

喀斯特土地石漠化动态监测与可视化 管理信息系统的设计与应用

胡宝清^{1,2}, 廖赤眉¹, 严志强¹, 莫洪源¹, 曾行吉¹, 覃开贤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)

摘要:运用 GIS 技术, 依据喀斯特土地石漠化时空演变、驱动机制和生态重建的理论研究成果, 提出喀斯特土地石漠化动态监测与可视化管理信息系统的开发思路和技术路线, 设计数据库系统和建立模型库, 探讨其在喀斯特石漠化时空分析、驱动力诊断和综合评价等中的应用。

关键词:喀斯特石漠化; GIS 与遥感一体化; GIS 二次开发; 动态监测; 可视化管理

中图分类号: P208; TP319 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-0504(2004)03-0040-05

近 30 a 来, 世界上许多国家都十分重视对喀斯特环境问题的研究。1979 年 Legrad 首次提出了喀斯特地区的生态环境问题, 1983 年美国科学促进会第 149 届年会上, 正式把喀斯特和沙漠边缘地区等地列为脆弱环境^[1], 且国际社会已经充分地肯定水蚀作用在荒漠化过程中的重要作用。我国西南喀斯特地区形成的地质—生态环境灾害—石漠化问题, 因其发育具有明显的地域性, 一直未能引起国际社会的广泛关注, 也没有被明确地列入荒漠化防治国际公约。近年来, 我国专家学者从不同角度对西南喀斯特地区石漠化问题进行研究, 包括喀斯特生态环境脆弱性特征、喀斯特石漠化的特点、分布、成因机制及生态重建等, 得到了一些有价值的认识。RS 和 GIS 等新技术手段的应用, 提高了工作效率和研究成果的客观性, 并取得了一些可喜的研究成果^[2-5], 但未见为喀斯特土地石漠化系统研究进行的 GIS 二次开发软件。笔者以广西都安为例, 依托 3S 技术, 以喀斯特 LUCC(土地利用/覆被变化)及石漠化动态监测、驱动机制、综合评价和决策支持为主线, 设计喀斯特石漠化动态监测与可视化管理信息系统(Karst Land Rocky Desertification Dynamic Monitoring and Visualization Management Information System, KLRD. DMVM. IS), 为喀斯特土地石漠化研究提供技术支持。

1 KLRD. DMVM. IS 的设计

1.1 系统设计目标与结构模块

KLRD. DMVM. IS 构建的总体目标是, 以空间数据库为基础平台, 为区域喀斯特 LUCC 及引起的

环境效应——石漠化时空变化和综合防治提供信息支持; 具体目标包括能够全面地采集土地石漠化数据, 直观地显示、查询、统计和分析各种信息, 并在统一的集成环境下进行影像数据、矢量数据的处理和分析, 结合喀斯特土地石漠化分析模型和空间统计模型, 进行 LUCC 和石漠化时空动态分析、驱动机制诊断、石漠化预警分析和灾害风险评估等, 为进一步研究喀斯特土地石漠化、喀斯特环境治理和反贫困措施提供有力的技术支持。此系统的结构模块包括空间分析与模型模块、图形处理模块、图像处理模块、数据管理模块。另外, 在系统主界面上还有“系统使用说明”和“退出”两个按钮。

1.2 系统功能设计

与一般商业性 GIS 不同, 资源与环境信息系统 (REIS) 开发的两条主线是数据的组织和应用模型的建立。作为 REIS 之一, KLRD. DMVM. IS 研究过程中的基础工作是进行各类数据的处理和分析。根据系统研制目标来规划和确定系统各组成部分以及它们之间的联系, 系统的主要功能如图 1 所示, 旨在满足应用的要求, 保证系统总体目标的实现。系统主要功能表征如下: 1) 数据输入是指把各类影像数据、矢量数据、DEM 数据和统计数据输入系统的数据库之中。影像数据、矢量数据、DEM 数据可以导入自动建立数据集, 并把数据的相关属性和存储路径自动写入数据库中。2) 数据管理功能包括数据添加、删除、编辑、查询和统计分析。用户可以通过选择不同的数据表(统计数据、模拟结果和图件数据)对数据库中数据进行操作。3) 图形显示和分析功能

收稿日期: 2003-06-13; 修订日期: 2004-01-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(40161004, 40361002); 广西自然科学基金项目(桂科计字 023646, 桂科自 0342001-2); 广西科技创新金源单位——广西师范学院资源与环境信息系统实验室项目(030307)

作者简介: 胡宝清(1966-), 男, 博士后, 副教授, 从事喀斯特环境 GIS 研究。E-mail: hbq1230@sina.com

模块主要是对矢量图形的显示和分析,包括图形放大、缩小、漫游、全览、多窗口显示,地图的分层处理(不同地理要素的分层显示、隐含、排序、叠加和影像背景图的添加)。4)遥感影像主要是以二进制的形式读入原始影像图进行图像的显示和简单处理。

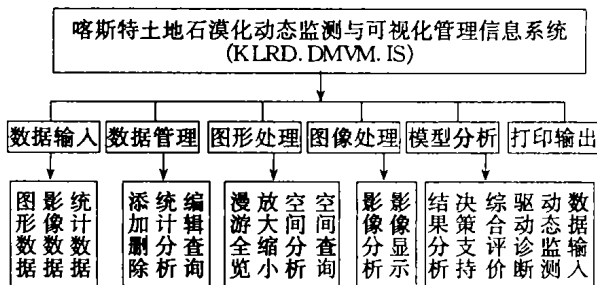


图 1 KLRD.DMVM.IS 的系统功能
Fig.1 System features in KLRD.DMVM.IS

1.3 系统数据库设计

数据是 GIS 的核心组成部分,完备的数据库是实现 GIS 各项功能的关键。数据库管理不但包括通常的属性数据,而且包括大量的遥感影像数据及部分矢量数据。目前的 GIS 软件和遥感图像处理软件,很难对遥感影像数据、矢量数据和属性数据进行统一管理和分析^[6-8]。KLRD.DMVM.IS 的属性数据用通用的关系型数据库管理,矢量数据用 GIS 软件以空间数据库方式管理,而遥感影像数据则采用扩展关系型数据方式,将图像文件的路径存入数据库中,真实的图像文件则存入以索引方式组织的磁盘文件中。根据系统各类数据的处理和分析流程可明确本系统数据流的流程图(图 2),为系统设计、代码编写和系统实现做准备。

1.4 模型库体系

GIS 和专业模型都用来处理和分析空间数据。GIS 可以输入、存储、操作、管理空间数据,并以图形等

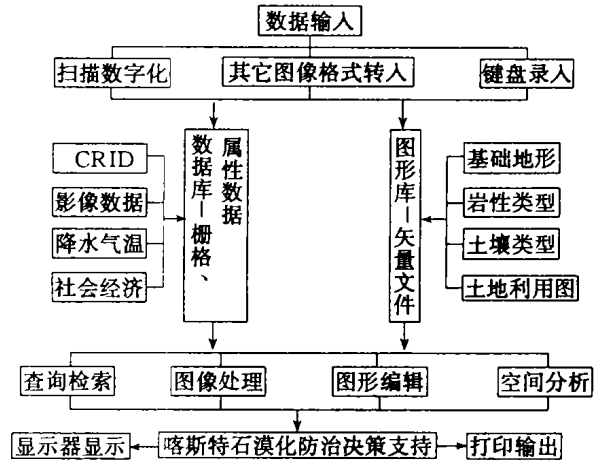


图 2 系统数据流程图
Fig.2 Flow chart of data stream in KLRD.DMVM.IS

直观形式表达输出结果,但本身缺乏强大的空间分析能力。空间模型可对空间数据进行精确的模型运算,但结果需要通过 GIS 来表达。GIS 和专业模型在功能上的互补是 GIS 与专业模型结合的主要驱动力。依据系统目标和典型脆弱的喀斯特生态经济系统的深入分析,建立喀斯特 LUCC 及石漠化的时空动态分析模型、驱动力诊断模型、评价数学模型和决策支持模型。在此主要介绍喀斯特 LUCC 及石漠化的时空动态分析和预测模型:利用遥感图像可获得连续时间序列内喀斯特林地与裸岩及其交错地带的石漠化类型图,以多时相遥感数字图像为数据源,参考各类专题图、社会经济统计资料,借助遥感图像处理软件 ERDAS,定量分析评价都安 LUCC 及石漠化的控制。

1.4.1 喀斯特 LUCC 及石漠化的时空变化模型

喀斯特 LUCC 或石漠化的过程和趋势可以通过土地利用与土地覆被的变化幅度、面积变化速度、变化趋势指数和变化的区域差异等表征^[9,10](表 1)。

表 1 喀斯特 LUCC 或石漠化的时空变化模型
Table 1 Temporal and spatial change models of karst land use/cover and land rocky desertification

模型类型	表达式	涵义及其意义
变化幅度	$R_d = (U_b - U_a) / U_a \times 100\%$	反映不同类型在总量上的变化
喀斯特 LUCC 及石漠化的变化速度和趋势分析模型	$R_s = (U_b - U_a) / U_a / T \times 100\%$ $= (\Delta U_{in} - \Delta U_{out}) / U_a / T \times 100\%$	单一类型动态度用于表达区域一定时间内某一 LUCC 类型或石漠化级别的数量变化的速度变化
	$R_{ss} = (\Delta U_{out} + \Delta U_{in}) / U_a / T \times 100\%$	单一类型的空间变化的动态度
	$P_s = R_s / R_{ss} = (\Delta U_{in} - \Delta U_{out}) / (\Delta U_{in} + \Delta U_{out})$ $ R_s / R_{ss} \leq 1$, 即 $-1 \leq P_s \leq 1$	反映 LUCC 类型变化的趋势和状态;当 $0.5 \leq P_s \leq 1$ 时,为“涨势”; $0 \leq P_s \leq 0.5$ 时,为“落势”
	$R_t = \sum_{i=1}^n U_{bi} - U_{ai} / 2 \sum_{i=1}^n U_{ai}$ $= \sum \Delta U_{in-i} - \Delta U_{out-i} / 2 \sum_{i=1}^n U_{ai} / T \times 100\%$	综合 LUCC(石漠化)动态度是指研究时段内研究区所有类型(或等级)面积变化的年综合变化率,用于表征整个研究区 LUCC(石漠化)的速度
	$R_{ts} = \sum_{i=1}^n (\Delta U_{out-i} + \Delta U_{in-i}) / 2 \sum_{i=1}^n U_{ai} / T \times 100\%$ $= \sum_{i=1}^n \Delta U_{out-i} / \sum_{i=1}^n U_{ai} / T \times 100\% = \sum_{i=1}^n \Delta U_{in-i} / \sum_{i=1}^n U_{ai} / T \times 100\%$	研究区所有类型(或级别)空间变化的综合动态度
	$P_t = R_t / R_{ts} = \sum_{i=1}^n \Delta U_{out-i} - \Delta U_{in-i} / \sum_{i=1}^n \Delta U_{out-i} + \Delta U_{in-i} $ $0 \leq R_t / R_{ts} \leq 1$, 即 $0 \leq P_t \leq 1$	反映区域 LUCC 及石漠化变化的整体趋势和状态, $0 \leq P_t \leq 1/4$, 平衡状态; $1/4 \leq P_t \leq 1/2$, 准平衡; $1/2 \leq P_t \leq 3/4$, 不平衡; $3/4 \leq P_t \leq 1$, 极端不平衡

注: U_a 、 U_b 分别为研究初期和末期类型(或等级)的面积, T 为研究时段, ΔU_{out-i} 为研究时段 T 内某类型(或等级)转变为其它类型(或等级)的面积之和, ΔU_{in-i} 为其它类型(或等级)转变为该类型(或等级)的面积之和。

1.4.2 喀斯特 LUCC 及石漠化的预测模型 马尔可夫(Markov)过程是一种特殊的随机过程,其最大特点是在 $t+1$ 时刻的状态只与 t 时刻的状态有关,而与以前状态无关,这一特性用于喀斯特 LUCC 及石漠化的预测正合适。其转移概率矩阵的数学表达式为: $0 \leq P_{ij} \leq 1$,即各元素为非负值; $\sum_{j=1}^N P_{ij} = 1$,即每行元素之和为 1, P_{ij} 为土地利用类型(或石漠化等级) i 转化为土地利用类型(或石漠化等级) j 的转移概率。

2 KLRD.DMVM. IS 的应用

利用遥感图像处理、石漠化专题信息和数据库等子系统信息,通过数据流,结合时空动态分析、驱动力诊断和评价数学模型、决策支持模型,即可进行喀斯特 LUCC 和石漠化强度时空变化—驱动力指数的综合分析—土地生态退化和石漠化评价—石漠化生态重建和综合治理分析,为石山地区环境综合治理和可持续发展战略决策提供技术支持。本文主要介绍

KLRD.DMVM. IS 在都安喀斯特 LUCC 过程和趋势、预测分析和石漠化的动态监测等方面的应用。

2.1 都安喀斯特 LUCC 过程和趋势

根据 LUCC 时空变化模型(表 1),对都安 2 期 LUCC 属性数据库分别进行各类面积、构成和变化幅度以及年变化率(单一动态度、综合动态度和变化趋势状态指数)的统计分析(表 2),以此来刻画喀斯特 LUCC 的过程和趋势。结果表明:1)有林地、坡耕地、建设用地和裸岩地增加,其中有林地增幅最大,而裸岩地增加面积最大;灌丛地、疏林地、草地、沟谷耕地和水体逐步减少,其中灌丛地减少的幅度和面积最大。2)1977—1988 年有林地、建设用地和坡耕地呈现稳步增长的态势,裸岩地呈现较快增长、类型转换呈双向的态势,沟谷耕地呈现逐步减少的态势,灌丛地、疏林地、草地和水体呈现缓慢减少状态。都安的状态和趋势指数是 0.45,类型转移呈现双向的态势,处于准平衡状态。

表 2 不同模型所测算的 1977—1988 年都安各土地利用类型的变化速率
Table 2 The change rate of various land use types calculated by different models during 1977—1988 in Du'an

LUCC 类型	U_{a-7} (hm^2)	U_{a7-8} (hm^2)	ΔU_{in}		ΔU_{out}		R_{a7-8}	R_{s7-8}	R_{sa7-8}	P_{s7-8}
			面积(hm^2)	比重(%)	面积(hm^2)	比重(%)				
有林地	7 271.66	7 060.76	4 773.97	65.65	210.90	36.14	62.75	5.70	6.23	0.92
灌丛地	144 484.88	97 666.76	17 866.72	12.37	46 818.12	43.15	-20.04	-1.82	4.07	-0.45
疏林地	10 430.88	5 057.25	3 048.18	29.22	5 373.63	53.24	-22.29	-2.03	7.34	-0.28
草地	44 150.11	24 412.30	10 694.27	24.22	19 737.81	43.01	-20.48	-1.86	6.27	-0.30
沟谷耕地	37 631.64	32 710.51	735.94	1.96	4 921.13	6.93	-11.12	-1.01	1.37	-0.74
坡耕地	15 932.80	11 980.27	13 389.47	84.04	3 952.53	2.45	59.23	5.38	9.89	0.54
建设用地	5 219.03	4 866.82	2 352.98	45.08	352.21	8.79	38.34	3.49	4.71	0.74
水体	4 705.68	4 404.17	265.22	5.64	301.51	19.34	-0.77	-0.07	1.09	-0.06
裸岩地	139 363.02	121 063.26	46 840.85	33.61	18 299.76	12.95	20.48	1.86	4.25	0.44
R_{7-8}	0.99		R_{s7-8}	2.22	P_{7-8}	0.45				

2.2 都安瑶族自治县土地利用结构的预测分析

2.2.1 都安土地利用变化趋势 转移概率矩阵的计算方法是,将研究区的土地利用变化按历史时期分成几个阶段,求出各期土地利用类型面积转移矩阵,再以年为基本时间单位,求出各期土地利用类型面积转移矩阵和各时间段内某类土地利用的年平均转移概率。如 1977 年土地利用图上某样地内的有林地,到 1988 年部分变为灌丛地、坡耕地和草地等,后者占有林地面积的平均百分比除以年数($n=11$),即为其年平均转移概率。把耕地转化为其第 1 行,灌丛地转化为其他土地利用类型的转移概率作为第 2 行,依此类推,构成一个年平均转移概率矩阵。由 1977—1999 年土地利用类型概率转移矩阵,求出这两期土地利用类型的多年加权平均转移概率矩阵,该矩阵即为初始时刻 t 的概率向量 $P^{(0)}$,其计算公式如下:

$$P^{(0)} = (n_1 \times P_1 + n_2 \times P_2) / (n_1 + n_2)$$

式中: P_1 、 P_2 分别为 1977—1988 年、1988—1999 年

的年均转移概率矩阵, n_1 、 n_2 均为 11 a。表 3 为计算结果。

2.2.2 都安土地利用转移过程的校验 借助 MATLAB 软件,求出 1977 年后任何一年土地利用类型的转移概率矩阵 $P^{(n)}$ 及各种土地利用所占比例 A_n ,模拟各土地利用类型所占比例的变化情况。例如,从初始状态经过 $n=22$ 步转移到 1999 年的转移概率矩阵(表 3),预测 1999 年各土地利用类型所占比例(表 4)。其中以有林地所占比例的计算为例:在 1977 年初始状态矩阵和初始状态转移概率的基础上,用马氏过程模拟的 1999 年数据与从影像数据中提取的数据计算值进行比较(表 5),可以看出,有林地、裸岩地、沟谷耕地、水体模拟结果与实测情况差异不显著。这说明采用土地利用类型之间的面积转移矩阵所确定的转移概率,通过马尔柯夫过程模型来预测土地利用格局的变化是可行的。

2.2.3 都安 2005 年后土地利用变化趋势 为了预

测都安瑶族自治县 2000 年以后土地利用变化趋势,笔者计算该县 2010 年和 2021 年各土地利用占区域土地总面积的百分比(表 6)。由此可以看出,1999—2021 年,都安县耕地面积呈现不断减少的趋势,根据马尔柯夫过程的性质,许多马尔柯夫过程的极限状态概率分布与初始状态无关,即所谓的完全各态历经的过程。对于土地利用变化,就是经历对土地长时间的利用, n 趋向于无穷大时,转移概率达到相对稳定状态,此时各土地利用类型面积所占比例与其初始状态无关(Howard R A, 1964)。马尔柯夫过程稳定状态的方程组为:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^N a_j = 1 \\ a_j = \sum_{i=1}^N a_i P_{ij} \end{cases}$$

对于土地利用变化,上式中 a_i 、 a_j 为各土地利用类型的面积百分比; P_{ij} 为转移概率; N 为土地利用类型的数量; i, j 代表 1~ N 间的数值。都安县 LUCC 中, $N=9$, 把都安县 1977 年初始状态的各土地利用类型的转移概率代入上述方程组,得到 2005 年后土地利用变化趋势。当沟谷耕地面积占总土地面积的 7.88% 时,系统达到稳定状态,解该方程组计算出稳定状态下土地利用类型的面积百分比(表 6)。

2.3 都安喀斯特石漠化的动态监测

石漠化动态监测是对被解译出的不同时期石漠化分级图及其数据库,采用转移矩阵和数学模型等 GIS 空间分析,对动态变化进行定位、定性和定量分析,揭示其空间分布及其变化规律。

2.3.1 喀斯特石漠化转移矩阵分析 对都安 1988

表 3 初始状态各土地利用类型的转移概率矩阵 ($n=0$)
Table 3 Conversion probability matrix of various land use types at initial situation ($n=0$)

	有林地	疏林地	灌丛地	草地	沟谷耕地	坡耕地	建设用地	水体	裸岩地
有林地	0.7650	0.0028	0.1201	0.0316	0.0042	0.0655	0.0005	0.0000	0.0104
疏林地	0.0034	0.6280	0.0000	0.0324	0.0001	0.0266	0.0075	0.0001	0.3020
灌丛地	0.1457	0.0019	0.4774	0.1481	0.0427	0.0427	0.0073	0.0049	0.1292
草地	0.0495	0.0249	0.0359	0.5591	0.0170	0.1240	0.0020	0.0006	0.1869
沟谷耕地	0.0000	0.0028	0.0109	0.0065	0.8984	0.0091	0.0058	0.0108	0.0557
坡耕地	0.0033	0.0159	0.0039	0.0094	0.0015	0.8895	0.0033	0.0020	0.0713
建设用地	0.0000	0.0007	0.0000	0.0080	0.0630	0.0058	0.9211	0.0000	0.0014
水体	0.0000	0.0000	0.0059	0.0117	0.0284	0.0176	0.0117	0.8875	0.0372
裸岩地	0.0006	0.0829	0.0059	0.0184	0.0054	0.0134	0.0037	0.0000	0.8697

表 4 1977—1999 年各土地利用类型的转移概率矩阵 ($n=22$)
Table 4 Conversion probability matrix of various land use types during 1977—1999 ($n=22$)

	有林地	疏林地	灌丛地	草地	沟谷耕地	坡耕地	建设用地	水体	裸岩地
有林地	0.0344	0.1142	0.0204	0.0441	0.0683	0.2006	0.0393	0.0110	0.4678
疏林地	0.0251	0.1254	0.0171	0.0436	0.0638	0.1648	0.0448	0.0078	0.5074
灌丛地	0.0295	0.1170	0.0188	0.0434	0.0752	0.1828	0.0433	0.0120	0.4782
草地	0.0271	0.1207	0.0178	0.0433	0.0661	0.1828	0.0420	0.0098	0.4904
沟谷耕地	0.0235	0.1051	0.0178	0.0402	0.1503	0.1443	0.0503	0.0277	0.4408
坡耕地	0.0250	0.1190	0.0169	0.0424	0.0582	0.2042	0.0417	0.0097	0.4829
建设用地	0.0180	0.0727	0.0154	0.0334	0.2206	0.1135	0.1840	0.0241	0.3182
水体	0.0224	0.0971	0.0170	0.0393	0.1206	0.1510	0.0634	0.0784	0.4109
裸岩地	0.0250	0.1261	0.0171	0.0437	0.0639	0.1625	0.0436	0.0079	0.5100

表 5 Markov 过程模拟 1999 年各土地利用类型的检验
Table 5 Verification of various land use types in 1999 by Markov course simulation

项目 \ 地类	有林地	灌丛地	疏林地	草地	沟谷耕地	坡耕地	建设用地	水体	裸岩地
初始值	1.7771	35.3100	2.5492	10.7896	9.1966	3.8937	1.2755	1.1500	34.0583
模拟值	2.5036	12.1597	1.7343	4.3094	7.4852	16.5909	4.6347	1.1146	49.4405
实测值	2.5981	18.6315	2.1287	6.7961	8.6008	8.5723	2.0191	1.1440	49.5093
差值	0.0945	6.4718	0.3944	2.4867	1.1156	-8.0186	-2.6156	0.0294	0.0688
误差 (%)	3.7700	53.2200	22.7400	57.7000	14.9000	48.3300	56.4400	2.6400	0.1400

表 6 都安县未来土地利用结构变化趋势 (%)
Table 6 Trend of future land use structure of Du'an (%)

时相 \ 地类	有林地	灌丛地	疏林地	草地	沟谷耕地	坡耕地	建设用地	水体	裸岩地
1977 年	1.7771	35.3100	2.5492	10.7896	9.1966	3.8937	1.2755	1.1500	34.0583
1988 年	2.8922	28.2349	1.9808	8.5795	8.1738	6.1999	1.7644	1.1411	41.0333
1999 年	2.5981	18.6315	2.1287	6.7961	8.6008	8.5723	2.0191	1.1440	49.5093
2010 年	2.5059	12.0308	1.7236	4.2806	7.6462	16.8014	4.9290	1.1282	48.9543
2021 年	2.4982	11.9793	1.7211	4.2701	7.7652	16.8160	5.0440	1.1423	48.7664
$n \rightarrow \infty$	2.4931	11.9404	1.7202	4.2627	7.8819	16.7887	5.1216	1.1627	48.6288

年和 1999 年两期石漠化分级分布图进行空间叠加运算,求出近 11 a 的石漠化过程转移概率矩阵(表 7),进而分析引起石漠化的过程。

表 7 都安 1988—1999 年喀斯特石漠化等级的转移概率矩阵(%)
Table 7 Conversion probability matrix of Du'an rocky desertification between 1988—1999

	无石漠化	轻度石漠化	中度石漠化	强度石漠化	合计占有率
无石漠化	68.97	11.14	5.19	1.24	86.54
轻度石漠化	1.55	5.65	1.58	0.15	8.93
中度石漠化	0.29	0.61	1.5	0.79	3.19
强度石漠化	0.00	0.00	0.23	1.11	1.34
合计占有率	70.81	7.40	8.50	3.29	100
变化率 (变化速率)	-18.17 (1.65)	94.81 (8.62)	167.21 (15.20)	144.40 (13.13)	

2.3.2 石漠化强度的变化速度和趋势 对都安 1988 年和 1999 年石漠化空间分布图叠加,可得近

10 a 来都安县石漠化强度类型时空变化的空间分布图,对变化图层进行多边形属性表查询,可统计出相应时期内都安县土地石漠化强度等级变化情况(表 8),土地石漠化强度等级类型变化区主要分布在都安的中部、西部和北部。1988—1999 年,全县虽有 61.33% 的面积保持等级不变,但喀斯特石漠化程度日趋恶化,在变化的部分,又以变化一个等级占多数,其中石漠化程度增加 1 个等级、2 个等级和 3 个等级的面积分别为 55 295.07 hm²、21 847.94 hm²、5 061.81 hm²,变化率分别为 55.32%、7.68%、1.43%;石漠化程度降低 1 个等级、2 个等级和 3 个等级的面积分别为 9 797.53 hm²、190.74 hm²、0 hm²,变化率分别为 15.83%、9.09%、0。

表 8 都安 1988—1999 年石漠化强度等级变化分析
Table 8 Change analysis of rocky desertification intensity grade in Du'an during 1988—1999

石漠化强度等级变化	变化程度		石漠化强度等级变化	(扩展型)变化程度		石漠化强度等级变化	(逆转型)变化程度	
	面积(hm ²)	变化率(%)		面积(hm ²)	变化率(%)		面积(hm ²)	变化率(%)
等级无变化	315 996.61	61.33	增加 3 级	5 061.81	1.43	降低 1 级	9 797.53	15.83
变成石漠化	64 350.41	1.83	增加 2 级	21 847.94	7.68	降低 2 级	1 190.74	9.09
变成无石漠化	7 552.31	13.72	增加 1 级	55 295.07	55.32	降低 3 级	0.00	0.00

参考文献:

[1] 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.
 [2] 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.
 [3] 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.
 [4] 吴虹, 李锦文. 都安石漠化趋势遥感分析与预测[J]. 国土资源遥感, 2002, 2(总 52): 15-28.
 [5] 杨群, 李硕, 李伟. 流域水土资源信息系统的构建[J]. 地理学与国土研究, 2002, 18(3): 42-44.
 [6] 李岩, 黄文房. 绿洲综合评价信息系统的设计、建模和应用[J]. 地理研究, 1999, 18(3): 247-253.
 [7] 杨开凤, 胡宝清, 李旭, 等. 图文信息可视化系统(MFIVS)在山区综合区划中的应用[J]. 山地学报, 2000, 18(6)
 [8] 钱乐祥. GIS 分析与设计[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
 [9] 罗格平. 干旱区绿洲土地利用与土地覆被变化过程[J]. 地理学报, 2003, 58(1): 63-71.
 [10] 张丽, 张继贤, 张炳智, 等. 全国土地利用动态遥感监测数据库建设探讨[J]. 遥感信息, 2002(4): 65-69.

Design and Application of Dynamic Monitoring and Visualization Management Information System of Rocky Desertification in Karst Land

HU Bao-qing^{1,2}, LIAO Chi-mei¹, YAN Zhi-qiang¹, MO Hong-yuan¹, ZENG Xing-ji¹, QIN Kai-xian¹

(1. Faculty of Resource and Environment, Guangxi Normal College, Nanning 530001; 2. National Laboratory of Environmental Geochemistry, Geochemistry Institute of Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China)

Abstract: The author, utilizing GIS and integrating the development of practical system, brings forward the scheme and technical course of dynamic monitoring and visualization management information system on the basis of the theories of spatio-temporal changes, drive mechanism and ecological reconstruction of rocky desertification in Karst land, designs databank system and model bank, and discusses the application of this system in the spatio-temporal analysis, drive force diagnosis and comprehensive evaluation of Karst rocky desertification.

Key words: Karst rocky desertification; integration of GIS and RS; secondary development of GIS; dynamic monitoring; visualization management