

\*\*\*\*\*  
\* 研 \*  
\* 究 \*  
\* 简 \*  
\* 报 \*  
\*\*\*\*\*

# 贵州高原喀斯特石漠化监测预警系统设计

曹水<sup>1,2</sup>, 周忠发<sup>1,2</sup>

(1. 贵州师范大学 中国南方喀斯特研究院, 贵州 贵阳 550001;

2. 贵州省喀斯特山地生态环境国家重点实验室培育基地, 贵州 贵阳 550001)

**摘要:** 根据喀斯特生态环境系统的演变过程及其引起石漠化灾害的成因, 通过监测预警评价因子, 确立了喀斯特石漠化监测预警评价指标体系。该系统依据空间信息和属性信息, 在石漠化发展趋势的基础上设计了喀斯特石漠化监测预警系统, 利用 GIS 技术与数学模型, 在计算机语言环境下进行了编译, 可对生态系统和各种资源环境问题及时地进行监测预警分析, 研究结果可为生态系统的良性循环提供辅助决策支持。

**关键词:** 喀斯特石漠化; 监测预警模型; 评价指标体系

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2013)04-0221-03

中图分类号: S157.1, X171

## Design of Monitoring and Pre-warning System of Karst Rocky Desertification in Guizhou Plateau

CAO Shui<sup>1,2</sup>, ZHOU Zhong-fa<sup>1,2</sup>

(1. Institute of South China Karst, Guizhou Normal University, Guiyang,

Guizhou 550001, China; 2. The State Key Laboratory Incubation Base for Karst

Mountain Ecology Environment of Guizhou Province, Guiyang, Guizhou 550001, China)

**Abstract:** According to the evolution of karst ecological environment system and the causes of rocky desertification disaster, this study established karst rocky desertification monitoring and pre-warning evaluation index system. According to the spatial information and attribute information, this system was designed based on the development trend of rocky desertification. GIS technique and mathematical models, combined with computer programming were employed to establish the karst rocky desertification monitoring and pre-warning evaluation index system. The established system can be used to monitor and predict environmental issues in time. It will provide supports to governmental decision making.

**Keywords:** karst rocky desertification; monitoring and pre-warning model; evaluation index system

喀斯特是一种具有特殊的物质、能量、结构和功能的生态系统,其特征是生态敏感度高,环境容量低,抗干扰能力强,稳定性差,森林植被遭受到破坏后,极易造成水土流失、基岩裸露、早涝灾害等<sup>[1]</sup>。当人类活动与喀斯特环境之间的不协调达到或超越阈值就会产生石漠化灾害,人们为了生活,在喀斯特地区不合理的开发土地,毁林开荒,任意扩大耕地面积,引起严重的水土流失和生态环境恶化,严重阻碍了当地的社会经济发展,而且灾害区土地需要几十、上百年的时间才能恢复到正常状态。因此,为了防止喀斯特地区石漠化的快速发育,有必要利用地理信息系统相关

技术设计石漠化监测预警系统,对喀斯特石漠化的发展趋势进行监测。

### 1 监测预警系统与评价指标体系

喀斯特石漠化监测预警系统是用于喀斯特石漠化地区,针对石漠化生态安全,对该地区的生态环境进行预警分析,据所得分析,有针对性的进行石漠化治理。监测预警系统分析包括模型、评价指标体系、信息处理和监测预警系统建立。建立预警模型是为了科学的分析评价指标体系之间的关系,确定石漠化灾害的影响因子,同时确立指标体系能更好地用模型

收稿日期: 2012-03-21

修回日期: 2012-09-18

资助项目: 国家基础科学发展(973)计划项目“人为干预下喀斯特山地石漠化的演变机制与调控”(2012CB723202); 贵州省优青科培养专项“典型喀斯特石漠化综合防治效果监测与空间决策支持系统研究及示范”[黔科合人字(2009)18号]; 贵州省国际科技合作计划项目“不同生态恢复措施干预下喀斯特石漠化演变及调控研究”[黔科合外 G 字(2012) 7022 号]

作者简介: 曹水(1986—),男(汉族),辽宁省营口市人,硕士研究生,研究方向为地理信息系统与遥感。E-mail: 116009847@qq.com。

通信作者: 周忠发(1969—),男(汉族),贵州省遵义市人,教授,研究方向为 GIS 与遥感、喀斯特资源与环境。E-mail: fa6897@163.com。

分析各评价因子在监测预警系统中所占有的比重。

### 1.1 模型的建立

主要选择自然因素和人为因素进行研究,自然因素选取植被覆盖率、基岩裸露率、坡度、土被覆盖、平均土厚、岩石性质共 6 个指标;人为因素选取人口密度、陡坡耕地率这两个指标。

石漠化预警模型采用的是一个因变量和多个自变量之间形成关系的多元线性回归模型。在石漠化预警模型分析中,首先确定评价因子再确定各评价因子的系数,评价因子发生概率公式为:

$$z_i = a_0 + a_1 X_{i1} + a_2 X_{i2} + \dots + a_i X_{ij} + \dots + a_n X_{in} \quad (1)$$

公式(1)中  $z_i$  经过转移函数作用后,代入公式(2),得到的  $E_i$  值为石漠化评价因子发生概率的预测值(即评价因子系数)。

$$E_i = \frac{1}{1 + \exp(-z_i)} \quad (2)$$

式中: $Z_i$ ——中间变量参数; $a_0$ ——回归常数; $a_i$ ——第  $i$  个变量的回归系数( $i = 1, 2, \dots, n$ ); $X_{ij}$ ——第  $i$  个单元中第  $j$  个变量的取值,存在则取 1,否则取 0; $E_i$ ——第  $i$  个单元中石漠化评价因子发生概率的回归预测值( $i = 1, 2, \dots, n$ )。

利用梯度法调节确定的石漠化评价因子连接权重使实际输出的  $y_i$  与期望输出的  $y'_i$  误差  $P$  小于等于限定值  $P_0$ ,公式为:

$$P = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2 \leq P_0 \quad (3)$$

用加权求和公式(3)计算  $P$  的值,根据  $P$  的大小预测石漠化危险程度。

石漠化等级用  $W$  表示,将  $W$  划分为 6 个等级,分别为无石漠化、潜在石漠化、轻度石漠化、中度石漠化、重度石漠化和极重度石漠化, $W$  越大危险性越大, $W$  越小危险性越小,其中无石漠化和潜在石漠化对应于安全,其余 4 个石漠化等级对应于轻、中、重、极重 5 级警戒度。

$$W = \sum_{i=1}^n \omega_i e_i \quad (4)$$

式中: $e_i$ ——第  $i$  个指标得分; $\omega_i$ —— $P$  的第  $i$  个指标权重; $n$ ——指标个数。

### 1.2 评价因子的确立

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,是多因子相互作用的结果。研究各因子之间的相关关系,确定其主导因子,建立合理的评价指标体系,对深入研究石漠化发生与预警问题具有重要的意义<sup>[2-3]</sup>。

#### 1.2.1 自然因素

(1) 植被覆盖率。石漠化最直观的表现就是植

被覆盖率下降,岩石裸露,因此,植被覆盖率是石漠化辨识的关键指标。随着植被覆盖率的降低,土壤失去植被的保护后,地表水下渗、土壤流失,基岩出露,生态系统的稳定性降低,形成石漠化土地。植被覆盖率的减少,使得喀斯特石漠化危险性增强。喀斯特地区土层浅薄,植被稀疏,生长缓慢,植被一旦被破坏后难以恢复。植被具有保水固土的作用,因而植被覆盖率的高低直接影响石漠化的发生与发生等级的轻重。

(2) 基岩裸露率。基岩裸露率是指露出岩石的面积占土地面积的百分比,是石漠化景观最明显的表现,裸露率越高说明石漠化越严重。基岩裸露多数发生在风化侵蚀和水土流失严重的地区,贵州喀斯特地区由于坡度大,地形破碎,雨水充沛,水土流失严重,地表覆土则较少,因此基岩裸露率高。

(3) 坡度。石漠化发生的本质原因是土壤侵蚀速率大于成土速率,坡度本身并不能直接反映石漠化程度,但可通过反映石漠化的形成过程和结果来体现石漠化形成的危险程度。坡度越大,地表物质的不稳定性就越强,土壤越容易遭受侵蚀而变薄。当坡度越陡,人类活动频繁,植被破坏严重,侵蚀剧烈,水土流失严重,石漠化进程越快,石漠化程度越高<sup>[4]</sup>。

(4) 土被覆盖。自然营造物和人工建筑物所覆盖的地表诸要素的综合体,包括地表植被、土壤、湖泊、沼泽湿地及各种建筑物(如道路等),具有的时间和空间属性,其形态和状态可在多种时空尺度上变化。土地覆被侧重于土地的自然属性,对于喀斯特地区石漠化起到重要的作用,主要表现在影响土壤的蓄水量、土壤流失等方面。

(5) 平均土厚。土壤是喀斯特地区环境,和生态系统的因素。喀斯特环境成土速度慢,经过几万年、几十万年才发育形成的,一旦造成流失,使环境产生石漠化,土壤将难以恢复。喀斯特地区由于土壤薄,保水性差,植被的生长比较其他地区缓慢,故而植被的恢复也慢<sup>[5]</sup>。土壤厚度与石漠化有着成因上的因果关系,不同厚度的土壤导致不同等级的石漠化。土壤的厚度也直接影响植物的生长,影响土壤根系良好的穿插、缠绕作用,有利于土壤的固结,增强土壤的抗冲刷能力。同等条件下,土层越厚则石漠化程度相对越底;反之,石漠化程度则越高。

(6) 岩石性质。在不同的岩性基底上石漠化发育程度各不相同。喀斯特地区石漠化的基岩主要是碳酸盐岩,其中主要以灰岩为主,灰岩受侵蚀的强度最大,其次为白云岩,因此灰岩地区的石漠化发育较为强烈,其次白云岩地区的石漠化发育也比较强烈。可以说较纯的碳酸盐岩是石漠化发育的主要岩石基

底。碳酸盐岩岩石组成比较复杂,组合类型通常主要有纯灰岩、灰岩与白云岩互层、纯白云岩、碳酸盐岩夹碎屑岩、碳酸盐岩与碎屑岩互层和碎屑岩夹碳酸盐岩。不同类型的组合,石漠化发育程度也不相同。

### 1.2.2 人为因素

(1) 农业人口密度。石漠化是自然和人为因素共同作用的结果,农业人口密度间接地反映了农民对资源和环境的压力,通常农业人口压力大的地区生态环境破坏较为严重。分析喀斯特地区农业人口密度分布的特点,可将农业人口密度作为人口对石漠化压力的等级。农业人口密度最小的地区可视为对石漠化没有明显影响,根据农业人口密度,将喀斯特地区的农业人口密度值作为预警等级的阈值。

(2) 陡坡耕地率。贵州地区人口密集,耕地资源缺乏,全省各地区都有陡坡耕地分布。喀斯特地区土层浅薄,土壤流失往往引起耕地面积的减少和质量的

下降,由于碳酸盐岩成土速率低,这一现象尤为突出。贵州喀斯特地区所有坡耕地都存在不同程度的水土流失,坡度在  $25^\circ$  以上的耕地中,土地的水土流失最为严重,贵州相当一部分石漠化是由于过度垦殖演化而来的。陡坡耕地率指  $>25^\circ$  的坡耕地面积占总耕地面积的百分比。陡坡耕地反映了人口对耕地的压力,人口密度越大,陡坡耕地率越大,形成石漠化的概率就越高。

### 1.3 评价指标体系

石漠化评价指标体系是根据石漠化形成过程和演化特征,考虑其可能影响因子的系统性、整体性和对比性,挑选出若干个评价因子进行分析。通过评价指标模型计算各因子对石漠化形成的影响,对石漠化危险度进行 5 个等级的预警。其中无石漠化和潜在石漠化对应于安全,其余 4 个石漠化等级对应于轻、中、重、极重等 5 个等级(表 1)。

表 1 喀斯特土地石漠化危险度评价指标体系

等级	植被覆盖率/%	基岩裸露率/%	坡度/ ( $^\circ$ )	土地覆被	平均土厚/cm	主要岩性	农业人口密度/ (人· $\text{km}^{-2}$ )
无石漠化	$>80$	$<20$	$<15$	水田、建设用地、有林地、水域	$>20$	灰岩与白云岩互层、白云岩	$<150$
潜在石漠化	$80\sim70$	$20\sim30$	$<15$	旱地、灌木林地、其他林地	$<20$	灰岩与白云岩互层、白云岩	$>150$
轻度石漠化	$70\sim50$	$30\sim50$	$15\sim35$	旱地、灌木林地、其他林地、草地	$<15$	灰岩、碳酸盐岩夹碎屑岩、白云岩、灰岩与白云岩互层、碳酸盐岩夹碎屑岩	$>200$
中度石漠化	$50\sim30$	$51\sim70$	$25\sim35$	旱地、灌木林地、其他林地、草地	$<10$	灰岩、灰岩与白云岩互层、碳酸盐岩夹碎屑岩	$>250$
强度石漠化	$30\sim10$	$71\sim90$	$<60$	旱地、灌木林地、其他林地、草地	$<5$	石灰岩、灰岩与白云岩互层	$<50$
极强度石漠化	$<10$	$>90$	$>60$	裸岩石砾地	$<3$	石灰岩、灰岩与白云岩互层	0

## 2 石漠化监测预警系统构建

### 2.1 数据库建立

数据库的建立是用于实现喀斯特石漠化预警的基础环节,是 GIS 分析的数据源。对于在喀斯特地区,石漠化分布分析模块中涉及的有关土地石漠化的信息进行管理和分析,是本系统数据库设计的目标。只有在数据库的支持下,GIS 的数据处理、监测预警分析、制图等诸多功能才能充分发挥作用。建立数据库就是把收集到的各种数据资料以数据库的形式输入计算机,并加以处理,起到预警评价的作用。

研究的数据分为空间数据和属性数据。空间数据又称图形数据、几何数据,它描述地图要素的位置及其相互拓扑关系。空间数据主要来自专题数字化,主要从基础地理信息和遥感数据中提取得到,对数据记性编辑和预处理等操作,建立喀斯特地区石漠化预警评价空间数据库。

属性数据又称专题数据,用以描述和识别专题要素。空间数据只是表示地理事物的空间位置,完成空间数据库后,进行属性数据库的建立。利用 Microsoft Access 软件对收集的历史数据,同时在野外作业中,观测和采集到的土地石漠化信息,进行整理、编辑添加到数据库中。如何组织管理这些数据十分重要,因为数据的有效、合理地组织,对于管理、分析和保护数据有着重要的作用。

### 2.2 系统设计流程

根据评价模型和评价指标对收集到的相关数据进行矢量化,采用 Access 链接相关的数据,建立数据库,完成系统常规数据编程与数据处理。以 Microsoft Visual Studio 为开发语言、通过 MapObject 搭建平台,建立喀斯特高原石漠化监测预警系统,从而实现信息查询和预警的功能。

(下转第 232 页)

- of Jamaica. Agriculture [J]. Ecosystems and Environment, 2002, 92(1):1-19.
- [9] 李洪勋. 草带在防治坡耕地土壤侵蚀中的作用[J]. 草业科学, 2005, 22(1):94-97.
- [10] 徐创军, 杨立中, 唐家良. 紫色土坡地不同种植模式生态经济效益综合评价[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(1):196-199.
- [11] 谢颂华, 曾建玲, 杨洁. 南方红壤坡地不同耕作措施的水土保持效应[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9):81-86.
- [12] Alegre J C, Rao M R. Soil and water conservation by contour hedging in the humid tropics of Peru[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 1996, 57(1):17-25.
- [13] 云峰, 王健, 吴发启. 坡面首蓄蓄水保土效益试验研究[J]. 节水灌溉, 2009(12):8-11.
- [14] 王德轩, 彭珂珊, 张正斌. 黄土高原拦流蓄水保墒的有效途径和措施[J]. 生态经济, 1994(3):26-30.
- [15] 庞良玉, 张鸿, 罗春燕. 四川紫色丘陵农区坡耕地饲草种植模式及效益[J]. 草业学报, 2010, 19(3):110-116.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [17] 吴发启, 赵晓光, 刘秉正. 缓坡耕地侵蚀环境及动力机制分析[M]. 陕西西安:陕西科学技术出版社, 2001.
- [18] 蔡强国, 吴淑安. 紫色土陡坡地不同土地利用对水土流失过程的影响[J]. 水土保持通报, 1998, 18(2):1-8.
- [19] Peoples M B, Herridge D F. Nitrogen fixation by legumes in tropical and subtropical agriculture[J]. Advances in Agronomy, 1990, 44(3):155-223.
- [20] 夏锦慧, 邓英, 陈明华, 等. 黔中地区坡耕地水土流失及坡面防护技术研究[J]. 贵州农业科学, 2004, 32(1):39-40.
- [21] 刘晶淼, 安顺清, 廖荣伟, 等. 玉米根系在土壤剖面中的分布研究[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(3):517-521.
- [22] 慕自新, 张岁岐, 郝文芳, 等. 玉米根系形态性状和空间分布对水分利用效率的调控[J]. 生态学报, 2005, 25(11):2895-2900.
- [23] Adiku S G K, Ozier-Lafontaine H, Bajazer T, et al. Patterns of root growth and water uptake of a maize-cowpea mixture grown under greenhouse conditions [J]. Plant and Soil, 2001, 235(1):85-94.
- [24] 高阳, 段爱旺, 刘浩, 等. 间作条件下水分在作物间的分配与利用研究进展[J]. 农业工程学报, 2007, 23(7):281-285.
- [25] 宿庆瑞. 东北玉米主产区玉米草木樨间种轮作农牧结合综合效益的研究[J]. 中国草地, 1998(4):17-20.
- [26] 高雪松, 邓良基, 张世熔. 不同利用方式与坡位土壤物理性质及养分特征分析[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2):53-56, 60.
- [27] 刘鑫, 满秀玲, 陈立明. 坡位对小叶杨人工林生长及土壤养分空间差异的影响[J]. 水土保持学报, 2007, 21(5):76-81.
- [28] 时安东, 李建伟, 袁玲. 轮间作系统对烤烟产量、品质和土壤养分的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(2):411-418.

(上接第 223 页)

### 2.3 监测预警系统的功能实现与预警分析

通过对数据库系统中基础信息的提取,通过叠加分析功能对矢量图进行属性叠加,用不同颜色对石漠化危险性进行区分,直接观察石漠化分布、面积、等级等相关信息,利用系统的属性查询功能,查询出任意地点的石漠化信息,分析该地区的石漠化发展趋势,对该地区的石漠化预警防治工作做出有效指导。

## 3 结论

以 3S 技术为支撑,在地理信息系统与遥感技术支持下,通过建立多元线性回归模型,搭建 GIS 数据库,充分考虑了数据的开放性和共享性,研究石漠化的 6 个评价等级,选取了自然、人为共计 8 个石漠化评价因子,通过模型确定其权重系数并对石漠化等级划分的影响,划分 5 个预警等级,从而建立石漠化预警模型,利用预警模型分析影响石漠化的因素并进行石漠化预警分析,根据分析结果,集成预警系统。

本研究只是针对影响喀斯特石漠化发生的因子

进行了评价,建立了相应的预警系统,但是未对喀斯特地区石漠化的预防与治理、生态环境修复等提供决策支持信息。后续研究的重点将着眼于喀斯特小流域的综合治理上,经过典型样点的应用研究之后,对系统的不足加以完善之后推广于大尺度区域,为喀斯特地区石漠化的监测与预警工作提供一个更准确的平台。

### [参 考 文 献]

- [1] 张冬青, 林昌虎, 何腾兵. 贵州喀斯特环境特征与石漠化的形成[J]. 水土保持研究, 2006, 13(1):220-223.
- [2] 蓝安军, 熊康宁, 安裕伦. 喀斯特石漠化的驱动因子分析:以贵州省为例[J]. 水土保持通报, 2001, 21(6):19-23.
- [3] 李瑞玲, 王世杰, 熊康宁, 等. 喀斯特石漠化评价指标体系探讨:以贵州省为例[J]. 热带地理, 2004, 24(2):145-149.
- [4] 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.
- [5] 熊康宁, 黎平, 周忠发等. 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.