

黔中典型岩溶石漠化地区土壤水分动态变化规律研究

范新瑞¹, 苏维词^{1,2,3}, 鄢贵权², 曹欢¹

(1. 贵州大学 资源与环境工程学院, 贵阳 550003; 2. 贵州科学院, 贵阳 550025; 3. 重庆师范大学 地理学院, 重庆 400047)

摘 要:土壤水分动态变化研究在岩溶石漠化地区生态恢复和重建过程中具有重要意义。根据坡位和季节的不同, 通过 24 组样品分析了土壤水分空间分布特征及变异性。结果表明: 表层土壤水分沿上坡向下具有不断减小的变化趋势, 坡面土壤水分呈中等变异, 不同坡位间的差异不大, 坡顶和坡底土壤含水量较高, 与坡地相比, 坡底受外界条件的干扰相对较小; 与坡位相比季节对岩溶土壤水的影响相对较大, 在雨季来临时土壤水分的变异系数突然变大, 随着雨季的延续变异系数逐渐变小, 到雨季末期达到最小, 其含水量在 4 - 8 月之间达到最大, 其变化幅度总体与降雨量呈正比。

关键词:岩溶石漠化地区; 土壤水分; 动态变化; 变异系数

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)02-0156-04

Research on Soil Moisture Dynamic Changes in Typical Karst Regions

FAN Xin-rui¹, SU Wei-ci^{1,2,3}, YAN Gui-quan², CAO Huan¹

(1. Resources and Environment Engineering Department of Guizhou University, Guiyang 550003, China;

2. Guizhou Academy of Science, Guizhou 550025, China; 3. Geography Department, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China)

Abstract: Dynamic changes of soil moisture in the karst areas desertification ecological rehabilitation and reconstruction process is of great significance. According to the slope at different seasons and through the 24 samples, the spatial distribution of soil moisture and variability are analyzed. The results showed that: surface soil moisture has a constant trend of decrease along the slope, and the moderate variation on the slope, but the difference of different slope is little. Soil moisture is higher at the slope bottom and top. Compared with the slope land, the seasonal impact on slope bottom soil is relatively smaller. The seasonal impact on the karst soil relatively large in the slope position and soil moisture coefficient of variation suddenly become larger in the rainy season, then became smaller with the continuation of the rainy season and reached the minimum at the late rainy season. The water content reached the largest value during April to August and the overall magnitude of changes with the rainfall submissions are proportional.

Key words: karst regions; soil moisture; dynamic changes; coefficient of variation

土壤水分受降水、蒸发作用的时空变化影响, 土壤水分动态变化在不同时间、不同土层深度和不同地表覆盖下均呈现出不同的变化特征。而岩溶环境又是非常脆弱的生态环境, 其土层浅薄、土被不连续, 水文过程变化迅速, 土壤水的变化对植物的生长影响会更加突出^[1-3]。

以岩溶石漠化发育典型的贵州省普定县陈家寨石漠化综合防治基地为研究对象, 探讨不同坡位、不

同时间的土壤水分的动态变化规律, 为岩溶山区水土资源合理利用与生态修复提供科学依据。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于贵州省普定县东偏北 45° 的三岔河右岸, 在普定县至补朗乡公路 10 km 处, 地理坐标为 105° 47' 49" E, 26° 20' 46" N, 土地总面积为 2.86

* 收稿日期: 2008-09-17

基金项目: 国家 973 计划专题(2006CB403204); 贵州省省长基金(黔省专(2007)089); 贵州省科技计划项目(黔科合计省合[2006]4001, 黔科合 S 字[2007]1018, 院所创新[2008]009); 省重大专项(黔科重大专项合计[2006] 6014)

作者简介: 范新瑞(1983 -), 男, 安徽人, 研究生, 主要从事水土资源利用与保护方面的工作。E-mail: fanxinr @sohu.com

通信作者: 苏维词(1965 -), 男, 研究员, 主要从事岩溶生态环境与可持续发展研究。E-mail: suweici @sina.com

km²,其中石漠化面积占 70 %以上,整个石漠化防治研究基地呈现南高北低的峰丛洼地(谷地)地貌,谷底地势相对平缓由南向北缓慢倾斜至三岔河,倾角 5 ~ 15 之间。谷地两边山峰连续形成一个完整的地表分水岭,其最高山为谷地左侧公路垭口上的石人山海拔 1 485 m,谷地海拔高度 200 ~ 300 m,属湿润亚热带季风气候,全年温湿多雨,雨热同期,春干秋雨。雨量丰富,丰水年为 1 209.19 mm,枯水年为 735.15 mm,降雨时空分布很不均匀,雨季在 4 - 9 月,旱季在 10 月至翌年 3 月。

区内土壤主要为碳酸盐岩发育的石灰土,土质黏重,土体与基岩面过渡清晰。坡地土层浅薄且不连续,一般厚 20 - 30 cm,局部地段仅有 5 - 10 cm。洼地土层较厚,平均可达 40 - 50 cm,降水入渗系数较高,不易发生洪涝灾害但旱灾较频繁。当地主要种植制度为玉米、黄豆轮作,套种甘薯。由于坡耕地水土流失严重,开垦坡地都有不同程度的石漠化,严重地段岩石裸露率达 80 %以上。

1.2 研究方法

根据不同的坡位及不同的季节等因子,在研究

区域内选取石人大坡和老镇右坡有代表性的 12 个样点对比分析土壤水分的动态变化。土壤用环刀分层取样后,在 100 ~ 110 ℃ 烘干 6 h,冷却至 30 ~ 40 ℃ 时称干土重测定土壤水分。由于岩溶环境土层浅薄,所以测定深度为 0 - 50 cm,以 10 cm 为间隔,每个季度测定一次,每个样点各层均有 3 个重复。观测时间为 2006 年 12 月至 2008 年 8 月。

土壤容重用环刀法测定;毛管孔度采用环刀滤纸吸湿水后,水分总量与环刀体积的比 $\times 100$;总孔度是在浸泡环刀 24 h 后,环刀内总含水量与环刀总体积的比 $\times 100$;饱和渗透速度 $V(\text{mm}/\text{min}) = 10Q/ST$,式中: Q ——达到稳定渗透时单位时间内渗出的水量 ml; S ——环刀的面积 cm^2 ; T ——渗漏时间 min;饱和导水率 $K_s = V \times L/(h + L)$,式中: L ——土层的厚度(即环刀的高度)cm; h ——土层上水头高 cm;土壤有机质、化学元素及 pH 值等采用挖土层剖面取土后测定;降雨量采用自计雨量计记录每次降雨量及降雨时间。表 1 为选取有代表性的实验样地基本情况及土壤的理化性质。研究中所用的主要数据分析软件为 SPSS16.0。

表 1 实验样地土壤基本理化性状

样地	土地利用类型	植被类型	海拔/m	覆盖度/%	容重/(g·cm ⁻³)	有机质/(g·kg ⁻¹)	pH
山顶	灌草地	杂草	1474	70	1.29	38.89	7.87
		白茅、蕨草	1456	100	1.237	56.62	7.61
		小灌丛	1456	90	0.948	51.66	7.86
半山腰	荒草地	小灌丛	1254	90	0.97	46.43	6.98
		火棘、竹叶椒	1140	70	1.253	33.77	7.47
		小灌丛	1335	75	1.351	9.64	7.42
		小灌丛	1225	80	1.239	73.53	7.02
		裸地	1310	0	1.112	69.79	7.71
		杂草	734	40	0.88	37.34	6.73
脚谷底	荒草地	耕作	800	80	1.34	32.87	6.58
	耕作地	耕作	864	80	1.113	103.44	6.66
		裸地	770	0	1.214	103.44	6.64

2 结果与分析

2.1 岩溶土壤水分沿坡面的动态变化

岩溶土壤水分沿坡面的变化主要取决于降雨和蒸散过程的相互作用,地形和土地利用方式也是重要的影响因素。一般认为,当土地利用方式相对一致时,由于坡面径流的沿程入渗、大气蒸发沿坡向下递减以及侧向水流(饱和、非饱和土壤水分)等的综合作用,土壤水分沿坡面向下逐渐增加。但在岩溶石漠化地区,由于岩溶裂隙、漏斗等十分发育,地表水的渗漏极为严重,坡面土壤中含水量的变化与常

规地貌区差别很大。表 2 及图 1 表明,随坡面坡度降低土壤含水率不断减小,变异系数逐渐减小,但土壤水分的变异程度差异不大,均呈现中等变异($10 < C_v < 100$)。坡底土壤水分变异系数相对较坡顶和坡中低,表明山顶和山中比山底更易受外界条件的干扰。这可能与坡地土层浅薄、岩石渗漏性强以及研究区域局部地形地貌复杂多变有关^[4]。

从不同坡位土壤含水量的变化看:坡上部土壤含水率较高,到中坡(山腰)降低,坡底比坡中高(图 1),这种差异主要与坡面复杂土地利用结构下的植物覆盖和地形有很大关系^[5]。植被盖度作为土壤水

分变异的重要影响因子,其差别会导致含水率的显著不同,由于坡上部分布的植被主要是灌草丛,物种丰富,植被盖度较大,透光性差等会造成土壤含水率相对较高;中下坡的植被主要是玉米和小灌丛,地面裸露多,蒸发量大,同时坡面相对较陡也会造成土壤含水率较上坡小。此外,植被还能通过根系改善土壤理化性状,从而提高土壤的蓄水性能。从图 1 中还可以看出,土壤水分从上坡到下坡呈现出波状分

布特征,这除了与坡面的土地利用结构有关外,还可能与岩溶坡面裸露石丛与自然土被的相间分布有关。石丛的存在会影响降雨入渗、再分配以及蒸发蒸腾等水文过程,石丛分布区内的样点由于地面温度高、蒸发强烈而含水率较低^[6],而石丛周围的土体则能截流部分降水或侧渗流,使得位于其中的样点土壤含水率相对较高,这也反映出坡面土壤的不连续性 & 生境的破碎化特征。

表 2 土壤水分在不同坡位的描述统计特征值

坡位	极差	最小值/ %	最大值/ %	均值/ %	标准差/ %	偏度	峰度	变异系数/ %	分布类型
山底	27.07	14.28	41.35	28.38	6.022	0.026	- 0.528	21.217	N
山腰	25.10	15.44	40.54	27.90	6.528	0.093	- 0.621	23.398	N
山顶	33.44	14.26	43.70	30.01	9.589	0.145	- 0.942	31.951	N

注:N 表示正态分布,下同。

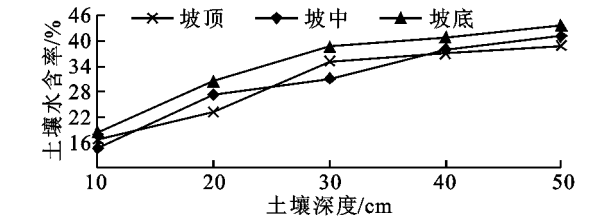


图 1 不同坡位土壤含水率动态变化

2.2 岩溶土壤水分随季节的动态变化

土壤水分的动态变化主要受降雨(尤其是 > 10 mm 的有效降雨)和蒸散过程的影响。观测期内,试验区降雨主要发生在雨季(4 - 9 月)。但是,雨季表层土壤含水量并没有因降雨量的增加而急剧增大(如图 2)。这一方面与气温回升很快、植物展叶开花、林木蒸腾作用及表层土壤蒸发较强有关外,另一方面又与坡地、洼地土壤的入渗性能有关。坡地土层浅薄、储水能力低,加上岩石渗漏性强,大量的降雨漏失;因此并没有使得土壤水分得到大幅的上升,只是土壤水分得到小幅度的补给。雨季过后(9 月以后),降雨减少,由于研究样区是以常绿林灌为主的植被类型,根系从土壤中吸取水分维持林木蒸腾,林地蒸发也较为强烈,所以渗入土壤中的水分不能弥补因蒸腾和林地蒸发而消耗的水分,因此土壤中的水分不断递减,与非岩溶石漠化地区如黄土高原

等地区有相似性^[7-8]。另外从图 2 和表 3 可知:土壤水分的变异系数在雨季初期时突然变大,而到了雨季的中后期,土壤水分的变异系数反而逐渐变小。但是,总体看来土壤水分的变异系数的这种变化幅度与降雨是呈正比。例如 2006 年 12 月降雨较少,变异系数较小,而在 2007 年 4 - 8 月的雨季时期,变异系数相对较大。这是因为连续降雨使土壤含水量在不同林分内均匀分布,造成土壤水分空间均匀分布。这一点表明降雨对岩溶石漠化地区土壤水分的分配与黄土高原地区土壤水分的分配有着不同的影响。这与坡地土层浅薄、岩石渗漏性强以及地形地貌的复杂多变有关。

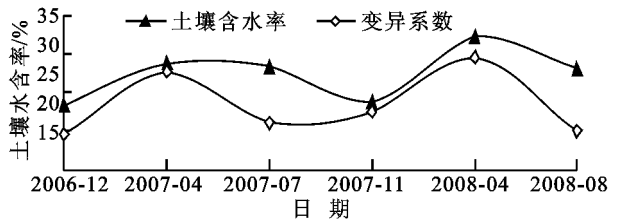


图 2 不同坡位土壤含水率动态变化

偏度表示大于平均数值数据分散程度,偏度越大表示数据越分散。峰值为观测值围绕中心点的扩展程度,其越大,表明数据的分布峰形比正态分布更尖锐^[9]。

表 3 土壤水分在不同季节的描述统计特征

时间	极差	最小值/ %	最大值/ %	均值/ %	标准差/ %	偏度	峰度	变异系数/ %	分布类型
2006-12	20.27	19.82	40.09	23.4267	5.39690	0.858	0.641	19.677	N
2007-04	31.37	14.85	46.22	28.7906	7.99579	0.655	0.680	27.772	N
2007-07	22.30	17.80	40.10	28.3400	5.96763	0.323	- 0.156	21.057	N
2007-11	25.92	14.28	40.20	23.6971	7.21987	0.954	0.938	22.467	N
2008-04	49.69	12.12	61.81	32.1920	7.94096	0.511	5.529	29.565	N
2008-08	28.45	12.90	41.35	28.1167	7.29072	0.614	0.764	20.027	N

2.3 土壤水分影响因子综合分析

由于喀斯特地区的特殊自然环境,影响土壤水分动态变化的因子较多,本文主要选取高度和季节作为影响因子进行回归分析。选取的因子有坡位(X_1)和降雨量(X_2)共 2 个典型的影响因子与土壤含水量的变化进行多元回归分析,根据影响因子样本资料按逐步回归程序在 SPSS16.0 上进行运算,得出如下方程:

$$Y = 16.173 - 0.167 X_1 + 0.3014 X_2$$

从以上方程中可以看出,不同相关因子对土壤含水量会产生不同的影响,但从总体土壤平均含水量来看,降雨因子对土壤水分的影响明显大于坡位因子。从方程式中可以看到,土壤含水量与降雨量成正相关性,与山体坡度及生物量成负相关性,与山体高度成正相关性;这说明降雨对土壤水含量起到关键作用。

3 结论

(1) 岩溶石漠化地区土壤含水率一般是随着坡位的降低而减小,山中达到水分的最低值,但其水分的变化均为中等变异,且变异系数从上至下逐渐减小,山顶的含水量最高,受外界条件的干扰也是最小,相对而言山顶受外界条件的干扰最大,所以坡顶作物的栽种应采取一定的蓄水保墒措施。

(2) 从土壤水分随时间变化规律分析中发现,在不同季节之间土壤水分变化差异显著;在雨季初期土壤水分的变异突然急剧增大,随后是逐渐减小。这是因为连续降雨使土壤含水量在不同林分内均匀分布,造成土壤水分空间均匀分布达到饱和状态。

(3) 在岩溶土壤水分时空动态变化研究中,可以

应用统计学方法进行有效分析和解释,但是应该要考虑研究区特定的土地利用方式和地形地貌特征,这一般会受到采样范围和采样时间限制;岩溶石漠化地区土壤水分在不同坡位和不同季节的变异特征以及变异的因素还有待于进一步研究。

参考文献:

[1] 刘再华,袁道先.中国典型表层岩溶系统的地球化学动态特征及其环境意义[J].地质论评,2000,46(3):324-327.

[2] 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.

[3] 万军,蔡运龙.喀斯特生态脆弱区的土地退化及生态重建:以贵州省关岭县为例[J].中国人口·资源与环境,2003,13(2):52-56.

[4] 黄奕龙,陈利顶,傅伯杰,等.黄土丘陵小流域地形和土地利用对土壤水分时空格局的影响[J].第四纪研究,2003,23(3):334-342.

[5] 张继光,陈洪松,苏以荣,等.喀斯特峰丛洼地坡面土壤水分空间变异研究[J].农业工程学报,2006,22(8):55-56.

[6] 陈洪松,傅伟,王克林.桂西北岩溶山区峰丛洼地土壤水分动态变化初探[J].水土保持学报,2006,20(4):138-139.

[7] 赵世伟,周印东,吴金水,等.子午岭北部不同植被类型土壤水分特征研究[J].水土保持学报,2002,16(4):119-122.

[8] 孙中峰.黄土残塬沟壑区林地土壤水分时空特性分析[J].黑龙江水专学报,2003,30(3):7-9.

[9] Li H J, Wnag M B, Cai B F. Spatial and temporal characteristics of soil moisture dynamics in Loess Plateau [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 14(4): 515-519.

(上接第 155 页)

[7] Manta D S, Angelone M, Bellanca A, et al. Heavy metals in urban soils: a case study from the city of palermo (Sicily), Italy [J]. The Science of Total Environment, 2002, 300: 229-243.

[8] 郭平, 谢忠雷, 李军, 等. 长春市土壤重金属污染特征及其潜在生态风险评价 [J]. 地理科学, 2005, 25(1): 108-112.

[9] 邓秋静, 宋春然, 谢锋, 等. 贵阳市耕地土壤重金属分布特征及评价 [J]. 土壤, 2006, 38(1): 53-60.

[10] 柴世伟, 温琰茂, 韦献革, 等. 珠江三角洲主要城市郊区农业土壤的重金属含量特征 [J]. 中山大学学报: 自

然科学版, 2004, 43(4): 90-94.

[11] 马建华, 张丽, 李亚丽. 开封市城区土壤性质与污染的初步研究 [J]. 土壤通报, 1999, 30(2): 93-96.

[12] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control a sedimentological approach [J]. Water Research, 1980: 975-1001.

[13] 李健, 郑春江, 郭希利, 等. 环境背景值数据手册 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989.

[14] 《土壤环境质量标准》[S] (GB15618 - 1995)

[15] Raskin I, Kumar P B A N, Dushenkov S, et al. Bioconcentration of heavy metals by plants [J]. Curr Op in Biotechnol, 1994(5): 285-290.