

中子仪测定苜蓿田土壤含水量的标定研究

刘玉华^{1,2}, 史纪安^{1,2}, 韩清芳¹, 贾志宽^{1*}, 任鸿远¹, 吴新卫¹

(1. 西北农林科技大学农学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 河南科技大学农学院, 河南 洛阳 471003)

摘 要: 通过一次安装, 免灌水, 点聚图资料筛选和对容积含水率三点平滑的一套标定方法, 应用中子仪对苜蓿田土壤含水量的标定进行了研究, 得到了土壤不同深度的三条标定直线: 20~60 cm 土层标定直线为 $y = 82.772x - 3.007$ ($R^2 = 0.9353$, $R = 0.9671$); 60~120 cm 土层标定直线为 $y = 77.822x + 0.1032$ ($R^2 = 0.8283$, $R = 0.9101$); 120~200 cm 土层标定直线为 $y = 83.327x - 2.2304$ ($R^2 = 0.8871$, $R = 0.9419$)。中子仪法相对于土钻法所得含水量的平均相对误差为 0.81%, 说明所得标定方程精度较高, 完全可以用中子仪法代替土钻法测定土壤含水量。

关键词: 中子仪; 田间标定; 土壤含水量

中图分类号: S152.7+5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2007)02-0115-05

土壤含水量是决定植物生长的一个重要因素, 也是人们可以调控的生长要素之一。尤其是在灌溉系统中, 及时准确地了解土壤含水量, 对实施节水灌溉和提高农业生产效率至关重要。目前, 有许多测量土壤水分含量的技术和方法, 如土钻法、中子仪法、张力计法、电阻(石膏)法及时域反射仪(TDR)方法等。在这些方法中, 中子水分测定仪(简称中子仪)以其数据采集及时、准确(相对误差小)、不扰动被测土壤、测量深度不限、田间操作简单、携带方便等优势, 已被人们广泛注意和使用, 特别是对于固定地段大量的土壤水分时空数据的采集和跟踪观测, 甚为方便、快速。李毅等^[1]应用中子仪监测了土壤水分空间变异性且对灌溉决策进行了研究, 胡顺军^[2]等利用中子仪进行土壤墒情监测, 郑大玮^[3]利用中子仪对旱地农田土壤水分动态监测等方面做了一些研究。袁小良^[4]对中子水分仪的测量范围进行了研究, 王纪华等^[5]比较系统地分析了中子仪的计数误差、合理计数时间、测量次数、探测半径以及标定曲线等, 简慰民等^[6]应用中子仪对提高土壤表层水分测量精度进行了探索。尽管中子仪有诸多优点, 使用也较为广泛, 但是标定工作具有一定难度, 且中子仪深度分辨不够准确, 它的测定结果与传统的土钻法测定结果之间存在一定差异, 而且土壤表层因中子外溢问题而使土壤水分含量的测定值偏差较大。要获得精确、逼真的土壤水分值, 中子仪田间标定的质量是极其关键的, 标定方程的优劣直接决

定了所测得的土壤水分值的代表性。传统的田间标定工作采用灌水处理和二次安装的方法, 即在观测场外于重旱期通过 4 种灌水处理(不灌水、灌少量水、灌中等量水和多量水)间隔 10 cm 取得数据, 同一层资料四点求和平均的方法进行标定, 标定结束后拔出测管, 再将其安装在观测场内的观测点。传统标定方法存在着很大的弊病, 技术要求高、费时、费力, 且得到的标定方程精度并不太高^[7]。张任祖等^[8]通过一次安装、免灌水、点聚图资料筛选、对容积含水率三点平滑的方法得到高精度的标定方程, 该方法克服了传统的二次安装的烦琐, 简单、实用、便于操作。本文采用该方法, 针对苜蓿田土壤对 CNC503B(DR)中子水分仪进行标定, 标定结果与土钻法测定结果相对比, 求得可信度高的标定方程, 以提高中子水分仪测定含水量的精确度及实际应用效果。

1 材料及方法

1.1 试验仪器

试验仪器为北京核子仪公司生产的 CNC503B(DR)智能中子水分仪。该系统主要包括探头和读数器两大部分, 探头中有一个密封的环状铀一钍中子源, 从中发出快中子流与土壤介质中的原子核碰撞减速而变成慢中子, 快中子与原子序数大的物质相撞损失的能量小, 与原子序数小的物质碰撞损失的能量大。土壤中各种元素对快中子减速作用不足

收稿日期: 2006-04-20

基金项目: 农业部 948 项目(2001-372); 教育部重点项目(重点 01167); 农业部农业结构调整重大技术研究专项(2002-09-02A); 陕西省科技厅攻关项目(2001K01-J12-04)

作者简介: 刘玉华(1974—), 女, 新疆石河子人, 博士, 主要从事农业生态学方面的研究工作。

***通讯作者:** 贾志宽(1962—), 男, 山西朔州市人, 教授, 博士生导师, 主要从事旱区农业生态研究。

土壤水减速作用的 1%^[9],从而使由快中子减速变成慢中子的数目与土壤中水分(实为氢核)数目成比例,慢中子再经 BF³ 正比计数管采样。来自计数管的电脉冲经过放大整形,在读数器上显示计数 R,所得计数再除以标准计数 R₀ 得到计数比率 R_v,然后通过标定曲线得到土壤容积含水率,其函数关系式:

$$Q_v = A \times R_v + B \tag{1}$$

或
$$Y = Ax + B \tag{2}$$

式中, Q_v 或 Y 为容积含水量(cm³/cm³); R_v 或 x 为计数比; A、B 为拟合参数。

1.2 试验设计

试验于 2004~2005 年在陕西杨凌西北农林科技大学农作一站进行。试验区地势平坦,土壤为黑垆土,地面种植作物为 4~5 a 生紫花苜蓿,长势均匀,采取旱作栽培管理模式。2004 年 4 月初于苜蓿田中埋设 10 根中子管(每管埋至地下 5 m 深)。标定时,为了加强土壤样品的代表性和获得较宽范围的土壤水分数据,在试验地选择三根标定中子管,并将标定时间分解为三个时期进行,即适宜期(2004 年 5 月底)、重旱期(2005 年 6 月底)和湿润期(2005 年 8 月底)造成水分梯度差异。

1.3 数据采集及处理

利用土钻和中子仪对 20~200 cm 土层的土壤湿度进行同步观测。标定方法是:(1) 在试验地内选择具有代表性的地点挖深 200 cm、宽 50 cm 的剖面,每隔 10 cm 分层用环刀取样测定土壤容重,每层 3 个重复,求其平均值。(2) 标定前,采用 64 s 的计数时间测定中子仪的标准计数 R₀(检测标准:CHIR 值在 0.75~1.25 之间,且当前的标准计数值与原有的标准计数值之差小于两数均值的标准误差的 0.49

倍)。(3) 标定时,用中子仪每隔 10 cm 测量每根中子管内的中子计数 R,计数时间为 64 s,重复 2 次,求其平均值并换算成计数率比 R_v;同时每根中子管周围 50 cm 范围内选 2 个点,每隔 10 cm 取土(各层深度与中子仪测量深度相同)用烘干称重法测定土壤重量含水量,换算成容积含水量,并求其平均值。不同中子管内测定的中子计数率比及土壤容积含水量不求平均值,作为重复进行回归分析。每个时期都重复上述工作,取得三个时期的所有数据,不用求和平均,直接作为独立的样本资料进行回归分析。(4) 数据处理:用三点平滑的方法^[8]对土钻法测定的容积含水量进行处理得到新的序列,用各相应层次的中子计数比率(自变量)与新序列(因变量)一一对应起来作散点图,并去调个别与整体偏离程度较大的点,然后进行回归分析,得到精度较高的中子仪田间标定方程。

1.4 误差计算

由于土壤水分实际含量难以准确确定,无法判断土钻和中子仪两种方法哪一种方法的测定结果更接近实际值。本文采用相对偏差来表述两种方法测定结果间差异的大小,即将目前广泛使用的土钻法测定值视为标准值,比较中子仪测定值与它偏离程度的百分率,其计算关系式为:[(中子仪测定值-土钻法测定值)/土钻法测定值]×100%。

2 结果与分析

2.1 土壤剖面特征

在测定土壤容重的同时,根据土壤剖面颜色、结构、质地、松紧度、植物根系分布等情况^[10],自上而下地将其划分划分为 4 个层次,其剖面形态特征如表 1。

表 1 土壤剖面特性
Table 1 Characteristic of soil section

土层深度(cm) Soil depth	容重(g/cm ³) Bulk density	土层深度(cm) Soil depth	容重(g/cm ³) Bulk density	土壤剖面特征 Character of soil section plane
0~10	1.32	100~110	1.35	0~20cm 耕作层,土壤为灰棕色,壤土,疏松,根系发达且分布多;20~60cm 土壤从灰褐色过渡到棕褐色,粘壤土,紧实,根系分布较多;60~120cm 黑垆土层,暗褐色,壤粘土,结构面上被覆有暗棕色的铁锰胶膜,发光亮,较紧实,根系分布少,有少量霜粉状石灰沉积;120~200cm 土壤为棕黄色,粘壤土,碎块状结构,较疏松,有大量粒状白色石灰结核体分布,根系分布较少。
10~20	1.36	110~120	1.37	
20~30	1.41	120~130	1.30	
30~40	1.53	130~140	1.26	
40~50	1.47	140~150	1.39	
50~60	1.46	150~160	1.35	
60~70	1.46	160~170	1.30	
70~80	1.41	170~180	1.28	
80~90	1.37	180~190	1.31	
90~100	1.45	190~200	1.24	

2.2 标定曲线

针对中子仪表层测量精度低的特点,许多研究者采用了诸如分层,用深层标定曲线推求以及加屏障防中子外溢等方法,都取得了很好的效果^[2,5,6]。本试验根据苜蓿田的土壤剖面结构采用分层和不分层标定两种方法对各相应层次 R_v 与 Q_v 的散点作

图,并进行直线拟合,分别建立了 20~60cm、60~120cm、120~200cm 和 20~200cm 4 条标定曲线(图 1,图 2,图 3 和图 4)。由图中可以看出采用分层标订的方法和整体标定的方法都能取得很好的结果,相关系数都在 0.9 以上。

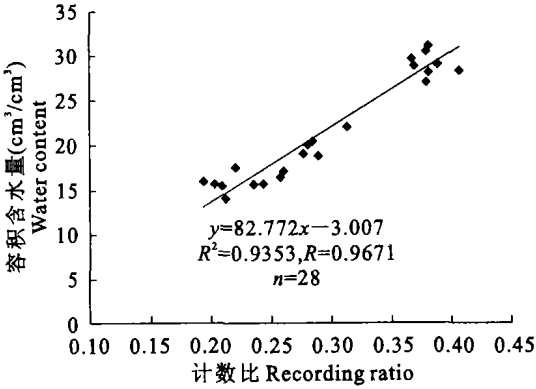


图 1 20~60 cm 土壤的标定曲线
Fig. 1 Calibration line of 20~60 cm

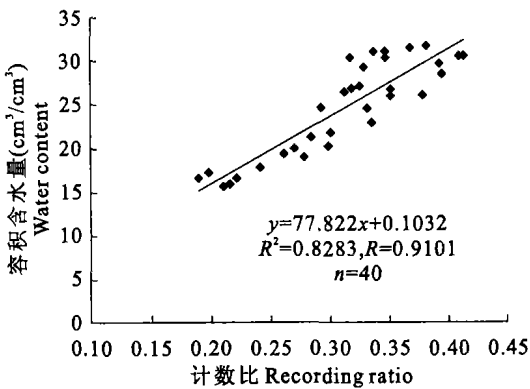


图 2 60~120 cm 土壤的标定曲线
Fig. 2 Calibration line of 60~120 cm

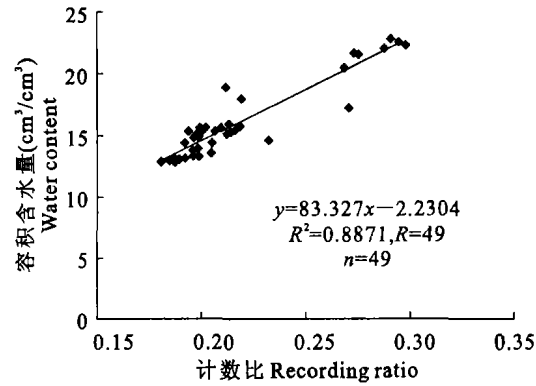


图 3 120~200 cm 土壤的标定曲线
Fig. 3 Calibration line of 120~200 cm

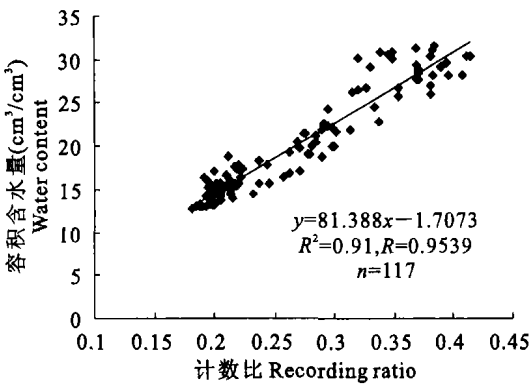


图 4 20~200 cm 土壤的标定曲线
Fig. 4 Calibration line of 20~200 cm

2.3 中子仪法与土钻法的精度分析

为了比较 20 cm 以下各土层分段标定与不分段标定的中子仪观测精度,选择并验证标定曲线的准确性,该文对比了中子仪法与土钻烘干法所得结果的差异。对比试验在测定中子管中进行,中子仪测定容积含水量,计数时间为 16 s,无重复。土钻取土在中子管 30~60 cm 范围内进行,4 个重复,取其平均值并将其换算为容积含水量。表 2 比较了中子仪分段标定与不分段标定和土钻法的测定结果,结果表明中子仪分段标定与不分段标定对烘干法的平均相对误差较小(分别为 0.81%, 0.93%),这说明完全可以用中子法代替烘干法测定土壤含水量。但是从各土壤层次来看,中子仪法不分段标定与土钻法的测定结果在 20~50 cm,和 100~130 cm 之间各层的相对误差均明显大于分段标定与土钻法的相对

误差,且分段标定的误差范围较小,除了 20~30 cm 相对误差较大为 14%,其它各层次相对误差均小于 9%,因此最好选用中子仪分段标定法代替土钻法测定土壤容积含水量。另外,20~60 cm 相对误差为正值,表明中子仪测定结果偏高,而 60~200 cm 相对误差为负值,表明中子仪测定结果偏低,这与土壤的湿润度和物理性质有关。

3 讨论

1) 中子仪测量表层(0~20 cm)时,中子有部分溢出,带来较大的误差,因此本文未对表层标定方法进行研究。一般认为:土壤表层 0~20 cm 内的土壤含水量的精确测定不能用中子水分仪,而应该用其它的方法,如:表面型中子仪,取土烘干法或者另外标定^[4]。

表 2 中子仪法与土钻法测定结果对比

Table 2 Comparisons of neutron probe and oven drying methods for measuring soil volumetric water content

深度 Depth (cm)	中子法 Q		土钻法 Q_v Oven drying method	中子法与烘干法绝对误差 ΔQ		中子法与土钻法相对误差 $\Delta Q/Q_v$	
	Neutron probe method			Absolute error		Relative error	
	不分段 A soil layer	分段 Four soil layers		不分段 A soil layer	分段 Four soil layers	不分段 A soil layer	分段 Four soil layers
20~30	21.88	20.98	18.41	3.474	2.576	0.189	0.140
30~40	21.88	20.98	19.51	2.378	1.480	0.122	0.076
40~50	21.13	20.22	18.61	2.527	1.616	0.136	0.087
50~60	23.81	22.95	22.14	1.671	0.805	0.075	0.036
60~70	25.42	26.06	25.27	0.147	0.789	0.006	0.031
70~80	27.03	27.60	26.23	0.805	1.378	0.031	0.053
80~90	27.03	27.60	26.26	0.775	1.348	0.030	0.051
90~100	24.89	25.55	27.66	-2.774	-2.109	-0.100	-0.076
100~110	23.85	24.56	26.47	-2.621	-1.911	-0.099	-0.072
110~120	22.21	22.99	24.60	-2.392	-1.612	-0.097	-0.066
120~130	21.99	22.03	22.30	-0.312	-0.271	-0.014	-0.012
130~140	22.53	22.58	21.25	1.274	1.329	0.060	0.063
140~150	22.31	22.36	23.27	-0.953	-0.904	-0.041	-0.039
150~160	21.99	22.03	22.88	-0.887	-0.845	-0.039	-0.037
160~170	21.78	21.81	21.42	0.360	0.396	0.017	0.018
170~180	20.60	20.60	21.77	-1.171	-1.162	-0.054	-0.053
180~190	20.70	20.71	21.53	-0.826	-0.815	-0.038	-0.038
190~200	20.49	20.50	20.82	-0.334	-0.328	-0.016	-0.016
Σ/n	—	—	—	0.0634	0.0978	0.0093	0.0081

2) 测量标定最好能制造土壤水分梯度差异,并确定某类土壤的代表性标定管点,这样可以使所获得的方程适应不同的土壤水分并具有普遍性。康桂红^[12]认为标定适宜在土壤重旱、轻旱、适宜和过湿四个时期重复进行。伍维模^[12]进行了代表性标定管点的初步研究,Kamgar^[13]认为标定管点控制面积为 $1.2\times 15\text{ m}^2$ 。本研究在三种土壤湿度和3个标定管点下进行,建立三条标定直线均在 $r=0.001$ 信度下通过检验,方程是可信的。

3) 在大多数土壤中,水既是氢的主要来源,也是使快中子迅速减速的主要原因。水中的 H^+ 是随测量而变化的唯一形式^[6]。在利用中子仪对土壤水分进行定点连续、跟踪观测时,产生的相对误差较小,是理想的土壤水分测量工具。但是中子仪法(分段标定和不分段标定)测定结果与土钻法测定结果之间具有一定的差异,究其原因可能是:① 通路管材料和土壤物理性质的空间变异性大。② 边界效应:土壤具有一定的结构,而中子管在埋设时与边缘接触部分不可能完全保持原状,待雨季到来时,土壤含水量很高,接触部位的含水量和其它地方稍有不

同。③ 采样误差:当中子源(点源)放入管中不同深度位置时,其垂直向下部分为空心部分,没有土,直到管底才开始接触土壤。而中子辐射为球状,管中中子源处于不同深度位置时,与管底土面的距离不同,产生测量误差。④ 用土钻采土时,因其内径很小,用力向下挤压,在土壤含水量较高时会造成轻微的水分流失现象。⑤ 土壤中有有机物含量和土壤湿润状况直接影响中子仪测量结果与土钻测量值的偏离程度。

4) 目前在中子水分仪的实际应用中,有一种观点认为:利用中子水分仪作灌溉计划时,考虑的仅仅是某时段内土壤水分量的变化值,而不是某时刻的精确的土壤含水率,因而不需要精确的标定关系,使用仪器生产厂家的标定直线即可。这种观点是不正确的。因为土壤水分量的变化值与标定直线的斜率有关,即 $\Delta y=B(R_{v1}-R_{v2})$,这说明了使用精确的标定直线的重要性。

参 考 文 献:

[1] 李 毅,门 旗,罗 英.土壤水分空间变异性对灌溉决策的

影响研究[J]. 干旱地区农业研究, 2000, 18(2): 80—85.

[2] 胡顺军, 田长彦, 周宏飞. 中子水分仪土壤墒情监测方法研究[J]. 干旱地区农业研究, 2000, 18(6): 70—75.

[3] 郑大玮, 马思延. 应用中子仪开展旱地农田土壤水分研究[J]. 干旱地区农业研究, 1999, 17(3): 51—55.

[4] 袁小良. 中子水分仪测量范围的几个试验[J]. 土壤学报, 1985, 22(3): 302—304.

[5] 王纪华, 黄文江, 赵春江, 等. 提高中子仪测量农田耕层土壤水分精度初探[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(3): 71—79.

[6] 简慰民, 周有芬, 杜筱玲, 等. 改善土壤浅层测湿精度的研究[J]. 南京气象学院学报, 1997, 20(1): 84—87.

[7] 国家气象局. 农业气象观测规范(上卷)[M]. 北京: 气象出版社, 1993. 78—80.

[8] 张仁祖, 徐为根. 一种中子仪测定土壤湿度田间标定的新方法[J]. 气象, 1996, 29(2): 26—28.

[9] 沈振荣, 张瑜芳, 杨诗秀, 等. 水资源科学实验与研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 253—256.

[10] 陕西省土壤普查办公室. 陕西土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1992. 52—65.

[11] 康桂红. 中子仪测定土壤湿度田间标定方法初探[J]. 气象, 1996, 22(10): 42—43.

[12] 伍维模, 吕双庆, 王冀平. 中子水分仪测定棉田土壤含水量的标定研究[J]. 塔里木农垦大学学报, 2001, 13(3): 1—5.

[13] Kamcar A, Hopmans J W, Wallender W W, et al. Plotsize and sample number for neutron probe measurements in small field trials[J]. Soil Sci, 1993, 156: 213—224.

Calibration study of the determination of alfalfa soil moisture with neutron probe

LIU Yu-hua^{1,2}, SHI Ji-an^{1,2}, HAN Qing-fang^{1*}, JIA Zhi-kuan¹, REN Hong-yuan¹, WU Xin-wei¹
(1. College of Agriculture, Northwestern A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. College of Agriculture, He'nan University of Science and Technology, Luoyang, He'nan 471003, China)

Abstract: From the calibration study of the determination of alfalfa soil moisture with neutron probe, we got three calibration equations, which were $y=82.772x-3.007$ ($R^2=0.9353$, $R=0.9671$) for 20~60 cm soil layer, $y=77.822x+0.1032$ ($R^2=0.8283$, $R=0.9101$) for 60~120 cm soil layer, and $y=83.327x-2.2304$ ($R^2=0.8871$, $R=0.9419$) for 120~200 cm soil layer. Average relative error of neutron probe method was 0.81% in comparison with oven drying method. This proved that it was feasible to determination soil moisture with neutron probe instead of oven drying method.

Keywords: neutron probe; field calibration; soil moisture