

压力薄膜和压力薄板法在测定土壤吸力上的应用

汪仁真 陈志雄

(中国科学院南京土壤研究所)

土壤吸力(基质吸力)是土壤水分的重要性质之一,是反映土壤对植物供水能力的一种能量指标。根据土壤吸力与土壤含水率的关系绘制成的“持水曲线”,是表征土壤持水性能的重要资料。持水曲线的斜率,表示吸力变化时土壤可释出或吸入的水量,谓之土壤水容量,是一种确切的土壤水分物理性质,其意义与物体的热容量相仿。因土壤及其结持状态不同,亦即土壤的孔隙状态不同,土壤吸力也会发生变化,故土壤吸力的资料也可利用来研究土壤孔隙性能。鉴于土壤吸力在生产上和研究上有很大的价值,所以土壤吸力测定方法的研究也受到一定程度的重视,有些测定方法也逐渐成为土壤实验室的常规测定法,本文所介绍的方法,就是其中的一种。

在田间取得土壤吸力资料的最简便的方法是张力计法。唯张力计的量程较窄,仅能测量0.85巴范围内的土壤吸力,而植物可利用的土壤水分的吸力值在15巴范围内。为了取得广宽湿度范围内的土壤吸力资料,一般都采用压力薄膜法和压力薄板法。压力薄膜法和压力薄板法的测量原理和仪器装置均相同,仅仅所用的透膜不同。压力薄膜器所用的透膜是孔隙较细的玻璃纸,用以测量较高范围的土壤吸力;而压力薄板器所用的透膜是陶土板,其孔隙与张力计的陶土管相同,用它来测定较低范围的土壤吸力。

一、测定原理

当置于膜上的(水)饱和土样被封密于腔室中并受到一定的压力之后,其水势便逐渐与膜外的水的水势达到平衡。设膜上土样的水势为 Ψ_{WS} ,膜外水的水势为 Ψ_{WD} ,平衡时

$$\Psi_{WS} = \Psi_{WD} \quad (1)$$

此时,因膜上土壤水分的溶质势与膜外水的溶质势相等,温度势亦相等,重力势接近相等(1),在忽略了这三项之后,膜内土壤水的水势和膜外水的水势可分别写为:

$$\Psi_{WS} = \Psi_{MS} + \Psi_{PS} \quad (2)$$

$$\Psi_{WD} = \Psi_M + \Psi_{PD} \quad (3)$$

式中 Ψ_{MS} ——土样水基质势

Ψ_{PS} ——土样水压力势

Ψ_{MD} ——膜外水基质势

Ψ_{PD} ——膜外水压力势

(2), (3)代入(1)

$$\Psi_{MS} + \Psi_{PS} = \Psi_{MD} + \Psi_{PD} \quad (4)$$

因膜外水之压力等于参考压力(大气压力),

$\Psi_{PD} = 0$,且因膜外没有基质, $\Psi_{MD} = 0$,

$$\text{故 } \Psi_{MS} + \Psi_{PS} = 0 \quad (5)$$

$$\Psi_{MS} = -\Psi_{PS} \quad (6a)$$

$$\text{或 } \Psi_{MS} = -V_w \Delta P_S \quad (6b)$$

$$\text{或 } -\Psi_{MS} = V_w \Delta P_S \quad (6c)$$

式中 V_w 为水的比容——1厘米³/克,而 ΔP_S 即为腔室的压力,故平衡后土样的基质势(即土壤吸力)可以由腔室的压力来确定。

二、仪器装置

压力薄膜(板)器由压缩气源、压力控调器及腔室三部分构成(图1)。

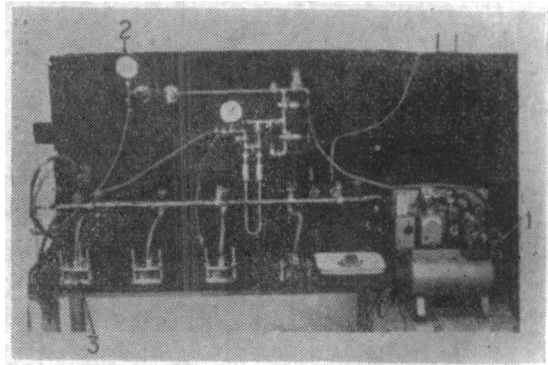


图1 压力薄膜(板)器装置

1—空气压缩机, 2—压力控调器, 3—腔室。

(1) 土样厚1厘米,膜两面的重力势相差0.5毫巴。

(一) 压缩气源。可用20公斤/厘米²的空气压缩机制备压缩空气。或用钢瓶压缩空气(或氮气)作气源。

(二) 压力控调器。由压力表、减压阀门、止气阀门等组成,输压管道分两路,一路用以测量4公斤/厘米²以内的低吸力,另一路测量20公斤/厘米²以内的高吸力。各路分别有压力表指示及粗、细调减压阀门控制,使压力保持稳定。在通路上还因需要装有能止住高压的止气针阀。有的仪器还装有压差装置,以保证土样不致因高压后干燥而与平衡膜接触不良(2)。

(三) 腔室。腔室分盖、壁、底三部分(图2),皆由具有一定强度的不锈钢制成,腔室盖中央有一通气管,藉耐高压橡皮管与压缩气源相接,腔室壁呈圆环形,腔室底中间为一圆形凹槽,适能放入一块陶土板。在测定高吸力时,在陶土板上面加铺一层膜——玻璃纸。腔室底的旁侧有一引水管,压出或加入的水

均由此引流。盖、壁、底之间都夹有止气橡胶垫圈,藉外部的夹紧螺丝将腔室的盖、壁、底夹紧,便造成一个能耐高压的密闭腔室。

腔室中置放盛有土样的盛土环,盛土环用金属或橡胶制成,在测定高吸力时宜用橡胶环,以保护透水膜,避免破损。

仪器所用透膜为素烧陶土板或玻璃纸,二者均系多孔材料,当其水湿润后,孔隙中便形成水膜,水膜具有张力,其大小与孔隙大小成反比,水膜的作用是阻止空气及土壤(基质)通过,而让水及溶质通过。当所加的压力超过水膜的张力时,水膜破裂,腔室漏气,仪器便不能进行测定。此时的压力大小称为漏气值,它是鉴定膜是否适用的一个临界指标,在测定1巴以内的低吸力时,用陶土板作膜,其漏气值要求在1巴以上,当测定15巴以内的高吸力时,则用孔隙极细小

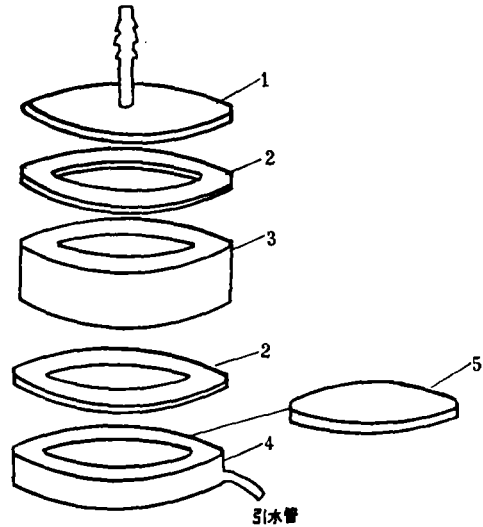
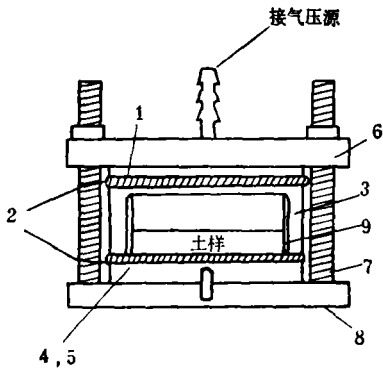


图2 压力薄膜器腔室示意图

1—腔室盖, 2—橡皮垫圈, 3—腔室壁, 4—腔室底盘, 5—素烧陶土板(置腔室底盘中), 6—加压板, 7—螺丝, 8—支撑板, 9—环刀(内装土样)。

的玻璃纸作膜,其漏气值要求在15巴以上。

在保证漏气值高于测量压力的前提下,还要求膜在单位压力差下有较高的透水速度,此透水速度即谓导水率,现用的直径8厘米,厚5毫米的陶土板的导水率为1毫升/巴·分,玻璃纸的导水率为0.1毫升/巴·分。

三、测定步骤

在测定前,须先检查整个系统(包括管道、接头、阀门、腔室、膜等各部分)的密封性。检查方法:将用水

浸泡过的陶土板装入底盘的凹槽中(用玻璃纸时,将浸

- (2) 将高压气体分为两路,一路通腔室盖顶的通气孔进入腔室内的一个橡皮隔膜,另一路使其通过一个水银减压管,使压力降低1/4巴左右,然后再通向腔室旁侧的进气孔进入腔室,这样,腔室内的气压便较橡皮隔膜内的气压低1/4巴左右。橡皮隔膜藉此压差,向下压住装有土样的盛土环,使土样不致离开其下面的玻璃纸,保持膜内外的水有水力上的联系。

泡过的玻璃纸铺在陶土板面上), 并在其上加少量的水, 然后将腔室装好, 封密。通过调节压力的阀门向腔室内输入膜所应承受的下限压力(用陶土板时为 1 巴, 用玻璃纸时为 15 巴), 此时, 便有水从腔室底的引水管流出, 至水流停止, 就检查仪器的各部, 如有明显漏气之处, 即可闻漏气声响, 若为细微漏气则需凭藉肥皂水来检查, 将肥皂水涂于可疑的部位; 如见冒泡, 即为漏气。引水管口若连续产生大量急促的气泡, 即示压力板(膜)之水膜破裂漏气, 须行更换。但溶解于水的空气从高压腔室的引水管流出时, 因压力减小, 也变成气泡缓慢逸出, 这种现象有别于漏气, 应视为正常。

在保证仪器各部分没有漏气现象时, 才可进行吸力测定。

(一) 于放在底槽内的陶土板(或玻璃纸)上置放盛土环, 环内放待测土样, 土样可用原状土, 亦可用扰动土。在测定小于 2 巴的低吸力时最好用原状土, 以保持土壤原来的孔隙状况, 使测定结果比较地符合田间情况。用原状土时, 可直接用盛土环在田间采样。用扰动土时, 土样过 2 毫米筛, 装入盛土环, 制备成一

定容重的, 厚 1 厘米的土样。将土样连同底盘置于薄层水中, 毛管浸润 12—24 小时, 至近饱和, 然后装上腔室各部, 并藉夹紧螺丝夹紧封密。

(二) 启开压缩气源, 调节至所需压力, 使之通入腔室, 土样受压后, 随即有水自引水管流出, 待不再流出水时, 即达平衡。用陶土板测量低吸力时, 加压 8—12 小时已足, 而用玻璃纸测量低吸力时, 加压时间需要 24—48 小时方能平衡。

(三) 欲连续测定土样标本在各级吸力下的含水率, 需在引水管下承接一滴定管, 在各级压力达到平衡时, 逐一记录流出的水量, 以便计算各级吸力的土壤含水率。

(四) 平衡后, 先用滤纸吸干引水管中尚未滴出的水, 以免这些水在减压时又复倒吸入土样。然后关闭加压气源, 并排除腔室中所加的压力, 拆卸腔室, 取出土样, 迅即装入铝盒称重, 测定含水率。如采用连续测定法, 必须取出全部土样以测定其含水率。若不全部取出, 可在制备土样时准确称量, 并测定其含水量, 以求得测试土样干重, 各作最后测定含水率时计算各级水量的根据。

表 1 压力膜和压力板测量精确度

土 壤	土壤吸力 (巴)	测量方法	含 水 率 (干土%)					标准差 (干土%)
			1	2	3	4	平均	
砂质浅色草甸土	15	压力膜	3.84	3.98	3.85		3.89	±0.078
红 壤	15	压力膜	19.80	19.60	19.68	19.53	19.65	±0.116
砂质浅色草甸土	0.3	压力板	13.26	13.28	13.68	13.69	13.48	±0.240
红 壤	0.3	压力板	27.12	27.51	27.53	27.96	27.53	±0.343

四、测量精度

四个重复土样的测定结果列于表 1, 由此可见其测量精度。造成误差的原因是: 土样不均一, 样品预湿不良, 漏气, 压力与温度的波动, 还未达到平衡就拆卸取样, 消除所施压力时样本重新吸水以及取出样本时受到蒸发等等。操作熟练时, 变异系数 $< \pm 1\%$ 。据表 1 的资料, 我们规定以两个样本的平行差 $\leq 1\%$ (含水率) 作为测量结果的取舍。

五、应 用

将土壤吸力与含水率对应作图, 可绘制出土壤持水曲线(图 3)。土壤吸水过程与脱水过程的持水曲线是不同的, 这种现象称为滞后现象, 图 3 是脱水过程的持水曲线。即本文中介绍的由近饱和的土壤加压脱水测定而得。一般所说的土壤持水性, 习惯上是以脱水过程的为准。要测定土壤吸水过程的持水曲线,

只要从 15 巴吸力为起始, 逐渐减压, 由引水管引入水源, 通过膜, 让土壤重新吸水至平衡而得。不同土壤的持水曲线各各相异, 它反映土壤本身的持水性能。

在实际应用上, 一般都把 15 巴的土壤吸力值作为凋萎湿度, 把 1/3 巴的土壤吸力值作为田间持水量(也有取 1/10 巴或 1/2 巴的, 大概砂性土宜取 1/10 巴, 粘性土宜取 1/2 巴)。用压力膜和压力板法测定砂壤质浅色草甸土 100 毫巴(1/10 巴)吸力的含水率是 32%, 300 毫巴($\approx 1/3$ 巴)吸力的含水率为 21.44%, 而华北平原这种质地土壤的田间持水量为 22—30%。这种土壤 15 巴吸力的含水率为 3.89%, 而凋萎含水量则是 4—6%。土壤吸力和水分常数之间在理论上并无一定的联系, 但由于某些土壤吸力值与某些水分常数数值相近, 且土壤吸力的测量比较方便, 故在实用上常以某一吸力值来代替某一水分常数。正因为这个缘故, 压力薄膜和压力板法就更有其实用上的价值。

一般认为, 田间持水量与凋萎含水量之差值为有

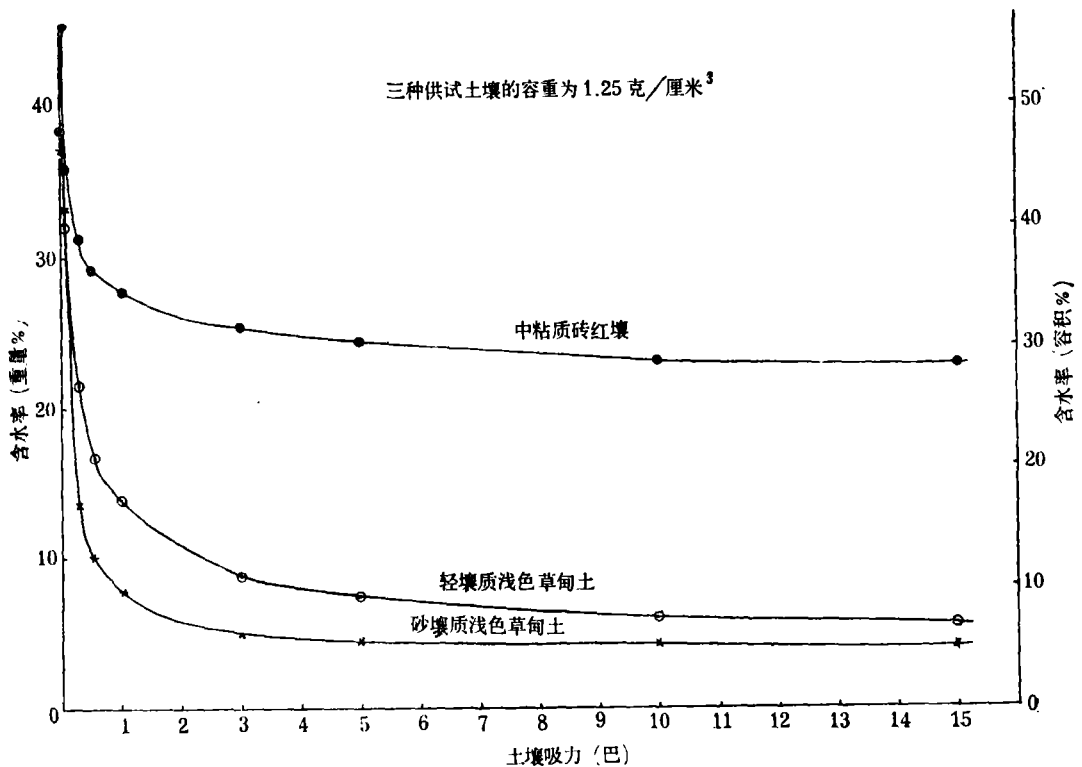


图 3 三种土壤的持水曲线

效水量。计算水量时最好将含水率的重量百分数换算成容积百分数，这样能清楚地反映出一定深土层中的水层厚度。从持水曲线，我们还可以计算出曲线范围内的任何吸力差下土壤释出(或吸入)的水量。表 2 为由图 3 算得的三种土壤在不同吸力差下的释水量，以砖红壤为例，1/2 巴的含水率为 36.4% (容积%)，1 巴的含水率为 34.7% (容积%)，即当土壤吸力由 1/2 巴增加到 1 巴时，在 100 厘米深的土层中可释出 1.7 厘米厚的水。从图 3 表 2 表明，土壤的持水量与释水量不一定成正相关，在同一吸力下中粘质砖红壤虽有较高的

持水量，可是它大部分吸力范围的释水量都较其他两种轻质土为低，故易显其干旱性。土壤的释水性虽也受外界因子如温度、气压等的影响，但主要决定于土壤本身的性质，如土壤种类、胶体、孔隙、有机质等。不同吸力差下的土壤释水量，即表示在这样的吸力变化范围内土壤可供植物利用的水量，这在生产上研究上都很有用处，当然土壤水的可利用性还决定于土壤的导水性，植物的根系分布以及植物的吸水机制等因素。

表 2

三种土壤在不同吸力差下的释水量

土 壤	100 厘米土层深的释水量(水层-厘米)					
	1/10—1/3巴	1/3—1/2巴	1/2—1巴	1—3巴	3—10巴	10—15巴
中粘质砖红壤	5.1	2.6	1.7	3.1	2.7	0.7
轻壤质浅色草甸土	13.1	6.1	3.4	6.4	3.4	0.7
砂壤质浅色草甸土	24.5	4.3	2.9	3.6	0.8	0.4