

喀斯特石漠化与地质-生态环境背景的空间相关性分析

——以广西都安瑶族自治县为例

胡宝清^{1,2}, 严志强¹, 廖赤眉¹, 韦小妮¹, 覃开贤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:分析都安瑶族自治县喀斯特石漠化分布特征, 依托 GIS 和 RS 技术, 采用定性和定量相结合的分析方法, 选出分析喀斯特石漠化的地质-生态环境背景因素。运用主成分分析法, 得出喀斯特石漠化的地质生态环境指数, 并绘制都安县地质-生态环境指数图, 揭示石漠化与其地质-生态环境背景因素的空间相关性。利用多元回归方法, 通过检验其显著度选出最佳的回归模型, 为喀斯特石漠化生态重建提供依据。

关键词:喀斯特石漠化; 地质-生态环境背景; 相关性分析; 都安

中图分类号: P642.25

文献标识码: A

文章编号: 1001-5221(2004)03-0226-05

喀斯特石漠化是指在亚热带脆弱的喀斯特环境背景下, 受人类不合理社会经济活动的干扰破坏, 造成土壤严重侵蚀, 基岩大面积出露, 土地生产力严重下降, 地表出现类似荒漠景观的土地退化过程^[1]。现已认识到石漠化是一种与脆弱生态环境地质背景和人类活动相关联的土地退化过程^[2-4], 但已往的研究侧重于石漠化现状与地质背景调查, 忽视了石漠化的地质-生态环境的统计与动力模型相结合的驱动机制分析。本文以都安瑶族自治县为例, 依托 RS 和 GIS 技术, 采用主成分与多元回归相结合的分析方法, 探讨喀斯特石漠化与地质-生态环境背景的空间相关性, 为喀斯特石漠化生态重建提供依据。

1 研究区概况及其石漠化分布的特征

1.1 研究区概况

都安瑶族自治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。地貌上除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陵外, 绝大部分为典型岩溶地貌, 石山面积 3 634 km², 占总面积 89%, 素有“千山万弄”之称^[5]。气候属亚热带季风气候区, 年均气温 18.2 ~ 21.7℃, 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%。都安喀斯特地貌广布, 人地矛盾突出, 是生态环境较差且资源环境保护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, 针对广西喀斯特山区的遥感数据源的特点, 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, 采用 TM 影像的 5、4、3 波段假彩色合成, 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 3 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人机对话目视解译方法, 生成 1:10 万都安喀斯特石漠化的分级分布图。

都安瑶族自治县石漠化的分布面积占全县土地面积的 29.8%, 占碳酸盐岩出露面积的 93.47%。

收稿日期: 2004-01-07; 修订日期: 2004-06-07

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40161004, 40361002); 广西“新世纪十百千人才工程”人选专项资金 (2001221); 广西自然科学基金项目 (桂科基 0236046); 广西师院前期基础研究项目 (02120A06)

作者简介: 胡宝清 (1966-), 男, 博士后, 副教授, 主要从事喀斯特环境与山地科学研究, (E-mail) hbq1230@sina.com。

石漠化分布大致为:县域中部喀斯特石漠化程度要比四周强度大,集中连片分布于县城南部及北部地区,东部也有零星分布,总体上呈现由中部逐渐向四周减弱的趋势。其中轻度石漠化比例为 17.39%,主要分布在古山、地苏、隆福、菁盛 4 个乡镇;中度石漠化的比例为 8.5%,主要分布在澄江、高岭、大兴、板岭、龙湾 5 个乡镇;强度石漠化的比例为 3.28%,主要分布在安阳、五竹、下坳、拉烈、九渡 5 个乡镇;其余的三弄、东庙、保安、永安、三只羊、百旺、加贵和拉仁等 8 个乡镇石漠化很少,称为无石漠化区。

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

Tab.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			地质-生态环境背景指数	
名称	代码	表达式	名称	代码
比例 RDR	RD_L	$RD_L + RD_M + RD_H$	岩性指数 LT	B_1
指数 RDI	RD_2	$1 * RD_L + 1.5 * RD_M + 2 * RD_H$	降水变率 PCR	B_2
变化率 RDC	RD_3	$(RD_{2-99} - RD_{2-88}) / RD_{2-88} * 100$	地貌指数 MT	B_3
综合指数 $SRDI$	RD_4	$(RD_L + RD_M + RD_H) / 3$	$NDVI$ 变化指数 $NDVIC$	B_4
			土壤指数 SD	B_5

注: RD_L 为轻度石漠化比率, RD_M 为中度石漠化比率, RD_H 为强度石漠化比率。石漠化比例 (RDR) 是指石漠化占总面积的比率, 它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; 石漠化变化率 (RDC) 指的是不同时期石漠化面积的变化, 它直接的反映了一个地区石漠化的变化情况。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。岩性指数 (LT), 降水变率 (PCR), 地貌指数 (MT), $NDVI$ 变化指数 ($NDVIC$), 土壤指数 (SD)。

2.2 数据处理与同化

在确立了喀斯特石漠化的地质-生态环境背景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, 建立了地质-生态环境背景影响因子数据库, 再进一步进行数学分析。

2.2.1 数据准备和指标量化 在所选 5 个指标中, 岩性类型、地貌类型、土壤类型是专题地图, 经过数字化处理直接生成 Arc/Info 的 coverage 数据格式, 而对降水变率、植被指数则需要进行专题数字地面模型处理^[6], 所得结果揭示了驱动力指数的空间差异, 为石漠化生态重建提供有针对性的依据。

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, 才能和其它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。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

2 研究方法

2.1 地质-生态环境背景指标的选择

喀斯特石漠化的形成是一个复杂的过程, 导致石漠化的因素是多种多样的。总体来说, 影响喀斯特石漠化的因素主要可以分为两大类, 即地质-生态环境背景指标和社会经济驱动指标。地质-生态环境主要包括 5 个指标, 即岩性、水热条件、地貌、 $NDVI$ (绿度变化) 指数和土壤。喀斯特石漠化程度及各表达式与地质-生态环境背景指标及代码如表 1 所示。

取按行政单元对该统计变量直接栅格化。

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。空间采样涉及采样密度的问题, 采样密度太高, 势必造成数据冗余, 密度太低, 又会导致信息丢失^[7]。首先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^[8]。

2.3 地质-生态环境驱动模型的建立

喀斯特石漠化的形成是一个多因子综合作用的产物, 因此采用主成分和多元回归等分析方法来建立喀斯特石漠化的地质-生态环境驱动模型。

2.3.1 主成分分析方法 主成分分析是把原来多个指标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。主成分分析的步骤:①原始地理数据标准化处理;②计算相关系数矩阵;③计算特征根值和特征向量;④计算贡献率和累积贡献率;⑤计算主成分载荷;⑥计算主成分得分。

2.3.2 多元回归模型的建立 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。地理系统的显著特点就是多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 都安喀斯特石漠化与其地质-生态环境背景相关性分析

3.1 石漠化的地质-生态环境背景的综合指数

运用主成分分析法,分析都安县喀斯特石漠化与地质-生态环境背景的相关性。首先将石漠化程度和地质-生态环境背景的原始数据进行标准化(表2);再经过计算得出地质-生态环境背景各个因

表2 标准化数据表

Tab.2 Standardized data

代码	乡镇	RD_1	RD_2	RD_3	RD_4	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5
1	澄江	0.148	0.321	-0.149	0.149	-0.154	0.151	-0.292	-0.019	-0.310
2	古山	-0.255	0.853	-0.223	0.039	0.000	-0.151	-0.457	-0.309	-0.705
3	安阳	0.383	0.023	-0.035	0.291	0.102	0.151	0.198	-0.239	0.153
4	地苏	0.180	-0.047	-0.116	0.019	-0.018	0.296	-0.198	0.311	-0.380
5	三弄	0.196	0.097	-0.116	0.104	0.136	0.441	0.064	0.294	-0.199
6	东庙	0.046	-0.040	0.781	0.326	0.147	0.010	0.163	-0.092	0.151
7	高岭	0.125	-0.061	-0.130	-0.044	0.048	0.075	0.015	-0.032	-0.018
8	五竹	-0.102	0.005	-0.027	-0.080	0.106	-0.064	0.198	-0.096	0.126
9	大兴	0.021	-0.079	-0.061	-0.063	0.134	-0.096	0.171	-0.018	0.121
10	下坳	-0.174	-0.119	0.031	-0.139	-0.260	0.277	-0.250	-0.266	0.076
11	隆福	-0.270	-0.146	-0.158	-0.418	0.147	0.075	-0.180	0.219	0.128
12	保安	-0.180	-0.124	0.025	-0.153	0.147	-0.022	-0.008	-0.229	0.161
13	板岭	-0.224	-0.133	-0.069	-0.285	-0.372	0.236	-0.156	0.215	-0.085
14	永安	-0.198	-0.128	0.103	-0.089	0.099	-0.005	0.196	0.244	0.111
15	三只羊	0.128	-0.040	-0.093	0.005	0.147	0.157	0.199	-0.070	0.138
16	龙湾	0.489	0.032	-0.120	0.291	0.053	-0.159	0.197	-0.450	0.103
17	菁盛	-0.119	0.068	-0.181	-0.216	0.145	-0.245	0.198	0.061	0.138
18	拉烈	-0.048	-0.085	0.222	0.167	-0.001	-0.346	0.113	0.148	0.084
19	百旺	0.166	-0.085	0.096	0.203	-0.761	-0.327	-0.438	0.169	-0.017
20	加贵	0.160	0.036	0.104	0.232	0.039	0.088	0.096	0.289	0.115
21	拉仁	-0.292	-0.149	-0.158	-0.437	0.024	-0.298	-0.026	0.020	0.008
22	九渡	-0.181	-0.126	0.275	0.099	0.090	-0.243	0.197	-0.150	0.099

素变量的特征值、贡献率,其中前3个主成分的累计贡献率为85.78%,可反映原来各要素所表示的主要特征;进而逐步算出主成分载荷和每个主成分得分(表3)。根据综合得分将石漠化的地质-生态环境背景指数划分为4个等级:1级(-24.115~-19.545)包括澄江、地苏、板岭和百旺等4个乡镇,2级(-19.544~-14.975)包括古山、三弄、下坳、

隆福和加贵等5个乡镇,3级(-14.974~-10.405)包括安阳、东庙、高岭、五竹、大兴、保安、永安、三只羊、菁盛、拉烈和拉仁等11个乡镇,4级(-10.404~-5.835)包括龙湾和九渡2个乡镇。据此,以都安县行政区划地图为底图,绘制出都安县喀斯特石漠化的地质-生态环境背景指数的空间分布图(图1)。

表 3 都安石漠化的驱动力主成分得分及其综合指数与等级

Tab.3 Principal composition's score and their synthetic index grade of driving force for Du'an rocky desertification

代码	乡镇	主成分得分			Σ综合得分	等级
		Y'₁	Y'₂	Y'₃		
1	澄江	7.77	-35.16	7.65	-19.74	2
2	古山	8.37	-32.05	5.19	-18.49	1
3	安阳	17.20	-34.10	6.13	-10.77	3
4	地苏	7.35	-38.68	9.50	-21.83	1
5	三弄	11.53	-39.41	9.18	-18.69	2
6	东庙	16.49	-35.03	7.16	-11.38	2
7	高岭	13.36	-35.43	7.54	-14.54	3
8	五竹	16.54	-34.76	7.26	-10.95	4
9	大兴	16.06	-35.36	7.76	-11.54	3
10	下坳	9.85	-33.20	6.39	-16.96	2
11	隆福	11.25	-37.57	9.13	-17.19	2
12	保安	15.81	-33.63	6.19	-11.63	4
13	板岭	6.46	-37.09	9.88	-20.75	1
14	永安	14.28	-37.80	9.57	-13.95	3
15	三只羊	16.49	-35.65	7.19	-11.97	4
16	龙湾	18.30	-31.40	4.98	-8.11	4
17	菁盛	16.15	-35.68	8.43	-11.10	3
18	拉烈	13.61	-35.82	9.34	-12.87	3
19	百旺	1.86	-34.25	10.79	-21.60	1
20	加贵	12.48	-38.25	9.90	-15.86	2
21	拉仁	12.99	-34.79	8.25	-13.54	4
22	九渡	16.86	-33.79	7.05	-9.89	4

元回归分析^[8],得出以不同石漠化指数为因变量的多元回归方程:

$$RD_1 = -0.0002 - 0.6597B_1 + 0.3571B_2 + 0.9639B_3 - 0.2408B_4 - 0.4115B_5, \quad (1)$$

$$RD_2 = -0.000014 + 0.1703B_1 - 0.1348B_2 + 0.0428B_3 - 0.3047B_4 + 0.8918B_5, \quad (2)$$

$$RD_3 = 0.000052 - 0.2072B_1 - 0.0777B_2 + 0.2602B_3 + 0.0128B_4 + 0.2365B_5, \quad (3)$$

$$RD_4 = -0.000075 - 0.6761B_1 + 0.1021B_2 + 1.0196B_3 - 0.2869B_4 - 0.5967B_5, \quad (4)$$

进行显著性检验表明,在所有的回归模型中,只有石漠化指数多元线性回归模型线性回归显著,而且它在 α 值为 0.01,0.05,0.10 水平上都显著,该回归模型是最佳的回归模型。通过 F 检验可知, B_1, B_2, B_3, B_4, B_5 对石漠化指数的影响已达高度显著水平,故它们之间的线性关系是非常密切的。最后得出石漠化地质-生态环境背景指数的最佳多元回归模型:

$$RD_2 = -0.000014 + 0.1703B_1 - 0.1348B_2 + 0.0428B_3 - 0.3047B_4 + 0.8918B_5. \quad (5)$$

4 结语

石漠化发生过程实际上是人为活动破坏生态平衡所导致的地表覆盖度降低的土壤侵蚀过程。因此导致石漠化发生发展的影响因素,应该包括人类活动和脆弱的地质-生态环境背景两方面。本文是在分析都安瑶族自治县喀斯特石漠化分布特征基础上,依托 GIS 和 RS 技术,采用定性和定量相结合的分析方法,仅从地质-生态环境背景这一自然环境因素去研究它与喀斯特石漠化的空间相关性,并绘制都安县喀斯特石漠化的地质-生态背景指数图。运用主成分分析法,得出喀斯特石漠化的地质生态环境背景指数,将之划分等级,最后建立多元回归模型,通过检验回归模型的显著度,选出最佳的回归模型。影响石漠化的形成既有自然的因素,也有人为的因素。随着社会经济和人类社会活动的发展,人为因素越来越成为石漠化发生的主导因子。因此,在作者另一论文中分析石漠化的社会经济驱动因素及其喀斯特石漠化的空间相关性,进一步研究石漠化在不同时空尺度下的驱动机制,特别是人类驱动力。确定自然因素和人文作用对石漠化过程正负面影响以及各自的贡献率。

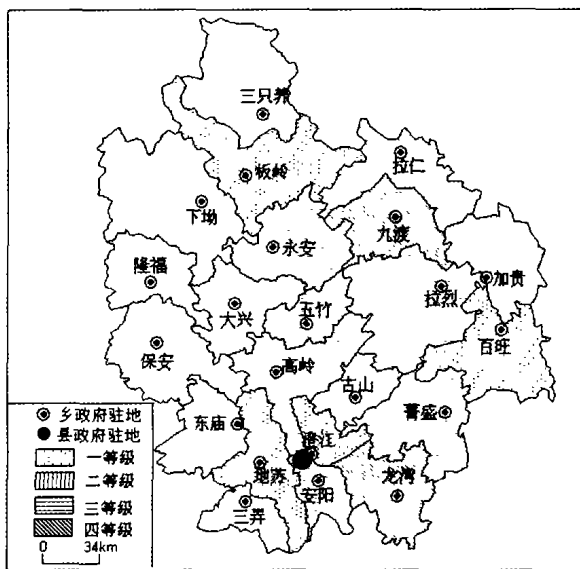


图 1 都安县喀斯特石漠化的地质-生态环境背景指数图

Fig.1 Geo-eco-environment background index of Du'an rocky desertification

3.2 石漠化的地质-生态环境背景指数模型

利用 SAS 统计软件对标准化后的数据进行多

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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
- [3] 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空间相关分析[J]. 地理学报, 2003, 58(2): 314-320.
- [4] 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.
- [5] 都安瑶族自治县土地局. 都安瑶族自治县土地志[M]. 南宁: 广西人民出版社, 2001.
- [6] 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.
- [7] 田光进, 张增祥, 赵晓丽, 等. 中国耕地土壤侵蚀空间分布特征及生态背景[J]. 生态学报, 2002, 22(1): 10-16.
- [8] 胡月明, 冯艳芬, 李强, 等. 基于SPSS的中山市国家级生态示范区生态经济分区研究[J]. 经济地理, 2001, 21(5): 614-619.

AN ANALYSIS ON THE SPATIAL RELATIONSHIP BETWEEN KARST ROCKY DESERTIFICATION AND GEOLOGICAL ECO-ENVIRONMENT BACKGROUNDS ——A Case Study of Du'an County

HU Bao-qing^{1,2}, YAN Zhi-qiang¹, LIAO Chi-mei¹, WEI Xiao-ni¹, QIN Kai-xian¹

(1. Faculty of Resource & Environment Science, Guangxi Teachers College, Nanning 530001, China; 2. National Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China)

Abstract: Du'an County is a less developed area where Karst landforms are broad distributed, eco-environment is frail, and the contradiction between environmental protection and socio-economic development is more serious. According to classification of Karst rocky desertification, and in consideration of the characteristics RS data source in Karst mountain area, vegetation coverage degree, bareness rate of base rock, vegetation type and its degeneration rate are selected as differentiating indexes of intensity of rocky desertification on RS image. With artificial multicolor synthesis from 5, 4 and 3 wave band on TM image, Karst rocky desertification in Guangxi may be classified into three grades, which are gentle, medium and intense. The proportions of the three grades in Du'an are 17.39%, 8.5% and 3.28%, respectively. Rocky desertification in the county is intense in central part and more gentle in peripheral areas. There exist various manifold affecting factors resulting in rocky desertification, which may be collectively summed up into two kinds, namely, geo-eco-environment background indexes and socio-economic driving indexes, and the former are mainly composed of five indexes, namely, lithology, water-heat conditions, landform, NDVI and soil. Geo-eco-environmental driving model of Karst rocky desertification is established by principal component analysis and poly-regressive methods. Geo-eco-environmental background indexes of Karst rocky desertification are calculated by means of principal component analysis, and the spatial relationship between rocky desertification and geo-eco-environment background is studied. Geo-eco-environment indexes of Du'an rocky desertification is divided into four grades, and then Du'an Karst rocky desertification index map is made. Finally, an optimum poly-regressive model is established, which would be useful to ecological reconstruction of Karst rocky desertification areas.

Key words: Karst rocky desertification; Geo-eco-environmental backgrounds; Correlative analysis; Du'an County