

贵州连续性白云岩小流域的石漠化景观格局*

谭秋^{1*} 周梦维^{2,3} 王华⁴ 杨晓英¹

(¹ 贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵阳 550001; ² 中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室, 北京 100101;

³ 中国科学院研究生院, 北京 100049; ⁴ 西华大学能源与环境学院, 成都 610039)

摘要 选择3个典型的连续性白云岩为基底、不同地貌区域的小流域为对象, 对其石漠化景观格局进行分析。结果表明, 石漠化状况最严重的是斜坡区, 其次为峡谷区。景观多样性指数及均匀度指数以斜坡区最高, 其次为峡谷区。景观形状指数和破碎度指数以峡谷区最高、其次为高原区。蔓延度指数从高原区到峡谷区渐减。高原区景观稳定, 生态环境最优, 斜坡区石漠化的面积最大且强度高, 景观处于不稳定状态, 峡谷区石漠化面积虽大但不严重, 景观受自然因素的影响较多。

关键词 喀斯特; 景观指数; 石漠化治理

中图分类号 X171.1; Q149 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2009)08-1613-06

Landscape patterns of rocky desertification in homogenous dolomite catchments in Guizhou Province. TAN Qiu¹, ZHOU Meng-wei^{2,3}, WANG Hua⁴, YANG Xiao-ying¹ (¹ School of Geographic and Environmental Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China; ² State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; ³ Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; ⁴ School of Energy & Environment, Xihua University, Chengdu 610096, China). *Chinese Journal of Ecology* 2009 28(8):1613-1618.

Abstract: Three homogenous dolomite catchments with different landforms in Guizhou Province were selected to analyze the landscape pattern of rocky desertification. The rocky desertification was most severe in slope areas where the landscape diversity index and landscape evenness index were the highest, followed by in valley areas. The landscape shape index and landscape fragmentation index were the highest in valley areas, followed by in plateau areas, and the landscape contagion index decreased gradually from plateau to valley areas. Slope areas had the largest area and the highest intensity of rocky desertification, and their landscape was instable; valley areas had larger area of moderate rocky desertification, and natural factors dominated the development of their landscape; while plateau areas had stable landscape, and its ecological environment was the best.

Key words: Karst; landscape index; rocky desertification control.

喀斯特石漠化作为我国西南最严重的生态地质环境问题(王世杰, 2003), 自20世纪90年代末期以来一直受到普遍重视(Yuan, 1997; 喻甦, 2003; 李阳兵等, 2004a)。研究表明, 石漠化的发生与其岩性背景息息相关(李瑞玲等, 2003; 周忠发和黄路迦, 2003; 蒋树芳等, 2004; 肖丹等, 2006)。从贵州省来

看, 连续性白云岩地区中中度石漠化和强度石漠化的面积发生比例仅次于连续性石灰岩地区(李瑞玲等, 2003)。流域是一个完整的自然地理单元, 流域内景观格局是自然和人类活动叠加作用的结果; 同时, 流域景观格局的演变直接制约着流域内的水文过程、水化学过程、生物过程等自然过程的发生发展, 维系着流域的生态安全和人类的生产生活活动(肖笃宁等, 1997; 邬建国, 2000; 傅伯杰等, 2001)。基于流域生态学和景观生态学的思想, 以流域为研究尺度, 分析流域内景观格局的动态变化, 以便在此

* 贵州省科技厅2008年度工业攻关计划项目“基于中巴02B星的毕节地区生态建设与演化遥感示范研究”、贵州省科学技术基金(黔科合J字[2008]2012号)和西华大学人才引进基金资助项目(R0520439)。

** 通讯作者 E-mail: tanqiu@126.com

收稿日期: 2009-03-04 接受日期: 2009-05-18

基础之上制定出合理的景观调控对策,是进行流域综合治理的关键之举(赵景柱,1990;Verburg *et al.*, 1999;Walker & Solecki,1999)。目前,喀斯特石漠化治理的前提是开展土地石漠化成因机制的研究(王世杰和李阳兵,2007),通过连续性白云岩地区小流域的石漠化景观分析,有助于了解不同地貌类型在相同岩性条件下对景观发育的控制作用的差异,找到石漠化发生发展的规律性,以期为喀斯特地区的石漠化治理及生态重建提供相应对策。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区的选取与概况

在小区域内,碳酸盐岩峰体形态的差别主要受岩性和地质构造的控制,进而影响景观的形成和发育(曾昭璇,1982;袁道先,1984)。研究区选点的首要条件是要求研究区的岩性统一,即都在连续性白云岩控制之下。小流域是一个水文单元,又是一个自然生物单元,同时还是一个社会-经济-政治单元,是一个资源管理和规划的综合单元(卢剑波和王兆骞,2000),可见也是石漠化治理的基本单元,因此选点对象是以单个完全在连续性石灰岩控制下的小流域为界。在贵州高原-峡谷的典型地貌区中,黔中地区是高原的真正代表地区,高原面保存完好,是贵州高原层状地貌的一级夷平面(秦守荣等,2002;周德全等,2005),也是贵州境内2大水系——北部长江水系和南部珠江水系的分水岭所在地。因此,把高原区定为这2大分水岭所在的该地区。北盘江发源于云南与贵州交界的库拉河和可渡河,是贵州省内第二大河,是红水河上游左岸最大支流,属珠江流域西江水系。贵州西南部关岭县和贞丰县交接处的北盘江花江段,归属珠江流域,北盘江在此深切北陡南缓向斜构造形成的喀斯特峡谷,形成了一宽谷套峡的叠置谷,喀斯特发育较强烈。花江峡谷指包含峡谷和两岸在内的完整谷地,总面积4716 km²,区内碳酸盐岩出露面积达88.11%,其裸露型喀斯特山地峡谷生态环境是贵州典型的喀斯特峡谷区(李阳兵等,2004b)。研究区选择范围为黔中高原至北盘江峡谷的区域之间,为避免地带性因素的影响,小流域间以地理位置相互靠近为原则。

以GIS软件为平台对相关的数据(如地貌、岩性、河流)进行叠加,初选出理论上较适合的研究点,再在野外对初选点的岩性的一致性、地貌的符合以及水文特征根据以上选点原则进行筛选、确定,最

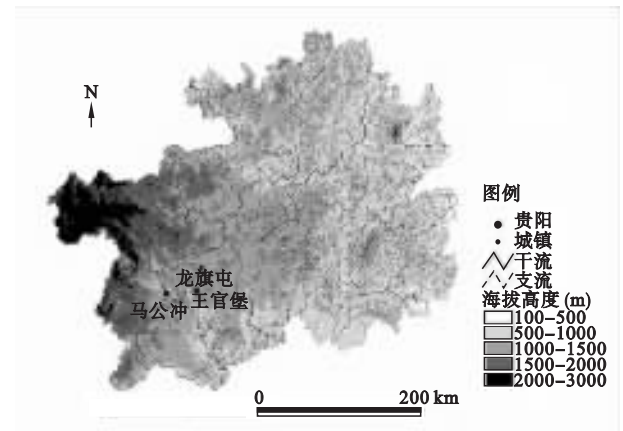


图1 研究区分布示意图

Fig.1 Distribution of the study area

后选择了流域岩性完全一致的较接近的位于黔中高原的龙旗屯流域和北盘江峡谷地带的马公冲流域作为高原区和峡谷区的代表,然后在这2个流域间的选择较为居中的王官堡流域作为斜坡过渡区研究点(图1)。

高原区流域位于贵州省安顺市西秀区宋旗镇的龙旗屯流域,流域面积2.8 km²,该流域位于长江与珠江的分水岭处,为长江水系的三岔河支流潘燕大河发源地,流向自东向西;流域海拔高度为1365~1510 m,相对高差145 m。斜坡过渡区流域位于贵州省安顺市镇宁布依族苗族自治县马厂镇的王官堡流域,流域面积2.8 km²;河流属珠江水系,为北盘江支流打帮河,流向自西南向东北;流域海拔高度为1020~1320 m,相对高差300 m。峡谷区流域位于贵州省黔西南州晴隆县光照镇的马公冲流域,面积2.23 km²,河流自南向北注入北盘江干流,流域海拔高度为570~1220 m,相对高差650 m。从高原区到峡谷区,随着流域整体海拔高度的下降,流域内相对高差不断增长,体现了河流下切的深入及其所属的地貌特征。这3个流域的岩性均为连续性白云岩,同时为了利于减少干扰因素,研究区都位于远离大型城镇的农村地区,土地利用以传统农业的水田和旱地为主,景观的驱动机制以农业生产方式为统一。

1.2 研究方法

以2004年ASTER影像为数据源,空间分辨率为15 m。在ERDAS IMAGINE软件上使用ISODATA算法(基于最小光谱距离公式)对数据源进行非监督分类。根据野外调查时1:10000地形图上不同石漠化景观的地面实况调查点建立解译标志,对非监督分类图经聚类统计、过滤分析、去除分析、分类

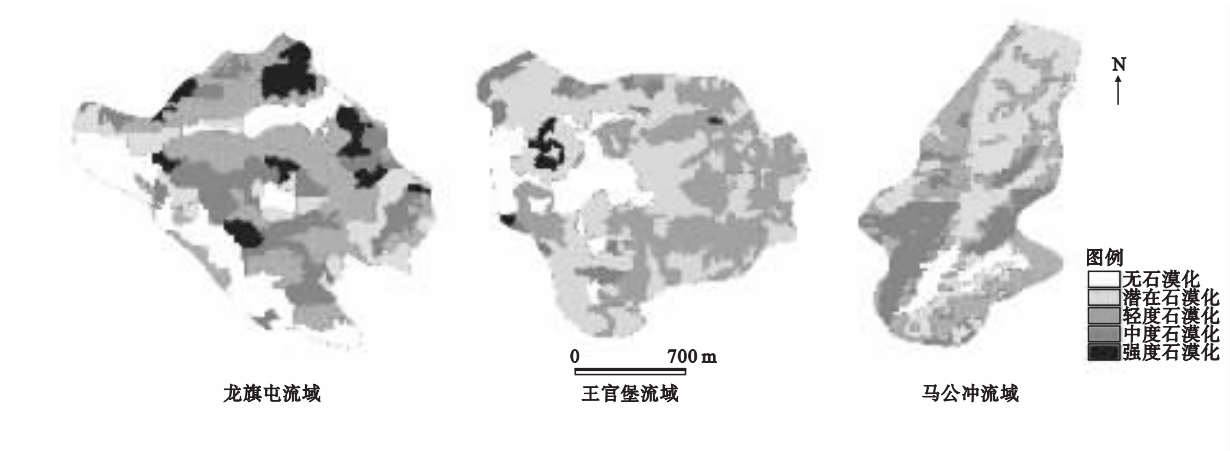


图2 研究区石漠化分布示意图
Fig.2 Distribution of the rocky desertification in study area

重编码等分类处理后解译,再在野外工作采用随机选取采样点, GPS 定位,记录实地海拔高度、地貌类型、土地利用类型。根据实地记录与解译结果对比,得出遥感解译的判断精度和地类界线勾绘的准确程度约 90%,得到 3 个小流域的石漠化景观图(图 2)。其中景观的分类借鉴贵州师范大学的石漠化指标体系,将贵州喀斯特石漠化程度划分为无石漠化、潜在石漠化、轻度石漠化、中度石漠化、强度石漠化等 6 个判别等级(熊康宁等 2002)。

景观格局是景观空间异质性的具体表现,同时也是各种生态过程在不同尺度上使用的结果(陈文波等 2002)。研究景观格局的目的是从看似无序的景观斑块镶嵌中,发现潜在的有意义的规律性(李哈滨和 Franklin,1988)。本文的景观指数计算

是以 FRAGSTATS 软件为平台,基于目的在于探讨流域石漠化整体景观特征,并且参考景观生态学文献中的格局分析方法,主要采用 Shannon 多样性、均匀度、形状、蔓延度、破碎度等景观指数,指数的计算公式见表 1。

2 结果与分析

2.1 连续性白云岩流域不同石漠化等级的分布
由表 2 可知,在 3 个流域中,高原区龙旗屯流域未发生石漠化(包括无石漠化和潜在石漠化)的面积比最大(59.02%);斜坡区王官堡流域未发生石漠化面积比最小,但无石漠化面积比最大,峡谷区马公冲流域未发生石漠化的面积比为 43.96%,无石漠化面积比最小。

表 1 景观指数及其计算公式
Tab.1 Landscape index and its computing formula

景观指数	计算公式
Shannon 多样性指数	$H' = - \sum_{i=1}^m p_i \times \ln p_i$ <p>p_i 为类型 i 在整个景观中所占的面积比例, m 为景观中斑块类型的总数。当各类型面积比例相当时,该指标达到最大值,当只有一种类型时,其值为 0</p>
均匀度指数	$E = \frac{- \sum_{i=1}^m p_i \times \ln p_i}{\ln m}$ <p>p_i 为类型 i 在整个景观中所占的面积比例, m 为景观中斑块类型的总数, $\ln m$ 是式中分子的最大取值,也就是景观多样性的最大值</p>
形状指数	$LSI = \frac{0.25L}{\sqrt{A}}$ <p>L 为景观中所有斑块边界的总长度, A 为景观总面积。取值范围: $LSI \geq 1$, 无上限。当景观中只有一个正方形斑块时, $LSI = 1$; 当景观中斑块形状不规则或偏离正方形时, LSI 值增大</p>
蔓延度指数	$C = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m P_{ij} \ln P_{ij}}{\ln m}$ <p>m 为景观中的斑块类型数, P_{ij} 为面积加权的概率值, L_i 和 Reynolds (1993) 将其定义为 i 类与 j 类像元相邻的条件概率与 i 类像元在景观中所占面积的比例之积。即 $P_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_i} \cdot \frac{A_j}{A}$, N_{ij} 为栅格景观图中类型 i 的像元与类型 j 的像元相邻的次数, N_i 为 i 类像元与所有像元相邻的总次数(包括 i 类像元本身), A_i 为 i 类像元的总面积, A 为所研究区域的总面积</p>
破碎度指数	$FN = (NP - 1) / NC \times 100\%$ <p>NP 为景观内各类斑块的总数, NC 为景观数据矩阵中栅格的总数</p>

表 2 连续性白云岩流域不同石漠化的分布
Tab. 2 Distribution of the rocky desertification in the homogenous dolomite catchments

类别	级别	高原区(龙旗屯流域)		斜坡区(王官堡流域)		峡谷区(马公冲流域)	
		面积(hm ²)	面积比(%)	面积(hm ²)	面积比(%)	面积(hm ²)	面积比(%)
未发生	无石漠化	38. 12	13. 61	61. 57	22. 01	15. 66	7. 01
	潜在石漠化	127. 21	45. 41	36. 8	13. 16	82. 58	36. 95
发生	轻度石漠化	95. 24	34	100. 6	35. 96	81. 49	36. 47
	中度石漠化	14. 23	5. 08	53. 34	19. 07	43. 74	19. 57
	强度石漠化	5. 34	1. 91	27. 41	9. 8	0	0

轻度石漠化面积比最大的是峡谷区流域 ,从高原区到峡谷区 ,轻度石漠化面积比略呈上升。中度石漠化面积比最多的仍是峡谷区流域 ,但高原区流域比斜坡区面积比稍大。峡谷区流域无强度石漠化分布 ,斜坡区流域强度石漠化面积比高原区高 7. 89%。斜坡区的中、强度石漠化面积比为 28. 87% ,石漠化强度最大 ;高原区的中、强度石漠化面积比最小 ,峡谷区则全为中度石漠化。

从总体来看 ,流域中石漠化发生面积最小、石漠化发生强度最弱的是高原区 ;发生最广的在斜坡区 ,且其强度最大 ,峡谷区石漠化发生面积虽大 ,但其强度在中度石漠化以内 ,石漠化状况并不严重。

2. 2 连续性白云岩小流域石漠化景观格局

景观多样性是指景观在结构、功能上的多样性 ,用以揭示景观的复杂程度。一个景观系统中 ,Shannon 多样性指数愈高 ,景观要素类型愈丰富 ,其信息含量的不定性也就越大(王昭艳等 2004)。这与景观中的生物多样性意义不同。由表 3 可知 ,Shannon 多样性指数以斜坡区(王官堡流域)最高 ,峡谷区(马公冲流域)多样性指数稍高于高原区(龙旗屯流域)。就此指数而言 ,研究区中的斜坡区景观相比最不稳定 ,高原区景观稳定性最好。喀斯特生态系统因其下伏母岩——碳酸盐类岩的常温下易溶蚀性造成多孔、易干旱的基本特性 ,其脆弱和容量特点类似于荒漠边缘(李玉辉 2000)。在质量良好、没有污染、生态系统良性演化、受人类扰动轻微的喀斯特环境 ,它们的种群结构和生物量是简单与偏低的 ,反映出环境的严酷与脆弱(杨汉奎 ,1989 ;杨明德 ,1990)。

表 3 连续性白云岩流域景观指数
Tab. 3 Landscape index of the homogenous dolomite catchments

流域	多样性指数	均匀度指数	形状指数	蔓延度指数	破碎度指数
龙旗屯	1. 2218	0. 7592	7. 5268	0. 5103	1. 2474
王官堡	1. 5117	0. 9393	7. 0537	0. 4271	1. 2446
马公冲	1. 2400	0. 8945	7. 9753	0. 4250	1. 5405

例如 ,茂兰喀斯特森林群落的绿色生物量(149. 123 t · hm⁻²) ,远低于同生态位的非喀斯特森林 ,只相当于沙漠边缘(150 t · hm⁻²) ,环境容量低(杨汉奎 ,1994)。石漠化的发生引发了喀斯特环境一旦遭到破坏就很难恢复的脆弱性 ,加速了遭到破坏的生态环境的退化。研究区石漠化景观的不稳定性既是石漠化发生的结果 ,同时又是加剧石漠化进程的因素之一 ,流域石漠化景观的不稳定性与其石漠化的面积分布互为因果。

景观均匀度反映景观中不同生态系统斑块分布的均匀程度 ,取值范围为 0 ~ 1 ,取值越低 ,各类型所占面积比例差异越大 ,越接近 1 ,则类型间的面积比例越接近。均匀度越小 ,意味着景观由越少的生态系统控制(傅伯杰等 2001)。均匀度指数和多样性指数在连续性白云岩流域中分布规律一致 ,但数值相差仅 0. 1801。而流域的均匀度在 0. 7592 ~ 0. 9393 内 ,说明从整体景观来看 ,连续性白云岩的石漠化景观类型间面积比例较接近 ,其中斜坡区的斑块面积比例最接近 ,即斑块在面积上分布均匀。

形状指数描述整体景观斑块形状变异的指数。一般地讲 ,自然过程造成的斑块常表现出不规则的复杂形状 ,而人为斑块往往表现出较规则的几何形状(邬建国 2000)。相比不同景观的形状指数 ,可对比景观形成过程中人为干扰作用在生态过程中的影响差异 ,可间接对景观斑块的起源有整体上的了解。从形状指数来看 ,3 个流域数值差别不大 ,峡谷区流域相比最大 ,斑块形状最不规则 ,斜坡区斑块形状相比之下较规则。峡谷区石漠化斑块受自然因素的影响比较多 ,高原区和斜坡区的人为干扰活动较强烈。

蔓延度指数反映景观中斑块类型的非随机性或聚集程度 ,其取值范围在 0 ~ 1 ,当数值接近于 1 时 ,代表景观由少数团聚的大斑块组成 ,数值小则代表景观由许多小斑块组成。高原区的蔓延度指数最大 ,斜坡区数值稍高于峡谷区。高原区数值最接近

1 相比之下,石漠化景观由少数团聚的大斑块组成,景观稳定性强。斜坡区和峡谷区景观组成斑块要小些。体现出从贵州高原区到峡谷区,伴随着河流的下切逐步加强景观面积的减少。

破碎度是指景观被分割的破碎程度,即景观的景观类型在给定时间里和给定性质上的破碎化程度。生境的破碎化与自然保护紧密相关,许多濒危物种需要大面积自然生境才能保证生存(傅伯杰等 2001)。物种如果不能适应破碎景观,它就必然走向灭绝。由此可见,景观的破碎化容易为石漠化的发展提供机会与空间,与生态退化的密切相关。对流域的破碎化指数进行比较可见,峡谷区石漠化景观破碎化程度最高,高原区和斜坡区石漠化景观破碎化程度相当。峡谷区虽然在流域中石漠化的强度未到顶级,但轻、中度石漠化的面积比却是流域中最大的,尤其是其潜在石漠化面积比高达 36.95%,存在大量的石漠化隐患,其破碎化是峡谷区石漠化防治的主要目标。

3 讨论

石漠化是人地矛盾的产物,自然背景与人为活动在不同的地貌区景观的形成中各自作用的轻重也在相应变化。贵州高原区常上覆厚达十数米或数十米的红色残积型风化壳,虽然人为活动多,因其深厚的土壤背景有着良好的抗干扰能力,因此自然景观抗干扰能力较强,景观稳定性较好。峡谷区地形切割强烈,除了零星的较矮的乔木外多为中度覆盖的草地,土层极薄。野外调查中得知,该区的农民在之前的耕作活动时已发现一旦在坡地上开垦,在 2 年左右的时间,土壤肥力就会流失殆尽。因此峡谷区的坡地上人为活动是 3 个区中最弱的,故而生态环境及景观稳定性也优于斜坡区。斜坡区虽然抗干扰能力稍好于峡谷区,但其上强烈的人为扰动加之较弱的抗干扰能力使得石漠化景观发生频率高且强度大,处于不稳定状态,故而石漠化更严重。

在连续性白云岩地区,石漠化的分级治理应以发生面广且强度最大的斜坡区为第一优先,其次是高原区。由于高原区地形的切割度小于斜坡区,山坡上雨水对土壤的冲击力较弱,坡土下滑的重力势能不强,流域石漠化状况较好。而在峡谷区注重自然坡地的保护,它们的流域底部存在面积范围颇大、地势平坦的土壤流失堆积区,在其上应以精耕细作地发展高产种植业,发展小康型种植业。白云岩地

区地表光滑平整,小生境多为土面或碎石面,亦极少石沟等负地形积累区,环境较为一致。景观上表现似常态地貌,但事实上土层亦十分浅薄,极高的石砾含量是其典型特征。较为单一的地表特征和高的石砾含量使生境的恶劣程度相对一致,局部的阴湿环境极少,对植物的繁殖和存活十分不利,石漠化发生后人工恢复的困难程度较高(王德炉等 2005)。因此,白云岩地区治理原则中保护强度优于恢复,对其坡地的利用恢复有待于土壤、植被、水文多方面的研究。

各流域的生态环境相比,高原区最优,石漠化面积小且强度最弱,景观的稳定性最强相应的抗干扰能力也最好,峡谷区其次,石漠化发生面积虽大,但其强度在中度石漠化以内,石漠化现状并不严重。从景观分析来看,其石漠化发生的自然因素比例大于其他 2 个流域,石漠化现状虽轻,但其破碎化的景观特征为石漠化的发展提供了较大的潜在趋势,生态脆弱度高,斜坡区生态环境最差,石漠化发生的面积比与强度都是最大。

参考文献

- 陈文波,肖笃宁,李秀珍. 2002. 景观空间分析的特征和主要内容. 生态学报, 22(7): 1135-1142.
- 傅伯杰,陈利顶,马克明,等. 2001. 景观生态学原理及应用. 北京: 科学出版社.
- 蒋树芳,胡宝清,黄秋燕,等. 2004. 广西都安喀斯特石漠化的分布特征及其与岩性的空间相关性. 大地构造与成矿学, 28(2): 214-219.
- 李哈滨, Franklin JF. 1988. 景观生态学——生态学领域里的新概念构架. 生态学进展, 5(1): 23-33.
- 李瑞玲,王世杰,周德全,等. 2003. 贵州岩溶地区岩性与土地石漠化的相关分析. 地理学报, 58(2): 314-320.
- 李阳兵,王世杰,李瑞玲,等. 2004b. 花江喀斯特峡谷地区石漠化成因初探. 水文地质工程地质, 31(6): 37-42.
- 李阳兵,王世杰,容丽. 2004a. 西南岩溶山地石漠化及生态恢复研究展望. 生态学杂志, 23(6): 84-88.
- 李玉辉. 2000. 喀斯特的内涵的发展及喀斯特生态环境保护. 中国岩溶, 19(3): 260-267.
- 卢剑波,王兆骞. 2000. GIS 支持下的青石山小流域农业生态信息系统(QWAEIS)及其应用研究. 应用生态学报, 11(5): 703-706.
- 秦守荣,张慧,王天华. 2002. 贵州的多级剥夷面. 贵州地质, 19(2): 86-92.
- 王德炉,朱守谦,黄宝龙. 2005. 贵州喀斯特石漠化类型及程度评价. 生态学报, 25(5): 1057-1063.
- 王世杰,李阳兵. 2007. 喀斯特石漠化研究存在的问题与发

- 展趋势. 地球科学进展, **22**(6):573-582.
- 王世杰. 2003. 喀斯特石漠化——中国西南最严重的生态地质环境问题. 矿物岩石地球化学通报, **22**(2):120-126.
- 王昭艳, 饶志广, 王秀珍. 2004. 小流域土地景观格局分析. 水土保持科技情报, (4):31-33.
- 邬建国. 2000. 景观生态学——概念与理论. 生态学杂志, **19**(1):42-52.
- 肖丹, 熊康宁, 兰安军, 等. 2006. 贵州省绥阳县喀斯特石漠化分布与岩性相关性分析. 地球与环境, **34**(2):77-81.
- 肖笃宁, 布仁仓, 李秀珍. 1997. 生态空间理论与景观异质性. 生态学报, **17**(5):453-461.
- 熊康宁, 黎平, 周忠发, 等. 2002. 喀斯特石漠化的遥感-GIS典型研究——以贵州省为例. 北京:地质出版社.
- 杨汉奎. 1989. 脆弱的喀斯特环境. 贵州科学, (1):5-14.
- 杨汉奎. 1994. 论喀斯特环境质量变异// 谢云鹤, 杨明德. 人类活动与岩溶环境. 北京:北京科学技术出版社:1-7.
- 杨明德. 1990. 论喀斯特环境的脆弱性. 云南地理环境研究, **2**(1):21-29.
- 喻甦. 2003. 中国石漠化分布现状与特点. 中南林业调查规划, **22**(2):53-55.
- 袁道先. 1984. 论峰林地形. 南方国土资源, (1):82-89.
- 曾昭璇. 1982. 论我国南部喀斯特地形的特征. 中国岩溶, **1**(1):27-32.
- 赵景柱. 1990. 景观生态空间格局动态度量指标体系. 生态学报, **10**(2):182-186.
- 周德全, 刘秀明, 姜立君, 等. 2005. 贵州高原层状地貌与高原抬升. 地球与环境, **33**(2):79-84.
- 周忠发, 黄路迦. 2003. 喀斯特地区石漠化与地层岩性关系分析——以贵州高原清镇市为例. 水土保持通报, **23**(1):19-22.
- Li H, Reynolds JF. 1993. A new contagion index to quantify spatial patterns of landscapes. *Landscape Ecology*, **8**:155-162.
- Verburg PH, de Koning GHJ, Kok K, et al. 1999. A spatial explicit allocation procedure for modeling the pattern of land use change based upon actual land use. *Ecological Modelling*, **116**:45-61.
- Walker RT, Solecki WD. 1999. Managing land use and land cover change: The New Jersey Pinelands Biosphere Reserve. *Annals of the Associations of American Geographers*, **89**:220-237.
- Yuan DX. 1997. Rock desertification in the subtropical karst of south china. *Zeitschrift für Geomorphologie*, **108**:81-90.

作者简介 谭秋,女,1972年生,博士,副教授。从事环境地球化学及石漠化生态方面研究,发表论文10篇。E-mail: tanqiu@126.com

责任编辑 魏中青
