

仪器应用

土壤湿度计的原理与应用

中国科学院南京土壤研究所水分组

土壤湿度计,又名张力计^[4]、负压计^[1],是测量土壤吸(水)力的一种仪器。

土壤是一种非均质的多孔体,当其孔隙还未完全充满水时,都具有吸水的能力,所以土壤能保持水。植物要从土壤中吸水,必须以更大的力来克服土壤对水的吸力和溶解在水中的溶质吸力才能进行^(注1)。土壤吸力的大小关系到农作物吸收水分和养分的难易,要促进(或抑制)作物生长发育,测量并控制田间的土壤吸力是一种必要的手段。

长期以来,土壤湿度是以土壤的含水率来表示的。但是,因为它是一个容量指标,往往不能反映出土壤对作物的供水能力。例如,一个为20%的土壤含水量,就砂壤质土来说对农作物是十分适宜的,但就粘质土来说,这些水分则几乎无用,因为砂壤质土含水量在20%时,其吸力很小,仅在1/3大气压之内,很容易为作物吸收利用;而粘质土含水量在20%时,其吸力已经超过15大气压,很难为作物所利用了。土壤吸力是土壤湿度的强度指标,直接反映土壤的供水能力。因此,它的测量,不论在理论上或是在生产实践上都有一定的意义。

一、构造和原理

(一)构造 土壤湿度计(图1)由一个陶土管(1)、一个负压表(2)和一个集气管(3)组成。将仪器充满水、密封、插入土中,就可以进行测量。由于它结构简单,使用方便,所以得到广泛的应用。但仪器各部件的性能应达到一定的要求^[2],使用时须予注意。

1. 陶土管 是土壤湿度计的感应部件。它有许多细小而均匀的孔隙。当陶土管完全被水浸润后,其孔隙间的水膜能不让空气而只让水或溶液通过。水膜在一定的压力下破裂而让空气通过时的压力值称为“通气值”。陶土管的“通气值”一般要求在1巴^(注2)以上。

陶土管还要求具有一定的透水性^(注3),这一性能部分影响到仪器的灵敏度。在保证达到规定的“通气值”前提下,其透水性愈大愈好。

2. 负压表 是土壤湿度计的指示部件,一般采用汞柱负压表或弹簧管负压表。负压

(注1)土壤吸力,又称基质吸力,相当于毛管势、基质势,它与土壤溶质吸力(相当于渗透压、渗透势)构成土壤总吸力,决定着土壤水对植物的有效性。1935年, Schodfield 以土壤吸力的厘米——水柱的对数定出 pF 标尺,在土壤水分的研究上得到广泛的应用。

(注2) 1 厘巴 = 10 毫巴 = 10^{-2} 巴 = 10^4 达因/厘米²
= 9.869×10^{-3} 大气压 = 0.7501 厘米—汞柱
= 10.194 厘米—水柱

(注3)陶土管的透水性以陶土管的传导度K值来衡量,其定义为在单位压力差下单位时间通过陶土管壁的水量。陶土管的透水性部分影响到仪器的灵敏度,一般要求其传导度为 1 毫升·分⁻¹·巴⁻¹。

表的选用视测量所需的精确度^(注4)与灵敏度^(注5)而定。弹簧管负压表使用方便,适于农田灌溉之用。如需作较精确的测量或测定地下水(潜水)位,则需用汞柱负压表。

3. 集气管 为收集仪器里面的空气之用。仪器系统内在理论上不允许有空气,但实际上溶解在土壤水中的空气往往难免进入,在一定的真空度下溶解的空气便气化而聚集到集气管里。集气管里1—2毫升的空气不会影响仪器的准确度,但有过多的空气时必须重新充水排气。

此外,为了保证仪器密封,联接各部件的联接管的材料应坚固耐用,能经受得住田间条件(如曝晒、温差等)作用而不致破裂漏气。

(二)工作原理 当完全充满水、密封的土壤湿度计插入土壤后,由于土壤具有吸力,便通过陶土管壁“吸”水。因为陶土管是不透气的,故仪器内部便产生一定的真空,使负压表指示出负压力。负压力的大小因土壤吸力的大小而相应地变化。当土壤吸力与仪器平衡时的负压力,即为土壤吸力。

当土壤因降雨或灌溉而湿润时,吸力减小,与仪器负压力不平衡,水便会重新“压”入陶土管中,使仪器负压力下降而与土壤吸力达到新的平衡为止。当土壤水分达到饱和状态时,负压力为零。

当土壤水分过多,造成临时渍水,或者陶土管处于地下水(潜水)位之下,都使仪器处于(正)压力的状态。如果仪器使用“U”型汞柱压力表或“压力——真空表”作为指示部件,则这种(正)压力也会在压力表中指示出来。由指示的(正)压力与陶土管埋深,可以算出渍水或地下水(潜水)的深度^(注6)。

二、仪器的使用

(一)除气 土壤湿度计在使用之前,必须预先除气。将集气管的盖子及塞子打开,并使仪器倾斜,徐徐注入煮沸后冷却的无气水。充水时要避免有气泡堵塞在仪器的管道上。如果发觉水不容易注入,可用一根铁丝插入帮助通畅,务使整个仪器内部充满水。

(注4)负压表的精确度以最大相对误差衡量,即表的绝对误差与测量上限之比,以百分数表示。一般应用于土壤湿度计的弹簧管负压表的最大相对误差为2.5%,即2.5级。

(注5)仪器的灵敏度部分决定于负压表的代换容量,即1毫升水变化时造成的负压值的变化。内径为1.5毫米的汞柱负压表的代换容量约为0.6巴·毫升⁻¹,直径为6厘米的弹簧管负压表的代换容量为0.8—1巴·毫升⁻¹。

(注6)计算公式为: $L = (h_1 + h_2) \times 13.6 - (H_2 + h_1)$

式中L为地下水位,以厘米表示,其余符号见图3。

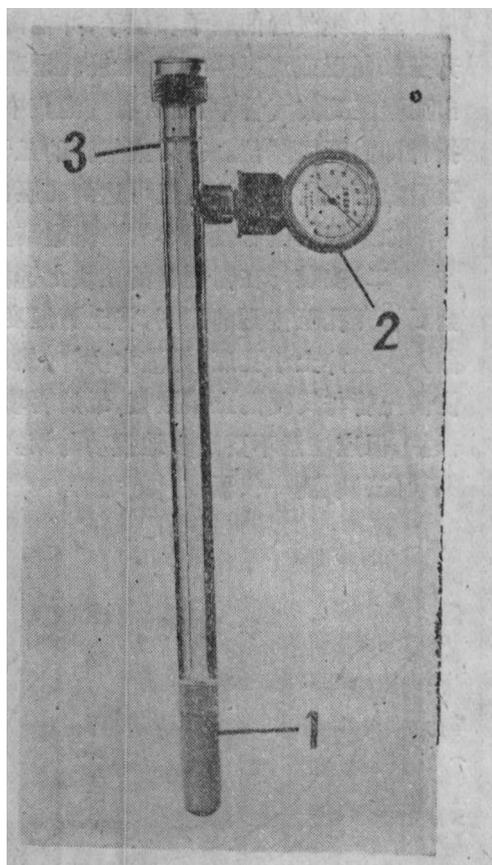


图1 土壤湿度计

盖上集气管的塞子和盖子,并使陶土管在空气中蒸发,数小时后即可见负压表的负压升至60厘巴或更高(注7)。此时轻轻振动仪器,便可见有气泡从陶土管、联接管及负压表逸出而聚集到集气管中。使所有气泡集中至集气管中后,将陶土管浸入无气水中,此时负压指针即回至“零”位。打开集气管的盖子和塞子,重新充满水,按上述步骤反复进行数次,最后负压表所指示的负压可达到85厘巴以上。

如果最后没有发现小气泡聚集到集气管中,说明仪器系统内空气已经除尽,可供使用。

(二)安装 在需测量的田块上选择好有代表性的地方,以与陶土管直径相同的薄壁金属管开孔至待测的深度,将土壤湿度计插入。为了使陶土管与土壤接触紧密,开孔后可撒入少量碎土于孔底,并灌水少许,然后插入仪器,再填入少量碎土,并将仪器上下移动,使陶土管与周围的土壤紧接,最后再填上其余的土壤。仪器安装好之后可在周围作适当的保护,但应注意不要过多地扰动与踏实附近的土壤,使测量的地方失去代表性。

(三)观测 仪器安装好之后,一般需2小时到一天方与土壤吸力平衡。平衡之后,便

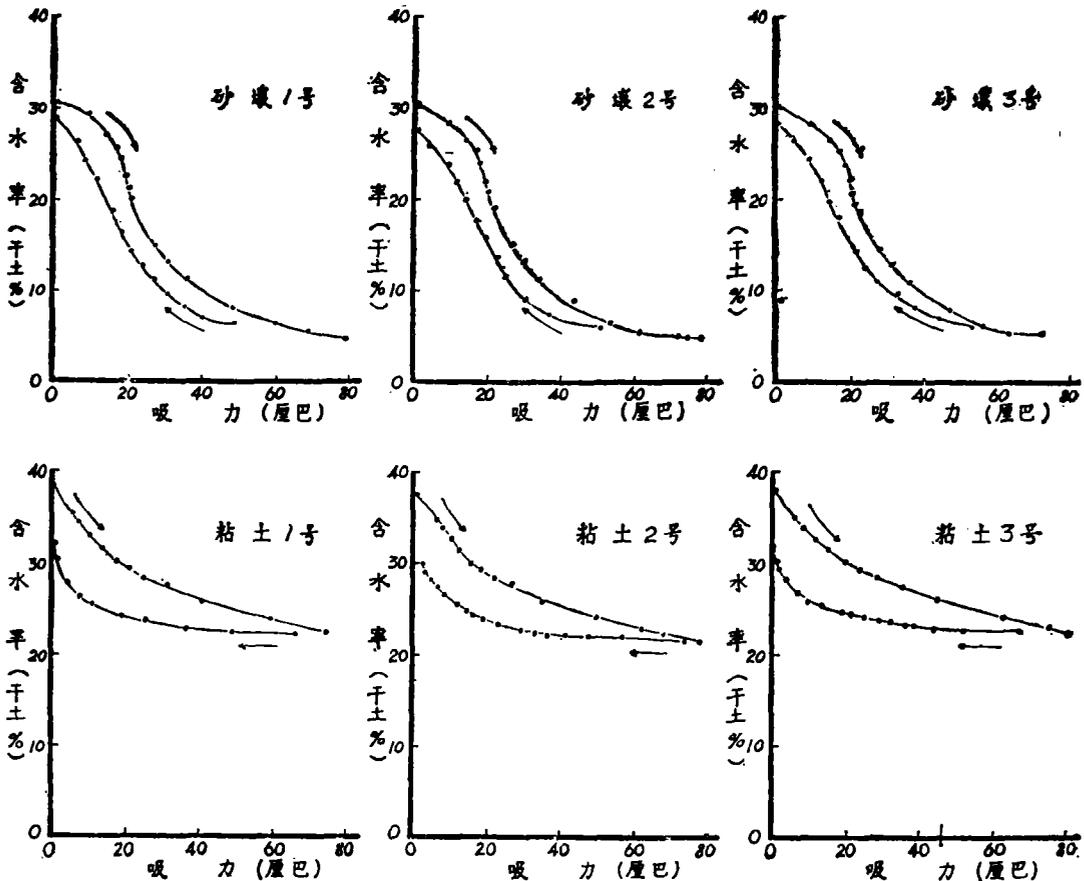


图2 土壤的持水曲线

(注7)利用注射针管或抽气泵帮助除气,此步骤可加速进行。方法是在集气接口处套入注射针管或抽气管,进行抽气,负压表指针便会立刻升至60厘巴或更高,同时在陶土管、联接管及负压表中有气泡逸出。使所有气泡集中至集气管中后,将陶土管浸入无气水中,待负压回至“零”位后,继续抽气。这一过程反复3—4次后,仪器系统中的空气便可除尽。

可进行观测读数。读数时,可轻轻敲打弹簧管负压表,以消除读盘内的摩擦力,使指针达到应指示的吸力刻度。仪器在使用期间需作定期检查,主要是排除仪器中过量的空气,如果发现集气管中空气的容量在2毫升以上,便应将集气管的盖子和塞子打开,重新充水除气。一般都在早晨进行读数,以避免土壤的温度与仪器的温度有较大的差别,当温度降至冰点时^(注8),要将仪器撤离,避免冻害。

土壤含盐量对测定无影响。因为陶土管并非半透膜,既可透过水又可透过溶质分子。除非是特殊的情况,仪器内外溶质的变化是很小的。但是,因为溶质吸力是土壤总吸力的一个组成部分,所以土壤中如果含有一定的盐分时,就必须分别测定土壤的含盐量,计算其溶质吸力(渗透压),并由土壤总吸力来估计土壤水分的可给性。

土壤吸力与含水量对应的关系曲线称为“持水曲线”,图2中两种土壤(砂壤土与粘土)的“持水曲线”是在实验室中以重量法作出的。上面的曲线(箭头向右下)表示土壤由湿到干的过程,下面的曲线(箭头向左上)表示土壤由干到湿的过程,显然,同一吸力值可有一个以上的含水量值,说明土壤吸力与含水量之间并非单值函数。这种现象称为“滞后现象”,造成这种现象的原因是十分复杂的,但一般都与孔隙中水及土粒周围的水膜的状况有关。由此可见,要准确地估计土壤的含水率,用土壤湿度计的吸力值来标定是不适宜的。然而,因为植物的生长与土壤吸力的关系比与含水率的关系更为密切⁽⁵⁾,所以用土壤吸力值来表示(与植物生长有关的)土壤湿度就比以含水量来表示更为适当。

使用土壤湿度计测量土壤吸力有良好的重现性。图2的资料是在实验室内在同一干、湿过程中,同一吸力下三次重复测定的结果,标准差为:砂壤土 $\pm 0.1 \sim \pm 0.88$ (含水量%),粘土 $\pm 0.1 \sim \pm 0.64$ (含水量%)。这些结果表明,用这种仪器测量土壤吸力是可靠的。

(四)零位校正 埋藏在土中的陶土管至地面负压表之间有一段距离,在仪器充水的状态下对陶土管便产生一静水压力。负压表的读数实际上包括了这一静水压力在内。因此,要准确地求出陶土管所在的测定点的土壤吸力,便应消去这一静水压力,也就是作零位校正

土壤吸力一般以厘巴为单位^(注2)。如果使用弹簧管负压表,可量出陶土管中部至负压表的距离,以每10厘米1厘巴计算零位校正值。将测量值减去零位校正值,即为测定点的实际土壤吸力。一般在测量表层土壤吸力时,此校正值可忽略不计。

如果使用U型汞柱负压表,其零位校正值为陶土管中部至U型管“O”点的距离再加上左边汞柱上升的高度(图3 h_1)。在这种情况下应用下式计算土壤吸力值时,已将零位校正值纳入,无需再作校正。

$$S = (h_1 + h_2) \times 13.6 - (H + h_1)$$

式中S—土壤吸力,以厘米—水柱表示。

h_1 —左边汞柱至“O”点距离,以厘米表示(下同)。

h_2 —右边汞柱至“O”点距离。

$H = (H_1 + H_2)$ —陶土管中部至“O”点距离。

H_1 —陶土管中部至地面距离。

H_2 —地面至“O”点距离。

(注8)日本大起理化工业公司建议用 -8°C 结冰的30%丙烯醇溶液来代替仪器中的水,可避免结冰时引起的冻害。

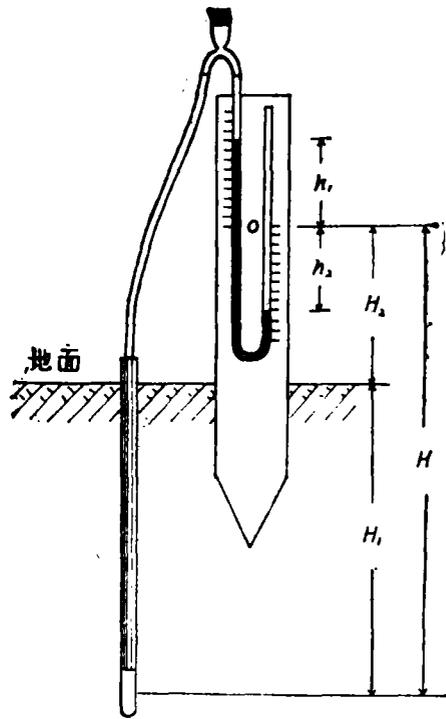


图3 使用U型汞柱真空表计算土壤吸力图

三、土壤湿度计在灌溉中的应用

土壤湿度计除了用来研究土壤水的能量关系以外,在生产上还可用于测量地下水(潜水)位,或用于测量植物的根系活动层,更为广泛的是用于农田灌溉。

但是,由于土壤湿度计的测量范围有限,往往对它是否适用于指示作物灌水产生疑问。土壤湿度计测量的吸力范围为0—85厘巴,相当土壤有效水25%—75%^[3](因土壤质地粗细而异),而植物凋萎时的土壤吸力则为15巴左右,可见土壤湿度计的测量范围是狭窄的。但是,问题在于应根据什么样的土壤湿度来进行灌溉。若以农作物适宜的土壤湿度来作为灌溉的指标,则土壤湿度计一般都能胜任,因为多数农作物最适宜的土壤湿度都在它的测量范围之内^[5]。所以,尽管土壤湿度计的测量范围有限,却并没有妨碍它在农田灌溉上的广泛应用。

图4是在盆钵中用土壤湿度计来指示与控制土壤湿度得到的结果^(注9)。这些结果表明:在土壤湿度计的测量范围之内,黄豆与春小麦对土壤吸力有明显的反应,在低吸力条件下提高了肥料的利用率。特别值得提出的是:在作物的生长过程中,高吸力处理(黄

(注9)黄豆盆钵试验为4次重复,产量标准差为 $\pm 3.1 \sim \pm 7.7$ (克/盆),春小麦盆钵试验为3次重复,产量标准差为 $\pm 0.3 \sim \pm 3.0$ (克/盆)。

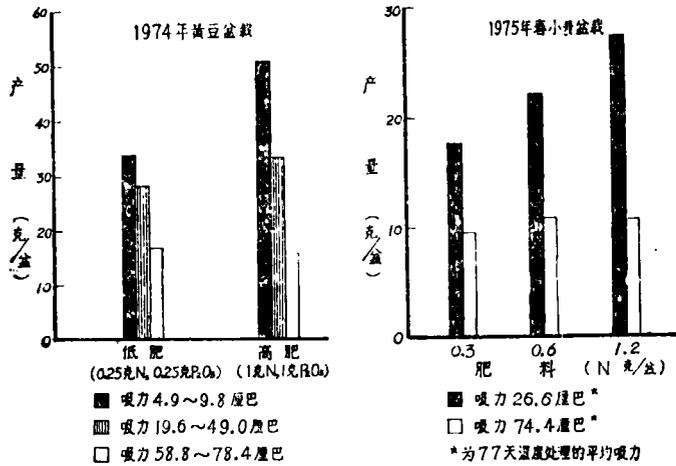


图4 土壤吸力与黄豆、春小麦产量的关系

豆58.8—78.4厘巴,春小麦74.4厘巴)并无任何缺水症状如变色、卷叶的表现,但其低产的结果表明,它们的生长发育显然受到了较高土壤吸力的限制。所以,要得到丰产,灌溉的土壤湿度下限应远在凋萎湿度之前,而在土壤湿度计的测量范围之内极有可能找出其指标。当然,因作物种类不同,生育期不同,收获物的要求不同,其指标都会有一定的差别。

作为指示农田灌溉的土壤湿度上限,土壤湿度计更有其应用的价值。一般认为,其上限为“田间持水量”,即10—30厘巴之间(因土壤质地而异),土壤湿度计对这一数值能准确地指示出来。现在科学的灌溉都用2个(或3个)土壤湿度计埋设在作物根系活动层的上部和下部^[5](用3个时一个埋在中部),当上层的土壤湿度计指出作物适宜湿度的下限时灌水,下层(和中层)的土壤湿度计则用来指示与控制灌水量,以使作物的根系活动层达到但不超过“田间持水量”,这不仅可以为作物的生长发育创造最适宜的土壤湿度条件,而且一方面可避免过多的用水造成养分损失、抬高地下水位等不良后果,另一方面又可节约灌水用量。这对喷灌尤有实际的价值。

参 考 文 献

- [1] 方正三等, 负压计(土壤湿度计)的原理、构造设计及其应用, 科学仪器, 1(3), 333—343, 1963.
- [2] 陈志雄等, 张力计陶土管的试制与鉴定, 科学仪器, 4(3), 130—133, 1966.
- [3] Black, C. A. 主编, Methods of Soil Analysis, 153—163, Amer. Soc. Agron., Madison, Wis., U.S.A., 1965.
- [4] Richards, L. A., Methods of measuring Soil Tension, Soil Science, 68, 95—112, 1949.
- [5] Taylor, S. A. & Ashcroft, G. L., Physical Edaphology, 420—423, 434—436, Freeman & Co., San Francisco, U. S. A., 1972.