致。溶蚀—侵蚀陡坡区几乎无土地利用变化发生,位于丘峰台地的峡谷村

和位于侵蚀台地的坝山村和木工村存在少量变化,主要为林地转为建设用地和耕地转为未利用地。在2010—2013年间,土地利用变化在整个区域呈零散分布。土地利用变化的地貌区则以溶蚀—侵蚀陡坡、峰丛洼地和丘峰台地为主。未利用地转为草地的斑块主要在研究区西北角的溶蚀—侵蚀陡坡区和坝山村与木工村的溶蚀—侵蚀陡坡区,部分位于研究区西北角的V型峡谷区。丘峰台地区园地转为林地的斑块面积最大,主要集中在查尔岩村委附近。在峰丛洼地区,耕地转为林地、耕地转为未利用地的斑块面积较大,多呈条状。在丘峰台地的峡谷村,其土地利用变化斑块数明显增加,多为其他地类转为草地和林地。

#### 2.4 土地利用程度的地貌分异特征

从土地利用程度的时间变化上来看(图2),V型峡谷和溶蚀—侵蚀陡坡区土地利用程度存在细微上升,其他地貌的土地利用程度未发生明显的变化,土地利用程度的地貌分异特征趋于稳定。V型峡谷区的变化,主要还是由于下游修建水库蓄水所致。溶蚀—侵蚀陡坡区的变化(表7),主要是从未利用地转变为草地,这和国家的生态建设有密切关系。各时期土地利用程度大小在不同时期均表现为:侵蚀台地>峰丛洼地>丘峰台地>V型峡谷>溶蚀—侵蚀陡坡。

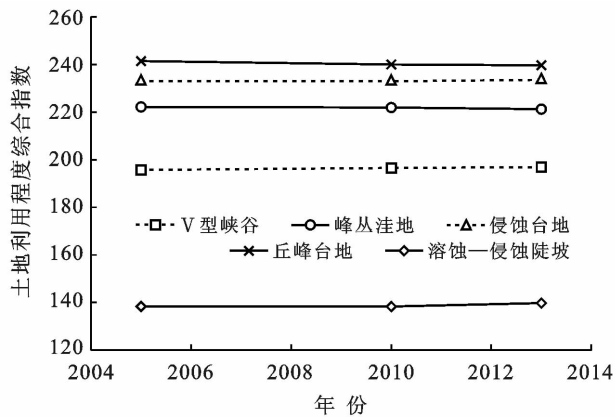


图2 不同时期不同地貌的土地利用程度综合指数

#### 2.5 不同地貌环境下石漠化的发生率与强度结构差异

由表8—9可知,从整体上看溶蚀—侵蚀陡坡区

已石漠化发生率最高,2005年为82.06%,2013年为78.16%;其次为丘峰台地区,2005和2013年分别为70.89%和70.23%;V型峡谷区已石漠化发生率最低,2005和2013年分别为42.04%和32.95%。采用中度及以上石漠化面积比例来衡量石漠化强度,在2005年时,其表现为溶蚀—侵蚀陡坡区最高,比例和为61.32%,接近2/3土地发生了中度以上石漠化;其次为峰丛洼地区,比例和为38.82%;V型峡谷区最小,比例和为26.15%。在2013年时,中度及以上石漠化面积有所下降,石漠化强度最高的为溶蚀—侵蚀陡坡区,比例和为46.38%;其次为侵蚀台地区,比例和为33.37%,相比于2005年,下降了5.45%;V型峡谷区最小,比例和为12.19%,相比2005年下降了13.96%。通过比较分析,2005和2013年各地貌环境下已石漠化面积的大小比均为:丘峰台地>峰丛洼地>溶蚀—侵蚀陡坡>V型峡谷>侵蚀台地;2005年已石漠化面积比例大小比为:溶蚀—侵蚀陡坡>丘峰台地>侵蚀台地>峰丛洼地>V型峡谷,2013年的已石漠化面积比例大小变动为:溶蚀—侵蚀陡坡>侵蚀台地>丘峰台地>峰丛洼地>V型峡谷,丘峰台地已石漠化面积比例有所减少。相比较,从生态退化广度上来看,丘峰台地区已石漠化面积最大,说明其生态环境退化广度最大,峰丛洼地区次之,溶蚀—侵蚀陡坡区和V型峡谷区居于中间,侵蚀台地区退化广度最小;从生态退化程度来看,溶蚀—侵蚀陡坡区已石漠化面积比例最大,说明其生态环境退化程度最大,丘峰台地区和侵蚀台地区次之,峰丛洼地区居中,V型峡谷区生态环境退化程度最小。但总体而言,生态环境均有所改善,这与研究区的石漠化治理密切相关。

#### 2.6 不同地貌环境下不同石漠化等级在各土地类型中的分布

由于2010年的分布情况与2013年接近,无明显变化,因此,只研究2005和2013年的不同等级石漠化在各土地类型中的分布(图3—4)。

表8 研究区2005年不同地貌环境石漠化类型分布

石漠化类型	V型峡谷		峰丛洼地		侵蚀台地		丘峰台地		溶蚀—侵蚀陡坡	
	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%
无石漠化	115.13	27.89	315.06	17.60	5.59	11.52	139.84	7.22	7.59	2.16
潜在石漠化	124.13	30.07	449.98	25.14	8.62	17.77	423.90	21.89	55.39	15.78
轻度石漠化	65.56	15.88	330.02	18.44	16.18	33.35	645.27	33.32	72.75	20.73
中度石漠化	63.43	15.37	399.62	22.33	4.84	9.99	354.37	18.30	88.39	25.19
强度石漠化	38.86	9.41	250.77	14.01	13.17	27.15	353.31	18.25	110.21	31.40
极强度石漠化	5.67	1.37	44.46	2.48	0.11	0.22	19.65	1.01	16.60	4.73
已石漠化	173.52	42.04	1024.87	57.26	34.30	70.70	1372.61	70.89	287.96	82.06

表 9 研究区 2013 年不同地貌环境石漠化类型分布

石漠化类型	V 型峡谷		峰丛洼地		侵蚀台地		丘峰台地		溶蚀—侵蚀陡坡	
	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%
无石漠化	132.75	32.16	502.87	28.09	5.95	12.27	171.65	8.86	17.60	5.01
潜在石漠化	144.01	34.89	316.29	17.67	8.26	17.02	404.74	20.90	59.03	16.82
轻度石漠化	85.70	20.76	566.68	31.66	18.11	37.33	765.99	39.56	111.53	31.78
中度石漠化	36.93	8.95	197.62	11.04	4.92	10.14	293.79	15.17	109.24	31.13
强度石漠化	13.39	3.24	206.47	11.53	11.27	23.23	300.17	15.50	53.53	15.25
已石漠化	136.02	32.95	970.76	54.24	34.30	70.70	1 359.95	70.23	274.30	78.16

注:已石漠化=轻度及以上是石漠化(轻度+中度+强度+极强度)。

2.6.1 无石漠化和潜在石漠化 ①无石漠化。2005 年,丘峰台地区和峰丛洼地区以林地为主,分别占 44.04%和 84.27%;溶蚀—侵蚀陡坡区以未利用地和林地为主,分别占 57.84%和 35.12%;侵蚀台地区以耕地为主,占 89.17%;V 型峡谷区以林地和水域为主,分别占 35.54%和 61.76%。在 2013 年时,丘峰台地区在 2005 年基础上增加了建设用地,分别占 48.40%和 24.55%;溶蚀—侵蚀陡坡区未变,但在 2005 年基础上未利用地有所增加,分别为 63.88%和 32.71%;侵蚀台地区以耕地为主,占 83.71%;峰丛洼地区以林地为主,占 86.55%,相比 2005 年有所增加;V 型峡谷区以水域和林地为主,分别占 36.15%和 60.68%。②潜在石漠化。2005 年,丘峰台地区以草地和园地为主,分别占 35.85%和 29.11%;溶蚀—侵蚀陡坡区以草地和林地为主,分别占 36.96%和 40.37%;侵蚀台地区以草地和耕地为主,分别占 48.88%和 41.81%;峰丛洼地区和 V 型峡谷区以林地为主,分别占 70.19%和 84.60%。在 2013 年时,丘峰台地区主要土地类型未变,分别占 37.40%和 28.26%;溶蚀—侵蚀陡坡区以草地和林地为主,分别占 34.53%和 43.12%;侵蚀台地区以草地和耕地为主,分别占 51.04%和 43.66%,相比 2005 年有所增加;峰丛洼地区和 V 型峡谷区以林地为主,分别占 61.66%和 69.99%,相比 2005 年分别下降了 8.53%和 14.61%。

2.6.2 轻度石漠化 在 2005 年,丘峰台地区以园地为主,占 56.68%;溶蚀—侵蚀陡坡区以未利用地和林地为主,分别占 48.96%和 44.47%;侵蚀台地区、峰丛洼地区和 V 型峡谷区均以林地为主,分别占 60.04%,52.79%和 65.64%。在 2013 年时,丘峰台地区以园地为主,占 52.64%;溶蚀—侵蚀陡坡区以未利用地和林地为主,在 2005 年基础上未利用地有所增加,分别为 49.09%和 42.52%;侵蚀台地区和峰丛洼地区以林地和耕地为主,林地分别占 60.81%和 50.74%,耕地分别占 27.63%和 37.56%;V 型峡谷区以林地为主,占 54.49%,下降了 11.15%。

2.6.3 中度石漠化 在 2005 年,丘峰台地区以未利用地和园地为主,分别占 26.28%和 41.87%;溶蚀—侵

蚀陡坡区和 V 型峡谷区以林地和未利用地为主,林地分别占 31.56%和 56.35%,未利用地分别占 63.48%和 28.12%;侵蚀台地区和峰丛洼地区以耕地和林地为主,耕地分别占 33.51%和 33.20%,林地分别占 31.97%和 49.98%。2013 年时,丘峰台地区以未利用地和园地为主,分别占 42.14%和 38.57%,在 2005 年基础上未利用地增加了 15.86%,园地减少了 31.51%;溶蚀—侵蚀陡坡区以未利用地为主,占 91.34%,未利用地增加了 27.86%,而林地则减少了 27.44%;侵蚀台地区以耕地和林地为主,分别占 27.06%和 30.64%;峰丛洼地区以耕地、林地和未利用地为主,分别占 23.19%,36.42%和 30.96%,在 2005 年基础上耕地和林地相对减少了 10.10%和 13.56%,而未利用地则增加了 21.25%;V 型峡谷区以林地和未利用地为主,分别占 29.03%和 42.99%,相比 2005 年,林地区减少了 27.32%,未利用区则增加了 14.87%。

2.6.4 强度石漠化及极强度石漠化 ①强度石漠化。2005 年,丘峰台地区主要发生在未利用地和园地,分别占 51.63%和 31.86%;溶蚀—侵蚀陡坡区和 V 型峡谷区以未利用地为主,分别为 93.52%和 73.62%;侵蚀台地区以林地和未利用地为主,分别占 53.89%和 21.70%;峰丛洼地区主要发生区为耕地、林地和未利用地地区,分别占 28.80%,28.15%和 32.16%。在 2013 年时,丘峰台地区以未利用地和园地为主,分别占 49.37%和 31.13%,相比 2005 年有所下降;溶蚀—侵蚀陡坡区和 V 型峡谷区以未利用地为主,分别为 89.48%和 64.49%;侵蚀台地区以林地和未利用地为主,分别占 50.20%和 21.27%;峰丛洼地区以耕地、林地和未利用地为主,分别占 28.51%,26.15%和 34.38%。②极强度石漠化。2005 年,丘峰台地区、溶蚀—侵蚀陡坡区和侵蚀台地区均以未利用地为主,分别占 73.72%,90.54%和 100%;峰丛洼地区以林地和未利用地为主,分别占为 17.49%和 57.21%;V 型峡谷区以林地和未利用地为主,分别占 20.78%和 79.22%。经过近 10 a 的石漠化治理,极强度石漠化就完全转为其他等级的石漠化,因此,2013 年没有极强度石漠化的分布。

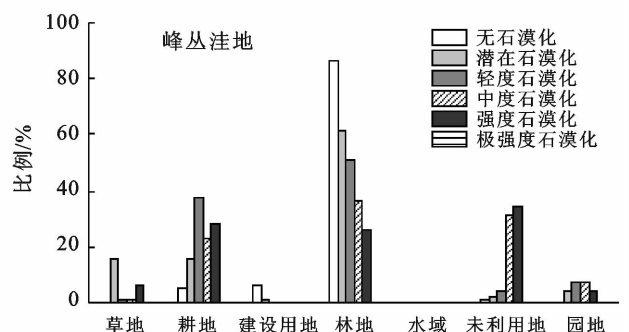
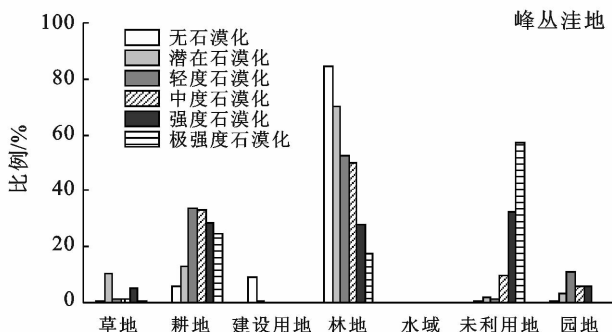
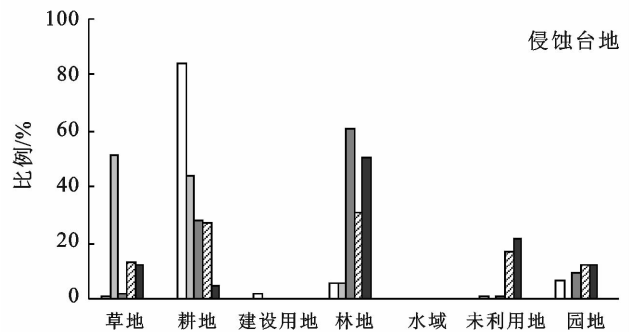
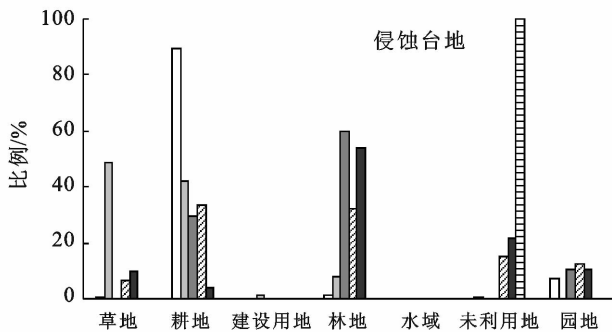
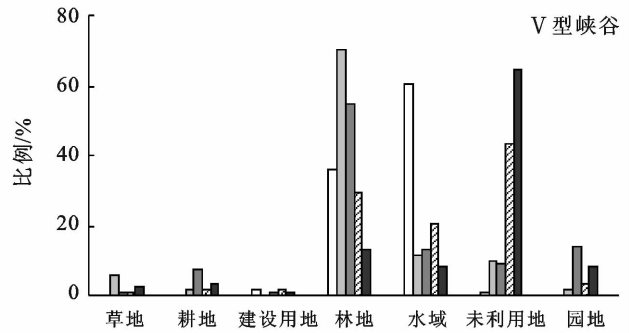
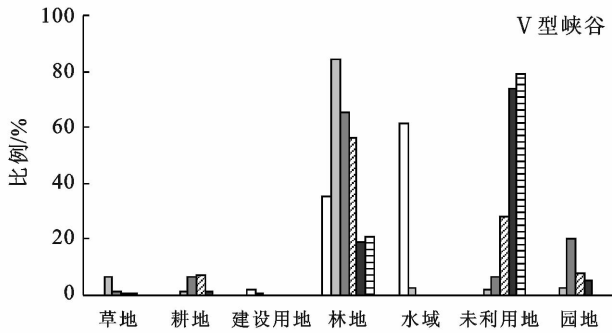
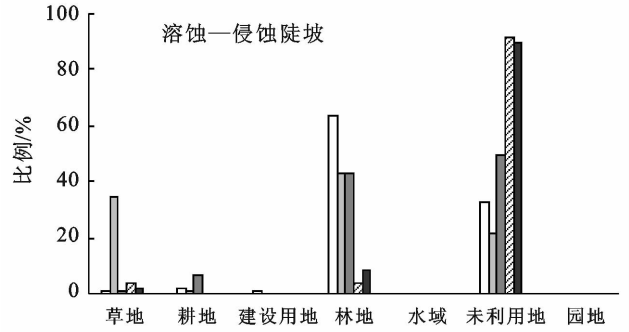
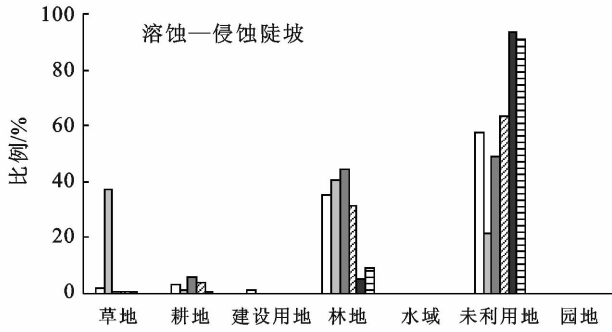
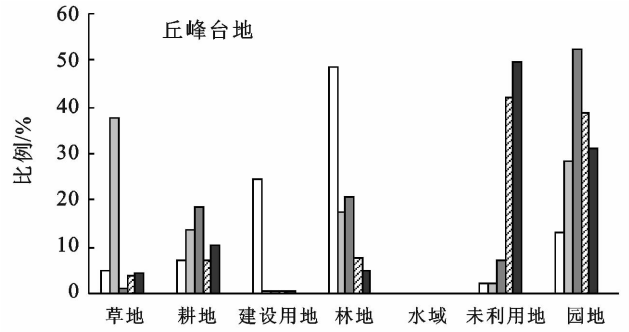
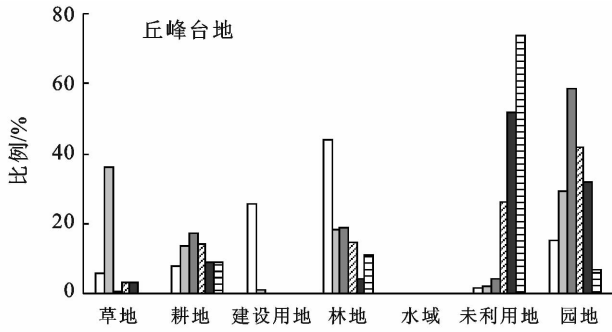


图 3 研究区 2005 年不同地貌环境石漠化土地类型分类

图 4 研究区 2013 年不同地貌环境石漠化土地类型分类



### 3 讨论与结论

#### 3.1 讨论

不同地貌类型下土地利用分异是土地利用受多种地形因子影响的结果<sup>[34]</sup>。石漠化是岩溶山区脆弱生态系统与人类不合理经济活动相互作用而造成的土地退化过程<sup>[35-36]</sup>,不同等级石漠化与不同土地利用类型存在着相关性<sup>[37]</sup>。从不同地貌类型及石漠化等级的复合视角研究土地利用类型对探究岩溶山区土地利用具有重要的意义。研究区由于退耕还林还草政策的实施以及石漠化治理的开展,耕地和园地的面积有所下降,大量的未利用地转为草地和林地;建设用地、园地、水域和耕地在不同地貌之间一直保持着较强优势分布区的稳定性,而草地和林地在地貌分布指数均有所增加;不同地貌环境下石漠化的发生率也在不断改变,强度和极强度石漠化发生率降低甚至消失。随着人口增长、经济发展和城镇化水平的提高,大量耕地转为建设用地,主要分布在丘峰台地区和峰丛洼地,沿交通线呈轴带状延伸。从不同地貌环境下不同石漠化等级在各土地类型中的分布探讨情况来看,不同等级石漠化在不同地貌环境下均有其较为稳定的土地类型,如丘峰台地区石漠化主要发生在园地和未利用地中;溶蚀—侵蚀陡坡区石漠化主要发生在未利用地中;侵蚀台地区和峰丛洼地地区石漠化主要发生在耕地、林地和未利用地中;V型峡谷区石漠化主要发生在林地和未利用地中。总体而言,岩溶山区复杂的地貌形态特征对研究区土地利用变化和石漠化变化产生了深刻影响,不同地貌环境、不同石漠化等级以及不同土地利用类型间均存在相互的联系。

许多学者虽对不同地貌环境下喀斯特石漠化与土地利用的关系进行了探讨,但其研究方法比较单一,仅仅运用叠加分析等方法对其进行了探讨,无法消除各土地利用类型面积量纲对不同土地利用类型在不同地貌单元上分布频率可比性的影响,也无法反映土地利用变化的程度。本研究则在前人研究基础上,采用地形分布指数和土地利用程度综合指数对三者之间的关系进行探讨研究。一方面运用土地利用数据和地貌数据,分析和探讨了喀斯特地区土地利用的地貌分异特征,弥补了该研究在喀斯特地区的不足;另一方面结合石漠化数据,探索了岩溶山区不同地貌环境下石漠化易于发生的主要地类,为后期的石漠化治理,提供了数据支持和决策依据。但由于数据的原因,在长时间尺度上的分析不足。后续研究则主要集中于探索该研究区在石漠化治理前后的长时间

尺度上,石漠化地区土地利用的地貌分异特征,为喀斯特石漠化地区的治理提供更为精确的数据支持和理论支撑。

#### 3.2 结论

(1) 在 2005—2013 年间,土地利用方面,喀斯特区草地、建设用地、林地、未利用地和水域的面积有所增加,耕地、园地的面积在减少。在石漠化方面,喀斯特区无石漠化的面积在增加。

(2) 土地利用的地貌分异方面,每一个地类都有其存在的优势分布区。在 2005—2013 年间,除了水域在 V 型峡谷的分布优势和草地在溶蚀—侵蚀陡坡的分布优势有所增加外,其余土地利用类型的优势分布区域没有明显的变化,说明该期间各土地利用类型的地貌分异基本稳定。

(3) 在土地利用程度的地貌方面,未发生明显的变化,土地利用程度的地貌分异特征趋于稳定。各时期土地利用程度大小在不同时期均表现为:侵蚀台地 > 峰丛洼地 > 丘峰台地 > V 型峡谷 > 溶蚀—侵蚀陡坡。

(4) 在不同地貌环境下不同石漠化等级在各土地类型中的分布方面,石漠化主要发生在耕地、林地、园地和未利用地 4 种地类上。在 2005—2013 年间,石漠化程度在不同地貌环境的地类中总体呈较好转变。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Mooney H A, Duraiappah A, Larigauderie A. Evolution of natural and social science interactions in global change research programs [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2013, 110(S1):3665-3672.
- [2] 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.
- [3] Fan Xingang, Ma Zhuguo, Yang Qing, et al. Land use/land cover changes and regional climate over the Loess Plateau during 2001—2009 (Part II): interrelationship from observations [J]. Climatic Change, 2015, 129 (3/4):441-455.
- [4] 李莹,黄岁嫫. 滦河流域未来土地利用变化情景的水文响应[J]. 生态学杂志, 2016, 35(7):1970-1980.
- [5] 张军以,王腊春,苏维词,等. 岩溶地区人类活动的水文效应研究现状及展望[J]. 地理科学进展, 2014, 33(8):1125-1135.
- [6] 李玲,陈飞燕,林爱文. 结合 SOM 与动态度方法的土地利用及其时空演变研究[J]. 水土保持通报, 2018, 38(4):129-134,141,2.
- [7] 冯朝阳,于勇,高吉喜,等. 地形因子对京西门头沟区土

- 地利用/覆盖变化的影响[J]. 山地学报, 2007, 25(3): 274-279.
- [8] 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.
- [9] 孙丽,陈焕伟,潘家文. 运用 DEM 剖析土地利用类型的分布及时空变化:以北京延庆县为例[J]. 山地学报, 2004, 22(6):762-766.
- [10] 中国科学院. 关于推进西南岩溶地区石漠化综合治理的若干建议[J]. 中国科学院院刊, 2003, 18(3):489-492.
- [11] 薛振山,苏奋振,杨晓梅,等. 珠江口海岸带地貌特征对土地利用动态变化影响[J]. 热带地理, 2012, 32(4): 409-415.
- [12] 李严林,李彪. 广西海岸带地貌与土地利用分形特征研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2018, 41(11): 219-222, 225.
- [13] 王学志,张正祥,盛连喜,等. 基于地貌特征的东北土地利用格局[J]. 生态学杂志, 2010, 29(12):2444-2451.
- [14] 彭睿文,罗娅,陈起伟,等. 石漠化治理区小尺度土地利用变化及其驱动机制分析:以花江石漠化治理区为例[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(12):2073-2082.
- [15] 许月卿,罗鼎,冯艳,等. 西南喀斯特山区土地利用/覆被变化研究:以贵州省猫跳河流域为例[J]. 资源科学, 2010, 32(9):1752-1760.
- [16] 颜萍,刘子琦,肖杰,等. 喀斯特石漠化治理区不同土地利用方式的小气候效应[J]. 中国岩溶, 2016, 35(5): 557-565.
- [17] 周忠发,朱昌丽,谭玮颐,等. 基于空间开发适宜性评价的石漠化地区可持续发展研究:以贵州省盘州市为例[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2019, 37(1):1-9,127.
- [18] 王晓帆,许尔琪,张红旗,等. 贵州土地石漠化变化及社会经济活动的影响分析[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(12):1908-1918.
- [19] 高渐飞,熊康宁. 不同地貌环境下喀斯特石漠化与土地利用的关系[J]. 水土保持通报, 2014, 34(3):97-101,140.
- [20] 潘方杰,王宏志,李仁东. 微地貌制约下江汉平原土地利用分异特征及变化方向[J]. 地域研究与开发, 2018, 37(1):138-142,164.
- [21] 蔡广鹏,张朝琼. 岩溶山区不同地貌形态的土地利用变化比较分析[J]. 四川农业大学学报, 2015, 33(4):392-398.
- [22] 程维明,高晓雨,马廷,等. 基于地貌分区的 1990—2015 年中国耕地时空特征变化分析[J]. 地理学报, 2018, 73(9):1613-1629.
- [23] 毛蒋兴,李志刚,闫小培,等. 深圳土地利用时空变化与地形因子的关系研究[J]. 地理与地理信息科学, 2008, 24(2):71-76.
- [24] 张丹丹,杨晓梅,苏奋振,等. 大亚湾近岸土地利用的时空分异及其与地貌因子关系分析[J]. 资源科学, 2010, 32(8):1551-1557.
- [25] 崔蕾,熊康宁,关智宏,等. 基于生物多样性恢复和保护的石漠化土地整理模式:以贵州撒拉溪和花江示范区为例[J]. 中国岩溶, 2016, 35(5):513-524.
- [26] 杨鸿雁,梁玉华,樊玉龙,等. 贵州花江喀斯特地区土壤藻类群落的结构特征[J]. 贵州农业科学, 2013, 41(11): 102-105.
- [27] 周忠发,闫利会,陈全,等. 人为干预下喀斯特石漠化演变机制与调控[M]. 北京:科学出版社, 2016.
- [28] 国家质量监督检验检疫总局,国家标准化委员会. (GB/T21010—2007)土地利用现状分类[S]. 北京:中国标准出版社, 2007.
- [29] 熊康宁,黎平,周忠发,等. 喀斯特石漠化的遥感-GIS 典型研究[M]. 北京:地质出版社, 2002.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] 王思远,张增祥,周全斌,等. 基于遥感与 GIS 技术的土地利用时空特征研究[J]. 遥感学报, 2002, 6(3):223-228.
- [34] 方炫,曹建军,那嘉明,等. 黄土丘陵区土地利用变化的微地貌分异研究:以宁夏固原河川乡为例[J]. 地理与地理信息科学, 2017, 33(4):113-118,128-129.
- [35] Yuan Daoxian. Rock desertification in the subtropical karst of south China[J]. Zeitschrift für Geomorphologie Neue Folge, 1997, 108: 81-90.
- [36] Wang Shijie, Liu Keming, Zhang Defu, et al. Karst rock desertification in southwestern China: Geomorphology, land use, impact and rehabilitation [J]. Land Degradation & Development, 2004, 15(2): 115-121.
- [37] 李阳兵,白晓永,邱兴春,等. 喀斯特石漠化与土地利用相关性研究[J]. 资源科学, 2006, 28(2):67-73.