

TDR法、干烧法及烘干法测定土壤含水量的比较研究

徐爱珍¹, 胡建民², 熊永¹, 邹国庆³, 陈晓安¹

(1. 江西省水土保持科学研究院 江西省土壤侵蚀与防治重点实验室, 江西 南昌 330029;

2. 江西省水利科学研究院, 江西 南昌 330029; 3. 江西绿川科技发展有限公司, 江西 九江 330400)

摘要:以第四纪红壤土为研究对象,采用TDR法、干烧法及烘干法3种方法对不同土层深度的不同梯度土壤含水量进行测定,研究表明:干烧法测量值接近烘干法,TDR法测量值比烘干法小,TDR法和干烧法绝对偏差和相对偏差随着土层深度的增加而减小;TDR法和干烧法绝对偏差和相对偏差随着土壤含水量增大而减小,土壤含水量在半湿润条件下偏差较大;TDR法、干烧法与烘干法相关性分别为98.7%和96.4%。本研究结果证实,TDR法和烘干法均能较好的反映土壤水分变化规律,TDR法相对烘干法偏小,使用前有必要进行标定以提高精确度。

关键词:土壤含水量;TDR法;干烧法;烘干法;第四纪红壤土

中图分类号:S152.7

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2018)02-0253-04

Comparison of soil moisture measurement using TDR method, dry burning method and oven drying method

XU Aizhen¹, HU Jianmin², XIONG Yong¹, ZOU Guoqing³, CHEN Xiaolan¹

(1. Jiangxi Provincial Institute of Soil and Water Conservation, Key Laboratory of Soil Erosion and Prevention, Nanchang 330029, China; 2. Jiangxi Provincial Institute of Water Science, Nanchang 330029, China; 3. Jiangxi Green River Technology Development Co. Ltd, Jiujiang 330400, China)

Abstract: Taking quaternary red soil as the research object, TDR method, dry burning method and oven drying method were used to determine soil moisture in different gradients of different soil depth. Research results show that: measured value of dry burning method is relatively close to oven drying method, measured value of TDR is smaller than that of oven drying method, the absolute and relative deviations of the TDR method and dry burning method decrease with the increase of soil depth. The absolute deviation and relative deviation of the TDR method and dry burning method decrease with the increase of soil moisture content, and deviation of the soil moisture content is large in semi-humid conditions. The correlation of the TDR method, the dry burning method and oven drying method were 98.7% and 96.4% respectively. The results of this study confirm that TDR method and dry burning method can better reflect the soil water change law, and TDR method is smaller compared with the oven drying method, so it is necessary to calibrate to improve the accuracy before use.

Key words: soil moisture; TDR method; dry burning method; oven drying method; quaternary red soil

1 研究背景

土壤水分是研究土壤物理性质的一个重要指标,它对于地表植物、土壤动物及微生物生长均具有重要的意义,为此,土壤水分及其变化的监测在水循环研究和农田灌溉排水管理中,更是必不可少的基

本资料^[1-2]。目前,国内外土壤水分测定方法主要包括以下几种^[3-6]:滴定法、Karl Fischer法、称重法、电容法、电阻法、 γ 射线法、微波法、中子法、核磁共振法、时域反射法(TDR)、土壤张力法、土壤水分传感器法、石膏法和红外遥感器法。应用最广泛的土壤水分测定方法为传统的烘干法,该方法具有成

收稿日期:2017-09-22; 修回日期:2017-12-02

基金项目:水利部948项目(201519);江西省水利科技项目(KT201615、KT201419)

作者简介:徐爱珍(1986-),女,江西吉安人,硕士,工程师,主要从事土壤侵蚀方向研究。

通讯作者:胡建民(1974-),男,江西赣州人,硕士,教授级高级工程师,主要从事土壤侵蚀及水土保持方向研究。

本低、误差小等优点,但也存在不能原位监测、对土壤破坏性强、烘干历时长等缺点。

近几年,时域反射法(TDR)为普遍采用的一种快速、精确测定土壤含水量的方法,具有准确、方便、快捷等特点^[7-8],其基本原理为:根据电磁波在介质中的传播速度来测定介质的介电常数,从而确定土壤容积含水量及含盐量。电磁脉冲沿着波导棒的传播速度取决于与波导棒接触和包围着波导棒材的介电常数(K_a),通过 Topp 公式^[9-10]将介电常数与土壤体积含水量进行转换,从而测定土壤含水量。相比较于传统烘干法,TDR 法具有能够实现原位检测、对土壤破坏性较小、耗时短、对人工要求低等诸多优点。但随着研究的不断深入,研究人员发现该方法还受质地、容重、土层及温度等诸多因素的影响^[11-13],如对扬州地区不同土壤研究发现,容重在 $1.3\text{g}/\text{cm}^3$ 处 TDR 测定值接近真实值,容重越小或越大,其偏差就越大。目前 TDR 法在南方红壤区测定土壤水分应用较为广泛但对其精准性研究较少,为此,本文以赣北第四纪红壤土为研究对象,采用 TDR 法、干烧法和烘干法 3 种土壤含水量测定方法,测定不同容重和土层条件下第四纪红壤水分,了解 3 种方法之间的差异,以为南方红壤区土壤水分测定提供依据。

2 材料与方法

2.1 试验材料

TDR(即 Time Domain Reflectometry,时域反射)基本原理是高频电磁波脉冲沿传输线在土壤中传播的速度依赖于土壤的介电常数,而介电常数主要受土壤水分含量支配,根据电磁波在介质中传播频率计算出土壤的介电常数,从而利用土壤介电常数和土壤体积含水量之间的经验关系计算出土壤含水量。本研究使用的 TDR 传感器型号为 Campbell CS630-L40,由 3 根探针和 1 个托体组成,探针长 15 cm,探针直径 0.318 cm,探头 $5.75\text{ cm} \times 4.0\text{ cm} \times 1.25\text{ cm}$,通过在同轴线系统中发射高频电磁脉冲来进行土壤水分的测量(TDR 探头包含在同轴线系统中),随后对采集和数字化反射回来的波形进行分析和存储,最后内置处理器根据传播的时间和返回脉冲信号的振幅信息快速而精确地获得土壤体积含水量。

2.2 试验方法

本试验在江西水土保持生态科技园内进行,园区地处江西省北部的德安县燕沟小流域,位于 15°

$42'38'' \sim 115^\circ 43'06''\text{E}$ 、 $29^\circ 16'37'' \sim 29^\circ 17'40''\text{N}$,属亚热带湿润季风气候,降雨充沛,多年平均降雨量 1350.9 mm,平均气温 16.7°C ,年日照时数 1 650 ~ 2 100 h,多年平均无霜期 249 d,土壤为第四纪红黏土发育的红壤,呈酸性至微酸性。本文采用传统烘干法、酒精干烧法、时域反射法(TDR)3 种方法测定不同土层容重土壤水分,并以烘干法为基准对 TDR 测定值进行对比研究,具体步骤如下:

(1)从野外按 0 ~ 30 cm、30 ~ 60 cm、60 ~ 150 cm、150 ~ 280 cm 4 个不同土层采取原状土,除去石砾、杂草、根系等杂质,并将土壤风干,过筛(孔径 2 mm)。混合土样机械组成为砂粒(粒径 2 ~ 0.02 mm)含量 30.2%、粉粒(粒径 0.02 ~ 0.002 mm)含量 40.9%、黏粒(粒径 $<0.002\text{ mm}$)含量 28.9%,根据国际土壤质地分类标准^[14],测试土样为黏土。同时测定不同土层土壤容重,测定结果见表 1。

表 1 不同深度土层容重测定结果 $\text{cm}, \text{g}/\text{cm}^3$

0 ~ 30	30 ~ 60	60 ~ 150	150 ~ 280
1.327	1.472	1.526	1.639

(2)试验前先称取一定质量的风干土壤,采用酒精干烧法测定 0 ~ 30cm 土层风干土壤的初始含水量,再根据初始含水量配置不同百分比含量的湿土。

(3)用铝盒取一定量 0 ~ 30cm 土层其中一个百分比含量的湿土,称出湿土重量,倒入酒精没过试样,点燃酒精燃烧,直到火焰熄灭,待试样冷却后,再重复燃烧一次,待火焰熄灭后称取铝盒干土重,并计算此时土壤含水量,重复 3 次。

(4)根据标定容器(直径 28 cm,高 15 cm,厚度 1cm,底部有多孔,具体装置见图 1)体积、0 ~ 30 cm 土层的容重、干烧法计算的土壤含水量、待回填的土层厚度来计算需回填的配置好的湿土质量,将风干过筛后的配置的湿土分层(每层 2cm)均匀地夯实至标定容器中,直至 14 cm 处,并在标定容器 7.5 cm 左右处埋设 CS630-L40 土壤水分传感器,用 TDR100 测量土壤水分传感器的 LAL 和 Topp 体积含水量,每个百分比含量的湿土进行 3 次重复试验,同时采用烘干法测定湿土土壤含水量。

(5)30 ~ 60 cm、60 ~ 150 cm、150 ~ 280 cm 3 个土层标定重复步骤(1)~(4)。

上述研究方法需要的风干土样同一个土层可以重复利用,以减少筛土的工作量,且每次加水量也较好控制。此外,本试验所用标定容器底部有多孔,土

壤水分因重力作用,形成一个脱湿过程,且填埋的土层深度为 14 cm,较薄,可认为充分搅拌后的土壤含水量是一致的,不存在土壤水分空间变异。

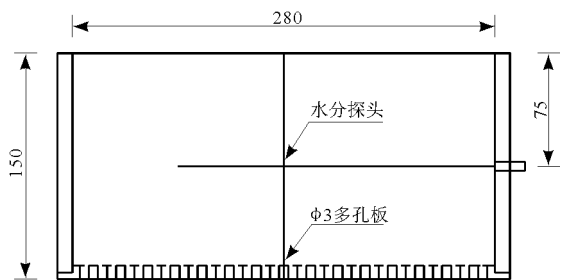


图 1 标定装置图(单位:mm)

3 结果与讨论

3.1 不同土层深度条件下 TDR 法、干烧法和烘干法对比分析

本文配置的第四纪红黏土发育的红壤含水量范围为 10% ~ 45%,比较接近红壤坡耕地土壤水分分

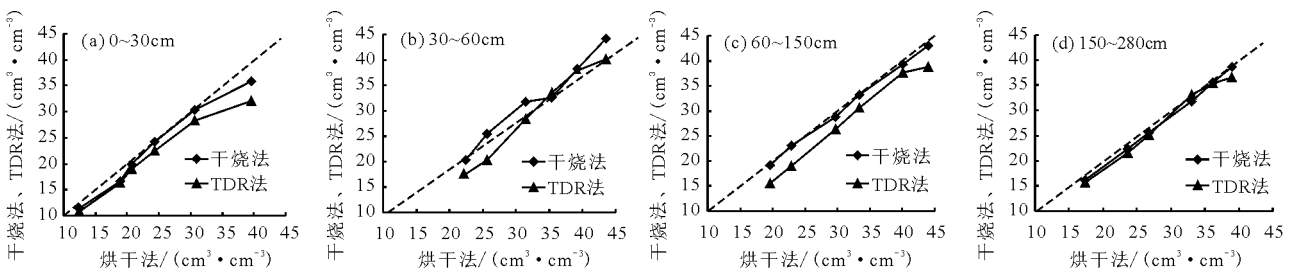


图 2 不同土层深度 TDR 法、干烧法与烘干法土壤含水量测量值对比

表 2 不同土层深度偏差分析

土层深度/ cm	干烧法绝 对偏差/ ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)	干烧法相 对偏差/ %	TDR 法绝 对偏差/ ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)	TDR 法相 对偏差/ %
0 ~ 30	1.24	5.24	3.45	13.40
30 ~ 60	1.16	3.82	3.31	11.48
60 ~ 150	0.54	1.68	3.55	12.32
150 ~ 280	0.91	3.58	1.53	5.66

3.2 不同土壤含水量条件下 TDR 法、干烧法和烘干法对比分析

将试验方法所测土壤含水量按 10% ~ 20%、20% ~ 30%、30% ~ 40% 及 40% 以上 4 个数量级进行划分,并对不同土壤含水量偏差分析(表 3),通过分析可知,干烧法绝对偏差和相对偏差较小,能较好反映土壤含水量真实数值,同时表现出随着土壤含水量的增加,偏差出现递减规律;TDR 法在 10% ~ 30% 土壤含水量之间相对偏差较大,且 10% ~ 20%

布,通过试验得出如图 2(图中虚线为 1:1 线,实线为实测点散点连线)所示结果,干烧法较为接近烘干法测量值,而 TDR 法测量值相对烘干法测量值总体偏小,与高国治等^[15]用 TDR 法测定红壤含水量的精度研究结果一致,这可能与红壤中氧化铁含量高、质地黏重等因素相关。在不同土层深度方面,随着土层深度增大,干烧法和 TDR 法测定土壤含水量呈增大趋势,偏差逐渐减小(表 2),0 ~ 30 cm 土层深度均表现为绝对偏差和相对偏差较大,干烧法绝对偏差为 $1.24 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$,相对偏差为 5.24%,而 TDR 法绝对偏差和相对偏差分别为 $3.45 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 和 13.40%;30 ~ 60 cm 土层较 0 ~ 30 cm 土层干烧法和 TDR 法偏差较小,干烧法相对偏差为 3.82%,TDR 法相对偏差为 11.48%;60 ~ 280 cm 土层干烧法和 TDR 法测量值与烘干法测量值变化趋势较为一致,但相比烘干法测量值偏小,上述规律可能是由于表层土壤温度变化影响电磁波在红壤中传播,从而造成 TDR 法测量数据偏差较大^[13,16]。

相对偏差平均值达到 13.43%,误差超过 10%,这可能为土壤特别干燥时,土壤间孔隙度较大,影响土壤介电常数,从而导致 TDR 法测量精度降低,研究结果与孙立等^[8]对 TDR 法测量精度研究的结果较为一致。为此,尽管 TDR 法与烘干法相关性较为显著,但对于红壤黏土,在采用 TDR 法测定土壤水分时有必要进行标定,可提高其测量精度。

表 3 不同土壤含水量偏差分析

土壤含 水量/ %	样本 数	干烧法绝 对偏差/ ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)	干烧法相 对偏差/ %	TDR 法绝 对偏差/ ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)	TDR 法相 对偏差/ %
10 ~ 20	20	1.15	6.69	2.33	13.43
20 ~ 30	32	0.77	3.12	3.19	12.70
30 ~ 40	40	1.09	2.93	2.71	7.32
40 以上	8	0.75	1.71	3.35	7.69

3.3 TDR 法、干烧法和烘干法土壤含水量相关性分析

对比干烧法、TDR 法与烘干法测量值之间的相

关性研究发现,干烧法、TDR 法与烘干法之间均有较高的相关性(如图 3),可以用两个简单的线性函数表示:干烧法: $y = x - 1.02$, $R^2 = 0.987$;TDR 法: $y = 0.971x - 1.976$, $R^2 = 0.965$;相关系数均达到 0.96 以上,为此,本文采用的 TDR 测定方法较为精确,获得的数据能较好地反映土壤水分的真实变化过程。

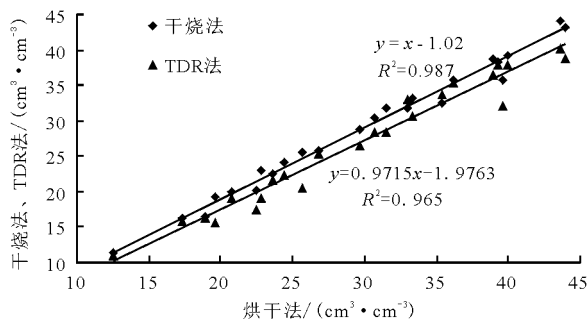


图3 TDR 法、干烧法与烘干法土壤含水量测量值相关性

4 结 论

通过以第四纪红黏土发育的红壤为研究对象,采用 TDR 法、干烧法及烘干法对不同土层深度的不同梯度土壤含水量土壤进行土壤水分测定,可得到以下结论:

(1) TDR 法测量值相对烘干法测量值偏小, TDR 法和干烧法绝对偏差和相对偏差都有随着土层深度的增加而减小的趋势,干烧法绝对偏差范围为 $0.54 \sim 1.24 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$,相对偏差范围为 $1.68\% \sim 5.24\%$, TDR 法绝对偏差范围为 $1.53 \sim 3.55 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$,相对偏差范围为 $5.66\% \sim 13.40\%$ 。

(2) TDR 法和干烧法绝对偏差和相对偏差随着土壤含水量增大而减小,干烧法偏差较小,而 TDR 法在土壤半湿润状态 ($10\% \sim 30\%$) 土壤含水量偏差较大,不能真实地反映土壤含水量的实际值,需对 Topp 公式进行标定修正。

(3) 干烧法测量值最为接近烘干法测量值,精度高,但是需要人工采样测试,易破坏土壤结构,并且不能自动连续监测。

(4) TDR 法作为自动监测方法,简便、灵敏度高、准确性好,与真实值之间的相关性达到 96.5% ,能较好地反映土壤水分真实变化规律。因此,对于红壤黏土来讲,测样点少时,干烧法准确性高,可作为土壤含水量快速测定方法;测样点多时, TDR 法

可自动、连续地监测土壤含水量,是一种值得推广的土壤水分测定方法,但使用前有必要进行标定以提高其准确性。

参考文献:

- [1] 张 益, 马友华, 江朝晖, 等. 土壤水分快速测量传感器研究及应用进展[J]. 中国农学通报, 2014, 30(5): 170-174.
- [2] 周凌云, 陈志雄, 李卫民. TDR 法测定土壤含水量的标定研究[J]. 土壤学报, 2003, 40(1): 59-64.
- [3] 张学礼, 胡振琪, 初士立. 土壤含水量测定方法研究进展[J]. 土壤通报, 2005, 36(1): 118-123.
- [4] 李道西, 彭世彰, 丁加丽, 等. TDR 在测量农田土壤水分中的室内标定[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(1): 249-252.
- [5] 杨芝英, 吴 军. 微波炉烘干法测定含水量在工程建设中的应用[J]. 山西建筑, 2008, 34(3): 145-147.
- [6] 冷艳秋, 林鸿州, 刘 聪, 等. TDR 水分计标定试验分析[J]. 工程勘察, 2014(2): 1-4+16.
- [7] 强 劲. TDR 法、烘干法测定土壤含水量的比较研究[J]. 民营科技, 2014(5): 19.
- [8] 孙 立, 董晓华, 陈 敏, 等. TDR 测定不同湿度土壤含水量的精度比较研究[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(14): 4279-4281.
- [9] TOPP G C, DAVIS J L, ANNAN A P. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. [J]. Water Resources Research, 1980, 16(3): 574-582.
- [10] TOPP G C, DAVIS J L, ANNAN A P. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. [J]. Water Resources Research, 1980, 16(3): 574-582.
- [11] 巨兆强. 中国几种典型土壤介电常数及其与含水量的关系[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [12] 吴月茹, 王维真, 晋 锐, 等. TDR 测定土壤含水量的标定研究[J]. 冰川冻土, 2009, 31(2): 262-267.
- [13] 吴华山, 陈 明, 杭天文, 等. 扬州地区 TDR 法田间测定不同土壤含水量的标定[J]. 灌溉排水学报, 2009, 28(4): 104-106+110.
- [14] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 69-80.
- [15] 高国治, 张 斌, 张桃林, 等. 时域反射法(TDR)测定红壤含水量的精度[J]. 土壤, 1998(1): 48-50.
- [16] 王雯, 张 雄. 榆林沙区两种土壤水分测定方法比较研究[J]. 榆林学院学报, 2015, 25(4): 21-24.