

滇东南喀斯特典型地区石漠化的空间变化

马骊驰, 王金亮, 刘广杰

(云南师范大学 旅游与地理科学学院, 云南 昆明 650500)

摘要: [目的] 分析石漠化变化趋势及发展规律, 为决策部门合理规划和综合防治石漠化提供科学依据。[方法] 选取位于滇东南文山州境内的盘龙河流域作为研究区, 利用 RS, GIS 等相关软件, 解译出 1990, 2002 和 2009 年盘龙河流域石漠化强度图, 利用叠加分析法对海拔、坡度、坡向一系列地形因子的石漠化空间分布变化进行了分析。[结果] 从 1990—2002—2009 年盘龙河流域石漠化现象总体呈现出加重趋势, 石漠化分布在空间格局上存在明显差异。[结论] 研究区景观格局变化和空间分布明显受地形因子的影响, 不同的地形因子对石漠化空间分布有不同的影响。

关键词: 喀斯特; 石漠化; 地形因子; 空间变化

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)05-0327-07

中图分类号: P694

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.05.061

Spatial Variation of Rock Desertification at Typical Karst Region in Southeastern Part of Yunnan Province

MA Lichi, WANG Jinliang, LIU Guangjie

(College of Tourism and Geography Science, Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan 650500, China)

Abstract: [Objective] The objective of this study is to analyze the spatial change of rock desertification in karst region in order to provide the scientific basis for reasonable planning and integrated control of decision making department. [Methods] The research was conducted in Panlong watershed located in Wenshan Prefecture, the south-eastern part of Yunnan Province. The map of rock desertification intensity was interpreted from the remote sensing images in 1990, 2002 and 2009. The topographic factors (altitude, grade and exposure) that influenced the spatial distribution of rock desertification were analyzed by using overlay analysis method. [Results] From 1990 to 2009, rock desertification in Panlong watershed showed a increasing trend, and the distribution of rock desertification varied remarkably at the spatial scale. [Conclusion] The changes of landscape pattern and the spatial distribution of rock desertification were significantly influenced by topographic factors.

Keywords: karst; rock desertification; terrain factors; spatial change

云南省文山州是典型的岩溶地区, 40%左右的土地面积呈石漠化, 文山州 8 县已被列为全国石漠化综合治理重点建设项目。针对日益加剧的石漠化现象, 探讨石漠化演变趋势及与景观格局变化的相互联系, 对了解石漠化变化发展的规律和形成条件有极其重要的意义, 同时可以为石漠化的防治提供依据, 为寻找适时有效的治理模式提供借鉴。目前, 众多学者针对喀斯特石漠化进行的研究已取得一系列成果^[1-12]。主要表现在高度相关的驱动因子与石漠化景观格局的相互联系、喀斯特石漠化驱动机制、石漠化变化趋

势以及石漠化相关要素提取方法的创新等方面。本文以盘龙河流域为研究区, 运用 1990, 2002 和 2009 年 LANDSAT-5 遥感影像和“3S”技术, 分别生成研究区石漠化分布图并进行对比, 分析石漠化变化趋势及发展规律, 为决策部门的合理规划和综合防治提供科学依据。

1 研究区概况

盘龙河发源于红河州蒙自县三道沟, 位于云南省滇东南地区, 是一条中越国际河流, 盘龙河流域依据其

收稿日期: 2014-07-02

修回日期: 2014-09-04

资助项目: 云南省中青年技术带头人培养项目(2008 PY056)

第一作者: 马骊驰(1990—), 女(汉族), 云南省文山县人, 硕士研究生, 研究方向为资源环境信息系统。E-mail: 773750300@qq.com。

通信作者: 王金亮(1963—), 男(汉族), 云南省武定县人, 教授, 研究方向资源环境遥感。E-mail: wang_jinliang@hotmail.com。

主干流和支流所覆盖的区域提取生成,位于 $103^{\circ}2'50''-104^{\circ}1'1''E, 22^{\circ}0'58''-24^{\circ}0'20''N$, 以西北—东南走向沿盘龙河主干流呈条带状分布, 总流域面积大约为 $6\ 783\ km^2$, 平均海拔大致为 $1\ 544\ m$ 。盘龙河经砚山县从西北向中南贯穿文山腹地, 中游河段蜿蜒环绕文山城后从东南方向流经西畴、马关、麻栗坡, 自麻栗坡出境后交沪江汇红河, 流至越南境内。盘龙河流域地形以山地、丘陵为主, 流域内西北至中部地区以文山腹地为中心, 地势呈四周高, 中间低的趋势, 而东南部则呈中间高四周低的趋势。盘龙河流域绝大部分地处文山州界内, 是一个典型的亚热带高原山区, 四季分明。流域内森林植被在西部和东南部发育较好, 而中部和北部城镇建设用地广布, 植被覆盖度较差。土地利用类型以林地和城镇工矿建设用地为主, 中部山间盆地地区耕地分布面积较广, 研究区四周环山, 林地依山环绕中部文山腹地而分布。夏季持续的大量降水和大面积分布的石灰岩等一系列特殊的自然条件以及滥砍滥伐等人为因素都成为研究区内喀斯特地貌极度发育的主要原因^[13]。由于自然和人为因素的长期相互作用, 流域内植被破坏严重, 水土流失加重, 石漠化明显。

2 数据选择与研究方法

2.1 数据源的选择与处理

数据源选择 LANDSAT-5 TM 影像, 空间分辨率为 $30\ m$, 由于 2010 年以来的研究区遥感影像质量

较低, 在综合考虑研究区的季节性和数据源的可用性后, 时相上分别使用 1990 年 9 月, 2002 年 9 月和 2009 年 8 月的遥感影像。另外还选择了 SRTM DEM 数据, 空间分辨率为 $90\ m$ 以及云南省行政区划矢量图。

运用 ArcSWAT 提取出盘龙河流域, 确定研究范围, 在 ENVI 和 ArcGIS 等遥感图像处理软件的辅助下对研究区影像进行几何精校正、图像拼接等遥感影像预处理, 通过波段运算求得两年份的植被覆盖率和裸岩率, 从而得出 1990, 2002 和 2009 年石漠化强度图, 对比 3 个年份不同强度的石漠化区域在不同海拔、坡度和坡向上的变化趋势, 分析盘龙河流域石漠化变化趋势, 寻求内在规律, 以期对石漠化的防治和相关政策的施行产生积极意义。

2.2 研究方法

2.2.1 喀斯特石漠化分级指标的建立 喀斯特石漠化相关研究的基础是石漠化范围的提取, 而提取石漠化范围的必要工作之一就是建立石漠化分级指标体系。目前的研究中石漠化分级体系存在分级指标与分级方法的交叉重叠。由于不同的研究区自然条件和社会经济状况各异, 因此依据盘龙河流域的实际情况, 在综合考虑了主导因素、可操作性和现实与理论的相符性后, 选择了岩石裸露率和植被+土被覆盖率作为石漠化强度等级划分的指标并进一步提出盘龙河流域石漠化强度等级划分方案^[14](见表 1)。

表 1 喀斯特石漠化强度等级划分

石漠化等级	岩石裸露率/%	植被+土被覆盖率/%	影像特征 TM4/3/2
无石漠化	<20	>80	暗红、大红呈块或条带状
轻度石漠化	21~60	79~40	品红零星分布的斑点或小斑块
中度石漠化	61~80	39~20	绿红、中红分布较多的灰白斑点或小斑块
重度石漠化	81~100	19~0	白色、灰白色斑点或小斑块

2.2.2 植被覆盖度的计算 由于传统的植被覆盖率测量方法受天时地域等多种条件的限制, 本文采用基于 NDVI(归一化植被指数)的像元二分模型计算植被覆盖度, 计算公式如下^[15]:

$$V_c = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}} \quad (1)$$

式中: V_c ——植被覆盖度; NDV ——归一化植被指数; $NDVI_{soil}$ ——完全是裸土或无植被覆盖区域 DNVI 值; $DNVI_{veg}$ ——完全植被所覆盖像元的 DNVI 值, 但由于遥感影像上不可避免的存在噪声的影响。一般取置信度为 5% 和 90% 的值代表 $NDVI_{soil}$ 和 $NDVI_{veg}$ 值。

2.2.3 岩石裸露率的计算 在喀斯特地区, 除居民点、水域、道路等特殊地区外, 其他区域的土被覆盖构成一般分为植被、土壤和岩石, 因此, 基于多光谱遥感影像的裸岩率的计算方法认为, 在单位面积的区域, 若植被覆盖率为 $X\%$, 土壤裸露率为 $Y\%$, 则裸岩率为 $(1 - X\% - Y\%)$ ^[16], 用公式表示为:

$$BR_p = (1 - BS_p - V_c) \times 100\% \quad (2)$$

式中: BR_p ——裸岩率(%); BS_p ——土壤裸露率(%); V_c ——植被覆盖度(%)。

而土壤裸露率 BS_p 的计算则主要利用裸土指数 (BI)^[17], 参照 DNVI 估算植被覆盖度的方法来实现, 公式表示为:

$$BS_p = \frac{BI - BI_{veg}}{BI_{soil} - BI_{veg}} \quad (3)$$

式中: BS_p ——土壤裸露率(%) ; BI_{veg} ——完全被植被覆盖的 BI 值; BI_{soil} ——完全是裸土的值; BI——裸土指数。本研究中,以图像中的最大 BI 作为 BI_{soil} ,而最小的 BI 值作为 BI_{veg} 。裸土信息主要是采取遥感指数法来提取,公式为:

$$BI = (TM_5 + TM_3 - TM_4 - TM_1) / (TM_5 + TM_3 + TM_4 + TM_1) \quad (4)$$

式中: BI——裸土指数; TM_1, TM_3, TM_4, TM_5 ——Landsat 5 数据的 1, 3, 4, 5 波段。

2.2.4 比值居民地指数 经过遥感影像目视解译读和实地考察,发现基于上述方法提取出来的裸岩地区中还包括了水体、道路和城镇建设用地,因此可以通过提取比值居民地指数(RRI)将裸岩地区与城镇和水体区分出来^[18]。比值居民地指数的公式可以表示为:

$$RRI = TM_1 / TM_4 \quad (5)$$

式中: RRI——比值居民地指数; TM_1 ——TM 影像第 1 波段值; TM_4 ——TM 影像第 4 波段值。

在原始影像上分别对裸地和城镇建设用地进行一定数量的典型区域的采样,通过波段运算可以得到 RRI 图像,其灰度值范围为 0.083~22.667,统计得到裸地和城镇建设用地在 RRI 图上的样本均值分别为 1.146 和 1.607,将样本均值的平均值 $(1.146 + 1.607) / 2 = 1.377$ 作为阈值,对 RRI 图做二值化处理,即将 RRI 值为 0.083~1.377 的区域都赋为 0,而值为 1.377~22.667 的都赋为 1,即可把裸地与城镇和水体区分开来,后期运算时对城镇水体设置掩膜,不参与石漠化的运算。

3 喀斯特石漠化变化趋势分析

3.1 石漠化强度分级图

参照表 1 喀斯特石漠化强度等级划分表,依据(1)~(5)式所得结果,可以得到 1990, 2002 和 2009 年喀斯特石漠化强度分布图(附图 1)。

从附图 1 中可以明显看出,1990—2009 年,无石漠化面积大大减少,而中度重度石漠化面积则大大增加,尤其是重度石漠化的增长十分显著。经统计,1990—2009 年,流域内石漠化总面积由 3 775.82 km² 增长到 4 267.42 km², 总体增长率为 13%。无石漠化、轻度石漠化面积均减少了,分别为 735.87 和 453.51 km², 减少率为 25% 和 17%, 而中度石漠化、重度石漠化面积均增加了,分别为 473.83 和 471.63 km², 增

长率为 86% 和 85%。在数量上,两个时期的石漠化构成状况基本一致,面积最大的斑块类型为无石漠化,面积最小的斑块类型为重度石漠化。

3.2 石漠化强度与地形因子空间分布分析

3.2.1 不同海拔高程石漠化的空间分布 综合考虑研究区高程分布特点,选择合适的 DEM 值作为阈值,制作研究区高程分层设色图,结合石漠化强度分级图,借助 ArgGIS 的叠加分析功能,对不同海拔高度石漠化空间分布的变化趋势进行分析(附图 2, 表 2)。

从表 2 和附图 2 可以看出,首先在宏观方面,盘龙河流域石漠化在不同海拔高程的空间分布总体呈现出一定的规律性,以 1 300~1 600 m 为中心,区域内无、轻度、中度、重度石漠化的面积分布均为最大值,石漠化分布面积从中心向两端依次减小,呈正态分布。无石漠化和轻度石漠化的区域面积逐年呈减少趋势,而中度和重度石漠化区域面积则逐年呈上升趋势。在海拔 < 1 000 m 这个范围内,石漠化总面积有所减少,在海拔 > 2 200 m 范围内,石漠化总面积在 1990—2002 年呈上升趋势,而在 2002—2009 年呈下降趋势,其余的不同海拔上石漠化面积均增加。在变化幅度方面可以很明显的看出,2002—2009 年轻度石漠化区域减少幅度低于 1990—2002 年,分别为 5.3% 和 12.3%, 2002—2009 年中度石漠化增长幅度为 20.3%, 重度石漠化增长幅度为 16.5%, 而 1990—2002 年中度石漠化增长幅度为 54.6%, 重度石漠化增长幅度为 59.1%, 很明显 2002—2009 年中度和重度石漠化增长幅度均低于 1990—2002 年。此外,在 1 600~1 900 m, 1 900~2 200 m 这两个海拔高程范围内,1990—2002 年石漠化增加率大于 2002—2009 年,分别为 20.5%, 27.9%。

具体来看,海拔 < 1 000 m 的山间河谷地区,无石漠化和中度石漠化区域面积呈现先上升后下降的变化趋势,轻度和重度石漠化面积均呈减少趋势,总体来说此海拔高度范围内,石漠化现象有所缓解。海拔 1 000~1 300 m 地区,无石漠化区域变化趋势是先下降后上升,而重度石漠化区域变化趋势与之相反,轻度和中度石漠化面积均增加。海拔 1 300~1 900 m 地区,无石漠化和轻度石漠化区域面积均大幅下降,而中度和重度石漠化区域面积大幅增加。海拔 1 900~2 200 m 地区,除无石漠化地区面积减少之外,其余石漠化地区面积均呈上升趋势。海拔 > 2 200 地区,无石漠化区域面积先减少后增加,轻度和中度区域面积先增加后减少,而重度石漠化区域面积呈增加趋势。

表 2 1990—2009 年盘龙河流域石漠化在不同海拔高程的空间分布

年份	高程/m/ 石漠化强度	无	轻度	中度	重度	总面积/ km ²
1990 年各级石漠化 等级面积/km ²	<1 000	127.07	113.23	9.73	6.51	129.47
	1 000~1 300	351.42	282.56	32.83	20.83	336.22
	1 300~1 600	1 084.60	1 361.51	349.96	422.79	2 136.26
	1 600~1 900	896.87	695.73	131.45	91.47	918.65
	1 900~2 200	360.86	204.87	25.77	10.94	241.58
	2 200~3 000	87.49	12.48	0.88	0.28	13.64
	总面积	2 908.31	2 672.38	550.62	552.82	3 775.82
2002 年各级石漠化 等级面积/km ²	<1 000	156.22	88.01	12.22	5.58	105.81
	1 000~1 300	285.72	283.74	51.04	23.77	358.55
	1 300~1 600	893.77	1 045.13	477.3	643.09	2 165.52
	1 600~1 900	683.86	690.3	232.03	184.29	1 106.62
	1 900~2 200	299.26	213.22	75.5	20.21	308.93
	2 200~3 000	70.11	23.28	3.17	2.48	28.93
	总面积	2 388.94	2 343.68	851.26	879.42	4 074.36
2009 年各级石漠化 等级面积/km ²	<1 000	154.36	84.30	10.16	1.83	96.29
	1 000~1 300	298.75	293.21	56.35	13.50	363.06
	1 300~1 600	752.41	978.76	564.70	742.33	2 285.79
	1 600~1 900	635.47	621.84	304.46	228.58	1 154.88
	1 900~2 200	255.40	220.72	85.89	37.03	343.64
	2 200~3 000	76.05	20.04	2.54	1.18	23.76
	总面积	2 172.44	2 218.87	1 024.10	1 024.45	4 267.42

研究区位于云贵高原的西南部,属于典型的喀斯特高原地貌,区域内总体海拔较高,城镇多集中在海拔为 1 300~2 200 m 的范围内,由于受到人为因素的严重影响,这个区域范围内石漠化分布较集中,且石漠化面积所占比例较大、增长较快。而在海拔 < 1 000 m 的河谷低地等区域,人为因素影响程度较低且多为耕地种植区,因此石漠化现象较轻,甚至有所缓解。轻度石漠化逐渐向中度或重度石漠化过度,因此总体上呈现出减少的趋势。一般来说,随着海拔的升高植被有垂直地带性变化,海拔越高植被类型更容易导致石漠化的发生,但研究结果表明,盘龙河流域石漠化的发生与人为因素关系最密切,石漠化分布最密集,增长率最快的地区都集中在人类活动密集区——盘龙河流域的中部地区,而在海拔相对较高的山地植被覆盖率较高,石漠化程度相对较轻。研究表明,在 1 300~1 900 m 范围内,人类活动频繁,石漠化增长率高且分布面积广,轻度石漠化逐步向中度和重度石漠化转化,石漠化现象加剧。此外,数据显示出 1990—2002 年石漠化在各海拔范围内增长速度远远大于 2002—2009 年,表明当地政府及相关部门对石漠化现象的关注程度日益增加,采取的防治措施取得了一定的成效,对抑制石漠化的发生和发展起到了一

定的积极作用。

3.2.2 不同坡度石漠化的空间分布 综合考虑研究区地形特点,选取坡度 $\leq 3^\circ$, $3^\circ \sim 6^\circ$, $6^\circ \sim 12^\circ$, $12^\circ \sim 15^\circ$, $15^\circ \sim 25^\circ$, $> 25^\circ$ 分层设色,用上述方法对研究区内不同坡度石漠化空间分布的变化趋势进行分析。(附图 3,表 3)

从表 3 和附图 3 可以看出,宏观方面,除坡度 $> 25^\circ$ 区间内,石漠化面积小幅减少外,在其余不同坡向上石漠化面积均呈增长趋势。据数据统计,1990—2002 年,坡度 $< 15^\circ$ 的区域石漠化增加速度远远高于 2002—2009 年,增长率浮动在 8.4%~11%,增长幅度不大。但在 $12^\circ \sim 15^\circ$ 区间,1990—2002 年石漠化增长率略高于 2002—2009 年,两段时期石漠化增长率几乎持平,而在坡度 $15^\circ \sim 25^\circ$,石漠化区域增长率则是 2002—2009 年略高于 1990—2002 年。从石漠化空间分布来看,坡度 $3^\circ \sim 25^\circ$ 石漠化分布面积较大。

具体来看,坡度 $0^\circ \sim 15^\circ$ 范围内,无石漠化面积呈减少趋势,而坡度 $> 15^\circ$,无石漠化面积则呈现出先减少后增加的趋势。轻度石漠化面积在各坡度均逐年减少,而中度石漠化面积则与之相反,在各坡度均逐年增多。而重度石漠化区域除在坡度 $> 25^\circ$ 面积有所减少外,在其余各坡度范围面积均增加。

表 3 1990—2009 年盘龙河流域石漠化在不同坡度的空间分布

年份	坡度(°)/ 石漠化强度	无	轻度	中度	重度	总面积/ km ²
1990 年各级石漠化 等级面积/km ²	≤3	187.96	235.53	72.76	101.56	409.85
	3~6	207.08	302.50	91.22	122.91	516.63
	6~12	528.86	661.36	171.20	183.42	1 015.99
	12~15	324.14	335.72	72.17	61.02	468.91
	15~25	1 043.54	806.01	119.06	72.45	997.52
	>25	616.73	331.25	24.20	11.46	366.91
	总面积	2 908.31	2 672.38	550.62	552.82	3 775.82
2002 年各级石漠化 等级面积/km ²	≤3	129.72	111.76	96.62	246.04	454.42
	3~6	177.8	232.64	121.58	219.41	573.63
	6~12	392.94	576.52	294.75	253.51	1 124.78
	12~15	309.86	322.63	117.62	68.14	508.39
	15~25	812.13	791.63	186.09	82.28	1060
	>25	566.49	308.5	34.6	10.04	353.14
	总面积	2 388.94	2 343.68	851.26	879.42	4 074.36
2009 年各级石漠化 等级面积/km ²	≤3	26.74	98.01	103.65	269.03	470.68
	3~6	73.08	195.38	160.96	238.08	594.43
	6~12	295.59	543.79	338.48	305.33	1 187.60
	12~15	228.71	309.53	142.48	94.39	546.41
	15~25	889.08	787.94	238.88	109.46	1 136.28
	>25	659.25	284.22	39.65	8.16	332.03
	总面积	2 172.44	2 218.87	1 024.10	1 024.45	4 267.42

在山区,一般坡度 $>25^{\circ}$ 就不适宜发展种植业,也就是说在坡度 $>25^{\circ}$ 这个范围内,人类活动相对较少,对土地利用程度较低,对植被和土层的破坏不严重,因此石漠化现象有所缓解。而在 $0^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 范围内,都有不同程度的人类活动,都对地表植被土层造成了一定程度的不良影响,因此石漠化现象加剧,轻度石漠化转为中度石漠化和重度石漠化,部分中度石漠化转为重度石漠化。研究结果表明在坡度为 $3^{\circ}\sim 25^{\circ}$,石漠化现象十分突出,人类活动是石漠化加剧的主导因素,而自然因素的影响相对较小。另一方面,随着城镇上山政策的推进,一部分坡度在 $12^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 的区域成为了城镇上山的试点区域,人为活动的增加导致石漠化程度的加剧,因此2002—2009年此坡度范围的石漠化增长率略高于1990—2002年。随着政府对石漠化防治的关注度越来越高,退耕还林等政策的推进,部分坡度较大的山区石漠化程度有所改善,因此无石漠化面积呈现出先减少后增加的趋势,但总体来说石漠化的恶化程度远远大于政府的防治程度,形式严峻依旧不容乐观。

3.2.3 不同坡向石漠化的空间分布 综合考虑研究区地形特点,选取平面、北、东北等9个不同的坡向分层设色,用上述方法对研究区内不同坡向石漠化空间分布的变化趋势进行分析。(附图4,表4)

从表4和附图4可以看出,在各坡向上盘龙河流域石漠化面积均呈增长趋势,在N,NE,E方向上石漠化面积在1990—2002年增长率较高,分别为11.6%,20.7%,17.3%,另外还有NW方向上,石漠化面积增长幅度1990—2002年大于2002—2009年,其余方向石漠化增长幅度2002—2009年大于1990—2002年。而就石漠化空间分布来看,在SE,S,WS方向上则石漠化面积分布最广。

具体来看,轻度石漠化区域除在SE,S,WS上面积有所增长外,在其余坡向石漠化面积均有所减少。中度石漠化除在WS方向上呈现出先增加后减少的变化趋势外,在其余各坡向均增加,尤其在E,SE,S方向上增长幅度较大,增长率在2个年份段分别为83.6%,12%,56%,36.9%,256%,33.8%。重度石漠化在各坡向上均增加,同样在E,SE,S方向上增长幅度较大。

南、东南、西南坡是迎风坡、向阳坡,水热充足,这些地方一旦地表植被遭受到破坏,石灰岩容易受到雨水的溶蚀、冲刷等侵蚀作用,地表水土流失较之其他坡向更为严重,极易造成基岩大面积裸露,形成石漠化,因此在自然和人为因素的共同作用下,SE,S,WS方向上,石漠化面积分布最广。而北坡、东北坡和东坡,虽然辐射收入相对较少,植被类型和数量也没有

向阳坡那么丰富,但人类活动开发较早,在人类活动的影响下,由于其较脆弱的生态环境,石漠化面积增长极快,增长率十分高,随着当地政府加大石漠化防治力度,N,NE,E 坡向上的石漠化程度得到一定的缓解,增长率有所下降。轻度石漠化除 SE,S,WS 方向人类活动加剧导致轻度石漠化面积增加外,在其余坡

向小幅减少的原因在于石漠化现象加剧,轻度向中度和重度石漠化逐渐过渡,中度和重度石漠化面积大幅增加。研究表明,石漠化在向阳坡面积分布最广,在背阴坡增长率较高。此外,据数据统计可知,当地政府采取的石漠化防治措施取得了一定的成效,随着时间的推移,石漠化在各坡向上的恶化程度有所缓解。

表 4 1990—2009 年盘龙河流域石漠化在不同坡向的空间分布

年份	坡向/ 石漠化强度	无	轻度	中度	重度	总面积/ km ²
1990 年各级石漠化 等级面积/km ²	平坡	10.63	9.14	2.50	3.63	15.26
	北坡	453.81	303.95	56.55	57.25	417.75
	东北坡	397.03	291.51	55.87	53.03	400.40
	东坡	388.28	318.78	64.91	57.35	441.05
	东南坡	398.89	377.42	82.24	75.44	535.09
	南坡	339.67	376.99	88.58	90.34	555.90
	西南坡	276.55	349.73	79.31	86.58	515.63
	西坡	270.41	330.04	64.47	69.28	463.79
	西北坡	373.03	314.84	56.19	59.93	430.94
	总面积	2908.31	2672.38	550.61	552.83	3775.82
2002 年各级石漠化 等级面积/km ²	平坡	2.01	3.13	2.74	10.47	16.34
	北坡	350.21	273.5	107.07	85.78	466.35
	东北坡	308.68	271.57	114.37	97.21	483.15
	东坡	292.54	286.63	119.18	111.58	517.39
	东南坡	311.77	331.60	115.71	128.32	575.66
	南坡	293.78	324.96	111.4	136.49	572.85
	西南坡	258.75	292.84	112.55	113.14	518.53
	西坡	256.15	273.47	80.71	99.94	454.12
	西北坡	311.05	279.95	82.53	96.49	458.97
	总面积	2388.94	2343.68	851.26	899.42	4094.36
2009 年各级石漠化 等级面积/km ²	平坡	1.26	2.86	3.14	11.61	17.60
	北坡	342.69	264.00	120.16	118.00	502.16
	东北坡	268.88	252.60	127.82	117.60	498.02
	东坡	254.56	274.74	142.19	126.10	543.04
	东南坡	276.58	320.43	158.40	145.45	624.28
	南坡	247.38	312.86	148.58	150.91	612.34
	西南坡	223.59	277.50	121.98	135.57	535.05
	西坡	242.36	257.79	99.74	110.27	467.80
	西北坡	315.12	256.10	102.09	108.93	467.12
	总面积	2172.44	2218.87	1024.10	1024.45	4267.42

4 结论

盘龙河流域石漠化现象总体呈现出加重趋势,1990—2009 年,无石漠化土地面积大大减少,而小部分轻度石漠化土地经治理转变成了无石漠化,但大部分则逐步转化为中度和重度石漠化土地,总体上石漠化恶化速度快,治理难度大,形势相当严峻,石漠化的防治工作任务仍十分艰巨。

石漠化分布在空间格局上存在明显差异,石漠化

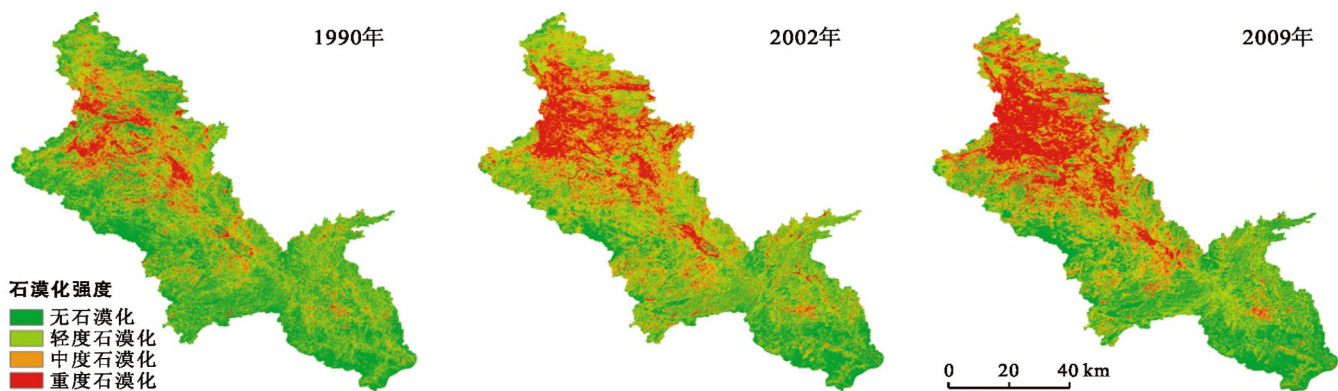
现象加重的地区主要集中在流域中部及西北部海拔适中,地形相对平坦的人口集中区,而在流域边缘地带、南部和东南部,无石漠化土地占绝大部分,石漠化现象不严重。

研究区石漠化景观格局变化和空间分布明显受地形因子的影响。在海拔适中的 1 300~1 900 m 范围内,人为因素的作用明显大于自然因素的作用,而在 1 900~3 000 m 范围内,则自然因素的作用较大,最终都导致石漠化面积增加。在坡度为 6°~25°之

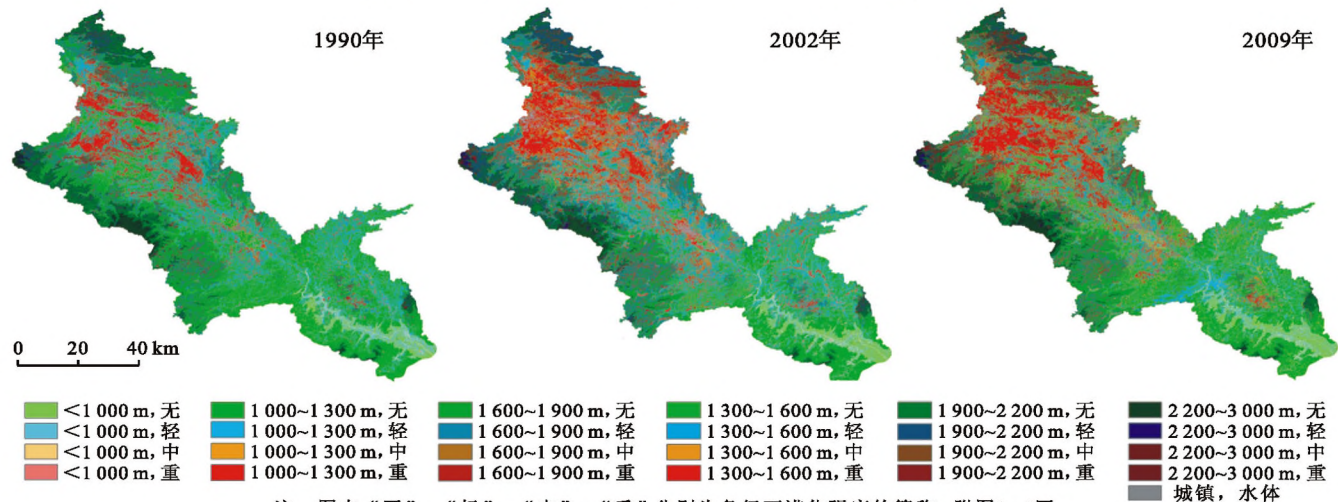
间,石漠化现象十分突出,人类活动是石漠化加剧的主导因素,自然因素的影响相对较小,而 $>25^{\circ}$ 范围内,由于较少受到人类活动的影响,有利于植被的周期性恢复和石漠化防治工作的开展,因此石漠化现象有所缓解。石漠化在南、东南和西南等向阳坡坡面积分布最广,而在北、东北和东等背阴坡增长率较高。研究不同地形因子的石漠化空间分布关系,对石漠化的防治工作有积极意义,才能更好地提高喀斯特地区的生态环境质量。

[参 考 文 献]

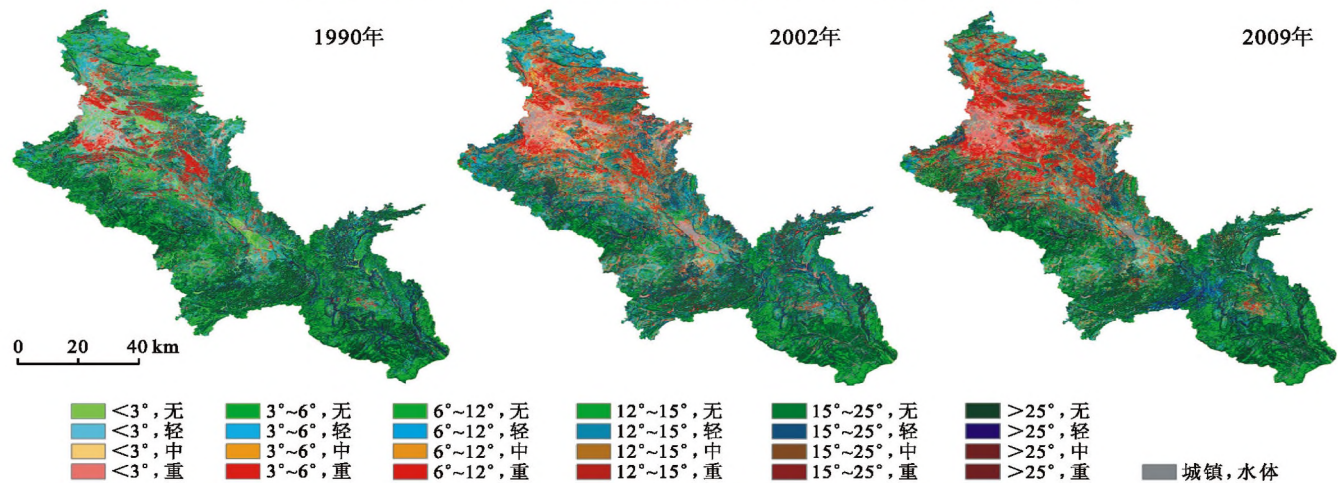
- [1] 王世杰. 喀斯特石漠化概念演绎及其科学内涵的探讨[J]. 中国岩溶, 2002, 21(2): 101-105.
- [2] 李阳兵, 王世杰, 容丽. 关于喀斯特石漠化和石漠化概念的探讨[J]. 中国沙漠, 2004, 24(6): 689-695.
- [3] 张盼盼, 胡远满, 肖笃宁, 等. 地形因子对喀斯特高原山区潜在石漠化景观格局变化的影响分析[J]. 土壤通报, 2010, 41(6): 1305-1310.
- [4] WU Xinqin, LIU Hongmeng, HUANG Xiulan, et al. Human Driving Forces: Analysis of rocky desertification in karst region in Guanling County, Guizhou Province [J]. China Geogra. Sci., 2011, 21(5): 600-608.
- [5] 吴良林, 陈秋华, 卢远, 等. 基于 GIS/RS 的桂西北土地石漠化与喀斯特地形空间相关性分析[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(4): 100-105.
- [6] 谷晓平, 于飞, 刘云慧, 等. 降雨因子对喀斯特石漠化发生发展的影响研究[J]. 水土保持通报, 2011, 31(3): 66-70.
- [7] 胡宝清, 廖赤眉, 严志强, 等. 基于 RS 和 GIS 的喀斯特石漠化驱动机制分析: 以广西都安瑶族自治县为例[J]. 山地学报, 2004, 22(5): 583-590.
- [8] 兰安军. 基于 GIS-RS 的贵州喀斯特石漠化空间格局与演化机制研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2003.
- [9] 陈起伟, 兰安军, 熊康宁. 基于 3S 的花江喀斯特峡谷区石漠化变化趋势[J]. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 2005, 23(3): 32-37.
- [10] 胡顺光, 张增祥, 夏奎菊. 遥感石漠化信息的提取[J]. 地球信息科学学报, 2010, 12(6): 870-879.
- [11] 崔一娇, 朱琳, 赵力娟. 基于面向对象及光谱特征的植被信息提取与分析[J]. 生态学报, 2013, 33(3): 867-875.
- [12] Guo Wenqing, AN Yulun, Liu Shixi. Study on the driving forces of rocky desertification in Guizhou Province based on variation coefficient method[J]. Meteorological and Environmental Research, 2011, 2(2): 76-79.
- [13] 伍光和, 王乃昂, 胡双熙, 等. 自然地理学[M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- [14] 陈起伟, 熊康宁, 蓝安军. 基于“3S”的贵州喀斯特石漠化现状及变化趋势分析[J]. 中国岩溶, 2007, 26(1): 37-42.
- [15] 吴风志, 王金亮, 张俊黎, 等. 昆明市石漠化敏感性评价[J]. 环境科学导刊, 2012, 31(5): 10-13.
- [16] 张盼盼, 胡远满, 肖笃宁, 等. 一种基于多光谱遥感影像的喀斯特地区裸岩率的计算方法初探[J]. 遥感技术与运用, 2010, 25(4): 510-514.
- [17] 江洪, 汪小钦, 陈星. 一种以 FCD 模型从 STOP 影像提取植被覆盖率的方法[J]. 地球信息科学, 2005, 7(4): 113-116.
- [18] 吴宏安, 蒋建军, 张海龙, 等. 比值居民地指数在城镇信息提取中的应用[J]. 南京师范大学报: 自然科学版, 2006, 29(3): 118-121.



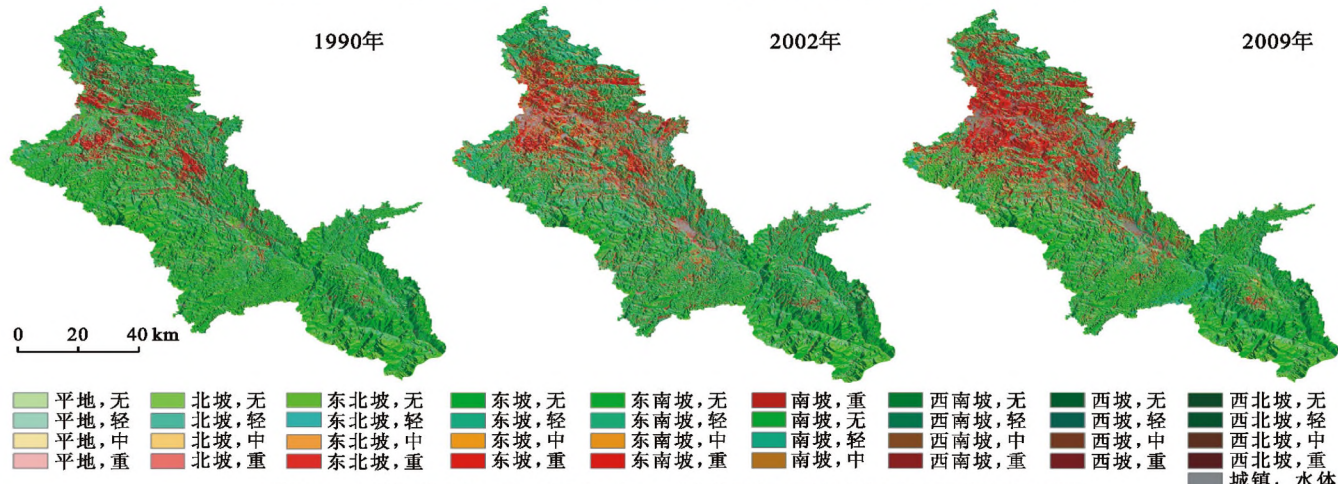
附图1 盘龙河流域1990, 2002, 2009年石漠化强度(329页)



附图2 盘龙河流域1990, 2002, 2009年不同海拔石漠化强度空间分布(329页)



附图3 盘龙河流域1990, 2002, 2009年不同坡度石漠化强度空间分布(330页)



附图4 盘龙河流域1990, 2002, 2009年不同坡向石漠化强度空间分布(331页)