

土壤水分常数的测定

邹文安¹, 姜波¹, 顾李华²

(1.吉林省墒情监测中心,吉林 长春 130033; 2.安徽省水文局,安徽 合肥 230022)

摘要:长期以来,由于我国墒情监测工作相对薄弱,有关土壤水分常数研究起步较晚,土壤水分常数的测定方法不统一、不规范,测定结果也有一定差别。从生产实际出发,通过多年工作经验和有关技术规范制定成果基础上,系统地阐述了土壤水分常数有关测定方法,为进一步规范土壤水分常数测定流程和技术要求提供借鉴和参考作用,为研究土壤物理特性、墒情实验和墒情监测与评价等提供技术支撑,为各级政府部门指挥抗旱减灾提供可靠决策依据。

关键词:饱和含水量;田间持水量;凋萎含水量;测定

中图分类号:S152.7

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2015)04-0062-05

1 引言

土壤水分常数是土壤中保持各种类型水分的能力,一般为饱和含水量、田间持水量和凋萎含水量的统称。

饱和含水量是指土壤颗粒间所有孔隙都充满水时的含水量,亦称全持水度。土壤质地的不同,土壤饱和含水量也有较大的差异。一般来讲,在砂质土壤中,饱和含水量在25%~60%范围内。有机土如泥炭土或腐泥土的饱和含水量可达90%以上。

田间持水量是土壤所能保持毛管悬着水的最大量,是对作物有效的最高土壤含水量,常用来作为灌溉上限和计算灌水定额的指标。田间持水量的大小与土壤质地有关,砂土一般不超过15%,粘土为25%~50%^[1]。

凋萎含水量,顾名思义土壤含水量低于此值,植物因吸水不足无法满足植物蒸腾消耗,并开始发生永久凋萎,也称萎蔫点。凋萎含水量的大小与土壤质地有关,通常情况下,砂土最小(2%~4%),粘土最大(20%~40%)^[2]。

2 饱和含水量的测定

利用环刀在监测地块上采集原状土带回室内,在人工干预条件下,使土样含水量达到饱和,采用烘干称重法,测定饱和土样的含水量即为土壤饱和含水量。

2.1 监测仪器设备

挖土锹、铝盒、环刀、锤子、削土刀、厘米尺、盛水平

底容器、滤纸、天平(0.01g)、电热恒温干燥箱、干燥器等。

2.2 监测步骤

(1)在野外用环刀采集原状土壤样品,带回室内。在环刀底衬滤纸一张,并盖上有孔的盖子向下放置,无孔盖一面向上放入平底容器中,缓慢加清水,保持水面比环刀上缘低1~2mm,浸泡时间以环刀中的原状土达到饱和为宜,一般情况下,浸泡时间不少于24h。

(2)取环刀中的原状土15~20g,放入已称重的铝盒,并立即称重。在恒温105±2℃烘干箱内烘干至恒重,取出后放入干燥器内冷却至室温,称重,按式(1)计算水分含量,该含水量即为土壤饱和含水量。

(3)土壤饱和含水量计算公式^[2]:

$$\omega = \frac{G_s - G_g}{G_g - G_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: ω 为土壤(饱和)含水量,%; G_s 为湿土+铝盒的重量,g; G_g 为干土+铝盒的重量,g; G_0 为铝盒的重量,g。

2.3 注意事项

(1)用环刀采集的原状土壤样品不少于2份,以样品均值作为测定的土壤饱和含水量。

(2)对已饱和环刀内的原状土取样、称重时,均应迅速快捷,避免水分散失。

(3)烘箱温度应设置在105±2℃,持续恒温8h;黏性土壤可延长时间至达到恒重时取出。

(4)有机质含量丰富的土壤可降低烘箱温度,延长烘烤时间,以避免土壤中有机质气化而影响土壤含水量的精度。

(5)土壤烘干后取出,应盖好盒盖放入干燥器中冷却至常温时称重,并核对铝盒和盒盖编码,作好记录。当土壤样品多或无干燥器时,可直接在烘干箱中冷却至常温后再称重。

3 田间持水量的测定^[3]

田间持水量的测定方法较多,本文以围框淹灌法、环刀法和天然降水法为例,介绍田间持水量的测定方法。

3.1 围框淹灌法

围框淹灌法是在选定的具有代表性地块中建立监测区,通过设置围框、人工灌水、地膜覆盖、自然渗透等一系列人工干预的技术手段,使围框内土壤含水量达到饱和,自然排出重力水后,测取毛管最大悬着水量,此时的土壤水分含量即为土壤田间持水量。

本法监测条件与田间实际一致,监测结果具有代表性。

3.1.1 监测要求

监测地块应选择平坦、能代表当地土壤质地、典型农作物耕种条件,且达到一定种植规模的大田,避开坡地岗地;监测区内宜为白地,无积水、无封冻,汲水方便;人工浇水历时较长,且均匀入渗;围框内的监测土体不得翻动、踩压,需保持原状。

土壤砂粒含量高、粒径大、渗透性好的砂土地块不宜采用本法。

3.1.2 监测仪器设备

铁皮框、草垫子、塑料布、水桶、喷壶、土钻(带有刻度)、铝盒、环刀、锤子、厘米尺、天平(0.01g)、电热恒温干燥箱、干燥器等。

3.1.3 监测步骤

(1)建立保护区。在田间选择具有代表性的地块建立保护区。保护区范围通常是2m×2m,四周用坚实土埂(高30cm,底宽30cm)筑起,防止水分外溢。

(2)建立监测区。在保护区中心部位楔入铁皮框,铁皮框为正方形(边长100cm、高60cm),铁皮框入土深度40~50cm;框内为取样监测区,为耕种原始状土体,不准翻动与挖掘;铁皮框外周边应以原状土填实,防止灌水时水分沿缝隙流失,导致下渗不均匀。

(3)计算灌水量^[2,4]。监测区的灌水量是根据欲测

土层的深度和土壤现实蓄水量确定的。监测区和保护区的补充灌水量可采用式(2)计算:

$$W = k h (\omega - w_0) s \quad (2)$$

式中:W为灌水量,m³;h为土层需灌水深度,m; ω 为土壤饱和含水量,即孔隙度^[4](按表1查算),%; w_0 为实时土壤含水量,%;s为监测区面积,m²;k为使土壤达到饱和含水量的保证系数,k值大小与土壤质地、地下水位深度有关,通常为1.5~3.0,一般粘性土或地下水位浅的土壤选用1.5,反之选用2.0或3.0。

表1 土壤孔隙度表

Table1 The soil porosities

土壤类型	粘土	粘壤土	壤土	砂壤土	砂土
孔隙度 ω / %	45~50	40~45	40~45	35~40	30~35

(4)灌水。灌水前将取样监测区地面覆盖一层草垫子,避免灌水时冲击土壤,破坏表土结构。灌水时,先灌保护区,迅速建立5cm厚的水层,然后用喷壶均匀向监测区内喷洒灌水,使之均匀下渗,监测区与保护区始终保持5cm厚的水层,直至用完计算的全部灌水量。土壤质地不同,灌水时长也不同。一般情况下,灌水时长为3~6h(砂土历时短,粘土历时长),直至围框内表层水体不再下渗为止。灌水完毕后用塑料布覆盖整个监测区,避免土壤水分蒸发损失或雨水渗入。

(5)采集土样。因土壤质地不同,灌水后监测土壤含水量的时间也不同。一般情况下,砂性土壤需在灌水24h后方可采集土样,粘性土壤则在灌水48h后采集土样。在监测区内采集土样时,宜采用土钻打孔的方式,按土壤深度采集土样。每次取样结束后,土孔中缺少的土壤可用保护区内湿土填充,然后重新盖好覆盖物。

(6)土壤含水量测定。土壤样本采集后,应及时烘干称重,按式(1)计算土壤含水量。

(7)采样频次。监测区内土壤含水量宜连续监测,每日监测一次,连续监测5~7d,点绘土壤含水量与监测日期过程线图。当相邻测次土壤含水量无明显差异时,认为此时土壤重力水已排出,土壤毛管处于最大悬着水量,取无明显差异测次土壤含水量的平均值做为该土壤的田间持水量。

3.2 环刀法

环刀法为田间持水量室内测定法之一,利用环刀在监测地块上采集原状土带回室内,在人工干预条件

下,使土样含水量达到饱和,排出重力水后,测定的土壤含水量即为田间持水量^[5]。

3.2.1 监测条件

监测地块土壤质地具有代表性,同一深度土层土质均匀;取样时避免植物根须、石块等杂质掺入土壤样本;为避免监测中出现意外需重新采集土样,采样时应备足环刀,多采集几个土壤样本带回实验室备用。

3.2.2 监测仪器设备

环刀(容积 100cm³)、铁锹、锤子、厘米尺、铝盒、削土刀、滤纸、盛水容器、石英砂(或干土)、筛子(孔径 1mm)、天平(0.01g)、电热恒温干燥箱、干燥器等。

3.2.3 监测步骤

(1)田间采样。按土壤垂直剖面、自上至下用环刀在每层的中部采样。采样前将采样点待采土层土面铲平,将环刀的刀刃端向下平稳压入土中,均匀受力下切。在土壤颗粒溢出环刀刀柄上端小孔后,用铁铲挖开周围土壤,取出装满土样的环刀,用锋利的削土刀削去环刀两端多余的土壤,使环刀内的土壤体积恰好为环刀的容积。在环刀刀刃一端垫上滤纸盖上有孔底盖,另一端盖上顶盖,擦净环刀外壁附土。同时在同一深度土层上取些散状土,带回室内。

(2)土样吸水。将装有原状土的环刀(有孔的底盖端向下)放入平底容器中,加入清水,水面低于环刀顶盖 1~2mm,浸水时间不少于 24h,使环刀中的土壤水分达到饱和^[5]。

(3)吸水干土。吸水干土主要用于吸收环刀内土样多余重力水。将在采样地带回的散状土样风干,磨细过筛,装入另一容器中拍实以备吸收环刀内土壤水分。干土也可由石英砂替代。

(4)土样排水。将已达到饱和的、装有原状土的环刀从水中取出,将有孔底盖打开,连同滤纸一起放在装有干土(或石英砂)容器的上面,为使环刀与干土紧密接触,也可用重物将环刀压实。

(5)烘干称重。经过 8~10h 排水后,将环刀内原状土取出 15~20g 放入铝盒内,烘干称重。

(6)土壤含水量计算。按式(1)计算土壤含水量。

3.2.4 注意事项

在测定土壤干容重时,排除重力水后环刀中的原状土样放入铝盒准备烘干前,应将湿土样切成碎块,防止土样烘干不彻底,影响监测结果。

3.3 天然降水法

天然降水法即饱和雨后测定法,是指当大气降水

达到一定量级使待监测地块土壤水分含量达到饱和,排除多余重力水后测定的土壤含水量即为田间持水量。

3.3.1 监测条件

(1)降水量、降水历时应满足要求,使得待监测土层深度的土壤达到饱和,天然降水法饱和 40cm 土深所需降水量级^[6-7]可参考表 2;如需待测土层深度大于 40cm,则降水量级及降水历时也需增加。

表 2 天然降水法饱和 40cm 土深降水量级表
Table 2 The natural precipitation method saturated soil
40cm deep precipitation scale

土壤质地	砂土	砂壤土	壤土	粘壤土	粘土
降水量级/mm	>57	>67	>80	>89	>100
降水历时/h	>4	>4	>5	>6	>6

(2)监测地块应选择能够代表当地典型土壤质地的地块。

(3)监测地块平整且不易积水,远离沟壑河渠。

(4)监测地点要远离植物根系,防止植物蒸散作用造成土壤水分流失。

(5)监测地点处地下水埋深不宜过高。

(6)土壤粒径小、粉粒含量高的黏性土质不宜采用本法。

3.3.2 监测仪器设备

塑料薄膜、土钻、铝盒、厘米尺、天平(0.01g)、电热恒温干燥箱、干燥器等。

3.3.3 监测步骤

(1)选定监测地块。监测地块的选择应具有代表性,还需考虑与配套雨量站相结合,便于掌握监测地块降水量级是否达到测定要求。

(2)现场保护、地膜覆盖。对达到饱和条件的监测地块或监测站点及时作出反应,迅速组织监测人员进入现场选址、地膜覆盖,防止后续降水或蒸发对监测地点土壤含水量产生次生影响。

(3)测定田间持水量。对雨后饱和土壤进行土壤含水量连续监测(雨后地面无积水开始监测),每日监测一次,监测周期 5~7d,点绘土壤含水量与监测日期过程线图。当相邻侧次测得的土壤含水量无明显差异时,取无明显差异测次土壤含水量的平均值做为该土壤的田间持水量。

3.3.4 注意事项

由于天然降水量法的监测要求较高,受降水因素影响较大,需满足降水条件时方可进行。监测人员应

及时掌握雨情信息,选好符合监测条件具有代表性的监测地块等前期准备工作十分必要。

4 凋萎含水量的测定

4.1 生物法

(1)在作物发生凋萎的情况时采集原状土壤样品。

(2)取原状土 15~20g,放入已称重的铝盒,立即称重。恒温 $105\pm 2^\circ\text{C}$ 烘干至恒重,取出后放入干燥器内冷却至室温,称重,计算水分含量,此时即为凋萎含水量。

(3)凋萎含水量^[2,7]按式(3)计算:

$$\theta_{\text{萎}} = \frac{G_w - w_g}{w_g} \times 100\% \quad (3)$$

式中: $\theta_{\text{萎}}$ 为凋萎含水量,%; G_w 为凋萎时原状土质量,g; w_g 为干土质量,g。

4.2 最大吸湿水量法

在空气湿度接近饱和的条件下,干燥土壤所能吸收的气态水分称为土壤最大吸湿水。最大吸湿水与凋萎含水量呈正比,通过测定土壤最大吸湿水间接测定土壤凋萎含水量。

通过 2mm 筛孔的风干土样,吸附空气中的水气分子,这种吸附的水分称为土壤吸湿水。土壤吸湿水含量的多少与空气相对湿度有关,当空气相对湿度接近于饱和时,土壤的吸湿水含量最高,称为最大吸湿水。因此最大吸湿水是指在特定温度(20°C)和特定相对湿度(98%)下所监测的吸湿水含量。本方法采用饱和硫酸钾溶液,其相对湿度为 98%~99%,作为最大吸湿水的监测条件^[2,7]。

4.2.1 试剂

饱和硫酸钾溶液:称取 11~15g 硫酸钾(K_2SO_4)溶于 100ml 水中。

4.2.2 监测仪器设备

- (1)称量瓶,直径 5cm,高 3cm
- (2)土壤筛,孔径 2mm
- (3)天平,分辨力 0.001g

4.2.3 监测步骤

(1)称取通过 2mm 筛孔风干土样 5~20g(粘土和有机质含量多的土壤为 5~10g,壤土有机质含量较少的土壤为 10~15g,砂土和有机质含量极少的土壤为 15~20g),置于已知质量的称量瓶(精确至 0.001g)中,将土样平铺在称量瓶底。

(2)将盛有土样的称量瓶放入干燥器的有孔瓷板

上,打开瓶盖,勿使称量瓶贴近干燥器壁。干燥器下部盛有饱和硫酸钾溶液(每 1g 土样约放入 3ml 饱和硫酸钾溶液),将干燥器盖好后,放置在温度较稳定处保持恒温 20°C 。

(3)在土壤开始吸湿后 7d 左右,将称量瓶加盖从干燥器中取出,立即称量(精确至 0.001g)。然后重新放入干燥器中,使其继续吸水。以后每隔 2~3d 按同法称量一次直至恒量(两次称重误差不超过 0.003g)。

(4)将达到恒定质量的最大吸湿水土样,置于烘箱中,在 $105\pm 2^\circ\text{C}$ 烘至恒量(精确至 0.001g)称重。

4.2.4 计算

土壤最大吸湿水按式(4)计算:

$$\theta_{\text{吸}} = \frac{w_s - w_g}{w_g} \times 100\% \quad (4)$$

式中: $\theta_{\text{吸}}$ 为土壤最大吸湿水,%; w_s 为 98%相对湿度饱和后的湿土质量,g; w_g 为干土质量,g。

凋萎含水量按(5)计算:

$$\theta_{\text{萎}} = n \times \theta_{\text{吸}} \quad (5)$$

式中: $\theta_{\text{萎}}$ 为土壤凋萎含水量,%; n 为吸湿系数,在 1.5~2.0 之间取值; $\theta_{\text{吸}}$ 为土壤最大吸湿水,%。

5 结论与建议

(1)土壤水分常数是陆地水循环的重要组成部分,它是大气水、地表水与地下水相互作用的纽带。科学准确测定土壤水分常数,对于研究土壤物理特性、墒情评价、干旱分析、灾害评估等工作十分重要。

(2)不同的土壤水分常数测定方法,测定结果也不同,根据水文气象、土壤质地、作物种植、下垫面条件等因素的代表性,选择符合本地实际的测定方法尤为关键。

(3)采用围框淹灌法、天然降水法测定田间持水量时,监测区内土壤含水量需达到饱和,宜连续监测,每日监测一次,连续监测 5~7d,点绘土壤含水量与监测日期过程线图。当土壤重力水已排出,土壤毛管处于最大悬着水量(相邻测次土壤含水量无明显差异)时,此时监测的含水量即为该土壤的田间持水量。

(4)田间持水量与土壤质地有关。一般情况下,土壤颗粒越细,其表面积越大,垒结起来之后形成的空隙也就越小,对水的吸持能力就越大,田间持水量相对较高,砂土、砂壤土、壤土、粘壤土、粘土田间持水量依次增大。

(5)土壤含水常数宜采用动态管理,定期复测,并用历史资料进行分析检验。

参考文献:

- [1] 陈晓燕,叶建春,等. 全国土壤田间持水量分布探讨[J]. 水利水电技术, 2004,(9). (CHEN Xiaoyan, YE Jianchun, et al. Distribution of national soil field capacity [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2004,(9). (in Chinese))
- [2] 栗献峰. 影响土壤水分入渗特性主要因素的试验研究[J]. 山西水利科技, 2008,(2). (LI Xianfeng. Experimental study on soil water infiltration characteristics of the main factors affecting [J]. Shanxi Hydrotechnics, 2008,(2). (in Chinese))
- [3] 邹文安,章树安. 吉林省墒情评价指标实验及早情分析技术研究[R]. 吉林省墒情监测中心, 2012. (ZOU Wenan, ZHANG Shuan. Experiment of soil moisture indexes and research of drought analysis technology of Jilin province [R]. Jilin Soil Moisture Monitoring Center, 2012. (in Chinese))
- [4] 冯杰,尚熲廷. 大孔隙土壤与均质土壤水分特征曲线比较研究[J]. 土壤通报, 2009,(10). (FENG Jie, SHANG Manting. A comparative study of soil moisture and soil macropores homogeneous characteristic curve [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2009,(10). (in Chinese))
- [5] NY/T 1782-2009, 农田土壤墒情监测技术规范 [S]. (NY/T 1782-2009, The Technical Rules for Soil Moisture Monitoring in Farmland [S]. (in Chinese))
- [6] 彭世琪,钟永红. 农田土壤墒情监测技术[M]. 北京:中国农业出版社,2008.(PENG Shiqi, ZHONG Yonghong. Farmland Soil Moisture Monitoring Technology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2008. (in Chinese))
- [7] 乔照华. 土壤水分入渗特性的时间变异规律研究 [J]. 灌溉排水学报, 2008,(6). (QIAO Zhaohua. Time variability of soil water infiltration characteristics [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2008, (6). (in Chinese))

Measurement of Soil Moisture Constants

ZOU Wenan¹, JIANG Bo¹, GU Lihua²

(1. Moisture Monitoring Center of Jilin Province, Changchun 130033, China; 2. Hydrology Bureau of Anhui Province, Hefei 230022, China)

Abstract: For a long time, due to the relatively weak monitoring of soil moisture and the late start of soil moisture constant study, there is no unified standard for constant soil moisture measurement methods, and there are some differences in the measurement results. This paper systemically expounded the soil moisture constant determination method, providing the the reference for standardizing the determination process of soil moisture constants, providing the technical support for soil physical property studying, soil moisture monitoring and evaluation, and providing the reliable decision basis to the government departments for drought relief and disaster reducing.

Key words: saturated soil moisture ; field moisture ; wilting moisture ; determination

《水文》杂志征订启事

《水文》杂志是由水利部主管,水利部水文局(水利信息中心)主办,国内外公开发行的我国水文水资源专业的学术性科技期刊,系我国地球物理学类和水利工程类全国中文核心期刊、中国科技核心期刊、中国科学引文数据库来源期刊、《中国学术期刊(光盘版)》全文收录期刊、中国期刊网和“万方数据——数字化期刊群”入网期刊。

刊登内容:水文水资源基础理论研究,水文站网规划设计,水文测验技术,水文资料处理与服务,水文水资源分析计算,水文情报预报,水资源调查评价,水环境、水生态监测与水质预测,新技术在水文水资源方面的应用,测验仪器设备的研制,国内外水文水资源科技进展综述、评述以及有关信息和动态等。

出版发行:《水文》杂志为双月刊,每逢双月25日出版,国内由北京报刊发行局总发行,全国各地邮局均可办理订阅手续,邮发代号:2-430,每册定价20元,全年共120元;国外由中国国际图书贸易总公司(地址:北京399信箱,邮政编码:100044)发行,代号:BM511。

通讯地址:北京市白广路二条2号,100053,电话:(010)63203599;传真:(010)63204559;E-mail:j.hyd@mwr.gov.cn

投稿网址: <http://sw.allmaga.net/ch/index.aspx>