

土壤墒情监测 技术手册



杜 森 钟永红 吴 勇 著

 中国农业出版社

土壤墒情监测技术手册

主 编：杜 森 钟永红 吴 勇

副 主 编：杜 森 钟永红 吴 勇 著

编写人员：（按姓名笔画排序）

王 伟 刘永军 白 雪 吕 岩

刘 戈 刘晓莉 杜 森 李 强

李淑华 李 影 吴 勇 张 翼

张石锐 张钟莉莉 邵文刚 胡劲红

钟永红

审 稿：高祥照

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

土壤墒情监测技术手册/杜森, 钟永红, 吴勇著.
—北京: 中国农业出版社, 2017. 11
ISBN 978-7-109-22983-9

I. ①土… II. ①杜…②钟…③吴… III. ①土壤含水量—土壤监测—技术手册 IV. ①S152.7-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 117874 号

中国农业出版社出版
(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)
(邮政编码 100125)
责任编辑 贺志清

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2017 年 11 月第 1 版 2017 年 11 月北京第 1 次印刷

开本: 850mm×1168mm 1/32 印张: 8

字数: 200 千字

定价: 40.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

编 委 会

主 编：杜 森 钟永红 吴 勇

副 主 编：张 赓 仇志军

编写人员 (按姓名笔画排序)：

万 伦 仇志军 白云龙 吕 岩

刘 戈 刘晓莉 杜 森 李 昆

李淑华 李 影 吴 勇 张 赓

张石锐 张钟莉莉 郑文刚 胡劲红

钟永红

审 稿：高祥照

前言

墒情是评价农田水分状况满足作物需要程度的指标,土壤墒情监测是指长期对不同层次土壤含水量进行测定,调查作物长势长相,掌握土壤水分动态变化规律,评价土壤水分状况,为农业结构调整、农民合理灌溉、科学抗旱保墒、节水农业技术推广等提供依据。土壤墒情监测是农业生产中不可缺少的基础性、公益性、长期性工作,与病虫害监测、苗情监测并称为农业生产过程中的“三情”。开展土壤墒情监测是农业抗旱减灾的迫切需要、发展高效节水农业的关键环节和建设现代农业的重要基础。

我国水资源严重紧缺,总量仅为世界的6%,人均不足世界平均水平的1/4,每年农业用水3700亿米³左右,约占全国总用水量的62%,缺口超过300亿米³。水资源时空分布不均,南方水资源占总量的81%,但耕地面积仅占40%,全国旱地面积近10亿亩^①。近年来,我国北方地区旱灾频繁发生,华北、东北地下水资源严重超采,南方季节性、区域性干旱日趋严重,干旱缺水已成为威胁粮食安全、制约农业可持续发展的主要限制因素。由于节水农业投入不足,节水技术推广普及率偏

① 亩为非法定计量单位,1亩=1/15公顷≈667米²。——编者注

低，农业用水粮食生产力仅为 1 千克/米^3 左右，远低于发达国家。开展土壤墒情监测工作，大力推广因墒种植、测墒灌溉、覆盖保墒、水肥一体化、自动控制灌溉等旱作节水农业技术，全面提高农业用水生产效率，是转变农业发展方式、建设现代农业的必然选择。

为推进全国土壤墒情监测工作的开展，我们编写了《土壤墒情监测技术手册》。由于墒情监测技术正在快速发展，书中相关描述不足和错漏之处敬请广大读者批评指正。

编者

2017年3月

目 录

前言

第一章 土壤水分与农业生产 1

1.1 水与农业 1

1.2 土壤水的类型和有效性 2

1.3 土壤水分含量的表示方法 5

1.4 农业措施对土壤含水量及水资源高效利用的影响 8

第二章 土壤墒情监测工作现状和要求 14

2.1 土壤墒情监测的概念和意义 14

2.2 土壤墒情监测工作现状 16

2.3 土壤墒情监测工作要求 18

第三章 土壤墒情监测站点的建立 22

3.1 总体要求 22

3.2 土壤墒情监测布局 22

3.3 土壤墒情监测县的建立 23

3.4 固定式土壤墒情自动监测站的建立 25

3.5 土壤墒情监测点的建立 35

3.6 基础数据的记载及填表 36

第四章 土壤墒情监测方法 41

4.1 土壤水分的测定方法 41

4.2	土壤水分常数的测定方法	49
第五章	土壤墒情数据的采集	55
5.1	固定式土壤墒情自动监测站数据采集	55
5.2	土壤墒情监测点数据的采集	72
5.3	监测县的数据采集和处理	77
5.4	降水量和灌溉数据的采集	77
第六章	土壤墒情评价指标体系建立	82
6.1	土壤墒情等级评价的概念	82
6.2	土壤墒情评价指标体系建立	83
6.3	西北地区主要作物墒情评价指标体系	90
6.4	华北地区主要作物墒情评价指标体系	98
6.5	东北地区主要作物墒情评价指标体系	109
第七章	土壤墒情监测数据汇总与发布	117
7.1	土壤墒情数据汇总	117
7.2	短期土壤墒情监测数据的汇总和分析	119
7.3	中长期土壤墒情监测数据的汇总分析	121
7.4	土壤墒情监测简报的编写	124
7.5	中期或长期土壤墒情监测报告的编写	135
7.6	土壤墒情监测信息发布	144
7.7	“中国节水农业信息网”上传信息说明	155
第八章	全国土壤墒情监测系统	161
8.1	全国土壤墒情监测系统	161
8.2	全国土壤墒情监测系统用户手册	163
8.3	全国土壤墒情监测系统数据填写说明	210

第一章 土壤水分与农业生产

1.1 水与农业

水是生命之源、生产之要、生态之基。土壤水是作物吸水最主要的来源，是自然界水循环的重要环节，对作物生长和土壤肥力具有重要影响。自有农业以来，人类对土壤水就极为重视，并日益加深对它的认识。我国是农业古国，古籍中称湿润的土壤为“墒”，并有丰富的关于保墒、散墒等调节土壤水状况（墒情）的技术和方法，至今仍有现实意义。我国农谚中有“有收无收在于水”的说法，充分说明了土壤水对于保证作物正常生长和农业丰收的重要意义。此外，土壤水还关系到整个生物圈和人类生存的生态环境。

土壤水分的分布和运动与农业生产密切相关。土壤水分是构成土壤肥力的重要因素，不仅影响土壤的物理性质，而且制约着土壤生物的活动，影响作物的生长发育。土壤水分影响作物根系大小、数量及分布，通过灌溉方法人为控制土壤水分状况可对根系大小和分布起到一定调节作用，进而影响冠层生长发育和籽粒产量。土壤水分状况还直接关系到土壤中养分的运移和分布，是土壤发育和肥力演变的重要影响因素。因此，对土壤水分含量及其动态变化规律的研究是农业科学工作中极为重要的组成部分，研究了解土壤水分，无论在理论上和生产上都有着重要意义。

1.2 土壤水的类型和有效性

1.2.1 土壤水的类型

土壤水的类型划分与土壤水的研究方法有关。土壤学中对土壤水的研究方法主要有两种，即能量法和数量法。数量法着眼于土壤水的形态和数量，易于理解，在农业生产中广泛采用，具有很强的实用价值。我国早期土壤学研究沿袭前苏联的原理和方法，土壤水的研究长期以来一直沿用数量法。它根据土壤水分所受力的作用把土壤水分类型分为以下几类：一是吸附水，或称束缚水，受土壤吸附力作用保持，其中又可分为吸湿水和膜状水；二是毛管水，受毛管力的作用而保持；三是重力水，受重力支配，容易进一步向土壤剖面深层运动。上述各种水分类型，彼此密切交错连接，很难严格划分。在不同的土壤中，其存在的形态也不尽相同。如粗砂土中毛管水只存在于砂粒与砂粒之间的触点上，称为触点水，彼此呈孤立状态，不能形成连续的毛管运动，含水量较少。在无结构的黏质土中，非活性孔多，无效水含量高。而在质地适中的壤质土和有良好结构的黏质土中，孔隙分布适宜，水、气比例协调，毛管水含量高，有效水也多。

土壤中粗细不同的毛管孔隙连通一起形成复杂的毛管体系。在地下水较深的情况下，降水或灌溉水等地面水进入土壤，借助于毛管力保持在上层土壤的毛管孔隙中的水分，与来自地下水上升的毛管水有时并不相连，好像悬挂在上层土壤中一样，故称之为毛管悬着水。土壤毛管悬着水是山区、丘陵、岗坡地等地势较高处植物吸收水分的主要来源。

土壤毛管悬着水达到最多时的含水量称为土壤田间持水量。在数量上包括吸湿水、膜状水和毛管悬着水。当一定深度的土体储量达到田间持水量时，若继续供水，就不能使该土体的持水量再增大，而只能进一步湿润下层土壤。田间持水量是确定灌水量

的重要依据，是农业生产上十分有用的水分常数。田间持水量的大小，主要受质地、有机质含量、结构、松紧状况等的影响。

当土壤含水量达到田间持水量时，土面蒸发和作物蒸腾损失的速率起初很快，而后逐渐变慢；当土壤含水量降低到一定程度时，较粗毛管中悬着水的连续状态出现断裂，但细毛管中仍然充满水，蒸发速率明显降低，此时土壤含水量称为毛管联系断裂含水量，简称毛管水断裂量。在壤质土壤中它大约相当于该土壤田间持水量的75%左右。借助于毛管力由地下水上升进入土壤中的水称为毛管上升水，从地下水水面到毛管上升水所能达到的相对高度叫毛管水上升高度。毛管水上升的高度和速度与土壤的孔隙的粗细有关，在一定的孔径范围内，孔径越粗，上升的速度越快，但上升高度低；反之，孔径越细，上升速度越慢，上升高度则越高。不过孔径过细的土壤，则不但上升速度极慢，上升的高度也有限。砂土的孔径粗，毛管上升水上升快，高度低；无结构的黏土，孔径细，非活性孔多，上升速度慢，高度也有限，而壤土的上升速度较快，高度最高。

在毛管水上升高度范围内，土壤含水量的多少也不相同。靠近地下水水面处，土壤孔隙几乎全部充水，称为毛管水封闭层。从封闭层至某一高度处，毛管上升水上升快，含水量高，称为毛管水强烈上升高度，再往上，只有更细的毛管中才有水，所以含水量就减少了。

毛管水上升高度特别是强烈上升高度，对农业生产有重要意义，如果它能达到根系活动层，对作物源源不断利用地下水提供了有利条件。但是若地下水矿化度较高，盐分随水上升至根层或地表，也极易引起土壤的次生盐碱化，危害作物。

1.2.2 土壤水的有效性

土壤水的有效性是指土壤水能否被植物吸收利用及其难易程度。不能被植物吸收利用的水称为无效水，能被植物吸收利用的

水称为有效水。其中因其吸收难易程度不同又可分为速效水（或易效水）和迟效水（或难效水）。土壤水的有效性实际上是用生物学的观点来划分土壤水的类型。

通常把土壤凋萎含水量看作土壤有效水的下限，当植物因根无法吸水而发生永久萎蔫时的土壤含水量，称为土壤凋萎含水量、萎蔫系数或萎蔫点，它因土壤质地、作物和气候等不同而不同。一般土壤质地越黏重，土壤凋萎含水量越大。低于土壤凋萎含水量的水分，作物无法吸收利用，属于无效水。

一般把田间持水量视为土壤有效水的上限。所以田间持水量与土壤凋萎含水量之间的差值即是土壤有效水最大含量。土壤有效水最大含量，因不同土壤和不同作物而不同。土壤质地与有效水最大含量关系见表 1-1。

表 1-1 土壤质地与有效水最大含量的关系 (%)

土壤质地	砂土	砂壤土	轻壤土	中壤土	重壤土	黏土
田间持水量	12	18	22	24	26	30
萎蔫系数	3	5	6	9	11	15
有效水最大含量	9	13	16	15	15	15

随土壤质地由砂变黏，田间持水量和土壤凋萎含水量也随之增高，但增高的比例不大。黏土的田间持水量虽高，但土壤凋萎含水量也高，所以其有效水最大含量并不一定比壤土高。因而在相同条件下，壤土的抗旱能力反而比黏土强。

一般情况下，土壤含水量往往低于田间持水量。所以有效水含量就不是最大值，而只是当时土壤含水量与土壤凋萎含水量之差。在有效水范围内，其有效程度也不同。在田间持水量至毛管联系断裂含水量之间，由于含水多，土水势高，土壤水吸力低，水分运动迅速，容易被植物吸收利用，所以称为速效水（易效水）。当土壤含水量低于毛管水断裂量，粗毛管中的水分已不连续，土壤水吸力逐渐加大，土水势进一步降低，毛管水移动变

慢，根吸水困难增加，这一部分水属“迟效水”（或“难效水”）。

可见土壤水是否有效及其有效程度的高低，在很大程度上取决于土壤水吸力和根吸力的对比。一般土壤水吸力大于根吸力则为无效水；反之为有效水。但是从 SPAC 中可以知道，土壤水有效性不仅取决于土壤含水量或土壤水吸力与根吸水力的大小，同时还取决于由气象因素决定的大气蒸发力以及植物根系的密度、深度和根伸展的速度等。例如在同一含水量或土水势时，大气蒸发力弱，根系分布密而深，根系分布广时，植物也可能得到一定的水分而不发生永久萎蔫。反之，大气蒸发力强，根系分布浅而稀，根伸展的速度慢，植物虽然仍能吸收一部分水，但因入不敷出，就会发生永久萎蔫。所以通过有关措施，加深根层，培肥土壤，促进根系发育，也是提高土壤水有效性，增强抗旱能力的重要途径，在旱作区这些措施尤为重要。

1.3 土壤水分含量的表示方法

土壤是多孔介质，土壤含水量是土壤中液相体积或质量相对于土壤的一些特性指标如固相体积、固相质量、土壤总体积、土壤总质量等的比值。根据不同的应用和研究需要，土壤含水量一般有以下几种定义或表示方法。

1.3.1 土壤含水量

质量含水量（或称重量含水量）：这是最简单和常用的土壤水分含量值表示方法，是指水与干土粒的质量比或重量比，即

$$\theta_m = M_w / M_s \quad (1.1)$$

式中： θ_m ——土壤质量含水量；

M_w ——水的重量；

M_s ——干土的重量。

干土一般指在 105℃ 烘箱中烘干的土壤，不是绝对的干燥的土壤，因黏粒在上述温度下仍保持有可察觉数量的水。 θ_m 有时用小数值表示或者用百分数表示。

容积含水量：指单位容积土壤中水所占的体积，或一定容积土壤与其中水所占的容积比，用厘米³/厘米³或百分数来表示。计算的基础是土壤的总容积，而不是土粒的容积。其计算式为：

$$\theta_v = v_w / v_t \quad (1.2)$$

容积含水量和质量含水量的关系，

$$\theta_m = M_w / M_s = \rho_w V_w / \rho_b v_t \quad (1.3)$$

式中： ρ_w ——水的密度 ($\rho_w = 1$ 克/厘米³)；

ρ_b ——土壤容重。

$$\theta_v = \theta_m \rho_b \quad (1.4)$$

1.3.2 水层厚度或深度

水层厚度或深度（毫米）指一定面积和厚度的土体中含水的绝对量。这种表示法，在研究土壤水分平衡和排水、灌溉时，往往采用水层的毫米厚度来表示土壤的含水量。自然界的土壤水分分散在土壤孔隙中。假设可以将一定面积和一定厚度的土体土壤压实到无孔隙的实体，此时土壤中的水分会集中在一起并均匀地分布在凸体的表面，形成一定厚度的水层。水层厚度 = 土层厚度 × 土壤容重 × 重量百分数。

1.3.3 土壤蓄水量

指在一定土层深度中保持的含水量，可以根据土壤容重、田间持水量等计算现时蓄水量或灌溉水量。土壤蓄水量（米³/亩）= 土壤面积（米²）× 土层深度 × 土壤容重 × 土壤重量含水量。如土壤田间持水量为 25%（重量），容重为 1.1，测得土壤自然含水量为 10%，现将每亩 1 米深的土层内含水量提高到田间持

水量水平,问应灌多少水(米³/亩)?则应灌水量(米³/亩)= $667 \times 1 \times 1.1 \times (25\% - 10\%) = 110$ 米³/亩。

1.3.4 饱和度(s)

饱和度是指土壤中水的容积与土壤孔隙容积的比值。土壤达到完全饱和时所含水的容积在非膨胀性土壤应是土壤孔隙容积完全为水所占据,容积含水量与孔隙度相等。

$$s = \frac{V_w}{V_f} = \frac{V_w}{(V_s + V_w)}$$

饱和度 s 的值从在干土中为0到完全饱和的土壤为1或100%。完全饱和的土壤几乎少见,土壤中总存有空气,即使在很湿润的土壤中也有空气存在。

1.3.5 相对含水量

相对含水量指土壤含水量占田间持水量或者饱和含水量的百分数,也可以表示土壤有效水、无效水(包括速效、迟效等水量)占总含水量的百分数。实际工作中,常用的土壤相对含水量是指土壤含水量占田间持水量的百分数,在农业生产中,常用相对含水量(土壤含水量占田间持水量的百分数)作为土壤水分管理的指标。通常认为土壤湿度在60%~80%田间持水量的范围为适宜作物生长的范围。

1.3.6 土壤的水分常数

在土壤各种力的作用下土壤中达到某种程度的含水量。对于同一土壤来说,此时的含水量基本不变,称为土壤水分常数,又叫水分特征值,它是一些与植物吸收水分有关系的数值。

吸湿系数(最大吸湿水量):在空气相对湿度接近饱和时,土壤吸收水汽分子的最大量与烘干土重的百分率。

土壤凋萎含水量:当植物产生永久凋萎时的土壤含水量。此

时的土壤水主要是全部的吸湿水和部分膜状水。经验公式显示，凋萎系数=吸湿系数 $\times$ (1.34~1.5)。

田间持水量：土壤田间持水量是指自然状态下，当土壤被充分饱和后，多余的重力水经渗漏降至很低甚至停止时土壤所持的含水量，即土壤中所有的毛细管都充满水时的含水量。此时水分类型包括吸湿水、膜状水和全部毛管悬着水。不同质地的土壤田间持水量可以通过测定获得。土壤田间持水量是表征田间土壤保持水分能力的指标，也是计算土壤灌溉量的重要指标。

全容水量（土壤饱和含水量）：土壤完全为水所饱和时的含水量，此时土壤水包括吸湿水、膜状水、毛管水和重力水。水分基本充满了土壤孔隙，在自然条件下，水稻土、沼泽土或降雨、灌溉量较大时可达到全容水量。

1.4 农业措施对土壤含水量及水资源高效利用的影响

当土壤水分含量不能满足作物生长发育需求的时候，就会破坏作物体内的水分平衡，轻者暂时萎蔫，重者干枯死亡，从而影响作物产量。在旱作区，造成农田土壤水分不足的原因主要有以下3种情况：一是作物生长季节的降雨量不足；二是降雨不能有效地渗入到土壤中存储，径流损失多；三是土壤保水能力差，渗漏或蒸发损失水量过多。在灌区，主要是农田基础设施差，不能进行节水灌溉或补充灌溉。生产实践中主要通过田间工程措施、节水灌溉、旱作农业技术应用来调节土壤墒情状况，提高水资源利用效率。

1.4.1 旱作区农业措施对土壤含水量及水资源高效利用的影响

旱作区主要以发展蓄水保墒、集雨补灌、抗旱抗逆为核心，