

水量较低。

砂土的水分物理性质为：比重2.6，容重1.6克/厘米³，总孔隙度35—40%，最大吸湿量1—2%，凋萎含水量1.2—2.0%，最小持水量5.5%，砂土的有效水只有3—4%，而常年测得的有效水只有1—2%，这是苗木难以存活的主要原因。

但是，砂土有较好的水文条件。地下水很浅。沙坨地，一般在2.5—4.5米以上，沙沼地约1.5米，沙

甸地1米左右。砂土毛管水上升高度约60厘米。

在低沼地或沙甸地开沟造林特别是淤灌后可以增加有效水含量，并充分利用沙土的毛管水，大大提高苗木的成活率。白音塔拉公社草原站1977年栽植牧场防护林450亩，开沟方法一般用人工进行，宽80—100厘米，深50厘米；栽植二米左右的大苗，成活率达90%左右。

测试仪器和方法

中 子 土 壤 水 分 计

江苏省农科院理化室

一、原理 中子法测定土壤含水量，是应用快中子源所放出的快中子被土壤中氢原子慢化后，用慢中子探测器所测到的慢中子流强度来求得。由中子散射理论，氢原子核是快中子最强的慢化体，而土壤中几乎所有的氢都存在于水分中，所以土壤中快中子的慢化能力与土壤含水量有密切的关系。快中子与原子核作用的基本过程是散射，其俘获截面只有散射截面的几十分之一、几百分之一、或更小。快中子在减速过程中，能量绝对值变化时，中子能量的平均相对损失仍保持恒定。中子平均碰撞一次能量损失 ξ 以对数值表示如下：

$$a = \frac{4Mm}{(M+m)^2} \quad 1-a = \left(\frac{M-m}{M+m} \right)^2$$

M为核质量，m为中子质量

$$\begin{aligned} \therefore \xi &= 1 - \frac{(M-m)^2}{2Mm} \ln \frac{M+m}{M-m} \\ &= 1 + \frac{(M-m)^2}{2Mm} \ln \frac{M-m}{M+m} \end{aligned}$$

若 M = A (原子量)，m = 1

$$\begin{aligned} \text{则 } \xi &= 1 - \frac{(A-1)^2}{2A} \ln \frac{A+1}{A-1} \\ &= 1 + \frac{(A-1)^2}{2A} \ln \frac{A-1}{A+1} \dots\dots\dots(2) \end{aligned}$$

由此可以得出土壤中常见元素的慢化能力如表1。

由表1可见，水的慢化能力明显地超过O₂、Si、Al和土壤固相及土壤溶液中常见的其他元素的慢化能力。而这些元素的原子核(除B、Li等元素外)在俘获慢中子的能力上差异不大，因而对慢中子云密度的影响往往可以忽略不计。

快中子被水等物质慢化后，其慢中子在源的某一距离上发生，这个距离叫慢化长度(L_f)。当一定中子源强度Q，经土壤元素慢化后，其慢中子在土壤中存在时间 τ (即寿命，可看作从中子出生起所经过时间和扩散系数的乘积)， τ 与能量有关。在一定含水量的土壤中以矢径为 γ 处慢中子流密度 $n(\gamma)$ 为

$$n(\gamma) = \frac{Q\tau}{8\pi L_f^3} e^{-\frac{\gamma}{L_f}} \dots\dots\dots(3)$$

设E₀和E₁为碰撞前后的中子能量，n为中子碰撞序数。

$$\text{则 } \xi = \ln \frac{\bar{E}_0}{E_1} = \ln \frac{\bar{E}_n}{E_{n+1}} \dots\dots\dots(1)$$

n次碰撞后，能量E_n = E₀e^{-n ξ}

ξ 值决定减速剂核质量。可以根据中子碰撞后f(E₁)的分布测定得出。

$$\xi = \ln \frac{\bar{E}_0}{E_1} = \int \frac{E_0}{(1-a)E_0} \ln \frac{E_0}{E_1} f(E_1) dE_1$$

$$\therefore f(E_1) dE_1 = \frac{dE_1}{dE_0}$$

$$\therefore \xi = \int \frac{E_0}{(1-a)E_0} \ln \frac{E_0}{E_1} d \frac{E_1}{aE_0}$$

$$= 1 + \frac{1-a}{a} \ln(1-a)$$

表1 土壤中常见元素的慢化能力

元素	原子(分子)量	ξ	n
H ₂ O	18	0.93	—
H	1	1	—
Be	9	0.027	87
B	11	0.171	105
C	12	0.158	114
N	14	0.136	132
O ₂	16	0.120	150
Na	23	0.0845	213
Mg	24	0.0811	222
Al	27	0.0723	249
Si	28	0.0689	258
P	31	0.0632	285
S	32	0.0612	294
Cl	35.5	0.0554	325
K	39	0.0504	357
Ca	40	0.0492	366
Mn	55	0.0359	501
Fe	56	0.0353	510
Co	59	0.0335	537

可见土壤含水量愈高，慢中子云空间分布的球半径范围愈小，也即慢中子流密度愈大，其关系大致如表2。

表2 慢中子云空间分布的球半径与土壤体积含水量的关系

土壤体积含水量 %	10	20	30	40	50
慢中子云球半径 厘米	32	25	22	20	19

在选择对慢中子灵敏、体积小小的探测器，这种慢中子云球半径实际还要缩小。

二、仪器 中子土壤水分计由探头和主机两部分构成，主机可采用国产FH407野外定标器，也可用带3000伏直流高压的计数率仪，但关键是探头。介绍如下。

(一)组成：由中子源、慢中子探测器、前置放大器构成的探管和防护、标准慢化两用的石蜡容器组成。

1. 中子源：一般选用(α, n)源。镭—铍($Ra^{226}-Be$)中子源产额高(1.5×10^7 中子/秒·居里)，半衰期长(1622年)，但有较强的 γ 射线，防护比较繁重，不易携带。钋—铍($Po^{210}-Be$)中子源产额低(2.5×10^6 中子/秒·居里)， γ 射线弱，易防护，缺点是半衰期短(138.4天)，测量结果需要校正。镅—铍($Am^{241}-Be$)中子源比较理想，中子产额接近钋—铍中子源(2×10^5 中子/秒·居里)， γ 射线亦弱，半衰

期长(458年)，测量结果不需要校正。我们早期采用钋—铍中子源，后改为镅—铍中子源。

2. 慢中子探测器：采用国产J425Z三氟化硼慢中子正比计数管，外形尺寸是直径35毫米，长100毫米，B¹⁰丰度98%以上，输出信号幅度为2毫伏，分辨时间1微秒。

3. 前置放大器：由中间跟随器隔离的二级放大器组成，总放大倍数为1000倍。

4. 防护、标准慢化两用石蜡容器：由防护石蜡球体、接长管、手柄、定位锁等组成。防护石蜡球体半径170毫米，外壁用2毫米硬质铝构成，内衬0.5毫米镉，中间充填含5%硼砂的石蜡。石蜡容器运输、使用时作防护用，测定时作校正读数用。

(二)结构：要求轻便、牢固、可靠，特别是接、插、锁系统要求严密，不能松动，所有接头，都垫有橡皮法兰，以防气气透入。探管用硬质铝管加工制成。

1. 源管位置和距离：中子源和BF₃管子的几何位置和距离，对探头结构有决定性作用。根据我们的试验，源管距离愈近愈好，源位于管的中间比位于一端可以提高计数率将近一倍。但由于我们采用的是点源，若源在管的中间，探管直径也要相应增加，计数率就会降低，用时对防护和使用均感不便。为此我们采用顶端式，源管相距仅2毫米铝板相隔。这样的探头对土壤水分是各向同性，线性也比较好。

2. 探管直径：探管直径愈小，土壤引入管的孔径也可以小，计数效率可提高。根据我们的试验，为了使土壤引入管的孔径尽可能地小，又要照顾到探管拆装维修的方便，探管的外径为42毫米，土壤引入管采用直径50毫米、厚2毫米硬质铝管。

(三)源的强度：我们试测了钋—铍中子源二种强度31毫居里和95毫居里对土壤含水量的标定曲线。从图1可见源的强度由31毫居里增加到95毫居里，

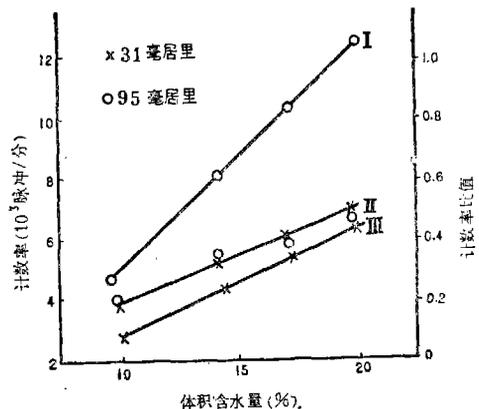


图1 不同强度标定曲线

计数率仅增加二倍(图 1, I、II)。但二者计数率比值(某测点计数率与探管在标准慢化石蜡容器中的计数率之比)曲线一致(图 1, III)。为此我们认为只要适当地延长测量时间,可以采用钋-铍中子源 31 毫居里的强度。

三、标定

(一)标准土壤水分桶制作: 根据中子慢化原理, 从表 2 可见当土壤体积含水量 10% 时, 其慢中子云分布半径大致为 30 厘米, 50% 时则为 19 厘米。为此, 桶的大小定为直径 60 厘米, 高 70 厘米, 用 1.5 厘米厚铁皮制成圆柱形桶, 共五个。每一个桶的含水量根据当地土壤耕作条件, 分别控制在萎蔫系数与田间最大持水量之间。为了避免土壤化学、物理因素对测定的影响, 装桶时取供试验用的同一田块的土壤, 阴干、敲碎、过筛、拌水, 分六层, 每层 10 厘米用木锤分别敲实, 使其容重与测点土层基本相一致。

(二)标定: 为了避免计数率校正, 采用钋-铍中子源, 强度 30 毫居里。标定时, 测量相对均方根误差均在 ± 0.01 以下, 标定结果如图 2, 在土壤体积含水

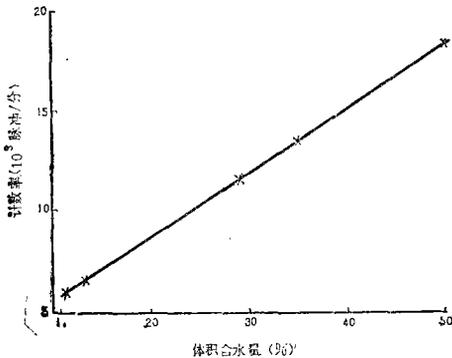


图 2 标定曲线

量 50% 以下, 计数率 Y 与土壤体积含水量 X 为直线关系, 其相关系数为 0.9998, 用最小二乘法得线性关系式为

$$Y = 310X + 2363$$

(三)容重影响: 土壤含水量一般以土壤在 105°C 下烘干恒重的百分数来表示。称作“干重水”。在中子水分计测量过程中, 土壤“干重水”相同, 容重不同, 对慢中子云分布的影响也不同, 容重大, 计数率高, 反之则低。为了消除此种影响, 采用体积含水量百分率(干重水 \times 容重)表示。结果如图 3, 两种不同容重的计数率曲线基本上重合, 也就证实了这一点。

(四)土类的影响: 土壤的化学成分, 如土壤溶液的化学组成, 矿物质晶格中的羟基, 土壤有机物的多少, 特别是存在着有对热中子强烈吸收体的元素(如 B

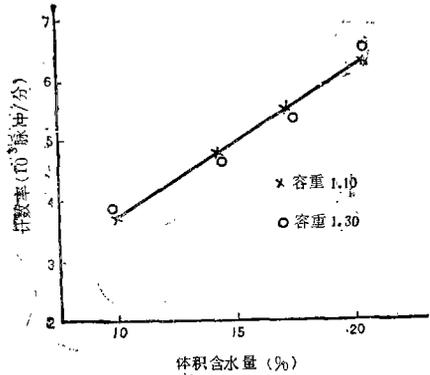


图 3 容重计数率曲线

等), 则大大影响慢中子云的分布。我们试验了南京砂壤土和苏南圩田粘土等二种土类对计数率的影响, 结果如表 3, 两者偏差在 0.5% 左右。为此这二种土类, 可以采用同一的标定曲线。

表 3 土壤类型对计数率的影响

土壤类型	体积含水量%(计数率/分)		
	11.0	28.5	48.9
南京砂壤土	5736	11531	17700
苏南圩田粘土	5765	11552	17775

四、田间测定和讨论

田间测定在苏南圩田粘土地进行, 每个测点埋有直径 50 毫米、厚 2 毫米、长 1.3 米的硬质铝管作土壤引入管, 用中子水分计测定的同时, 在以测点为圆心、50 厘米为半径的圆周上沿 90° 弧度选取四点, 用圆筒取土器分层取土样, 常规烘干法测定“干重水”和容重(测坑法), 然后换算成体积含水量作对比, 以评价中子法测量结果的准确性和精确性。表 4 列出了部分结果, 讨论如下。

(一)中子法在土层 15 厘米测出的体积含水量均比常规法要低 20% 以上, 20 厘米处也有降低, 说明了有部分慢中子逸出土表, 致使计数率降低。在 30 厘米用中子法测得的体积含水量, 与土表影响不大。

(二)用中子法测出土层某点的体积含水量与常规法测出有所不同, 这是因为用中子法测出的是土层体积含水量, 与其上层和下层的含水量有关, 至少可以代表以中子源为中心、15 厘米为半径土体的平均含水量, 而常规法只能代表特定测点的含水量, 从表 5 中 30~90 厘米各测点平均值来看, 中子法对常规法的离差仅 $\pm 1\%$ 体积含水量以下。但从其均方根平均离差来看中子法要比常规法小得多(1977.4.1 测量, 因雨后土表

表4 中子法与常规法田间测定比较表
(体积含水量)

土层深度 (厘米)	1976·11·13		1977·1·14		1977·4·1	
	常规法	中子法	常规法	中子法	常规法	中子法
15	—	—	47.5	43.0	53.5	44.1
20	38.9	36.9	—	—	—	—
25	36.6	—	—	—	—	—
30	34.2	35.4	44.6	44.1	44.0	45.2
40	33.8	35.1	—	—	—	—
50	40.1	35.4	37.6	40.2	41.1	42.3
60	40.1	39.0	—	—	—	—
70	—	—	40.2	39.5	43.4	42.6
90	—	—	38.6	39.1	39.2	40.2
标准慢化 石蜡体计 数率(相 当体积含 水量%)	—	37	—	37	—	37

表5 中子法与常规法田间测定离差分析表
(体积含水量%)

测 定 日 期	30~90厘米土层测点平均值			均方根平均离差	
	常规法	中子法	离 差	常规法	中子法
1976·11·13	37.0	36.0	-1.0	1.19	0.81
1977·1·14	40.3	41.0	+0.7	1.40	0.95
1977·4·1	41.9	42.6	+0.7	0.81	0.90

含水量高,对30厘米测点影响较大,所以均方根平均离差高),这说明用中子法测量更能代表30~90厘米土层平均含水量。

(三)中子水分计的探管,在标准慢化石蜡容器中的计数率相当体积含水量37%,此测定值经多次反复测量,其相对均方根偏差在0.01以下,可以证实仪器有一定的精确度。

湘土(76型)稻田渗漏量测定器

湖南省土壤肥料研究所

为了掌握稻田水分运动规律,我们设计、试制成一种“稻田渗漏量测定器”,现简介如下。

1. 结构形式 本测定器为一个长方形、双格白铁盒构成,一格有底,一格无底,面积同为200平方厘米。安装入田以后,两格同时充水。在两格之间,用带有玻璃活塞的连通管互相连通。在连通管的两端,各接上一只乳胶球(球内亦充入定量的水,使参加两侧水位平衡)。工作时当无底的一侧发生渗漏,水位下降,有底的一侧就将乳胶球内的水徐徐地向无底的一侧的乳胶球内输送,使两侧水位达到新的平衡,此时,通过乳胶球容量的变化,可测得稻田的实际渗漏量。

2. 误差范围 为了检测本测定器的灵敏度和误差范围,我们曾将白铁容器适当改装,分别在室内外进行快速的模拟渗漏(即从容器的一侧抽走10—20毫升的水,打破两侧水位平衡,然后扭开连通管的活塞,利用薄壁乳胶球传递水压,使两侧水位又重新平衡),测得误差范围为0—0.1毫米(按水层厚度计算)。

3. 田间实测结果 通过1976—1977年田间试验,初步看出:(1)在不同的环境条件和地形部位,有不同的反应,凡属地下水位高的稻田,渗漏小,地下水位低的渗漏量较大;在冷浸田和部分山冲田里,有

不同程度的反向渗漏。(2)不同的土壤质地,渗漏量大小各不相同,例如在红壤性水稻田里,日渗漏量为1毫米左右;冲积性水稻田(泥夹沙),日渗漏量一般在2.5—3毫米,随着质地变轻,接近河流愈近,渗漏量逐渐加大,部分稻田达到4毫米(河边粗沙田不在此列)。

另据我省1955—1958年全省灌溉试验网的测定结果,稻田耗水量随土壤质地、地形部位与气候条件不同而有很大差异,双季稻田两季耗水总量为940—1400毫米(折合每亩耗水626—933立方)。叶面及科间蒸发总量为696—821毫米,前后相差244—579毫米,即为稻田渗漏总量,按当时早、晚两季灌水150天计算,平时日渗漏量1.6—3.8毫米,与近两年来直接测得的数值亦相接近。其次,从日耗水总量来看:我省各类稻田,从五月上旬到七月上旬,每日田间耗水总量为6—13毫米(其中包括叶面蒸腾、科间蒸发和垂直渗漏),在一般情况下,日耗水总量不超过10毫米,如用此值减去叶面蒸腾和科间蒸发,得出的日渗漏量也仅在数毫米左右。由此可见,一般稻田的原位土(在不设置暗沟的条件下),实际渗漏量是很小的。

4. 田间实测应控制的条件 (1)测定器周围应