

贵州省喀斯特地区土地石漠化的内动力作用机制

张殿发¹, 王世杰¹, 周德全², 李瑞玲¹

(1. 中国科学院 地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002;

2. 贵州省区域地质调查研究院, 贵州 贵阳 500005)

摘 要: 特定的生态地质环境背景对土地石漠化具有明显的控制作用。贵州省土地石漠化集中分布在喀斯特极度发育和构造活动强烈的河流上游及河谷地带。温暖潮湿的季风气候为喀斯特地貌的强烈发育提供了必要的溶蚀条件; 构造运动塑造了陡峻而破碎的喀斯特地貌景观, 以及由此而产生的较大地表切割度和地形坡度, 为石漠化提供了动力潜能; 古环境演化为石漠化提供了丰富的碳酸盐物质, 自晚震旦纪到三叠纪晚期, 贵州省发育了 4 套碳酸盐岩沉积建造, 纯碳酸盐岩构成喀斯特土地石漠化的物质基础。

关键词: 内动力机制; 土地石漠化; 喀斯特; 生态地质环境背景; 贵州高原

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2001)04-0001-05

中图分类号: S157.1

Intrinsic Driving Mechanism of Land Rocky Desertification in Karst Regions of Guizhou Province

ZHANG Dian-fa¹, WANG Shi-jie¹, ZHOU De-quan², LI Rui-ling¹

(1. National Laboratory of Environmental Geochemistry, Geochemistry Institute of Chinese Academy of Sciences,

Guiyang 550002, PRC; 2. Geologic Survey Academy of Guizhou Province, Guiyang 550005, PRC)

Abstract: The given eco-geoenvironmental setting has evident control action on land rocky desertification, rocky deserted land mostly distributes in the river-valley regions where karst very developed and tectogenesis was violent in Guizhou province. Warm and humid monsoon climate provides corrosion condition for rocky desertification; Tectogenesis sculptured steep and fragmented karst land feature with sharp topographic relief, which offer rocky desertification a latent energy; Paleoenvironment supplied rich carbonate for rocky desertification, four carbonate sedimentary formations had developed from late Sinian to late Trias in Guizhou province, pure carbonate rock constitute the substantial foundation of land rocky desertification.

Keywords: intrinsic driving mechanism; land rocky desertification; karst; eco-geoenvironmental setting; Guizhou upland

贵州省处于世界喀斯特最复杂、类型最齐全、分布面积最大的东亚岩溶区域中心^[1], 其范围北起四川盆地南缘山地和鄂西南高原, 南至南盘江河谷和桂西北山地, 纵跨近 5 个纬度(24°30'N—29°13'N), 长约 510 km; 西起滇东黔西高原, 东至湘西丘陵山地, 横跨 6 个纬度(103°31'E—109°30'E), 宽约 570 km, 总面积 1.76×10⁵ km²。历史上的贵州地区, 森林资源丰富, 远山闻虎啸, 近山百鸟鸣, 绿荫护夏, 红叶迎秋, 具有良好的生态环境。但近 100 a 来, 随着生产力的快速增长, 脆弱的生态环境在人口压力和不合理经济活动的作用下日益恶化, 不断扩大的土地石漠化已经成为喀斯特地区最严重的生态环境问题之一^[2]。尽管土地石漠化是人类不合理活动的直接结

果, 但脆弱的生态地质环境背景对于土地石漠化的成因、发展预测及生态重建具有不可忽视的控制作用。长期以来, 地质环境背景对土地石漠化的影响一直没有得到足够的重视, 本文从地质演化历史的角度研究贵州省喀斯特生态地质环境背景的形成过程, 并试图揭示其对土地石漠化的控制作用。

1 贵州省土地石漠化分布状况

土地石漠化(rocky desertification)是指在亚热带地区岩溶极其发育的自然环境背景下, 受人为活动的干扰破坏, 造成土壤严重侵蚀, 基岩大面积出露、生产力严重下降的土地退化现象。根据不同时期航空照片、卫星照片观测并结合地面实际调查, 目前全省土

地石漠化正以平均每年 508.16 km^2 的速度不断扩展,土地石漠化不仅使土地丧失生产力,破坏生态环境,而且严重影响农、林、牧业生产,甚至危及到人类生存条件,因此石漠化已经成为制约喀斯特地区可持续发展的重大生态环境问题。贵州省石漠化土地总面积已达 $1.39 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 约占全省土地总面积的 7.9%, 在黔西南州、六盘水市、安顺地区和毕节地区分布比较集中(表 1)。

表 1 贵州省喀斯特地区土地石漠化分布状况^[3-4]

地、州、市	土地总		喀斯特		石漠化面积	
	面积/ 10^4 hm^2	面积/ km^2	占土地 总面积/ %	面积/ 10^4 hm^2	占土地 总面积/ %	
贵 阳	24.06	6831	85.0	1.49	6.19	
六盘水	99.14	6263	63.2	25.75	25.98	
遵 义	307.53	20236	65.8	10.01	3.25	
安 顺	148.91	6627	71.5	22.69	15.23	
毕 节	268.46	19693	73.3	21.39	7.97	
铜 仁	180.23	10914	60.6	14.10	7.83	
黔东南	303.02	7036	23.2	1.19	0.39	
黔 南	261.97	21354	81.5	27.79	10.61	
黔西南	167.96	10130	60.3	14.47	8.02	
全 省	1761.28	109084	61.9	138.88	7.90	

贵州省土地石漠化分布具有如下 2 个特点:首先,石漠化土地集中分布在喀斯特强烈发育的区域,如水城(喀斯特面积占总面积的 93.66%)、平坝(占 94.39%)、普定(占 100%)、思南(占 98.20%)、惠水(占 93.72%)、清镇(占 100%)等市县,喀斯特面积均占该县市土地总面积的 90% 以上;其次,石漠化土地多集中在构造活动强烈的河流上游及河谷地带,如乌江流域的纳雍、织金、黔西、清镇、安顺、德江、沿河;赤水河流域的毕节、大方、仁怀;北盘江流域的水城、盘县、晴隆、关岭、贞丰;南盘江、红水河流域的兴义、兴仁、罗甸等。上述特点表明贵州省土地石漠化与特定的生态地质环境背景具有某些必然的联系。

2 温暖湿润气候为岩溶发育提供了侵蚀营力

贵州省位于青藏高原的东翼斜坡,太平洋季风和印度洋季风交汇影响的边缘地带,加之低纬度的区位和高海拔的地势,冷暖空气常在此交汇,形成静止锋。雨量充沛的温暖湿润气候为岩溶发育提供了重要的侵蚀营力。贵州省的地理位置,使影响当地大气环流既具有西风带环流系统的特点,又有亚热带环流系统的特点,南北气流交叉比较频繁而剧烈。夏季,在东南季风和西南季风影响下,出现较大降水,成为一年中雨量高峰时期;秋季太平洋副热带高压逐渐南撤,

北方冷气流逐渐加强,常形成准静止锋并出现气旋波,形成秋风秋雨的低温阴雨天气;冬季多冷锋过境,也容易致雨,黔西常有静止锋,如遇低槽东移,静止锋移到黔中,就会出现持久的阴雨天气,故贵州出现雨淞这种灾害天气的几率为全国之冠;春季,热带海洋气流开始到达,大气层结构不稳定,如有低槽或低涡过境,引来冷暖平流形成锋区,常带来春雨,加上西藏高压开始活跃,其东北气流与太平洋副热带高压的西南气流在贵州省上空也会形成静止锋,产生持续的春寒阴雨天气。此外,海拔 1500 m 高空正是多云带之一,贵州省大部分地势正处于这一高度,这也是全年多阴雨的一个原因。这样的大气环流背景使贵州省平均降水日数在 170 d 以上,西部最长达 200 d 以上,最少的南部边缘红水河流域也达 150 d 以上,在国内仅次于川西和台湾东部,“天无三日晴”之说名副其实。温暖潮湿的季风气候为喀斯特地貌的强烈发育提供了必要的自然环境背景。由于岩溶过程造成生态环境中水土资源贫乏、生境干旱、植被覆盖和结构发育均较差^[5],致使土地抗蚀年限较短,仅有的瘠薄土层,极易遭受侵蚀,最终演变为石漠化土地。

3 构造运动为石漠化塑造了独特的地貌景观

贵州省地处我国岭南复杂纬向构造带以北、川滇经向构造带以东、新华夏构造体系第三隆起带西南段,居我国东部与西部不同地质构造面貌的转变地带,构造应力格局非常复杂。贵州省在大地构造上属扬子准地台范畴,新生代以来自西向东大面积、大幅度掀斜上升,使贵州地势高起于广西、四川盆地、湖南,达 1000 m 以上,且地势由西向东成为一个梯状斜坡。这种高原地势全面而深刻地影响着贵州省自然地理环境的性质。

3.1 构造运动塑造了陡峻而破碎的地貌格局

地质构造体系和构造运动强度制约着山脉、水系的分布格局及地貌形态。贵州省的山脉走向与构造体系密切相关。例如北部大娄山脉受娄山弧形构造带控制,山脉走向顺应构造呈北东向南凸的弧形展布;黔西乌蒙山呈北北东向由滇延伸至黔,其走向与新华夏构造一致;苗岭横跨贵州省中部,受经向构造和晚近东西向新构造运动控制,其走向穿越经向构造带而近乎东西。贵州省水系分布也明显受区域地质构造的控制。如黔东的菱状水系(锦江、舞阳河、清水江、都柳江等)是受华夏系构造两组共轭断裂交织追踪发育而成的。黔南和黔中的经向水系则适应南北向褶皱构造,干流多发育在狭长的向斜中,平行南流。黔西北的弧状水

系则受娄山联合扭动构造体系控制,沿弧形方向转折。黔北乌江中、下游及其支流由于受经向构造带和新华夏构造的控制,水系呈北东轴向展布。

构造运动塑造了贵州省多样的地貌类型。如在经向构造带内,若干宽背斜与窄向斜组成了“隔槽式”构造,断层多沿向斜两侧延伸,所以在向斜中发育了狭长的河谷盆地;背斜则形成山地,山地中又发育一些规模不大的山间盆地。在短轴的背、向斜区也常发育穹隆山和近于圆形的小盆地。断陷盆地、断块山之类的地貌也很发育。

新构造运动对形成贵州省现代地貌格局具有主导作用^[6]。贵州省新构造运动的性质大致是:自西向东大面积、大幅度掀斜上升的同时,伴以断裂、断弯的差异上升和某些断陷盆地的相对下降,并继承老的地质构造再次活动,而整个上升运动又具有间歇性。新构造运动使贵州省地势最终由西向东成为 3 大梯级状。新构造运动的间歇性,造就了不同时代的夷平面,使各流域范围内从分水岭到河谷区地貌呈梯级状下降,河谷中还普遍出现 4~5 级阶地,河流出现急流、险滩、跌水、瀑布、裂点,河流袭夺的行迹也很常见。新构造上升运动再加上溯源侵蚀,使贵州省第四纪沉积物厚度小、分布零星。由于控制地貌发育的地质构造极其复杂,新构造运动非常活跃,出露的地层又齐全多样,又由于地史上气候冷暖、干湿变化,使塑造地貌形态的外营力多次变化,而又基本上表现为亚热带湿热气候下强烈的化学风化作用和侵蚀作用。

3.2 陡峻的喀斯特地貌为石漠化提供了动力潜能

构造运动是地貌演化的前提,构造运动引起的势能重组是导致地貌侵蚀和水土流失的根源。区域地质背景在宏观上控制着水土流失的强度,其实质是水土流失内动力的外在表现。区域间水土流失程度的差异主要受区域大地构造的影响,特别是在活动性构造分布地区,这种影响尤为突出。水土流失强度的大小往往与构造隆起、深大断裂、地堑活动、盆地边缘构造运动以及区域上的岩体应力场相关。如地壳不断

抬升的地区,侵蚀基准面相对下降,侵蚀变强,环境趋于干旱,影响植被发育,水土流失有加强的趋势。区域大地构造塑造出不同的区域地貌类型,在这些大的地貌类型的基础上,由外动力引起的水土流失存在着较大的差异,构造隆起区,土壤侵蚀强烈;深大断裂和活动的地堑地区以及这些地区附近的频繁地震活动,往往使这些地区出现滑坡及崩塌;盆地边缘的构造活动使得这些地区滑坡、泥石流盛行;重力侵蚀活跃程度受构造和岩性的直接影响,这种侵蚀的选择性受地应力场的控制。

地史中多次造山运动使贵州省地层褶皱断裂发育。燕山运动使贵州省晚白垩纪以前的地层普遍发生褶皱断裂,奠定了现今地质构造和地貌发育的基础;挽近时期喜马拉雅造山运动的强烈抬升影响,贵州全省地势西高东低,并呈现出向南、向北的倾斜,既成为长江与珠江水系的分水岭;又导致地势高差悬殊,山峦叠嶂、峰谷相间。贵州高原地貌由于长期经受强烈的内外营力作用,地貌类型复杂,平均海拔高度在 1 100 m 左右,西部最高达 2 200~2 400 m,向东逐步降低到黔中的 1 400~1 200 m,再向东、北、南降低为 800~500 m,分别向湘西低山丘陵、四川盆地和广西丘陵过渡。由于河流的强烈侵蚀切割,贵州省地势起伏较大,除在上游分水岭地区溯源侵蚀未及的高原面保存较好外,广大河流中、下游地区大多河谷深切,相对高度常达 300~700 m。地形切割度和地面坡度都很大,其中水平切割密度,西部乌江上游和红水河上游 11~14 km/100 km²,东部、东北部沅江上游 20~30 km/100 km²,全省平均 17 km/100 km²;垂直切割深度,中部、东北部 300~500 km/100 km²,西部、南部和北部,一般 500~700 km/100 km²,个别可达 1 000 km/100 km²。地面坡度小于 10°的土地占总面积的 14.24%,10°~25°的占 50.69%,坡度大于 25°的土地面积为 61 752.9 km²,占全省土地面积的 35.07%(表 2)。贵州省山地面积为 140 145.9 km²,占全省土地面积的 79.8%。

表 2 贵州省地表坡度面积分布状况^[4]

坡度	< 5°	5°~10°	10°~17.5°	17.5°~25°	25°~35°	35°~45°	> 45°
面积/km ²	10 316.80	14 764.61	38 279.40	51 015.40	46 529.13	13 963.33	1 260.38
占全省/%	5.86	8.38	21.73	28.96	26.42	7.93	0.72

贵州高原这种山多平地少的地貌形态,以及由此而产生的较大的切割度和较大的坡度,在贵州高原降水量较大、暴雨多的情况下,产生强烈的外动力作用是土地石漠化的潜在动因。

4 古环境演化奠定了石漠化物质基础

在中元古代至中奥陶世,贵州省几乎全为海洋环境,早古生代早期是贵州省地史上最广泛和最大的海

侵时期;晚奥陶世至晚三叠世中期,则海水进退频繁,是贵州地区由海洋向陆地转化的重要时期,出现陆棚台盆型和陆棚—广海型 2 种特殊的古地理格局;晚三叠世的安源运动,使海水全部退出贵州地区,完成了由海→陆的转化,之后主要为内陆河、湖环境⁷。自晚震旦纪到三叠纪晚期,发育了 4 大套碳酸盐岩沉积建造,碳酸盐岩分布面积 $1.5 \times 10^5 \text{ km}^2$, 占全省总面积的 73.6%。在垂直分布上,贵州地区碳酸盐岩总厚度达 8 500 m;碳酸盐岩地层自元古代震旦纪至中生代三叠纪均有出露。由于碳酸盐岩分布面积广、产出厚度大,从而为贵州省土地石漠化的广泛发育奠定了物质基础。

4.1 古环境演化形成巨厚而大面积分布的碳酸盐岩

自中元古代晚期以来,贵州省的古环境经历了极其复杂的沧桑巨变,大体可分为 4 个阶段。

中元古代晚期贵州省为濒临古陆的大洋盆地一部分,早期属优地槽深水槽盆沉积环境;晚期地壳趋于相对平稳,以巨厚陆源碎屑浊流沉积为主,属冒地槽半深水浅槽盆沉积。晚元古代早期,在武陵运动再造的古地理背景上,经过初期的夷平,被海水淹没。海水由南东方向侵入,陆源碎屑来自北西方向,自北西向南东依次为陆棚、斜坡、浅槽盆地沉积环境。

晚元古代早期的雪峰运动,改变了贵州省的海陆分布格局,形成了早震旦世大致以沿河—石阡—都匀一线为界,北西为陆地,南东为海域,仅有狭窄的滨岸相带,向外则为陡峻的斜坡环境。自晚震旦世开始,贵州省出现了厚度大、分布广的碳酸盐沉积,其古地理总格局呈西高东低,海水由东或东南方向进入贵州省。西部为稳定性的浅水碳酸盐沉积夹少量陆源碎屑,含各类底栖动物化石;东部为较深水半活动性的陆源碎屑沉积,各类重力流沉积发育,含各类浮游生物化石。二者的交接部位(在沿河—石阡—都匀一带),随着时间的推移逐渐向东迁移。在碳酸岩台地边缘以各种类型的滩为主,而生物礁不甚发育。中奥陶世末期的都匀运动进一步改变了贵州省的古地理格局,大致在毕节—遵义—湄潭—铜仁一带隆起成陆,并与南北向的康滇古陆、江南古陆连在一起,海水由北东方向进入贵州省北部,并通过凯里、黄平等地进入黔南。

早古生代末的广西运动,使贵州省东部与扬子地台合并在一起形成巨大的陆块,而且奠定了晚古生代海陆分布的基础,这一阶段是贵州省古环境由海洋逐渐向陆地转化的重要时期。该阶段古地理的基本格局呈南北分异,北部或为古陆或为稳定的浅水型沉积,以各类生物(碎屑)灰岩为主,夹少量陆源碎屑含

煤沉积。南部罗甸、紫云、望谟等地为半活动性的深水沉积,各类重力流沉积发育,除钙屑浊积岩、陆源碎屑浊积岩外,尚有丰富的火山碎屑浊积岩。深水沉积和浅水沉积的界限在各时代有所不同,但受古断裂和同沉积断裂的控制十分明显。碳酸盐台地边缘除明显的生物滩之外,生物礁十分发育,是贵州省地质历史时期中生物礁最发育的时期。按沉积特征、海陆分布,相带划分,相带展布又可分为 2 个时期。在早期阶段(早泥盆世—早二叠世),加里东运动使贵州省全面隆起为陆,遭受剥蚀夷平,从而使贵州省缺失早泥盆世早期沉积。从早泥盆世中期开始,海水由南部的广西侵入贵州省,泥盆纪和石炭纪时海侵在赫章、普定、清镇、黄平、丹寨一线,此线以北、以东为古陆,属上扬子古陆的一部分,系省内沉积区陆源碎屑的供应地;该线以南为沉积区。早二叠世是贵州省海侵范围最大时期之一,南来的海水淹没了贵州省全境,除望谟、紫云、罗甸继续为深水滞留陆棚环境之外,其余均为浅水碳酸盐台地环境,沉积一套浅水碳酸盐,富含蜓类、珊瑚、腕足等底栖生物化石。由于地势北高南低,海水由南向北侵入,沉积环境均较为闭塞,其沉积相带呈东西向展布。晚期阶段(晚二叠世—晚三叠世中期),早、晚二叠世之交的东吴运动又一次改变了贵州省的岩相古地理格局。首先,南部深水沉积区进一步加深、扩大,至中三叠世发展为大西洋型盆地,并以发育安山质的火山碎屑浊积岩为特征。此外,康滇古陆的形成,成为省内陆源碎屑的供应地,为此,在浅水沉积区内,沉积相带围绕康滇古陆呈近北向带状展布,由西向东依次出现陆相、海陆交互相及海相。晚二叠世长兴期的海侵一直延续到三叠纪,随着海侵范围的扩大,陆源碎屑沉积逐渐为碳酸盐所取代。

晚三叠世末的安源运动,使贵州省全面上升成陆,从此结束了贵州地区的海相沉积历史,开始了全为陆相沉积的新阶段。

4.2 纯碳酸盐岩构成喀斯特土地石漠化的基底

碳酸盐岩区域土地石漠化既是全球时空尺度下的地质作用;又是区域土粒亏损的负增长过程^[8]。野外观察表明,喀斯特地区土地石漠化与纯碳酸盐岩的分布具有明显的相关性。表土层的形成与发育是地球化学景观演化过程的一个重要环节,而岩性特征则是这一环节的基本因素,纯碳酸盐岩的酸不溶物含量低,平均仅为 4% 左右,风化残余物很少,成土速率极慢,平均每形成 1 cm 厚的土层需要 8 000 a 左右^[9]。纯碳酸盐岩是贵州省土地石漠化的基底,分布面积达 78 669 km², 占全省总面积的 44.66%, 主要包括连续型纯石灰岩和连续型纯白云岩。

连续型纯石灰岩以泥晶灰岩和生物屑泥晶灰岩为主,泥晶方解石含量高,主要分布于黔南。连续型石灰岩的主要地层为:(1)分布于黔中地区的坡段组(T_{2dp}),为藻灰岩、生物屑灰岩,厚度500~1000 m。(2)分布于黔中地区的垄头组(T_{2ht}),系介壳灰岩、白云岩,厚度174~1254 m。(3)分布于黔北、黔西的长兴组(P_{2c}),系中一厚层含燧石生物屑泥晶灰岩,厚度20~65 m。(4)分布于紫云、望谟、册亨、罗甸等地的吴家坪组(P_{2w}),系灰岩(含燧石结合灰岩、炭质页岩),厚度500~600 m。(5)分布于安龙—惠水—荔波一线以北的黔南、黔北等地的茅口组(P_{2m})和栖霞组(P_{1q}),前者为生物灰岩,含燧石条带、泥质条带灰岩组成,厚度70~771 m;后者为泥晶生物屑灰岩,含燧石团块,厚度30~141 m。(6)分布于紫云、望谟、册亨、罗甸等地的猴子关灰岩(P_{1h2}),系泥晶灰岩、生物屑泥晶灰岩、泥晶生物礁灰岩,厚度800 m。(7)分布于黔南、平塘、荔波、独山、惠水、黎平、从江及黔西北、威宁、水城等地的马平组(C_{2m}),系厚层泥晶灰岩、微晶灰岩、生物灰岩,含白云质斑块或条带,厚度由数米到837 m。(8)分布于黔北的宝塔组(O_{1-3b}),为瘤状灰岩、“龟裂纹”灰岩、泥质灰岩,厚度30~80 m。(9)分布于黔北、黔南等地的红花园组(O_{1h}),为中厚层生物碎屑灰岩,厚0~170 m。

连续型纯白云岩是亮晶白云岩、藻白云岩为主的岩石类型,主要发育于黔东北地区。连续型纯白云岩出露的主要地层为:(1)分布于遵义—织金一带及黔东北湘黔边境地区的娄山关群(ϵ_{1s}),为中厚层白云岩、泥质白云岩和夹角砾状白云岩,厚度达1000 m左右。(2)分布于铜仁—镇远羊坪一线以东地区的敖溪组(ϵ_{2a}),为薄层夹中厚层泥质白云岩、白云岩夹少量灰质白云岩和泥质白云岩,厚度大约为175~530 m。(3)分布于黔北(遵义、金沙)和黔中(开阳、清镇、织金、贵阳)等地的灯影组($Z\epsilon_{dy}$),为一套组构复杂的白云岩、碎屑白云岩、中厚层白云岩、泥微晶白云岩和含磷白云岩,厚度100~400 m。(4)分布于黔

南、黔西北和黔东南从江—黎平一带的大埔组(C_{1-2d}),为厚层块状白云岩,厚度250~500 m左右,其中,荔波、独山、平塘、惠水和水城、威宁一带的厚层状白云岩发育较好。

5 结 论

土地石漠化是人类不合理经济活动叠加于脆弱生态地质环境背景上的综合作用结果,贵州省脆弱的喀斯特生态环境是经过漫长的地质历史演化而形成的,地球内动力(构造运动)塑造了陡峻而破碎的喀斯特地貌格局,古环境演化奠定了石漠化的物质基础,所以说地球内动力作用形成了土地石漠化的生态地质环境背景,它对喀斯特土地石漠化具有明显的控制作用。土地石漠化研究中,如果忽视了地球内动力作用机制,而过分强调人类不合理活动,就很难理解贵州省喀斯特生态环境脆弱性,也可能造成对石漠化成因研究及综合治理的误导。

[参 考 文 献]

- [1] 袁道先. 中国岩溶学[M]. 北京:地质出版社, 1993.
- [2] 张殿发, 欧阳自远, 王世杰. 中国西南喀斯特地区人口、资源、环境与可持续发展[J], 中国人口、资源与环境, 2001, 11(1): 77—81.
- [3] 屠玉麟. 贵州土地石漠化现状及成因分析[M]. 见:李菁主编. 石灰岩地区开发治理. 贵州:人民出版社, 1996.
- [4] 贵州省区域地理信息项目领导小组编. 贵州省地理信息数据集[M], 贵州:人民出版社, 1996.
- [5] 安裕伦. 贵州高原水土流失及其影响因素研究[J]. 水土保持通报, 1999, 19(3): 47—52.
- [6] 贵州省地质矿产局. 贵州省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1987.
- [7] 贵州省地质矿产局区域地质调查大队. 贵州岩相古地理图集[Z]. 贵阳:贵州科技出版社, 1992.
- [8] 万国江, 等. 碳酸盐岩与环境(卷二)[M]. 北京:地震出版社, 2000.
- [9] 王世杰, 等. 碳酸盐岩风化成土作用的初步研究[J]. 中国科学(D辑), 1999, 29(5): 441—449.