

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20181225.005

苏成杰,岳涛,蒋霖,等.喀斯特石漠化与人文驱动因素相关性研究——以广西为例[J].广西科学,2018,25(6):709-714.

SU C J, YUE T, JIANG L, et al. Correlation research between karst rocky desertification and human activities: A case of Guangxi [J]. Guangxi Sciences, 2018, 25(6): 709-714.

# 喀斯特石漠化与人文驱动因素相关性研究——以广西为例\*

## Correlation Research between Karst Rocky Desertification and Human Activities: A Case of Guangxi

苏成杰<sup>1,2</sup>, 岳涛<sup>1\*\*</sup>, 蒋霖<sup>2</sup>, 周海峰<sup>2</sup>, 王文贯<sup>2</sup>, 罗国夫<sup>2</sup>

SU Chengjie<sup>1,2</sup>, YUE Tao<sup>1</sup>, JIANG Lin<sup>2</sup>, ZHOU Haifeng<sup>2</sup>, WANG Wenguan<sup>2</sup>, LUO Guofu<sup>2</sup>

(1. 桂林理工大学, 广西空间信息与测绘重点实验室, 广西桂林 541004; 2. 广西建设职业技术学院土木工程系, 广西南宁 530007)

(1. Guangxi Key Laboratory of Spatial Information and Geomatics, Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi, 541004, China; 2. Department of Civil Engineering, Guangxi Polytechnic of Construction, Nanning, Guangxi, 530007, China)

**摘要:**【目的】定量研究广西石漠化与人文驱动因素的关系。【方法】根据部分典型石漠化县城的人文统计数据与石漠化情况开展相关分析。【结果】石漠化与农民人均纯收入、人均耕地和经济密度呈负相关;与人口密度和土地垦殖率呈正相关。石漠化与人文驱动因素相关性由大到小依次为土地垦殖率>农民人均纯收入>人均耕地>经济密度>人口密度。【结论】农民人均纯收入小于1 500元地区的石漠化发生率较高。不同人文驱动因素与石漠化分类结果的叠加分析,验证了农民人均纯收入与石漠化存在负相关。

**关键词:**石漠化 人文因素 广西

中图分类号:P283.8 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2018)06-0709-06

**Abstract:**【Objective】This paper quantitatively studies the relationship between Guangxi rocky desertification and human driving factors.【Methods】According to humanities and related statistical data in some typical rocky desertification counties and the rocky desertification situation, relevant analysis is carried out.【Results】The result showed that the rocky desertification was negatively correlated with rural per capita net income, per capita farmland and economic density, but it was positively correlated with population density and land reclamation rate. The correlation between rocky desertification and human driving factors in descending order as follows; Land reclamation rate> rural per capita net income> per capita farmland area> economic density> population density.【Conclusion】The incidence of rocky desertification in the region with a per capita net income of less than ¥1 500 is higher. The overly analysis of different humanities driving factors and rocky desertification classification results verified that the per capita net income of farmers was negatively correlated with rock desertification.

**Key words:** rocky desertification, human factors, Guangxi

收稿日期:2017-08-29

作者简介:苏成杰(1989—),男,硕士研究生,主要从事遥感图像处理和应用研究,E-mail:chengjie\_su@163.com。

\* 广西空间信息与测绘重点实验室开放基金项目(17-259-16-13)资助。

\*\* 通信作者:岳涛(1987—),男,实验师,主要从事岩溶塌陷遥感反演研究,E-mail:yuetao@glut.edu.cn。

# 0 引言

**【研究意义】**喀斯特地区石漠化是近年来所认识到的一种新地质生态灾害,对经济、环境和社会的影响越来越大,受到国家的广泛关注<sup>[1]</sup>。喀斯特石漠化是喀斯特地区特有的地理过程,是人地系统失衡发展的产物,即地质、地貌、气候、土壤和植被等自然背景因素和不合理的人类活动综合作用的产物。人类活动对喀斯特地区环境有较大影响<sup>[2]</sup>。石漠化是喀斯特地区典型的地质环境灾害,可导致土地流失、大量基岩裸露和严重影响土地利用,在降雨量充沛的热带喀斯特山区影响尤为严重<sup>[3-4]</sup>。**【前人研究进展】**目前对喀斯特地区石漠化的研究主要是运用不同方法提取石漠化信息,况顺达等<sup>[5]</sup>将归一化植被指数与增强型植被指数加以改造,得到了改进增强型植被指数法,该模型增大了土壤、植被、裸岩及水体之间的反差,有利于植被信息的提取。夏学齐等<sup>[6]</sup>以贵州省普定县 IKONOS 遥感数据为基础,以石漠化几何指数来表征石漠化强度。Wang 等<sup>[7]</sup>和 Li 等<sup>[8]</sup>都根据土地利用情况提取了石漠化信息。李瑞玲等<sup>[9]</sup>探讨了各类岩性与不同级别石漠化之间的相关性,结果表明石漠化与纯碳酸盐岩具有显著相关。杨青青等<sup>[10]</sup>探讨了地质地貌因素对石漠化分布的影响,结果显示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。此外, Xiao 等<sup>[11]</sup>研究了在喀斯特地区地表温度对土地利用变化的影响。**【本研究切入点】**喀斯特地区石漠化是自然环境和人类活动的复杂演变过程,在特定的自然环境下,人类活动对石漠化的演变尤为重要。人类活动对石漠化的影响也就是社会经济发展对石漠化造成的影响,不同的社会经济指标对石漠化的影响程度有待进一步研究。**【拟解决的关键问题】**本研究主要探讨石漠化空间分布特征与人类活动关系。根据 1995 年广西石漠化遥感影像分类结果,结合广西农民人均纯收入统计数据,以 GIS 为手段定量分析石漠化与人文驱动因素的关系。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概述

广西地处 104°28'~112°03'E, 20°54'~26°23'N, 南北跨度 606 km, 东西相距 769 km, 总土地面积 23.69×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>。广西地处云贵高原东南边缘,地形复杂,地势自西北向东南倾斜,四周环山,中部和南部多为平地,呈一个四周高中间低的不完整盆地状。西部是云贵高原的延伸部分,平均高度显得比较突出,

大部分海拔 1 000~2 000 m。广西总体地貌形态为“八山一水一分田”,即以山地为主,占全区总面积的 85%。广西的碳酸盐岩面积达 9.58×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>,占全区总面积的 40.9%,84 个县市有碳酸盐岩出露,主要分布在桂中、桂西和桂西北,是我国喀斯特地貌发育最典型、分布最广的地区之一。广西属亚热带季风气候区,主要特征是高温多雨,年均气温 16~22℃,年均降雨量 1 835 mm。

### 1.2 研究数据

本文遥感影像数据来源于中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站(<http://www.gscloud.cn>),所用数据为 1995 年覆盖整个广西且云量少于 10% 的 16 景 Landsat-5 TM 遥感影像。将遥感影像预处理后进行镶嵌,再根据广西行政区划矢量图对镶嵌的影像裁剪,得到整个广西的遥感影像。人文统计数据来源于广西地情网(<http://www.gxdqw.com/>),根据广西 1995 年统计年鉴,筛选出全区以县为单位的总人口、农业人口、GDP、总耕地面积和农民人均纯收入等数据。用 ARCGIS 9.3 将筛选出的数据添加到相应县的矢量图层的属性中,为空间分析做准备。

### 1.3 方法

利用遥感和 GIS 技术根据石漠化分级指标体系,以 TM 影像为基础,结合地形图、坡度图和野外实地调查等相关资料,对石漠化分级和空间分布进行遥感解译,生成石漠化空间分布图并统计不同等级石漠化面积。将石漠化空间分布图及人文驱动因素图叠加分析,生成石漠化与人文驱动因素相关分布图。

## 2 石漠化信息提取

根据广西桂林市灌阳县的野外实地勘察结果,找出真实感兴趣区,结合遥感影像区分出不同类别的石漠化特征,制定出广西喀斯特石漠化分类指标体系和判别特征,见表 1。本文用 R1~R6 依次代表无石漠

表 1 研究区石漠化分级指标

Table 1 Rocky desertification grade index of the study area in Guangxi

石漠化等级 Rocky desertification grade	NDVI	植被覆盖度 Vegetation coverage(%)	坡度 Slope(°)
R1	>0.32	>65	≤19
R2	(0.15, 0.32]	(50, 65]	(19, 24]
R3	(-0.05, 0.15]	(30, 50]	(24, 28]
R4	(-0.27, -0.05]	(20, 30]	(28, 35]
R5	(-0.48, -0.27]	(9, 20]	(35, 45]
R6	≤-0.48	≤9	>45

化、潜在石漠化、轻度石漠化、中度石漠化、强度石漠化和极强石漠化<sup>[12]</sup>。运用决策树分类方法对 1995 年广西 Landsat-5 的 TM 遥感影像进行解译,得到广

西石漠化空间分布图(图 1),并对分类结果进行统计,结果见表 2。

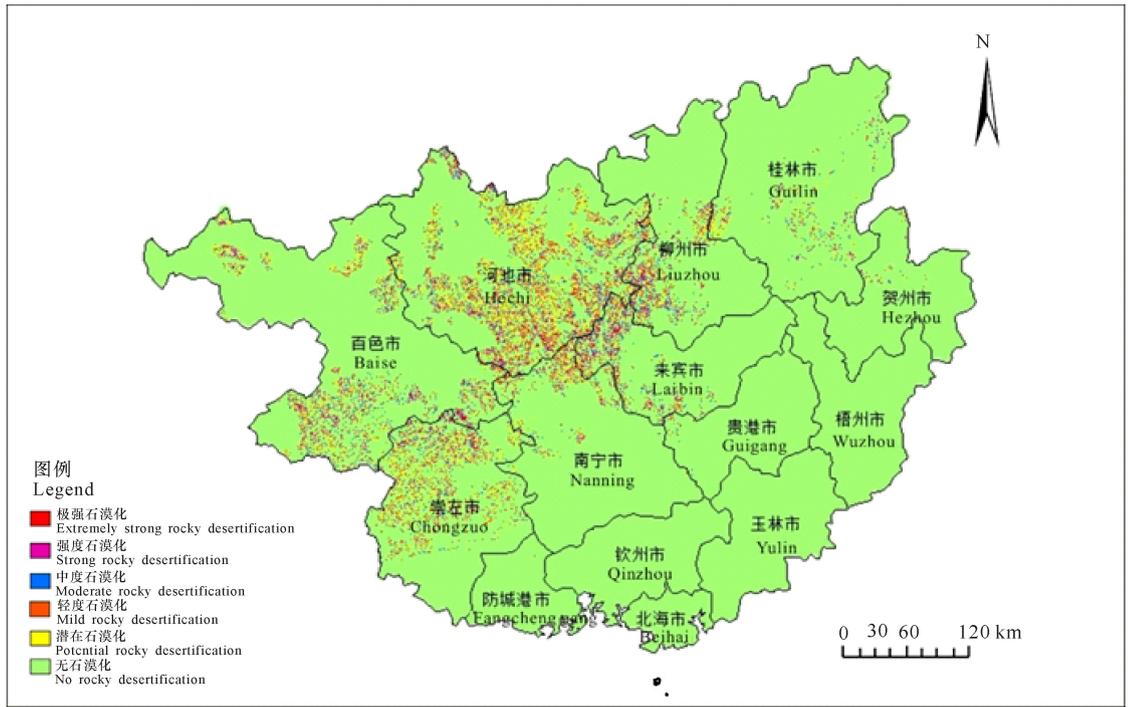


图 1 广西石漠化空间分布图

Fig. 1 Spatial distribution of rocky desertification in Guangxi

表 2 广西不同等级石漠化统计结果

Table 2 Statistical results of rocky desertification in Guangxi

石漠化等级 Rocky desertification grade	面积 Area(km <sup>2</sup> )	占广西面积的比例 Proportion of Guangxi's area(%)
R1	219 740.398 3	92.75
R2	4 159.475 0	1.76
R3	4 257.128 7	1.80
R4	2 672.073 0	1.13
R5	4 073.749 2	1.72
R6	2 019.407 4	0.85
总计 Total	236 922.231 6	100.00

从表 2 和图 1 可知,广西石漠化总面积为 17 181.833 3 km<sup>2</sup>,约占广西总土地面积的 7.25%,约占广西岩溶面积的 19.2%,可见广西石漠化情况较为严重。其中石漠化土地主要分布在百色、河池和南宁等地市(占石漠化分布面积的 1/2 以上),尤其以地处广西与贵州接壤处的百色和河池分布的石漠化面积最广,是贵州喀斯特地貌向广西喀斯特地貌转化的过渡带。来宾市、柳州市、崇左市、桂林市及其贺州市有少量石漠化土地的分布,其他县市则几乎没有石漠化土地的分布。从总体上来说,石漠化在广西空间分布是西重东轻、北多南少的状况。

### 3 喀斯特石漠化与人文驱动因素的相关分析

#### 3.1 相关分析介绍

相关分析是一种研究变量之间密切程度的统计方法。相关系数是描述两变量  $X$  和  $Y$  之间线性相关程度的定量指标,相关系数  $R_{XY}$  为无量纲,其值在  $[-1, 1]$  范围内。 $R_{XY} > 0$  时, $Y$  随  $X$  增减而增减,称  $X$  与  $Y$  正相关;当  $R_{XY} < 0$  时, $Y$  随  $X$  增加而减少,称  $Y$  与  $X$  负相关。采用皮尔逊(Pearson)相关系数,其计算见式(1)<sup>[13]</sup>。

$$R_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}) \times (Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\left\{ \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \times \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2 \right\}}}, \quad (1)$$

其中: $R_{XY}$  为变量  $X$  与  $Y$  的相关系数; $N$  为样本数; $\bar{X}$  为变量  $X_i$  的均值; $\bar{Y}$  为变量  $Y_i$  的均值。

由于各指标的值域相差较大,为了避免大值对小值的掩盖,需对原始数据进行标准化处理。标准化处理方法见式(2)。

$$X'_i = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma}, \quad (2)$$

其中: $X'_i$  为标准化后数据; $X_i$  为原始数据;均值  $\bar{X} = \sum_{i=1}^n X_i/n$ ;均方差  $\sigma$  计算过程见式(3)。

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / (n - 1)} \quad (3)$$

本文选取石漠化严重的百色、河池、南宁和崇左4市的部分县(27个)的石漠化情况分别与农民人均

纯收入(X1)、人口密度(X2)、土地垦殖率(X3)、人均耕地(X4)和经济密度(X5)等5个典型人文驱动因素作相关分析,结果见表3。

表3 广西部分县的统计数据

Table 3 Part of the county statistics in Guangxi

县 County	石漠化面积 Rocky desertification area(km <sup>2</sup> )	X1 (yuan)	X2 (human/ km <sup>2</sup> )	X3 (%)	X4 (mu)	X5 (millim/ km <sup>2</sup> )	县 County	石漠化面积 Rocky desertification area(km <sup>2</sup> )	X1 (yuan)	X2 (human/ km <sup>2</sup> )	X3 (%)	X4 (mu)	X5 (millim/ km <sup>2</sup> )
巴马 Bama	198.567 9	766	116	23.86	1.21	19.59	罗城 Luocheng	373.761 8	1 019	133	35.33	1.02	29.22
大化 Dahua	473.086 6	562	150	27.18	0.69	29.88	马山 Mashan	308.599 4	718	177	35.53	0.78	20.59
大新 Daxin	422.287 0	1 078	126	45.79	0.78	24.57	那坡 Napo	143.270 1	684	86	17.86	1.00	10.58
德保 Debao	352.371 6	765	123	33.72	1.11	23.48	南丹 Nandan	406.509 3	1 059	69	9.99	1.23	39.30
东兰 Donglan	375.958 8	712	114	18.28	0.76	19.83	宁明 Ningming	57.261 6	1 355	104	41.62	1.23	31.23
都安 Du'an	701.606 1	606	95	62.69	0.91	16.26	平果 Pingguo	414.802 8	974	178	39.54	0.80	43.34
凤山 Fengshan	166.786 2	633	104	16.67	0.90	12.72	凭祥 Pingxiang	18.209 7	1 450	154	5.75	0.61	87.23
环江 Huanjiang	360.879 3	910	72	30.06	1.14	19.01	上林 Shanglin	173.253 6	1 058	225	40.02	0.97	48.94
靖西 Jingxi	608.970 6	719	169	56.40	0.93	22.52	天等 Tiandeng	460.813 5	716	183	36.57	1.04	22.36
乐业 Leye	79.809 3	661	54	12.44	1.23	6.95	天峨 Tian'e	77.833 8	886	43	17.62	1.84	8.36
凌云 Lingyun	191.127 6	735	86	16.49	0.96	14.83	田东 Tiandong	159.073 2	1 185	137	36.45	0.94	35.55
龙州 Longzhou	263.920 5	1 047	115	37.92	1.16	31.58	田阳 Tianyang	153.873 9	1 252	138	32.39	1.16	45.01
隆安 Longan	260.298 9	987	161	39.29	1.29	29.72	武鸣 Wuming	89.855 1	1 630	188	54.31	1.30	69.19
隆林 Longlin	212.835 6	774	96	28.66	1.16	12.56							

注:统计数据来源于广西地情网(<http://www.gxdfz.org.cn>)

Note: Statistical data come from Guangxi regional information website(<http://www.gxdfz.org.cn>)

根据式(1)~(3)可以计算得5个不同指标与石漠化面积的相关系数R,结果见表4。

表4 与石漠化相关显著的人文驱动因素及其相关系数(R)

Table 4 Human factors significantly related to rocky desertification and its correlation coefficient (R)

人文驱动因素 Humanistic drivers	X1 (yuan)	X2 (human/ km <sup>2</sup> )	X3 (%)	X4 (mu)	X5 (millim/ km <sup>2</sup> )
相关系数R Correlation coefficient R	-0.478 *	0.150	0.495 **	-0.36	-0.252

\*\*表示P<0.01,\*表示P<0.05

\*\* indicates P<0.01,\* indicates P<0.05

从表4可知,石漠化与农民人均纯收入、人均耕地和经济密度呈负相关,与农民人均纯收入(R=-0.478,P<0.05)呈显著负相关;与人口密度和土

地垦殖率呈正相关,与土地垦殖率(R=0.495,P<0.01)呈显著正相关。石漠化与人文驱动因素相关性由大到小依次为土地垦殖率>农民人均纯收入>人均耕地>经济密度>人口密度。

### 3.2 基于GIS的喀斯特石漠化与人文驱动因素的相关分析

根据广西地情网提供的1995年广西统计年鉴数据,以区县为单位收集整个广西109个区县1995年的农民人均纯收入,将农民人均纯收入数据添加到以区县为单位的广西区矢量文件的属性列表中,最后运用ARCGIS 9.3将石漠化分类结果和添加人文驱动因素的矢量文件进行空间分析。

不同人文驱动因素的各等级石漠化发生率C<sub>ij</sub>和

某类人文驱动因素下各等级石漠化比例  $I_{ij}$  的计算公式为

$$C_{ij} = \frac{A_{ij}}{A_j} \times 100\%, \quad (4)$$

$$I_{ij} = \frac{A_{ij}}{A_i} \times 100\%, \quad (5)$$

其中,  $C_{ij}$  为在某类人文驱动因素的第  $j$  个区间内第  $i$  类石漠化的发生率;  $A_{ij}$  为在某类人文驱动因素的第

表 5 广西不同农民人均纯收入的石漠化发生率

Table 5 Rocky desertification incidence in different per capita net income of farmers in Guangxi

农民人均纯收入 Per capita net income of farmers (yuan)	R6		R5		R4		R3		R2	
	面积 Area (km <sup>2</sup> )	发生率 Incidence (%)								
≤1 000	1 234.7	2.11	2 108.1	3.60	1 387.4	2.3	2 111.9	3.6	2 279.6	3.8
(1 000,1 500]	486.6	0.71	1 093.5	1.58	726.6	1.0	1 223.1	1.7	1 098.6	1.5
(1 500,2 000]	281.3	0.30	806.1	0.87	515.1	0.5	863.0	0.9	731.1	0.7
>2 000	4.3	0.03	16.1	0.11	9.1	0.1	13.3	0.1	8.8	0.1

农民人均纯收入是反映农民生活水平的重要指标,同时也可反映农民生产水平的高低与否。将石漠化分类结果与不同类型农民人均纯收入分布进行空间分析,得出广西不同类型农民人均纯收入的石漠化分布图(图 2),并统计各区县不同类型农民人均纯收入下各等级石漠化的面积及其发生率,结果见表 6。

农民人均纯收入小于 1 000 元的地区主要分布

$j$  个区间内第  $i$  类石漠化的总面积;  $A_j$  为在某类人文驱动因素的第  $j$  个区间内的总土地面积;  $A_i$  为第  $i$  类石漠化的总面积。

根据数据的空间叠加统计出各类人文驱动因素不同区间内的总土地面积和各等级石漠化面积,将统计结果代入式(4)和式(5),计算出广西不同人文驱动因素的各等级石漠化发生率,结果见表 5。

在广西西部偏远山区,农民的生产和生活水平均较低,还沿袭着传统的人力耕作的生产方式,很少出现机械耕作,生产方式落后。农民人均纯收入介于 1 000~1 500 元的地区也有一定比例的石漠化,可见,广西在农民人均纯收入小于 1 500 元地区的石漠化发生率较高。

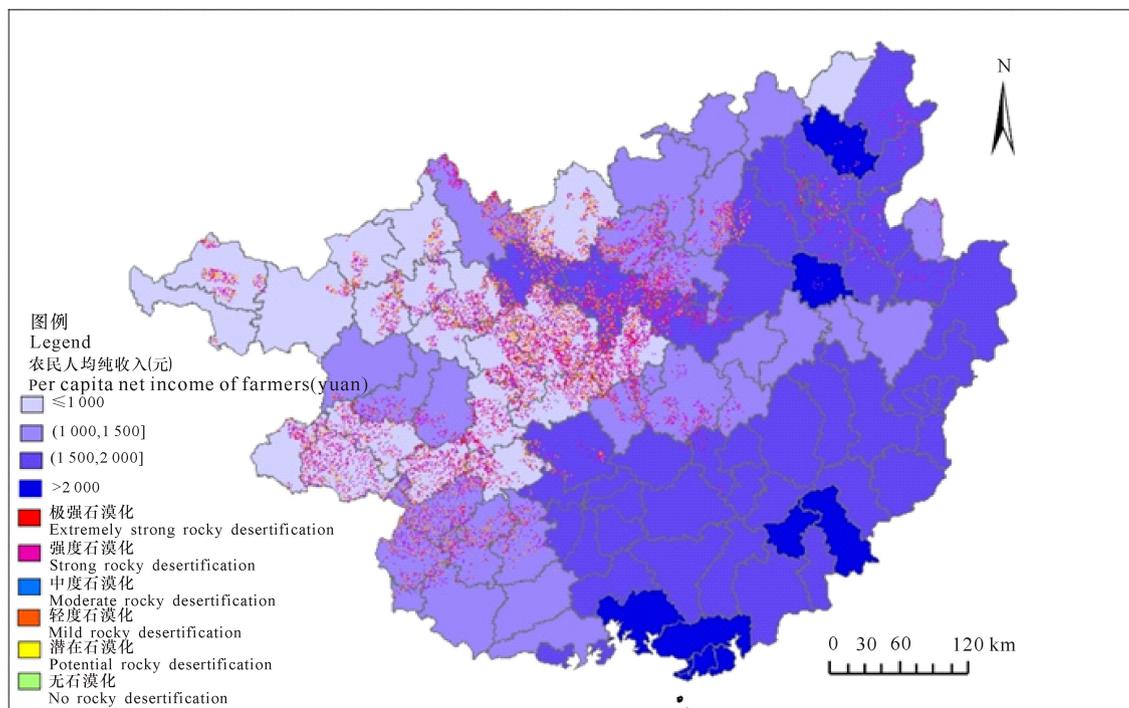


图 2 广西不同类型农民人均纯收入的石漠化分布图

Fig. 2 Distribution of rock desertification in different per capita net income of farmers in Guangxi

表 6 广西不同类型农民人均纯收入的石漠化比例

Table 6 The ratio of rocky desertification in different per capita net income of farmers in Guangxi

农民人均纯收入(元) Per capita net income of farmers (yuan)	占 R6 比例 Proportion of R6(%)	占 R5 比例 Proportion of R5(%)	占 R4 比例 Proportion of R4(%)	占 R3 比例 Proportion of R3(%)	占 R2 比例 Proportion of R2(%)
≤1 000	61.52	52.39	52.58	50.15	55.35
(1 000,1 500]	24.25	27.18	27.54	29.04	26.68
(1 500,2 000]	14.02	20.03	19.53	20.49	17.75
>2 000	0.22	0.40	0.35	0.32	0.21

#### 4 结论

①广西石漠化与农民人均纯收入、人均耕地和经济密度呈负相关,与农民人均纯收入呈显著负相关;与人口密度和土地垦殖率呈正相关,与土地垦殖率呈显著正相关。广西石漠化与人文驱动因素相关性由大到小依次为土地垦殖率>农民人均纯收入>人均耕地>经济密度>人口密度。

②根据农民人均纯收入与石漠化分类结果的叠加分析可知,广西石漠化主要发生在农民人均纯收入小于 1 000 元的地区(主要是西部偏远山区)。农民人均纯收入介于 1 000~1 500 元的地区也有一定比例的石漠化,可见在农民人均纯收入小于 1 500 元的地区石漠化发生率较高。

#### 参考文献:

[1] 李阳兵,王世杰,容丽.关于喀斯特石漠和石漠化概念的讨论[J].中国沙漠,2004,24(6):689-695.  
LI Y B,WANG S J,RONG L. Discussion on the concept of rocky desertification and rocky desertification in karst [J]. Chinese Desert,2004,24(6):689-695.

[2] HUDSON P F,ALCA'NTARA-AYALA I. Ancient and modern perspectives on land degradation[J]. Catena, 2006,65: 102-106. DOI: 10. 1016/j. catena. 2005. 11. 003.

[3] SMITH B J. Weathering of superficial limestone debris in a hot desert[J]. Environment Geomorphology, 1988, 1 (4):355-367. DOI:10. 1016/0169-555X(88)90007-4.

[4] TEMPLER P H,GROFFMAN P M,FLECKER A S. Land use change and soil nutrient transformations in the los haitises region of the dominican republic[J]. Soil Biology and Biochemistry,2005,37(2):215-225. DOI:10. 1016/j. soilbio. 2004. 07. 031.

[5] 况顺达,戴传固,王尚彦,等.岩溶石漠化遥感信息增强技术探讨[J].贵州地质,2009(1):44-48.  
KUANG S D,DAI C G,WANG S Y,et al. Study on remote sensing information enhancement technology of karst rocky desertification [J]. Guizhou Geology, 2009 (1):44-48.

[6] 夏学齐,田庆久,杜凤兰.石漠化程度遥感信息提取方法

研究[J].遥感学报,2006,10(4):469-475.  
XIA X Q,TIAN Q J,DU F L. Remote sensing information extraction of rocky desertification degree[J]. Journal of Remote Sensing,2006,10(4):469-475.

[7] WANG S J,LIU Q M,ZHANG D F. Karst rocky desertification in southwestern China: Geomorphology, land use, impact and rehabilitation[J]. Land Degradation & Development, 2003, 15: 115-121. DOI: 10. 1002/ldr. 592.

[8] LI Y B,SHAO J A,YANG H, et al. The relations between land use and karst rocky desertification in a typical karst area, China[J]. Environmental Geology, 2009, 57:621-627. DOI:10. 1007/s00254-008-1331-z.

[9] 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.  
LI R L,WANG S J,ZHOU D Q,et al. Correlation analysis of lithology and rocky desertification in karst area of Guizhou[J]. Journal of Geography, 2003, 58 (2): 314-320.

[10] 杨青青,王克林,陈红松,等.地质地貌因素对喀斯特石漠化的影响——以广西大化县为例[J].山地学报, 2009,27(3):311-318.  
YANG Q Q,WANG K L,CHEN H S, et al. Influence of geological and geomorphological factors on karst rocky desertification: A case study of Dahua County, Guangxi[J]. Journal of Mountain Science, 2009 (3): 311-318.

[11] XIAO H L,WENG Q H. The impact of land use and land cover changes on land surface temperature in a karst area of China[J]. Journal of Environmental Management, 2007, 85: 245-257. DOI: 10. 1016/j. jenvman. 2006. 07. 016.

[12] 黄岩.基于 ETM 影像的喀斯特石漠化提取研究——以南川市为例[D].重庆:西南大学,2008.  
HUANG Y. Karst desertification investigation base on ETM image: A case study of Nanchuan city [D]. Chongqing: Southwestern University, 2008.

[13] 熊康宁.喀斯特石漠化的遥感——GIS 典型研究:以贵州省为例[M].北京:地质出版社,2002.  
XIONG K N. Remote sensing of karst rocky desertification——A typical study of GIS: A case study of of Guizhou Province[M]. Beijing: Geological Press, 2002.

(责任编辑:陆雁)