

# 暴雨条件下北京山区主要乔木蓄水能力研究

贾剑波, 余新晓, 王贺年, 刘瑜洁

(北京林业大学 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083)

**摘要:** 利用大型称重式蒸渗仪记录 2012 年 7 月 21—22 日北京暴雨全过程下土体水重的变化, 分析不同树种土体水重的增幅和总量的差异。同时运用土壤三参数测定仪对蒸渗仪的不同深度土体中土壤含水率进行观测, 分析降雨过程中各层含水率的动态变化。结果表明, 暴雨条件下蒸渗仪土体水重呈先猛增后缓增的趋势, 五角枫的土体水重增加最多, 渗漏量最少; 油松土体水重增加最少, 渗漏量最多。土体水重大小依次为: 五角枫 > 侧柏 > 空地 > 油松。不同深度土层在暴雨过程中都有水分猛增的过程, 表层土发生较早, 且增幅大; 深层土发生晚, 增幅小。五角枫各层土体的含水率最高, 油松的最低, 含水量大小依次为: 五角枫 > 空地 > 侧柏 > 油松。

**关键词:** 大型称重式蒸渗仪; 土体水重; 渗漏量; 土壤含水率

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)03-0114-04

中图分类号: S715.4

## Water Storage of Main Trees Under Storm Conditions in Beijing Mountain Area

JIA Jian-bo, YU Xin-xiao, WANG He-nian, LIU Yu-jie

(Key Laboratory of Soil and Water Conservation & Desertification Combating of the Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The differences of growth and total soil mass water amount among different tree species were studied by large-scale weighing lysimeter in the whole process of rainstorm in Beijing from 21 to 22 July in 2012. At the same time, soil moisture content was measured in different depths of soil mass by soil three-parameter determinator and dynamic changes of the moisture content of every layers in soil mass were analyzed in the whole rainfall process. Results showed that soil mass water content in lysimeter presented the trend of slow growth after a jump under the rainstorm conditions. Soil mass water content for *Acer elegantulum* gained the most and leakage was the least, while for *Pinus tabulaeformis*, just the opposite. The soil mass water content decreased in the order of *A. elegantulum* > *Platycladus orientalis* > space > *P. tabulaeformis*. In different soil layers, they had a jump of moisture in rainstorm process. The jump in topsoil occurred earlier and increased more, while in deep soil layers, the opposite. At the end of rainfall, the soil moisture content of every layer for *A. elegantulum* was the most and *P. tabulaeformis* was the least. The soil moisture content decreased in the order of *A. elegantulum* > space > *P. orientalis* > *P. tabulaeformis*.

**Keywords:** large-scale weighing lysimeter; soil mass water content; leakage; soil moisture content

北京“7·21”特大暴雨降雨总量之多历史罕见。全市平均降雨量 170 mm, 城区平均降雨量 225 mm, 为新中国成立以来北京市最大的一次降雨过程, 降雨量在 100 mm 以上的面积占全市的 86% 以上, 局部雨强之大近 500 年一遇。全市最大降雨点房山区河北镇为 460 mm; 局部洪水之巨更是历史罕见, 拒马河最大流

量达 2 500 m<sup>3</sup>/s, 北运河最大流量达 1 700 m<sup>3</sup>/s。

森林土壤的蓄水能力是指森林生态系统中涵养土壤水分、补充地下水和调节河川流量的功能, 而森林土壤的物理性质决定了土壤水分的储蓄方式, 并直接影响到水源涵养潜能的强弱<sup>[1]</sup>。研究不同森林植被类型下土壤蓄水能力的差异, 即通过不同森林植被

收稿日期: 2012-08-08

修回日期: 2012-09-13

资助项目: 国家林业公益性行业科研专项经费项目“典型森林植被对水资源形成过程的调控研究”(201104005); “十二五”国家科技支撑项目“海河上游水源涵养林体系构建技术研究与示范”(2011BAD38B05)

作者简介: 贾剑波(1988—), 男(汉族), 甘肃省兰州市人, 硕士研究生, 主要从事森林水文研究。E-mail: jotham880303@163.com。

通信作者: 余新晓(1961—), 男(汉族), 甘肃省平凉市人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为森林水文、水土保持等。E-mail: yuxinxiao111@126.com。

类型下土壤蓄水能力的比较,可以探明涵养水源能力较好的森林植被类型,这对水土保持和生态修复等都具有极其重要的意义<sup>[2-6]</sup>。森林植被因其具有庞大的林冠层、较厚的枯枝落叶层和盘根错节的根系网络,以及疏松多孔的森林土壤,都能够起到蓄水作用<sup>[7]</sup>。据研究表明,小流域森林覆盖率每增加2%时,约可减少洪峰流量1%,当森林覆盖率达到100%时,森林消减洪峰的极限值为40%~50%<sup>[8-10]</sup>。随着生态环境问题的日趋尖锐,人们对土壤与植被之间关系的研究越来越受到重视<sup>[11-12]</sup>。快捷有效地测定土壤水分是研究土壤水分动态变化规律的基础,目前,已有多种土壤水分测量方法。定点测定的常规方法有烘干法、中子水分仪测定法、时域反射仪(TDR)测定法、伽玛射线法、张力计测定法、露点仪测定法和电阻法等<sup>[13]</sup>。大面积测定包括中等尺度范围的测定如使用地表穿透雷达(GPR)进行的测定<sup>[14]</sup>。Gaylon等<sup>[15]</sup>提供的振动仪(oscillator)也是一种价廉物美的土壤水分测定仪。因此,研究不同森林植被的蓄水能力对涵养水源,保持水土,减轻暴雨灾害尤为重要。本文利用大型称重式蒸渗仪和土壤三参数测定仪对不同树种在暴雨过程中降水在土壤中的分布和蓄水量做定量与定性的分析,从而了解各树种的蓄水能力,为减轻暴雨、洪水等灾害提供依据。

## 1 研究区概况与试验方法

### 1.1 研究区概况

试验地位于北京林业大学西山教学实习林场,北纬 $40^{\circ}3'46''$ — $40^{\circ}3'47''$ ,东经 $116^{\circ}5'45''$ — $116^{\circ}5'45''$ 。气候属于暖温带半湿润季风型大陆性气候,年均温 $8.5\sim 9.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 有效积温 $3\ 385\sim 4\ 210\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,无霜期约150 d,多年平均降水量600 mm,其中7—9月占全年降水量的70%以上。试验区油松纯林较多,地处低山半阳坡(东偏南 $15^{\circ}$ ),坡位下位,海拔145 m,坡度 $22^{\circ}$ ,土壤为坡积黄土,土层厚度40—60 cm,通气透水性较差。林下灌木为荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla*)、酸枣(*Ziziphus jujuba* var. *spinosa*)、扁担木(*Grewia biloba* var. *parviflora*)和构树(*Broussonetia kazinoki*),盖度80%以上。

### 1.2 试验材料

试验所用蒸渗仪由土体、称重系统和水分监测系统组成,表面积为 $4\text{ m}^2$ ( $2\text{ m}\times 2\text{ m}$ ),总深度为2.3 m。从地表到系统可实时、定量、自动测量土壤由降雨、蒸发、入渗和林木蒸腾作用引起的水分动态变化,测量精度为0.01 mm。4台分别为油松、侧柏、五角枫和空地,每台周围为长势良好的相同树种形成纯

林,林分密度大致为 $2\ 500\text{ 株}/\text{hm}^2$ 。通过实时称取林木水分的输入与输出引起的重量变化,可以长时间连续而精确地刻画林木的水分变化特征。

5TE土壤三参数测定仪利用埋入距蒸渗仪土体边缘30 cm的探头,测定土壤含水率,土壤温度和土壤电导率3个指标,配合EM 50数据采集器,实时监测记录土壤3个参数的动态变化。

全自动小型气象站可采集温度、湿度、风向、风速、太阳辐射、雨量、气压、露点等多项微气象因子信息,配合软件更可以实现网络远程数据传输和网络实时气象状况监测,测量精度高,便于数据收集,为数据分析提供一定的科学依据。

### 1.3 试验方法

试验观测从2012年7月21日至22日北京暴雨的整个过程。4台蒸渗仪设定观测频率为每30 min/次,数据由采集器收集并保存。另外,在每台蒸渗仪不同深度(20,40,60,80,120,和160 cm)分别埋入距蒸渗仪土体边缘30 cm的土壤三参数测定仪的探头,测定土壤含水率,测定频率为10 min/次,连续记录,数据由采集器收集并保存。利用Excel软件分析蒸渗仪土体水重和不同深度土壤含水率的动态变化,得出不同树种在暴雨过程中的蓄水能力大小。

## 2 结果与分析

### 2.1 蒸渗仪土体水重变化

如图1所示,整个过程中4台蒸渗仪土体水重都有明显的增重,增幅表现为先缓慢,后加快,再缓慢增加。从21日9:50开始,随着雨量的增加土体水重开始逐渐增加。从12:50—19:50土体水重增幅较快,平均增加550 kg,之后缓慢增加,主要原因是降水已渗透到深层土壤,渗漏量随之增大。到降雨结束时,土体水重都达到最大值,从2 000 kg分别变为空地2 710.86 kg,侧柏2 715.25 kg,五角枫2 725.36 kg,油松2 621.07 kg。其大小依次为五角枫>侧柏>空地>油松。

从每台蒸渗仪来看,空地的土体水重增加较快,之后缓慢增加。表明空地在降雨开始时,水分下渗率较慢,渗漏量较少,随着时间的推移,渗漏量的增幅加大,土体水重的增幅减缓,蓄水能力较差。五角枫的土体水重增幅较为平稳,降雨结束时,土体水重大于其他树种,渗漏量很少,除了极少量的蒸发外,大部分水分滞留在土体中,表明具有良好的蓄水能力。油松的土体水重增幅从降水持续6 h后(21日15:50)开始,逐渐低于其他树种,渗漏量增加明显,到降雨结束时,土体水重比其他树种低约90 kg,表明油松的土体疏松,非毛管孔隙较大,蓄水性较差。

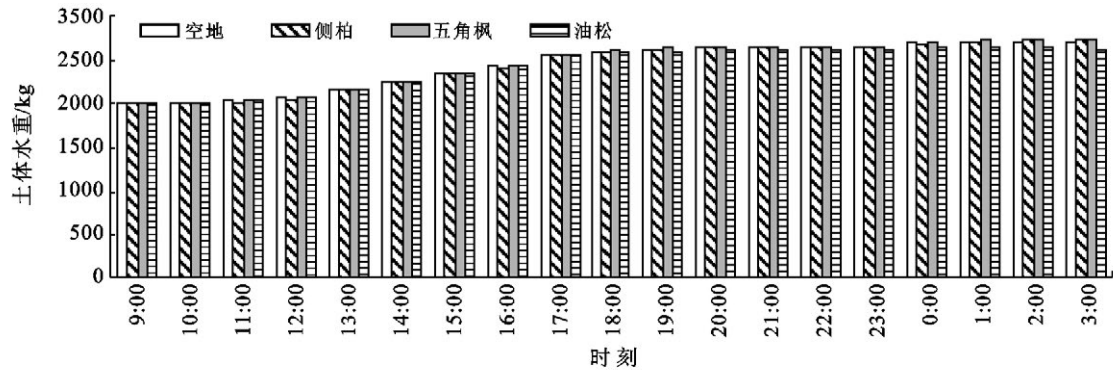


图 1 暴雨条件下不同树种蒸渗仪土体水重变化

## 2.2 土壤含水率

以侧柏为例,在持续降水过程中不同深度的土壤含水率有明显的增加(如图 2 所示)。在降雨前,各层中的土壤含水率保持稳定状态,0—60 cm 土层含水量相对较高,在 18.6%~20.8%;80 cm 土层含水量很低,约 13.16%;120 cm 土层含水量约 20.5%;160 cm 的约 16.3%。随着降雨的持续,各层土壤含水率先后出现一个猛增的过程,之后趋于平缓,降雨结束后,表层土壤的含水量逐渐减少,深层土壤的含水量保持平稳不变。

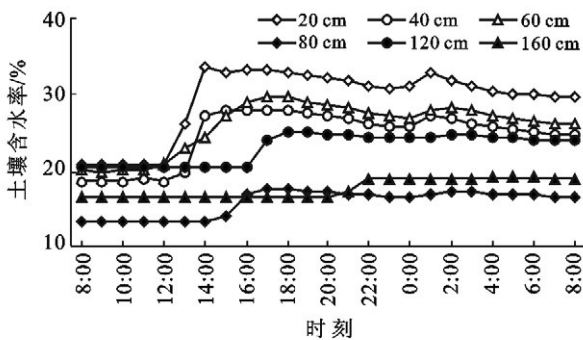


图 2 暴雨条件下侧柏不同土壤深度水分含量变化

各层单独来看,0—60 cm 土层在降雨开始的一段时间里土壤含水率迅速增加,0—20 cm 土层在 11:40—14:10 含水量从 20.81% 猛增至 33.84%,此时土壤水分未能充满土壤非毛管孔隙,土壤水分处于非饱和状态,渗透速率变化剧烈。在分子力及重力作用下,渗透水量首先供给土壤非毛管孔隙后形成一定的水压,使下渗峰面快速延伸<sup>[16-17]</sup>。而随后一直到降雨结束,渗透速率的变化过程较为平稳,土壤水分主要受毛管力的作用,土壤水分继续作不平稳的流动,直到全部毛管孔隙充满水分,此阶段主要是土壤毛管孔隙的水分充填过程。此时,土壤孔隙已经全部充满水分,水分主要在重力作用下作渗透运动,最后达到饱和而接近稳渗<sup>[18]</sup>。土壤含水率在 30% 上下浮动,

但变化不大。降雨结束后,土壤含水率迅速降低,从 30% 降至 25% 左右。60 cm 以下的深层土壤由于表层土壤吸水延迟了与水分接触的时间,因此,随着土层深度越深,出现土壤含水率增加的时间也越晚。进一步来看,表层土体的蓄水使得深层渗漏量少,因此深层水量猛增的幅度较小。160 cm 土层的土壤含水率只从 16.27% 增至 18.95%,增幅远小于表层土壤。降雨结束后,其土壤含水率一直保持稳定,没有下降的趋势,这表明在整个降雨过程中,深层土层没有达到饱和。

比较不同树种之间同一土层含水率可以看出,五角枫各层的含水率最高,油松的最低,其大小依次为:五角枫>空地>侧柏>油松。由于油松侧柏的土壤质地疏松,土壤容重较小,水分容易下渗,所有土壤含水率较低。

## 3 结论

(1) 暴雨条件下,蒸渗仪土体水重增加明显,增幅表现为先缓慢后加快再缓慢的趋势。其中五角枫土体水重增加最多,渗漏量最少;油松土体水重增加最少,渗漏量最多。其大小依次为五角枫>侧柏>空地>油松。表明五角枫蓄水能力最好,油松最差。

(2) 在持续降水过程中不同深度的土壤含水率有明显的增加。在降雨前,各层中的土壤含水率保持稳定状态,随着降雨的持续,各层土壤含水率先后出现一个猛增的过程,之后趋于平缓,降雨结束后,表层土壤的含水率逐渐降低,深层土壤的含水率保持平稳不变。

(3) 0—40 cm 土层的含水率猛增过程发生较早,变化快,增幅较大,0—20 cm 土层在 11:40—14:10 含水量从 20.81% 猛增至 33.84%。之后在 30% 上下浮动,但变化不大。降雨结束后,土壤含水率迅速降低,从 30% 降至 25% 左右。表明表层土体中的水分大部分渗漏到深层。

(4) 由于表层土壤吸水延迟了与水分接触的时间,60 cm 以下随着土层深度增加,土壤含水率增加

的时间也越晚。表层土体的蓄水使得深层渗漏量少,因此水量猛增的幅度也较小。160 cm 土层的土壤含水率只从 16.27% 增至 18.95%,增幅远小于表土。降雨结束后,其土壤含水率一直保持稳定,没有下降的趋势,这表明在整个降雨过程中,深层土层没有达到饱和状态。

(5) 对不同树种同一土层含水率比较可以看出,五角枫各层的含水率最高,油松的最低,其大小依次为五角枫>空地>侧柏>油松。主要是油松侧柏的土壤质地疏松,土壤容重较小,水分容易下渗,因此土壤含水率较低。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 耿佳,于法展,杨盼盼,等. 苏北山丘区典型性次生林下土壤蓄水能力分析[J]. 水土保持研究,2012,19(1):184-191.
- [2] 常允新,朱学顺,宋长斌,等. 煤矸石的危害与防治[J]. 中国地质灾害与防治学报,2001,12(2):39-43.
- [3] Shu Wensheng, Ye Zhihong, Lan Chongyu, et al. Acidification of lead-zinc mine tailings and its effected on heavy metal mobility [J]. Environment International, 2001,26(5/6):389-394.
- [4] 周建民,党志,司徒粤,等. 大宝山矿区周围土壤重金属污染分布特征研究[J]. 农业环境科学学报,2004,23(6):1172-1176.
- [5] 秦俊. 三里洞煤矸石废弃地景观规划[J]. 中国农学通报,2010,26(10):303-308.
- [6] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2005.
- [7] 王鹏程. 三峡库区森林植被水源涵养功能研究[D]. 北京:中国林业科学院,2007.
- [8] 中国可持续发展林业战略研究项目组. 中国可持续发展林业战略研究总论[M]. 北京:中国林业出版社,2002.
- [9] 陈步峰,林明献,周光益,等. 尖峰岭热带山地雨林生态系统的水文生态效应[J]. 生态学报,2000,20(3):423-429.
- [10] 邹旭恺,张强,叶殿秀. 长江三峡库区连阴雨的气候特征分析[J]. 灾害学,2005,20(1):84-89.
- [11] 耿佳,于法展,杨盼盼,等. 苏北山丘典型性次生林下土壤蓄水能力分析[J]. 水土保持研究,2012,19(1):184-191.
- [12] 柴世伟,温琰茂,张亚雷,等. 地积累指数法在土壤重金属污染评价中的应用[J]. 同济大学学报,2006,34(12):1657-1661.
- [13] 何其华,何水华,包维楷. 干旱半干旱区山地土壤水分动态变化[J]. 山地学报,2003,21(2):149-156.
- [14] Huisman J A, Sperl C, Bouten W, et al. Soil water content measurements at different scales: Accuracy of time domain reflect tometry and ground-penetrating radar[J]. Journal of Hydrology, 2001,245(3):48-581.
- [15] Campbell S G, Anderson Y R. Evaluation of simple transmission line oscillators for soil moisture measurement[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 1998,20:31-441.
- [16] 田积莹. 黄土地区土壤的物理性质与黄土成因的关系[J]. 中国科学院西北水保所集刊,1987(5):1-12.
- [17] 蒋定生,黄国俊,谢永生. 黄土高原土壤入渗能力野外测试[J]. 水土保持通报,1984,4(4):7-9.
- [18] 史宇. 北京山区主要优势树种森林生态系统生态水文过程分析[D]. 北京林业大学,2012.
- [19] 史晓楠,王全九,巨龙. 微咸水入渗条件下 Philip 模型与 Green—Ampt 模型参数的对比分析[J]. 土壤学报,2007,44(2):360-363.
- [10] 吴忠东,王全九. 利用一维代数模型分析微咸水入渗特征[J]. 农业工程学报,2007,23(6):21-26.
- [11] 吴忠东,王全九. 入渗水矿化度对土壤入渗特征和离子迁移特性的影响[J]. 农业机械学报,2010,41(7):64-75.
- [12] 郭太龙,迟道才,王全九,等. 入渗水矿化度对土壤水盐运移影响的试验研究[J]. 农业工程学报,2005,21(S):84-87.
- [13] 戴继航,张金龙,李婧男,等. 咸水淋洗改良滨海盐渍土的潜力研究[J]. 水土保持学报,2011,25(3):250-253.
- [14] 王全九,叶海燕,史晓楠,等. 土壤初始含水量对微咸水入渗特征影响[J]. 水土保持学报,2004,18(1):51-53.
- [15] 苏莹,王全九,叶海燕,等. 微咸水不同入渗水量土壤水盐运移特征研究[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(4):43-48.
- [16] 吴忠东,王全九. 微咸水入渗水量对土壤水盐运移特征的影响[J]. 农业机械学报,2010,41(11):67-71.
- [17] 吴忠东,王全九. 微咸水钠吸附比对土壤理化性质和入渗特性的影响研究[J]. 干旱地区农业研究,2008,26(1):231-236.
- [18] 郭凯,陈丽娜,张秀梅,等. 不同钠吸附比的咸水结冰融水入渗后滨海盐土的水盐分布[J]. 中国生态农业学报,2011,19(3):506-510.
- [19] 李卓,刘永红,杨勤. 土壤水分入渗影响机制研究综述[J]. 灌溉排水学报,2011,30(5):124-130.
- [20] 张振华,谢恒星,刘继龙,等. 气相阻力与土壤容重对一维垂直入渗影响的定量分析[J]. 水土保持学报,2005,19(4):36-39.
- [21] 付秋萍,王全九,樊军. Philip 公式确定吸渗率时间尺度研究[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(4):65-70.
- [22] 张振华,谢恒星,刘继龙,等. 基于图形特征的 Green—Ampt 入渗模型关键参数  $S_f$  和  $K_s$  的简化求解[J]. 土壤学报,2006,43(2):203-208.
- [23] 马娟娟,孙西欢,郭向红. 基于 Green—Ampt 模型的变水头积水入渗模型建立及其参数求解[J]. 水利学报,2010,41(1):61-67.

(上接第 48 页)