

文章编号: 1672-9250(2008)02-0125-05

喀斯特坡地地表径流系数监测初报

彭 韬^{1,2,3}, 王世杰^{1,2*}, 张信宝^{2,4}, 容 丽^{1,2}, 杨 涛^{1,2,3}, 陈 波², 汪进阳^{2,4}

(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. 中国科学院地球化学研究所—贵州省科技厅普定岩溶地质与生态研究综合试验站, 贵州 普定 562100; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 4. 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘 要:通过对喀斯特坡地6种不同土地利用条件下径流小区的地表径流和植被穿透雨量以及地下水出口水位变化进行野外定点连续观测研究,结果表明,6个径流小区地表径流系数均非常小,介于0.01%~12.81%。显然,喀斯特坡地的地表径流易于入渗转化为地下径流。受人为活动影响较大的径流小区,地表径流系数随降雨量的变化呈指数函数型变化特征,容易产生地表径流系数的突变式增长。

关键词:岩溶坡地; 土地利用类型; 径流小区; 地表径流系数; 监测

中图分类号: P332

文献标识码: A

2007年4月中国科学院地球化学研究所在普定陈旗喀斯特地下河小流域坡地上建立了6个径流小区,开展了径流小区内水土流失状况定位连续监测工作。本文主要报道2007年7月—2008年2月间对地表径流系数的监测结果。

1 研究区概况

研究地点陈旗地下河小流域(北纬 $26^{\circ}15'36''$ — $26^{\circ}15'56''$,东经 $105^{\circ}43'30''$ — $105^{\circ}44'42''$)位于贵州省安顺市普定县后寨地下河流域内。流域面积 1.5 km^2 ,最低海拔 $1\,338\text{ m}$,最高海拔 $1\,491\text{ m}$,下伏基岩为三叠系中统关岭组灰岩和泥灰岩。土壤以黄色石灰土为主,分布不连续。研究区属于亚热带季风湿润气候区,多年平均降水量为 $1\,336\text{ mm}$,年均气温 $14.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,7月最热,平均气温 $22.6\text{ }^{\circ}\text{C}$;1月最冷,平均气温 $4.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

根据研究区的土地利用特点和植被条件,在陈

旗地下河小流域内喀斯特山地上选择幼林、稀疏灌丛、坡耕地、灌草地、火烧迹地、复合植被等6种我国西南岩溶坡地典型的土地利用类型,建立了6个径流小区(表1)。

2 监测方法

径流小区依山势而建,面积不等,坡度基本相同,下伏基岩差异不大,除4号径流小区下伏基岩为灰岩和泥灰岩,其余径流小区主要为薄层或厚层灰岩,岩层产状基本水平。径流小区周围用 20 cm 高的水泥围墙围住,在每个小区下端出口处建立形状规则的分流池以收集每次降雨后的径流和泥沙。每次降雨事件后记录径流池内的水量。

在复合植被、幼林、稀疏灌丛、火烧迹地4个径流小区中分别设有美国产HOB0微型气象站,降雨量分别由火烧迹地和稀疏灌丛径流小区旁的小气象站长期连续记录。雨量筒直径 15.4 cm ,每隔 5 min 自动记录一个数据,精度为 0.20 mm 。持续降雨间隔不超过 5 h 均作为同一降雨事件。

穿透雨的测算是通过人工操作,在上述4个径流小区内总共设有50个穿透雨收集筒,筒径 29 cm ,随机摆放在径流小区内,记录样地内每场降雨后的穿透雨量。所有的筒都高于地面 30 cm ,并

收稿日期: 2008-04-21; 修回日期: 2008-05-20

基金项目: 中国科学院知识创新重要方向项目(KZCX2-YW-306); 国家重点基础研究发展计划(2006CB403200)

第一作者简介: 彭韬(1984—),男,硕士生,研究方向为喀斯特环境和环境地球化学。

* 通讯作者: wangshijie@vip.sjleg.cn

表1 径流小区内样地的基本情况

Table 1. Basic information for the runoff plots

| 径流小区编号 | 土地利 用类型 | 人为作 用方式 | 坡度 (°) | 坡向 | 山体坡位 | 样地面积 (m ²) | 乔木层覆 盖率(%) | 灌木层覆 盖率(%) | 地表层覆 盖率(%) | 基岩出 露率(%) |
|--------|------------|----------------|-----------|-----|------|---------------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| 1 | 灌草 | 火烧 | 37 | 北坡 | 中上部 | 1 255.1 | 0 | 50 | 80 | 35 |
| 2 | 火烧迹地 | 火烧 | 32 | 西北坡 | 中上部 | 684.3 | 0 | 0 | 0 | 35 |
| 3 | 幼林 | 封山育林 | 35 | 西北坡 | 中部 | 1 146.4 | 85 | 50 | 70 | 30 |
| 4 | 坡耕地 | 玉米-蔬菜轮作 | 30 | 北坡 | 中下部 | 2 440.4 | 5 | 0 | 0 | 30 |
| 5 | 稀疏灌丛 | 过度放牧 | 31 | 南坡 | 中下部 | 2 890.0 | 0 | 45 | 2 | 50 |
| 6 | 复合植被 | 上部樵采 下部轻度放牧 | 36 | 北坡 | 中下部 | 2 439.6 | 90 30 | 20 80 | 90 10 | 50 20 |

注: 1号径流小区为2007年2月火烧后,被当年5月自然成长的灌丛和蕨类覆盖; 2号径流小区2007年2月火烧后,人为剪除自然成长的灌丛和蕨类而保持原状; 6号径流小区的上部为原生落叶阔叶林,下部为草地+稀疏灌丛,面积各占50%; 乔木层和灌木层覆盖率为所占径流小区面积的比例; 地表层覆盖率为杂草和枯枝落叶所占径流小区面积的比例; 基岩出露率为基岩露头占径流小区面积的比例。

用木桩和铁丝固定。

陈旗地下河小流域是一个封闭的流域,并且在三叠系中统关岭组中存在着一些泥质岩或泥质灰岩或泥质白云岩夹层,形成一个天然的隔水层,在流域地下河的出口处有一天然的上升泉。在该泉处,我们设立了一个观察站,利用澳大利亚 Greenspan 公司产 CTDP 300 水文水化学多参数仪每隔 15 min 连续监测水位变化情况以及其他水化学参数。

3 地表径流和穿透雨的测定

$$D = [H - P] \times \beta / S'; S' = S \times \cos(\alpha)$$

D 为径流深度(mm), H 为水位尺读数(mm), P 为降雨量(mm), β 为径流池面积(m²), α 为径流小区坡度, S 为径流小区面积(m²), S' 为径流小区投影面积(m²)。

$$Y = D / (P - I) \times 100, I = P - Tf$$

Y 为地表径流系数(%), I 为植被截雨量(mm), Tf 为穿透雨量(mm)。

$$CV = S / X \times 100$$

CV 为地表径流系数变异系数(%), S 为地表径流系数标准差, X 为地表径流系数平均值。

数据统计分析使用 Excel 和 Sigmaplot 10.0 软件完成。

4 监测结果

2007年7月到2008年2月,对喀斯特坡地6种土地利用类型的径流小区降雨量、穿透雨量、地表径流及地下水出口水位变化情况进行了定位观测。期间,总降雨量为553 mm,各径流小区总穿透雨量为464~541 mm,总降雨次数为148次,其中导致明显产生地表径流的降雨事件为12次。各径流小

区地表总径流深度为0.99~10.8 mm。地表径流系数变化范围为0.01%~12.81%,平均值为0.62%,变异系数为8.0%~74.0%。由于2007年10月14日之后的降雨量很少,基本没有产生地表径流,因此下文主要分析从2007年7月14日到2007年10月14日雨季的降雨、地表径流和地下水出口水位变化情况(图1)。

喀斯特坡地地表径流的产生和变化与降雨量、雨强、前期降雨量均有关系。实测数据显示,在前期没有降雨的情况下,降雨量达到15 mm以上才会产生明显径流。如10月3日降雨量为7.4 mm,10月4日为0.8 mm,总降雨量为8.2 mm,没有产生地表径流,而9月25日到9月27日总降雨量为15.2 mm,虽然产生地表径流非常小,但各径流小区均有产流(图1)。雨强对地表径流的产生也有明显影响,如8月22日(降雨量为22.4 mm,雨强为22.4 mm/h)和10月10日(降雨量为23.4 mm,雨强为3.2 mm/h)的降雨,二者降雨量基本相近,但前者雨强大,所产生的地表径流明显高于后者(图1)。相比9月17日的降雨(降雨量为43 mm,雨强为12 mm/h),8月22日的降雨量虽然只有9月17日的一半,但由于最大雨强大于后者,因此各径流小区8月22日降雨的地表径流系数大于或近似于9月17日降雨的地表径流系数。另外,前期降雨量对于喀斯特坡地地表径流的产生也不能忽视,如10月3日—10月4日8.2 mm的降雨并未见地表径流产生,而9月5日—9月9日10.4 mm的降雨由于前期的持续降雨而产生了地表径流。此外,7月23日降雨量为8 mm,雨强为3.6 mm/h,由于前日降雨为51.2 mm,因此各径流小区的地表径流系数也大于或接近8月13日(雨量为38.2 mm、雨强为24.2 mm/h)

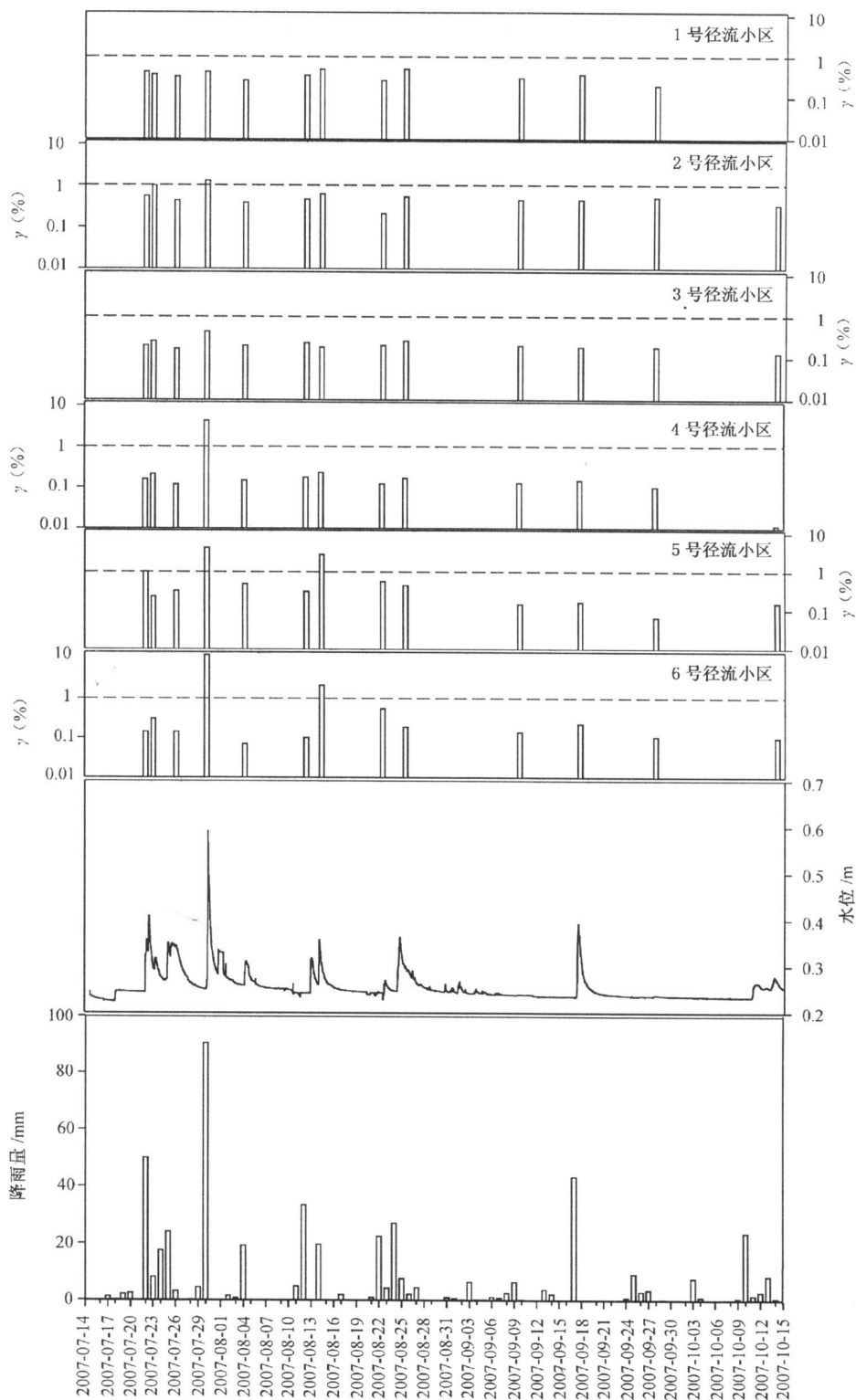


图 1 地表径流系数和地下水出口水位与降雨变化关系

Fig. 1. Relationship between precipitation and surface runoff coefficient, and the groundwater level in the outlet of the catchment.

(注:8月23日-8月25日、9月5日-9月9日、9月25-9月27、10月10日-10月13日四个时段的降雨各自记为一次降雨,所产生的地表径流量也分别为这四段时间内的总地表径流量。)

的地表径流系数。相类似地, 8月14日降雨的雨量、雨强均与8月4日的近似, 但由于8月13日已有一次较强的降雨过程, 因而所产生的地表径流系数明显大于8月4日的径流系数。

通过对地下水出口水位的连续监测表明, 地下水出口水位与降雨有着非常显著的响应关系。初步观测结果显示, 地下水出口水位变化主要与降雨量和前期降雨有关。雨量较小的降雨如7月17日、7月19日、7月20日、9月6日到9月9日、9月24日到9月27日和10月3日的降雨, 可能由于没有足够的降雨量使植被截雨量、土壤含水量和溶蚀裂隙饱和, 因此均未能使地下水出口水位发生明显变化。而雨量较大的降雨则均能引起地下水出口水位在短时间内的产生明显波动(图1)。前期降雨对地下水出口水位变化也有着明显影响, 如7月22日50mm的降雨使地下水出口水位发生显著增长, 而后23日的降雨也使地下水出口水位发生了增长。10月10日—10月13日的情况也如此。相比7月23日, 发生在9月25日—9月27日和10月3日—10月4日的更大的降雨, 则由于降雨前期没有降雨, 地下水出口水位基本没有发生变化。另外, 8月4日、8月14日和8月22日的降雨量和雨强都基本近似, 但由于在8月14日前有较大的降雨(8月13日), 因此8月14日的地下水出口水位均要明显高于另外二者, 同时也高于8月13日的水位。(图1)此外, 从8月31日到9月10日期间, 由于持续降雨, 虽然雨量很小, 产生的地表径流很少, 地下水出口水位也同样发生了明显波动(图1)。这说明地下渗漏系统对降雨有着非常好的调节与控制作用。当降雨量达到一定程度时, 可能使植被截雨量、土壤含水量饱和后, 多余的降水除了通过地表径流流失以外, 也能通过裂隙迅速渗漏到地下, 导致地下水水位发生变动。

值得注意的是, 喀斯特坡地一般很难产生地表径流(图2), 但如果地表植被受到人为活动干扰和破坏时, 如受到人为活动影响较强的4号、5号、6号径流小区, 植被的截雨、涵水、保水能力不断被削弱, 在降雨量达到一定程度时, 可能会导致地表径流系数产生大幅增长。4号、5号、6号径流小区地表径流系数随降雨量呈指数型变化特征最为明显(图2)。地表径流系数的变异系数分别为69.2%、41.2%和74.0%。6号、5号、4号径流小区对应的回归方程分别为:

$$6 \text{ 号径流小区: } Y = 0.354 + (4.47 \times 10^{-13}) e^{0.343x}, R^2 = 0.974$$

$$5 \text{ 号径流小区: } Y = 0.558 + (3.572 \times 10^{-6}) e^{0.153x}, R^2 = 0.672$$

$$4 \text{ 号径流小区: } Y = 0.142 + (1.381 \times 10^{-12}) e^{0.318x}, R^2 = 0.998$$

当降雨量达到80~90mm时, 地表径流系数产生一个突变点, 地表径流系数迅速升高, 而当降雨量 < 60mm时, 地表径流系数变化不大。其他3个径流小区实测数据变化较小, 目前的实测数据没有表现出明显的呈指数增长趋势(图2)。另外, 5号和6号径流小区在8月14日的降雨所产生的地表径流系数较为特殊, 分别为2.80%和2.17%, 一方面是由于8月14日的降雨的雨量、雨强均很大, 另一方面则可能是由于前期(8月13日)已有一场较大降雨所导致的(图1, 图2)。

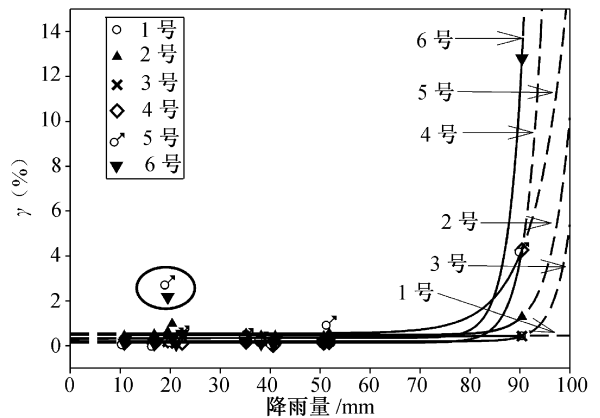


图2 喀斯特坡地地表径流系数随降雨量的变化特征

Fig. 2. Relationship between precipitation and surface runoff coefficient on the karst slopes.

(注: 实线部分是实测值拟合曲线, 虚线部分是根据实测值的推测曲线)

5 结语

对喀斯特坡地6种不同土地利用条件下径流小区的地表径流、植被穿透雨量以及地下水出口水位的初步监测, 结果表明, 6个径流小区地表径流系数均非常小, 介于0.01%~12.81%。显然, 喀斯特坡地的地表径流易于入渗转化为地下径流。受人为活动影响较大的径流小区, 地表径流系数随降雨量的变化呈指数函数型变化特征, 容易产生地表径流系数的突变式增长。

RESULTS OF PRELIMINARY MONITORING OF SURFACE RUNOFF COEFFICIENTS FOR KARST SLOPES

PENG Tao^{1,2,3}, WANG Shi-jie^{1,2,*}, ZHANG Xin-bao^{2,4}, RONG Li^{2,4},
CHEN Bo², YANG Tao^{1,2,3}, WANG Jin-yang^{2,4}

(1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 2. Synthetic Experiment Station of Karst Investigation, Science and Technology Department of Guizhou Province, CAS, Puding 562100, Guizhou, China; 3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 4. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;)

Abstract

Continuous observations of surface runoff and through fall in six runoff plots with different kinds of land usage, on karst slopes, and groundwater level in the outlet of the catchment, were carried out. The analyses revealed that these surface runoff coefficients in the six plots are very small, varying from 0.01% to 12.81%, demonstrating that the surface runoff is easy to infiltrate and convey to the underground aquifer. The surface runoff coefficient is responding to precipitation as an exponential function in the runoff plots on karst slopes, affected by human impact, which could cause an abrupt increase in surface runoff coefficient.

Key words: karst slope; different kinds of land usage; runoff plot; surface runoff coefficient; monitoring