

农田土壤水分测定三种方法的比较^①

龚元石^② 李春友 李子忠
(资源与环境学院)

摘要 应用时域反射仪(TDR)、中子仪和土钻法测定了农田土壤水分,并对农田土层含水量和土体贮水量的测定结果进行了比较。结果表明,三种方法的测定结果存在一定的差异,TDR测定农田土壤水分最精确且稳定性好。本文还提出了用TDR配合土钻法测定农田土壤容重的方法。

关键词 土壤水分; 测定; 时域反射仪

中图分类号 S152.7

Comparison of Three Methods for Measuring Soil Moisture in the Field

Gong Yuanshi Li Chunyou Li Zizhong
(College of Resources and Environment)

Abstract The soil moisture is measured in the field by time domain reflectometry (TDR), neutron probe and soil sampling, The results showed that the measured values are different. TDR measurement is most accurate among the three methods and much more stable. In addition, a method by the use of TDR combining with soil sampling to evaluate the soil bulk density in the field has been developed.

Key words soil moisture; measure; TDR

快速、准确地测定农田土壤水分,对于探明作物生长发育期内土壤水分的盈亏、对指导适时灌溉、施肥或排水等具有重要意义。目前,农田土壤水分的直接测定主要用烘干法(土钻法),间接测定可用石膏电阻块、张力计和中子仪等。土钻法一直认为是最经典和最精确的方法。但土钻法只能测定土壤重量含水量,必须已知土壤容重后才能求得体积含水量或土体贮水量,且由于土样不能原位复原,较难用于监测土壤水分动态变化。石膏电阻块法虽能定点测定,但测定结果常常受到土壤类型、盐分浓度及环境温度等影响。张力计只能测定土壤的基质势,只有已知土壤水分特征曲线才能求得土壤含水量。中子仪法虽能长期定位监测土壤水分动态变化,但中子探头的“热中子云球”的半径随土壤含水量大小而改变,尤其表层含水量不易准确测定,其应用受到限制^[1]。

收稿日期: 1996-01-03

①国家自然科学基金“八五”重大项目的部分内容,项目编号:49391600

②龚元石,北京圆明园西路2号中国农业大学(西校区),100094

80年代国外开始应用时域反射仪(Time Domain Reflectometry,简称 TDR)测定土壤水分,TDR 技术测定土壤水分主要是根据插入土壤中的金属探针,测定土壤的介电常数,并换算成土壤体积含水量^[3]。由于它具有快速、准确、连续测定等优点,在国外已成为测定土壤含水量的常规方法之一^[4],而国内在这方面的应用还刚刚起步^[2]。

本文根据 TDR 实测的土壤水分资料,与土钻法和中子仪法的测定结果进行比较,分析三种方法的测定结果(含水量和土体贮水量)产生偏差的原因,并提出用 TDR 配合土钻法测定土壤容重的方法。

1 田间试验

试验在中国农业大学科学园进行。土壤类型为草甸褐土,地下水埋深 15 m,1 m 土层土壤质地为壤土至粘壤土。本试验使用的是美国土壤湿度设备公司生产的 Trase-TDR 和美国坎贝尔公司生产的 503DR 型中子仪。

1.1 土壤含水量测定

小区面积为 4 m×6 m,TDR 探针分别埋设于剖面的 5,20,40,60 cm 处。小区内埋设铝管,可用中子仪测定土壤含水量,中子仪探头放置深度分别为 20,40,60 cm 处。用土钻法测定的土样深度分别为 0~10 cm,15~25 cm,35~45 cm,55~65 cm。测定前小区内灌水使 1 m 土体达田间持水量,灌完后用塑料薄膜覆盖,24 h 后分别用 TDR、中子仪和土钻法同步测定逐层的土壤含水量(图 1),土钻法的测定值采用三个重复的平均值。第一次测定后去掉薄膜,每日或每隔数日用上述三种方法同步测定。小区中留出一块 1 m×1 m 面积用于测定各层土壤容重(环刀法)。

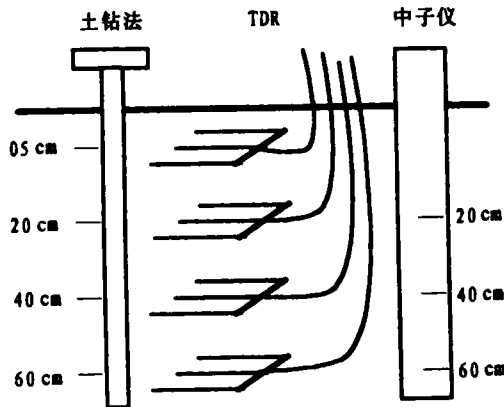


图 1 土壤含水量测定方法

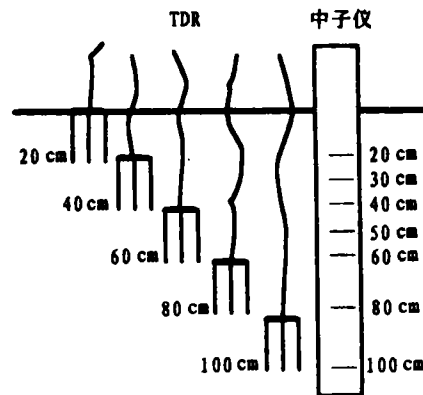


图 2 土壤贮水量测定方法

1.2 土壤贮水量测定

土壤贮水量测定的试验也在科学园内进行,冬小麦播种前把 TDR 探头(长 20 cm)分别垂直埋设于 0~20 cm,20~40 cm,40~60 cm,60~80 cm,80~100 cm 的土层内,中子仪探头的放置深度分别为 20,30,40,50,60,80,100 cm。两种方法都用于测定农田土壤贮水量

(图 2),中子铝管与 TDR 探针位置间隔 1 m 左右,两项测定一直同步进行,观测日期视天气和灌溉状况而定。

2 结果分析

2.1 土壤含水量测定结果的比较

如图 1 所示,TDR 在埋设深度处直接测得土壤体积含水量,中子仪测得的是中子探头深度一定范围内的氢原子数,然后用标定曲线换算成体积含水量,土钻法测得的土壤重量含水量乘以实测的土壤容重得到体积含水量,0~10 cm 土层容重为 1.42,15~25 cm 土层容重为 1.59,35~45 cm 土层容重为 1.63,55~65 cm 土层容重为 1.52。由 TDR 法、中子仪法(NP)及土钻法(SA)实测各层土壤含水量结果见表 1。

由于 TDR 和中子仪都是定位监测土壤各层含水量,所以测定结果稳定,在土壤表层没有入渗水量,只是在蒸发条件下,各层的含水量应不断减少,用 TDR 和中子仪观测结果具有这样的特征。而土钻法的测定结果稳定性差,越是在表层越明显,这主要是由土壤水分空间变异性引起的。

表 1 TDR、土钻法(SA)和中子仪(NP)实测土壤含水量 $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$

日期	5 cm		20 cm			40 cm			60 cm		
	TDR	SA	TDR	SA	NP	TDR	SA	NP	TDR	SA	NP
1995-10-06	0.316	0.318	0.330	0.319	0.326	0.328	0.329	0.333	0.324	0.328	0.330
10-07	0.308	0.310	0.327	0.324	0.320	0.324	0.329	0.331	0.321	0.326	0.328
10-08	0.281	0.292	0.324	0.324	0.315	0.325	0.318	0.328	0.319	0.324	0.325
10-09	0.276	0.265	0.320	0.318	0.312	0.320	0.314	0.327	0.316	0.320	0.321
10-10	0.284	0.276	0.316	0.320	0.308	0.317	0.321	0.325	0.312	0.318	0.320
10-11	0.277	0.261	0.315	0.310	0.306	0.318	0.312	0.323	0.311	0.310	0.320
10-12	0.276	0.263	0.316	0.315	0.307	0.316	0.316	0.322	0.310	0.300	0.317
10-18	0.268	0.254	0.308	0.298	0.299	0.315	0.310	0.316	0.307	0.295	0.309
10-23	0.265	0.256	0.306	0.298	0.290	0.309	0.310	0.310	0.301	0.292	0.303
10-27	0.249	0.246	0.297	0.296	0.287	0.292	0.295	0.308	0.286	0.290	0.299
10-31	0.261	0.250	0.297	0.295	0.288	0.292	0.298	0.308	0.285	0.292	0.301
11-06	0.256	0.260	0.292	0.291	0.283	0.288	0.299	0.303	0.281	0.289	0.297
11-13	0.250	0.231	0.289	0.286	0.279	0.286	0.282	0.298	0.279	0.278	0.291

TDR、中子仪和土钻法的测定结果存在一定程度的偏差,造成三种方法测定结果不一致有两个主要原因。第一,三种方法测定含水量所表示的土壤空间范围不一致,横埋式 TDR 探针测定的是探针周围 4~5 cm 范围土壤的含水量;土钻法则是取土样深度范围内的平均含水量,例如土样 35~45 cm 代表 40 cm 处的含水量;而中子仪测定的含水量所表示的土样范围随土壤含水量而改变(一般为 10~15 cm 左右)。第二,土钻法采用三个重复的平均值,如空间上的变异性大,则土钻法测得的结果与另两种方法的测定结果产生的偏差将加大。

如仍以土钻法测定的结果为标准值,TDR、中子仪与土钻法测定结果之间的平均绝对

偏差和平均相对偏差(表 2)。除表层 5 cm 外, TDR 法与土钻法的平均绝对偏差为 0.003 9~0.005 8 $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$, 平均相对偏差 1.28%~1.72%, 中子仪法与土钻法的平均绝对偏差为 0.006 9~0.007 6 $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$, 平均相对偏差 2.30%~2.58%。因此, 可以认为, 在一般农田含水量范围内, TDR 法测定精度要高于中子仪法。表层 5 cm 处 TDR 法与土钻法测定值相比偏差大的原因可能是由于表层土壤空间变异性相对较大所致。

表 2 TDR、中子仪与土钻法测定值之间的偏差

项 目	5 cm		20 cm		40 cm		60 cm	
	TDR	TDR	NP	TDR	NP	TDR	NP	
平均绝对偏差/ $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$	0.009 4	0.003 9	0.006 9	0.004 5	0.007 6	0.005 8	0.007 6	
平均相对偏差 / %	3.66	1.28	2.30	1.47	2.50	1.72	2.58	

图 3 和图 4 分别表示 TDR 法和中子仪法的测定结果与土钻法测定结果的散点图。经比较可知, TDR 法与土钻法测定值的离散程度小, 而中子仪法与土钻法测定值的离散程度大, 进一步说明了 TDR 测定含水量的精度要高于中子仪法。

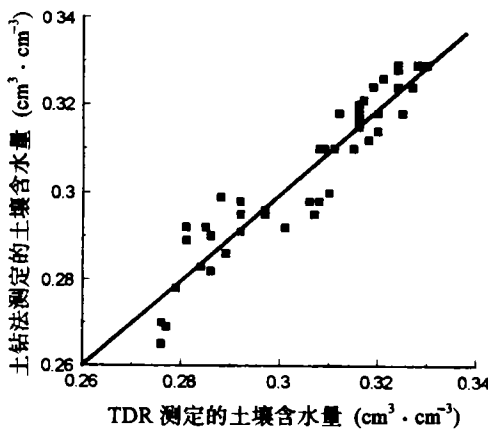


图 3 TDR 与土钻法测定结果散点图

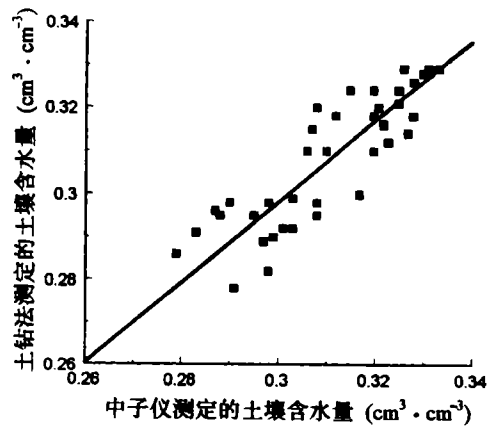


图 4 中子仪与土钻法测定结果散点图

2.2 土壤贮水量测定结果的比较

用 TDR 和中子仪测定的 1 m 土体贮水量相比较(图 5), 可看出两种方法的测定结果差异明显, 其原因是, 用中子仪测定各层的含水量时, 中子探头热中子云的球半径随着土壤湿度的大小而改变, 在用测得的含水量乘以深度计算贮水量时, 深度却是恒定不变的。因此, 用中子仪测定土壤剖面贮水量时可能存在一定的误差。中子仪测定误差最大的在表层, 若不考虑 20 cm 处中子仪的测定值, 而用 30~100 cm 处中子仪的测定值计算 20~100 cm 深度范围内的贮水量, 然后与 TDR 测定的 20~100 cm 土层贮水量比较, 两者之间的差异明显减少(图 6)。说明了这两种方法测定的 1 m 土体贮水量差异的主要原因是中子仪表层含水量

测定误差大所致。另外,在 10 月中旬有一场小雨,降水量为 5.7 mm,用 TDR 监测时测得的 0~100 cm 土层贮水量在雨后有增加的趋势,而中子仪测定结果未有此响应,说明 TDR 测定的灵敏度高于中子仪。

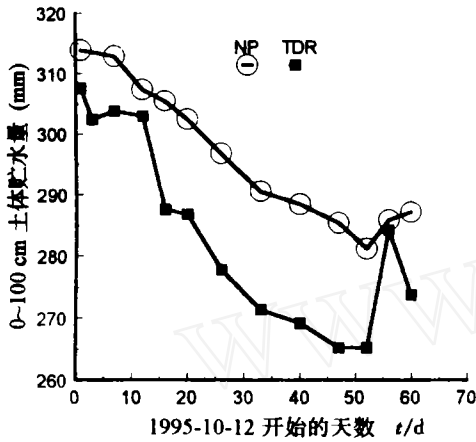


图 5 TDR 和中子仪测定的 0~100 cm 土体贮水量的比较

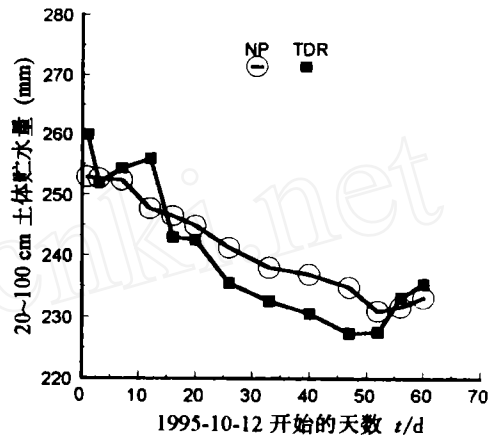


图 6 TDR 和中子仪测定的 20~100 cm 土体贮水量的比较

2.3 TDR 结合土钻法测定土壤容重

土壤容重是土壤的基本物理性质之一,用土钻法测得的土壤重量含水量计算土壤体积含水量时,必须已知土壤容重。田间实测土壤容重可用容重环测定,操作相对复杂,工作量大。由于土壤容重实际上是土壤体积含水量与重量含水量之比,而 TDR 能在田间直接测定土壤体积含水量,因此,可用 TDR 结合土钻法直接求得土壤容重,以 40 cm 土层为例,用 TDR 与土钻法测定结果求得的土壤容重见表 3。

表 3 TDR 结合土钻法测定的 40 cm 土层土壤容重

测定日期	体积含水量(TDR)/ $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$	重量含水量(土钻法)/ $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	容重/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$
1995-10-06	0.328	0.202	1.62
10-07	0.324	0.202	1.60
10-08	0.325	0.195	1.67
10-09	0.320	0.193	1.66
10-10	0.317	0.197	1.61
10-11	0.318	0.192	1.66
10-12	0.316	0.194	1.63
10-18	0.315	0.190	1.66
10-23	0.309	0.190	1.63
10-27	0.292	0.181	1.61
10-31	0.292	0.183	1.60
11-06	0.288	0.183	1.57
11-13	0.286	0.173	1.65

同理,5 cm,20 cm处和60 cm处用TDR结合土钻法测定的土壤容重与环刀法田间实测容重的比较结果见表4。如果用这种方法估算的土壤容重是稳定的,这也说明了TDR测定结果的准确性。

表4 不同深度处估算的容重与环刀法实测容重对比

深度 (d/cm)	TDR结合土钻法测定容重 /g·cm ⁻³	环刀法实测容重 /g·cm ⁻³
5	1.45	1.42
20	1.61	1.59
40	1.63	1.63
60	1.52	1.52

3 结论

应用土钻法、中子仪和TDR测定农田土壤含水量时,中子仪和TDR测定结果稳定,而土钻法由于农田土壤水分的空间变异性,测定值的稳定性差。三种方法的测定结果有一定程度的偏差,如以土钻法测定结果为标准,TDR法在表层明显优于中子仪法。用中子仪和TDR测定的农田1 m土体贮水量比较,两者差异较大,其主要原因在于中子仪不能精确测定表层土壤的含水量,而用中子仪测定20~100 cm土层的贮水量与TDR测定值相差不大。用TDR结合土钻法还可以测定土壤容重,与田间环刀法实测土壤容重基本吻合。

致谢: 感谢澳大利亚ICT公司提供Trase-TDR水分测定仪。

参 考 文 献

- 1 周钟瑜等. 土壤水分测定方法. 北京:水利电力出版社,1986, 64~86
- 2 龚元石,廖超子. 测定土壤含水量的新技术——时域反射仪. 见:石元春等主编. 节水农业应用基础研究进展. 北京:中国农业出版社,1995,48~55
- 3 Topp G C, Davis J L. Measurement of soil water content using time domain reflectometry; A field evaluation. *Soil Sci Soc Am J*, 1985, 49:19~24
- 4 Zegelin S J, White I, Russell G F. A critique of the time domain reflectometry technique for determining field soil water content. In: Topp G C, et al eds. *Advances in Measurement of Soil Physical Properties; Bringing the Theory into Practice*. SSSA Special Pub. Number 30, SSSA, Inc Madison, Wisconsin, USA, 1992, 187~208