

# 基于 PSR 模型的石漠化风险评价指标研究\*

苏凯<sup>1</sup>, 张军以<sup>1</sup>, 苏维词<sup>1,2</sup>, 杨军<sup>1</sup>

(1. 重庆师范大学 地理与旅游学院, 重庆 400047; 2. 贵州科学院 山地资源研究所, 贵阳 550001)

**摘要** 喀斯特地区土地石漠化是西南喀斯特地区一种突出的生态环境问题, 对其进行风险评价的探究是十分重要的。文章在参考国内外研究成果的基础上, 利用石漠化的概念模型  $C = (Y Q Z J S R \dots) \cdot (M_1 M_2) \cdot (T) \cdot (W)$ , 其中  $C$  为土地石漠化风险程度,  $Y$  为岩性,  $Q$  为同期水热叠加因子,  $Z$  为植被,  $J$  为降水,  $S$  为坡度,  $R$  为土壤属性, 省略号表示其他次要因子,  $M_1$  为各种土地利用模式,  $M_2$  为当地生活习惯,  $T$  为土地石漠化过程的时间长度,  $W$  为未确定的因素对土地石漠化的影响。对各影响因子的作用进行了综合分析, 根据模型分析提取了以自然因子、土地状态因子、社会因子和经济因子, 基于 PSR 模型初步构建了土地石漠化风险评价指标体系。通过指标体系的构建发现喀斯特土地石漠化主要是由人类活动或突发自然灾害为诱导因子引起的, 在景观上表现为植被退化、水土流失、基岩裸露等景观演变过程。

**关键词** PSR 模型; 土地石漠化; 风险评价; 指标体系

**中图分类号** P931.3; X144

**文献标识码** A

**文章编号** 1672-6693(2011)01-0071-05

## 1 石漠化的概念分析

土地石漠化是西南喀斯特地区一种突出的生态环境问题。1983年美国科学促进会第149届年会上, 正式把喀斯特地区和沙漠边缘地区等同地列为脆弱环境<sup>[1]</sup>。石漠化灾害的概念最早于20世纪80年代初期提出<sup>[2-3]</sup>, 对石漠化也存在多个定义, 国际荒漠化防治公约指出: “荒漠化是由包括气候变化和人类活动在内的各种因素所造成的干旱、半干旱和具有干旱的半湿润地区的土地退化”。喀斯特土地石漠化指的是在湿润气候条件下, 受喀斯特作用及人类不合理活动的干扰, 喀斯特地表土层流失殆尽, 基岩大面积裸露, 呈现出一种无土无水无林, 类似于荒漠化的景观现象与过程<sup>[4]</sup>。袁道先<sup>[5]</sup>采用石漠化概念来表征植被、土壤覆盖的喀斯特地区转变为岩石裸露的喀斯特景观的过程, 并指出石漠化是中国南方亚热带喀斯特地区严峻的生态问题, 导致了喀斯特风化残积层土的迅速贫瘠化。热带和亚热带地区喀斯特生态系统的脆弱性是石漠化的形成基础, 但包括人口压力、土地利用规划和实践的不合理、大气污染等人类活动触发了这一事件所有过

程<sup>[6]</sup>。从以上概念可以发现石漠化是一个动态的过程, 主要表征为土地退化、地表水土流失、植被减少等现象。喀斯特地区水土流失的顶级形态就是石漠化。石漠化概念的提出及发展完善, 得益于对石漠化研究的不断深入, 并对喀斯特石漠化的形成有了一定的共识: 1) 石漠化成因既有自然因素又有人为因素, 并且多以自然因素为背景, 人为因素为诱导因素。2) 喀斯特地区生态系统极度敏感, 承载力低, 抗干扰能力弱, 植被破坏后, 极易造成水土流失, 破坏后难以恢复。3) 喀斯特地区社会经济落后, 人口压力大, 使土地负荷压力过大, 同时人口素质不高, 导致对土地的掠夺式经营, 造成严重的水土流失和石漠化。

## 2 影响土地石漠化的主要因子

石漠化作为一个自然过程, 它与多种自然因素、社会因素处于相互作用之中。植被因子和土壤环境因子, 是影响石漠化的内在主导因子。植被因子与石漠化的阶段和过程显著相关, 表征了石漠化在时间上的发展变化<sup>[7]</sup>。土壤侵蚀, 细粒物质减少, 表层土壤消失, 土壤微生物功能多样性降低, 超载的社会经

\* 收稿日期 2010-04-16 修回日期 2010-07-05

资助项目: 贵州省高层次人才特聘经费基金( No. TZJF2008022 ), 贵州省省长基金( No. 2010 ), 贵州省科技计划( No. 20104001 ), 贵州省科技攻关计划( No. 20103015 ), 贵州省省长基金项目( No. 201076 )

作者简介: 苏凯, 男, 硕士研究生, 研究方向为水土保持与荒漠化治理, 通讯作者: 苏维词, E-mail: suweici@sina.com

济压力等是导致喀斯特地区土壤石漠化最重要的驱动力<sup>[8]</sup>。不同等级石漠化与不同土地利用类型和岩石类型存在着相关性<sup>[9]</sup>。喀斯特地区的自然因素为土地石漠化形成的内因,而不合理的人类活动是土地石漠化形成的诱因和主导因素<sup>[10]</sup>。李阳兵等<sup>[11]</sup>选取年平均降水、坡度、植被指数、土壤允许流失量、基岩裸露率为评价指标。综上所述土地石漠化的影响因子主要是以自然背景因子为主,同时人为因子主要是以诱导因子出现的。

基于石漠化与岩性、土壤、植被、降水、人类活动等因素存在密切的联系,可以用函数关系方程表征

$$C = f(Y, Q, Z, J, S, R, \dots) \cdot (M_1, 2) \cdot (T) \cdot (W)$$

其中,  $C$  为土地石漠化风险程度,  $Y$  为岩性,  $Q$  为同期水热叠加因子,  $Z$  为植被,  $J$  为降水,  $S$  为坡度,  $R$  为土壤属性, 省略号为其他次要因子,  $M_1$  为各种土地利用模式,  $M_2$  为当地生活习惯,  $T$  为土地石漠化过程的时间长度,  $W$  为未确定的因素对土地石漠化的影响。并且各个因素在不同的区域应该有不同的权重系数,有主因素和可替代因素之分。石漠化不是纯自然过程,而是与自然社会经济紧密相关,以人类活动为主导因素而引起的环境恶化、土地退化过程。石漠化一般是由人类不合理的活动为诱导因素引起的,通过正反馈作用强化了石漠化的进程。

现将主要影响因子进行分析:1)岩性因子:对石漠化的影响主要表现在不同碳酸盐岩类型具有不同的构造、化学成分,导致其各种物理风化、化学风化过程速率不同,成土速率也存在差异。如不同的碳酸盐岩类型具有不同的化学成分,白云岩富含  $MgO$  一般在 10.9% 以上,碎屑石灰岩的酸不溶物含量较高;因而,白云岩相对不易溶,岩溶作用强度较弱,碎屑石灰岩则成土能力强。故这两类碳酸盐岩抵抗岩溶石漠化能力较强<sup>[12]</sup>。2)同期水热叠加因子:石漠化地区主要分布亚热带季风湿润气候区,具有雨热同季、降水充沛的特点。这种同期水热叠加的天气为石漠化形成提供了原始的侵蚀动力和适宜的溶蚀条件。3)植被因子:植被可以有效地保护土壤,防治水土流失,地表植被可以减少降水对地表土壤的冲刷强度,植被根系可以提高土壤的抗侵蚀能力,涵养降水并可以加速成土速率。4)降水因子:降水为土壤的流失提供了动力和载体,石漠化地区降水偏酸性,可以加速以碳酸盐为主要成分的基岩的化学侵蚀,影响土壤的富铝化过程,破坏土壤正常的腐殖质化过程,降低了土壤肥力进而影响到土壤

表面植被的生长,植被的良好程度又对水土流失具有重要作用,形成一个循环过程,可以是恶性循环也可以是良性循环。5)坡度因子:坡度为石漠化土地水土流失提供了潜在动力势能,周忠发<sup>[13]</sup>指出地形坡度决定着石漠化的类型和强度。喀斯特坡地上能否生长植被,与区域喀斯特地貌类型存在着紧密联系。6)土壤因子:由于植被的退化酸性降水的作用,使土壤性状发生改变。由于植被破坏和耕地的开垦发生土壤颗粒粗化,向石漠化景观发展,土体结构破坏,容重增加  $0.12 \sim 0.60 \text{ g/cm}^3$ ,总孔隙度降低  $12.0\% \sim 39.8\%$ ,持水性能变劣,养分也随之下降;主体  $< 0.05 \text{ mm}$  的粘粉粒流失,表层土壤有机质和全氮含量下降  $33.4\% \sim 84.6\%$  和  $43.3\% \sim 85.2\%$ ,土壤质量的演变,既有系统本身的自然属性决定的内在原因,更重要的是人为的外部干扰体系的驱动;演变的过程既有渐变型,又有跃变型<sup>[12]</sup>。7)人类活动:主要作用是打破了自然的生态平衡,起到了一个诱导因子的作用。如人类过度获取薪柴,破坏了自然植被导致自然植被退化乃至消失,使植被对土壤的保护作用减弱,从而造成水土流失,植被进一步减少最后造成土地的石漠化。

### 3 土地石漠化评价指标体系

喀斯特地区石漠化是多种因素综合作用的结果。土地石漠化是由石漠化的物理、化学、生物等多个过程组成的十分复杂的土地退化过程<sup>[15]</sup>。关于喀斯特地区石漠化的现状评价指标体系,不同学科背景的学者考虑的角度不一,对指标持续性作用的界定不同,指标的选择差异也较大,评价指标的量化标准(域值)也不尽相同<sup>[6]</sup>。如李瑞玲等从石漠化科学内涵出发,依据植被覆盖率、岩石裸露率、平均土厚和植被类型等指标,对喀斯特石漠化进行评价<sup>[16]</sup>。王德炉等以岩性、小生境种数、小生境组合、裸露石面面积、石砾含量和土壤总量 6 个因子为评价指标,将石漠化分为 2 大类型,即显性石漠化和隐性石漠化<sup>[17]</sup>。但大多数研究是对土地石漠化现状的研究,其评价指标更适合于小区域内的喀斯特土地石漠化评价研究,对石漠化风险评价的研究较少,如胡宝清等试图构建一个具有操作意义的石漠化灾害预警与风险评估模型库系统,并建立了一个 4 级的喀斯特生态安全预警和石漠化灾害风险分析指标体系<sup>[18]</sup>。

石漠化风险的评价遵循一般生态风险评价的方

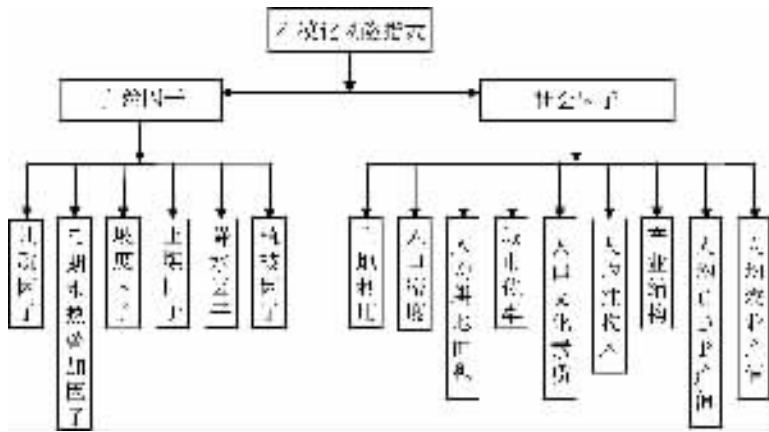


图 1 土地石漠化风险影响因子结构图

法,大致包括危害评价,暴露评价,受体分析和风险表征等内容,但是没有建立适合中观区域的风险评价指标体系。针对以上情况,笔者基于土地石漠化概念模型,在分析了土地石漠化影响因子结构的基础上(图 1)构建了一个基于“压力—状态—响应”(Press-state-response PSR)模型的土地石漠化风险评价指标体系(如表 1),该指标体系相对宏观地反映了土地石漠化风险评价包含的影响因子及影响因子对土地石漠化的影响。

表 1 土地石漠化风险评价指标体系

目标	因子类型	指标层
自然压力	地质条件	不同岩性的基岩的比例(%) ; 岩石中杂质含量(%) ; 岩石裂隙发育度
	同期水热叠加条件	年平均降水量(mm) ; 夏季平均降水量(mm)
	坡度条件	坡耕地的比例(%) ; 边坡稳定性 ; 径流速率
	土壤条件	土壤的类型(粘土、沙土等) ; 结构特性
	降水条件	酸雨频数(次/a) ; 暴雨频数(次/a)
	植被条件	植被覆盖率(%) ; 物种多样性 ; 优势度指数
土地石漠化综合指数 C	人口压力	人口密度(人·km <sup>-2</sup> ) ; 农业人口比例(%)
	耕地压力	人均耕地面积(hm <sup>2</sup> /人)
	社会压力	人均受教育年限(a/人)
	产业结构	三大产业的比例关系(%) ; 种植业占农业比例(%) ;
	农业收入状况	农业人均纯收入占总收入比(%) ; 人均农业产值(万元)
	土地利用模式	各种农用地比例(%) ; 土地垦植率(%) ; 建设用地比例(%)
侵蚀状态	土壤侵蚀状态	土壤侵蚀模数(t·km <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> ) ; 土壤侵蚀面积比例(%)
	石漠化现状	石漠化面积比例(%) ; 石漠化面积变化速率(%)
土地状态	地质灾害	地质灾害面积比例(%) ; 地质灾害发生概率(%)
	土地性状	土壤质地 ; 有机质含量(%) ; 土层厚度(m) ; 土壤含水量(%) ; 生物产量(干物质)(g·m <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )
政策响应	生态修复	退耕还林面积比例(%) ; 自然保护区面积比例(%)
	生态建设投入	财政转移支付力度 ; 环保投入占 GDP 比重(%)
利用响应	石漠化治理程度	土地石漠化治理率(%)
	森林覆盖	森林覆盖变化量(km <sup>2</sup> /a)

PSR 模型是联合国经济合作组织(OECD)在 20 世纪 90 年代后期提出的,该模型从社会、经济与环境有机统一的观点出发,科学地反映出自然、经济、社会因素间的作用关系,可为土地石漠化风险评价提供较为合理的逻辑基础。压力包含自然压力和社会压力,反映了自然本底变化和人类活动造成的生态系统所带来的影响与胁迫,反映资源的利用强度和变化趋势;状态反映生态环境要素的变化,体现环境保护政策的最终目标;响应反映了社会或个人为停止、减轻、预防或恢复不利于湿地生态系统变化采

取的措施。此外,该模型可在一定程度上反映现有治理措施的有效性,对进一步完善防治及治理措施提供一定的参考意义。

由于缺乏基础的试验研究和数据资料,不能确定各因子在土地石漠化过程的影响权重的取值范围,正确客观地确定各指标的权重是获得客观评价结果的基础,比较常用确定权重方法有 Delphi 法、主成分分析法、层次分析法(AHP)等。但以上方法易受主观因素的影响,故采用熵权法赋权,该方法是一种客观的赋权法,避免了个人的主观因素对评价

结果的影响。此外,结合小流域的基础模拟研究获得的大量基础数据,特别是典型流域土地石漠化地区的模拟研究,对各因子的影响权进行修正,将进一步提高评价结果的准确度。

评价指标体系中的各项指标,因为西南喀斯特生境的复杂化和多样化,要依据评价区域的具体生态环境进行具体分析,评价指标会有所不同。如地质主要指石漠化地区的不同岩性的碳酸盐岩基底岩性对石漠化的不同影响。同期水热叠加包括多年平均降水量和夏季平均降水量(每年6~9月),降水影响土壤侵蚀速率,土壤流失与石漠化存在密切联系。降水的性质,如酸雨对土壤的作用,可能会加速土壤的化学侵蚀。坡度为大于 $25^\circ$ 的面积比例,如贵州省平均坡度为 $21^\circ$ ,当坡度大于 $25^\circ$ 时,坡度成为水土流失的决定因素。石漠化最主要的表征就是植被覆盖率的下降,植被覆盖率的变化是土地石漠化的关键指标。植被包括物种多样性,植被的优势度指数。各社会经济因子的含义比较明确,在此不再赘述。

#### 4 讨论

由于喀斯特地区土地石漠化涉及自然、社会、经济等各个方面的因素,并且相互交叉。目前为止,土地石漠化的风险评价指标尚未形成标准化的体系,对土地石漠化风险的评价正处于不断研究发展阶段,没有形成公认的成熟的理论体系、评价指标体系和评价模型。不同的学者提出了不少富有创造性的研究<sup>[18-19]</sup>,喀斯特地区复杂的自然生境及人文因素的多样性,都给研究带来一定的难度。当前土地石漠化发展的总体趋势没有得到有效控制,对土地石漠化发生的内在机制与喀斯特生态系统的内在稳定性运行机制还不清楚,缺乏比较完善的石漠化防治理论和技术体系。这就使得土地石漠化风险预警和评价方面缺少足够的理论支撑,不能建立完善的风险评价指标体系,使得评价指标体系缺少通用性,使各区域不同的评价指标得出的结果缺少可比性,也造成区域治理照搬经验而忽视自身的特殊性,反而破坏了自身的生态环境。建立相对宏观具有指导意义的评价指标体系,就显得尤为重要。可以通过建设典型小区域的土地石漠化模拟研究,摸清各影响因素对土地石漠化影响的权重的取值范围,对实体的风险进行核算等工作来进一步解决,这些工作有待今后进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 廖赤眉,胡宝清,严志强,等. 广西喀斯特地区土地石漠化与生态重建模式研究[M]. 北京:商务印书馆,2006,5-6.
- [2] 李阳兵,王世杰,容丽. 关于喀斯特石漠化和石漠化概念的讨论[J]. 中国沙漠,2004,24(6):689-695.
- [3] Williams P W. Environmental change and human impact on karst terrains: an introduction[J]. Catena,1993(Supp):1-19.
- [4] 苏维词. 贵州岩溶山区石漠化灾害及防治[J]. 长江流域资源与环境,1995(2):177-183.
- [5] 袁道先. 袁道先院士1981年在美国科技促进年会(AAAS)上的学术报告[R]. 1981.
- [6] 黄秋昊,蔡运龙,王秀春. 我国西南部喀斯特地区石漠化研究进展[J]. 自然灾害学报,2007,16(2):107-111.
- [7] 王德炉,朱守谦,黄宝龙. 喀斯特石漠化内在影响因素分析[J]. 浙江林学院学报,2005,22(3):266-271.
- [8] 龙健,江新荣,邓启琼,等. 贵州喀斯特地区土壤石漠化的本质特征研究[J]. 土壤学报,2005,42(3):419-427.
- [9] 李阳兵,白晓永,周国富,等. 中国典型石漠化地区土地利用与石漠化的关系[J]. 地理学报,2006,61(6):624-632.
- [10] 苏维词,杨华,李晴,等. 我国西南喀斯特山区土地石漠化成因及防治[J]. 土壤通报,2006,37(3):447-451.
- [11] 李阳兵,邵景安,王世杰,等. 基于岩溶生态系统特性的水土流失敏感性评价[J]. 山地学报,2007,25(6):671-677.
- [12] 单洋天. 我国西南岩溶石漠化及其地质影响因素分析[J]. 中国岩溶,2006,25(2):163-167.
- [13] 周忠发. 喀斯特地区石漠化与地形坡度的关系分析[J]. 水土保持通报,2006,25(6):1-3.
- [14] 龙健,江新荣,邓启琼,等. 贵州喀斯特地区土壤石漠化的本质特征研究[J]. 土壤学报,2005,42(3):419-427.
- [15] 李森,魏兴琥,黄金国,等. 中国南方岩溶区土地石漠化的成因与过程[J]. 中国沙漠,2007,27(6):918-926.
- [16] 李瑞玲,王世杰. 喀斯特石漠化评价指标体系探讨——以贵州为例[J]. 热带地理,2004,24(12):145-149.
- [17] 王德炉,朱守谦,黄宝龙. 贵州喀斯特石漠化类型及程度评价[J]. 生态学报,2005,25(5):1057-1063.
- [18] 胡宝清,王世杰,李玲,等. 喀斯特石漠化预警和风险评估模型的系统设计——以广西都安瑶族自治县为例[J]. 地理科学进展,2005,24(2):122-130.
- [19] 胡宝清,王世杰,严志强,等. 喀斯特石漠化灾害预警及其风险评价模型研究[J]. 地理科学进展:增刊,2004,19:147-152.

## Based on PSR Model of Karst Rocky Land Desertification Risk Assessment Indexes Research

*SU Kai*<sup>1</sup>, *ZHANG Jun-yi*<sup>1</sup>, *SU Wei-ci*<sup>1, 2</sup>, *YANG Jun*<sup>1</sup>

( 1. Dept. of Geography, Chongqing Normal University, Chongqing 400047 ;

2. Institute of Mountain Resource, Guizhou Academy of Sciences, Guiyang 550001, China )

**Abstract** : Southwest Karst rocky desertification in karst areas is a prominent environmental problems and to carry out risk assessment of the inquiry is very important. In reference to the article on the basis of research results at home and abroad, using the concept of desertification model :  $C = f(Y, Q, Z, J, S, R, \dots) \cdot (M_{1,2}) \cdot (T) \cdot (W)$  where  $C$  is the degree of risk of land desertification,  $Y$  for the rocks,  $Q$  for the same period of hydrothermal superimposed factor,  $Z$  for the vegetation,  $J$  for the rainfall,  $S$  is slope,  $R$  is the soil properties, ...for the other secondary factors,  $M_1$  for a variety of land use patterns,  $M_2$  for the local lifestyle,  $T$  is the length of time the process of land desertification,  $W$  undetermined factors as the impact of desertification on land, on the role of two factors a comprehensive analysis; then extracted according to the model of the natural factors, land status factors, social factors and economic factors, the initial model was constructed based on PSR rocky desertification risk assessment system, through the index system is mainly found in karst rocky desertification by human activities or natural disaster emergency caused by the induction factor in the performance of landscape vegetation degradation, soil erosion, exposed bedrock landscape evolution.

**Key words** : PSR model; land rocky desertification; risk warning; indicator system