

贵州石漠化空间分布与喀斯特地貌、岩性、 降水和人口密度的关系

张信宝^{1,2}, 王世杰², 白晓永², 陈伟燕^{1,3}, 张思屿³

(1. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所山地环境演变与调控重点实验室, 成都 610041;

2. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:本次研究从地貌发育的角度揭示了贵州省石漠化景观及其等级的空间分布与下垫面的物质组成和气候(降雨量)的空间变化存在着密切的联系,而与现今人类活动强度(人口密度)的空间分布不存在关联性。具体体现为:(1)贵州溶蚀为主地貌类型区和纯碳酸盐岩分布区基本一致,区内的峰丛(林)地貌主要分布于年降水量 ≥ 1200 mm的威宁-毕节-贵阳-凯里一线以南的溶蚀为主地貌类型区,随着降水量由北向南逐渐增加,塔状峰丘增多;溶丘,峰丛(林)不发育地貌主要分布于年降水量 ≤ 1100 mm的威宁-毕节以北的黔西北溶蚀为主地貌类型区和毕节-贵阳-凯里一线以北的溶蚀侵蚀地貌类型区,(2)贵州石漠化程度与喀斯特地貌类型空间分布的耦合关系较好,与人口密度空间分布的耦合关系不好。峰丛(林)地貌发育的威宁-毕节-贵阳-凯里一线以南的溶蚀为主地貌区,黔中地区人口密度为 $300\sim 400/\text{km}^2$,该区一些县的石漠化,远不如黔西南地区人口密度为 $200\sim 300/\text{km}^2$ 或黔南地区人口密度为 $100\sim 200/\text{km}^2$ 的严重。历史时期森林植被的全面破坏是贵州喀斯特地区石漠化的主要驱动力,除荔波茂兰喀斯特森林保护区等少数地区,贵州喀斯特地区的原始森林无论是现在人口密度高的地区,还是低的地区,历史时期均已遭受全面的破坏。喀斯特坡地次生植被的恢复状况在很大程度上取决于坡地的岩土组成,现代石漠化严重程度的区域差异,主要受下垫面地面物质组成的控制,也就是“石山”的多寡。

关键词:贵州;石漠化;空间分布;喀斯特地貌;岩性;降水;人口密度

中图分类号:P642.252 文献标识码:A 文章编号:1672-9250(2013)01-0001-06

喀斯特是一种地貌现象,喀斯特地貌的形态及其空间分布主要受碳酸盐岩层的组成、结构和气候条件的控制,锥状、塔状峰丛和峰林喀斯特地貌仅分布于热带和亚热带的碳酸盐岩区。笔者近年来从事西南喀斯特地区水土流失的研究,拜读了不少有关贵州石漠化的文章,发现探讨石漠化与岩性和人类活动关系的文献较多,深入讨论石漠化与地貌和降水关系的文献鲜见^[1-14]。本文收集了贵州石漠化、地貌、岩性、降水量和人口密度等相关图片^[1,4,15,16],在这些要素空间分布叠加的基础上,首先阐明不同类型喀斯特地貌的形态和地面物质组成特点,解释岩性和降水控制喀斯特地貌发育的机理,然后剖析石漠化空间分布与喀斯特地貌和人口密度的关系,

以期对科学认识贵州石漠化空间分布特点和石漠化发生原因有所裨益。

1 贵州喀斯特地貌空间分布与岩性和降水量的关系

按侵蚀营力,贵州地貌可分为溶蚀为主类,溶蚀侵蚀类和侵蚀剥蚀类三类^[1,15]。对比图1和图2的岩性分布可见,这三种地貌类型区的空间分布明显受岩性控制,溶蚀为主、溶蚀侵蚀和侵蚀剥蚀地貌类型区分别与纯碳酸盐岩、较纯碳酸盐岩和碎屑岩分布区基本重叠。毕节-贵阳-凯里一线以北地区为川黔褶皱带,纯碳酸盐岩呈条带状分布,由此溶蚀为主地貌类型区也呈条带状分布,形成典型的喀斯

收稿日期:2012-02-26;改回日期:2012-09-10

基金项目:国家重大科学研究计划项目(2013CB956704);中国科学院战略性先导科技专项重大课题(XDA05070400);贵州省重大科技专项(黔科合重大专项字[2012]6015号);国家自然科学基金项目(41001162);贵州-毕节-中国科学院联合资助项目(省地院合2011-4);贵阳市科技局项目(筑合同[2012205]号);“西部之光”之西部博士专项(科发人教字[2012]179号)

第一作者简介:张信宝,(1946-),男,研究员,博士生导师,主要从事水土流失与生态恢复研究。E-mail: zxbao@imde.ac.cn.

特槽谷地貌。以南为地台区，是贵州高原的主体，纯碳酸盐岩呈斑块状分布^[1, 6]。喀斯特地貌分为峰丛(林)和溶丘两种类型，其中峰丛(林)地貌仅分布于溶蚀为主地貌类型区，有锥丘和塔丘两种丘峰形态；贵州的溶丘地貌形态以锥丘为主，即杨明德先生的溶丘^[1]，同袁道先先生所称的常态山^[2]，溶丘地貌在溶蚀为主和溶蚀侵蚀地貌区类型均有分布(图1)。溶蚀为主地貌类型区内(纯碳酸盐岩分布区)，峰丛(林)地貌主要分布于年降水量 ≥ 1200 mm的威宁-毕节-贵阳-凯里一线以南地区，随着降水量由北向南逐渐增大，塔状峰丘增多。溶丘、峰丛(林)不发育地貌主要分布于年降水量 ≤ 1100 mm的威宁-毕节以北的地区；毕节-贵阳-凯里一线以北的溶蚀侵蚀地貌类型区，喀斯特溶丘地貌呈条带状分布，峰丛(林)散点状分布于佛顶山附近的纯碳酸盐岩大面积出露区。

锥丘形似金字塔，锥丘坡地平均坡度 30° 左右，坡上较陡，坡麓较缓。典型锥丘地面物质组成垂直分带明显，坡上为石质坡地，坡腰为土石质坡地，坡麓为土质坡地。坡地土壤，坡上和坡腰，多石灰土，顺坡向下常渐变为坡麓的黄土。锥丘坡地表层岩溶带发育，多缝、隙、孔、洞。和灰岩锥丘相比，白云岩锥丘顶部浑圆，同一地区内的白云岩锥丘的土被面积率一般高于灰岩锥丘。灰岩锥丘的岩土结构和白云岩有明显差异：灰岩坡地的地表土壤和下伏基岩直接接触，土层和基岩之间有时发育有厚约数厘米至十余厘米的杂色粘土层，岩层垂直裂隙发育。土体充填成为土楔，部分土楔宽数十厘米，深数米，土石质坡地的地表土壤常呈鸡窝状分布；白云岩坡地的地表土壤和下伏基岩之间常存在厚度约数厘米至十余厘米的“糖砂层”。土下岩层弥漫状的裂隙发育，极少土状物质充填，土体充填的垂直裂隙不发育。土石质坡地的地表土壤常呈薄片状分布^[17]。溶丘又称常态山，山形较为浑圆，丘坡的地形纵

剖面多呈上凸形，丘坡坡地坡度较缓，平均坡度多小于 20° ，一些低缓的溶丘呈丘岗状。高原面上典型溶丘坡地的土壤为黄壤或石灰土，坡地土层发育保存远好于锥丘，表层土壤和下伏基岩也呈直接接触。坡顶和上部坡地或有基岩出露，以下的大部坡地为土质坡地，鲜见岩石露头，土层顺坡向下逐渐增厚。溶丘坡地土下风化壳岩层的缝、隙、孔、洞往往发育程度也较深。峡谷区溶丘坡地地表土壤发育保存较差，表层岩溶带的缝、隙、孔、洞发育程度和土楔的宽度、深度远不如高原面上的溶丘。

2 喀斯特地貌发育机理

坡地地貌演化是流水侵蚀、重力侵蚀和化学侵蚀综合作用的结果^[18]。化学溶蚀是喀斯特坡地地貌演化的基本营力^[19-22]，化学溶蚀的介质是水，在相同的环境条件下，化学溶蚀量和径流量成正相关。岩溶坡地的径流流向见图2。降水产生的地表径流部分渗入表层岩溶带。据中科院地化所普定喀斯特生态站和长沙亚热带农业生态所环江喀斯特生态站的大型全坡径流试验场资料，喀斯特坡地的径流系数低于0.05，这表明降水径流几乎全部渗入表层岩溶带，坡地地表径流很少^[14, 23]。显然，地表流水侵

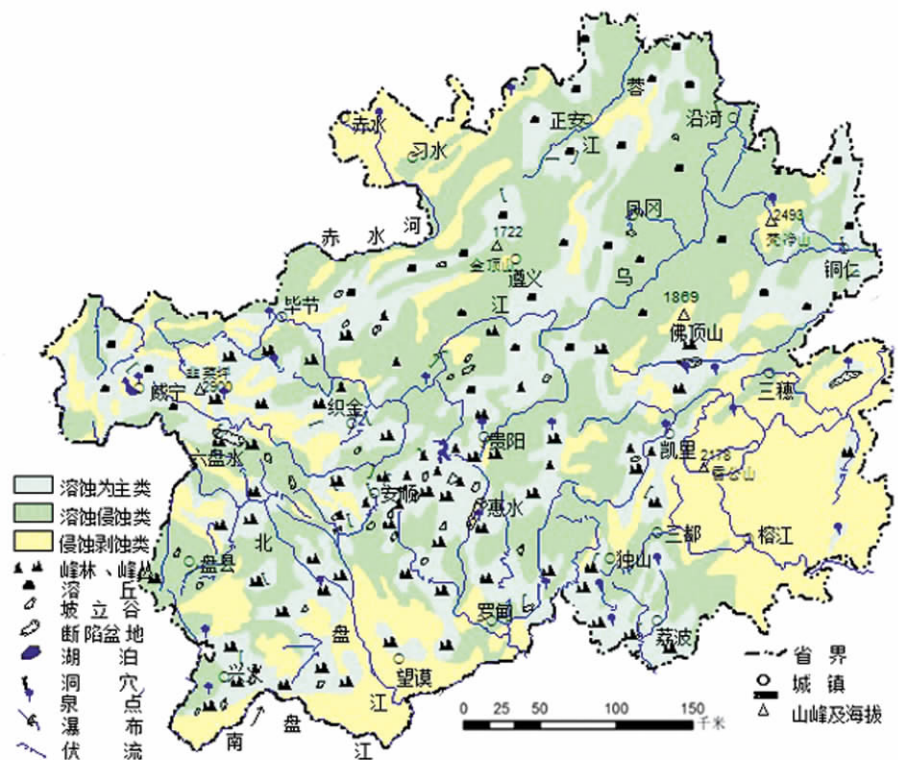


图1 贵州地貌类型图(据文献[1])

Fig. 1 The landform types of Guizhou (After Ref. [1])

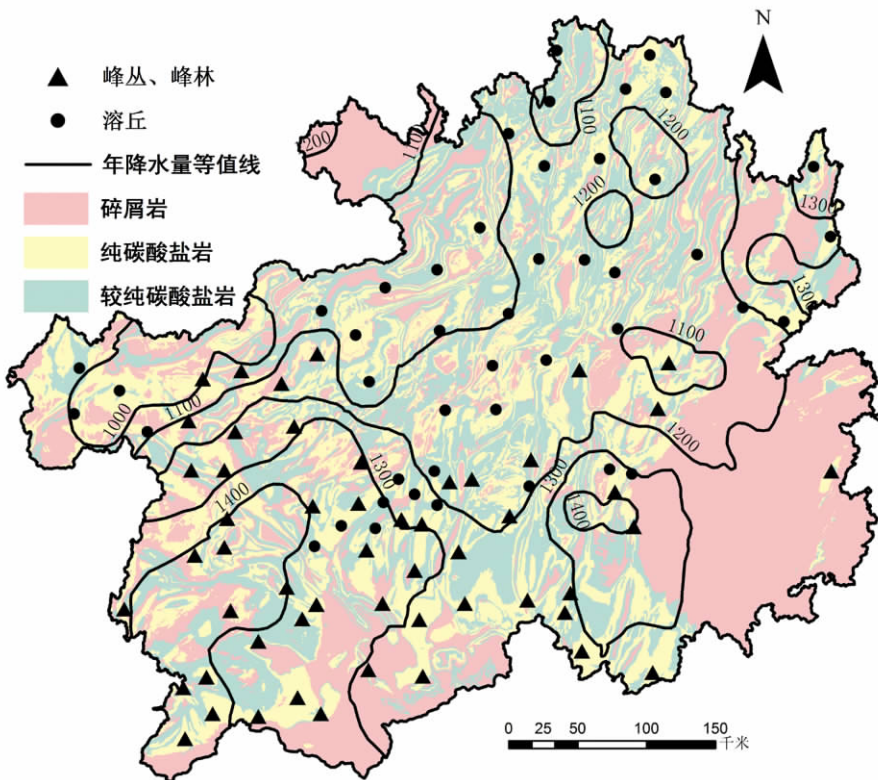


图 2 贵州地貌类型、岩性和降水量的空间分布

Fig. 2 The landform type, lithology, and the spatial distribution of precipitation in Guizhou

蚀不是喀斯特坡地演化的主要营力。这和喀斯特坡地较为平顺，溶沟、溶槽和溶坑发育，冲沟不发育的实际相符。渗入表层岩溶带的径流，一部分沿表层岩溶带顺坡裂隙流动，一部分沿垂向裂隙向下入渗，部分垂向入渗的径流有可能又沿水平或斜向裂隙返流到表层岩溶带。沿垂向裂隙向下入渗的径流溶蚀山体内部岩石，不影响坡地边坡的发育。沿表层岩溶带顺坡裂隙流动的径流（下称表层岩溶带顺坡径流），溶蚀坡地表层岩溶带的岩石，对喀斯特坡地的演化具有举足轻重的影响。表层岩溶带顺坡径流源于降水，岩溶坡地的降水分配可表述为（图 3）：

$$W = W_1 + W_2$$

$$W_2 = WQ_1 + WQ_2 + WQ_3$$

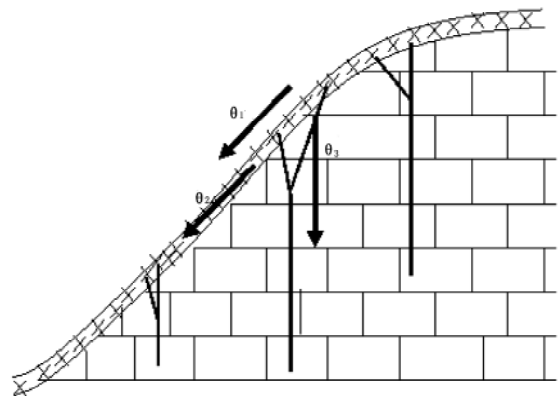
式中， W = 降水量 mm； W_1 = 蒸散发耗水 mm； W_2 = 径流深 mm； WQ_1 = 地表径流深 mm； WQ_2 = 表层岩溶带顺坡径流深 mm； WQ_3 = 净垂向入渗径流深。

表层岩溶带顺坡径流的流量随着坡长的增加而增大，溶蚀速率也随着坡长的增加和土壤水溶蚀力的增加而升高。随着时间的推移，坡地下部溶蚀的

岩层厚度越来越大，坡地因此变得越来越陡，锥峰逐渐形成。坡度大于休止角 37° 稳定性差，因此峰丛（林）地貌中坡度 30° 左右的溶丘最为普遍。和完整的岩层相比，松散堆积物更易于遭受溶蚀，因此坡地松散角砾堆积物一般不发育。

喀斯特坡地的土壤流失可分为地表流失和地下流失两种方式，由于植被和枯枝落叶层的保护作用 and 地表径流量少的缘故，森林植被没有被破坏的喀斯特坡地，无论是锥丘还是常态山坡地，土壤的地表流失量都非常低，降水量大的峰丛（林）地貌区，锥丘坡地的地下流失量大于降水量小的溶丘地貌区的常态山坡地。显然，峰丛（林）区锥丘坡地土壤的总流失量大于溶丘地貌区的常态山坡地，这两种地貌区坡地的成土速率的

差别小于土壤的总流失量的差别，因此通过长期的喀斯特地貌形成过程，峰丛（林）区锥丘坡地地表土壤发育保存状况远不如溶丘地貌区的常态山坡地，前者的石质土地面积率和土层厚度远小于后者。



θ_1 地表径流， θ_2 表层岩溶带顺坡径流，

θ_3 表层岩溶带垂向入渗径流

图 3 岩溶坡地径流示意图

Fig. 3 The diagram of karst sloping runoff

3 石漠化空间分布与喀斯特地貌和人口密度的关系

石漠化是以类荒漠景观为标志的土地退化。没有植被覆盖岩石地面(裸岩)是岩溶山地石漠化最醒目的景观标志,也是遥感调查易于识别的土地类型,因此石漠化遥感调查均采用裸岩面积指标(没有植被覆盖的石质土地面积占总土地面积的比例),作为石漠化程度分级的指标,如图4中的石漠化程度分布。贵州石漠化程度和喀斯特地貌类型空间分布的耦合关系较好(图4),峰丛(林)地貌发育的威宁-毕节-贵阳-凯里一线以南的溶蚀为主地貌区,石漠化严重,石漠化面积比例大,多中度以上石漠化。溶丘地貌发育的其他喀斯特地区,石漠化面积比例小,多轻度石漠化。贵州石漠化程度和人口密度空间分布的耦合关系不好(图4),峰丛(林)地貌发育的威宁-毕节-贵阳-凯里一线以南的溶蚀为主地貌区,黔中地区人口密度为 $300\sim 400/\text{km}^2$,该区一些县的石漠化,远不如黔西南地区人口密度为 $200\sim 300/\text{km}^2$ 或黔南地区人口密度为 $100\sim 200/\text{km}^2$ 的严重。

我们认为,贵州石漠化的空间分布与地貌类型

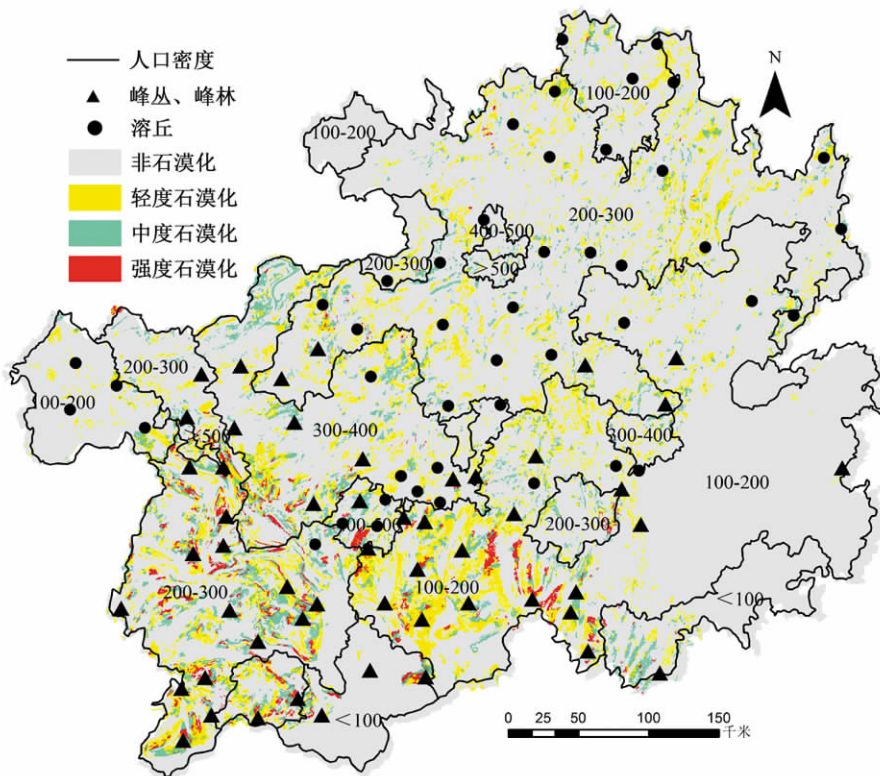


图4 贵州石漠化、喀斯特地貌和人口密度的关系

Fig. 4 The relations between rocky desertification, karst landform and population density in Guizhou

相关性较好,而与人口密度相关性较差的原因是:由于除荔波茂兰喀斯特森林保护区等少数地区,贵州喀斯特地区的原始森林无论是现在人口密度高的地区,还是低的地区,历史时期均已遭受全面的破坏,现存植被为次生植被。喀斯特坡地次生植被的恢复状况在很大程度上取决于坡地的土壤条件,石质坡地难以恢复,恢复的次生植被质量差,土质坡地反之。峰丛(林)丘陵多为锥丘和塔丘,锥丘和塔丘坡地的石质地面积比例高,土层薄;溶丘为常态山,石质地面积比例低,土层厚。峰丛(林)地貌发育区,石质地面积比例高,土层薄,石漠化严重;溶丘地貌发育区,石质地面积比例低,土层厚,石漠化轻微。这表明,由于历史时期(包括大跃进和人民公社时期)中,不合理的人类活动使森林植被遭到全面破坏,使其成为现今贵州喀斯特石漠化的主要驱动力。现代石漠化严重程度的区域差异主要受下垫面地面物质组成的控制,和近期人类活动的关系不大。

贵州石漠化的空间分布基本反映了地面物质组成状况,也就是“石山”的多寡。不同类型喀斯特丘陵坡地的地面物质组成(土被面积比例,土层厚度)

差异较大,喀斯特丘陵地貌的形成发育又受控于地质条件和气候条件,由此表现出贵州石漠化严重区主要分布于降雨量大的纯碳酸盐岩区,如黔西南就是贵州降雨量大的纯碳酸盐岩区,石漠化最为严重。

4 结语

贵州喀斯特地貌的空间分布受控于地质和气候条件。溶蚀为主地貌类型区和纯碳酸盐岩分布区基本一致,区内的峰丛(林)地貌主要分布于年降水量 ≥ 1200 mm的威宁-毕节-贵阳-凯里一线以南的地区,随着降水量由北向南逐渐增加,塔状峰丘增多。溶丘,峰丛(林)不发育地貌主要分布于年降水量 ≤ 1100 mm的威宁-毕节以北的黔西北和毕节-贵

阳-凯里一线以北的地区。

贵州石漠化程度与喀斯特地貌类型空间分布的耦合关系较好。峰丛(林)地貌发育的威宁-毕节-贵阳-凯里一线以南的溶蚀为主地貌区,石漠化严重,石漠化面积比例大,多中度以上石漠化。峰丛(林)地貌最发育的黔西南地区,石漠化也最严重。其余喀斯特地区,峰丛(林)地貌不发育,石漠化面积比例小,多轻度石漠化。

贵州石漠化程度与人口密度空间分布的耦合关系不好。峰丛(林)地貌发育的威宁-毕节-贵阳-凯里一线以南的溶蚀为主地貌区,黔中地区人口密度为 $300\sim 400/\text{km}^2$,该区一些县的石漠化,远不如黔西

南地区人口密度为 $200\sim 300/\text{km}^2$ 或黔南地区人口密度为 $100\sim 200/\text{km}^2$ 的严重。历史时期森林植被的全面破坏是贵州喀斯特地区石漠化的主要驱动力,除荔波茂兰喀斯特森林保护区等少数地区,贵州喀斯特地区的原始森林无论是现在人口密度高的地区,还是低的地区,历史时期均已遭受全面的破坏。喀斯特坡地次生植被的恢复状况在很大程度上取决于坡地的岩土组成,石质坡地难以恢复,恢复的次生植被质量差,土质坡地反之。因此,现代石漠化严重程度的区域差异和近期人类活动关系不大,主要受下垫面地面物质组成的控制,也就是“石山”的多寡。

参 考 文 献

- [1] 杨明德. 贵州高原喀斯特地貌的结构及演化规律[M]. 见:喀斯特地貌与洞穴. 北京:科学出版社,1985.
- [2] 袁道先,蔡桂鸿. 岩溶环境学[M]. 重庆:重庆科学技术出版社,1988.
- [3] 杨汉奎. 喀斯特荒漠化是一种地质—生态灾难[J]. 海洋地质与第四纪地质,1995,15(3):137—147.
- [4] 熊康宁,黎平,周忠发,等. 喀斯特石漠化的遥感—GIS典型研究—以贵州省为例[M]. 北京:地质出版社,2002.
- [5] 曹建华,袁道先. 受地质条件制约的中国西南岩溶生态系统[M]. 北京:地质出版社,2005.
- [6] 李瑞玲,王世杰,周德全,等. 贵州岩溶地区岩性与土地石漠化的相关分析[J]. 地理学报,2003,58(2):314—320.
- [7] 白晓永,王世杰,陈起伟,等. 贵州土地石漠化类型时空演变过程及其评价[J]. 地理学报,2009,64(5):609—618.
- [8] 王世杰. 喀斯特石漠化概念演绎及其科学内涵的探讨[J]. 中国岩溶,2002,21(2):101—105.
- [9] 李阳兵,谭秋,王世杰. 喀斯特石漠化研究现状、问题分析与基本构架[J]. 中国水土保持科学,2005,3(3):27—34.
- [10] 苏维词. 中国西南岩溶山区石漠化的现状成因及治理的优化模式[J]. 水土保持学报,2002,16(2):29—32,79.
- [11] 万军. 贵州省喀斯特地区土地退化与生态重建研究进展[J]. 地球科学进展,2003,18(3):447—453.
- [12] 张信宝,王世杰,贺秀斌,等. 西南岩溶山地坡地石漠化分类刍议[J]. 地球与环境,2007,35(2):188—192.
- [13] 张信宝,王世杰,曹建华. 西南喀斯特山地的土壤流失与土壤的硅酸盐矿物质平衡[J]. 地球与环境,2009,37(2):97—102.
- [14] 张信宝,王世杰,曹建华,等. 西南喀斯特山地水土流失特点及有关石漠化的几个科学问题[J]. 中国岩溶,2010,29(3):274—279.
- [15] 《贵州省农业地貌区划》编写组. 贵州省农业地貌区划[M]. 贵阳:贵州人民出版社,1989.
- [16] 《贵州省地图集》编写组. 贵州省地图集[M]. 贵阳:贵州科技出版社,2005.
- [17] 张信宝,刘再华,王世杰,等. 锥峰和塔峰溶丘地貌的表层岩溶带径流溶蚀形成机制[J]. 山地学报(待刊)
- [18] 张信宝,王世杰,贺秀斌,等. 碳酸盐岩风化壳中的土壤蠕滑与岩溶坡地的土壤地下漏失[J]. 地球与环境,2007,35(3):202—206.
- [19] Sweeting, M M. Karst landforms[M]. Macmillian, London, 1972.
- [20] 任美镔,刘振中. 岩溶学概论[M]. 北京:商务印书馆,1983.
- [21] 袁道先. 中国岩溶学[M]. 北京:地质出版社,1993.
- [22] Williams P W. Geomorphic inheritance and the development of tower karst. Earth Surface Processes and Landforms [J]. 1987,12:453—465.
- [23] 彭韬,王世杰,张信宝,等. 喀斯特坡地地表径流系数监测初报[J]. 地球与环境,2008,36(2):152—157.

Relationships Between the Spatial Distribution of Karst Land Desertification and Geomorphology, Lithology, Precipitation, and Population Density in Guizhou Province

ZHANG Xin-bao^{1,2}, WANG Shi-jie², BAI Xiao-yong²,
CHEN Wei-yan^{1,3}, ZHANG Si-yu³

(1 Key Laboratory of Mountain Environment Evolution and Regulation, Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;
2. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: This study reveals the spatial distribution of degraded karst landscape in Guizhou and concludes that it is well related to ground substance and climate (precipitation) conditions, but not well to current human activities (population densities). It is expressed as follows: (1) The spatial distribution of the geomorphologic type, dominated by chemical erosion, is well related to pure carbonate rocks in Guizhou, where peak cluster landforms are mostly distributed in the area south of the Weining-Bijie-Guiyang-Kaili line with the annual precipitation of ≥ 1200 mm and more tower karst hills appear as precipitation increases. In the northwest of Guizhou with the annual precipitation of ≤ 1100 mm, dominated by chemical erosion, north of the Weining-Bijie line, and in the area, dominated by chemical-fluvial erosion, north of the Bijie-Guiyang-Kaili line, there are mostly normal hills with few peak clusters. (2) The karst land desertification severities are well related to karst landform types, but not to population densities, in Guizhou. In the area south of the Weining-Bijie-Guiyang-Kaili line, where peak cluster landforms develop well, karst land desertification in the counties of central Guizhou with population densities of $300 \sim 400/\text{km}^2$ is not severer as in the counties of Southwest Guizhou with population densities of $200 \sim 300/\text{km}^2$ and in the counties of South Guizhou with population densities of $100 \sim 200/\text{km}^2$. Destruction of forests is the main driving force to karst land desertification in Guizhou. Except for a few natural karst forests, such as the Maolan Park in Libo County, the original natural forests were massively destroyed during the history, either in the areas with high population densities or in the areas with relatively low population densities. As the restored extent of secondary vegetation depends largely on the soil conditions on hill slopes, the spatial variation of karst land desertification severities is mainly controlled by soil and rock compositions on the ground, frankly speaking, by the proportion of bared rock hill land.

Key words: Guizhou; karst land; desertification; spatial distribution; karst landform; lithology; precipitation; population density