

文章编号: 1008-2786-(2011)6-701-06

# 北京山区林地土壤水分动态变化

王贺年, 余新晓\*, 李轶涛

(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:** 应用时域反射仪(TDR)土壤水分定位监测方法, 研究了北京山区 4 种主要林分(侧柏、油松、刺槐、栓皮栎)林地土壤水分动态。结果表明: 林地土壤水分变化既有明显的季节特征, 可以分为稳定期(11—4 月)、消耗期(5—6 月)、积累期(7—8 月)、消退期(9—10 月)4 个阶段。其垂直变化呈现出先增加后减少(或趋于平缓)的趋势。单次降雨后持续干旱条件下, 土壤水分及其损失率与雨后干旱天数均存在二次函数关系。无论是降水还是其后的持续干旱, 主要影响的都是表层土壤。

**关键词:** 北京山区; 林地; 土壤含水量; 动态变化

**中图分类号:** S152.7

**文献标识码:** A

土壤水分是土壤-植物-大气连续体的一个关键因子, 是土壤系统养分循环和流动的载体, 它不但直接影响土壤的特性和植物的生长, 而且间接影响植物分布以及生态系统小气候的变化<sup>[1]</sup>。森林土壤水分动态变化是研究林木、林分及流域森林植被水分关系和水量平衡的基础, 目前的研究主要集中在 3 个方面, 即土壤水分的季节变化、土壤水分的垂直变化以及土壤水分的有效性评价<sup>[2]</sup>。根据不同季节土壤水分的动态变化划分不同阶段或时期, 如土壤水分消耗期、土壤水分积累期、土壤水分消退期和土壤水分稳定期, 结合降水量综合分析土壤持水能力及时效性<sup>[3]</sup>, 研究不同区域范围内及不同植被条件下的土壤水分动态的特征, 对该地区水源涵养林的树种选择和结构的调控以及其水源涵养功能的强弱有着重要的参考意义<sup>[4]</sup>。

本研究以北京山区主要的 4 种林分(侧柏、油

松、刺槐和栓皮栎)为研究对象, 通过连续定位监测土壤含水量, 揭示了林地土壤水分时间及空间尺度上的分布规律, 为山区林地的土壤水分管理和林地的科学经营与保护提供参考。

## 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, 地理坐标: 40°03'46"N, 116°05'45"E。气候属于暖温带湿润季风型大陆性气候, 年均温 8.5 ~ 9.5℃, ≥ 10℃有效积温 3 385 ~ 4 210℃, 无霜期 150 d 左右, 多年平均降水量 600 mm, 6—9 月 4 个月间降雨总量占全年降雨量的 85% 以上。试验林地处于半阳坡(坡向东偏南 15°), 坡位下位, 海拔 145 m, 坡度 22°, 土壤为坡积黄土, 土层厚度 60 ~ 70 cm, 通气透水性较差。

**收稿日期** (Received date): 2011-09-28; **改回日期** (Accepted): 2011-11-03。

**基金项目** (Foundation item): 国家科技支撑项目“海河上游水源涵养林体系构建技术与示范”(2011BAD38B05); 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)。[National Science and Technology Support Project: “the system construction technology research and demonstration of water conservation forest in the upper reaches of the Haihe River” (No. 2011BAD38B05); National Forestry Industry Research Special Funds for Public Welfare Projects: “the regulation of water forming process of typical forest vegetation (No. 201104005).”]

**作者简介** (Biography): 王贺年(1989-), 男, 在读硕士研究生。主要研究方向: 水土保持。[Wang Henian (1989-), male, studying master, the major field is soil and water conservation. E-mail: wanghenian2006@126.com]

\* **通讯作者** (Correspondence author): 余新晓(1961-), 男, 博士, 教授。主要研究方向: 森林水分、水土保持等。[Yu Xinxiao (1961-), male, doctor, professor, the major fields are forestry hydrology, soil and water conservation, et al.] E-mail: yuxinxiao111@126.com

2 实验研究方法

2.1 样地基本情况

在 4 种林地种,分别设置 20 m×20 m 的标准地作为典型实验样地,对实验样地进行调查,结果如表 1 所示。

表 1 实验样地概况

Table 1 The overview of experimental plots

调查内容	侧柏	油松	刺槐	栓皮栎
林龄/a	53	25	43	48
海拔/m	137.5	135.2	139.3	130.6
坡度/°	21	20.5	17	15
坡向/°	南偏东 80	南偏东 24	南偏东 30	南偏东 86
郁闭度	0.8	0.8	0.7	0.6
枯落物厚度/cm	4.2	7	5	2.5
腐殖质层厚度/cm	0.5	0.5	1	2

2.2 土壤含水量的测定

土壤体积含水量的动态监测采用基于 TDR 时域反射技术的 TRIME-T3 型管状土壤含水量测试仪测定。每样地中心埋设 1 m 长的探管,埋管 3 个月开始测量,每天巡回测定 1 次。测定时,0~40 cm 探头每向下移动 5 cm 记录一次土壤体积含水率,40 cm 以下每 10 cm 测定一次,完整测量 2008-

08—2010-08 各样地土壤含水量。

2.3 土壤蓄水量测量<sup>[5-6]</sup>

土壤蓄水量采用分层计算法,计算公式为:

$$SWS_i = V_i \times h \quad SWS = \sum SWS_i$$

式中  $SWS_i$  为第  $i$  土层土壤蓄水量(mm); $SWS$  为土壤总蓄水量(mm); $V_i$  为第  $i$  土层土壤体积含水量(%); $h$  为分层厚度(mm)。

$$\text{土壤水分损失率} = (SWS_1 - SWS_n) / SWS_1$$

式中  $SWS_1$  表示降雨后第 1 天的土壤蓄水量, $SWS_n$  表示第  $n$  天后的土壤蓄水量。

3 结果分析

3.1 林地土壤水分月变化动态

根据研究区 2008-08—2010-09 各林地各月不同土壤层的土壤含水量,计算得各林地土壤蓄水量,得到各林地土壤水分月动态变化,如图 1 所示。

从图中可以看出,各林地在不同的月份土壤水分具有明显的季节特征,不同月份的土壤蓄水量月变化具有相似性。孔亮等人<sup>[4]</sup>研究黑龙江省东部灌木林地的土壤水分动态变化,将土壤水分的季节变化分为积累期、消耗期、稳定期、消退期 4 个阶段,而本研究中 26 个月的土壤蓄水量月变化动态显示,也可以大致分为 4 个阶段。

稳定期(11—4 月):该时段土壤水分的损耗主要是由于土壤蒸发。10 月以后随着气温降低、植物或枯死或休眠,植被蒸腾和土壤蒸发降低,再加上降

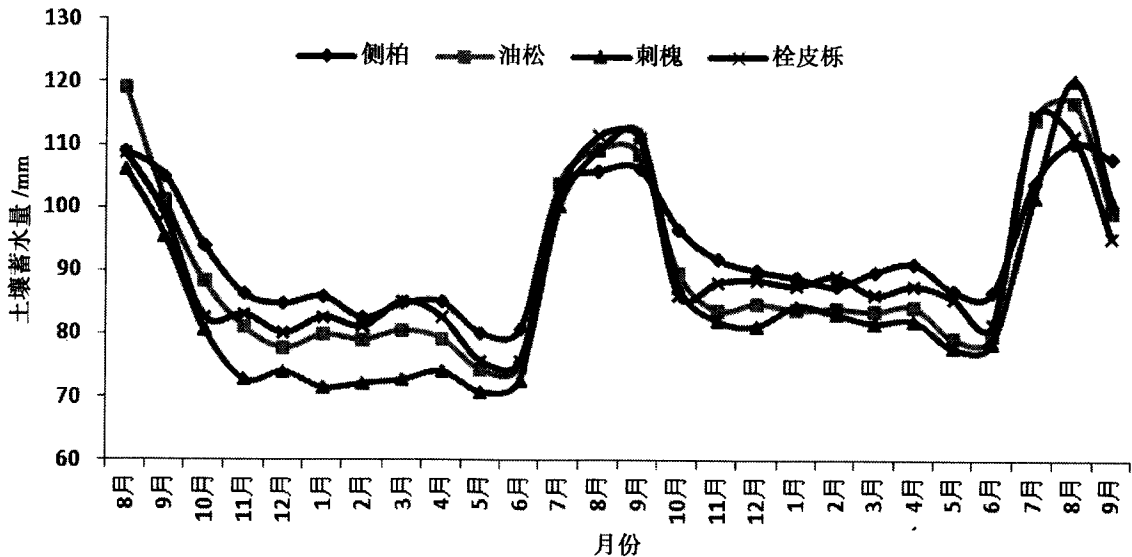


图 1 林地土壤蓄水量月变化图(2008-08—2010-09)

Fig. 1 Monthly variation of woodland soil water storage from August 2008 to September 2010

水的少量补充,使得该时段的土壤含水量处于平稳状态。

消耗期(5—6月):进入5月以后,气温开始上升,植被蒸腾和土壤蒸发开始加强,再加上植被抽芽展叶的生理需要,使得土壤水分损失较大,而该时段的降水却较小,使得土壤水分消耗大于补给,土壤水分不断下降,6月土壤水分达到最低。

积累期(7—8月):随着7、8月的到来,气温开始大幅升高,土壤蒸发和植被蒸腾也开始加强,但降水量也主要集中于这两个月(73.23%),对土壤水分有较大的补给,使得土壤水分得到一定的积累。

消退期(9—10月):进入9月以后,气温虽然开始降低,但还处于较高的阶段,植被叶片也尚未凋落,该时期的土壤蒸发和植被蒸腾还较高,而降水量却开始降低,使得土壤水分相由7、8月的积累阶段而进入消退期。

就4种林分看,积累期和消退期各林分相差不大,而平稳期和消耗期4种林分土壤水分表现出明显的差异:侧柏>栓皮栎>油松>刺槐,这可能是由于7—9月为雨季,这时段降雨对土壤水分的影响弥补了各林分之间的差异,而其他月份处于旱季,降水少,植物生理活动较弱,土壤蒸发成为影响土壤水分的重要因素,侧柏和油松为常绿树种,在该时期仍有林冠层对林下土壤遮阴,而栓皮栎有较厚的枯落物层,均能较好的减少土壤蒸发,因此刺槐林地土壤水分要低于其他三种林分。

3.2 林地土壤水分垂直变化动态

研究期内各土壤层之间土壤含水量差异显著。根据植物生长的季节变化,粗略地分生长季和非生长季两个阶段来研究土壤水分的垂直变化,对不同土层深度整个阶段的平均土壤水分进行分析(图2),结果表明:1. 非生长季(11—5月),土壤水分损失以土壤蒸发为主,土壤水分补给大于消耗;2. 生长季(6—10月),土壤水分损失以植被蒸腾为主,土壤水分消耗大于补给。

从图2中可以看出,在两个阶段各林地土壤含水量的垂直变化也具有相似性,其中侧柏、刺槐、栓皮栎林分随着土层深度的增加,土壤含水量表现出先增加后减少的变化趋势,油松林也表现出先增加后缓慢增加。土壤含水量是由土壤水分的损失和降水补给共同决定的,表层土壤可以比深层土壤接受到更多的降水补给,但同时表层土壤的土壤水分也更容易在蒸散作用下损失<sup>[7-8]</sup>,因此,中层土壤的含水量反而是最高的,土壤含水量的垂直变化表现出先增加后减少的趋势。

从表2看出,林地各层土壤含水量的变异系数(标准差系数)随着土层深度的增加而减小,这主要是由于蒸散作用的影响减小的缘故。就4种林地土壤含水量的高变异系数来看,侧柏林主要在0~40cm土层,油松、栓皮栎林在0~60cm,而刺槐林则是整个土层的变异系数均较高,这可能与各树种根系分布有关,侧柏根系正是集中分布于0~40cm,油松、栓皮栎根系集中分布0~60cm,而刺槐根系分布则比较均匀,在0~120cm均匀分布<sup>[9]</sup>。

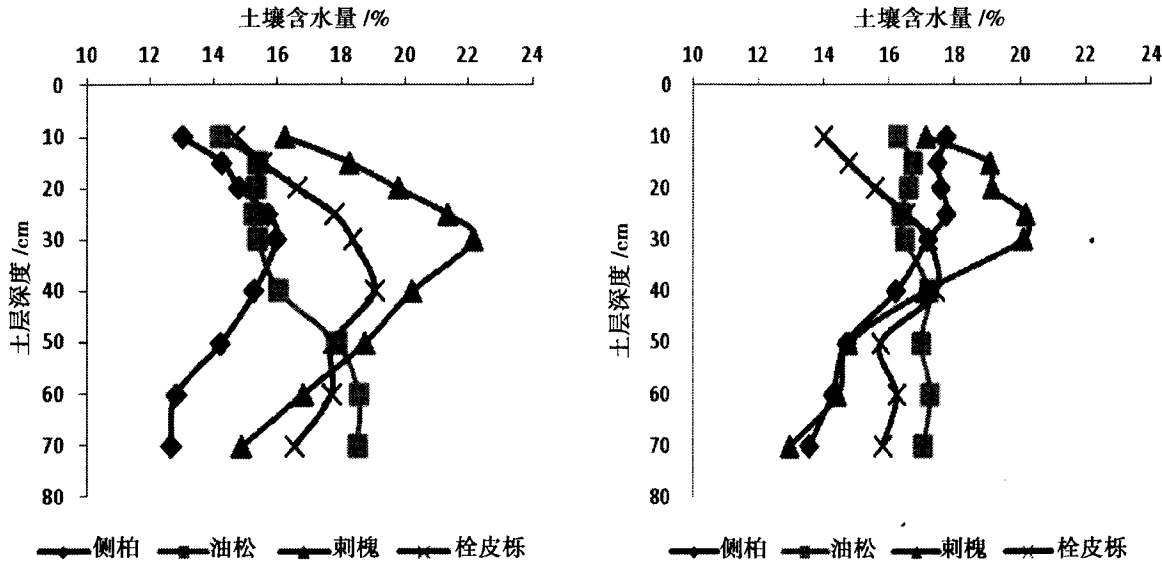


图2 林地不同土层平均土壤水分变化:非生长季(左)/生长季(右)

Fig.2 Profile changes of woodland soil water content: non-growing season (left)/growing season (right)

表 2 林地各层土壤含水量变异系数

Table 2 Coefficient of variation of woodland soil water content in different layers

测定深度 /cm	侧柏	刺槐	油松	栓皮栎	平均 CV
10	0.303 0	0.292 1	0.360 2	0.357 5	0.328 2
15	0.249 7	0.268 3	0.343 4	0.328 6	0.297 5
20	0.229 5	0.257 1	0.314 4	0.302 6	0.275 9
25	0.227 0	0.249 0	0.275 7	0.285 1	0.259 2
30	0.211 6	0.274 2	0.241 6	0.252 4	0.244 9
35	0.202 9	0.280 5	0.218 0	0.236 4	0.234 5
40	0.164 7	0.288 9	0.208 4	0.216 2	0.219 5
50	0.078 2	0.268 6	0.173 0	0.201 2	0.180 3
60	0.024 8	0.221 4	0.133 1	0.127 9	0.126 8
>60	0.022 6	0.188 7	0.111 3	0.101 6	0.106 1

### 3.3 雨季单次降雨后不同时段土壤水分变化

选取一次降雨研究降雨后土壤蓄水量时间和空间尺度变化。降雨时间为 2010-08-19—21, 降雨量 63.4 mm, 雨前 10 d (08-09—18) 和雨后 10 d (08-22—31) 天气晴朗, 其中土壤含水量测定时间为 2010-08-18—31。

#### 3.3.1 雨季单次降雨对土壤水分时间变化的影响

单次降雨后林地土壤含水量与雨后天数呈现显著二次函数关系 ( $R^2$  均大于 0.94) (图 3), 随着雨后天数的增加, 均表现出先迅速下降然后趋于平缓的趋势。林地土壤水分损失率与雨后天数也呈现显著的二次函数关系 ( $R^2$  均大于 0.96), 说明雨后林

地蒸散引起的土壤水分的损失也表现出先迅速增加后趋于平缓的趋势, 就 4 种林分而言则为栓皮栎 > 油松 > 侧柏 > 刺槐, 这与 4 树种的液流速率有关, 通过利用热扩散式液流计对雨后 10 min 内 4 树种的液流速率的观测, 发现栓皮栎 (0.78 cm/min) > 刺槐 (0.47 cm/min) > 油松 (0.33 cm/min) > 侧柏 (0.16 cm/min), 刺槐液流速率高, 但土壤水分损失率却较低, 这可能是由于刺槐林地雨后土壤含水量明显高于其他树种, 虽然每天消耗的土壤水分很多, 但相比雨后土壤水分初值, 比例就要小于其他树种了。

#### 3.3.2 雨季单次降雨对土壤水分空间变化的影响

单次降雨后持续干旱条件下, 林地各层土壤含水量均开始降低, 其变异系数 (标准差系数) 也随着土层深度的增加呈递减变化 (表 3), 其中 0~40 cm 土层的变化最为剧烈; 通过降雨前一天和降雨后第一天的土壤含水量的对比得出降雨对林地土壤水分的贡献率, 可以看出 0~40 cm 土层土壤水分的增加占整个土壤水分增加的绝大多数 (侧柏 100%, 油松 99.68%, 刺槐 83.60%, 栓皮栎 85.10%), 持续干旱 10 d 后, 0~40 cm 土层土壤水分的减少也占整个土壤水分减少的绝大多数 (侧柏 100%, 油松 95.76%, 侧柏 92.49%, 栓皮栎 88.27%), 这都说明无论是降水还是持续干旱主要影响的都是表层土壤 (主要是 0~40 cm 土层) 的水分。就 4 种林分雨后持续干旱条件下土壤含水量的变异系数来看, 表现出栓皮栎 > 油松 > 刺槐 > 侧柏。

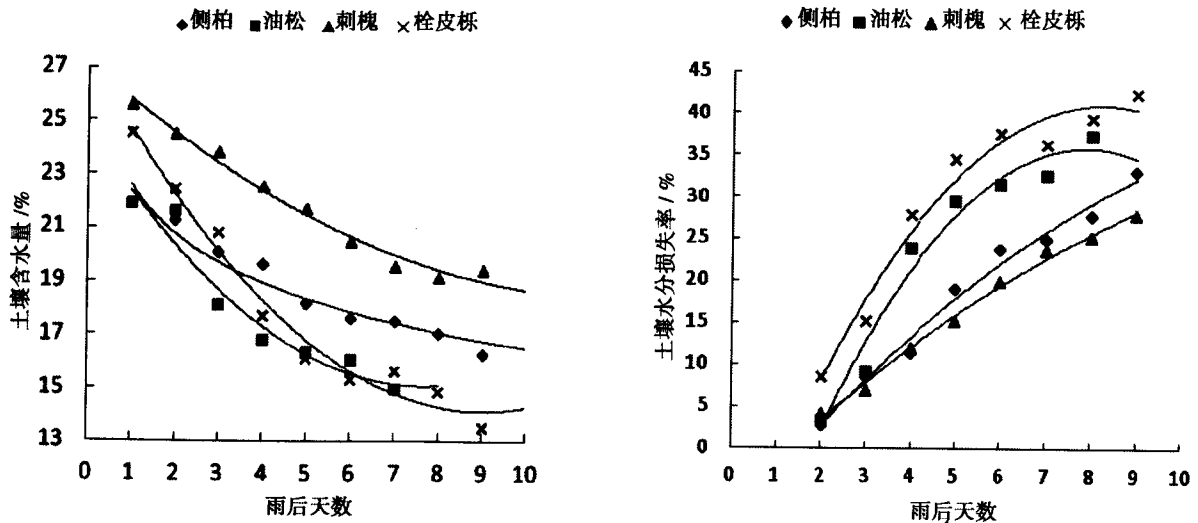


图 3 雨后林地土壤水分及损失率变化

Fig. 3 Variation and loss rate of woodland soil water storage after rain

表3 雨后10 d林地各层土壤含水量变异系数  
Table 3 Coefficient of variation of woodland soil water content  
in days after rain

深度/cm	侧柏	油松	刺槐	栓皮栎
10	0.310 0	0.316 5	0.204 0	0.348 8
15	0.248 5	0.288 9	0.186 4	0.324 9
20	0.183 6	0.259 8	0.160 7	0.281 0
25	0.117 1	0.233 2	0.146 7	0.263 8
30	0.060 3	0.215 1	0.137 4	0.227 1
35	0.048 1	0.188 2	0.127 1	0.198 9
40	0.074 8	0.183 6	0.138 7	0.166 1
50	0.020 6	0.123 7	0.110 6	0.137 3
60	0.007 7	0.057 6	0.067 6	0.072 0
>60	0.007 8	0.042 1	0.058 1	0.026 4
平均	0.107 9	0.190 9	0.133 7	0.204 6

## 4 结论与讨论

大量研究认为,坡向、坡位和土地利用类型是影响土壤水分分布格局最为重要的3个因子,降雨量在很大程度上控制了土壤水分的大小<sup>[10-12]</sup>,受植被生长期耗水和降水特征的影响,所有土地利用类型都有一个共同的特点,即土壤水分在整个生长期表现为衰减型<sup>[11]</sup>。本研究中,实验林地坡向、坡位相似,研究结果表明,侧柏、油松、刺槐、栓皮栎4种林分土壤含水量差异不大。在本文研究时段内,生长期林分土壤含水量表现出先增加后减少的变化趋势,并非单纯的降低型,这可能由于7、8月降水量较大,占整个生长季降水量的74%,导致这两个月的土壤水分高于其他月份。

赵忠等人<sup>[9]</sup>通过对各树种根系密度在不同深度分布的分析得出了不同林分根系的空间分布。他指出,油松和栓皮栎根系在0~110 cm土层均由分布,且主要分布在0~60 cm;侧柏根系分布仅局限在0~90 cm土层中,并集中于0~40 cm土层中;刺槐根系分布最深,可达120 cm,且分布相对均匀。而本研究中不论是整个研究期各土层深度土壤含水量变异系数还是单场降雨连续干旱条件下各土层深度的变异系数,各林分变异系数较大的土层深度均与其根系集中分布的土层深度相对应,这说明植被根系的空间分布对土壤水分具有重要影响。

本研究的结论如下:

1. 林地土壤水分变化具有明显的季节特征,可

以分为稳定期(11—4月)、消耗期(5—6月)、积累期(7—8月)、消退期(9—10月)4个阶段。

2. 林地土壤水分的垂直变化呈现出先增加后减少(或趋于平缓)的趋势,其变异系数随着土层深度的增加而减小,变化剧烈的土层深度可能与树种的根系分布有关。

3. 单次降雨后持续干旱条件下,土壤含水量与雨后天数呈二次函数的关系,呈现先迅速降低后趋于平缓的趋势,与黄志刚<sup>[6]</sup>的研究结果不同。他的结果表明土壤含水量与雨后天数呈明显的线性关系,而本研究认为二次曲线更为合理。土壤水分损失率与雨后天数也呈二次函数关系。

4. 无论是降水还是其后的持续干旱,主要影响的都是表层土壤,在研究区北京山区林地主要为0~40 cm的土层。

## 参考文献(References)

- [1] He Qihua, He Shuihua, Bao Weikai. Research on dynamics of soil moisture in arid and semiarid mountainous areas[J]. Journal of Mountain Science, 2003, 21(2): 149-156 [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]
- [2] Che Kejun, Fu Hui. The structure and function of the water conservation forest ecosystems in Qilian Mountains[J]. Scientia Silvae Sinicae, 1998, 34(5): 29-37 [车克钧,付辉恩.祁连山水源林生态系统结构与功能的研究[J].林业科学, 1998, 34(5): 29-37]
- [3] Yuan Hhuanying, Xu Ximing. Soil Water Dynamics of Plantations in Sub-arid Gully and Hilly Regions of the Loess Plateau[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2004, 19(2): 5-8 [原焕英,许喜明.黄土高原半干旱丘陵沟壑区人工林土壤水分动态研究[J].西北林学院学报, 2004, 19(2): 5-8]
- [4] Kong Liang, Meng Kuanhong, Chen Yu, et al. Soil Water Dynamic of Several Species of Shrubs in East Mountainous Areas of Heilongjiang Province[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2005, 33(5): 44-46 [孔亮,蒙宽宏,陈宇,等.黑龙江省东部山地灌木林土壤水分动态变化[J].东北林业大学学报, 2005, 33(5): 44-46]
- [5] Duan Zhenghu, Xiao Honglang, Song Yaoxuan, et al. Soil water variation in different terrains and influence on plant in Lanzhou suburb on western Loess Plateau[J]. Journal of Desert Research, 2006, 26(4): 522-526 [段争虎,肖洪浪,宋耀选,等.黄土高原西部兰州市郊地貌驱动的土壤水分变化及对植物的影响分析[J].中国沙漠, 2006, 26(4): 522-526]
- [6] Huang Zhigang, OUYANG Zhiyun, Li Fengrui, et al. Spatial and temporal dynamics in soil water storage under different use types of sloping fields: a case study in a highland region of southern China[J]. Acta Pedographica Sinica, 2009, 29(6): 3137-3146 [黄志刚,欧阳志云,李锋瑞,等.南方丘陵区不同坡地利用方式土壤

- 水分动态[J]. 生态学报, 2009, 29(6): 3137 - 3146]
- [7] Wang Jun, Fu Bojie. Spatiotemporal variability of soil moisture in small catchment on Loess plateau semivariograms[J]. Acta Pedologica Sinica, 2000, 55(1): 84 - 91 [王军, 傅伯杰. 黄土丘陵小流域土地利用结构对土壤水分时空分布的影响[J]. 地理学报, 2000, 55(1): 84 - 91]
- [8] Wang Mengben, Li Hongjian. Water ecology of the Populus simonil plantation in northwestern Shanxi[J]. Acta Ecological Sinica, 1996, 16(3): 232 - 237 [王孟本, 李洪建. 晋西北小叶杨林水分生态的研究[J]. 生态学报, 1996, 16(3): 232 - 237]
- [9] Zhao Zhong, Li Peng, Wang Naijiang. Distribution patterns of root systems of main planting tree species in Weibei Loess Plateau[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(1): 37 - 39 [赵忠, 李鹏, 王乃江. 渭北黄土高原主要造林树种根系分布特征的研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(1): 37 - 39]
- [10] Le - Roux X, Bariac T, Mariotti A. Spatial partitioning of the soil water resource between grass and shrub components in a West African humid savanna[J]. Oecologia, 1995, 104: 147 - 155
- [11] Whitaker M P. Small - scale spatial variability of soil moisture and hydraulic conductivity in a semi-arid rangeland soil in Arizona [D]. Tucson: The University of Arizona, 1993
- [12] Gomez P A, Alvarez R J, Albaladejo J, et al. Spatial patterns and temporal stability of soil moisture across a range of scales in a semi arid environment[J]. Hydrological Processes, 2000, 14: 1 261 - 1 277

## Soil Water Dynamics of Four Advantage Forest in Beijing Mountain Area

WANG Henian, YÜ Xinxiao, LI Yitao

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

**Abstract:** The soil water dynamics of four main mountain forests in Beijing (*Platycladus*, *Pinus tabulaeformis*, *Robinia pseudoacacia*, and *Quercus variabilis*) was studied by using Time Domain Reflectometry (TDR). The results showed that: There was a significant variation in soil water storage; it can be divided into stable period (November - April), consumed period (May - June), accumulated period (July - August), and subsided period (September - October). After rain and persistent drought conditions, soil water and its loss rate had a quadratic function with drought duration days. Both precipitation and subsequent continuing drought most effected surface soil.

**Key words:** Beijing mountain area; forest; soil water; dynamics

作者: 王贺年, 余新晓, 李轶涛, WANG Henian, Y(U) Xinxiao, LI Yitao  
作者单位: 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  
刊名: 山地学报 ISTIC PKU  
英文刊名: Journal of Mountain Science  
年, 卷(期): 2011, 29(6)

## 参考文献(12条)

1. 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[期刊论文]-山地学报 2003(02)
2. 车克钧;付辉恩 祁连山水源林生态系统结构与功能的研究[期刊论文]-林业科学 1998(05)
3. 原焕英;许喜明 黄土高原半干旱丘陵沟壑区人工林土壤水分动态研究[期刊论文]-西北林学院学报 2004(02)
4. 孔亮;蒙宽宏;陈宇 黑龙江省东部山地灌木林土壤水分动态变化[期刊论文]-东北林业大学学报 2005(05)
5. 段争虎;肖洪浪;宋耀选 黄土高原西部兰州市郊地貌驱动的土壤水分变化及对植物的影响分析[期刊论文]-中国沙漠 2006(04)
6. 黄志刚;欧阳志云;李锋瑞 南方丘陵区不同坡地利用方式土壤水分动态[期刊论文]-生态学报 2009(06)
7. 王军;傅伯杰 黄土丘陵小流域土地利用结构对土壤水分时空分布的影响[期刊论文]-地理学报 2000(01)
8. 王孟本;李洪建 晋西北小叶杨林水分生态的研究 1996(03)
9. 赵忠;李鹏;王乃江 渭北黄土高原主要造林树种根系分布特征的研究[期刊论文]-应用生态学报 2000(01)
10. Le-Roux X;Bariac T;Mariotti A Spatial partitioning of the soil water resource between grass and shrub components in a West African humid savanna 1995
11. Whitaker M P Small-scale spatial variability of soil moisture and hydraulic conductivity in a semi-arid rangeland soil in Arizona 1993
12. Gomez P A;Alvarez R J;Albaladejo J Spatial patterns and temporal stability of soil moisture across a range of scales in a semi arid environment 2000

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_sdx201106009.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_sdx201106009.aspx)