

岩石对喀斯特峰丛山体土壤水分布特征的影响

张志才, 陈喜, 石朋, 马建良

(河海大学 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘要: 喀斯特峰丛山体土壤水是喀斯特地区水文循环及生态环境重要的影响因素。该地区各类岩体碎石类型较多, 对土壤水运移及分布影响各不相同。研究岩石对土壤水的影响, 对研究该地区水动力过程及水文生态效应具有重要意义。选取贵州省普定县岩溶区内典型的喀斯特峰丛山体, 利用 TDR 测定不同类型岩石影响下的土壤含水率, 分析了岩石对土壤含水率空间分布规律的影响。结果表明, 由于对土壤水的阻碍作用, 岩层下部土壤含水率较低, 岩层上部土壤含水率较高; 但岩层上部土层浅薄时, 土壤含水率偏低。破碎岩块阻碍土壤水运动, 土壤水在土壤与岩块表面溶蚀接触区域得到雨水集中补给, 含水率较高。土壤中砾石增加了土壤透水性能, 使土壤含水率较高, 影响作用随埋深增加而减小。

关键词: 喀斯特峰丛山体; 土壤水分布; 岩层; 破碎岩块; 砾石

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)06-0041-04

中图分类号: TV11

Influences of Rock on Soil Moisture Distribution in the Karst Cluster-Peach Mountains

ZHANG Zhi-cai, CHEN Xi, SHI Peng, MA Jian-liang

(State Key Laboratory of Hydrology, Water Resources and

Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098, China)

Abstract: Soil moisture content in the karst cluster-peach mountains is a key factor to control hydrology and environment of the area. The wide distribution of rock has the profound impacts on soil moisture movement and its distribution. Study of soil moisture distribution plays an important role in hydrologic dynamic and eco-hydrology. In this study, soil moisture contents in the typical karst cluster-peach mountains in Puding County, Guizhou Province were measured by TDR. The influences of rock are then revealed based on the observed data. Results show that soil moisture content is lower in underlying strata and higher in soil layers above strata due to thicker soil layers, and however, it is lower if soil layer becomes thin. Soil moisture content is found to be higher near the dissolved stone because of the recharge from precipitation. Soil moisture content in the soil layers with gravel is higher because gravel within soil may increase water infiltration into soil. However, the influence is reduced with increasing depth.

Keywords: karst cluster-peach mountains; soil moisture distribution; strata; broken stone; gravel

1 前言

土壤水不仅是水文过程、土壤侵蚀过程、植物生长和恢复的主要影响因子, 而且是土壤系统物质循环的载体, 也是区域小气候的重要影响因素^[1-5]。喀斯特峰丛山体地形起伏大, 山坡陡峻, 土层浅薄, 各类岩体碎石广泛分布, 对土壤水运移及分布影响显著。因此, 研究岩石对土壤水的影响, 对研究喀斯特地区水文过程及水文生态效应具有重要作用, 对石漠化防治、水土保持、生态环境恢复的研究也具有重要意义。

贵州省位于我国西南部, 处于世界喀斯特集中分布的亚洲片区中心, 其分布面积占全省面积的 85%, 其中出露的碳酸盐岩面积达 $1.5 \times 10^5 \text{ km}^2$, 占全省土地总面积的 73.6%, 是中国喀斯特分布面积最大, 发育最复杂的一个省区。主要地貌类型有台地、山地、丘陵、高原、谷地及盆地, 除岩溶盆地外, 更多的是喀斯特峰丛山体, 其分布面积约 $1.09 \times 10^5 \text{ km}^2$, 占全省总面积的 61.9%。喀斯特环境是一种非常脆弱的生态环境, 其土壤贫薄, 水文过程变化迅速, 植被生长过度依赖于生态环境条件^[6-8]。

研究区位于贵州省普定岩溶地区,属于亚热带季风气候,全年湿润多雨,冬温夏暖,年均气温 15.1℃,雨热同期,春干秋雨,多年平均降雨量 1 300 mm。降雨时空分布不均,5—10 月为雨季,降雨量占全年的 80%以上。区内具有贵州省典型的峰丛山体地貌及喀斯特地区水文特征。地形为峰丛洼地和峰丛谷地,海拔高度在 1 300 m 左右,喀斯特峰丛山体相对高差一般 250~300 m。山体基岩中多分布裂隙、洞穴,无地表河。山体表面多分布石灰土和黄泥土,土层浅薄。主要的土地类型为林地、耕地、裸露基岩。位于普定岩溶区内的陈旗小流域具有典型的受人类活动影响的喀斯特峰丛山体。

根据喀斯特地区岩石大小以及与土壤接触特征,本文将岩石分为岩层、破碎岩块(裸露地表或埋于土壤中的较大石块)以及砾石(土壤中的矿物颗粒,直径大于 2 mm^[9]),分别分析各类型岩石对喀斯特峰丛山体土壤水分布的影响。在研究区内选取代表性峰丛山体,降雨过后,利用 TDR(time domain reflectometry)测定不同类型岩石影响下的土壤含水率,根据测定结果分析岩石对土壤含水率空间分布的影响,为喀斯特地区水文过程及生态环境研究提供科学依据。

2 研究地点选择及土壤水分测定

为研究不同类型岩石对土壤水分布的影响,本文在研究区陈旗流域内的 3 座峰丛山体上共选取 59 个测点,利用 TDR 观测土壤含水率,根据测定结果分析不同类型岩石对土壤水分布的影响。含水率测定分别在两个时间段进行,2007 年 5 月 6 日主要对岩层影响下的土壤含水率进行测定,前期 3—4 日发生一场 23.3 mm 较强降雨,土壤水观测期间无降雨,日平均气温为 21℃。2007 年 12 月 17 日对破碎岩块及砾石影响下的土壤含水率进行了测定,前期 14—16 日降雨 3.4 mm,观测期间无降雨,日平均气温为 4.9℃(表 1)。

表 1 测点选取

山体名称	测点数	土地类型	岩石类型	测定时间
狗长岩	41	草地	岩层及碎岩块	0506,1217
癞头山	2	火烧迹地	岩层	0506
董家山	16	林地	砾石	1217

3 岩石对土壤水分布的影响

3.1 岩层对土壤水分布的影响

在喀斯特地区,岩层裸露面积大,表层径流及土壤水分易受周边及底部岩层界面影响,在强降雨过后

的土壤浅薄地带尤为显著^[10-12]。沿山体坡面上,上方岩层阻断了沿坡面向下的壤中流,对土壤含水率影响最为显著。为分析坡面上部岩层对土壤水的影响,本研究在狗长岩山体上部林区分别选取了水平间距 1 m 的两个剖面,坡度、植被等情况相同,其中一个剖面顶端有岩层边界。在两个剖面相同高度测量地表以下 15 cm 土层的平均土壤含水量,结果显示,上方有岩层的测点土壤含水率明显低于无岩层影响的测点,平均相差 29%(见图 1)。

底部岩层对上部土壤含水率影响与岩层上覆土壤厚度有关。在土壤厚度较大地区,由于下部岩层面减少上部土壤水入渗,土壤含水量较高。本研究在狗长岩林地与癞头山火烧坡裸露土壤各取一组测点,每组测点均为一个测点底部有近似水平岩层边界,另一个无岩层边界,其它条件(土壤特征、植被类型、坡度等)相似。测得两组底部无岩层界面和有岩层界面的土壤含水率分别为 38.0%与 43.2%,40.0%与 42.0%,底部岩层影响下的土壤含水率均高于无岩层影响下的情况。但对附着在岩层上浮土厚度分别为 4,5 cm 和 7 cm 的浅薄土层土壤水分观测结果,与上述情况相反,土壤含水率分别为 18.5%,17.7%和 29.0%,明显低于土壤厚度较大的测点。尽管在喀斯特峰丛山体上,岩层面上浅薄浮土也是灌丛和草地等植物重要生长地,但由于浅薄浮土含蓄水分能力较差,在干旱期,植物难以获取足够水分,生态环境脆弱。

3.2 破碎岩块对土壤水分布的影响

受岩层崩塌及岩石风化作用影响,喀斯特地区广泛分布破碎岩块,且岩块上多发育溶蚀、裂隙。与土壤接触类型不同的各种破碎岩块对喀斯特峰丛山体土壤水运移及分布起着重要作用。为分析破碎岩块对土壤水分布的影响,本文在狗长岩选取两处典型破碎岩块,并在其周围设置了测点进行土壤含水率测定。第 1 组岩块位于坡度为 10°的坡地上,岩块表面倾角为 10°,岩块倾向与坡地坡向约成 45°夹角,出露地表部分约 3 cm,岩块表面发育刀砍状溶蚀,岩块上方坡地分布两块较小岩块。在岩块周围共设置 15 个观测点进行土壤含水率测定。第 2 组岩块位于坡度为 8°的坡地上,岩块表面近似水平,出露地表部分约 1 cm,表面发育两条相交溶蚀,溶蚀内被土壤填充。岩块周围设置 16 个观测点进行土壤含水率测定。

根据测定结果,第 1 组岩块周围土壤水总体分布沿岩石倾向由上向下减少。由于上方小岩块对土壤水的阻挡,导致岩块上方附近土壤含水率相对较低,分别为 35.7%,36%和 36.8%。由于岩块表面发育光滑溶蚀,且具有一定坡角,岩块截留降雨,经表面溶蚀汇流

进入土壤,因此岩块的下方出现土壤含水率较高的区域,在溶蚀与土壤接触的区域分别出现土壤含水率的 3 个极大值 47.2%、46.7%和 46.1%(图 2a)。

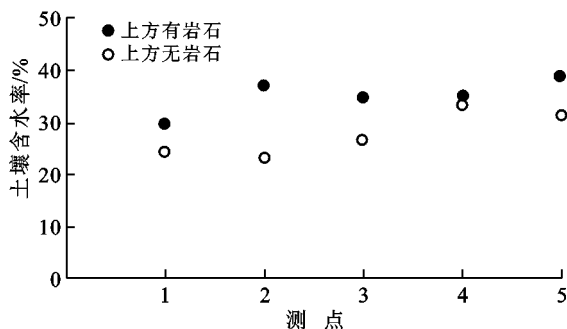
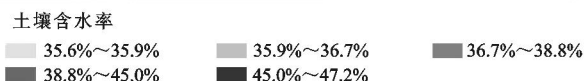
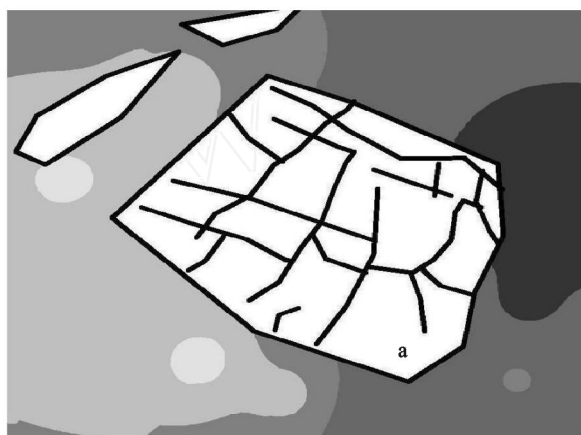


图 1 上部岩层对土壤水分的影响

第 2 组岩块周围土壤含水率整体分布呈现沿坡



地方向由上向下减小的趋势。由于岩块对土壤水的阻挡,岩块上方附近区域的土壤含水率较大。另外,坡地上部土壤水受岩石阻挡,无法迅速补给下部区域,因此,在岩石下部区域土壤含水率较低。受溶蚀汇流补给的影响,在溶蚀与土壤接触区域出现土壤含水率相对较大值 37.2%,但由于溶蚀内有土壤填充,加之岩块近似水平,降雨经岩石截留后无法迅速进入土壤,以蒸发形式消耗,因此,相对于第 1 组岩块,填充土壤的溶蚀对土壤水的影响较小(图 2b)。

3.3 砾石对土壤水分分布的影响

喀斯特峰丛山体土壤中常有大量砾石分布。土壤中大量砾石的存在,不仅对土壤物理特性如土壤密度、土壤孔隙率等存在影响^[13],并且对土壤的入渗特性存在影响^[14-17]。进而影响土壤含水率。

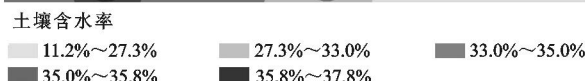
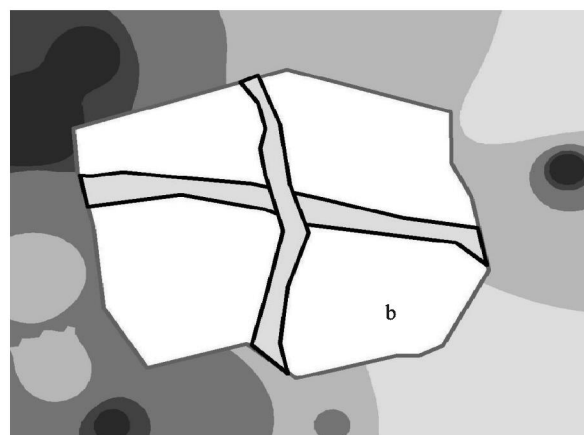


图 2 破碎岩块周围土壤含水率分布

本文选取了董家山林地内相邻两组测点进行土壤含水率测定。每组分为上下两层,每层 5 个测点,测点间距 5 cm,上层测点距地表 10 cm,下层测点距地表 25 cm。两组测点其中一组土壤中分布较多砾石,另一组土壤中基本无砾石,植被、坡度等其它影响因素相近。根据测定结果,土壤中分布砾石的上下两层测点平均土壤含水率均高于土壤中无砾石分布的测点。但砾石对土壤水分分布的影响主要集中在土壤的上层,上层有砾石存在的平均土壤含水率比无砾石存在的平均土壤含水率高 13%,下层有砾石存在的

平均土壤含水率比无砾石存在的情况高 1%(表 2)。

土壤中砾石对土壤渗透性能起着重要作用,进而影响土壤水分分布。本文在研究区内选取了 7 个土壤中分布砾石的观测点进行土壤饱和渗透系数的原位观测,并对观测点土样进行密度分析。分析结果表明,土壤饱和渗透系数与土壤密度存在明显的负相关关系(详见图 3)。因此,砾石的存在增加了土壤透水性能,加快了降雨入渗,使降雨后土壤含水率迅速增高。但随着埋深增加,土壤逐渐密实,砾石的影响逐渐减弱。

表 2 土壤含水率观测结果

项目	土中无砾石					土中存在砾石				
	测点 1	测点 2	测点 3	测点 4	平均	测点 1	测点 2	测点 3	测点 4	平均
上层	34.5%	30.3%	36.5%	37.8%	34.8%	34.4%	39.3%	40.5%	42.9%	39.3%
下层	38.5%	38.4%	38.4%	36.7%	38.0%	39.4%	38.0%	38.2%	38.3%	38.5%

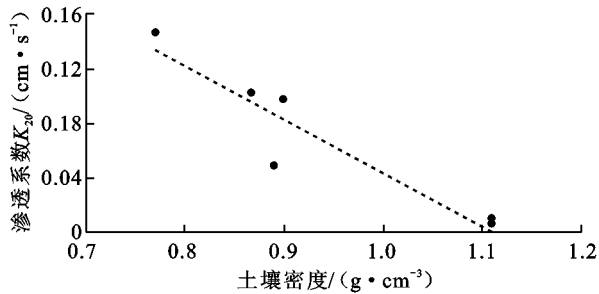


图 3 渗透系数与土壤密度关系

4 结论

通过对喀斯特峰丛山体典型地区土壤含水率的测定,分别分析了岩层、破碎岩块以及砾石对喀斯特峰丛山体土壤水分布特征的影响。

(1) 岩层阻碍土壤水运移,使岩层下方土壤含水率较低。底部岩层对上部土壤含水率影响与岩层上覆土壤厚度有关,岩层上覆土层较厚时,土壤含水率较高;土壤浅薄时,土壤含水率较低。

(2) 喀斯特峰丛山体上破碎岩块阻碍土壤水运移,岩块倾角、与土壤接触特征对土壤水分布都有重要影响。岩块上各种发育溶蚀汇集降雨,对土壤水集中补给,在岩块溶蚀与土壤接触区域土壤含水率较高。

(3) 砾石增加土壤透水性能,加快了降雨入渗,土壤含水率较高,砾石对土壤水的影响随埋深增加逐渐减弱。

喀斯特峰丛山体各类型岩石分布广泛,对土壤水运移及分布影响显著。本文分析了各类岩石对喀斯特峰丛山体土壤水分布的影响,对研究喀斯特地区水文循环规律,控制水土流失,防治石漠化,恢复生态环境具有重要的理论和实际意义。

[参 考 文 献]

- [1] Bronstert A. Capabilities and limitations of detailed hillslope hydrological modeling [J]. Hydrol. Processes, 1999, 13(1): 21—48.
- [2] Entekhabi D, Eagleson P S. Land surface hydrology parameterization for atmospheric general circulation models [J]. J. Climate, 1989, 2(8): 816—831.
- [3] Milly P C D, Dunne K A. Sensitivity of the Global water cycle to the water modeling capacity of land [J]. J. Climate, 1994, 7(4): 506—526.
- [4] Rodriguez-Iturbe. I. Ecohydrology: a hydrologic perspective of climate-soil-vegetation dynamics [J]. Water Resour. Res., 2000, 36(1): 3—9.
- [5] Rodriguez-Iturbe. I, Porporato A, Laio F, et al. Plants in water-controlled ecosystems: active role in hydrological processes and response to water stress. I. Scope and general outline [J]. Adv. Water Res., 2001, 24(7): 695—705.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 黄成敏, 艾南山, 姚建, 等. 西南生态脆弱区类型及其特征分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2003, 12(5): 467—472.
- [9] Miller F T, Guthrie R L. Classification and distribution of soils containing rock fragments in the United States [J]. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ., 1984, 13(1): 1—6.
- [10] Bronstert A, Plate E J. Modeling of runoff generation and soil moisture dynamics for hillslopes and micro-catchments [J]. J. Hydrol., 1997, 198(1/4): 177—195.
- [11] Corradini C, Melone F, Smith R E. Modeling local infiltration for a two-layered soil under complex rainfall patterns [J]. J. Hydrol., 2000, 237(1/2): 58—73.
- [12] Ridolfi L, D'Odorico P, Porporato P, et al. Stochastic soil moisture dynamics along a hillslope [J]. J. Hydrol., 2003, 272(1/4): 264—275.
- [13] Hanson C T, Blevins R L. Soil water in coarse fragments [J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1979, 43(4): 819—820.
- [14] Epstein E, Grant W J, Struchtemeyer R A. Effects of stones on runoff, erosion, and soil moisture [J]. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1966, 30: 638—640.
- [15] Box J E. The effects of surface slaty fragments on soil erosion by water [J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1981, 45: 111—116.
- [16] Cerda A. Effects of rock fragment cover on soil infiltration, interrill runoff and erosion [J]. European Journal of Soil Science, 2001, 52(1): 59—68.
- [17] Abrahams A D, Parsons A J. Relation between infiltration and stone cover on a semiarid hillslope, southern Arizona [J]. J. Hydrol., 1991, 122(1/4): 49—59.