土壤水势测定方法的选择及准确性研究

刘思春,高亚军,王永一,马爱生

(西北农林科技大学资源环境学院,陕西 杨凌 712100)

摘要:通过对土壤水势常用的3种测定方法探讨,发现测定土壤水势的方法存在差别,压力膜的准确度为最高,其次是离心机,张力计的准确度较低。压力膜测定土壤水分特征曲线的形状与原状土壤的特征曲线大致相符,但要完整地测出某土壤的特征曲线需要长达半年之久。离心机测定土壤水分特征曲线较压力膜测定有偏离,离心机测定过程中土壤容重的不断变化、土壤温度升高等造成测定结果有差异,但它的测定周期短。张力计广泛应用于确定农田灌溉的时期,虽然张力计测定结果较差,但它仍是农业生产和实验室测定土壤水势切实可用的仪器,若使用压力传感器保持平衡,对土壤和张计之间水分交换忽略不计,准确性会显著提高。

关键词: 张力计;压力膜;离心机;土壤水势

中图分类号: S152.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)04-0189-04

土壤水吸力是土壤水分的强度指标和土壤水运动的方向的判定,与植物吸收水分的有效性有密切的关系。土壤水吸力的大小与土壤水的流动性及对植物的有效性有密切的关系^[1~4]。土壤含水量是土壤水的容量指标,土壤水势大小与土壤含水量之间有一定关系,一般讲,土壤水势越大,含水量越高;土壤水势愈小,含水量愈低,所以负压式土壤张力计的读数能大致反映出土壤含水量状况^[1~3,5,6]。

目前测定土壤水势的主要手段有张力计法、离心机法、压力膜法等。对于同一土壤用不同的测试手段其结果有多大差别?用什么标准来评价不同的

测试手段在其测定范围内的准确程度?同一土壤为什么在同一湿度下压力膜测定的吸力值与离心机、张力计测定的吸力值有较大的差值?本文试图就这三种方法加以比较,选择出适应测定范围及条件。

1 材料与方法

1.1 测试土样

试验以陕西杨凌西北农林科技大学试验农场农田的瘠土为研究对象,其理化性质见表1。土样均是过2.0 mm筛的风干瘠土。

表1 供试瘠土的基本性质

Table 1 The basic properties of lou soil for experiment

土壤 Soil	深度 Depth (cm)	有机质 Organic mater (g/kg)	容重 Bulk density (g/cm ³)	物理性粘粒 Physical clay <0.01mm (g/kg)	粘粒 Clay <0.001mm (g/kg)	比表面 Area (m ² /g)
瘠土 Lou soil	0~20	12.1	1.38	435.2	190.3	272.1

1.2 实验方法

采用了三种最常见的土壤水势测试手段,张力计系中国科学院南京土壤研究所制造的微型张力计(真空表式),精度为2.5级,标定测定范围为0~100 kPa,实测范围是0~85 kPa。离心机是日本生产的H-70型土壤PF测定用离心机,测定范围为0~20 kPa;压力膜仪是美国土壤水分仪器公司生产的压力膜仪,测定范围为0~15 kPa。

张力计的测定是在温度为20±1℃的恒温室中

进行的,土样装在直径10 cm,高10 cm的有机玻璃塑料圆筒中,按1.38 g/cm³的容重装至高8 cm处,张力计陶土头(φ=10 mm)的中心位置在高4 cm处,按仪器说明书所规定的时间达到平衡后用感量为0.01 g的天平称重求其平均含水量。实验设有4个重复,某一含水量下的吸力值也是通过4个吸力求其平均所得的。

离心机测定土壤水吸力所需的平衡时间是通过实验确定的,在某一吸力下所对应的含水量也是用

收稿日期:2010-10-22

基金项目:国家自然科学基金项目(40471069)

作者简介:刘思春(1963—),男,陕西乾县人,高级实验师,主要从事土壤学研究。

万方数据

天平称其土样重量求得的,实验过程中,用精度为 0.1 mm 的测针记录了土样高度的变化过程,从而也就记录了土壤容重的变化过程,随着转速的增加,离心机的工作温度由 18℃ 上升到 40℃,虽然如此大的温度变动会影响土壤水势,但本文中并没有能予以考虑。

压力膜的平衡时间均是根据出流量在允许的误差范围内可以略去不计的原则确定的,但在高吸力下(10 巴以上),平衡时间为 15 d,仍有一定的出流量。所以在高吸力情况下,平衡时间都比较长(15 d

左右)。上述所有方法都是测定的土壤脱水过程。

2 结果与分析

对埧土用 3 种测试方法测定了其土壤水势(或土壤吸力 τ)和土壤含水量(θ)之间的关系,其测定的土壤水势和土壤含水量结果如表 2 所示。

如果根据实际测定的数值,用土壤水吸力常用对数值与土壤含水量配上一个相关方程,其结果见表 2。

表 2 不同测试方法的测定结果与回归方程

Table 2 The result and equation of regression from different methods of measurement

土壤水吸力(kPa) Soil suction of water	土壤含水量(g/kg) Soil water content			相关方程 Correlation coefficient		
	I	II	III	I	II	III
100	326.1	318.2	315.3	$\log \tau = 3.9459 - 0.0060 \theta$ $(r = -0.9991)$	$\log \tau = 4.8448 - 0.0099 \theta$ $(r = -0.9553)$	$\log \tau = 4.8430 - 0.0100 \theta$ $(r = -0.9572)$
200	274.6	268.7	265.1			
300	246.1	241.2	238.9			
400	220.1	219.0	217.6			
500	205.6	203.1	201.8			
600	195.0	194.3	193.2			
700	184.4	182.8	181.4			
800	175.1	176.6	174.6			
900	168.4	170.1	169.1			
1000	—	163.2	162.0			
1500	—	155.3	153.9			
2000	—	150.1	148.8			
2500	—	143.6	141.9			
3000	—	137.8	136.5			
4000	—	133.7	131.6			
5000	—	127.6	126.3			
7000	—	120.1	117.6			
9000	—	110.6	109.8			
13000	—	104.8	103.1			

注: I, 张力计; II, 压力膜; III, 离心机

Note: I, Tonometer; II, Valve of pressure; III, Centrifugal

2.1 不同测定方法的准确性

为了检查不同测试方法测定土壤水势准确程度的大小,将由不同方法所测定的同一土壤的特征曲线所求得的不同导水参数代入水分运动的基本方程,比较其水分动态过程的理论计算值与实测值,以两者的偏离程度作为衡量测试方法准确性的量度。认为在同一测试范围内偏差最小的准确性最高。

2.1.1 同一测定范围内,不同测试方法的准确性

采用西北农林科技大学试验农场埧土土柱脱水蒸发到第 80 天和第 110 天的实测值和配上相关方程求得值(预报值)的比较如表 3、4 所示。

如果引入一个准确度的指标 A , 并定义 $A = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum (\theta_m - \theta_{pi})^2}$, 都以压力膜的 A_0 值为比较标准, 引入相对准确度概念, 定义某种测定方法(i)的相对准确度为 $RA_i = \frac{A_i}{A_0}$, 这样我们可求出各种测定方法的准确度(见表 5)。

由表 5 可以看出: 若从预报值和实测值偏离程度来判断不同测定方法在共同的测试范围内来判断其准确程度, 压力膜的准确度最高, 其次就是离心机, 张力计的准确度较低, 但是它们的准确度相差不

是很大。

表 3 不同测定方法测定土壤水势预报的含水量剖面比较(第 80 天)

Table 3 Comparison of soil water content of soil water potential forecast from different methods of measurement (On 80th day)

深度 (cm) Depth	土壤含水量 Soil water content (g/kg)			
	I	II	III	IV
10	213.1	214.3	213.8	216.2
20	224.9	225.5	225.1	227.6
30	241.0	240.6	241.2	243.4
40	251.8	252.0	252.0	254.6
50	260.6	260.5	260.9	262.8
60	267.1	266.8	266.9	269.3
70	272.0	271.9	272.1	274.3
80	279.4	276.2	276.1	278.4
90	281.8	282.4	281.5	284.3
100	285.7	286.6	286.2	288.6

表 4 不同测定方法测定土壤水势预报的含水量剖面比较(第 110 天)

Table 4 Comparison of soil water content of soil water potential forecast from different methods of measurement (On 110th day)

深度 (cm) Depth	土壤含水量 Soil water content (g/kg)			
	I	II	III	IV
10	179.3	179.9	180.1	182.3
20	199.3	200.2	200.2	202.5
30	218.9	219.1	224.2	221.8
40	233.0	234.4	237.1	235.7
50	245.7	249.9	249.9	247.8
60	255.1	259.8	259.9	257.4
70	263.2	267.8	268.2	265.8
80	271.7	275.7	276.7	273.8
90	277.4	281.7	281.6	279.4
100	283.1	287.8	287.9	285.6

表 5 不同测定方法的准确度

Table 5 The accuracy of different measurement methods

测定时间 (d) Measurement time	压力膜 Valve of pressure	离心机 Centrifugal	张力计 Tonometer
第 80 天 On 80th day	1	0.92	0.76
第 110 天 On 110th day	1	0.89	0.79
平均准确度 Average accuracy	1	0.905	0.775

2.1.2 张力计、离心机与压力膜测定土壤水势的差别 这三种测定土壤水势的方法存在差别,由于离心机测定过程中土壤容重是在不断变化的,因此,对于同一土壤含水量,离心机测定的土壤水势和压力膜、张力计测定的是有差别的,其测定结果见表 3、

4。

用离心机测土壤水势,随着转数的增加,土壤容重随之增加。垆土在测定过程中其容重可从 1.3 g/cm³增加到 2.05 g/cm³,由于土壤的容重发生了较大的变化,因而对测定结果是有影响的。从理论上评价容重变化的影响大小,其容重对土壤水势影响计算公式是:

$$\varphi = \varphi \left[\frac{\alpha \rho_0}{\rho \rho_0 + 3 \lambda(\varphi) \varphi^3 (\rho_0 - \rho)} \right]^{\frac{1}{3}}$$

其中 $\lambda(\varphi) = \frac{\alpha \rho_0}{32 N \pi T^3 \alpha(\varphi)^3}$, $\alpha(\varphi)$ 为比例系数, ρ 为土壤固体密度, ρ_0 为土壤干容重, $N \pi T$ 为常数。

上式就是估价容重变化对土壤水吸力影响的理论公式。式中 φ 为容重不变情况下测定的基质势,它与 ρ_0 相对应, φ 表示同一含水量下,由于容重由 ρ_0 变化到 ρ 所对应的基质势。从上式可以看出,当 $\rho = \rho_0$ 时, $\varphi = \varphi$; 当 $\rho > \rho_0$ 时, $3 \lambda(\varphi) \varphi^3 (\rho_0 - \rho) < 0$, 所以 $\varphi > \varphi$; 同理 $\rho < \rho_0$ 时, $\varphi < \varphi$ 。这就从理论上解释了为什么在同一容积湿度下,离心机所测定的吸力比压力膜的测定值要大的原因。

至于如何把离心机在变容重下所测的吸力值转移为在某一确定容重下的吸力值。这需要大量的实验资料确定上式中的 $\lambda(\varphi)$ 参数。由于本文有限的实验资料还不足以用来确定 $\lambda(\varphi)$ 参数,因而本文中不能作离心机测定的具体校正。不过,只要用压力膜在容重变化很小情况下测定较宽范围的 φ 值(比如说 0 ~ 15 巴),就能用此资料和离心机测定的资料求出 $\lambda(\varphi)$ 参数。

田间土壤水势是迅速变化的,张力计对这种变化的反应,取决于构造上的两个特性,即多孔陶瓷杯的传导率(k)和测定压力装置的灵敏度(S)。假定 P_0 是时间为零时张力计的起始水压,而在 $t \geq 0$ 时,张力计外部土壤水分的压力保持为 P_1 ,而张力计内部压力至 t 时也将接近 P_1 ,在任何中间的时间张力计内部压力将是介于 P_0 和 P_1 之间,我们称为 P 。则有 $P = P_1 - (P_1 - P_0) \exp(-k'St)$ 为张力计的特性方程,参数 $1/k'S$ 即为张力计的时间常数,为了使张力计灵敏, $1/k'S$ 应该尽可能小^[6~9]。

在某些条件下土壤水在张力计与土壤之间的传递效率,不可能快到足以允许进行正确测定出土壤水势变化的程度,进而言之,水分本身体积的交换可以超过测定位置的土壤水势的变化。这也是张力计测定土壤水势准确度低的原因所在。要克服这点,可使用压力传感器保持平衡,对土壤和张力计杯之间水分交换忽略不计。

2.2 土壤水势测定方法的选择及条件

在测定土壤水势最常见的三种测试方法中压力膜仪的测定准确度高,压力膜仪测定土壤水分特征曲线的形状与土壤固有的特征曲线大致相符,能用来定量模拟土壤水分的动态变化过程。不过,要完整地测出某一土壤的水分特征曲线(比如说瘠土)需要长达半年之久。当然,若只需测定出特征曲线的相对形状可以大大地缩短测定周期,但有必要找出相对形状的曲线与标准特征曲线之间的比例关系。

离心机测定土壤水分特征曲线,较压力膜仪测定有偏高,但测定周期短,曲线的相对形状与土壤固有特征曲线较相符,若能考虑容重的影响,测定的准确性提高显著,只要把测定过程中容重变化的吸力折算为某一指定容重的吸力,测定结果可以与压力膜的测定结果作相互校正。离心机测定中的温度效应已引起注意。温度的变化对水势影响程度需要进一步探索。

在测定土壤水势最常见的三种测试方法中张力计测定准确度较低,它所测定的水分特征曲线的形状与土壤本身固有的特征曲线的形状有一定的偏离,这是因为张力计本身多孔陶瓷杯的传导率(k)和真空表装置的灵敏度(S)缺陷,造成张力计不能及时准确反映土壤水势变化真实情况,使张力计测定土壤水势较其它测定方法有一定偏差。但是张力计能够用于田间监测土壤水分的动态变化趋势,这又是其它测定方法不可代替,张力计广泛应用于确定农田灌溉的时期,虽然张力计仅在有效水范围内的优先部分起作用(φ_m 在 $0 \sim 0.85$ 巴之间),但常常

是在这个范围内当张力计指示的土壤水势达到某些规定值时,对植物就应该灌溉了。实践中经常是将张力计埋设于两个深度。上面的一支安置在根系活动最强区,下面的一支应安置在根系活动区的底部附近。对于绝大多数作物,当上面的张力计读数为 $-300 \sim -500$ kPa 而下面张力计开始显示干燥时,即为应该灌溉的时候。虽然张力计有缺点,但它仍是市场上能够买得到的切实可行的仪器,也是最简单可行的较准确测定土壤水势仪器之一。只要仪器准备细致,是可以得到关于田间土壤水分剖面及其随时间而变化的可靠资料。

参考文献:

- [1] 朱祖祥.土壤水分的能量概念及其意义[J].土壤学进展,1979,(1):1—21.
- [2] 刘思春,吕家珑,张一平,等.非饱和土壤水分运动与热力学函数关系初探[J].土壤学报,2000,37(3):388—395.
- [3] 刘思春,白锦麟,张一平,等.温度梯度对非饱和土壤水分运动影响[J].西北农业大学学报,1994,22(1):44—49.
- [4] 陈志雄,汪仁真.中国几种主要土壤的出水性质[J].土壤学报,1979,16(3):24—27.
- [5] 张一平,白锦麟,张君常,等.温度对土壤水势影响的研究[J].土壤学报,1990,27(4):454—458.
- [6] 马歇尔 T J, 霍姆斯 J W.土壤物理学[M].北京:科学出版社,1986:60—78.
- [7] 刘思春,张一平,朱建楚,等.负压式土壤张力计测定法改进及应用[J].西北农业学报,2002,11(2):29—33.
- [8] 刘思春,王 玉,吕家珑,等.不同肥力水平农田生态系统水分状态及能量特征[J].生态学报,2002,22(12):2104—2110.
- [9] 马爱生,刘思春,高亚军,等.旱作农业区土壤水分保蓄状态及其能量特征[J].干旱地区农业研究,2005,23(6):154—157.

Preliminary study on selection and accuracy of different methods for measurement of soil water potential

LIU Si-chun, GAO Ya-jun, WANG Yong-yi, MA Ai-sheng

(College of Resources & Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The study on three commonly used measurement methods for soil water potential shows that the accurate degree of pressure film is the highest, centrifuge is the second, while tensiometer is the lowest. The soil water characteristic curve results from the measurement of pressure film is almost in conformity with that of the origin one, but it takes as long as half a year to determine completely the characteristic curve. To determine soil water characteristic curve with centrifuge may result in deviation compared with pressure film. The continuous change of soil bulk density and rise of soil temperature in the process of the measurement cause differences in the result, but its measurement period is shorter. The tensiometer is extensively applied to determine the time of farmland irrigation. Though its result is not accurate enough, it is still a practicable instrument to measure soil potential in agricultural production and laboratory. If a pressure sensor is used to hold the balance and the swap of moisture between soil and the tensiometer cup is ignored, the accuracy will show an exaltation.

Keywords: tensiometer; pressure film; centrifuge; soil water potential