

中国水利教育协会 组织



全国水利行业“十三五”规划教材（职工培训）

农业灌溉排水 工程技术

主编 郭旭新
主审 孙西欢



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

中国水利教育协会 组织



全国水利行业“十三五”规划教材（职工培训）

农业灌溉排水 工程技术

主编 郭旭新

主审 孙西欢



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

本书为全国水利行业“十三五”规划教材（职工培训）。本书系统地介绍了灌溉排水工程的规划设计方法。主要内容包括土壤与农田水分状况、作物需水量与灌溉用水量、灌溉水源及取水工程技术、井灌工程技术、渠道输水灌溉工程技术、渠道防渗工程技术、地面灌水技术、低压管道输水灌溉工程技术、喷灌工程技术、微灌工程技术、排水工程技术等内容。

本书适用于基层水利单位从事灌溉排水工程规划、设计技术人员的业务培训和继续教育。

图书在版编目（CIP）数据

农业灌溉排水工程技术 / 郭旭新主编. -- 北京 :
中国水利水电出版社, 2017. 1
全国水利行业“十三五”规划教材. 职工培训
ISBN 978-7-5170-5178-7

I. ①农… II. ①郭… III. ①农业灌溉—排水工程—
教材 IV. ①S276

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第027118号

书 名	全国水利行业“十三五”规划教材（职工培训） 农业灌溉排水工程技术 NONGYE GUANGAI PAISHUI GONGCHENG JISHU
作 者	主编 郭旭新 主审 孙西欢
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (营销中心) 北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 17.75印张 420千字
版 次	2017年1月第1版 2017年1月第1次印刷
印 数	0001—2500册
定 价	46.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

本书突出继续教育的特点，充分体现以学员为主体的教育理念，以提高学员从业综合素养为目标，理论叙述力求深入浅出、概念清晰、通俗易懂；内容安排力求结合实际工程规范，紧密结合工作岗位和工作过程。依托典型例题、习题，突出实用性，使学员通过学习不断提高自身思考问题、解决问题的能力。为了便于学员学习和教师使用，各章开篇列有学习目标、学习任务，章后设有习题，使学员明确学习目的，能自主进行能力训练，同时方便教学。

本书编写人员及编写分工如下：杨凌职业技术学院赵英编写第一章、第二章，杨凌职业技术学院郭旭新编写第三章、第五章、第六章，杨凌职业技术学院王雪梅编写第七章至第九章，山西水利职业技术学院李雪转编写第四章、第十一章，河南省水利勘测设计研究有限公司高文强编写第九章第一节至第三节，河南省水利勘测设计研究有限公司邓燕编写第十章第四节。本书由郭旭新担任主编并负责全书统稿，李雪转、赵英担任副主编，山西水利职业技术学院孙西欢教授担任主审。

在本书编写过程中，得到了有关设计单位的支持，同时也得到了各位编审人员所在单位的大力支持，在此表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，对于本书中存在的缺点和疏漏，恳请广大读者批评指正。

编者

2016年6月

目 录

前言	
第一章 土壤与农田水分状况	1
第一节 土壤	1
第二节 农田水分状况	4
习题	10
第二章 作物需水量与灌溉用水量	12
第一节 作物需水量	12
第二节 作物灌溉制度	17
第三节 主要作物的合理用水	27
第四节 灌溉用水量	35
习题	40
第三章 灌溉水源及取水工程技术	42
第一节 灌溉水源	42
第二节 灌溉取水方式	44
第三节 灌溉取水工程的水利计算	47
习题	53
第四章 井灌工程技术	55
第一节 地下水资源评价	55
第二节 单井设计	57
第三节 井灌区规划	68
习题	72
第五章 渠道输水灌溉工程技术	73
第一节 灌溉渠道系统规划布置	73
第二节 渠系建筑物规划布置	77
第三节 田间工程规划	80
第四节 灌溉渠道流量推求	89
第五节 渠道纵、横断面设计	98
习题	112
第六章 渠道防渗工程技术	114
第一节 渠道防渗工程的类型及特点	114

第二节	渠道防渗工程规划设计	119
第三节	渠道防渗工程的防冻胀措施	133
	习题	135
第七章	地面灌水技术	137
第一节	灌水技术综述	137
第二节	传统地面灌水技术	142
第三节	节水型地面灌水技术	148
	习题	154
第八章	低压管道输水灌溉工程技术	156
第一节	低压管道输水灌溉工程的组成及类型	156
第二节	低压管道输水系统的主要设备	158
第三节	低压管道输水灌溉工程规划设计	163
第四节	低压管道输水灌溉工程规划设计示例	171
	习题	175
第九章	喷灌工程技术	177
第一节	喷灌系统的类型及特点	177
第二节	喷灌的主要设备	180
第三节	喷灌工程规划设计	188
第四节	喷灌工程规划设计示例	198
	习题	203
第十章	微灌工程技术	205
第一节	概述	205
第二节	微灌系统的主要设备	208
第三节	微灌工程规划设计	216
第四节	微灌工程规划设计示例	229
	习题	235
第十一章	排水工程技术	237
第一节	农田对排水的要求	237
第二节	田间排水沟的深度和间距	240
第三节	田间排水系统的布置	245
第四节	骨干排水系统的规划布置	253
第五节	骨干排水沟设计	256
第六节	排水口位置选择与容泄区整治	265
	习题	266
	各章答案	268
	参考文献	276

第一章 土壤与农田水分状况

【学习目标】

通过学习土壤、农田水分状况的基础知识及土壤含水率的测定方法，能够测定土壤含水率并判断土壤水分的有效范围。

【学习任务】

1. 理解土壤的概念。
2. 掌握土粒分级、土壤质地的分类标准和土壤的生产特性，能够进行土粒分级和土壤质地分类，并能根据土壤质地合理选择作物。
3. 理解农田水分状况对作物生长的影响及土壤水分的有效范围，会进行土壤含水率各种表示方法的转换。

第一节 土 壤

一、土壤的概念

土壤是农业生产的基本条件，是作物生长发育的物质基础，是人类赖以生存的重要资源和生态条件。由于不同学科的科学家的对土壤的概念存在着不同的认识，要想给土壤下一个严格的定义是很困难的。土壤学家和农学家传统地把土壤定义为：发育于地球陆地表面，能生长绿色植物的疏松多孔结构表层。在这一概念中，阐述了土壤的主要功能是能生长绿色植物，具有生物多样性，所处的位置在地球陆地的表层，它的物理状态是由矿物质、有机质、水分、空气和生物组成的具有孔隙结构的介质。

二、土壤物质组成

土壤是由矿物质和有机质（固相）、水分（液相）、空气（气相）三相物质组成的疏松

多孔体（图1-1）。固相物质的体积约占50%，其中38%是矿物质颗粒，它构成土壤的主体，搭起土壤的骨架，好比是土壤的骨骼；12%是有机质，主要是腐殖质，它好比是土壤的肌肉，它是土壤肥力的保证。在固体物质之间，存在着大小不同的孔隙，它占据了土壤体积的另一半。孔隙里充满了水分和空气，水分一般占土壤体积的15%~35%，在水分占据以外的孔隙中充满着空气。土壤水分实际上是含有可溶性养分的土壤溶液，它在孔隙中可以上下左右运行，好比是土壤的血液。孔隙中的空气与大气不断地进行交换，大气补给土壤氧气，土壤又吐出二氧化碳，好比土壤

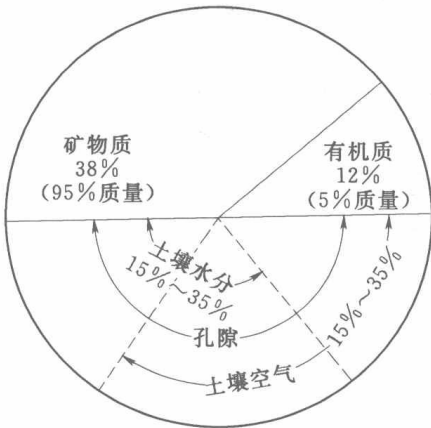


图 1-1 土壤三相组成比例示意



也在呼吸。

(一) 土粒分级

通常按照粒径的大小和性质的差异，将土粒划分成若干等级，称为土粒分级。同一粒级范围的土粒大小、成分和性质基本相近；不同粒级间的土粒大小、成分和性质均有较大差异。一般将土粒分为石砾、砂粒、粉粒和黏粒四大基本粒级，然后进行细分。当前，我国常见的土粒分级标准见表 1-1。

表 1-1 常见的土粒分级标准

中国制 (1987 年)		国际制 (1930 年)		卡庆斯基制 (1957 年)	
粒级名称	粒径/mm	粒级名称	粒径/mm	粒级名称	粒径/mm
石块	>3	石砾	>2	石块	>3
石砾	3~1			石砾	3~1
粗砂粒	1~0.25	粗砂粒	2~0.2	粗砂粒	1~0.5
细砂粒	0.25~0.05	细砂粒	0.2~0.02	中砂粒	0.5~0.25
				细砂粒	0.25~0.05
粗粉粒	0.05~0.01	粉粒	0.02~0.002	粗粉粒	0.05~0.01
中粉粒	0.01~0.005			中粉粒	0.01~0.005
细粉粒	0.005~0.002			细粉粒	0.005~0.001
粗黏粒	0.002~0.001	黏粒	<0.002	粗黏粒	0.001~0.0005
细黏粒	<0.001			细黏粒	0.0005~0.0001
				胶粒	<0.0001

注 卡庆斯基制中，1~0.01mm 为物理性砂粒，小于 0.01mm 为物理性黏粒。

(二) 土壤质地及其分类标准

不同的土壤，其固体部分颗粒组成的比例差异很大，而且很少是由单一的某一粒级土壤颗粒组成的，即使是最粗的砂土或最细的黏土，也不只是由纯砂粒或纯黏粒所组成的，而是砂粒、粉粒、黏粒都有，只不过是各粒级所占的比例不同（如砂土中砂粒占的比例大，而黏土中黏粒占的比例大）。因此，我们把土壤中各级土粒的配合比例或土壤中各级土粒的质量百分数称为土壤机械组成。土壤质地则是根据不同机械组成所产生的特性而划分的土壤类别。质地是土壤的一种十分稳定的自然属性。在生产实践中，质地常常作为认土、用土和改土的重要依据。一般将土壤质地分为砂土、壤土和黏土三大组，每组再细分（表 1-2）。土壤质地可以用仪器来测定，也可以用简单的手摸方式来确定。

表 1-2 中国制土壤质地分类

质地组	质地名称	颗粒组成/%		
		砂粒 (1~0.05mm)	粗粉粒 (0.05~0.01mm)	细黏粒 (<0.001mm)
砂土	极重砂土	>80		<30
	重砂土	70~80		
	中砂土	60~70		
	轻砂土	50~60		
壤土	砂粉土	≥20	≥40	<30
	粉土	<20		
	砂壤	≥20	<40	
	壤土	<20		



续表

质地组	质地名称	颗粒组成/%		
		砂粒 (1~0.05mm)	粗粉粒 (0.05~0.01mm)	细黏粒 (<0.001mm)
黏土	轻黏土			30~35
	中黏土			35~40
	重黏土			40~60
	极重黏土			<60

(三) 不同质地土壤的生产特性

1. 砂质土

砂质土以砂土为代表,也包括缺少黏粒的其他轻质土壤(粗骨土、砂壤土),它们都有一个松散的土壤固相骨架,砂粒很多而黏粒很少,粒间孔隙大,降水和灌溉水容易渗入,内部排水快,但蓄水量少而蒸发失水强烈,水汽由大孔隙扩散至土表而丢失。砂质土的毛管较粗,毛管水上升高度小,若地下水位较低,则不能依靠地下水通过毛管上升作用回润表土,所以抗旱力弱。只有在河滩地上,地下水位接近土表,砂质土才不致受旱。因此,砂质土在利用管理上要注意选择种植耐旱作物和品种,保证水分供应,及时进行小定额灌溉,要防止漏水漏肥,采用土表覆盖以减少土壤水分蒸发。

砂质土的养分少,又因缺少黏粒和有机质而保肥性差,人畜粪尿和硫酸铵等速效性肥料易随雨水和灌溉水流失。砂质土要强调增施有机肥,适时追肥,并掌握勤浇薄施的原则。

砂质土含水少,热容量比黏质土小,白天接受太阳辐射增温快,夜间散热降温也快,因而昼夜温差大,对块茎、块根作物的生长有利。早春时砂质土的温度上升较快,称为热性土,在晚秋和冬季,一遇寒潮则砂质土的温度就迅速下降。

由于砂质土的通气性好,好气性微生物活动强烈,有机质分解迅速并释放出养分,使农作物早发,但因有机质累积难故其含量常较低。

砂质土耕作阻力小,耕后质量好,宜耕期长。适宜种植生长期短、耐瘠薄,要求土质疏松、排水良好的作物,如花生、薯类、豆类、芝麻、果树等。

这类土壤主要分布于我国西北部地区,如新疆、甘肃、宁夏、内蒙古、青海的山前平原及各地河流两岸、滨海平原一带。

2. 黏质土

黏质土包括黏土和黏壤土(重壤土)等质地黏重的土壤。此类土壤的细粒(尤其是黏粒)含量高而粗粒(砂粒、粗粉砂)含量极少,常呈紧实黏结的固相骨架。粒间孔隙数量比砂质土多但甚为狭小,有大量非活性孔(被束缚水占据的)阻止毛管水移动,雨水和灌溉水难以下渗而排水困难,易在犁底层或黏粒积聚层形成上层滞水,影响植物根系下伸。所以,采用深沟、密沟、高畦或通过深耕和开深线沟破坏紧实的心土层以及采用暗管和暗沟排水等,可以避免或减轻涝害。

黏质土含矿质养分(尤其是钾、钙等盐基离子)丰富,而且有机质含量较高。黏质土的孔隙小且往往为水占据,通气不畅,好气性微生物活动受到抑制,有机质分解缓慢,腐



殖质与黏粒结合紧密而难以分解，因而容易积累。所以，黏质土的保肥能力强，氮素等养分含量比砂质土中要大得多，但死水（植物不能利用的束缚水）容积和迟效性养分也多。

黏质土蓄水多，热容量大，昼夜温度变幅较小。在早春，水分饱和的黏质土（尤其是有机质含量高的黏质土）土温上升慢，农民称之为冷性土。但在受短期寒潮侵袭时，黏质土降温也较慢，作物受冻害较轻。

缺少有机质的黏土，其耕性特别差，干时硬结，湿时泥泞，对肥料的反应呆滞。黏质土的耕作阻力大，所以也称重土，它干后龟裂，易损伤植物根系。对于这类土壤，要增施有机肥，注意排水，选择在适宜含水量的条件下精耕细作，以改善其结构性和耕性。

黏质土种植作物往往“发老苗，不发小苗”，即出苗晚，长势差，缺苗断垄现象严重，而中后期易出现徒长、贪青晚熟现象。其适宜种植稻、麦、玉米、高粱等生长期长、需肥量大的作物。主要作物的适宜土壤质地范围见表 1-3。

表 1-3 主要作物的适宜土壤质地范围

作物种类	土壤质地	作物种类	土壤质地	作物种类	土壤质地
水稻	黏土、黏壤土	萝卜	砂壤土	柑橘	砂壤土、黏壤土
小麦	壤质黏土、壤土	莴苣	砂壤土—黏壤土	梨树	壤土、黏壤土
大麦	壤土、黏壤土	甘蓝	砂壤土—黏壤土	枇杷	黏壤土、黏土
粟	砂壤土	白菜	砂壤土、壤土	葡萄	砂壤土、
玉米	黏壤土	大豆	黏壤土	苹果	壤土、黏壤土
黄麻	砂壤土—黏壤土	豌豆、蚕豆	黏土、黏壤土	桃树	砂壤土、黏壤土
棉花	砂壤土、壤土	油菜	黏壤土	茶树	砾质黏壤土、壤土
烟草	砾质砂壤土	花生	砂壤土	桑树	壤土、黏壤土
甘薯、茄子	砂壤土、壤土	甘蔗	黏壤土、壤土		
马铃薯	砂壤土、壤土	西瓜	砂土、砂壤土		

3. 壤质土

这类土壤在北方又称为二合土，其砂黏比例一般为 6 : 4 左右，大小孔隙比例适中，故兼有砂质土和黏质土的优点，既通气透水，又保水保肥，耕性好，土壤的水、肥、气、热以及扎根条件协调，种植作物“既发小苗，又发老苗”，适合种植各种作物，是农业上较理想的土壤。

这类土壤主要分布于黄土高原、华北平原、松辽平原、长江中下游平原、珠江三角洲及河流两岸冲积平原上。

第二节 农田水分状况

一、农田水分存在的形式

农田水分存在三种基本形式，即地面水、土壤水和地下水，而土壤水是与作物生长关



系最密切的水分存在形式。

土壤水按其形态不同可分为固态水、气态水、液态水三种。固态水是土壤水冻结时形成的冰晶；气态水是存在于土壤孔隙中的水汽，有利于微生物的活动，故对植物根系有利，由于数量很少，故在计算时常略而不计。液态水是储存在土壤中的液态水分，是土壤水分存在的主要形态，对农业生产意义最大。在一定条件下，土壤水可由一种形态转化为另一种形态。液态水按其受力和运动特性可分为吸着水、毛管水、重力水三种类型。

（一）吸着水

吸着水包括吸湿水和膜状水。吸湿水是土壤孔隙中的水汽在土粒分子的吸引力作用下，被吸附于土粒表面的水分。它被紧束于土粒表面，不能呈液态流动，也不能被植物吸收利用，是土壤中的无效含水量。吸湿水达到最大时的土壤含水率称为吸湿系数。不同质地土壤的吸湿系数不同，吸湿系数一般为 0.034%~6.5%（以占干土质量的百分数计）。

当土壤含水率达到吸湿系数后，若再遇到土壤孔隙中的液态水，就会继续吸附并在吸湿水外围形成水膜，这层水称为膜状水。膜状水吸附于吸湿水外部，只能沿土粒表面进行速度极小的移动，只有少部分能被植物吸收利用。通常在膜状水没有完全被消耗之前，植物已呈凋萎状态。作物下部叶子开始萎蔫时的土壤含水率，称为初期凋萎系数，若补水充分，作物的叶子又会舒展开来。植物产生永久性凋萎时的土壤含水率，称为凋萎系数。凋萎系数不仅取决于土壤性质，而且与土壤溶液浓度、根毛细胞液的渗透压力、作物种类和生育期有关。凋萎系数难以实际测定，一般取吸湿系数的 1.5~2 倍作为凋萎系数的近似值。膜状水达到最大时的土壤含水率，称为土壤的最大分子持水率。它是土壤借分子吸附力所能保持的最大土壤含水率，它包括全部的吸湿水和膜状水，其值为吸湿系数的 2~4 倍。

（二）毛管水

土壤借毛管力作用而保持在土壤孔隙中的水称为毛管水，即在重力作用下不易排除的水分中超出吸着水的部分。毛管水能溶解养分和各种溶质，较易移动，是植物吸收利用的主要水源。依其补给条件的不同，可分为悬着毛管水和上升毛管水。

悬着毛管水是指不受地下水补给时，由于降雨或灌溉渗入土壤并在毛管力作用下保持在上部土层毛管孔隙中的水。悬着毛管水达到最大时的土壤含水率称为田间持水率，它代表在良好排水条件下，灌溉后土壤所能保持的最高含水率。田间持水率是有效水分的上限。生产实践中，常将灌水两天后土壤所能保持的含水率作为田间持水率。

上升毛管水是指地下水沿土壤毛细管上升的水分，毛管水上升的高度和速度与土壤的质地、结构和排列层次有关，上升毛管水的最大含量称为毛管持水量。土壤黏重，毛管水上升高，但速度慢；质地轻的土壤，毛管水上升低，但速度快。不同土壤的毛管水最大上升高度见表 1-4。

（三）重力水

当土壤水分超过田间持水率后，多余的水分将在重力作用下沿着非毛管孔隙向下层移动，这部分水分称为重力水。重力水在土壤中通过时能被植物吸收利用，只是不能为土壤



表 1-4 毛管水最大上升高度表

土壤种类	毛管水最大上升高度/m	土壤种类	毛管水最大上升高度/m
黏土	2~4	砂土	0.5~1
黏壤土	1.5~3	泥炭土	1.2~1.5
砂壤土	1~1.5	碱土或盐土	1.2

所保持。当土壤全部孔隙为水分所充满时土壤便处于水分饱和状态，这时土壤的含水率称为饱和含水率或全持水率。重力水渗到下层较干燥土壤时，一部分转化为其他形态的水（如毛管水），另一部分继续下渗，但水量逐渐减少，最后完全停止下渗。如果重力水下渗到地下水水面，就会转化为地下水并抬高地下水位。

二、土壤含水率的测定和表示方法

（一）土壤含水率的表示方法

土壤含水率常用的表示方法有以下几种。

（1）以土壤水分质量占干土质量的百分数表示。

$$\beta_{\text{重}} = \frac{G_{\text{水}}}{G_{\text{干土}}} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 $\beta_{\text{重}}$ ——土壤含水率（占干土重的百分数），%；

$G_{\text{水}}$ ——土壤中含有的水质量，为原湿土质量与烘干土质量的差，kg；

$G_{\text{干土}}$ ——烘干土质量，kg。

（2）以土壤水分体积占土壤体积的百分数表示。

$$\beta_{\text{体}} = \frac{V_{\text{水}}}{V_{\text{土}}} \times 100\% = \beta_{\text{重}} \frac{\rho_{\text{干土}}}{\rho_{\text{水}}} \quad (1-2)$$

式中 $\beta_{\text{体}}$ ——土壤含水率（占土壤体积的百分数），%；

$V_{\text{水}}$ ——土壤水分体积， m^3 ；

$V_{\text{土}}$ ——土壤体积， m^3 ；

$\rho_{\text{干土}}$ ——土壤干密度， kg/m^3 ；

$\rho_{\text{水}}$ ——水的密度， kg/m^3 。

这种表示方法便于根据土壤体积直接计算土壤中所含水分的体积，或根据预定的含水率指标直接计算出需要向土壤中灌溉的水量。由于土壤水分体积在田间难以测定，生产实践中常用含水率的重量百分数换算为体积百分数。

（3）以土壤水分体积占土壤孔隙体积的百分数表示。

$$\beta_{\text{孔}} = \frac{V_{\text{水}}}{V_{\text{孔}}} \times 100\% = \beta_{\text{重}} \frac{\rho_{\text{干土}}}{\rho_{\text{水}} n} \quad (1-3)$$

式中 $\beta_{\text{孔}}$ ——土壤含水率（占土壤孔隙体积的百分数），%；

$V_{\text{水}}$ ——土壤中水分体积， m^3 ；

$V_{\text{孔}}$ ——土壤中孔隙体积， m^3 ；



n ——土壤孔隙率（指一定体积的土壤中，孔隙的体积占整个土壤体积的百分数），%；

其余符号意义同前。

这种方法能清楚地表明土壤水分占据土壤孔隙的程度，便于直接了解土壤中水、气之间的关系。

(4) 以土壤实际含水率占田间持水率的百分数表示。这是以相对概念表示土壤含水率的方法，即

$$\beta_{\text{相对}} = \frac{\beta_{\text{实}}}{\beta_{\text{田}}} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 $\beta_{\text{相对}}$ 、 $\beta_{\text{实}}$ 、 $\beta_{\text{田}}$ ——土壤的相对含水率、实际含水率和田间持水率，均以百分数表示。

这种表示方法便于直接判断土壤水分状况是否适宜，以制定相应的灌溉排水措施。

(5) 以水层厚度表示。它是将某一土层所含的水量折算成水层厚度来表示土壤的含水率，以 mm 为单位。这种方法便于将土壤含水量与降雨量、灌水量和排水量进行比较。

(二) 土壤含水率的测定方法

土壤含水率（亦称含水量）是衡量土壤含水多少的数量指标。为了掌握土壤水分状况及其变化规律，用以指导农田灌溉和排水，经常需要测定土壤含水率。

测定土壤含水率的方法很多，如称重法（包括烘干法、酒精燃烧法、红外线法）、负压计法、时域反射仪（TDR）法、核物理法（ γ 射线法、中子散射法）等。下面介绍常用的几种方法。

1. 烘干法

将采集的土样称得湿重后，放在 105~110℃ 的烘箱中烘烤 8h，然后称重，水重与干土重的比值为土壤含水率。

烘干法是最基本的直接测定土壤含水率的方法，其缺点是土样受到破坏，且不能连续观测某处的土壤含水率。

2. 负压计法（又称“张力计法”）

土壤水分是靠土壤吸力（基质势）的作用而存在于土壤中的。在同一土壤内含水率越小，土壤吸力越大；含水率越大，土壤吸力越小。当含水率达到饱和时，土壤吸力等于零。负压计就是测量土壤吸力的仪器。只要事先按不同土壤建立率定的土壤吸力与土壤含水率的关系曲线，即土壤水分特征曲线（可通过同时测定负压计读数和用烘干法测定土壤含水率来建立），而后用负压计测得土壤吸力，再查已建立的土壤水分特征曲线即得土壤含水率。

负压计主要由多孔陶土头、连接管和负压表组成，如图 1-2 所示。陶土头是整个仪器的感应部件，它具

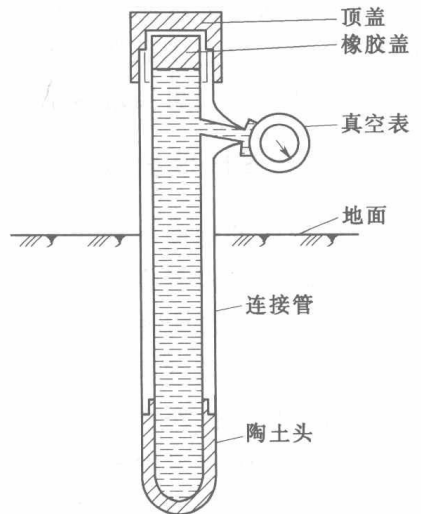


图 1-2 负压计



有许多均匀的细孔，能够透水。当陶土头内充水后，其孔隙全部饱和，与空气接触面上形成水膜。在一定的压力范围内，水膜不被击穿，使得空气不能进入陶土头内。

使用时，负压计内全部充水，并保证不留剩余空气，把负压计陶土头埋入土壤中需测定的位置上，并使土壤与陶土头表面充分接触。陶土头最初放入土壤时，负压计中的水处于标准大气压状态中，吸力等于零。而一般土壤吸力大于零，由于吸力不等，负压计中的水就从陶土头外壁渗透出来，直至吸力平衡。这时负压计中出现的负压值（即吸力值）便由真空表指示出来。当土壤水由降雨或灌溉得到补充时，其吸力急剧降低，负压计中的吸力因大于土壤吸力，从土壤中吸得水分，负压计上真空表的读数也随之降低。稳定后，真空表的指示值即为土壤吸力。

负压计结构简单，能定量连续观测土壤含水率，如果分层埋设，可以及时掌握土壤水分运动情况，也可在不同测点多处埋设，配合自动观测设备，同时测得多点的土壤含水率及其变化过程。

3. 时域反射仪法（也称 TDR 法）

时域反射仪法是根据探测器发出的电磁波在不同介电常数物质中的传输时间的不同，计算出被测物的含水率。从探测器发射出的电磁波沿同轴电缆一直传递到电极末端并反射回来，在电极（长度 L ）中往复的电磁波的传播速度（ v ）与电极周围介质的介电常数有关，从而可以获得介电常数与传播速度的关系，如当电磁波的频率在 $1\text{MHz}\sim 1\text{GHz}$ 时呈如下关系：

$$\xi = \left(\frac{c}{v}\right)^2 = \left(\frac{ct}{2L}\right)^2 \quad (1-5)$$

式中 ξ ——介电常数；

c ——光速， $3 \times 10^8 \text{m/s}$ ；

t ——电磁波的传输时间，s。

电磁波在各点的反射很明确，可以很准确地计测出 t ，从而用式（1-1）计算出 ξ 。运用 TDR 方法进行土壤含水率测定时，首先计测的是介电常数 ξ ，然后通过介电常数 ξ 与含水率 β 之间的标定曲线计算土壤含水率。TDR 法与其他的土壤水分计测方法相比，具有测定范围广泛、不破坏土壤结构、测定方法简单、对人体无伤害、能随时捕捉含水率随时间的迅速变化、可实现自动化观测等优点。

三、旱作地区的农田水分状况

旱作地区的地面水和地下水必须适时适量地转化成为作物根系吸水层（可供根系吸水的土层，略大于根系集中层）中的土壤水，才能被作物吸收利用。通常地面不允许积水，以免造成涝灾，危害作物。地下水位不允许上升至作物根系吸水层，以免造成渍害。因此，地下水位必须维持在根系吸水层以下一定深度处，此时地下水可通过毛细管作用上升至根系吸收层，供作物利用，如图 1-3 所示。

作物根系吸水层中的土壤水，以毛管水最容易被旱作物吸收，是对旱作物生长最有价值的水分形式。超过毛管最大含水率的重力水，在土壤中通过时虽然也能被植物吸收，但由于它在土壤中逗留的时间很短，利用率很低，一般下渗流失，不能为土壤所保存，因此

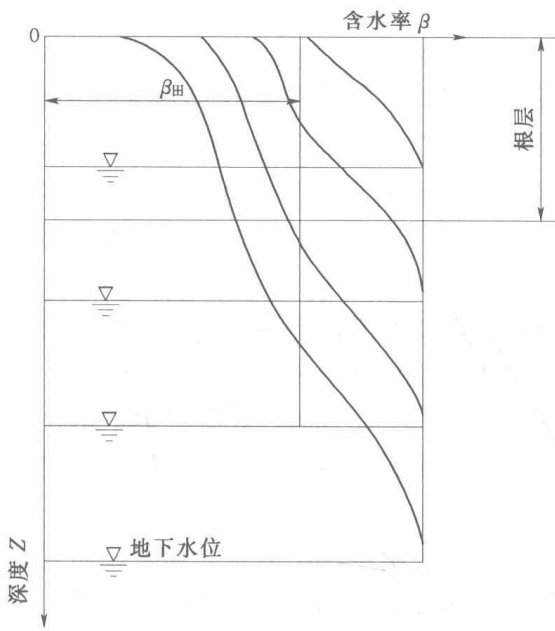


图 1-3 地下水位对作物根系吸水层内土壤含水率分布的影响示意图

为无效水。同时，如果重力水长期保存在土壤中也会影响到土壤的通气状况（通气不良），对旱作物生长不利。所以，旱作物根系吸水层中允许的平均最大含水率一般为根系吸水层中的田间持水率。

根系吸水层的土壤含水率过低，对作物生长将造成直接影响。当根系吸水层的土壤含水率下降至凋萎系数时，作物将发生永久性凋萎。所以，凋萎系数是旱作物根系吸水层中土壤含水率的下限值。

当植物根部从土壤中吸收的水分来不及补给叶面蒸腾时，便会使植物体的含水量不断减少，特别是叶片的含水量迅速降低。这种由于根系吸水不足以致破坏了植物体水分平衡和协调的现象，即谓之干旱。根据干旱产生的原因不同，将干旱分为大气干旱、土壤干旱和生理干旱三种。

大气干旱是由于大气的温度过高和相对湿度过低、阳光过强，或遇到干热风造成植物蒸腾耗水过大，使根系吸水速度不能满足蒸腾需要而引起的干旱。我国西北、华北均有大气干旱。大气干旱过久会造成植物生长停滞，甚至使作物因过热而死亡。

土壤干旱是土壤含水率过低，植物根系从土壤中所能吸取的水量很少，无法补偿叶面蒸腾的消耗而造成的。短期的土壤干旱会使产量显著降低，干旱时间过长将会造成植物的死亡，其危害性要比大气干旱更为严重。为了防止土壤干旱，最低的要求就是使土壤水的渗透压力不小于根毛细胞液的渗透压力，凋萎系数便是土壤含水率的临界值。

生理干旱是由于植株本身生理原因，不能吸收土壤水分，而造成的干旱。例如，在盐渍土地区或一次施用肥料过多，使土壤溶液浓度过大，渗透压力大于根细胞吸水力，致使根系吸收不到水分，造成作物的生理干旱。因此土壤根系吸水层的最低含水率，还必须能使土壤溶液浓度不超过作物在各个生育期所容许的最高值，以免发生凋萎。

综上所述，旱作物根系吸水层的允许平均最大含水率不应超过田间持水率，最小含水率不应小于凋萎系数。因此，对于旱作物来说，土壤水分的有效范围是从凋萎系数到田间持水率。不同土壤的田间持水率、凋萎系数、有效水量见表 1-5。

表 1-5 不同土壤的田间持水率、凋萎系数及有效水量（占干土重的百分数）

土壤质地	田间持水率/%	凋萎系数/%	有效水量/%
砂土	8~16	3~5	5~11
砂壤土、轻壤土	12~22	5~7	7~15
中壤土	20~28	8~9	12~19
重壤土	22~28	9~12	13~15
黏土	23~30	12~17	11~13



四、水稻地区的农田水分状况

由于水稻的栽培技术和灌溉方法与旱作物不同，因此农田水分存在的形式也不相同。我国水稻灌水技术传统上采用田间建立一定水层的淹灌方法，故田面经常（除烤田外）有水层存在，并不断地向根系吸水层中入渗，供给水稻根部以必要的水分。根据地下水埋藏深度、不透水层位置、地下水出流情况（有无排水沟、天然河道、人工河网）的不同，地面水、土壤水与地下水之间的关系也不同。

当地下水埋藏较浅、无出流条件时，由于地面水不断下渗，使原地下水位至地面间土层的土壤孔隙达到饱和，此时地下水便上升至地面并与地面水连成一体。

当地下水埋藏较深、出流条件较好时，地面水虽然仍不断入渗，并补给地下水，但地下水位常保持在地面以下一定的深度，此时地下水位至地面间土层的土壤孔隙不一定达到饱和。

水稻是喜水喜湿性作物，保持适宜的淹灌水层不仅能满足水稻的水分需要，而且能影响土壤的一系列理化过程，并能起到调节和改善湿、热及农田小气候等状况的作用。但长期的淹灌及过深的水层（不合理的灌溉或降雨过多造成的）对水稻生长也是不利的，会引起水稻减产，甚至死亡。因此，合理确定淹灌水层上下限具有重要的实际意义。适宜水层上下限通常与作物品种、生育阶段、自然环境等因素有关，应根据试验或实践经验来确定。

五、农田水分状况的调节措施

在天然条件下，农田水分状况和作物需水要求通常是不相适应的。农田水分过多或水分不足的现象会经常出现，必须采取措施加以调节，以便为作物生长发育创造良好的条件。

调节农田水分的措施主要是灌溉措施和排水措施。当农田水分不足或过少时，一般应采取灌溉措施来增加农田水分；当农田水分过多时，应采取排水措施来排除农田中多余的水分。不论采取何种措施，都应与农业技术措施相结合，如尽量利用田间工程进行蓄水或实行深翻改土、免耕、塑膜和秸秆覆盖等措施，减少棵间蒸发，增加土壤蓄水能力。无论水田或旱地，都应注意改进灌水技术和方法，以减少农田水分的蒸发损失和渗漏损失。

习 题

一、填空题

1. 土壤是指发育于地球陆地表面，能生长绿色植物的_____。
2. 土壤是由_____、_____、_____三相物质组成的疏松多孔体。
3. 一般将土壤质地分为_____、_____和_____三大组。
4. 当空气相对湿度接近饱和时，吸湿水达到最大，此时的土壤含水率称为_____。



5. 植物产生永久性凋萎时的土壤含水率称为_____。
6. 膜状水达到最大时的土壤含水率, 称为土壤的_____。
7. 毛管水依其补给条件的不同, 可分为_____和_____。
8. 土壤含水率以_____表示, 便于根据土壤体积直接计算土壤中所含水分的体积。
9. 由于根系吸水不足以致破坏了植物体水分平衡和协调的现象称为_____。

二、选择题

1. 土壤的物理状态是由 () 和生物组成的具有孔隙结构的介质。
A. 矿物质 B. 有机质 C. 水分 D. 空气 E. 菌类
2. 一般将土粒分为 () 四大基本粒级。
A. 石砾 B. 砂粒 C. 粉粒 D. 黏粒 E. 沙粒
3. 农田水分存在三种基本形式, 即 ()。
A. 地面水 B. 土壤水 C. 深层水 D. 地下水
4. 悬着毛管水达到最大时的土壤含水率称为 ()。
A. 吸湿系数 B. 凋萎系数 C. 最大分子持水率 D. 田间持水率
5. 测定土壤含水率的方法很多, 常用的有 () 等方法。
A. 烘干法 B. 负压计法 C. 时域反射仪法 D. 蒸馏法
6. 干旱分为 () 三种。
A. 表面干旱 B. 大气干旱 C. 土壤干旱 D. 生理干旱
7. 旱作物根系吸水层的允许平均最大含水率不应超过 ()。
A. 吸湿系数 B. 凋萎系数 C. 最大分子持水率 D. 田间持水率
8. 旱作物根系吸水层的允许平均最小含水率不应小于 ()。
A. 吸湿系数 B. 凋萎系数 C. 最大分子持水率 D. 田间持水率
9. 调节农田水分的措施主要是 ()。
A. 灌溉措施 B. 中耕措施 C. 排水措施 D. 节水措施

三、计算题

1. 已知某干土块质量 1.48kg, 现加入 0.21kg 的水, 土块的含水率是多少? 若其田间持水率为 25% (占干土质量的百分数), 试问还要再加入多少水才能使它达到田间持水率?
2. 设某土壤田间持水率为 28% (占干土质量的百分数), 干密度为 $1360\text{kg}/\text{m}^3$ 。当土壤含水率下降至 17% 时进行灌溉, 问每亩地灌水多少立方米, 才能使深为 0.6m 范围内的土壤含水率达到田间持水率?