

# 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

季翔<sup>1,2</sup> 黄炎和<sup>1\*</sup> 林金石<sup>1</sup> 蒋芳市<sup>1</sup> 陈嘉林<sup>1</sup>

(1. 福建农林大学 资源与环境学院,福州 350002;

2. 福建省土壤环境健康与调控重点实验室,福州 350002)

**摘要** 为对崩岗的其敏感性进行有效评价,在对影响崩岗发生的空间因素进行识别的基础上,应用生态位适宜度模型构建崩岗发生敏感性的评价方法,并对福建省安溪县的流域进行实证研究。结果表明:各敏感性等级中现有崩岗的发生频率和分布比率分别为0.31%、1%、1.94%和3.67%与4.55%、14.39%、28.03%和53.03%,可以看出这2个值均随崩岗发生敏感性等级的提升呈阶梯性增加,说明该评价方法科学合理;对崩岗发生敏感性贡献较大的空间因子为相对高差、粘粒含量和NDVI。由此提出防范崩岗发生的相关建议:对于敏感性较高的区域需增加植被、缩小地形落差,对于敏感性较低的区域要严禁不合理的开山以及破坏植被的行为。

**关键词** 生态位适宜度;敏感性;南方花岗岩区;小流域

中图分类号 S-03; S17

文章编号 1007-4333(2017)10-0159-10

文献标志码 A

## Sensitivity assessment method of collapsed gully occurrence in granite region of South China based on niche-fitness

Ji Xiang<sup>1,2</sup>, HUANG Yanhe<sup>1\*</sup>, LIN Jinshi<sup>1</sup>, JIANG Fangshi<sup>1</sup>, CHEN Jialin<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environment, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;

2. Fujian Provincial Key Laboratory of Soil Environmental Health and Regulation, Fuzhou 350002, China)

**Abstract** The collapsed gully is a threat to agricultural production and agricultural ecological environment with occurrence uncertainty, which means the sensitivity of collapsed gully occurrence plays a crucial role to this subject. A framework is proposed to evaluate the sensitivity of collapsed gully occurrence in granite region of South China based on niche-fitness model. To test this approach, one small watershed in Anxi County Fujian Province is chosen as the case study area. And the results show that the frequency and distribution ratio of collapsed gully in each sensitivity rank are 0.31%, 1%, 1.94%, 3.67% and 4.55%, 14.39%, 28.03%, 53.03% respectively. It means these two values increase stepwise following the rise of sensitivity rank, which proved this assessment method is scientific and reasonable. The results of correlation analysis between the sensitivity of collapsed gully occurrence and the niche-fitness of various factor show that altitude difference and clay content make more contribution to the sensitivity assessment, next for NDVI and flow accumulation, last for altitude and upper slope, which is concerned with the dispersion of each factor distribution and the correlation between factors. The proposals for the prevention work of collapsed gully were put forward according to the above results; the behavior of increasing vegetation cover and reducing altitude difference should be taken in the area of stronger sensitivity, and the behavior which could change natural terrain and destroy vegetation cover should be forbidden in the area of weaker sensitivity.

**Keywords** niche-fitness; sensitivity; granite region of South China; small watershed

收稿日期: 2016-10-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(41601557;41571272); 国家科技支撑计划项目(2014BAD15B0303)

第一作者: 季翔, 讲师, 博士, 主要从事景观生态及风险评价研究, E-mail: jixiangss@126.com

通讯作者: 黄炎和, 教授, 主要从事水土保持和崩岗侵蚀研究, E-mail: yanhehuang@163.com

崩岗是指在水力和重力的作用下,山坡土石体受破坏而崩塌和受冲刷的侵蚀现象。根据相关资料<sup>[1-3]</sup>,南方红壤丘陵区共有各类崩岗 239 125 个,总侵蚀面积为 1 220.05 km<sup>2</sup>,主要集中在江西、广东、湖南、福建、湖北、安徽和广西七省(自治区)。崩岗侵蚀产生的泥沙量巨大,不仅造成表土流失无法利用,而且泥沙被带到下游埋没农田、淤积河道水库,给农业生产、生态环境以及人民生活带来极大危害<sup>[4-5]</sup>。目前对于崩岗侵蚀的研究集中在事后性的治理措施及崩积体的微观机理等方面,关于风险预测或敏感性评价方面的研究较少,主要以评价因子与现有崩岗在空间分布上的统计关系为依据<sup>[6-7]</sup>。风险预测或敏感性评价的关键问题是对影响因子的识别及其作用机制的分析上,这方面的研究相对成熟:通过对崩岗发育的研究发现其主要发生在花岗岩为母质发育的红壤上<sup>[8-11]</sup>;很多学者发现崩岗多发生在雨季,降雨对于崩岗的发生有极强的促进作用<sup>[12-13]</sup>;坡度、坡长和相对高差等地形因素使崩岗的发生在空间上呈现差异<sup>[13-14]</sup>;另外较低的植被覆盖对崩岗的发生具有一定的加速作用<sup>[16-17]</sup>。可以看出崩岗发生受多方面的因素影响,并且其作用机制复杂。鉴于此,本研究引入生态学中的生态位适宜度模型,生态位适宜度是指地理空间内不同要素对于生态过程的促进作用<sup>[18]</sup>。通过对现有崩岗发生影响因素研究成果的基础上,构建崩岗发生的生态位适宜度评价因子体系,实现对崩岗发生敏感性的评估和分级,并在福建省西溪流域中进行实证研究。以期实现对崩岗发生的预估、预警,做到提前预防,从而减少崩岗发生对农业生产、生态环境以及人民生活所带来的危害。

## 1 研究区域与数据来源

### 1.1 研究区域

崩岗多发生于南方花岗岩发育而来的红壤丘陵区,主要集中在江西、广东、福建等省。本研究以福建省安溪县东部的西溪流域为研究区域,该流域属于晋江流域的高径流区<sup>[19]</sup>,地理范围在北纬 24°51′~25°25′、东经 117°40′~118°13′,总面积为 1 771.3 km<sup>2</sup>;属于亚热带海洋性季风气候,年均温度为 16~21℃,降雨量高且集中,年降雨量为 1 600~1 900

mm,夏季降水量占全年 37%~39%;地形以丘陵山地为主,海拔为 30~1 600 m;土壤多为花岗岩发育的红壤,风化壳厚且疏松<sup>[20]</sup>,是崩岗侵蚀的高发地区,崩岗侵蚀面积占整个研究区的 31.41%。综合而言,该区域在崩岗发生敏感性方面的研究具有较好的代表性。

### 1.2 数据来源

采用的地形、土壤、植被以及崩岗方面的数据来源如下:地形方面的数据由福建省测绘局 2000 年调绘的 1:1 万地形图中提取;土壤方面的数据由土壤类型图(1:5 万)以及《安溪土壤》中提取,均为安溪县第二次土壤普查成果;植被数据由 2003 和 2008 年的 TM 影像(分辨率为 30 m)中提取,来自于中科院对地观测中心网站;崩岗数据来自于福建省 2008 年崩岗调查的成果数据,包括崩岗点位以及崩岗类型、面积等数据,其中崩岗点位是崩岗中心所在的地理位置。将以上数据统一到西安 80 坐标系(3 度带、中央经线 114E)下,根据研究区域崩岗的平均面积设置栅格数据的分辨率为 50 m。

## 2 评价模型

### 2.1 生态位适宜度模型

生态位最早被 Grinnell 定义为“生物在栖息地所占据的单元”,后被 Hutchinson 扩展为“生物的空间位置、其在生物群落中的功能位置以及生物在环境空间的位置”<sup>[21-23]</sup>。生态位适宜度则是指此生态位置对于某种生物的适宜程度以及对某种生态过程的促进作用大小。崩岗发生受诸多因素的影响,每个生态位置内的影响因素存在差异,从而导致不同生态位置中发生崩岗的难易程度不同,即敏感性<sup>[24]</sup>。通过生态位适宜度模型计算每个生态位置对崩岗发生的适宜度大小,实现对崩岗发生敏感性的评价:某生态位置中的崩岗适宜度越高,该位置促进崩岗发生的作用也就越大,从而使崩岗越容易发生,也就是该生态位置的崩岗发生敏感性越强;反之越弱。

对于影响生态位大小的生态因子通常分为三类:第 1 类生态因子的值越高,则生态位适宜度越高;第 2 类生态因子的值在一个区间内其生态位适宜度较高,超过这个区间其适宜度都会降低;第 3 类生态因子的值越高,其生态位适宜度越低。具体计算如式(1)~(3),

$$\text{第 1 类: } S_i = \begin{cases} 0 & X_i \leq D_{i\min} \\ (X_i - D_{i\min}) / (D_{i\text{opt}} - D_{i\min}) & D_{i\min} < X_i < D_{i\text{opt}} \\ 1 & X_i \geq D_{i\text{opt}} \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{第 2 类: } S_i = \begin{cases} 0 & X_i \leq D_{i\min} \text{ or } X_i \geq D_{i\max} \\ (X_i - D_{i\min}) / (D_{i\text{opt}} - D_{i\min}) & D_{i\min} < X_i < D_{i\text{opt}} \\ (D_{i\max} - X_i) / (D_{i\max} - D_{i\text{opt}}) & D_{i\text{opt}} < X_i < D_{i\max} \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{第 3 类: } S_i = \begin{cases} 1 & X_i \leq D_{i\text{opt}} \\ (D_{i\max} - X_i) / (D_{i\max} - D_{i\text{opt}}) & D_{i\text{opt}} < X_i < D_{i\max} \\ 0 & X_i \geq D_{i\max} \end{cases} \quad (3)$$

式中:  $S_i$  为第  $i$  个生态因子的生态位适宜度,  $X_i$  为第  $i$  个生态因子的现实生态位,  $D_{i\min}$  和  $D_{i\max}$  分别为第  $i$  个生态因子现实生态位中的最小值和最大值,  $D_{i\text{opt}}$  为第  $i$  个生态因子的生态位理想值。

根据 Shefold 限制性定律: 任何一个生态因子在数量上或质量上的不足, 就会导致该生物的衰退或不能生存<sup>[18,23]</sup>。因此, 生态位适宜度的计算式如式(4),

$$S = \left( \prod_{i=1}^n S_i \right)^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

式中:  $S$  为生态位适宜度,  $n$  为生态因子的数目。

## 2.2 评价因子的选择

在地质条件相似的情况下, 崩岗的发生主要受降雨、土壤、地形和植被等因素的综合影响<sup>[8-17]</sup>。因此, 根据差异性、主导性、综合性和可操作性的生态因子选取原则, 从这 4 个方面选择影响崩岗发生的生态因子作为崩岗发生敏感性的评价指标。

### 2.2.1 降雨因素

降雨对崩岗影响的差异性包括时间尺度和空间尺度 2 个方面, 本研究旨在探讨小流域内不同生态位置对崩岗发生的促进作用大小, 即崩岗发生敏感性的空间差异性。因此, 关于降雨因素对崩岗的影响只考虑其空间差异性。在小流域尺度上, 降雨对崩岗影响的空间差异主要来自于地形起伏使雨量在空间上的再分配: 某个地理单元内的水量汇聚, 不仅使土体重量增加, 同时会降低其抗剪强度, 为崩岗的发生创造条件<sup>[20,25]</sup>。因此, 选择汇流量( $X_1$ )作为评价崩岗生态位适宜度的降雨方面生态因子, 且该因子属于生态位适宜度模型中的第 1 类因子。

### 2.2.2 土壤因素

土壤对崩岗发生具有影响的因素较为繁杂, 其中土层厚度和土壤质地对崩岗的影响较大, 并且其空间差异性较大, 因此从这两方面选择生态因子<sup>[2-3]</sup>。

在小流域尺度上, 影响地表岩土风化的因素相对均质, 若母岩相同, 则土层厚度主要受到海拔高度的影响, 且会随海拔高度的升高而减小。这主要是

由于海拔越高, 温度越低, 使地表岩土的风化过程减缓, 地表积累的土层则越薄, 从而减小了崩岗发生的可能性。因此, 选取海拔高度( $X_2$ )代表土层厚度方面的生态因子, 且该因子属于生态位适宜度模型中的第 3 类因子。

一般采用粘粒含量表达土壤质地, 粘粒含量越低, 土壤质地越粗, 从而增加崩岗发生的可能性。因此, 选取粘粒含量( $X_3$ )代表土壤质地方面的生态因子, 且该因子属于生态位适宜度模型中的第 3 类因子。

### 2.2.3 地形因素

地形因素对崩岗的影响主要表现在地形变化改变土体所受到的重力, 结合已有研究成果, 在地形因素方面选取了上方坡度( $X_4$ )和相对高差( $X_5$ )2 个生态因子, 分别表征该生态位置上方和下方的地形<sup>[2-3]</sup>。

上方坡度指的是该生态位置的土体与逆坡位置之间的坡度, 该值过大上方来水难以汇聚, 过小则无水流经此地, 从而减小崩岗发生的可能性, 因此该因子在崩岗生态位适宜度的评价中为第 2 类因子。

相对高差是指该生态位置与顺坡位置之间海拔高度的差值, 该值越大, 越有利于土体重力产生效能, 土体也就越容易发生崩塌或滑塌, 因此该因子在崩岗生态位适宜度的评价中为第 1 类因子。

### 2.2.4 植被因素

地表植被可以增加土壤的团聚, 有利于土体的固定, 从而减小崩岗发生的可能性<sup>[16-17]</sup>, 一般采用归一化差分植被指数 (NDVI) 表征地表的植被覆盖度。NDVI 的取值  $[-1, 1]$ : 负值表示地面覆盖为云、水、雪等高反射率的地物; 0 表示为岩石、土壤等裸露地表, 正值表示有植被覆盖, 且值越大, 覆盖度越高<sup>[26]</sup>。因此, 本研究选择 NDVI( $X_6$ )为评价崩岗生态位适宜度的植被方面生态因子, 且该因子在崩岗生态位适宜度的评价中为第 2 类因子。

## 2.3 理想值的确定

不同区域的自然条件不同, 各生态因子对于崩

岗发生的生态位理想值也存在差异。因此,在确定各因子的崩岗生态位理想值时不仅需要以其作用机理为前提,还需要考虑到区域条件。以往学者多以最大值、平均值和最小值分别作为三类因子的生态位理想值<sup>[27-29]</sup>,但空间因子一般呈离散型偏态分布且分布宽度极大,选择远离波峰方向的极端值作为生态位理想值时会影响评价结果。因此,当理想值出现在远离数列波峰方向时,本研究以顺序面积累计率达 85% 时所对应的数值为第 1 类因子的生态位理想值,以逆序面积累计率达 85% 时所对应的数值为第 3 类因子的生态位理想值。

在对崩岗生态位适宜度的评价中,第 2 类因子有上方坡度和 NDVI。经诸多学者试验、观测等方式研究发现坡面水土流失过程中一般以 20° 为临界坡度<sup>[30-31]</sup>,研究区的崩岗多发生在 10°~30° 的坡体上,特别是 15°~25°,因此选择中间值 20° 作为上方坡度因子的生态位理想值<sup>[32-33]</sup>;当 NDVI 为 0 值时地表为裸露状态,最易发生崩岗,因此选择 0 作为 NDVI 因子的生态位理想值。

## 2.4 数据的提取与标准化

### 2.4.1 数据提取

采用以下方式对汇流量、海拔高度、上方坡度、相对高差以及 NDVI 因子的数据进行提取:利用 ArcGIS 的水文分析模块由 DEM 数据中提取出汇流量( $X_1$ );海拔高度( $X_2$ )直接由 DEM 数据中提取而来;根据《安溪土壤》中的采样数据对土壤类型(土属)图进行赋值,从而获取案例区的粘粒含量( $X_3$ );借助 ArcGIS 的空间分析模块确定 DEM 数据中各栅格的坡向,然后分别计算各栅格与逆坡栅格之间的坡度值(即上方坡度  $X_4$ )以及与顺坡栅格的高程差(即相对高差  $X_5$ );在对 TM 影像处理后,通过式(5)计算出 NDVI( $X_6$ )。

$$NDVI = (B_4 - B_3) / (B_4 + B_3) \quad (5)$$

式中: $B_3$  和  $B_4$  分别表示 TM 影像中波段 3 和 4 的数值。

### 2.4.2 数据标准化

由于不同因子的量纲不同及其数值的波动范围不同会影响评价结果,因此需要对数据进行标准化处理,如式(6)

$$Y_i = (X_i - \bar{X}) / s \quad (6)$$

式中: $Y_i$  为标准化后的值, $X_i$  为标准化前的值, $\bar{X}$  为  $X_i$  的平均值, $s$  为  $X_i$  的标准差。

## 2.5 崩岗发生敏感性等级划分

崩岗的生态位适宜度反映某个生态位置的自然

条件对崩岗发生的促进作用。崩岗的生态位适宜度越高,崩岗发生的可能性越大,即敏感性越强,反之敏感性越弱。本研究采用四分位法根据崩岗的生态位适宜度将崩岗发生的敏感性划分为 4 个等级:弱敏感(I)、低敏感(II)、中敏感(III)和强敏感(IV)。

## 3 案例区研究

### 3.1 小流域划分及案例区选择

以 DEM 数据为基础,通过 ArcGIS 的水文分析模块进行小流域的划分,然后选择图 1 中的小流域作为案例区。案例区位于安溪县长门镇的东北部,面积为 1 910.3  $hm^2$ ,母岩主要为花岗岩类。该区域现有崩岗 132 个,小型和中型居多,总侵蚀面积为 24.3  $hm^2$ ,崩岗形态多样以弧形、瓢型和混合型为主,且多为活动型崩岗。由于该区域是研究区域中崩岗发生频率较高且各评价因子空间差异较大的小流域之一,因此具有一定的代表性,其位置如图 1 所示。

### 3.2 崩岗生态位适宜度评价

根据 2.3 节所述方法确定研究区域中各因子的崩岗生态位理想值,具体如表 1 所示。

由表 1 可以看出:汇流量的数列分布为右偏态分布,其偏斜程度和离散程度极高、极端值也非常多,且为第 1 类因子,故其理想值为顺序面积累计率达 85% 的值,即 5;海拔高度和粘粒含量的数列分布均接近正态分布,且皆为第 3 类因子,故其理想值为最小值,即 49 m 和 8%;相对高差的数列分布为右偏态分布,且为第 1 类因子,故其理想值为顺序面积累计率达 85% 的值,即 53 m;上方坡度和 NDVI 均为第 2 类因子,分别根据文献总结和指数特性确定其理想值为 20° 和 0。

然后,根据式(1)~(3)计算出案例区中各个因子的崩岗生态位适宜度,具体如图 2 所示。

由图 2 可以看出各因子的崩岗生态位适宜度的空间分布具有一定的相似性:汇流量的崩岗生态位适宜度分布最离散,呈两极化,中间值较少;海拔高度的崩岗生态位适宜度分布最连续,且与汇流量的崩岗生态位适宜度的空间分布具有微弱的相似性;上方坡度的崩岗生态位适宜度分布相对离散,且与海拔高度的崩岗生态位适宜度的空间分布具有较高的相似性;相对高差的崩岗生态位适宜度分布相对连续,且与海拔高度的崩岗生态位适宜度的空间分布呈相反趋势;NDVI 的崩岗生态位适宜度分布较

为连续,且与海拔高度的崩岗生态位适宜度的空间分布具有部分相似;另外,粘粒含量的崩岗生态位适

宜度分布较为离散,与其他因子的崩岗生态位适宜度的空间分布不相似。

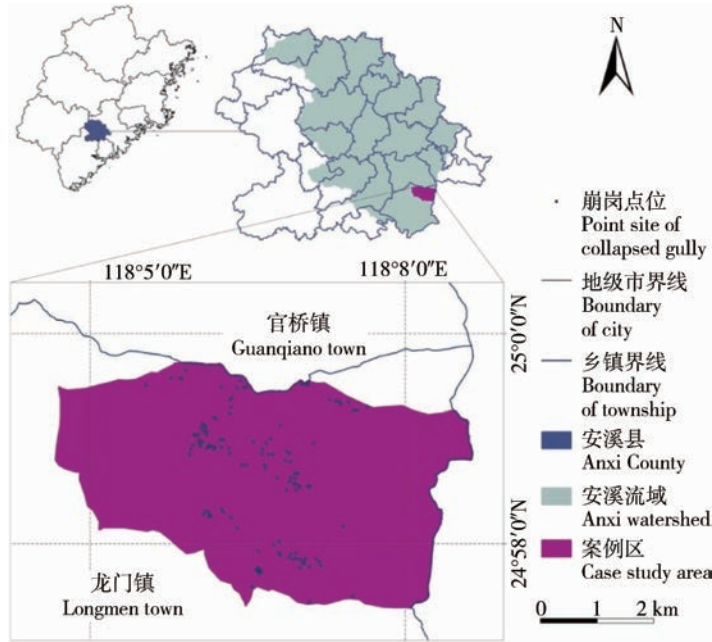


图 1 案例区位置示意图

Fig. 1 Location sketch map of case area

表 1 各因子的崩岗生态位理想值

Table 1 Optimal value of collapsed gully niche-fitness of each factor

因子名称 Factor name	因子类型 Factor type	偏态 系数 Cs	变异 系数 Cv	峰态 系数 Bk	理想值方向 Orientation of optimal value	理想值的确定 Determination of optimal value	理想值 Optimal value
汇流量	第 1 类	20.28	14.10	459.44	远离波峰	顺序面积达 85%	5
海拔高度	第 3 类	0.17	0.50	-0.70	靠近波峰	最小值	49 m
粘粒含量	第 3 类	0.35	0.41	-1.08	靠近波峰	最小值	8%
上方坡度	第 2 类	—	—	—	居中	文献总结	20°
相对高差	第 1 类	0.50	0.63	0.11	远离波峰	顺序面积达 85%	53 m
NDVI	第 2 类	—	—	—	居中	指数特性	0

注:偏态系数表示数列分布的偏斜程度,其绝对值越大,数列偏斜程度越高;变异系数表示数列分布的离散程度,该值越大,数列越离散;峰态系数表示曲线顶端尖峭或扁平程度,该值越大,极值越多。

Note:Cs describes the deflection degree of sequence distribution,the bigger its absolute value is,the more deflective sequence distributes. Cv describes the dispersion degree of sequence distribution,the bigger its value is,the more dispersive sequence distributes. Bk describes the top of sequence distribution curve is sharp or flat,the bigger its value is,the more extreme value sequence has.

### 3.3 崩岗发生敏感性评价结果及其验证

根据式(4),由各因子的崩岗生态位适宜度计算总的崩岗生态位适宜度,即崩岗发生敏感性。然后通过四分位法将其划分为 4 个等级,并将零散栅格

进行的归并,最终得到案例区的崩岗发生敏感性等级图,如图 3 所示。

将崩岗发生敏感性等级与崩岗点位数据叠加,统计每个等级内崩岗所占的栅格数目,具体如表 2。

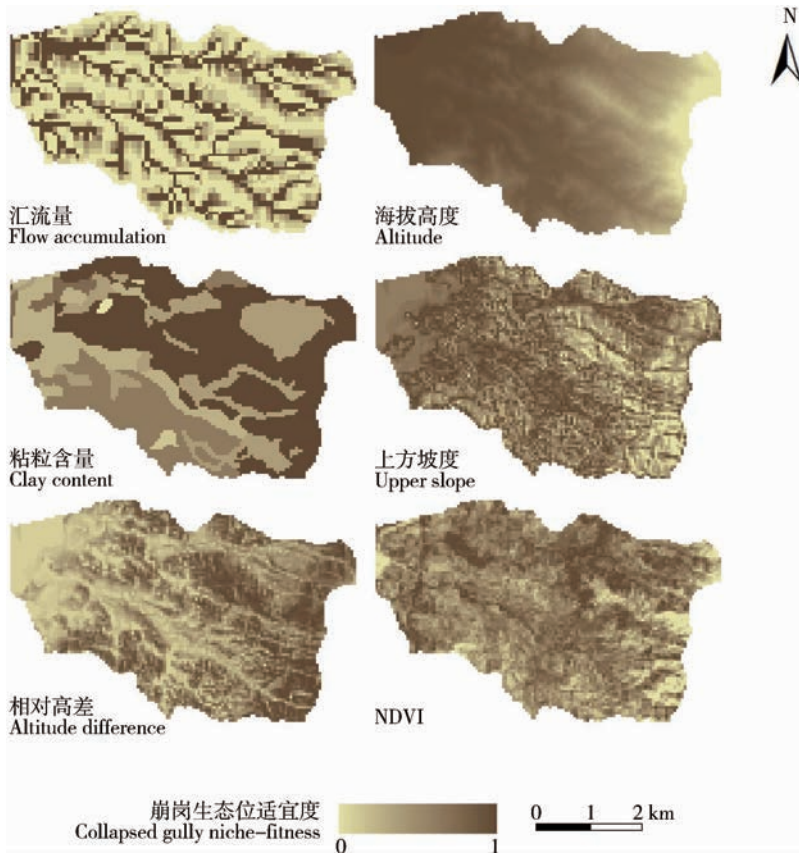


图2 案例区各因子的崩岗生态位适宜度

Fig. 2 Collapsed gully niche-fitness of each factor in case area

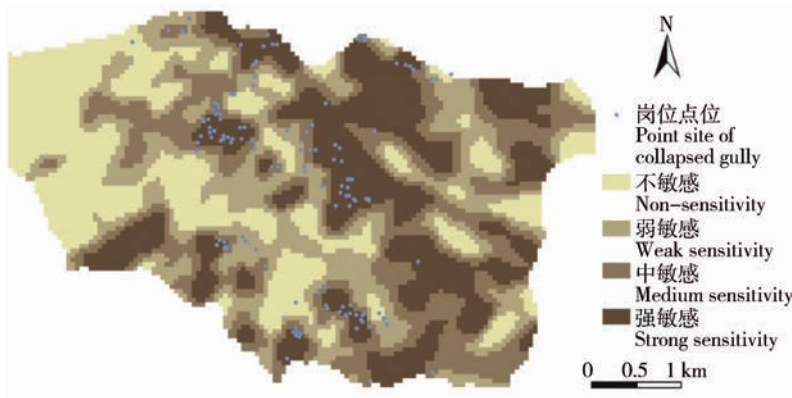


图3 案例区崩岗发生敏感性等级图

Fig. 3 Sensitivity rank of collapsed gully occurrence in case area

由表2看出崩岗发生频率以及崩岗分布比率,均随崩岗发生敏感性等级的升高而呈阶梯性增加,说明评价结果与历史数据相符。因此该方法科学合理,适用于对南方花岗岩区的崩岗敏感性评价。

### 3.4 因子对崩岗发生敏感性的贡献

为分析各因子在崩岗发生敏感性评价结果中的

贡献大小,采用 $9 \times 9$  栅格的网格对案例区进行样本划分,如图4。

提取样本中各因子的崩岗生态位适宜度与崩岗发生敏感性。分别以各因子的崩岗生态位适宜度为纵坐标,以崩岗发生敏感性为横坐标制作散点图,如图5。

表 2 崩岗发生敏感性的评价结果验证

Table 2 Results verification of sensitivity assessment of collapsed gully occurrence

敏感性等级 Sensitivity rank	总栅格数目 Grid number	崩岗点位数目 Point site number	崩岗发生频率% Frequency	崩岗分布比率% Distribution ratio
不敏感	1 909	6	0.31	4.55
弱敏感	1 908	19	1.00	14.39
中敏感	1 908	37	1.94	28.03
强敏感	1 908	70	3.67	53.03
合计	7 633	132	1.73	100.00

注：崩岗发生频率为每个等级内的崩岗点位数目与总栅格数目之比；崩岗分布比率为该等级内的崩岗点位数目与崩岗点位的总数之比。

Note: Frequency of collapsed gully is the ratio of point site number to grid number in each rank. Distribution ratio of collapsed gully is the ratio of point site number in one rank to the total number of point site.

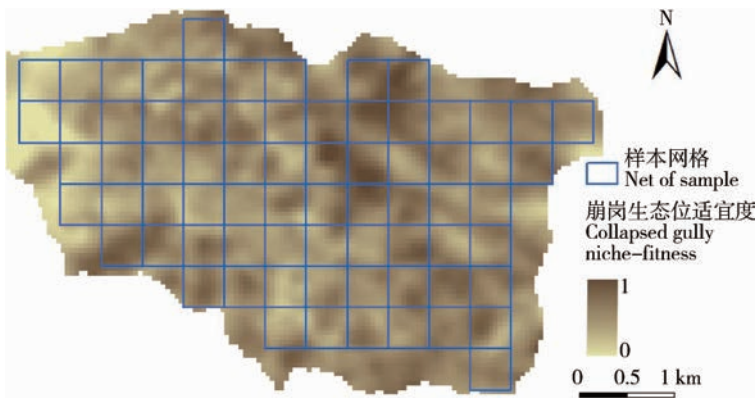


图 4 案例区的样本网格图

Fig. 4 Net of sample in case area

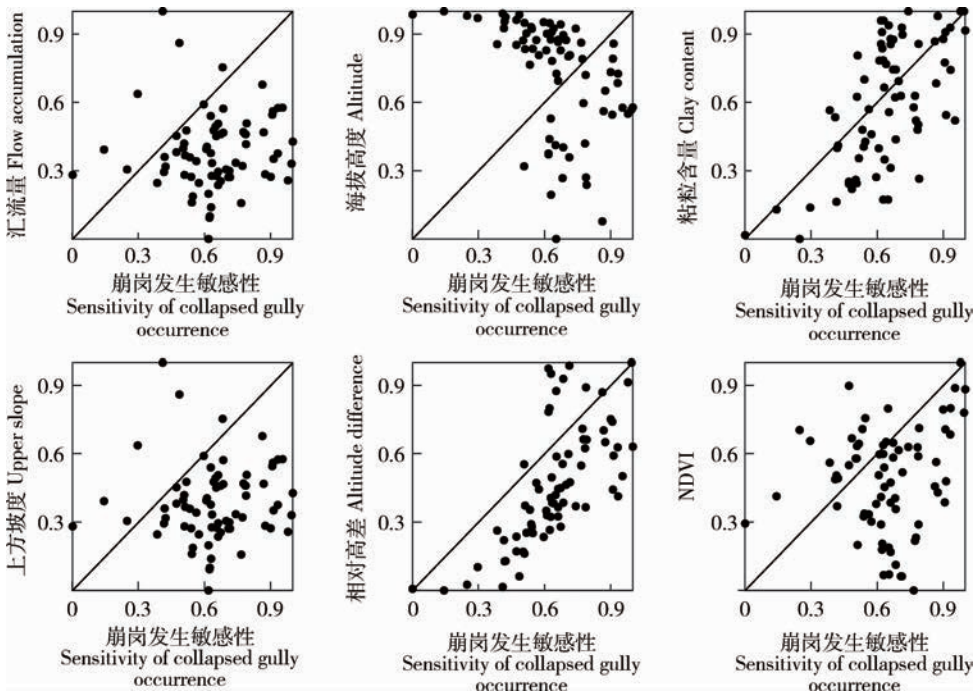


图 5 各因子的崩岗生态位适宜度与崩岗发生敏感性的散点图

Fig. 5 Scatter between each factor's collapsed gully niche-fitness and sensitivity of collapsed gully occurrence

图5中散点图的对角线为崩岗发生敏感性,散点代表各因子的崩岗生态位适宜度。散点越靠近对角线说明该因子对崩岗发生敏感性的贡献越大,反之越小。分别计算图5各散点图中散点与对角线之间的平均距离,分别为:汇流量0.22、海拔高度0.23、粘粒含量0.13、上方坡度0.23、相对高差0.17和NDVI0.18。由此可以看出对崩岗发生敏感性贡献最大的生态因子是粘粒含量和相对高差,其次为NDVI和汇流量,贡献最小的为上方坡度和海拔高度。根据各因子对崩岗发生敏感性的贡献为崩岗发生的预防工作提供参考:一方面重视地形落差较大、土壤质地松散区域的崩岗预防工作,增加植被种植或者采用工程措施缩小地形落差;另一方面严禁不合理的开山建房改变自然地形,以及由于破坏植被造成表土流失的行为。

#### 4 结论与讨论

本研究基于生态位适宜度模型对南方花岗岩地区的崩岗发生敏感性进行了评价。崩岗是南方最严重的侵蚀类型之一,给农业生产、生态环境以及人民生活带来极大危害。但目前对于崩岗的研究多集中于事后性的治理或者微观机理等,在崩岗发生敏感性评价及风险预测方面的研究较少,且多为以评价因子与现有崩岗在空间分布上的统计关系为依据的经验性模型<sup>[6-7]</sup>。经验性模型在不同区域中的应用受到一定的限制,因此对崩岗这种自然灾害的提前预防或预警作用相对较小。本研究基于崩岗的发生机理,应用生态位适宜度模型构建了崩岗发生敏感性的评价方法,不仅使对崩岗的研究从“发生后”扩展到“发生前”,还使对崩岗发生敏感性的评价方法由经验型扩展到机理型。

本研究以区域为研究尺度,旨在探讨区域内崩岗发生敏感性的空间差异性,生态位适宜度模型的核心问题为确定每个生态单元在整个生态空间内的位置排序,是一个研究空间尺度差异性的模型<sup>[27-29]</sup>,适用于对崩岗发生敏感性空间差异的研究。另外本研究未涉及崩岗发生敏感性在时间尺度上的变异,比如降雨随季节变化对崩岗发生发育的影响等。因此,在时间尺度上探讨崩岗发生敏感性的变异性有待进一步研究。

通过以上研究得出以下结论:

1)在对影响崩岗发生的空间因素进行识别的基础上,应用生态位模型构建了针对南方花岗岩地区

的崩岗发生敏感性的评价方法;然后,选择研究区域内崩岗发生较多且地形变异较大,具有一定代表性的小流域为案例区进行实证研究,并根据崩岗点位数数据对评价结果进行验证:各等级的崩岗发生频率以及崩岗分布比率分别为0.31%、1%、1.94%、3.67%和4.55%、14.39%、28.03%、53.03%,由此可以看出这2个值均随敏感性等级的提升而呈阶梯性增加,说明该评价方法科学合理,适用于南方花岗岩地区崩岗发生敏感性的评价。

2)通过对各因子的崩岗生态位适宜度与崩岗发生敏感性的散点图分析以及散点距离计算,得到各因子对崩岗发生敏感性的贡献,由大及小为粘粒含量、相对高差、NDVI、汇流量、海拔高度以及上方坡度。该结果虽然受因子之间相关性以及因子分布离散性的影响,但也直观地反应出南方花岗岩地区各空间因子对崩岗发生敏感性贡献的大小,且与其他学者关于崩岗发生机理的研究结论相对一致<sup>[8-10,16-17]</sup>。由于相对高差、粘粒含量和NDVI对崩岗发生敏感性的贡献较大,因此可从这3个方面为崩岗的预防工作提供参考:对于敏感性较高的区域需要增加植被保育土壤,并且适当缩小地形落差;对于敏感性较低的区域要严禁破坏植被防止表土流失,并且严惩不合理的开山行为以维持原有地表形态。

#### 参考文献 References

- [1] 水利部,中国科学院,中国工程院. 中国水土流失防治与生态安全[M]. 北京:科学出版社,2011:924-925  
Ministry of Water Resources of the People's Republic of China, Chinese Academy of Sciences, Chinese Academy of Engineering. *Soil and Water Conservation and Ecological Safety in China* [M]. Beijing: Science Press, 2011: 924-925 (in Chinese)
- [2] 梁音,宁堆虎,潘贤章,李德成,张斌. 南方红壤区崩岗侵蚀的特点与治理[J]. 中国水土保持,2009,(1):31-34  
Liang Y, Ning D H, Pan X Z, Li D C, Zhang B. Characters and control of collapsing hill erosion in South China[J]. *Soil and Water Conservation in China*, 2009, (1): 31-34 (in Chinese)
- [3] 牛德奎. 华南红壤丘陵区崩岗发育的环境背景与侵蚀机理研究[D]. 南京:南京林业大学,2009  
Niu Dekui. Research on the environmental factors and erosive mechanism of collapsing hill in South China [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2009 (in Chinese)
- [4] 王礼先,孙保平,余新晓. 中国水利百科全书:水土保持分册[M]. 北京:中国水利水电出版社,2004:48-49



- Wang L X, Sun B P, Yu X X. *Encyclopedia of Water Conservancy in China: Volume of Soil and Water Conservation* [M]. Beijing, China Water Power Press, 2004: 48-49 (in Chinese)
- [5] 王学强, 蔡强国. 崩岗及其治理措施的系统分析[J]. 中国水土保持, 2007, (7): 29-31, 60
- Wang X Q, Cai Q G. Systematic analysis on dilapidated granite and measures for management [J]. *Soil and Water Conservation in China*, 2007, (7): 29-31, 60 (in Chinese)
- [6] 陈洋. 基于遥感与GIS的流域崩岗敏感性分析[D]. 福州: 福建师范大学, 2010
- Chen Y. Sensitivity analysis of river basin collapsed gully based on RS and GIS[D]. Fuzhou, Fujian Normal University, 2010 (in Chinese)
- [7] 陈嘉林. 福建省典型崩岗区潜在性崩岗风险评估与预测[D]. 福州: 福建农林大学, 2015
- Chen J L. Risk evaluation and simulation of the potential collapsing hills in Fujian typical collapsed area [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2015 (in Chinese)
- [8] 葛宏力, 黄炎和, 蒋芳市. 福建省崩岗发生的地质和地貌条件分析[J]. 水土保持通报, 2007, 27(2): 128-131
- Ge H L, Huang Y H, Jiang F S. Geologic and geomorphologic conditions for slope collapse occurrences in Fujian [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2007, 27(2): 128-131 (in Chinese)
- [9] 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, (2): 31-35
- Wu Z F, Wang J Z. Relationship between slope disintegration and rock-soil characteristics of granite weathering mantle in South China [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2000, (2): 31-35 (in Chinese)
- [10] 林敬兰, 陈志明, 黄炎和, 许永明, 蒋芳市, 葛宏力. 安溪县崩岗侵蚀空间分布特征探讨[J]. 水土保持研究, 2009, 24(6): 63-68
- Lin J L, Chen Z M, Huang Y H, Xu Y M, Jiang F S, Ge H L. Study on the characteristics of spatial distribution of slope disintegration erosion in Anxi County [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2009, 24(6): 63-68 (in Chinese)
- [11] Kheir R B, Chorowicz J, Abdallah C, Dhont D. Soil and bedrock distribution estimated from gully form and frequency: A GIS-based decision-tree model for Lebanon [J]. *Geomorphology*, 2008, 93(3-4): 482-492
- [12] Capra A, Porto P, Scicolone B. Relationships between rainfall characteristics and ephemeral gully erosion in a cultivated catchment in Sicily (Italy) [J]. *Soil and Tillage Research*. 2009, 105(1): 77-87
- [13] Chaplot V, Brown J, Dlamini P, Eustice T, Janeau J L, Jewitt G, Lorentz S, Martin L, Nontokozi-Mchunu C, Oake E. Rainfall simulation to identify the storm-scale mechanisms of gully bank retreat [J]. *Agricultural Water Management*, 2011, 98(11): 1704-1710
- [14] Samani A N, Ahmadi H, Jafari M, Boggs G, Ghoddousi J, Malekian A. Geomorphic threshold conditions for gully erosion in Southwestern Iran (Boushehr-Samal watershed) [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2009, 35(2): 180-189
- [15] Kakembo V, Xanga W W, Rowntree K. Topographic thresholds in gully development on the hill slopes of communal areas in Ngqushwa Local Municipality, Eastern Cape, South Africa [J]. *Geomorphology*, 2009, 110(3-4): 188-194
- [16] 阮伏水. 福建省崩岗侵蚀与治理模式探讨[J]. 山地学报, 2003, 21(6): 675-680
- Ruan F S. Study on slump gully erosion and its control in Fujian Province [J]. *Journal of Mountain Science*, 2003, 21(6): 675-680 (in Chinese)
- [17] 丁光敏. 福建省崩岗侵蚀成因及治理模式研究[J]. 水土保持通报, 2001, 21(5): 10-15
- Ding G M. Causes and control patterns of collapse gully erosion in Fujian Province [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2001, 21(5): 10-15 (in Chinese)
- [18] Li W L, Li Z Z, Li W D. Effect of the niche-fitness at different water supply and fertilization on yield of spring wheat in farmland of Semi-arid Areas [J]. *Agricultural Water Management*, 2004, 67(1): 1-13
- [19] 安溪县委编纂委员会. 安溪县志 [M]. 北京: 新华出版社, 1994: 106-122
- Compilation Committee of Anxi County Annals. *Anxi is County Annals* [M]. Beijing: Xinhua Publishing House, 1994: 106-122 (in Chinese)
- [20] 林敬兰, 黄炎和, 张德斌, 王妍, 陈起军, 陈记平, 武晓莉. 水分对崩岗土体抗剪切特性的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(3): 55-58
- Lin J L, Huang Y H, Zhang D B, Wang Y, Chen Q J, Chen J P, Wu X L. Influence of soil moisture content on shear characteristics of Benggang [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2013, 27(3): 55-58 (in Chinese)
- [21] 胡春雷, 肖玲. 生态位理论与方法在城市研究中的应用[J]. 地域研究与开发, 2004, 23(2): 13-16
- Hu C L, Xiao L. The pilot application of the niche theories and methods in the research of city [J]. *Areal Research And Development*, 2004, 23(2): 13-16 (in Chinese)
- [22] Wang J H. The models of niche and their application [J]. *Ecological Modeling*, 1995, 80: 279-291
- [23] Ouyang Z Y, Weisman J, Wang R S. Ecological niche suitability model with an application in Taojiang [J]. *Land Use Planning of Environment Science*. 1994, 6(4): 449-456
- [24] 刘康, 欧阳志云, 王效科, 徐卫华, 苗茜. 甘肃省生态环境敏感性评价及其空间分布[J]. 生态学报, 2003, 23(12): 2711-2715
- Liu K, Ouyang Z Y, Wang X K, Xu W H, Miao H. Eco-environmental sensitivity and its spatial distribution in Gansu Province [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(12): 2711-2715 (in Chinese)
- [25] 张新和, 郑粉莉, 汪晓勇, 李靖. 上方汇水对黄土坡面侵蚀方式演变及侵蚀产沙的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学

- 版,2008,36(3):105-110
- Zhang X H, Zheng F L, Wang X Y, Li J. Effects of upslope runoff on loessial hillslope erosion pattern evolution process and erosion sediment [J]. *Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition*, 2008, 36(3):105-110 (in Chinese)
- [26] 颜丽虹. 基于多尺度 NDVI 和 LUCC 的漓江流域生态演变研究[D]. 北京:中国地质大学,2012
- Yan L H. Research ecological evolution of Lijiang basin based on multi-scale NDVI and LUCC[D]. Beijing:China University of Geosciences,2012 (in Chinese)
- [27] 蒙莉娜,郑新奇,赵璐,邓婧. 基于生态位适宜度模型的土地利用功能分区[J]. 农业工程学报,2011,27(3):282-287
- Meng L N, Zheng X Q, Zhao L, Deng J. Land-use functional regionalization based on niche-fitness model[J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(3):282-287 (in Chinese)
- [28] 俞艳,何建华. 基于生态位适宜度的土地生态经济适宜性评价[J]. 农业工程学报,2008,24(1):124-128
- Yu Y, He J H. Land eco-economical suitability evaluation based on niche fitness[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(1):124-128 (in Chinese)
- [29] 于婧,聂艳,周勇,何佑勇. 生态位适宜度方法在基于 GIS 的耕地多宜性评价中的应用[J]. 土壤学报,2006,43(2):190-196
- Yu J, Nie Y, Zhou Y, He Y Y. Niche-fitness theory and its application to GIS-based multi-suitability evaluation of cultivated land[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(2):190-196 (in Chinese)
- [30] 赵晓光. 黄土塬区坡面水蚀作用过程[J]. 水土保持学报,2000,14(3):122-124
- Zhao X G. Study process of water erosion of slope in loess plateau region[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2000, 14(3):122-124 (in Chinese)
- [31] 张以森,郭相平,吴玉柏,周华强. 扰动高沙土侵蚀规律的试验研究[J]. 河海大学学报:自然科学版,2010,38(5):522-526
- Zhang Y S, Guo X P, Wu Y B, Zhou H Q. Experimental study on erosion rules of disturbed sandy soil[J]. *Journal of Hohai University: Natural Sciences*, 2010, 38(5):522-526 (in Chinese)
- [32] 林敬兰,黄炎和,林金石,蒋芳市. 福建省崩岗侵蚀的地质地貌背景分析[J]. 亚热带水土保持,2014,26(4):1-5
- Lin J L, Huang Y H, Lin J S, Jiang F S. Background analysis on the geology and land form of collapse eErosion in Fujian Province[J]. *Subtropical Soil and Water Conservation*, 2014, 26(4):1-5 (in Chinese)
- [33] 赵静,唐剑波,牛德奎. 基于 GIS 的江西于都崩岗侵蚀空间分布研究[J]. 长江科学院院报,2014,31(6):18-21
- Zhao J, Tang J B, Niu D K. GIS-based research on spatial distribution of slope disintegration in Yudu County of Jiangxi Province[J]. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2014, 31(6):18-21 (in Chinese)

责任编辑:王燕华