

不同岩溶环境系统的水文和生态效应研究

何师意¹⁾ 冉景丞²⁾ 袁道先¹⁾ 谢运球¹⁾

(1) 中国地质科学院岩溶地质研究所、岩溶动力学开放研究实验室, 广西桂林;
2) 茂兰国家级自然保护区管理局, 贵州荔波)

摘 要 本文选择 3 个不同类型的岩溶生态系统作为研究对象。从植被发育状况、群落特征、水化学特征对系统的响应、表层岩溶带功能、系统生态效应及水文效应进行了对比研究。结果显示, 植被群落特征较好地反映了生态环境系统遭受破坏的程度及所处的演化阶段, 因表层带本身结构的差异, 使其具有不同的功能, 特别是表现在对系统小气候和表层岩溶带水资源的调节方面, 水化学对系统的响应过程, 反映了不同系统中物质运移特征差异。

关键词 水文和生态效应 岩溶环境 表层岩溶带

岩溶环境被视为与沙漠边缘一样的脆弱生态环境。其脆弱性主要表现在: ①环境容量小, 植被遭破坏后很长时间才能恢复, 以及水文过程变化迅速, 旱涝时常发生; ②植被生长过渡依赖于生境条件, 但生境条件受到环境影响明显; ③生态环境的良性演化依赖于植被的恢复; ④水资源利用与土地利用方式间缺乏合理性, 如刀耕火种、过渡开垦造成生态环境中种子库严重丢失, 物种多样性受到影响, 植被演化趋于单一或种群趋于退化。种种因素制约了生态环境向有利的方向发展。在我国南方广大岩溶区, 尽管降雨丰沛, 但缺乏植被系统的调节, 加之岩溶水分布的不均匀性, 以及蒸发量较大。因此, 干旱问题依然突出。岩溶区石漠化现象正是水、土、植被三者不协调时产生的。已有研究成果证明(朱守谦, 1997; 周政贤, 1987)“光秃的石山”并不是岩溶区原有的特征, 早在明末清初, 桂林地区就曾有大量的森林, 后因人口增长和社会文明的发展而消失了。所幸的是, 现今在我国西南尚存小面积的原始岩溶森林, 它为人类研究岩溶生态系统的良性演化机制提供了可能, 也是岩溶地区生物多样性的宝库。

从不同岩溶生态系统的植被种类、群落和区系的差异入手, 研究该系统演化的方向和所处的阶段, 可能会获得对岩溶生态系统更深层次的理解, 如探索实现治理的可能性。对岩溶生态系统内部物质和能量的运移规律的研究, 则是了解系统内部结构和功能的基础, 如水分循环的载体和途径、元素迁移和富集的过程及生态意义; 用系统科学的方法分析岩溶生态系统构成及结构层间的相互关系, 则可更全面地了解系统本身的作用, 为岩溶生态系统恢复提供理论依据。

1 植被类型和群落差异显示生态环境演化特征

我们选择了 3 种不同的岩溶生态环境系统进行对比研究(表 1)。

1.1 岩溶灌丛生态系统

在桂林丫吉试验场约 2 km² 范围内, 采用常规样地调查(灌丛样地面积 4 m × 5 m, 草本样地 1 m × 1 m)和样带普查方法相结合, 对场区植被状况、

表 1 广西桂林、贵州茂兰和广西弄拉基本资料对比

Table 1 Brief comparison of fundamental condition among Guilin, Maolan and Longla

地点	地理坐标	出露地层	地貌类型	植被类型	年均雨量 mm	年均气温 ℃
桂林	110°19'E 25°16'N	D _{3r} 石灰岩	峰丛洼地	岩溶灌木林	1915	18.8
茂兰	107°58'E 25°15'N	C _{1b} 白云岩	峰丛谷地	岩溶森林	1752	15.3
弄拉	108°19'E 23°29'N	D _{2d} ² 白云岩	峰丛洼地	人工、天然林	1700	19.8

本文由国土资源部科技司项目(992030)、国家自然科学基金(49632100)新地调项目(KDK2002008)和国土资源部“九五”重点科技项目(9501104)联合资助。

改回日期: 2001-4-10, 责任编辑: 宫月萱。

第一作者: 何师意, 1966 年生, 副研究员, 岩溶地球化学、岩溶环境学专业, 邮编: 541004。

群落类型和植物区系特征进行了调查研究。

结果显示,场区现存植被处于正向演替初期的退化岩溶石山区次生灌丛草坡,群落总盖度为0.75,其中乔木层盖度0.05、灌木层0.70、草本层0.02。主要组成树种为:黄荆(*Vitex negundo*)、木(*Loropetalum chinensis*)、金竹(*Phyllostachys sulphurea*)、小果蔷薇(*Rosa cymosa*)、老虎刺(*Pterolobium punctatum*)等。在陡坡地带发现少量残存亚热带岩溶森林顶极群落中的伏背或建群树种,如圆叶乌桕(*Sapium rotundifolium*)、榕(*Ficus microcarpa*)等。圆叶乌桕等顶级群落的存在,说明本区原生植被破坏不彻底,有些地方尚未被火烧或受轻微火灾,土壤种子库受损失较小。在洼地、垭口和缓坡地带大量生长黄荆和木,说明这些地带在过去10 a常被山火破坏,岩溶森林顶级植被种子几乎丢失殆尽,而发育了次生灌丛的先锋植被——木和黄荆。黄荆的大量生长同时指示场区土壤为酸性。

根据样地及样带调查资料,结合本场区不同坡向、不同坡位、优势种类各异及土壤pH值,土壤水等因子森林群落类型划分标准,将场区植被划分为4种类型:①木(火棘)、粗糠柴、莎草群落;②黄荆、小果蔷薇(老虎刺)、五节芒群落;③羊蹄甲、金竹、五节芒(巴茅)群落;④金竹、蕨类群落。

调查统计表明,桂林丫吉试验场共有维管束植物32科70属128种。其中种子植物29科67属124种及种下类群,蕨类植物3科3属4种。本区植物区系以木本植物为主。含10种以上的科仅蔷薇科(11种)和桑科(10种)。种密度最大的为金缕梅科的木、马鞭草科的黄荆以及竹亚科金竹,它们在本区次生灌丛植被中占绝对重要位置,是群落当前演替阶段的建群种和优势树种。

另外,在距场区10 km、岩溶植被原生性保存较好的七星公园普陀山,发现了大量亚热带岩溶森林顶极群落中的优势树种或建群种,说明本区植物区系未经破坏以前与贵州南部现存原生性岩溶森林植物区系极为相似,进一步证实了亚热带岩溶地区森林植被顶极群落为土壤——地形顶极,即亚热带非地带性原生植被(常绿落叶阔叶混交林)这一结论。

1.2 岩溶区人工经济林和天然林生态系统

以广西弄拉最为典型。植被由人工经济林和天然植被两大部分组成。居民通过人工引种(洼地种植果树、庄稼)种植天然适生种(坡度种植名、特、优药材)和保护水源林(石峰上的原生乔木),已走上立体生态农业的道路。实地调查结果表明,该区现存天然植被主要是岩溶灌木林、灌丛及以禾本科植物为主的草坡,平均郁闭度低于0.4。本区共有维管

束植物77科126属212种,其中种子植物72科120属206种及种下类群。

研究区植被主要组分中既有次生树种(黄荆、老虎刺、火棘等),又存在大量的原生植被建群种及优势树种(青冈栎、化香、光叶海桐、任木等)。相对于桂林丫吉试验场,该区植被组成更为合理和趋向演替中期。保存较好的原生植被更能说明广西岩溶地区森林群落顶极为非地带性土壤——地形顶极-亚热带常绿落叶阔叶混交林。

根据本区植被组成特征及利用现状,可将其划分为以下5个类型:①园果化香、乌冈栎(龙棕)、石斛群落,该群落类型由原生性较强的植被覆盖,分布于海拔560 m以上;②黄荆、紫珠、五节芒群落,该群落分布于500~560 m海拔的山体中部,为次生灌丛或灌木林;③箬竹、野桐、唇柱苣苔群落,分布于海拔550 m以上山体的上部,原生植被经过破坏后形成了箬竹、野桐、唇柱苣苔群落;④经济林,其物种组成有人工引种和天然适生物种;⑤农作物群落。

1.3 岩溶森林生态系统

以贵州茂兰岩溶森林生态系统最为典型。该区域内原生性植被类型多,且覆盖率高,高达90%以上,林中小生境多样,林相稳定且发育层次丰富,动物资源类型复杂。由于森林的调蓄作用,已形成了森林小气候环境。上述生态特征表明,该岩溶生态系统处于相对成熟和稳定的演化阶段。据研究(朱守谦,1997;周政贤,1987),在221 km²的保护区范围内,有维管束植物143科501属1203种,茂兰特有种25种,以及大量低等植物(包括苔藓)。有脊椎动物400余种,茂兰特有种5种,以及大量昆虫等无脊椎动物和土壤微生物。主要组成树种是长期适应岩溶生境和自然选择的结果,它们具有生命力和适应性强,但生长速度慢等特点。由于森林受破坏少、原生性强,林中发育较厚的枯枝落叶层,土壤腐殖质含量高。这对保持水分和养分,促进生态系统本身的良性发展具有重要意义。

岩溶环境的地质生态背景具有一定的共性,比如富钙性、裂隙发育、地下水水位低,土被薄而不连续,以及植被赖以生存的表层水源漏失严重。为适应恶劣的生境条件,岩溶植被的种类和生长习性均表现出较强的喜钙性、石生性和旱生性。

2 系统生态效应分析

2.1 岩溶生态系统对环境小气候的调节

对桂林、茂兰和弄拉3个不同的环境系统的实际观测结果显示,三者处于大致相同的地理位置,所处的气候带也相同。但由于地形、地貌和植被发育状况明显不同,环境小气候受外界大气影响的程

度不同。因此系统空气相对湿度和气温等气象要素的变化特征存在较大差异(图 1、2、3)。

茂兰森林系统,其气象年变化特征表现为冬无严寒、夏无酷暑,年温差仅 18.3℃,年相对湿度变幅小于 40%。如图 1 所示,在加密观测期内,湿度和气温的昼夜变化稳定,湿度变幅不超过 35%,气温变化不超过 8℃。最小湿度和最高气温出现在 12:00~14:00 之间,二者具有良好的相关性。已有

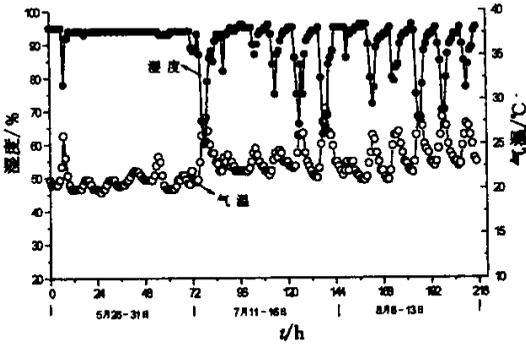


图 1 茂兰森林系统湿度和气温昼夜变化过程
Fig.1 Daily corresponding change between the air humidity and temperature in Maolan Forest System

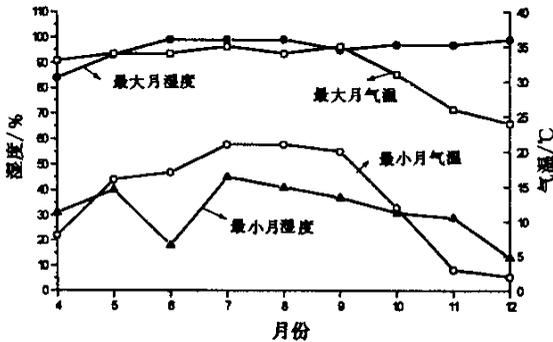


图 2 桂林丫吉试验场气象特征值月变化
Fig.2 Monthly change of meteorological statistical features in Guilin Experimental Site

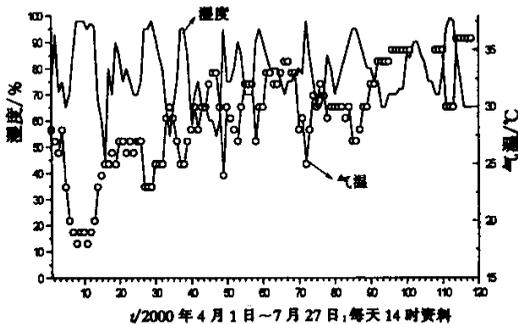


图 3 广西弄拉大气湿度和气温日变化过程
Fig.3 Daily corresponding change between the air humidity and temperature in Longla area
万方数据

观测结果显示(甘天箴等,1987)林区中不同地貌部位湿度和气温月平均值具有显著差异:在夏半年,气温以洼地底部最低且变化最小,洼地顶部最高且变化最大;在冬半年,气温以洼地底部最高且变化最大,洼地顶部最低且变化最小。坡地处的变化居于二者之间。空气湿度的变化则与气温变化刚好相反。气象要素的变化特点,一方面说明较大的森林郁闭度使林内小气候受大气环流影响较小。另一方面,由于森林自身的调节功能,以及林内多种小生境组合并相互制约,使得环境具有较强的缓冲作用。

与森林系统构成明显反差的是我国南方广大岩溶石山区。对桂林丫吉试验场的定点观测研究显示(何师意等,2000)场区气象特征与区域性气候变化一致,气温变化很大,年温差达 33℃,空气相对湿度变幅达 80%。湿度对气温的变化反应更为灵敏,二者呈明显负相关(图 2),在有降雨情况下更为显著。与森林系统相比,由于岩溶灌丛系统缺乏植被的调节作用,气象要素在不同地貌部位的分布规律主要表现为热和水分的累积,即在空气流动性差的洼地底部,温度高;而在垭口处通风良好,气温相对低。同时因为地被物缺乏,裸露岩石吸热作用及地表蒸发作用强烈,夏季曾测得裸岩表面温度达 58℃。这对生态系统本身的演化非常不利。因为涵养水分和活化养分是系统得以持续朝良性方向发展的关键。

前已述及,弄拉人工经济林次生天然林生态环境的良性演化过程居上述两系统之间。但由于植物区系过于分散,没有形成封闭性的完整生态体系,植被群落间的相互制约、配套和协调功能较差,小生境多样性受到限制。因此,场区的气温和湿度的日变化仍表现出较大的波动性。在 2000 年 4 月 1 日至 7 月 27 日的观测期内,每日 14:00 的气温变幅为 25℃,空气湿度变幅为 55%。可见,植被系统对小环境气候的调节明显不如茂兰的森林系统,但优于桂林的灌木林系统。

从有限的土地资源的合理利用角度考虑,弄拉多年发展生态农业和开创岩溶石山脱贫致富途径的经验,无疑具有很强的实践指导意义。类似于弄拉的生态农业模式,即高位石峰培育水源林、岩溶洼地边坡种植经济林、洼地底部作为庄稼地,在我国湖南省的洛塔和保靖已得到了较好的应用,并产生了较大的经济效益。茂兰、桂林和弄拉的相关对比研究成果还显示,在岩溶石山区,走这一生态发展模式似乎有一个前提条件——岩溶环境并未受到致命的破坏,停止破坏后,生态系统的演化有可能朝良性方向发展。

2.2 低等植物的持水性

以地衣、藻类和苔藓等为代表的低等植物,在岩

溶生态系统中起到重要的作用。主要表现在2个方面:①破坏岩石表面结构中起先锋作用, 殖居于岩面的低等植物钻蚀岩石表面, 使岩石表层结构瓦解。在生长过程中产生大量有机酸, 直接参与生物作用过程, 对植被演化所需的养分的富集具有重要作用。同时, 岩面结构被破坏, 表面积增大, 裂隙增多, 更有利于雨水对碳酸盐岩的无机溶蚀过程; ②增加岩面持水量和延长水分停留时间。已有试验成果显示(曹建华等, 1995): 从饱和吸水状态经蒸发失水至恒重, 藻类生物岩样失水量是相应岩石的16.3倍, 时间也延长48%, 主动吸水时, 吸水量是相应岩石的2.6倍, 时间也延长57%, 而持水量为相应岩石的17.6倍。对于苔藓生物岩样, 失水量是相应岩石的82.2倍, 时间是相应岩石样品的7.2倍; 主动吸水时, 吸水量是相应岩石的9.1倍, 持水量为相应岩石的58.2倍。

苔藓作为比藻类、地衣级别更高的准高等植物群落, 具有喜湿性, 常生长在高等植物枝干和岩面上, 分布范围广。在茂兰林区, 我们随机采集苔藓活体样, 80℃恒温烘烤2 h。结果显示, 其平均天然吸水率(丢失重量占干重的百分比)为283.67%, 几乎是干重的3倍。将样品浸泡2 h, 让样品自然沥干重力水, 测得最大吸水率为650.35%, 为干重的6.5倍。可见, 苔藓植物对生态系统内水分的调节和储存具有重要意义。

3 系统的水文效应分析

3.1 森林对降雨的截留作用

研究中仅对茂兰森林生态系统中的森林对降雨的截留进行了测定。实施方案为: 选择2处林窗安放集雨器, 以其平均结果作为总降雨量, 选择3株具代表性的标准植株(分别为园果化香、青冈栎和云贵鹅尔栎), 测定林下穿透雨量, 收集树干径流量, 取平均值。观测期降雨较为集中, 第一次降雨强度为90 min内降雨1.9 mm(林窗测得值); 第二次降雨强度为6 h内连续降雨30.7 mm(林窗测得值)。2次降雨间隔约2 h。

结果显示, 林中穿透水和树干径流量均与森林郁闭度有关, 树冠截留量越大, 则树干径流量越大, 穿透水越多, 林冠层对小雨的截留作用大, 雨量增加或降雨时间延长, 截留比例下降, 说明冠层的截留作用存在一个极限。对热带山地雨林生态系统的研究也有类似结果(陈步峰等, 2000)。但对该极限截留量的准确测定较为困难。考察整个试验过程: 第一次降雨(小雨)未产生干流; 第二次降雨开始后约2.5 h测得二植株的树干径流量分别为0.7 mm(郁闭度为0.8)和0.5 mm(郁闭度为0.95), 同时测得

地表径流量为0.6 mm。进一步的统计结果表明: 对郁闭度分别为0.8和0.95的二植株, 在小雨时, 林中穿透雨量分别为总雨量的52.6%和26.3%, 在中一大雨时, 穿透雨量分别为总降雨量的96.1%和59.3%。可见, 影响树冠截留量的因素较为复杂, 包括降雨强度、降雨持续时间、森林郁闭度以及植株的冠幅和干径等。

与此相关的研究在岩溶石山的灌木林未能实施, 这无疑是一大缺陷。

3.2 土壤和地被物对水分的调节

地表除有植被覆盖层外, 还发育有岩溶土壤层和地被物, 如枯枝落叶层和腐植层。它们是岩溶作用和植被代谢的产物。在桂林丫吉试验场, 半分解状枯枝落叶层不发育。土壤为褐色石灰土, 厚度为0~5 m不等。其结构层自上而下为: 根系+腐殖层(A₀) A层、心土层。通过对完整土壤剖面的研究, 土壤含水率随深度增加呈递减趋势(图4), 达到30 cm深度基本保持恒定。0~10 cm含水率最高, 达40.23%, 60~70 cm最低, 为25.09%。土壤不同深度的溶蚀试验结果反映(何师意等, 1997), 在60 cm深度溶蚀量最大, 这与土壤水分在该深度上仍处于活跃及CO₂相对富集有关。由于观测期间降雨量很小, 因此土壤还应有更大的蓄水潜力。土壤水的释放是一个相对缓慢的过程, 这对调节生态系统的水分起到了重要的作用, 场区表层带岩溶泉水流持续不断, 就是很好的例子。

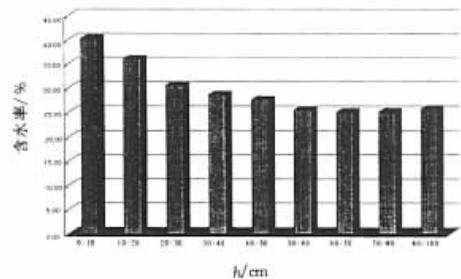


图4 桂林丫吉试验场土壤剖面水分分布
(时间: 7月份 阵雨)

Fig. 4 Distribution of moisture content on soil profile in Guilin

在茂兰森林区, 半分解状的枯枝落叶层极为发育, 但土壤层不发育, 仅有腐殖质土和深褐色钙质土。观测结果显示, 除前已述及的苔藓植物具有最大持水能力外, 枯枝落叶层也具有很强的持水性。如表2所示, 同一样地平均含水率排序为: 枯枝落叶层 > 腐殖质土 > 钙质土。不同地貌部位上相同层位的地被物的含水率存在一定差别, 可能与地被物组成和其中有机质含量(反映分解的程度)有关。林内发育大量的表层滞留泉和沼泽湿地, 是地被物对

系统水分调节的具体表现。地被物水分的调节作用促进了系统内部生境多样性的形成。因此可以认为,除森林外,低等植物和枯枝落叶层是重要的蓄水介质,同时也是生态系统内部水分的主要调节者。此外,地被物还具有缓解降雨对土壤的冲蚀、延缓地表径流时间和强度的功能。

表 2 茂兰白鹇山森林地被物吸水率*

Table 2 The absorption rates of water by varied covering on ground surface, Maolan

取样地点	样品类型	取样深度/cm	平均吸水率/%
垭口平台	枯枝落叶	04	234.70
	腐植质土	48	73.76
	钙质土	8~12	60.55
	枯枝落叶	0~2	172.65
斜坡局部平台	腐植质土	26	59.76
	钙质土	6~10	47.66
	枯枝落叶	0~2	203.22
斜坡	腐植质土	2~6	169.90
	钙质土	6~10	171.00
随机采样	苔藓样	0~3	283.67

* 样品采集时间 2000 年 5 月,天气:中—大雨。

3.3 表层岩溶带的调蓄功能及意义

表层岩溶带是指岩溶区可溶岩上部,厚度一般不超过 10 m,岩溶裂隙发育,并有岩溶管道与其下部岩溶包气带或饱水带相连通,岩溶较为发育的部分。表层带岩溶作用活跃,可能与其上方发育有土壤和植被层有一定联系。不同生态类型的表层岩溶带在结构上存在差别,因此,其功能也不相同。

对比研究成果显示,在桂林丫吉试验场岩溶表层带的功能主要表现在对系统水文过程的调节。其水文过程的调蓄特点与降雨强度有关(袁道先等,1996):当降雨量小于 5 mm 时,表层带的调蓄量为泉域总调蓄量的 98.58%;当降雨量分别为 5~10 mm、10~30 mm 和 30 mm 以上时,其调蓄量分别占泉域总调蓄量的 73.91%、77.29% 和 67.69%。造成上述变化的原因,是由于其上岩溶土壤层薄,植被发育不佳,总蓄积能力有限。小雨时,降雨几乎全部被地被物和岩溶裂隙截留,泉域总排泄量不形成洪峰,即洪峰与降雨的滞后趋于无穷大。但在大雨量时,表层带蓄水空间很快趋于饱和,形成大量地表产流,并汇集于洼地,通过落水洞等岩溶管道,进入其下的包气带。反映在泉域总排泄过程上,即形成水位的暴涨暴落,流量变化达 70 000 倍。而且流量洪峰平均滞后降雨峰值仅 4 h。

我国南方广大岩溶区主体岩溶水资源(岩溶含水层、地下河等)多为深埋型,加之岩溶区经济不发

达,开发能力有限。因此,岩溶表层带蓄积的水资源,因其停留的时间更长,释放的过程相对较慢,而具有重要的实际应用价值。事实也如此,在广大岩溶石山区,居民不仅以表层带泉水为生存水源,还通过各种措施,如修建田间地头水柜、小型山塘水库,尽可能有效地利用这部分岩溶水资源。

与桂林相比,弄拉泉水水位对降雨的响应相对较为迟缓(如图 5),仅在暴雨后才表现出明显上升。但水位变幅不大。如观测期内的第 53 天至 56 天连续暴雨,水位仅上升 6 cm。这是由于该泉域面积小(仅 400 m²),封闭性不好。且泉水位于坡地部位,沿地层面产出,地层产状平缓。因此,暴雨时,坡地四处水流潺潺,大部分雨水从边坡流出泉域外。当然,该泉水四季流水不断,说明泉域上方的较好的植被层和较厚而疏松的土壤层起到了重要的调节作用。测期内第 70 天和第 110 天降雨量分别为 56 mm 和 35 mm,但水位不涨反降,可能与前期雨量少,水位正从相对高位回落有关。已有研究成果显示(蒋忠诚,1998),尽管该泉域面积不大,但由于上方植被较好以及生态综合治理措施合理,泉域的水资源量解决了当地 100 多居民的人畜饮水问题。

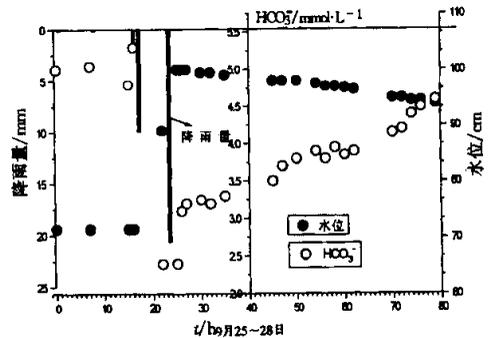


图 5 弄拉兰电堂岩溶泉水位与降雨的历时过程
Fig. 6 Response process of water table to rainfall at Longla karst spring

茂兰的情况则不同于上述两地。其岩溶表层带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。这种独特的水文结构,不仅使表层带水的补给、径流和排泄条件明显改善,而且使降水、地表水和下部岩溶水的相互转化产生良性循环,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。

表层岩溶带上部裂隙水和枯枝落叶持水,多形成森林滞留泉和林中沼泽湿地,二者似有统一水面。滞留泉多产出于洼地边坡,水流汇集于洼地,由落水洞排入下部表层带和地下河。沼泽湿地发育于茂密森林中平缓和低洼区域。区内地层平缓、裂隙发育,但由于枯枝落叶和腐殖质充填于裂隙中,林内上层

滞水的垂直运动不畅,形成沼泽湿地。图6为上层滞留水水位及水化学对降雨的响应过程。

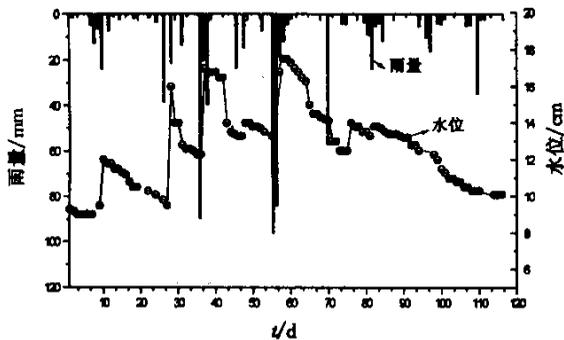


图6 茂兰白鹇山滞留水暴雨效应

Fig. 76 Storm effect of suspended karst water in Maolan karst forest area

图中显示,穿透雨量为32.6 mm的集中降雨,使水位显著上升,同时水中的 HCO_3^- 浓度也降低,但有2~4 h滞后。降雨停止后,水位的衰减过程却持续较长时间,水化学也呈缓慢升高。水位和水化学对降雨的这种响应过程,进一步说明了上部表层岩溶带的蓄水能力很大,调蓄功能很强。

参考文献

- 陈步峰,林明献,周光益等.2000.尖峰岭热带山地雨林生态系统的生物生态效应.生态学报,20(3):20~30.
- 曹建华,王福星,何师意等.1995.广西弄岗自然保护区碳酸盐岩岩面内生地衣保水性岩溶意义.地球学报,16(4):419~431.
- 何师意,徐胜友,张美良.1997.岩溶土壤中 CO_2 浓度、水化学及其与岩溶作用的关系.中国岩溶(4):11~15.
- 何师意,潘根兴,曹建华等.2000.表层岩溶生态系统碳循环特征研究.第四纪研究,20(4):21~27.
- 蒋忠诚.1998.中国南方表层岩溶带的特征及形成机理.热带地理,18(4):34~39.
- 袁道先,戴爱德,刘再华等著.1996.中国南方裸露型岩溶峰丛山区岩溶水系统及其数学模型的研究.南宁:广西师范大学出版社.
- 朱守谦主编.1997.喀斯特森林生态研究(II).贵阳:贵州科技出版社.
- 周政贤主编.1987.茂兰喀斯特森林科学考察集.贵阳:贵州人民出版社.

A Comparative Study on Hydrological and Ecological Effects in Different Karst Ecosystems

He Shiyi¹⁾ Ran Jingcheng²⁾ Yuan Daoxian¹⁾ Xie Yunqiu¹⁾

(1) Institute of Karst Geology, CAGS & Karst Dynamic Laboratory, Guilin, Guangxi;

2) Maolan National Natural Karst Forest Reserve, Libo, Guizhou)

Abstract Based on a comparative analysis of different karst ecosystems, the research work mainly focuses on the situation of vegetation growth, the community characteristics of vegetation, the hydrochemical response to the system, the functions of epikarst zone, and the ecological and hydrological effects. The results show that a) the evolution stage and the damage extent of the ecosystem are well reflected by the community characteristics of vegetation; b) the inner varieties of habitat constitute the basis which makes it possible for the ecosystem to be in the process of sustainable development; c) the functions of different epikarst zones depend mainly on their specific structures and show off through their adjustment to meteorological factors of the environment and their capacity of holding water resources; d) the processes of hydrochemical response to the ecosystem, moreover, have reflected the differences in transportation of such substances as carbon, H_2O and calcium.

Key words hydrological and ecological effects karst environment epikarst