

文章编号:1672-9250(2004)01-0009-08

# 不同地质背景下岩溶生态系统的自然特征差异 ——以茂兰和花江为例

李阳兵,王世杰,李瑞玲

(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)

**摘要:**自然特征是典型岩溶生态系统研究与评价的基础。西南岩溶山区,由于气候、地形、地质构造、岩溶作用、土壤等条件的不同,各圈层发生着地质地貌组合→水文土壤组合→植被和小生境组合结构的作用过程,不同组合结构的岩溶生态系统具有特殊的功能和圈层的耦合作用,其本底稳定性与脆弱性各异,从而形成了不同区域岩溶生态系统及生境类型的多样性。对茂兰岩溶森林区和花江峡谷区两种典型岩溶生态系统——岩溶原生森林系统与石漠化系统的自然特征对比研究表明,两者的差异集中体现在地质构造、地貌演化、岩溶形态、水文结构、土壤侵蚀、植被群落、水文生态效应与生境多样性等方面,其中地质构造、地貌演化、岩溶形态、可开发利用的水资源、植被群落是两种系统存在显著差异的关键因素。因此,有必要探讨不同岩溶地貌单元、不同碳酸盐岩类型区的岩溶生态系统基本生态过程的共性和差异,探索地质环境与生态环境的内在联系和耦合关系,分析地质因素对生态环境的控制和影响程度,为岩溶受损生态环境单元的恢复重建提供理论依据。

**关键词:**地质背景;岩溶生态系统;自然特征;差异

**中图分类号:**P642.25;Q148 **文献标识码:**A

西南岩溶区以贵州为中心,跨越云南、广西、四川、重庆以及湖南、湖北、广东西部一带,包括覆盖岩溶在内,总面积达54万km<sup>2</sup>。石漠化逐步扩大等生态退化问题严重制约着该区持续发展,生态亟待恢复重建。目前,在该区已分别进行过地貌区划<sup>[1]</sup>、植被区划<sup>[2]</sup>、岩溶水开发利用分区<sup>[3]</sup>,生态环境和脆弱生态环境划分<sup>[4]</sup>。除对贵州岩溶地区岩性与土地石漠化的关系进行过相关分析外<sup>[5]</sup>,对岩溶生态系统各因子的相互作用关系及对生态过程的影响仍缺乏综合研究,不能回答岩溶生态环境系统格局是如何形成的和相关生态环境问题的区域差异、生态环境变化与人类活动耦合作用的差异的原因何在。

岩溶山地的生态恢复重建和石漠化防治,在宏观上要求更大范围地研究岩溶山地地域系统的分异规律,在微观上要求进一步研究不同环境下石漠化生态系统的结构、过程和功能之间的关系。“IGCP448”提出对比全球不同气候条件下的宏观岩溶生态系统,揭示其形成机理;对比不同地质条件下

微观岩溶生态系统,揭示其对物种选择的影响,为岩溶地区石漠化治理、重建良性生态系统探索新思路<sup>[6]</sup>。本文在已有工作的基础上,研究不同地质、地貌、气候与植被背景下的生态效应,比较典型的岩溶山地森林生态系统和典型的退化生态系统的特征,目的是为揭示岩溶生态系统生物、岩石、土壤、水文、气候的相互关系提供基础,分析区域生态环境问题的形成与机理,找到解决问题的办法。

## 1 西南岩溶区生态地质环境的地域分异

### 1.1 西南岩溶区的地域分区

在中国西南岩溶地区,特定的地质演化过程奠定了脆弱的环境背景,其地质地貌、水文、土壤、植被等存在不稳定性、先天不足性和敏感性,其区域差异性明显。以挤压为主的中生代燕山构造运动使西南地区普遍发生褶皱作用,形成高低起伏的碳酸盐岩基岩面;以升降为主、叠加在此之上的新生代喜山构造运动塑造了现代陡峻而破碎的岩溶高原地貌景观,由此产生较大的地表切割度和地形坡度,为水土流失提供了动力潜能;从震旦系到三叠系在该区沉积了巨厚的碳酸盐岩地层,纯碳酸盐岩的大面积出露,为岩溶石漠化的发生提供了物质基础。

收稿日期:2004-03-15;

基金项目:国家自然科学基金(90202003);中科院人才基金“西部之光”资助

第一作者简介:李阳兵(1968—),男,博士后,研究土壤资源及土地资源利用等。E-mail:li-yabin@sohu.com

由于各种内外动力作用的控制和影响,使区域岩溶地貌既表现出很大的差异性,又具有明显的地带性分布规律。从总体看,区域性的宏观地貌和地区性的地貌组合形态比较集中地反映了区域岩溶发育的基本特点和分布规律,能较好地反映出岩溶发育的地带差异性,而这正是探讨岩溶资源利用问题的基础。基于这一指导思想,按地质年代、分布地域和主要地貌景观特征,可将我国南方岩溶区分为以下几个主要地域类型区域<sup>[7]</sup>:(1)川西南峡谷-山地亚区(大渡河下游及金沙江下游渡口以下地区);(2)滇东溶原-丘峰高原亚区(滇东及黔西);(3)黔西溶洼-丘峰山原亚区(川南、黔西及滇东东部);(4)黔中溶原-丘峰与峰林山原亚区(黔中、黔东南);(5)鄂黔溶洼-丘峰山地亚区(湘西、鄂西、川东、黔北);(6)川东溶洼-丘峰山地亚区(川东);(7)滇东南溶原-峰林高原亚区(南盘江以南,滇东南地区);(8)黔桂溶洼-峰林山地亚区(黔南及广西中西部);(9)湘赣溶盆-丘峰山地与丘陵亚区(湘赣的中南部及闽中北区);(10)滇西褶皱系古生代碳酸岩系岩溶亚区(元江及大理贡山一线以南)。

## 1.2 地质地貌分异

我国西南部碳酸盐岩地层与非可溶岩层的组合情况有两种基本类型,即连续型和互层型。连续型分布在本区东南部的广西、湘南一带,厚达3 000 m的碳酸盐岩由中泥盆统到中三叠统呈连续分布。岩溶层组类型属均匀状碳酸盐岩类型,开阔的及过渡型褶皱为主要构造类型,分布大面积的峰丛洼地。无隔水层,岩溶水以地下河为主要类型。主要环境问题是地表水源漏失,造成人畜饮水困难;岩溶环境特别脆弱,人类活动引起的石漠化问题严重。互层型分布在本区中部、西部和北部的贵州、滇东、川南、鄂西一带,那里碳酸盐岩层总厚度可达3 000~10 000 m。主要分布在寒武系-奥陶系及泥盆系-三叠系两个区间,但在这两个区间都常夹有非可溶岩层,如砂岩、页岩和玄武岩等。碳酸盐岩与非可溶岩相对隔水层交替出现,岩溶层组类型为间互状纯碳酸盐岩。以箱状褶皱束为特征,岩溶水也是多层次,向斜及背斜褶皱型水文地质结构。该区主要问题是:岩溶化地层分布区的漏水及石漠化。本区地下空间仍比较发育,也有地表缺水的问题,但泉水比较丰富,所缺的是灌溉用水。自然条件比连续型分布

区好,但人口压力更大,石漠化也较普遍。

西南岩溶山地以云贵高原为主体,北部、东部和东南部分别为向四川盆地、湘西丘陵及广西盆地过渡的斜坡地带,以中低山为主。从总体地势上看,全区由南向北、由东向西逐步升高,总体上可分为三个台面和两个过渡地带;具有显著的地域分异规律,可分为相对和缓的丘原峰林峰丛型、裸露的岩溶中低山和丘陵、岩溶深切峡谷三种地貌类型。包括滇东北中山峡谷岩溶和滇东南峰丛山地,为云南高原向贵州山原过渡的斜坡地带,黔西北为岩溶高原山地,黔中常由岩溶剥夷面和溶蚀浅盆地组成;黔北、黔东、黔南及其与四川、重庆、湖南、广西等过渡的斜坡地带以峰丛连绵的山地峡谷和峰丛洼地为主。峰丛浅洼地形主要分布在贵州中部、北部,湖北湖南的西部,四川南部,云南东部,与河流切割深度相对较小和岩性条件较差(不纯、薄层、有夹层等)有一定的关系。峰丛深洼地主要分布于云贵高原东南边缘斜坡区,峰洼高差可达300~500 m以上。如广西都安的七白弄、南丹、凤山、东兰、大新等县境内的大片峰丛区;贵州独山县南部,罗甸摆朗河及格必河下游区等。峰丛深洼地的分布,总是与纯质厚层且连续沉积厚度巨大的碳酸盐岩层和相当低的排水量基面联系在一起。

一方面碳酸盐岩与非碳酸盐岩的层组结构不均一性,导致碳酸盐岩产生的岩溶现象具明显的团块状和条带状特征,大面积岩溶区域内镶嵌着非碳酸盐岩景观;另一方面以贵州为中心的西南岩溶区岩溶地貌发育类型齐全,由分水岭到深切峡谷,呈现出峰林盆地→峰林谷地→峰丛洼地→峰丛峡谷的区带分布,从而新老地貌形态交错镶嵌。以上两类镶嵌景观形成了西南岩溶区岩溶环境的分异特征和阶梯格局。岩石组成结构、地貌生境特征、水热气候条件、土质类型分布、水文地质条件及植被生态群落等诸多方面均存在明显的差异。

## 1.3 气候分异与植被分异

贵州高原由于高原的北、东、南面比高原面低,河流侵蚀与切割严重。因此,它的显著气候特征是:全区构成了一个完整的垂直气候带系统,从四周低处向中心高处,依次为南亚热带(东南的罗甸、望溪一带)、准南亚热带(北面的赤水)、中亚热带、山地北亚热带、山地暖温带、山地温带。因此,贵州植被在空间分布上有明显的过渡性特征,岩溶植被有中亚

热带岩溶山地暖性针叶林、中亚热带岩溶山地常绿阔叶林、中亚热带岩溶山地常绿落叶阔叶混交林、中亚热带岩溶山地落叶阔叶林、南亚热带岩溶沟谷季雨林等类型。

桂中、桂北山地处于云贵高原向广西盆地的过渡地带,大多为丘陵、低山,仍属亚热带季风湿润山地气候(约指 23°N 以北除桂东南等非石灰岩山地的广西的全部),是岩溶石山区热量最丰富的地区之一(仅次于云南元江河谷)和降水量最充沛的地方(与云南哀牢山南端相当),除桂东北属中亚热带外,其余大部分属南亚热带。岩溶植被由南向北分别为北热带季雨林、南亚热带季风常绿阔叶林(向沿经度变化为西为半湿润常绿阔叶林)、中亚热带常绿阔叶林<sup>[8]</sup>。

滇东南属于南亚热带和河谷北热带,多雨湿润到河谷半干旱(如元江河谷)的气候均有;金沙江及其支流河谷南亚热带,半湿润、半干旱气候均有。此二片热量丰富。云南高原面主体是半干旱的中亚热带、滇东北为山地北亚热带和山地暖温带。本区东南多为湿润雨林和偏湿性的季雨林为主的热带生态系统,而其南部和西南部则是以偏干性的季节雨林和半常绿季雨林为主的热带生态系统<sup>[9]</sup>。从南向北依次为雨林和季雨林、季风常绿阔叶林、湿性常绿阔叶林或常绿落叶阔叶林、针阔叶混交林和暗针叶林。

川南、川东山地从总体上看是从长江河谷的淮南亚热带(约 400 m 以下)—河谷中亚热带—山地北亚热带—山地暖温带的一个垂直气候带系列。地带性植被为常绿阔叶林,从整体看,石灰岩植被的演替是向常绿阔叶林这一地带性植被进行的<sup>[10]</sup>。

由于气候与植被类型的地区差异,分别形成鄂西北山地森林型中低等生产力地区、巫山山地森林型中低等生产力地区、滇西北高原森林型中低等生产力地区、黔东湘西山地森林型中等生产力地区、滇北高原综合型中低等生产力地区、沿金沙江下游干热河谷森林型中等生产力地区、云贵高原中部坝地综合型中等生产力地区、桂西北山地综合型中低等生产力地区、滇东北高原森林型中低等生产力地区<sup>[11]</sup>。

## 2 岩溶生态系统地域分异的生态效应

### 2.1 碳酸盐岩岩性的生态效应

岩溶区分布最广的两类岩石是石灰岩和白云岩。二者的岩性差异决定了石灰岩分布区与白云岩

分布区在岩石裂隙发育程度、风化作用方式、岩溶形态、土层厚度及风化壳持水性等方面都有差异。二者的溶蚀残余物在地表具有不同的堆积和丢失方式。灰岩区土粒易聚集在岩体的裂隙和地下空隙系统中,白云岩中溶蚀残余物质能相对均匀地分布于地表,白云岩地区的土层厚度往往大于石灰岩区。灰岩白云岩在岩溶过程中的差异性十分明显。在野外,白云岩的风化深度和程度都大大超过灰岩,因其表层和浅部易于风化而成粉粒,加之微细裂隙发育透水性较均一,故多形成圆锥状或舒缓的山丘<sup>[12]</sup>。这在广西的桂林、柳州、宜山,贵州的独山、清镇、安顺、镇宁等许多地区均可见到。而在灰岩分布区,其正负地形呈塔状、锥状,在宏观空间尺度上形成强烈起伏的岩溶地貌,在局域空间范围内,基岩面强烈起伏。灰岩和白云岩中节理发育的差异进一步导致了它们在岩溶化过程中的分异,尤其在地下管道发育方面更为明显。如寒武系白云岩,经多次构造运动作用,节理裂隙密集且分布均匀,地下水类型多为基岩裂隙水,水量稳定,含水均匀丰富,是良好的含水层,成孔率极高,溶洞等较大规模的空间较少<sup>[13]</sup>;灰岩受力后,往往发育大型张性节理裂隙,分布不均匀,加之比溶蚀度高,地下管道、暗河发育,水量丰富,但分布极不均匀,在岩溶山区往往造成“地下水滚滚流,地表水贵如油”的严重干旱局面<sup>[14]</sup>。在岩溶地区,岩性是影响中小流域枯水径流模数的重要因素之一,灰岩比例愈高,枯水径流模数愈小;白云岩比例愈高,枯水径流模数则愈大。以灰岩为主的流域,其枯水流量变差系数相对较大,说明这种环境下抗御特大旱年的能力较低,相反以灰岩为主的流域常发育有一定规模的地下水系,对最大洪水具有一定的削减<sup>[15]</sup>。

贵州省石漠化与岩性分布的空间叠加分析表明<sup>[5]</sup>,连续性灰岩和连续性白云岩中度石漠化和强度石漠化比例都大于其它所有岩类,强度石漠化尤为明显,其中,尤以连续性灰岩更突出,强度石漠化所占比例居所有岩类之首。岩性基底与石漠化的发生与发育存在着较为密切的联系,这是否与白云岩分布区二元水文结构不发育、白云岩地区表层岩溶带地下水分布均匀和整体风化明显的特征有关系,值得进一步研究。

### 2.2 岩溶地貌的生态效应

地貌分异的生态环境效应是很明显的,以峰丛

深洼地为例,主要分布大抵位于我国的第二大地形阶梯和第一大地形阶梯的边界线两侧<sup>[16]</sup>。漏斗、落水洞、暗河、溶洞、溶层广布,地表水几乎全被它们吸收转化为地下水,降水损失严重。地下水埋藏极深,不具备互相联系的地下潜水面。除山间泉水外,地下水开发十分困难。地表水异常短缺,只有较大的河面才常年有水,因河谷多为峡谷型,对农田引水灌溉不利,但水能蕴藏量丰富。桂西北高峰丛山区,枯水位埋深 $>100$  m,乐业一带最深者达到 200 m。桂西南至桂中的峰丛、峰林区,枯水位埋深大于 50 m。上述地区,地下水深埋,地表干旱,但到雨季,大量洪水从地下河天窗溢出,造成部分谷地涝灾;而在桂东南,地下径流埋深多 $<10$  m。

碳酸盐岩上覆土壤的连续分布与地貌的发展具有密切的关系。岩溶山区只能见到局部保存的黑色石灰土,如在黔南荔波茂兰岩溶森林自然保护区内,岩溶森林小生境岩石裸露率为 98.05%~42.51%,平均为 89.86%,石面石沟型和石面型是其最普遍的组合类型<sup>[17]</sup>。岩溶区厚层风化壳只能形成于地貌起伏小、垂向岩溶作用不活跃的条件之下,从地理循环的角度来看,这样的景观就是地貌发育的终结阶段——准平原<sup>[18]</sup>。红色风化壳剥露的程度从青藏高原的完全剥露开始,到云贵高原逐渐演变为局部连续,向东到桂北、湘南等地逐渐转为完全覆盖。

石漠化土地主要分布在长江上游的金沙江、乌江流域和珠江上游的红水河、南北盘江、左江、右江流域以及国际河流红河、澜沧江、怒江流域,地理位置特殊。以贵州为例,强度石漠化集中分布于水城—安顺—惠水—平塘一线及以南地区,中度石漠化和轻度石漠化亦连片分布于这一线附近及其西南地区,在毕节地区和黔中分布也较广,在黔东北和黔北则为零星分布(也与灰岩与碎屑岩互层组合有关)。即石漠化分布在古溶原解体、构造活动强烈的河流上游及河谷地带的典型峰丛山区、深切峡谷区,其次是溶蚀丘陵区等碳酸盐岩连续分布区。石漠化发生的微地貌类型可分为峰林溶原石漠化组合模式,峰丛洼地、峰林谷地石漠化组合模式,峰丛峡谷石漠化组合模式<sup>[19]</sup>。

### 3 岩溶生态系统圈层的耦合作用

#### 3.1 生态演替对岩溶作用的影响

石生植物(藻类、地衣、苔藓等)在石灰岩表面分

布十分广泛,这种植物的覆盖及其产生的相应作用,往往是一种重要的岩溶侵蚀营力和成土作用,同时生物风化作用也是驱动高原岩溶地貌演化的一种不可忽视的重要营力<sup>[20]</sup>。在富钙的岩溶系统中,碳酸盐岩生境中植物群落的正向演替为裸露岩石(风化作用)→地衣植物群落(分泌有机酸腐蚀岩石表面,植物群体参加土壤的聚集和水分含蓄)→苔藓植物群落(聚集土壤能力更强,土壤水分、养分条件改善)→草本植物群落(土壤增厚,土壤蒸发减少,土壤细菌、真菌、小动物活动增强)→木本植物群落(腐殖层增厚,土壤涵养水分能力增强,植物根系发育,固土能力增强)<sup>[21]</sup>。以生物量增长及土壤形成为纽带,灰岩出露后岩溶系统演进趋势为石质岩溶→生物岩溶→土壤岩溶→生态系统岩溶,最终成为以生物活动和土壤媒体过程为主导的岩溶生态系统<sup>[22]</sup>。表层岩溶作用已成为地质作用与土壤作用、生物作用相融合,有机—无机—生物过程相互作用的地球表层圈层的耦合,从空气中→土壤表面→土壤下 20 cm→土壤下 50 cm,石灰岩的溶蚀速度在弄岗森林区为 10.27 mg/100 d→14.19 mg/100d→64.38 mg/100 d→74.25 mg/100 d,森林区石灰岩溶蚀速度高于岩溶裸露区<sup>[23]</sup>,土壤作为碳环境地球化学界面对于表层岩溶作用的驱动意义<sup>[24]</sup>。从这一意义上说,碳酸盐岩环境中石山的形成是生态系统的退化和岩溶地球化学系统的退化。

#### 3.2 生态系统对表层岩溶带的影响

我国南方可溶岩表面部存在厚度不一的、与地表生物作用有密切关系的溶沟、溶蚀裂隙等岩溶形态组合成的岩溶强烈发育带—表层岩溶带,具有供水意义的表层岩溶泉往往发育于岩层产状比较平缓的岩溶区,而在直立或倾角大的岩溶区,尽管有表层岩溶带,也很少形成表层岩溶泉<sup>[25]</sup>。表层岩溶带裂隙水循环系统为近地面的表层地下水系统,具径流途程短、汇水面积有限、排泄点多、泉水密集分布、流量较小、动态较稳定的特点,如岩溶地形与森林覆盖互相配合,形成稳定、充沛的补给源。因此,表层岩溶带的发育及其调蓄降水的能力强烈依附于森林,不同植被群落特征的岩溶生态系统,因表层岩溶带结构的差异而具有不同的功能。例如通过广西弄那表层岩溶泉的观测发现,植被可以增加泉水的水量,缓和起大落的水文动态过程;在贵州三岔河、北盘江及乌江河谷沿岸斜坡及蒙江、曹渡河深切河谷地

区,独山、平塘、罗甸等县范围,在石漠化严重的峰丛山区,森林生态水枯竭,表层岩溶带在一次性降雨后仅有 1~3 天的饱水或持水时间。植被遭破坏后改变了地表入渗条件,表层岩溶带泉水也随之枯竭,以致有些地区年年搞“人畜饮水”工程,年年又有新的缺水点出现。

### 3.3 生境多样性与植被的关系

岩溶山区土壤在较大取样面积呈集群分布,受控于裂隙的空间展布和地貌部位;在较小取样面积尺度呈均匀分布和随机分布,分布于石沟、石缝等肥沃生境。土壤异质性不仅改变了土壤物质的局部分配,同时造成景观格局与过程的变化。降水资源的再分配及与此相应的土壤资源再分配(通过侵蚀和沉积),是土壤斑块异质性形成最为主要的影响因素,同时裸露岩面生物结皮与景观内的微地形变化相结合,显著地改变了小尺度范围内水文循环和土壤侵蚀过程,加速了景观中一个个土壤资源斑块的形成,促进了景观异质性的发展,而自然演替形成的小尺度上的土壤斑块和生境异质性对于维持岩溶景观的健康状况是非常重要的。生境异质性的存在甚至成为植被演替的主导因子。岩溶森林的演替顶极是一种很典型的地形—土壤演替顶极,其属性取决于岩溶生境中的地形及土壤条件,如坡度、坡位、坡向、土层厚度、土壤湿润程度等等<sup>[26]</sup>。气候的差异、土壤的差异、小生境的差异以及气候、土壤、小生境相互配置的差异等,均会导致演替顶极的差异,从而形成不同类型的顶极群落。小生境组合的复杂多样是导致喀斯特森林生态类型与组成成分复杂多样的主要原因。即使在较高岩石裸露率情况下,不同小生境的组合类型并不相同,相应的生境严酷程度也不相同。

岩溶地区的生境多样性集中表现为小生境类型及其组合的多样性和其时空变化的无序性。岩溶环境的土壤可以与石面、石缝、石沟、石洞、石槽、溶洞等组合形成多种小生境类型,即地表土被不连续但可以与地下空间广阔但低水平持续供应养分的生境相结合形成多层生态空间,树木的大小及茂密程度,主要受岩溶裂隙的发育程度及规模所控制,裂隙规模大,分布密集,森林的覆盖程度就好,反之,覆盖程度就很差;在土壤及枯枝落叶腐殖质层较薄,且裂隙比较稀疏的岩石层面,树木的根系无法向岩石中深入,只能沿着平缓岩层表面覆盖很薄的土壤层横向

发展。土面、石沟的温湿度及辐射都比较和缓,又有良好的土壤条件,适于树木的良好生长;但如石面上积累残落的土壤,则能适应耐旱的藓类、蕨类生长;如石缝中有土壤,则能适宜喜潮湿的藓蕨类及耐阴湿的树种生长。植物对各种小生境的利用特点为岩溶环境岩石裸露率较高地段植被恢复途径、方式提供了理论依据。

这种生境多样性,是岩溶地貌本身和森林环境影响的双重作用结果。土壤的先天不足使岩溶生态系统对植被的依附性强,对植被景观破坏的敏感性很大,植被一旦破坏,尽管地表起伏不平,结果只有岩溶地貌本身的单纯干燥生境占主导地位,而无森林对环境影响的潮湿、荫蔽的等起伏不平的多样性生境,主要是旱生种类和旱生类型,缺乏湿生类型。反之,现在森林群落组成的丰富性和生态类型的多样性,又正是这种生境特点的反应。

## 4 典型岩溶生态系统自然特征对比

### 4.1 研究区概况

茂兰岩溶森林区位于贵州高原南部向广西丘陵平原过渡的斜坡地带,年均气温 15.3℃,年降水量 1 752 mm,属于中亚热带季风湿润气候地区。夏半年(4~9 月)的降水量多达 1 419.6 mm,占全年总降水量的 81%。峰丛洼地之底部终年阴湿,各月相对湿度均在 90%以上,雨量较为集中的夏季(6~8 月)高达 96%~97%;而山坡的中、上部位,相对湿度较低,晴天时极为干燥。该区是世界上同纬度地区残存下来的仅有的、原生性强、相对稳定的岩溶森林生态系统,也是岩溶区原生性森林分布面积最大的地区,森林覆盖面积近 2 万公顷。现有自然村落 18 个,人口 1 859 人,种植业居主导地位,以森林为基质的景观有被农田分割成斑块的趋势。

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,北盘江在此切割形成了一宽谷套峡的叠置谷,花江峡谷指包含峡谷和两岸在内的完整谷地。属中亚热带低热河谷,年均降雨量 1 100 mm,5~10 月降雨量占全年总降雨量的 83%。年均温 18.4℃,花江峡谷海拔 850 m 以下为亚热带干热河谷气候,900 m 以上为中亚热带河谷气候;蒸发量达 1 200~1 300 mm,干旱指数 1.4~1.1,“岩溶性干旱”现象严重。坡度大于 25°的土地面积占总面积的 87%,平地面积仅占 2%。土壤仅存于溶

隙和洼地之中,林灌覆盖率小于3%,大部分已接近无土可蚀的石漠化(轻度以上石漠化面积占土地总面积的69.68%),生态环境亟待恢复与重建。

#### 4.2 研究区地质地貌条件的比较

茂兰处于宽阔河间地带,属于山盆期地面保存较好的一个地区,海拔高度1078.6~430 m,平均800 m以上,东西两部地形高差均为150~300 m。本区岩溶强烈发育,可划分为峰丛漏斗、峰丛洼地及峰林盆地三大地貌组合类型,形成漏斗森林、洼地森林、谷地森林及槽谷森林四大景观类型。整个岩溶地面处于较年轻的阶段,岩溶发育的深度较小,其基准面就是平缓褶皱中下石炭统的顶面,整个岩溶地块厚300~400 m,岩溶发育深度自主要盆地及洼地面以下约100~200 m。整个构造为一宽缓而对称的向斜褶曲,岩层倾角一般为 $5^{\circ}$ ~ $10^{\circ}$ ,大者 $15^{\circ}$ 左右,岩溶森林区仅占有其南段的一部分,而森林保存最好的洞多、洞落及其以南的两省临界地区,亦即茂兰向斜倾没端、摆佐组白云岩广泛分布的地区,地层

已接近水平,倾角一般仅接近 $5^{\circ}$ 左右。现今保存较好的原始森林,即主要分布在向斜南段大多接近于水平产状的石炭系白云岩和石灰岩上。

花江峡谷为北盘江深切—北陡南缓向斜构造形成的岩溶峡谷,是典型的乌江期地貌。峡谷区海拔高度448~1470 m,相对高差常达600~800 m,除深切的北盘江干流外,地表无一条有常年流水的支流,峡谷区构成了地下水排泄的区域基面。总体上峡谷北侧陡峻,岩层倾角在 $50^{\circ}$ ~ $70^{\circ}$ ,为一顺构造走向的陡倾的溶蚀坡,坡顶发育了典型的岩溶峰丛,坡脚则与一和缓的碎屑岩台地相接;峡谷南坡由峰丛洼地、谷地组成一个缓缓下降的大斜坡,广泛分布高度和坡度均不大的峰丛和长度在几千米以内的岩溶干谷,岩层倾角多在 $10^{\circ}$ ~ $20^{\circ}$ ,出露地层为中三叠统碳酸盐类岩石等,碳酸盐岩层的总厚度700 m左右,质纯层厚。

#### 4.3 研究区自然特征对比

茂兰岩溶森林生态系统和花江峡谷岩溶石漠化系统自然特征的对比见表1。

表1 茂兰与花江岩溶生态系统自然特征的差异比较

Table 1. Differences in natural indices between the Maolan karst ecosystem and the Huajiang karst ecosystem

比较因素	茂兰峰丛洼地岩溶生态系统	花江峡谷岩溶石漠化生态系统
表层岩溶水	具有明显的二元结构,即:枯枝落叶垫积层充填的表层岩溶带上部裂隙水和下部表层带裂隙水共存,这一水循环途径为雨水—森林滞留水—入渗至表层岩溶带—坡麓表层岩溶泉—洼地;洼地汇水—落水洞—岩溶地下水—饱水带泉。表层岩溶带属缓慢渗流调蓄排泄型,对森林生态系统内部水分的调节和植被发育具有重要的意义。	表层岩溶带无二元结构。为快速垂直入渗无调蓄排泄型、中速渗流排泄型,调节地表径流的能力差。裂隙水顺层面渗出,分散,不集中,表层裂隙泉分布洼地、冲沟底部,泉水动态与降雨动态一致,为季节性泉,仅在雨季出流,旱季无水,除暴雨期外,表层泉水量一般很小,流量0.01~0.05 L/s。
岩溶管道水	补给源主要为大气降水,次为森林滞留裂隙水。区内岩溶管道水补给面积大,径流途程长,排泄带低,地下水露头稀少,但流量大。埋藏深度随地质地貌条件而异,数米至数十米。	岩溶水赋存运动于溶洞及管道之中,向深谷径流,于谷底以大泉形式排泄,形成极大的高差,使岩溶水水位埋深300 m以上,越近深切峡谷,其水位埋藏越深。
土壤特征	土壤质量很好,具体表现为有机质和氮、磷、钾养分丰富,但土壤容量因素很差,土层薄,土被不连续。只存在自然的土壤侵蚀过程(“土层丢失”),土壤侵蚀强度不大,土壤侵蚀程度也很低。主要为黑色石灰土和泥炭土。	土层薄,连续性极差,呈斑块状分布;土壤具干、薄、粘、瘦、碱、和土表结壳特性,质地粘重,缺乏团粒结构,保水性很差。存在显著的人为加速土壤侵蚀过程。土壤侵蚀程度是非常严重的。从河谷到山顶,依次分布红色石灰土、黄色石灰土和黑色石灰土。
小生境	茂兰地层由水平产状纯质石灰岩、白云岩岩层组成,地表石芽、石沟、石缝特别发育,这些复杂的岩石形态组合的小地形、微地形组成了各种小生境,如明亮、阴暗、干燥、湿润、积水、肥沃、瘦瘠以及他们的组合,导致生境的多样性。	以单一干燥生境占主导地位,而无森林环境影响下的潮湿、荫蔽的多样性生境。
植被	具有原生性,是一种稳定的土壤-地形顶极群落。可以划分出多样的生态类型:旱生-湿生,喜光-耐阴,喜肥-耐瘠,草质藤本-木质藤本,以及随遇植物-喜钙植物-专性植物,分别占领与其特性相适应的小生境。	具有明显的次生性,主要表现在群落组成树种较少而优势种明显,组成结构较为单一化。现存树种多以无性繁殖更新为主,比较适应该区高温干燥的环境。这主要是由于生态环境的严酷性造成的。该地区的生境特点决定了其种群集群分布的格局。
旱涝灾害	极大地改善了地下水及地表水的循环交替条件,显示出岩溶森林的水文效应,改变了岩溶区的干旱面貌;地表水、地下水较稳定,提高了水土保持能力,从而有效地防止了一般岩溶区旱涝交加的频繁灾害。	气象干旱和岩溶性干旱双重效应的结合,干旱频率高、程度深。
生态稳定性	原生性岩溶森林生态系统,脆弱。	石漠化岩溶生态系统,恢复困难。

## 5 讨论

我国西南岩溶山区,由于气候、地形、地质构造、岩溶作用、土壤等条件的不同,形成了千差万别的岩溶生态系统,同一系统中又有类型各异的小单元,在地貌格局、表土类型及植被分带等景观特征上呈现出更大的多样性<sup>[27]</sup>。不同地域类型的岩溶生态系统有共同的特征,但由于地理、地质背景有较大差异,生物圈、岩石圈、土壤圈、水圈、气圈等的组合结构导致峰丛山区、溶蚀丘陵区、峰林平原区、岩溶高原盆地、岩溶峡谷区等典型生态系统岩石—土壤—植被—大气系统的基本过程差异。很有必要从岩溶集中分布区的区域整体上认识其区域内部生态环境系统各子系统和各要素之间的关系;认识与其相关联的非岩溶区域的生态环境系统间的物质和能量交换关系;认识其生态环境系统与区域经济社会协调可持续发展的制约关系。

对茂兰岩溶森林区和花江岩溶峡谷区的研究表明,这两种典型的岩溶生态系统的差异体现在地质构造、地貌演化阶段、岩溶形态、水文结构、生境多样性及土壤侵蚀、植被、水文生态效应等基本的生态过

程和功能差异方面。其中地质构造、地貌演化、岩溶形态、可开发利用的水资源是两种系统存在显著差异的关键因素。茂兰地区生态环境的主导因素是地貌条件<sup>[28]</sup>,土壤条件对岩溶森林群落生物量的决定作用远大于气候条件<sup>[29]</sup>,且草被与树林的界线就是岩组间的界线<sup>[30]</sup>,尤其是摆佐组(C<sub>1b</sub>)白云岩是岩溶森林保存最好的地层。

因此,我们有理由认为岩溶生态系统各圈层发生着地质地貌组合→水土土壤组合→植被和小生境组合结构的作用过程,不同组合结构的岩溶生态系统具有特殊的功能和圈层的耦合作用,其本底稳定性与脆弱性各异,从而形成了不同区域岩溶生态系统及生境类型的多样性。目前关于岩溶生态系统圈层相互作用与植物对土壤、水分等环境要素的时空格局景观异质性的响应关系方面的研究较为薄弱,探讨不同岩溶地貌单元、不同碳酸盐岩类型区的岩溶生态系统基本生态过程的共性和差异,探索地质环境与生态环境的内在联系和耦合关系,分析地质因素对生态环境的控制和影响程度,从而有可能回答自然背景和人为干扰在岩溶生态系统退化和恢复中的贡献率,必将有利于岩溶受损生态环境单元的恢复重建。

## 参 考 文 献

- [1] 贵州省农业地貌区划编写组. 贵州省农业地貌区划[M]. 贵阳:贵州人民出版社,1989.
- [2] 贵州省植被区划编写组. 贵州省植被区划[M]. 贵阳:贵州人民出版社,1990.
- [3] 张卫,覃小群,易连兴. 西南岩溶区岩溶水有效开发利用规划分区[J]. 中国岩溶,2001,20(1):27~34.
- [4] 苏维词. 贵州岩溶区生态环境脆弱性类型的初步划分[J]. 环境科学研究,1994,7(6):34~41.
- [5] 李瑞玲,王世杰,周德全,等. 贵州岩溶地区岩性与土地石漠化的空间相关分析[J]. 地理学报,2003,58(2):314~320.
- [6] 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.
- [7] 中国科学院地质研究所岩溶研究组. 中国岩溶研究[M]. 北京:科学出版社,1987.
- [8] 李先琨,苏宗明,吕仕洪,等. 广西岩溶植被自然分布规律及对岩溶生态恢复重建的意义[J]. 山地学报,2003,21(2):129~139.
- [9] 傅伯杰,刘国华,孟庆华. 中国西部生态区划及其生态发展对策[J]. 干旱区地理,2000,223(4):289~297.
- [10] 钟章成. 常绿阔叶林生态学研究[M]. 重庆:西南师范大学出版社,1988. 413~626,537~550.
- [11] 徐继填,陈百明,张雪芹. 中国生态系统生产力区划[J]. 地理学报,2001,56(4):401~408.
- [12] 翁金桃,等. 桂林阳朔一带峰林石山的形态类型及其岩性控制[J]. 中国岩溶,1986,6(2):141~146.
- [13] 王明章. 黔北寒武系白云岩盆地型水源地水化学特征及水资源开发利用对策[J]. 1995,12(4):326~332.
- [14] 聂跃平. 碳酸盐岩性因素控制下喀斯特发育特征—以黔中南为例[J]. 中国岩溶,1994,13(1):31~36.
- [15] 梁虹,王剑. 喀斯特地区流域岩性差异与洪、枯水特征值相关分析[J]. 中国岩溶,17(1):67~73.
- [16] 朱学稳. 峰林喀斯特的性质及其发育和演化的新思考(1)[J]. 中国岩溶,1991,10(1):51~62.
- [17] 朱守谦,何纪星,魏鲁明,等. 茂兰喀斯特森林小生境特征研究[A]. 朱守谦. 喀斯特森林生态研究(Ⅲ)[M]. 贵阳:贵州科技出版社,2003,38~48.
- [18] 李德文,崔之久,刘耕年. 湘桂黔滇藏一线覆盖型岩溶地貌特征与岩溶(双层)夷平面[J]. 山地学报,2000,18(4):289~295.

- [19] 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.
- [20] 李兴中, 李双岱. 茂兰喀斯特森林区地貌景观[A]. 茂兰喀斯特森林科学考察集[C]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1987.
- [21] 袁道先, 蔡桂鸿. 岩溶环境学[M]. 重庆: 重庆出版社, 1988, 197~198.
- [22] 潘根兴, 曹建华. 表层带岩溶作用: 以土壤为媒介的地球表层生态系统过程—以桂林峰丛洼地岩溶系统为例[J]. 中国岩溶, 1999, 18(4): 287~296.
- [23] 曹建华, 王福星. 广西弄岗自然保护区森林群落内环境生物岩溶侵蚀营力之特征[J]. 中国岩溶, 15(1-2): 65~72.
- [24] 潘根兴, 曹建华. 湿润亚热带峰丛洼地岩溶土壤系统中碳分布及其转移[J]. 应用生态学报, 2000, 11(1): 69~72.
- [25] 蒋忠诚, 王瑞江, 裴建国, 等. 我国南方表层岩溶带及其对岩溶水的调蓄功能[J]. 中国岩溶, 2001, 20(2): 106~110.
- [26] 屠玉麟. 贵州喀斯特森林的初步研究[J]. 中国岩溶, 1989, 8(4): 282~290.
- [27] 陈履安, 万国江. 喀斯特景观发育的地质基础—以贵州地区为例[A]. 万国江. 碳酸盐岩与环境[C] 北京: 地震出版社, 2000, 7~15.
- [28] 陈建庚. 茂兰保护区喀斯特生态环境类型划分及特征分析[J]. 贵州环保科技, 2000, 6(2): 8~16.
- [29] 杨汉奎. 贵州茂兰喀斯特森林群落生物量研究[J]. 生态学报, 1991, 11(4): 207~312.
- [30] 姚智, 张朴, 刘爱明. 喀斯特区域地貌与原始森林关系的讨论—以贵州荔波茂兰、望谟麻山为例[J]. 贵州地质, 2002, 19(2): 99~102.

## DIFFERENCES IN NATURAL CHARACTERISTICS FOR KARST ECOSYSTEMS UNDER DIFFERENT GEOLOGICAL BACKGROUNDS AS EXEMPLIFIED BY MAOLAN AND HUAJIANG ECOSYSTEMS

LI Yang-bing, WANG Shi-jie, LI Rui-ling

(State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry,  
Chinese Academy of Sciences, Guiyang 55002, China)

### Abstract

The natural characteristics are the basis for evaluating typical karst systems. There have been found some processes of geological and geographical combination, hydrological and soil combination, vegetation and microhabitat type combination in karst ecosystems in southwestern karst mountainous regions due to differences in climate, landform, geological tectonics, karstification, soil, etc. Karst ecosystems characterized by different combination structures have special functions and coupling actions of biosphere, geosphere, pedosphere, hydrosphere, and atmosphere, and have different background stabilities and fragilities, therefore, forming karst ecosystem and microhabitat diversity in different regions. By comparing the natural characteristics between two karst ecosystems, i. e., the typical karst primitive forest in Maolan and the typical karst rock desertification ecosystem in the Huajiang Gorge, their differences are reflected by geological tectonics, landform evolution, karst form, hydrologic structure, soil erosion, vegetation community, hydro-ecological effect and microhabitat type. Among them, geological tectonics, landform evolution, karst form, exploitable and usable water and vegetation community are the key factors that lead to differences between the two systems. Therefore, there are necessities to discuss the similarity and difference of karst ecosystems in different karst landform units and different carbonate sections, discuss the inherent and coupling relations, analyze the impact and control of geological elements on eco-environment. All this provides the scientific basis for the restoration and rehabilitation of damaged karst eco-environment.

**Key words:** geological background; karst ecosystem; natural characteristics; differences