

地质地貌因素对喀斯特石漠化的影响 ——以广西大化县为例

杨青青^{1,2,3}, 王克林^{1,3}, 陈洪松^{1,3}, 张伟^{1,3}, 田日昌^{1,3}

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 湖南长沙 410125 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049

3. 中国科学院环江喀斯特农业生态试验站, 广西环江 547100)

摘要: 运用广西大化县的 DEM、石漠化、地质数据, 通过 GIS 叠加分析, 探讨了地质地貌因素对石漠化分布的影响。结果表明: 地貌区的石漠化发生率排序为高峰丛洼地区 > 中峰丛洼地区 > 峰林谷地区 > 丘陵山地区。发生石漠化的 4 种碳酸盐岩中, 发生率排序为连续性灰岩 > 灰岩夹碎屑岩 > 灰岩与白云岩混合组合 > 灰岩与碎屑岩互层组合。碳酸盐岩含量较高的 3 种岩性在 25°~45°坡地石漠化发生率最高, 含量较低的岩性石漠化发生率高峰在 35°~60°, 同时发现所有岩性的石漠化发生率在 3°~8°坡度区间存在小高峰, 这与坡脚普遍的顺坡耕种有关。断层与石漠化关系密切, 中度以上石漠化集中分布在断层周围 1.5 km 内。石漠化的发生是人为干扰、坡面侵蚀、岩石成土与溶蚀作用等综合作用的结果。在石漠化的防治中, 应该综合考虑地貌发育、坡度、岩石碳酸盐含量、断层分布等多个因子的影响。

关键词: 石漠化; 地质; GIS 坡度; 岩性; 断层; 喀斯特

中图分类号: P931.5; X43

文献标识码: A

中国西南地区是世界上连片分布面积最大的喀斯特地区, 人地矛盾突出, 水土流失和石漠化问题严重。石漠化是植被、土壤覆盖的碳酸盐岩地区转变为岩石裸露的喀斯特景观的过程, 是中国南方亚热带喀斯特地区严峻的生态问题, 导致了喀斯特风化残积层土的迅速贫瘠化^[1]。随着西部大开发战略的实施, 特别是西部生态建设目标的提出, 喀斯特石漠化问题倍受瞩目^[2]。石漠化综合治理已成为当前各级主管部门的主要政策趋向, 并成为我国政府、学术界和社会关注的焦点^[3]。要有效预防和治理石漠化, 需要了解其发生的机理和过程, 找出关键因素, 做到有的放矢。石漠化是区域自然背景因素和不合理的人类活动共同作用下的产物^[4-6], 其中脆弱的生态地质环境是石漠化形成的基础^[1,2]。专家

学者曾对石漠化的地质成因进行了较为深入的研究。李瑞玲^[5]探讨了贵州省石漠化与岩性的关系, 指出石漠化与岩性显著相关, 尤其是纯碳酸盐岩; 单洋天^[4]分析了地质因素与石漠化的关系, 认为其在自然因素中起主导作用。对贵州省绥阳县石漠化分布的研究也表明, 中度及强度石漠化主要发生在连续性白云岩地区^[6]。另外, 也有研究指出石漠化分布与坡度等地貌因素密切相关^[7,8]。这些研究深入探讨了石漠化分布与单个因子之间的关系, 但是没有综合分析它们对石漠化的影响。地质构造运动塑造了陡峭而破碎的喀斯特地貌格局, 地质地貌两因素密不可分, 是生态系统得以存在和发展的载体和物质基础^[9]。综合分析地质地貌因素如何影响与控制石漠化的发生, 能够为石漠化的预防部署提供

收稿日期 (Received date): 2008-06-20; 改回日期 (Accepted): 2008-10-03。

基金项目 (Foundation item): 中国科学院西部行动计划项目 (KZCX2-XB2-08)、中国科学院“西部之光”人才培养计划项目资助。[West Project of Chinese Academy of Sciences (No. KZCX2-XB2-08); The Light of the Chinese Academy of Sciences Western Project “Talent Training Plan”.]

作者简介 (Biography): 杨青青 (1982-), 女, 山东烟台人, 在读博士生, 研究方向: 生态遥感及生态恢复。[Yang Qingqing (1982-), female born in Yantai, Shandong, Ph.D candidate, major in remote sensing in ecology and ecological restoration.] Tel: 15116466334 E-mail: yangqq0808@163.com

理论依据,有助于喀斯特地区生态恢复。

广西是我国喀斯特地貌发育十分典型的地区之一,喀斯特集中分布于桂中的红水河流域、柳江流域、桂西的左、右江流域,桂东北的漓江流域中下游两岸^[10]。本文以大化瑶族自治县(大化县)为例,选择前人研究较多的坡度、岩性及研究较少的地貌类型、断层 4 个因子,探讨地质地貌因素对石漠化分布的影响。

1 研究区概况

研究区大化县位于广西壮族自治区中部偏西北的红水河中游($107^{\circ}9'8''\sim 108^{\circ}8'24''\text{E}$, $23^{\circ}56'16''\sim 24^{\circ}22'15''\text{N}$),系云贵高原向广西盆地过渡地带。全县总面积 $2\,804\text{ km}^2$,耕地总面积 162 km^2 ,人口约 41 万。境内峰丛密布,喀斯特面积共 $2\,059\text{ km}^2$,占全县总面积的 73%,喀斯特地貌较为典型。喀斯特地区的出露地层介于古生代晚期到早中生代,从泥盆纪到早-中三叠世均有出露,以开阔海台地相碳酸盐岩为主。岩石性质主要为石灰岩与砂页岩。研究区气候温和,属亚热带季风气候,雨热同季。年平均气温 $18.2\sim 21.7^{\circ}\text{C}$,年降雨量为 $1\,249\sim 1\,673\text{ mm}$ 。境内地表水系与地下水系并存,地表河流总长 474.3 km ,主要河流是红水河,自西北向东南穿过,境内长度为 163 km 。地下河有 14 条,地下水埋深一般 $7\sim 15\text{ m}$ 。

2 研究方法

2.1 数据来源及处理

遥感数据:由两景(轨道号:126/43 126/44 日期 1990-10-28 1994-11-05) Landsat TM 图像拼接而成,并数字化大化县的行政区划图,对图像进行裁减,得到研究区的遥感图像。

石漠化数据:石漠化分级实质是确定了石漠化的零级和顶级状态之后,等比内插形成的。石漠化的等级表示石漠化发展的程度。以 0.2 km^2 的图斑中岩石裸露率、 0.2 km^2 的图斑中植被+土被覆盖率为指标,土壤类型、平均土层厚度为辅。参照前人文献,采用 5 级分级标准^[11],目视解译 TM 图像得到研究区石漠化分布数据。

岩性数据:通过 1:20 万的大化县的区域地质图矢量化得到岩性数据与断层数据。大化县喀斯特

地区地层包括下古生界与早中生界的 4 个系:泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系,9 个统,18 个组。

地貌数据:由研究区的 100 m 分辨率 DEM 划分地貌区。用 Arcgis 8.3 软件处理 DEM 获得坡度数据。在前人对于坡面流、坡面侵蚀以及临界坡度的研究的基础上^[12],考虑大化县的坡度分布情况,把坡度划分为 8 个等级,1~8 级依次为 $0^{\circ}\sim 3^{\circ}$, $3^{\circ}\sim 8^{\circ}$, $8^{\circ}\sim 15^{\circ}$, $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$, $25^{\circ}\sim 35^{\circ}$, $35^{\circ}\sim 45^{\circ}$, $45^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 与 $60^{\circ}\sim 88^{\circ}$ 。

2.2 数据分析

地貌因素对石漠化分布的影响,以地貌区和坡度等级为单位进行分析。地质因素对石漠化分布的影响,主要分析岩性、断层两个方面。定义石漠化发生率为单位面积喀斯特土地发生的石漠化面积,以此来表征各个因子与石漠化的相关性。用 Arcgis 8.3 的 ArcToolbox 下的 Analysis tools 实现断层的缓冲区分析,并进行地貌区、坡度等级、岩性数据以及断层数据与石漠化数据的叠加。

3 结果分析

3.1 石漠化分布

大化县石漠化总面积 508 km^2 ,占县域面积的 18.1%,石漠化发生率为 24%。轻度石漠化面积最广,占全部石漠化面积的 40.3%;其次是潜在石漠化,占 27.6%,然后是中度石漠化,占 23.0%。强度与极强度石漠化比例都很小,分别为 7.0% 和 2.1%。石漠化面积占乡镇总面积 30% 以上的乡镇有都阳镇、古文乡、江南乡、镇西乡、七百弄乡、百马乡、板兰乡。

3.2 石漠化分布与地貌因素的关系

3.2.1 地貌因子与石漠化分布

依据地表地势与基本地形,大化县可划分为 4 个地貌区。东北部为高峰丛洼地区,西南部为中峰丛洼地区,中西部为丘陵山地区,东南部为峰林谷地区。高峰丛洼地区的高程为 $180\sim 1\,097\text{ m}$,中峰丛洼地区的山峰海拔在 800 m 左右;峰林谷地区分布在河流两侧,峰顶高程大多为 $400\sim 600\text{ m}$,山峰无连座或连座低于峰顶相对高度的二分之一。高峰丛洼地区、中峰丛洼地区和峰林谷地区 3 个地貌区喀斯特面积连片分布,面积大,而丘陵山地区喀斯特面积很小,分布零散(图 1)。

叠加石漠化图与地貌分区图后统计数据,结果

表明: 石漠化发生率最高的是高峰丛洼地区, 该区地势较高, 平均高程 769.5 m; 其次是中峰丛洼地区、峰林谷地区; 发生率最低的是丘陵山地区, 该区大部

分为非喀斯特地区, 以土山为主, 不利于喀斯特地貌发育。

表 1 大化县不同地貌区的石漠化发生率

Table 1 The occurrence of rocky desertification of different land form zones in Dahua county

区名	乡镇	石漠化面积 (km ²)	石漠化发生率 (%)
高峰丛洼地区	板升, 七百弄, 镇西 B. SH, Q. BN, ZH. X	179.53	27.06
中峰丛洼地区	板兰, 雅龙, 江南, 百马, 古文, 共和 B. L, Y. L, J. N, B. M, G. W, G. H	200.00	24.86
丘陵山地区	北景, 乙圩, 岩滩, 都阳, 羌圩 B. J. Y. X, Y. T, D. Y, Q. X	53.81	7.62
峰林谷地区	大化 古河 六也 流水 贵川 D. H, G. H, L. Y, L. SH, G. CH	68.42	10.69

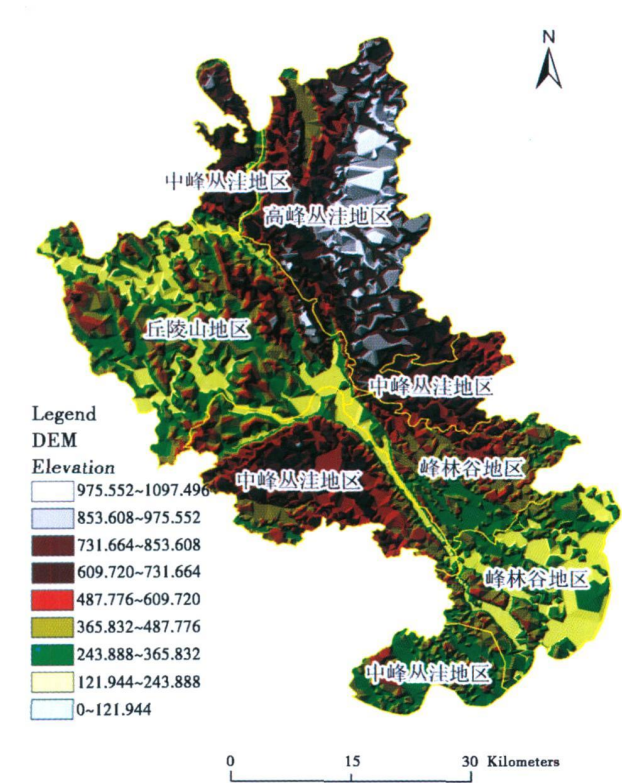


图 1 大化县地貌分区图

Fig. 1 Land form zone of Dahua County

高峰丛洼地 – 中峰丛洼地 – 峰林谷地是喀斯特溶蚀作用逐渐深入的三种地貌。高峰丛洼地的山峰溶蚀程度低, 基座粘连在一起。中峰丛洼地进一步被溶蚀, 峰林谷地是溶蚀的后期阶段。高峰丛洼地区平地较少或者没有, 只能在山坡和山间洼地进行

耕种。如该区的七百弄乡, 中山 (> 800 m) 占 92.4%, 低山 (500~ 800 m) 占 7.3%, 耕地主要分布在占全乡面积 3% 左右的山间平地。峰林谷地区, 谷地的土壤肥沃, 为良好的农业区。该类地貌区的共和乡, 低山、高丘、平地的比例分别为: 59.0%, 28.5%, 12.5%。其中平地以红土为主, 土层厚且肥沃, 为主要的居民区与农作区。由表 1 可见, 随着溶蚀作用的逐步深入, 高峰丛洼地区、中峰丛洼地区、峰林谷地区三种地貌区的石漠化发生率逐渐降低。溶蚀程度较高的峰林谷地, 石漠化发生率较低, 更适宜农耕和人类居住。

3. 2. 2 坡度因子与石漠化分布

大化县喀斯特地区 1 级坡度 (3° 以下) 占 15.1%, 2 级 (3° ~ 8°) 比例为 11.8%, 4 级 (15° ~ 25°) 的比例最大, 占全部等级的 25.3%。5 ~ 8 级坡度所占比例依次降低, 8 级 (60° ~ 88°) 所占比例仅为 0.37%。1 ~ 3 级 (0° ~ 15°) 共占喀斯特总面积的 48%, 4 ~ 6 级 (15° ~ 45°) 累计占 49% (图 2)。喀斯特区 45° 以上区域的比例很小。

不同坡度等级的石漠化发生率为某一坡度等级石漠化面积与该等级喀斯特面积的比值。分析 5 个强度等级石漠化的发生率曲线可得, 5 种强度等级石漠化的发生率随坡度的升高而升高, 直至第 6 级 (35° ~ 45°), 而后下降。并且都在 2 级坡度存在一个小高峰。除极强度石漠化之外, 都在 0° ~ 3° 的发生率最低。极强度石漠化以 1 级坡度发生率最高, 5 级次之 (图 3)。同时, 任一坡度石漠化的发生率均

为:轻度石漠化 > 中度石漠化、潜在石漠化 > 强度石漠化 > 极强度石漠化。其中,潜在石漠化与中度石漠化以第 4 级坡度为界,1~4 级潜在石漠化发生率大于中度,4~8 级中度石漠化大于潜在。

喀斯特地区 1 级坡度一般是地形平坦的洼地,为土壤与水分、养分的汇处,土层厚的地方可达 1 m。该级坡度的石漠化多发生在石芽出露密度较大处。这里地表土壤不连续,多分布在裸露基岩的沟槽处。石漠化的发生率随着坡度的增大而增大,存在两方面的原因:一是喀斯特地区土层缺乏 C 层,岩土之间的亲和力和粘着力很差,故土层极不稳定,容易发生水土流失^[13],且碳酸盐岩的成土速度慢,允许的流失量小^[14]。二是坡面侵蚀的强度与坡度大小有关。径流速度决定侵蚀量的大小,而径流速

度又与坡度的平方根成正比^[15]。研究区位于广西西北部,属于可溶岩单独形成的经典概念中的峰丛洼地。坡地降水一部分渗入地下,一部分汇流到洼地。降水入渗系数平均值在 0.3~0.4 间,地表截流和蒸发占 20%,有将近 50% 的降水转化为坡面径流流入洼地^[17]。因此坡地土壤受到的流水侵蚀较大,存在地表流失与地下流失。瘠薄的土壤流失后,表现为不同程度的石漠化景观。潜在石漠化与中度石漠化在 4~5 级坡度的发生率相当,而后随坡度高低出现差异。原因为从坡顶到坡底,土层厚度逐渐变厚,坡度变小。因此 4 级以下的坡度土层较厚,多存在潜在石漠化。1 级坡度发生的极强度石漠化,一般为采石场、矿区等人为开采时,没有注意环境保护和恢复造成的。

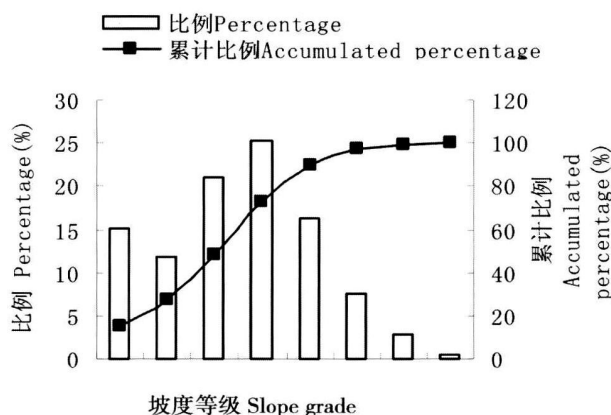


图 2 大化县喀斯特区坡度组成

Fig 2 Slope grades percentage in karst area of Dahua County

喀斯特石漠化以 6 级坡度 ($35^{\circ} \sim 45^{\circ}$) 为界,1~6 级发生率逐渐升高,6~8 级逐渐降低。其中原因值得进一步探讨。可能是因为达到了喀斯特地区的临界侵蚀坡度。坡面侵蚀以溅蚀为主时,临界坡度应 $< 22^{\circ}$;以面蚀为主时,临界坡度为 $22^{\circ} \sim 26^{\circ}$ 左右;沟蚀为主时,临界坡度会超过 30° ;若以重力侵蚀为主,临界坡度可能会更大^[11, 14];也可能是因为 45° 以上的陡坡地,耕作难度大,人为干扰越少。而在自然状态下,在广西雨热充足的自然条件下,有助于形成良好的生态系统,如木论、茂兰自然保护区。

3.3 石漠化分布与地质因素的关系

3.3.1 岩性因子与石漠化分布

大化县喀斯特区地层的岩性以灰岩为主,不同岩组不同程度地混有砂页岩等其他岩性岩石。把这

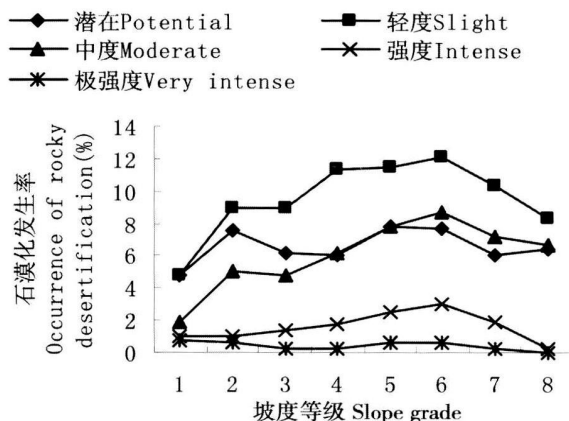


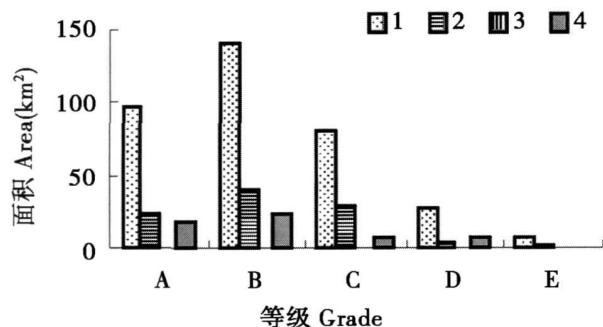
图 3 不同等级石漠化发生率随坡度分级的变化

Fig 3 Changes of occurrence of rocky desertification of different grades with slope grade

些岩组按照碳酸盐岩含量分成 4 组,分别为连续性灰岩,灰岩夹碎屑岩,灰岩与白云岩混合组合,灰岩与碎屑岩互层组合。按照碳酸盐岩的分类体系^[5],连续性灰岩、灰岩与白云岩混合组合属于连续性碳酸盐岩,含量 $> 90\%$;灰岩夹碎屑岩属于碳酸盐岩夹碎屑岩组合,含量 $70\% \sim 90\%$;灰岩与碎屑岩互层组合属于碳酸盐岩与碎屑岩互层,含量 $30\% \sim 70\%$ 。研究区连续性灰岩包括马平组、茅口组、栖霞组、南丹组等 10 个岩组,面积 $1\,351.5\text{ km}^2$ 。灰岩夹碎屑岩有罗楼组、桂林组等 5 个岩组, 394.7 km^2 。灰岩与白云岩混合组合 2 个岩组, 259.7 km^2 。灰岩与碎屑岩互层组合包括合山组, 7.7 km^2 。

分布在连续性灰岩区域的石漠化面积最大,在各个等级石漠化中的比例均大于 68%。灰岩夹碎屑

岩次之, 灰岩与白云岩混合组合更少, 灰岩与碎屑岩互层组合岩性的石漠化面积最少, 仅为 0.06 km^2 。各组石漠化发生率分别为: 25.42%, 24.81%, 20.56%, 1.25%。在极强度石漠化中, 连续性灰岩的比例甚至达到了 78%, 其次为灰岩夹碎屑岩 16%, 灰岩与白云岩混合组合为 5.7%。强度石漠化中, 三者的比例依次为 75%, 8%, 16%。中度石漠化中, 发生在灰岩夹碎屑岩岩性上的石漠化比例较大, 为 25% (图 4)。



1. 连续性灰岩 continuous limestone; 2. 灰岩夹碎屑岩 elastic rock inclusion in limestone; 3. 灰岩与碎屑岩互层组合 limestone layered with elastic rock; 4. 灰岩与白云岩混合组合 limestone and dolomite association

A. 潜在 Potential; B. 轻度 Slight; C. 中度 Moderate;

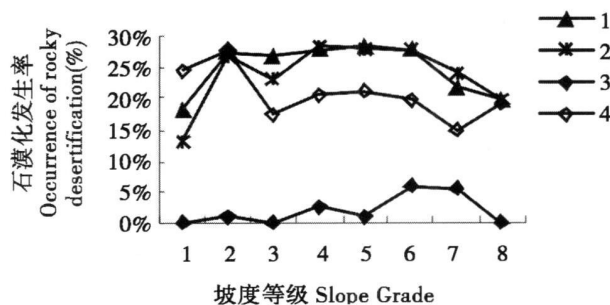
D. 强度 Intense; E. 极强度 Very intense

图 4 各类岩性中不同等级石漠化面积

Fig 4 Area of rocky desertification grade in different lithology

由图 5 可见, 不同岩性石漠化随坡度等级的变化有 3 个特点: 碳酸盐岩含量较高的前 3 种岩性的石漠化发生率曲线形状相近, 远高于灰岩与碎屑岩互层组合; 灰岩与碎屑岩互层组合在 6~7 级坡度发生率最高; 4 类岩性地区的发生率都在 2 级坡度存在小高峰。

碳酸盐岩含量越高, 发生率越高, 且随坡度等级变化特征也不同。据研究, 在溶蚀过程中, 当不纯碳酸盐岩的酸不溶物含量足够多, 且分布不均匀时, 才能够存留下来形成土壤层^[16], 故灰岩与碎屑岩互层组合的土层较厚, 抵抗侵蚀能力较强, 石漠化发生率低。但是在人为干扰强度大, 坡度较高的情况下, 仍然会导致石漠化。图 5 所示它在 6~7 级坡度发生率最高。4 种岩性在 2 级坡度 ($3^\circ \sim 8^\circ$) 都出现发生率的高值, 可能是顺坡耕种造成的。喀斯特地区由于人口压力较大, 适种土地有限, 而坡脚处一般坡度较缓, 容易开荒, 海拔较低, 施肥、收获等管理方便,



图中 1~4 同图 4

图 5 不同岩性的石漠化发生率随坡度等级的变化

Fig 5 Changes of occurrence of rocky desertification with slope grades in different lithology

所以人们都到洼地周围的坡脚耕种。传统的顺坡种植导致的水分、养分流失量较大, 土壤年均侵蚀模数是牧草地的 4 倍多^[18]。因此, 为减少该坡度等级石漠化的发生, 建议多采取条带种植、修梯田等措施。

3.3.2 断层因子与石漠化分布

大化县位于区域性断裂南丹—昆仑关断裂带西缘。南丹—昆仑关断裂带西北起自黔桂边界, 向南东经南丹、都安、昆仑关至横县, 长 400 多 km, 宽数公里至 20 余 km, 构成窄而长的褶断带。该断裂带为切割硅铝层的深断裂, 具明显的控岩控相作用。大化县石漠化均分布于断层周围, 集中分布在 3 条较大断层的周围 (标号为 1、2、3 图 6)。第一条为大化县西北部北景乡到都阳镇的北西向断层, 石漠化分布在东侧; 第二条是江南乡到都阳镇的近北东向断层, 石漠化分布在东侧; 第三条从都阳镇经六也乡到大化县城, 以六也乡为界, 以西分布在西侧, 以东分布在东侧。前两条断层形成的弧形内侧属于非喀斯特地区, 故没有石漠化分布, 断层 3 的两侧均有石漠化分布。七百弄乡以北与古文乡以北, 多条一般断层纵横交错, 也有石漠化分布。

首先分析较大断层与石漠化的关系。对 3 条较大断层作 3 次缓冲区分析, 离断层的距离分别为 1.5 km, 3 km, 4.5 km。叠加缓冲区图与石漠化专题图发现, 三个缓冲区内的中度以上石漠化的比例远大于其喀斯特面积的比例, 说明缓冲区内中度以上石漠化较其他区域发生机率高。并且, 随着距离的增大, 比例增幅更大。三个缓冲区内石漠化的发生率远远高于县平均值 24% (表 2)。较大断层 3 km 范围内的石漠化发生率最高, 中度以上等级的石漠化主要分布于断层周围。

表 2 断层缓冲区内石漠化情况表

Table 2 Rocky desertification condition in fault buffers

缓冲区距离 (km)	喀斯特在全 县的比重 (%)	中度石漠化在 全县的比重 (%)	强度石漠化在 全县的比重 (%)	极强度石漠化在 全县的比重 (%)	石漠化发生率 (%)
1.5	4.6	12.4	5.7	11.5	27.7
3	17.1	44.1	22.6	43.5	41.0
4.5	26.6	58.6	48.6	64.7	40.7

再分析所有断层与石漠化的关系。对所有断层做距离为 1.5 km 与 3 km 的缓冲区分析。发现断层 1.5 km 范围内的石漠化达到了石漠化总面积的 60.8%, 石漠化发生率为 30.9%。3 km 范围内更达到总面积的 83%, 石漠化发生率为 28.5%。缓冲区内发生石漠化的地区岩石性质连续性灰岩增多, 其他岩性减少。研究区石漠化的 4 组岩性: 连续性灰岩、灰岩夹碎屑岩、灰岩与碎屑岩互层组合、灰岩与白云岩混合组合的比例为 69.86%, 19.38%, 0.01%, 10.75%。断层 1.5 km 范围内, 比例为 73%, 18.43%, 0.02%, 8.55%; 3 km 的比例为 71.13%, 19.21%, 0.01%, 9.65%。

数据表明断层周围的石漠化发生率远高于其他区域, 且石漠化图斑中连续性灰岩的比例增大, 这与喀斯特的双层水文结构有关。未经强烈构造运动影响的碳酸盐岩通常渗透性较差, 往往能起到隔水的作用^[20]。断层分布处, 在构造应力作用下, 碳酸盐岩层中易形成大量大规模的节理、断裂或破碎带, 这里通常岩溶作用强烈^[4]。断裂构造将地区切割成大小不等的地块, 沿断裂带一般均分布有落水洞、漏斗、塌陷等, 导致了地表降水及土壤的流失, 发生石漠化。以上数据显示, 较大断层影响周围 3 km 范围, 影响距离大。一般断层影响周围 1.5 km, 影响距离小。另外, 断层缓冲区内灰岩含量较高的连续性灰岩岩层发生石漠化的比例较高, 其他岩性的石漠化比例降低, 原因为灰岩以不均匀的管道水为特征, 而在白云岩地区, 以裂隙水为主, 地下河网发育较灰岩较差^[19]。

喀斯特地区在地下水以垂直作用方式为主的地区会出现“土壤丢失”现象, 导致溶蚀残余物质或地表原有的风化壳转入近地表岩溶裂隙^[21], 为石漠化提供了有利条件。研究区大化县断层 1、2 位于高峰从洼地区与中峰从洼地区, 石漠化发生率较高, 而断层 3 位于峰林谷地区, 该处的地貌基准面接近水平, 其周围石漠化程度较前两条轻, 地下水以水平作用方式为主(图 6)。

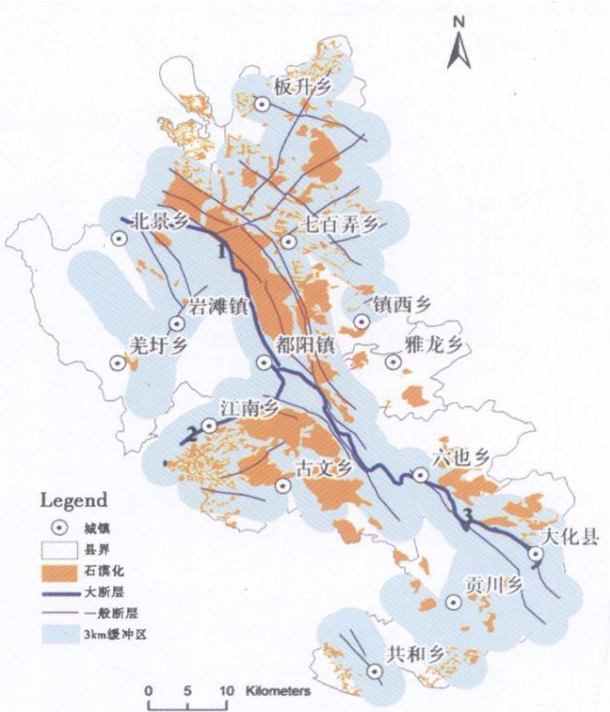


图 6 断层与石漠化的分布

Fig 6 The distribution of rocky desertification and faults

4 结论与讨论

1. 三种喀斯特地貌随着地貌发育程度的加深, 石漠化发生率降低。高峰丛洼地区, 溶蚀程度低, 适宜农耕的洼地面积比例小, 人口承载力低, 石漠化发生率最高。在该区必须严格控制人口密度, 大力发展特色畜牧业与林果业, 并在坡耕地修筑梯田或进行条带种植等措施来减少水土流失。
2. 不同等级石漠化发生率排序为: 轻度石漠化 > 中度石漠化、潜在石漠化 > 强度石漠化 > 极强度石漠化。坡度 < 45°石漠化发生率随坡度增高而增大, > 45°情况相反。极强度石漠化在 0°~ 3°最高, 25°~ 35°次之。其他等级石漠化主要分布在 15°~ 45°之间, 35°~ 45°石漠化发生率最高。建议对环境破坏较大的生产活动, 开发后注意生态恢复, 如采

石、开矿等。 $35^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 要特别注意营造林地, 防止极强度石漠化的发生。在利用 $15^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 坡地时, 注意保持水土。

本研究的石漠化主要分布在 $15^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 间, $35^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 石漠化发生率最高。这与蒋勇军^[7]、李瑞玲^[8]、周忠发^[19]的研究结果一致。坡度 60° 以上, 石漠化发生率随坡度升高逐渐降低, 而李瑞玲对贵州省的结果是 $> 18^{\circ}$ 坡度地区的石漠化的发生率随着坡度的增大而增大^[8]。这可能是由于广西的人口压力小于贵州, 对极高坡度土地的开发少。

3. 碳酸盐岩含量与石漠化发生率呈正相关关系。研究区不同岩性的石漠化发生率排序为: 连续性灰岩 $>$ 灰岩夹碎屑岩 $>$ 灰岩与白云岩混合组合 $>$ 灰岩与碎屑岩互层组合。石漠化的发生与岩性有明显的相关性。极强度石漠化中, 分布在连续性灰岩岩性区域的比例达到了 78%, 其他等级也以该岩性为主。石漠化主要发生在连续性灰岩地区, 尤其是极强度石漠化。这与肖丹^[6]、李瑞玲^[5]的研究结果一致。因此, 研究区的石漠化治理需针对灰岩土层薄, 易流失的特点, 对症下药。

4. 研究发现石漠化集中分布于研究区的 3 条较大断层周围 3 km 范围内, 一般断层周围 1.5 km 范围内, 且此范围内中度以上石漠化发生率远高于其他区域。

5. 地质地貌因素交互作用, 研究的 4 个因子之间相互影响, 共同作用。A、发生在不同岩性基础上的石漠化, 随坡度变化的规律不同。碳酸盐岩含量较高的三种岩性在 $25^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 坡地石漠化发生率较高, 含量较低的岩性石漠化发生率高峰在 $35^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。B、位于不同地貌区的断层, 石漠化总体强度有差异。位于峰丛洼地的断层 1、2 的石漠化程度明显高于位于峰林谷地区的断层 3。C、断层范围内发生的石漠化中, 连续性灰岩的比例增大。

参考文献 (References)

- [1] Yuan Daoxian China Karstology[M]. Beijing Geological Publishing House 1993 1~216[袁道先. 中国岩溶学[M]. 北京: 地质出版社, 1993 1~216]
- [2] Wang Shijie. Concept deduction and its connotation of karst rock desertification[J]. *Carsologica Sinica*, 2002, 21(2): 101~105[王世杰. 喀斯特石漠化概念演绎及其科学内涵的探讨[J]. 中国岩溶, 2002, 21(2): 101~105]
- [3] Long Jian, Li Juan, Jiang Xinrong et al. Effects of different recover and restoration measures on soil quality in Karst rocky desertification region[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(4): 615~619[龙健, 李娟, 江新荣, 等. 喀斯特石漠化地区不同恢复和重建措施对土壤质量的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(4): 615~619]
- [4] Shan Yangtian Karst rocky desertification and analysis on the geological factors in southwest China[J]. *Carsologica Sinica*, 2006, 25(2): 163~167[单洋天. 我国西南岩溶石漠化及其地质影响因素分析[J]. 中国岩溶, 2006, 25(2): 163~167]
- [5] Li Ruiling, Wang Shijie, Zhou Dequan, et al. The correlation between rock desertification and lithology in karst area of Guizhou[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(2): 314~320[李瑞玲, 王世杰, 周德全, 等. 贵州岩溶地区岩性与土地石漠化的相关分析[J]. 地理学报, 2003, 58(2): 314~320]
- [6] Xiao Dan, Xiong Kangning, Lan Anjun, et al. Correlation analysis between karst desertification and lithology in Suiyang County Guizhou Province[J]. *Earth and Environment*, 2006, 34(2): 77~81[肖丹, 熊康宁, 兰安军, 等. 贵州省绥阳县喀斯特石漠化分布与岩性相关性分析[J]. 地球与环境, 2006, 34(2): 77~81]
- [7] Jiang Yongjun, Zhang Cheng, Li Linli et al. RS and GIS-base analyses of the current state and formation of rocky desertification in the Qianjiang county Chongqing[J]. *Hydrogeology and Engineering Geology*, 2007, 34(1): 81~89[蒋勇军, 章程, 李林立, 等. 基于 RS、GIS 的重庆黔江区石漠化现状与成因分析[J]. 水文地质工程地质, 2007, 34(1): 81~89]
- [8] Li Ruiling, Wang Shijie, Xiong Kangning et al. Correlation between rocky desertification and slope degree in karst area of Guizhou[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2006, 26(4): 82~86[李瑞玲, 王世杰, 熊康宁, 等. 贵州省岩溶地区坡度与土地石漠化空间相关分析[J]. 水土保持通报, 2006, 26(4): 82~86]
- [9] Shu Xuiguo. Ecological environment and ecological economy[M]. Beijing: Science Press 2001 [舒惠国. 生态环境与生态经济北京: 科学出版社]
- [10] Liu Yansui, Deng Xusheng, Hu Yecui. Rocky land degradation and poverty alleviation strategy in Guangxi karst mountainous area[J]. *Journal of Mountain Science*, 2006, 24(2): 228~233 [刘彦随, 邓旭升, 胡业翠. 广西喀斯特山区土地石漠化与扶贫开发探析[J]. 山地学报, 2006, 24(2): 228~233]
- [11] Li Yanguan, Bai Xiaoyong, Zhou Guofu et al. The relationship of land use with karst rocky desertification in a typical karst area China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(6): 624~632 [李阳兵, 白晓永, 周国富, 等. 中国典型石漠化地区土地利用与石漠化的关系[J]. 地理学报, 2006, 61(6): 624~632]
- [12] Hu Shixiong, Jin Changxing. Theoretical analysis and experimental study on the critical slope of erosion[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1999, 54(4): 347~355[胡世雄, 靳长兴. 坡面土壤侵蚀临界坡度问题的理论与实验研究[J]. 地理学报, 1999, 54(4): 347~355]
- [13] Cao Jianhua, Yuan Daoxian, Zhang Cheng et al. Karst ecosystem constrained by geological conditions in southwest China[J]. *Earth and Environment*, 2004, 32(1): 1~8[曹建华, 袁道先, 章程, 等. 受地质条件制约的中国西南岩溶生态系统[J]. 地球与环

- 境, 2004 32(1): 1~8]
- [14] Zheng Yongchun, Wang Shijie. Geological cause of calcareous soil erosion and land rocky desertification in karst area, Guizhou province[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2002, 11(5): 461~465[郑永春, 王世杰. 贵州山区石灰土侵蚀及石漠化的地质原因分析[J]. 长江流域资源与环境, 2002 11(5): 461~465]
- [15] Zhao Mudan, Tang Guo'an, Chen Zhengjiang *et al*. Slope classification systems and their slope spectrum in hill and gully area of the Loess Plateau[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2002, 22(4): 33~36[赵牡丹, 汤国安, 陈正江, 等. 黄土丘陵沟壑区不同坡度分级系统及地面坡谱对比[J]. 水土保持通报, 2002 22(4): 33~36]
- [16] Zhou Youyou, Shi Jian, Liu Deshen. Differences of land degradation in peak cluster depressions composed of different bed rocks[J]. *Carsologica Sinica*, 2001, 20(1): 35~39[周游游, 时坚, 刘德深. 峰丛洼地的基岩物质组成与土地退化差异分析[J]. 中国岩溶, 2001, 20(1): 35~39]
- [17] Nie Yueping. Karst development characteristics under the lithologic control of carbonate rocks: A case study in south-central Guizhou[J]. *Carsologica Sinica*, 1994, 13(1): 31~36[聂跃平. 碳酸盐岩性因素控制下喀斯特发育特征——以黔中南为例[J]. 中国岩溶, 1994 13(1): 31~36]
- [18] Wu Shizhang, Zhu Wenxiao, Su Weicai *et al*. Experiment on soil erosion and nutrient loss in karst area: A case in Jiuchang Town, Xiuwen, Guizhou[J]. *Carsologica Sinica*, 2005, 24(3): 202~205[吴士章, 朱文孝, 苏维词, 等. 喀斯特地区土壤侵蚀及养分流失定位试验研究——以贵阳市修文县久长镇为例. 中国岩溶, 2005, 24(3): 202~205]
- [19] Sun Chengxing, Wang Shijie, Zhou Dequan *et al*. Differential weathering and pedogenetic characteristics of carbonate rocks and their effect on the development of rock desertification in karst regions[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2002, 22(4): 308~314[孙承兴, 王世杰, 周德全, 等. 碳酸盐岩差异性风化成土特征及其对石漠化形成的影响[J]. 矿物学报, 2002 22(4): 308~314]
- [20] Zhou Zhongfa. Analysis of relation of rocky desertification to landform and gradient in karst region: A case study of Qingzhen city of Guizhou province[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2006, 26(5): 1~3[周忠发. 喀斯特地区石漠化与地形坡度的关系分析——以贵州省清镇市为例[J]. 水土保持通报, 2006 26(5): 1~3]
- [21] Li Dewen, Cui Zhijun, Liu Gengnian *et al*. Formation and evolution of karst weathering crust on limestone and its cyclic significance[J]. *Carsologica Sinica*, 2001, 20(3): 183~188[李德文, 崔之久, 刘耕年, 等. 岩溶风化壳形成演化及其循环意义[J]. 中国岩溶, 2001, 20(3): 183~188]

Effects of Geology and Landform on Karst Rock Desertification: A Case Study in Dahua County of Guangxi, China

YANG Qingqing^{1,2,3}, WANG Kelin^{1,3}, CHEN Hongsong^{1,3}, ZHANG Wei^{1,2,3}, TIAN Richang^{1,2}

(1. Institute of Subtropical Agriculture, CAS, Changsha 410125, China; 2. Graduate School of CAS, Beijing 100049, China;

3. Huanjiang Experimental Station of Karst Agro-ecosystem, Huanjiang 547100, China)

Abstract We used GIS technique to overlay the DEM, rock desertification data and geology data of Dahua county of Guangxi Region to explore the influence of geology and landform factors on rock desertification. The results showed the occurrence of rock desertification of different landform zones was in order of high cluster-peak depression zone > moderate cluster-peak depression zone > peak-cluster valley zone > Hilly zone; the occurrence of rock desertification of different lithology was in order of continuous limestone > clastic rock inclusion in limestone > limestone and dolomite association > limestone layered with clastic rock. The occurrence of rock desertification of three lithology with higher carbonatite content was the highest in 25°~45° slope; The occurrence of rock desertification of lithology with lower carbonatite content was the highest in 35°~60° slope. Meanwhile there were all higher value between 3°~8° slope; it was the result of general longitudinal cultivation at foot-slope. There was a close relationship between rock desertification and fault; moderate and intense rock desertification mainly scattered along the faults with in 1.5 km. Rock desertification was comprehensive results of human disturbance, slope erosion, weathering, pedogenesis by carbonate rock and karstification. We should considerate the landform class, slope degree, carbonate content of rocks, fault distribution and other factors when we prevent rock desertification and actualize ecologic reconstruction.

Key words rock desertification, geology, GIS, slope, lithology, fault, karst