

# 花岗岩风化壳崩岗侵蚀剖面风化强度和粒度分布特征

熊平生, 袁航

(衡阳师范学院 城市与旅游学院, 湖南 衡阳 421002)

**摘要:**结合粒度法和化学风化指标法分析了花岗岩风化壳崩岗侵蚀剖面,结果显示:(1) 粒度组成以粉砂砾组分最多,平均值为 52.52%,砂砾组分为 38.38%,黏粒组分最少,平均值为 9.09%。4~63  $\mu\text{m}$  粉砂砾组分分别与 <1  $\mu\text{m}$  细黏粒组分、<4  $\mu\text{m}$  黏粒组分正相关性较好;>63  $\mu\text{m}$  的砂砾组分与中值砾径呈显著正相关性,与 <1  $\mu\text{m}$  细黏粒组分、<4  $\mu\text{m}$  黏粒组分、4~63  $\mu\text{m}$  粉砂砾组分呈显著的负相关性。剖面 580~780 cm 深度可能是崩岗侵蚀起源区域。(2) 化学蚀变指数 CIA、风化淋溶系数 BA、残积系数  $K_i$  和退碱系数 Bc 一致表明,崩岗侵蚀剖面的化学风化程度高。风化强度从底部往上呈现先小幅度递减而后波动递增的变化趋势。(3) 风化参数指标和粒度线性相关性分析得知,化学风化作用强度增强,<1  $\mu\text{m}$  细黏粒组分、<4  $\mu\text{m}$  黏粒组分、4~63  $\mu\text{m}$  粉砂砾组分增加,>63  $\mu\text{m}$  砂砾组分减少。化学风化作用减弱,<4  $\mu\text{m}$  黏粒组分、4~63  $\mu\text{m}$  粉砂砾组分减少,>63  $\mu\text{m}$  砂砾组分增多。

**关键词:**花岗岩风化壳;崩岗侵蚀;风化强度;粒度组成

中图分类号:S157.1;S152

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)02-0157-05

## Characteristics of Grain Size and Weathering Intensity of Collapsing Erosion Profile in Granite Weathering Crust

XIONG Pingsheng, YUAN Hang

(College of City and Tourism, Hengyang Normal University, Hengyang, Hunan 421002, China)

**Abstract:** Collapsing hill erosion profile of granite weathering crust was analyzed by combining the grain size method and chemical weathering index method. The results showed that: (1) the silt gravel component was the highest, whose the average value is 52.52%, the sand gravel component was 38.38%, the lowest clay gravel component was 9.09%. The silt gravel component (4~63  $\mu\text{m}$ ) was correlation with fine clay gravel component (<1  $\mu\text{m}$ ) and clay gravel component (<4  $\mu\text{m}$ ), and the sand gravel component (>63  $\mu\text{m}$ ) had the significant positive correlation with median gravel diameter, the sand gravel component (>63  $\mu\text{m}$ ) had a significant negative correlation with fine clay gravel component (<1  $\mu\text{m}$ ), the clay gravel component (<4  $\mu\text{m}$ ), and the silt gravel component (4~63  $\mu\text{m}$ ). The coarse grain size combination of depth from 580 to 780 cm might be the original area of the collapse erosion; (2) chemical index of alteration (CIA), coefficient of weathering leaching (BA), eluvial coefficient ( $K_i$ ) and alkali index (Bc) show that the chemical weathering degree of collapse hill erosion profile was high; the weathering intensity shows a trend of slightly decreasing and then increasing from the bottom to the top of profile; (3) the correlation among chemical weathering parameters and particle size shows that when chemical weathering intensity enhances, the components of the fine clay gravel (<1  $\mu\text{m}$ ), the clay gravel (<4  $\mu\text{m}$ ) and the silt gravel (4~63  $\mu\text{m}$ ) should increase, while that of sand gravel component (>63  $\mu\text{m}$ ) would decrease; when the chemical weathering intensity reduces, the component of the fine clay gravel (<1  $\mu\text{m}$ ), the clay gravel (<4  $\mu\text{m}$ ) and the silt gravel (4~63  $\mu\text{m}$ ) should decrease, the sand gravel (>63  $\mu\text{m}$ ) component would increase.

**Keywords:** granite weathering crust; collapsing hill erosion; weathering intensity; grain size composition

崩岗是我国南方红壤丘陵地区特殊的水土流失形式,也是水土流失发展到严重程度重要标志之一。在地理学界,一些学者将崩岗侵蚀形成的地貌景观称为“烂山地貌”、“劣地景观”。南方崩岗侵蚀是丘陵山区生态安全、粮食安全、防洪安全和人居安全的主要威胁,是丘陵区发展生态经济、振兴农业的最大障碍,严重制约了地方社会经济的可持续发展。据调查统计,南方崩岗主要分布在广东、江西、湖南、福建、湖北、安徽等省,共计 20.13 万个。国外学者大多将其归为崩塌、崩塌或冲沟等重力作用类型<sup>[1-2]</sup>,有的学者也将其作为冲沟的一种<sup>[3]</sup>进行研究。

目前,有关花岗岩不同层次岩土特性对崩岗发育的影响开展大量的工作,包括花岗岩崩岗不同土层的粒度组成<sup>[4-7]</sup>、土壤可蚀性<sup>[8-12]</sup>、土体微结构<sup>[13]</sup>、矿物成分<sup>[14-15]</sup>、土体力学性质<sup>[16-18]</sup>等方面。研究表明,花岗岩岩土特性与崩岗的发生有直接性的关系。目前国内对花岗岩崩岗侵蚀过程和侵蚀机理在定量化和空间性的理论体系不够系统和深入。尤其是对花岗岩崩岗坡面侵蚀起源机制等关键科技问题不明确。本文将结合粒度分析和风化参数指标分析方法,探讨花岗岩风化壳崩岗侵蚀剖面的粒度分布特征、化学风化分布特征,以及风化壳崩岗剖面侵蚀和粒度组成、风化强度之间的相互联系和内在规律,揭示影响红壤崩岗侵蚀的影响,为红壤丘陵地区崩岗防治提供理论依据。

## 1 样品与方法

采样地点位于赣县田村崩岗群,地理坐标为 114°58.730'E,25°48.851'N,红土厚约 9 m,赣县属于中亚热带丘陵山区季风湿润气候区,具有气候温和,四季分明,光照充足,年平均气温 19.3℃,年均降雨量 1 476.7 mm。赣县北部出露震旦纪和寒武纪地层,中部局部地区见寒武纪和震旦纪地层,东南部出露震旦纪、寒武纪,局部地区见泥盆纪地层。田村剖面属于典型的花岗岩崩岗侵蚀剖面,由上往下依次为:土壤层、均质红土层、沙土层和风化碎屑层,剖面下部为巨厚的花岗岩,未见底板。红壤层:TC<sub>1</sub>(1—20 cm),黄棕色,有流水痕迹。均质红土层:TC<sub>2</sub>—TC<sub>5</sub>(20—100 cm),棕红色、土层胶结紧实、粘重。沙土层:TC<sub>6</sub>—TC<sub>45</sub>(100—900 cm),红黄交错网状斑纹,含较多的高岭土和云母。

田村剖面属于典型花岗岩风化壳崩岗剖面,取样时先剔除剖面表土,向剖面内挖 10—20 cm 不等的竖槽,尽量拉直取样竖线,在竖槽内从下往上以 20 cm 为间距连续采样,总共采集到 45 件样品,每件样品约

200 g,同时供粒度测试和化学成分分析用。土样采集后,在实验室自然凉干,取样 10 g 在玛瑙研钵研碎过 100 目土筛,装袋送往南京师范大学地理科学学院实验室,进行元素化学分析,使用仪器为荷兰 PANalytical 公司生产的 X 射线荧光光谱仪,测试误差小于 5%。粒度测试在西南大学地理科学学院第四纪实验室完成,所用仪器为英国马尔文 Masterizer-2000 型激光粒度仪,测量误差小于 1%。

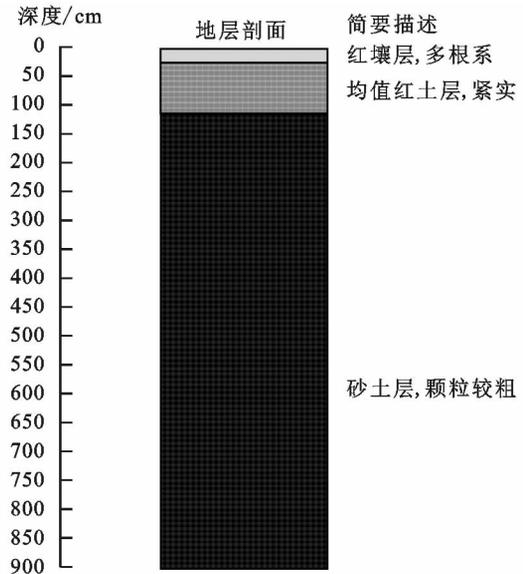


图 1 花岗岩崩岗侵蚀剖面地层

## 2 结果与分析

### 2.1 粒度组分相关性分析

对 $<1\ \mu\text{m}$ 细黏粒、 $<4\ \mu\text{m}$ 黏粒、 $4\sim 63\ \mu\text{m}$ 粉砂粒、 $>63\ \mu\text{m}$ 砂砾组分、中值砾径作一元线性回归分析(表 1),发现 $<4\ \mu\text{m}$ 的黏粒组分分别与 $>63\ \mu\text{m}$ 砂砾组分、中值粒径呈较显著负相关性( $R=-0.837$ , $R=-0.732$ ), $<1\ \mu\text{m}$ 细黏粒组分分别与 $>63\ \mu\text{m}$ 砂砾组分、中值粒径呈较好的负相关性( $R=-0.783$ , $R=-0.687$ )。  $4\sim 63\ \mu\text{m}$ 粉砂粒组分分别与 $>63\ \mu\text{m}$ 的组分、中值粒径呈显著负相关关系( $R=-0.994$ , $R=-0.882$ ),而 $4\sim 63\ \mu\text{m}$ 粉砂组分分别与 $<1\ \mu\text{m}$ 细黏粒组分、 $<4\ \mu\text{m}$ 黏粒组分正相关性较好( $R=0.717$ , $R=0.774$ )。  $>63\ \mu\text{m}$ 的砂砾组分与中值砾径呈显著正相关性( $R=0.886$ ), $>63\ \mu\text{m}$ 的砂砾组分分别与 $<1\ \mu\text{m}$ 细黏粒组分、 $<4\ \mu\text{m}$ 黏粒组分、 $4\sim 63\ \mu\text{m}$ 粉砂粒呈显著的负相关性( $R=-0.687$ , $R=-0.732$ , $R=-0.882$ )。

### 2.2 粒度组分分布特征

由图 2 发现,花岗岩风化壳崩岗剖面粒度组成以粉砂砾组分含量最多,平均值为 52.52%,分布范围介于 18.33%~83.72%。其次是砂砾组分,平均值为 38.38%,分布在 3.43%~78.04%,黏粒组分含量

最少,平均值为 9.09%,分布在 3.62%~17.47%。

<1 μm 细黏粒组分曲线、<4 μm 黏粒组分曲线和 4~63 μm 粉砂组分曲线波动趋势较为一致,由剖面底部往上呈现先略微递减而后波动递增的变化趋势,大于 63 μm 砂砾组分曲线、中值粒径曲线波动相近似,由下往上呈现先略微递增而后波动递减的变化趋势。在剖面 580—780 cm 深度以砂砾组分为主(65.66%),粉砂粒组分为次(28.94%)为次,黏粒组分最少(5.39%),中值砾径值为 138.358。该深度段的粗粒组合特征往往使得土体的内聚力降低,抗冲抗蚀能力下降,在外力作用下很容

易失稳崩塌。初步认为,田村剖面 580—780 cm 深度有可能是崩岗侵蚀起源区域。

表 1 花岗岩风化壳不同粒度组分相关系数矩阵

粒度组分	<1 μm	<4 μm	4~63 μm	>63 μm	中值砾径
<1 μm	1				
<4 μm	0.971	1			
4~63 μm	0.717	0.774	1		
>63 μm	-0.783	-0.837	-0.994	1	
中值砾径	-0.687	-0.732	-0.882	0.886	1

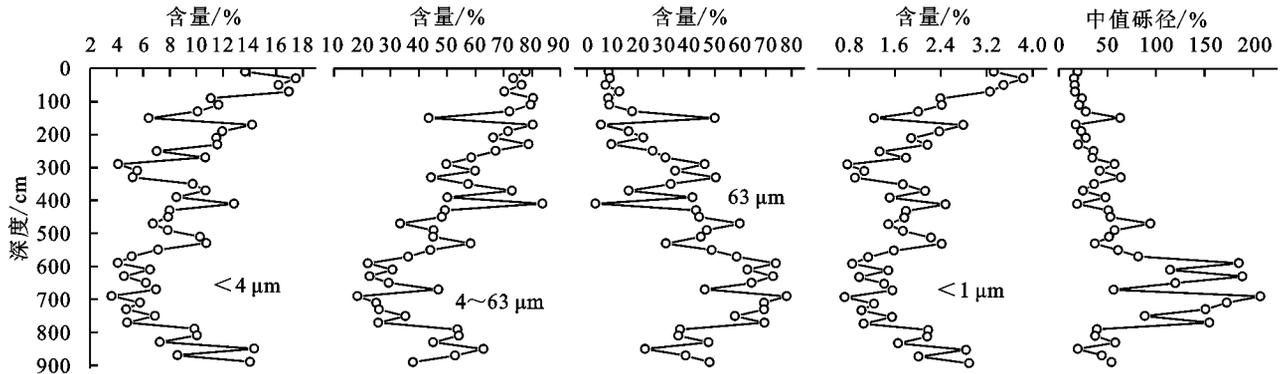


图 2 花岗岩崩岗侵蚀剖面粒度分布曲线

2.3 化学风化强度

本文采用了常见的化学风化强度参数指标:化学蚀变指数 CIA<sup>[19]</sup>、残积系数 Ki<sup>[20]</sup>、退碱系数 Bc<sup>[21]</sup>、风化淋溶系数 BA<sup>[22]</sup>。化学蚀变指数 CIA、残积系数 Ki 与红土化学风化强度呈正比关系;风化淋溶系数 BA、退碱系数 Bc 反映红土风化过程中易溶元素的淋溶迁移程度,与化学风化强度呈反比关系。经过计算得出,花岗岩崩岗侵蚀剖面 CIA 平均值为 86.16,分布范围介于 81.01~92.64。残积系数 Ki 平均值为 11.15,分布范围在 7.21~24.95。退碱系数 Bc 均值为 0.015,分布在 0.095~0.023,风化淋溶系数 BA 均值为 25.46,分布在 11.35~35.61。风化参数指标一致显示,田村崩岗风化壳剖面遭受到了强烈的化学

风化作用,强烈的风化作用为崩岗侵蚀的产生提供了良好的物质基础,即为深厚的风化壳土层。CIA 值与对应的 Ki 值正相关性较好(R=0.740),BA 与对应的 Bc 值呈正相关性较好(R=0.638)。CIA 值与 BA 呈显著负相关性(R=-0.973)。由图 3 显示,Ki 曲线和 CIA 曲线从底部往上呈现先小幅度递减而后波动递增的变化趋势,而 BA 曲线和 Bc 曲线从下往上呈现先小幅度递增而后递减的趋势。风化参数指标一致表明,田村崩岗风化壳剖面的化学风化强度由底部往上呈现先小幅度递减而后递增的变化趋势。风化强度曲线的变化与上述<1 μm 细黏粒组分曲线、<4 μm 黏粒组分曲线和 4~63 μm 粉砂组分曲线较为近似。

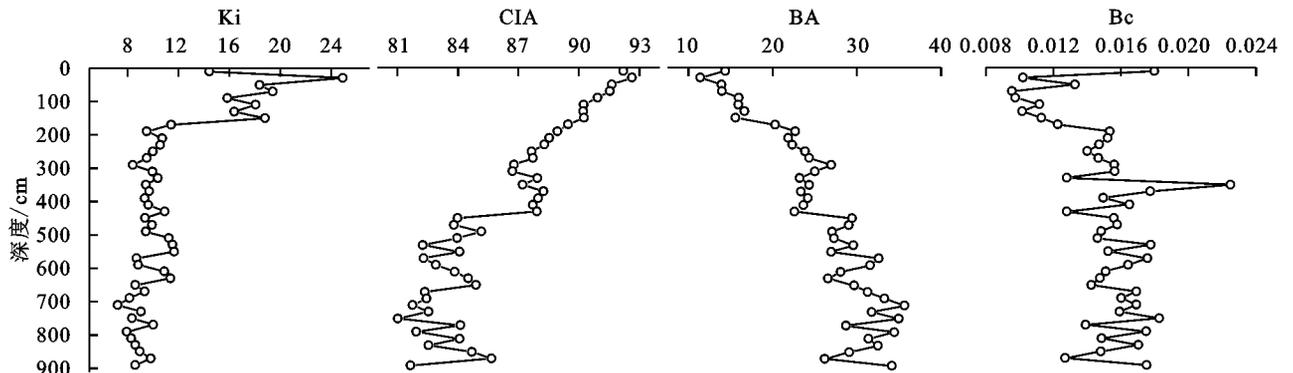


图 3 花岗岩崩岗侵蚀剖面化学风化参数曲线

2.4 粒度组份和风化强度的相关性

对花岗岩风化壳不同粒度组分与对应化学风化

参数一元线性相关性分析(表 2 和图 4)发现,CIA 值分别与<1 μm 细黏粒组分、<4 μm 黏粒组分、4~63

$\mu\text{m}$  粉砂组分正相关性较好( $R=0.523, R=0.584, R=0.761$ ), CIA 分别与  $>63 \mu\text{m}$  砂砾组分、中值砾径负相关性较好( $R=-0.75584, R=-0.59134$ ); Ki 分别与  $<1 \mu\text{m}$  细黏粒组分、 $<4 \mu\text{m}$  黏粒组分正相关性较好( $R=0.576, R=0.554$ ), 与  $4\sim 63 \mu\text{m}$  粉砂组分正相关性较弱( $R=0.483$ ); Ki 与  $>63 \mu\text{m}$  砂砾组分负相关性较好( $R=-0.510$ ), 与中值砾径负相关性较弱( $R=-0.372$ )。BA 分别与  $<1 \mu\text{m}$  细黏粒组分、 $<4 \mu\text{m}$  黏粒组分、 $4\sim 63 \mu\text{m}$  粉砂粒组分负相关性较好( $R=-0.551, R=-0.589, R=-0.723$ ), 与  $>63 \mu\text{m}$  砂砾组分、中值砾径值正相关性较好( $R=0.723, R=0.564$ )。Bc 与  $<1 \mu\text{m}$  细黏粒组分、 $<4 \mu\text{m}$  黏粒组分、 $4\sim 63 \mu\text{m}$  粉砂粒组分负相关性较弱( $R=-0.258, R=-0.275, R=-0.312$ ), 与  $>63 \mu\text{m}$  砂砾组

分、中值砾径值正相关性较弱( $R=0.316, R=0.211$ )。风化参数指标和粒度相关性表明, 化学风化作用强度增强时,  $<1 \mu\text{m}$  细黏粒组分、 $<4 \mu\text{m}$  黏粒组分、 $4\sim 63 \mu\text{m}$  粉砂粒组分增加,  $>63 \mu\text{m}$  砂砾组分减少。化学风化强度与  $4\sim 63 \mu\text{m}$  粉砂粒组分正相关性相对更好; 化学风化作用减弱时,  $<4 \mu\text{m}$  黏粒组分、 $4\sim 63 \mu\text{m}$  粉砂粒组分减少,  $>63 \mu\text{m}$  砂砾组分增多。

表 2 粒度组分和化学风化参数相关系数矩阵 %

化学风化参数	$<1 \mu\text{m}$	$<4 \mu\text{m}$	$4\sim 63 \mu\text{m}$	$>63 \mu\text{m}$	中值砾径
CIA	0.523	0.584	0.761	-0.756	-0.591
BA	-0.551	-0.589	-0.723	0.723	0.564
Ki	0.576	0.554	0.483	-0.510	-0.372
Bc	-0.258	-0.275	-0.312	0.316	0.211

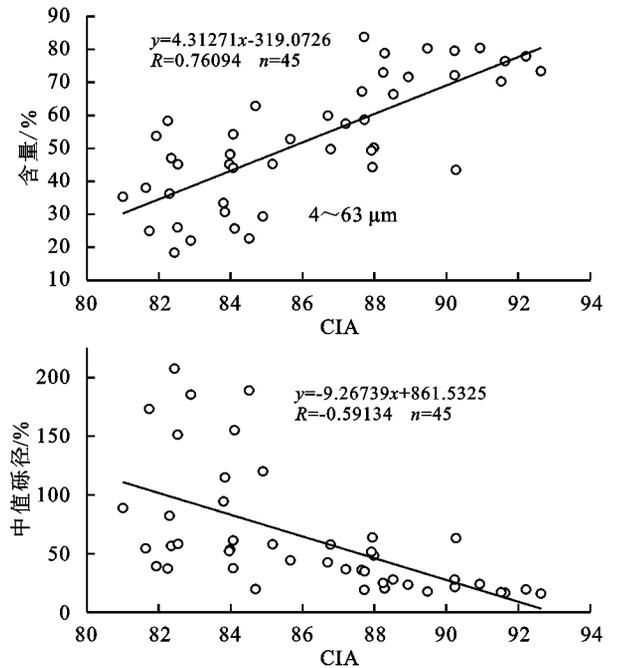
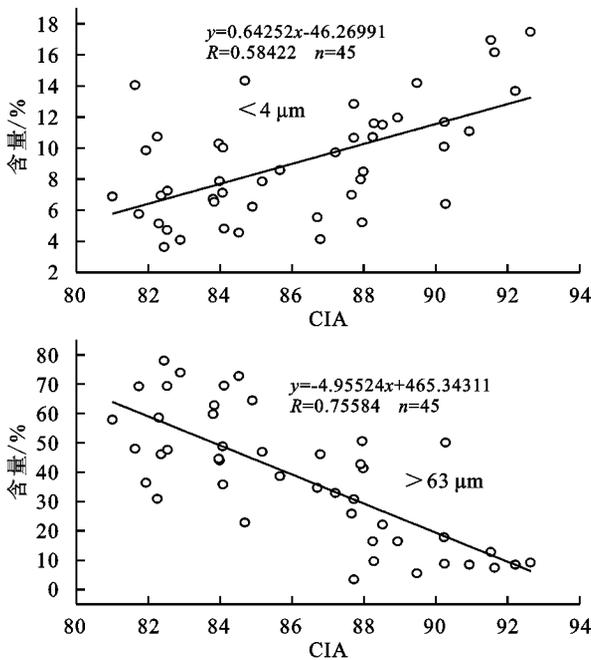


图 4 崩岗侵蚀剖面 CIA 与不同粒度组分的相关性

### 3 结论

(1) 花岗岩风化壳崩岗剖面粒度组成以粉砂砾含量最多, 平均值为  $52.52\%$ , 其次是砂砾, 平均值为  $38.38\%$ , 黏粒含量较少, 为  $9.09\%$ 。  $4\sim 63 \mu\text{m}$  粉砂粒组分与  $<1 \mu\text{m}$  细黏粒组分、 $<4 \mu\text{m}$  黏粒组分正相关性较好;  $>63 \mu\text{m}$  的砂砾组分与中值砾径呈显著正相关性。剖面  $580\sim 780 \text{ cm}$  深度砂砾组分含量特别高, 其次是粉砂粒, 黏粒含量为剖面最少, 这种粗粒结构组合往往是花岗岩风化壳崩岗侵蚀发源区域。

(2) 化学蚀变指数 CIA、风化淋溶系数 BA、残积系数 Ki 和退碱系数 Bc 一致表明, 田村崩岗风化壳剖面遭受到了强烈的化学风化作用, 强烈的风化作用为崩岗侵蚀的产生提供了良好的物质来源。Ki 曲线和

CIA 曲线从底部往上呈现先小幅度递减而后递增的变化趋势, BA 曲线和 Bc 曲线从下往上呈现先小幅度递增而后递减变化。剖面  $580\sim 780 \text{ cm}$  深度为化学风化程度最弱区域。

(3) 风化参数指标和粒度组分相关性分析表明, 化学风化作用强度增强时,  $<1 \mu\text{m}$  细黏粒组分、 $<4 \mu\text{m}$  黏粒组分、 $4\sim 63 \mu\text{m}$  粉砂粒组分增加,  $>63 \mu\text{m}$  砂砾组分减少。化学风化作用减弱时,  $<4 \mu\text{m}$  黏粒组分、 $4\sim 63 \mu\text{m}$  粉砂粒组分减少,  $>63 \mu\text{m}$  砂砾组分增多。

参考文献:

- [1] Dus Zanchar. Soil Erosion[M]. New York: Elesrier Scientific Publishing Company, 1982.
- [2] Archibold O W, Lévesque L M J, Boer D H D, et al. Gully retreat in a semi-urban catchment in Saskatoon,

- Saskatchewan[J]. *Applied Geography*, 2003, 23(4): 261-279.
- [3] Imeson A C, Kwaad F J P M. Gully types and gully prediction[J]. *Geografisch Tijdschrift*, 1980, 14(5): 430-441.
- [4] 吴志峰,王继增. 华南花岗岩风化壳岩土特性与崩岗侵蚀关系[J]. *水土保持学报*, 2000, 14(2): 31-35.
- [5] 蒋芳市,黄炎和,林金石,等. 花岗岩崩岗崩积体颗粒组成及分形特征[J]. *水土保持研究*, 2014, 21(6): 175-180.
- [6] 邓羽松,李双喜,丁树文,等. 鄂东南崩岗不同层次土壤分形特征及抗蚀性研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2016, 25(1): 63-70.
- [7] 邓羽松,夏栋,蔡崇法,等. 基于分形理论模拟花岗岩崩岗剖面土壤水分特征曲线[J]. *中国水土保持科学*, 2016, 14(2): 1-8.
- [8] 陈晓安,杨洁,熊永,等. 红壤区崩岗侵蚀的土壤特性与影响因素研究[J]. *水利学报*, 2013, 44(10): 1175-1181.
- [9] 林敬兰,黄炎和,蒋芳市,等. 崩岗土体的渗透性能机理研究[J]. *水土保持学报*, 2013, 27(2): 53-56.
- [10] 王秋霞,丁树文,夏栋,等. 花岗岩崩岗区不同层次土壤分离速率定量研究[J]. *水土保持学报*, 2016, 30(3): 65-70.
- [11] 郝福星,黄炎和,林金石,等. 指纹法研究花岗岩区典型崩岗小流域悬浮泥沙来源[J]. *水土保持学报*, 2017, 31(2): 45-102.
- [12] 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[J]. *地球科学进展*, 2013, 28(7): 802-811.
- [13] 李思平. 崩岗形成的岩土特性及其防治对策的研究[J]. *水土保持学报*, 1992, 6(3): 29-35.
- [14] 王彦华,谢先德,王春云. 广东花岗岩风化剖面的物性特征[J]. *热带地理*, 2000, 20(4): 256-260.
- [15] 魏多落. 南方花岗岩区崩岗剖面特征研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2009.
- [16] 夏振刚,邓羽松,赵媛,等. 鄂东南花岗岩崩岗岩土抗剪强度与含水量的关系[J]. *中国水土保持科学*, 2016, 14(6): 26-34.
- [17] 张晓明,丁树文,蔡崇法. 干湿效应下崩岗区岩土抗剪强度衰减非线性分析[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(5): 241-245.
- [18] 陈晓安. 崩岗侵蚀区土壤物理性质分层差异及其对崩岗发育的影响[J]. *中国水土保持*, 2015(12): 71-72.
- [19] Nesbitt H W, Young G M. Early proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites[J]. *Nature*, 1982, 299(5885): 715-717.
- [20] 胡梦珺,杨爱丽,张文丽. 常量元素氧化物含量及其比值揭示的中晚全新世以来玛曲高原的环境演变[J]. *中国沙漠*, 2015, 35(2): 313-320.
- [21] 毛沛妮,庞奖励,黄春长,等. 汉江上游黄土常量元素地球化学特征及区域对比[J]. *地理学报*, 2017, 72(2): 279-291.
- [22] 张玉芬,邵磊,熊德强. “巫山黄土”元素地球化学特征及成因和物源意义[J]. *沉积学报*, 2014, 32(1): 78-84.

~~~~~

(上接第 156 页)

- [10] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [11] 彭文甫,王广杰,周介铭,等. 基于多时相 Landsat5/8 影像的岷江汶川—都江堰段植被覆盖动态监测[J]. *生态学报*, 2016(7): 1975-1988.
- [12] 张丽,何晓旭,魏鸣. 基于 NDVI 的淮河流域植被覆盖度动态变化[J]. *长江流域资源与环境*, 2012(S1): 51-56.
- [13] 汪明冲,王兮之,梁朝雄,等. 喀斯特与非喀斯特区域植被覆盖变化景观分析: 以广西壮族自治区河池市为例[J]. *生态学报*, 2014(12): 3435-3443.
- [14] 陈晋,陈云浩,何春阳,等. 基于土地覆盖分类的植被覆盖估算亚像元模型与应用[J]. *遥感学报*, 2001(6): 416-422, 481.
- [15] 覃志豪,李文娟,徐斌,等. 陆地卫星 TM6 波段范围内地表比辐射率的估计[J]. *国土资源遥感*, 2004, 16(3): 28-32.
- [16] 伍漫春,丁建丽,王高峰. 基于地表温度—植被指数特征空间的区域土壤水分反演[J]. *中国沙漠*, 2012, 32(1): 148-154.
- [17] 温小乐,姜兴强,徐涵秋. 基于 TM 影像的长乐市植被覆盖度变化研究[J]. *遥感信息*, 2013(6): 56-61.
- [18] 丁凤,徐涵秋. TM 热波段图像的地表温度反演算法与试验分析[J]. *地球信息科学*, 2006(3): 125-135.
- [19] 虞文丹,张友静,陈立文,等. 基于 TVDI 与气象因子的土壤含水量估算[J]. *地理空间信息*, 2015, 13(1): 137-139.
- [20] 王家强,梁继业,李志军,等. 利用植被指数—地表温度特征空间反演干旱区土壤干湿状况[J]. *土壤通报*, 2014, 45(1): 39-46.
- [21] 范辽生,姜纪红,盛晖,等. 利用温度植被干旱指数(TVDI)方法反演杭州伏旱期土壤水分[J]. *中国农业气象*, 2009(2): 230-234.