

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

胡宝清^{1,2}, 廖赤眉¹, 严志强¹, 蒋树芳¹, 黄秋燕¹, 李生明¹

(1. 广西师范学院资源与环境科学学院, 广西南宁 530001;

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, 贵州 贵阳 550002)

摘要: 喀斯特石漠化(Karst Rocky Desertification, KRD)是指喀斯特区地表出现类似荒漠景观的土地退化过程。采用 RS 和 GIS 技术,对都安喀斯特石漠化程度分级状况与驱动因素进行全面调查,建立全县 1:10 万喀斯特石漠化数据库。利用相关分析、因子分析和回归分析等方法,分析导致石漠化的影响因子,即喀斯特石漠化的重要驱动力,建立了喀斯特石漠化动力指数模型,算出了各因子对石漠化的贡献值,指出石漠化产生的主导原因是不合理的人为活动。所建的动力指数模型输出结果与遥感调查有相对一致性,表明石漠化动力指数能较好地反映该地区石漠化过程,可为喀斯特石漠化治理提供理论依据。

关键词: 诊断分析; 驱动机制; 喀斯特石漠化; RS 与 GIS; 广西都安

中图分类号: P642. 25

文献标识码: A

中国西南喀斯特地区,因地质-生态环境脆弱性大、敏感度高,且面临人口超载和经济社会落后的双重压力,致使生态环境严重退化,出现了大面积基岩裸露等喀斯特石漠化问题^[1-5]。喀斯特石漠化(Karst Rocky Desertification, KRD)是喀斯特区特有的地理过程,是人地系统失衡发展的产物,即地质、地貌、气候、土壤和植被等自然背景因素和不合理的人类活动综合作用的产物^[6]。石漠化地区是中国最典型的生态脆弱区之一,也是我国西南地区最突出的贫困与环境问题高发区。研究各影响因子之间的相关关系,确定其主导因子,建立一套合理的石漠化评价指标体系,对深入研究石漠化系列问题具有重要的意义。

广西是我国主要的石漠化过程发生区之一,石漠化土地 > 200 × 10⁴ hm², 占全国石漠化面积 27.4%, 而这些地区又是著名的革命老区、贫困区和少数民族聚居区。本论文,以广西都安为例,以遥感

(RS)和 GIS 技术为支撑,在剖析喀斯特石漠化时空演变特征的基础上,采用图谱分析和模型分析相结合,系统分析土地石漠化的驱动因子特征及其与石漠化强度分布的空间相关性,并进行地质-生态环境背景、社会经济驱动与土地石漠化的相关分析,建立喀斯特土地石漠化综合动力模型,为石漠化预警分析和综合防治提供基础。

1 研究区概况及石漠化分布特征

1.1 区域概况

都安瑶族自治县(简称都安县)位于广西中部偏西,23°47' ~ 24°34' N, 107°49' ~ 108°34' E, 地处云贵高原向广西盆地过渡的斜坡带南端——都阳山脉的东麓。除在北部和东部山字型向斜轴部的三叠系碎屑岩形成的侵蚀中低山丘地貌外,绝大部分是典型喀斯特地貌,石山面积 3 634 km², 占总面积 89%, 素有“千

收稿日期(Received date): 2004- 03- 10; 改回日期(Accepted): 2004- 05- 20。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金项目(40161004, 40361002)和广西自然科学基金项目(桂科基 0236046, 桂科自 0342001- 2) [The Item was supported by National natural science foundation of China, No. 40161002 & 40361002; National natural science foundation of Guangxi, No. 023646 & 0342001- 2]

作者简介(Biography): 胡宝清(1966-), 男, 江西临川人, 博士后, 副教授, 主要从事喀斯特环境 GIS 研究。E-mail: hbq1230@sina.com 13132815908。 [HU Baoqing (1966-), male, born in Linchuang of Jiangxi Province, Ph. D, Associate professor, Specialized in karst eco-environmental GIS].

山万弄’之称^[7]。气候属于亚热带季风气候区, 年均气温 18.2~ 21.7 °C, 年降雨量 1 200~ 1 900 mm。境内地表水少, 地下水丰富, 但埋藏较深, 水量、水位动态不稳, 水土流失日趋严重。全县总人口 62.51 万 (2001 年), 人口密度为 152.54 人/km², 其中农业人口 58.7 万人, 占 93.9%。因此, 都安县喀斯特地貌广泛分布, 人地矛盾突出, 是广西生态环境较差, 且资源环境与社会经济发展矛盾比较突出的地区。

1.2 石漠化分级分布特征

根据喀斯特石漠化的分级分类理论, 针对广西遥感数据源(TM 影像的 5、4、3 波段假彩色合成) 的特点, 挑选植被覆盖度、基岩裸露率、植被类型及其退化率作为喀斯特石漠化遥感影像强度的判别指标, 参考土地生产力下降和土地质量变化状况, 将广西喀斯特石漠化划分为三个等级: 轻度石漠化——植被覆盖度 40%~ 60%, 基岩裸露 21%~ 40%, 遥感影像呈星状颜色呈浅红, 绿红色; 中度石漠化——植被覆盖度为 21%~ 40%, 基岩裸露 40%~ 60%, 遥感影像呈斑状颜色呈绿红色, 红中带白色; 强度石漠化——植被覆盖度 < 20%, 基岩裸露 > 61%, 遥感影像呈斑状, 颜色呈红中带白, 灰白, 白色。据此分级指标和遥感解译方法, 生成 1: 10 万都安石漠化分级分布图(图 1)。

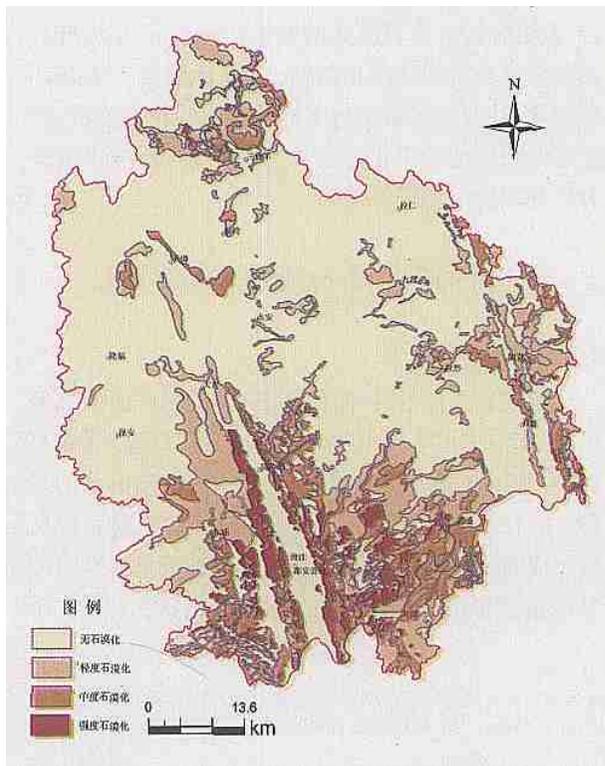


图 1 都安喀斯特石漠化分级分布图

Fig. 1 Distribution of various rocky desertification intensity of Du'an

都安县石漠化面积占全县土地面积的 29.8%, 占碳酸盐岩出露面积的 93.47%, 集中连片分布于县域的南部及北部地区, 东部也有零星分布, 其中轻度石漠化的比例为 17.39%, 中度石漠化的比例为 8.5%, 强度石漠化的比例为 3.28%。1999 年都安县石漠化分布特征大致为: 县域中部喀斯特石漠化程度要比四周的强度大, 总体上呈现由中部逐渐向四周减弱的趋势。轻度石漠化区主要为古山、地苏、隆福、菁盛 4 个乡镇, 中度石漠化区主要为澄江、高岭、大兴、板岭、龙湾 5 个乡镇, 重度石漠化区主要为安阳、五竹、下坳、拉烈、九渡 5 个乡镇, 无石漠化区主要为三弄、东庙、保安、永安、三只羊、百旺、加贵、拉仁 8 个乡镇。

2 研究方法

2.1 驱动指标体系建立

喀斯特石漠化程度采用 4 种指标衡量, 其中石漠化比例(RDR), 指的是石漠化面积占总面积的比率, 直接地反映了石漠化在一个地区的总体分布情况; 石漠化指数(RDI), 指的是石漠化的综合强度, 不同强度石漠化所引起的环境效应和灾害状况, 按照荒漠化的分级分类理论, 根据石漠化强度的判别指标, 轻度石漠化强度指数(RD_L) 为 1; 中度石漠化强度指数(RD_M) 为 1.5 和重度石漠化强度指数(RD_H) 为 2, 各单元石漠化综合强度是其各种程度石漠化加权平均的强度; 石漠化变化率(RDC), 指的是不同时期石漠化面积的变化, 它直接反映了一个地区石漠化的变化情况, 本研究分别以 1988 年和 1999 年作为研究期的起始和终止年, RD₂₋₉₉ 和 RD₂₋₈₈ 分别为 1999 年和 1988 年的石漠化指数; 综合指数(SRDI), 指的是基于前 3 种指标, 即石漠化指数、石漠化比例和石漠化变化率的综合考虑。考虑喀斯特石漠化的空间分布现状、石漠化形成过程和演化特征, 根据影响石漠化形成的可能因子的系统性、主导性和可比性原则, 挑选出 9 个指标作为石漠化的驱动因子进行分析, 这些因子指标可归结为 2 大类, 即地质-生态环境背景指标和社会经济驱动指标^[8,9]。其中, 岩性指数(LT)、降水变率(PCR)、地貌指数(MT)、NDVI 变化指数(NDVIC) 和土壤指数(SD) 为地质-生态环境背景指标; 至道路的距离(HD)、人口密度(PD)、经济密度(ED) 和土地利用程度变化(LUIC) 为社会经济驱动指标。喀

斯特石漠化程度及表达式与驱动力因子及代码如表 1 所示。

2.2 驱动指标的数据处理与同化

在建立石漠化的可能影响指标体系的基础上,经过大量的野外工作和室内资料收集,依托 GIS 对相关数据进行空间分析和统计分析处理,建立了石漠化相关影响因子数据库,进一步进行数学分析,对初步估计指标进行筛选,确定出导致石漠化的主导影响因子。

2.2.1 数据准备和指标量化 在所选 9 个指标中,岩性类型、地貌类型、土壤类型是专题地图,可经过数字化处理直接生成 Arc/Info 的 coverage 数据格式,而降水变率、植被指数、人口密度、经济密度、土地利用强度、至道路的距离,则需要在 GIS 支持下

对其进行专题数字地面模型,并将各专题数字地面模型集成为综合性数字地面模型,进而对模型结果所反映的喀斯特石漠化驱动力指数的空间差异进行分析,为喀斯特石漠化的生态重建提供理论依据。

2.2.2 统计数据空间化和连续化处理 统计数据是按一定的行政单元进行统计的,必须将统计数据空间化,才能和其他空间数据进行配准和分析。对于有些统计数据,可以通过空间插值将离散的统计数据按照其空间分布规律连续化,如人口统计数据的空间化和连续化处理。对于有些统计变量所表示的地理现象,由于缺乏明显的空间统计特征,因此难以运用空间统计规律进行空间连续化,采取按行政单元直接栅格化该统计变量。这种方法的实质是将统计单元细分,同化来自不同数据源的数据。

表 1 喀斯特石漠化程度及各表达式与驱动力因子及代码一览表

Table 1 Intensities and their models, and driving force indexes and their codes of karst rocky desertification

石漠化程度及各表达式 Rocky desertification intense and various expression			地质—生态环境背景指数 Geo-eco-environment background index		社会经济驱动指数 soci economic driving index	
名称 name	代码 code	表达式 expression	名称 name	代码 code	名称 name	代码 code
比例 RDR	RD ₁	RD ₁ + RD _M + RD _H [*]	岩性指数 LD	B ₁	至道路的距离 HD	B ₆
指数 RDI	RD ₂	1* RD ₁ + 1.5* RD _M + 2* RD _H	降水变率 PCR	B ₂	人口密度 PD	B ₇
变化率 RDC	RD ₃	(RD ₂₋₉₉ - RD ₂₋₈₈)/ RD ₂₋₈₈ * 100	地貌指数 MT	B ₃	经济密度 ED	B ₈
综合指数 SRDI	RD ₄	(RD ₁ + RD ₂ + RD ₃)/3	NDVI 变化指数 NDVIC	B ₄	土地利用程度变化 LUIC	B ₉
			土壤指数 SD	B ₅		

注:轻度石漠化(Light rocky desertification, RD_L), 中度石漠化(Moderate rocky desertification, RD_M), 强度石漠化(Intensity rocky desertification, RD_I)。石漠化比例(Rocky desertification rate, RDR), 石漠化指数(Rocky desertification intensity, RDI), 石漠化变化率(Rocky desertification change, RDC), 石漠化综合指数(synthetic intensity of Rocky desertification, SRDI), 岩性指数(Lithologic type, LT), 降水变率(Precipitation change ratio, PCR), 地貌指数(Morphologic Type, MT), NDVI 变化指数(NDVI change, NDVIC), 土壤指数(Soil density, SD), 至道路的距离 HD 人口密度(Population density, PD), 经济密度(Economic density, ED), 土地利用程度变化(Land use intense change, LUIC)。

2.2.3 栅格化和空间配准 考虑到矢量格式的 coverage 不便于空间分析和空间配准,将所有数据层转换为 grid 的格式,这个转换的过程就是空间采样的过程。空间采样涉及到采样密度的问题,采样密度太高,势必造成数据冗余,采样密度太低,又会导致信息丢失^[10]。具体到从 coverage 到 grid 的数据转换,就是要确定一个合适的像元大小。根据该方法得出栅格化各指标数据层,可以既保证信息不损失,又适合 SPSS 统计软件包进行分析。

2.3 喀斯特石漠化驱动分析模型

喀斯特石漠化形成的影响因素不仅来自于其脆弱的环境背景方面,也有来自人类不合理活动的直

接和间接影响方面,是一个多因子综合作用的产物。采用因子分析和多元回归等相结合的统计—动力模型方法来建立喀斯特石漠化驱动模型。

2.3.1 因子分析模型 因子分析属于多元统计分析,其基本思想是将实测的多指标(多维向量),化为少数几个综合指标的一种统计方法,是一种数学的排序方法。目的是通过变换,将原来的一组变量(指标)变换成另外一组分量的变量。也可以把具有许多变量的高维空间,通过数学方法变换成较低维的空间,尤其是在直观的二维或三维空间中排列的各个点,而尽量减少信息的损失,使结果能保持原有高维空间中的重要特性。因子分析的步骤如下:①原

始地理数据标准化处理; ② 计算指标间的相关系数矩阵, ③ 用 Jacobi 方法求相关矩阵的特征值和特征向量, ④ 通过计算贡献率和累积贡献率得出主因子的个数, ⑤ 计算主因子的因子载荷矩阵, ⑥ 对规格化后的因子载荷矩阵施行方差最大的正交旋转, ⑦ 计算样本的因子得分, 并据此进行样本(评价单元)分类。

2.3.2 多元回归模型 所谓回归分析,就是对具有相互联系的要素,根据其联系的形态,选择一个合适的数学模式,用来近似地表达要素间平均变化关系。这个数学模式称为回归模型(回归方程)。地理系统的显著特点就是具有多要素性,而各要素之间又相互影响、相互联系。要研究某一因子,它往往与许多因子有关系,这就要求我们对因变量与自变量之间相关程度及联系形态进行研究,采用多元回归分析方法,建立多元回归模型。

3 结果分析

3.1 基于图谱分析的喀斯特石漠化综合驱动分析

采用因子图形栅格化与驱动动力指标的量化分级和主成分分析法,得出喀斯特石漠化驱动力综合指数分级图。将都安县分成板岭-拉仁-加贵-百旺无石漠化安全区,下坳-永安-九渡-拉烈-古山、三只羊轻度石漠化趋势区,以县城为中心的北部、南部及东南部中度、强度石漠化威胁区。石漠化驱动力综合指数提出,对于喀斯特石漠化土地的生态恢复,以及有针对性的喀斯特石漠化综合治理,都具有较强的指导意义。根据现状与潜在危险的差值大小,评判今后一段时期各区域石漠化发展的速度与趋势。因地制宜,实施不同的治理措施,才能更有效地防止石漠化的进步恶化。

3.2 运用因子分析方法计算驱动指数

将都安县 1999 年各石漠化强度分布图与各驱动力指数因子类型图进行空间叠加分析,分析土地石漠化强度级别与各因子类型的对应关系,并计算各驱动因子的单位面积石漠化指数(SDI), (把轻、中和强度石漠化所占的比例分别乘以强度系数 1、1.5 和 2,并加和所得的总数,称之为单位面积石漠化强度指数,SDI 统),据此计算都安各驱动因子与石漠化指数之间的相关系数(将各类岩性单位面积石漠化强度指数加和,并除之,得出各类岩性对石漠

化影响系数)。再将各乡镇各类因子内的类型所占的比例与该类因子类型对石漠化影响系数相乘,得出都安县各乡镇单项因子对其石漠化可能发生的单项驱动力指数原始数据(表 2)。都安喀斯特石漠化的驱动机制诊断,首先采用因子分析方法计算驱动指数,然后运用多元回归方程建立驱动模型。

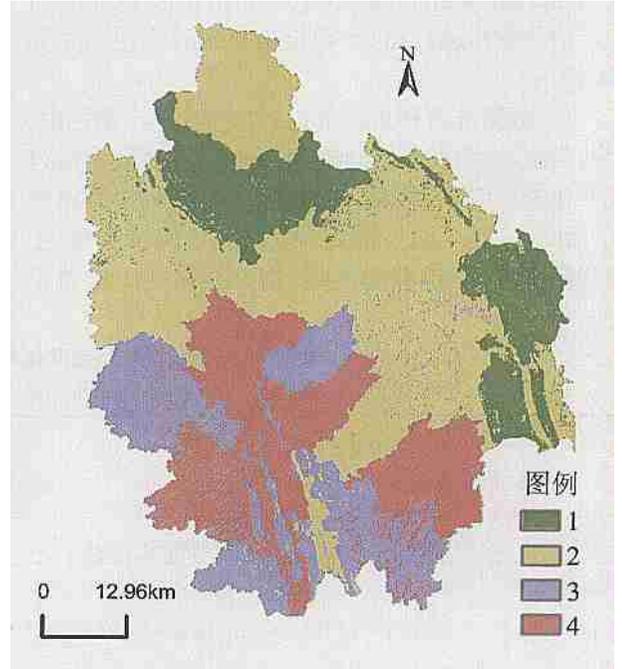


图 2 基于图谱分析的都安县喀斯特石漠化的驱动力综合指数分级图

Fig. 2 Synthetic driving exponent of Du' an karst rocky desertification based on TUPU analysis

运用标准方差法将石漠化驱动力指数因子的原始数据进行标准化((表 3)),据此标准化数据构建石漠化驱动力因子的相关系数矩阵;由相关系数矩阵计算特征值,以及各个主成分的贡献率与累计贡献率,前四主成分的累计贡献率已高达 84%,已占了 4/5 以上的信息量了,可反映原来各要素所表示的主要特征,故只需求出第一、第二、第三和第四主成分 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 和 Z_4 即可。在计算出的驱动因子相关系数的特征向量基础上进行规格化,进而计算主因子对变量的贡献(即共同度),即因子载荷矩阵,并对此施行方差最大的正交旋转,据此计算出各乡镇综合主因子得分,并可对评价单元(各乡镇)进行分类。

表 2 喀斯特石漠化的驱动力综合指数之间的空间相关分析原始数据

Table 2 The original data of spatial correlation analysis on karst rocky desertification and synthetic indexes of their driving force

代码 (code)	乡镇 (village and town)	地质-生态环境背景指数 Geo-environment background index					社会经济驱动指数 social-economic driving index			
		B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈	B ₉
1	澄江 D. J.	42.43	75.24	18.17	108.12	17.62	0.47	311	122.7	25.13
2	古山 G. S.	46.34	71.12	14.33	92.32	13.91	0.23	116	81.1	14.10
3	安阳 A. Y.	48.95	75.24	29.57	96.10	21.96	0.78	1315	344.9	185.83
4	地苏 D. S.	45.90	77.22	20.36	126.11	16.96	0.39	291	20.3	92.59
5	三弄 S. L.	49.82	79.2	26.45	125.18	18.66	0.42	173	16.7	97.11
6	东庙 D. M.	50.08	73.32	28.75	104.15	21.94	0.35	172	12.8	139.60
7	高岭 G. L.	47.58	74.21	25.32	107.39	20.36	0.26	310	50.1	71.02
8	五竹 W. Z.	49.05	72.31	29.58	103.92	21.71	0.32	131	49.6	75.14
9	大兴 D. X.	49.76	71.87	28.95	108.18	21.66	0.73	188	36.4	118.54
10	下坳 X. A.	39.74	76.96	19.14	94.65	21.24	0.22	110	4.5	45.90
11	隆福 L. F.	50.10	74.21	20.77	121.09	21.73	0.44	104	30.4	70.49
12	保安 B. A.	50.10	72.88	24.79	96.66	22.04	0.22	143	27.8	111.04
13	板岭 B. L.	36.89	76.4	21.33	120.88	19.73	0.06	122	9.7	32.98
14	永安 Y. A.	48.86	73.12	29.53	122.46	21.57	0.25	111	16.3	64.97
15	三只羊 S. Z. Y.	50.10	75.32	29.59	105.35	21.82	0.13	74	10.3	68.57
16	龙湾 L. W.	47.70	71.02	29.56	84.62	21.49	0.42	110	23.8	131.33
17	菁盛 Q. S.	50.04	69.84	29.57	112.51	21.82	0.53	113	26.2	142.47
18	拉烈 L. L.	46.32	68.47	27.60	117.22	21.31	0.27	116	36.3	50.52
19	百旺 B. W.	27.01	68.72	14.77	118.38	20.37	0.24	151	13.9	9.66
20	加贵 J. G.	47.34	74.39	27.21	124.94	21.60	0.55	116	12.5	23.47
21	拉仁 L. R.	46.96	69.12	24.35	110.23	20.60	0.10	127	16.4	11.17
22	九渡 J. D.	48.63	69.87	29.55	100.99	21.45	0.21	106	11.2	74.62

表 3 石漠化的驱动力指数因子的标准化数据表

Table 3 Standardized data of the driving force indexes for rocky desertification intensity

代码 Code	乡镇 village and town	B' ₁	B' ₂	B' ₃	B' ₄	B' ₅	B' ₆	B' ₇	B' ₈	B' ₉
1	澄江 D. J.	-0.7065	0.6907	-1.3374	-0.0871	-1.4184	0.6680	0.4127	1.0831	-1.0409
2	古山 G. S.	-0.0018	-0.6935	-2.0931	-1.4148	-3.2298	-0.6146	-0.3465	0.5086	-1.2698
3	安阳 A. Y.	0.4686	0.6907	0.9062	-1.0972	0.7006	2.3246	4.3212	4.1515	2.2942
4	地苏 D. S.	-0.0811	1.3560	-0.9064	1.4246	-1.7406	0.2405	0.3348	-0.3310	0.3592
5	三弄 S. L.	0.6254	2.0212	0.2922	1.3464	-0.9106	0.4008	-0.1246	-0.3807	0.4530
6	东庙 D. M.	0.6723	0.0457	0.7448	-0.4207	0.6909	0.0267	-0.1285	-0.4346	1.3348
7	高岭 G. L.	0.2217	0.3447	0.0698	-0.1485	-0.0806	-0.4542	0.4088	0.0805	-0.0885
8	五竹 W. Z.	0.4867	-0.2937	0.9082	-0.4401	0.5786	-0.1336	-0.2881	0.0736	-0.0030
9	大兴 D. X.	0.6146	-0.4415	0.7842	-0.0821	0.5542	2.0574	-0.0662	-0.1087	0.8977
10	下坳 X. A.	-1.1914	1.2686	-1.1465	-1.2190	0.3491	-0.6680	-0.3698	-0.5492	-0.6098
11	隆福 L. F.	0.6759	0.3447	-0.8257	1.0028	0.5883	0.5077	-0.3932	-0.1915	-0.0995
12	保安 B. A.	0.6918	-0.1022	-0.0345	-1.0501	0.7397	-0.6680	-0.2414	-0.2274	0.7421
13	板岭 B. L.	-1.7452	1.0805	-0.7155	0.9851	-0.3882	-1.5230	-0.3231	-0.4774	-0.8780
14	永安 Y. A.	0.4631	-0.0215	0.8983	1.1179	0.5102	-0.5077	-0.3659	-0.3862	-0.2141
15	三只羊 S. Z. Y.	0.6918	0.7176	0.9101	-0.3199	0.6323	-1.1489	-0.5100	-0.4691	-0.1393
16	龙湾 L. W.	0.2491	-0.7271	0.9042	-2.0618	0.4712	0.4008	-0.3698	-0.2827	1.1631
17	菁盛 Q. S.	0.6807	-1.1235	0.9062	0.2818	0.6323	0.9886	-0.3582	-0.2495	1.3943
18	拉烈 L. L.	-0.0055	-1.5838	0.5185	0.6776	0.3833	-0.4008	-0.3465	-0.1100	-0.5139
19	百旺 B. W.	-3.5679	-1.4998	-2.0065	0.7750	-0.0757	-0.5611	-0.2102	-0.4194	-1.3619
20	加贵 J. G.	0.1826	0.4052	0.4417	1.3263	0.5249	1.0955	-0.3465	-0.4387	-1.0753
21	拉仁 L. R.	0.1125	-1.3654	-0.1211	0.0902	0.0366	-1.3093	-0.3037	-0.3848	-1.3306
22	九渡 J. D.	0.4206	-1.1135	0.9023	-0.6863	0.4516	-0.7214	-0.3854	-0.4566	-0.0138
	均值 Mean	46.35	73.18	24.97	109.16	20.53	0.35	205.00	44.27	75.28
	方差 Variance	5.42	2.91	4.96	11.63	2.00	0.18	250.97	70.75	47.08

表4 各乡镇因子得分表

Table 4 Factors' score of various villages and towns

序号 code	乡镇 villages and towns	因子得分 factor score				Σ总得分 total score	序号 code	乡镇 villages and towns	因子得分 factor score				Σ总得分 total score
		第一 first	第二 second	第三 third	第四 fourth				第一 first	第二 second	第三 third	第四 fourth	
1	澄江 D. J.	1.926	2.342	-0.104	-1.058	1.141	12	保安 B. A.	-0.494	-1.565	-1.132	0.195	-0.678
2	古山 G. S.	0.472	1.688	-2.746	-1.427	0.040	13	板岭 B. L.	-0.858	3.328	1.015	-0.485	0.517
3	安阳 A. Y.	4.084	-0.804	-0.545	0.201	1.312	14	永安 Y. A.	-1.747	0.360	0.976	0.167	-0.430
4	地苏 D. S.	0.007	1.443	0.843	-2.108	0.240	15	三只羊 S. Z. Y.	-0.034	-0.280	-0.280	-0.473	-0.160
5	三弄 S. L.	0.712	1.538	1.183	-2.411	0.547	16	龙湾 L. W.	1.516	-1.690	-1.691	0.669	0.025
6	东庙 D. M.	-0.270	-1.363	-0.356	0.057	-0.453	17	菁盛 Q. S.	-1.632	-0.829	0.246	0.955	-0.679
7	高岭 G. L.	0.419	-0.605	-0.267	-0.356	-0.049	18	拉烈 L. L.	-2.634	0.122	0.368	1.515	-0.774
8	五竹 W. Z.	-0.027	-0.286	-0.316	0.405	-0.079	19	百旺 B. W.	-1.902	2.383	1.133	2.398	0.204
9	大兴 D. X.	1.280	-1.862	0.472	0.422	0.173	20	加贵 J. G.	0.825	-0.658	1.924	-0.048	0.427
10	下坳 X. A.	2.456	-0.127	-0.461	-0.459	0.794	21	拉仁 L. R.	-2.016	-1.073	-0.431	1.091	-0.960
11	隆福 L. F.	-1.189	-0.675	1.020	-0.230	-0.484	22	九渡 J. D.	-0.896	-1.386	-0.852	0.978	-0.675

表5 都安石漠化的驱动力综合指数等级及所包括乡镇

Table 5 Synthetic index grade of driving force for Du'an rocky desertification and the involved villages and towns

等级 grade	石漠化或驱动力指数(RDI or DFI)	范围 scope	乡镇 villages and towns
1	石漠化指数(RDI)	< 15	保安、板岭、永安、拉仁
	驱动力指数(DFI)	< -0.4	板岭、百旺、地苏
2	石漠化指数(RDI)	< 35	下坳、五竹、隆福、拉烈、百旺
	驱动力指数(DFI)	-0.4~0.2	下坳、隆福、三弄、加贵、澄江、东庙
3	石漠化指数(RDI)	< 55	东庙、加贵、大兴、菁盛、安阳、高岭、古山
	驱动力指数(DFI)	0.2~0.6	永安、大兴、高岭、安阳、拉烈、菁盛、古山
4	石漠化指数(RDI)	> 56	地苏、三弄、澄江、龙湾、九渡、三只羊
	驱动力指数(DFI)	> 0.6	龙湾、保安、五竹、九渡、拉仁、三只羊

从表4可知,石漠化因子的综合得分越大,可能发生的石漠化强度越大,但不是代表现在已发生的石漠化强度。前文提到,1999年都安县石漠化分布具有中部喀斯特石漠化程度要比四周的强度大、由中部逐渐向四周减弱的趋势特征,根据1999年都安各乡镇石漠化指数值将其石漠化强度分为4个等级(表5)。另一方面,根据石漠化驱动因子的综合得分将石漠化的驱动指数也划分为4个等级(表5),并绘制成都安县喀斯特石漠化的驱动力综合指数图(图3)。对比两者相应级别所包括的范围,所建的驱动力指数模型输出结果与遥感调查有相对一致性,表明石漠化动力指数能较好地反映该地区石漠化过程。但两者之间存在一定的差异性,原因是石漠化指数表示石漠化现状强度,而驱动力综合指数指的是表示石漠化的可能趋势,一种潜在能力。

3.3 采用多元回归构建驱动力模型

利用SAS统计软件对标准化后的数据(见表3)进行多元回归分析,得出以不同石漠化指数为因变量的多元回归方程。根据所计算出的F Stat值和DF值,查F分布表进行显著性检验。当 α 值为0.01时,其临界值 $F\alpha$ 为4.39,当 α 值为0.05时,其临界值 $F\alpha$ 为2.80,当 α 值为0.10时,其临界值 $F\alpha$ 为2.21。在4种石漠化程度表示值的4个回归方程中,只有石漠化指数的F Stat值符合要求,并且在0.01,0.05,0.10水平上都显著,因此,石漠化指数方程为最佳多元回归模型。

$$\begin{aligned} \text{石漠化指数} = & -0.000028 - 0.0521B_1 - \\ & 0.0020B_2 + 0.1557B_3 - \\ & 0.1896B_4 - 0.8127B_5 + \\ & 0.1549B_6 - 1.3014B_7 + \end{aligned}$$

$$1. 2804B_8 + 0. 0881B_9$$

从上述石漠化驱动力模型可看出, 石漠化指数与土壤指数和人口密度指数有很明显的反相关, 与经济密度指数密切关系。总之, 喀斯特石漠化发育演化以喀斯特地质-生态环境背景为本底, 而人类活动的剧烈扰动是石漠化形成的主要原因, 喀斯特石漠化是人地矛盾剧烈恶化的结果。

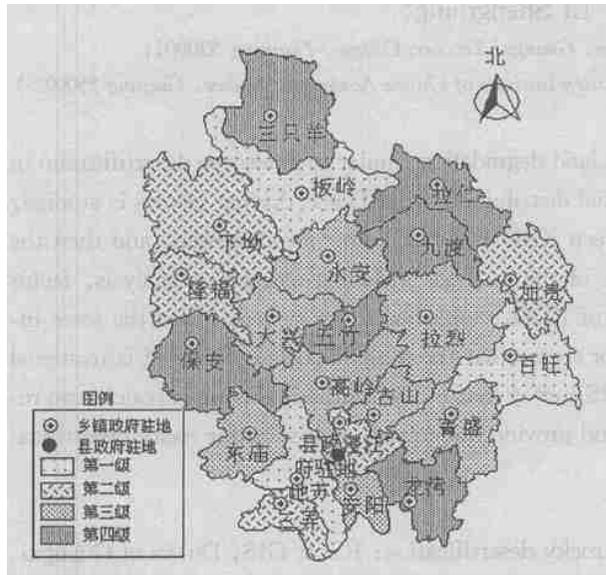


图3 基于模型分析的都安县喀斯特石漠化的驱动力综合指数示意图

Fig. 3 Synthetic driving exponent of Du'an karst rocky desertification based on model analysis

4 结论

在基于 RS 和 GIS 技术的都安喀斯特石漠化程度分级与驱动因子分析的基础上, 利用因子分析和回归分析等方法, 分析导致石漠化的影响因子, 建立了喀斯特石漠化动力指数模型。1999 年都安县石漠化分布具有中部喀斯特石漠化程度要比四周的强度高、由中部逐渐向四周减弱的趋势特征; 另一方面, 根据石漠化驱动因子的综合得分将石漠化的驱动指数也划分为 4 个等级, 并绘制成都安县喀斯特石漠化的驱动力综合指数图。对比分析得出所建的动力指数模型输出结果与遥感调查有相对一致性, 表明石漠化动力指数能较好地反映该地区石漠化过程。但表示石漠化现状强度的石漠化指数和指示石漠化可能趋势的驱动力综合指数两者之间存在一定的差异性, 这些研究结果可为喀斯特土地可持续利用和石漠化综合治理提供理论依据。本文也存在不

足之处, 例如在对喀斯特石漠化与各驱动力因子的相关性分析时, 按理论来说, 石漠化的程度与 NDVI 指数, 即地表植被覆盖变化的相关性较大, 但分析的结果与理论有些差异, 这主要是因为获取原始数据的方法不够好, 不够精确。

参考文献 (References):

- [1] Yuan Daoxian. Rocky desertification in the subtropical karst of South China. In: Webmaster. Copyrights by Karst Dynamics Laboratory and Network Center of Guangxi Normal University, 1995 - 1999
- [2] Yuan Daoxian. Karst environment systems. Proceedings of the international geographical Union Study Group [J]. *Man's Impact on Karst*, 1989: 149~ 163.
- [3] Wang Qian, Wang Wenjie, Zheng Binghui et al. The remote sensing investigation of eco-environment status in Western China [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2003, 7(6): 490~ 497. [王桥, 王文杰, 郑丙辉, 等. 中国西部地区生态环境现状遥感调查[J]. 遥感学报, 2003, 7(6): 490~ 497.]
- [4] Wu Hong, Li Jingwei. RS analysis and forecast of Du'an rocky desertification trend [J]. *National Land Resource RS*, 2002, 2 (sum52): 15~ 28. [吴虹, 李锦文. 都安石漠化趋势遥感分析与预测[J]. 国土资源遥感, 2002, 2(总 52): 15~ 28.]
- [5] Zhou Zhongfa. Application of RS & GIS technology on land rocky desertification of Guizhou karst area [J]. *Chinese Journal of Water and Soil Conservation* 2001. 21(3): 52~ 54. [周忠发. 遥感和 GIS 技术在贵州喀斯特地区土地石漠化研究中的应用[J]. 水土保持通报, 2001. 21(3): 52~ 54.]
- [6] Wang Shijie. Concept deduction and its connotation of karst rocky desertification *Casologica Sinica* 2002, 21(2): 101~ 105. [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.]
- [7] Li Tao. Application of 3S technology on land rocky desertification investigation of Guizhou karst mountain [J]. *Soil and Water Conservation in China* 2002 (6): 26~ 27. [吕涛. 3S 技术在贵州喀斯特山区土地石漠化现状调查中的应用[J]. 中国水土保持, 2002 (6): 26~ 27.]
- [8] Tan Jizhong, Zhang Bing. Preliminary study on the rocky desertification land, Yunnan Province [J]. *Journal of Geological Hazards and Environment Preservation* 14(1): 32~ 37. [谭继中, 张兵. 云南省土地石漠化特征初步研究[J]. 地质灾害与环境保护, 2003, 14(1): 32~ 37.]
- [9] Zhang Dianfa, Wang Shijie, Zhou Dequan, et al. Land rocky desertification eco-environment backgrounds and its driving mechanism [J]. *Rural Ecological Environment* 2002, 18(1): 6~ 10. [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[J]农村生态环境, 2002, 18(1): 6~ 10.]
- [10] Xiong Kangning, Li Pen, Zhou Zhongfa, et al. Karst rocky desertification RS & GIS typical study. Beijing: Geology Press. 2002. [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.]

Diving Mechanism Diagnosis of Karst Rocky Desertification in Du' an Yao Autonomous County of Guangxi based on RS and GIS

HU Baoqing^{1,2}, LIAO Chimei¹, YAN Zhiqiang¹, JIANG Shufang¹,
HUANG Qiuyan¹, LI Shengming¹

(1. Department of Resource e& Environment Science, Guangxi Teachers College, Nanning 530001;

2. National Laboratory of Environmental Geochemistry, Geochemistry Institute of Chinese Academy of Science, Guiyang 550002)

Abstract: Karst Rocky Desertification (KRD) means the land degradation similar to landscape desertification in the karst area. Based on GIS and RS technique, the spatial distribution of KRD and driving factors is studied, and the 1: 100 000 map is made. The relationships between KRD and each factor are discussed, and then the system of influential factors indexes is built. Making use of the methods including correlation analysis, factor analysis and regression analysis, we have affecting factors of KRD, established index system, found the force index model. calculation of contribution of various factors for shows that the most important factor of is irrational human activity. The coinciderce between the model and RS survey that rocky Synthetic driving exponent can reflect rocky desertification procession of the studied area and provide theoretical foundation for rocky desertification regulation

Key words: diagnosis analysis; diving mechanism; karst rocky desertification; RS & GIS; Du' an of Guangxi