

山体土壤水分分布特征及其影响因素 ——以东江流域为例^{*}

魏玲娜, 陈喜, 王文, 余超, 黄远洋, 王本林

(河海大学 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 南京 210098)

摘要: 土壤水是流域水文及生态环境的重要因素, 研究流域山体土壤水分分布规律对防治土壤侵蚀、控制水土流失、恢复生态环境具有重要意义。选取广东省东江流域内具有不同覆被、地形、土壤特征的典型山体, 利用 TDR 测定山体不同位置的土壤含水率, 分析土壤水的空间分布规律及其影响因素。结果表明, 山体不同坡位至上而下、所覆土壤垂向由上到下土壤粘性增加, 土壤持水能力增强。地形及地表覆被变化是影响东江流域土壤水分分布的重要因素, 植被覆盖稀少的山坡, 土壤水分分布主要取决于山坡地形变化, 呈现由山体上部向下部逐渐增加, 随坡度的增加而减小; 有植被覆盖的山体取决于植被覆盖程度, 植被覆盖程度高的山坡表层土壤含水率大。研究成果为流域水土流失治理及生态环境保护提供重要参考依据。

关键词: 东江流域; 土壤水分分布; 土壤特征; 植被覆盖; 地形

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)05-0149-04

Characteristics of Soil Moisture Distribution and Its Influence Factors in Mountain Area —Taking Dongjiang Basin as an Example

WEI Ling-na, CHEN Xi, WANG Wen, SHE Chao, HUANG Yuan-yang, WANG Ben-lin

(State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Soil moisture is a key factor governing the hydrology and environment of local area. This study of soil moisture distribution and regularity plays an important role for soil erosion prevention, soil and water loss control and environment recovery in theory and practice. In our research, soil moisture contents in typical mountains in Dongjiang were measured by TDR in many locations with different land covers, landform, soil characteristics, land surface slopes in different slope position. Their influencing factors were revealed on the basis of the observation data. The results show that water holding capacity has a significant increase tendency from the mountain higher to lower portion, from soil surface to deep, because of the decrease of sand content and the increase of soil viscosity. Landform and surface vegetation cover affects the distribution of soil moisture content acutely. Soil moisture content in surface with sparse vegetation depends on topographic change. Soil moisture is higher at the top than at the bottom, and decreases significantly in the areas with sharper slope surface. Moreover, hillside on shady slope is wetter than sunny one. Soil moisture content with better forest depends on the pattern of vegetation cover. It is greater under vegetation canopy than in the bare sites. The above achievements offer some important reference for soil and water loss control and ecological environment protection.

Key words: Dongjiang basin; soil moisture distribution; soil characteristics; vegetation cover; landform

土壤水是水文过程、土壤侵蚀过程、植物生长和恢复的主要影响因子, 也是土壤系统物质循环的载体, 是区域小气候的重要影响因素^[1-5]。土壤水分状

况既是土壤的重要性质之一, 也是气候、植被、地形和土壤等自然条件的综合反映^[6]。广东省气候受亚热带和热带季风气候影响, 侵蚀性降雨多^[7], 土壤类

^{*} 收稿日期: 2009-04-16

基金项目: 教育部科学技术研究重大项目(308012); 国家自然科学基金(50679025); 江苏省普通高校研究生科研创新计划(CX08B-106Z)

作者简介: 魏玲娜(1981-), 女, 福建省龙海人, 博士研究生, 主要从事水文循环与模拟研究。E-mail: chouchou36@hhu.edu.cn

型复杂, 侵蚀潜在危险性高; 同时经济发展对该地区土地资源压力很大, 侵蚀性土壤退化比较严重^[8]。

东江位于我国南部, 是珠江三大水系的东支, 流域面积 35 340 km², 其中广东境内占 86. 7%。地势东北高, 西南低, 由一系列北东向的谷峰相间排列, 由源头寻乌的两岸山岭地带、水浅河窄, 至龙川县合河坝再到博罗县观音阁山势逐渐展开, 地形以丘陵为主。东江流域地处亚热带季风气候区, 冬季盛行偏北风, 夏季盛行偏南风, 春夏之交多降锋面雨, 夏秋之际有台风雨, 年均气温为 20. 4℃^[9], 年均降水量 1 753 mm^[10], 年内降水分配不均, 其中 4– 9 月份占全年降水量的 80 % 以上。温暖湿润的气候条件使得流域内植物生长茂盛, 种类繁多。流域成土母质以花岗岩和砂页岩为主, 土壤类型大致有分布在平原区沿江两岸的水稻土、冲积土; 分布于丘陵山区的泥炭土; 分布在丘陵的红壤、黄壤、紫色土。东江流域山体为广泛分布的花岗岩, 其形成的风化层含砂量大、土壤结构性差, 当地表植被遭到破坏, 充沛的降水及丘陵地形加剧了表土层有机质及养分的流失, 造成土壤退化, 出现面蚀、沟蚀、崩岗侵蚀、滑坡等地质灾害, 局部水土流失严重、生态环境恶化^[11]。东江是东莞、惠州、深圳和香港的主要供水

水源, 是广东经济发展的保障, 因此, 研究东江流域水源区丘陵山体的土壤水分分布规律, 对土壤侵蚀防治、水土保持、生态环境恢复具有重要意义。

选取东江流域内代表性丘陵山体, 利用 TDR (Time domain reflectometry) 测定不同山体覆盖类型、土壤质地、地形、植被以及人类活动影响条件下土壤含水率, 分析土壤含水率的空间分布特征及其影响因素, 为揭示东江流域的自然特征及人类活动对生态环境影响提供科学依据。

1 研究地点选择及土壤水分测定

土壤水分分布受土壤特性、气象因子(降水、蒸发、气温、相对湿度和太阳辐射等)、地形(坡向、坡度和坡位等)、植被(覆盖度、植物种类、生长状况等)等各种因素的影响。本文在研究区内选择具有典型土壤特征、植被覆盖、地形等因素(表 1)的 5 座山体的 17 个观测剖面、66 个测点, 利用 TDR 观测土壤含水量。根据各剖面不同测点测定结果, 分析流域内典型山体土壤水受土壤特征、植被和地形因素的影响。测定时间为 2008 年 12 月 22– 27 日, 前期连续 48 d 连续无雨, 直至 26 日、27 日发生了几场强度较小的降雨, 日平均气温为 10~ 15℃。

表 1 测点位置选取

山体	流域	测点数	土地类型	影响因素
1#	九州	8	火烧后荒坡	山体位置、地形、植被
2#	连平	12	林地	山体位置、地形、植被
3#	星丰	28	上部茶园, 中部林地, 下部农垦荒地	山体位置、地形、土壤、植被
4#	星丰	14	上部茶园, 中部林地, 下部农垦荒地	山体位置、地形、土壤、植被
5#	顺天	4	林地	地形、土壤

2 土壤水分分布特征及影响因素

2.1 土壤机械组成及水分分布特征

研究区土壤主要为山地地带性红壤, 土壤表层多夹杂细石英砂、植物根系。在 3#、4# 两座山体, 采用环刀法野外取回的原状土壤 11 个, 其他土样 21 个。利用振筛机分析粒径大于 75 μm, 全自动激光粒度分析仪分析粒径为 0. 4~ 75 μm 的土壤颗粒组成。根据国际制土壤质地分类标准, 壤质砂土占 81. 0%、砂壤占 14. 2%、壤土占 4. 8%。土壤平均密度为 1. 36 g/cm³。利用威尔科克斯法测定田间持水率, 烘干法测土壤容重、饱和含水率等水分特征值(表 2)。分析结果表明: 在 3#、4# 山体, 山顶表层土壤含砂量比中部大, 相应容重也大; 在 4# 山体的山底, 表层土壤含砂量比山顶和中部大, 容重也大。土壤饱和含水量则随粉粒、黏粒增加而增大。在干

旱气候条件下, 实测土壤含水量随粉粒、黏粒增加而增大, 随着砂粒含量的增加而减小(图 1)。图 1 也表明, 3#、4# 地理位置相近, 植被覆盖与气候条件相同的山体, 土壤含水量随砂粒含量变化趋势也较为一致, 体现在两趋势线的斜率为 - 0. 29 和 - 0. 25。但由于 4# 山体所选测点位于阴坡, 受日照时间影响, 土壤含水率相对较高。

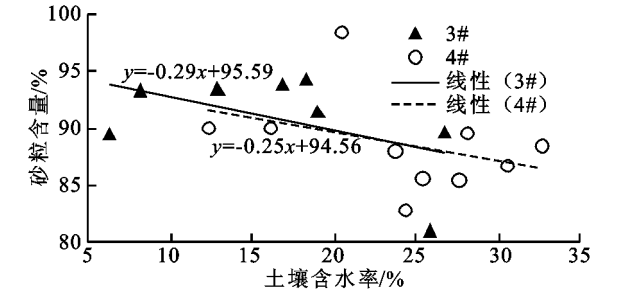


图 1 砂粒含量与土壤含水率的关系

表 2 土壤物理特性

山体	坡位	坡向/ (°)	取样 深度/cm	土壤机械组成/%			容重/ (g·cm ⁻³)	土壤含 水率/%	饱和含 水率/%	田间持 水率/%
				砂粒	粉粒	黏粒				
				2~ 0.05 mm	50~ 2 μm	< 2 μm				
3#	山顶	—	5— 10	93. 79	5. 57	0. 64	1. 45	16. 9	42. 18	40. 32
	中部	16	5— 10	91. 29	7. 85	0. 86	1. 41	19. 0	42. 78	39. 39
			> 50	89. 74	9. 33	0. 93	1. 33	26. 8	44. 88	40. 39
4#	山顶	—	5— 10	90. 14	8. 91	0. 95	1. 38	12. 3	43. 04	39. 43
	中部	15	5— 10	89. 56	9. 25	1. 19	1. 33	28. 0	43. 79	40. 45
			> 50	88. 52	10. 26	1. 22	1. 32	32. 7	42. 50	41. 42
	山底	68	5— 10	98. 46	1. 40	0. 14	1. 35	20. 4	41. 35	38. 44

在垂直方向上,受成土过程和垂向重力影响,土壤类型、结构、颗粒大小、疏松情况等存在差异,从而
影响土壤持水特性^[12-13]。表 1 表明,随着埋深的增加,土壤砂粒含量减小,粉粒、黏粒含量增加,容重减小,土壤深部的持水性增大。选取 2#、3#、4# 三座
山体上、中、下不同坡位、9 个位置人工开挖垂直剖面,深度为 25— 50 cm,利用 TDR 侧向测量不同埋深
下的土壤含水率变化。图 2 所示,9 个垂直剖面中 7 个剖面的土壤含水率随着深度的增加而增加,表明流
域在相当长一段时间干旱无雨之后,呈现“增长型”^[14]土壤水分垂直分布。另外 2 个位于 3# 和 4#
山体下部荒地的剖面则呈现表层土壤含水率局部较大的情况,其原因是在 26 日、27 日内发生了几场强度
较小的降雨过程,在下部荒地,初期雨水使得土壤表层湿润,而对深层土壤水分的影响较小,其它区域由于
林带覆盖截留,表层土壤含水量基本不受影响。

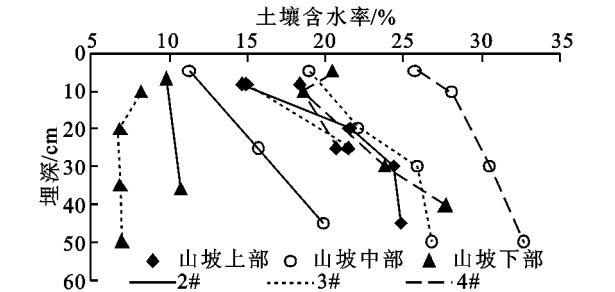


图 2 土壤含水率垂直分布

2.2 山体覆被对土壤水分布特征影响

植被通过截留、蒸腾以及根系吸水作用影响土
壤水动态过程,改变土壤的透水及持水性能,同时植
被改变覆盖区小气候,林地等植被覆盖区地表气温
降低、日照少,减少土壤蒸发量^[15]。在 1#— 5# 山
坡上、中、下部选择坡度、土壤质地相似的植被覆盖
区和裸露区,对比分析土壤水分观测结果,图 3 表
明:在其它条件相同的情况下,植被覆盖区土壤含水
率明显高于裸露土壤;此外,山坡上部植被覆盖对土
壤保水作用影响最大,中部次之,而下部的最小。相

应的,有植被覆盖区的表层土壤含水率比裸露区的
高 54. 0%、24. 1%、12. 4%,这主要是由不同坡位植
被格局的差异造成。

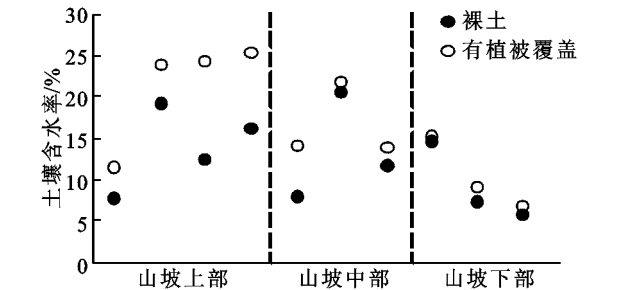


图 3 不同坡位植被覆盖对含水率的影响

进一步选择位于流域的下游和中上游的山体
1# 荒坡、2# 植被覆盖区实测土壤含水量并进行对
比分析。1# 山体由于人为火烧山加之不合理的开
垦种植后形成荒坡,地表植被稀疏,长有少量桉树、
次生马尾松幼林及蕨类,坡顶土壤含石英砂砾多、土
层浅薄,地表碎石裸露,坡底沉积了上坡冲刷而来的
细土粒,土壤粒径稍小,土层相对较厚,整个山坡的
生态状况恶劣,是受人类活动破坏而导致水土流失
的典型山体。位于流域中上游的 2# 山体,受人为
活动影响较小,植被保护较好,主要为常绿阔叶林和
少量马尾松混交林,林下有少量蕨类和草本植物,地
表枯落物较多,平均厚度约 10 cm,山顶密林区平均
厚度可达 14. 7 cm。

3#、4# 山体位于流域中游,地理位置较为靠
近,土壤类型相近。海拔均为 200 m 左右,山顶、山
坡中上部人为烧山后种植茶园,山坡中部地表覆被
为常绿阔叶和次生杉木、马尾松混交林,林下被蕨类
和灌木覆盖,而山坡下部是人为开垦后的荒地。

在 1#— 4# 山体上、中、下不同坡位分别选取
垂直剖面,按埋深由浅入深对各个剖面的土壤水分
进行现场测定。比较图 4 中 1#、2# 山体各剖面测
点平均土壤含水率变化,表明:(1)受人为活动影响
较大的 1# 山体,由于缺乏植被覆盖,土壤含水率较

低,平均值为 12. 1%;受人为活动影响较小的 2# 山体,由于植被覆盖好,其平均土壤含水率比 1# 山体高 30. 0%; (2) 在 1# 荒坡土地,从较大坡度的坡顶到相当平缓的坡底,土壤水分呈稳定上升趋势,表明在单一下垫面的地区,土壤水分布取决于地形坡度分布; (3) 在覆被不同的 2# 山体,土壤含水率自上而下逐渐减小。这主要由于山顶受人为活动干扰少,植被覆盖度更高,土壤的保水能力更强,山体中下部山体植被覆盖度相对较低,土壤丢失水分大,因此,该类山体水分分布主要受植被覆盖控制。

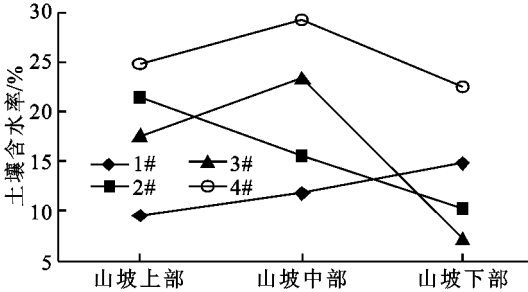


图 4 土壤含水率空间分布

由图 4 中 3# 阳坡和 4# 阴坡土壤水分变化可见,相同气候条件下,植被覆盖好的山体中部林带土壤含水量最大,山坡上部茶园土壤含水量较小,山底荒地最低。相同气候条件和植被情况下,相同坡位不同坡向的土壤水分存在明显的差异,阴坡的土壤含水率比阳坡高出了 5. 8%~ 15. 3%。一方面是由于阳坡太阳辐射较强,土温更高,土壤水分蒸发强烈;另一方面是因为阳坡植被不如阴坡丰富、有机质积累较少,土壤粘性较差、质地更坚实,土壤的持水能力较差(表 2)。

2. 3 坡度对土壤水分布的影响

坡度影响坡面降雨形成的水分滞留时间,因此,坡度对土壤水动态具有显著影响。统计分析 1# - 5# 山体中具有相同植被覆盖类型、不同地表坡度表层(TDR 测深 20 cm)土壤含水率,结果表明,土壤含水率随坡度的增加呈现减小趋势,拟合方程为 $y_{\text{含水率}} = -0.28x_{\text{坡度}} + 26.33$ 。缓坡地带具有较强的保水能力,对植被生长有利。

3 结论

(1) 山体不同坡位自上而下、所覆土壤垂向由上到下土壤粘性增加,土壤持水能力增强。

(2) 人类活动导致山体覆被不同是影响东江流域土壤水分分布的重要因素。在植被覆盖较稀少的山坡,土壤水分分布主要取决于山坡坡位,呈现由山体上部向下部逐渐增加;而在有植被覆盖山体,土壤

水分取决于植被覆盖程度,有植被条件下土壤含水率高于裸露土壤。

(3) 山体坡面地形、坡度对土壤含水率具有重要影响,土壤含水率随坡度的增加而减小,阴坡的土壤含水率比阳坡高。

参考文献:

[1] Bronstert A. Capabilities and limitations of detailed hillslope hydrological modeling[J]. Hydrol. Processes, 1999, 13: 24-48.

[2] Entekhabi D, Eagleson P S. Land surface hydrology parameterization for atmospheric general circulation models [J]. J. Climate, 1989, 2: 816-831.

[3] Milly P C D, Dunne K A. Global water cycle to the water modeling capacity of land[J]. J. Climate, 1993, 7: 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: 695-705.

[6] 李君,赵成义,朱宏,等.融雪后梭梭林地土壤水的多尺度空间异质性[J].中国科学 D 辑:地球科学, 2006, 36 (增刊 II): 45-50.

[7] 刘平,吴志峰,匡耀球,等.基于日降雨数据的广东省降雨侵蚀力初步分析[J].热带气象学报, 2005, 21(5): 555-560.

[8] 朱立安,李定强,魏秀国,等.广东省土壤可蚀性现状及影响因素分析[J].亚热带水土保持, 2007, 19(4): 4-7.

[9] 黄金平,程东升,邓家泉,等.东江流域气候分析[J].人民珠江, 2006(5): 48-52.

[10] 邓南荣,李定强,王继增,等.广东省东江流域土壤侵蚀空间分布特征研究[J].中国水土保持, 1999(5): 21-23.

[11] 廖安中,张淑光,邓岚,等.东江水土流失区水土资源评价:以上杨试验区为例[J].水土保持研究, 1997, 4 (3): 78-89.

[12] Beven K, Germann P. Macropores and water flow in soils[J]. Water Resour. Res., 1982, 18(5): 1311-1325.

[13] Zhu A X, Mackay D S. Effects of spatial detail of soil information on watershed modeling[J]. J. Hydrol. 2001, 248: 54-77.

[14] 罗曼诺娃 E H. 基本气候要素的小气候变化[M]. 北京:科学出版社, 1981.

[15] 张志才,陈喜,石朋,等.贵州喀斯特峰丛山体土壤水分分布特征及其影响因素[J].长江流域资源与环境, 2008, 17(5): 803-807.