

水利部农水司推荐

全国中等职业教育农业水利工程类精品教材

全国农村水利员培训新概念规划教材

农田水利学

楼 骏 主 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

责任编辑 李莉

E-mail:ll@waterpub.com.cn

全国中等职业教育农业水利工程类精品教材
全国农村水利员培训新概念规划教材

水利工程制图	泵站与小型水电站
水利工程测量	水利工程施工与管理
建筑材料	农田水利学
工程力学与建筑结构	水政水资源管理
土力学	水利工程管理
水力学	村镇供水
工程水文学	防汛与抗旱
水工建筑物	

ISBN 7-5084-3174-X



9 787508 431741 >

ISBN 7-5084-3174-X

定价：17.00 元

全国中等职业教育农业水利工程类精品教材
全国农村水利员培训新概念规划教材

农田水利学

楼 骏 主 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是结合中等职业学校特点和水利行业技术员培训要求编写的。其特点是针对性、实用性强,并能反映近年来农田水利专业的新技术、新成果。全书共五章,包括作物需水量与灌溉用水量、灌溉水源与取水枢纽、灌溉渠道系统、灌水技术及排水系统等。

本书既可作为中等职业学校农业水利技术专业和水利工程技术专业的通用教材、农村水利员岗位培训教材,也可供县、乡从事农田水利工作的技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

农田水利学 / 楼骏主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2005

全国中等职业教育农业水利工程类精品教材. 全国农村水利员培训新概念规划教材

ISBN 7-5084-3174-X

I. 农... II. 楼... III. 农田水利—专业学校—教材 IV. S27

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 093025 号

书 名	全国中等职业教育农业水利工程类精品教材 全国农村水利员培训新概念规划教材 农田水利学
作 者	楼骏 主编
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	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	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 7 印张 166 千字
版 次	2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月第 1 次印刷
印 数	0001—5000 册
定 价	17.00 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

本丛书编辑委员会

主 任：陈岳军

副主任：徐成章 蒋 屏 丁坚钢

主 编：丁坚钢

副主编：沈 燕 金连根

主 审：蒋 屏

副主审：陈永根 姜海军

委 员：（按姓氏笔画为序）

王经权 任立新 吕志刚 李继忠 刘建林

买买提江 杜平原 吴加宁 陈良堤 余培养

张水根 董 浩

序

我国历来十分重视水利工作，把治水看作治国安邦的基本方略。当前正处于社会体制转型和经济快速发展的新时期，治水思路由工程水利向资源水利、传统水利向现代水利和可持续发展水利转变。水利事业的发展需要一大批具备岗位技能、独当一面的基础人才。广大基层水利技术员，长年累月战斗在水利建设的第一线，是各级水利部门和地方政府的得力助手。他们担负着乡镇区域（流域）内水利工程建设管理、防汛抗旱抢险、水政执法、水资源配置、农田水利实用技术推广等任务，为推动整个水利建设、管理和改革，加快农业农村现代化建设执着奉献。

进一步提高农村防洪排涝能力，保障农村饮水安全、粮食生产安全和农村生态安全，推进水资源的高效利用，促进农业增效、农民增收、农村发展和全面实现小康社会，是新时期赋予农村水利的主要任务。为此，加强以基层水利员为重点的水利行业基础人才专业培训，进一步提高他们的业务素质和专业技能，更好地肩负起历史重任，是新形势下水利职业教育的一项重要工作。

教材建设是职业教育的基础。针对基层农村水利技术人员培训及水利中等职业教育的教材建设相对滞后的现状，浙江省率先组织编写了全国农村水利员培训新概念规划教材，即全国中等职业教育农业水利工程类精品教材。该套教材由15分册组成，各分册在内容的组织和编排上体现了适用基层水利人员中职教育及水利行业职工培训的特点，把握了以应用为目的，以能用、够用为度的原则，并注重介绍和引入目前的新技术、新工艺、新标准和新规范。该套教材有较好的实用性、针对性、适用性，具有一定的创新特点，既可作为基层农村水利技术人员的岗位培训教材、中等职业学校水利工程技术专业通用教材，也可供广大水利技术人员参考阅读。

该套教材的出版，是对水利行业职业教育、教材建设的一次有益探讨，相信它会给新时期农村水利职业技能应用型人才培养和中等职业教育带来帮助。

水利部农村水利司司长



2005年8月

前 言

全国农村水利员培训新概念规划教材,即全国中等职业教育农业水利工程类精品教材是根据水利部对全国农村水利技术人员的培训要求和全国农业水利工程类专业中职教学特点,总结多年教学和行业培训的经验,吸取同类教材的优点,以适应 21 世纪将水利行业的职工技术培训与中职教育融为一体的教育改革新思维编写而成。本套教材针对中职教育、水利行业职工培训和专业人员自学的特点,在内容的选择和编排上进行了认真探索和尝试性改革。编写过程本着“淡化设计,充实图例,突出概念,反映最新”的原则,追求“实用性、针对性、通用性”。本套教材尽量采用最新的行业技术、规范和标准,力求通俗易懂、简单实用,使读者学为所用,学以致用。

本套教材首批推出 15 分册,本书为《农田水利学》。该书根据当前水利行业技术员的培训要求及目标,以及教育部 2001 年制定的中等职业学校《农业水利技术专业教学指导方案》的教学要求编写而成,同时充分考虑了农村水利技术工作的实际需求,具有较强的针对性和实用性,并尽可能地反映近年来我国农田水利科学技术方面的新经验、新成果。

本书作为农业水利工程专业的一门专业课,主要介绍农田灌溉和排水的基本理论、基本技术及工种规划设计的基本方法。全书除绪论外共分五章,其中第一章至第四章为灌溉部分,第五章为排水部分。

本书由楼骏主编,并编写绪论和第一章、第三章第一、四、五节和第四章;杨玉泉编写第三章第二、三节和第五章;曹欣荣编写第二章,本书由陈晓东审稿。

本套教材在编写过程中,得到了水利部农水司、浙江省水利厅有关处室、浙江水利水电高等专科学校、贵州省水利水电学校、吉林省水利水电学校、云南省水利水电学校、新疆水利水电学校、河南省郑州水利学校等单位的领导和同志们的指导和帮助,在此表示深深的谢意。同时,得到了相关教材、专著的专家们的帮助与指教。对所有参考文献的作者(包括因时间及其他原因联系不上的作者),表示衷心的感谢,并欢迎联系和交流。

由于编写时间仓促,编者水平有限,本套教材在内容选择、文字表述、图文体例等各方面可能存在疏漏。热忱欢迎读者批评指正。

编者

2005 年 8 月

【 目 录 】

序

前言

绪论	1
第一节 我国农田水利事业的发展与展望	1
第二节 农田水利学的研究对象和基本内容	2
第一章 作物需水量和灌溉用水量	4
第一节 农田水分状况	4
第二节 作物需水量	10
第三节 作物灌溉制度	12
第四节 灌溉用水量	21
第二章 灌溉水源与取水枢纽	25
第一节 灌溉水源	25
第二节 灌溉取水方式	27
第三节 灌溉设计标准和设计年的选择	30
第四节 引水灌溉工程的水利计算	33
第三章 灌溉渠道系统	38
第一节 灌溉渠系规划	38
第二节 渠系建筑物布置	41
第三节 田间工程规划	45
第四节 灌溉渠道设计	51
第五节 灌溉渠道防渗	65
第四章 灌水技术	68
第一节 概述	68
第二节 地面灌溉	69
第三节 节水灌溉	71
第五章 排水系统	84
第一节 排水系统规划	84
第二节 田间排水系统	89
第三节 排水沟道系统	93
第四节 排水容泄区	101
参考文献	103



绪 论

第一节 我国农田水利事业的发展与展望

我国是一个农业大国，又是一个水旱灾害频繁的国家。由于我国地处欧亚大陆东侧，受海洋季风气候的影响强烈，雨量比较丰沛，但由于降水时空分布的不均衡，自古以来洪涝干旱就成为阻碍我国农业发展的主要灾害。因此，积极发展农田水利事业是关系着国计民生的一件大事。

一、我国农田水利事业的发展

我国农田水利事业的兴衰与农业生产的发展有着极其密切的关系。早在夏商时期就有在井田中布置沟渠，进行灌溉排水的设施，西周时在关中地区已经有较多的小型灌溉渠道。春秋战国时期由奴隶社会进入封建社会，生产力得到很大提高，农田水利事业也相应有了较大发展，著名的引漳十二渠、芍陂、都江堰等大型灌溉工程都是在这个时期兴建的。随后，在秦汉、唐宋、明清国力强盛，经济繁荣时期，农田水利事业又经历了三次较大的发展。到1949年全国灌溉面积达到1600万 hm^2 ，约占当时耕地面积的16%，提水工具主要是用于浅井汲水的人畜力水车和用于水稻田车水的龙骨水车。当时全国机械排灌动力约7.1万 kW ，排灌面积20多万 hm^2 ，大部分集中在江苏太湖及里下河地区。

新中国成立以来，经过半个多世纪大规模的农田水利基本建设，灌溉与排水工程的数量、效益面积和抗御水旱灾害的能力都有了很大提高。截至2000年，灌溉面积达到5500多万 hm^2 ，与20世纪50年代初期比较，增长2倍多；机电排灌泵站50.6万处，装机容量动力设备达到4157万 kW ；发展机电井398万眼，装机容量3590万 kW ，井灌面积达到1506万 hm^2 ；全国85%的易涝耕地、76%的盐碱地和60%左右的低产田都得到不同程度的治理；林果灌溉、牧区水利也有长足发展。20世纪90年代后期，随着国民经济的发展，需水量的增加，供需水矛盾日趋紧张，国家大力提倡节水灌溉，投入巨资，进行灌区技术改造，提高管理水平，采用了许多适合各地实际情况的灌溉与排水技术，并积累了许多经验。在地面灌水方面，在进行土地平整、采用小畦和深沟细流灌溉的同时，还发展了喷灌和滴灌等新技术；在水稻灌溉方面，改变了传统的淹灌方式，推广了浅水、湿润、晒田相结合的灌水方法；同时还对许多渠道进行了衬砌，提高了灌溉水的利用率；还发展了井渠相结合灌溉系统，使地面水和地下水得到了联合运用；在南方丘陵区发展了“长藤结瓜”式灌溉系统。此外，在管道灌溉排水、盐碱地改良和泵站改造等方面，也取得了一定的成果。到2000年底全国节水灌溉面积达到1600多万 hm^2 ，约占全部灌溉面积的30%。农田水利事业的发展，为农业生产提供了稳固的物质基础。与1949年相比，虽然全国人口增加了1.26倍，耕地面积还有所减少，但粮食总产却由1.1亿 t 增长到5亿 t 以上，人均粮食由200多 kg 增加到400多 kg 。棉花、油料、果品、蔬菜等不仅产量成几倍到几十



倍的增长,且品质也有了很大提高。这对保证社会需求,支持经济建设起到了重要作用。

二、我国农田水利事业面临的问题

我国的农田水利事业虽然取得了空前的发展,但也还面临着诸多的问题,其中主要有以下几个方面:

(1) 农业水资源短缺,开源节流已成为突出问题。因此,使用多种水源,进行水资源的优化配置,尽可能重复利用水资源,研究节水型灌溉技术,衬砌渠道以减少渠道渗漏等措施,已受到普遍重视。

(2) 保持现有耕地的高效利用,并积极开发和利用低产土地。这就需要有效地防治土地盐碱化,改造低产土地。为此,需要在这种土地上修建排水工程,排除地面多余水量,控制地下水位。

(3) 在灌溉排水工作中采用先进技术,如计算机技术、自动控制技术和系统工程方法等,以提高管理水平,增大工程效益。

(4) 灌区的续建配套与节水改造、更新提水设备、改革水费制度、促进农业结构调整、提高经济效益和开展水利多种经营等问题。

三、我国农田水利事业的展望

随着近年来我国人口的增长、经济的发展以及对水资源的不合理开发利用,再加上工程的老化失修和管理粗放,水资源的供需矛盾日益尖锐,水污染在不断加剧,到20世纪末全国还有近2/3的农田尚未得到灌溉保证,水旱灾害仍然严重威胁着农业生产,从整体上看我国农业还没有完全摆脱“靠天吃饭”的局面。因此,我国农田水利事业任重而道远,需要长期艰苦的努力才能适应农村形势的变化和农业可持续发展的需求。

当前我国农村和农村水利呈现出以下四个方面的特点:①农产品从长期短缺转为供需基本平衡;②水资源的短缺和水污染问题日益严重;③社会主义市场经济体制逐步确立;④日益增强的物质基础和科学技术能力,使实施水利现代化成为可能。所有这些变化,为中国农村水利的发展提出了许多新课题和新任务。

因此,今后我国农村水利工作的方向是:继续坚持不懈地搞好农田水利基本建设,提高防御水旱灾害的能力,更好地为农民生活、农业生产和农村经济发展服务;要大力提高水的利用率和经济效益,加快水利现代化的步伐,以水利的现代化推进农业的现代化;要加快水资源的科学利用和合理调配,不断开拓农村水利工作的领域,做到山、水、田、林、路统一规划,旱、涝、风、沙、碱综合治理,地表水、地下水、土壤水,主水、客水合理调配。在工作中还应该特别注重生态环境的保护,重点抓好节水灌溉和水土整治工作,不仅使农田水利成为促进农业可持续发展的保证条件,同时也成为维护生态环境不断改善的重要环节。

第二节 农田水利学的研究对象和基本内容

农田水利学是一门研究农田水分状况和地区水情变化规律及其调节措施,消除水旱灾害和充分利用水资源,并为创造良好的农业生态环境和发展农业生产而服务的科学。其基本任务是通过兴建和运用各种水利工程设施(如坝、闸、泵站、渠道、渠系建筑物、水井



和灌水机具等), 调节、改善农田水分状况和地区水利条件, 促进其生态环境的良性循环, 有利于农作物的生长和发育。

一、调节农田水分状况

农田水分状况一般是指农田中的土壤水、地面水和地下水的状况及与其相关的养分、通气和热量状况。农田水分不足或过多, 都会影响作物的正常生长和产量。调节农田水分状况的目的就是要为农作物的生长与增产创造适宜的水环境, 并向农作物补充所需水分和排除多余水量, 采取的主要水利工程技术措施有以下两点。

(1) 灌溉措施。根据作物的需要, 通过灌溉系统有计划地将水量输送和分配到田间, 以补充农田水分的不足。

(2) 排水措施。通过修建排水系统将农田内多余的水分排除, 使农田处于适宜的水分状况。

二、改善和调节地区水情

地区水情是指地区水资源的数量、分布情况及其动态, 它决定着该地区的水旱灾害情况、农田水分状况、灌排措施的方向和规模、灌溉水源和排水容泄区的状况等。天然条件下的地区水情往往不能满足农业生产发展的需要, 天然来水和作物需水在时间和空间上常常不相协调, 经常发生时旱时涝或旱涝交替的现象, 严重地影响着农业生产的发展。因此, 发展农田水利, 必须先根据水土资源条件, 通过各种工程措施, 改善地区水情, 调节水量盈亏, 使供需水量在时间和空间上达到相对平衡, 为农业的稳定发展创造有利条件。改善和调节地区水情的措施一般有以下几点。

(1) 蓄水保水措施。通过修建水库、塘堰等蓄水工程和利用原有的湖泊、洼地、河网及排水沟道, 增设一些挡水、提水、引水工程, 以及大面积的水土保持和田间蓄水措施, 拦蓄当地径流和河流来水, 调节水量在时间上和空间上的分布情况。通过蓄水保水措施可以防止水土流失, 减少洪涝灾害, 避免或延缓暴雨径流向低地汇集, 增加河流枯水期水量及干旱年份地区水量的储备。

(2) 引水调水措施。通过修建引水河渠, 使地区之间或流域之间的水量互相调剂, 从而改变水量在地区间的分布状况, 水资源缺乏地区可从水资源丰富地区引取水量。我国已建成的引滦入津、引黄济青和正在建设中的南水北调工程, 都属于这一类型。在汛期, 当某地区水量过多时, 还可以通过排水河渠将多余的水量调配至其他缺水地区, 或输送至蓄水设施存蓄。



第一章 作物需水量和灌溉用水量

第一节 农田水分状况

农田水分状况是指农田地面水、土壤水和地下水的数量、分布、形态及其在时间上的变化。一切农田水利措施,归根结底都是为了调节和控制农田水分状况,改善土壤的气、热、养分状况和农田小气候,以达到促进农业增产的目的。因此,研究农田水分状况对于农田水利规划、设计及管理工

一、农田水分存在的形式

农田中的水分有三种基本存在形式:地面水、土壤水和地下水。其中土壤水是与作物生长发育关系最为密切的水分存在形式,对作物的产量起着决定作用。研究土壤水的变化规律,对除涝防渍、治理盐碱地和改善生态环境都有一定的作用。

土壤水主要来源于大气降水和灌溉,另外大气中的水汽经凝结以及地下水借毛管力上升,也可成为土壤水。

土壤水有固、液、气三种形态。固态水只有在寒冷季节的冻结土壤中出现;液态水是土壤水的主要形态;气态水则以水汽形式存在于未被水分占据的土壤孔隙中,数量很少,而且在土壤中的存留时间较短,并不断向大气中散发。

水进入土壤后,主要受到土粒表面的分子引力、土壤孔隙间的毛管力和重力的作用,根据这些力的作用,土壤水可分为三种类型。

1. 吸着水

吸着水受土粒分子吸引力的作用而被吸附于土粒表面的水分。它与土粒的总表面积、有机质及无机胶体组成的含量、土壤及空气湿度的大小有关。吸着水有吸湿水和薄膜水两种形式。

吸湿水被紧束于土粒表面,这种吸附力很强,可达几百千帕到几百兆帕,使水分牢牢地吸附在土粒表面,接近于固态水的性质,其密度可达 $1.4\sim 1.7\text{g/cm}^3$,冰点达 -78°C ,不能呈液态流动。吸湿水的导电性极弱甚至不导电,对溶质没有溶解能力。由于吸湿水受到土粒的吸附力远大于作物根系对水的吸力,所以吸湿水也不能被植物利用。

土壤中吸湿水的含量主要取决于单位质量土壤的表面积、胶粒及可溶性物质的数量。土壤颗粒愈细,胶粒愈分散,吸附力愈大,吸湿水愈多;反之,颗粒愈粗,吸湿水较少。吸湿水的数量还与空气的相对湿度有关,空气的相对湿度愈大,吸湿水愈多;当空气湿度达到饱和($99\%\sim 100\%$)时,吸湿水的含量达到最大值,此时的土壤含水量称为吸湿系数,又称最大吸湿量。

薄膜水又称膜状水,当土壤水分达最大吸湿量时,土粒的分子引力已不能再从空气中吸附水分子,但在土粒表面仍有剩余的分子引力,此时如果土壤与孔隙中的液态水接触,分子引力



就会继续把液态水吸附到土粒的周围,增加土粒周围的水膜厚度,并在吸湿水外层形成水膜,这层水就叫薄膜水。薄膜水所受的引力较吸湿水为小,约为 $0.6 \sim 3\text{MPa}$,排列比较紧密,密度大于 1g/cm^3 ,冰点在 -5°C 左右,具有较高的黏滞性,无溶解性,能以缓慢的速度成液态运移,一般小于 $0.2 \sim 0.4\text{mm/h}$,只有与根毛接触时才有少部分能被作物吸收利用。随着薄膜水厚度的加大,所受的引力减弱,以致逐步过渡到自由的液态水。当薄膜水厚度达到最大值时的土壤含水量称为土壤的最大分子持水量,一般约为吸湿系数的 $2 \sim 4$ 倍。

2. 毛管水

在土壤中借毛管力作用而保持在土壤孔隙中的水叫做毛管水。毛管力的大小与土壤孔隙直径成反比。当土壤孔隙直径大于 8mm 时,毛管作用不明显;土壤孔隙直径为 $8 \sim 0.1\text{mm}$ 时,毛管作用逐渐明显;土壤孔隙直径为 $0.03 \sim 0.0006\text{mm}$ 时,毛管作用最明显。

毛管水依据其补给来源又可分为悬着毛管水和上升毛管水两种。

在地下水埋深较深时,地下水不能经由毛管孔隙向作物根系分布层补给水分的条件下,由于降雨、融雪或灌溉而渗入土中并在毛管力作用下保持在上层毛管孔隙中的水称为悬着毛管水。悬着毛管水与地下水一般没有毛管上的联系,既不受地下水位的影响,也不与地下水连通,而且与下部的土层有着明显的界限。

上升毛管水是指土壤下层的地下水在毛管力的作用下,沿着土壤毛管孔隙上升而保存在毛管孔隙中的水。毛管水的上升高度和速度与土壤质地和结构有关。土壤质地愈细,孔隙直径愈小,毛管水上升就愈高,但上升速度缓慢,这是因为颗粒细的土壤,内部的土粒表面积大,水分上升时受到的阻力也大;反之,土壤质地愈粗,上升高度愈低,但上升速度愈快。在毛管水上升高度范围内,各处含水量并不相同,离地下水面愈近处,毛管水越多,土壤含水量愈大;离地下水面愈远处,毛管水愈少,土壤含水量愈小。各种土壤的最大毛管水上升高度大致范围见表 1-1。

由于毛管水被土粒吸持的力较小,约为 $0.01 \sim 0.625\text{MPa}$,所以它可以在毛管力的作用下从毛管力小的地方向毛管力大的地方移动,即从水分多的地方向水分少的地方移动。毛管水能溶解矿物质养料,养料随着水分的移动而输送到作物的各个部分,所以毛管水是能被作物吸收利用的最主要的土壤水分。

表 1-1 最大毛管水上升高度

土壤种类	最大毛管水上升高度 (cm)	土壤种类	最大毛管水上升高度 (cm)
黏土	200~400	砂土	50~100
黏壤土	150~300	泥灰土	120~150
砂壤土	100~150	碱土或盐土	120

3. 重力水

当土壤水的含量超过土粒的分子引力和毛管力的作用范围时,就不能被土壤所保持,而在重力作用下,垂直向下运移,这部分水称为重力水。降雨或灌溉后,重力水向下渗透,到达地下水面,补给地下水,使地下水水位抬高。重力水虽然能被作物吸收,但由于它在根系分布层中停留的时间很短,可被作物利用的数量是很少的。

二、土壤水分常数与有效土壤水

(一) 土壤含水量

土壤含水量是指土壤中所含水分数量占干土总量的百分数,又称土壤含水率。土壤含水量可用以表示土壤湿度,是衡量土壤含水多少的重要物理指标。



土壤含水量的测定方法很多,大致可以归为两大类:一类是直接测定,用称重法直接称出原土样重量和经过干燥处理后的土重,从而确定土壤中水分的含量;另一类是间接测定,如电阻法、热传导法、中子散射法、 γ 射线法等。

土壤含水量的表示方法也有许多种,常用的主要有两种:一种是以重量百分数表示,即以土壤水分重量与干土重量的比值用百分数表示;另一种是以体积百分数表示,即以土壤水分体积占土样总体积的百分数表示。

(二) 土壤水分常数

在不同水分形态下的土壤特征含水量称为土壤水分常数。包括吸湿系数、凋萎系数、最大分子持水量、田间持水量、毛管持水量和饱和含水量等。

1. 凋萎系数

在土壤水分由多变少的过程中,作物吸水不足以补偿蒸腾消耗,叶片开始出现萎蔫现象。开始时是中午呈现凋萎,而到下午或日落后逐渐恢复原状,此时凋萎称临时凋萎。土壤水分继续衰减,致使凋萎现象到次日日出前也不能恢复,甚至降雨或灌溉也不能使作物恢复原状,此时的凋萎称为永久凋萎。作物由于吸水不足开始发生永久凋萎时的土壤含水量,叫凋萎系数,一般以占干土重的百分数表示。凋萎系数可作为有效土壤水分的下限值,其大小约为吸湿系数的1.5~2.0倍。凋萎系数的大小,除与作物的耐旱能力有关外,主要决定于土壤质地和胶黏类型。

2. 田间持水量

田间持水量是指在灌溉或降雨的条件下,田间土层中全部孔隙中充满水,经过一定时间排水后,所能持留的水量,此时也是悬着毛管水达到最大量时的土壤含水量,田间持水量常以一定土层内的平均土壤含水量来表示。田间持水量可作为有效土壤水的上限,土壤内超过田间持水量的土壤水会较快地渗入深层,难以被作物吸收利用,而剩余的土壤水则能较长时间地持留在土层内。因此,为避免水分流失,常常用田间持水量作为控制田间灌水的允许最大土壤含水量。田间持水量的大小主要决定于土壤质地、有机质含量、土壤剖面结构及地下水埋深等,应根据当地实测资料加以确定。

3. 毛管持水量

毛管持水量是指土壤中上升毛管水达到最大量时的土壤含水量。毛管持水量的大小主要取决于土壤质地、土壤剖面结构以及距地下水面的距离,其大小一般在田间持水量与饱和含水量之间变动。

4. 饱和含水量

饱和含水量是指当土壤中全部孔隙充满水时的土壤含水量,又称全持水量。饱和含水量是土壤能达到的最大含水量。

(三) 有效土壤水

有效土壤水是指土壤中能被作物吸收利用的水分。通常以旱地土壤的田间持水量至凋萎系数之间的土壤含水量作为最大有效土壤水,即最大有效土壤水等于田间持水量减去凋萎系数。有效土壤水量可以用占干土重的百分数表示,也可用容积百分率来表示。

三、旱作区的农田水分状况

旱作区的水分并不是全部都能被作物直接利用的。比如地面水和地下水就必须适时适



量地转化成作物根系活动层中的土壤水，才能被作物吸收利用。一般情况下，地面不允许积水，地下水不允许上升到根系层以内，以免造成淹涝或渍害。因此，地面积水必须及时排除，地下水只允许由毛管作用上升到根系活动层以供作物利用，所以地下水就必须控制在根系活动层以下一定距离处。在不同条件下，地面水和地下水补给土壤水的过程是不同的，现简介如下。

当地下水位距地面较深和土壤上层干燥时，在降雨或灌水后，地面水向土层逐渐入渗，土壤水分的动态变化大致可用图 1-1 示意。图中曲线 0 是初始土壤含水量分布；当降雨开始时，水自地面进入表层土壤，使其接近饱和，但其下层土壤含水量仍未增加，此时含水量的分布如曲线 1 所示；降雨停止时土壤含水量分布如图 1-1 中曲线 2 所示；降雨或灌溉停止后，超过土层田间持水量的多余水量，则将在重力及毛管力的作用下，逐渐向下移动，经过一定时期后，各层土壤含水量分布的变化情况如曲线 3 所示；再过一定时期，在土层中水分向下移动趋于缓慢，此时水分分布情况如曲线 4 所示；上部各土层中的含水量均接近于田间持水量，在土壤水分重新分布的过程中，由于植物根系吸水和土壤蒸发，表层土壤水分逐渐减少，其变化情况如曲线 5 及曲线 6 所示。

当地下水位埋深较小，作物根系活动层上面受地面水补给而下面又受上升毛管水的影响时，土层中含水量的分布和随时间的变化情况如图 1-2 所示。从图 1-2 (a) 中可以看出，当有地面水补给土壤时，首先在土壤上层出现悬着毛管水，如曲线 1、2、3 所示。地

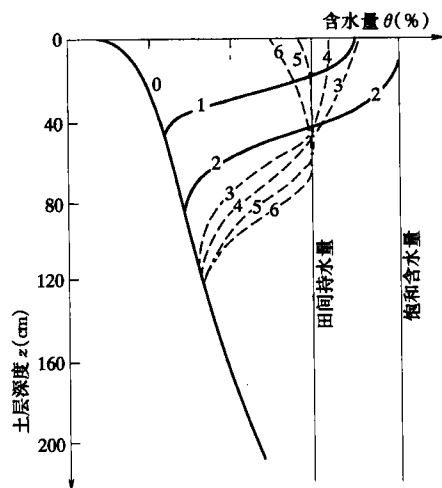


图 1-1 降雨（或灌水）后不同深度土层的湿润过程示意图

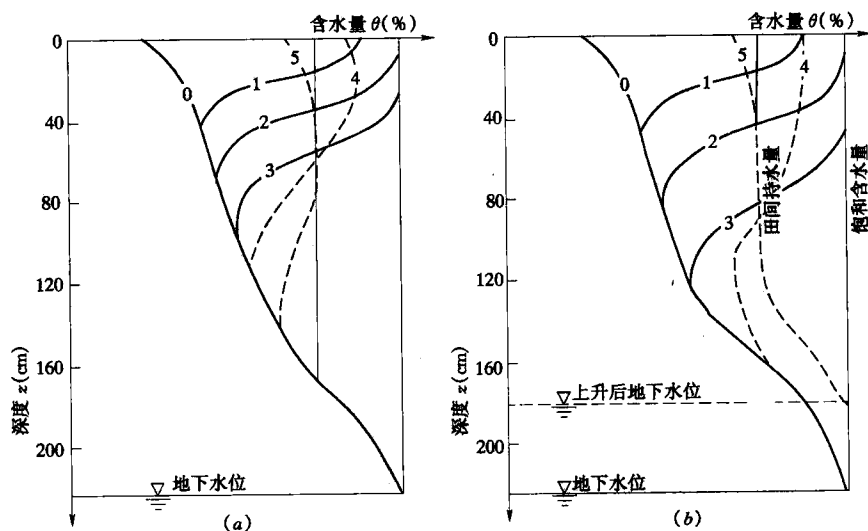


图 1-2 降雨（或灌水）后土壤含水量随时间变化示意图（地下水位埋深较小时）
(a) 地下水位上升以前；(b) 地下水位上升以后

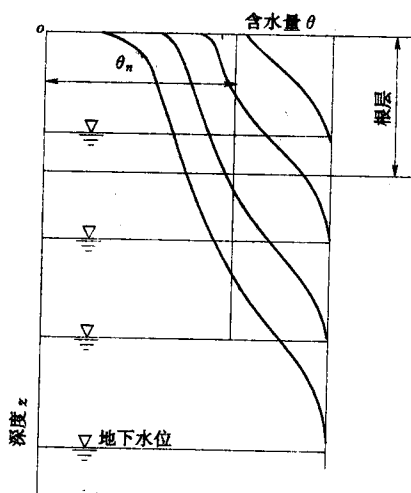


图 1-3 地下水位对作物根系活动层内土壤含水量分布的影响示意图

面水补给量愈大，则入渗的水量所达到的深度愈大，直至与地下水面以上的上升毛管水衔接，如曲线 4 所示。当地面水补给土壤的数量超过了原地下水位以上土层的田间持水能力时，将造成地下水位的上升，如图 1-2 (b) 所示。在上升毛管水能够进入作物根系活动层的情况下，地下水位的高低便直接影响着根系活动层中的含水量，如图 1-3 所示。在地表积水较久时，入渗的水量能使地下水位升高到地表与地面水相连接。

作物根系活动层中的土壤水，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。超过毛管水最大含水量的重力水，一般都下渗流失，不能为土壤所保存，因此，很少能被旱作物利用。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，

旱作物根系活动层中允许的平均最大含水量一般不超过根系活动层中的田间持水量。

当植物根部从土壤中吸收的水分来不及补给叶面蒸发时，便会使植物体的含水量不断减小，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。由于产生干旱的原因不同，可分大气干旱和土壤干旱两种情况。当农田水分尚不妨碍植物根系的吸收，但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时，都会使根系吸水速度不能满足蒸发需要，这种情况谓之大气干旱。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。若土壤含水量过低，植物根系从土壤中所能吸取的水量很少，无法补偿叶面蒸发的消耗，则形成所谓土壤干旱的情况。短期的土壤干旱，会使产量显著降低。干旱时间过长，即会造成植物的死亡，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，凋萎系数便是这样的土壤含水量临界值。

土壤含水量减小，使土壤溶液浓度增大，从而引起土壤溶液渗透压力增加，因此，土壤根系活动层的最低含水量，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。这对盐渍土地区来说，更为重要。土壤水允许的含盐溶液浓度的最高值视盐类及作物的种类而定。按此条件，根系活动层内土壤含水量应不小于

$$\theta_{\min} = 100 \frac{S}{C} \% \quad (1-1)$$

式中 $\theta_{\min}$ ——按盐类溶液浓度要求所规定的最小含水量；

S ——根系活动层中易溶于水的盐类数量；

C ——允许的盐类溶液浓度。

养分浓度过高也会影响到根系对土壤水分的吸收，甚至发生枯死现象，因此在确定最小含水量时还需考虑养分浓度的最大限度。



根据以上所述,旱作物田间(根系活动层)允许平均最大含水量不应超过田间持水量,最小含水量不应小于凋萎系数。同时为了保证旱作物丰产所必须的田间适宜含水量范围,还应在研究水分状况与其他生活要素之间的最适关系的基础上,总结实践经验,并与先进的农业增产措施相结合来加以确定。

四、水稻区的农田水分状况

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。我国水稻灌水技术还是采用传统的淹灌方法,故田面(除烤田外)经常有水层存在,并不断地向根系活动层中入渗,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。

当地下水位埋藏较浅,又无出流条件时,由于地面水不断下渗,使原地下水位至地面间土层的土壤空隙达到饱和,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,但地下水依常保持在地面下一定的深度。此时地下水位至地面间土层的土壤空隙不一定达到饱和。

水稻是喜水喜湿性作物,保持适宜的淹灌水层能对稻作水分及养分的供应提供良好的条件;同时,还能调节和改善其他如湿、热及气候等状况。但由于不合理的灌溉或降雨过多造成的过深水层对水稻生长也是不利的,特别是长期的深水淹浸,更会引起水稻减产,甚至死亡。因此,淹灌水层上下限的确定,具有重要的实际意义。通常与作物品种发育阶段、自然环境及人为条件有关,应根据实践经验来确定。

五、农田水分状况的调节措施

作物生长发育要求有适宜的农田水分状况,而天然条件下的农田水分状况往往不能满足作物生长的需要,农田水分过多或过少的现象经常出现,这就需要采取工程措施调节农田水分状况,以便为作物的生长发育创造良好条件。

农田水分过多的主要原因有降水量过大、灌水量过多、洪水泛滥、湖泊漫溢、海潮侵袭、地下水位过高、地势低洼、径流汇集、出流不畅等。因河湖泛滥而形成的灾害称为洪灾;由于降雨过多又不能及时排除,使旱田地面积水或稻田淹水过深,造成农业歉收的灾害,叫做涝灾;因降雨或灌水过多,或因地下水位过高,使土壤长期过湿,危害作物生长,叫做渍灾。这三种灾害有时单独发生,有时同时出现。例如,江浙平原地区,春季多雨,土质黏重,地下水位较高,渍害经常发生;黄淮海平原地区,降雨集中,且多暴雨,上游山区洪水直泄平原,加之地势平缓,排水条件较差,三种灾害经常并存。排水是解决农田水分过多的主要水利措施。

降雨量少、地面径流量大、土壤入渗水量少和持水能力差是农田水分不足的主要原因。因农田水分不足而造成的灾害称为旱灾。灌溉是解决农田水分不足的主要水利措施。

调节农田水分状况,除上述水利措施外,还必须与平整土地、深翻改土、植树造林、种植牧草,增施有机肥料和种植抗旱耐涝作物品种等农林牧技术措施相结合,以便取得最好的调节效果。