

文章编号:1673-8411 (2014) 04-0058-05

土壤水分测定技术探讨

黄中雄¹, 苏永秀², 周剑波¹

(1.南宁市气象局, 广西 南宁 530022; 2.广西气象减灾研究所, 广西 南宁 530022)

摘要:从土壤水分取样测定、土壤水文常数测定、观测簿的填写等各方面对土壤水分测定技术做一探讨,提出正确开展土壤水分测定应注意的问题,以供各土壤水分测定站观测人员参考。

关键词:土壤水分;测定技术;探讨

中图分类号:P41

文献标识码:A

Study on the soil moisture measurement techniques

Huang Zhong-xiong, Su Yong-xiu, Zhou Jian-bo

(1.Nanning Municipal Meteorological Service, Nanning Guangxi,530022;

2.Guangxi Meteorological Disaster Mitigation Institute, Nanning Guangxi, 530022)

Abstract: Based on the discussion of soil moisture measurement techniques in some aspects, like, sampling and measuring of soil moisture, and soil hydrological constant determination and filling of observation book, the problems that should be paid attention to for measurement of soil moisture were put forward to provide some references for the staff in the soil moisture measuring station.

Key Words: soil moisture; measurement techniques; discussion

土壤水分是土壤成分之一,对土壤中气体的含量及运动、固体结构和物理性质有一定的影响;制约着土壤中养分的溶解、转移和吸收及土壤微生物的活动,对土壤生产力有着多方面的重大影响。土壤水分又是水分平衡组成项目,是植物耗水的主要直接来源,对植物的生理活动有重大影响^[1]。土壤湿度是农作物生长发育的重要农业气象条件之一,不同作物或同一作物的不同发育期,其对土壤湿度的要求各有不同^{[2]-[5]};同时,土壤湿度对各项田间工作的顺利进行和取得良好作业质量也起着重大作用^[6]。经常进行土壤水分测定,常握土壤水分变化规律,对农业生产实时服务和理论研究都具有重要意义。目前广西乃至全国遍布土壤水分测定站,土壤水分测定已成为广西农业气象测定的一项重要的常规项目之一。本文凭借多年观测经验,从各方面提出正确开展土壤水分测定应注意的问题,对土壤水分测定技术做一探讨,以供各土壤水分测定站观测人员参考。

1 土壤水分取样测定应注意的问题

1.1 取样时间

农业气象观测规范明确规定,固定观测地段在下午测定,作物观测地段在上午进行^[1]。但有的站把固定观测地段测定时间定在上午,以便能在晚上分析发报,这是不符合规范的。首先是取样时间不一致,使各站的数据失去了互相比较的意义。其次,为了在晚上匆忙分析发报,势必要缩短土壤烘烤时间,时间太短有可能造成土壤水分不能充分烘烤出来,从而使得土壤水分测定不准确。建议把固定观测地段土壤水分测定在下午,取样完成时间控制在14时左右,如果是这样,规定要记录的取样完成至20时的降雨量(如有的话)就可以采用地面观测站观测的14时至20时雨量。

1.2 测点的选取

目前广西各地建立了自动土壤水分监测站,自

收稿日期:2014-09-28

作者简介:黄中雄(1968-),男,广西钦州人,高级工程师,从事农业气象方面的研究。

动土壤水分观测仪取代了传统的烘干称重法, 不仅缩短了土壤水分的测定时间, 也减轻了业务人员的工作强度, 更加适应了当前气象事业发展的需要^[7]。但水分仪正式投入使用前需进行一段时间的人工对比观测^{[8]-[14]}。如果取样观测的目的是建设土壤水分自动监测站时取土观测与器测值进行对比, 即进行人工对比观测, 则四个重复测点如何选取是决定对比成败的关键。这是因为, 土壤水分测定器一经安装, 即默认其所在位置的土壤水分具有代表性, 取土观测的目的是测得各层次重量含水率后乘上该层次土壤容重, 得到的各层次体积含水率尽量接近土壤水分测定器所在位置该层次的体积含水率, 在理论上作为其真实值, 这样在随后进行的数据订正才有意义。因此, 采用土钻法选取四个重复测点时, 要求取土点与土壤水分测定器所在位置在 2~10m 范围内不要离得太远, 且目测判断 4 个测点的土壤湿度状况与探测器所在位置的接近。据经验, 4 个重复重量含水率应比较接近, 最大值不应是最小值的 2 倍或以上。

1.3 天平检定

规范规定, 天平要定期送往计量部门检定。能这样做最好, 如果因各种原因不能做到, 每年第一次测定时可以用电子天平(广西采用的是电子天平)附带的砝码进行称量, 如果称量值与砝码上标注的重量值一致, 就说明电子天平尚可用。如果不一致, 电子天平都有校准功能, 可参考天平附带的说明书进行重量校准。如果无法校准才送计量部门检定。需要注意的是, 电子天平在称量时要调整至水平, 否则称量不准确。

1.4 土壤干燥时的处理

当土壤很干燥时, 0—10 厘米土壤无粘性, 不能粘住钻筒内壁, 土壤就不能随钻筒一起取出。这时可以直接把钻筒钻至 20 厘米, 钻筒取出 0—20 厘米的土壤后, 先取 10—20 厘米的土壤样本, 再取 0—10 厘米的土壤样本即可。

1.5 土壤样本重量

应按规范, 土壤样本重量在 40~60 克范围。如太多则不易烘干, 太少代表性不强。

1.6 烘烤时间

湿土烘烤时间应 ≥ 12 小时。笔者曾用粉壤土做过实验, 样本烘烤时间 9 小时后称量, 再次烘烤 3 小时, 即共 12 小时后再次称量, 发现还能烘出 0.1 克甚至 0.2 克的水分; 而再次烘烤 3 小时后再称量, 称

量值不再变化。证明烘烤时间在 12 小时或以上土壤水分就烘干了。

1.7 烘烤后称重

应戴上手套把土壤从烘箱中取出, 立即盖上盒盖, 防止干土暴露在空气中太久而吸收空气中的水分。土盒稍凉后称重。按规范要复称一次。

1.8 数据计算

现在已有农业气象测报业务系统 (AGMODOS), 只要输入原始数据, 系统自动计算出各种数据。这样的话, 不知道公式是如何计算的, 只要知道如何输入, 也能得出数据, 也能做测报, 但究竟算得对不对就无从知道。为此, 笔者事先在 EXCEL(电子表格)中设置好公式, 然后花 1-2 分钟时间在电子表格中输入原始数据后得出结论数据。再输入原始数据进 AGMODOS 进行计算, 如果 AGMODOS 和 EXCEL 的计算结果是一致的, 就放心地用 AGMODOS 进行编报和发报。

1.9 计算方法

尽管有了 AGMODOS 就能做测报了, 但笔者以为, 最好还是对公式有充分的理解, 而不能过于依赖 AGMODOS。

(1) 各层次重量含水率的测定^[15]。重量含水率是指一湿土样本中, 水分重占干土重的百分比。其计算公式为:

$$W = \frac{g_2 - g_3}{g_3 - g_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中, W 为某层次某重复土样的重量含水率(%); g_1 为取样铝盒重量 (g); g_2 为盒与湿土共重 (g); g_3 为盒与干土共重 (g)。式中的分子为水分重, 分母为干土重。 g_1 、 g_2 、 g_3 均取一位小数, W 单位为%, 也取一位小数, 第二位四舍五入。例如, g_1 为 26.1 克, g_2 为 68.3 克, g_3 为 62.3 克, 则 W 算得为 16.5746%, 第二位四舍五入, 最终为 16.6%。

(2) 各层次土壤体积含水率的计算。体积含水率的计算式为:

$$Q = W \times \rho \quad (2)$$

式中, Q 为某层体积含水率(%), 取一位小数; W 为某层重量含水率(%), 取一位小数, ρ 为某层土壤容重 (g/cm³), 取两位小数。这里是用公式直接计算各层次体积含水率, 不需要先计算某层 4 个重复的体积含水率再求平均。由公式推导可知, 体积含水率是指湿土中水分体积占湿土体积的百分比^[15]。由于 Q 、 W 的单位都是%, 在进行计算时, W 取去掉

百分号后的值参与计算。例如, W 为 26.1% 则应取 26.1 参与计算, 如 ρ 为 1.66, 则算得 Q 为 43.3%。

(3) 各层次土壤相对湿度的计算。重量含水率是有量纲的绝对值, 无法在不同站点之间以及同一站点不同土壤层次之间比较含水量, 需要把它转化成可以相互比较的相对湿度。某层相对湿度(%)为该层重量含水率(%)占该层田间持水量(%)的百分比。计算公式为:

$$R = \frac{W}{f} \times 100\% \quad (3)$$

式中, R 为某层土壤相对湿度(%), 重量含水率 W (%) 和田间持水量 f (%) 均应取一位小数, 然后计算相对湿度。相对湿度(%) 计算结果则应取整数。有人在电子表格中把重量含水率和田间持水量计算结果在单元格中显示成一位小数后再计算相对湿度。这是不对的。例如, 重量含水率为 23.5678%, 用 FIXED 函数取一位小数则得 23.6%; 如在电子表格中显示成一位小数, 看到是 23.6%, 但在公式计算中还是用 23.5678% 参与计算。这就不符合重量含水率以一位小数参与计算的规范要求, 计算结果也会不同。本文提及的各种土壤湿度数据的计算均应注意此问题, 即公式中要求各参与计算的数值取什么小数位, 就先用 FIXED 函数取好小数位, 然后计算。在单元格中用 FIXED 函数取小数位与在单元格中显示成多少小数位是不同的。

(4) 各层次土壤水分总贮存量的计算。计算公式为:

$$v = \rho \times h \times W \times 10 \quad (4)$$

式中, v 为某层次土壤水分总贮存量 (mm), 取整数; ρ 为土壤容重 (g/cm^3), 取两位小数; h 为该层次土壤厚度 (cm), 取整数; W 为该层次土壤重量含水率(%), 取一位小数。由公式推导^[15]可知, 厚度为 $h\text{cm}$ 的某层土壤水分总贮存量 (mm) 等于该层截面为 1mm^2 且高为 $h \times 10\text{mm}$ 的湿土柱中, 假设所有水分聚集成截面也为 1mm^2 的水柱的高度 (mm)。但这是一种假设情况, 实际上不存在这样一个水柱。计算时, 公式中的 W 取小数。例如, W 为 23.5%, 则以 0.235 参与计算。这一点与计算体积含水率时的取值是不同的。

(5) 各层次土壤有效水分贮存量的计算。计算公式为:

$$\mu = \rho \times h \times (W - W_k) \times 10 \quad (5)$$

式中, μ 为某层次土壤有效水分贮存量 (mm),

取整数; ρ 为土壤容重 (g/cm^3), 取两位小数; h 为该层次土壤厚度 (cm), 取整数; W 为该层次土壤重量含水率(%), 取一位小数; W_k 为该层次土壤凋萎湿度(%), 取一位小数。某层土壤有效水分贮存量等于用该层土壤实际湿度算得的土壤水分总贮存量减去用该层凋萎湿度算得的土壤水分总贮存量 (凋萎湿度对应的土壤水分不能被植物吸收利用, 属无效的水分贮存量)。

2 土壤水文常数测定应注意的问题

2.1 各层次土壤容重的测定

土壤容重意为单位体积湿土中的干土重, 测定公式为:

$$\rho = \frac{M \times 100}{V \times (100 + W)} \quad (6)$$

ρ 为某层次某重复土壤容重 (g/cm^3), 取两位小数; V 为湿土体积 (cm^3), 取两位小数, 即钻筒的容积; M 为湿土重 (g), 取一位小数, 即钻筒湿土重减去钻筒重; W 为湿土重量含水率(%), 一位小数, 即取钻筒内一部分湿土测得的重量含水率。测定土壤容重时的注意事项:

①某重复钻筒打进某层土壤至上沿刚好打进土壤表层即可。钻筒挖出时不要破坏下一层土壤, 以免影响下一层次的测定。当钻筒上下沿的土壤凸出时, 应削至与上下沿平齐, 钻筒如没有填满土壤应用同层次土壤填满, 其紧实程度与该层土壤相同。总之, 应使湿土体积即为钻筒容积, 而钻筒容积可事先测出。②第一点做好后, 湿土重自然也能准确测得。它等于钻筒湿土重减钻筒重。③湿土重和湿土重量含水率是严格对应的, 即湿土重是某层次某重复钻筒中湿土的重量, 湿土重量含水率则是从该层次该重复钻筒中的湿土取一部分湿土测得的重量含水率, 而不能取该层次 4 个重复重量含水率的平均值。从钻筒湿土中取一部分土测定重量含水率, 应取上下沿的中间部位湿土, 这样能代表整个钻筒湿土的湿度。若取上沿或下沿湿土, 则重量含水率易偏低或偏高。最后, 从公式的推导^[15]可知, 在公式计算中, W 应是去掉百分号后的值, 如 W 为 25.4%, 应取 25.4 参与计算。

2.2 田间持水量的测定

某层田间持水量的确定同时满足以下 2 个条件。(1)按规范, 该层前后 2 次测定的重量含水率的差值 $\leq 2.0\%$, 则后一次测定值可作为该层土壤的田

间持水量,否则继续测定。在这里,重量含水率的差值即是前后 2 个重量含水率直接相减,并且不管 2 个值谁大谁小,不能因为后一次值比前一次值略大就认为后一次值不能作为田间持水量。事实上,经充分灌水后,在某层土壤的重力水下渗期间,该层土壤含水率变动剧烈;排除重力水达到田间持水量后一段时间内,该层土壤水分变动平缓,这时规范提出的前后 2 次测定的重量含水率的差值 $\leq 2.0\%$ 作为田间持水量判定标准是合理的,而后一次值比前一次值略大一些是因为取点不同导致的偶然误差,较多站都出现这种情况,以后一次值作为田间持水量是合规的。(2)第 1 个条件是在充分灌水的前提下提出的,但只满足第一个条件未必能测得准确的田间持水量,因为如某层灌水不够,没有达到田间持水量,但也可能该层前后 2 次测定的重量含水率的差值绝对值 $\leq 2.0\%$,即满足第 1 个条件,这时把后一次值作为田间持水量显然不合适。因此,要同时满足第 2 个条件,即第 2 次测定时通过目测判断,该层土壤湿度的确达到田间持水量。达到田间持水量的土壤不再发黏而变得松软并有可塑性;土块能搓成细圆柱,但弯曲会断裂^[1]。若目测略高于田间持水量,则该次测定后第 2 天再次测定,直至达到为止。若目测某层土壤湿度低于田间持水量,应该再灌水。如该层水很难灌入,建议在其上的土壤层次田间持水量测出来后把其上土壤挖除再灌水。如仍不行,则可以改先灌水后取土为先取土再浸泡土样再测定。具体方法为:把各层次 4 个重复土样取出,要求是一整块土且足够在其上取 4~5 次土,每次取土 40~60g。4 个土块用水浸泡到土块含水充足后测定,连续测几次重量含水率至达到田间持水量为止。该法不同于规范方法,应备注。做土壤容重时没有灌水,土壤湿度应该没有达到田间持水量。因此,做田间持水量测得的各层田间持水量一般应大于做土壤容重时测得的相应层次重量含水率。该法可作为判定田间持水量是否准确的依据之一。

2.3 凋萎湿度的测定

凋萎湿度是指生长正常的植株仅由于土壤水分不足,植株失去膨压,开始稳定凋萎时的土壤湿度,也称凋萎系数。测定注意事项:(1)在做土壤容重时,除按规范取土以供凋萎湿度测定使用外,还可以多装一些各层次土壤,一个层次一个纸袋。用纸袋内的土壤多做一些各层次凋萎湿度。如按规范方法某层次个别重复凋萎湿度没有做出来,则可以用多做的

补上。(2)土样用土壤筛过筛作营养土时筛眼不宜过细,否则营养土呈面粉状,淋水后易板结,指示作物大麦根部缺氧,未长至三叶期时即已死亡。营养液配制也应选择不易造成板结的肥料。(3)指示作物大麦种子浸泡于水中达 10~12h。当种子吸水并充分膨胀发白时,将种子摊开在 2、3 层餐巾纸上,再盖上 2、3 层餐巾纸,不时淋水以保持种子湿润,不久种子就会发芽、长根^[16]。盖餐巾纸使种子处于阴湿状态,则种子发芽长根率明显较高。当种子发芽长根出现白色根毛时是播种的最佳时机,如过了此时机,根毛发黄就不好了。(4)应充分满足指示作物光温水气肥等条件,使其正常健壮地长至三叶期后才使其仅因水分减少而自然稳定凋萎。指示作物生长期间不要让其处在阳光强烈曝晒或酷热高温的地方,以免出现指示作物因蒸腾量大,根系吸收水分一时不能充分供应植株生长而出现假凋萎。如误作真的凋萎而测定,其时土壤湿度尚较大,凋萎湿度明显偏高。(5)按规范方法判定植株达稳定凋萎时取根部土壤立即测定凋萎湿度,推迟测定则凋萎湿度偏低。(6)在一般情况下,凋萎湿度是田间持水量的 25%~35%,即凋萎湿度除以田间持水量再乘上 100%得到的相对湿度为 25%~35%,土质不同,稍有偏差,测定时可作参考^[17]。

3 填写农气簿-2-1 应注意的问题

3.1 封面的填写

封面中的台站名称填写要规范。例如,南宁测站填写“南宁国家农业气象一级观测站”,其他站填法类似。

3.2 备注栏的填写

以下情况要做备注:(1)每年首次测定前要清洗土盒、晾干、称重,并在观测簿第一个备注栏备注。(2)降水或灌溉影响取土时,可顺延到降水或灌溉停止可以取土时补测。当顺延日期超过下旬第三天时,则不再补测^[1]。出现这种情况应在备注栏内注明详细情况。(3)历年冻土深度在 10 厘米左右的地区,如观测冬作物,冬季应进行土壤湿度测定。出现这种情况应在备注栏内注明详细情况。(4)当地下水位深度不超过 2 米或在 2 米上下变化时,每次测定均应记录地下水位深度。地下水位深度常年大于 2 米的台站,只在农气簿-2-1 和农气表-2-1 首次测定的相应栏填写“常年>2 米”,并在备注栏内注明。(5)若降水渗透后湿土下有干土层,无论平均值是否大于等

于 3 厘米仍观测记录干土层,并在备注栏内注明。(6)当土壤相对湿度 $>100\%$ 时应在备注栏注明。(7)取土后当天有降水时,为便于资料分析应在备注栏注明日期及取土后至当天 20 时前的降水量。(8)当某一厚度土壤有效水分贮存量为负值时,有效水分贮存量栏应记“0”,并在备注栏内注明负数值。

3.3 降水、灌溉日期和量的填写

日期是指上一次测定日期的后一日至本次测定日期期间的降水、灌溉日期,应以时间先后顺序填入。降水量为上一次测定日期的后一日至本次测定日期期间的各日合计值的总和值;而某日合计值是指该日的前一日的 20 时至该日 20 时期间的降水量值。举例来说,如某月 8 日、18 日测定土壤湿度,18 日降水量栏记 9 日至 18 日降水合计,即 8 日 20 时至 18 日 20 时的降水合计。若两次土壤湿度测定期间降水量合计值为 0.0mm 时,只记降水符号(黑点)及 0.0mm。当两次土壤湿度测定期间既有 0.0mm 降水,也有 $\geq 0.1\text{mm}$ 降水时,0.0mm 降水日期不记载。先记降水符号“.”再记降水量和降水日期,降水量和降水日期之间用斜杠“/”隔开。若是连续降水,日期以横线连接,间隔降水日期之间用顿号连接。第一次填写,是第一次测定土壤湿度日的前 10 天内的雨量、灌溉量及日期。灌溉量填写每公顷方数。

4 填写农气簿-2-3 应注意的问题

4.1 土壤剖面登记

按照规范,在做土壤容重,挖掘土壤剖面坑时做土壤剖面登记。方法是,先沿着土坑平滑的重直面,按土壤的颜色、结构、质地、侵入体及根系的分布情况,划分土壤发生层,再详细记载各层的深度、土壤颜色、结构、质地等特征。土壤结构系指块状结构、核状结构、柱状结构、棱柱状结构、片状结构、团粒结构等。做土壤剖面登记应请土壤专家参与,特别要请土壤专家来鉴定结构和质地。

4.2 备注的填写

“土壤容重测定”表中的备注的填写:由于四个钻筒均是按同一规格打造,因此经用游标卡尺测量后计算,四个钻筒的容积是一样的,对此情况应在备注栏中备注。“凋萎湿度测定作物观测记录”表中,应按规范,将营养液比例、凋萎后器皿移放地点记入备注栏。

4.3 凋萎湿度测定记录

“凋萎湿度测定记录”表中,只要求记录一个测

定日期,但我们知道,各层次各重复的土壤达到稳定凋萎日期时即马上测定土壤湿度,开始稳定凋萎日期即测定土壤湿度的日期,这日期可以有很多个,不可能只有一个。那么怎么办,建议可以用最晚的那个开始稳定凋萎日期做为测定日期记录。也就是说,最后一个凋萎湿度测定完成后,整个凋萎湿度测定才最终完成。

参考文献:

- [1] 国家气象局.农业气象观测规范(上卷) [M]. 北京:气象出版社,1993:76.
- [2] 蒙小寒.贵港市土壤水分变化规律及其对甘蔗生长的影响 [J]. 气象研究与应用,2008,29(S1):19-20.
- [3] 张之克.秋冬连旱抑制柑桔果实膨大 [J]. 广东气象,1995,17(4):32.
- [4] 钟信南.肉桂生产的气候条件分析 [J]. 广东气象,1995,17(4):34-35.
- [5] 姚盛华.造林与气象条件关系浅析 [J]. 广东气象,1997,19(1):21-22.
- [6] 王刚,陈统强,吴文娟,等.烘干称重法与自动观测土壤湿度的差异分析 [J]. 气象研究与应用,2010,31(2):53.
- [7] 黄文海,谢仁忠,黄汝红,等.DZN3 型自动土壤水分观测仪及维护维修 [J]. 气象研究与应用,2014,35(1):91.
- [8] 王海英,黄中雄,阳擎.南宁土壤水分站自动监测土壤湿度数据质量分析 [J]. 气象研究与应用,2008,29(1):78-79.
- [9] 许嘉玲,王超球,赵秀英.自动气象站数据异常的原因分析 [J]. 气象研究与应用,2007,28(S2):190.
- [10] 刘碧琴.自动站与人工站观测资料差值问题浅析 [J]. 气象研究与应用,2007,28(S3):48.
- [11] 李艳兰.广西 2006 年气候特点及其影响评价 [J]. 气象研究与应用,2007,28(1):64-68.
- [12] 刘新有.基于“基尼系数”的降水时间分析均匀度变化研究 [J]. 气象研究与应用,2007,28(2):46-48.
- [13] 马祖胜,钟伟雄,李汉彬.应对自动气象站数据缺测的措施 [J]. 广东气象,2007,29(3):64-65.
- [14] 马祖胜,李汉彬,徐明唐.地面最高温度人工与遥感数据差异的原因 [J]. 广东气象,2007,29(2):60-61.
- [15] 黄中雄,黄汝红,卢保英,等.土壤湿度监测站土壤水分人工对比观测技术探讨 [J]. 安徽农业科学,2013,41(12):5310-5311.
- [16] 黄中雄.土壤水分常数测定之我见 [J]. 广西气象,2005,26(2):8.
- [17] 谭清波,刘朝英.土壤墒情观测常见问题及排除经验 [J]. 贵州气象,2007,31(5):40.