

# 赣州市崩岗侵蚀分布特征与影响因子分析

廖凯涛<sup>1,2</sup>, 刘艳<sup>2</sup>, 刘荃<sup>3</sup>, 宋月君<sup>2</sup>, 黄宏胜<sup>3</sup>

(1.江西师范大学 地理与环境学院, 南昌 330022; 2.江西省水利科学院

江西省土壤侵蚀与防治重点实验室, 南昌 330029; 3.江西农业大学 国土资源与环境学院, 南昌 330045)

**摘要:**为分析赣州市崩岗侵蚀分布特征及其关键影响因子,基于崩岗普查数据,分析了赣州市崩岗侵蚀的分布特征,采用灰色关联度法分析了各县(市、区)崩岗与海拔高度、坡度、坡向、坡型、成土母质、土壤类型、降雨侵蚀力、距河流距离、植被覆盖度与土地利用类型共 10 个影响因子关联度。结果表明:赣州市的崩岗主要分布在龙南县、赣县区、于都县、兴国县和石城县,总数为 17 917 个,占到全市崩岗总数量的 55.34%;地形因子(海拔高度、坡度、坡向)排序第一的县(市、区)有 10 个,水力因子(降雨侵蚀力)排序第一的县(市、区)有 8 个;赣州市崩岗侵蚀主要受地形因子和水力因子影响最强。赣州崩岗侵蚀影响因子存在一定的区位特殊性,因此在崩岗侵蚀防治过程中,应采取针对性防治措施,开展有的放矢的综合治理。

**关键词:**崩岗侵蚀; 灰色关联度; 影响因子; 赣州市

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2021)06-0126-05

## Distribution Characteristics and Driving Factors of Benggang Erosion in Ganzhou City

LIAO Kaitao<sup>1,2</sup>, LIU Yan<sup>2</sup>, LIU Quan<sup>3</sup>, SONG Yuejun<sup>2</sup>, HUANG Hongsheng<sup>3</sup>

(1.School of Geography and Environment, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China; 2.Key Laboratory of Soil Erosion and Prevention of Jiangxi Province, Jiangxi Academy of Water Science and Engineering, Nanchang 330029, China; 3.College of Land Resources and Environment, Jiangxi Agriculture University, Nanchang 330045, China)

**Abstract:** In order to analyze the distribution characteristics and the key impact factors of the Benggang erosion in Ganzhou City, based on the general data of Benggang, a landslides database was constructed. The gray correlation degree method was adopted to analyze the function of each factors includeing altitude, slope, slope direction, slope type, soil parent material, soil type, rainfall erosion force, distance from river, vegetation coverage and land use type. The results show that: Benggang in Ganzhou City mainly distributes in Longnan County, Ganxian District, Yudu County, Xingguo County and Shicheng County, with a total number of 17 917, accounting for 55.34% of the total; there are 10 counties and urban areas ranking first in topographical factors (elevation, slope and aspect), 8 counties and urban areas ranking first in hydraulic factors (rainfall erosion force); topographical factors and hydraulic factors have the strongest influence on Benggang erosion in Ganzhou City. The impact factors of Benggang erosion in Ganzhou have location particularity, therefore, the targeted prevention and control measures should be taken in the process of prevention and control of Benggang erosion.

**Keywords:** Benggang erosion; grey correlation analysis method; driving factors; Ganzhou City

江西省的崩岗数量与面积位居南方红壤丘陵区第 2 位<sup>[1]</sup>,其中赣州市崩岗数量 32 923 个,面积 12 856.1 hm<sup>2</sup>,均为江西省各市之首<sup>[2]</sup>,是我国南方红壤丘陵

区崩岗侵蚀的典型区域<sup>[3]</sup>。当地生态安全、粮食安全以及人民生命安全一直受到崩岗侵蚀的威胁,“兴国之要亡国,宁都要迁都”,“龙回千百家,家家米淘沙,一

收稿日期: 2020-05-11

修回日期: 2020-12-07

资助项目: 国家自然科学基金(41967011; 41867012); 江西省自然科学基金(20181BAB203024); 江西省重点研发计划(20171BBG70059); 江西省水利科技计划(KT201616)

第一作者: 廖凯涛(1990—),男,江西抚州人,博士研究生,工程师,主要从事水土保持及环境遥感研究。E-mail: liaokaitao@126.com

通信作者: 宋月君(1982—),男,山东东营人,博士,高级工程师,主要从事土壤侵蚀与防治研究。E-mail: well3292@126.com

家不淘沙,就不成人家”,这些都是赣州崩岗侵蚀区“沙进、田毁、人退”的真实写照<sup>[4]</sup>。赣州市是全国水土保持改革试验区,有必要对赣州市的崩岗分布特征和影响因子进行分析,为当地崩岗侵蚀防治工作提供数据参考与依据。

灰色关联度是一种可以明确系统中各因素之间的主要关系,并定量描述和比较各因素的影响力的方法<sup>[5-6]</sup>,在泥石流<sup>[7]</sup>、滑坡等<sup>[8-9]</sup>灾害影响因子分析评价运用广泛。吴钟腾等<sup>[10]</sup>基于野外详细调查,采用灰色关联度法分析了安溪县崩岗的降雨持续时间、降雨量、植被覆盖率和孔隙度 4 个影响因子的权重,结果表明该方法也能用于崩岗侵蚀因子的定量判断,但未对崩岗侵蚀发生造成影响的其他影响因素,如地形<sup>[11]</sup>、土壤<sup>[12]</sup>与人为活动等<sup>[13]</sup>进行分析。

基于此,本文以 2015 年赣州市崩岗普查数据为数据源,分析各县(市、区)的崩岗分布特征;采用灰色关联度法分析各县市区崩岗与海拔高度、坡度、坡向、坡型、成土母质、土壤类型、降雨侵蚀力、距河流距离、植被覆盖度与土地利用类型共 10 个影响因子关联度,探究影响崩岗侵蚀规模的关键影响因子及其作用强度,为赣州市崩岗形成机理研究以及崩岗水土流失防治工作提供数据参考与依据。

## 1 研究区概况

赣州市位于江西省南部,地处赣江上游,位于北纬  $24^{\circ}29'—27^{\circ}09'$ ,东经  $113^{\circ}54'—116^{\circ}38'$ 。赣州市下辖赣县区、兴国县、瑞金市等 18 个县市区,总面积  $3.94 \text{ 万 km}^2$ ,占江西省总面积的 23.6%。研究区地貌以山地、丘陵和盆地为主;水系众多,是赣江和东江的发源地;岩层以火成岩和变质岩为主;气候为亚热带湿润季风气候区,降雨多集中于春夏季,多年平均降雨量为  $1\,080 \text{ mm}$ ,多年平均气温为  $19.2^{\circ}\text{C}$ ;土地利用类型以林地为主,耕地次之;自然土壤类型主要包括红壤、紫色土、山地黄壤等;森林树种垂直分布比较明显,海拔  $1\,000 \text{ m}$  以下马尾松、杉木、油茶等为主,海拔  $1\,000 \text{ m}$  以上多为天然灌木类。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据来源与因子选取

赣州市崩岗分布数据主要来源于 2015 年江西省水土保持规划崩岗调查更新数据成果,包括崩岗点位坐标、面积、形态和稳定程度等信息。

综合分析学者已有的研究成果<sup>[12,14]</sup>,选取对崩岗侵蚀发育影响较大的 10 个影响因子(海拔高度、坡度、坡向、坡型、成土母质、土壤类型、降雨侵蚀力、

距河流距离、植被覆盖度及土地利用类型)。海拔高度(m)、坡度( $0^{\circ}—90^{\circ}$ )、坡向( $0^{\circ}—360^{\circ}$ )以及坡型(地表曲率),利用高程数据 ASTER GDEM 数据通过 ArcGIS 的空间分析功能提取;距河流距离(m)因子为崩岗点距其周边河流最短的距离;土壤类型来源于 1:100 万中华人民共和国的土壤图,包括红壤、黄壤、紫色土、潮土和石灰土;成土母质来源于 1:250 万的中国地质图,包括第四纪红黏土、河湖沉积物、红砂岩、花岗岩、泥质岩、石灰岩、石英岩、紫色页岩;降雨侵蚀力因子通过中国气象数据共享网(<https://data.cma.cn/>)获取赣州市及其周边 25 个气象站点的 1986—2015 年日降雨量采用章文波等<sup>[15]</sup>方法计算获得;植被覆盖度由 2015 年 Landsat 数据提取的 NDVI 计算获得;土地利用数据采用 2015 年 1:10 万的江西省土地利用数据,来源于地理国情监测云平台(<http://www.dsac.cn/>)<sup>[16]</sup>,包括耕地、林地、草地、水域、城镇居民建设用地和未利用地。

### 2.2 灰色关联度

灰色关联度研究法通过比较序列(子序列)与参考序列(母序列)之间的曲线相似性来确定比较序列与参考序列之间的相关性<sup>[17]</sup>。为同一系统内各影响因素的变量量化提供了标准,并能有效地处理不确定变量之间的相关性,通常包括以下 4 个步骤:确定分析数列、原始数据变换、计算关联系数、求关联度、排关联序。

根据选取的影响因子:海拔高程、坡型、坡度、坡向、土地利用类型、成土母质、土壤类型、距河流距离、降雨侵蚀力、植被覆盖度以及崩岗侵蚀面积组成数列  $X_i = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}\} (i=1, \dots, 11)$ ,其中  $X_1—X_{10}$  作为子序列,  $X_{11}$  为母序列。选取赣州地区 18 个县市区作为研究对象,它们组成数列  $Y_j = \{\text{赣县, 龙南, 于都, 安远, 崇义, 大余, 定南, 会昌, 南康, 宁都, 全南, 瑞金, 上犹, 石城, 信丰, 兴国, 寻乌, 章贡}\} (j=1, \dots, 18)$ 。

部分影响因子是定性数据,需对其进行赋值,其中成土母质共有第四纪红黏土、河湖沉积物、红砂岩、花岗岩、泥质岩、石灰岩、石英岩、紫色页岩 8 类,分别将它们赋值为 1~8;土壤类型有红壤、黄壤、紫色土、潮土、石灰土 5 类,分别将它们赋值为 1~5;土地利用类型有耕地、林地、草地、水域、城镇居民建设用地和未利用地 6 类,分别将它们赋值为 1~6。通过 ArcGIS 空间分析功能将影响因子栅格图的属性值提取到崩岗点图层,然后根据不同的行政区,对数据进行无量纲并计算关联系数,根据关联系数排出关联序。

### 3 结果与分析

#### 3.1 赣州市崩岗分布特征

由表 1 可知,从崩岗分布数量来看,排在前 5 位的分别为龙南县、赣县区、于都县、兴国县和石城县,总数达到 17 917 个,占到总数量的 55.34%;其中龙南县的崩岗数量最多,4 354 个,占到总数的 13.48%;剩余各行政区内的崩岗数量较少,均不超过 2 500 个,占比均在 8%以下,其中章贡区最少为 42 个。从崩岗分布面积来看,排在前 5 位的分别为赣县区、于都县、兴国县、信丰县和龙南县,总面积为 8 951.40 hm<sup>2</sup>,占总面积的 69.63%;特别是分布在赣县区的崩岗面积最大,为 3 860.52 hm<sup>2</sup>,占总面积的 30.03%,剩下的各

县(市、区)崩岗面积较少,占比在 0.13%~7.65%。从各县(市、区)人口密度来看,除章贡区外,排在前五位的南康区、赣县区、兴国县、信丰县和于都县的崩岗数量为 15 096 个,占到崩岗总数的 45.85%;面积为 8 499.93 hm<sup>2</sup>,占崩岗总面积的 66.12%,人口密度的大小,可能对崩岗侵蚀的发生发育具有一定的贡献性<sup>[4]</sup>。从崩岗分布密度来看,排在前五位的分别为龙南县、石城县、于都县、赣县区 and 上犹县,其中密度最大的为龙南县 2.64 个/km<sup>2</sup>,最小的为章贡区 0.09 个/km<sup>2</sup>。从崩岗数量空间分布看(图 1),崩岗主要分布在赣县、兴国、于都为主要的赣州市北部区域,赣州市东部与西部分布较少,总体特点是由北向南减少,由东北向西南先增多再减少。

表 1 赣州市各行政区崩岗统计

行政区名称	崩岗数量/个	崩岗面积/hm <sup>2</sup>	人口密度/(人·km <sup>-2</sup> )	崩岗密度/(个·km <sup>-2</sup> )	行政区名称	崩岗数量/个	崩岗面积/hm <sup>2</sup>	人口密度/(人·km <sup>-2</sup> )	崩岗密度/(个·km <sup>-2</sup> )
安远县	1252	469.91	169.57	0.53	全南县	742	82.07	129.00	0.48
崇义县	396	58.68	98.27	0.18	瑞金市	948	154.30	287.49	0.39
大余县	540	50.36	135.69	0.40	上犹县	1897	122.39	210.19	1.23
定南县	787	373.53	168.15	0.60	石城县	2468	960.70	210.75	1.57
赣县区	4136	3860.52	218.01	1.38	信丰县	1839	1068.67	267.78	0.64
会昌县	1386	313.41	194.37	0.51	兴国县	2933	1262.43	263.36	0.91
龙南县	4354	983.40	204.09	2.64	寻乌县	2162	627.88	142.99	0.92
南康区	2162	531.93	489.24	1.17	于都县	4026	1776.60	383.46	1.39
宁都县	853	142.58	209.63	0.21	章贡区	42	16.79	1939.02	0.09

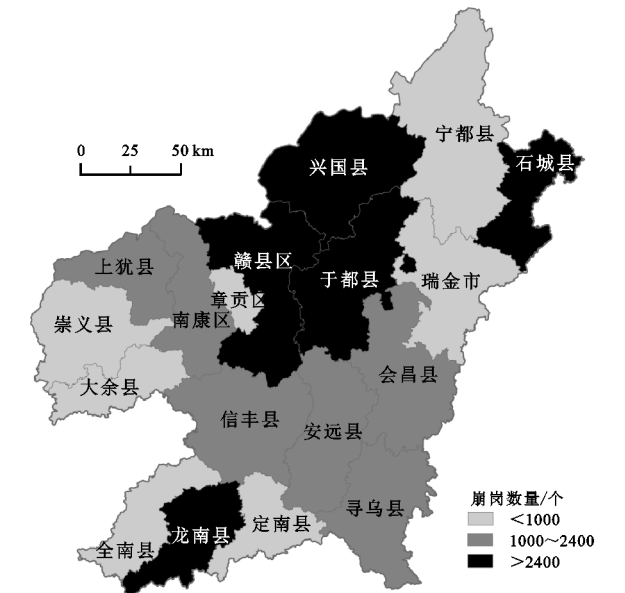


图 1 赣州市各县(市、区)崩岗分布

#### 3.2 各县(市、区)崩岗侵蚀影响因子分析

崩岗的面积能直接反映崩岗侵蚀范围的大小,本文选取崩岗面积作为参考变量,其他影响因子作为比较变量,两种变量进行对比分析崩岗侵蚀与各影响因子之间的关联度。

由表 2 可知,赣州市各县(市、区)的崩岗侵蚀与

10 个影响因子均存在密切的相关性,但不同县(市、区)的影响因子关联系数还存在一定的差异。赣县区、龙南县、于都县、安远县、大余县、定南县、会昌县、南康区、上犹县、石城县、信丰县和寻乌县 12 个县区的崩岗侵蚀与 10 个影响因子的关联系数均在 0.9 以上,其中平均关联系数排名前 3 的是石城县、寻乌县和信丰县;章贡区的关联系数最小,在 0.66~0.75,其次崇义县,在 0.75~0.82;其余的县市区均在 0.8 以上。

安远县崩岗侵蚀影响因子关联度排序前 3 的为降雨侵蚀力、海拔高度、土壤类型,最小的为坡度;大余县崩岗侵蚀影响因子关联度排序前 3 的为降雨侵蚀力、坡型、土地利用类型,最小的为植被覆盖度;定南县崩岗侵蚀影响因子关联度排序前 3 的为降雨侵蚀力、海拔高度、成土母质,最小的为土壤类型;南康县崩岗侵蚀影响因子关联度排序前 3 的为降雨侵蚀力、坡型、坡度,最小的为海拔高度;瑞金市崩岗侵蚀影响因子关联度排序前 3 的为降雨侵蚀力、海拔高度、坡型,最小的为植被覆盖度;寻乌县崩岗侵蚀影响因子关联度排序前 3 的为降雨侵蚀力、海拔高度、坡型,最小的为植被覆盖度;上犹县崩岗侵蚀影响因子关联度排序前 3 的为降雨侵蚀力、坡型、海拔高度,最小的为植被覆盖度;信丰县崩岗侵蚀影



响因子关联度排序前 3 的为降雨侵蚀力、海拔高度、坡度,最小的为成土母质;会昌县崩岗侵蚀影响因子关联度排序前 3 的为海拔高度、土地利用类型、坡型,最小的为降雨侵蚀力;兴国县崩岗侵蚀影响因子关联度排序前 3 的为海拔高度、降雨侵蚀力、坡度,最小的为土壤类型;赣县区崩岗侵蚀影响因子关联度排序前 3 的为海拔高度、土地利用类型、坡型,最小的为降雨侵蚀力;于都县崩岗侵蚀影响因子关联度排序前 3 的为海拔高度、坡度、坡型,最小的为土壤类型;崇义县崩岗侵蚀影响因子关联度排序前 3 的为坡型、海拔高度、

降雨侵蚀力,最小的为植被覆盖度;石城县崩岗侵蚀影响因子关联度排序前 3 的为坡型、坡度、海拔高度,最小的为土地利用类型;章贡区崩岗侵蚀影响因子关联度排序前 3 的为坡型、坡度、成图母质,最小的为土壤类型;龙南县崩岗侵蚀影响因子关联度排序前 3 的为坡型、海拔高度、降雨侵蚀力,最小的为植被覆盖度;宁都县崩岗侵蚀影响因子关联度排序前 3 的为坡度、坡型、植被覆盖度,最小的为坡向;全南县崩岗侵蚀影响因子关联度排序前 3 的为坡度、坡型、土地利用类型,最小的为降雨侵蚀力。

表 2 崩岗影响因子灰色关联度分析结果

行政区名称	坡度	坡向	海拔高度	坡型曲率	成土母质	土壤类型	植被覆盖	距河流距离	降雨侵蚀力	土地利用类型
赣县区	0.9407	0.9305	0.9470	0.9359	0.9341	0.9271	0.9322	0.9344	0.9283	0.9355
龙南县	0.9395	0.9383	0.9349	0.9416	0.9376	0.9331	0.9341	0.9408	0.9388	0.9411
于都县	0.9173	0.9106	0.9233	0.9185	0.9082	0.9097	0.9087	0.9128	0.9039	0.9113
安远县	0.9324	0.9213	0.9377	0.9301	0.9284	0.9328	0.9243	0.9229	0.9464	0.9260
崇义县	0.7636	0.7657	0.8068	0.8109	0.7587	0.7513	0.7512	0.7745	0.7922	0.7679
大余县	0.9189	0.9244	0.9261	0.9335	0.9232	0.9244	0.9148	0.9227	0.9486	0.9271
定南县	0.9316	0.9278	0.9380	0.9320	0.9376	0.9258	0.9279	0.9357	0.9469	0.9295
会昌县	0.9134	0.9032	0.9183	0.9139	0.9035	0.9082	0.9049	0.9086	0.9029	0.9178
南康区	0.9165	0.9136	0.9053	0.9178	0.9130	0.9144	0.9070	0.9152	0.9377	0.9145
宁都县	0.8695	0.8487	0.8506	0.8613	0.8527	0.8559	0.8575	0.8520	0.8569	0.8559
全南县	0.9175	0.9006	0.8859	0.9137	0.9045	0.8983	0.9080	0.9067	0.8819	0.9110
瑞金市	0.9037	0.9020	0.9085	0.9042	0.8995	0.9016	0.8944	0.9013	0.9190	0.8999
上犹县	0.9223	0.9199	0.9248	0.9281	0.9179	0.9214	0.9111	0.9238	0.9464	0.9222
石城县	0.9768	0.9731	0.9759	0.9768	0.9623	0.9642	0.9634	0.9624	0.9744	0.9620
信丰县	0.9520	0.9446	0.9539	0.9507	0.9446	0.9471	0.9452	0.9461	0.9550	0.9494
兴国县	0.9147	0.9025	0.9188	0.9082	0.8983	0.8956	0.9092	0.9051	0.9186	0.9044
寻乌县	0.9662	0.9615	0.9719	0.9686	0.9641	0.9635	0.9613	0.9634	0.9876	0.9670
章贡区	0.7177	0.7342	0.7218	0.7477	0.7260	0.6466	0.7117	0.6600	0.6925	0.7063

降雨侵蚀力因子关联度排序为第一位的县(市、区)有 8 个,除崇义县、宁都县、瑞金市和章贡区的关联系数在 0.9 以下,其他各县(市、区)均在 0.9 以上;海拔高度因子关联度排序为第一位的县(市、区)有 4 个,除崇义县、宁都县、全南县和章贡区的关联系数在 0.9 以下,其他各县(市、区)的均在 0.9 以上;坡型因子关联度排序为第一位的县(市、区)有 4 个,坡度因子关联度排序为第一位的县(市、区)有 2 个。降雨侵蚀力、海拔高度或坡度关联度排名前 3 的县(市、区)有 11 个,分别是龙南县、安远县、大余县、定南县、南康区、瑞金市、上犹县、信丰县、兴国县、崇义县以及寻乌县,表明崩岗侵蚀与水力因子及地形因子关联度最大;赣县区、崇义县、石城县及于都县 4 县区与地形因子关联度最大;其余各县(市、区)中与崩岗侵蚀关联度最大的影响因子中也均有地形因子的存在,表明包括海拔高度、坡型曲率、坡度以及坡向的地形因子对

崩岗侵蚀的关联性最高,海拔高度会影响到地形地貌的发育,海拔的高低与风化岩体的剥蚀、沉积具有紧密联系,直接影响到风化壳厚度,海拔较低时风化物较深厚,并且受人为不当影响也较多;坡型上凹形坡中部侵蚀剧烈,易在下部形成堆积,多活动型崩岗;随着坡度增加土壤侵蚀量也会逐渐增加,而坡向选择上阳坡的崩岗更多,因为光照不同使得气温、土温以及降水蒸发都会不同,形成小气候,造成崩岗侵蚀。

## 4 讨论与结论

(1) 赣州崩岗侵蚀地貌分布特征为中间多,两边少,主要在龙南县、赣县区、于都县、兴国县和石城县,总数达到 17 917 个,占到全市崩岗总数量的 55.34%。

(2) 赣州市各县(市、区)的崩岗侵蚀与 10 个影响因子均存在密切的相关性,但不同县(市、区)的影响因子关联系数存在一定差异。地形因子关联排序

第一的县(市、区)有 10 个,水力因子关联排序第一的县(市、区)有 8 个,崩岗侵蚀主要受地形因子影响,其次是水力因子,崩岗侵蚀是一种在重力和水力侵蚀双重驱动下的复杂土壤侵蚀类型,由于各县(市、区)所处的自然区位以及不同的人类活动影响,其崩岗侵蚀影响因子存在一定的区位特殊性,因此在崩岗侵蚀防治过程中,应采取针对性防治措施,开展有的放矢的综合治理。

在赣县区、崇义县等以地形因子影响最大的地区,地形破碎不稳定,坡度大,应当根据实际地形、海拔等因素,重点进行削坡整地来达到降坡、稳坡、创造适宜的地形,并辅以其他治理措施;在寻乌县、上犹县等以水力因子(降雨侵蚀力)影响最大的地区,重点通过设置坡面的截流排水沟,实施乔灌木的植物水土保持防护措施体系,降低水力因子在崩岗发育前期的作用,并辅以其他治理措施。在龙南县、安远县等以两种因子交互作用的地区,可以通过建立水土保持林以及开发经果林,修建谷坊等工程措施来预防地表土壤流失。

#### 参考文献:

- [1] 程冬兵,赵元凌,张平仓,等.基于双变量熵信息法的江西省崩岗侵蚀风险评估[J].长江科学院院报,2019,36(2):27-32.
- [2] 江西省水土保持研究所.江西省崩岗防治规划[Z].南昌:江西省水土保持研究所,2005.
- [3] 冯舒悦,王军光,文慧,等.赣南崩岗侵蚀区不同部位土壤抗剪强度及其影响因素研究[J].土壤学报,2020,57(1):71-83.
- [4] 宋月君.江西省赣县崩岗发育的地貌特征分析[J].亚热带水土保持,2015,27(3):29-33.
- [5] 张霞,郑郁,王亚萍.基于灰色关联度的 TOPSIS 模型在

秦岭生态功能区水土保持治理效益评价中的应用[J].水土保持研究,2013,20(6):188-191.

- [6] 余冬梅,祁兆鑫,刘亚斌,等.青海柴达木盆地盐湖区 5 种盐生植物根—土复合体抗剪强度影响因素及评价[J].水土保持研究,2019,26(4):157-165.
- [7] 魏斌斌,赵其华,韩刚,等.基于灰色关联法的地震灾区泥石流危险性评价:以北川县泥石流为例[J].工程地质学报,2013,21(4):525-533.
- [8] 杨乐,陈杰.基于灰色关联法的地质灾害危险性影响因子分析[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2017,36(6):80-84,91.
- [9] 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.
- [10] 吴钟腾,柳侃,叶龙珍.基于灰色关联度法的崩岗侵蚀影响因子分析研究[J].福建建设科技,2016(3):6-8.
- [11] 韦海鹭.红壤丘陵区崩岗侵蚀的自然影响因素研究进展[J].亚热带水土保持,2018,30(1):15-16,19.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 李双喜,桂惠中,丁树文.中国南方崩岗空间分布特征[J].华中农业大学学报,2013,32(1):83-86.
- [15] 章文波,谢云,刘宝元.利用日雨量计算降雨侵蚀力的方法研究[J].地理科学,2002,22(6):705-711.
- [16] 廖凯涛,胡建民,宋月君,等.南方红壤丘陵区流域植被景观格局变化及水沙响应关系[J].水土保持学报,2019,33(3):36-42,50.
- [17] 刘思峰,党耀国,方志耕.灰色系统理论及其应用[M].北京:科学出版社,2004.

(上接第 125 页)

- [21] 杜懿,麻荣永.不同 Copula 函数在洪水峰量联合分布中的应用比较[J].水力发电,2018,44(12):24-26,58.
- [22] 吴冬平,杨光,金菊良,等.干旱频率计算的简化方法探讨:以齐齐哈尔市为例[J].自然灾害学报,2015,24(6):201-208.
- [23] 陶然,张珂.基于 PDSI 的 1982—2015 年我国气象干旱特征及时空变化分析[J].水资源保护,2020,36(5):50-56.
- [24] 刘永林,延军平,岑敏仪.中国降水非均匀性综合评价[J].地理学报,2015,70(3):392-406.
- [25] 慎东方,商崇菊,方小宇,等.贵州省干旱历时和干旱烈度的时空特征分析[J].干旱区资源与环境,2016,30(7):138-143.
- [26] 吴战平,白慧,严小冬.贵州省夏旱的时空特点及成因

分析[J].云南大学学报:自然科学版,2011,33(S2):383-391,396.

- [27] 李运刚,何娇楠,李雪.基于 SPEI 和 SDI 指数的云南红河流域气象水文干旱演变分析[J].地理科学进展,2016,35(6):758-767.
- [28] 吴建峰,张凤太,卢海芬,等.基于标准化降水指数的贵州省近 54 年干旱时空特征分析[J].科学技术与工程,2018,18(15):207-214.
- [29] Liu Y, Zhu Y, Ren L, et al. Understanding the spatio-temporal links between meteorological and hydrological droughts from a three-dimensional perspective [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2019, 124(6):3090-3109.