文章编号:1000 - 1573(2000)03 - 0023 - 04

TDR 法、中子法、重量法测定土壤含水量的比较研究

王贵彦¹, 史秀捧², 张建恒¹, 梁卫理¹

(1. 河北农业大学 农学院,河北 保定 071001; 2. 河北省辛集市农业技术推广中心,河北 辛集 052360)

摘要:对用 TDR 法、中子法和重量法测得的土壤水含量观测值的比较结果表明,随着土壤深度和测量时间的变化,中子法的平均测定误差为 3.76 %,TDR 法为 3.59 %。并且这 2 种方法的土壤水含量观测值的时空变化和重量法具有相同的趋势。因此,用 TDR 法测定土壤含水量与用中子法是同样可靠的。

关键词: TDR法: 中子法: 重量法: 土壤水分: 比较

中图分类号: S 152.7 文献标识码: A

A study on the comparison of measuring soil water content with TDR, neutron probe and oven dry

WANG Gui-yan¹, SHI Xiu-peng², ZHANG Jian-heng¹, LIANG Wei-li¹

- (1. College of Agronomy, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China;
- 2. The Agro-technology Extension Center of Xinji County, Xinji 052360, China)

Abstract: A comparison of measuring soil water content with oven dry, neutron probe and TDR was made. It showed that the mean error in soil depth and time of neutron probe measurement was 3.76 % and that of TDR was 3.59 %. Soil water dynamics simulated with the regressive equations built with data measured with neutron probe and TDR were similar. The result showed that it was reliable to measure soil water content both with neutron probe and TDR.

Key words: TDR; neutron probe; oven dry; soil water content; comparison

农田土壤水的动态变化反映了作物的水分供需状况。因此,快速、准确地测定土壤含水量对农田水分管理具有十分重要的意义。测定土壤含水量的方法有重量法、电容或电阻法、张力计法和核技术方法等[1]。其中,近20年中核技术已被广泛应用于快速测定土壤水分,先后研制成功了中子水分仪、冻土勘测用水分仪、手提式中子土壤水分仪等^[2]。然而,随着人们对试验结果和试验精度要求的不断提高,在许多试验研究中,需定点、原位、精确、连续地监测土壤水分动态。TDR (Time Demain Reflectometry,时域反射仪)为人们提供了一种简便、快速、省时、精确的测定方法。

1 原理和方法

1.1 原理

TDR(时域反射仪)是一种测量电磁脉冲从发射源出发到遇到障碍物产生反射后返回发射源所需时间的仪器。人们可以利用电磁波在土壤中的传播特性来测定土壤的含水量。电磁波在介质中的传播速度可由下式表示:

$$V = C / \sqrt{\cdot \mu}$$

收稿日期:1999 - 11 - 17

基金项目:河北省科委博士基金资助项目"利用激发效应提高高产粮田稀缺资源生产效率和经济效益的研究"

作者简介:王贵彦(1971-),女,河北省行唐县人,硕士,主要从事农作制度、农业推广与农村发展等教学与科研工作.

式中: C 为电磁波在真空中的传播速度,即 300 000 km·s⁻¹: 为传播介质: μ 为磁性常数。 V 的测定可 根据电磁波在一已知距离内传播所需的时间确定 .即: V = D/t

式中 D 为已知的电磁波的传导距离 t 为传播这一距离所需要的时间。

由于土壤属非磁性介质,u = 1.而介电常数 是土壤含水量的函数,所以通过测定介电常数 即可求出 土壤的含水量。

1.2 试验方法

试验于河北省辛集市原种厂进行。试验所用仪器为LNW-50C中子仪和6051X1型TDR。

在 5 m ×7 m 平坦的试验小区内,按对角线方向埋设 2 根中子管,平衡 7~8 d 后待测。同时在每个中子 管周围约 30 cm 范围内以 20 cm 为 1 层次将 TDR 探头插入土壤中。每次测量时 .用土钻在中子管周围取相

同层次的十壤用重量法测 定其含水量,重复6次。 十壤容重统一采用 5 点取 样法测得的数据,30~190_ cm土层深度的土壤容重 见表 1。

Table 1	Soil bulk o	density of t		工层冰层 mental fiel			30 to 190	cm
土壤层次/cm Soil depth	30 ~ 50	50 ~ 70	70 ~ 90	90 ~ 110	110 ~ 130	130 ~ 150	150 ~ 170	170 ~ 190
容重/ (g cm ⁻³)	1.40	1.33	1.38	1.42	1.33	1.30	1.36	1.39

2 结果与讨论

从小麦播种后第7天至收获期间用3种方法测得的数据见表2。

表 2 重量法、中子法、TDR法测得的土壤水含量观测值

Table 2	C - 2	4 4 4			.1	4		T) D
rabie 2	SOII	water content	measurea	with oven	arv.	neutron	prope and 1	DΚ

土壤深度/cm 处理播种后天数/d D			Days after sowing			土壤深度/cm	处理	擂	播种后天数/ d			Days after sowing			
Soil depth	Treatment	7	24	158	186	201	226	Soil depth	Treatment	7	24	158	186	201	226
30 ~ 50	W_{G}	28.68	29.56	33.74	25.96	17.21	26.00	110 ~ 130	$W_{\rm G}$	30.96	28. 19	37.66	31.12	27. 15	29.07
	$W_{\rm N}$	29.68	29.04	33.74	25.89	17.52	26.71		$W_{\rm N}$	29.23	28.78	38. 53	32.38	28.44	32. 14
	W_{T}	29. 20	29.40	34.50	26.70	18.90	27.60		W_{T}	28.60	26.80	36.45	30.90	27.45	26.70
50 ~ 70	$W_{\rm G}$	33.86	30.64	37.87	35. 58	28.50	29.73	130 ~ 150	$W_{\rm G}$	29.75	33.54	35.74	35. 15	31.93	32. 22
	$W_{\rm N}$	30.62	30.44	38.91	36. 28	30.28	32. 12		$W_{\rm N}$	28.96	30.97	33.01	35.38	32.47	31.65
	W_{T}	31. 15	31.45	41.30	36. 35	27.75	29.50		W_{T}	30.45	31.45	33.70	35.95	33.05	34. 35
70 ~ 90	$W_{\rm G}$	33. 87	31.38	40.26	35. 19	30.35	33.33	150 ~ 170	$W_{\rm G}$	28.97	26.38	32. 82	33.88	30. 35	30. 16
	$W_{\rm N}$	35.04	33.65	42.03	37.97	33.59	36. 12		$W_{\rm N}$	27.96	27.70	35.84	36.96	33.62	32.45
	W_{T}	35.30	34. 25	40.95	34. 65	30.80	33.75		W_{T}	28.50	28.40	36.45	36.45	33.90	33.05
90 ~ 110	$W_{\rm G}$	29. 54	26.33	40.08	32. 15	26.99	30.60	170 ~ 190	$W_{\rm G}$	18.34	17. 19	29.89	31.80	28. 14	27.73
	$W_{\rm N}$	32.23	29. 15	41.88	34. 58	29.51	30.74		$W_{\rm N}$	17.41	16.20	29. 12	31. 15	27.85	26.32
	W_{T}	29.55	26.00	42.75	34. 45	29.20	30.60		W_{T}	16.40	15.60	30.33	30.60	26.90	24.05

注: W_0 :重量法测得的土壤含水量, W_0 :中子法测得的土壤含水量, W_T :IDR 法测得的土壤含水量;由于中子仪对表层含水量 的测定准确性不好,故只采用30 cm以下的测量数据予以比较.

以土壤深度 (x_1) 和测定时间 (x_2) 为自变量,土壤水含量观测值(y)为因变量分别建立它们之间的二元二 次和二元三次回归方程。经比较 2 个方程的复相关系数可知,二元二次方程的复相关系数较大且其图形更 为贴近已有的经验^[3]。用 SAS 统计软件进行回归分析 .所得回归方程如下:

重量法: $y = 22.79 + 0.1906x_1 + 0.0879x_2 - 0.00119x_1^2 + 0.0004219x_1x_2 - 0.000566x_2^2$

Prob > F 的概率为 0.000 1 $r^2 = 0.5495$

中子法: $y = 20.29 + 0.2515x_1 + 0.09567x_2 - 0.001495x_1^2 + 0.0004245x_1x_2 - 0.0005719x_2^2$

Prob > F 的概率为 0.000 1 $r^2 = 0.626 6$

TDR 法: $y = 22.49 + 0.1936x_1 + 0.115x_2 - 0.001242x_1^2 + 0.000445x_1x_2 - 0.0006796x_2^2$

Prob > F 的概率为 0.000 1 $r^2 = 0.56$

由 Prob > F 的概率可以看出 ,3 个回归方程均达到了 = 0.1 的显著水平。

将土壤深度(20 cm 为 1 层次)和测定时间(以播种后的天数表示)代入回归方程,可分别计算出不同测定 方法下该土壤层次和该测定时间的土壤含水量值(见表 3)。由于重量法的测定误差很小,被认为是测定土 壤含水量的标准方法[4]。所以,以重量法为基准,计算公式如下式:

$$E(\%) = \frac{/W - W_G/}{W_G} \times 100$$

结果见表 3。并对中子法和 TDR 法的可靠性做出评价[4]。

表 3 中子法和 TD R 法测定土壤含水量的误差比较

Table 3 Th	The comparison of errors in soil water content measured by neutron probe and TDR								
土壤深度/cm	处理		播种后天数/d Days after sowing						
Soil depth	Treatment	7	24	158	186	201	220		
40	W_{G}	29. 22	30.70	30. 94	28. 42	26.71	23.2		
	$W_{ m N}$	28.72	30.33	31.48	29. 13	27.50	24.		
	W_{T}	29. 14	31.04	32. 26	29.44	27.48	23.		
	E _N (%)	1.71	1.21	1.75	2.50	2.96	3.		
	E _T (%)	0.27	1.11	4. 27	3.59	2.88	1.		
60	$W_{ m G}$	30.71	32.34	33.71	31.43	29.84	26.		
	$W_{ m N}$	30. 81	32.58	34. 86	32.74	31.24	28.		
	W_{T}	30.59	32.64	35.06	32.48	30.66	26.		
	E _N (%)	0.33	0.74	3.41	4. 17	4. 69	5.		
	E _T (%)	0.39	0.93	4.00	3.34	2.75	1.		
80	$W_{ m G}$	31.26	33.03	35.53	33. 48	32.02	29.		
	$W_{ m N}$	31.72	33.62	37.05	35. 17	33.79	30.		
	$W_{ m T}$	31.05	33. 25	36. 86	34. 53	32.84	29.		
	E _N (%)	1.47	1.79	4. 28	5. 05	5.53	6.		
	E _T (%)	0. 67	0. 67	3. 74	3. 14	2.56	1.		
100	$W_{ m G}$	30.85	32.77	36.9	34. 59	33. 25	30.		
100	$W_{ m N}$	31.43	33.47	38. 03	36. 39	35. 14	32.		
	$W_{ m T}$	30. 51	32. 87	37.67	35. 59	34. 03	30.		
	E _N (%)	1.88	2. 14	3.06	5. 20	5. 68	6.		
	E _T (%)	1. 10	0.31	2. 09	2. 89	2.35	1.		
120	$W_{ m G}$	29. 50	31.55	36.31	34. 74	33.53	30.		
120	$W_{ m N}$	29. 94	32. 13	37.83	36. 42	35. 30	32.		
	$W_{ m T}$	28. 98	31.49	37. 48	35. 65	34. 23	31.		
	E _N (%)	1.49	1.84	4. 19	4. 84	5. 28	6.		
	$E_{\rm T}(\%)$	1.76	0. 19	3. 22	2. 62	2.09	0.		
140	$W_{\mathbf{G}}$	27. 19	29.39	35. 28	33. 94		30.		
140	$W_{ m N}$	27. 19	29. 59	36. 42	35. 26	32. 86 34. 26	32.		
	$W_{ m T}$	26.46	29. 11	36. 30	34. 72	33. 43	30.		
	$E_{\rm N}(\%)$	0. 22	0.68	3. 23	3. 89	4. 26	5.		
	$E_{\rm T}(\%)$	2. 68	0.95	2. 89	2. 30	1.73	0.		
160		23. 93	26. 28	33. 30	32. 20	31. 24			
100	$W_{ m G}$ $W_{ m N}$	23. 37	25. 85	33. 82	32. 20	32. 03	29. 30.		
	$W_{ m T}$	23. 37	25. 75	34. 13	32. 89 32. 79	33. 43	29.		
	$E_{\rm N}(\%)$	2. 34	1.64	1.56	2. 14	2.53	3.		
	$E_{\rm N}(\%)$ $E_{\rm T}(\%)$	2. 34 4. 14	2. 02	2. 49	1. 83	7. 01	0.		
100									
180	$W_{ m G}$	19.73	22. 21	30. 37	29. 50	28. 67	26.		
	$W_{ m N}$	18. 29	20. 91	30. 03	29. 34	28. 59	26.		
	$W_{ m T}$ $E_{ m N}(\%)$	18. 43	21.39	30.96	29. 87	28. 86	26.		
	$E_{\rm N}(\%)$ $E_{\rm T}(\%)$	7. 30 6. 59	5. 85 3. 69	1. 12 1. 94	0. 54 1. 25	0. 28 0. 66	0. 0.		

注: $E_N(\%)$ 表示中子法的误差, $E_T(\%)$ 表示 TDR 法的误差.

从表 3 可以看出,中子法的测定误差在 0.22 % ~ 7.30 %之间,平均为 3.76 %; TDR 法的误差在 0.17 % ~

7.01%之间,平均为3.59%。

中子法和 TDR 法的土壤水分观测值无论随土壤层次还是测定时间的变化,其变化趋势均与重量法相 同。由此可见,用 TDR 法测定土壤含水量与用中子法是同样可靠的。

重量法虽然被认为是测定土壤含水量较准确的方法之一,但它不能进行土壤水分的原位测定,给试验者 带来一定的不便。中子法在 20 世纪 50 年代就被用于测定土壤含水量^[5]。Hewlett (1964)^[6]、Sinclair 和 Williams (1979) [7]、Haverkamp (1984) [8]、陈志雄 (1990) [4] 等从不同的角度对中子法的测量误差进行分析后认 为,仪器因素和标定因素在大多数情况下所带来的误差占总误差的比例很小,并且可以通过采取一定的措施 来减小这些误差。而土壤湿度的空间变异(位置因素)是田间水分测定误差的主要来源。根据本试验的测定 结果,和重量法相比,中子法的最大偏差达7.30%。因此,在测定时应采取一定的措施来尽量减小由于土壤 质地的不均匀或土壤湿度的空间变异性所造成的误差。TDR 法和重量法相比也存在一定的误差,但它具有 简便、测定速度快、精度高、无放射性和适于长期定位观测等优点。 另外在测量过程中 .也应防止含水量的空 间变异性所带来的误差[9]。

参考文献:

- [1] 唐掌雄,胡江朝.中子法、电阻法、称重法测量土壤水分的比较[J].核农学通报,1987(6):4-7.
- [2] 罗克勇. 中子测水技术的应用[J]. 核农学通报, 1987(6):26-29.
- [3] 周乃键,苗果园,石建国. 土壤水分观测数据的图示分析[A]. 位东斌,王铭伦. 旱作农业理论与实践[C]. 北京: 中国农 业科技出版社,1999.
- [4] 陈志雄、Vauclin Michel. 封丘地区土壤水分平衡研究 II. 中子探管法测定土壤含水量的误差分析[J]. 土壤学报、1990.27 (3):309 - 316.
- [5] Gardner W, Kirkham D. Determination of soil moisture by neutron scattering [J]. Soil Science, 1952,73:391 401.
- [6] Hewlett J D, Douglas J E, Clutter J L. Instrumental and soil moisture variance using the neutron scattering method[J]. Soil Sci, 1964, 97:19 - 24.
- [7] Sinclair D F, Williams J. Components of variance involed in estimating soil water content and water change using a neutron moisture me ter[J]. Aust. J. Soil Res, 1979, 17:237 - 247
- [8] Haverkamp R, Vauclin M. Error analysis in estimating soil water content from neutron probe measurements: 1 Local standpoint [J]. Soil Sci. 1984.137(2):78 - 90.
- [9] 周刘宗,周凌云,徐梦熊,等.田间土壤含水量的原位测定——IDR 仪的应用[J].土壤,1996(4):213-216.

(编辑:李 川)

河北农业大学解放前出版物拾遗

北直农话报

1905 年 11 月创办于河北农业大学前身 ——保定高等农业学堂,至 1906 年 10 月共出 20 期;第 2 期至第 11 期北京图书馆(国家图书馆)收藏:第10期、第18期至第20期四川省图书馆收藏。

(李希孔供稿)