生态学杂志 Chinese Journal of Ecology 2013,32(2):332-336

哀牢山亚热带常绿阔叶林土壤含水量变化规律及其影响因子*

余 雷[1,3] 张一平[1,2**] 沙丽清[1,2] 宋清海[1,3] 谭正洪[1] 周文君[1,3] 武传胜[1,2,3]

([1] 中国科学院热带森林生态学重点实验室(西双版纳热带植物园),昆明 650223; [2] 中国科学院哀牢山亚热带森林生态系统研究站,云南景东 676209; [3] 中国科学院大学,北京 100049)

摘 要 利用 ChinaFlux 设置在哀牢山亚热带常绿阔叶林内的通量观测系统的土壤含水量数据,分析了哀牢山亚热带常绿阔叶林内土壤含水量的时间变化及其影响因子,以期了解哀牢山亚热带常绿阔叶林土壤含水量特征及其变化规律,为森林固碳能力、潜力和速率研究提供支撑。结果表明:(1)哀牢山亚热带常绿阔叶林不同深度土壤含水量大致呈单峰曲线分布,各层土壤含水量基本上随着土壤深度的增加而降低,波动范围也逐渐减小,最小值均在3月,最大值集中在7、8、9三个月。(2)0~100 cm 各层深度的土壤含水量在17.7%~39.5%波动,其中100 cm 深度的土壤含水量值最低、波动范围最小,总体来看,土壤含水量雨季高于旱季。(3)土壤含水量主要受降雨量、地温和相对湿度等要素的影响($P<0.05$),哀牢山亚热带常绿阔叶林5 cm 深度的土壤含水量最大,约为38%。

关键词 土壤含水量; 亚热带常绿阔叶林; 哀牢山

中图分类号 S152.7 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2013)2-0332-05

Temporal variation pattern and its affecting factors of soil water content in a subtropical evergreen broadleaved forest in Ailao Mountains, Southwest China.

YU Lei[1,3], ZHANG Yi-ping[1,2**], SHA Li-qing[1,2], SONG Qing-hai[1,3], TAN Zheng-hong[1], ZHOU Wen-jun[1,3], WU Chuan-sheng[1,2,3] ([1]*Key Laboratory of Tropical Forest Ecology (Xishuangbanna Tropical Botanical Garden), Chinese Academy of Sciences, Kunming* 650223, *Yunnan, China*; [2]*Ailaoshan Station for Subtropical Forest Ecosystem Studies, Chinese Academy of Sciences, Jingdong* 676209, *Yunnan, China*; [3]*University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2013, **32**(2): 332-336.

Abstract: Based on the soil water content data from the Flux Observation System of ChinaFlux installed in a subtropical evergreen broadleaved forest in the Ailao Mountains, Yunnan Province of Southwest China, the temporal variation and its affecting factors of soil water content in the forest were analyzed, aimed to further understand the characteristics and the annual variation pattern of the soil water content, and to provide basis to study the carbon sequestration ability, potential, and rate of local forest. In this forest, the soil water content at different depths more or less presented a single peak curve. With decreasing depth, the soil water content decreased, and its fluctuation range also had a gradual decrease, with the minima occurred in March and the maxima in July, August, and September. In the 0-100 cm profile, the soil water content in different layers ranged from 17.7% to 39.5%, with the minima and the least fluctuation at the depth 100 cm. Overall, the soil water content was higher in rainy season than in dry season. The soil water content was mainly affected by precipitation, soil temperature, and relative humidity ($P<0.05$). The maximum soil water content at the depth 5 cm in the subtropical evergreen broadleaved forest in Ailao Mountains was about 38%.

Key words: soil water content; subtropical evergreen broadleaved forest; Ailao Mountains.

* 云南省自然科学重点基金项目(2011FA025)、国家重点基础研究发展计划项目(2010CB833501)、国家自然科学基金项目(31061140359)、中国科学院战略性先导科技专项(XDA05050601-01-05)和中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-Q1-05-04)资助。

** 通讯作者 E-mail: yipingzh@xtbg.ac.cn

收稿日期: 2012-08-20 接受日期: 2012-11-06

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

土壤含水量是土壤-植物-大气连续体的一个关键因子,它不但直接影响着土壤特性和植物生长,而且间接地影响植物分布和在一定程度上影响小气候的变化。森林土壤水分状况不仅与气候、植被、地形和土壤性质等自然要素有关(Crave *et al.*,1997),而且受林分组成、林龄、郁闭度、枯枝落叶层厚度以及林分成熟度等林分特征的制约。对土壤含水量的研究有助于更深入地了解土壤呼吸以及森林碳通量的变化规律,同时对了解本地区植物生长与更新,物质循环与能量交换都有重要意义。

我国相关的土壤水分研究主要集中在秦淮以北的半干旱和干旱地区以及水土流失严重的黄土高原区(党坤良,1995; 曾杰等,1996; 何福红等,2002),有关于常绿阔叶林土壤含水量动态变化的研究还较少。哀牢山亚热带常绿阔叶林作为我国保存面积最大的常绿阔叶林,是该地区重要的森林植被类型之一,本研究利用 ChinaFlux 设置在哀牢山亚热带常绿阔叶林通量观测塔 2009—2010 年的土壤含水量观测数据,通过研究哀牢山亚热带常绿阔叶林土壤含水量变化特征,为本区域土壤水分动态研究积累基础资料,同时为森林固碳能力、潜力和速率研究提供支撑。

1　研究地区与研究方法

1.1　自然概括

研究样地位于哀牢山北段国家级自然保护区试验区的徐家坝地区,中国科学院哀牢山亚热带森林生态系统研究站(24°32′N,101°01′E,海拔 2400 ~ 2600 m)。该地区年均温为 11.0 ℃,月均最高温为 15.8 ℃,月均最低温为 4.5 ℃; 受西南季风影响,干、湿季分明,年降水量 1947 mm,85% 以上的降水集中在雨季(5—10 月)。以木果石栎(*Lithocarpus xylocarpus*)为标志的亚热带中山湿性常绿阔叶林是徐家坝地区分布面积最大、保存最完好的原生植被,系 130 年以上的成熟林(邱学忠,1998)。

哀牢山林内土壤为山地黄棕壤,其特征为: 地表几乎为植被凋落物所覆盖,厚度一般 3 ~ 7 cm; 土壤腐殖质成棕黑色,厚达 10 ~ 15 cm; 矿质土层质地疏松,以团粒结构为主。有机质含量较高,含氮量丰富; C/N 适中,土壤呈酸性(pH<5); 表土层透水性良好,涵养水的能力很强; 阳离子交换量较高,高于水平地带的黄棕壤。0 ~ 30 cm 土层土壤偏酸性(pH =4.2),有机质含量为 50 ~ 90 mg · g^{-1},氮(N,3.5 mg · g^{-1})、磷(P,0.7 mg · g^{-1})、钾(K,3.7 mg · g^{-1})含量在哀牢山山地垂直分布中属于含量较高的一个地带(游承侠,1983)。

1.2　研究方法

利用 ChinaFlux 设置在哀牢山亚热带常绿阔叶林通量观测系统的土壤含水量数据,传感器设置在 5、10、20、30、40、60、100 cm 深度(土壤水分反射计 Water Content Reflectometer,CS616,Campbell Scientific,USA)。数据采集为 30 min 自动记录,资料年限为 2009 年 1 月—2010 年 12 月。通过分析各层土壤含水量的季节变化和年际变化以及其垂直变化来探讨土壤含水量的变化特征。

1.3　数据处理

用 Excel 和 SPSS 18.0 做统计分析、线性回归、相关性分析等,SigmaPlot 11.0 作图。

2　结果与分析

2.1　平均土壤含水量年内变化

从图 1 可以看出,哀牢山亚热带常绿阔叶林各层深度的土壤含水量大致呈单峰变化,雨季(5—10 月)的土壤含水量高于干季(11 月—翌年 4 月)。并且,随着土壤深度的增加波动幅度减小,全年 100 cm 深度的土壤含水量值最低、波动范围最小。

由表 1 可以看出,各层深度的土壤含水量均在 3 月最小,此时土壤含水量在 17.7% ~ 34.5% 波动; 而各层深度土壤含水量的最大值集中在 7、8、9 月,其波动范围是 19.9% ~ 39.5%。由图 1 可见,土壤含水量和降雨量的变化趋势相似,随着降雨量的增加土壤含水量也逐渐增大。但二者的变化规律也不完全相同,各层土壤含水量均在 3 月最低,最高值集中在 7、8、9 月,而降雨量在 2 月最低,7 月最高。

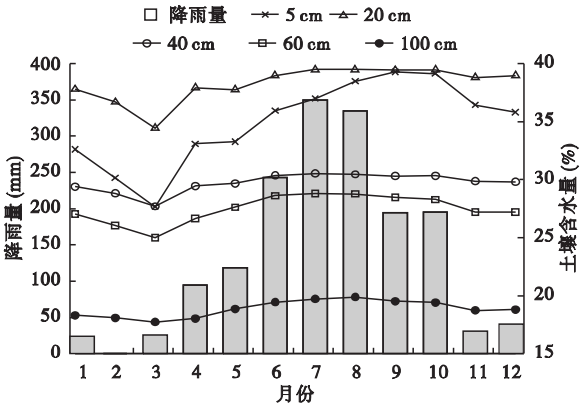

图 1　土壤含水量年变化
Fig. 1　Annual variation of soil water content

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表1 不同深度土壤含水量最高、最低值及月份

Table 1 Maximum and minimum soil water content and corresponding month in different depths

深度(cm)	最低值(%)	月份	最高值(%)	月份	平均值(%)
5	27.7	3	39.3	9	33.5
20	34.5	3	39.5	8	37.0
40	27.7	3	30.5	7	29.1
60	25.0	3	28.8	7	26.9
100	17.7	3	19.9	8	18.8

2.2 平均土壤含水量年间变化特征

由图2可以看出,哀牢山亚热带常绿阔叶林的日平均土壤含水量(5 cm深度为例)在5月雨季开始后迅速增大,在5—9月维持在较高的数值,且波动较大;而在10月雨季结束后,土壤含水量呈现迅速下降趋势,波动较小,在3月初达到最小。2009和2010年日平均土壤含水量的变化趋势大致相同,都是在3月最低,雨季要大于旱季。

2.3 土壤含水量与气象、生物因子的关系

土壤含水量时空变异是由降雨、温度、相对湿度、植被、雾、土壤、人为活动等诸多因子综合作用的结果,另外,土壤含水量还与土壤的理化性质例如孔隙度等有关,但就其某一具体地区而言主控因子也各不相同。近年来,土壤含水量时空变异以及与主控因子的时空关系的研究成为国内外的研究热点之一(庄季屏,1989; Qiu *et al.*,2001)。

哀牢山亚热带常绿阔叶林的气候雨季和干季分明,雨季(5—10月)降雨较多,降雨量占全年85%左右;而干季降雨较少。如此的降雨分布特征,导致了土壤含水量显著的年变化(图2)。干季降雨少,导致土壤含水量也出现明显的下降趋势,另外,本地区降雨时间分布的不均匀(5—10月降雨量约占全年85%)导致土壤含水量年内变化比较显著,在5—10月各层土壤含水量均达到最大值,并且土壤含水量的变化滞后于降雨量的变化。

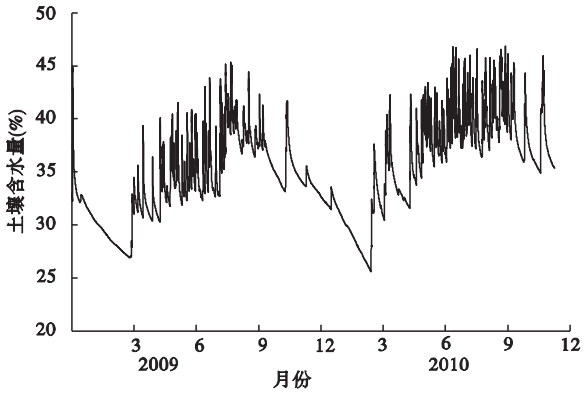

图2 土壤含水量年际变化

Fig. 2 Inter-annual variation of soil water content

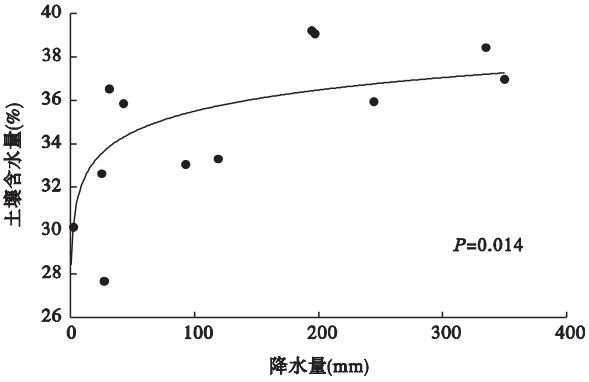

图3 土壤含水量与降雨量的关系

Fig. 3 Relations between soil water content and rainfall

由5 cm深度的土壤含水量与降雨量的回归关系(图3),可以发现,土壤含水量与降雨量呈对数关系($y = 1.4087\ln x + 29.014$, $R^2 = 0.466$, $P = 0.014$);降雨量在比较小的范围内时,随着降雨量的增加,土壤含水量增加迅速;当降雨量增加到40 mm以后,土壤含水量随着降雨量的增加而增长缓慢。进一步观察发现,哀牢山亚热带常绿阔叶林5 cm深度的土壤最大含水量趋近38%。

从图4可以看出,土壤含水量与地温呈正相关,可能是由于雨热同季的影响;土壤含水量与相对湿度最相关,回归方程为 $y = 18.836e^{0.0074x}$ ($R^2 = 0.795$, $P = 0.0002$)。土壤含水量和气温的相关性最低($P = 0.238$)。

3 讨 论

本研究表明,哀牢山亚热带常绿阔叶林不同深度土壤含水量大致呈单峰曲线分布,除了5 cm深度的土层,其他各层土壤含水量随着土壤深度的增加而降低,波动范围也减小,最小值均在3月,最大值集中在7、8、9月,土壤含水量在17.7%~39.5%波动,全年土壤含水量在100 cm深度最低。总体来看,土壤含水量雨季高于旱季。土壤含水量与降雨量、地温和相对湿度均达到显著相关($P<0.05$),哀牢山亚热带常绿阔叶林5 cm深度的土壤含水量最大约为38%。

可见,影响森林土壤含水量的主要因素是降水量、蒸散量和气温等,从更宏观的角度来考虑影响土壤水分季节分配的因素,即大气降水、土层储水量和

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

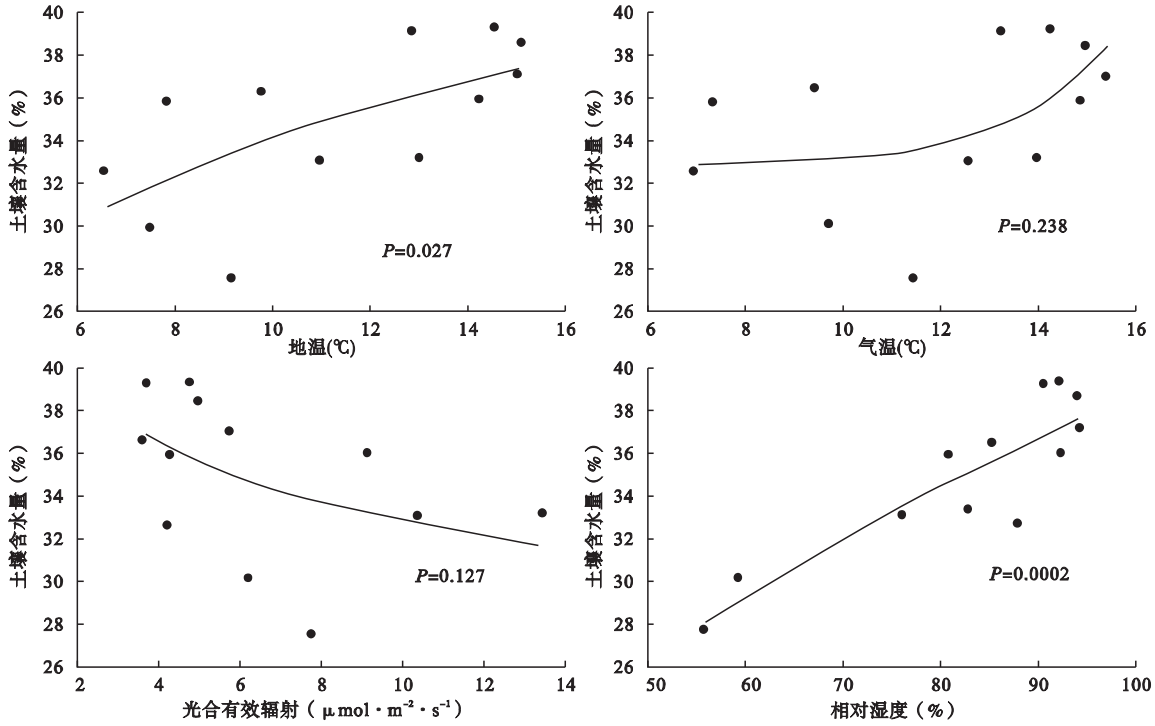

图 4　平均土壤含水量与其他气象因子的关系

Fig. 4　Relationships between average soil water content and other meteorological factors

土壤蒸发等 3 个方面(尹光彩等,2003) 。杨方社等(2007) 也指出降雨、地表植被种类、植被生长状况、当地水文气象条件等是影响土壤水分时空变异的重要因子,而其中降雨和地表植被是主要影响因素。Entin 等(2000) 认为,土壤水分的时空变异尺度可分成大小 2 个组分,大尺度由大气控制主要决定于降雨和蒸发格局,小尺度主要决定于土壤、地形、植被和根系结构。Hawley 等(1983) 认为,土壤水分的平均值和空间变异(方差) 均随降雨量的增加而增大。Henninger 等(1976) 研究发现,表层土壤水分与降雨息息相关,二者表现出相似的季节动态趋势。由此可见,降雨量是影响土壤含水量的重要环境因子,本研究结果与之一致(图 3) 。

研究表明,哀牢山亚热带常绿阔叶林 100 cm 土壤含水量全年最小(图 1) ,这与尹光彩等(2003) 的研究结果非常接近,但是与宋娟丽等(2007) 的研究结果不同。宋娟丽等(2007) 在黄土高原南部刺槐林地研究表明,在水分巨变层(0 ~ 80 cm) 呈先增加后减小的趋势,其中在 0 ~ 30 cm 土壤含水量递增,而 30 ~ 70 cm 土壤含水量递减。但是,尹光彩等(2003) 对鼎湖山季风林、混交林和针叶林研究发现,从地表开始,随着深度的增加土壤含水量呈下降趋势。之所以会出现这种差异,是因为黄土高原和鼎湖山不同的气候条件和土壤质地所致,土壤颜色越深,吸收的热量越多,温度越高,蒸发量越大。根据有关参考资料,黄土、棕土和黑土的蒸发量分别比白土大 7%、19% 和 32% (王政友,2003) 。我们的研究与尹光彩等(2003) 的研究结果更加相似,一方面是因为哀牢山与鼎湖山在气候条件和土壤颜色方面有更大的相似性,另一方面,哀牢山独特的气候、地形和森林结构条件对土壤含水量产生了重要影响。哀牢山亚热带常绿阔叶林生长茂密,森林郁闭度高,致使观测地点比较阴暗潮湿,地表有厚厚的凋落物、腐蚀层,这样土壤表层有利于储存水分,地表径流较小,同时使表层土壤的蒸发散减小,因而土壤表层含水量较大。在同一个观测到土壤剖面的不同层次接收降雨量的能力不同,表层土壤首先接收穿透雨和枯落物截留后的渗水,同时又受到太阳辐射等外界环境因子的影响较大,容易受地表蒸发和植物根系耗水的影响,所以储水量变化幅度较大; 深层土壤虽只能接收少量的由上层土壤下渗的部分雨水,但由于受林地蒸散的影响较小,所以土壤水分相对稳定(图 1) 。深层土壤由于受地表气候条件变化的影响不明显,其水分可起到补充调节的作用,在雨季可储蓄水分,干季可为林木补充水分,对保证林木正常生长有着非常重要的意义。

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

土壤含水量与相对湿度(RH)和地温(T_s)也存在紧密联系,这些气象因子的变化会影响到微生物的活动、酶的活性、凋落物的分解、植物的蒸腾、根对水分的吸收等等,因而对土壤含水量也产生重要影响。但是土壤含水量与光合有效辐射(PAR)和气温(T_a)相关性不显著(图4)。黄志刚等(2007)对南方红壤丘陵区油桐人工林土壤水分动态研究中指出,土壤蓄水量与大气相对湿度(RH)、饱和水汽压差(VPD)、降雨量(R)等气象因子显著相关($P<0.05$),这与本研究结果相似。

土壤含水量的时空变化是多重尺度上地形、土壤、植被、降雨、大气相对湿度、饱和水汽压差、人为活动等多因子综合作用的结果。因此,土壤含水量时空变异研究要综合考虑这些环境因子在多重尺度上的时空影响,这方面的工作还有待于更深入的探讨。

参考文献

党坤良. 1995. 秦岭火地塘林区不同林地土壤水分动态特征的研究. 西北林学院学报, **10**(1): 1-8.

何福红, 黄明斌, 党廷辉. 2002. 黄土高原沟壑区小流域土壤水分空间分布特征. 水土保持通报, **22**(4): 6-9.

黄志刚, 曹 云, 欧阳志云, 等. 2007. 南方红壤丘陵区油桐人工林土壤水分动态. 应用生态学报, **18**(2): 241-246.

邱学忠. 1998. 哀牢山森林生态系统研究. 昆明: 云南科技出版社.

宋娟丽, 姚 军, 吴启发. 2007. 黄土高原南部刺槐林地的土壤水分变化规律研究. 西北林学院学报, **22**(1): 47-50.

王政友. 2003. 土壤水分蒸发的影响因素分析. 山西水利, (2): 26-29.

杨方社, 李怀恩, 杨联安, 等. 2007. 沙棘植物"柔性坝"沟道土壤水分时空动态变化研究. 水土保持学报, **21**(1): 107-110.

尹光彩, 周国逸, 唐旭利, 等. 2003. 鼎湖山不同演替阶段的森林土壤水分动态. 吉首大学学报, **24**(3): 62-68.

游承侠. 1983. 哀牢山徐家坝地区的植被分类// 中国科学院昆明分院生态研究室. 云南哀牢山森林生态系统研究, 昆明: 云南科技出版社.

曾 杰, 郭景唐, 于占成. 1996. 太丘山油松人工林土壤水分动态特征的研究. 北京林业大学学报, **18**(2): 31-36.

庄季屏. 1989. 四十年来的中国土壤含水量研究. 土壤学报, **26**(3): 241-248.

Crave A, Cascuel-Odux C. 1997. The influence of topography on the time and space distribution of soil surface water content. *Hydrological Processes*, **11**: 203-210.

Entin JK, Robock A, Vinnikov KY, *et al*. 2000. Temporal and spatial scales of observed soil moisture variations in the extratropics. *Journal of Geophysical Research*, **105**: 11865-11877.

Hawley ME, Jacson TJ, Mccuen RH. 1983. Surface soil water content on a small agricultural watershed. *Journal of Hydrology*, **62**: 179-200.

Henninger DL, Petersen GW, Engman ET. 1976. Surface soil water moisture within a watershed: Variations, factors influencing, and relationship to surface runoff. *Soil Science Society of America Journal*, **40**: 773-776.

Qiu Y, Fu B, Wang J, *et al*. 2001. Soil water content variation in relation to topography and land use in a hillslope catchment of the Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology*, **240**: 243-263.

作者简介 余 雷,男,1987年生,硕士研究生。主要从事生态气候研究。E-mail: yulei@xtbg.ac.cn

责任编辑 王 伟

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net