

中等专业学校教材

农田灌溉与排水

安徽水利水电职业技术学院

李宗尧

主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

中等专业学校教材

农田灌溉与排水

安徽水利水电职业技术学院 李宗尧 主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书为中等职业学校农业水利技术专业和水利工程专业通用教材,也可供县、乡从事农田水利工作的技术人员参考。

全书共十章,主要内容包括:土壤与作物基本知识、灌溉用水量、灌溉取水方式、灌水方法、渠道灌溉系统规划设计、节水灌溉系统规划设计、井灌规划、排水系统规划设计、灌区管理等。

图书在版编目(CIP)数据

农田灌溉与排水/李宗尧主编. —北京:中国水利水电出版社, 2002

中等专业学校教材

ISBN 7-5084-1109-9

I. 农… II. 李… III. ①灌溉-专业学校-教材②农田水利-排水-专业学校-教材 IV. S27

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第043839号

书 名	中等专业学校教材 农田灌溉与排水
作 者	安徽水利水电职业技术学院 李宗尧 主编
出 版	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: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266(总机)、68331835(发行部)
发 行	新华书店北京发行所
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
刷 印	北京密云红光印刷厂
规 格	787×1092毫米 16开本 16印张 376千字
版 次	2002年8月第一版 2002年8月第一次印刷
印 数	0001—3100册
定 价	19.80元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

本书是根据水利部《1996~2000年普通中等专业学校水利水电类专业教材选题规划》(第三批)进行编写的。

《农田灌溉与排水》是农业水利技术专业和水利工程专业的—门专业课。我们本着实用性强,基础理论以够用为度的原则进行编写的,内容上力求深度和广度适宜,避免偏深偏多;注重理论联系实际,多举示例,突出应用;尽可能反映近年来农田灌溉与排水方面的新技术、新知识、新成果。

全书共分十章。除第一章绪论外,第二章至第八章为灌溉部分,第九章为排水部分,最后一章是灌区管理,主要介绍农田灌溉与排水的基本理论、灌排工程规划设计的基本方法、灌排水技术以及灌区管理的基本知识等。

参加本书编写的有辽宁水利学校闫玉民(第二、三、四、五章)、河南郑州水利学校张保同(第八、九、十章)和安徽水利水电职业技术学院李宗尧(第一、六、七章)。全书由李宗尧主编,山东省水利学校于纪玉主审。

在编写过程中,曾得到陕西、山西、湖南、四川等水电学校以及各位编审人员所在单位的大力支持,还得到了安徽水利水电职业技术学院李兴旺同志的具体指导和张身壮、唐祥胜、杨晓红等同志的帮助,张身壮同志还参与了第二章部分内容的编写工作,在此一并表示感谢。

限于编者水平,书中难免存在错误和不妥之处,恳请广大师生和读者批评指正。

编 者

2001年6月

目 录

前 言	
第一章 绪论	1
第一节 灌溉排水在我国农业发展中的作用	1
第二节 灌溉排水事业的发展与任务	3
第二章 土壤与作物基本知识	6
第一节 土壤基本知识	6
第二节 土壤水分状况	8
第三节 低产土壤的改良措施	13
第四节 主要农作物的合理用水	18
第三章 灌溉用水量	22
第一节 作物需水量的估算	22
第二节 农作物的灌溉制度	26
第三节 灌水率	37
第四节 灌溉用水量和灌溉用水量	40
第四章 灌水方法	42
第一节 概述	42
第二节 地面灌水方法	43
第三节 地下灌溉	47
第五章 灌溉水源与取水方式	49
第一节 灌溉水源	49
第二节 取水方式	51
第三节 灌溉设计标准与引水工程水利计算	53
第六章 渠道灌溉系统规划设计	60
第一节 灌溉渠系规划布置	60
第二节 渠系建筑物的选型配套	66
第三节 田间工程规划	72
第四节 灌溉渠道流量计算	82
第五节 渠道断面设计	94
第七章 节水灌溉系统规划设计	114
第一节 喷灌系统规划设计	114
第二节 滴灌和微喷灌系统规划设计	134
第三节 低压管道输水灌溉系统	152
第八章 井灌规划	168

第一节	地下水资源开发利用与保护	168
第二节	地下水资源评价	176
第三节	井型选择与单井结构设计	180
第四节	井的出水量	186
第五节	井区规划	189
第九章	排水系统规划设计	195
第一节	排水标准与排水措施	195
第二节	田间排水工程规划	201
第三节	骨干排水系统规划	208
第四节	排水沟设计流量推求	210
第五节	排水沟水位推求	218
第六节	排水沟断面设计	220
第七节	排水容泄区规划	226
第十章	灌区管理	228
第一节	灌区管理的任务与内容	228
第二节	灌区量水	234
第三节	灌区用水管理	236
第四节	灌区工程管理	243
参考文献		248

第一章 绪 论

第一节 灌溉排水在我国农业发展中的作用

农业是国民经济的基础产业，搞好农业是关系到我国社会经济建设高速发展的全局性问题，是实现四个现代化的一个重要方面。13亿人口的吃饭问题，只有靠发展农业生产才能得到解决；整个国民经济的持续、稳定、协调发展，必须以发展农业为基础。实践证明，只有农业得到了发展，国民经济的其他部门才具备最基本的发展条件。

中国是一个农业大国，又是一个水资源不足、时空分布不均衡、旱涝灾害频繁的国家。因此，灌溉排水对我国农业生产的发展具有十分重要的作用。

在我国，发展农业生产具有一定的物质基础和有利条件。我国地处欧亚大陆的东部，属北温带和亚热带，气候适宜，热资源充足，水稻、小麦、大豆、玉米等粮食作物和棉、麻、油、糖等经济作物均可种植，不少地区农作物可一年两熟或三熟。我国地势西高东低，长江、黄河、淮河、海河、珠江、辽河、松花江等七大江河滚滚东流，既为灌溉提供了水源，又为排水提供了出路。

但是，我国人多地少，降水和水资源时空分布不均，自然灾害频繁，可供利用的水资源不足，给我国农业生产的发展带来了困难和不利影响。

人均耕地少。据最新统计，我国耕地面积只有1.3亿 hm^2 （19.51亿亩），仅占国有土地面积的13.7%，人均耕地仅有1.59亩，只相当于世界人均耕地面积3.75亩的43%，不到俄罗斯的1/8，美国的1/6，加拿大的1/5，甚至不到印度的1/2。我国东南部部分人口密集地区，人均耕地早已不能满足吃饭的需要。全国已有666个县突破了联合国粮农组织确定的人均耕地0.8亩的警戒线，其中463个县人均耕地已不足0.5亩。

降水总量较少，降水分布不均。我国年平均降水总量为61889亿 m^3 ，折合年降水深648mm，既小于全球陆面年平均降水深834mm，也小于亚洲陆面年平均降水深740mm。我国地域辽阔，地形变化复杂，全国降水量的地区分布极不均衡，总的趋势是由东南沿海向西北内陆地区递减，东南沿海年降水量超过1600mm，西北的荒漠地区年降水量则不到200mm。秦岭、淮河以南年降水量一般在800mm以上，属于湿润和半湿润地区；秦岭、淮河以北年降水量一般小于800mm，属于干旱和半干旱地区。由于天然降水量不能满足农作物的需水要求，必须加以灌溉才能确保农作物丰收。根据降水量的大小和农作物对灌溉的要求，可将全国分成三个不同的灌溉地带。即多年平均降水量小于400mm的常年灌溉地带，主要包括西北内陆和黄河中上游部分地区，土地面积410万 km^2 ，约占全国国土面积的42.6%；多年平均降水量大于400mm、小于1000mm的不稳定灌溉地带，主要包括黄淮海地区和东北地区，土地面积196万 km^2 ，约占全国国土面积的20.5%；多年平均降水量大于1000mm的补充灌溉地带，包括长江中下游地区，珠江地区及部分西南地区，土地总面积344万 km^2 ，约占全国国土面积的35.9%。

降水量年际和年内变化很大。我国南部地区最大年降水量一般是最小年降水量的2~4

倍，北部地区一般是3~6倍，且常有连续丰水年和连续枯水年出现。据资料分析，20世纪30年代是我国的丰水期，40年代是相对枯水期，50年代和60年代初是丰水期。1963年到1990年又经历了较长时间的枯水期。1991年至1998年，连续发生了五年流域性大洪水。我国多数地区的雨季为四个月，南部多在4~7月份，四个月的降水量占年降水量的50%~60%；北部多在6~9月份，四个月的降水量占年降水量的70%~80%。我国最大与最小月降水量的比值一般可达十几和几十。

水资源总量相对不足，时空分布不均。我国年平均水资源总量为28124亿 m^3 ，居世界第六位，而人均水资源占有量仅为2200 m^3 ，只相当于世界人均占有量的1/4，居世界第121位，是联合国公布的全世界人均水资源13个贫水国家之一。我国年平均河川径流量为27115亿 m^3 ，折合年径流深284mm，低于全球年平均径流深315mm。因降水是我国河川径流最主要的补给来源，所以，我国河川径流量的时空分布和降水量的时空分布有着基本一致的规律和特征，河川径流的年际和年内变化与降水量的年际和年内变化有着十分密切的相关关系。降水量多的湿润地区一般也是河川径流量充沛的丰水地区，降水量少的干旱地区往往也是河川径流量贫乏的缺水地区。我国南部地区最大年径流量一般为最小年径流量的2~4倍，北部地区一般为3~8倍。多数地区连续最大四个月的径流量一般占全年径流量的60%~80%。

降水和水资源的地区分布与人口和耕地的分布很不相适应。我国水资源分布形成南部有余、北部不足的不利局面，影响和制约着农业的布局和发展。长江及其以南各河流域，年径流量占全国径流总量的82%，但耕地面积只占全国的38%，人口占全国的54.7%；而黄、淮、海三大河流域，年径流只占全国径流总量的6.6%，但耕地面积却占全国总耕地面积的38.5%，人口占全国人口总数的34.7%，水土资源组合与人口分布极不平衡。

水旱灾害严重制约着我国农业生产的发展。降水量和水资源量的时空分布不均是造成水旱灾害的根本原因。据史料记载，从公元前206年到1949年的2155年间，我国共发生过较大的水灾1029次，较大的旱灾1056次，几乎年年有灾。新中国成立以来，从1950~1986年，全国平均每年水旱灾害受灾面积0.267亿 hm^2 （4亿多亩），成灾面积0.13多亿 hm^2 ，占耕地面积的10%以上，其中每年旱灾面积约0.23亿 hm^2 ，成灾面积0.067多亿 hm^2 。20世纪80年代后，全国水旱灾害呈现增加的趋势。80年代，全国年均受灾面积0.34亿 hm^2 ，成灾面积0.167亿 hm^2 ，到90年代增加到0.447亿 hm^2 ，成灾面积0.227亿 hm^2 ，每年减产粮食250亿kg，其中五次大水灾，损失一次比一次重。1991年水灾直接经济损失为780亿元，1994年为1740亿元，1995年为1650亿元，1996年为2200亿元，1998年为2551亿元。我国每年水灾面积1亿多亩，主要发生在东部大江大河的中下游地区，其中以黄淮海地区和长江中下游地区最为严重，受灾面积约占全国的3/4以上。我国大部分地区都有可能发生旱灾，其中松辽平原、黄淮海平原、黄土高原、四川盆地以及云贵高原等地，旱灾次数较多，灾情较为严重，全国约有70%的受灾面积分布在这些地区。尤以黄淮海平原旱灾最为严重，其受旱面积约占全国受旱面积的一半以上。

水污染日趋严重，水资源供需矛盾加剧。我国水资源本来不足，污染又日趋严重。全国每年排放废污水总量近600亿吨，其中约80%未经处理直接排入水域。据调查，全国90%以上的城市水域被污染，并迅速向农村蔓延。七大江河水系中，人不能饮用、鱼类不能生

存的污染河段，分别达到 20%~70%。日趋严重的水污染不仅破坏了生态环境，而且进一步加剧了本来就十分严重的水资源短缺矛盾。由于缺水，导致超量开采地下水，地下水位不断下降，产生许多不良后果。如单井出水量减少，提水成本增加，浅井报废，机泵更换，海水入侵，水质恶化，地面下沉等，对经济建设造成不良影响。

综上所述，在这种特定的自然条件下，只有通过兴修灌排工程，提高抵御水旱灾害的能力，才能为农业生产创造一个良好的发展环境。灌溉工程的作用在于通过引水、蓄水、提水等措施，改变水资源的时空分布，解决供需水量之间的矛盾，适时、适量地满足农业用水要求。排水工程的任务是排除多余的地面水和过多的土壤水分，控制地下水位，与灌溉措施密切配合，为农业生产创造良好的土壤环境，使低产土壤得到改良。灌溉排水工程是合理利用水资源，充分挖掘农业生产潜力，保证农业高产稳产的重要物质基础。

第二节 灌溉排水事业的发展与任务

灌溉排水是人类文明发展的结晶。几千年来，我们的祖先为了抗御自然灾害，发展农业生产，很早就兴修了灌溉排水工程。大禹治水的传说，反映了我国治水历史的悠久。4000多年前，商代出现了用作灌溉排水的“沟洫”。公元前 6 世纪，楚国人民兴建了芍陂（今安徽省寿县城南 30km 的安丰塘），它是利用天然湖泊构筑周长 65km，总库容 1.71 亿 m^3 的大型水库，引蓄淝河水进行灌溉，这是我国有历史记载的最早的蓄水灌溉工程。公元前 4 世纪，魏国西门豹治邺（今河北临漳）时，在漳水两岸修建了 12 条兼起分洪作用的灌溉渠道，这是我国最早的引水灌溉工程。公元前 256 年，秦国李冰带领百姓在岷江上兴修了我国古代最大的灌溉工程——都江堰。渠首位于四川省灌县（今都江堰市），枢纽工程长达 2 km，灌区内有干、支渠 500 多条，总长度约 1200 km，灌溉农田 20 多万 hm^2 （300 多万亩），使成都平原成为“水旱从人，不知饥馑”的“天府之国”。后经多次改建和扩建，一直沿用至今，发挥了巨大的工程效益，现已成为灌溉 27 个县市 66.67 万 hm^2 （1000 多万亩）农田的大型灌区。这项工程合理的规划、精巧的设计、完善的管理，都具有较高的科学性和创造性，充分显示了我国古代劳动人民的聪明才智。战国时期，在陕西省境内，开凿了 150 km 长的郑国渠，沟通了泾水和北洛水，灌溉农田上百万亩；还有白渠、龙首渠，宁夏的秦渠、汉渠、唐徕渠，均已有上千年历史，至今还发挥着效益。20 世纪 30 年代，陕西省建成泾惠、洛惠、渭惠等大型自流灌区，积累了一套灌区建设和管理的经验，为农田灌溉发展史谱写了新篇章。

在防洪、除涝、排水方面，大约 3000 年前我国已采用井田沟洫制，有了相当完备的明沟排水系统。唐宋时期已出现大型排水工程，如河北沧州的无棣沟、任丘县的通利渠等。五代时期，在江苏太湖流域已建成纵横交错的河网，既可用以灌溉，又可进行除涝和航运。

综上所述，我国灌溉排水有着悠久的历史，历代劳动人民创造了许多宝贵的治水经验，在我国水利史上放射着灿烂的光辉。但是漫长的封建社会，我国农业生产发展缓慢，以灌溉排水为主要内容的农田水利建设停滞不前。到 1949 年中华人民共和国成立时，全国仅有灌溉面积 0.16 亿 hm^2 （2.4 亿亩），灌排工程的基础十分薄弱。

新中国成立 50 年来，农田灌溉排水事业取得了巨大成就。据统计，到 1999 年底，我

国已建成大、中、小型水库 8.5 万余座，总库容达 4900 多亿 m^3 ；配套机井 372 万眼，每年提取利用地下水 850 多亿 m^3 ，灌溉农田 2.2 亿亩；机电排灌站 50 余万处，机电排灌面积 0.35 亿 hm^2 (5.24 亿亩)，灌溉机械保有量 7269 万 kW；万亩以上灌区 5611 处，有效灌溉面积 0.53 亿 hm^2 ；节水灌溉面积已达 0.152 亿 hm^2 ，其中喷灌、滴灌和微灌等现代化节水灌溉面积 173.3 万 hm^2 ，管道输水灌溉面积 520 万 hm^2 ，渠道防渗 0.083 亿 hm^2 ；全国除涝面积累计达 0.2 亿多 hm^2 ，占易涝面积的 82%；旱涝保收面积 0.38 亿 hm^2 (5.72 亿亩)；盐碱地改良面积 56 万 hm^2 ，占盐碱地的 71%；治理渍害低产田 330 万 hm^2 ，占渍害低产田的 33%。灌溉排水工程在抵御水旱灾害、保障农业生产方面发挥了巨大的作用，取得了显著的效果。许多灌区，如宁夏、内蒙古、河南等省（区）的引黄灌区，四川省的都江堰灌区，陕西省的泾惠渠、洛惠渠和宝鸡峡引渭灌区，甘肃省的河西和景泰川灌区，安徽省的淠史杭灌区，湖南省的韶山灌区等，都已成为中国商品粮的重要基地。50 年来，我国人口增长了 1 倍，人均耕地减少了 50%，但人均灌溉面积却增加了 50%，全国粮食总产量增加 4 倍多，其中占全国总耕地面积 1/3 的灌溉土地上生产出了占全国粮食总产量的 75%，棉花和蔬菜产量的 80%和 90%。尽管粮食增产是由各种农业技术措施综合作用的结果，但灌溉发展所起的主导作用则毋庸置疑。我国能以占世界不足 10%的耕地养活了占世界 22%的人口，灌溉的确发挥了巨大作用。

但是，应该看到我国农田灌排工程的现状还远远不能适应农业生产发展的需求，面临的形势依然十分严峻。目前，全国还有 2/3 的耕地没有灌溉设施，即使有灌溉设施的耕地抗旱标准也不高，农业整体上还没有摆脱靠天收的局面；灌溉排水设施老化失修，效益衰减，严重威胁到农业基础的稳定；灌水技术落后，用水浪费严重，直接妨碍农业现代化的发展；不少农田灌排工程还遭到一定程度的破坏，排灌无法进行；有些灌区工程不配套，设备利用率低，经济效益不高；许多灌排工程管理技术落后，管理水平低下。据统计全国 248 座大型灌区和 100 多座大型排灌站，有 1/3 严重老化失修；全国灌溉水的平均利用率仅为 40%左右，比发达国家低 25~30 个百分点；吨粮耗水 1330 m^3 ，比发达国家高 300~400 m^3 。我国现阶段的节水灌溉还处于低水平发展阶段，田间灌溉多属传统的地面灌溉方式，喷灌、微灌及管道输水灌溉等先进节水灌溉技术覆盖率不足 10%。

随着我国经济的发展和经济结构的调整与优化，对农田灌溉排水又提出了新的更高要求。如在过去粮食短缺的情况下，我国农田水利建设的主要任务是扩大耕地和灌溉面积，提高灌溉保证率，增加粮食产量，缓解粮食短缺问题。现在农业连续多年丰收，粮食和其他主要农产品由长期的供不应求转变为阶段性供大于求，农业进入了一个新的发展阶段，农业和农村经济结构面临战略性调整。农业形势的这种变化对灌溉和排水的影响是深远的。中低产田的改造，灌溉方式的变革，农田园林化建设，农业生态建设和农业可持续发展等将是今后农田灌溉和排水的重要任务。

我国用水大户是农业，2000 年全国总用水量 5498 亿 m^3 ，农田灌溉用水量占总用水量的 63%，农田灌溉亩均用水量为 479 m^3 。由此可见，农田灌溉用水量占绝大多数，农业水资源持续利用将对农业的可持续发展产生重大影响。

随着人口的增长和经济的快速发展，我国水资源短缺矛盾更加突出。20 世纪 90 年代以来，全国平均每年因旱受灾的耕地面积约 0.267 亿 hm^2 。正常年份全国灌区每年缺水 300 亿

m^3 ，城市缺水 60 亿 m^3 。到 2030 年左右，我国人口将达到 16 亿，人均占有水资源量将减少 1/5，降至 1700 m^3 左右；2050 年前后将更加严峻。西北地区土地辽阔，水资源稀缺，水土流失严重，生态环境极为脆弱。水资源状况将是制约西部大开发的一个重要因素。

综上所述，我国的农田灌溉排水发展还不够，还存在不少问题，远不能满足农业稳定发展和产业结构调整的需要，灌溉排水建设任务艰巨。根据我国国民经济发展的“十五”计划和远景规划，到 2005 年全国有效灌溉面积达到 0.56 亿 hm^2 ；节水灌溉面积达到 0.267 亿 hm^2 ；灌溉水利用率达到 50%；五年内将对 200 座大型灌区进行以节水为中心的续建配套和更新改造，改良中低产田 0.067 亿 hm^2 ，山区实现人均一亩旱涝保收田。到 2015 年，在保证现状农业用水量不增的条件下，实现全国有效灌溉面积由现在的 0.533 亿 hm^2 发展到 0.58 亿 hm^2 ，节水灌溉面积增加到 0.4 亿 hm^2 ，实现节水 600 亿 m^3 ，新增粮食生产能力 600 亿 kg。为实现这些目标，就必须大力发展灌溉排水事业，为国民经济的可持续发展奠定坚实的基础。

总之，我国的灌排事业有着光辉的历史，特别是新中国成立 50 年来农田水利建设更加灿烂辉煌，为我国农业生产的稳步发展奠定了良好的基础。但是，现有的灌排工程还存在着不少问题，还不能满足农业生产进一步发展的需要。因此，大力发展灌溉排水仍是今后的长期任务。这不仅要求继续提高抗御水旱灾害的能力，而且要提高科学管理水平与科技含量，进一步扩大灌溉、除涝、排渍、治碱的工程效益。实现农田水利现代化，把农田水利建设推向新的高度，是我们面临的重要任务。

第二章 土壤与作物基本知识

第一节 土壤基本知识

一、土壤与土壤肥力

土壤是地球陆地表面能够生长植物的疏松表层，是作物生长发育的基地，它不仅起着支持和固定植物的作用，而且供给植物生命活动所必须的生活条件。土壤不是静止不变的，而是运动发展的，土壤也不是孤立的，而是和自然环境，人类活动密切联系的，因此土壤不只是自然形成的自然历史体，而且也是人类生产劳动的产物。

土壤之所以是植物生长发育的基地，成为农业生产的基础和最基本的生产资料，是因为它具有一种独特的性质——肥力。所谓土壤肥力，就是土壤在植物生长的各个时期及时供给和协调植物所必需的水、肥、气、热等生活条件的能力。肥力是土壤的本质特性。自然界中没有肥力的土壤是不存在的，所以土壤的概念和肥力的概念是分不开的，而作物产量的高低是土壤肥力高低的最终表现。

土壤肥力的发生与发展，受到很多因素的影响，根据其产生的原因不同分为自然肥力与人为肥力。自然肥力是指在自然因素（生物、母质、气候、地形、时间）综合影响下所产生和发展起来的肥力。未经人们垦殖而只具有自然肥力的土壤，称为自然土壤。人为肥力是指在人类活动的影响下所产生和发展起来的肥力。具有人为肥力的土壤则为农业土壤。农业土壤虽然也不同程度的受到自然因素的影响，但更重要的是受人类的生产活动如耕作、施肥、灌溉、排水等的影响，所以农业土壤既具有自然肥力，又具有人为肥力。自然肥力与人为肥力的综合效应就成为农业生产中发挥重大经济意义的有效肥力（经济肥力）。土壤的有效肥力，是人类认识自然，改造自然劳动与智慧的结晶。

土壤是由固相、液相、气相三种物质组成的。固相物质的体积约占50%，其中包括矿物质和有机质。固相物质所构成的孔隙中分布着液相（土壤水分包括可溶性物质）和气相（土壤空气）物质。这三相物质之间不是机械地混合在一起，而是相互联系、相互制约、不断运动的统一体。三相物质存在的比例关系及其运动发展状况都直接影响土壤肥力，因此它们是土壤肥力的物质基础。

二、土壤的物理性状

（一）土壤的固相组成

土壤的固相组成包括矿物质和有机质。矿物质是土壤的主要组成部分，它是岩石及矿物的风化产物，是组成土壤的“骨架”部分。土壤矿物质中所含的磷、钾、钙、镁、硫和铁等元素皆为植物所必需的养料，也是影响土壤的各种物理、化学性状的基本条件。

土壤有机质也是土壤固相的重要组成部分。一般耕层含量约在1%~5%之间，它包括动植物的遗体、微生物和腐殖质。土壤有机质的数量虽不多，但也是植物养分的重要来源，它对土壤物理、化学、生物性质以及土壤肥力因素均会产生深刻的影响。

自然界的任何土壤，都是由许多大小不同的土粒，以不同比例组合而成的。这种不同

粒级组合的相对比例，叫土壤的机械组成。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类。土壤质地是土壤的重要物理性质，对土壤肥力影响较大。在生产实践中，土壤质地常常是作为认土、用土和改土的重要依据。

中国科学院南京土壤研究所等单位拟定了我国土壤质地分类标准，见表 2-1。

表 2-1 我国土壤质地分类

质地组	质地名称	颗粒组成 (粒径: mm) (%)		
		砂粒 1~0.05	粗粉粒 0.05~0.01	细粘粒 <0.001
砂 土	粗砂土	>70	—	<30
	细砂土	60~70	—	
	面砂土	50~60	—	
壤 土	粉砂土	>20	>40	<30
	粉 土	<20	>40	
	砂壤土 壤 土	>20 <20	<40	
	砂粘土	>50	—	>30
粘 土	粉粘土	—	—	30~35
	壤粘土	—	—	35~40
	粘 土	—	—	40~60
	重粘土	—	—	>60

土壤质地不同，对土壤的水、肥、气、热关系及其他理化特性均有很大影响，现将不同质地类型的肥力特征综述如下。

砂土类：物理性砂粒含量占 80% 以上，因此粒间孔隙大，毛管孔隙少，不保水，渗透性强，通气好，有机质分解快而累积少，不保肥，不耐肥，昼夜温差大。所以，砂性土常呈现有气、缺水、养分不足、土温不稳的矛盾状态。

粘土类：物理性粘粒含量占 60% 以上，因此粒间孔隙小，毛管孔隙多，保水、保肥性强，但通气透水性差，易旱易涝，昼夜温差小，土性偏冷，粘性塑性强，所以耕性不良，适耕期短。

壤土类：砂粒与粘粒的含量比例较合适，因此兼有砂土类与粘土类的优点。既通气透水，又保水保肥，水、肥、气、热状况比较协调，耕性良好，适耕期长，适宜于大多数作物生长，是农业生产上比较理想的土壤质地。

(二) 土壤的孔隙性与结构性

1. 土壤的孔隙性

土壤是一个复杂的多孔体。土壤的孔隙性是土壤固体颗粒间所形成的不同形状和大小孔隙的数量、比例及分布状况的总称。它直接影响土壤三相物质组成的协调程度，是土壤的重要物理性质，对土壤肥力有明显的影响。

(1) 土粒容重和土壤容重。土粒容重是指单位体积（不包括孔隙体积）土壤固体土粒的重量。其大小决定于矿物组成与有机质的含量。由于我国土壤一般有机质含量不多，故土壤的土粒容重常以 2.65 t/m^3 作代表。

土壤容重是指单位体积的自然状态土壤（包括孔隙）的干土重（指 $105\sim 110^\circ\text{C}$ 条件下

的烘干重),通常以 t/m^3 表示。土壤容重的大小与土壤质地、结构、有机质含量及土壤的松紧度等有密切关系,同时还受灌溉、排水及农业耕作等措施的影响,因此,土壤容重不是常数,而是经常变化的。土壤容重是一个非常重要的基本数据,可用于计算土壤的孔隙度,进行土壤重量与土壤容积的换算,计算一定土层内的养分含量和盐分含量等,在农田基本建设和灌溉排水等工作中,常用来进行土壤含水量和灌水定额等方面的计算。

(2) 土壤孔隙度。土壤孔隙是指土粒与土粒之间形成大小不等,形状各异的空间,又称空隙。土壤孔隙度是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。土壤孔隙一般均不直接测定,而是根据土壤的土粒容重和土壤容重计算出来:

$$\text{孔隙度}(\%) = \left(1 - \frac{\text{土壤容重}}{\text{土粒容重}}\right) \times 100\%$$

土壤孔隙度的大小,常受土壤质地、结构、有机质含量和耕作措施的影响而变化。一般砂土的孔隙度为 35%~45%;壤土为 45%~52%;粘土约为 45%~60%;结构良好的表土层的孔隙度约为 55%~60%;而紧实的底土可低至 25%~30%;有机质多的土壤孔隙度大,如泥炭土孔隙度可高达 80%。

2. 土壤的结构性

土壤结构性是指土壤中单粒、团聚体的数量、大小、形状及其相互排列和相应的孔隙状况等综合特性。它是土壤的重要物理性质之一。

自然界的土壤结构多种多样,一般按结构体的形状和大小进行分类。常见的有块状和核状、柱状和棱柱状、片状和板状以及团粒状等结构体类型。核状、柱状、棱柱状等结构主要出现于粘重而缺乏有机质的底土层中。块状和团粒状结构经常出现于表土耕作层中,其中团粒结构最好。

团粒结构为粒径 0.25~10mm,近似圆球形的土团。团粒之间排列疏松,接触面积较小,因而形成的孔隙较大,多为空气占据。团粒内部则是较小的毛管孔隙。当灌水或降雨时,水分很容易从大孔隙中下渗并被团粒内的毛管孔隙吸持保蓄起来,减少渗漏和地表径流的损失。当蒸发时,由于毛管孔隙被团粒的阻隔而中断,水分只能沿团粒接触处的孔隙向地表运行,所以速度慢,蒸发损失减少。同时表层的团粒干燥后,体积收缩,接触点减少,使毛管联系中断,形成隔离层,降低蒸发损失,可起蓄水抗旱作用。从养分与空气状况看,团粒间通气良好,适于好气微生物活动,有机质矿化迅速,有利于养分的释放。团粒内部孔隙则主要为水分所占据,有利于有机质嫌气分解,腐殖质化占优势,使养料物质得以保持。这样就协调了土壤中的空气与水分,供肥与保肥的矛盾。土壤中水、气的协调还可导致土壤温度稳定适中。

生产实践中经常施用有机肥,种植绿肥或牧草等,以形成足量的腐殖质,从而促进结构的形成与发展。此外,通过合理耕作,改善土壤耕性,改进灌水方法以及施用土壤结构改良剂、合理轮作等措施也能改良土壤结构,增加结构的稳定性,有利于肥力的提高。

第二节 土壤水分状况

农田水分状况系指农田中地面水、土壤水、地下水的数量、分布及时空上的变化。作

物生长发育要求有适宜的生长环境,一切农田水利工程的目的就是为了调节土壤水分状况,改善土壤中的水、肥、气、热关系,为作物生长创造最适宜的环境,以达到作物高产、稳产的目的。研究农田水分状况对农田灌排规划、设计、管理都具有重要意义。

一、土壤水分类型

土壤水是指吸附于土壤颗粒表面和存在于土壤孔隙中的水分。地表水和地下水一般只有转化为土壤水才能为作物吸收利用。土壤水分分为固态水、气态水和液态水三种,固态水和气态水含量很少,不能直接被作物利用。液态水是土壤水分的主要形态,是作物吸水的主要来源,对作物生长具有重要作用。一般把土壤水分分为四种类型。

1. 吸湿水

吸湿水是土壤孔隙中的水汽在土粒的吸附力为 $1\text{kPa}\sim 3.1\text{MPa}$ 时的吸引下,而被吸附于土粒表面上的水。由于土粒吸附力的作用,该部分水体被牢固地吸附在土粒表面。在自然状态下,不能移动,不易蒸发,不能被作物吸收利用。属于土壤中的无效水。当空气相对湿度接近饱和时,吸湿水的含量达到最大值,此时的土壤含水率称为吸湿系数。

2. 膜状水

膜状水是土壤孔隙中的液态水,在土粒的吸附力作用下而在吸湿水的外围形成一层膜状的水。膜状水的内层紧靠吸湿水,受土粒吸附力强,随着膜状水的水膜厚度加大,所受吸附力逐渐减小,逐步呈自由状态。只有少部分膜状水能被作物吸收利用。当膜状水达到最大值时的土壤含水率,叫最大分子持水率,其值约为吸湿系数的 $2\sim 4$ 倍。

3. 毛管水

在土壤中,借土壤孔隙所形成的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大小有关,孔隙越小,毛管力越大,反之亦然。毛管力的大小决定着毛管水的多少,毛管力的大小与土壤质地也有关。毛管水依据其补给来源又可分为毛管悬着水和毛管上升水两种。

毛管悬着水是指在降雨或灌溉时,在毛管力作用下,保持在上层土壤孔隙中的水体。该部分水体不与地下水相连,不受地下水位升降的影响,与地下水埋深无关,只与土壤质地和降雨或灌水量的大小有关。毛管悬着水是旱作物吸水的主要来源。当毛管悬着水达最大值时的土壤含水率叫田间持水率,是土壤的最大持水率,常将田间持水率作为旱田土壤有效水分的上限。

毛管上升水是指地下水在毛管力作用下,沿着土壤毛管孔隙上升而保存在毛管孔隙中的水体。毛管水上升的高度和速度,与土壤质地、结构和排列层次有关。土壤粘重,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。在毛管水上升高度内,离地下水面越近,毛管水越多;离地下水面越远,毛管水越少。表 2-2 为各种土壤的毛管水最大上升高度,供参考。

毛管力的大小与土壤含水量的大小有关,含水量大毛管力小,含水量少毛管力大。因此,在毛管力的作用下,毛管水可向各个方向移动,从毛管力小的地方向毛管力大的地方移动,即从毛管水多的地方向毛管水少的地方移动。土壤中的矿物质养料溶于水,随着水分被作物吸收而利用。

4. 重力水

表 2-2

毛管水最大上升高度表

土 壤	最大上升高度 (m)	土 壤	最大上升高度 (m)
粘 土	2~4	砂 土	0.5~1
粘壤土	1.5~3	泥炭土	1.2~1.5
砂壤土	1~1.5	碱土或盐土	1.2

当土壤含水率超过田间持水率后，超过田间持水率的那部分水量在重力作用下，从土壤中垂直向下移动，这部分水叫重力水。重力水是一个相对概念，在上部土层中其表现形式为重力水，而向下移动至下层干燥土层时，保持在下部土层中一部分水，成为非重力水，如毛管水。当其下渗至地下水水面时，就转化为地下水，并提高地下水位。重力水在移动过程中可被作物吸收利用，但因其时间很短，作物吸收利用的数量很少。

二、土壤水分的有效性

作物生长发育所需的水分主要来自根系吸水，但不同作物其根系吸水能力是不同的，随作物种类、品种及发育阶段不同而不同。

土壤中持有的水分，并不是都能被作物吸收利用，主要取决于作物吸水力与土壤持水力的对比。作物根系吸水的能力大小与作物种类品种及发育阶段有关。土壤持水能力与土壤质地和土壤含水量有关，含水量越大，土壤持水能力越小；反之亦然。当土壤含水量小到一定程度，土壤持水力与作物的吸水力接近相等时，作物就不能从土壤中吸收水分，即使再灌水，也不能使作物恢复生命活动，此时的含水量也称为永久凋萎系数。由于土壤含水量降至凋萎系数时，作物将出现永久凋萎，到这时再灌水已为时过晚。因此在生产实践中，通常以作物生长开始受到抑制，下部叶子开始萎蔫时的土壤含水率作为控制土壤含水率的下限，并将其称为初期凋萎系数，其值约为田间持水率的 55%~60% 左右。因此，在实际生产中，一般将田间持水率作为土壤含水率的上限，而将初期凋萎系数作为土壤含水率的下限。

三、土壤含水率的表示方法

土壤含水率又叫土壤湿度，它是反应土壤中含有水分多少的数量指标。从前述可知，只有土壤中含水量达到一定值时，才能为作物吸收利用。农田灌溉排水工程就是通过灌水使土壤含水率增加，通过排水降低土壤含水率。因此，只有在掌握土壤含水率的基础上，才能保证适时灌水和排水，为此需要经常测定土壤含水率，并用适当的方法加以表示。常见的表示土壤含水率的方法有：

(1) 以水分质量占干土质量的百分数表示

这种方法可用称重法直接测定出来，以土壤中水分质量占干土质重的百分数表示，计算公式为

$$\beta_{质} = \frac{m_{水}}{m_{干土}} \times 100\% = \frac{m_{湿土} - m_{干土}}{m_{干土}} \times 100\% \quad (2-1)$$

式中 $m_{水}$ 、 $m_{湿土}$ 、 $m_{干土}$ ——土壤中的水、湿土和干土的质量，g。

该法测定设备简单，精度较高，应用普遍，在实际工作中多采用此法测定土壤含水率，但测定工作量大。

(2) 以土壤水分体积占土壤体积的百分数表示

该方法表示明确，用于计算方便，但实测困难。在生产实践中，常用含水率的质量百分数换算而得，计算公式为

$$\beta_{容} = \frac{V_{水}}{V_{土}} \times 100\% = \frac{\beta_{质} \rho_{土}}{\rho_{水}} \quad (2-2)$$

式中 $V_{水}$ 、 $V_{土}$ ——土壤中的水分体积和土体体积， cm^3 ；

$\rho_{土}$ ——土壤干密度， g/cm^3 ；

$\rho_{水}$ ——水的密度， g/cm^3 ，数值为 1。

(3) 以土壤水分体积占土壤孔隙体积的百分数表示

该方法表明水分对土壤孔隙充满的程度，实测困难，常用含水率的质量百分数换算，计算公式为

$$\beta_{孔} = \frac{V_{水}}{V_{孔}} \times 100\% = \frac{\beta_{质} \rho_{土}}{A \rho_{水}} \quad (2-3)$$

式中 $V_{孔}$ ——土壤中的孔隙体积， cm^3 ；

A ——土壤孔隙率（占土壤体积百分数）。

(4) 以土壤实际含水率占田间持水率的百分数表示

这种表示方法是指相对含水率，计算公式为

$$\beta_{相对} = \frac{\beta_{实}}{\beta_{田}} \times 100\% \quad (2-4)$$

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

(5) 以水层厚度表示

它是将某一土层中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。

四、适宜的农田水分状况及其调节

农田中的地面水、土壤水和地下水的状况必须适宜，才能有利于作物的生长发育。

(一) 旱作区适宜的农田水分状况

旱作地区的各种形式的水分，并非全部能被作物所直接利用。如地面水和地下水必须适时适量地转化成为根系吸水层（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。

旱作物对土壤含水量的要求都有一定的界限范围，通常均以适宜土壤含水量表征。适宜土壤含水量是指在作物的任一时段内都能保证作物正常生长发育所需要的土壤含水量，一般以田间持水率的百分数表示。适宜土壤含水量随作物种类和品种及其生育阶段的需水特点、土壤质地与结构、施肥等农业技术措施和气象条件等不同而有所差异。适宜土壤含水量在 $(0.6 \sim 1) \beta_{田}$ 之间。

旱作区农田田面是不允许长期积水的，旱作物一般是不太耐淹涝的，若旱作物长时间被积水淹泡就会导致生长发育不良，进而造成减产甚至死亡。衡量旱作物忍受淹涝程度的指标，称为作物耐淹能力，或称为作物耐涝能力。即在产量不受明显影响的前提下，作物能忍受田面淹水的深度及淹水的时间。作物耐淹能力与作物的类别、品种、生育阶段和植株素质等因素有关。一般高秆作物耐淹能力强于矮秆作物，植株健壮的作物耐淹能力比瘦