

# 喀斯特石漠化评价指标体系探讨

## ——以贵州省为例

李瑞玲<sup>1,2</sup>, 王世杰<sup>1</sup>, 熊康宁<sup>3</sup>, 李凤全<sup>1</sup>

(1. 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;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100029; 3. 贵州师范大学 资源与环境科学系, 贵州 贵阳 550001)

**摘要:**从喀斯特石漠化的科学内涵出发, 探讨喀斯特石漠化评价的具体内容, 指出喀斯特石漠化评价应从现状、危险性以及发展速率3个方面进行。评价指标选取所依据的原则, 探讨了指标体系适用的时、空尺度范围; 根据已有研究成果, 分析喀斯特石漠化不同等级指标量化界线确定的生态基准, 初步建立了石漠化评价的指标体系。

**关键词:**喀斯特石漠化; 指标体系; 尺度; 生态基准

**中图分类号:** P931.5

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-5221(2004)02-0145-05

喀斯特石漠化是中国西南最严重的生态经济问题之一。石漠化的发展不仅影响到经济和社会的可持续发展, 而且因其发生地位于长江和珠江上游, 对两江流域的生态建设造成了极大隐患。近年来, 许多学者虽对石漠化的成因机制、治理作了较为深入的研究<sup>[1,2]</sup>, 但基本上以定性分析为主, 定量研究明显不足, 造成目前对于石漠化的时空分布规律和发展趋势认识不明确, 在治理过程中不能因地制宜, 极大影响了治理成效和速度。当前迫切需要建立一套科学、合理的评价指标体系, 对不同地区石漠化的发展程度进行评估和监测, 对石漠化形成和扩展的驱动因素进行定量辨识, 为石漠化的治理提供可靠的依据。本文以贵州省为例, 对石漠化评价中的理论问题和指标体系进行初步研究。

### 1 喀斯特石漠化评价的内容

贵州先天环境极为脆弱, 贵州高原地处亚热带湿润气候环境, 雨量丰沛, 多暴雨且降雨多集中于夏秋季节, 为水土流失提供了重要的侵蚀营力。全省碳酸盐岩广布, 碳酸盐岩抗风化能力强, 酸不溶物含量低, 成土速率慢, 平均每形成 1cm 的土层需要 8 000a 左右的时间<sup>[3]</sup>, 因此喀斯特正地形分布地区土层极薄, 在暴雨冲刷下极易流失而造成石漠化。此外, 喀斯特地区不仅地表地貌类型多样, 而且发育地下河、地下湖及洞穴系统。这种地表、地下双层的二元结构体系导致地表水大量漏失<sup>[4]</sup>, 地下水由于

埋藏深而难以利用。一方面造成喀斯特地区的旱涝灾害; 另一方面, 喀斯特地表本就瘠薄的土壤易随水漏失到地下造成基岩裸露。

喀斯特石漠化就是在脆弱的喀斯特环境背景下, 受人类不合理社会经济活动的干扰破坏, 造成土壤严重侵蚀, 基岩大面积出露, 土地生产力下降, 地表出现类似荒漠景观的土地退化过程<sup>[5]</sup>。它以脆弱的生态地质环境为基础, 以强烈的人类活动为驱动力, 以土地生产力退化为本质, 以出现类似荒漠景观为标志<sup>[6]</sup>。

根据喀斯特石漠化的内容和特点, 石漠化评价可从3个方面进行: 现状评价, 危险性评价以及在两者评价结果的基础上对石漠化发展速率进行预测。

#### 1.1 石漠化现状评价

石漠化评价是对一定时间和地区内石漠化发展程度以及空间分布状况的评价, 石漠化现状评价是石漠化分布状况的最直接反映。通过现状评价可明确认识不同地区石漠化的面积、严重程度及分布规律, 在此基础上定量地分析石漠化与各种影响因素之间的关系, 有的放矢地进行石漠化防治。因此, 评价应包括两方面的内容, 一是石漠化的辨识, 以石漠化的内涵和特点为准则, 通过植被, 土地退化状况等指标判定哪些地区属于石漠化地区; 二是掌握石漠化的空间分布规律。喀斯特石漠化发育在特定地域内, 现状评价应选择能够反映空间变化的指标。

#### 1.2 石漠化危险性评价

喀斯特石漠化是在人类活动影响下生态环境的退

收稿日期: 2003-09-29; 修订日期: 2004-03-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49833002)

作者简介: 李瑞玲(1975-), 女, 山西五寨人, 在读博士生, 主要从事环境地球化学及GIS应用方面研究。

化过程。目前贵州全省每年新增石漠化面积 933km<sup>2</sup>, 潜在石漠化面积占全省石漠化面积 24.8%<sup>[7]</sup>。一旦受到人类活动破坏, 这些地区将迅速退化为石漠化地区。对石漠化危险性的评价可以反映一个地区石漠化的潜在危险程度和未来发展趋势, 对于防治石漠化有着重要的理论指导意义。危险性评价的主要目的—是明确喀斯特地区哪些土地类型处于警界状态, 已不能再开垦利用; 二是系统分析各类自然因素和社会因子与石漠化危险性之间的相关关系, 其结果用以指导当地的土地利用方式和生产活动。

### 1.3 石漠化发展速率评价

石漠化发展速率反映了石漠化发展的快慢程度。石漠化发生区陡坡耕作现象很普遍, 石漠化面积的扩大, 意味着耕地面积减少, 人地矛盾进一步加剧, 石漠化发展速率与生态环境的压力密切相关, 对石漠化发展速率的研究是石漠化预警研究的基础, 对石漠化危害性研究也有重要指导意义。

## 2 石漠化评价指标选取原则

评价指标能够将所需要的大量信息浓缩为一些可以测量的参数, 利用这些参数对不同的研究目的作出判断。从石漠化评价的内容出发, 石漠化评价指标选取应遵循一定的原则。

### 2.1 系统性原则

石漠化是人类不合理经济活动叠加于脆弱生态地质环境背景上综合作用的结果, 所选取的各指标应相互联系, 相互补充, 充分揭示各影响因素与石漠化发展规律之间的内在联系。同时, 指标应从评价内容出发, 既包括反映现状指标, 也能体现其危险性和发展趋势, 能较全面系统地对石漠化进行评价。

### 2.2 代表性原则

无论是石漠化的辨识指标还是影响因素, 都可以从多个角度去研究。各指标应能够直接反映石漠化特点和潜在影响因素, 具有代表性, 简洁明了, 操作性强, 对石漠化变化非常敏感; 指标体系既能系统反映石漠化的演化趋势, 又要体现其发生、发展过程的地域性。

### 2.3 数量化原则

影响石漠化的因素既有定性的, 也有定量的。为使评价过程减少主观因素的影响, 尽量选择一些可数量化的指标, 设置的指标便于进行计算分析。

### 2.4 可获取性原则

目前对石漠化各方面的研究还处于探索阶段, 且石漠化发生的区域性强, 资料和数据获取的难度

大。因此, 指标的设置应充分考虑数据容易获取, 用常规的实测和遥感监测等方法可以获得, 以保证数据的准确性并能及时更新, 在较短时间内反映出石漠化各方面的动态变化情况, 使评价过程客观可靠。

## 3 石漠化评价的尺度和生态基准

### 3.1 评价尺度

石漠化是一个动态变化过程, 一定区域的生态系统类型和生物生产量随着人类生产活动逐渐发生变化。不同时段和不同区域景观类型差异极大, 因此不能用统一的指标去评价不同尺度的石漠化程度。石漠化评价指标选取时要考虑指标的实用范围, 对指标应用的空间尺度和时间尺度给予规定。尺度通常是指观测和研究的物体或过程的空间分辨率和时间单位。

**3.1.1 空间尺度** 从生态学角度来说, 空间尺度是指研究对象、生态系统的面积大小<sup>[8]</sup>。不同空间尺度上石漠化的不同表现形式, 决定了评价过程中程度的指标选取和指标阈值都不相同。喀斯特石漠化是土地荒漠化的主要类型之一, 可借鉴荒漠化评价中一些相对成熟的理论。荒漠化评价一般采用地方、区域、国家、全球 4 级指标体系<sup>[9]</sup>, 根据不同评价目的分别采用相应指标。喀斯特石漠化发生在亚热带, 尤其以中国西南地区最为典型, 可以只考虑地方和区域尺度。就目前喀斯特石漠化研究现状而言, 对贵州喀斯特石漠化的研究较多, 对其它省区的研究相对较少, 且基本上以定性研究为主, 定量研究少。评价各地区石漠化程度必须建立在对区域石漠化整体分布规律全面、可靠的调查研究基础之上。因此, 当前应首先对喀斯特石漠化面积及整体分布情况进行概查, 找出宏观规律, 再研究小尺度下的生态系统变化过程。基于这种目的, 结合数据的精度要求和获取的可行性, 评价的空间尺度范围可初步定为 10~100km, 指标能够适于县级尺度调查; 石漠化制图比例尺为 1:250 000~1:500 000, 调查可采用遥感与野外调查相结合手段。在这种尺度下, 石漠化的变化主要表现为植被覆盖率和岩石裸露程度的变化。

**3.1.2 时间尺度** 时间尺度是指所研究生态系统动态的时间间隔。生态系统中物种多样性和生物生产量在不受人为因素扰动的条件下有一定的自然恢复速率。时间尺度过长, 土地生产力和景观都会发生变化, 造成石漠化范围的扩大或缩小。根据对贵州典型喀斯特环境自然恢复速率的研究<sup>[10]</sup>, 在自然

恢复过程中,从草丛到灌丛的恢复过程大约要 8 年时间,从灌丛到灌木林只需 2 年。从自然恢复速率看,在灌丛恢复到灌木林的过程,植被覆盖率平均每年增加 3.5%,生物生产量翻倍增长;从草本恢复到灌丛的前 4 年时间,物种多样性增加非常缓慢,后 4 年则基本以每年 3 倍速度增长。从以上研究可知,在典型喀斯特环境中,植被覆盖较好的地方 3 年以后植被覆盖率和生物生产量会有较大变化;在植被覆盖率较低的区域经过 4 年左右的自然恢复,生物的物种多样性和生产量也会发生很大变化。基于以上研究,石漠化评价指标适用的时间尺度可定为 3~5 年,超过这个时间尺度,随着植被覆盖率和生物生产量的变化,指标的阈值也应该进行相应的调整。

**3.1.3 石漠化评价中的生态基准探讨** 石漠化是相对于生态基准的退化,理论生态基准面包括退化的初始面与终极面。初始面是退化前土地同气候相适应的景观,终极面则是在人类和其它各种条件影响下土地退化的最终状态<sup>[8]</sup>。生态基准面是石漠化各等级之间量化界线确定的重要依据,可用目前喀斯特地区植被覆盖和土地生产力高的地区作为基准,近似地代替理论基准。西南岩溶地区在水热条件匹配良好的地区顶极植被群落为常绿阔叶林,在人为因素和自然因素影响下会发生逆向演替,最终退化为次生裸地石山<sup>[11]</sup>。石漠化各等级之间界线的确定既要考虑喀斯特地区的生态基准,还要结合当地的具体生态环境状况。

## 4 石漠化评价指标体系

建立评价指标体系首先要考虑石漠化等级的划分。石漠化本质是土地退化的过程,其等级的划分也应以土地利用的适宜性作为标准。根据大量的野外观察结合已有的石漠化研究资料,初步将石漠化划分为轻度、中度和强度 3 级。轻度石漠化景观上岩石裸露较明显,已不宜发展农业,可适当发展林牧业;中度石漠化岩石出露面积大,水土流失严重,土地利用类型上属于难利用地;强度以上石漠化地区基岩大面积出露,许多地方甚至已无土可流,基本失去利用价值,景观与裸地石山几乎没有区别。指标的数量化过程中,可从生态基准并从当地实际情况出发,先确定其中某些等级的值,再根据等差原则确定各等级之间的量化界线。

### 4.1 现状指标

**4.1.1 植被覆盖率** 从石漠化的科学内涵出发,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。贵州顶极植被虽然为常绿阔叶林,但目前存留的原生性常绿阔叶林已经很少。本省地处亚热带湿润气候带,水热条件较好,结合对全省土地利用的研究以及大量的野外观察,在一些土层较厚的地带,高覆盖的灌草地(植被覆盖率 > 50%)土地生产力依然较高,在景观上并不具有“石漠”的特征。对植被盖度与水土保持关系的研究也表明,要稳定地减少土壤侵蚀,植被覆盖不得低于 50%<sup>[12]</sup>。可将植被覆盖在 50% 以上的地区作为无明显石漠化的地区;从土地利用的角度来说,若植被覆盖率低于 20%,在土地利用上属于低覆盖地区,土地难以利用,基岩大部分出露,景观已经接近于裸露石山状态。

**4.1.2 岩石裸露率** 是石漠化景观最明显的表现。各等级之间的界线可以结合植被覆盖率来划分。当土地利用为低覆盖草地时,土地已不能利用,景观近于裸露石山,裸岩率达 80% 以上。在典型喀斯特地区,林地下裸岩率较草地和耕地高,因此可以林地不适宜级的裸岩率作为不宜利用的界线。对息烽土地适宜性评价研究<sup>[13]</sup>显示,林地不适宜级裸岩率大于 70%,可以此作为中度石漠化的界线。

**4.1.3 土层厚度** 西南喀斯特地区具有独特的水热条件,有土层存在的地方基本就会有植被生长,土层厚度是反映石漠化分布规律的一个重要指征。据大量野外实地调查,典型裸露型喀斯特山地土体厚度一般在 30cm 左右<sup>[14]</sup>,参照对山区丘陵区土地适宜性评价的研究成果,林业和牧业土层厚度小于 10cm 就难以利用<sup>[15]</sup>,可作为中度石漠化的界线;土层在 20cm 以上则林、灌、草都可利用,可近似地作为无明显石漠化的地区。

**4.1.4 植被类型** 土壤遭受侵蚀后土层变薄,肥力下降,不仅植被覆盖率降低,植被类型也相应发生变化。植被类型变化可间接地反映土地生产力退化的状况。石漠化从形成初期阶段到演化的后期,植被类型的演替序列为,次生乔灌木林—灌木林—稀灌草坡—草坡<sup>①</sup>,可结合贵州实际情况通过不同的植被类型反映石漠化的发展程度,具体指标体系如表 1。

### 4.2 危险度指标

**4.2.1 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

<sup>①</sup> 王德炉.喀斯特石漠化的形成过程及防治研究.南京林业大学博士学位论文,2003。

表 1 喀斯特土地石漠化现状评价指标体系

Table.1 The evaluation index system of present status in Karst rocky desertification areas

强度等级	植被覆盖率 (%)	岩石裸露率 (%)	平均土厚 /cm	植被类型
轻度石漠化	35 ~ 50	> 60	< 15	次生乔灌林
中度石漠化	20 ~ 35	> 70	< 10	中覆盖灌草
强度石漠化	< 20	> 80	< 5	低覆盖草丛

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。对不同坡度下土壤冲刷量的实验研究表明<sup>[16]</sup>:坡度在 18°以下,土壤冲刷量随坡度增加而增加,但趋势很平缓;若坡度在 18°以上,冲刷量随坡度急剧增加。贵州地表平均坡度为 21.5°,大于 18°的坡地占全省土地总面积 64%<sup>[17]</sup>,结合全省实际情况,可将坡度 < 18°的地区示为无明显石漠化地区。坡度超过 25°,水土流失强烈,便不能进行农业活动。

4.2.2 岩性 对贵州喀斯特地区岩性与石漠化的空间相关性研究表明,在不考虑人为因素影响的情况下,石漠化发生程度与岩性呈明显相关性。连续性碳酸盐岩石漠化发生率最高,程度较重;随着碳酸盐岩建造中泥质含量的增加,岩组中酸不溶物含量加大,成土速率加快,石漠化发生率呈下降趋势,程度也逐渐以轻度占优势。泥质含量越少,发生石漠化的潜在可能性就越大。因此,可以将碳酸盐岩中泥质含量的高低作为衡量石漠化危险度的标志。

4.2.3 地貌 贵州是全国唯一没有平原支撑的省份,陡峻破碎的地貌形态是石漠化形成的重要影响因素。地貌切割度的大小反映了地表被破坏的程度,与石漠化关系非常密切。据近期的研究工作(作者未发表资料),在同一类地貌单元内,随切割度的增大,石漠化发生率也增大;切割度越深,石漠化程度也越严重。切割深度能够反映石漠化潜在危险性,可根据切割深度的变化来确定不同程度石漠化切割度的界线值。浅切割区是轻度石漠化易发区,深切割区则为强度石漠化易发区。

4.2.4 人口密度 石漠化是自然和人为因素共同作用的结果,人口密度间接地反映了人口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。分析全省各地区人口密度分布的特点,可将全省平均人口密度作为人口对石漠化压力中度的等级。全省平均人口密度最小的地区可视为对石漠化没有明显影响,将平均农业人口密度稍高

地区的值作为轻度危险性的界线。

4.2.5 陡坡耕地率 所有旱坡耕地都有不同程度的水土流失,25°以上的坡地水土流失最为严重<sup>[17]</sup>,石漠化土地中相当一部分是由于人类过度垦殖从坡耕地演化而来的。陡坡耕地率指 > 25°的坡耕地面积占总耕地面积的百分比。贵州人口密集,耕地资源缺乏,全省各地区都有陡坡耕地分布。陡坡耕地反映了人口对耕地的压力,陡坡耕地率越大,土地石漠化的危险性就越高。各危险度等级之间界线参考人口密度界线的确定。指标体系见表 2。

表 2 喀斯特石漠化危险度评价指标体系

Table.2 The evaluation index system of hazard degree in Karst rocky desertification areas

强度等级	坡度 (°)	岩性(泥质含量%)	地貌(切割度/m)	人口密度/(人·km <sup>-2</sup> )	陡坡耕地率(%)
轻度危险性	> 18	30 ~ 70	< 200	> 143	< 7.42
中度危险性	> 20	10 ~ 30	200 ~ 500	> 205	7.42 ~ 13.14
极危险性	> 25	< 10	> 500	> 267	> 13.14

### 4.3 发展速率指标

对石漠化发展速率的评价可以反映一个地区石漠化发展的方向,科学地指导石漠化的预测和防治。发展速率的评价不但有赖于对石漠化现状的认识,还要对石漠化进行连续观测才能获得可靠的数据。从生态环境演化角度的规律看,石漠化过程是喀斯特生态环境从森林逐步退化为裸岩地的逆向演化过程。在自然的内动力机制作用下,这种退化非常缓慢;在脆弱的环境本底上若叠加了人类破坏,这种退化就会急剧加快。但无论有无人类活动参与,石漠化发展最终都会从土地面积的变化反映出来。因此,在指标选取时可尝试选用年石漠化土地增长率和年石漠化土地增长占地率,但具体指标的数量化则要在对连续观测数据认真分析的基础上进行。

### 参考文献:

- [1]张殿发,王世杰,周德全,等.土地石漠化的生态地质环境背景及其驱动机制——以贵州省喀斯特山区为例[J].农村生态环境,2002,18(1):6-10.
- [2]苏维词.中国西南岩溶山区石漠化治理的优化模式及对策[J].水土保持学报,2002,16(5):24-27.
- [3]王世杰,季宏兵,欧阳自远,等.碳酸盐岩风化成土作用的初步研究[J].中国科学(D辑),1999,29(5):441-449.
- [4]袁道先,蔡桂鸿.岩溶环境学[M].重庆:重庆出版社,1988.1-328.
- [5]屠玉麟.贵州土地石漠化现状及原因分析[A].李菁.石灰岩地区开发与治理[C].贵阳:贵州人民出版社,1996.58-70.

- [6]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):101-104.
- [7]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,2002,107-114.
- [8]刘玉平.荒漠化评价的理论框架[J].干旱区资源与环境,1998,12(3):74-82.
- [9]孙武,南忠仁,李保生,等.荒漠化指标体系设计原则的研究[J].自然资源学报,2000,15(2):160-163.
- [10]杨胜天,朱启疆.贵州典型喀斯特环境退化与自然恢复速率[J].地理学报,2000,55(4):459-466.
- [11]姚长宏,蒋忠诚,袁道先.西南岩溶地区植被喀斯特效应[J].地球学报,2001,22(2):159-164.
- [12]张光辉,梁一民.植被盖度对水土保持功效影响的研究综述[J].水土保持研究,1996,3(2):104-110.
- [13]高贵龙,邓自民,熊康宁,等.喀斯特的呼唤与希望[M].贵阳:贵州科技出版社,2003,51-64.
- [14]蔡秋,陈梅琳.贵州喀斯特山区环境特征与生态系统的恢复和重建[J].农业系统科学与综合研究,2001,17(1):49-53.
- [15]王卫东,郑合英.山区丘陵区土地适宜性评价探讨[J].黄河水利职业技术学院学报,1999,11(3):36-39.
- [16]陈法扬.不同坡度对土壤冲刷量影响的实验[J].中国水土保持,1985,(2):18-19.
- [17]何腾兵,解德蕴.贵州旱坡地水土流失状况及其整治[J].贵州大学学报(农业与生物科学版),2002,21(4):280-286.

## A STUDY ON ROCKY DESERTIFICATION EVALUATION INDEX SYSTEM —A Case Study of Guizhou Province

LI Rui-ling<sup>1,2</sup>, WANG Shi-jie<sup>1</sup>, XIONG Kang-ning<sup>3</sup>, LI Feng-quan<sup>1</sup>

- (1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Geochemistry Institute of Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 3. Department of Resource and Environmental Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550002, China)

**Abstract:** The contents of rocky desertification assessment are discussed in detail according to its connotation. It is thought that Karst rock desertification is estimated through three factors including practical status, dangerous degree and rate of development. The choice of evaluation index has four principles, which are systematic, representative, quantitative and easily-acquired of information. The boundary of each index can be set according to the ecological base plan and ecological environment condition in different areas. Evaluation index system of rock desertification has been preliminarily established. The present condition of rock desertification can be reflected by vegetation cover ratio, rock bareness ratio, regolith thickness and vegetation types. The indexes of rock desertification hazard involve the factors of gradient, lithology, physiognomy, sloping field ratio and population density, which reflect society pressure. The indexes of evolvement rate of rock desertification are based on carefully analysis on condition of rock desertification.

**Key words:** Karst rocky desertification; Indices system; Scale; Ecological base

## 中国地理学会第九次会员大会暨学会成立 95 周年大会在津召开

中国地理学会第九次会员大会暨学会成立 95 周年庆祝大会于 2004 年 5 月 21~23 日在天津召开,来自海内外地理界的专家、学者和有关领导逾 300 人出席了大会。这次大会的宗旨是:实现以科学的发展观为指导,促进人与自然的和谐统一,推动自然、经济、社会系统的可持续发展的目标。会上,陆大道理事长作了题为《求真务实,改革创新,全面推进学会与学科发展》的工作报告,以及《学会章程》修改报告等。会议选举产生了中国地理学会第九届理事会,广东省地理学会 8 人当选为理事,2 人为常务理事,中山大学保继刚教授当选为副理事长。大会共有 10 位专家、学者宣读了论文,中国科协地理科学技术研究专题组提交的《2020 年的中国地理科学和技术发展研究》论文很值得一读。

为激励地理科教工作者开拓创新,奋发进取,推动我国地理科学事业的快速发展,大会还进行了表彰。华南师范大学地理系曾昭璇教授为荣获首届“中国地理科学成就奖”的 10 名著名地理学家之一;广东省地理学会被授予“学会工作先进集体”称号;本会陈运光秘书长被授予“优秀学会工作者”;《热带地理》慕容冰副编审被授予“全国优秀地理书刊编辑”。

陈运光(广东省地理学会)