中国生态农业学报 2018 年 12 月 第 26 卷 第 12 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Dec. 2018, 26(12): 1908−1918

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.180459

王晓帆, 许尔琪, 张红旗, 张全景. 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
WANG X F, XU E Q, ZHANG H Q, ZHANG Q J. Change in rocky desertification and effect of socio-economic activities in Guizhou[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2018, 26(12): 1908−1918

贵州土地石漠化变化及社会经济活动的影响分析*

王晓帆[1,2], 许尔琪[2**], 张红旗[2], 张全景[1]

(1. 曲阜师范大学地理与旅游学院 日照 276826; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所陆地表层格局与模拟重点实验室 北京 100101)

摘 要: 分析石漠化与社会经济活动的关系及其动态变化, 有利于石漠化状况的改善和治理。以往的驱动因子分析对社会经济因素的研究较少, 本文以贵州省为研究区, 以县域为研究单元, 基于 2000 年和 2011 年两期石漠化影像, 通过空间分析研究了贵州省 2000—2011 年的石漠化动态变化, 并从人口因素、社会发展状况和经济水平、农业生产活动、地形坡度和生态工程建设等 5 个方面选取 23 个影响因子, 对石漠化的驱动力进行分析。结果表明: 1)2000—2011 年贵州省石漠化的治理工作取得了一定的成效, 石漠化面积总体减少, 但中度和重度石漠化面积呈增加趋势, 轻度以上石漠化的治理任务还很艰巨; 2)23 个影响因子与石漠化呈现不同程度的正负相关关系; 3)农业人口比重、农业总产值、人均粮食、人均耕地、耕地比重、15°~25°耕地(岩溶)比重和 25°以上耕地(岩溶)比重均与石漠化呈显著正相关, 其他因子均与石漠化呈显著负相关, 其中农业活动对石漠化的影响最为显著, 农业人口比重、农业总产值、人均耕地、15°~25°耕地比重、25°以上耕地比重、15°~25°岩溶比重和 25°以上岩溶比重与石漠化的相关系数分别为 0.473、0.425、0.291、0.288、0.430、0.338 和 0.334。研究社会经济活动对石漠化的影响可为石漠化治理提供借鉴和参考。

关键词: 喀斯特地区; 石漠化; 时空变化; 驱动因子; 社会经济活动; 贵州省
中图分类号: X171 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2018)12-1908-11

Change in rocky desertification and effect of socio-economic activities in Guizhou*

WANG Xiaofan[1,2], XU Erqi[2**], ZHANG Hongqi[2], ZHANG Quanjing[1]

(1. College of Geography and Tourism, Qufu Normal University, Rizhao 276826, China; 2. Key Laboratory of Terrestrial Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: Rocky desertification is one of the most severe ecological problems in China. It has accelerated environmental degradation, caused frequent soil erosion and natural disasters, threatened people's living environment and restricted social and economic development. Analysis of the factors driving rocky desertification can be used to determine the factor that control rocky desertification and support strategies to combat the desertification. Studies have mainly focused on the geological background, geomorphological characteristics, meteorological factors, ecological restoration and governance projects. However, these studies

* 国家自然科学基金项目(41601095)和国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2015CB452702)资助
** 通信作者: 许尔琪, 主要从事土地利用及空间格局、生态环境效应研究。E-mail: xueq@igsnrr.ac.cn
王晓帆, 主要从事土地利用管理研究。E-mail: wangxiaofan_wxf@163.com
收稿日期: 2018-05-12 接受日期: 2018-07-22
* This study was supported by the National Natural Science Foundation of China (41601095) and the National Basic Research Program of China (973 Program, 2015CB452702).
** Corresponding author, E-mail: xueq@igsnrr.ac.cn
Received May 12, 2018; accepted Jul. 22, 2018

have fallen quantification of the related social and economic activities. Thus there is the lack of a deep insight into the impact of the changes in regional rocky desertification and socio-economic activities. Using Guizhou Province as a case study area, this paper used GIS, remote sensing and statistical techniques (including Arcgis, Recognition Development and SPSS) to analyze the relationship between those neglected variables at county scale. Based on the 2000 and 2011 karst-rock desertification distribution maps, dynamic changes in rocky desertification in Guizhou Province in 2000–2011 were analyzed. The impact of social economic activities on rock desertification in karst area of the province was analyzed to lay theoretical basis for subsequent works on rocky desertification. The main conclusions of the study were as follows: 1) one quarter of the karst area in Guizhou Province was still affected by rocky desertification in 2011, the control of which was still an arduous task. Based on spatial distribution, rocky desertification in Guizhou Province was relatively severe in the west and south of the study area and relatively mild in the east and north. The area of rocky karst desertification in Guizhou Province was on the whole improving. Different classes of rocky desertification were violently transformed into the other. Mild karst rocky desertification occurred in most of the area where there was improvement in rocky desertification, but the task of restoring light, moderate, severe and extremely severe rocky karst desertification was still very arduous. It also suggested that not only was attention needed to restore light, moderate, severe and extremely severe rocky karst desertification, but also to protect against potential areas of no rocky karst desertification. 2) The correlation analysis to determine the factors driving rocky desertification showed that multiple factors (including population factors, socio-economic development, agricultural production activities, terrain slope and ecological engineering construction) were critical in the evolution of rocky desertification in the region. Agricultural activities had the most significant effect on rocky desertification, including the proportion of agricultural population, total agricultural output, cultivated land area per cap., cultivated land proportion in 15°–25° slope, cultivated land proportion at > 25° slope, karst proportion at 15°–25° slope, karst proportion at > 25° slope. The correlation coefficients for these factors with rocky desertification were 0.473, 0.425, 0.291, 0.288, 0.430, 0.338 and 0.334, respectively. The study of the impact of socio-economic activities on rocky desertification provided the required expertise on the control of rocky desertification in the region.

Keywords: Karst region; Rocky desertification; Space-time change; Driving factor; Socio-economic activity; Guizhou Province

土地石漠化是我国最严重的三大生态问题之一，它加速了环境恶化，致使水土流失、自然灾害频繁发生，威胁人们的生存环境，制约着社会经济的发展[1]。2001 年《中华人民共和国国民经济和社会发展第十个五年计划纲要》明确指出要推进黔、桂、滇岩溶地区石漠化综合治理[2]，此后党和国家先后多次在重要文件和会议上强调要推进石漠化的综合治理工作[3-7]。

贵州省林业厅第 2 次石漠化监测结果显示，石漠化出现净减少，生态向良性方向发展，成因是多方面的，但是林草植被恢复是石漠化好转的主要原因；此外，劳动力转移、生态移民、农村产业及能源结构调整和农业、水利及其他工程措施也占很大的比重[8]。由此可见，社会经济活动对石漠化的演变起着至关重要的作用。当前，关于石漠化的研究主要从地质地貌背景[9-11]、生态恢复及治理[12-14]、空间格局分布[15-17]、动态变化[18-20]、驱动机制[21-23]、动态监测技术与方法[24-26]以及石漠化的影响研究[27-32]等方面进行，而对于区域石漠化的变化及对社会经济活动的影响探讨尚不深入，亟待进一步研究。考虑到石漠化的治理工作多以小区域进行，如果缺少对社会经济活动影响方面的认识，可能会影响到相关部门制定石漠化治理实施方案的准确性。

基于此，本文以贵州省为研究区，以县域为研究单元，运用 Arcgis、Ecognition Developer 和 SPSS 等数据处理软件，通过 2000 年和 2011 年两期喀斯特石漠化分布，分析贵州省 2000—2011 年土地石漠化的动态变化，并探析社会经济活动对石漠化的影响，以期为后续的石漠化治理工作提供借鉴和参考。

1　研究区概况、数据来源与研究方法

1.1　研究区概况

贵州省位于我国西南地区东部，东毗湖南、南邻广西、西连云南、北接四川和重庆。全省国土面积 176 167 km^2，辖贵阳、六盘水、遵义、安顺、毕节、铜仁 6 个地级市，黔东南、黔南、黔西南 3 个自治州，1 个国家级新区(贵安新区)，8 个县级市和 78 个县(区、特区)，其中少数民族自治县 11 个。2016 年末总人口 3 555 万人。贵州属亚热带湿润季风气候区，境内气候温暖湿润，年平均气温 15 ℃左右，年降雨量 1 000~1 400 mm，年无霜期 250~300 d。冬无严寒，夏无酷暑，最冷的 1 月平均气温 4~6 ℃，最热的 7 月平均气温 15~23 ℃。2012 年贵州省石漠化状况公报显示，贵州省是世界上岩溶地貌发育最典型的地区之一，根据喀斯特数据中心公布的岩溶面积显示，贵州省岩溶出露面积占全省总面积的

61.92%，是全国石漠化面积最大、类型最多、程度最深、危害最重的省份[8]，各类型石漠化均有分布，也是石漠化与影响因子关系研究的典型地区。

1.2 数据来源

1.2.1 影像数据来源

2000 年数据来自《贵州省喀斯特石漠化综合防治图集(2006—2050)》，扫描后通过 Arcgis 配准，Ecognition Developer 分割分类并手动校准；2011 年数据由国家林业局初步解译，石漠化范围内经遥感影像人工目视解译，局部进行调整。此外，因石漠化分级标准较多，尚无统一定论，本文采用国家林业局制定的《岩溶地区石漠化监测技术规定》(2011 年修订)中的分类标准，主要依据基岩裸露、植被覆盖和土壤覆盖程度进行石漠化分级(表 1)，将石漠化强度等级分为无石漠化、潜在石漠化、轻度石漠化、中度石漠化、重度石漠化和极重度石漠化等 6 级，分别用 1~6 表示。

表 1 石漠化等级分级标准

Table 1 Classification standard of karst rocky desertification

石漠化类型 Rocky desertification type	基岩裸露 Bedrock exposure (%)	植被+土被覆盖 Vegetation and soil cover (%)
无石漠化 No karst rocky desertification (No KRD)	<20	>80
潜在石漠化 Potential karst rocky desertification (Potential KRD)	20~30	70~80
轻度石漠化 Light karst rocky desertification (Light KRD)	31~50	50~69
中度石漠化 Moderate karst rocky desertification (Moderate KRD)	51~70	30~49
重度石漠化 Severe karst rocky desertification (Severe KRD)	71~90	10~29
极重度石漠化 Extremely severe karst rocky desertification (Extremely severe KRD)	> 90	< 10

1.2.2 土地利用数据来源

文中所用土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(http://www.resdc.cn)，在 1∶10 万比例尺土地利用现状遥感监测数据基础上生成的 30 m 矢量土地利用数据集。

1.2.3 统计数据来源

文中所用统计数据来源于《贵州统计年鉴 2001》、《贵州统计年鉴 2012》、《中国县(市)社会经济统计年鉴 2001》和《中国县(市)社会经济统计年鉴 2012》和第 5 次人口普查分区县数据(2000 年)和第 6 次人口普查人口分区县数据(2010 年)，数据收集之后经过标准化处理。

1.3 研究方法

1.3.1 格网构建

由于贵州省非石漠化(无石漠化和潜在石漠化)面积所占比重较大，使得石漠化分布图中石漠化的区域分布不能较好呈现，为了使各类石漠化区域呈现明显分布，建立 1 km×1 km 的格网，并根据石漠化等级分级标准(表 1)对各个等级的石漠化进行赋值[33]，选取基岩裸露的中间值，乘以各等级石漠化的面积，其中，无石漠化×10，潜在石漠化×25，轻度石漠化×40，中度石漠化×60，重度石漠化×80，极重度石漠化×95。

1.3.2 影响因子选取

由于石漠化主要发生在岩溶地区，其成因非常复杂，既有自然因素，更有社会因素。社会因素主要有：1)陡坡耕种。岩溶地区普遍耕地资源较少，毁林开垦、毁草开垦的现象非常严重。在现有的耕地当中，坡耕地占 40%左右，加剧了石漠化。2)过度樵采薪材在农村农业结构当中占比达 40%左右。高强度的集中连片樵采容易导致植被破坏、土壤流失，加重了石漠化。3)过度放牧，岩溶地区的牲畜一般放养，不仅破坏植被，而且破坏地表，加重了水土流失和石漠化。4)无序的工矿建设开发也加重了石漠化。与此同时，国家的一系列农业措施也缓解了石漠化，如：农业产业结构调整和水利设施建设力度加大，减轻了水土流失；通过整合各类涉农资金，大力调整农业产业结构，尤其是在坡耕地上种植茶叶、核桃等经济树种，增加了植被覆盖；通过实施国土整治、农业综合开发、坡改梯、配套小型水利设施等工程措施，建设高标准基本农田，有效控制了水土流失。此外，农村能源结构得到改善，减少了植被破坏。多年来，各地大力发展沼气，积极推广省柴节煤灶，煤炭、电力、液化气、太阳能等在农村得到普遍应用，大幅度降低了薪柴在农村能源结构中的比重，有效地促进了植被保护。

以上社会经济活动的驱动都对石漠化的变化产生一定的影响，为了能够更加具体清楚地了解各因素与石漠化变化的关系，通过《贵州统计年鉴 2001》、《贵州统计年鉴 2012》和《中国县(市)社会经济统计年鉴 2001》和《中国县(市)社会经济统计年鉴 2012》收集到的贵州省各区县的指标，结合土地利用数据以及贵州省石漠化影像数据，定量地分析其相互关系。

从影响石漠化的人类活动出发，根据石漠化形

成过程和演化特征，考虑影响因子的系统性、整体性和可比性，并对比以往研究对石漠化影像因子贡献程度的结果，结合数据的可得性和可靠性，本文提取以下指标来表征驱动因子——人口因素、社会发展状况和经济水平、农业生产活动、地形坡度和生态工程建设等因素，选取因子及其处理过程见表 2。

表 2　石漠化驱动因子及处理过程

Table 2　Driving factors and treatment process of rocky desertification

分类 Classification	因子 Factor	处理过程 Processing procedure
人口因素 Demographic factors	人口密度 Population density	总人口数/国土面积 Total population/land area
	农业人口比重 Proportion of agricultural population	农业人口数/总人口数 The number of agricultural population/total population
	城镇人口比重 Proportion of urban population	城镇人口数/总人口数 Urban population / total population
	流出人口比重 Outflow proportion	[迁入人口–(常住人口–户籍人口)]/总人口数[34] [Immigration population –(permanent population–registered population)]/total population[34]
社会发展状况和经济水平 Social development and economic level	农业总产值 Total agricultural output value	农林牧渔生产总值 Total value of agriculture and forestry
	农民人均纯收入 Net income per rural capita	—
	人均国内生产总值 Gross domestic product per capita	—
	建设用地比重 Proportion of construction land	建设用地面积/国土面积 Construction land area / total land area
	工矿面积比重 Proportion of mining area	工矿面积/国土面积 Mine area / total land area
农业生产活动 Agricultural production activities	人均粮食产量 Grain output per capita	粮食总产量/总人口数 Total grain output / total population
	人均耕地 Arable land area per capita	耕地面积/总人口数 Cultivated area / total population
	单位耕地粮食产量 Grain yield per unit of cultivated land	粮食总产量/耕地面积 Total grain output / cultivated area
	单位耕地产值 Output value of unit cultivated land	农业产值/耕地面积 Agricultural production value / arable land area
	耕地比例 Cultivated land proportion	耕地面积/国土面积 Cultivated area / total land area
地形坡度 Terrain slope	0°~6°耕地比重 Proportion of cultivated land at 0°–6° slope	0°~6°耕地面积/耕地总面积 Cultivated land area at 0°–6° slope / total cultivated area
	6°~15°耕地比重 Proportion of cultivated land at 6°–15° slope	6°~15°耕地面积/耕地总面积 Cultivated land area at 6°–15° slope / total cultivated area
	15°~25°耕地比重 Proportion of cultivated land at 15°–25° slope	15°~25°耕地面积/耕地总面积 Cultivated land area at 15°–25° slope /total cultivated area
	25°以上耕地比重 Proportion of cultivated land at > 25° slope	25°以上耕地面积/耕地总面积 Cultivated land area at > 25° slope / total cultivated area
	0°~6°岩溶比重 Proportion of karst at 0°–6° slope	0°~6°岩溶面积/岩溶总面积 Karst area at 0°–6° slope / total karst area
	6°~15°岩溶比重 Proportion of karst at 6°–15° slope	6°~15°岩溶面积/岩溶总面积 Karst area at 6°–15° slope / total karst area
	15°~25°岩溶比重 Proportion of karst at 15°–25° slope	15°~25°岩溶面积/岩溶总面积 Karst area at 15°–25° slope / total karst area
	25°以上岩溶比重 Proportion of karst at > 25° slope	25°以上岩溶面积/岩溶总面积 Karst area at > 25° slope / total karst area
生态工程建设 Ecological engineering construction	退耕还林比重 Proportion of returning farmland to forests	2000 年耕地与 2010 年林地叠加区域/2000 年耕地面积 Overlap area of cultivated land in 2000 and woodland in 2010 / area of cultivated land in 2000

1.3.3　皮尔逊(Pearson)相关系数

本研究采用皮尔逊(Pearson)相关系数研究石漠化变化的各指标与驱动因素的线性相关关系，其计算公式为：

$$r=\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2\sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2}} \tag{1}$$

式中：r 为相关系数，x_i、y_i 为影响因子的定量指标，$\bar{x}$、$\bar{y}$ 表示影响因子定量指标的平均值。在列出的所有因子中，并不是都与各等级石漠化存在明显相关性，需根据相关系数进行取舍，取舍的依据是给定 T 条件下的假设检验。采用双侧百分位检验(T 检验)，即计算在 $1-T$ 的置信度下假设两者不相关的概率，进一步对这些相关系数做显著性检验，引入临

界相关系数，即在一定样本(N)范围内，确定两者相关的最小系数，N 不同时，临界相关系数也不同，样本数 N=78。

2 结果与分析

2.1 贵州省土地石漠化时空变化

2.1.1 贵州省土地石漠化现状及分布

贵州省国土面积 176 167 km^2，岩溶面积 109 082.67 km^2，占全省国土面积的 61.92%，其中岩溶面积最大的类型是无石漠化，占国土面积的 29.46%；其次是潜在石漠化，占国土面积的 15.84%；石漠化土地有 29 276.48 km^2，占全省国土面积的 16.62%，石漠化面积最大的类型是中度石漠化，其次是轻度石漠化，分别占国土面积的 7.51%和 6.34%，重度石漠化和极重度石漠化面积较少，仅占国土面积的 2.33%和 0.44%。贵州省土地石漠化面积最大的 3 个县分别是大方县、黔西县和水城县，其石漠化面积分别为 1 444.82 km^2、1 158.45 km^2 和 1 047.46 km^2，分别占本县国土面积的 40.70%、46.27%和 29.55%。

贵州省石漠化土地分布极广，全省除少数非岩溶市县外，其余均有石漠化分布。石漠化土地多集中分布在岩溶发育的贵州省西部和南部地区，呈西部重、东部轻、南部重、北部轻的空间格局。非岩溶主要集中分布在遵义市的赤水市及黔东南州的从江县、剑河县、锦屏县、雷山县、黎平县、榕江县、三穗县、台江县和天柱县这 10 个县市，其他地区岩溶和非岩溶相间分布。

2.1.2 贵州省石漠化动态变化情况

贵州省 2000 年和 2011 年的岩溶石漠化变化见表 3。可以看出，10 年间贵州省岩溶石漠化面积有较大变化，无石漠化面积增加了 11 126.42 km^2，潜在石漠化减少了 4 730.47 km^2，石漠化总面积由 2000 年的 35 672.44 km^2 减少到 2011 年的 29 276.48 km^2，年均减少 581.45 km^2。各等级的石漠化面积也都有所变化，其中，轻度石漠化面积变化最大，由 2000 年的 21 189.03 km^{2}减少到 2011 年的 11 167.49 km^2，年均减少 911.05 km^2；其次是中度石漠化，国土比例从 2000 年的 5.80%增加到 2011 年的 7.51%，增加了 1.72 个百分点；重度石漠化和极重度石漠化的变化幅度较小，重度石漠化增加了 0.37%，极重度石漠化减少了 0.03%。2000 年和 2011 年岩溶石漠化空间分布见图 1。

表 3 2000 年和 2011 年贵州省的岩溶石漠化面积

Table 3 Karst rocky desertification (KRD) area in Guizhou Province in 2000 and 2011

石漠化类型 Rocky desertification type	2000		2011		面积变化 Area change (km^2)	国土比重 Change in proportion of total land area (%)
	面积 Area (km^2)	国土比重 Proportion of total land area (%)	面积 Area (km^2)	国土比重 Proportion of total land area (%)		
无石漠化 No KRD	40 770.20	23.14	51 896.62	29.46	11 126.42	6.32
潜在石漠化 Potential KRD	32 640.03	18.53	27 909.57	15.84	–4 730.47	–2.69
轻度石漠化 Light KRD	21 189.03	12.03	11 167.49	6.34	–10 021.54	–5.69
中度石漠化 Moderate KRD	10 212.32	5.80	13 236.84	7.51	3 024.52	1.72
重度石漠化 Severe KRD	3 452.77	1.96	4 102.43	2.33	649.66	0.37
极重度石漠化 Extremely severe KRD	818.32	0.46	769.73	0.44	–48.59	–0.03

从空间分布图可以看出，2000 年石漠化土地分布相对集中连片，石漠化类型以轻度石漠化为主；2011 年的石漠化土地明显减少，分布较 2000 年也比较零散，连片分布的石漠化土地减少，石漠化类型中度石漠化最多，其次是轻度石漠化。

从县域石漠化的变化情况来看，惠水县石漠化面积变化最大，从前期的 1 022.84 km^2 减少到 2011 年的 252.32 km^2，减少了 770.51 km^2，占该县前期石漠化面积的 75.33%；其次是遵义县，减少了 501.17 km^2，占该县前期石漠化面积的 73.66%；第三是瓮安县，减少了 441.88 km^2，占该县前期石漠化面积的 77.32%。

具体到各类型的石漠化变化来看，轻度石漠化面积减少最多的是黔西县、惠水县和毕节市，分别减少 605.54 km^2、595.48 km^2 和 505.06 km^2，分别占本县前期该类型石漠化面积的 82.19%、99.38%和 97.48%；中度石漠化面积变化最大的是黔西县、毕节市和兴义市，分别增加 634.38 km^2、467.34 km^2 和 471.67 km^2；重度石漠化面积变化最大的是大方县、水城县和长顺县，分别增加 403.77 km^2、–182.77 km^2 和–176.94 km^2；极重度石漠化面积变化最大的是安龙县、兴义市和长顺县，分别增加 115.88 km^2、–79.70 km^2 和–78.43 km^2。

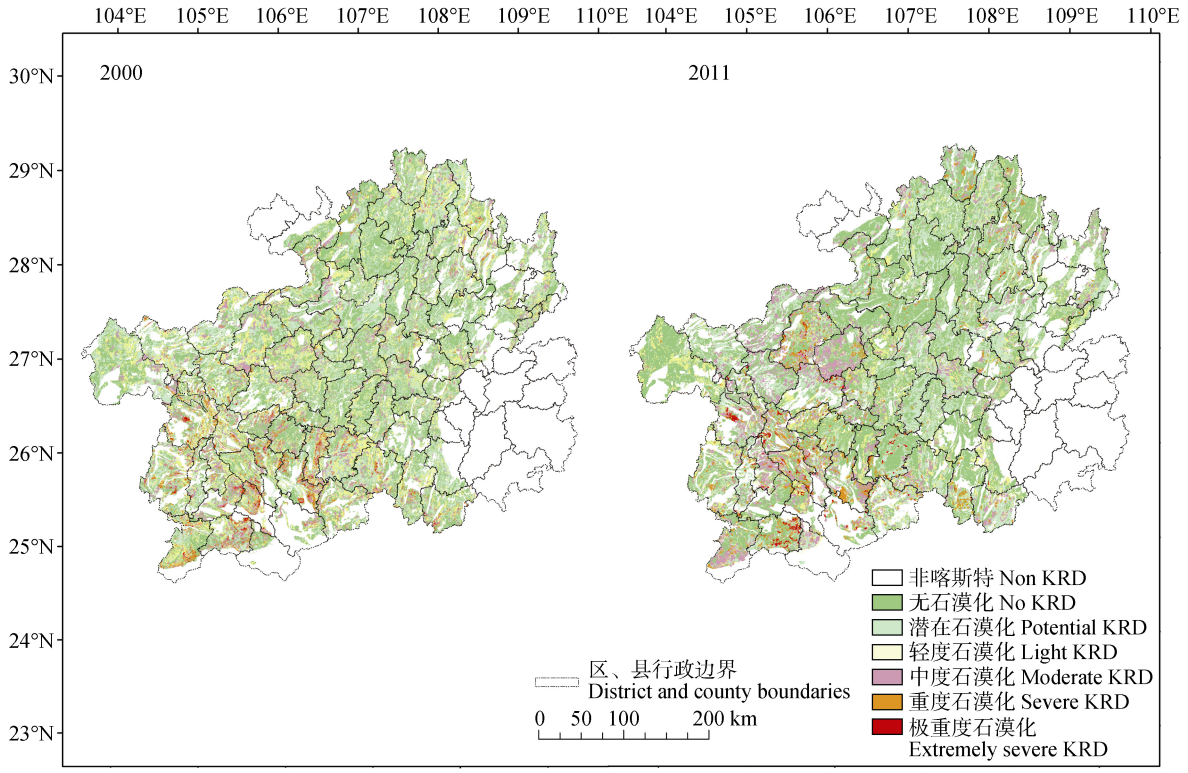

图 1　2000 年和 2011 年贵州省岩溶石漠化区域分布图

Fig. 1　Spatial distribution of karst rocky desertification (KRD) regions in Guizhou Province in 2000 and 2011

2.1.3　石漠化强度演变转移矩阵

在 Arcgis 上对两期石漠化数据进行空间运算，可得到石漠化时空转移矩阵表(表 4)。

石漠化强度演变转移矩阵能够揭示各类型石漠化间相互转移变化情况。由表 4 可知，2000—2011 年，非石漠化(无石漠化和潜在石漠化)主要向轻度石漠化和中度石漠化转化，分别为 7 412.39 km^2 和 7 853.89 km^2，其中，潜在石漠化分别向无石漠化、轻度石漠化和中度石漠化转化 17 594.49 km^2、2 906.21 km^2 和 3 016.75 km^2，可见潜在石漠化虽被定义为非石漠化，但并不稳定，容易转变为石漠化；石漠化转变为非石漠化为 24 083.16 km^2，其中轻度石漠化转化面积为 15 115.75 km^2，是石漠化状况改善的主体，说明现阶段治理的主要成果主要体现在轻度石漠化治理方面；中度石漠化、重度石漠化和极重度石漠化转入面积分别为 11 557.90 km^2、3 798.55 km^2 和 713.70 km^2，转出面积分别为 8 470.18 km^2、3 135.08 km^2 和 759.64 km^2，转入和转出的比值为 129.97%，说明石漠化较严重的地区石漠化状况并没有根本性的改观，轻度以上的石漠化仍是石漠化治理的难点所在。此外，轻度石漠化增加的主要贡献是无石漠化与潜在石漠化，分别贡献 4 506.18 km^2 和 2 906.21 km^2。

表 4　2000 年和 2011 年贵州省岩溶石漠化类型等级演变转移矩阵

Table 4　Transformation matrix of karst rock desertification (KRD) type in Guizhou Province from 2000 to 2011

年份 Year		2011					
	类型 Type	无石漠化 No KRD	潜在石漠化 Potential KRD	轻度石漠化 Light KRD	中度石漠化 Moderate KRD	重度石漠化 Severe KRD	极重度石漠化 Extremely severe KRD
2000	无石漠化 No KRD	—	13 179.76	4 506.18	4 837.14	1 488.90	206.74
	潜在石漠化 Potential KRD	17 594.49	—	2 906.21	3 016.75	842.24	131.65
	轻度石漠化 Light KRD	10 819.50	4 296.25	—	2 863.71	781.75	113.71
	中度石漠化 Moderate KRD	4 725.37	1 881.36	1 127.65	—	573.47	162.32
	重度石漠化 Severe KRD	1 368.03	618.53	395.16	654.08	—	99.28
	极重度石漠化 Extremely severe KRD	281.03	93.09	87.09	186.22	112.20	—

由此可见，石漠化治理工程除了对轻度以上石漠化的治理外，更应加强无石漠化和潜在石漠化的防护。

2.2 贵州土地石漠化的驱动因子研究

各类型石漠化的面积和分布的变化受多方面因素的影响[35-43]。有自然因素，如地质、岩性、地貌等，也有人文因素，如毁林开荒、乱砍滥伐等。但是更为直接的影响因素还是社会经济因素[21-23,44-45]，如：人口增长过快、对土地掠夺式经营以及土地资源结构与农村产业结构错误等。为研究不同类型的石漠化面积变化与驱动因素的关系，计算其相关系数(表 5)。在所列的影响因子中有些因子与石漠化变化并无明显相关，本研究采用双侧百分位检验进行取舍，进而检验这些相关系数的显著性。

表 5 贵州省岩溶石漠化指标与驱动因素的相关系数

Table 5 Correlation coefficient between karst rocky desertification (KRD) indexes and driving factors

因素 Factor	石漠化面积 KRD area	加权石漠化面积占国土比重 Weighted proportion of KRD area of total land area	石漠化面积变化 Change of KRD area	潜在石漠化面积变化 Change of potential KRD area	轻度石漠化面积变化 Change of light KRD area	中度石漠化面积变化 Change of moderate KRD area	重度石漠化面积变化 Change of sever KRD area
人口密度 Population density	−0.287*	−0.288*	—	—	—	—	—
农业人口比重 Proportion of agricultural population	0.473**	0.301**	—	—	−0.270*	−0.278*	—
城镇人口比重 Proportion of urban population	−0.473**	−0.301**	—	—	0.270*	0.278*	—
流出人口比重 Outflow proportion	—	—	—	—	—	—	0.305*
建设用地比重 Proportion of construction land	−0.333**	−0.320**	—	—	—	—	—
工矿用地比重 Proportion of mining area	−0.355**	−0.318**	—	—	—	0.767**	—
农民人均纯收入 Net income per rural capita	−0.304**	−0.265*	—	—	—	0.256*	—
人均国内生产总值 Gross domestic product per capita	−0.429**	−0.353**	—	—	0.236*	0.497**	—
农林牧渔业总产值 Total agricultural output value	0.425**	—	−0.285*	−0.455**	−0.398**	—	—
人均粮食产量 Grain output per capita	—	—	−0.228*	—	−0.251*	—	—
人均耕地 Arable land area per capita	0.291*	—	—	—	—	−0.229*	—
单位耕地产值 Output value of unit cultivated land	−0.347**	−0.370**	—	—	—	—	—
单位耕地粮食产量 Per unit of cultivated land grain output	—	—	—	—	—	—	—
耕地比例 Cultivated land proportion	—	0.276*	-	−0.317**	−0.280*	—	—
0°~6°耕地比重 Proportion of cultivated land at 0°−6° slope	−0.366**	—	—	—	0.257*	−0.229*	0.290*
6°~15°耕地比重 Proportion of cultivated land at 6°−15° slope	—	—	—	—	—	—	−0.322**
15°~25°耕地比重 Proportion of cultivated land at 15°−25° slope	0.288*	—	—	—	—	—	—
25°以上耕地比重 Proportion of cultivated land at > 25° slope	0.430**	0.274*	—	—	−0.265*	0.274*	—
0°~6°岩溶比重 Proportion of karst at 0°−6° slope	−0.411**	—	—	—	0.286*	—	0.271*
6°~15°岩溶比重 Proportion of karst at 6°−15° slope	—	—	—	−0.271*	—	—	—
15°~25°岩溶比重 Proportion of karst at 15°−25° slope	0.338**	—	—	—	−0.256*	—	—
25°以上岩溶比重 Proportion of karst at > 25° slope	0.334**	—	—	—	—	—	—
退耕还林比重 Proportion of returning farmland to forests	—	—	—	—	—	—	—

**和*分别表示在 0.01 水平(双侧)和 0.05 水平(双侧)显著相关。* and ** indicate significant correlation at 0.01 and 0.05 levels, respectively.

从表 5 可以看出, 除单位耕地粮食产量和退耕还林比重与石漠化没有显著相关性, 其他各因子都与石漠化各表征因子有显著相关性:

1)农业人口比重、农业总产值、人均耕地、15°~25°耕地(岩溶)比重和 25°以上耕地(岩溶)比重均与石漠化呈显著正相关, 这些因子所占的比重越大, 石漠化越严重; 其他因子均与石漠化呈显著负相关, 比重越大, 石漠化程度越轻。其中, 农业(城镇)人口比重与石漠化面积相关性最显著, 相关系数为 0.473(−0.473), 农业总产值与潜在石漠化面积变化相关性最显著, 相关系数为−0.455, 人均国内生产总值与中度石漠化面积变化相关性最显著, 相关系数为 0.497, 工矿用地比重与中度石漠化面积变化相关性最显著, 相关系数为 0.767。

2)农业人口比重、农业总产值、人均耕地、15°~25°耕地比重、25°以上耕地比重、15°~25°岩溶比重和 25°以上岩溶比重与石漠化面积相关系数分别为 0.473、0.425、0.291、0.288、0.430、0.338 和 0.334, 其他因子与石漠化面积呈显著负相关, 其中农业人口比重、农业总产值和 25°以上耕地比重与石漠化面积的相关性最大。由此可见, 农业活动对石漠化的影响作用显著。

3)农业总产值和人均粮食与石漠化面积变化呈显著负相关, 相关系数分别为−0.285 和−0.228, 农业总产值和人均粮食越多, 石漠化面积变化就越小, 石漠化程度越严重。贵州省地形特殊, 如果追求越高的农业产值, 必须开垦更多的耕地, 加剧了石漠化发生的隐患; 此外, 由于长期以来, 喀斯特山区农民一直遵循着种植玉米和水稻的传统耕作方式, 广种薄收, 不仅产量低而不稳, 而且极易导致水土流失, 石漠化现象越来越严重。

4)人口密度与石漠化面积和加权石漠化面积占国土比重都呈显著负相关, 且人口密度越大, 石漠化比重越小, 人口密度越大的城镇往往石漠化比重较小, 生态环境较好, 而人口密度较小的喀斯特山村往往生态环境较恶劣, 石漠化比重也较大。但是对于人口密度特别小的地区, 劳动力的转移在一定程度上减轻了环境的负担, 所以这些地区的石漠化比重也较小。

5)建设用地的比重也与石漠化面积和加权石漠化面积占国土比重呈显著负相关, 建设用地比重越大, 石漠化比重越小。一方面, 城镇化的发展, 使农业人口逐步向非农人口转移, 农村劳动力转向二、三产业, 经济发展的同时, 人口素质也得到提高, 可有效地利用现有的资源, 保护生态环境。另一方面, 城镇化的发展使人们对生活水平和居住环境的要求不断提高, 人口的增长也加剧了交通运输的发展。由此可见, 随着人口增长和经济发展必然会对居住用地、交通和公共基础设施的需求增加, 城镇用地和工矿企业的规模不断扩大。

6)地形坡度对石漠化的影响也很大, 特别是 15°~25°和 25°以上的区域, 坡度越大的区域, 石漠化越严重。0°~6°和 6°~15°的区域, 石漠化类型多以无石漠化和潜在石漠化为主, 且这些区域是人类活动比较集中的区域, 尤其是 6°~15°的区域, 这也是潜在石漠化演化比较严重的区域, 但是贵州省紧张的人地关系使得该区域多以第二、三产业为主, 同时还要加强石漠化的治理工作, 因此这些区域比重越大, 石漠化比重反而越小; 而 15°~25°和 25°以上的区域, 由于对坡耕地的开发利用, 导致这些区域土地利用强度较大, 从而石漠化程度严重, 尤其是 25°以上的区域, 坡度大的地区土层很难保存, 长期的冲刷再加上人为因素的破坏极易造成基岩裸露的石漠景观, 导致越是坡度高的地区, 石漠化越严重。

3　结论与讨论

1)截止到 2011 年, 贵州喀斯特岩溶区 1/4 的地方仍处于石漠化的状态, 形势依然严峻。从空间分布来看, 贵州省土地石漠化程度呈西部重、东部轻、南部重、北部轻的空间格局。从 2000 年到 2011 年, 贵州省岩溶石漠化面积有较大的变化, 且轻度石漠化和极重度石漠化面积呈下降趋势, 说明石漠化治理工作取得了一定的效果, 但是中度石漠化和重度石漠化的面积仍在增加, 轻度以上的石漠化区域仍是石漠化治理的难点所在。此外, 由于无石漠化和潜在石漠化转向轻度石漠化的面积较大, 所以在关注轻度以上石漠化治理的同时还应加强无石漠化和潜在石漠化的防护工作。

2)采用相关分析方法, 对影响石漠化的驱动因子的研究表明, 人口因素、社会发展状况和经济水平、农业生产活动、地形坡度和生态工程建设等方面都对石漠化的演化起着不可忽视的作用, 尤其是农业活动对石漠化影响显著。由此可见, 社会经济活动在不同程度地影响着石漠化的发展, 因此在未来的石漠化治理工作中, 除了关注驱动石漠化的自然因素, 还要关注驱动石漠化的人文因素, 尤其是社会经济活动的影响, 以有效改善石漠化状况。

3)研究结果显示, 贵州省 2000—2011 年石漠化

面积呈下降趋势，这与前人[23,29,46-48]的研究结果一致。石漠化状况好转，石漠化治理工作取得成效，与国家相关部门投入一定的资金和精力，制定的一系列石漠化治理措施密切相关。同时，影响石漠化的社会经济因子中，单位耕地粮食产量和退耕还林比重与石漠化的相关性不强，然而实际上这两个指标会对石漠化的变化产生一定的影响。单位耕地粮食产量体现了耕地的质量和产量，质量好的耕地产量高，质量差的耕地产量低，人们为了追求产量而去扩大耕地面积，会加剧石漠化的演化。而退耕还林是石漠化治理的有效途径之一，退耕还林不仅可以控制水土流失，还能减少土壤养分的流失，有效减轻石漠化。此外，部分社会经济指标碍于数据来源限制未收集到，例如旅游人口数量、新能源的推广使用、薪柴的消耗、牲畜的数量和作物结构的调整等，都是影响石漠化的关键因素，因此在今后的研究中，需要对这些影响因素进行更多深入的分析。但是本研究得出的基础结论，特别是关于各驱动因素的相对重要性，是进一步研究的基础，可为有关部门制定石漠化治理方案提供有效参考，以增加实施方案的准确性。

参考文献 References

[1] 王纳伟. 湘中地区石漠化过程中土壤有机碳变化特征[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2013
WANG N W. Characteristics of soil organic carbon in the rocky desertification region, the central area of Hunan Province[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2013

[2] 朱镕基. 关于国民经济和社会发展第十个五年计划纲要的报告——2001 年 3 月 5 日在第九届全国人民代表大会第四次会议上[C]. 中华人民共和国全国人民代表大会常务委员会公报, 2001, (3): 168–179
ZHU R J. About the national economy and social development of the tenth five-year plan outline of the report — on March 5, 2001 at the 4th meeting of the Ninth National People's Congress[C]. Gazette of the Standing Committee of the National People's Congress of the People's Republic of China, 2001, (3): 168–179

[3] 中华人民共和国国务院. 国务院关于印发全国土地利用总体规划纲要(2006—2020 年)的通知[J]. 国土资源通讯, 2008, (20): 4–19
State Council of the People's Republic of China. Notice of the State Council on the outline of the general plan for land use in China (2006–2020)[J]. National Land & Resources Information, 2008, (20): 4–19

[4] 温家宝总理在第十届全国人民代表大会第二次会议上的政府工作报告(节选)[J]. 中国翻译, 2004, (3): 92–96
Premier Wen Jiabao's government work report at the second session of the tenth National People's Congress (excerpt)[J]. Chinese Translation, 2004, (3): 92–96

[5] 伊然. 全国人大十一届四次会议通过《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要决议(草案)》[J]. 中国油脂, 2011, 36(4): 39
YI R. The fourth session of the 11th National People's Congress adopted the draft resolution on the 12th five-year plan for national economic and social development (draft)[J]. China Oils and Fats, 2011, 36(4): 39

[6] 全国人民代表大会. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要[N]. 人民日报, 2006-03-17(01)
National People's Congress. Outline of the eleventh five-year plan for national economic and social development of the People's Republic of China[N]. People's Daily, 2006-03-17(01)

[7] 贵州省第十二届人民代表大会第四次会议关于贵州省国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要的决议[N]. 贵州日报, 2016-02-01(03)
The fourth session of the 12th people's congress of Guizhou Province on the outline of the 13th five-year plan for national economy and social development of Guizhou Province[N]. Guizhou Daily, 2016-02-01(03)

[8] 贵州省林业厅. 贵州省石漠化状况公报[N]. 贵州日报, 2012-06-27(10)
Guizhou Forestry Department. Bulletin of rocky desertification in Guizhou Province[N]. Guizhou Daily, 2012-06-27(10)

[9] 逯军峰, 董治宝, 胡光印, 等. 甘肃省玛曲县土地沙漠化发展及其成因分析[J]. 中国沙漠, 2012, 32(3): 604–609
LU J F, DONG Z B, HU G Y, et al. Aeolian desertification development and its causes in Maqu County of Gansu Province, China[J]. Journal of Desert Research, 2012, 32(3): 604–609

[10] 王宇, 张贵. 滇东岩溶石山地区石漠化特征及成因[J]. 地球科学进展, 2003, 18(6): 933–938
WANG Y, ZHANG G. On the desertification and genesis of Karst stone mountain area in East Yunnan[J]. Advance in Earth Sciences, 2003, 18(6): 933–938

[11] 郑翀. 贵州省大方地区石漠化现状及成因分析[D]. 成都: 成都理工大学, 2015
ZHENG C. Current situation and the causes analysis of rocky desertification in Dafang area of Guizhou Province[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2015

[12] 唐红昆, 杨俊丽. 马街镇石漠化现状及综合治理对策[J]. 绿色科技, 2015, (2): 25–27
TANG H K, YANG J L. The current situation of rocky desertification in Majie Town and its comprehensive management countermeasures[J]. Journal of Green Science and Technology, 2015, (2): 25–27

[13] 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): 169
Chinese Academy of Sciences. Suggestions on the promotion of the comprehensive management of rock desertification in Southwest China's Karst region[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2003, 18(3): 169

[14] 刘丙国. 湖南省新宁县岩溶地区石漠化危害现状和治理对

策分析[J]. 北京农业, 2012, (33): 68–70
LIU B G. Rocky desertification hazard situation and management countermeasure analysis of Xinning County karst area in Hunan Province[J]. Beijing Agriculture, 2012, (33): 68–70

[15] 魏小岛, 周忠发, 王媛媛. 基于格网 GIS 的喀斯特生态安全研究——以贵州花江石漠化综合治理示范区为例[J]. 山地学报, 2012, 30(6): 681–687
WEI X D, ZHOU Z F, WANG Y Y. Research on the karst ecological security based on Gridding GIS — A case study on the demonstration areas of the rock desertification integrated management in Huajiang of Guizhou, China[J]. Journal of Mountain Science, 2012, 30(6): 681–687

[16] 王兮之, 李森, 王金华. 粤北典型岩溶山区土地石漠化景观格局动态分析[J]. 中国沙漠, 2007, 27(5): 758–764
WANG X Z, LI S, WANG J H. Analysis on landscape pattern dynamic of rock desertification in northern Guangdong, China from 1988 to 2004[J]. Journal of Desert Research, 2007, 27(5): 758–764

[17] 姚永慧. 中国西南喀斯特石漠化研究进展与展望[J]. 地理科学进展, 2014, 33(1): 76–84
YAO Y H. Progress and prospect of Karst rocky desertification research in Southwest China[J]. Progress in Geography, 2014, 33(1): 76–84

[18] 吴照柏, 但新球, 吴协保, 等. 岩溶地区石漠化土地动态变化与原因分析[J]. 中南林业调查规划, 2013, 32(2): 62–66
WU Z B, DAN X Q, WU X B, et al. Analysis on the dynamic changes of rocky desertification land in Karst areas[J]. Central South Forest Inventory and Planning, 2013, 32(2): 62–66

[19] 王金华. 近 30 年来粤北土地石漠化动态变化及发展趋势研究[D]. 广州: 华南师范大学, 2007
WANG J H. Research on the dynamic change and development trend of the land in northern Guangdong during the past 30 years[D]. Guangzhou: South China Normal University, 2007

[20] 张素红, 李森, 王金华, 等. 近 30 年来粤北岩溶山区石漠化土地景观动态分析[J]. 林业科学研究, 2008, 21(6): 761–767
ZHANG S H, LI S, WANG J H, et al. Landscape dynamics of rocky desertificated lands in karst mountainous region of North Guangdong in recent 30 years[J]. Forest Research, 2008, 21(6): 761–767

[21] 胡宝清, 廖赤眉, 严志强, 等. 基于 RS 和 GIS 的喀斯特石漠化驱动机制分析——以广西都安瑶族自治县为例[J]. 山地学报, 2004, 22(5): 583–590
HU B Q, LIAO C M, YAN Z Q, et al. Diving mechanism diagnosis of Kkarst rocky desertification in Du'an Yao Autonomous County of Guangxi based on RS and GIS[J]. Journal of Mountain Science, 2004, 22(5): 583–590

[22] 张殿发, 王世杰, 周德全, 等. 土地石漠化的生态地质环境背景及其驱动机制——以贵州省喀斯特山区为例[J]. 农村生态环境, 2002, 18(1): 6–10
ZHANG D F, WANG S J, ZHOU D Q, et al. Eco-geo-environment of rocky desertification and its driving mechanism — A typical example in karst mountainous areas of Guizhou Province[J]. Rural Eco-Environment, 2002, 18(1): 6–10

[23] 史迎春, 舒英格. 喀斯特石漠化时空变化特征及驱动因子分析——以贵州晴隆县为例[J]. 林业资源管理, 2017, (1): 135–143
SHI Y C, SHU Y G. Analysis on karst rocky desertification temporal and spatial variation characteristics and driving factors — A case study of Qinglong County of Guizhou Province[J]. Forest Resources Management, 2017, (1): 135–143

[24] 伊文超. 基于"3S"技术的不同岩溶石漠化小流域水土流失研究[D]. 桂林: 广西师范大学, 2013
YI W C. The research on soil erosion of karst rocky desertification small watershed based on "3S" technology[D]. Guilin: Guangxi Normal University, 2013

[25] 李松, 罗绪强. 基于多时相遥感的喀斯特石漠化监测研究[J]. 中国农学通报, 2015, 31(11): 262–267
LI S, LUO X Q. Study on monitoring of karst rock desertification using multi-temporal remote sensing[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(11): 262–267

[26] 覃开贤, 胡宝清. 基于 ArcObjects 的喀斯特石漠化动态监测与驱动诊断信息系统开发研究[J]. 地理信息世界, 2006, 4(5): 48–52
QIN K X, HU B Q. The development and research of karst rocky desertification dynamic monitoring and mechanism diagnoses information system based on ArcObjects[J]. Geomatics World, 2006, 4(5): 48–52

[27] 柏勇, 杜静, 杨婷婷, 等. 不同水土保持措施对石漠化区水土流失的影响[J]. 中国水土保持科学, 2018, 16(2): 103–110
BAI Y, DU J, YANG T T, et al. Effects of different soil and water conservation measures on soil and water loss from rocky desertification area[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2018, 16(2): 103–110

[28] 朱大运, 熊康宁. 气候因子对我国喀斯特石漠化治理影响研究综述[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(7): 19–23
ZHU D Y, XIONG K N. Influence of climatic factors on treatment of stony desertification in China's karst area: A review[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2018, 46(7): 19–23

[29] 苏攀达, 丁镭, 曾克峰. 武陵山脉核心区石漠化演变及其经济驱动机制——基于贵州铜仁的实证检验[J]. 水土保持研究, 2018, 25(2): 195–200
SU P D, DING L, ZENG K F. Economic driving factors of rocky-desertification in the Wulin Mountain — An empirical study from Tongren City, Guizhou Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2018, 25(2): 195–200

[30] 许尔琪. 基于地理加权回归的石漠化影响因子分布研究[J]. 资源科学, 2017, 39(10): 1975–1988
XU E Q. Spatial variation in drivers of karst rocky desertification based on geographically weighted regression model[J]. Resources Science, 2017, 39(10): 1975–1988

[31] 苗建青, 李容, 杨庆媛. 西南石漠化地区农户采用生态农业技术意愿的影响因素研究——以重庆市巫山县为例[J]. 农林经济管理学报, 2017, 16(3): 277–284
MIAO J Q, LI R, YANG Q Y. Effect of land endowments on

farmers' willingness to adopt ecological agricultural technologies in karst rock desertification areas of Southwest China: A case study of Wushan County, Chongqing City[J]. Journal of Agro-Forestry Economics and Management, 2017, 16(3): 277–284

[32] 何秀, 文小琴, 舒英格, 等. 喀斯特石漠化区土地利用方式对土壤质量性状的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(9): 234–238
HE X, WEN X Q, SHU Y G, et al. Effects of land use patterns on soil quality characteristics in karst rocky desertification areas[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2017, 45(9): 234–238

[33] XU E Q, ZHANG H Q. Characterization and interaction of driving factors in karst rocky desertification: A case study from Changshun, China[J]. Solid Earth, 2014, 5(2): 1329–1340

[34] 刘盛和, 邓羽, 胡章. 中国流动人口地域类型的划分方法及空间分布特征[J]. 地理学报, 2010, 65(10): 1187–1197
LIU S H, DENG Y, HU Z. Research on classification methods and spatial patterns of the regional types of China's floating population[J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(10): 1187–1197

[35] YANG Q Q, WANG K L, ZHANG C H, et al. Spatio-temporal evolution of rocky desertification and its driving forces in karst areas of northwestern Guangxi, China[J]. Environmental Earth Sciences, 2011, 64(2): 383–393

[36] XU E Q, ZHANG H Q, LI M X. Mining spatial information to investigate the evolution of karst rocky desertification and its human driving forces in Changshun, China[J]. Science of the Total Environment, 2013, 458/460: 419–426

[37] WU X Q, LIU H M, HUANG X L, et al. Human driving forces: Analysis of rocky desertification in karst region in Guanling County, Guizhou Province[J]. Chinese Geographical Science, 2011, 21(5): 600–608

[38] LIU Y S, WANG J Y, DENG X Z. Rocky land desertification and its driving forces in the karst areas of rural Guangxi, Southwest China[J]. Journal of Mountain Science, 2008, 5(4): 350–357

[39] JIANG Z C, LIAN Y Q, QIN X Q. Rocky desertification in Southwest China: Impacts, causes, and restoration[J]. Earth-Science Reviews, 2014, 132: 1–12

[40] ZHANG J Y, DAI M H, WANG L C, et al. The challenge and future of rocky desertification control in karst areas in Southwest China[J]. Solid Earth Discussions, 2015, 7(4): 3271–3292

[41] YANG X Y, ZHOU Z F, LI B. Dynamic analyzing in Karst rocky desertification based on the landscape model spatial pattern[J]. Procedia Environmental Sciences, 2011, 10: 2083–2090

[42] GAO J B, LI S C, ZHAO Z Q, et al. Investigating spatial variation in the relationships between NDVI and environmental factors at multi-scales: A case study of Guizhou Karst Plateau, China[J]. International Journal of Remote Sensing, 2012, 33(7): 2112–2129

[43] PENG J, XU Y Q, CAI Y L, et al. Climatic and anthropogenic drivers of land use/cover change in fragile karst areas of Southwest China since the early 1970s: A case study on the Maotiaohe watershed[J]. Environmental Earth Sciences, 2011, 64(8): 2107–2118

[44] 黄秋燕, 吴良林. 喀斯特石漠化与人类活动响应的定量研究——以广西都安县为例[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(21): 9228–9231
HUANG Q Y, WU L L. Quantitative study on the Karst rocky and its response to human activity[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(21): 9228–9231

[45] 曹敏. 岩溶石漠化与岩溶干旱中的人为因素分析——以贵州省岩溶地区为例[C]//地理学核心问题与主线——中国地理学会 2011 年学术年会暨中国科学院新疆生态与地理研究所建所五十年庆典论文摘要集. 乌鲁木齐: 中国地理学会, 2011
CAO M. Analysis of Human factors in Karst rocky desertification and karst drought: Taking the Karst areas in Guizhou Province as examples[C]//The 2011 Annual Meeting of the Chinese Geography Society and the Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences Year celebrations. Urumqi: The Geographical Society of China, 2011

[46] 张勇荣, 周忠发, 闫利会. 贵州喀斯特高原峡谷和盆地典型区石漠化演变特征分析[J]. 中国农村水利水电, 2015, (3): 59–63
ZHANG Y R, ZHOU Z F, YAN L H. Analysis on the evolution characteristics of stony desertification in typical areas of karst Plateau canyons and basins in Guizhou[J]. China Rural Water and Hydropower, 2015, (3): 59–63

[47] 马士彬, 张勇荣, 杨琴, 等. 1990—2010 年贵州喀斯特区石漠化景观格局变化分析——以贵州省六枝特区为例[J]. 重庆师范大学学报: 自然科学版, 2014, 31(3): 114–118
MA S B, ZHANG Y R, YANG Q, et al. Karst rocky desertification landscape pattern in karst Regions of Guizhou from 1990 to 2010: A case study area of Liuzhi in Guizhou Province[J]. Journal of Chongqing Normal University: Nature Science, 2014, 31(3): 114–118

[48] 陈起伟, 熊康宁, 兰安军. 喀斯特高原峡谷与高原盆地区石漠化及变化特征对比[J]. 热带地理, 2014, 34(2): 171–177
CHEN Q W, XIONG K N, LAN A J. Comparative study on rocky desertification between karst gorge and plateau basin area[J]. Tropical Geography, 2014, 34(2): 171–177