

半干旱沙地 3 种土壤水分测定方法对比研究

张军红¹, 吴波¹, 杨文斌¹, 崔利强²

(1. 中国林业科学研究院荒漠化研究所 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091;
2. 内蒙古农业大学 生态环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010019)

摘要: 土壤水分是影响干旱、半干旱地区植物生长和发育的重要因素。分别采用烘干法、TDR 法(时域反射计)和 EC-5 法这 3 种方法对毛乌素沙地土壤水分进行了观测。结果表明 3 种方法测得的各层土壤含水率之间均无显著差异; 3 种方法测得结果彼此间相关性显著; EC-5 在观测低含水率土壤水分中具有与烘干法和 TDR 法相当的效果。EC-5 土壤水分传感器在组建自动化、网络化土壤监测系统中具有优势。

关键词: 毛乌素沙地; 土壤水分; 测定

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2012)02-0147-03

中图分类号: S152.7

Comparative Study on Three Measures of Soil Moisture Determination in Semi-arid Sandy Land

ZHANG Jun-hong¹, WU Bo¹, YANG Wen-bin¹, CUI Li-qiang²

(1. Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091, China; 2. College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019, China)

Abstract: Soil moisture is an important factor for plant growth and development in arid and semiarid areas. We used three methods of drying methods, TDR (time domain reflectometry) and EC-5 sensor to observe soil moisture variations in the Mu Us sandy land. The results show that there was no significant difference in the soil moisture contents measured using the three methods in different layers. The values from the three methods were significantly correlated. EC-5 sensors could be used in observation low water contented soils with a precision level similar to traditional methods like drying and TDR. Furthermore, EC-5 is more suitable in developing an automated soil moisture monitoring network.

Keywords: Mu Us sandy land; soil moisture; measure

水分是生态系统中最活跃的因子之一,不同类型生态系统在形成与演变过程中都离不开水的作用^[1]。土壤水分是地表水、地下水和大气水之间转换的纽带,植物所需的绝大部分水分是通过根系吸收土壤水分得到的。土壤水分是影响植物生长和发育的最重要的环境因素之一,尤其是在干旱、半干旱地区,降水量少且蒸发强烈,土壤含水率低(体积含水率一般 < 10%),土壤水分是影响植被恢复与重建的首要因素^[2]。准确地掌握土壤水分动态对合理安排农牧业生产、植被恢复重建具有重要意义。随着科学技术的发展,土壤水分测量仪器越来越多,为土壤水分的研究提供了新的契机。干旱、半干旱地区较低的土壤含水率和复杂多样的土壤类型对土壤水分测量

技术(仪器)也具有特殊的要求。本研究就土壤水分测量中最基本的烘干法、最常用的 TDR 法和一种新型的土壤水分传感器 EC-5 进行野外对比实验,并就 3 种土壤水分观测方法的结果进行比较分析。

1 3 种土壤水分测定方法简介

烘干法是传统的土壤水分测定方法,也是其它方法的基准。其常规操作是将土样称重后放入烘箱,在 105 ~ 110 °C 下烘干至质量恒定后,称量烘干土质量,由此得到土壤质量含水率,利用环刀取土计算土壤容重后,可将土壤质量含水率转化为体积含水率^[3]。

TDR 原理是采用发射频率为 1 MHz 到 1 GHz 电磁脉冲的仪器,经过同轴电缆进入波导探针进行传

收稿日期: 2011-05-06

修回日期: 2011-06-23

资助项目: 国家林业局林业公益性行业科研专项“荒漠生态系统对全球变化的响应与适应策略”(201104077); 中国林业科学研究院中央公益性科研院所基本科研业务费专项资金重点项目“干旱区荒漠植物与生态系统对脉冲式降雨的响应”(CAFYBB2007008)

作者简介: 张军红(1983—)男(汉族)河南省商丘市人,博士研究生,研究方向为景观生态学。E-mail: zhangjunhong2001@163.com。

通信作者: 吴波(1968—)男(汉族)吉林省抚松县人,研究员,博士生导师,研究方向为全球变化与景观生态学。E-mail: wubo@caf.ac.cn。

播,遇到障碍物后产生反射并返回到仪器,通过测量电磁脉冲沿波导探针在土壤介质中传播并在其末端反射所需的时间,从而计算出被测物质含水率的大小。电磁脉冲的传播速度取决于包围着波导探针的材料的介电常数,而空气、矿物质、有机颗粒以及水分的介电常数有很大差异(20℃时,空气的介电常数约为1,水分的介电常数约为80,矿物质、有机颗粒的介电常数为2~7)。土壤包括空气、矿物质、有机颗粒和水分,由于水的介电常数远大于空气、矿物质和有机颗粒等物质的介电常数,因此土壤的介电常数主要取决于土壤含水量^[4,5]。伍永秋等^[6]利用计算机、数据采集转换器(data logger)和TDR探头组成的土壤水分观测系统,对黄土高原土壤水分进行了观测,并用烘干法对TDR测得数据进行了野外校正,校正方程的判定系数 $R^2=0.88$ 。

EC-5土壤水分传感器是美国Decagon公司(Decagon Devices Inc., Pullman, WA)研制的一种新型土壤水分监测仪器。其原理也是基于土壤介电常数对土壤含水率的高度敏感性,该仪器的电路板里含有一个电子振荡器,不断地向外发射特定频率(70 MHz)的方形电磁波,测量探针周围土壤的介电常数,并通过采集器将其转换为土壤体积含水率。该仪器使用耐用材料制成,耗电量少,可搭配多种型号的数据采集器长期监测土壤水分动态,数据记录时间间隔最小1 s,亦可获取即时土壤水分数据。国内外的一些应用表明^[6-12],该仪器在获取连续的土壤水分数据方面具有较好的效果。

2 研究区概况

毛乌素沙地位于内蒙古自治区、陕西省和宁夏回族自治区交界地区,面积约 $4.0 \times 10^4 \text{ km}^2$,该地区位于中国北方农牧交错地带,属于温带半干旱大陆性季风气候,西北部以牧业用地为主,东南部一些草地被开垦为农田,畜牧业与农业并存^[13]。研究区位于毛乌素沙地中部,行政区域上隶属于内蒙古自治区鄂尔多斯市乌审旗。位于 $38^\circ 09' \text{ N}$, $108^\circ 38' \text{ E}$,海拔约1 200 m。年均降水量300~350 mm,7—9月降水量约占全年降水量的60%~70%,降水量年际变化大,多雨年为少雨年的2~4倍。年均蒸发量1 800~2 500 mm。土壤为风沙土,地表物质疏松,沙源物质丰富,风大且频,风沙活动强烈^[14-15]。

3 研究方法

选用2008年8月7日研究区一次降水事件(次降水量为20.75 mm),在研究区选择一处地势平坦的

丘间地,于降雨后的8月10,11,12,13,17,18和27日在样地开挖剖面采用TDR针状探头和EC-5土壤水分探头(使用AR-5采集器为EC-5土壤水分探头供电并与电脑连接读取数据)分别测量10,20,30,40,50和60 cm土层的土壤体积含水率,每层重复3次,同时用铝盒和环刀取相应层次土壤,每层3个重复,带回实验室称取质量后于105℃烘箱中烘干至质量恒定。用Excel和SPSS 16.0软件对相关数据进行处理分析。

采用烘干法求土壤体积含水率的计算过程为:

$$\theta_m = \frac{w_1 - w_2}{w_2} \times 100\% \quad (1)$$

式中: θ_m ——土壤质量含水率(%); w_1 ——烘干前土壤质量; w_2 ——烘干后土壤重量。

$$\theta_v = \frac{V_w}{V_s} \quad (2)$$

式中: θ_v ——土壤体积含水率(%); V_w ——土壤水分体积(cm^3); V_s ——土壤总体积(cm^3)。

$$\theta_v = \theta_m \times \rho \quad (3)$$

式中: θ_v ——土壤体积含水率(%); θ_m ——土壤质量含水率(%); ρ ——土壤容重(g/cm^3)。

4 结果分析

7次测定不同土层深度的土壤含水率如表1所示。从表1可以看出,各土层土壤含水率的测量结果均是TDR测值最大,烘干法测得土壤含水率最小,EC-5测得土壤含水率值介于二者之间。方差分析表明3种方法测得的各层土壤含水率之间均无显著差异。

表1 3种方法测得不同深度土层含水率

土层深度/cm	烘干法	TDR	EC-5
10	6.08 ± 0.52 ^a	7.12 ± 0.35 ^a	6.96 ± 0.36 ^a
20	6.89 ± 0.56 ^a	8.38 ± 0.49 ^a	8.20 ± 0.47 ^a
30	6.91 ± 0.62 ^a	7.62 ± 0.41 ^a	7.40 ± 0.39 ^a
40	6.69 ± 0.31 ^a	7.57 ± 0.40 ^a	7.41 ± 0.39 ^a
50	6.43 ± 0.31 ^a	7.26 ± 0.29 ^a	7.07 ± 0.28 ^a
60	5.66 ± 0.55 ^a	6.90 ± 0.56 ^a	6.68 ± 0.56 ^a

注:表中同一行字母相同表示差异性不显著($p=0.05$)。

6个土壤层次共测得42组土壤水分数据,将3种测量结果进行回归分析,发现3种测量方法彼此均存在显著线性相关。TDR与EC-5测得数据间相关性最为显著,相关系数 R 达到0.9966,在显著性水平为0.05的情况下,方差检验的结果 $F=5\ 931.892$;其次是烘干法与EC-5测得数据间相关系数 R 为到0.9088,

方差检验的结果 $F = 189.924$; 烘干法与 TDR 测得数据间相关系数 R 略小于前两者,也达到 0.9044 , $F = 179.728$ 。对数回归方程在拟合烘干法与 EC-5 数据之间的效果最佳,判定系数 R^2 为 0.8369 ; 多项式与乘幂函数在拟合 TDR 与 EC-5 数据时均有较好的效果,判定系数 R^2 均达到 0.9934 ; 对数模型在拟合烘干法与 TDR 数据时效果最佳 R^2 为 0.8256 。

5 结论

(1) TDR 测得土壤含水率均略大于其它两种方法,烘干法测得数值略小于其它两种方法,但是3种方法测得的土壤含水率无显著差异。回归分析表明,3种方法测得土壤含水率彼此间相关性显著。

(2) 烘干法作为土壤水分测定的最基本方法,也是其它方法(仪器)数据校正的基础,但是该方法在取样过程中会造成不可避免的蒸发损失,同时该方法对样地的扰动较大,无法取得同一样点的连续数据,且需要投入较大的人力,使该方法的应用范围受限。TDR 法作为目前较成熟的土壤水分测量方法,具有对土壤扰动小、可持续观测的优势,但是在同时观测多层次土壤水分时仍存在很大限制。EC-5 土壤水分传感器价格相对低廉,最小观测时间间隔仅为 1 s ,是同时观测多层次多样点土壤水分动态的理想设备,对组建自动化、网络化的土壤水分监测系统具有很大帮助。实验证明 EC-5 在观测土壤含水率较低的半干旱沙地土壤水分时具有与烘干法和 TDR 法相当的效果,可以在半干旱沙地中应用。

[参 考 文 献]

- [1] 姜汉桥,段昌群,杨树华,等. 植物生态学[M]. 北京:高等教育出版社,2004: 115-122.
- [2] Simmons M T, Archer S R, Teague W R, et al. Tree (*Prosopis glandulosa*) effects on grass growth: An experimental assessment of above-and belowground interactions in a temperate savanna [J]. *Journal of Arid Environments*, 2008, 72(4): 314-325.
- [3] 李炎,王丹. 不同土壤水分测定方法的比较研究[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(17): 9110-9112.
- [4] 程训强,唐家良,高美荣,等. TDR 系统在紫色土坡耕地径流小区土壤水分自动监测中的应用[J]. *中国水土保持*, 2010(10): 27-29.
- [5] Skierucha W, Wilczek A, Alokina O. Calibration of a TDR probe for low soil water content measurements: Sensors and Actuators [J]. *Physical*, 2008, 147(2): 544-552.
- [6] 伍永秋,刘宝元, Erik van den Else, 等. 黄土高原土壤水分的自动监测: TDR 系统及其应用[J]. *水土保持学报*, 2001, 15(2): 108-111.
- [7] Bogena H R, Huisman J A, Oberdorster C, et al. Evaluation of a low-cost soil water content sensor for wireless network applications [J]. *Journal of Hydrology*, 2007, 344(1/2): 32-42.
- [8] Kizito F, Campbell C S, Campbell G S, et al. Frequency, electrical conductivity and temperature analysis of a low-cost capacitance soil moisture sensor [J]. *Journal of Hydrology*, 2008, 352(3/4): 367-378.
- [9] Rehman A, Abbasi A Z, Islam N, et al. A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture [J/OL]. *Computer Standards and Interfaces*, 2011(3): 4-12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.csi.2011.03.004>.
- [10] Loden P, Qi H, Porta L, et al. A wireless sensor system for validation of real-time automatic calibration of groundwater transport models [J]. *The Journal of Systems and Software*, 2009, 82(11): 1859-1868.
- [11] Nemali K S, Montesano F, Dove S K, et al. Calibration and performance of moisture sensors in soilless substrates: ECH_2O and Theta probes [J]. *Scientia Horticulturae*, 2007, 112(2): 227-234.
- [12] Riley T C, Theodore A, Endreny T A, et al. Monitoring soil moisture and water table height with a low-cost data logger [J]. *Computers and Geosciences*, 2006, 32(1): 135-140.
- [13] Cardenas L B, Dukes M D. Precision of soil moisture sensor irrigation controllers under field conditions [J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(5): 666-672.
- [14] 卢琦. 中国沙情[M]. 北京: 开明出版社, 2000: 8-11.
- [15] 陈昌笃. 走向宏观生态学: 陈昌笃论文集[C]//陈昌笃. 毛乌素沙区植被和植物资源. 北京: 科学出版社, 2009: 92-114.
- [16] 张军红, 吴波, 贾子毅, 等. 毛乌素沙地油蒿植冠下生物结皮分布特征及其影响因素研究[J]. *林业科学研究*, 2010, 23(6): 886-871.