

喀斯特山区不同强度石漠化与人口因素空间差异性的定量研究

白晓永, 熊康宁, 李阳兵, 兰安军
(贵州师范大学地理与生物科学学院, 贵州 贵阳 550001)

摘 要: 利用喀斯特石漠化生态脆弱区 2004年的 ASTER遥感影像, 在 GIS操作平台上获取了研究区喀斯特石漠化景观和人口分布信息, 用数学方法定量分析了石漠化比重与人口指标的相互关系, 并建立起与之相应的数学模型。结果表明: 石漠化的严重程度只与人口密度、农户居住的聚集程度及单位面积上的壮劳动力数量等 3 个人口指标有密切关系, 与其他人口指标关系不大, 且不同强度石漠化的人口影响因子不同, 数学关系迥异。在石漠化严重的地区, 人口密度、农户居住的聚集程度、单位面积上的劳动力数量等人口指标相对较低。人口主要集中分布在石漠化面积比例相对较小的地区, 但这些区域的潜在石漠化比例却相对较高, 这是值得引起重视的。

关键词: 喀斯特石漠化; 人口密度; 农户聚集程度; 相关性

中图分类号: F323

文献标识码: A

我国西南喀斯特山区的石漠化问题已严重威胁到人们的生存环境, 严重制约和束缚该地区社会经济的可持续发展^[1]。近年来, 对石漠化成因的研究取得了一定的成绩, 许多成果有力地证明了岩性、地形地貌、人口因素等几方面对石漠化的形成起着举足轻重的作用^[2-4], 但这种作用究竟有多大, 各自占多大比例, 它们之间的关系和作用如何, 能维持和持续多长时间等问题, 还只停留在定性描述上, 缺乏定量研究。这些问题若不能得到及时有效的解决, 势必会影响到石漠化预防和治理的效果, 造成大量的人力物力的浪费, 甚至还会破坏原来的生态环境系统, 由此产生负效应并造成恶性循环。喀斯特生态环境破坏的主体是人, 石漠化治理的主体是人, 石漠化治理的出路在于人与区域土地利用关系的协调, 石漠化治理的效果最终还得服务于人, 可见人口问题在石漠化成因的诸因素中, 相对于较为稳定的岩性、地形地貌、气候等, 无疑是最活跃、最积极、最复杂的因子, 因此, 对其进行定量研究, 意义重大。

1 研究区概况

研究区位于贵州省西南部, 黔西南布依族苗族自治州东部, 贞丰县的北部, 地处云贵高原向广西低山丘陵过渡的斜坡地带。地理坐标为 $105^{\circ}23' \sim 105^{\circ}51'E$, $25^{\circ}07' \sim 25^{\circ}29'N$ (图 1); 土地总面积 328.29 km^2 , 2004年研究区总人口 85 750人, 其中农业人口占总人口的 98.82%, 人口密度为 261.20 人/km^2 , 人口自然增长率 9.30%; 劳动力占总人口的 74.32%, 男女劳动力比例 1.09; 16~ 40岁的壮劳动力 139人 $/\text{km}^2$, 小学以下文化水平的人数占总人口 39.64%, 平均农户聚集程度 62户 $/\text{km}^2$ 。

2 研究方法

2.1 指标选取和计算

在应用不同人口指标对石漠化影响程度分析

收稿日期 (Received date): 2005- 10- 12; 改回日期 (Accepted): 2006- 01- 11。

基金项目 (Foundation item): 国家“十五”攻关项目 (2004BA606A- 09- 01)、贵州省跨世纪科技人才基金项目 [(2000) 9808] 资助 [Financially supported by National task of the tenth Five- year Plan (Grant No. (2004BA606A- 09- 01); Qualified scientists and technicians and going beyond century item of Guizhou Province (Grant No. (2000) 9808)]

作者简介 (Biography): 白晓永 (1978-), 男, 河北石家庄人, 在读研究生, 研究方向: 人类活动与岩溶环境 [Bai Xiaoyong (1978-), male, born in Shijiazhuang Hebei presently a candidate for M. Sc degree major in the human activity and karst environment Tel 13765148041. E-mail baixiaoyong@126.com]

时, 结合研究区的实际情况, 体现不同指标从不同角度影响和改变石漠化的形成和发展。因此, 首先在研究区各行政村中剔除含非喀斯特的村寨, 然后随机选取 63 个喀斯特村, 提取相应的石漠化分布信息, 结合人口分布资料 (表 1), 进行相关分析, 定量探讨各人口指标与石漠化的相互关系。

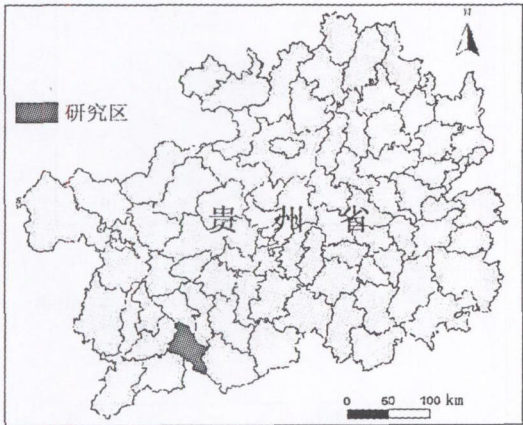


图 1 研究区所在地理位置

Fig 1 Geographical position of studying area

表 1 石漠化影响因素中各人口指标的选取依据
Table 1 Basis of choos ing of all indexes of people in the influence factor of rocky desertification

指标 Index	对石漠化土地的影响角度 Affect aspect	单位 Unit
人口密度 (X_1)	单位面积上的人口数量	人 / km ²
人口自然增长率 (X_2)	人口增长速度	%
农户居住的聚集程度 (X_3)	生活方式的聚集程度	户 / km ²
农业人口比重 (X_4)	对土地的垦殖强度和依赖程度	%
劳动力比重 (X_5)	对土地破坏性和改造性	%
男女比例 (X_6)	性别角度和劳动方式	%
每平方公里壮劳力 (X_7)	年龄, 尤其是青壮年的影响	人 / km ²
小学以下文化比重 (X_8)	文化程度、意识形态	%

2 2 数据来源和处理

研究区喀斯特石漠化数据主要来源于 2004 年 ASTER 影像解译数据, 在 ERDAS 8.6 下用监督分类获取土地利用图, 根据土地利用与石漠化的对映关系, 获取土地石漠化初步结果; 并转换为 ARC/INFO COVERAGE 文件, 以便进一步编辑修改。并结合研究区土地利用现状图、行政区划图、水文地质图、地

形图、植被图、土壤图以及实地调查和社会经济相关资料, 进行石漠化人机交互式详细判译 (图 2), 获取 1: 50000 喀斯特石漠化分布图 (图 3)。图层分割利用 ARCGIS 等软件, 可获取村的石漠化面积和分布信息; 面积量算采用 ARCVIEW 中 ATTRIBUTES 中的分类求和方法, 并以 DBF 的格式导入 EXCEL 进行报表处理。然后, 根据研究区的统计资料, 在 SPSS12.0 FOR WINDOWS 运行环境下, 将壮劳动力分布信息, 人口密度分布信息, 农户聚集程度信息等数据统计分析出来, 并以 DBF 的格式保存; 在 ARCVIEW 3.3 中打开保存下来的 DBF 文件, 同时打开含石漠化信息的村的面文件的属性表, 即可将两个文件建立连接; 可分别获取壮劳动力分布图, 人口密度分布图, 农户聚集程度分布图等相关图件 (图 4~6), 再在 GIS 操作平台上与石漠化现状图叠加, 然后用 ARC/INFO 中的 CLIP 或 SPLITE 进行图层分割, 可同时获得石漠化和人口分布信息。

表 2 喀斯特石漠化强度分级标准表
Table 2 Standard form of different karst rocky desertification grades

等级划分	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 (%)	参考指标
无石漠化	< 20	> 80	坡度 ≤ 25° 的非梯土化旱坡地, 农业人口密度一般 ≤ 150 人 / km ² , 林灌草植被浓密, 水土流失不明显; 宜农林牧地
潜在石漠化	20 ~ 30	80 ~ 70	坡度 > 25° 的非梯土化旱坡地, 农业人口密度一般 > 150 人 / km ² , 林灌草植被稀疏, 水土流失明显; 宜农林牧地
轻度石漠化	31 ~ 50	69 ~ 50	
中度石漠化	51 ~ 70	49 ~ 30	
强度石漠化	71 ~ 90	29 ~ 10	

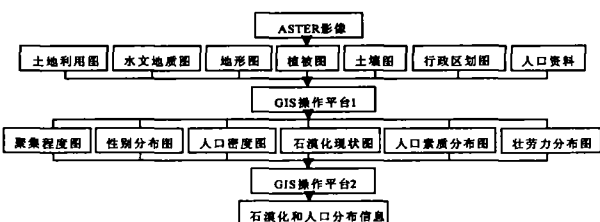


图 2 研究区石漠化和人口分布信息的提取流程

Fig 2 Abstraction procedure of rocky desertification and population distribution information of studying area

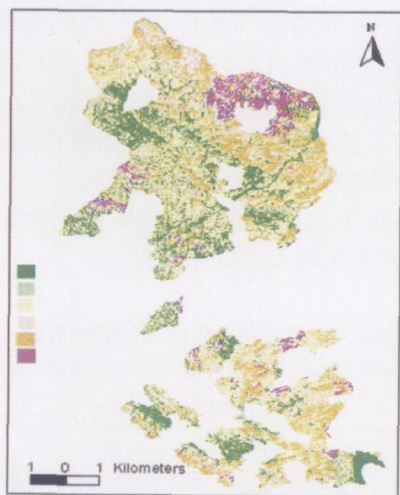


图 3 研究区石漠化现状分布图

Fig 3 Current situation distribution map of rocky desertification of studying area

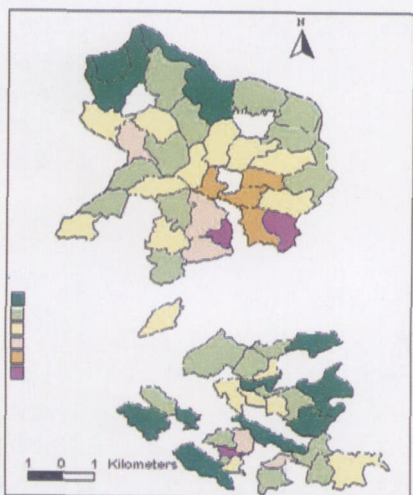


图 4 研究区壮劳动力分布图

Fig 4 Strong work forces distribution map in the studying area

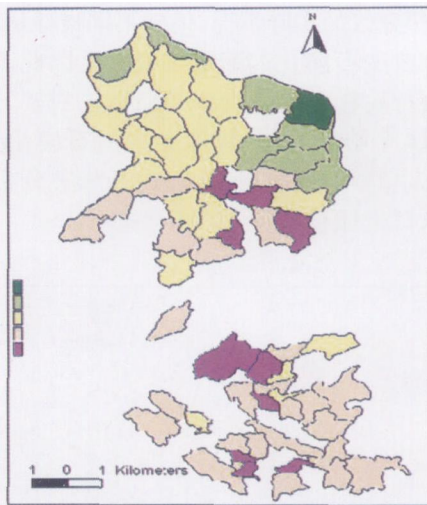
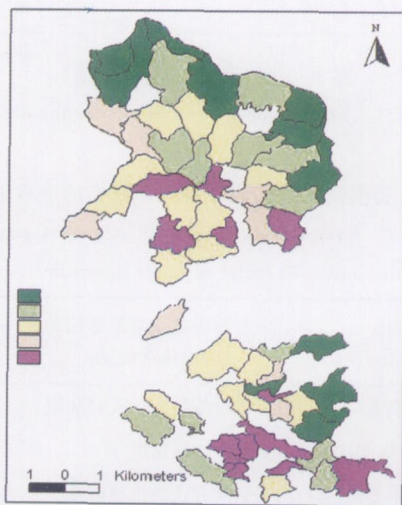


图 5 研究区人口密度分布图

Fig 5 Distribution map of density of population of studying area



注:空白处为剔除了的非喀斯特部分和非样本区

图 6 研究区农户居住聚集程度分布图

Fig 6 Distribution population map to inhabit of studying area

3 结果分析

3.1 研究区人口分布特征

研究区 2004 年的石漠化面积占有较大比例, 轻度、中度、强度和极强度的石漠化比重分别占到了 24.00%, 24.43%, 17.11%, 6.47%, 而无石漠化和潜在石漠化则占 17.66%, 10.33%。结合人口密度分布图, 农户聚集程度分布图, 壮劳动力分布图等相关图件 (图 3~6), 可以看出: 在无石漠化分布

的地区,人口密度是相当高的,大部分地区都在 300 人 /km² 以上,壮劳动力则以 50~ 150 人 /km² 居多,农户聚集程度也是非常高的,大约有 34.83% 的地区达到了 100 户 /km² 以上;潜在石漠化的区域则有 64.69% 地区的人口密度集中在 300~ 400 人 /km²,壮劳动力也是以 50~ 150 人 /km² 居多,有 43.93% 地区农户聚集程度达到了 100 户 /km² 以上;轻度石漠化中以 300~ 400 人 /km² 较为集中,另外也有 27.60% 地区人口密度在 200~ 300 人 /km²,有 26.57% 地区人口密度在 400 以上人 /km²,有 82.27% 地区的壮劳动力集中在 150 人 /km² 以下,有 86.57% 地区农户聚集程度在 100 户 /km² 以下;

中度石漠化人口密度有 71.22% 的地区以 200~ 400 人 /km² 为主,有 40.89% 地区的壮劳动力在 50~ 100 人 /km²,农户聚集程度以 80 户 /km² 以下居多,这样的地区有 78.96%;强度石漠化人口密度虽然也是以 200~ 400 人 /km² 为主,但 100~ 200 人 /km² 也有一定比例,为 20.19%,壮劳动力 100 人 /km² 以下居多,有 65.38% 地区农户聚集程度在 60 户 /km² 以下,其中 30 户 /km² 以下的占 34.96%;极强度石漠化地区的人口密度是相当低的,其中 100 人 /km² 以下的也有 13.46%,有 43.76% 地区的壮劳动达不到 50 人 /km²,有 52.88% 地区农户聚集程度在 30 户 /km² 以下(图 7~ 9)。

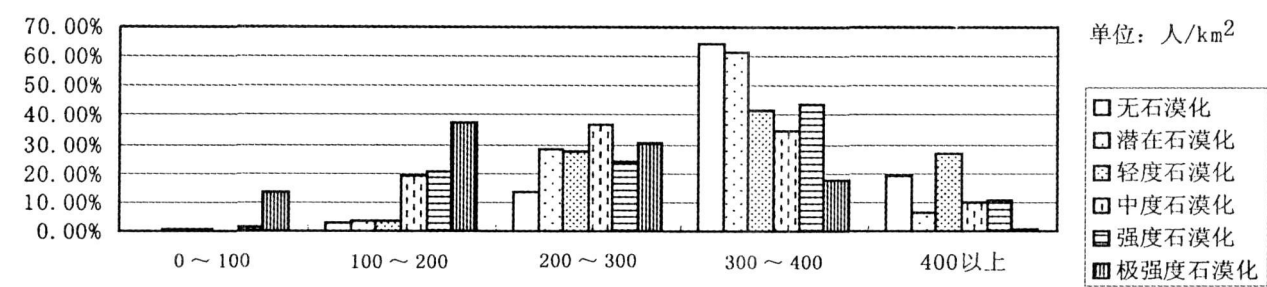


图 7 不同人口密度下各种等级石漠化的分布
Fig 7 The distribution of various rocky desertification grades in different population density area

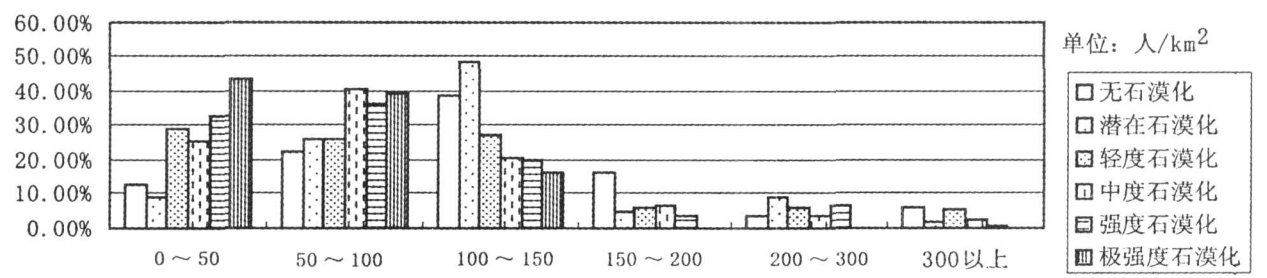


图 8 不同壮劳动力数量下各种等级石漠化的分布
Fig 8 The distribution of various rocky desertification grades in different quantity of strong workforce area

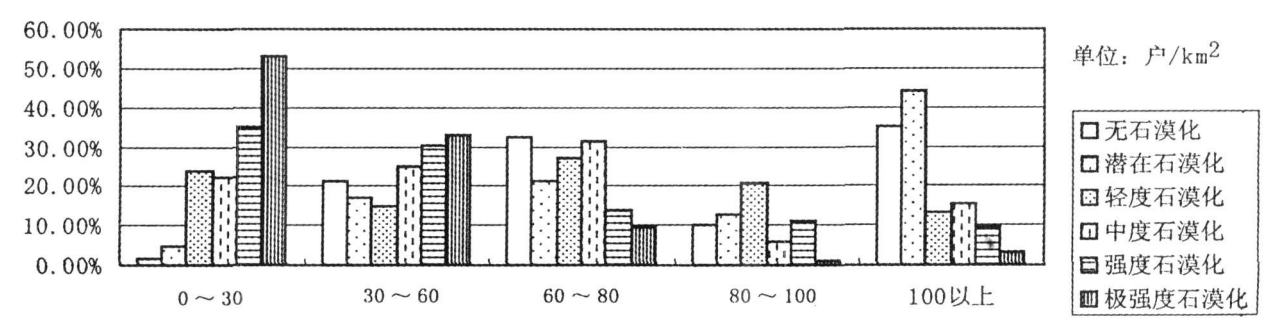


图 9 农户居住的不同聚集程度下各种等级石漠化的分布

3 2 石漠化严重程度与人口因素相关分析

相关分析发现,石漠化比重 Y (轻度、中度、强度、极强度) 分别在 99% 和 95% 置信度水平下与农户聚集程度 X_3 、每平方公里壮劳力的数量 X_7 和人口密度 X_1 显著相关, (见表 3)。但是石漠化严重程度与人口增长率, 农业人口比重, 文化素质等其他 5 个指标相关性不是很大, 因此这 5 个指标与石漠化

的关系不再做讨论。对研究区 63 个村石漠化面积比例 (轻度、中度、强度、极强度) 与人口密度、农户聚集程度和每平方公里壮劳力的数量的关系分别进行了拟合。石漠化面积比例与人口密度呈显著的线性关系 (图 10), 拟合方程为

$$y = -0.0006x + 0.8799$$

表 3 相关系数
Table 3 Correlations

石漠化比重	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
Pearson 相关系数	-0.266(*)	-0.181	-0.674(**)	0.029	0.005	-0.139	-0.521(**)	-0.083
双尾 t 假设检验概率	0.031	0.147	0.000	0.819	0.968	0.264	0.000	0.507

* 在 0.05 水平下的显著相关 Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).
** 在 0.01 水平下的显著相关 Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

可见, 人口密度与石漠化严重程度之间存在一定的规律。人口密度为 250~ 400 人 /km² 的村落石漠化比重较大, 但随着村落人口密度的增加, 石漠化比重呈缓慢下降趋势。也就是说, 人口密度越大的地方往往石漠化比重较小, 生态环境较好; 反之, 人口密度越小的喀斯特山村往往生态环境较恶劣, 石漠化比重也较大。石漠化面积比例与农户聚集程度呈显著的线性关系 (图 11), 拟合方程为

$$y = -0.003x + 0.9111$$

可见, 喀斯特山地农户聚积程度与石漠化严重程度之间也存在较明显的规律, 随农户聚集程度的增加石漠化呈显著下降趋势, 农户在 100 户 /km² 以下村落, 石漠化有较大比重, 这与人口密度同石漠化严重程度之间的关系基本一致。喀斯特山地人口密度、农户聚积程度同石漠化严重程度之间的关系都表明, 目前在喀斯特山区, 农村人口往往集中分布在石漠化比重较小, 生态环境较好的村落。

石漠化面积比例与每平方公里壮劳力呈显著的线性关系 (图 12), 拟合方程为

$$y = -0.0013x + 0.8554$$

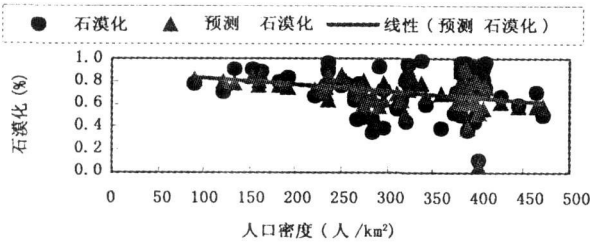


图 10 研究区石漠化与人口密度关系图
Fig 10 The relation of rocky desertification and density of population in the studying area

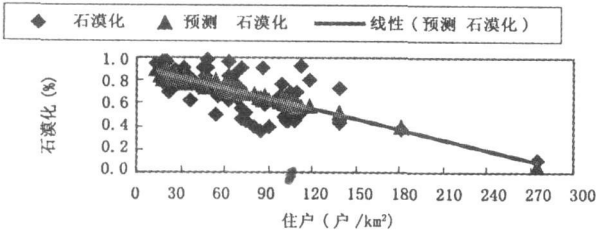


图 11 研究区石漠化与农户聚集程度关系图
Fig 11 The relation of rocky desertification and gathering degree of peasants in the studying area

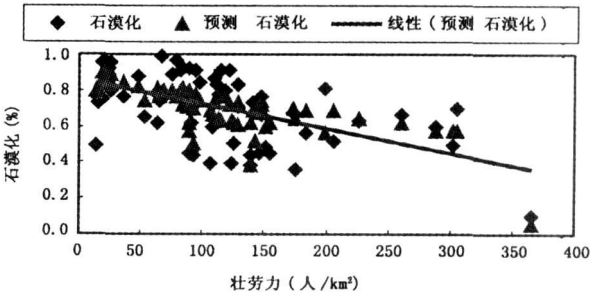


图 12 研究区石漠化与壮劳动力关系图
Fig 12 The relation of rocky desertification and strong workforce in the studying area

可见, 单位面积上壮劳动力的数量是石漠化形成的重要因素, 它对于生态环境的改造有显著作用。在 200 人 /km² 以下, 石漠化有较大比重, 并且随着每平方公里壮劳力的增加石漠化呈下降趋势, 也就

是说, 在 200人 /km² 以下, 每平方公里壮劳力越多的地方石漠化比重越小, 非石漠化比重越大, 生态环境越好。而在 200人 /km² 以上, 石漠化是相对较稳定的。

由此在变量关系方面, 以人口密度 X_1 , 农户聚集程度 X_3 和每平方公里壮劳力的个数 X_7 等 3 个指标作为自变量, 以石漠化比重 Y 为因变量, 通过回归的方法建立模型, 以此来确定石漠化程度与各人口指标之间的量化关系。设各相关因子 X 与石漠化比重的关系是线性的, 即多元线性回归模型为

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + C$$

式中 X_1, X_2, \dots, X_p 为相关因子, 即自变量; $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ 为相关系数; C 为常数; Y 为石漠化比重 (严重程度), 即因变量; 回归模型建立后, 需要用 F 检验判断相关因子与石漠化比重是否有线性关系, 通过 F 统计量检验假设 $H_0 (\beta_1 = \beta_2 = \beta_p = 0)$ 是否成立。在综合显著水平下, 若 $F > F_{\alpha}$, 则拒绝 H_0 认为这组相关因子 X_1, X_2, \dots, X_p 与石漠化比重之间回归效果显著, 即存在线性关系。反之则不显著。

$$F = \frac{(R^2/p)}{(1-R^2)(n-p-1)}$$

式中 n 为样本容量; p 为相关因子数; R 为相关系数;
由于已经剔除了 5 个非相关性指标, 所以采用全部入选法建立回归方程 (回归系数见表 4), 回归

方程的复相关系数为 0.986 决定系数 (即 R^2) 为 0.972 经方差分析, $F = 18.369$ ($P(\text{Sig}) = 0.000 < 0.01$), 回归方程有效。回归方程为

$$Y = 0.000273 \times X_1 - 0.00298 \times X_3 - 0.00025 \times X_7 + 0.853947$$

表 4 回归系数
Table 4 Coefficients (a)

模型	未标准化系数		标准化系数	t 值	P 值
	系数 b	系数标准误	系数 β		
常数	0.853947	0.065		13.126	0.000
人口密度	0.000273	0.000	0.128	1.177	0.244
户 /km ²	-0.00298	0.001	-0.675	-4.752	0.000
壮劳动力 /km ²	-0.00025	0.000	-0.096	-0.742	0.461

3.3 不同强度石漠化的主要人口影响因子

采取同样的分析方法不难发现: 不同强度的石漠化与不同的人口指标有关系, 而且可以得出其各自的数学关系式 (表 4)。无石漠化、强度石漠化及极强度石漠化都与人口密度、农户聚集程度及单位面积上的壮劳动力数量有密切关系, 而潜在石漠化主要与农户聚集程度有关, 轻度石漠化与人口密度、男女比例及文化素质有关, 中度石漠化与农户聚集程度、男女比例及单位面积上的壮劳动力数量有关。

表 4 不同等级石漠化的主要人口相关因子及其数学模型

Table 4 Main people's relevant factors and mathematics models of different rocky desertification grades

主要影响因子		数学表达式
无石漠化	X_1, X_3, X_7	$Y = -0.00017956 \times X_1 + 0.002372728 \times X_3 + 0.000314571 \times X_7 + 0.047524911$
潜在石漠化	X_3	$Y = 0.000422954 \times X_3 + 0.074480845$
轻度石漠化	X_1, X_6, X_8	$Y = 0.000265647 \times X_1 - 0.179182062 \times X_6 - 0.120897575 \times X_8 + 0.41324396$
中度石漠化	X_3, X_6, X_7	$Y = -0.000642871 \times X_3 + 0.163321209 \times X_6 - 0.000226609 \times X_7 + 0.131128683$
强度石漠化	X_1, X_3, X_7	$Y = -0.000177637 \times X_1 - 0.000665755 \times X_3 - 9.91014E-05 \times X_7 + 0.281567836$
极强度石漠化	X_1, X_3, X_7	$Y = -0.000370631 \times X_1 - 0.000229484 \times X_3 - 0.000103055 \times X_7 + 0.195695283$

4 结论与讨论

1 研究发现, 石漠化的严重程度只与人口密度、农户居住的聚集程度及单位面积上的壮劳动力数量等 3 个人口指标显著相关, 与其他人口指标关系并不显著, 打破了石漠化与人口素质、农业人口比重、人口增长率、劳动力比重及男女比例密切相关的传统观念和认识。

2 研究发现, 在喀斯特山地目前石漠化严重的地区, 人口密度、农户聚集程度、单位面积上的劳动力数量等人口指标相对较低, 说明喀斯特石漠化的发生并非与人口的数量成正比关系, 其原因需要进一步探讨。石漠化严重的地区人口指标相对较低, 不仅体现了喀斯特石漠化地区生态环境易退化的脆弱性一面, 也从侧面证明了人们自发地或是由政府有组织地使一部分人搬迁出了生态价值较小, 环境承载力不高的石漠化高强度区, 生态移民取得一定

效果。

3 在喀斯特山地, 目前人口主要集中分布在石漠化面积比例相对较小的地区, 但这些区域的潜在石漠化比例却相对较高, 这是值得引起重视的。研究区目前以轻、中度石漠化区人口聚集程度最高, 反映出对轻、中度石漠化地区进行综合防治的必要性和紧迫性, 否则, 轻、中度石漠化地区在人口压力下石漠化程度将进一步加重, 石漠化面积将进一步扩大。

4 本文初步对喀斯特石漠化及其人口问题进行了相关分析, 并建立了数学模型, 石漠化及其人口指标的数学表达式 $Y = 0.000273 \times X_1 - 0.00298 \times X_3 - 0.00025 \times X_7 + 0.853947$, 是以其他影响因素恒定为前提的。研究区的喀斯特石漠化虽然具有非常典型的代表性, 但并不意味着该模型适用于所有的石漠化地区, 而且人为因素对石漠化的作用具有双重性: 既可以加速石漠化过程同时又可以使其逆转, 关键在于如何发挥人的主观能动性^[5]。同时, 岩性、地形地貌、气候等其他影响因素与石漠化的数学关系式及不同石漠化等级类型之间的相互转化及其关系等等许多问题尚有待于进一步研究。

参考文献 (References):

- [1] The Chinese Academy of Sciences. Some propositions on advancing the comprehensive control of karst mountain areas in southeast China [J]. *Advance in Earth Sciences*, 2003, 18(4): 489~492 [中国科学院学部. 关于推进西南岩溶地区石漠化综合治理的若干建议 [J]. 地球科学进展, 2003, 18(4): 389~492]
- [2] 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空间相关分析 [J]. 地理学报, 2003, 58(2): 314~320]
- [3] Zhang Yamei An Yukun. Correlation analysis between the landscape pattern and population density in Guiyang [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(2): 195~199 [张雅梅, 安裕伦. 贵阳市景观类型与人口密度相关分析 [J]. 生态学杂志, 2005, 24(2): 195~199]
- [4] Hu Baoqing Liao Chinei Yan Zhixiang *et al*. Driving mechanism diagnosis of karst rocky desertification in Duan Yao Autonomous County of Guangxi based on RS and GIS [J]. *Journal of Mountain Science*, 2004, 22(5): 583~590 [胡宝清, 廖赤眉, 严志强. 基于RS和GIS的喀斯特石漠化驱动机制分析——以广西都安瑶族自治县为例 [J]. 山地学报, 2004, 22(5): 583~590]
- [5] Jia Baoquan Ci Longjun Gao Zhigang *et al*. The quantitative analysis of effect factors on sandy desertification in Ordos plateau [J]. *Scientia Silvae Sinica*, 2003, 39(6): 15~20 [贾宝全, 慈龙骏, 高志刚, 等. 鄂尔多斯高原土地沙化过程中自然与人为因素的定量分析 [J]. 林业科学, 2003, 39(6): 15~20]

Quantitative Research of the Space Dependence of Different Grades Rocky Desertification and the Factor of Population in Karst Mountain Area

BAIXiaoyong XIONG Kangning LIY angbing LAN Anjun

(School of Geography and Biology, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001, China)

Abstract The authors utilized ASTER remote sensing image in 2004 of fragile karst rocky desertification district and GIS operating platform, obtained the karst rocky desertification data and population distribution information of the studied area. With the mathematics method, the interreaction of proportion of rocky desertification and population indexes was opened out quantitatively. The result shows as follows: the proportion and the severity of rocky desertification has only close relations with the density of population, gathering degree of peasants and strong work force quantity, which has not relations with other indexes of people. In addition, the influencing factor are so different in the area of various grades rocky desertification, and mathematics relations are different too. In serious rocky desertification area, the indexes of density of population, gathering degree of peasants, workforce quantity are relatively lower. The population are mainly distributed in slight rocky desertification region; relatively, however, the proportion of potential rocky desertification is higher in this kind of region, which deserves paying much more attention.

Key words karst rocky desertification, population density, gathering degree of peasants, relativity