

黄土丘陵区人工油松林地土壤水分 动态的时间序列分析

石 辉^{1,2}, 刘世荣², 孙鹏森², 李秧秧³

(1. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 教育部西北水资源与环境生态重点实验室, 西安, 71005;

2. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京, 100091;

3. 中国科学院水利部水土保持研究所, 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西杨凌, 712100)

摘 要: 利用时间序列分析方法研究了黄土丘陵区人工油松林地土壤水分序列和降水序列之间的关系。在黄土丘陵区, 降水时间序列不存在自相关关系, 相反土壤贮水量之间存在自相关关系; 这说明了前期降水对后期降水没有影响, 而前期土壤含水量的高低影响了后期含水量的多少。降水时间序列与人工油松林地 0~ 80 cm 土层总贮水量序列之间存在相关关系, 同时油松林地贮水量与降水时间序列相比表现出 1 个滞后时间距(1 月), 说明贮水量主要受当月和前一个月降水的影响。对于上部三个层次(0~ 10 cm, 10~ 20 cm, 20~ 40 cm)的贮水动态与降水时间序列相关; 而 20 cm 以下的土层, 与一个滞后时间距的降水时间序列相关系数增大; 说明 20 cm 以上土层的贮水量主要受当月降水的影响, 20 cm 以下土层贮水量与当月和前一个月的降水有关。当月降水可以补充到 40 cm 深土层。

关键词: 黄土丘陵区; 油松林; 土壤水分动态; 时间序列分析

中图分类号: S718. 5, S152. 7

文献标识码: A

油松(*Pinus tabulaeformis*)是黄土丘陵半湿润地区的主要人工林类型。它分布范围广, 保持水土能力强, 生产力高, 除具有水土保持、水源涵养等功能外, 还可培养成为用材林, 在黄土高原开发和治理中有重要的作用。由于油松林的作用, 土壤水分环境发生了变化, 对土壤水分的季节性恢复产生了一定的影响^[1]。在黄土丘陵区, 降水是油松林地土壤水分的唯一来源, 因而降水直接决定者水分恢复的程度, 它的季节性变化导致了土壤水分的动态变化。一般情况下, 这种随时间变化的变量可采用时间序列分析进行研究。时间序列分析方法已被用于土壤耕作动态变化^[2]和水分动态变化的研究。Herbel 和 Gile^[3]采用时间序列分析研究了干旱牧区的水分变化, 发现土壤含水量与降水量呈显著的相关关系, 从而认为降水是干旱牧区土壤水分的主要来源。Nash 等人^[4]同样采用时间序列分析研究了 Arizona 州的牧地土壤水分动态, 发现降水对土壤含水量的

影响深度至少可达 130 cm, 但降水对牧地土壤水分的补给过程是十分缓慢的。周刘宗等人^[5]在黄淮海地区的研究表明, 降水序列是不相关序列, 而各土层之间的含水量序列为自相关序列, 在序列之间存在一定的滞后。本文采用时间序列分析方法, 研究黄土丘陵区土壤水分的动态变化, 希望对油松林地的土壤贮水动态有更深入的认识。

1 试验区概况及观测方法

试验林地位于陕西省宜川县铁龙湾林场的富曲营林区, 地处黄龙山东缘, 海拔 1 500 m, 多年平均气温 9.8 ℃, 多年平均降水量 574.4 mm, 土壤主要为褐色森林土, 7~ 9 月降水量占到年降水量的 60% 以上。试验油松林为 1966 年造林, 初植密度为 6 000 株/hm², 1983 年经过抚育间伐, 现密度为 2 100~ 2 400 株, 平均高度为 9~ 10 m, 胸径 10~ 11

收稿日期(Received date): 2004- 01- 11; 改回日期(Accepted): 2004- 16- 05。

基金项目(Foundation item): 国家重点基础研究发展规划项目(2002CB11502)和国家重点基金项目(30230290)资助。[Supported by the National Key Basic Research Project (No. 2002CB11502) and National Natural Sciences Foundation (No. 30230290).]

作者简介(Biography): 石辉(1968-), 男, 陕西眉县人, 教授, 主要从事土壤侵蚀与水土保持、土壤物理及森林水文方面的研究工作。[SHI Hui (1968-), professor, the major fields are soil erosion, soil physics and forestry hydrology. Email: hshi@sohu.com]

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

cm, 郁闭度 0.7~0.8。林下灌木主要有胡颓子(*Elaeagnus umbellata*)、黄刺梅(*Rosa xanthina*)、绣线菊(*Spiraea*)、忍冬(*Lonicera*)、英迷(*Viburnum*)、柠条(*Garagana microphylla*)等, 覆盖度为 20%~30%; 草本植物主要为披针苔草(*Carex lanceolata*), 盖度为 30%~40%^[6]。

从 1997-01 开始, 在油松林地定点观测土壤水分。采用土钻分层采样, 烘干法测定土壤含水量, 采样深度分别为 0~10 cm, 10~20 cm, 20~40 cm, 40~60 cm, 60~80 cm; 在首次采样的同时, 于采样点附近挖掘土壤剖面, 测定上述层次的土壤容重, 以便于将质量含水量按照(1)式转化为不同层次的贮水量

$$d_{wi} = \theta_{mi} \frac{\rho_{bi}}{\rho_w} h_i \quad (1)$$

式中 d_{wi} 为第 i 层的贮水量(mm), θ_{mi} 为第 i 层的质量含水量(%), ρ_{bi} 为第 i 层的土壤容重(g/cm^3), ρ_w 为水的密度(g/cm^3), h_i 为第 i 层的厚度(mm)。本研究主要观测自然情况下土壤的含水量, 因此在研究期间, 如遇降水, 降水 5 d 后采样; 这样以来, 采样一般在每月 10~15 日进行。同时从宜川县气象站得到每月的总降水量。

2 时间序列分析基本方法

对于两个时间序列, 只要在时间上同步, 均可用协方差相关系数描述其相关性。对于两个时间间隔相同的平稳时间序列 x 和 y , 它们之间的协相关系数可用(2)式计算

$$\rho_{xy} = \frac{s_{xy}(h)}{\sqrt{s_{xx}(0)s_{yy}(0)}} = \frac{s_{xy}(h)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (2)$$

式中 ρ_{xy} 表示滞后时间为 h 时, x 、 y 两个序列的协相关系数; $s_{xy}(h)$ 表示滞后时间为 h 时, x 、 y 两个序列的协方差; $s_{xx}(0)$ 和 $s_{yy}(0)$ 表示序列 x 和 y 的方差; σ_x 和 σ_y 分别为 x 、 y 序列的标准差; h 为滞后时间。

对于具有 n 对观测数据的两个时间序列(x_1, y_1)、(x_2, y_2)、(x_3, y_3)...(x_n, y_n), 时间差为 h 时的协方差可由(3)式计算

$$s_{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-h} (x_i - \bar{x})(y_{i+h} - \bar{y}) \quad h = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

式中 \bar{x} 和 \bar{y} 分别是时间序列 x 、 y 样本的平均值。(2)式和(3)结合, 即可计算出在滞后时间为 h 时的协相关系数。根据协相关系数的大小可估计两个序列的相关程度。在本文, 主要利用个土层的贮水量与每月的降水量进行时间序列分析。

3 结果与讨论

3.1 降水量和土壤贮水量序列的自相关分析

图 1 是 1997-01~1999-12 降水量和土壤贮水量的时间序列。对降水时间序列进行自相关分析, 相关关系不显著, 说明降水时间序列之间不存在自相关关系。同样对土壤贮水量进行分析, 在 0~80 cm 整个剖面贮水量的自相关系数为 0.548, 表现出极显著的自相关关系($\rho_{0.01} = 0.430$, $df = 33$)。对于各个土层而言, 0~10 cm 土层贮水量的自相关系数为 0.325, 表现出微弱的自相关趋势($\rho_{0.05} = 0.335$, $df = 33$); 而 10~20 cm, 20~40 cm, 40~60 cm, 60~80 cm 土层的自相关系数分别为 0.525, 0.633, 0.634, 0.556, 达到极显著水平。说明每月降水之间是互相独立的, 前期降水对后期降水没有影响; 而土壤贮水量是自相关的, 前期贮水的多少对后期土壤贮水数量有重要的影响。表层 0~10 cm 土壤是蒸腾、蒸发最活跃的层次, 每次降水之后, 土壤贮存的大量水分被蒸腾、蒸发作用所损失, 不能贮存在土壤中增加后期贮水, 因此对后期土壤贮水的影响较小, 表现出微弱的自相关趋势。

3.2 降水量和土壤贮水量序列的相关分析

对降水量和土壤贮水量序列进行相关分析, 降水序列和 0~80 cm 土层总贮水量序列之间有极显著的正相关关系($\rho = 0.440$; $\rho_{0.01} = 0.428$, $df = 34$); 同时贮水量与降水时间序列相比出现 1 个滞后时间距(1 月)($\rho = 0.390$; $\rho_{0.05} = 0.332$, $df = 34$); 说明了 0~80 cm 土层总贮水量主要受当月和前一个月降水的影响。对于各个土层贮水量, 0~10 cm 土层与降水序列之间表现出极显著的关系($\rho = 0.570$; $\rho_{0.01} = 0.428$, $df = 34$), 与滞后 1 个时间距的降水序列关系不显著($\rho = 0.310$; $\rho_{0.05} = 0.336$, $df = 34$), 仅表现出一些相关趋势, 说明了 0~10 cm 土层的贮水量主要受当月降水量的影响, 同时上月的降水对它有部分影响。20~40 cm 土层贮水量与降水时间序列之间达到显著相关关系($\rho = 0.350$; $\rho_{0.05} = 0.336$, $df = 34$), 同时与滞后 1 个时间距的降水序列之间也达到了极显著关系($\rho = 0.440$; $\rho_{0.01} = 0.428$, $df = 34$), 说明当月降水可补充到 40 cm 深的土层, 同时该层土壤含水量的多少还受前一月降水的影响。40~60 cm、60~80 cm 土层贮水量与降水序列之间相关系数分别为 0.27 和 0.19, 没有达到显著关系; 与滞后 1 个时间距的降水序列之间的相关系数表现出上升趋势(分别为 0.30、0.27), 但没有达到显著水平; 这说明当月的降水补

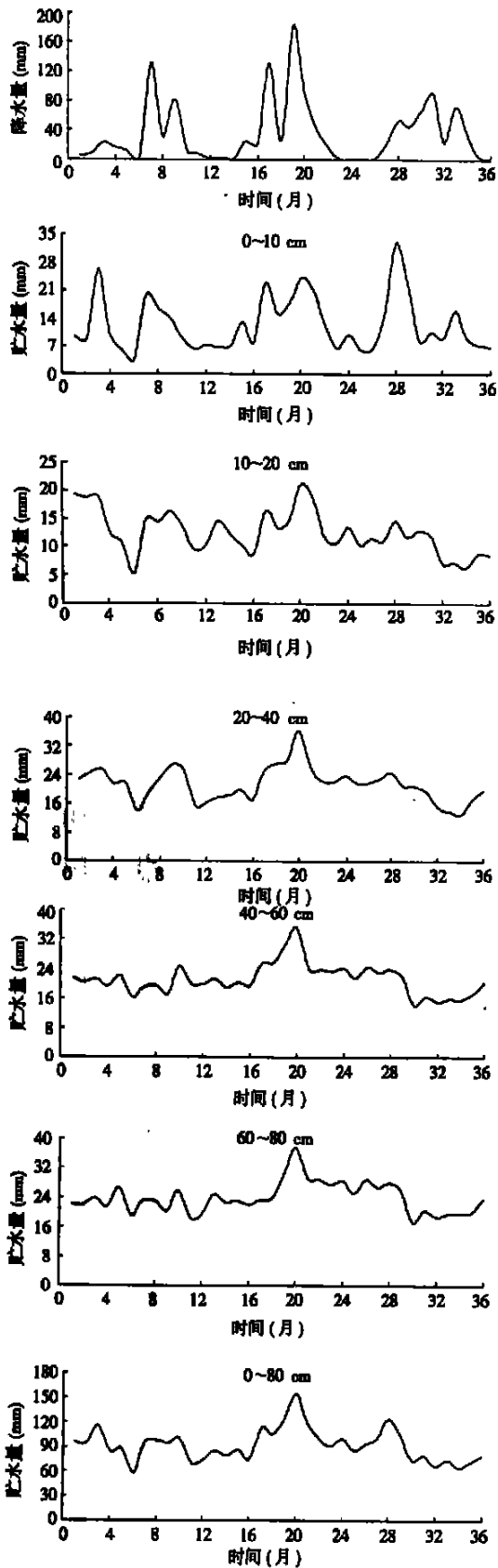


图 1 降水和土壤贮水量的时间序列(1997- 01~ 1999- 12)

Fig. 1 The Times series of precipitation and soil moisture storage from Jan. 1997 to Dec. 1999

充不到这些层次,而这些层次主要是上层土壤水分经过长期运动而贮水。

10~ 20 cm 土层贮水有些特殊,与降水序列之间表现出相关趋势($\rho = 0.320$; $\rho_{0.05} = 0.336$, $df = 34$),与滞后 1 个时间距的降水序列关系不显著($\rho = 0.270$),说明该土层贮水的多少与当月和上月降水无关。主要原因可能是:10~ 20 cm 土层含有大量的植物根系,它是蒸腾耗水的主要来源层次,降水补充的水分大量被蒸腾消耗,因而贮水量与降水量的关系不显著;同时,这个层次的水分可在水势梯度的作用下继续向下运动,也使得该层次的贮水量与降水之间的关系不密切。

3.3 土层贮水量序列之间的相关分析

各个土层与 0~ 80 cm 总贮水量序列之间的相关关系见表 1。从中可以看出,由于 0~ 80 cm 总贮水量是由各个土层贮水量求和得到,因而总贮水量系列与各个土层之间存在极显著的关系。由于表层土壤贮水量变化较大(见图 1),0~ 10 cm 土层贮水量与滞后一个时段的总贮水量关系不密切,而其余层次之间具有较密切的关系;随着滞后时间距的增加,总贮水量仅与 20 cm 以下层次的贮水量相关。这说明由于蒸腾蒸发作用的进行,土壤失水层次逐渐下移,因而前期降水仅对深层贮水有影响。相反,当月的降水一方面增加了表层贮水,同时增加了整个土壤剖面的总贮水量。

表 1 各个土层与 0~ 80 cm 总贮水量序列之间的相关关系
Table 1 The correlation of storage moisture time series between every and total soil layer

土 层	滞 后 时 段		
	$h = 0$	$h = 1$	$h = 2$
0~ 10 cm	0.765**	0.330	0.104
10~ 20 cm	0.792**	0.462**	0.305
20~ 40 cm	0.913**	0.589**	0.379*
40~ 60 cm	0.854**	0.474**	0.339*
60~ 80 cm	0.831**	0.493**	0.405*

对于各个层次之间,贮水量时间序列达到极显著的关系。这是降水进入表层土壤后,水分在水势梯度作用下向下运动的结果,相邻土层之间更高的相关系数说明了这一点。由于表层 0~ 10 cm 土壤贮水变化迅速、变异较大,滞后于它 1 个时间距的 10~ 20 cm 土层贮水量与此不相关。其余的相邻土层之间,滞后于上部土层 1 个时间距的深部土层贮水量与之有着密切的相关关系。说明深部土层贮水量不仅与现在上部土层贮水量有关,还与上部土层

前一个时段的贮水量有关,这主要由于土壤水分的非饱和运动是一个长期而缓慢的过程^[6]。

4 结论

时间序列分析可用于土壤水分动态变化研究。在黄土丘陵区,降水时间序列之间不存在自相关关系,油松人工林地前期土壤贮水量的高低对后期贮水量有影响;0~80 cm 土层总贮水量与降水时间序列相比表现出1个滞后时间距(1月),说明贮水量主要受当月和前一个月降水的影响,对于20 cm 以上土层,其贮水量主要受当月降水的影响,20 cm 以下土层贮水量与当月和前一个月的降水有关。当月降水可以补充到40 cm 深的土层。

参考文献(References):

[1] Liu Xiangdong, Wu Qinxiao, Zhao Hongyan. A study on soil moisture characteristics in plantation of Chineses Pine in the Loess Hilly Region[J]. *Memoir of NIS WC, Academia Sinica*, 1991, 14: 71

~ 78. [刘向东, 吴钦孝, 赵鸿雁. 黄土丘陵区人工油松林地土壤水分特征研究[J]. 中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊, 1991, 14: 71~ 78.]

[2] Roseberg R. J., McCoy E. L. Time series analysis for statistical inference in tillage experience[J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1988, 52: 1771~ 1776.

[3] Herbel C. H., L. H. Gile. Field regimes and morphology of some arid land soils in New Mexico. In: *Soil Sci. Soc. (edited), Field Soil Water Regime*[J]. *Madison Wis.* 1973, 110~ 151.

[4] Nash M. S., P. J. Wierenga, A. Gutjahr. Time series analysis of soil moisture and rainfall along a line transection in arid rangeland [J]. *Soil Sci.* 1991, **152**(3): 189~ 199.

[5] Zhou Liuzong, Chen Zhixiong, Zhou Lingyun. Time series analysis of soil moisture[J]. *Soil.* 1998, (4): 188~ 193. [周刘宗, 陈志雄, 周凌云. 土壤水分的时间序列分析[J]. 土壤, 1998, (4): 188~ 193.]

[6] Wu Qinxiao, Liu Xiangdong, Zhao Hongyan. An introduction to monitoring station of hydrology and ecology in Yichuan County, Shaanxi[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation.* 1992, **12**(3): 52~ 57. [吴钦孝, 刘向东, 赵鸿雁. 陕西宜川森林水文生态观测站简介[J]. 水土保持通报, 1992, **12**(3): 52~ 57.]

[7] Zhu Zuxiang. *Pedology*[M]. Beijing: Agricultural Press. 1978. [朱祖祥. 土壤学[M]. 北京: 农业出版社. 1978.]

Time Series Analysis of Soil Moisture Storage Dynamic Change in the Chinese Pine Forest Land in Hilly Region of the Loess Plateau

SHI Hui^{1,2}, LIU Shirong², SUN Pengsen², LI Yangyang³

(1. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an, 710055;

2. Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing, 100091;

3. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi, 712100)

Abstract: The relationships between precipitation and soil moisture storage storage dynamic change in Chinese pine forest land in hilly and gully region in the Loess Plateau were researched by using time series analysis method. There is no self-coorectivity for precipitation time series, but soil moisture storage time series has this relation. These showed the former precipitation has no effect to next, but the amount of former soil moisture storage has markble effects to next phase soil moisture storage. There is correlation between precipitation time series and total soil moisture storage changes in the Chinese pine forest land (depth 0~80cm), at same time, there is a delay time for total soil moisture storage comparison with precipitation series. That showed the total soil moisture storage was mainly affected by precipitation among the former and this months. The soil moisture storages among the upper 3 layer(0~10 cm, 10~20 cm, 20~40 cm) were correlation with precipitation time series, but there exist a delay time between precipitation series with moisture changes under the 20cm depths. The soil moisture storage above 20cm was mainly affected by precipitation in this month, and the soil moisture storage under 20cm were mainly affected by precipitation among the former and this months. The storage moisture can be supplied to depth 40cm in a month through precipitation.

Key Words: Hilly Region of the Loess Plateau; Chinese pine forest(*Pinus tabulaeformis*); dynamic changes of soil moisture storage; time series analysis