

# 岩溶地区水土流失强度的等级划分研究

——以毕节岩溶区为例

类延忠, 冯颖, 周宝同, 左太安, 张银环

(西南大学 地理科学学院, 重庆 400715)

**摘要:** 以毕节岩溶区为例, 针对岩溶区水土流失强度等级划分中存在的问题, 将主成分和聚类分析法应用于岩溶区水土流失强度等级划分中, 力求更客观地对岩溶区水土流失的强度进行等级划分, 同时在方法上进行新的探索。选择与该地区水土流失密切影响因子作为评价指标, 构建了毕节岩溶区水土流失强度评价指标体系, 然后利用主成分及聚类分析法对毕节岩溶区的 8 个县市进行了水土流失强度等级划分。结果表明, 毕节 8 个县市中, 有轻度水土流失县 1 个, 中度水土流失县 5 个, 强度水土流失县 2 个。研究结果比较客观地反映了毕节岩溶区水土流失的现状, 可为该地区的水土保持与治理提供依据。

**关键词:** 主成分分析法; 聚类分析法; 毕节岩溶区; 侵蚀强度

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2013)02-0221-05

中图分类号: S157.2

## Grade Classification of Soil Erosion Intensity in Karst Area

—With Bijie Karst Area as an Example

LEI Yan-zhong, FENG Ying, ZHOU Bao-tong, ZUO Tai-an, ZHANG Yin-huan

(School of Geography Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** In light of the problems in soil erosion intensity classification, principal component analysis and clustering analysis method were applied in soil erosion classification of Bijie karst area as an example for exploring new classification method which reflects the reality better. A number of impact factors of soil erosion were chosen as the evaluation indices to build an evaluation index system, which forms the basis for the soil erosion intensity classification in the eight counties of Bijie karst area. The results showed that one county experienced mild soil erosion, five were moderate erosion grade and two were severe. The findings reflected well the current situation of soil erosion in Bijie karst area, and can provide the basis for soil and water conservation and management in the region.

**Keywords:** principal component analysis; clustering analysis method; Bijie karst area; erosion intensity

以水土流失、石漠化、旱涝、地面塌陷、土地生产力低下、经济落后和人民生活困难为总体特征的岩溶地区生态脆弱性, 已是全球性的环境问题<sup>[1]</sup>。我国西南地岩溶地区岩溶总面积  $7.80 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 人口约 1 亿人, 是珠江、长江和流向东南亚诸多国际河流的源头区或重要的水源补给区, 其水土保持的地理位置非常重要<sup>[2]</sup>。但我国早期的水土流失研究主要集中在西北黄土高原区, 岩溶区水土流失的研究则比较晚, 从 20 世纪 80 年代起, 专家与学者逐步开始对广西、贵州等地岩溶区的水土流失进行初步研究, 之后在国家实施的诸多解决西南岩溶区经济落后与生态脆弱

的项目和规划中, 把岩溶区的水土流失及防治放到重要位置<sup>[2-5]</sup>。

水土流失强度是水土流失治理和水土保持规划的重要依据<sup>[2]</sup>, 具体、客观地对岩溶区水土流失进行强度等级划分成为水土流失研究的重要内容。由于岩溶生态环境的复杂性、脆弱性和差异性决定了岩溶地区水土流失的特殊性。在岩溶石漠化区, 水土流失的治理力度小, 虽然每年的水土流失面积变化不大, 但由于大部分岩溶区土壤厚度非常薄, 有的甚至无土可流, 因此, 岩溶区水土流失的实际流失量比较小, 但其相对流失量非常大, 即使少量的土壤流失都会导致

收稿日期: 2012-05-20

修回日期: 2012-06-07

资助项目: 国家星火计划项目“毕节农村信息化及实用技术”(2011GA820007); 贵州科技基金项目[黔科合 J 字(2011)2033 号]

作者简介: 类延忠(1989—), 男(汉族), 山东省蒙阴县人, 学士, 主要从事水土保持等方面研究。E-mail: lyzh1989@yahoo.cn。

通信作者: 周宝同(1965—), 男(汉族), 重庆市人, 副教授, 博士, 主要从事土地利用与地表覆被变化研究。E-mail: zbt1217@yahoo.com.cn。

耕地面积的丧失和石漠化的加剧<sup>[6]</sup>。本研究针对岩溶水土流失区生态环境的特殊性引入主成分和聚类分析法<sup>[7-10]</sup>,首先利用主成分分析法对岩溶区水土流失的影响因素进行主成分提取,然后再利用聚类分析法从整体上对该地区各县市进行水土流失强度等级的分类。以期对岩溶区水土流失的研究提供新的方法,同时为决策者采取合适的水土保持对策和管理措施提供科学依据。

## 1 研究区概况

毕节地区是典型的岩溶山区,也是我国西南地区水土流失最严重的地区之一。位于贵州省西北部,地处东经 103°36′—106°43′,北纬 26°21′—27°46′,该区辖毕节市、大方县、黔西县、金沙县、织金县、纳雍县、威宁县、赫章县等 8 个县市,土地总面积  $2.69 \times 10^4$  km<sup>2</sup>。境内地势西高东低,山峰林立,河流密布,山地、谷地、高原、盆地、平坝、洼地、峰丛、槽谷、岩溶湖等交错其间,地质构造复杂,褶皱、断裂交错发育,岩溶地貌形态复杂多样,是贵州省最典型的喀斯特岩溶地貌区<sup>[11]</sup>。气候主要为亚热带季风性湿润气候,也有温带和寒温带气候,该地区的植被属亚热带常绿阔叶林区,亚热带常绿阔叶林为主要植被类型。多年平均气温 10.5~15.1℃,年平均降水量为 850~1 450 mm,全年降水主要集中在夏季。

## 2 水土流失强度等级评价指标体系的构建

### 2.1 评价指标的选择

影响毕节地区水土流失的因素有很多,为了能对该地区水土流失的强度进行客观地划分,须建立起反

映毕节地区水土流失强度的划分指标体系,才能对毕节地区的水土流失有一个全面客观的认识。以往的研究在评价水土流失强度时主要采用地形、坡度、植被、土壤、降雨等自然因素和农业人口密度、垦殖指数等人为因素作为评价指标<sup>[12]</sup>。本研究在此基础上增加了中强度石漠化面积比重和喀斯特面积比重等岩溶区特有的水土流失影响因素。考虑到水土流失治理措施的实施与管理,确定以每个市县作为一个单元,从每个单元内选择多年平均降雨量、平均坡度、森林覆盖率、山地面积比重、中强度石漠化面积比重、喀斯特面积比重、农业人口密度、垦殖指数、旱地占耕地面积比重、土壤侵蚀模数和水土流失面积比重等 11 项与该地水土流失密切相关的因子作为评价指标,构建评价指标体系(表 1),表 2 为各县市的评价指标现状值。

数据主要来源于《毕节地区年鉴 2008 年》<sup>[13]</sup>,《贵州省毕节地区第二次水土流失普查(2007 年)》和文献<sup>[14-16]</sup>。

表 1 岩溶区水土流失强度等级评价指标体系

第一指标 A	第二指标 B	第三指标 C
度岩 等溶 级区 评水 价土 指流 标失 A 强	自然因素 B <sub>1</sub>	多年平均降雨量 C <sub>1</sub>
		山地面积比重 C <sub>2</sub>
		平均坡度 C <sub>3</sub>
		森林覆盖率 C <sub>4</sub>
	人为因素 B <sub>2</sub>	农业人口密度 C <sub>5</sub>
		垦殖指数 C <sub>6</sub>
		旱地占耕地面积比重 C <sub>7</sub>
		土壤侵蚀模数 C <sub>8</sub>
	生态景观格局 B <sub>3</sub>	中强度石漠化面积比重 C <sub>9</sub>
		喀斯特面积比重 C <sub>10</sub>
		水土流失面积比重 C <sub>11</sub>

表 2 毕节地区 8 个县市水土流失强度等级评价指标现状值

地区名	多年平均降雨量/mm	山地面积比重/%	平均坡度/(°)	森林覆盖率/%	中强度石漠化面积比重/%	喀斯特面积比重/%	农业人口密度/(人·km <sup>-2</sup> )	垦殖指数/%	旱地占耕地面积比重/(t·km <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	土壤侵蚀模数/(t·km <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	水土流失面积比重/%
毕节市	954.2	53.9	14.73	31.1	10.92	69.7	350	17.3	88.99	2 770	61.31
织金县	1 402.8	54.7	15.64	40.7	7.44	78.4	322	14.1	75.12	2 810	55.11
威宁县	922.0	66.9	14.56	33.3	6.05	69.9	183	11.4	99.02	3 100	65.84
金沙县	1 048.0	61.3	14.43	37.5	11.84	78.9	221	13.5	68.85	2 370	59.37
赫章县	849.0	70.7	16.22	37.6	7.64	54.9	200	11.6	96.67	3 310	65.33
大方县	1 50.4	47.4	14.61	31.0	15.98	81.5	275	14.2	88.31	3 020	64.34
纳雍县	1 243.5	57.8	17.22	34.1	11.41	68.8	327	12.5	86.64	3 340	62.55
黔西县	958.7	38.5	12.08	35.0	13.44	92.1	313	16.0	77.28	3 300	63.36

### 2.2 研究方法 with 计算过程

#### 2.2.1 主成分分析过程 计算借助于统计分析软件

SPSS 17.0 的主成分分析功能和聚类分析功能来实现。

(1) 指标的标准化处理。计算公式为:

$$\text{正向指标处理法: } Z_{ij} = \frac{(X_{ij} - \min_j \{X_{ij}\})}{(\max_j \{X_{ij}\} - \min_j \{X_{ij}\})}$$

$$\text{负向指标处理法: } Z_{ij} = \frac{(\max_j \{X_{ij}\} - X_{ij})}{(\max_j \{X_{ij}\} - \min_j \{X_{ij}\})}$$

式中:  $Z_{ij}$ —— $i$  县市第  $j$  项指标的标准化值;  $X_{ij}$ —— $i$  县市第  $j$  项的指标值;  $\max_j \{X_{ij}\}$ ——该指标的最大值;  $\min_j \{X_{ij}\}$ ——该指标的最小值。经过标准化运算,数据得到无量纲化处理,可以进行评价分析。

(2) 求矩阵  $R$  特征值,以及对应于特征值的特征向量。表 3 为初始因子载荷矩阵,每个载荷量表示主成分与对应变量的相关系数,用表 3(主成分载荷矩阵)中的数据除以主成分相对应的特征值(表 4)开平方根便得到 3 个主成分中每个指标所对应的系数即特征向量  $A_1, A_2, A_3$ <sup>[17]</sup>。

表 3 初始因子载荷矩阵及特征向量

指 标	主成分			特征向量		
	1	2	3	$A_1$	$A_2$	$A_3$
$X_1$	0.438	-0.621	0.494	0.204	-0.368	0.403
$X_2$	-0.883	-0.373	-0.141	-0.411	-0.221	-0.115
$X_3$	-0.539	-0.489	0.620	-0.251	-0.289	0.506
$X_4$	-0.037	-0.820	-0.245	-0.017	-0.485	-0.200
$X_5$	0.651	0.472	0.112	-0.303	0.279	0.091
$X_6$	0.866	0.158	-0.246	0.403	0.094	-0.201
$X_7$	0.705	-0.017	0.631	0.328	-0.01	0.515
$X_8$	0.805	0.249	0.066	0.375	0.147	0.054
$X_9$	-0.769	0.479	0.282	-0.358	0.284	0.230
$X_{10}$	-0.358	0.471	0.487	-0.167	0.279	0.398
$X_{11}$	-0.551	0.811	-0.034	-0.257	0.48	-0.028

注:  $X_1$  为多年平均降雨量;  $X_2$  为山地面积比重;  $X_3$  为平均坡度;  $X_4$  为森林覆盖率;  $X_5$  为中强度石漠化面积比重;  $X_6$  为喀斯特面积比重;  $X_7$  为农业人口密度;  $X_8$  为垦殖指数;  $X_9$  为旱地占耕地面积比重;  $X_{10}$  为土壤侵蚀模数岩溶区;  $X_{11}$  为水土流失面积比重。

表 4 方差分解主成分提取分析

主成分	特征值	解释方差/%	累计解释方差/%	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	4.607	41.882	41.882	4.607	41.882	41.882
2	2.854	25.948	67.830	2.854	25.948	67.830
3	1.501	13.650	81.480	1.501	13.650	81.480
4	0.923	8.388	89.868			
5	0.710	6.451	96.319			
6	0.338	3.074	99.393			
7	0.067	0.607	100			
8	2.07E-16	1.88E-15	100			
9	5.65E-17	5.14E-16	100			
10	2.53E-17	2.30E-16	100			
11	-8.12E-17	-7.39E-16	100			

(3) 求贡献率和累计贡献率,选取  $M$  个主成分:根据主成分特征值大于 1 的原则,提取 3 个主成分。从表 4 可以看出,前 3 个主成分的累计贡献率之和达到 81.48%,能把水土流失等级评价指标提供信息的 81.48%反映出来。因此,用主成分分析法对水土流失强度进行等级划分是可靠的。

(4) 主成分得分和综合得分。将得到的特征向量与标准化之后的数据相乘,就可以得出主成分表达式。(  $X'$  为标准化之后的数据)

$$F_1 = 0.204X'_1 - 0.411X'_2 - 0.251X'_3 - 0.017X'_4 - 0.303X'_5 + 0.403X'_6 + 0.328X'_7 + 0.375X'_8 - 0.358X'_9 - 0.167X'_{10} - 0.257X'_{11}$$

$$F_2 = -0.368X'_1 - 0.221X'_2 - 0.289X'_3 - 0.485X'_4 + 0.279X'_5 + 0.940X'_6 - 0.01X'_7 + 0.147X'_8$$

$$+ 0.284X'_9 + 0.279X'_{10} + 0.480X'_{11}$$

$$F_3 = 0.403X'_1 - 0.115X'_2 + 0.506X'_3 - 0.200X'_4 + 0.091X'_5 - 0.201X'_6 + 0.515X'_7 + 0.054X'_8 + 0.230X'_9 + 0.398X'_{10} - 0.028X'_{11}$$

然后按所对应的特征值所占提取主成分总的特征值之和的比例作为权重计算主成分综合模型,把标准化之后的数据带入得到各县市的综合得分。

$$F = 0.055X'_1 - 0.3X'_2 - 0.136X'_3 - 0.196X'_4 - 0.052X'_5 + 0.472X'_6 + 0.252X'_7 + 0.249X'_8 - 0.056X'_9 + 0.069X'_{10} + 0.016X'_{11}$$

2.2.2 聚类分析过程 主要采用系统聚类分析法<sup>[9]</sup>,运算过程借助于统计分析软件 SPSS 17.0 来实现(表 5)。系统聚类分析法是将多种样品或变量归并为若干不同类别(以分类树形图表示)的数学方法,其每一类别内的所有个体之间具有较密切的关系,而

各类别之间的相互关系相对地比较疏远,能比较客观地描述了分类对象的各个体之间的差异和联系。当类间距取  $d=10$  时,将研究区域分为 3 类较合适。结合各县市的综合得分、排名及毕节岩溶区水土流失的具体情况,将该地区的水土流失划分为轻度水土流失、中度水土流失和强度水土流失 3 个等级。根据水土流失强度等级划分的结果,做出毕节岩溶区水土流失强度等级划分示意图(图 1)。

表 5 毕节地区各市县水土流失评价结果

地区名	综合得分	排名	类别	强度
黔西县	1.985	1	3	轻度
大方县	0.679	2	1	中度
毕节市	0.350	3	1	中度
织金县	0.205	4	1	中度
金沙县	-0.282	5	1	中度
纳雍县	-0.303	6	1	中度
威宁县	-1.089	7	2	强度
赫章县	-1.870	8	2	强度

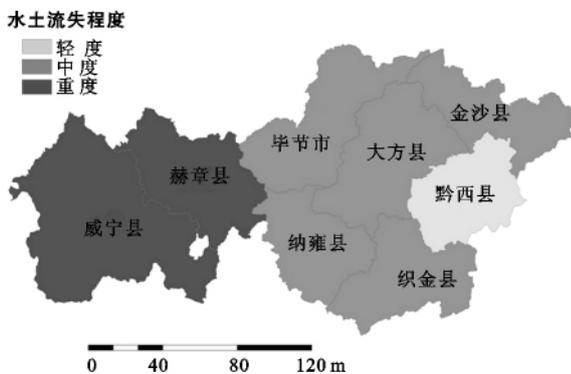


图 1 毕节岩溶区水土流失强度等级划分示意图

### 2.3 结果分析

在提取的 3 大主成分中,第一主成分与喀斯特面积比重、农业人口密度、垦殖指数的关系密切,将其归纳为农业生产状况及农业开发强度因素,强调人类活动对岩溶区的水土流失带来的影响。第二主成分与水土流失面积比重关系较密切,将其确定为水力侵蚀因素,强调该地区的降水状况、土壤性质及抗侵蚀能力。第三主成分主要与平均坡度有较强的关系,将其定义为地表形态因素,突出了岩溶区的地形地貌对水土流失的影响。

在通过主成分提取的基础上,完成的各区域水土流失强度的评价结果,各要素基本上可以反映影响研究区域水土流失强度的主要因素。在此基础上进行聚类分析,分类结果为黔西县属于轻度水土流失,大方县、毕节市、织金县、金沙县、纳雍县等 5 个县市属

于中度水土流失,威宁县和赫章县两个县属于强度水土流失,该聚类结果也客观地反映研究区域的自然条件及地理空间差异,以及水土流失的实际状况(图 1)。

由表 5 可以看出,黔西县综合得分最高,该区森林覆盖率比较高,山地面积比重、平均坡度和水土流失面积比例都较小,自然生态环境较好,水土流失问题不突出;但该县中强度石漠化面积、喀斯特面积比重大,农业人口密度和垦殖指数高,对水土流失的加剧留下了隐患,必须控制农业人口数量,减少对土地的垦殖。大方县、毕节市、织金县、金沙县、纳雍县等 5 个县市综合得分相近,这些县市森林覆盖率较低,山地面积比重高,地势不平以及喀斯特、石漠化面积比重比大,自然生态环境较差,水土流失比较严重。得分最低的威宁县和赫章县两个县,山地面积比重最大,且山高坡陡,植被较少,水土流失面积广,自然生态环境极差以及人们不合理的利用土地,造成水土流失非常严重,必须对这两县的水土流失进行综合和系统的治理。

### 3 结论

运用主成分分析和聚类分析法对毕节岩溶区水土流失的强度划分为 3 个等级,该方法强调了岩溶区特殊的脆弱生态环境,把石漠化、喀斯特面积比重列为评价指标,建立完整的评价体系,先利用主成分分析法对岩溶区水土流失的影响因素进行主成分提取,然后再利用聚类分析法从整体上对该地区各县市进行水土流失强度等级的划分。划分结果与该地区的自然环境和社会经济状况大体一致,表明了该方法的客观性与可行性。

岩溶区水土流失的防护与治理是一项长期而艰巨的任务,国家应实施岩溶区水土流失综合防治重点工程,重点治理中强度水土流失区,对轻度水土流失区采取重要的预防和恢复措施;地方政府应因地制宜,分区治理;同时,还应调整产业结构,充分利用自身的资源优势,发展生态经济,促进人与自然协调发展。在后续研究工作中,还需建立完善的水土流失监测、防护与治理体制,对岩溶区水土流失的防护与治理做进一步的探讨研究,提出更加合理的治理措施,促进岩溶区的可持续发展。

#### [参 考 文 献]

- [1] 袁道先. 我国西南岩溶石山的环境地质问题[J]. 世界科技研究与发展, 1997(5): 41-43.
- [2] 王魁, 马祖陆, 蔡德所, 等. 我国岩溶地区水土流失研究进展及发展趋势[J]. 中国水土保持, 2011(9): 30-32.

- [3] 李杰新. 亚热带岩溶地区水土流失及治理[J]. 中国水土保持, 1984(7):5-8.
- [4] 柴宗新. 论广西岩溶地区的土壤侵蚀[J]. 山地研究, 1989(4):255-260.
- [5] 蒋有保. 广西石灰岩地区水土流失及治理措施的探讨[J]. 水土保持通报, 1991, 11(3):25-28.
- [6] 蒋忠成, 曹建华, 杨德生, 等. 西南岩溶石漠化区水土流失现状与综合防治对策[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(1):37-42.
- [7] 刘黎明. 土地资源调查与评价[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2005:223-224.
- [8] 张尧庭, 方开泰. 多元统计分析引论[M]. 北京: 科学出版社, 2003:335-339.
- [9] 于秀林, 任雪松. 多元统计分析[M]. 北京: 中国统计出版社, 2003:279-283.
- [10] 李子耐, 叶阿忠. 高等计量经济学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [11] 周文霞, 郭旭辉. 岩溶地区环境友好型土地利用模式初探: 以贵州毕节地区为例[J]. 安徽农业学报, 2008, 36(31):13766-13767.
- [12] 刘纪根, 陈平仓, 喻惠华. 水土流失治理率综合评价指标体系框架研究[J]. 长江科学院院报, 2008, 25(3):82-85.
- [13] 毕节地区年鉴编辑部. 毕节年鉴(2009年)[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 2009.
- [14] 王才军, 游泳, 左太安, 等. 基于熵权灰色关联法的岩溶石漠化区土地质量评价: 以毕节试验区为例[J]. 水土保持研究, 2011, 18(4):218-222.
- [15] 贵州师范大学地理研究所, 贵州省农业资源区划办公室. 贵州省地表自然形态信息数据量测研究[M]. 贵州贵阳: 贵州科技出版社, 2000.
- [16] 陈群利, 左太安, 孟天友, 等. 基于 SPA 的毕节水土流失区生态脆弱性评价[J]. 中国水土保持, 2010(12):53-56.
- [17] 张水清, 黄绍敏, 郭斗斗, 等. 基于主成分分析法的土壤肥力评价[J]. 安徽农业学报, 2011, 39(2):1096-1097.

(上接第 220 页)

- [4] 侯光雷, 张洪岩, 郭聃, 等. 长白山区植被生长季 NDVI 时空变化及其对气候因子敏感性[J]. 地理科学进展, 2013, 31(3):285-292.
- [5] 卓莉, 曹鑫, 陈晋, 等. 锡林郭勒草原生态恢复工程效果的评价[J]. 地理学报, 2007, 62(5):471-479.
- [7] 丁明军, 张镱铨, 刘林山, 等. 青藏高原植被覆盖对水热条件年内变化的响应及其空间特征[J]. 地理科学进展, 2010, 29(4):507-512.
- [8] 李辉霞, 刘国华, 傅伯杰. 基于 NDVI 的三江源地区植被生长对气候变化和人类活动的响应研究[J]. 生态学报, 2011, 31(19):5495-5504.
- [9] 牛宝茹, 刘俊蓉, 王政伟. 干旱半干旱地区植被覆盖度遥感信息提取研[J]. 武汉大学学报, 2005, 30(1):27-30.
- [10] 李苗苗, 吴炳方, 颜长珍, 等. 密云水库上游植被覆盖度的遥感评估[J]. 资源科学, 2004, 26(4):153-159.
- [11] 宋富强, 邢开雄, 刘阳, 等. 基于 MODIS/NDVI 的陕北地区植被动态监测与评价[J]. 生态学报, 2011, 31(2):354-363.
- [12] 李贤伟, 张键, 胡庭兴. 退耕还林理论基础及林草模式的实践应用[M]. 北京: 科学出版社, 2009:13-15.