

文章编号: 1001-1498(2008)06-0761-07

近 30 年来粤北岩溶山区石漠化土地景观动态分析

张素红¹, 李森², 王金华³, 郝俊民¹, 吴波^{1*}

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091;

2. 佛山大学资源与环境科学研究所, 广东 佛山 528000; 3. 佛山市顺德区容山中学, 广东 佛山 528303)

摘要:在野外调查的基础上,对粤北岩溶山区进行了不同时期卫星影像的解译和制图,分析了近 30 年来该地区石漠化土地的景观动态与格局变化。结果表明:近 30 年来,粤北石漠化景观呈逆转趋势,研究区石漠化土地面积持续减少,1974 年石漠化土地面积为 2 042.43 km²,占喀斯特分布区的 42.47%,1988 年与 2004 年分别下降至 33.95% 和 21.14%;轻度石漠化土地面积减少速度最快,至 2004 年中度石漠化土地取代轻度石漠化土地成为分布面积最广的石漠化类型;研究区景观异质性持续降低,潜在石漠化土地面积不断增加,景观连接度升高;石漠化土地斑块密度增大但平均斑块面积减小,斑块趋于均匀。

关键词:石漠化;岩溶山区;景观格局;景观动态

中图分类号: X87

文献标识码: A

Landscape Dynamics of Rocky Desertified Lands in Karst Mountainous Region of North Guangdong in Recent 30 Years

ZHANG Su-hong¹, LI Sen², WANG Jin-hua³, HAO Jun-min, WU Bo¹

(1. Research Institute of Forestry, CAF; Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091, China;

2. Institute of Resource and Environment Science, Foshan University, Foshan 528000, Guangdong, China;

3. Rongshan Middle School of Shunde District, Foshan 528303, Guangdong, China)

Abstract: Based on remote sensing images in Karst area of north Guangdong in 1974, 1988 and 2004 and the field investigation, three landscape maps of the Karst mountainous region in north Guangdong were produced. In recent 30 years, the rocky desertification in north Guangdong is experiencing a reverse process. The area of rocky desertification lands in 1974 was 2 042.43 km², covering 42.47% of the Karst region in study area. In 1988 and 2004, the ratios of rocky desertification lands reduced to 33.95% and 21.14% respectively. Slight rocky desertification land had the fastest decrease speed in the past 30 years among the different degradation degrees of rocky desertification lands, and in 2004 the moderate rocky desertification land appeared to have the largest proportion. The landscape heterogeneity of Karst region depressed continuously, and the landscape connectivity enhanced. The patch density of rocky desertification lands increased but the mean patch area decreased. The area of patches of rocky desertification lands has tended to be even.

Key words: rocky desertification; Karst mountainous region; landscape pattern; landscape dynamics

石漠化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、基岩大面积裸露、土地生产力严重下降、地表出现类似荒漠景观的土地退化过程^[1-2]。我国西南岩溶区

收稿日期: 2008-02-27

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2007BAC03A10)及国家自然科学基金项目(30471421)共同资助

作者简介: 张素红(1971—),女,新疆哈密人,在站博士后,主要从事水土保持与荒漠化防治研究。E-mail: ffrfen126@126.com

*通讯作者: 博士,研究员,主要从事景观生态学与荒漠化过程等研究。E-mail: wubo@caf.ac.cn

是世界上最大的裸露、半裸露型岩溶区之一^[3],我国众多学者对以黔、贵、滇为主的石漠化地区从地质生态环境、石漠化成因机理、生态恢复等方面进行了广泛研究,以定位、半定位研究为基础,开展岩溶地区物质与能量变化与迁移、土壤生物群落演替、植被恢复过程与机理等研究^[4-8]。粤北岩溶山区是我国西南岩溶区的东缘部分,区内有大面积中生界和上古生界碳酸盐岩出露,主要有石灰岩、白云岩、石灰岩夹砂岩^[9],岩溶地貌发育。石漠化的发展造成土壤流失、土地退化,使该地区农业发展受到很大制约。

石漠化从根本上说是一种土地退化过程。景观变化是石漠化发展或逆转的直接表现,不同等级的石漠化土地呈现不同的景观特征。本文在野外调查的基础上,对粤北岩溶山区进行了不同时期卫星影像的解译和制图,分析了近 30 年来该地区石漠化土地的景观动态与格局变化,并对石漠化过程与石漠化土地治理进行了讨论。

1 研究区概况

粤北岩溶山区位于 111°55' ~ 114°44' E, 23°26' ~ 25°31' N,属中亚热带—南亚热带季风气候,雨热同期,降水丰沛。多年平均气温 20.6℃,多年平均降水量 1556.4 mm(省气象台统计资料)。降水多集中于 4—9 月,占全年的 67.5% ~ 74.2%。主要植被类型为石灰岩植被,群落的优势种主要有火棘 (*Pyracantha fortuneana* Li)、绣线菊 (*Spiraea blumei* G. Don)、牡荆 (*Vitex negundo* Linn.)、欆木 (*Loropetalum chinense* Oliv.) 等。群落中以喜钙植物为主,灌木种类较多,乔木种类较少,以青冈栎 (*Cyclobalanopsis glauca* Oerst.)、化香树 (*Platycaarya strobilacea* Sieb.) 为主。土壤以石灰土为主,海拔 600 m 以下的缓坡地、谷地、洼地中为红色石灰土,地势较高的岩缝和洼地中为黑色石灰土。雨水、坡面水和裂隙水渗透快,地表水易流失,仅在溶蚀谷地、洼地内有地表径流,山地和丘陵缺水干旱,形成季节性严

重缺水的不协调格局。粤北碳酸盐地层分布范围达 9475.63 km²^[10],在温暖、潮湿、多雨的气候条件下,岩溶地貌广泛发育。本文以广东省北部岩溶山区的阳山、英德、连州、乳源 4 个县市为研究区,面积约 1.397 × 10⁴ km²,位于南岭南坡,地形崎岖,石漠化土地分布集中。

2 研究方法

2.1 石漠化土地景观分类

建立石漠化的分级体系是研究石漠化的前提和基础。不同学者根据自己的研究提出了相应的石漠化分级体系^[11-13]。本文在野外调查的基础上,借用生态基准面的概念^[14],通过对岩石裸露率、植被覆盖度、土壤厚度、坡度的统计分析,结合自然景观特点,以基岩裸露率为主导因子,确定研究区石漠化土地退化的初始面与终极面。在此基础上,用内插法将粤北岩溶山区划分为潜在石漠化(即无明显石漠化发生)、轻度、中度、重度和极重度石漠化 5 种类型,作为本文景观分类的基础。

2.2 植被与土壤调查

根据卫星影像的初步解译结果,结合研究区地质图、地貌图、土壤类型图,选择粤北岩背乡、东山乡和龙潭镇的石漠化土地进行野外调查,根据不同的植被覆盖率、岩石裸露程度选择可代表不同退化程度石漠化土地的样点做详细调查。在每一样点随机设 3 个 2 m × 2 m 样方,在每个样方的四边、对角线上和中心点用钢钎测定 9 个点的土壤厚度,计算样方内土壤平均厚度;量算样方内每块裸露岩石的面积,通过裸露岩石所占百分比计算样方的土被覆盖率(即样方内有土壤覆盖的土地的比例);在每个样方内随机取表层土样(3 个重复)测定土壤养分、土壤密度、含水量等。重点在岩背乡以地表岩石裸露程度为主要依据,选择不同退化程度石漠化土地,分别设立 5 m × 5 m 样方(3 个重复),调查记录样方内植物种类组成、植被盖度与生物量(表 1)。

表 1 粤北石漠化土地土壤理化性质及植被特征

石漠化类型	土壤平均厚度 / cm	土被平均盖度 / %	土壤有机质含量 / (g · kg ⁻¹)	土壤全氮含量 / (g · kg)	土壤密度 / (g · cm ⁻³)	土壤含水量 / (g · kg ⁻¹)	群落盖度 / %	群落生物量 / (g · m ⁻²)
极重度	< 1	< 10	253.1	14.55	-	-	< 20	57.54
重度	7.81	39.56	58.83	3.88	1.02	168.6	20 ~ 40	261.57
中度	11.37	66.48	23.88	2.24	1.38	214.1	40 ~ 60	406.95
轻度	12.63	76.96	30.23	2.2	1.09	241.6	60 ~ 80	513.57
潜在	21.41	> 80	24.06	1.33	1.42	225.7	> 80	-

2.3 遥感解译与景观制图

研究区夏季降水多,难以获取较理想的遥感影像。冬季降水少,云层对遥感影像的影响较小,而且由于冬季部分草本植物枯死,重度、中度石漠化地区植被盖度略有降低而轻度石漠化土地植被盖度变化不大,因此有利于石漠化土地的判读。本研究选择

粤北地区 1974 年冬季 MSS 影像和 1988 年、2004 年冬季 TM 影像作为数据源。关于遥感解译与制图方法已有专文报导^[15]。通过解译得到研究区 3 个时期的石漠化景观分布图(图 1~2)。通过计算,得到粤北各级石漠化土地之间的转移概率矩阵(表 2~4)。

表 2 粤北喀斯特地区 1974—1988 年石漠化土地转移概率矩阵

		1988 年					
		极重度	重度	中度	轻度	潜在	水体
1974 年	极重度	24.11	20.23	18.37	11.36	25.93	0.00
	重度	0.57	35.64	25.84	12.81	25.13	0.00
	中度	0.30	10.96	37.58	18.95	32.20	0.01
	轻度	0.22	4.89	13.33	33.87	47.67	0.02
	潜在	0.07	1.64	3.38	8.57	86.34	0.00
	水体	0.00	0.25	0.06	0.68	2.97	96.04

表 3 粤北喀斯特地区 1988—2004 年石漠化土地转移概率矩阵

		2004 年					
		极重度	重度	中度	轻度	潜在	水体
1988 年	极重度	28.71	22.81	9.54	1.38	37.56	0.00
	重度	0.62	26.81	15.63	6.76	50.06	0.11
	中度	0.25	8.07	30.40	11.85	49.30	0.12
	轻度	0.08	3.43	10.00	21.36	65.03	0.09
	潜在	0.03	1.77	3.87	4.15	90.10	0.08
	水体	0.00	0.01	0.64	0.98	0.53	97.83

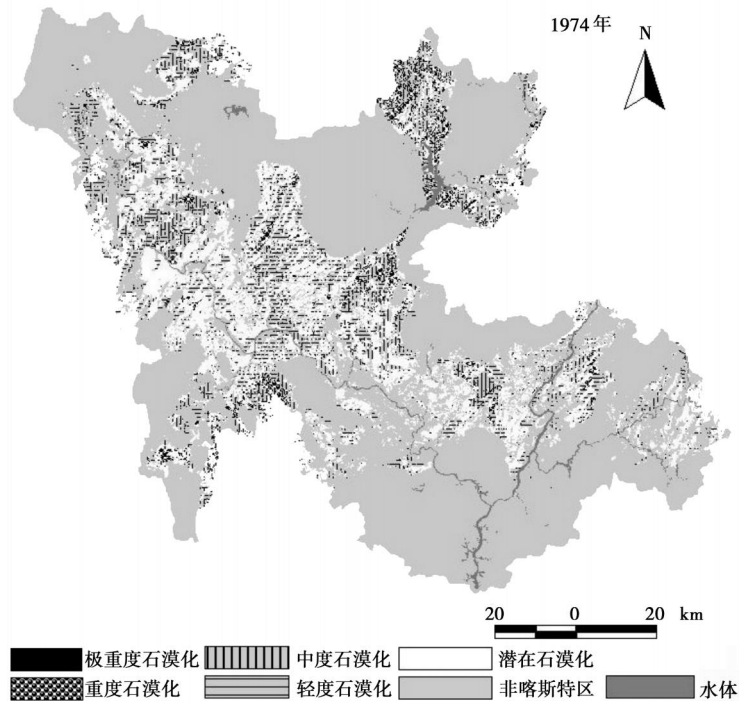


图 1 1974 年粤北石漠化土地分布图

表 4 粤北喀斯特地区 1974—2004年石漠化土地转移概率矩阵

		2004年					
		极重度	重 度	中 度	轻 度	潜 在	水 体
1974年	极重度	14.97	20.76	13.73	3.19	47.35	0.00
	重 度	0.27	27.04	16.68	4.16	51.71	0.14
	中 度	0.27	6.02	26.80	11.76	54.97	0.19
	轻 度	0.14	3.38	7.41	22.17	66.83	0.07
	潜 在	0.07	1.64	3.38	8.57	86.34	0.00
	水 体	0.00	0.24	0.07	0.68	2.97	96.04

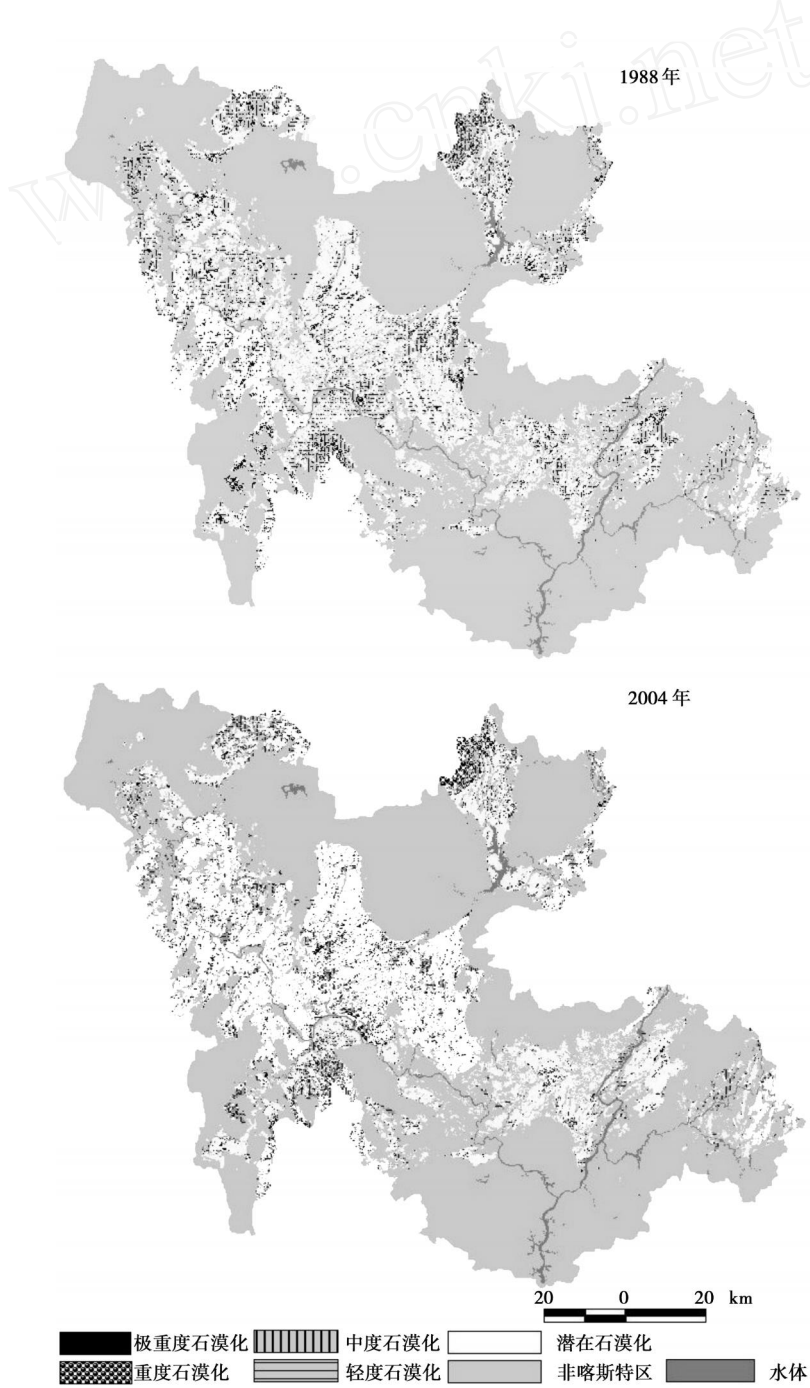


图 2 1988年和 2004年粤北石漠化土地分布图

2.4 景观格局指数选择

利用 FRAGSTATS 景观格局分析软件,选择以下景观格局指数,从景观水平和类型水平上分析景观格局特征^[16]:

(1)均匀度指数:

$$SHEI = \left[- \sum_{i=1}^n P_i \ln(P_i) \right] / \ln n \quad (1)$$

(2)斑块数: $NP = n_i$ (2)

(3)平均斑块面积: $MPS = \sum_{j=1}^m a_{ij} / n_i$ (3)

(4)斑块密度: $PD = n_i / A$ (4)

(5)斑块面积标准差:

$$PSSD = \sqrt{\sum_{j=1}^m \left(a_{ij} - \left(\sum_{j=1}^m a_{ij} / n_i \right) \right)^2 / n_i} \quad (5)$$

(6)斑块面积变异系数:

$$PSCV = (PSSD / MPS) \times 100 \quad (6)$$

(7)面积加权平均斑块分维数:

$$AWMPFD = \sum_{j=1}^m \left(2 \ln p_{ij} / \ln a_{ij} \right) \left(a_{ij} / \sum_{j=1}^m a_{ij} \right) \quad (7)$$

式(1)~(7)中: $i=1, \dots, n$, 为斑块类型序号; $j=1, \dots, m$, 为斑块序号; n 为景观中斑块类型总数; P_i 为斑块类型 i 在景观中出现的概率; p_{ij} 为斑块 i 的周长; A 为景观总面积; MPS 为平均斑块面积; a_{ij} 为斑块 j 的面积; n_i 为景观中类型 i 的斑块数。格局指数计算结果见表 5。

表 5 粤北石漠化景观格局指数 (景观水平)

年份	SHEI	PD/(个·hm ⁻²)	MPS/km ²	PSSD	PSCV	AWMPFD
1974	0.6529	275.17	0.361	3.737	1036.38	1.5269
1988	0.5841	336.73	0.295	5.414	1837.49	1.5405
2004	0.4441	341.64	0.290	7.838	2701.00	1.5282

3 结果与分析

3.1 石漠化土地动态变化分析

粤北 4 县市总面积约 1.397×10^4 km², 喀斯特分布区域占 34.43%, 约 4809.8 km²。石漠化土地 (不包括潜在石漠化土地, 下同) 面积 1974 年为 2042.43 km², 占喀斯特分布区的 42.47%, 30 年来石漠化土地面积持续减少, 1988 年与 2004 年石漠化土地占喀斯特分布区百分比分别下降至 33.95% 和 21.14%。潜在石漠化面积 30 年间增加了 35.5%, 2004 年面积达 3751.33 km², 占喀斯特分布区的 77.99% (图 4)。

不同退化程度的石漠化土地中, 以轻度石漠化土地面积减少的速度最快, 中度石漠化土地次之, 极重度石漠化土地速度最慢。从不同时期看, 轻度与

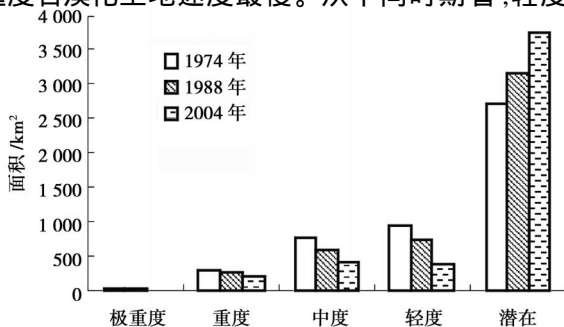


图 4 1974—2004 年粤北石漠化土地面积的变化

重度石漠化土地后期面积减少速度高于前期, 分别是前期的 1.6 倍和 7.4 倍; 中度与极重度石漠化土地则相反, 后期面积减少速度略有减缓。从石漠化土地构成看, 1974 年和 1988 年轻度石漠化土地占石漠化土地的比例最高, 接近 50% (46.24% 和 45.46%), 至 2004 年, 中度石漠化土地取代轻度石漠化土地, 成为分布面积最广的石漠化类型, 占石漠化土地面积的 41.47%。

转移概率矩阵显示, 石漠化土地由退化较严重的类型向退化较轻的类型转移的趋势明显, 各级石漠化土地向潜在石漠化转移的比例均最高。从 1974 年至 2004 年, 极重度、重度、中度和轻度石漠化土地退化程度分别降低了 85.03%、72.55%、66.73% 和 66.83%; 同时, 轻度与中度石漠化土地也分别有 10.79% 和 6.02% 的面积向中度和重度石漠化方向转移, 向极重度方向转移的比例均很小, 不足 1%。潜在石漠化土地面积的增加主要来自轻度和中度石漠化土地的逆转, 同时, 有 13.66% 的潜在石漠化土地发展为新的石漠化土地。从不同时期看, 后期石漠化土地的逆转速度高于前期。从 1974 年至 1988 年, 极重度、重度、中度和轻度石漠化土地分别有 75.89%、63.79%、51.15% 和 47.65% 的面积退化程度降低, 同时也有 10.96% 的中度石漠化土地发展为重度石漠化, 有 18.22% 的轻度石漠化土

地向中度和重度方向发展。潜在石漠化土地增加了 409.53 km², 主要来自于轻度和中度石漠化土地, 其自身有 13.66% 发展为新的石漠化土地。1988 年至 2004 年, 重度、中度和轻度石漠化土地向较轻退化程度方向转移的速度均高于前期, 轻度与中度石漠化土地向中度与重度方向转移的比例比前期降低。潜在石漠化土地面积增加了 612.375 km², 其自身有 9.82% 向新的石漠化土地发展。石漠化土地面积的变化趋势表明, 近 30 年来粤北岩溶山区的水土流失情况逐渐减轻, 石漠化总体呈逆转的趋势, 表明研究区的生态环境治理与保护已取得一定成效。

3.2 石漠化景观格局的变化特征

3.2.1 景观格局变化的基本特征 景观水平上的格局指数 (表 5) 显示, 从 1974 年到 2004 年, 粤北石漠化景观的均匀度指数降低, 潜在石漠化土地的优势度增强, 景观连接度增加; 石漠化土地平均斑块面积减小, 潜在石漠化土地平均斑块面积略增大, 斑块面积分布不均匀, 景观异质性呈下降趋势。整个景观中, 斑块密度增大, 主要表现为石漠化景观更加破碎而潜在石漠化景观破碎度降低; 分维度升高, 斑块形状更加不规则; 斑块面积标准差和变异系数增大, 斑块面积的离散程度增加, 不同景观要素类型的面积分配更加不均衡。

3.2.2 景观要素类型格局变化 类型水平的景观格局指数 (表省略) 显示, 30 年间, 重度、中度和轻度

石漠化土地均表现为斑块密度增大、平均斑块面积减小, 景观破碎度增加; 分维度升高, 斑块形状更加不规则; 斑块面积标准差和面积变异系数减小, 斑块面积离散程度降低, 斑块趋于均匀化。极重度石漠化土地的变化趋势与之相似, 只是斑块密度在前期降低, 后期增加, 表明极重度石漠化土地在发展过程中前期表现为集中的趋势, 后期转而分散破碎。潜在石漠化土地面积显著增加, 斑块密度减小, 平均斑块面积增大, 分维度升高, 景观的连接度增大, 斑块形状趋于复杂。

由不同级别斑块数量和面积的统计看出 (图 5), 30 年来石漠化面积小于 10 hm² 的小斑块数显著增加, A、B 类斑块数均增加了 1 倍多, 但由于单个斑块面积小, 总面积增加较少。斑块数大于 100 hm² 的大斑块迅速减小, 减少了 70%, 面积减少了 80.5%; 潜在石漠化土地小斑块持续减少, 面积下降; 大于 100 hm² 的大斑块数减少, 但面积有明显增加。在石漠化治理过程中, 石漠化土地面积缩小, 表现为大型斑块不断被潜在石漠化土地所分割、蚕食, 斑块数量、面积减少, 小型斑块数量与面积逐渐增加。潜在石漠化土地不断扩展, 单个斑块面积增加; 小型斑块逐渐合并、扩展, 斑块数减少而面积增大, 大型斑块面积不断增大。整个景观中斑块数量显著增加, 斑块面积向两级分化, 大斑块面积更大, 小斑块数量不断增多。

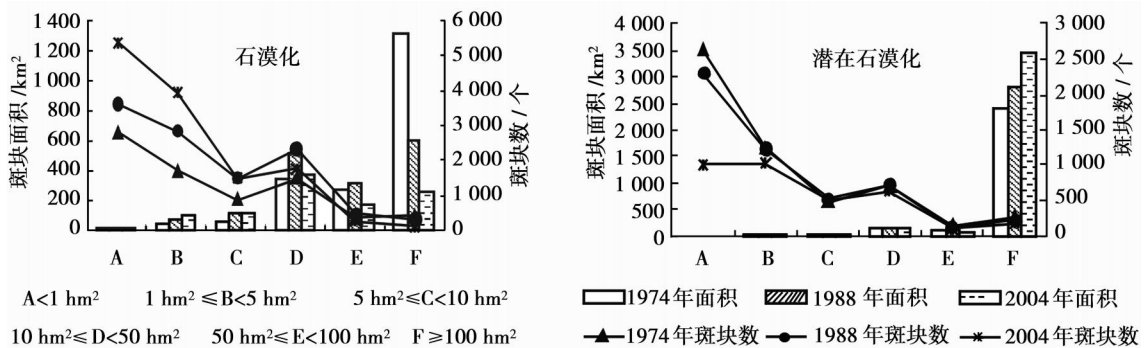


图 5 石漠化与潜在石漠化土地不同面积级别斑块的数量和面积变化

4 结论与讨论

(1) 自 1974 年至 2004 年, 粤北石漠化土地处于逆转状态, 石漠化土地面积减少, 30 年间石漠化土地面积减少 50.2%, 至 2004 年岩溶山区石漠化土地仅占 21.14%, 约 1 016.8 km², 潜在石漠化土地面积扩大并且连通性显著增加。人为活动干扰是喀斯特

地区石漠化发展的主导因素^[17], 石漠化区域大多分布在交通不便的偏远山区, 经济落后, 土地压力大。近年来, 广东实行林业生态省建设, 采取生态移民措施来减轻人口对环境的压力^[18], 石漠化土地分布广泛的岩背乡、东山乡等 50% ~ 70% 村民迁移到了山下水土条件较好的地区。岩溶区石灰岩山地加大了生态综合治理力度, 减少了人为活动干扰强度, 经过

植苗绿化、封山育林育草、农村能源建设等,石灰岩山地得到了有效的保护,区域生态环境得到改善,提高了石漠化的治理成效。

(2)粤北岩溶山区景观异质性持续降低,石漠化土地虽然斑块密度增大,但平均斑块面积减小,斑块趋于均匀;潜在石漠化土地面积不断增加,景观连接度升高。中度与重度石漠化土地面积减少的速度远远低于轻度与极重度石漠化土地,中度石漠化土地取代了轻度石漠化土地,成为研究区分布面积最广的石漠化类型。在全区石漠化景观总体逆转的情况下,重度、中度石漠化仍然具备较强的发展势头和扩张潜力,因此加强对重度、中度石漠化土地的监测和治理应当作为今后石漠化防治的重点。

(3)在石漠化发展过程中,随着石漠化程度加重,土层变薄,土壤结构恶化,土壤斑块化更加明显;植被盖度下降,生物量降低,并且降低速度在石漠化发展后期阶段远远高于石漠化发展初期。由于植被盖度降低,土壤侵蚀速度迅速增加。通过在粤北阳山县江英镇为期 1a 的侵蚀小区土壤侵蚀监测得知,在相同雨量和雨强条件下裸地的侵蚀量约是植被未破坏的原始坡地的 60 倍,植被盖度稍高的耕地土壤侵蚀速度为原始坡地的 15 倍^[19]。喀斯特地区土层与基岩间缺乏过渡层,彼此间黏着力很差,土壤的稳定性对植被盖度的变化非常敏感。同时,残存的土壤中有有机质与养分含量很高,是受损的植被生态系统恢复的基础。喀斯特地区土壤厚度随坡面起伏变化很大,位于岩隙中的土层厚度可达 1 m 以上^[20],灌木、小乔木在岩隙中扎根后,便可利用岩层上空的营养面生长,提高了土地利用^[21]。研究区适宜的水分、温度和养分条件非常有利于植被自我恢复,在通过生态移民等措施减轻人为干扰的前提下辅以适当的治理措施将大大加快石漠化土地的治理速度。

参考文献:

[1] 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 - 105

- [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] 袁道先. 全球岩溶生态系统对比: 科学目标和执行计划 [J]. 地球科学进展, 2001, 16 (4): 461 - 466
- [4] 刘方, 王世杰, 刘元生, 等. 喀斯特石漠化过程土壤质量变化及生态环境影响评价 [J]. 生态学报, 2005, 25 (3): 639 - 644
- [5] 李瑞玲, 王世杰, 熊康宁, 等. 喀斯特石漠化评价指标体系探讨 [J]. 热带地理, 2004, 24 (2): 145 - 148
- [6] 王世杰. 喀斯特石漠化——中国西南最严重的生态地质环境问题 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2003, 22 (2): 120 - 126
- [7] 苏维词. 贵州喀斯特山区的土壤侵蚀性退化及防治 [J]. 中国岩溶, 2001, 20 (3): 217 - 223
- [8] 兰安军, 张百平, 熊康宁, 等. 黔西南脆弱喀斯特生态环境空间格局分析 [J]. 地理研究, 2003, 22 (6): 733 - 741
- [9] 广东省地方志编纂委员会. 广东省志 - 地理志 [M]. 广州: 广东人民出版社, 1999: 94 - 178
- [10] 孔淑琼, 陈慧川, 支兵发, 等. 粤北岩溶区的石漠化及其治理对策探讨 [J]. 污染防治技术, 2005, 18 (4): 19 - 23
- [11] 周德全, 王世杰, 张殿发. 关于喀斯特石漠化研究问题的探讨 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2003, 22 (2): 127 - 132
- [12] 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
- [13] 熊康宁, 黎平. 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: 25 - 28
- [14] 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
- [15] 王金华, 李森, 李辉霞, 等. 石漠化土地分级指征及其遥感影像特征分析 [J]. 中国沙漠, 2007, 27 (5): 765 - 770
- [16] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 95 - 119
- [17] 李瑞玲. 贵州岩溶地区土地石漠化形成的自然背景及其空间地域分异 [D]. 贵阳: 中国科学院化学研究所, 2004
- [18] 广东省地质调查院. 广东省岩溶地区石漠化监测报告 [R]. 2005
- [19] 张素红, 李森, 李红兵, 等. 粤北石漠化地区土壤侵蚀初步研究 [J]. 中国岩溶, 2006, 25 (4): 280 - 284
- [20] 韦启福. 我国南方喀斯特区土壤侵蚀特点及防治途径 [J]. 水土保持研究, 1996, 3 (4): 72 - 76
- [21] 蒲健元. 我国北、南方荒漠化两大类型探析 [J]. 四川林勘设计, 2004 (4): 37 - 42