

基于 GIS/ RS 的喀斯特石漠化与人文活动 空间相关性研究 ——以广西都安瑶族自治县为例

吴良林^{1,2,3}, 黄秋燕³, 周永章^{2,3}, 陈秋华³

(1. 中山大学 地理科学与规划学院, 广州 510275;

2. 中山大学 地球环境与地球资源研究中心, 广州 510275; 3. 广西师范学院 资环学院, 南宁 530001)

摘 要:喀斯特环境脆弱是石漠化的自然基础条件,人们长期以来主要从自然驱动的角度研究石漠化演化问题。结合 RS, GIS 技术对广西都安县石漠化空间分析研究发现,石漠化的数量、强度与区域人口密度、经济密度、土地利用程度呈正相关关系,而与距居民点距离呈明显的负相关关系,喀斯特石漠化的人文驱动机制有基本的规律性,但人文驱动过程也具有复杂性。

关键词:喀斯特石漠化; GIS; 人文活动; 都安县

中图分类号: P642. 25; TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007) 04-0121-05

Study on the Spatial Correlation between Karst Rocky Desertification and Human Activity Based on GIS/ RS Technology ——A case study of Du'an county in Guangxi Province

WU Liang-lin^{1,2,3}, HUANG Qiu-yan³, ZHOU Yong-zhang^{1,2}, CHEN Qiu-hua³

(1. Geography & Planning College, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China;

2. Center for Earth Environment & Resources, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China;

3. Faculty of Resources & Environment, Guangxi Teachers' College, Nanning 530001, China)

Abstract: Karst environmental vulnerability is the natural foundation condition of karst rocky (KRD). People have to pay much more attention to study KRD for a long time at natural driven mechanism. By taking Du'an county in Guangxi province as an example and based on RS & GIS technology analysis, the results show that the quantity and intensity of KRD is of positive correlation to population density, economy density and intensity of land-use, but it is of obvious negative correlation to distant from the settlements population sites, also show that the humanities driven mechanism of KRD have the basic laws, but complex.

Key words: karst rocky desertification; GIS; human activity; Du'an County

1 喀斯特石漠化问题与研究现状

喀斯特环境与沙漠地区被列为地球上最脆弱的生态系统之一。中国政府的“十五”计划中已明确指

出要“加快推进黔桂滇岩溶(喀斯特)石漠化的综合整治”,对喀斯特石漠化问题的重视已提上国家层面。喀斯特石漠化(Karst Rocky Desertification)指在“在热带、亚热带脆弱的喀斯特环境背景下受人类

* 收稿日期: 2007-04-16

修稿日期: 2007-06-26

基金项目: 国家自然科学基金(40461001); 广西科学研究与技术开发计划(桂科能 05112001-8C); 国家教育部支持中山大学 985 工程期 GIS 与遥感地学应用科技创新平台(105203200400006); 产业与区域发展科学创新基地(105203200400010)

作者简介: 吴良林(1964-), 男, 广西人, 副教授, 博士生, 从事资源环境一体化和区域可持续发展、GIS 应用研究。

不合理社会经济活动的干扰破坏,造成土壤严重侵蚀,水土流失,基岩大面积裸露,土地生产力严重下降,地表出现类似荒漠景观标志的土地退化过程”。因此从时间尺度上说,石漠化发生在人类活动较强的历史时期;从空间尺度上说,石漠化主要发生在热带、亚热带喀斯特地区;从起因上看,在潜在的自然因素基础上,石漠化主要由人类活动所致,其主导因素无疑是人类活动,因此应当加强石漠化在不同时空尺度下的驱动机制研究,特别是人类活动驱动力的研究^[1]。

石漠化的成因问题,始终是石漠化研究的基本问题。由于喀斯特石漠化的直接表现是岩石裸露,最直接的原因是水土流失,因此防止水土流失也就成了关键问题,遏制山区水土流失最直接的手段就是植被恢复,所以筛选合适喀斯特环境的植被也一直是治理喀斯特石漠化的热点。目前,国内学术界对石漠化的研究成果主要体现在喀斯特石漠化的形成背景、演化、石漠化驱动因子分析,岩性与石漠化土地的空间相关性,石漠化危险度评价,石漠化的防治与恢复重建技术等^[1],比较注重地质条件、植被条件、生态条件等对喀斯特石漠化影响的研究,而就人文活动如何影响喀斯特环境导致石漠化的研究较少,忽略了人作为主导环境变化的根本问题^[2]。本文通过探讨人文活动与喀斯特石漠化之间的关系及其规律,为喀斯特山区的社会经济政策制定、石漠化防治、水土保持、生态恢复提供科学决策依据。

2 研究技术路线

人文活动对喀斯特石漠化的影响非常复杂,不仅方式多样,而且过程复杂,从符合主题和数据可获得性考虑,本文选取人口密度、经济密度、土地利用变化和人类活动距离等因素作为评价因子,探讨石漠化与人文活动之间的关系,其中人口密度、经济密度、土地利用强度数据均以行政乡镇为统计单元,经济密度用单位面积工农业总产值计算(万元/km²)。首先通过遥感(RS)方法提取都安县石漠化分布数据,考虑遥感数据、经济数据、土地数据的时间匹配要求,本文选取较早的同时期(1999 年)都安县的遥感数据,人口密度、经济密度、土地利用、居

民点等数据,通过 GIS 技术(Geographic Information System)的空间叠置功能和 GIS 空间统计功能来分析两者之间的关系,探讨喀斯特山区人类人文活动对喀斯特石漠化的驱动过程。

3 喀斯特石漠化与人文活动关系分析

3.1 都安县基本概况

都安瑶族自治县(下称“都安县”,见图 1)处于广西西北部,区域内分布大面积的碳酸盐岩,以质纯层厚的灰岩为主,为喀斯特环境的发育奠定了地质基础条件。地势西北高、东南低,总地形坡降达 8%。地貌以峰丛洼地、峰丛谷地和峰林谷地为主,占全县总面积的 89%,是很典型的喀斯特山区^[3]。都安县处于南亚热带季风气候区,全年平均气温在 18.2~21.7 之间,年平均降雨为 1 581.7 mm,高温湿润的亚热带季风气候为都安县喀斯特发育提供了外部动力条件,加上人类的不合理活动,都安县的石漠化问题相当严重。

3.2 喀斯特石漠化信息提取方法

植被指数(NDVI)与植被覆盖率有显著正相关关系^[4,5],喀斯特石漠化程度与植被覆盖率有显著负相关关系^[6]。本文选用 1999 年的 TM 遥感数据,应用 Erdas 遥感图像处理软件提取研究区 NDVI 植被指数,对 LANDSAT-TM 遥感图像而言,计算 NDVI 的公式为:

$$NDVI = \frac{CH_{nir} - CH_R}{CH_{nir} + CH_R} = \frac{(TM_4 - TM_3)}{(TM_4 + TM_3)} \quad (1)$$

式中:TM₄, TM₃——LANDSAT-5 遥感图像的第四(近红外)和第三波段(红光)亮度值。并通过 GPS 定位,进行野外实地校验,取得 NDVI 植被指数与喀斯特山区植被覆盖度之间的对应关系,然后提取研究区植被覆盖度得出石漠化强度分级数据,参照相关资料^[6]来划分喀斯特石漠化的级别(表 2,图 2):

表 1 植被指数灰度与植被覆盖度的对应关系

	1 级	2 级	3 级	4 级
NDVI 灰度值	0.30~1.0	0.15~0.30	0.09~0.15	1.0~0.09
植被覆盖度/%	>60	40~60	20~40	<20
植被覆盖等级	优	中	差	劣

表 2 石漠化分级表

等 级	景观特征			
	覆被类型	土地利用类型	岩石裸露率/%	植被覆盖率/%
轻石漠化	次生落叶阔叶林	裸岩地、灌木林地	20~40	40~60
中度石漠化	次生针叶林	裸岩地、灌木林地	40~60	20~40
强度石漠化	次生灌丛草坡、稀草坡	裸岩地、灌木地、荒草地	>60	<20

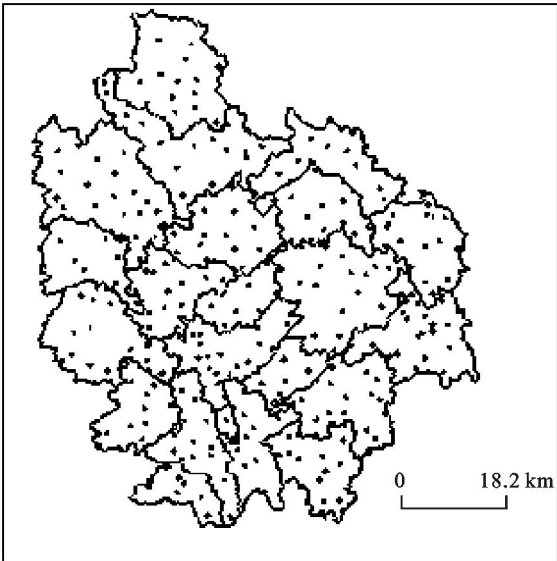


图 1 都安县乡镇行政区与居民点分布图

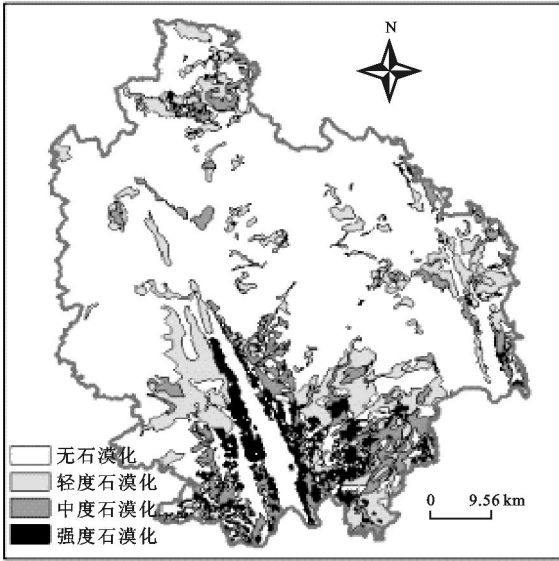


图 2 1999 年都安县石漠化分布

3.3 喀斯特石漠化与人文活动的 GIS 空间分析

3.3.1 人口密度与石漠化的关系

从表 3 中可以看出,中度石漠化和强度石漠化都是随人口密度增加而增加,人口的增加就意味着需要占用和开发更多的资源,山区的资源与环境的压力必然增大。当人口密度 150 人/ km² 时,石漠

化比例急剧增加,如都安人口密度为小于 110 人/ km² 区域,发生强度石漠化比例为 2.09 %,而人口密度大于 200 人/ km² 以上的区域,发生强度石漠化比例为 15.31 %,后者为前者的 7 倍多,显示人口密度达到一定程度时,人类活动对喀斯特环境的压力急剧增加,造成喀斯特环境的急剧退化和石漠化。

表 3 都安县人口密度与石漠化关系

人口密度 /(人·km ⁻²)	总面积/ hm ²	无石漠化		轻度石漠化		中度石漠化		强度石漠化	
		面积 /hm ²	比例 /%	面积 /hm ²	比例 /%	面积 /hm ²	比例 /%	面积 /hm ²	比例 /%
≤110	110914.37	79669.04	71.83	20376.87	18.37	8551.21	7.71	2317.25	2.09
110~150	182747.74	138181.90	75.61	30477.78	16.68	12014.41	6.75	2073.65	1.13
150~200	62676.79	42330.79	67.54	13128.34	20.95	6269.52	10.00	948.14	1.51
>200	52850.87	29603.97	56.01	7190.79	13.61	7964.85	15.07	8091.26	15.31

3.3.2 经济密度与石漠化的关系

从表 4 中可以看出,轻度石漠化在各种经济密度中都有较高的发生概率,说明经济活动对石漠化的产生具有普遍性,中度石漠化和强度石漠化都是随经济密度增加而增加,在经济密度较高时,石漠化

比例增加较快,都安县经济密度在 75 万元/ km² 以上时,中度和强度石漠化率显著增加,75 万元/ km² 的经济密度在我国东部沿海地区是一个很低的值,这说明喀斯特环境非常敏感和脆弱,环境承载力很低,过强的经济开发对喀斯特环境造成巨大压力。

表 4 都安县经济密度与石漠化关系

经济密度 /(万元·km ⁻²)	总面积 /hm ²	无石漠化		轻度石漠化		中度石漠化		强度石漠化	
		面积/hm ²	比例 /%	面积 /hm ²	比例 /%	面积/hm ²	比例 /%	面积 /hm ²	比例 /%
≤15	162810.43	124054.1	76.20	28094.11	17.26	10142.7	6.23	519.52	0.32
15~35	142545.88	96455.57	67.67	24373.05	17.10	15050.55	10.56	6666.71	4.68
35~75	77911.4	56653.74	72.72	13320.05	17.10	5649.97	7.25	2287.64	2.94
≥75	25922.06	12622.29	48.69	5386.57	20.78	3956.77	15.26	3956.43	15.26

3.3.3 土地利用强度与石漠化关系

土地利用强度采用刘纪远等从生态学角度提出

的土地利用程度分级标准,计算土地利用综合指数,将土地分为 4 种土地利用级,如表 5:

表 5 土地利用程度分级赋值

	未利用土地级	林、草、水用地级	农业用地级	城镇聚落用地级
土地利用类型	未利用或难利用地	林地、草地、水域	耕地、园地、人工草地	居民、工矿、交通用地
分级指数	1	2	3	4

并相应地给出土地利用程度分级指数模型(2)和土地利用程度变化指数模型为(3):

$$L_j = 100 \times \prod_{i=1}^4 A_{ij} \times C_{ij} \tag{2}$$

$$R = \frac{L_b - L_a}{L} \times 100 \tag{3}$$

式中： L_j ——第 j 单元的土地利用程度指数；
 A_{ij} ——第 j 单元第 i 级土地利用程度分级值；
 C_{ij} ——第 j 单元第 i 土地利用程度分级所占行政单

元面积百分比； R ——土地利用程度变化指数；当 $R > 0$ 时，表示该区域土地利用处于发展阶段， $R < 0$ 则相反， R 值越大表示某时间段内，该区域的土地开
发强度比较大，人类活动比较频繁； L_b, L_a 分别为 b
时间和 a 时间的区域土地利用程度综合指数。本文
使用 1988 年为参照和 1999 年土地利用数据来计算
其土地利用变化综合指数(表 6)。

表 6 都安县土地利用变化指数与石漠化关系

土地利用变 化指数	总面积 /hm ²	无石漠化		轻度石漠化		中度石漠化		强度石漠化	
		面积 /hm ²	比例 /%	面积 /hm ²	比例 /%	面积 /hm ²	比例 /%	面积 /hm ²	比例 /%
9.5~39.0	113211.40	83785.07	74.01	17189.27	15.18	8005.06	7.07	4232.06	3.74
39.0~68.5	87007.71	75217.71	86.45	9477.81	10.89	2292.29	2.63	20.50	0.02
58.5~98.0	105368.3	73223.28	69.49	17304.22	16.42	10187.45	9.67	4653.31	4.42
98.0~127.0	49481.54	37085.81	74.95	8760.52	17.70	2883.20	5.83	752.01	1.52
127.0~156.5	52519.33	18933.10	36.05	18441.96	35.11	11431.99	21.77	3712.29	7.07
156.5~186.0	1601.48	1541.35	96.25	0	0	0	0	60.13	3.75

轻度、中度、强度喀斯特石漠化主要发生在土地
利用程度指数变化高的区域，在 127~156 区域达到
最大值，土地利用程度变化指数大，表明区域内人类
活动强烈，土地垦殖率特别是喀斯特山区陡坡区土
地垦殖率高，破坏了植被，直接造成大量水土流失，
故石漠化发生概率较高，但在土地利用变化最大值
区，石漠化比例很低，主要是这一区域是远离山区的
河谷平地农作区，已经基本不存在石漠化的问题。

3.3.4 居民活动距离与石漠化关系

利用 GIS 的缓冲区分析(Buffer analysis)功能，
对都安县点状居民点图以 500 m、1 000 m、2 000 m、
4 000 m 不同的距离生成缓冲区，不同距离的缓冲

区半径代表居民活动距离，再分别与石漠化分级图
图 2 叠加，统计得到都安县石漠化与居民活动距离
的相互关系见表 7。石漠化发生概率与距居民点的
距离成反比的特征非常明显，说明靠近居民点的地
方，喀斯特环境受人类的干扰较大，比如山区居民一
般是就近砍柴，就近放牧和开垦土地等，直接破坏植
被，从而容易产生石漠化。距居民点 3 km 以上时，
石漠化发生的概率下降较明显。在距居民点 4 km
以上时，中度石漠化、强度石漠化发生比例趋于零，
表明喀斯特山区居民活动的距离基本限制在 4 km
范围内，收缩居民活动范围是减少石漠化发生的有
效途径。

表 7 距居民点距离与石漠化关系

居民点半径 /m	总面积 /hm ²	无石漠化		轻度石漠化		中度石漠化		强度石漠化	
		面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%
<500	78797.42	48001.47	60.92	16211.41	20.57	11081.02	14.06	3503.52	4.45
500~1000	110557.38	76446.87	69.15	20903.43	18.91	9147.14	8.27	4059.94	3.67
1000~2000	151492.06	110487.62	72.93	24982.24	16.49	10642.02	7.02	5380.18	3.55
2000~4000	39959.35	29266.25	73.24	6477.56	16.21	3754.37	9.4	461.17	1.15
>4000	28383.49	25583.43	90.13	2599.13	9.15	175.43	0.63	25.5	0.09

4 结 语

石漠化是喀斯特生态环境恶化、水土严重流失结果的最直接表现形式,水土流失是自然因素和人文因素共同作用的结果。以上研究说明,目前人文活动对喀斯特生态环境产生不利影响,并且不同强度的人文活动的影响程度不一样,表明喀斯特生态环境承载力存在一定的阈限,如都安县,当人口密度增加到大于 200 人/ km² 时,发生强度石漠化比例会急剧增加,达 15.31%;经济密度较高时,石漠化比例增加较快,经济密度在 75 万元/ km² 以上时,中度和强度石漠化率显著增加;轻度、中度、强度喀斯特石漠化在土地利用程度指数变化高的 127 ~ 156 区域达到最大值,石漠化发生概率较高且强度较大,表明当时的人文活动强度超过喀斯特生态环境承载力范围,喀斯特生态环境趋于急剧恶化。因此不同的发展阶段,人们必须正确认识喀斯特山区的环境承载力,调节人类人文活动的方式和强度,才能有效防止石漠化发生。

研究表明喀斯特石漠化发生概率与人口密度、经济密度、土地利用程度、距居民点距离等存在基本的趋势关系,石漠化与人文活动之间既有规律性又有复杂性,这种规律性对指导喀斯特石漠化的预防与治理有一定现实价值。从研究结果看,正确认识喀斯特生态环境承载力阈限很重要,这是调控人类活动强度的重要依据,当前治理石漠化最直接有效的手段就是降低人类对喀斯特环境的干扰度,包括通过实施计划生育和生态移民来减少人口数量和降低经济开发强度、通过退耕还林工程和调整土地开发方式降低土地开发强度、通过对喀斯特山区分散的村庄整合,以减少居民点来限制人们对喀斯特生

态环境的干扰距离和干扰面等措施,控制石漠化的发生概率,使喀斯特生态得到恢复。

参考文献:

[1] 李阳兵,王世杰,谭秋,等.喀斯特石漠化的研究现状与存在的问题[J].地球与环境,2006,34(3):9-14.

[2] 覃小群,朱明秋,蒋忠诚.近年来我国西南岩溶石漠化研究进展[J].中国岩溶,2006,25(3):234-238.

[3] 都安瑶族自治县土地管理局编.都安瑶族自治县土地志[M].南宁:广西人民出版社,2001.

[4] 陈述彭,童庆禧,郭华东.遥感信息机理研究[M].北京:科学出版社,1998.345-349.

[5] 刘纪远.基于GIS的中国东北植被综合分类研究[J].遥感学报,1998,2(4):285-290.

[6] 熊康宁,黎平,周忠发.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,2002.29-40.

[7] 王家嘉,林昌虎,何腾兵.人类活动对贵州喀斯特石漠化地区的影响[J].水土保持研究,2006,13(5):276-279.

[8] 刘燕华,李秀彬.脆弱生态环境与可持续发展[M].北京:商务印书馆,2001.134-138.

[9] 李阳兵,姜丽,白晓永.亚热带喀斯特石漠化土地退化特征研究[J].长江流域资源与环境,2006,15(3):395-399.

[10] 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.

[11] 吴良林,周永章,卢远.喀斯特山区环境耗散结构演化与生态重建策略探讨[J].中国人口·资源与环境,2006(4)(专刊):571-574.

[12] Yuan Daoxian. Rock desertification in the subtropical karst of south China [J]. Z. Geomorph N. F., 1997 (108):81-90.

(上接第 116 页)

参考文献:

[1] 鲍士旦.土壤农化分析(第三版)[M].北京:中国农业出版社,2000.

[2] 刘铮,等.微量元素的农业化学[M].北京:农业出版社,1991.

[3] 刘铮,朱其清,等译.土壤微量元素译文集[C].南京:江苏科学技术出版社,1981.

[4] 中国科学院、水利部西北水土保持研究所.土壤微量元素及微肥研究文集[C].1991.

[5] 王祖伟,徐利森,张文具,等.土壤微量元素与人类活动强度的对应关系[J].土壤通报,2002,33(4):303-305.

[6] 张泽浦,王学军,等.土壤微量元素含量空间分布的条件模拟[J].土壤学报,1998,35(3):423-429.

[7] Athanassiadis G A, Rao S T. Spatial and temporal variation in the trace element data over the northeastern United States. Environmental Pollution, 2003, 123:439-449.

[8] 刘铮,等.我国主要土壤中微量元素的含量与分布[J].土壤学报,1978,15(2):138-150.

[9] 王根林,李玉梅,李忠库,等.长期定位试验下土壤中微量元素研究进展[J].黑龙江八一农垦大学学报,2004,16(2):22-25.