

北京山区林地土壤水分时间序列分析

王贺年 余新晓

(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: 采用时间序列分析法,对北京山区 4 种主要林分类型 2010—03—10 的土壤含水量与降水量之间的相关关系进行了研究。结果表明:降水序列无明显自相关性,而土壤含水量则具有高度自相关性,其中 20 ~ 40 cm 土层自相关性最大;降水与土壤含水量在时间上有显著的相关性,油松林地和刺槐林地受当月降水的影响最大,侧柏林地和栓皮栎林地则是受前一个月降水量的影响最大;不同土层土壤含水量与降水的相关性不同,说明不同土层受降水的影响有时间上的不同。

关键词: 北京山区;林地;土壤含水量;时间序列分析

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

水是生命之源,是支撑人类社会不可缺少和替代的自然资源。森林土壤水分的动态变化是研究坡面、小流域、大流域等各种尺度上植被与水的关系以及水量平衡的关键。降水是林地土壤水分的最重要的来源,降水量的变化直接导致林地土壤含水量的动态变化^[1],常宗强等人^[2]的研究结果表明,生长季内林地的降水量及其分布是影响当年林地土壤水分变化趋势的主要因素。时间序列分析法是研究长时间序列的土壤水分动态变化的有效方法^[1-4],Herbel 和 Gile^[5]采用时间序列分析法对干旱牧区的水分变化进行研究,结果表明土壤含水量与降水量的相关关系十分显著,石辉等人^[6]研究了黄土丘陵区油松(*Pinus tabulaeformis*)林地的土壤水分动态变化,发现林地土壤贮水量与降水时间序列之间却存在一定的滞后时间距,20 cm 以上土层的贮水量主要受当月降水量的影响,而 20 cm 以下土层的贮水量则是受上个月和当月的降水量的影响。

侧柏、油松、刺槐和栓皮栎是北京山区主要林分,本研究采用时间序列分析方法,研究了 4 种林分内降水与林地土壤水分的相关关系,目的在于进一步了解林地土壤水分的动态变化特征及其森林水文效应,为北京山区林地经营与恢复提供理论依据。

1 研究区概况

试验地位于北京林业大学妙峰山鹫峰林场,地理坐标:39°54'N,116°28'E;气候属于华北大陆性季风气候,年平均气温 12.2℃,最高气温 39.7℃,最低气温 19.6℃,年降水量近 700 mm,多集中在 7—8 月,6—9 月 4 个月降雨总量占全年降雨量的 80% 以上,无霜期 180 d 左右。试验林地为半阳坡(坡向东偏南 17°),下坡位,海拔 146 m,坡度 21°,土壤类型为黄土,土层厚度 65 ~ 75 cm,透水透气性较差。^[7]

收稿日期(Received date): 2011-08-11; 改回日期(Accepted): 2012-02-12。

基金项目(Foundation item): 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与示范”。[National Forestry Industry Research Special Funds for Public Welfare Projects, “the regulation of water forming process of typical forest vegetation”(No. 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. 2011BAD381305).]

作者简介(Biography): 王贺年(1989 年生),男,在读研究生。主要研究方向:水土保持。[Wang Henian(1989-), male, studying master, the major field is soil and water conservation.] Tel: 15201442358 E-mail: wanghenian2006@126.com

* 通讯作者(Corresponding author): 余新晓,教授,博士生导师。主要研究方向:森林水文、水土保持等。[Yu Xinxiao(1961-), male, doctor, professor, the major fields are forestry hydrology, soil and water conservation.] Tel: 010-62338846 E-mail: yuxinxiao111@126.com

2 实验研究方法

2.1 土壤含水量的测定

采用 TRIME-T3 型管状土壤含水量测定仪对林地土壤体积含水量进行动态监测。该仪器基于 TDR 时域反射技术,在森林水文领域有广泛应用。样地中心位置埋设 1 m 长的探管,为减少埋管的扰动影响,3 个月后才开始测量,各样地均巡回测定 1 次,测量时探头每向下移动 10 cm 记录一次,完整测量 2010-03—10 各样地土壤含水量。

2.2 降水量的测定

采用小型气象站(Dynamet-1K,美国,Dynamax 公司)同步测定降水量。

2.3 时间序列分析法

对于任意两个时间序列,如果在时间上同步,则可以用协方差相关系数来描述它们的相关性。对于两个时间间隔相同的平稳时间序列 X 和 Y ,其协相关系数可以用下式计算^[7,8]

$$\rho_{xy} = \frac{S_{xy}(h)}{\sqrt{S_{xx}(0) \cdot S_{yy}(0)}} = \frac{S_{xy}(h)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (1)$$

式中 ρ_{xy} 为序列 X 和 Y 的协相关系数; $S_{xy}(h)$ 为序列 X 和 Y 的协方差; $S_{xx}(0)$ 、 $S_{yy}(0)$ 为序列 X 和 Y 的方差; σ_x 、 σ_y 分别为序列 X 和 Y 的标准差; h 为滞后时间。

对于具有 n 对观测数据的 2 个时间序列,当时间差为 h 时,其协方差可由(2)式算得

$$S_{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-h} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad h=0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

式中 \bar{x} 、 \bar{y} 分别是时间序列 x 、 y 样本的平均值。

将(1)式和(2)式相结合,即可计算出在滞后时间为 h 时的 2 个序列的协相关系数。根据协相关系数的大小即可估计其协相关程度。

3 结果分析

3.1 降水与土壤含水量自相关分析

分别对 4 种样地类型 2010-03—10 的降水量及土壤含水量进行自相关分析,结果表明降水序列无显著自相关性($\rho=0.172$),而土壤含水量则具有高度自相关性,这说明各月降水序列之间是相互独立的,前期的降水量对后期的降水量大小没有太大的影响;而土壤含水量则是自相关的,前期土壤含水量的多少对后期土壤含水量有重要影响。

从表 1 中可以看出,4 种林地类型土壤含水量自相关系数均随滞后时段的增加呈递减趋势,滞后 1、2 个时段情况下均表现显著的自相关性($\rho_{0.01}=0.430$),滞后一个时段时的自相关系数最大,说明 4 种林地类型当月土壤水分含量受前一个月的土壤含水量的影响最大,原因可能是由于林地土壤的整体吸水保水性能较好^[9-10],而土壤中水分的非饱和运动则是一个长期、缓慢的过程^[5],这导致了前期的土壤含水量的大小在一定时间内较大的影响后期土壤水分的含量。就 4 种林分类型来看,侧柏林和刺槐林的自相关系数要高于油松林和栓皮栎林,说明侧柏和刺槐林地能更好地保持土壤水分。

通过对林地不同土层深度土壤含水量自相关分析,结果(表 2)显示各土层深度土壤含水量也表现出微弱的自相关关系($\rho_{0.05}=0.335$),4 种林地均表现出表层层土壤(0~10 cm)含水量的自相关系数要低于其他土层,这可能是因为 0~10 cm 土层为表层土,对外界因素的影响反应强烈,是蒸散发最为活跃的土壤层次,在降水之后,该层的土壤水分经过蒸腾和蒸发后会有大量损失,土层中的水分剩余较少,因此对后期的土壤含水量的影响不明显^[1];而 20~40 cm 土层的自相关系数最大,这与石辉等人^[7]的结

表 1 各林地类型土壤含水量自相关系数

Table 1 The auto-interrelation coefficients of soil moisture content in different woodlands

样地类型	滞后时段(1 个月)						
	$h=1$	$h=2$	$h=3$	$h=4$	$h=5$	$h=6$	$h=7$
侧柏	0.780	0.502	0.340	0.271	0.251	0.157	0.003
油松	0.693	0.456	0.405	0.369	0.251	0.108	0.007
刺槐	0.762	0.541	0.511	0.478	0.339	0.148	0.060
栓皮栎	0.692	0.497	0.497	0.430	0.267	0.059	0.002

表2 各林地不同土层深度土壤含水量自相关系数

Table 2 The auto-interrelation coefficients of soil moisture content in different layers

样地类型	土层深度/cm						
	10	20	30	40	50	60	70
侧柏	0.408	0.696	0.539	0.391	0.392	0.368	0.395
油松	0.387	0.477	0.492	0.464	0.432	0.359	0.363
刺槐	0.276	0.376	0.402	0.336	0.364	0.388	0.394
栓皮栎	0.277	0.460	0.520	0.443	0.447	0.434	0.406

论相似,原因是深层土壤的贮水量不仅受表层土壤现有的贮水量的影响,还与表层土壤前期的贮水量有关^[1]。

3.2 降水与土壤含水量协相关分析

对2010-03—10的降水及土壤含水量序列进行协相关分析,结果(表3)表明,各林地降水与土壤含水量有极显著的正相关关系($\rho_{0.01}=0.428$),滞后时段为 $h=0$ 和 $h=1$,这说明林地土壤含水量主要受当月和前一个月的降水的影响。就4种林分来看,油松和刺槐林在滞后时段 $h=0$ 时的相关系数最大,侧柏和栓皮栎林相关系数最大值则出现在滞后时段 $h=1$ 时,这说明对于油松和刺槐林来说,当月的降水量对土壤含水量的影响最大,而对于侧柏和栓皮栎林,则是前一个月的降水最大的影响当月的土壤含水量。

表3 各林地降水与土壤含水量协相关系数

Table 3 The auto-interrelation coefficients between precipitation and soil moisture content in different woodlands

样地类型	滞后时段(1个月)			
	$h=0$	$h=1$	$h=2$	$h=3$
侧柏	0.756	0.923	0.137	0.053
油松	0.905	0.577	0.096	-0.074
刺槐	0.843	0.486	0.286	-0.138
栓皮栎	0.603	0.809	0.126	0.063

将土层分为0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm和60 cm以下4个层次,分别对土壤含水量与降水序列进行协相关分析,结果(表4)表明,4种林地类型各土层土壤含水量与降水均表现出极显著的相关关系。其中0~20 cm土层在 $h=0$ 时与降水显著相关,而滞后1个时段后则相关不再显著,仅有略微的相关趋势,这说明该土层的土壤含水量主要受当月降水的影响,前一个月的降水对其影响不明显;20~40 cm土层与降水也呈显著相关,滞后1个时间段

表4 4种林地不同土层含水量与降雨协相关系数

Table 3 The auto-interrelation coefficients between precipitation and soil moisture content in different layers

样地类型	土层深度/cm	滞后时段(1个月)			
		$h=0$	$h=1$	$h=2$	$h=3$
侧柏	00~20	0.828	0.388	-0.030	-0.093
	20~40	0.477	0.853	0.340	0.061
	40~60	0.425	0.874	0.676	0.208
	<60	0.484	0.895	0.710	0.187
油松	00~20	0.799	0.271	-0.096	-0.151
	20~40	0.881	0.374	-0.058	-0.144
	40~60	0.854	0.569	0.109	-0.067
	<60	0.402	0.896	0.610	0.242
刺槐	00~20	0.790	0.169	-0.129	-0.154
	20~40	0.841	0.111	-0.154	-0.172
	40~60	0.763	0.642	0.222	0.008
	<60	0.598	0.874	0.325	0.141
栓皮栎	00~20	0.817	0.397	0.004	-0.104
	20~40	0.687	0.909	0.223	0.105
	40~60	0.525	0.896	0.446	0.126
	<60	0.400	0.586	0.445	0.164

后,侧柏与栓皮栎相关系数仍较大,说明这2种林分类型前一个月的降水对该土层仍有影响,而油松和刺槐则相关系数较小,相关不明显;40~60 cm土层各林地均表现出滞后0、1个时间段相关显著,说明当月和前一个月的降水对该土层有较大影响,也说明当月降水可以补充到40~60 cm土层的深度,值得一提的是侧柏林地该土层在滞后2个时间段后相关系数仍较高,这可能是由于侧柏根系主要集中于0~40 cm^[11],该土层根系吸水较少,所以前段时间的土壤水分对后期影响较大;60 cm以下各林地土层含水量与降水相关系数不大,而滞后1~2个时间段后则相关较显著,这可能是由于深层土壤根系分

布较少,受外界影响较小,因此当月土壤含水量大小主要受前期水分储存的影响,而水分在土壤中的非饱和运动是一个缓慢的过程^[5],因此当月降水对深层土壤当月的含水量影响很有限。

4 结论

以北京山区4种主要林地为研究对象,应用时间序列分析法对林地土壤的动态变化进行研究,结果表明:

1. 2010-03—10 降水序列无显著的自相关性,而土壤含水量则具有高度自相关性;林地土壤含水量受前一个月土壤含水量大小的影响最大,侧柏林地刺槐林地土壤含水量的自相关性要高于油松林地和栓皮栎林地;就不同深度土层而言,0~10 cm 土层含水量自相关性较小,20~40 cm 土层含水量的自相关性最大。

2. 降水与土壤含水量在时间上有显著的相关性,土壤含水量大小主要受当月和前一个月的降水量的影响,其中,油松林地和刺槐林地受当月降水的影响最大,侧柏林地和栓皮栎林地则是受前一个月降水量的影响最大。

3. 就不同土层土壤含水量与降水的相关性来说,不同土层受降水的影响有时间上的先后。0~20 cm 土层主要受当月降水的影响;20~40 cm 土层侧柏林地和栓皮栎林地主要受当月降水和前一个月的降水的影响,油松林地和刺槐林地则主要是受当月降水的影响;40~60 cm 土层主要受当月降水和前一个月的降水的影响;<60 cm 主要受前一个和两个月的降水的影响。值得一提的是侧柏林地40~60 cm 土层在滞后2个时间段后相关系数仍较高,这可能是由于侧柏根系主要集中于0~40 cm^[11],该土层根系吸水较少。

5 讨论

1995年原林业部制定的《中国21世纪议程林业行动计划》明确指出:走林业可持续发展的道路,是中国可持续发展的必然选择。土壤水分是植物生命维持的源泉,对土壤水分的研究为林业可持续发展有至关重要的作用。北京山区是海河上游水源区的重要组成部分,林地的可持续发展有重要的研究价值。本文的研究指出,油松林地和刺槐林地受当

月降水的影响最大,侧柏林地和栓皮栎林地则是受前一个月降水量的影响最大,这对不同林地的经营管理有重要的指导意义;而由于不同树种的根系深度不同,其主要吸收土壤水的土壤层次也不同,因此,对不同层次土壤含水量与降水的相关性的分析对于林分的管护甚至于林地的可持续发展也有重要的意义。

参考文献(References)

- [1] Liu Yuanqiu, Wang Hongsheng, Guo Shengmao, et al. Relationships of soil moisture content with precipitation and evaporation in rehabilitated forests in degraded limestone red-soil region of Jiangxi Province[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(12): 2588-2592 [刘苑秋,王红胜,郭圣茂,等.江西省退化石灰岩红壤区重建森林土壤水分与降水量和蒸发量的关系[J].应用生态学报,2008,19(12):2588-2592]
- [2] Chang Zongqiang, Wang Jinye, Chang Xuexiang, et al. Analysis on relation of soil water and precipitation of forest area in Qilian Mountains[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2001, 16: 22-25 [常宗强,王金叶,常学向,等.祁连山林区土壤水分与降水的关系[J].西北林学院学报,2001,16:22-25]
- [3] Fu Wei, Wang Kelin, Chen Hongsong, et al. Time series analysis of soil moisture dynamic change on hill slope in the typical karst peak-cluster depression area[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(4): 111-114 [傅伟,王克林,陈洪松,等.典型峰丛洼地坡面土壤水分动态变化的时序分析[J].水土保持学报,2005,19(4):111-114]
- [4] Wang Xiaoyan, Chen Honglin, Wang Kelin, et al. Time series analysis of soil water on sloping land in red soil hilly region[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(2): 297-302 [王晓燕,陈洪林,王克林,等.红壤坡地土壤水分时间序列分析[J].应用生态学报,2007,18(2):297-302]
- [5] Herbel CH, Glie LH. Field regimes and morphology of some arid land soils in New Mexico[C]//Bruce RR, ed. Field Soil Water Regime. Madison, Wisconsin: Soil Science Society of America, 1973: 110-151
- [6] Shi Hui, Liu Shirong, Sun Pengsen, et al. Time series analysis of soil moisture storage dynamic change in the Chinese pine forest land in hilly region of the Loess Plateau[J]. Journal of Mountain Science, 2004, 22(4): 411-414 [石辉,刘世荣,孙彭森,等.黄土丘陵区人工油松林地土壤水分动态的时间序列分析[J].山地学报,2004,22(4):411-414]
- [7] Wang Henian, Yu Xinxiao, Li Yitao. Soil water dynamics of four advantage forest in Beijing mountain area[J]. Journal of Mountain Science, 2011, 29(6): 701-706 [王贺年,余新晓,李轶涛.北京山区林地土壤水分动态变化研究[J].山地学报,2011,29(6):701-706]
- [8] Zhou Liuzong, Chen Zhixiong, Lei Zhidong, et al. Time series analysis of soil moisture[J]. Soil, 1998, 4(4): 188-193 [周刘宗,陈志雄,雷志栋,等.土壤水分的时序分析研究[J].土壤,1998,4(4):

- 188 - 193]
- [9] Hao Zhanqing, Wang Lihua. Water conservation capacities of soils with major forest types in mountainous regions of east Liaoning Province[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1998, 9(3): 237 - 241 [郝占庆, 王力华. 辽东山区主要森林类型林地土壤涵蓄水性能研究. 应用生态学报, 1998, 9(3): 237 - 241]
- [10] Wang Huanzhi, Lu Jun. Differences of soil water characteristics in three soils developed from different parent materials in red soil region. Journal of Soil and Water Conservation. 2001, 15(2): 68 - 71 [王焕之, 吕军. 红壤地区三种不同母质发育土壤的水分特性差异[J]. 水土保持学报, 2001, 15(2): 68 - 71]
- [11] 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]

Time Series Analysis of Soil Water on Forest Land in Beijing Mountain Area

WANG Henian, YU Xinxiao

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

Abstract: By using time series analysis, the relationships between soil moisture content and precipitation in four main mountain forests in Beijing were studied from March to October, 2010. The results showed that precipitation was not an autocorrelation series, while soil moisture content was, 20 ~ 40 cm layer was most relevant; the precipitation and soil moisture content had a significant correlation, *Pinus tabulaeformis* and *Robinia pseudoacacia* were mainly affected by current month's precipitation, *Platycladus* and *Quercus variabilis* were mainly affected by the former month's precipitation; different soil layers' moisture content had different correlation with precipitation, indicating the impact of precipitation on different soil layers was also different.

Key words: Beijing mountain area; forest land; soil moisture content; time series analysis

封面照片说明:拉萨河中游河谷地貌及植被景观

拉萨河为雅鲁藏布江中游左侧支流,总体流向自东北向西南,主要穿行于近东西向的念青唐古拉山脉的中部和西部,河源地带海拔约 5 500 m,西侧分水岭地带的念青唐古拉山主峰——念青唐古拉峰海拔高达 7 162 m,东缘分水岭地带的米拉山海拔 5 020 m,至拉萨市城区一带海拔降至 3 650 m 左右。受东部的米拉山阻隔等地形因素的影响,印度洋的潮湿水汽很难到达拉萨河流域,因此,流域在气候上主要属于高原温带—寒温带半干旱季风气候,植被类型以灌丛草原、亚高山灌丛草甸和亚高山草甸为主,并有明显的垂直变化。照片为拉萨河中游达孜县境内的河谷地貌及植被景观。

(嘉 益)