

浅议西南岩溶山地的水文生态效应研究

李阳兵^{1,2}, 王世杰¹, 熊康宁²

(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. 贵州师范大学, 贵州 贵阳 550001)

摘 要:生态水文学是以土壤为联系纽带的生态学和水文学的交叉学科。本文总结了 20 世纪 90 年代以来生态水文学和西南岩溶山地生态水文学理论研究和实践方面的进展、存在的薄弱环节,在此基础上,论述了岩溶山地生态水文研究的基本内容和原则,提出应加强岩溶山地生态格局和过程的水文学机制研究。本文旨在引起有关人员岩溶山地生态水文过程研究的重视。

关键词:岩溶山地; 生态水文学; 研究背景

中图分类号:S181 **文献标识码:**A

0 引 言

早在 1983 年人们就已把岩溶环境视为同沙漠边缘一样的脆弱生态环境。其脆弱性是由特殊的地质环境和强烈的岩溶作用引起的,主要表现在环境容量小、植被破坏后生长恢复需要很长时间、水文过程变化迅速、旱涝时常发生。在我国南方广大岩溶区,虽平均降水在 1100 mm 以上,但本区降水变率大,季节分配不均,缺乏植被系统的调节;土层浅薄、土壤总量少、贮水能力低及岩石渗漏性强、入渗系数大,地下水高低水位变幅可达数十米,即使在多雨的生长季节,也常出现蒸发量大于降雨量的干燥期,形成湿润气候条件下的干旱——岩溶性干旱,干旱问题依然突出。这实质是岩溶环境承灾的阈值弹性小、生态环境脆弱的一种反映,岩溶区石漠化现象正是水、土、植被三者不协调时产生的。

水资源问题是 21 世纪人类面临的重要资源问题之一。从水资源问题产生的背景来看,主要是人类活动破坏了水资源的生态空间。生态水文学正是在全球水资源短缺的背景下,寻求合理持续利用水资源的实践中形成的一门交叉应用学科。1992 年在 Dublin 国际水文与环境大会上正式提出了生态水文学

(ecohydrology)概念。I. Rodriguez-Iturbe 认为生态水文学是研究生态格局和过程下的水文机制的科学,气候—植被—土壤的相互作用是其控制性的因素,土壤湿度是其关键的研究因子^[1]。武强将其定义为“生态水文学是一个集地表水文学、地下水文学、植物生理学、生态学、土壤学、气象学和自然地理学于一体,彼此间相互影响渗透而形成的一门新型交叉边缘学科”^[2]。笔者认为生态水文学包括两个方面:(1)研究各类生态系统动态演变所产生的水文效应;(2)研究水文循环过程的改变对生态系统过程和格局的驱动,即生态过程和格局的水文学机制。生态水文学将流域尺度的水和生物综合考虑,研究流域内“超生物体”在长期适应中形成的针对胁迫的抵抗力,根据生态系统特点确定管理手段(即采用生物多样性、水质、水量衡量),它并不简单意指因水圈条件改变而导致生物圈的环境所出现的问题。因此,生态水文过程的机理是干旱区生态环境保护和恢复重建中必须面对的基础科学问题,对其深入研究不仅可以为天然生态系统的长久持续提供理论基础,而且可以为退化生态的恢复重建提供科学依据。应用生态水文学的理论和方法,揭示生态格局和过程的水文学机制及相应生态过程的水文效应,对西南岩溶山地和西部地区的水资源管

基金项目:国家自然科学基金重点项目(4983302)资助

作者简介:李阳兵(1968—),男,重庆潼南人,博士后,主要研究方向为土地资源与生态环境治理。E-mail:li-yabin@sohu.com。

收稿日期:2002-11-25

理和生态环境建设,不仅是必要的,也是及时的。

1 水文生态效应研究进展

生态水文科学的核心内容是揭示不同环境条件下植物与水的相互关系机理,尤其是土壤水分及植被的蒸腾。探索各种植被的生态水文相互作用过程,山地生态系统成为全球变化研究最为重要的研究场所。开展与全球变化相关的山地生态物质与能量循环、生态过程的梯度效应及其与水文过程的耦合关系、生态系统结构与功能及其变化等方面的研究,是生态水文学最具活力的方向^[3]。本文着重讨论与岩溶山地有关的水文生态效应研究进展。

1.1 土壤水分动态的研究

影响植物生态发育状况的直接水分是土壤水分。土壤是大气水、地表水、地下水联系的核心,是连接生态学和水文学的纽带。有关学者对土壤水分状况、空间变异性、时空变化格局及其动态规律进行了很多研究^[4~7],阐明了土壤水分的季节变化、土壤水分的垂直变化以及土壤水分有效性评价;傅伯杰等对黄土丘陵区小流域土地利用结构对土壤水分时空分布作了统计分析^[8~10],增强了在景观尺度上土地利用格局对生态过程的理解;但这些文献没有涉及到对水分变化过程的研究。孙长忠等比较了黄土高原荒坡与林地土壤水分连续 3 年的变化规律,指出林地与荒坡土壤水分收支规律有本质差异,提出开展林地有效水分获取的必要性^[11];张娜等进行了黄土丘陵区两类天然草地群落地下生长与土壤水分关系的比较研究,认为在半干旱的黄土丘陵区,特别是极干旱的气候条件下,土壤水分是限制天然草地群落地下年净初级生产量的重要因素^[12]。在宏观方面,马柱国等的研究指出,在中国区域,土壤湿度有显著的时空结构,且与气候变化关系密切;气候异常的持续性与土壤水分状况的异常有关^[13]。

1.2 生态系统的水文效应研究

可以分为森林、灌木林、人工林、草坡等生态系统及小流域水文生态效应几个方面。目前较为系统地探讨了林地、凋落物、粗木残质体、灌木林、草坡等的大气降水分配特点、调节径流及泥沙效益、土壤水分循环特征及植物的蒸腾耗水特征^[14~18]。但总的说来,主要表现在单项系统,特别是林草系统的水文生态效应研究比较深入,且多注重对地表水的减水减沙分析,而对完整小流域水量平衡、水环境情势等水环境效应方面的研究较少;在研究尺度上,单点研究深入而面上研究不够,对小流域这一中间环节的研究尤其不够。刘文兆将小流域水文生态研究,分解为小流域水

分行为、小流域水分行为的生态效应、小流域水分行为与生态效应优化调控研究三个方面^[19]。赵文智等指出中国干旱区生态水文过程的研究积累十分薄弱,尚不足以回答维持干旱区生态系统健康的水分从哪里来、如何来、需要多少的问题^[20]。

2 西南岩溶山地的水文生态效应研究现状

2.1 岩溶山地生态水文特性

岩溶山地的水文生态的特性,与非岩溶山地的常态地貌存在明显的区别,应该说,西南岩溶区的双层水文结构及其水文生态效应是很特殊的,也是很强烈的、很明显的。强烈的岩溶作用形成了岩溶山地特有的地下网络,小河流(特别是溪流为主的地表水文网)发育不良,导致水土资源空间配置失调,如青年地貌期的漏斗、落水洞、洼地发育,地表水几乎全部转化为地下水,由此可认为岩溶山地水资源的总量并不十分重要,重要的是其中可持续利用部分的数量。对岩溶水文的研究表明,在岩溶山地的浅表层存在一层溶蚀裂隙发育的表层岩溶带^[21],此带厚 3~10m,使雨水滞流,并可形成表层间歇泉,支撑起其上覆的生态系统,并与生态系统一起对岩溶水文系统进行调蓄。原生性喀斯特森林生境形成了独特的岩溶水赋存的二元结构,在同一含水层组中枯枝落叶腐殖质层充填的上层岩溶裂隙孔隙水和下层岩溶管道水同时并存,使大气降水、地表水和地下水补给、赋存及径流条件明显改善,从而一反岩溶区干旱和洪涝的灾害常态。生物喀斯特喜钙内生地衣在碳酸盐岩表面殖居,改善了岩体浅表层的水文状态。地衣-岩石成为一个有机整体,地衣体使岩体浅表层在降雨后保持一定的水膜,延长水分停滞时间,岩体浅表层给地衣体提供一个具保护性的生存空间^[22]。与非岩溶山地常态地貌的水文效应相比,岩溶生态系统除植被、土壤、地被物对水分的调节外,表层岩溶带的调蓄功能具有重要意义。岩溶山区土壤侵蚀有其特殊性:一是绝对侵蚀量小;二是地表径流中的混蚀度低;三是允许侵蚀量低。坡面降雨汇集于“石碗”中,“石碗”成了跌水坑,这样冲刷比一般沟蚀还强烈;或坡面降雨汇集于裂隙中,形成石隙冲刷使土壤消失于裂隙系统;对于溶洼,通过消水洞潜蚀作用将土壤流失于地下系统。

2.2 岩溶山地生态水文效应研究现状

近一个时期以来,不合理的人类活动对西南岩溶山地生态水文格局的破坏十分严重,地表生态水文过程已经失去协调发展的态势。探索生态水文演化规律,以岩溶单元流域为单位,对遭到破坏的生态水文格局进行恢复和重建,是西南岩溶山地生态恢复重建

的关键所在。而目前对西南岩溶区水系统、水资源的研究较多,对生态过程与水文过程的交叉研究很少。

长期以来,对岩溶山地土壤水分研究主要集中在两个方面,即影响土壤水分状况主要因素(土壤质地、容重)及土壤水分常数(田间持水量、凋萎湿度、饱和持水量)等的研究,和局地植物(林草及农作物)生长与土壤水分关系研究。据朱守谦等对乌江流域岩溶石质山地土壤的水分状况的监测,在连续放晴下未郁闭新造林地土壤能保持的田间持水量仅可供植物7~14天的蒸腾^[23]。

植被在岩溶地区提高水土保持能力,加强了岩溶作用,提高了成土速度^[24]。何师意等对比了岩溶灌丛生态系统、岩溶区人工林和天然林生态系统、岩溶森林生态系统的水文和生态效应,指出它们在小气候调节、对降雨截留、土壤和地被物对水分的调节、表层岩溶带的调蓄功能等方面均存在明显的反差^[25]。裸露石山环境的表层岩溶带对岩溶水的调蓄功能较弱,只有提高表层岩溶带的森林覆盖率才能增加表层岩溶水的调蓄功能^[26]。但也有研究表明,即便是在坡度陡峭的喀斯特地区,良好的草被覆盖能极大地减轻水土流失量,其效果远远好于林、灌^[27];而张萍的研究则表明乔木林地的土壤结构、水源涵养性能、抗侵蚀能力均优于灌丛、草坡^[28]。李先琨等的研究表明广西岩溶地区“神山”在调节小气候,控制侵蚀、涵养水源,提高土壤肥力,增强生态系统功能方面具有明显的效益^[29]。喀斯特区土壤水分亏缺有明显的时空异质性和派生性,和森林破坏程度密切相关;因此,重建喀斯特森林生态系统,对于改变水分亏缺状况有根本性意义。蒋忠诚强调了表层岩溶带的对碳循环的重要意义,但对表层岩溶水循环的生态效应尚需深入研究^[30]。

从上可以看出,对岩溶山地生态水文效应的研究较少,且主要集中于各类生态系统的水文效应;几乎没涉及生态过程和格局的水文学机制,没有从生理、形态解剖结构方面研究植物的水分利用效率、以及根系吸收水分对土壤水分时空异质性的响应方式。对植被斑块格局、径流形成、泥沙养分运移等之间的内在关系也了解很少。

3 西南岩溶山地水文生态效应的主要研究内容

岩溶山地的土地退化和石漠化等生态环境问题都与水文过程密切相关,同时,西南岩溶山地兼具干旱区生态系统和山地生态系统的特征,其生态水文学研究应主要集中在:(1)小尺度上不同时间植物对气候变化响应机制,植被格局及其生态水文效应;(2)不

同岩石类型、不同岩溶地貌单元等山区环境要素的生态过程与水文过程的相互耦合作用效应;(3)小尺度上的生态水文过程与土地退化和荒漠化的反馈作用模型;(4)维持岩溶山地生态系统稳定的生态需水问题;(5)区域气候和土地利用/土地覆盖变化对岩溶山区水文与生态过程的数值模拟。(6)农田土壤水分高效调控与岩溶山地的雨水资源化研究。重点研究石漠化过程与植物生理变化的关系及植物对石漠化的适应机制和对策,土壤水的空间动态特征(土壤水易变层、土壤水利用层、土壤水调节层),土壤水的时间动态特征(土壤消耗期、土壤聚水期、土壤退水期、土壤稳水期),确定石漠化地区植被—大气—土壤水分综合平衡关系。

尺度效应是地学研究的基本原则。在较小的尺度上,丰富的岩溶小生境和岩溶地貌单元加强了土壤—植物—大气间传输的复杂性,而在较大的空间尺度上,其复杂的地表和气候分带必然使生态水文过程具有区域差异性。因此,岩溶山地的生态水文学至少要考虑坡面、小流域(完整集水区环境)、区域三个尺度。在当前研究基础薄弱的情况下,应着重研究坡面的生态水文过程效应,建立模拟模型,再外推或放大用于描述较大尺度的过程。坡面综合了小气候、水文过程、地貌过程、土壤过程以及其它土壤物理属性,因此,深入了解坡面尺度的土壤水分变异将有助于更好理解坡面的水文过程、生态过程和生物地化过程。这些过程与水分呈非线性相关^[31]。土壤水分是土壤、土地利用(植被)、地形及汇水区面积等的函数,研究区域的不同土壤类型、土地利用及景观特点可用于部分解释土壤水分的空间变异特征。

当前在西南岩溶区尚缺乏对深部土壤水分的研究,而深部土壤水分对生态过程和水文过程也具有重要的意义,是决定岩溶地区造林成功与否的关键因素之一。云贵高原属湿润土壤水分亚区,但对土壤自然含水量进行中尺度的系统分析研究很少。应以深层土壤含水量为基础,明确土壤水资源的地带性与非地带性概念,分析岩溶山地土壤水资源受气候影响和岩性影响的地带性与非地带性分异规律也是今后应该加强的一个方面。

4 结 语

对退化的岩溶生态系统进行恢复,首要的是了解其水分生态环境,认识其水文特征。生态系统的水文功能是系统功能的一个主要部分,对系统的稳定性、连续性以及生物生产力都至关重要。从环境的角度来说,一个退化生态系统的恢复过程也就是其水热及土

壤条件的改善过程,而水分条件的改善必然与其支撑的生物群落相适应。在深入了解和掌握生态水文关系、功能的基础上,通过调节和自然恢复生态水文机理,生态恢复是可以成功的。加快石漠化治理,恢复和重建西南岩溶山地生态环境已刻不容缓,本文旨在引起有关人员对岩溶山地生态水文过程研究的重视。

参考文献

- [1] I Rodriguez-Iturbe, Ecohydrology: a hydrologic perspective of climate - soil - vegetation dynamics [J]. *Water resource research*, 2000,36(1):3-10.
- [2] 武强,董东林. 试论生态水文学主要问题及研究方法[J]. *水文地质工程地质*, 2001,(2):69-72.
- [3] 王根绪,钱鞠,程国栋. 生态水文学研究的现状与展望[J]. *地球科学进展*, 2001,16(3):314-323.
- [4] 骆伯胜,张秉刚,郭庆荣,等. 南亚热带丘陵土壤水分循环及其有效性研究[J]. *土壤通报*, 2000,31(2):58-62.
- [5] 张建辉,何毓蓉,唐时嘉. 四川丘陵区土壤湿度的空间变异分析[J]. *土壤通报*, 1996,27(2):61-62,87.
- [6] 贾宝全,慈龙俊,蔡体久,等. 绿洲-荒漠交错带土壤水分变化特征初步研究[J]. *植物生态学报*, 2002,26(2):203-208.
- [7] 王兵,崔向慧,白秀兰. 荒漠化地区土壤水分时空格局及其动态规律研究[J]. *林业科学研究*, 2002,15(2):143-149.
- [8] 王军,傅百杰. 黄土丘陵小流域土地利用结构对土壤水分时空分布格局的影响[J]. *地理学报*, 2000,55(1):84-91.
- [9] 邱扬,傅百杰,王军. 黄土丘陵小流域土壤水分空间异质性及其影响因子[J]. *应用生态学报*, 2001,12(5):715-720.
- [10] 邱扬,傅百杰,王军. 黄土丘陵小流域土壤水分时空分异与环境关系的数量分析[J]. *生态学报*, 2000,20(5):741-747.
- [11] 孙长忠,黄宝龙. 黄土高原“林分自创性”有效水分供给体系的研究[J]. *生态学报*, 1999,19(5):614-621.
- [12] 张娜,梁一民. 黄土丘陵区两类天然草地群落地下部生长及其与土壤水分关系的比较研究[J]. *西北植物学报*, 1999,19(4):699-706.
- [13] 马柱国,魏和林,符凉斌. 土壤湿度与气候变化关系的研究进展与展望[J]. *地球科学进展*, 1999,14(3):299-305.
- [14] 黄明斌,康绍忠,李玉山. 黄土高原沟壑区森林和草地小流域水分行为的比较研究[J]. *自然资源学报*, 1999,14(3):226-231.
- [15] 刘广全,王浩,秦大庸,等. 黄河流域秦岭主要林分凋落物的水文生态功能[J]. *自然资源学报*, 2002,17(1):55-62.
- [16] 赵玉涛,余新晓,程根伟. 粗木质残体(CWD)的水文生态功能[J]. *山地学报*, 2002,20(1):12-18.
- [17] 杨颖,高清竹,李国强,等. 皇甫川流域主要人工灌木林水分生态的研究[J]. *自然资源学报*, 2002,17(1):87-94.
- [18] 申卫军,彭少麟,周国逸. 鹤山丘陵草坡的水文特征及水量平衡[J]. *植物生态学报*, 2000,24(2):162-168.
- [19] 刘文兆. 小流域水分行为、生态效应及其优化调控研究方面的若干问题[J]. *地球科学进展*, 2000,15(5):541-544.
- [20] 赵文智,程国栋. 干旱区生态水文过程研究若干问题评述[J]. *科学通报*, 2001,46(22):1851-1857.
- [21] 劳文科,李兆林,罗伟权,等. 洛塔地区表层岩溶带基本特征及其类型划分[J]. *中国岩溶*, 2002,21(1).
- [22] 曹建化,王福星,何师意. 广西弄岗自然保护区碳酸盐岩表面内生地衣保水性岩溶意义[J]. *地球学报*, 1995,16(4):419-431.
- [23] 朱守谦,祝小科,喻理飞. 贵州喀斯特区植被恢复的理论和实践[J]. *贵州环科技*, 2000,6(1):31-35,41.
- [24] 姚长宏,蒋忠诚,袁道先. 西南岩溶地区植被喀斯特效应[J]. *地球学报*, 2001,22(2):159-164.
- [25] 何师意,冉景丞,袁道先,等. 不同岩溶环境系统的水文和生态效应研究[J]. *地球学报*, 2001,22(3):265-270.
- [26] 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.
- [27] 彭建,杨明德. 贵州花江喀斯特峡谷水土流失状态分析[J]. *山地学报*, 2001,19(6):511-515.
- [28] 张萍,曾信波. 植被蓄水保土功能研究[J]. *山地农业生物学报*, 1999,18(5):300-304.
- [29] 李先琨,苏宗明. 广西岩溶地区“神山”的社会生态经济效益[J]. *植物资源与环境*, 1995,4(3):38-44.
- [30] 蒋忠诚,袁道先. 表层岩溶带的岩溶动力学特征及其环境和资源意义[J]. *地球学报*, 1999,20(3):302-308.
- [31] Famiglietti, J. S., Rudnicki, J. W., Rodell, M. Variability in surface moisture content along a hillslope transect: Rattlesnake Hill, Texas[J]. *Journal of Hydrology*, 1998,210:259-281.

ON THE RESEARCH FOR ECO-HYDROLOGICAL EFFECTS IN SOUTHWEST CHINA KARST MOUNTAIN AREA

LI Yang-bing^{1,2}, WANG Shi-jie¹, XIONG Kang-ning²

(1. National Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Geochemistry Institute of Chinese Academy of Science, Guiyang, Guizhou 55002, China; 2. Department of Resource and Environment Science, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 55001, China)

Abstract: Eco-hydrology is the interdisciplinary subject of the ecology and hydrology that is linked by soils. This paper summarizes theoretical and practical progress and weakness of eco-hydrology and its research works in Southwest China karst mountain areas. In addition, this paper discusses the basic research contents and principle, and suggests that the research for hydrologic mechanisms of ecological patterns and process should be enhanced. The aim of this paper is to make some researchers consider more about the studies on eco-hydrological process of karst mountain areas.

Key words: Karst mountain areas; Eco-hydrology; Research background