

黔西南脆弱喀斯特生态环境空间格局分析

兰安军¹, 张百平², 熊康宁¹, 安裕伦¹

(1. 贵州师范大学资源与环境科学系, 贵阳 550001;

2. 中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101)

摘要: 西南喀斯特地区是我国四大生态脆弱带之一。黔西南具有典型的喀斯特生态环境, 是西部大开发中生态环境的重点治理区。长期以来, 由于人类不合理的开发利用使得喀斯特地区出现了严重的土地石漠化、土壤侵蚀以及森林生态系统退化等生态问题, 制约着地区生态-经济的持续发展。本文根据已有的研究成果, 在 GIS 技术的支持下, 分析了研究区内主要生态退化问题的现状和空间格局及其影响因素, 运用空间叠加分析功能, 构建了生态脆弱度指标, 并将研究区分为四个亚区, 为生态环境治理提供科学依据。

关键词: 喀斯特; 石漠化; 土壤侵蚀; 空间格局

中图分类号: P642.252; X171.1 **文章编号:** 1000-0585(2003)06-0733-09

中国西南部是世界三大喀斯特集中分布区之一的东亚片区的核心部分, 世界喀斯特发育的许多理论问题都有待于这一地区喀斯特的研究成果而得到解决^[1]。贵州地处西南喀斯特分布的中心, 在碳酸盐岩广泛分布的地质环境和亚热带湿润季风气候背景下, 全省 176167km²的土地上, 喀斯特地貌出露面积占 61.9%^[2], 属我国乃至世界亚热带锥状喀斯特分布面积最大、发育最强烈的一个高原山区。由于喀斯特具有多相多层复杂界面体系^[3], 环境界面变异敏感度高、环境容量低、稳定性差、承灾能力低等特征, 喀斯特与黄土、沙漠、寒漠并列为我国四大生态环境脆弱区。环境的脆弱性和易伤性, 加上不合理的人为活动影响, 致使喀斯特生态环境不断恶化, 出现一系列严重环境退化问题, 如森林生态系统退化、土地石漠化、土壤侵蚀等, 已引起了政府部门的重视。学术界也正在进行针对喀斯特环境退化的研究并取得了诸多成果, 主要集中在三个方面: 喀斯特生态环境发育演化理论研究, 如 1992 年开始实施的国际喀斯特对比研究项目^[4~6]; 自然资源与主要生态问题现状调查, 如贵州省国土部门 2000 年《国土资源遥感调查》、水利部门 1995 年、2000 年《土壤侵蚀遥感调查》、2000 年《石漠化遥感调查》、环保部门 2001 年实施的全省《生态功能区划与规划》等项目; 小流域或典型示范区退化生态环境恢复与重建^[7~9], 如贵州花江峡谷与普定后寨河流域脆弱生态环境治理对比研究(贵州九五、十五攻关项目)等, 这些研究成果, 为喀斯特地区生态环境治理提供了强有力的理论支持和实践经验。

空间格局变化是研究生态退化的一个核心问题, 传统的研究方法由于技术上的限制, 很难获取连续的空间数据, 而多以离散的点上数据作支撑, 在很大程度上限制了空间格局的精度和空间差异规律的揭示。本文在已有研究成果的基础上, 应用地理信息系统 (GIS)

收稿日期: 2003-04-05; 修订日期: 2003-09-24

基金项目: 贵州省跨世纪人才专项基金项目 [(2000) 9808] 资助

作者简介: 兰安军 (1974-), 男, 贵州瓮安县人, 讲师。主要从事岩溶环境遥感与地理信息系统研究。E-mail: laj74@163.com 或 laj74@sina.com.

空间分析功能,进行空间数据的挖掘和有效信息的提取,重点分析区域内各生态环境问题的空间差异和空间格局组合问题,为生态环境管理和开发治理工程提供数据支持。

1 概况

黔西南布依族苗族自治州地处贵州省西南隅(图1), $104^{\circ}31' \sim 106^{\circ}32' E$ 和 $24^{\circ}37' \sim 26^{\circ}11' N$,是贵州省所辖三个少数民族自治州之一,辖兴义、兴仁、安龙、普安、晴隆、贞丰、册亨、望谟共8个县市,兴义市为州府所在地。土地面积 1.68万 km^2 ,约占全省面积的9.5%。全区2000年人口达286万人,平均人口密度为 $176 \text{人}/\text{km}^2$,是全省平均人口密度 $213 \text{人}/\text{km}^2$ 的83%^[10]。其中望谟、册亨、贞丰、安龙是我国南方布依族的聚居地之一。87.9%的人口从事农业生产,农业生产结构单一,耕作粗放,人民生活贫困,目前普安、晴隆为国家级贫困县,是贵州典型的贫困地区,人地矛盾突出。区内大部分地区森林覆盖率小于5%,石漠化、土壤侵蚀严重,并表现为多种生态问题的叠加和组合。

本文以遥感影像为基本信息资料,进行野外样区实验,建立土地利用、土地石漠化、土壤侵蚀、森林资源等专题信息的遥感解译标志。应用ArcInfo8.1、ERDAS IMAGINE 8.4等软件,在地质、地形地貌、土壤等多要素相关分析的基础上,进行人机交互判读,开展土地利用、喀斯特石漠化、土壤侵蚀等生态问题的遥感影像解译,获得相应的专题GIS空间数据库。分析喀斯特特有的地域分异规律,采用统一的空间坐标参考体系,用1:50000精度的区域地质、地貌、DEM、土壤等图层与所获得的专题图层进行空间叠加分析,进一步揭示研究区生态退化程度、地区差异和空间组合。数据来源主要有1996和2000年LANDSAT TM (ETM)影像(比例尺:1:100000),1:50000地形图、行政区划图、土地利用现状图、地质图、地貌图、DEM、土壤图以及各种文字、统计图表等辅助资料。

2 黔西南喀斯特空间生态格局的主要影响因子

生态退化机制是一个极为复杂的问题,其影响因子,按来源可分为两大类:一类是地质、地貌、气候、土壤等自然要素形成的脆弱生态背景,这是生态环境极易发生退化的内因;另一类是人类不合理的行为方式,如毁林开荒、乱砍乱伐、落后的耕作措施、不合理的产业结构等等,是生态退化的外因,是启动环境退化机制的动力源。

地质基础 受新构造运动控制,黔西南一直处于不断的抬升过程中,地质构造复杂,出露的岩层组有66组之多,主要有安顺组、关岭组、垄头组、许满组、嘉陵江组、边阳组等,岩性为灰岩、白云岩、砂岩、页岩、泥岩及各岩组的相互间杂组合。可溶性的碳酸盐岩广泛出露,是形成区域生态环境因子空间差异的物质基础,地表出露岩石的不同导致了植被、土壤等其他生态因子的差异明显。

地形地貌因素 黔西南属珠江流域西江上游的南、北盘江水系,为云贵高原南部偏东



图1 黔西南略图

Fig. 1 A sketch map of Southwest Guizhou

的斜坡地带。地势西北高东南低，最高点为兴义七舍九龙山，海拔 2207m，最低点在红水河出界处，海拔 275m，南北地势高差近 2000 m。地貌空间组合特征鲜明，北部的普安—晴隆一带为北盘江及其支流深切的溶蚀侵蚀山地—河谷坝子，贞丰—兴仁—安龙—兴义一线为低山、低中山、丘陵组成的喀斯特高原地貌，南北盘江沿江一带以侵蚀山地—峡谷地貌为主，望谟一带中山、低山、丘陵与河谷盆地相间，组成侵蚀山地—谷地地貌。因河流切割影响，从分水岭到邻近深切河谷区，地貌更替明显，在溶蚀区为峰林盆地（谷地）—峰丛洼地—峰丛山地；在侵蚀区为高原丘陵—侵蚀山地—侵蚀峡谷^[11]。总体来看，全区地面切割破碎，山地、谷地、丘陵、盆地、河谷坝地镶嵌配列，构成镶嵌地貌景观，不同的地貌类型区，其生态问题差异较大。从石漠化、土壤侵蚀、森林退化的空间格局及其组合来看，在形成生态环境的区域差异过程中，地貌的空间结构起着显著的控制作用。

植被因素 森林覆盖率的高低以及森林生态系统结构和功能的优劣，是区域生态环境质量的重要标志^[12]。喀斯特作用对森林产生深刻的影响，构成非地带性的隐域植被，形成特有的演化过程，在气候湿润的喀斯特地区，未经受人为破坏前，大多覆盖着茂密的森林，如荔波县茂兰喀斯特原始森林，至今保留完好。但是，喀斯特森林生态系统抗干扰能力弱，当人为干扰存在时，极易发生逆向演替，演替过程为：喀斯特森林—常绿落叶灌丛—藤刺灌丛（草坡）—裸岩地表，且逆向演替迅速而正向演替却相对漫长，植被一旦破坏就极难恢复，由于人类的长期破坏，森林景观退化为次生灌草丛或裸露的石漠景观。

土壤因素 土壤是决定土地利用方式的先决条件，耕地、森林的分布，受土壤因素的严格控制。在对生态环境的影响方面，除土壤类型、土壤肥力外，土层厚度也是一个重要的因素。在非碳酸盐岩的砂页岩分布区，存在厚层风化壳，土层厚度达几米至几十米，很少出现基岩裸露的情况，这是为什么该地区石漠化问题不及喀斯特地区的主要原因。但因土层较厚，常大量开垦为耕地，如果地形起伏，坡度较大，坡耕地甚至是陡坡耕地大量存在，成为土壤严重侵蚀区，如本区南部的砂页岩地区。而在喀斯特地区，有特殊的土壤属性：成土过程慢，成土速率为 0.31~2.47cm/1 万年，区域土壤处于负增长状态；土层薄，主要是土壤熟化程度不高的岩性土类——石灰土或粘性大的红、黄壤，土被分布不连续，且厚度常小于 35cm；土壤物理性状差，土石间存在着明显的软硬界面，土石粘着力差，遇暴雨极易产生土壤侵蚀和大量的块体滑移，使得成土难，而保土更难^[13]。

气候因素 区内主要是东南季风和西南季风共同影响的亚热带季风气候，年降水量在 1250~1600mm 之间，且多集中在夏季，以暴雨形式居多。但由于研究区的面积较小，区内差异不明显，在分析生态空间格局差异时，可将其视为均质的外营力条件。

人类活动的影响 贵州是全国严重的人口超载区^[14]，由于沉重的人口压力，有限的自然资源受到掠夺性的开发，毁林开荒，盲目扩大耕地面积，森林生态系统退化，植被锐减，土地利用结构严重失调，必然导致土壤侵蚀、石漠化等生态问题的发生和加重，人—地矛盾更加尖锐，形成“人口增加—生活贫困—掠夺开发—生态恶化”的恶性循环。半个世纪以来，黔西南人口增长了 1.6 倍（图 2）。人口的迅速增长，在这样一个经济欠发达、以种

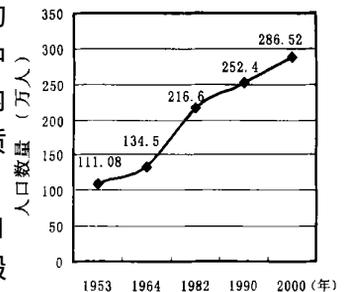


图 2 黔西南人口增长
Fig. 2 Population growth in Southwest Guizhou

植业为主的山区，毁林开荒、陡坡耕种等不合理利用方式必然导致诸多生态退化问题，土地垦殖率 90 年代初达 20.27%，90 年代末发展到 23.00%。水土流失面积比例由 50 年代的 14.2% 发展到 60 年代的 19.9%，80 年代中后期猛增到 43.5%，虽经过十多年的治理，到 90 年代末仍高居不下，达 36.27%。就全区来看，人口分布不均，南部的册亨、望谟人口密度约为全区人口密度的 1/2，南部的安龙人口密度也相对要小，因此北部、中部人口压力导致的环境恶化程度和恶化速率比南部要大得多。

3 主要生态问题的空间格局分析

黔西南特殊的地理位置使其具有珠江上游的生态屏障作用，重建良好的生态环境，对保证珠江中下游地区的生态安全有着重要的意义。从遥感调查的结果来看，全区生态环境现状极为严重，加强治理工作势在必行。

3.1 土地利用结构与空间格局

土地利用的空间格局是自然因素与人类活动共同作用的结果，在很大程度上反映了区域生态环境质量，土地利用结构的失衡和土地功能的退化是生态环境恶化的重要标志。根据《国土资源遥感综合调查工作意见》以及我国现行的土地利用分类体系^[15]，将研究区土地类型分为耕地、园地、林地、牧草地、居民点和工矿用地、交通用地、水域和未利用地 8 大类，并根据区域特点，将耕地进一步划分为水田和旱地。利用遥感和 GIS 技术，查清了 2000 年全区土地利用结构（图 3）及其空间分布（图版

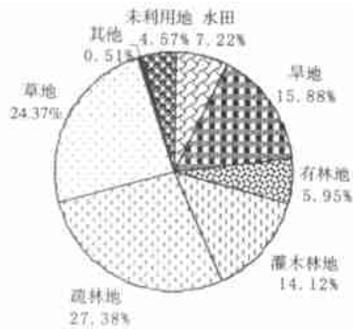


图 3 2000 年黔西南土地利用结构

Fig. 3 Land use structure in Southwest Guizhou

1, 图 4)。各类土地利用中，耕地占 23.10%，其中水田占 7.22%，多分布在中部的贞丰—安龙—兴义一线的喀斯特山间盆地和高原台面上以及北部水热丰富的河谷地带，南部有零星分布，旱地占 15.88%，在全区均有分布，但图斑破碎，呈“插花状”散布各地，因受构造抬升，地表强烈切割，地面起伏大，少有成片的宜农耕地，耕地集中在山体之间的相对低矮地带，多为坡耕地甚至陡坡耕地，耕地质量差，退化严重。林业用地占 47.45%，但覆盖度高、生物量大的林地仅占 5.95%，集中分布在南部的砂页岩切割山地，除南部的册亨和望谟县，其余 6 县市与黔中安顺市连成一片，成为全省的“无林区”，在碳酸盐岩出露的喀斯特区，森林极为稀少。而作为次生植被的灌木林和稀疏灌丛，则占了 41.5%，森林覆盖率极低而次生灌草丛比例较高，使得森林对区域生态环境优化作用十分微弱。草地占 24.37%，特殊的喀斯特环境使得利用价值较高的草地极少，而多为植被严重退化后的次生草坡。未利用地占 4.57%，对于该区来说，未利用地实为难利用地，在人口压力的驱动下，20 世纪 80 年代初兴起了开荒热潮，能开垦的土地几乎都已开垦，而现存的未利用地实为已无利用可能的裸岩石山地或后期土地退化后的弃耕地。此外，水体、建筑用地所占比例极小，均不到 1%，但不断发展的城镇化建设正在以优良耕地的减少为代价。

3.2 喀斯特土地石漠化

石漠化是土地荒漠化的一种，按作用营力属水蚀荒漠化。在我国主要发生在西南喀斯特地区，主要是指喀斯特石漠化。由于在喀斯特脆弱生态环境下，人类不合理的社会经济活动，造成人地矛盾突出、植被破坏、水土流失、岩石逐渐裸露、土地生产力衰退丧失，地表呈现石漠景观的土地退化过程^[16]。世界喀斯特地区，如美国肯塔基州、英格兰北部约克郡、越南西北部、印度尼西亚 Yogyakarta 省的爪哇岛南部沿岸等地均存在不同程度的石漠化，但由于区域人口压力、土地资源开发利用方式上的差异，中国西南地区表现得更为严重，尤以贵州为最（图版 1，图 5），其石漠化面积之广、退化程度之深为其他地区所远远不及，使得喀斯特石漠化问题又具有鲜明的地域性特征。石漠化是发生在地球表层特定“空间域”的土地退化，自然背景和人地关系的中小尺度差异，使其空间格局和时间演化分异明显。按石漠化等级划分依据和原则，采用基岩裸露率和植被 + 土被覆盖率，将石漠化强度等级划分为 5 个类型（见表 1），并建立了石漠化遥感解译指标体系^[17]，以 2000 年 TM 遥感影像为核心资料，获取了石漠化空间分布的 Arcinfo Coverage 专题数据。

遥感解译得到全区石漠化强度（表 2）和空间分布（图版 1，图 6），轻度以上石漠化土地占总面积的 27.63%，高出全省平均数（20.89%）6.74 个百分点，仅次于六盘水市（36.43%）、安顺市（35.13%）、黔南州（28.13%），居全省第四位。其中，中度石漠化土地 1619.49km²，强度石漠化土地达 886.9km²。从石漠化土地的空间分

布看，轻度石漠化以上所占面积百分比依次为：兴义 42.6%，安龙 40.4%，兴仁 40.3%，晴隆 36.7%，普安 32.9%，贞丰 30.5%，望谟 6.48%，册亨 6.42%。已基本丧失了利用价值的强度石漠化土地，超过 5% 的有兴仁 8.8%，安龙 8.0%，兴义 7.21%，晴隆 5.96%，普安 6.3%，贞丰 5.1%。潜在石漠化土地指具有石漠化发育的背景条件，如果人地关系继续恶化，极易发展为石漠化的土地，指示了石漠化的潜在威胁，这一类型各县也占有很大比例。总的来看，全区除望谟、册亨石漠化较轻外，其他各县均为石漠化严重的退化区，形势严峻。

表 1 喀斯特石漠化强度划分指标

Tab. 1 Classification of rock desertification

强度等级	基岩裸露 (%)	植被 + 土被覆盖率 (%)
无石漠化	<40	>70
潜在石漠化	>40	50 - 70
轻度石漠化	>60	35 - 50
中度石漠化	>70	20 - 35
强度石漠化	>80	10 - 20

表 2 黔西南土地石漠化强度

Tab. 2 Rock desertification in Southwest Guizhou

县市	无石漠化		潜在石漠化		轻度石漠化		中度石漠化		强度石漠化	
	面积 (km ²)	百分比 (%)								
兴义	1371.92	47.07	301.02	10.33	664.09	22.793	67.38	12.6	210.18	7.21
兴仁	879.56	49.3	184.86	10.36	247.21	13.86	315.26	17.67	156.99	8.8
普安	804.74	56.3	154.35	10.8	241.5	16.9	138.78	9.71	89.98	6.3
晴隆	698.25	52.7	141.08	10.65	185.23	13.98	221.35	16.71	78.99	5.96
贞丰	966.29	64.02	83.33	5.52	213.82	14.17	170.48	11.3	75.41	5.1
望谟	2799.89	93.18	10.01	0.33	47.67	1.59	89.62	2.98	57.46	1.91
册亨	2271.24	87.36	161.9	6.23	71.29	2.74	55.87	2.15	39.7	1.53
安龙	775.2	34.66	557.31	24.92	465.22	20.8	260.75	11.66	178.23	7.97
合计	10567.1	62.89	1593.86	9.49	2136.03	12.71	1619.49	9.64	886.94	5.28

3.3 土壤侵蚀

黔西南所处的长江珠江上游分水岭地带属于强烈土壤流失区, 严重性仅次于黄土高原剧烈流失区^[18]。强烈的土壤侵蚀使得石漠化严重的脆弱生态环境又添了一大难以治愈的痼疾, 成为区域环境恶化的又一特征。

表 3 黔西南土壤侵蚀现状

Tab. 3 Soil erosion in Southwest Guizhou

单位: km²

县(市)	土地总面积	土壤侵蚀面积		各级土壤侵蚀强度面积				
				微度	轻度	中度	强度	极强度
		面积	%	面积	面积	面积	面积	面积
兴义	2914.89	1001.73	34.27	1913.15	438.12	435.04	115.08	13.50
兴仁	1783.87	743.05	41.65	1040.83	377.72	299.99	65.34	0
普安	1429.9	620.21	43.39	809.3	242.66	297.22	80.33	0
晴隆	1324.9	510.34	38.52	814.56	172.46	251.79	86.09	0
贞丰	1509.32	696.84	46.17	812.49	277.11	404.53	15.2	0
望谟	3004.67	1299.03	43.23	1705.64	844.42	423.06	31.55	0
册亨	2600.03	680.68	26.18	1919.35	610.96	58.22	11.49	0
安龙	2236.73	542.75	24.27	1693.98	467.41	68.63	6.71	0
黔西南州	16803.92	6094.65	36.27	10709.75	3430.87	2238.51	411.77	13.50
全省合计	176167.60	73180.01	41.54	102987.59	41416.30	22424.44	8016.86	1322.41

参照全国土壤侵蚀第二次遥感调查的分类标准^[19], 采用与石漠化遥感解译同期的遥感影像, 将黔西南土壤侵蚀划分为微度侵蚀 ($< 200 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)、轻度侵蚀 ($200 \sim 2500 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)、中度侵蚀 ($2500 \sim 5000 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)、强度侵蚀 ($5000 \sim 8000 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)、和极强度侵蚀 ($> 8000 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) 共 5 级, 获得研究区 1:100000 精度要求的土壤侵蚀数据 (表 3, 图版 1 图 7)。研究结果表明, 全省发生轻度以上侵蚀的面积约 73180.01 km², 占土地总面积的 41.54%, 呈北强南弱、西强东弱的空间相对格局, 侵蚀面积比例超过全省平均流失程度的区域有西部的毕节地区 (58.98%) 和六盘水市 (52.75%), 东北部的铜仁地区 (52.65%), 北部的遵义市 (41.70%)。黔西南的流失情况相对全省而言处于中等流失水平, 轻度以上流失面积约为 6094.65 km², 占区域总面积的 36.27%, 区内差异不明显, 除南部的册亨 (26.18%) 和安龙 (24.27%) 较小外, 其它各县均有一定程度的流失, 其中贞丰县 (46.17%) 为全区最高。另外, 望谟 (43.23%)、普安 (43.39%)、兴仁 (41.56%) 也超过全省平均侵蚀水平。如不考虑行政边界, 则表现为在特定自然背景下的相对集中分布状态。由于喀斯特的特殊性, 这看似不重的土壤侵蚀, 实际上已远远超过了脆弱环境的承受能力, 在侵蚀发生相对集中的地区, 土地资源的退化为地区农业生产发展套上了沉重的负担。

4 生态退化格局空间组合分析

通过以上分析, 可以看出, 在自然背景差异和人类活动的驱动下, 黔西南地区的土壤侵蚀、石漠化和森林生态系统退化在不同区域上呈现相互叠置、交错和相间分布多种状态。但不同的人口压力、开发利用方式、地质基础和地形地貌格局所导致的区内生态退化类型和脆弱程度的空间差异显著。

为了准确地解析环境脆弱程度和空间差异, 综合分析各影响因素及其影响机制, 参考

其他学者在生态区划方面的研究成果^[20~22]，在综合性、主导因素和相对一致性三原则下，考虑区域的完整性，确定出区域分异边界，将石漠化、土壤侵蚀、土地利用数据库进行空间叠加分析，其中土地利用图层主要用来提取森林生态系统退化信息，得出区内空间生态格局组合图和各区生态退化类型和强度值（表4）。

表4 各亚区生态格局组合与生态脆弱度

Tab. 4 Ecological fragility of sub-regions

生态脆弱度(<i>I</i>)	生态退化区	石漠化		土壤侵蚀		林地覆盖	
		面积 (km ²)	占区内面积 % (<i>I</i> ₁)	面积 (km ²)	占区内面积 % (<i>I</i> ₂)	面积 (km ²)	占区内面积 % (<i>I</i> ₃)
64		973.99	31.64	1326.15	43.08	336.95	10.95
51		3401.85	47.82	1831.57	25.74	1574.93	22.14
27		194.73	8.48	1054.43	45.94	629.78	27.44
26		71.47	1.66	1882.44	43.62	830.95	19.25

注：考虑到植被对良好生态环境的指示作用，林地覆盖指标只取有林地和灌木林地。

各亚区的生态退化程度，用生态脆弱度 *I* 表示，为石漠化面积比例加上土壤侵蚀面积比例，减去林地覆盖率，即

$$I = I_1 + I_2 - I_3$$

根据 *I* 值的大小，将生态脆弱程度分为轻度脆弱型 ($I < 20$)、中度脆弱型 ($20 < I < 40$)、强度脆弱型 ($40 < I < 60$)、极度脆弱型 ($60 < I < 80$) 和毁坏型 ($I > 80$) 五类。对应黔西南有一个极度脆弱区 ()，一个强度脆弱区 ()，两个中度脆弱区 (、)。根据生态退化类型和恶化程度和将全区分为四个亚区(图版1图8)。分析各亚区情况如下：

区 面积约 3078.52 km²，占全区总面积的 18.32%，范围包括普安、晴隆两县和兴仁北部地区。受“山”字型地质构造的控制，碳酸盐岩和非碳酸盐岩相间分布，地貌多溶蚀侵蚀山地—河谷坝子，并从西向东有序变化。该区是整个黔西南生态退化最严重的地区，石漠化面积达 31.64%，土壤侵蚀面积为 43.08%，严重的石漠化与土壤侵蚀在空间上相互叠加，林地稀少，林地覆盖率仅为 10.95%，生态脆弱度最高，为 64，治理难度大，是生态环境治理的重点区。

区 面积 7114.52 km²，分布面积广泛，占全区总面积的 42.34%，范围主要包括贞丰北部，兴仁、兴义、安龙三县的大部分地区以及册亨北部，从东至西横贯黔西南中部广大地区。碳酸盐岩广泛出露，喀斯特地貌发育，多峰林盆地、峰林槽谷、峰丛洼地地貌，为典型的喀斯特高原。石漠化问题在各区中尤为突出，发生面积占总面积的 47.52%，土壤侵蚀面积达 25.74%，相对其他各区较轻，但流失后果影响深重，有一定程度的林地覆盖，在全区为中等水平。生态脆弱度达 51，是全区生态退化较严重区，最主要是石漠化问题。

区 面积约 2295.16 km²，占总面积的 13.66%，主要包括望谟县的东部地区，是唯一未跨县界的区域。区内东部有一质纯的石灰岩出露地带，出现严重的石漠化，其余大部分地区为砂页岩，局部地段夹有灰岩，石漠化不明显。地貌主要是常态侵蚀山地—谷地组合，表现为中山、低中山和河谷盆地等形态。林地覆盖在全区最高，为 27.44%，因地形切割破碎，土壤侵蚀严重，达 45.94%，生态脆弱度为 27，水土流失治理是该区的首要任务。

区 面积为 4315.7 km²，占全区总面积的 25.68%，范围包括册亨大部分地区、贞

丰南部、望谟东部、兴义和安龙南端，为南北盘江沿江地带，以侵蚀山地—峡谷地貌为主。生态脆弱度为 26，林地覆盖为 19.25%，石漠化不明显，仅为 1.66%，而土壤侵蚀面积达 43.62%，是该区的主要生态问题。区内人口相对稀少，人口压力小，积极实施退耕还林工程，大力提高森林覆盖率，有重点地进行水土流失工程治理，生态环境的改善相对其他区域较易实现。

5 结论

(1) 贵州喀斯特为热带、亚热带喀斯特，是世界喀斯特最发育的地区，喀斯特导致的生态问题也最典型。脆弱的环境背景叠加了人类的不合理利用，在黔西南突出表现为：植被破坏及其结构和功能的退化，有林地面积仅为总面积的 5.95%；土地利用结构不合理，耕地面积占 23%，这与平坝地面积仅为 5%的喀斯特山区严重不协调；石漠化严重，发生面积达 27.63%；土壤侵蚀居高不下，发生明显侵蚀的面积达 36.27%，多种问题共同造成了区域生态环境的严重退化。

(2) 黔西南严重的生态退化问题既有喀斯特生态环境的共性，又表现出较大的区内空间格局差异。运用 GIS 空间叠加分析方法，采用生态脆弱度指标，将黔西南分为 4 个生态脆弱区，揭示出生态脆弱程度的空间差异及其生态问题的空间组合，并获得各生态问题的 GIS 数据库，进行深入的空间数据挖掘与信息提取，为生态恢复与治理提供详实的专题数据资料。

(3) 通过对黔西南空间生态格局的主要影响因子分析得出：石漠化、土壤侵蚀是最突出的生态问题，森林植被与土壤是退化的重要标志；广泛出露的碳酸盐物质为喀斯特生态退化提供了物质基础，喀斯特地貌景观，对空间生态格局起到了控制作用；而人口压力下不合理的人类活动则是最重要的外力驱动，因此，喀斯特生态环境的恶化，是区域人—地矛盾严重对立的结果，人是这一矛盾的核心，生态环境的治理取决于人类破坏行为的停止和改良行为的实施。

参考文献：

- [1] Sweeting M M. Karst in China: its geomorphology and environment. New York: Springer, 1995.
- [2] 贵州省区域地理信息项目领导小组. 贵州省地理信息数据集. 贵阳: 贵州人民出版社, 1996.
- [3] 杨明德. 论喀斯特地貌地域结构及其环境效应. 见: 贵州喀斯特环境研究. 贵阳: 贵州人民出版社, 1998. 19~25.
- [4] 宋林华. 喀斯特地貌研究进展. 地理科学进展, 2000, 19(3): 193~202.
- [5] 苏维词, 等. 贵州喀斯特山区生态环境脆弱性分析. 山地学报, 2000, 18(5): 429~432.
- [6] 刘在华, 袁道先, 等. 不同岩溶动力系统的碳稳定同位素和地球化学特征及其意义. 地质学报, 1997, 71(3): 281~288.
- [7] Cai Yunlong. Ecological and socio-economic rehabilitation in the karst of Southwest China. The Journal of Chinese Geography, 1997, 7(2): 13~26.
- [8] 杨胜天, 朱启疆. 贵州典型喀斯特环境退化与自然恢复速率. 地理学报, 2000, 55(4): 459~466.
- [9] 喻理飞. 退化喀斯特森林自然恢复的生态学过程研究. 贵州大学博士论文, 1998.
- [10] 贵州省统计局. 贵州省统计年鉴 2000. 北京: 中国统计出版社, 2001.
- [11] 陈建康. 贵州地貌环境与旅游. 北京: 地质出版社, 2000.
- [12] 《贵州森林》编辑委员会. 贵州森林. 北京: 中国林业出版社, 1992.
- [13] 白占国, 万国江. 贵州碳酸盐岩区域的侵蚀速率及环境效应研究. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(1): 1~7.
- [14] 刘燕华, 王强. 中国适宜人口分布研究. 中国人口·资源与环境, 2001, 11(1): 34~45.

- [15] 刘纪远. 中国资源环境遥感宏观调查与动态研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1996.
- [16] Yuan Daoxian. Rock Desertification in the Subtropical Karst region of South China. Karst Dynamics Laboratory and Network Center of Guangxi Normal University, 1999.
- [17] 熊康宁, 等. 喀斯特石漠化的遥感- GIS 典型研究. 北京: 地质出版社, 2002.
- [18] 刘国华, 傅伯杰, 等. 中国生态退化的主要类型、特征及分布. 生态学报, 2000, 20(1): 13 ~ 19.
- [19] 周忠发, 安裕伦. 贵州省水土流失遥感现状调查及空间变化分析. 水土保持通报, 2000, 20(6): 23 ~ 25.
- [20] 张百平, 等. 中国西部山地发展的一般模式. 山地学报, 2002, 20(4): 394 ~ 399.
- [21] 朱宗元, 等. 阿拉善荒漠区的景观生态分区. 干旱区资源与环境, 2000, 14(4): 37 ~ 48.
- [22] 傅伯杰, 刘国华, 等. 中国生态区划方案. 生态学报, 2001, 21(1): 1 ~ 6.

Spatial pattern of the fragile karst environment in southwest Guizhou province

LAN An-jun¹, ZHANG Bai-ping², XIONG Kang-ning¹, AN Yu-lun¹

(1. Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: The karst areas in Southwest China constitute one of four fragile eco-zones in China. Southwest Guizhou, characterized by typical karst landscape and environment, is one of the major regions for rehabilitation in West China. For a long time, human activities have led to serious rock desertification, soil erosion and forest ecosystem degradation in the study region, and have exerted adverse effect on regional economic development and ecology. This paper analyzes ecological degradation, its spatial pattern and the related driving factors in southwest Guizhou province.

Rock desertification and soil erosion are the most serious ecological problems in southwest Guizhou, closely related to forest and soil degradation. The karst landform pattern generally controls the ecological pattern, while population pressure and the resulting unreasonable human activities serve as the most powerful driving forces for environmental degradation. Consequently, the regional man-land contradiction is responsible for the deterioration of karst environment, with man as the core of the contradiction. The rehabilitation of the deteriorating environment consists of two aspects, i. e., stopping human destructive activities and carrying out improvement measures.

Based on GIS analysis, the degree of ecological fragility (I) is given according to the equation:

$$I = I_1 + I_2 - I_3$$

where I_1 is the ratio of rock-desertified area, I_2 the ratio of soil eroded area, and I_3 the forest coverage. The study region is divided into four sub-regions in terms of the value of I : one extremely fragile sub-region ($I = 64$), one seriously fragile sub-region ($I = 51$), and two moderately fragile sub-regions ($I = 27, 26$, respectively). This provides a framework for management of regional ecology and environment in southwest Guizhou.

Key words: karst; rock-desertification; soil erosion; spatial pattern

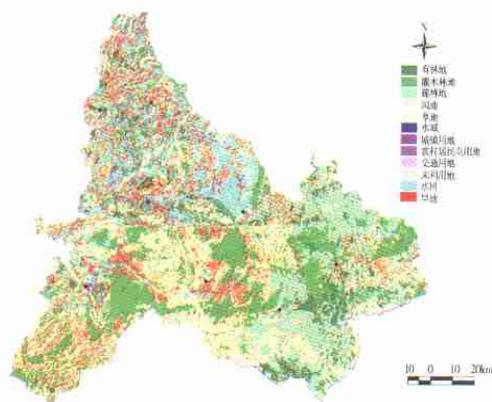


图4 黔西南土地利用(2000)

Fig.4 Land use in Southwest Guizhou

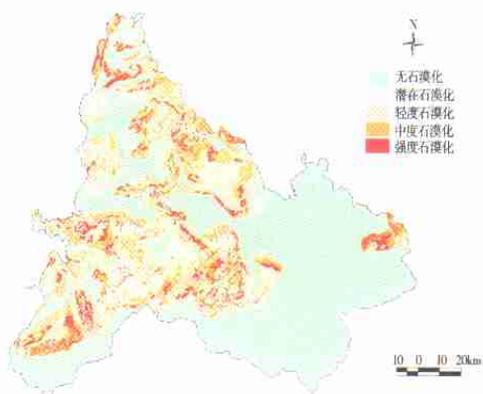


图6 黔西南石漠化空间分布

Fig.6 Rock desertification in Southwest Guizhou

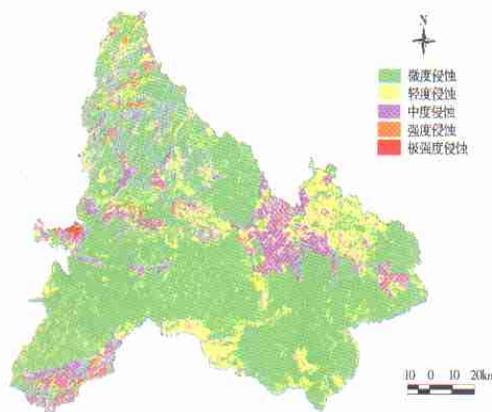


图7 黔西南土壤侵蚀空间分布

Fig.7 Soil erosion in Southwest Guizhou

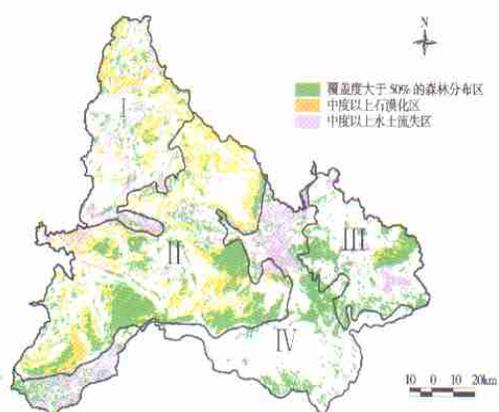


图8 黔西南环境脆弱度分区

Fig.8 Fragility regions in Southwest Guizhou



图5 喀斯特石漠化景观(北盘江峡谷)

Fig.5 Rock desertification in Beipan River gorge