

基于主成分—聚类分析的崩岗侵蚀强度评价

冯春杰¹, 邓羽松¹, 何溢钧², 丁树文¹, 王天巍¹

(1. 华中农业大学 资源与环境学院, 武汉 430070; 2. 广西科技信息网络中心, 南宁 530022)

摘要:为了研究湖北省通城县杨垄小流域崩岗群的崩岗侵蚀强度,提高评估的可靠性,使用 RTK 测量崩岗,获取崩岗面积、主沟坡降、内部平均坡度等 11 个参数,将其作为崩岗侵蚀强度分析的评价因子,通过主成分分析提取了崩岗侵蚀强度参数的 4 个主成分因子,得出选择的 16 个崩岗侵蚀强度。结果表明:杨垄小流域不同崩岗侵蚀强度分为 3 类:2 号,5 号,10 号,11 号为高度侵蚀;8 号,15 号,16 号为中度侵蚀;其余为轻度侵蚀;小流域的中高度侵蚀型崩岗面积占崩岗群总面积的 2/3 以上,侵蚀面积较大。依据分类结果,可针对不同崩岗存在的风险因素制定对应的风险控制方案和措施,有利于崩岗的防治。

关键词:小流域;崩岗;侵蚀强度评价;主成分分析;聚类分析

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)01-0041-06

Evaluation of Collapse Erosion Intensity Based on Principal Component and Cluster Analysis

FENG Chunjie¹, DENG Yusong¹, HE Yijun², DING Shuwen¹, WANG Tianwei¹

(1. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Guangxi Science and Technology Information Network Center, Nanning 530022, China)

Abstract: In order to accurately examine the risk of sixteen collapsing valleys in the Yanglong Town of Tongcheng County, Hubei Province. A total of eleven parameters were selected as the factors for real-time kinematic analysis of the risk of collapse erosion, including area, main channel gradient, average internal slope and so on. Four principal component factors and the erosion intensities of the sixteen collapse valleys were obtained through principal component analysis. The erosion intensities of the 16 different collapsing gullies are divided into three categories: high-risk, moderate-risk and mild-risk according to cluster analysis. The high-risk group includes the second, fifth, tenth and eleventh collapse valleys. The moderate-risk group includes the eighth, fifteenth and sixteenth collapse valleys. The mild-risk group covers the other nine collapse valleys. The results show that the area of moderate-risk and high-risk groups is larger and accounts for more than two-thirds of the total area of collapse valleys. The corresponding measures should be established on the basis of the risk factors of different collapse valleys according to the result, which is of significance for the prevention and management of the collapse valley.

Keywords: small watershed; collapse valley; erosion intensity assessment; principal component analysis; cluster analysis

崩岗是我国南方最为严重的土壤侵蚀类型之一,崩岗的侵蚀不仅会使地表千疮百孔,还会破坏地表植被,甚至使得附近的良田池塘无法再生产利用,严重破坏土地资源^[1-3]。国内崩岗侵蚀研究始于 20 世纪

50 年代,主要是崩岗的侵蚀过程、分类、空间分布特征以及崩岗评价等方面。经研究,崩岗是在水力和重力侵蚀共同作用下形成的,崩壁崩塌形成崩积锥,崩积锥堆积的泥沙随水流失,崩壁临界高度升高又变陡

收稿日期:2017-12-05

修回日期:2018-04-12

资助项目:国家重点研发计划“红壤低山丘陵区水土流失演变规律与驱动机制”(2017YFC0505401);华中农业大学国家级大学生创新创业训练计划项目“地带性花岗岩土体风化特征及其与崩岗形成的关系”(201710504015)

第一作者:冯春杰(1997—),女,山东聊城人,本科生,主要从事地理信息系统与水土保持方面研究。E-mail:fcj9707@163.com

通信作者:丁树文(1964—),男,湖北孝感人,副教授,硕士生导师,主要从事水土保持与农业生态研究。E-mail:dingshuwen@mail.hzau.edu.cn

开始崩塌,如此循环往复的过程^[4-7]。牛德奎经对比研究认为,崩岗可以分为发展性崩岗、剧烈型崩岗、缓和型崩岗和停止型崩岗几种类型^[8]。在崩岗的空间分布特征方面,有学者探究安溪县崩岗侵蚀空间分布特征,也有学者研究小流域崩岗分布特征^[9-10]。在崩岗评价方面,季翔探究了基于生态位适宜度的南方花岗岩区崩岗发生敏感性评价方法,发现对崩岗发生敏感性贡献较大的空间因子为相对高差、黏粒含量和 NDVI^[11];陈嘉林通过研究区的地形地貌、水系、降雨等评价因子对福建省典型崩岗区潜在性崩岗强度进行了评估与预测;程冬兵等通过相关因子分析,筛选出风险评估指标,结合 Logistic 模型计算崩岗发生风险,在此基础上采用专家打分法计算崩岗危害风险,将发生风险与危害风险叠加,评估崩岗侵蚀发生风险^[12-13]。但尚未见通过崩岗的形态参数来评价崩岗侵蚀强度的相关报道。

主成分—聚类分析模型具有其优势性,应用广泛,具有可操作性,已应用于评价崩岗洪积扇土壤施肥效应、分析生态环境脆弱性及探究长期施肥对黑土肥力的影响等方面^[14-16]。本文以湖北省通城县杨垄小流域崩岗群为研究对象,运用主成分和聚类分析法对该流域已发生的崩岗侵蚀进行分析与评价,为治理崩岗提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

杨垄小流域位于湖北省通城县。通城县地跨东经 113°36′—114°4′,北纬 29°2′—29°24′,属于亚热带季风气候区,气候温和,四季分明,雨热同期,多年平均温度为 16.3℃,东南西三面环山,北面平坦,地势南高北低、起伏较大,东西最宽约为 45 km,南北最长约为 40.5 km,全县土地面积为 1 172 km²。杨垄小流域东西宽 0.3 km,南北长 2.4 km,土地面积 0.5 km²,崩岗主要发生在海拔 100~200 m 低缓丘陵区上,岩石类型为花岗岩,土壤类型为红壤。

1.2 研究方法

本研究采用南方测绘公司生产的灵锐 S82T RTK 进行崩岗测量,该 RTK 是单基 COR-RTK,其基准站常年固定,作业范围大,较稳定,精度较高,可靠性>99.9%,水平、垂直精度分别在 1 cm,2 cm 左右。首先使用 RTK 测量 16 个崩岗的形态、高程等数据,测量崩岗体边界线及主沟等地形特征线、地势起伏大的地方增加测量密度,以便能更精确的反映地

形变化。运用 ArcGIS 生成崩岗 DEM,空间分析计算崩岗面积,分析崩岗坡度、主沟坡降等 11 个参数。

1.3 数据分析

主成分分析法是通过降维技术将原来多个具有一定相关性的变量重新组合成一组新的相互无关的综合变量来代替原来的变量,在这过程中,保持变量的总方差不变,新变量的方差越大,表示包含的原变量信息越多。第一主成分 F_1 的方差最大,若 F_1 不能代表原变量的信息,再考虑选取变量为第二主成分 F_2 ,为了反映原来的信息, F_1 已有的信息不再出现在 F_2 中,依次类推可构造出第三,四,……,第 P 个主成分,直到 P 个主成分可反映原来变量的主要信息。聚类分析的基本原理为设集合 G 中有 m 个样本,首先每个样本独自成为一类,计算类内样本间的距离,将距离最近的两个类聚为一类,然后计算新类间的距离,并将最近的两个类聚为一类,以此循环,直到所有的类聚为一类,分为 Q 型聚类和 R 型聚类,对样本聚类称 Q 型分类,对变量聚类称 R 型聚类,本文对崩岗进行分类,故采用 Q 型聚类法。

运用 SPSS Statistics 19.0 软件进行分析,对崩岗的 11 个参数进行标准化处理,求出相对应的相关系数矩阵,然后计算相关矩阵的特征值、方差贡献率和累计方差贡献率等进行主成分分析,在确定主成分后,可建立综合主成分函数来计算每个崩岗的得分,得出杨垄小流域 16 个崩岗的排名,排名高的说明崩岗侵蚀强度程度大,同时结合 Q 型聚类评价崩岗的侵蚀强度。

2 结果与分析

2.1 主成分分析

本文选择崩岗面积(m²)、崩岗高度(m)、沟口宽度(m)、内部平均坡度(°)、崩岗坡度(°)、崩岗坡向(°)、主沟长度(m)、主沟坡降(%)、主沟平均宽度(m)、支沟个数(个)、崩岗体积(m³)共 11 个崩岗因子作为主成分分析的评价指标。各指标具有不同的量纲,先对数据进行标准化,并将标准化后的指标分别记为 $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}$ (表 1),然后计算出相关系数矩阵(表 2),进行主成分分析得到主成分因子的特征值、贡献率和累积贡献率(表 3)。特征值和累积贡献率可以表示主成分影响力大小,如果特征值小于 1,说明主成分的解释力度不够,故提取的主成分对应的特征值应大于 1。由表 3 可知,前 4 个主成分的特征值均大于 1,且方差累积

贡献率为 78.512%,大于 75%,包含了绝大多数因子的信息,能够充分表示这些指标所涵盖的信息,故提

取因子数为 4,即原来的 11 个崩岗参数可以综合成 4 个公共因子。

表 1 各指标标准化数据

崩岗编号	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁
1	-0.18	-0.50	-0.73	0.93	-1.15	0.88	2.11	-0.37	-0.36	0.05	-0.24
2	1.27	0.77	-0.08	-0.54	-1.08	0.84	2.30	-0.53	2.62	0.05	1.13
3	-0.76	-0.30	-0.51	0.84	0.42	0.65	-0.48	0.22	-0.49	-0.79	-0.64
4	-0.66	-0.53	-0.34	-0.51	2.16	0.98	0.23	1.99	-0.43	-0.79	-0.86
5	1.99	1.52	0.12	-0.39	1.43	1.12	-0.31	0.41	1.05	0.90	1.76
6	-0.94	-1.87	-0.66	0.20	-0.44	0.50	-0.30	1.22	-0.58	-0.79	-0.94
7	-0.60	-0.32	-1.13	0.73	0.49	0.65	0.05	0.68	-0.70	0.90	-0.70
8	0.65	0.29	0.44	-2.25	-0.86	0.60	-1.04	-0.02	-0.78	-0.79	1.15
9	-0.95	0.06	-0.23	-0.25	0.31	-1.48	-1.16	-1.41	0.01	-0.79	-0.90
10	1.60	-0.61	0.17	-0.86	-0.09	-0.92	0.09	1.25	1.84	0.90	1.55
11	1.01	2.06	-0.21	0.25	0.08	-0.83	0.78	-0.45	-0.15	2.59	1.25
12	-0.84	1.05	-0.77	1.45	-0.06	-0.98	-0.26	-1.01	-0.98	-0.79	-0.74
13	-1.02	-1.25	-0.13	1.36	-0.49	-0.64	-0.80	-0.43	-0.60	-0.79	-0.89
14	-0.38	0.43	0.14	0.75	-0.15	-1.42	-0.47	0.71	-0.56	0.90	-0.49
15	0.28	-0.29	3.33	-0.51	1.11	-1.14	0.15	-1.58	0.01	0.05	0.15
16	-0.50	-0.51	0.59	-1.20	-1.69	1.19	-0.89	-0.69	0.10	-0.79	-0.58

表 2 相关系数矩阵

指标	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁
X ₁	1.000	0.552	0.273	-0.487	0.061	0.115	0.365	0.064	0.733	0.603	0.983
X ₂	0.552	1.000	0.009	-0.051	0.155	-0.140	0.196	-0.293	0.217	0.579	0.573
X ₃	0.273	0.009	1.000	-0.441	0.146	-0.274	-0.104	-0.407	0.173	0.017	0.255
X ₄	-0.487	-0.051	-0.441	1.000	0.069	-0.271	0.148	-0.066	-0.375	0.076	-0.515
X ₅	0.061	0.155	0.146	0.069	1.000	-0.098	-0.143	0.318	-0.091	0.144	-0.006
X ₆	0.115	-0.140	-0.274	-0.271	-0.098	1.000	0.253	0.356	0.117	-0.219	0.081
X ₇	0.365	0.196	-0.104	0.148	-0.143	0.253	1.000	-0.003	0.464	0.362	0.303
X ₈	0.064	-0.293	-0.407	-0.066	0.318	0.356	-0.003	1.000	0.011	0.103	0.019
X ₉	0.733	0.217	0.173	-0.375	-0.091	0.117	0.464	0.011	1.000	0.278	0.657
X ₁₀	0.603	0.579	0.017	0.076	0.144	-0.219	0.362	0.103	0.278	1.000	0.580
X ₁₁	0.983	0.573	0.255	-0.515	-0.006	0.081	0.303	0.019	0.657	0.580	1.000

表 3 主成分因子的特征值、贡献率和累积贡献率

主成分	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
1	3.785	34.412	34.412
2	1.805	16.407	50.818
3	1.677	15.248	66.066
4	1.369	12.445	78.512
5	0.798	7.250	85.762
6	0.662	6.017	91.779
7	0.444	4.039	95.817
8	0.210	1.913	97.730
9	0.156	1.419	99.149
10	0.090	0.818	99.967
11	0.004	0.033	100.000

表 4 为提取的 4 个主成分在原始变量上的载荷矩阵和特征向量,表示主成分和相应指标间的相关关系,特征向量为各自主成分载荷除以对应的主成分特征值的算术平方根,即各指标在各主成分中的权重系数,其绝对值越大,则主成分对该变量的代表性越大,主成分特征向量与标准化后的数据相乘,得出主成分表达式:

$$Y_1 = 0.502X_1 + 0.323X_2 + 0.150X_3 - 0.241X_4 + 0.020X_5 + 0.036X_6 + 0.234X_7 - 0.015X_8 + 0.388X_9 + 0.339X_{10} + 0.490X_{11}$$

$$Y_2 = 0.045X_1 - 0.223X_2 - 0.457X_3 - 0.037X_4 - 0.054X_5 + 0.584X_6 + 0.263X_7 + 0.549X_8 +$$

$$Y_3 = -0.046X_1 + 0.329X_2 - 0.402X_3 + 0.600X_4 + 0.164X_5 - 0.223X_6 + 0.260X_7 + 0.060X_8 - 0.138X_9 + 0.444X_{10} - 0.061X_{11}$$

$$Y_4 = 0.069X_1 + 0.018X_2 + 0.110X_3 - 0.151X_4 + 0.716X_5 - 0.075X_6 - 0.405X_7 + 0.482X_8 - 0.170X_9 + 0.120X_{10} + 0.047X_{11}$$

通过主成分表达式,可以提取出 4 个评价崩岗侵蚀的综合指标。第一综合指标主要表示了崩岗面积,

其次表示了崩岗体积、崩壁高度、主沟长度、主沟平均宽度、支沟数,这些参数主要表示了崩岗侵蚀沟的形态以及影响范围,可总结为侵蚀沟的影响。第二综合指标主要是表示崩岗坡向、主沟坡降,可总结为崩岗走向的影响。第三综合指标主要表示了沟口宽度、内部平均坡度,本文认为它主要表示了崩岗内部的活动情况,因此我们把它总结为内部形态的影响。第四综合指标主要表示了崩岗坡度的影响。由此看出,其中侵蚀沟的影响最复杂,受到 6 个因子的作用。

表 4 主成分载荷矩阵与特征向量

崩岗 编号	主成分载荷矩阵				主成分特征向量			
	第一主 成分 Y_1	第二主 成分 Y_2	第三主 成分 Y_3	第四主 成分 Y_4	第一主 成分 Y_1	第二主 成分 Y_2	第三主 成分 Y_3	第四主 成分 Y_4
1	0.976	0.060	-0.060	0.080	0.502	0.045	-0.046	0.069
2	0.629	-0.300	0.426	0.021	0.323	-0.223	0.329	0.018
3	0.293	-0.614	-0.521	0.128	0.150	-0.457	-0.402	0.110
4	-0.469	-0.050	0.777	-0.176	-0.241	-0.037	0.600	-0.151
5	0.038	-0.072	0.213	0.837	0.020	-0.054	0.164	0.716
6	0.069	0.785	-0.289	-0.088	0.036	0.584	-0.223	-0.075
7	0.456	0.353	0.337	-0.474	0.234	0.263	0.260	-0.405
8	-0.029	0.738	0.078	0.564	-0.015	0.549	0.060	0.482
9	0.755	0.183	-0.179	-0.199	0.388	0.136	-0.138	-0.170
10	0.659	-0.087	0.575	0.141	0.339	-0.065	0.444	0.120
11	0.954	0.014	-0.079	0.054	0.490	0.010	-0.061	0.047

主成分的得分是相应的因子得分乘以相应特征值的算术平方根。分别计算出崩岗的 4 个主成分得分,再以每个主成分的贡献率算术平方根对主成分得分进行加权平均,得出主成分综合得分函数: $Y = 34.412\% \times Y_1 + 16.407\% \times Y_2 + 15.248\% \times Y_3 + 12.445\% \times Y_4$, 结果见表 5。求出的各个崩岗综合得分可以显示出崩岗的侵蚀强度,排名越靠前,说明该崩岗侵蚀强度越高;相反,排名越靠后,该崩岗侵蚀强度越低。

将表 1 中标准化数据代入主成分与各指标的线性关系式中,可得到各主成分的得分及排名。由表 5 可知,在第一主成分下 2,5 号崩岗得分最高,在第二主成分下 4,6 号崩岗得分最高,在第三主成分下 11,12 号崩岗得分最高,在第四主成分下 4,5 号崩岗得分最高,因为各指标在 4 个主成分中的权重系数不同,故各主成分下的得分有差异。根据综合主成分函数得出的崩岗侵蚀强度程度顺序为 5 号 > 11 号 > 10 号 > 2 号 > 4 号 > 7 号 > 1 号 > 8 号 > 14 号 > 15 号 > 3 号 > 6 号 > 12 号 > 16 号 > 9 号 > 13 号。

2.2 聚类分析

采用平方 Euclidean 距离来衡量各崩岗侵蚀间的差异,用 Ward 法对各崩岗侵蚀水平进行聚类分析,将不同崩岗进行归类,得到各崩岗的聚类树状图(图 1),可反映出崩岗间侵蚀的相似性。由图 1 可以看出各崩岗的归类情况:2 号,5 号,10 号和 11 号崩岗体积、面积分别在 $3\,500\text{ m}^3$, 960 m^2 以上;8 号,15 号和 16 号崩岗面积均在 $350\sim 850\text{ m}^2$;1 号,3 号,4 号,6 号,7 号,9 号,12 号,13 号和 14 号崩岗面积均不超过 500 m^2 , 体积大部分在 $1\,000\text{ m}^3$ 以下。结合表 5 可将崩岗侵蚀强度分为 3 个相对等级:2 号,5 号,10 号,11 号为高度侵蚀;8 号,15 号,16 号为中度侵蚀;其余为轻度侵蚀。由杨垄小流域崩岗侵蚀强度图(图 2)可知,不同侵蚀强度的崩岗分布不均一,但都沿沟渠分布。

2.3 不同侵蚀强度型特征

通过分析其评价指标原始值可知,4 个高度侵蚀型崩岗的 11 个评价指标中大部分指标相似,其余指标略有差异,分别对各等级的衡量崩岗侵蚀程度的 11 个参数求平均值、标准差、变异系数(表 6)。

表 5 各个崩岗侵蚀强度的各主成分、综合得分及排名

崩岗编号	第一主成分 Y_1	排名	第二主成分 Y_2	排名	第三主成分 Y_3	排名	第四主成分 Y_4	排名	综合因子 Y	综合排名
1	-0.314	7	1.273	3	0.923	5	-2.105	15	-0.026	7
2	3.146	2	1.171	4	-0.299	11	-2.236	16	1.211	4
3	-1.614	13	0.566	6	0.211	6	0.273	8	-0.505	11
4	-1.187	11	1.858	1	-0.237	9	2.263	1	0.181	5
5	3.167	1	0.537	8	0.206	7	1.510	2	1.780	1
6	-2.256	15	1.537	2	-0.591	13	0.118	9	-0.764	12
7	-1.027	10	1.110	5	1.341	3	0.525	5	0.125	6
8	0.782	6	-0.085	10	-2.321	16	0.280	7	-0.081	8
9	-1.436	12	-1.855	15	-0.298	10	-0.069	11	-1.086	15
10	2.592	4	0.545	7	-0.523	12	0.685	3	1.257	3
11	2.676	3	-1.033	13	2.335	1	0.027	10	1.415	2
12	-1.643	14	-1.259	14	1.473	2	-0.651	13	-0.800	13
13	-2.416	16	-0.593	11	0.121	8	-0.532	12	-1.244	16
14	-0.538	8	-0.898	12	1.272	4	0.595	4	-0.082	9
15	0.811	5	-2.976	16	-1.360	14	0.525	5	-0.447	10
16	-0.744	9	0.103	9	-2.252	15	-1.205	14	-0.933	14

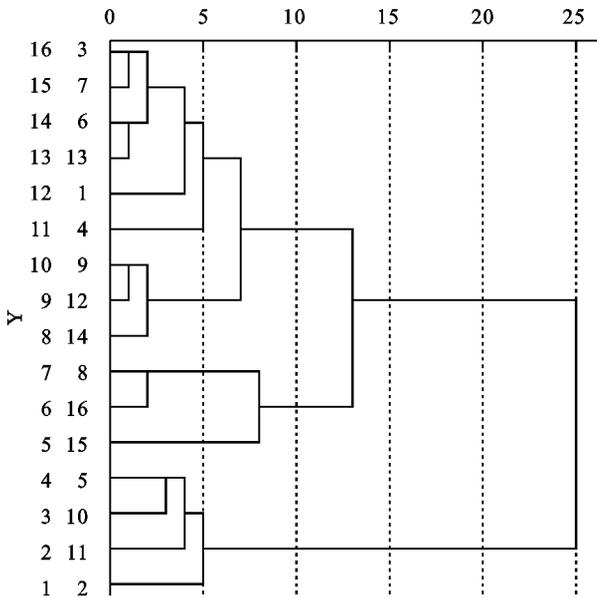


图 1 不同崩岗聚类分析

由表 6 可得出,崩岗体积波动最大,空间变化最剧烈,各个侵蚀程度的崩岗体积标准差均较大;高度侵蚀型崩岗的沟口宽度、中度侵蚀型崩岗的支沟数、轻度侵蚀型崩岗的主沟平均宽度较为稳定,标准差均较小。变异系数即随机变量离散程度的绝对值,由标准差/平均值得出,当变异系数 < 0.1 时,为弱变异性;当变异系数 > 0.1 且 < 1 时,为中等变异性;当变异系数 > 1 时,为强变异性。根据变异系数大小对表 6 中不同侵蚀程度的崩岗各参数进行变异

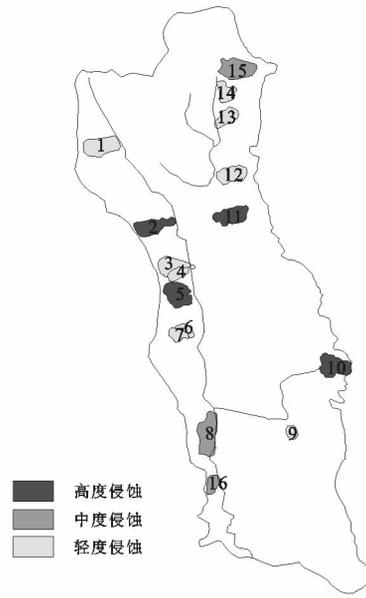


图 2 杨垄小流域崩岗侵蚀强度

性分级,得出高度、轻度侵蚀型崩岗的内部平均坡度的变异系数分别为 0.07, 0.09, 为弱变异性,中度、轻度侵蚀型崩岗的支沟数的变异系数分别为 1.73, 1.59, 为强变异性,其他崩岗参数的变异系数均为中等变异,在 0.1 与 1 之间。衡量崩岗侵蚀强度的参数变异性较大表明该侵蚀强度程度内崩岗的水平差异比较大,说明用支沟数来衡量中、轻度侵蚀型崩岗不够准确,内部平均坡度可较准确地评估高、轻度侵蚀型崩岗。

表6 各侵蚀强度崩岗统计特征值

崩岗参数	高度侵蚀			中度侵蚀			轻度侵蚀		
	均值	标准差	变异系数	均值	标准差	变异系数	均值	标准差	变异系数
崩岗面积	1154.7	171.9	0.15	614.6	239.3	0.39	271.4	114.0	0.42
崩岗体积	4059.5	461.4	0.11	2153.9	1401	0.65	614.4	370.8	0.60
崩壁高度	8.4	3.1	0.37	5.5	1.1	0.20	5.0	2.3	0.46
主沟长度	41.0	17.1	0.42	21.5	9.7	0.45	28.5	13.9	0.49
主沟平均宽度	4.6	1.9	0.42	2.1	0.8	0.37	1.6	0.4	0.27
支沟数	2.3	1.3	0.56	0.3	0.6	1.73	0.6	0.9	1.59
崩岗坡向	199.2	119.6	0.60	217.7	134.3	0.62	182.6	113.1	0.62
主沟坡降	30.2	10.4	0.34	18.5	9.7	0.53	30.3	13.6	0.45
沟口宽度	5.7	0.8	0.13	12.0	7.0	0.59	3.6	1.7	0.46
内部平均坡度	38.0	2.6	0.07	32.8	4.8	0.15	43.5	3.7	0.09
崩岗坡度	22.3	5.1	0.23	19.5	7.1	0.37	22.5	4.6	0.20

3 结论

本研究通过软件 SPSS 19.0,运用主成分分析和 Q 型聚类分析法,选取崩岗面积、沟口宽度、崩岗坡度等 11 个崩岗形态参数评价了湖北省通城县杨垄小流域 16 个崩岗的侵蚀强度。由主成分分析结果可知,崩岗侵蚀强度由高到轻依次为 5 号>11 号>10 号>2 号>4 号>7 号>1 号>8 号>14 号>15 号>3 号>6 号>12 号>16 号>9 号>13 号。同时,结合 Q 型聚类分析法可以得出崩岗侵蚀强度等级:2 号,5 号,10 号,11 号为高度侵蚀;8 号,15 号,16 号为中度侵蚀;其余为轻度侵蚀。研究表明,杨垄小流域的中高度侵蚀型崩岗的面积占崩岗群总面积的 2/3 以上,侵蚀面积较大,但低度侵蚀型崩岗的个数较多。根据各崩岗在不同因素中的得分及排名情况,可以得出各崩岗的主要风险因素。根据得出的不同崩岗侵蚀风险因素的分类数据,可针对不同崩岗存在的风险因素制定对应的风险控制方案和措施,有利于崩岗的治理。

参考文献:

- [1] Deng Y, Cai C, Xia D, et al. Soil Atterberg limits of different weathering profiles of the collapsing gullies in the hilly granitic region of southern China[J]. Solid Earth, 2017,8(2):499-513.
- [2] 邓羽松,丁树文,蔡崇法,等.鄂东南崩岗剖面土壤水分特征曲线及模拟[J].土壤学报,2016,53(2):355-364.
- [3] 刘希林,张大林,贾瑶瑶.崩岗地貌发育的土体物理性质及其土壤侵蚀意义:以广东五华县莲塘岗崩岗为例[J].地球科学进展,2013,28(7):802-811.
- [4] 史德明.我国热带、亚热带地区崩岗侵蚀的剖析[J].水

土保持通报,1984,4(3):32-37.

- [5] 张淑光,钟朝章.广东省崩岗形成机理与类型[J].水土保持通报,1990,10(3):8-16.
- [6] 李思平.广东省崩岗侵蚀规律和防治的研究[J].自然灾害学报,1992,1(3):68-74.
- [7] 阮伏水,朱鹤健.福建省花岗岩地区土壤侵蚀与治理[M].北京:中国农业出版社,1997:77-78.
- [8] 牛德奎.赣南山地丘陵区崩岗侵蚀阶段发育的研究[J].江西农业大学学报,1990,12(1):29-36.
- [9] 林敬兰,陈志明,黄炎和,等.安溪县崩岗侵蚀空间分布特征探讨[J].水土保持研究,2009,16(6):63-68.
- [10] 方芸芸,陈志强,陈志彪.根溪小流域崩岗分布特征研究[J].吉林师范大学学报:自然科学版,2014,35(3):145-148.
- [11] 季翔,黄炎和,林金石,等.基于生态位适宜度的南方花岗岩区崩岗发生敏感性评价方法[J].中国农业大学学报,2017,22(10):159-168.
- [12] 陈嘉林.福建省典型崩岗区潜在性崩岗强度评估与预测[D].福州:福建农林大学,2015.
- [13] 程冬兵,赵元凌,张平仓,等.基于 Logistic 模型的江西省崩岗侵蚀风险评估[J].中国水土保持科学,2017,15(6):106-116.
- [14] 吕悦凝,王任雅弘,李瑶瑶,等.基于主成分—聚类分析评价崩岗洪积扇土壤施肥效应[J].湖北农业科学,2016,55(14):3569-3573.
- [15] 孟晋晋,刘花台.基于主成分—聚类分析模型的生态环境脆弱性分析:以平潭综合试验区为例[J].环境科学与技术,2014,37(1):179-182.
- [16] 陈欢,曹承富,张存岭,等.基于主成分—聚类分析评价长期施肥对砂姜黑土肥力的影响[J].土壤学报,2014,51(3):609-617.