

文章编号: 1001-8166(2009)07-0817-08

黑河流域临泽盐碱化草地网格尺度多层 土壤水分时空稳定性分析*

冉有华, 李新, 王维真, 晋锐

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃兰州 730000)

摘要:定量分析半干旱环境下盐碱化草地类型土壤水分的时间稳定性,是开展土壤水分尺度时空转换的前提,同时也是水文研究的重要组成部分。基于“黑河遥感—地面同步试验”干旱水文试验区临泽草地加密观测区16个土壤水分剖面的逐日持续观测数据,利用平均相对偏差及相关系数方法,对网格尺度上多层土壤水分的时间稳定性进行了分析。初步表明:①在土壤水分监测点布设上,在相对长的时期内,能代表网络水平上平均土壤水分最优观测的点是存在的,最优观测点位置的选择需要先密后稀,并根据事先的加密观测结果进行稳定性分析,保留平均相对偏差接近于0且其标准差最小的点开展长期观测。②在90 m×90 m的网格尺度上,土壤水分的空间结构在40 cm深度以上各层的时间稳定性是类似的,但稳定程度不同,表层最不稳定。在40 cm以下基本上趋于稳定,空间异质性降低。③研究区所在环境下网格尺度土壤水分空间分布在时间上强烈相关,观测刚开始的几天与其它时期的相关性比较低,在平稳期相关性较好,不稳定性主要由降水或灌溉事件引起。同时,由于环境的复杂性及观测的误差,这种特殊类型土壤水分的时间稳定特征还需要进一步研究。

关键词:土壤水分;时间稳定性;空间稳定性;遥感

中图分类号:S152.7;P941.75 **文献标志码:**A

1 引言

土壤水分是陆面过程水文变量的一个重要分量^[1],是研究土壤水力学的重要参数与灌溉控制的直接指标^[2~4]。由于受降水、地形、植被、土壤特性、地下水以及人类活动的影响,土壤水分在时间上不稳定,空间上不均匀,土壤水分的时空分布是研究土壤水分运移的重要组成部分。模型模拟和遥感观测是研究土壤水分的主要手段,两者都是基于网格进行的。在网格尺度上对多层土壤水分的时间稳定性进行统计分析,不仅有利于土壤水分观测网络的优化设计,探讨土壤水分在不同生态系统类型下的尺

度效应,为土壤水分长期观测的尺度转换和卫星及模型的验证提供先验知识,而且可直接为水资源管理、农田灌溉提供决策依据。

时间稳定性的概念是Vachaud等^[5]提出的,是指空间采样点与土壤属性统计参数之间关系的时间不变性。当土壤水分与土壤结构、地形等相对确定的因素之间关系密切且稳定,这种时间上的稳定性就可能出现。Kachanoski等^[6]对这一时间稳定性的概念进行了发展,他们认为时间稳定性是与空间尺度有关的空间分布结构或模式在时间上的持续性,并指出空间某一点的土壤含水量是各种水文过程在不同的空间尺度上共同作用的结果。不仅如此,土

* 收稿日期:2009-02-10;修回日期:2009-04-30。

* 基金项目:中国科学院西部行动计划(二期)项目“黑河流域遥感—地面观测同步试验与综合模拟平台建设”(编号:KZCX2-XB2-09);国家重点基础研究发展计划项目“陆表生态环境要素主被动遥感协同反演理论与方法”(编号:2007CB714400)资助。

作者简介:冉有华(1980-),男,甘肃镇原人,硕士,主要从事遥感、GIS和多源信息融合方法在陆面过程中的应用研究,地表要素的时空尺度转换研究和科学数据共享与服务。E-mail: ranyh@lzb.ac.cn

壤水分空间分布的时间稳定性在不同的生态系统类型、土壤深度、季节等条件下是不同的。Jost 等^[7]利用时空克里格方法分析了森林生态系统土壤水分的时空分布,结果表明森林植被在土壤水分的时空结构中具有重要作用;Cosh 等^[8]对位于美国西南部亚利桑那州 Walnut Gulch 流域表层土壤水分的时间稳定性进行了分析,为流域尺度卫星遥感土壤水分产品验证的长期监测站点的位置选择提供依据;Martinez-Fernandez^[9]分析了西班牙 Duero 流域 23 个土壤水分观测站 1999—2002 年 3 年期间不同深度土壤水分的时间稳定性;Grant 等^[10]对美国爱达荷州以积雪为主要特征的山区流域土壤水分空间异质性和时间稳定性进行了分析;朱首军等^[11]在农田和农林复合系统中分别任意选择 5 个测点对土壤水分的时间稳定性进行了简单的分析;周启友等^[12]利用高密度电阻率成像法在日本筑波市筑波大学陆域环境研究中心的试验场中进行土壤水分的三维测量,并分析了土壤水空间分布结构的时间稳定性;信秀丽等^[4]分析了豫北平原两个尺度下的土壤水吸力的时间稳定性。可见,对土壤水分时间稳定性的研究,表层土壤水分在流域尺度上受到了很多的关注,但对于中国西部半干旱区湿润环境下的盐碱化草地类型,多层土壤水分在网格尺度上的时空异质性研究尚不多见。

本文基于“黑河遥感—地面同步试验”^[13]中游干旱区水文试验区的临泽草地加密观测区 16 个土壤水分剖面的逐日持续观测数据,研究目标在于:①分析黑河流域临泽盐碱化草地生态系统多层土壤水分的时间稳定性;②分析土壤水分空间分布的时间变化特性,加深对该地区该种生态系统类型网格尺度多层土壤水分时间空间分布特征的认识,为土壤水分监测点设置及点观测数据的时空尺度转换提供先验知识。

2 方法与数据

2.1 试验区介绍

试验区位于甘肃省临泽县平川乡兰州大学草地农业科技学院临泽草地生态试验站内,试验区海拔 1 394 m,平均年气温 7.6℃,多年平均降水量约为 120 mm,属温带大陆性干旱气候,地下径流不畅,地下水位很浅,大概在 1 m 左右。土地覆盖类型为草地,主要植物为芦苇,地带性土壤为灰棕漠土、沙壤土及沙土,孔隙度大,蒸发强烈。

在“黑河遥感—地面同步试验”干旱区水文试

验期间,在 90 m × 90 m 的样方内每 30 m 布置一个测量点,共 16 个测量点(图 1),利用 PR2 土壤剖面水分速测仪每天下午 5 点对这些监测点的土壤水分进行观测,观测日期为 2008 年 5 月 31 日至 2008 年 7 月 13 日,观测层数为 6 层,深度分别为 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, 60 cm 和 100 cm。其中 6 月 3 日、6 月 6 日、6 月 8 日、6 月 10 日、6 月 13 日、6 月 21 日、6 月 27 日、6 月 28 日、6 月 29 日、7 月 3 日、7 月 12 日无观测。

2.2 时间稳定性分析方法

两种方法用来进行土壤水文空间结构时间稳定性的评价。第一种方法是平均相对偏差(mean relative difference plot)法,该方法由 Vachaud 等^[5]首先提出,通过比较单个观测点与整个观测网络平均值来进行该点土壤水分时间稳定性的评价,定义如下:

$$\bar{\delta}_i = \frac{1}{t} \sum_{j=1}^t \frac{S_{i,j} - \bar{S}_j}{\bar{S}_j} \quad (1)$$

式中: j 表示采样的时间, i 表示采样点,则 $S_{i,j}$ 表示整个试验区内第 n 个采样点 j 日期的土壤水分测量值。 \bar{S}_j 表示 j 日期试验区内所有采样点的平均土壤水分测量值。平均相对偏差表示某一采样点的土壤水分相对于整个试验区土壤水分平均值的状态,正值表示该点相对较湿,负值表示该点相对较干。

任意一监测点平均相对偏差的标准差定义为:

$$\sigma(\delta_i) = \sqrt{\frac{1}{t-1} \sum_{j=1}^t \left(\frac{S_{i,j} - \bar{S}_j}{\bar{S}_j} - \bar{\delta}_i \right)^2} \quad (2)$$

平均相对偏差的标准偏差可以用来指示某一采样点土壤水分相对于整个试验区平均值的时间稳定性。标准差越接近于 0,表示该采样点土壤水分的时间稳定性越高。平均相对偏差可以表示某一观测点在估计网络平均土壤水分的能力。某一点的平均相对偏差接近于 0,则说明这个点可用于网络平均的估计,如果有小的标准差则说明这个点估计的方差也较小^[14]。如果某一观测点同时满足平均相对偏差接近于 0,且平均相对偏差标准差小的特点,则可以断定,在一个较长时期内该点可以相对精确的预测网络平均土壤水分。

第二种方法是相关系数法^[14,15]。我们使用两种相关系数,第一种相关系数用于评价土壤水分空间模式的时间稳定性,度量两个采样点之间的关系,定义如下:

$$r_{i,i'} = \frac{\sum_j (S_{i,j} - \bar{S}_{i,j})(S_{i',j} - \bar{S}_{i',j})}{\sqrt{\sum_j (S_{i,j} - \bar{S}_{i,j})^2} \sqrt{\sum_j (S_{i',j} - \bar{S}_{i',j})^2}} \quad (3)$$

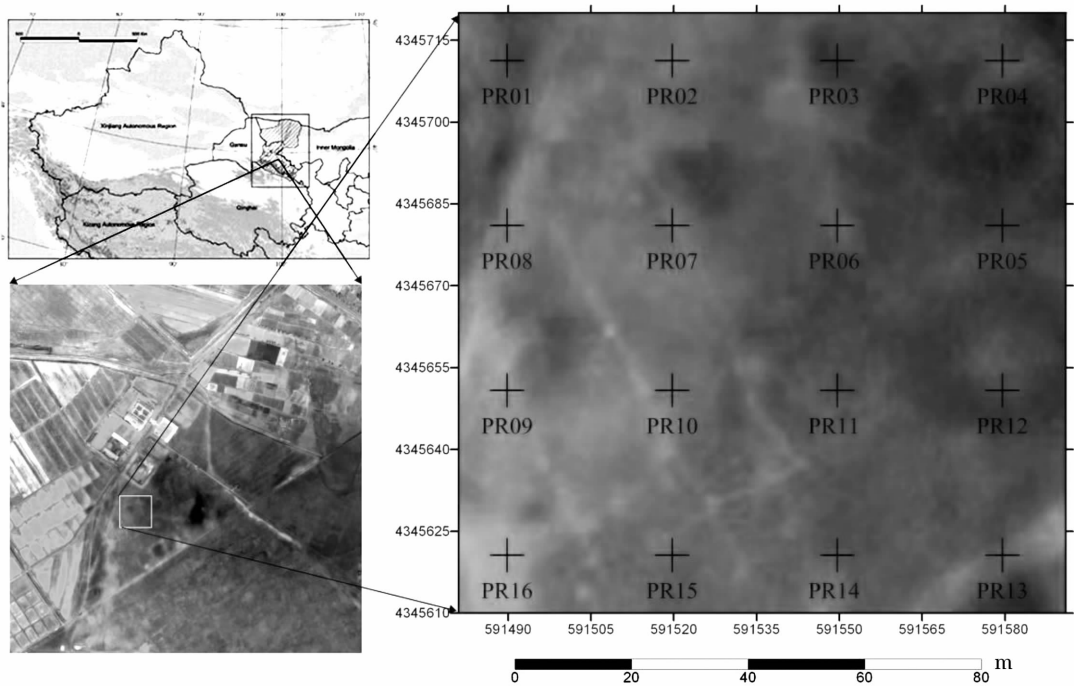


图1 “黑河流域遥感—地面观测同步试验”临泽草地站土壤水分监测点布置图(图中坐标为横轴墨卡托投影的坐标, 椭球体为 WGS84, 中央经线为 99°, 比例因子为 1, 东偏 500 km, 背景为航拍影像)

Fig. 1 The soil moisture monitor site in Linze site of WATER experiment (The coordinate is Transverse Mercator projection, Spheroid is WGS84, Central Meridian is 99°, Scale Factor is 1 and False Easting is 500 km. The background is aerial image)

式中: $S_{i,j}$ 和 $S_{i',j}$ 分别表示两个采样点 i 和 i' 在 j 天的土壤体积含水量。 $\bar{S}_{\cdot,j}$ 表示所有采样点在 j 天的平均土壤水分。当 $r_{i,i'}$ 等于 1 时, 表示这 2 个采样点完全相关, 当 2 个采样点不相关时, $r_{i,i'}$ 等于 0。

第二种相关系数用于评价土壤水分的空间稳定性, 度量 2 个时间段土壤水分空间结果之间的关系, 定义如下:

$$r_{j,j'} = \frac{\sum_i (S_{i,j} - \bar{S}_{\cdot,j})(S_{i,j'} - \bar{S}_{\cdot,j'})}{\sqrt{\sum_i (S_{i,j} - \bar{S}_{\cdot,j})^2} \sqrt{\sum_i (S_{i,j'} - \bar{S}_{\cdot,j'})^2}} \quad (4)$$

式中: $S_{i,j}$ 和 $S_{i,j'}$ 分别表示时间 j 和 j' 在 i 采样点的土壤体积含水量。 $\bar{S}_{\cdot,j}$ 表示所有采样点在 j 天的平均土壤水分, $\bar{S}_{\cdot,j'}$ 表示所有采样点在 j' 天的平均土壤水分。当 $r_{j,j'}$ 等于 1 时, 表示这 2 个时间完全相关, 当 2 个时间的土壤水分之间不相关时, $r_{j,j'}$ 等于 0。

Vachaud 等^[5] 使用了秩相关系数的方法, 得到了较多的应用, 但土壤水分观测有时会出现错误值, 包括特别小的值, 在这种情况下将对秩相关系数产生不利的影响。而相关系数法的好处是对类似这样

的问题不敏感, 在同样的情况下, 观测点的数量不影响相关系数但却对秩相关系数产生重要影响^[8,16]。

3 结果与讨论

3.1 各测点不同深度土壤水分的时间稳定性

一般情况下, 不同深度的土壤水分的时间稳定性是不一样的, 表层土壤水分受外界环境影响最为强烈, 其时空变化也最为显著。图 2 定量表达了“黑河流域遥感—地面观测同步试验”临泽草地加密观测区 16 个土壤水分采样点各层土壤水分时间稳定性, 按各点平均相对偏差的大小进行了排序, 点的编号标在了各点误差线的下面, 误差线是平均相对偏差的标准差值。

从图中可以看出, 对于 10 cm 土壤水分, 有 2 个采样点(2,3)的平均相对偏差标准差明显比其它点的大。点 6、1 和 3 的平均相对偏差接近于 0, 能代表网络平均土壤水分, 且 1 和 6 号点的平均相对偏差标准差比较小, 土壤水分时间稳定性好, 综合考虑, 1 和 6 号点可以近似代表相对长时期该网络的平均土壤水分。在 20cm 处, 各点的平均相对

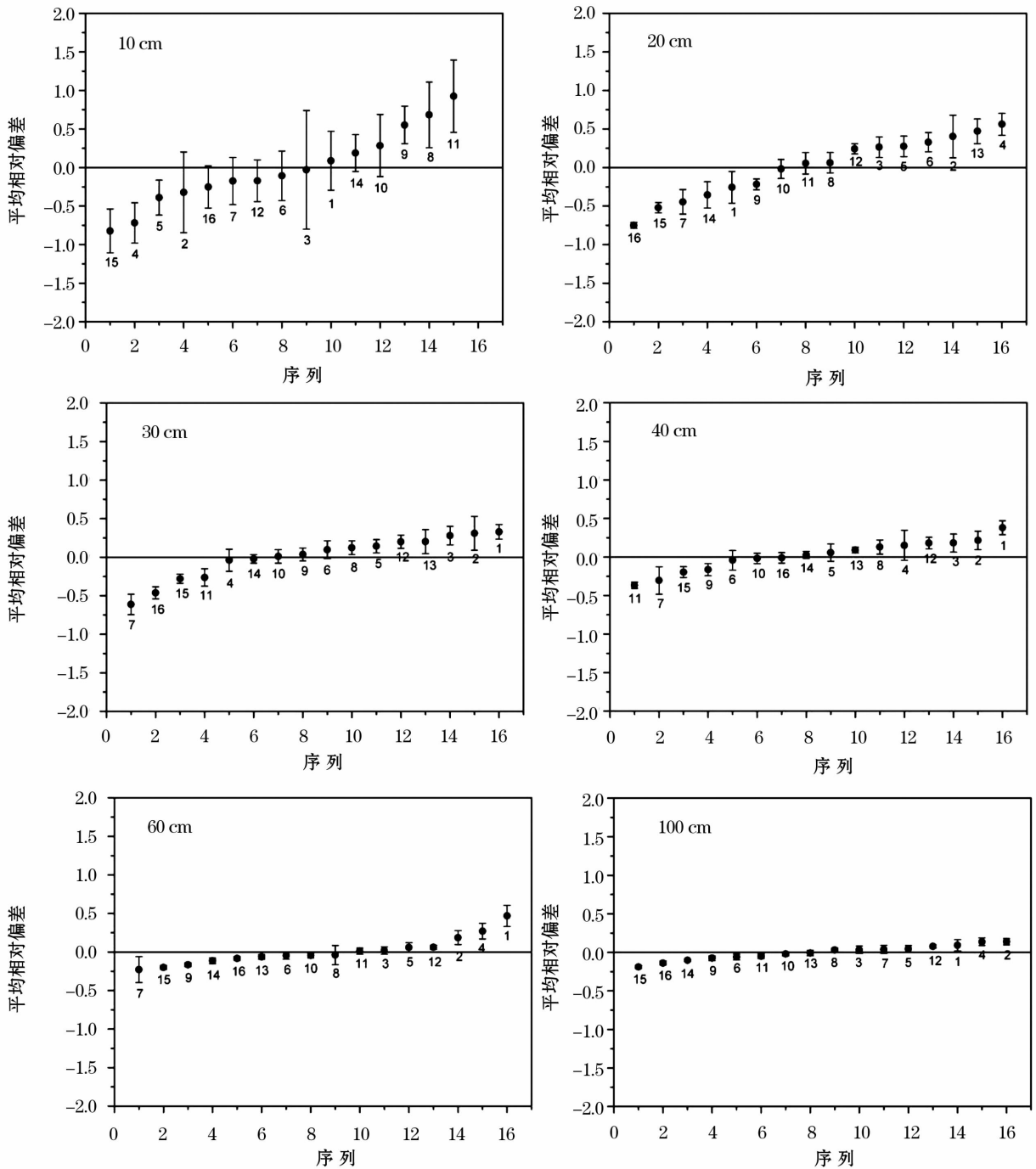


图 2 不同深度土壤水分的平均相对偏差序列图(时间为 2008 年 5 月 31 日至 2008 年 7 月 13 日,误差棒为平均相对偏差的标准差)

Fig.2 Mean relative difference plot of each soil layer for WATER experimental site (The time period is May 31 2008 to July 13 2008. The error bars are $\pm\sigma(\delta_i)$)

偏差标准差明显变小,点 10、11 和 8 可以近似代表相对长时期该网络在 20 cm 处的平均土壤水分;从 30 cm 开始各采样点的时间稳定性明显变高,能代表相应深度在该区域平均土壤水分的点数量增多。可见,不同深度能代表网络平均的观测点位置是不

一样的,而且随着观测深度从 10 cm 到 100 cm,土壤水分的时间稳定性变强,能代表网络平均值的点增多。以上分析表明土壤水分监测点的布置不一定要特别密集,最优观测点的是存在的,地毯式的采样方式是一种效率低、成本高的采样方式,但是在加

密观测之前我们往往不知道哪个点可以近似代表该区域的平均水平。一个可行的方案是先加密观测,然后根据加密观测网的稳定性分析结果,对网络进行稀疏化,保留平均相对偏差接近于 0 且其标准差最小的点。

图 3 是不同深度 16 个土壤水分采样点平均相对偏差的克里金插值图。从图中可以看出,土壤水

分平均相对偏差的空间分布表现了土壤水分的空间结构,这种结构特性整体上是随着深度逐渐变弱的,如在 10 cm 处,在格网的左上角平均相对偏差有一个负值圈,这个负值圈随着深度的加大,逐渐变大并在 30 cm 处达到最大,从 40 cm 开始又开始变小,最后消失于 100 cm 的深度上。在格网的右下角平均相对偏差有一个明显的正值圈,随着深度的加大,这

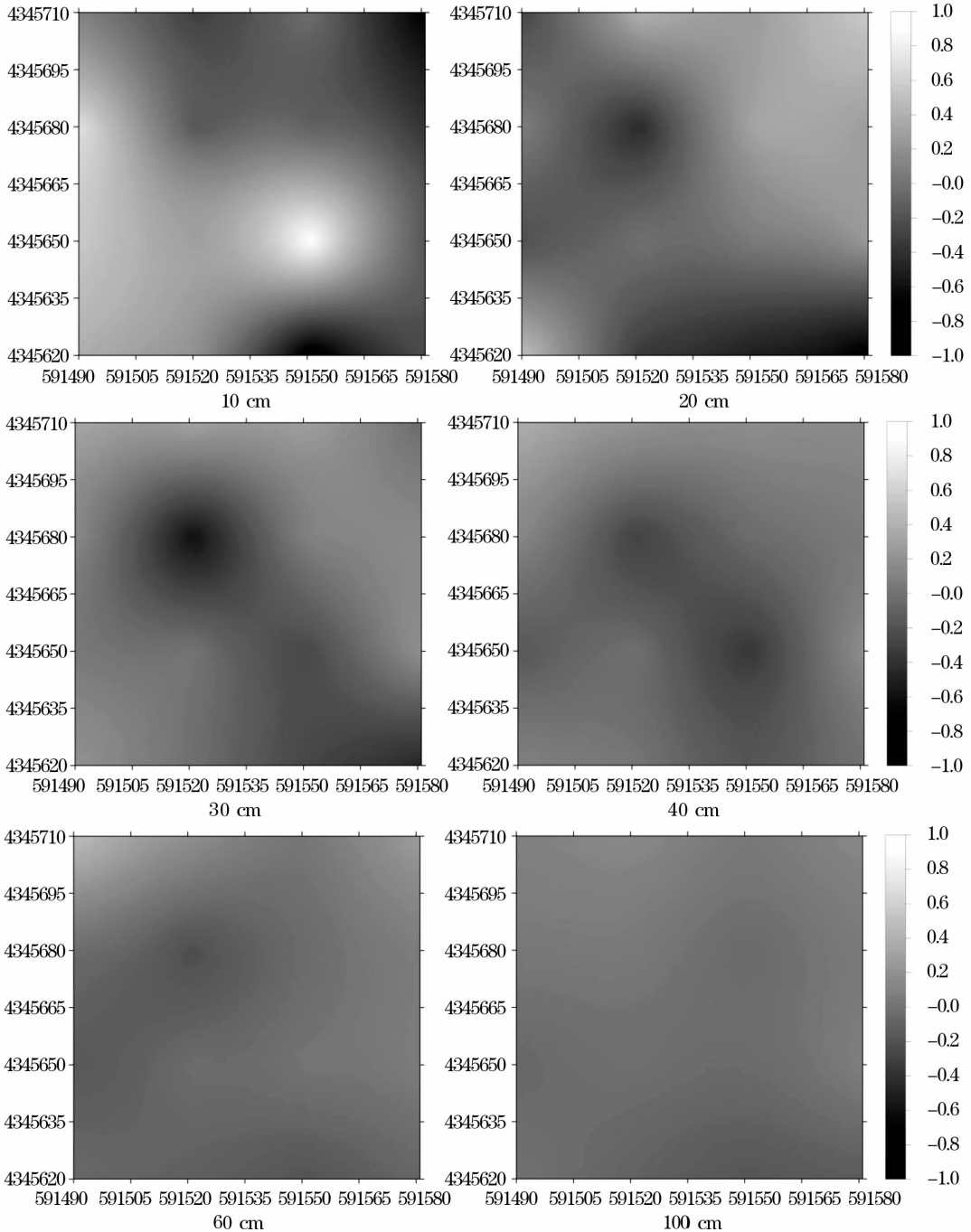


图 3 不同深度 16 个土壤水分采样点平均相对偏差克里金插值图(时间为 2008 年 5 月 31 日至 2008 年 7 月 13 日)

Fig. 3 Map of the mean relative differences of each soil layer for WATER experimental site
(The time period is May 31 2008 to July 13 2008)

个正值圈在 20 cm 处变为接近于 0, 在 30 cm 处出现负值圈, 在 40 cm 处达到最小, 最后消失在 60 cm 的深度。通过以上分析, 初步表明, 在 90 m × 90 m 的网格尺度上, 某一点土壤水分相对于整个格网上土壤水分平均值的异质性在 40 cm 深度以上是存在的, 相对于格网平均值的干湿位置在各层之间有很好的相关, 表明各层的土壤水分结构在不同深度之间具有较强的相关性, 不同位置相对于格网上相应深度土壤水分平均值的异质性消失深度略有差异但差异不大。

3.2 表层土壤水分时空模式的空间和时间相关性

图 4 是利用式(3)计算得到的 10 cm 深度不同采样点之间相关系数的克里金插值图, 按各点的平均相对偏差的大小从小到大排列, 相关系数从平均相对偏差最小的 15 号点开始, 到最大的 11 号点(13 号点因为数据缺失, 相关系数不存在)。用图 4 来考察 10 cm 深度不同采样点之间相关系数与平均相对偏差大小与正负是否存在某种关系。从图中可以看出, 10 cm 深度采样点之间相关系数与平均相对偏差大小和正负是存在一定关系的。平均相对偏差大且为负的点与其它点相关系数的关系是从正相关到负相关逐渐变化, 平均相对偏差大且为正的点与其它点相关系数的关系是从负相关到正相关逐渐变化, 平均相对偏差接近于 0 且标准差小的点(如点 6 和点 1)与其它点的相关系数相对比较小, 这可能是因为点 6 和点 1 相对代表了较长一段时间内网格内土壤水分的平均, 不受其它点的影响即与其它点的相关性很小, 进一步说明, 点 6 和点 1 在一定程度上能作为研究区内像元尺度上土壤水分的长期监测点。

图 5 是利用式(4)计算得到的 10 cm 深度不同时间土壤水分空间结构相关系数的克里金插值图, 以考察土壤水分空间分布在时间上的变化规律。从图中可以看出, 观测刚开始的几天土壤水分空间结构与其它时期的相关性比较低, 反映出刚开始几天观测区土壤水分空间结构很不稳定, 这很可能是因为前几天的土壤水分观测误差的问题, 在我们的分析中发现, 6 月 12 号之前几天的表层观测数据波动很大, 主要可能是观测仪器的误差。在平稳期相关性较好且是正相关, 说明该地区土壤水分空间结构在正常情况下变化很小; 在 6 月 22 日有灌溉的情况下, 空间结构出现变化。对角线比较宽, 说明临近日期内的土壤水分相关性是比较显著的。这进一步说明了, 这种植被类型和土壤条件下, 土壤水分空间分

布在时间上存在一定的稳定性, 稳定性的时间尺度主要受降水或灌溉事件的影响。

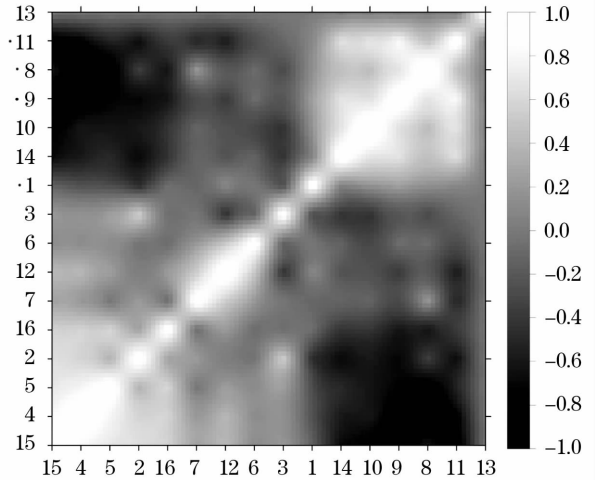


图 4 不同采样点之间的相关系数克里金插值图(10 cm)

Fig. 4 Correlation coefficients between soil moisture sensors of surface May 31 2008 to July 13 2008

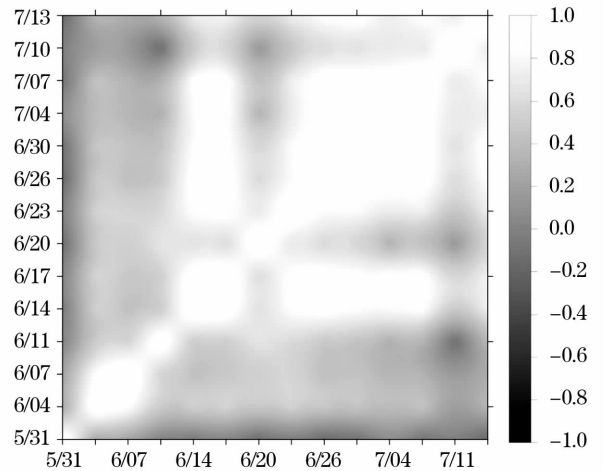


图 5 不同日期之间的土壤水分相关系数克里金插值图(10 cm)(图中坐标为月/日)

Fig. 5 Correlation coefficients plot of surface volumetric soil moisture by day of year

4 结论与展望

本文应用时间稳定性分析方法, 研究了中国西部半干旱环境下盐碱化草地 90 m × 90 m 网格尺度上多层土壤水分的时间稳定性。结果初步表明:

(1) 在土壤水分监测点布设上, 在相对长的时期内, 能代表网络水平上平均土壤水分最优观测的点是存在的, 在长期观测网络设置时, 可先加密观测一段时间, 然后根据加密观测网的时间稳定性分析结果, 对网络进行稀疏化, 保留平均相对偏差接近于 0 且其标准差最小的点开展长期观测。

(2) 在 90 m × 90 m 的网格尺度上,研究区土壤水分的空间结构在 40 cm 深度以上是类似的,但时间稳定性程度不同,表层最不稳定。在 40 cm 以下基本上趋于稳定,空间异质性降低。

(3) 空间相关与时间相关系数表明,研究区网格尺度土壤水分空间分布在时间上是稳定的。空间结构稳定性的时间尺度主要受降水或灌溉事件的影响。

另外,在这种半干旱气候环境下,土壤含水量高、盐碱化严重、蒸发强烈,影响土壤水分变化的因素是非常复杂的,同时,土壤水分的观测也存在较大误差,研究区土壤水分时间稳定性还需要进一步研究。

参考文献 (References):

- [1] Cosh M H, Stedinger J, Brutsaert W. Variability of surface soil moisture at the watershed scale [J]. *Water Resources Research*, 2004b, 40 (W12513), doi:10.1029/2004WR003487.
- [2] Wendroth O, Pohl W, Koszinski S, et al. Spatio-temporal patterns and covariance structures of soil water status in two northeast German field sites [J]. *Journal of Hydrology*, 1999, 215 (1/4): 38-58.
- [3] Qiu Y, Fu B J, Wang J, et al. Spatio-temporal prediction of soil moisture content using multiple-linear regression in a small catchment of the Loess Plateau China [J]. *Catena*, 2003, 54: 173-195.
- [4] Xin Xiuli, Zhang Jiabao, Zhu Anning. Temporal stability of spatial distribution pattern of soil water tension at different scales [J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24 (5): 15-19. [信秀丽,张佳宝,朱安宁. 土壤水吸力空间分布规律的时间稳定性研究 [J]. 农业工程学报, 2008, 24 (5): 15-19.]
- [5] Vachaud G, Silans A P D, Balabanis P, et al. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function [J]. *Soil Science Society of America*, 1985, 49: 822-828.
- [6] Kachanoski R G, de Jong E. Scale dependence and the temporal persistence of spatial patterns of soil waters storage [J]. *Water Resources Research*, 1988, 24: 85-91.
- [7] Jost G, Heuvelink G B M, Papritz A. Analysing the space-time distribution of soil water storage of a forest ecosystem using spatio-temporal kriging [J]. *Geoderma*, 2005, 128 (3/4): 258-273.
- [8] Cosh M H, Jackson T J, Moran S, et al. Temporal persistence and stability of surface soil moisture in a semi-arid watershed [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112 (2): 304-313.
- [9] Martinez-Fernandez J, Ceballos A. Temporal stability of soil moisture in a large-field experiment in Spain [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2003, 67: 1 647-1 656.
- [10] Grant Laura, Seyfried Mark, McNamara Jim. Spatial variation and temporal stability of soil water in a snow-dominated, mountain catchment [J]. *Hydrological Processes*, 2004, 18 (18): 3 493-3 511.
- [11] Zhu Shoujun, Ding Yanfang, Xue Taiqian. Study on spatial variability and temporal stability of soil moisture in agri-forestry [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2000, 7 (1): 46-48. [朱首军,丁艳芳,薛泰谦. 农林复合生态系统土壤水分空间变异性和时间稳定性研究 [J]. 水土保持研究, 2000, 7 (1): 46-48.]
- [12] Zhou Qiyou, Jun Shimada. Temporal stability of the spatial distribution pattern of soil water [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40 (5): 673-690. [周启友, 岛田纯. 土壤水空间分布结构的时间稳定性 [J]. 土壤学报, 2003, 40 (5): 673-690.]
- [13] Li Xin, Ma Mingguo, Wang Jian, et al. Simultaneous remote sensing and ground-based experiment in the Heihe river basin: Scientific objectives and experiment design [J]. *Advances in Earth Science*, 2008, 23 (9): 897-914. [李新, 马明国, 王建, 等. 黑河流域遥感—地面观测同步试验: 科学目标与试验方案 [J]. 地球科学进展, 2008, 23 (9): 897-914.]
- [14] Cosh M H, Jackson T J, Bindlish R, et al. Watershed scale temporal persistence of soil moisture and its role in validating satellite estimates [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 92 (4): 427-435.
- [15] Chen D, Engman E T, Brutsaert W. Spatial distribution and pattern persistence of surface soil moisture and temperature over prairie from remote sensing [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 61: 347-360.
- [16] Cosh M H, Jackson T J, Starks P, et al. Temporal stability of surface soil moisture in the Little Washita river watershed and its applications in satellite soil moisture product validation [J]. *Journal of Hydrology*, 2006, 323 (1/4): 168-177.

Grid Scale Temporal Stability of Multi-layer Soil Moisture in a Grassland Ecosystem in Western China

RAN Youhua, LI Xin, WANG Weizhen, JIN Rui

(Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The quantitative study of soil moisture time stability in a semi-arid, grassland types and stalinization environment is an important part of the soil moisture scaling and hydrological studies. This paper analyzed the time stability of multi-layer soil moisture in grid scale based on the 16 soil moisture profile observation in Linze grassland intensive observation period (IOP) area during “Watershed Airborne Telemetry Experimental Research (WATER)” experimental period using the mean relative difference plot and correlation coefficient method. Results show: (1) Soil moisture monitoring points exist, which can represent the grid average value for a relatively long period. The optimal choice of the location of observation points is a thinning process in accordance with prior observations of intensive observation and stability analysis result. (2) In the 90 m × 90 m grid scale, the spatial structure of soil moisture in the depth of upper 40 cm layer is similar, but the degree of stability is different, the surface layer is most unstable. The stability of below 40 cm layer is stabilizing. (3) The spatial pattern is strongly related during WATER period, just started a few days with other days having a low correlation. It has a high positive correlation in the stable phase and high negative correlation in precipitation and irrigation event. Therefore, the instability is mainly caused by rainfall and irrigation. At the same time, due to the complexity of the environment and the observation error, the soil moisture and stability characteristics in the experimental area need further study.

Key words: Soil moisture; Temporal and spatial stability; Dielectric measurements.

《地球科学进展》了解地球科学发展的窗口，
伴您从事研究的良好益友

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎刊登宣传广告！

欢迎在线访问 (www.adearth.ac.cn)