

(4)

188-193

S152.7

S11

土壤水分的时序分析研究

周刘宗 陈志雄 周凌云 徐梦熊 董志栋 杨诗秀

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008) (清华大学水利水电工程系)

摘 要 利用时间序列理论分析了降水动态和土壤含水量动态的相关关系。研究表明,降水序列为不相关序列,而各层土壤含水量序列则为自相关序列。相关时间距为2至7个滞后时间距。降水序列和30、60、90cm含水量及全剖面储水量(0—160cm)的协相关图呈现一定的周期性,周期分别为3.5、4、5和4个滞后时间距(1滞后时间距为5天),表明降水的动态变化在相隔相应的滞后时间距后分别在30、60、90cm深度含水量及全剖面储水量的动态图上得到重现。

关键词 时间序列;土壤含水量动态;相关系数

由于土壤水分的适宜与否关系到植物的正常生长,因而土壤水分一直是土壤物理学研究的重点。土壤水是陆地水文循环的一个重要环节,它不断为陆上植物蒸腾所消耗,又不时地从降水和灌溉等多种途径得到补充。土壤水分状况随气候、地貌和所种植的作物的不同而产生很大的差异。另一方面,人们总是为使作物能获得良好的水分条件而不断地通过灌溉和排水措施调节土壤含水量,因而土壤水分还受到人为因素的影响。土壤水分状况不同,不可避免地造成植物生长状况上的差异,最终表现为作物产量和品质上的差异。土壤水分状况的年际变化,事实上关系到农业持续发展问题。因此,土壤水分的长期动态研究应该引起足够的重视,但这方面的研究到目前为止仍为数不多。降水是土壤水的主要自然补给途径,研究其对土壤水分的补给特征对掌握灌溉时机和控制灌水量有一定的指导意义。Herbel和Gile^[1]据11年的试验资料分析表明,干旱牧区的土壤含水量与降水量显著相关。Nash等人^[2]的研究结果也表明,降水对土壤含水量的影响深度至少可达130cm,但其对牧地土壤水的补给过程十分缓慢。以上两例均是时间序列分析在土壤水分动态研究中的应用。本研究也采用时间序列分析理论定量研究土壤水分动态及土壤水分和降水时间的关系。

1 原理

对于两个时间序列,不管两者的采样尺度是否相同,各自的变异性是否相似,只要两者在时间上同步,均可用协相关函数描述这两个时间序列的相关性。对于两个采样时间间隔相同的平稳时间序列 x 和 y , 他们之间的协相关系数以下式表示:

$$\rho_{xy}(h) = \frac{\tau_{xy}(h)}{[\tau_{xx}(0)\tau_{yy}(0)]^{1/2}} = \frac{\tau_{xy}(h)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (1)$$

式中 ρ_{xy} 表示滞后时间为 h 时, x 、 y 二序列的协相关系数值; $\tau_{xy}(h)$ 滞后时间 h 下, x 、 y 二序列的互协方差值; $\tau_{xx}(0)$ 和 $\tau_{yy}(0)$ 分别表示序列 x 和序列 y 的方差; σ_x 、 σ_y 分别为 x 、 y 二序列

· 本文为封丘站基金资助课题“封丘地区农田降水与径流关系研究”的一部分。

的标准差; h 为滞后时间距。

下文中以 x_t 和 y_t 表示时间序列 x, y 在 t 时刻的值。协相关系数 $\rho_{xy}(h)$ 定义为 $h=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$ 时的值。协相关系数值总小于或等于 1 ($|\rho_{xy}| \leq 1$)。互协相关和互协方差满足关系 $\rho_{xy}(h) = \rho_{xy}(-h)$, 而 $\rho_{xy}(h)$ 和 $\rho_{xy}(-h)$ 通常并不相等。

如果有 n 对对应的 (x, y) 值: $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$, 则互协方差函数在时间差为 h 时的值可由下式计算:

$$C_{xy}(h) = \begin{cases} \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-h} (x_t - \bar{x})(y_{t+h} - \bar{y}) & h=0, 1, 2, 3 \dots & (2) \\ \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n+h} (x_t - \bar{x})(y_{t-h} - \bar{y}) & h=0, -1, -2, -3 \dots & (3) \end{cases}$$

式中 \bar{x}, \bar{y} 分别为 x, y 序列样本均值。在方程(1)中以 $C_{xy}(h)$ 代替 $r_{xy}(h)$, 以 $S_x = C_{xx}(0)$ 代替 σ_x , 以 $S_y = C_{yy}(0)$ 代替 σ_y , 可得到互协相关系数在滞后时间为 h 时的估计值:

$$\gamma_{xy}(h) = \frac{C_{xy}(h)}{(S_x S_y)^{1/2}} \quad (4)$$

当相关系数为 0 时, 两序列显著不相关。

这一估计值可用于检验协相关函数 $\rho_{xy}(h)$ 在一定滞后时间 h 下是否明显为零。可将协相关函数估计值与从 Bartlett⁽³⁾ 公式计算的近似标准误差进行比较。近似标准差的估计为 $1/N$, $N=n-h$ 为分析中所用到的观测值的配对数。以两倍标准差来衡量两序列间的相关关系较为合理, 如果估计的协方差值大于两倍标准差, 则认为两序列相关。如在某一滞后时间距下, 协方差估计值小于两倍标准差, 则认为两序列不存在相关关系。如果两序列中有一个不相关, 另一个是自相关的, 则协相关函数和自相关序列的相关函数相同。关于时间序列的自相关、协方差和协相关函数等的理论与估计方面的详细知识参见文献[4, 5]。

2 材料与方法

本研究在封丘生态试验站进行。在 $32\text{m} \times 20\text{m}$ 的径流试验场内, 参照土壤含水量的空间变异性⁽⁶⁾, 选择三个土壤水分监测点, 分别埋设中子护管。在这三点用中子仪自 1991 年 8 月至 1992 年 11 月间每 5 天测定一次土壤含水量。每 10cm 为一层, 至 160cm, 共 16 层。同时在试验场附近设置一自记式雨量计, 记录每天的降水量。这样, 每 5 天内的降水量之和与每次土壤含水量的测定值组成一组同步时间序列。

3 结果与讨论

全径流场的土壤含水量以三个监测点的平均值表示, 其各层土壤含水量在观测时段内的均值列于表 1。平均土壤含水量随深度递增, 以表层最低, 底层最高。因为作物吸收及地面蒸发作用, 造成表层 30cm 处的含水量最低; 相反, 在 160cm 深处, 作物吸收少, 同时又受地下水补给, 表现出较高的含水量。方差及离差系数随深度呈递减趋势。这一结果表明, 表层 30cm 以上土壤含水量波动剧烈, 随着深度的增加, 波动逐渐减弱。这一结果从含水量动态图(图 1)上也可以反映出来。观测期内 0-160cm 土壤储水量接近 600 毫米, 而离差系数仅 5% 左右, 表明全剖面土壤储水量波动并不剧烈。换言之, 全剖面土壤中水量的收入与支出相差并不大。

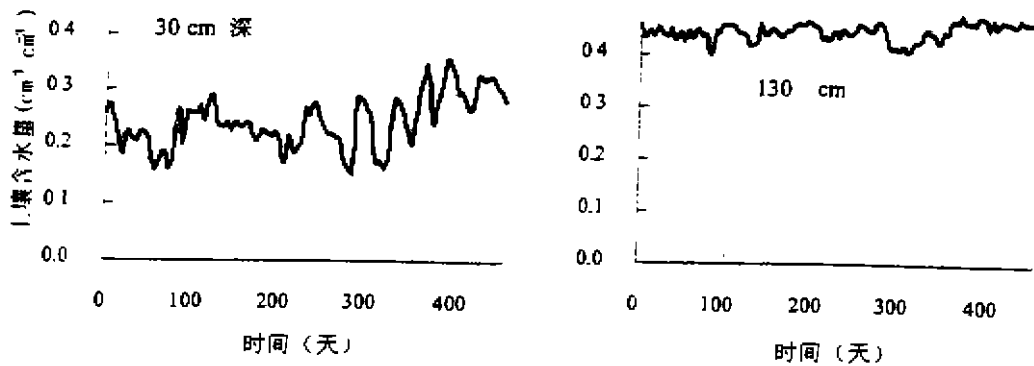


图1 30cm 和 130cm 两深度土壤含水量对比

表1 全径流场各层土壤含水量和全剖面(TD)储水量(mm)的均值、方差及离差系数

深度 (cm)	均值 (cm ³ /cm ³)	方差	标准差	离差系数 (%)
30	0.244	0.0023	0.048	19.74
60	0.380	0.0004	0.021	5.53
90	0.427	0.0005	0.022	5.08
110	0.436	0.0003	0.018	4.14
130	0.444	0.0003	0.016	3.71
160	0.445	0.0002	0.013	2.95
TD	589.64	987.565	31.42	5.33

表2 各层土壤含水量序列、剖面储水量序列(TD)及降水序列的显著自相关系数值及对应的滞后时间距数 (1个滞后时间距为5天)

深度 (cm)	自相关系数	滞后时间距
30	0.350	3
60	0.455	7
90	0.507	6
110	0.427	5
130	0.352	4
160	0.324	2
TD	0.527	6
降水	0.495	1

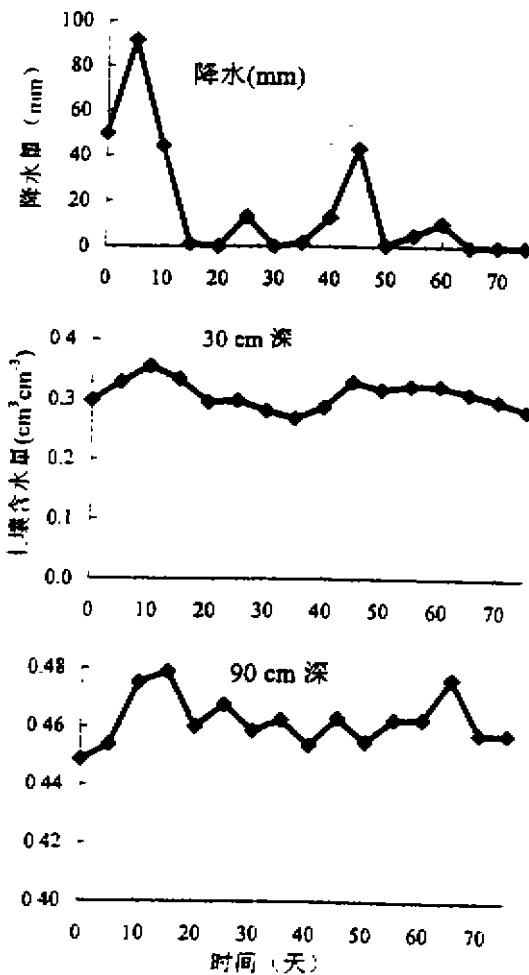


图2 降水量动态及 30、90cm 深度土壤含水量动态对照

径流场降水量动态及 30、90cm 深土层含水量动态对照如图2所示。由图可以看出,各层土壤含水量与降水同消同涨,不同的只是土壤含水量峰值比降水发生时间略滞后几

天。在 30cm 深处,土壤含水量滞后 5 天,而 90cm 处则滞后 10 天。110cm 深度以下(图未列出)由于地下水对土壤水有补给,因而其随降水过程变化的规律不甚明显。然而,从图中不难推断,0—160cm 深度土壤含水量变化与降水变化仍存在密切关系,即随降水的消涨而消涨。

径流场降水、剖面储水量、30 和 110cm 土壤含水量的自相关函数估计值如图 3 所示。总的看来,各层土壤含水量和土壤储水量序列的自相关函数随滞后时间距变化的曲线均较为光滑,且在滞后时间距大于零后逐渐减小,直至小于两倍标准差限。降水自相关函数在滞后距大于零时急剧减小,以致于在滞后距为 1(5 天)时已与标准差限相差无几,表明降水序列为不相关序列。

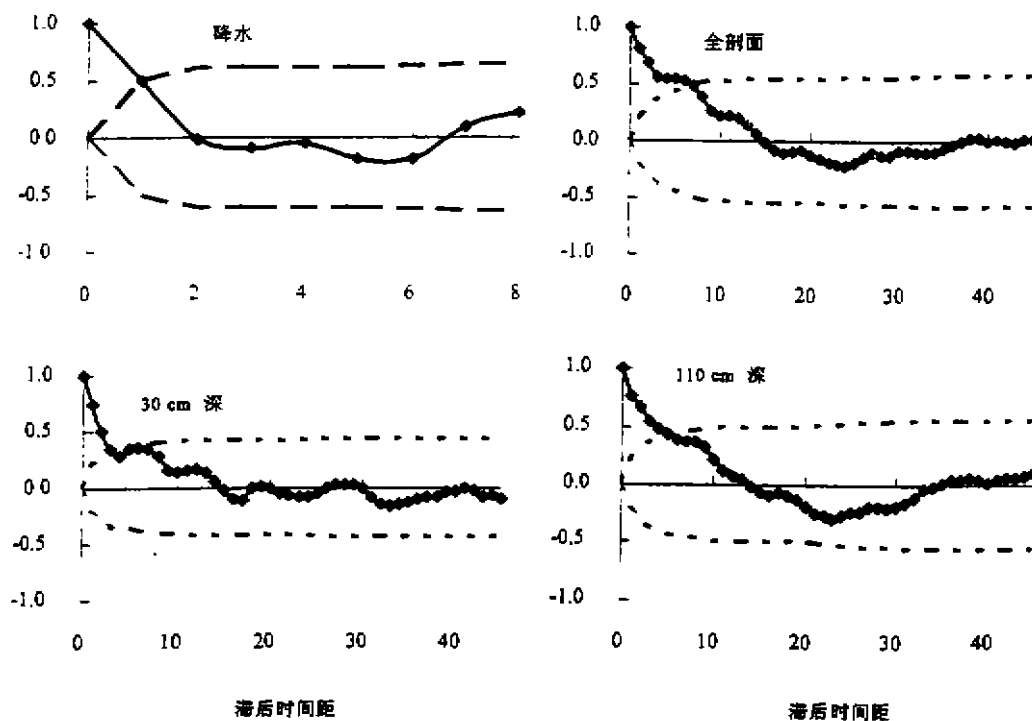


图3 降水、剖面储水量及不同深度土壤含水量自相关图

(纵坐标为自相关系数,一个滞后时间距为 5 天,虚线表示两倍标准差限)

当自相关函数估计值达标准差限时,其对应的滞后时间距值为“时间相关尺度或时间相关域”。这一相关域将样品分为两组。样品间的时间间隔小于相关域,两者相关;大于相关域,则基本不相关。表 2 给出了各层土壤含水量及降水的显著自相关系数及对应的时间相关域。由表 2 可见,各层土壤含水量的自相关时间域均不同。除 30cm 以外,时间相关域随深度增加逐渐减小。30cm 深土壤含水量的时间相关域为 3 个滞后距(15 天)。这一结果表明,时间间隔为 15 天以内的两个观测值是相关的或不独立。剖面不同深度土壤含水量的时间相关域不同表明为监测土壤含水量随时间的变化,各层含水量采样时间间隔应各不相同。

降水序列 $x(t)$ 和土壤含水量、剖面储水量序列 $y(t)$ 的协相关系数及相关的标准差限绘于图 4。同样,协相关系数随滞后时间距变化的曲线也很光滑,不存在突变点,且零滞后距下的协相关系数数值均较小。在滞后距数大于零的情况下,协相关系数自零滞后距数起随滞后距数

的增加而逐渐增大,在滞后距数为1—2时达最大值,随后又逐渐减少。

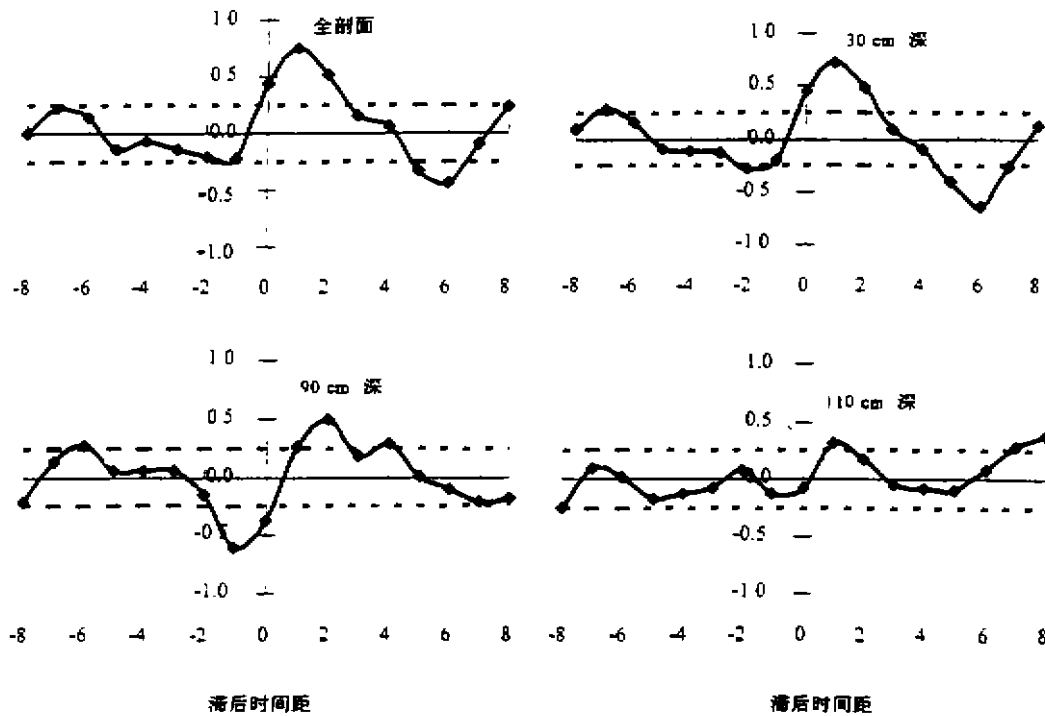


图4 降水和分层土壤含水量、剖面储水量协相关系数

(纵坐标为协相关系数,一个滞后时间距为5天,虚线表示两倍标准差限)

降水和土壤含水量协相关函数图上的几个较重要参数值得一提,一是滞后时间距数大于零时,正相关系数出现的起始和终了滞后时间距数。起始距数表示在这一滞后时数时,土壤含水量开始对降水有所反应并逐渐增加。降水和30、60、90、110、130、160cm含水量及全剖面储水量(TD)协相关函数图的起始滞后时间距分别为0,0,1,1,0,0,0。可见,30和60cm这两个深度的土壤含水量在降水发生后立即增加,但较深处土壤含水量的变化则相对慢些。例如在90cm深度,5天后(1个滞后时距)土壤含水量才有所增加。而终了滞后时距数则表示协相关函数的周期。降水过程的峰和谷在相隔一个终了时距数的时间后,分别在各层得到体现。从图上可判别出30、60、90、110、130、160cm含水量及0—160cm储水量与降水协相关函数的周期分别为3.5、4、5、3、2、4和4个滞后时距数。这些周期数表明,降水变化图在经过若干时间后依次在各层土壤含水量上得到重现。也就是说,降水图上的峰和谷在相隔3.5、4、5和4个滞后时距后,表现为30、60、90cm深处含水量和剖面储水量动态图上相应的峰和谷。从理论上讲,周期应随深度的增加而增加。但110cm深度以下土壤含水量受地下水的影响更大,因而在协相关图的终了时距数上表现出反常现象。二是降水和土壤含水量协相关系数的极大值和对应的滞后时间距数,这一对参数表示土壤含水量在此滞后时间距时对降水的响应达到最大。计算表明,30、60、90、110、130、160cm及剖面储水序列与降水序列协相关系数的极大值分别为0.722、0.694、0.289、0.377、0.371、0.517和0.748,且对应的滞后时间距分别为1、1、4、8、1、1和1。可见,30和60cm处的土壤含水量在降水发生后一个滞后时间距即达到最大值;而90和110cm深度的土壤含水量则分别在4和8个滞后时距时达到最大。因而表明不同深

度土壤含水量对降水的响应存在差异。这一结果对土壤含水量的观测提出一个要求,即若要使各层土壤含水量的观测值切实反映降水的补给状况,则各层土壤含水量的观测在时间上较降水滞后的时间应有所不同,且各层的观测时间应由上述给出的数据确定。

综上所述,各层土壤含水量的自相关时间距不相同,从而要求各层土壤含水量的采样时间间隔应有所差异。降水序列和土壤含水量序列的协相关分析表明,降水量的动态变化在若干时间后依次在各层土壤含水量及剖面储水量动态图上重现。本研究表明,时间序列分析是研究长期土壤水分动态的有效手段。

参 考 文 献

- 1 Herbel C H, Gile L H. Field moisture regimes and morphology of some arid - land Soils in New Mexico. In Soil Sci. Soc. Am. ed., Field Soil Water Regime, Madison Wis., 1973, pp.119 - 152
- 2 Nash M S, Wierenga P J, Gutjahr. A. Soil Sci., 1991, 152(3):189 - 198
- 3 Bartlett M S, Stat. J. R. Soc., 1946, B8:27
- 4 Jenkins G M, Warts. D G. Spectral analysis and its applications. Holden - Day, London, 1968, pp.321 - 362
- 5 Box G E P, Jenkins. G M. Time series analysis forecasting and control. Holden - Day, London, 1976
- 6 陈志雄, Vauclin M. 封丘地区土壤水分平衡研究 I. 田间土壤湿度的空间变异. 土壤学报, 1989, 26(4):309 - 315



(上接第 187 页)

(1)要建立相对独立的耕地开发复垦机构,不隶属于地方政府,可以实现企业化管理,重点抓好集中连片、水土条件好,投资少、见效快的宜农荒地的开发利用。由该机构进行耕地开发复垦基金的运作,耕地开发复垦基金可从土地收益和农业综合开发资金等项税费中筹集,以耕地复垦的质和量作为其效益考核指标。

(2)用地单位除按国家和自治区规定交纳有关税费外,还应该交纳征地费用总额 2—3 倍的造地补偿费,按照“占一补一”的原则,对占用地基本农田组织再造,补足面积。

(3)建立完备的耕地开发复垦监督检查体系,从耕地的建设项目占用,开发复垦基金的收取到新开发复垦的完成实行全过程跟踪。

参 考 文 献

- 1 周建军.系统论对城市化机制的诠释.城市发展研究.1997,1:51 - 53
- 2 张素兰,姚士谋.中国城市化的“激流”——民工潮.城市问题,1997,3:42 - 44
- 3 周一星.城市地理学.北京:商务印书馆,1995,61
- 4 郭焕成.耕地总量动态平衡是人民生存和持续发展的需要.中国土地.1996,9
- 5 邹玉川.加深理解耕地总量动态平衡目标,深化土地管理方式改革.中国地政.1996,8
- 6 江行舟.合理利用土地,促进城市建设健康发展.城镇建设.1997,4:13 - 14
- 7 杨继瑞.加强小城镇建设用地调控的思考.城市开发.1997,5:34 - 36