

文章编号: 1000-5692(2005)03-0266-06

喀斯特石漠化内在影响因素分析

王德炉¹, 朱守谦¹, 黄宝龙²

(1. 贵州大学 林学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 南京林业大学 森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037)

摘要: 以大量典型样地调查数据为基础, 采用主成分分析(PCA)、梯度分析和多元线性回归分析相结合的方法, 对影响石漠化的 14 个因子进行了定量分析。结果表明: 植被因子和土壤环境因子的方差贡献率分别为 34.53%和 29.28%, 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。土壤环境因子表征了石漠化在空间上岩性的差异特征, 是石漠化类型的表现指标。图 6 表 2 参 9

关键词: 喀斯特; 石漠化; 内在因素; 贵州

中图分类号: S151; X141 **文献标识码:** A

喀斯特石漠化即石质荒漠化, 是指在我国南方湿润地区碳酸盐岩发育的喀斯特脆弱生态环境下, 由于人为干扰造成植被持续退化, 水土资源流失, 土地生产力下降, 基岩大面积裸露于地表(或砾石堆积)而呈现类似荒漠景观的土地退化过程。石漠化的影响因素, 特别是形成原因和驱动力, 一些文献^[1-6]从不同的角度作了较详尽的阐述, 但由于定量分析较少, 影响因子的主次和作用方式并不十分明确。本文根据在贵州省收集的大量样地调查资料, 从喀斯特土地本身的内在脆弱性出发对此进行了探讨。

1 材料与方法

1.1 研究区自然概况

研究地点选在喀斯特石漠化十分典型的安顺地区(安顺市、普定县和关岭县), 并以目前亚热带上仅存的原生性较强的荔波县茂兰喀斯特森林作为最佳状态对照。

安顺地区位于贵州省中部, 地处 25°22'~27°21'N, 105°14'~107°17'E, 受构造运动影响, 地层破碎, 岩性多样, 碳酸盐岩出露面积 1.17 万 km², 占全地区总面积的 78.9%。地貌类型多样, 峰丛(峰林)洼地或丘陵洼地相互交错, 间有峡谷、溶洞、地下河、天生桥等地貌发育, 自然条件复杂。该区属亚热带气候, 水热充分, 年平均气温 12.7~16.2 °C, 年平均降水量 1 157.2~1 392.8 mm, 降水多集中在夏秋 2 季, 特别是 5—8 月, 其降水量占全年的 55%以上。

荔波县位于贵州高原南部斜坡, 为贵州高原与桂东丘陵的过渡地带, 属中亚热带季风湿润气候, 年平均气温 18.3 °C, 多年平均降水量为 1 320.5 mm。茂兰喀斯特森林区总面积 2.0 万 hm², 全区主要是由纯质石灰岩和白云岩构成的喀斯特地貌, 基岩裸露率在 70%~80%以上, 其浅薄的土层仅见于

收稿日期: 2004-10-12; 修回日期: 2005-03-30

基金项目: 贵州省自然科学基金资助项目(20013033); 贵州省省长人才基金和贵州大学人才基金联合资助项目(2003-04-12)

作者简介: 王德炉, 副教授, 博士, 从事喀斯特环境生态和人工林培育研究。E-mail: delhwang@21cn.com

洼地、谷地底部和石沟石缝中。

1.2 研究方法

在研究区内典型地段, 根据地形地貌相似和地域相近的原则, 按照群落类型、盖度、岩性、基岩裸露程度、坡度等外观特征, 初步判定其退化程度, 以不同的退化程度代替石漠化形成的时间序列或阶段, 调查了 64 个样地(10 m×10 m), 其中荔波样地 8 个, 普定 20 个, 安顺市 12 个, 关岭 24 个。对样地的岩性、小生境种类及数量、小生境的空间大小、植被、土壤厚度、枯落物厚度、土壤面积和石砾含量等因子进行详细实测。各样地除荔波因其地理位置和植被的特殊性与其他样地在地域上有一定差距外, 其余样地分布相对集中, 自然条件基本一致。

草本层生物量用全割法(1 m×1 m 样方)实测, 取样带回实验室 80 °C 恒温烘至恒重, 称干质量。乔木和灌木生物量用公式^[7,8]计算。生物量均只包括地上部分。

小生境按朱守谦^[9]方法分类, 将相对平坦, 有腐殖质或土壤覆盖, 又不足以达到土面生境规格的小生境称石台; 地表平整均一, 土面连续, 砾石堆积的生境称碎石面。

2 结果与分析

以样地资料为实体, 以初步选择的岩性、坡度、坡位、小生境种数、小生境组合、裸岩率、群落类型、乔灌层盖度、群落高度、枯落物总量、群落生物量、石砾含量、土壤厚度和土壤总量 14 个指标为属性, 进行主成分分析(PCA)。结果见表 1。

表 1 14 个变量前 5 个主分量的负荷量

Table 1 The preceding 5 principal component values of 14 factors

变量名	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
岩性 x_1	-0.490 5	0.137 2	0.307 6	0.584 9	-0.407 6
坡度 x_2	-0.028 9	0.603 7	-0.559 1	-0.242 0	0.206 8
坡位 x_3	-0.096 9	-0.330 0	0.717 0	0.069 9	0.537 7
小生境种数 x_4	0.464 2	-0.812 4	-0.005 8	0.056 0	-0.142 5
小生境组合 x_5	-0.472 6	0.754 0	0.211 1	0.125 8	0.067 7
裸岩率 x_6	0.314 0	-0.881 5	-0.076 9	-0.011 1	0.002 6
群落类型 x_7	-0.908 2	-0.335 7	0.051 6	0.120 8	-0.043 1
乔灌层盖度 x_8	0.682 6	0.447 3	-0.108 4	0.275 1	0.205 3
群落高度 x_9	0.911 9	0.248 8	0.091 3	0.134 8	0.068 5
枯落物总量 x_{10}	0.757 2	0.333 0	-0.099 0	0.228 7	-0.219 0
生物量 x_{11}	0.839 6	0.239 7	0.188 3	0.130 4	0.128 1
石砾含量 x_{12}	-0.530 4	0.640 2	0.046 4	0.023 5	0.129 0
土壤厚度 x_{13}	0.594 9	0.052 4	0.462 5	-0.562 0	-0.224 2
土壤总量 x_{14}	0.100 7	0.803 8	0.344 9	-0.323 8	-0.258 8
方差贡献	4.834 3	4.099 6	1.374 9	1.023 6	0.769 9
贡献率 / %	34.53	29.28	9.82	7.31	5.50
累计贡献率 / %	34.53	63.81	73.63	80.95	86.44

从表 1 可知, 第 1 主成分 P_1 的累计贡献率达 34.53%, 其中, 群落高度、群落类型、生物量、枯落物总量和乔灌层盖度的负荷量较大, 它们都是植被子系统的属性因子, 反映了植被子系统对石漠化的影响最大; 第 2 主成分 P_2 方差贡献率达 29.28%, 与石漠化的相关性仅次于 P_1 , 因子负荷量较大的是裸露石面面积(裸岩率)、小生境种数、土壤总量、小生境组合和石砾含量, 主要为土壤环境的属性因子; 第 3 主成分 P_3 中, 坡度、坡位的负荷量较大, 它们代表了地形地貌因子的影响; 第 4 主成分 P_4 中, 岩性和土厚负荷量最大, 基本反映了地质因子。仅从因子贡献率看, 第 1 主成分和第 2 主成分累计达 63.47%, 可见, 植被、土壤及小生境因子的变化对石漠化有着较大影响。

分别以各样地群落高度、群落类型、生物量、枯落物总量和乔灌层盖度为自变量, 各样地在排序

轴 P_1 上的坐标值为因变量, 进行单因素相关分析和多元线性回归分析, 均达到了极显著程度的相关, 进一步证明 P_1 轴表征了石漠化形成的时间过程及其与植被因子的相关性。又将排序轴 P_2 上呈规律性分布的相关因子按同样方法进行单因素相关分析和多元线性回归分析, 它们也达到了极显著程度的相关, P_2 轴表征岩性类型的分异及其相关特征在空间上的变化属性也得到了进一步证明。回归分析结果见表 2。

表 2 P_1 和 P_2 轴坐标值与相关因子的多元回归分析结果

Table 2 Results of multivariate linear regression analysis

因变量	自变量	项 目				
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>F</i> 值	显著水平
P_1	群落高度 x_9	-0.872 593 5	0.311 414 60	0.911 9	306 19	0 01
	群落类型 x_7	1.575 824 0	-0.533 612 30	0.889 0	233 68	0 01
	生物量 x_{11}	-0.604 107 1	0.029 541 82	0.839 6	148 06	0 01
	枯落物总量 x_{10}	-0.610 466 1	0.381 243 50	0.757 2	83 31	0 01
	乔灌层盖度 x_8	-1.109 280 0	2.071 002 00	0.682 6	54 10	0 01
$y = -0.349 - 0.123 25 x_7 + 0.035 966 x_8 + 0.202 86 x_9 + 0.068 75 x_{10} + 0.000 78 x_{11}$						复相关系数 $R = 0.924 6$
P_2	裸岩率 x_6	1.045 632 0	-0.029 556 27	0.881 5	216 17	0 01
	小生境种数 x_4	1.416 758 0	-0.361 245 20	0.812 4	120 33	0 01
	土壤总量 x_{14}	-1.551 919 0	0.223 342 90	0.803 8	113 20	0 01
	小生境组合 x_5	-1.419 482 0	0.321 013 50	0.754 0	81 71	0 01
	石砾含量 x_{12}	-0.615 016 2	0.022 225 31	0.640 2	43 06	0 01
$y = 0.018 07 - 0.125 13 x_4 + 0.010 69 x_5 - 0.010 265 x_6 + 0.002 06 x_{12} + 0.105 28 x_{14}$						复相关系数 $R = 0.927 4$

梯度分析结果表明(图 1~3), 在 P_1P_2 平面上, 植被子系统各属性因子的分布有明显的规律性。

- ▲ 灌草草坡群落 ◇ 灌丛群落 ◆ 高度 < 1 m ○ 高度 1~2 m ◆ < 10 t - 10~30 t
- 乔灌过渡群落 ◆ 灌木群落 ▲ 高度 2~5 m + 高度 5~7 m ○ 30~60 t ▲ ≥ 60 t
- 次生乔林群落 △ 顶极乔林 ● 高度 ≥ 7 m

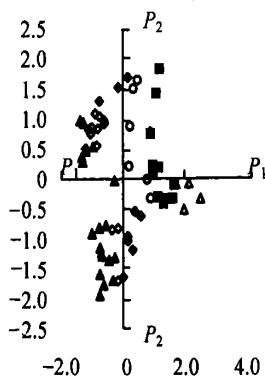


图 1 梯度分析—群落类型在 PCA 排序图上的分布

Figure 1 Community types distributed on PCA taxis figure

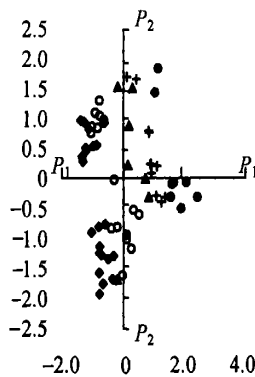


图 2 梯度分析—群落高度在 PCA 排序图上的分布

Figure 2 Community height distributed on PCA taxis figure

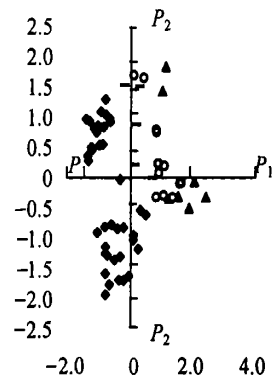


图 3 梯度分析—生物量在 PCA 排序图上的分布

Figure 3 Community biomass distributed on PCA taxis figure

群落类型沿 P_1 坐标轴自右向左依次排列为顶极乔林群落、次生乔林群落、乔灌过渡群落、灌木群落、灌丛群落和灌草草坡群落。群落高度、乔灌层盖度、枯落物总量和生物量等因子也显示同样的分布规律, 因而, 沿 P_1 轴组成了群落的演替系列, 群落类型及其属性因子的不同在同等气候和土壤条

件下反映了演替时间进程的差异。从退化的角度看, 是喀斯特石漠化不同阶段和程度系列的体现。基于 P_1 轴的方差贡献率最大, 有理由认为石漠化形成过程中植被子系统及其属性的变化是最重要的本质特征。换言之, 石漠化过程也就是植物群落退化、高度盖度降低、枯落物数量和生物量减少的过程。它们既是石漠化成因指标, 同时也是石漠化程度的表现指标。

不同植物群落类型具有不同的物种组成和结构, 也就具有不同的生态功能, 特别是在环境的改造和养分的积累方面。在南方温暖湿润的气候条件下, 即使碳酸盐基岩裸露率 80% 以上, 仍能生长茂密的喀斯特森林, 形成一种相对稳定的优越环境, 但这是一种十分脆弱的生态系统, 当生态系统的主体——喀斯特森林受到干扰破坏, 逐渐退化后, 环境朝着干旱化方向发展, 恶劣程度加剧。

群落高度是群落类型的表征因子之一, 它可以从空间上来表示不同群落类型所占据生态空间的大小及所能发挥的生态功能高低。乔灌层盖度是植被盖度的一个替换因子, 它表征了植被对地表的覆盖和保护程度, 同时也表征了植被的生长状况。

枯落物总量的多少受气候条件和群落类型的影响。在气候条件基本一致的情况下, 主要受群落类型的影响。其数值大小一方面反映了植被的生长状况和受干扰程度, 另一方面, 反映了植被对土壤肥力的补充能力, 也即对土壤的改造能力。在喀斯特环境中, 枯落物是形成水分赋存二元结构的关键。碳酸盐岩有着发育完全的节理裂隙, 长期溶蚀形成了丰富的地下管道, 水分渗漏强烈, 大量的枯枝落叶覆盖于地表和填充于裂隙中, 成为主要吸水层, 极大地阻止了地表水的迅速下漏和地表径流的形成, 形成了一种逐渐补充的良性循环。因此, 枯落物成为系统保水能力的重要指标。

在 P_1P_2 平面上, 小生境种数的分布也有明显规律, 即在 P_1 轴的上部小生境种数少(1~2 种), 岩性为白云岩, P_1 轴的下部小生境种数多(3~7 种), 岩性为纯质石灰岩、白云质灰岩和灰质白云岩, 相应的裸岩率、石砾含量和土壤总量等也有类似的规律, 它们都沿 P_2 轴呈增加或减少的趋势(图 4~6)。而小生境种数的多少, 裸岩率高低等特征与碳酸盐岩的岩性紧密相关, 表明不同碳酸盐岩形成的石漠化类型的差异, P_2 轴不仅仅反映了这种类型的分异, 而且还反映了不同的石漠化类型因岩性变化而分布在不同的地域空间。 P_2 轴的方差贡献率达 29.28%, 表明类型的分异也是石漠化的一个重要特征和属性。

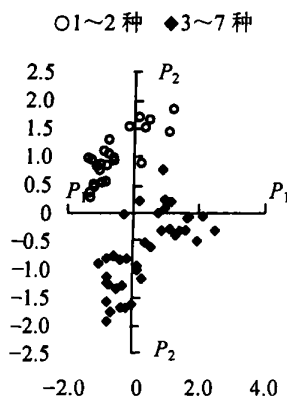


图 4 梯度分析—小生境种数
在 PCA 排序图上的分布

Figure 4 Micro-site kinds distributed
on PCA taxis figure

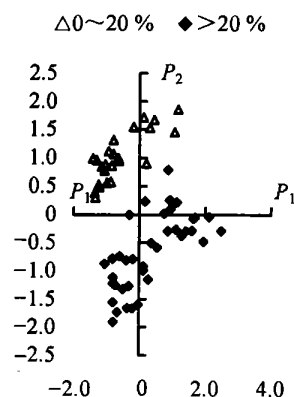


图 5 梯度分析—裸岩率
在 PCA 排序图上的分布

Figure 5 Rate of bare rock distributed
on PCA taxis figure

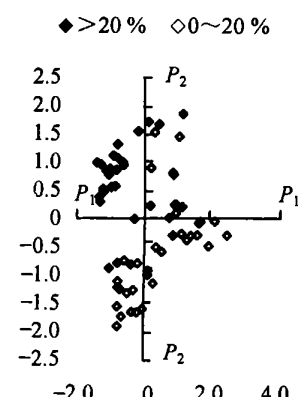


图 6 梯度分析—石砾含量
在 PCA 排序图上的分布

Figure 6 Block volume capacity distributed
on PCA taxis figure

小生境是小尺度的生境, 喀斯特地貌中主要小生境类型有石沟、石面、石缝、石洞、石槽(石坑)、土面^[9]、石台和碎石面 8 种, 是喀斯特地貌的典型特征。小生境种类的多少表明了喀斯特地表生境的复杂程度以及多变程度, 对喀斯特土壤的水分、养分及植物的生长发育都产生着至关重要的影

响。小生境类型组合表明各种小生境的数量比例,体现了生境的质量状况,与石漠化的类型和程度息息相关。

裸露石面面积是石漠化典型的外部标志之一,也是确定石漠化程度的重要依据。正是由于基岩大面积裸露于地表,才形成了复杂的小生境种类和多样的组合,土壤面积相对较少,形成一种干旱瘠薄的恶劣环境,在人为干扰下退化为类似荒漠景观的石质荒漠化。

石砾含量是用单位体积中石砾所占体积的百分比来表示的,是一个相对数据。一般而言,细小的土粒随水流流失量最大,对于粒径较大的石砾基本不流失。当土壤因流水侵蚀而减少时,石砾含量呈相对增加的趋势,随着石漠化程度的发展而增加,在白云岩山体上尤为突出。

土壤总量是土层厚度和土壤面积的函数,是喀斯特地貌土地生产力的决定因子之一。由于喀斯特区成土速度慢,成土量少,因而总体上具有土层浅薄,零星分散,土壤总量少的特点,它与岩石裸露率此消彼长,亦是表征石漠化程度的重要指标。土层厚度对于石漠化的形成和发展有一定影响,即深厚的土层抗侵蚀时间长,当土厚 > 50 cm时,剖面结构一般为A-B-D型,B层土较为黏重,不易流失。从时间上看,土层厚度随着侵蚀时间和侵蚀强度的增加而减少。因此,可以作为侵蚀时间和侵蚀强度的判断因子,而土壤面积表征了植物可利用的土地资源的多少。

3 结论

石漠化是流水侵蚀的结果,其形成的主要原动力是雨水动能和重力势能,称为直接动力或第一性动力。只有当降雨强度较大,雨水在地表汇集成径流时,才使土壤颗粒沿地表发生位移。高差、坡度和坡长提供的势能则使水流加速,冲刷力加大,加剧了土壤颗粒的位移量和速度。生态系统中各成分的属性对水土流失起到促进、加速、叠加或抑制、延缓、缩小的正负作用,从动力学的观点看其实是加大或减小了动力的强度。如喀斯特土壤A-D型的结构,土壤与岩石的光滑接触面,促进了土壤颗粒的位移。喀斯特土壤表面枯枝落叶层则以较大的孔隙度和持水量来减少雨水对土壤表面的冲击而延缓和抑制了土壤颗粒的移动。

人为干扰本质上也是通过改变动力的强度而实现的,称为间接动力或第二性动力。人为干扰改变了土地生态系统,主要是植被子系统的状态,放大或促进了直接动力的作用效应,减弱了自然生态系统对原动力作用效应的抑制和缓冲作用,其结果是加速了石漠化的进程。

因此,强烈发育的喀斯特地貌所形成的脆弱生态系统是石漠化形成的本质内因。整个生态系统由于植被系统结构和生态功能的退化,水赋存的二元结构被破坏甚至消失,喀斯特区水分循环由良性转变为恶性,水土迅速大量流失,形成一种缺水少土的恶劣环境。环境的恶化又限制了植被生长发育,降低了植被保持水土和改造环境等生态功能的发挥,间接促进了石漠化的发展。

通过上述分析,可以得出以下几点结论:

其一,喀斯特石漠化形成过程中,群落类型、群落高度、生物量、枯落物总量和乔灌层盖度等植被因子随着时间的变化而表现出很强的规律性特征,植被系统的退化是整个土地系统退化的主要原因,对石漠化的形成和发展有较大影响,起主导作用,并在时间序列上以植物群落的退化作为外在表现形式。

其二,喀斯特石漠化的形成是多因素综合作用的结果,植被是喀斯特自然生态系统的关键成分,它维系着整个生态系统的环境优劣和水分平衡,使其成为石漠化程度评价及景观表现的重要指标。在石漠化概念定义及相关研究的指标选择上,植被因子应是一个十分重要的因素,仅用岩石裸露率作为石漠化的主要判别特征是不全面的。

其三,小生境种数、裸岩率、土壤总量、小生境组合和石砾含量等因子在时间轴上的变化趋势不明显,而在不同的岩性上表现出很强的规律性特征,揭示了同样地空间因岩性的差异所表现出的石漠化类型特征差异,亦成为石漠化类型划分的特征指标。理论上土壤总量应随着石漠化程度的加剧和土壤侵蚀的增加而减少,但本文未能采用固定观测样地,各样地的基数不同,这种规律未能体现。

定量分析揭示了石漠化形成过程中自然因子的综合作用和主导作用,也揭示了引起类型差异的内

在因子及其组合, 部分因子既是石漠化形成的控制因子, 又是石漠化程度评价的表现指标。研究结果为石漠化类型划分、形成阶段及程度评定等进一步研究奠定了基础。

参考文献:

- [1] 甘露, 万国江, 梁小兵, 等. 贵州岩溶荒漠化成因及其防治[J]. 中国沙漠, 2002, 22(1): 69-74.
- [2] 蓝安军, 熊康宁, 安俗伦. 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] 苏维词, 周济祚. 贵州喀斯特山地的“石漠化”及防治对策[J]. 长江流域资源与环境, 1995, 4(2): 177-182.
- [4] 姚长宏, 杨桂芳, 蒋忠诚. 贵州省岩溶地区石漠化的形成及其生态治理[J]. 地质科技情报, 2001, 20(2): 75-82.
- [5] 张殿发, 王世杰, 周德全, 等. 贵州省喀斯特地区土地石漠化的内动力作用机制[J]. 水土保持通报, 2001, 21(4): 1-5.
- [6] 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. 51-88.
- [7] 朱守谦, 魏鲁明, 陈正仁, 等. 茂兰喀斯特森林生物量构成初步研究[A]. 朱守谦. 喀斯特森林生态研究(II) [C]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1997. 118-127.
- [8] 喻理飞, 朱守谦, 叶镜中, 等. 人为干扰与喀斯特森林群落退化及评价研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(5): 529-532.
- [9] 朱守谦, 何纪星, 祝小科, 等. 喀斯特森林小生境特征初步研究[A]. 朱守谦. 喀斯特森林生态研究(I) [C]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1993. 52-61.

Internal factors influencing Karst rocky desertification

WANG De-lu¹, ZHU Shou-qian¹, HUANG Bao-long²

(1. College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou, China; 2. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: Quantitative analysis of 14 factors influencing Karst rocky desertification were conducted with the methods of principal component analysis and gradient and multiple linearity analysis based on large number of sample data. The results showed that vegetation and soil circumstance were dominant internal factors for Karst rocky desertification, their variance contribution rates being 34.53% and 29.28% respectively. Vegetation factor was significantly related to the stages and process of rocky desertification and indicated the diachronic development of rocky desertification. Factor of soil circumstance was an index of rocky desertification type and indicated the spatial difference of lithology. [Ch, 6 fig. 2 tab. 9 ref.]

Key words: Karst rocky; desertification; internal influencing factors; Guizhou