

文章编号: 1008- 2786- (2006) 2- 234- 08

基于 3S技术的广西喀斯特石漠化驱动机制图谱分析 ——以广西壮族自治区为例

胡宝清^{1, 2}, 蒋树芳³, 廖赤眉¹, 严志强¹

(1 广西师范学院资源与环境科学学院, 广西 南宁 530001;

2 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002 3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要: 喀斯特石漠化是指喀斯特区地表出现类似荒漠景观的土地退化过程。图谱分析为喀斯特石漠化研究提供了一种谱系化、量化与定位化相结合的研究方法。以广西喀斯特区为例, 从组成喀斯特生态系统的地质、岩性、植被、地貌、气候及人类活动等多个方面入手, 采用 3S技术, 得出石漠化分布及其驱动因子图; 对石漠化分布图及驱动因子图进行图形叠加运算及相关分析, 诊断出石漠化驱动机制。结果表明, 喀斯特石漠化是在脆弱的生态环境地质背景下由于人类的强烈扰动而形成的, 是多种因子综合的结果。

关键词: 图谱分析, 驱动机制, 喀斯特石漠化, 3S技术, 广西

中图分类号: P642 25

文献标识码: A

石漠化是当前中国西南喀斯特环境问题的热点之一。喀斯特石漠化 (Karst Rocky Desertification, KRD)是在亚热带喀斯特地域环境背景下, 由于土地利用与土地覆被变化, 引起土壤严重侵蚀、基岩大面积裸露、土地生产力急剧下降、地表出现类似荒漠景观的土地退化过程。土地石漠化是喀斯特地区土地利用与土地覆被变化的最重要环境效应之一, 它以亚热带喀斯特地域为背景, 以人类活动为主要驱动力, 以降雨、径流等运移作用造成的现代水土流失过程为主导, 以出现类似荒漠景观为标志, 以土地退化为本质, 包括了土壤、植被、地表状况的恶化和生产力的下降^[1]。图谱分析是用数字化、系列化的图形图像揭示客观事物和现象空间结构特征、时空变化规律及驱动机制的一种方法与手段^[2]。石漠化图谱主要通过地形图、专题地图、遥感图像与 GIS的大量信息的空间分析与地学认知, 以图谱形式阐明石漠化影响因子、成因机制及发生规律, 揭示喀斯特生态经济失衡导致石漠化过程的内在成因和机制, 探讨石漠化地区的生态重建模式。本文以广西喀斯特地

区作为研究区, 以遥感影像、专题地图和统计数字为基础数据, 从组成喀斯特生态系统的地质、岩性、植被、地貌、气候及人类活动等多个方面入手, 采用 3S技术, 得出石漠化分布及其驱动因子图谱; 对石漠化驱动因子图进行图形运算及相关分析, 诊断出石漠化驱动机制, 为该区生态环境治理与可持续发展提供可操作性战略方针及措施。

1 研究区概况及石漠化分布特征

1.1 研究区概况

广西地处 104°28' ~ 112°03' E, 20°54' ~ 26°23' N 间, 南北相距 606 km, 东西跨度 769 km, 面积 23 71 × 10⁴ km²; 总人口 4 489万, 有壮、汉、瑶、苗、侗等民族, 其中壮族约占总人口的 33%。广西地处云贵高原东南边缘, 地形复杂, 总的地势是自西北向东南倾斜, 四周环山, 中部和南部多为平地, 呈一个四周高中间低不完整的盆地状。西部是云贵高原的延伸部分, 平均高度显得比较突出, 大部分在海拔 1 000

收稿日期 (Received date): 2006- 01- 25; 改回日期 (Accepted): 2006- 03- 01。

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金项目 (40361002 40161004) [The Item was supported by National Science Foundation of China No 40361002 & 40161004]

作者简介 (Biography): 胡宝清 (1966-), 男, 江西临川人, 教授, 博士后, 主要从事喀斯特环境 GIS研究。E-mail: h bq1230@ gxtc. edu. cn
[Hu Baoqing (1966-), male, born in Linchuang of Jiangxi Province, Professor, Ph.D., Specialized in karst eco-environmental GIS]

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

~ 2 000 m。广西总的地貌形态为“八山一水一分田”, 以山地为主, 占全区总面积的 85%。广西碳酸盐岩面积达 $9.58 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占自治区总面积的 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, 雨量丰富, 雨热同期; 年平均气温 $16 \sim 22^\circ\text{C}$, 最热月是 7 月, 月均气温 $23 \sim 29^\circ\text{C}$; 最冷月为 1 月, 月均气温 $6 \sim 14^\circ\text{C}$; 年日照时数 1 396 h, $\geq 10^\circ\text{C}$ 年积温达 $5\,000 \sim 8\,300^\circ\text{C}$, 持续日数 270~34 d; 年均降雨量 1 835 mm, 桂南防城、桂中金秀—昭平、桂东北的桂林和桂西北的融安为多雨中心, 年降雨量均 $> 1\,900 \text{ mm}$; 桂西左、右江谷地和桂中盆地是主要旱区, 年降雨量仅为 $1\,100 \sim 1\,200 \text{ mm}$ 。

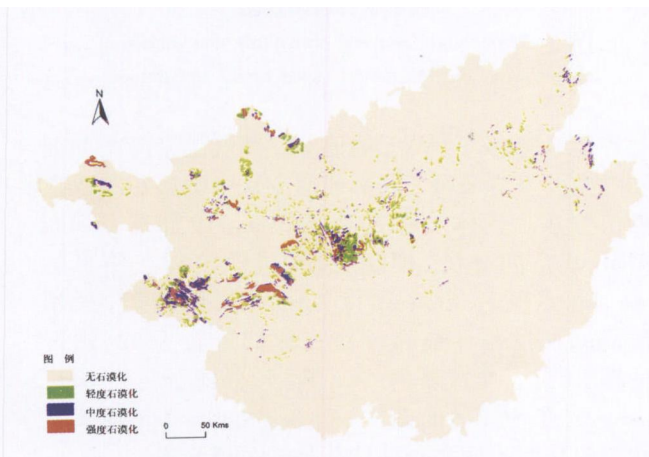


图 1 广西喀斯特石漠化分布图

Fig 1 Karst rocky desertification d istribution of Guangxi

1.2 石漠化分布特征

根据石漠化科学涵义和喀斯特区域特点, 制订广西喀斯特石漠化分级分类指标体系和判别指征^[3-7], 据此对 2000 年广西 TM 进行遥感解译, 得到全区石漠化强度和空间分布 (图 1), 广西石漠化总面积为 $940\,022 \text{ hm}^2$, 占总土地面积的 3.96%, 其中, 轻度石漠化面积为 $500\,727 \text{ hm}^2$, 占土地总面积的 2.11%, 中度石漠化土地面积为 $326\,117 \text{ hm}^2$, 占土地总面积的 1.38%, 强度石漠化土地达 $113\,156 \text{ hm}^2$, 占土地总面积的 0.48%, 而从各石漠化强度分布来看, 轻度、中度和强度石漠化分别占总石漠化面积的 53.27%、34.69% 和 12.04%, 主要分布在百色、河池、南宁和来宾等地市, 约占石漠化分布面积的 2/3。其中, 地处广西与贵州的接壤处的百色和河

池分布面积最广, 是贵州石漠化向广西石漠化转化的过渡区; 其次来宾市、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, 其余的县市则几乎没有石漠化土地的分布。从总体上来说, 石漠化在广西分布的状况是西边重, 东边轻, 北边多而南边无的局面 (图 2)。

2 基于 3S 技术的石漠化驱动诊断图谱分析方法

2.1 基于 3S 技术的图谱分析方法

2.1.1 图谱分析

图谱是一种源远流长的中国传统研究方法, 即运用图形语言进行时间与空间的综合表达与分析。地质信息图谱是按照一定指标递变规律或分类体系排列的一组能够反映地学空间信息规律的数字地图、图表、曲线或图像, 其内容是各种按尺度、精度组织起来的地图数据库, 具有反演和模拟时空变化、简洁的形象表达能力、多维空间信息的二维地图展示等重要功能^[8,9]。图谱分析方法实际是一个分析研究和探索过程, 不仅用于数据采集和数据开发利用, 而且服务于科学预测与决策方案的虚拟。

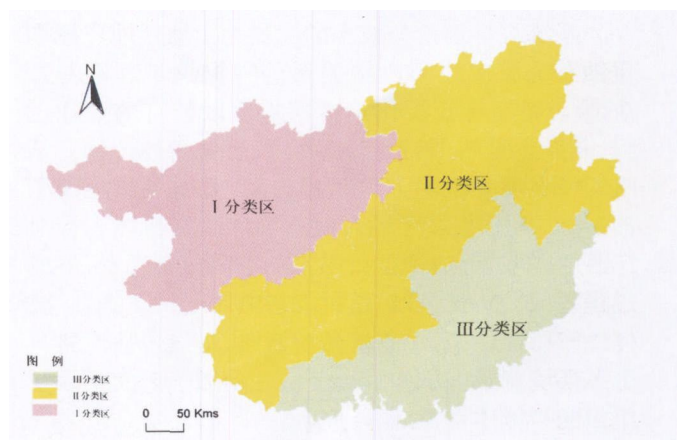


图 2 广西喀斯特石漠化分区图

Fig 2 Karst rocky desertification division of Guangxi

2.1.2 基于 3S 技术的图谱分析方法

依托 3S 技术, 采用图形复合运算方法进行图谱分析。在图谱分析过程中 (图 3), 主要有如下步骤: 1) 根据图谱设计和建立要求, 从各类数据库中提取所需信息, 或采取某些手段补充获取新的信息, 并进行分类分级, 必要时建立新的分类与分级体系; 2) 找出所有分布的类型, 然后按信息图谱类型的定性定量指标进行综合集成, 并确立各类图谱的分

布范围与界线; 3)在进一步抽象概括的基础上, 建立数学模型, 以便图形思维与模型分析相结合, 进行信息挖掘、知识发现及地学认知, 找出规律; 4)进行信息图谱的多维与动态可视化设计, 以更好地显示空间与时间的分布规律和动态变化, 反映已认知的规律或具体明确的应用方案; 5)建立信息图谱的数据库和建立各项指标的查询检索系统^[2]。

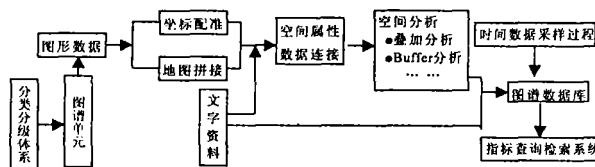


图 3 图谱分析方法与技术路线

Fig 3 Method and route of TUPU analysis of the studied area

2.2 基于图谱分析的石漠化驱动因子分析方法

喀斯特石漠化所涉及驱动因子繁多, 过程错综复杂, 因此运用图谱分析方法可有助于揭示喀斯特石漠化与其驱动力之间的复杂关系, 为石漠化形成驱动机理诊断与预测提供科学依据。

2.2.1 喀斯特石漠化驱动机制系统分析

系统科学理论与技术的发展为土壤侵蚀环境和侵蚀系统层次性和内在关系研究提供了理论与方法^[10]。喀斯特石漠化是喀斯特地区特有的地理过程, 其产生是喀斯特地域系统人地失衡的产物。从喀斯特石漠化区的人地矛盾出发, 既有各单项因子的影响, 又要考虑区域人地系统的综合影响。针对广西的区域特点, 根据石漠化的空间分布现状、形成过程和演变特征, 考虑其可能影响因子的系统性、整体性和可比性, 采用系统分析方法, 筛选包括地质-生态环境背景因子和社会经济驱动因子 2 大类因子组成的指标体系, 如图 4 所示。

2.2.2 石漠化地质-生态背景数据处理技术

在遥感与 GIS 技术支持下, 进行因子图形栅格化与驱动力指标的量化分析, 建立石漠化信息图谱模型, 对图谱方法在石漠化演进机制研究中的应用进行实证分析。所选 2 个方面的 11 个因子指标, 数据来源及投影方式和数据格式各不相同, 因此各因子数据获得方式各异。为了便于空间叠加和计算方便, 将所有不同量纲的因子图在 ARC/INFO 中利用转换成栅格格式, 并重采样为 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ 。

1 运用反距离权重空间插值法提取温度与降雨数据在 GIS 应用中, 空间插值主要用于栅格数据。

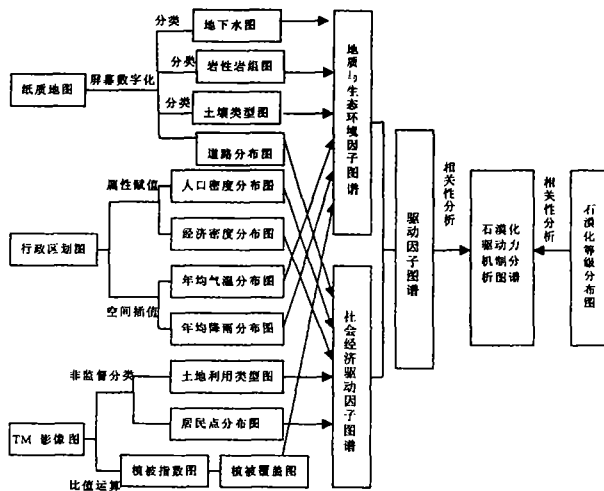


图 4 基于 3S 技术的喀斯特石漠化驱动机制系统分析示意图

Fig 4 Systematic analysis on driving mechanism of karst rocky desertification based on 3S techniques

估算出网格中每个单元的值。广西气温及降雨曲面图的生成主要采用了局部插值方法中的反距离权重插值方法。具体步骤是在 ArcView 中加载 Spatial Analyst(空间分析)模块后, 将包含控制点信息的 *.shp 点文件 Convert to Grid(转为格网), 采用 Nearest Neighbor(最邻近)法, 取邻近数为 12, 进行估算单元值, 生成新的 Grid 数据, 分别命名为 Grid_jiangyu(年均降雨曲面图)和 Grid_qiwen(年均气温曲面图), 对不同类别的特征进行分层设色。

2 对遥感(TM)图像进行比值运算, 获取植被覆盖度植被指数(vegetation indices)是从多光谱遥感数据中提取的有关地球表面植被状况的定量数值。在植被监测中, 标准化植被指数(NDVI)要优于其他指数。指数是按如下公式进行计算的: $NDVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$ 。TM4、TM3 分别为 LANDSAT-5 专题制图仪的第四波段(近红外波段 $0.76 \sim 0.90\text{ }\mu\text{m}$)、第三波段(红光波段 $0.63 \sim 0.69\text{ }\mu\text{m}$)的亮度值。将植被指数应用于资源环境的监测和评价, 必须赋予 NDVI 值以相应的植被覆盖度含义, 是对植被指数进行综合和简化, 对于石漠化景观定量分析也更为直观。本研究通过采样裸岩地、草地、耕地、林地等地物类型求出等级的阈值。按照灰度阈值, 利用 ERDAS IMAGE 8.6 遥感图像处理软件将 NDVI 图像以 Pseudo Color image(伪彩色)形式重新打开, 由 Raster Attribute Editor 进行密度分割, 并进行彩色编码。在 ERDAS 中, 通过 Zonal Attribute

utes(区域属性统计)的方法,将 NDVI 进行重新分类(RECODE)生成植被覆盖度专题图后,将其设为背景图像,将图像统计值保存到 GXSM 矢量图层的属性字段。取 NDVI_recode_MG 与 GXSM 的交集区域,计算相交部分的栅格的 VALUE 最大值、最小值、平均值和面积。

3 屏幕数字化地质、土壤图,并进行重新分类对地质、土壤分布等纸质图进行扫描并屏幕数字化,进入 ArcGIS 中,用 Transform 命令将其转换到与广西石漠化图统一坐标系中,转换成等面积双纬线割圆锥投影,进行相关性分析。广西碳酸盐岩主要由石灰岩、白云岩及其过渡岩石(白云质灰岩、泥质灰岩、泥灰岩、硅质灰岩)组成,以石灰岩为主。自寒武系中统到泥盆系中统下部,以白云岩为主,灰岩次之;泥盆系中统上部至石炭系,除大埔组为白云岩外,其余各层位以灰岩为主,燧石灰岩普遍出现,灰岩、白云岩的过渡类型较常见;二叠系以灰岩、燧石灰岩为主,灰岩、白云岩的过渡类型相对减少;三叠系以灰岩、白云岩为主,不纯灰岩较多。土壤是历史自然体,土壤的形成是气候、地形、母质、生物、水文以及人为活动的产物,广西喀斯特地区特定的地质、地貌、气候、水文和植被条件下,土壤具有明显的形成特点和分布规律,发育的土壤类型多样,既与生物气候条件相适应,表现为广域的水平分布规律和山地垂直分布规律,又与地方性母岩、地貌等条件相适应。

4 目视判读,解译广西喀斯特地貌类型广西在全国大地貌单元中属云贵高原至东南沿海丘陵山地的过渡带,属“两广”丘陵山地的一部分,其特征是四周高中间低呈盆地形态,热带喀斯特峰林广布,山地多平原少,丘陵起伏。根据研究的需要并在遵守喀斯特规范划分喀斯特地貌的基础上,广西喀斯特地貌分类可分为土山山地、平原、峰丛洼地、峰丛谷地、峰林、峰林谷地、喀斯特平原、喀斯特丘陵。广西喀斯特地貌主要分布在桂西、桂中、桂西南,西从云贵高原开始,东至桂林—柳州峰林平原,明显呈现由高峰丛洼地经密集峰丛深洼地、峰丛谷地,过渡至峰林平原,高程逐渐降低,是较完整典型的热带峰林地貌。

2.2.3 社会—经济要素获取

1 属性赋值,统计人口、经济状况。根据统计数据,以行政县为单位,结合研究需要,将人口密度及经济密度进行重新分类,属性赋值,生成广西不同人

口密度分布图、不同经济密度分布图。从统计结果及人口密度分布图中,广西人口分布具有明显的地域性,在沿海及临近广东的东南丘陵平原地区,人口分布密集,自桂东南向桂中、桂西北逐渐减少,呈梯状递减规律,桂西北山区及少数民族自治县人口密度最小。从经济密度分布图上,广西经济密度的分布与人口密度有类似的分布现象,由桂东南向桂西北部逐渐递减,但出现在部分人口密度分布较密的山区县份,经济状况较差。

2 对居民点及道路等进行缓冲区分析。由于影像分类局限性,我们对居民点提取只限于县城及较大的乡镇,并取建筑面积分布的中心点,以点状图层做为居民点分布图。在 ARCVIEW 的空间分析模块中,对点状图层进行 1 000 m, 1 000~2 000 m, 2 000~3 000 m, 3 000~4 000 m, 4 000~5 000 m 的缓冲区(buffer)分析,探讨石漠化与面积较大居民点的相关性。对县乡级道路进行 1 000 m, 2 000 m, 3 000 m, 4 000 m 的缓冲区,与广西石漠化等级图进行叠加分析,并与广西石漠化图进行相关运算,研究石漠化与乡县级的道路分布内在联系。

3 非监督分类方法提取土地利用强度信息。根据刘纪远先生 2000 年提出的土地利用程度分级标准,将土地分为 4 种土地利用级。在 ERDAS MAG-ING 中使用的是 ISODATE 算法(基于最小光谱距离)来进行非监督分类,聚类过程始于任意聚类平均值或一个已有分类模板的平均值,聚类每重复一次,聚类平均值就更新一次,新聚类的均值再用于下次聚类循环,直到最大的循环次数已达到设定阈值、或两次聚类结果相比达到要求百分比的像元类别已经不再发生变化。

2.3 石漠化驱动机制的图谱分析方法

石漠化图谱为区域石漠化过程及驱动机制提供了一种谱系化、定量化与定位化相结合的研究方法。

2.3.1 石漠化分布图及其驱动因子图叠加

应用空间插值法、图像屏幕数字化、目视判读、非监督分类方法、缓冲区分析和属性赋值等方法获得多个石漠化驱动因子图。利用 ArcView 软件中的 Coverage 图层叠加功能对广西石漠化强度和空间分布与各单项驱动因子进行图形运算,得出系列石漠化分布及驱动因子的叠加图谱(见图 5-16),为石漠化分布与驱动因子相关统计分析提供基础资料。



图 5 广西不同类型岩性岩组的石漠化分布图

Fig 5 The rocky desertification distribution of different lithological groups of Guangxi

图 6 广西不同类型土壤的石漠化分布图

Fig 6 The rocky desertification distribution of different soil types of Guangxi

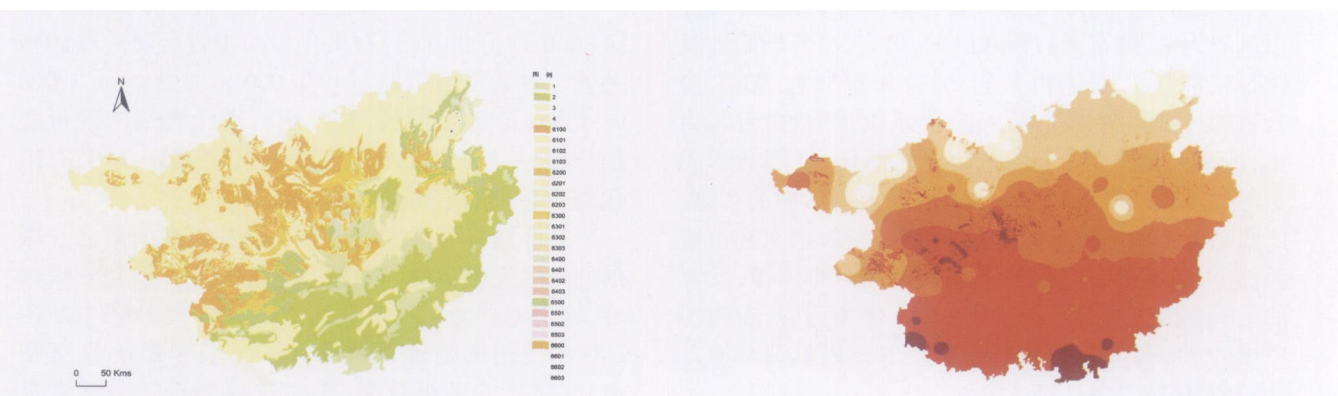


图 7 广西不同地貌类型的石漠化分布图

Fig 7 The rocky desertification distribution of different landforms of Guangxi

图 8 广西不同年均气温的石漠化空间分布图

Fig 8 The rocky desertification distribution of annual average temperatures of Guangxi

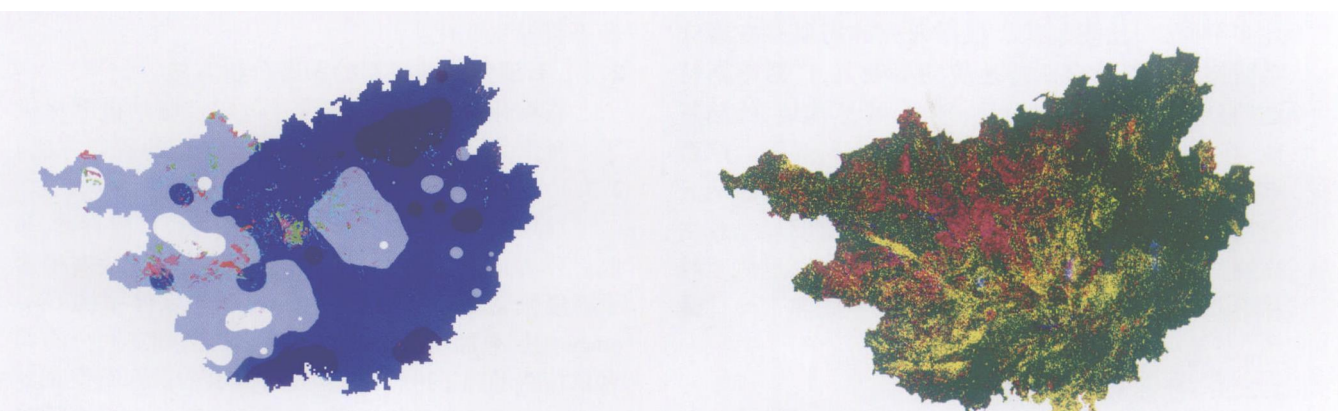


图 9 广西降雨与石漠化空间分布图

Fig 9 The rocky desertification distribution of different rain falls of Guangxi

图 10 广西不同土地利用强度的石漠化分布图

Fig 10 The rocky desertification distribution of different land utilization intensity of Guangxi

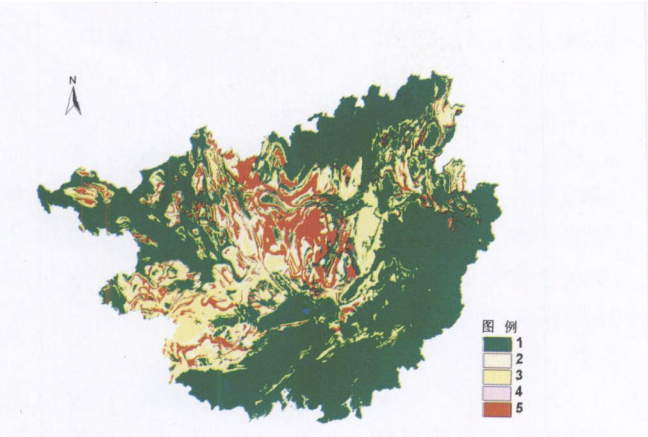


图 11 广西石漠化驱动力综合指数分级图

Fig. 11 Synthetic driving exponent of Guangxi rocky desertification

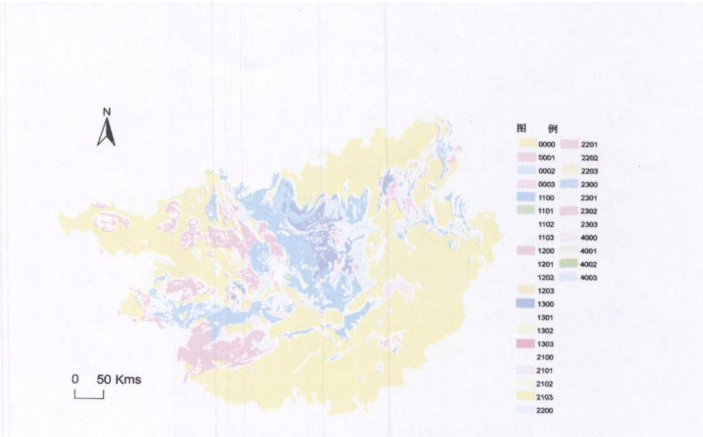


图 12 广西喀斯特地下水与石漠化相关分布图

Fig. 12 The rocky desertification distribution of Guangxi karst groundwater



图 13 广西不同人口密度的石漠化分布图

Fig. 13 The rocky desertification distribution of density of population of Guangxi

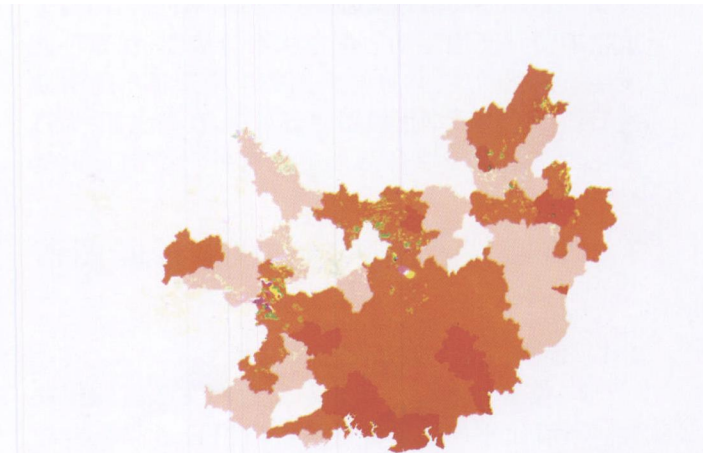


图 14 广西不同经济密度的石漠化分布图

Fig. 14 The rocky desertification distribution of different density of economy of Guangxi

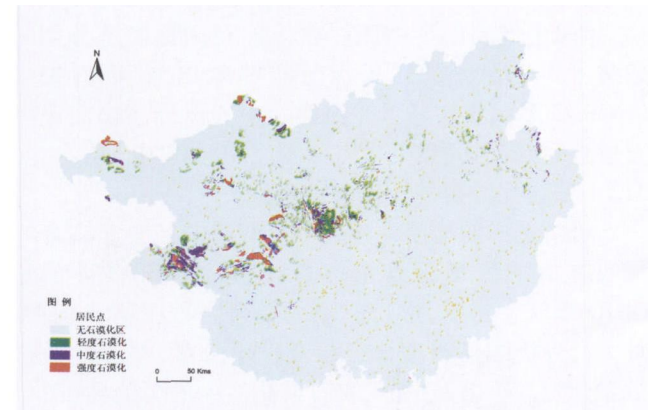


图 15 广西不同居民点半径的石漠化分布图

Fig. 15 The rocky desertification distribution of different residential area radius of Guangxi

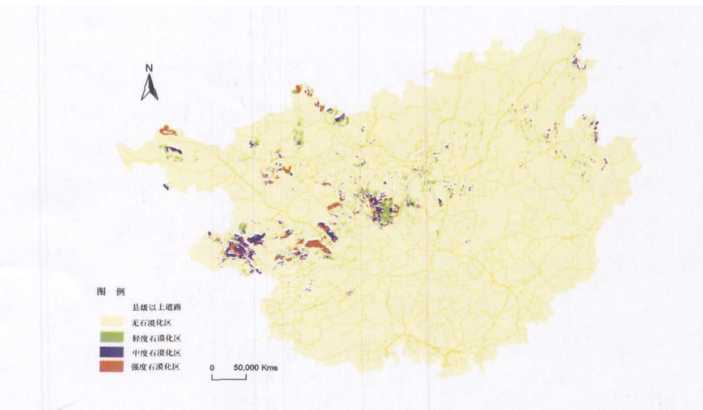


图 16 广西不同道路距离的石漠化分布图

Fig. 16 The rocky desertification distribution of the distances from different roads of Guangxi

2.3.2 石漠化分布与驱动因子相关统计分析

利用 ArcView 软件中的 Coverage 图层统计功能得出与不同的此同时得出石漠化分布及驱动因子相关性,将不同土地利用类型分布栅格图与石漠化栅格图进行归纳分析 (Summary),根据石漠化分区图像和土地利用分类图像产生一个交叉统计表格 sn_hcc.txt 其中包括各等级石漠化内不同土地利用类型的像元数、面积及百分比。利用 Excel 软件对石漠化分布与各驱动因子进行相关统计,得出各驱动因子及不同取值与石漠化程度的相关性。

2.3.3 石漠化演变的综合驱动图谱分析

在 GIS 的支持下,利用空间主成分分析方法对若干主要成分进行非监督分类,进行多图层综合运算实现多源空间信息复合,对分类结果进行合并,生成喀斯特石漠化驱动力综合指数分级图,代表可能发生石漠化强度,并且与采用数学模型得出的喀斯特石漠化综合驱动模型进行对比,互相应征,为石漠化生态重建等综合治理提供有针对性的理论基础。

3 喀斯特石漠化驱动机制诊断图谱分析

3.1 地质-生态环境背景图谱分析

1 喀斯特地区石漠化与岩性存在明显的相关性。石漠化分布区域岩性主要以白云岩和灰岩为主,纯碳酸盐岩区石漠化更严重。以灰岩为主要成分的岩石类型中,随着灰岩含量的降低,各等级石漠化程度均降低。以白云岩为主要成分的岩石类型中,中度石漠化、强度石漠化发生率随着白云岩含量的降低而降低。

2 不同土壤类型中,石灰岩土轻度、中度、强度石漠化都是所有土壤类型中最多的。石灰岩土容易发生石漠化,这表明以碳酸岩为成土母质基本控制了喀斯特土地石漠化的发育程度与分布。不同地貌类型中,从各种地貌类型与石漠化关系来看,峰丛洼地、峰丛谷地石漠化发生率最高。

3 水热条件对强度石漠化的影响最为明显。随着降雨量的减少,石漠化程度越严重;强度石漠化分布区,年均气温较高,年均降雨量偏少。

4 植被覆盖度与石漠化相关性明显。随着植被覆盖度的减少,石漠化比例迅速减少,植被覆盖度 < 20% 时,各类石漠化均占较大比例。

5 石漠化发生面积随着含水量的减少呈先增加

后减少的趋势。在碳酸盐岩类地下水类型中,不同含水量区域与石漠化发生面积有一定的相关性,在含水量丰富及含水量中等的情况下,石漠化发生的面积相当,当含水量处于贫乏情况下,各类石漠化面积明显减少。在碎屑岩、碳酸盐岩类型中,含水量中等的状态下各类石漠化的发生面积均大于水量丰富及水量贫乏的状况,石漠化发生面积随着含水量的减少呈先增加后减少的趋势。

3.2 社会经济驱动力图谱分析

1 在 < 200 人 /km² 人口密度分布区,石漠化面积随着人口密度的增大而增加。经济密度欠发达地区 (< 50 万元 /km²) 的区域,各等级石漠化发生率均处于较高状态,随着经济密度的增加石漠化发生率依次降低。

2 从人类活动范围与石漠化相关性来看,离道路越近,石漠化越严重。通过在遥感影像上进行非监督分类方法提取广西居民点分布信息,方法过程同植被覆盖指数信息获取,得出数字化广西居民点分布图和广西交通图,提取居民点半径、县乡级以上主要交通道路进行分析。而石漠化与居民点分布却出现,石漠化先增加,到一定距离后再逐渐减小的分布现象。

3 在广西土地利用强度分类中。我们设定的分类参数为:聚类数目为 30 类,迭代的次数为 10 收敛的阈值为 0.95。对分类后图像进行编辑和调整,最后将相同的类别合并,通过 RECODE 命令将土地利用强度共分为 4 类。对重分类后的图像进行 Cluster 和 eliminate 处理,对分类图像过滤、去除等后处理,将 < 9 个像元的地块合并至最近最大的分类中,生成土地利用类型图。在土地利用强度重分类前将 > 9 个像元的居民点分布提取出来,同时把 Coverage 图层叠加显示并在像元中心点标注出居民点位置,生成居民点分布点状图层用与相关分析。

3.3 石漠化综合驱动图谱分析

将所选择的地质-生态环境背景与社会经济背景两方面的因子图经指标量化后,在 ArcView 的 GRID 模块支持下,进行驱动力综合指数栅格分析,对综合分析结果图进行合并及重新分级,将驱动力指数分为 5 等级,分别代表石漠化发生的可能性 (图 17)。从 1~5 级,石漠化发生的可能性逐渐增大。

总之,在石漠化驱动力机制图谱研究中,从组成喀斯特生态系统的地质、岩性、植被、地貌、气候及人类活动等多个方面入手,进行相关性分析。喀斯特

石漠化是在脆弱的生态环境地质背景上由于人类的强烈扰动而形成的, 是多种因子综合的结果。

参考文献 (References)

- [1] Liao Chimei, Liu Yanhua, Hu Baoqing, et al. Atlas analyses of karst land rocky desertification and ecological rehabilitation model [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2004, 20(6): 266~271 [廖赤眉, 刘燕华, 胡宝清, 等. 喀斯特土地石漠化的图谱分析与生态重建 [J]. 农业工程学报, 2004, 20(6): 266~271]
- [2] Chen Shupeng. Discussion on the Geo-Info-TUPU [J]. *Geographical Research*, 1998, 17(suppl): 5~10 [陈述彭. 地学信息图谱会议 [J]. 地理研究, 1998, 17(增刊): 5~10]
- [3] Hu Baoqing, Liao Chimei, Yan Zhiqiang, et al. Driving mechanism diagnosis of karst rocky desertification in Du'an Yao Autonomous 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, 等. 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]
- [4] Jiang Shufang, Hu Baoqing, Huang Qiyan, et al. Spatial correlation analysis between karst rocky desertification and lithology in Du'an Yao Autonomous County of Guangxi [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2004, 28(2): 214~219 [蒋树芳, 胡宝清, 黄秋燕, 等. 广西都安喀斯特石漠化的分布特征及其与岩性的空间相关性 [J]. 大地构造与成矿学, 2004, 28(2): 214~219]
- [5] Li Tao. Application of 3S technology on rocky desertification investigation of Guizhou karst mountain [J]. *Soil and Water conservation in China*, 2002, (6): 26~27 [吕涛. 3S 技术在贵州喀斯特山区土地石漠化现状调查中的应用 [J]. 中国水土保持, 2002, (6): 26~27]
- [6] Zhou Zhongfa. Application of RS & GIS technology on land rocky desertification of Guizhou karst area [J]. *Chinese Journal of Water and soil conservation*, 2001, 21(3): 52~54 [周忠发. 遥感和 GIS 技术在贵州喀斯特地区土地石漠化研究中的应用 [J]. 水土保持通报, 2001, 21(3): 52~54]
- [7] Xiong Kangning, Li Pen, Zhou Zhongfa, et al. Karst rocky desertification RS & GIS typical study [M]. Beijing: Geology Press, 2002 [熊康宁, 黎平, 周忠发, 等. 喀斯特石漠化的遥感—GIS 典型研究 [M]. 北京: 地质出版社, 2002]
- [8] Ren Chunying, Liu Xiangnan. Research on geo-informatic tupu model of regional land use change [J]. *Geography and Geo-information Science*, 2004, 20(6): 13~17 [任春颖, 刘湘南. 区域土地利用变化信息图谱模型研究 [J]. 地理与地理信息科学, 2004, 20(6): 13~17]
- [9] Yu Ming, Zhu Guojie, Li Chunhua. Approach to realizing mutual search and index between geo-informatic atlas [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2005, 30(5): 348~350 [余明, 祝国瑞, 李春华. 地学信息图谱图形与属性信息的双向查询与检索方法研究 [J]. 武汉大学学报. 信息科学版, 2005, 30(5): 348~350]
- [10] Zhang Xiaoping, Yang Qinke. Designing and building of soil erosion-environment database in China [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1998, 18(5): 35~39 [张晓萍, 杨勤科. 中国土壤侵蚀环境背景数据库的设计与建立 [J]. 水土保持通报, 1998, 18(5): 35~39]

TUPU Analysis on Driving Mechanism of Guangxi Karst Rocky Desertification Based on 3S Techniques

HU Baoqing^{1, 2}, JIANG Shufang³, LIAO Chimei¹; YAN Zhiqiang¹

(1 Faculty of Resource and Environment Sciences, Guangxi Teachers Education University, Nanning 530001, China;

2 National Laboratory of Environmental Geochemistry, Geochemistry Institute of Chinese Academy of Science, Guiyang 550002, China;

3 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract Karst rocky desertification is called as the land degenerating procession occurring in the karst area similar to wilderness landscape. TUPU analyses has provided one kind of research method combining pedigreeization, quantification and position locationization for karst rocky desertification. Taking Guangxi karst area as the example, proceeding from many ways including geological, lithology, vegetation, relief, climate, and as well human activities composed of karst ecological system, and adopting 3S technique, it is obtained that rocky desertification distribution and their driving factor TUPU. The driving factor figures of rocky desertification are taken figure operations and their interrelate analysis diagnose out the driving mechanism of rocky desertification. The result shows that karst rocky desertification is formed by intense human turbulence in the frail geo-ecological environmental background, is the comprehensive outcome of many factors.

Key word TUPU analysis, driving mechanism, karst rocky desertification, 3S technique, Guangxi