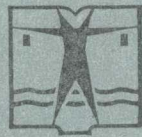


中等专业学校教材

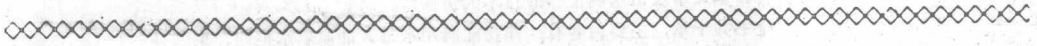


农田水利学

山西省水利学校 王锡赞·主编



中等专业学校教材



农田水利学

山西省水利学校 王锡赞 主编

(京)新登字115号

中等专业学校教材

农田水利学

山西省水利学校 王锡赞 主编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 16印张 358千字

1992年11月第一版 1992年11月北京第一次印刷

印数00001—27090册

ISBN 7-120-01620-2/TV·594

定价3.90元

内 容 提 要

本书为中等专业学校农田水利工程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，主要内容有：作物灌溉用水量、灌溉取水枢纽、渠道灌溉系统、地面灌溉和田间工程、管道灌溉系统、井灌、田间排水网、骨干排水系统和排水容泄区等。

前 言

本书是根据1987年7月制定的中等专业学校《农田水利学》教学大纲及1990~1995年中等专业学校水利水电类专业教材选题和编审出版规划进行编写的。

《农田水利学》是农田水利工程专业的专业必修课。在编写过程中，我们充分考虑了前两轮《农田水利学》教材的内容和农田水利现代化建设的需要，力求加强基本理论的阐述和应用，尽可能地反映我国农田水利建设的先进经验和科学技术的新成就。

全书共分十章。除第一章绪论外，第二章至第七章为灌溉部分，第八章至第十章为排水部分，主要介绍农田灌溉和排水的基本理论、灌排工程规划设计的基本方法以及灌排技术等。

参加本书编写的有湖南省水利水电学校卢心球（第二、三、十章）、东北水利水电专科学校王怀章（第四、五、六章）和山西省水利学校王锡赞（第一、七、八、九章）。全书由王锡赞主编，辽宁省水利学校杨耀寰主审。山西省水利学校郑智强作了许多具体工作。

在编写过程中，曾得到江苏、江西、黑龙江、浙江水利水电专科学校和陕西、广西、安徽、山东、甘肃、宁夏水利学校的支持和帮助，并得到曲达良副教授的具体指导，在此一并致谢。

对于书中错误和不妥之处，恳请广大师生和读者批评指正。

编 者

1992年1月

目 录

前 言	
第一章 绪论	1
第一节 农田水利对发展我国农业生产的作用	1
第二节 我国农田水利事业的发展	3
第三节 农田水利学的研究对象和基本内容	5
第二章 灌溉用水量	6
第一节 农田水分状况	6
第二节 作物需水量	11
第三节 作物的灌溉制度	18
第四节 灌溉用水量和灌溉用水量	31
第三章 灌溉水源和灌溉工程水利计算	36
第一节 灌溉水源与灌溉取水方式	36
第二节 灌溉设计标准与设计年的选择	42
第三节 引水灌溉工程的水利计算	45
第四节 蓄、引结合灌溉工程的水利计算	50
第四章 渠道灌溉系统	60
第一节 灌溉渠系规划布置	60
第二节 渠系建筑物规划布置	65
第三节 灌溉渠道流量计算	69
第四节 渠道纵横断面设计	82
第五章 田间工程与地面灌溉	103
第一节 田间工程	103
第二节 地面灌溉	113
第六章 管道灌溉系统	122
第一节 喷灌系统	122
第二节 滴灌系统	144
第三节 低压管道输水灌溉系统	149
第七章 井灌	158
第一节 地下水的基本类型	158
第二节 地下水资源评价	164
第三节 井型选择与机井设计	169
第四节 井灌区规划	179
第八章 田间排水网	183

第一节	农田排水的要求和方式	188
第二节	农田排水的任务和作用	189
第三节	田间排水网的布置	195
第四节	田间排水沟的深度和间距	204
第九章	骨干排水系统	214
第一节	骨干排水系统的规划布置	214
第二节	排水沟的设计流量	217
第三节	排水沟的设计水位	227
第四节	排水沟断面设计	230
第十章	排水容泄区	238
第一节	排水容泄区的选择	238
第二节	排水容泄区的整治	238
第三节	排水闸站的规划设计	242
主要参考文献		247
11	.....	第二卷
81	.....	第三卷
12	.....	第四卷
36	.....	第五卷
88	.....	第六卷
13	.....	第七卷
21	.....	第八卷
50	.....	第九卷
80	.....	第十卷
90	.....	第十一卷
99	.....	第十二卷
99	.....	第十三卷
99	.....	第十四卷
99	.....	第十五卷
99	.....	第十六卷
99	.....	第十七卷
99	.....	第十八卷
99	.....	第十九卷
99	.....	第二十卷
99	.....	第二十一卷
99	.....	第二十二卷
99	.....	第二十三卷
99	.....	第二十四卷
99	.....	第二十五卷
99	.....	第二十六卷
99	.....	第二十七卷
99	.....	第二十八卷
99	.....	第二十九卷
99	.....	第三十卷

第一章 绪 论

第一节 农田水利对发展我国农业生产的作用

国以民为本，民以食为天。农业是国民经济的基础。几千年来，我国人民始终把发展农业生产放在首位，今后，发展农业生产尤其显得重要。11亿人口的吃饭问题，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；政治稳定和社会稳定也有赖于农业的稳定发展。“农业稳，天下定”，“农业是安定天下的产业”。大力加强农业，稳定发展农业，是我国长治久安、繁荣昌盛的根本保证。

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、糖等经济作物都可种植，不少地区农作物可一年两熟或三熟。我国西高东低，长江、黄河、珠江、辽河、松花江等大江大河滚滚东流，为灌溉提供了水源，也为排水提供了出路。我国人民勤劳勇敢，农业生产历史悠久，经验丰富，这些都为我国发展农业生产提供了重要的物质基础和有利条件。

但是，我国人均耕地较少，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丰富，又给我国农业生产的发展带来了困难和不利因素。

我国山地、高原和丘陵占国土面积的70%以上，耕地面积只有15亿亩，仅占国土面积的10.4%，占世界总耕地面积的7%。而我国却有11.4亿人口，占世界总人口的22%。人均耕地只有1.3亩，远低于世界平均水平。并且全国耕地面积还以每年360万亩左右的速率在减少，这是一个十分严峻的问题。

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800mm，也小于亚洲陆面年平均降水深740mm。我国年平均水资源总量为28124亿 m^3 ，少于巴西、苏联、加拿大、美国和印尼，居世界第六位。其中年平均河川径流量为27115亿 m^3 （1956~1979年的平均值），折合年径流深284mm，低于全球年平均径流深315mm。1988年我国人均占有河川径流量2378 m^3 ，仅为世界人均占有量的1/4，是日本的1/2，美国的1/5，苏联、印尼的1/7，加拿大的1/50。我国亩均占有河川径流量1800 m^3 ，是世界亩均占有量的76%，远低于印尼、巴西和加拿大。

我国地域辽阔，由于南北纬度的差异，东西距海远近的悬殊，加之地形变化复杂，全国降水量的地区分布极不均匀，总的趋势是由东南向西北递减。秦岭、淮河以南年降水量一般在800mm以上，属于湿润和十分湿润地区。其中台湾东北部最大年降水量达6569mm，是我国降水量最多的地区。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。其中新疆南部塔里木盆地和青海西部柴达木盆地年降水量不足25mm，是我国降水量最少的地区。

我国由于受季风气候的影响，降水的年际变化很大，年内分配也很不均匀，且降水越少的地区年际和年内的变化也越大。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。我国多数地区的雨季为四个月，南部在3~6月或4~7月，四个月的降水量占年降水量的50%~60%；北部雨季多为6~9月，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都达十几倍和几十倍。

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点，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应关系。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。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%。

我国降水和水资源的地区分布与我国人口和耕地的分布很不相应，形成南部水资源有余，北部水资源不足的不利局面，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总耕地面积的38%；而黄、淮、海三大河流域，年径流量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40%。我国华北和东北南部地区水资源紧缺，供不应求的矛盾日益突出。广大西北地区水资源贫乏，在经济有了较大发展后，水资源将成为制约农业发展的重要因素。长江流域及其以南地区水资源比较丰富，当前由于调节控制工程不足，也有一些地区供水不足。

我国降水量和水资源量年际变化悬殊和年内高度集中的特点，不仅给开发利用水资源带来了困难，也是造成水旱灾害频繁发生的根本原因。据史料记载，从公元前206年（西汉初）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。1928年的特大旱灾，影响到华北、西北和西南地区的13个省535个县，灾民达1.2亿人。在新中国成立后的40年中，每年水旱灾害受灾面积4亿多亩，占耕地面积的近30%，成灾面积2亿多亩，占耕地面积的10%以上。其中每年旱灾面积约3亿亩，成灾面积1亿多亩。受灾面积超过4亿亩的严重旱灾平均每四年发生一次。对农业生产影响最大的连续干旱，如1959~1961年的连续3年干旱，每年受旱面积都在5亿亩以上。1978年全国受旱，范围广，持续时间长，受旱面积达6亿亩，成灾面积2.7亿亩，是有史以来的最高值。我国各地都有可能发生旱灾，其中松辽平原、黄淮海平原、黄土高原、四川盆地东部以及云贵高原至广东湛江一带，旱灾次数较多，灾情也比较严重，全国约有70%的受灾面积发生在这些地区。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。我国北方地区多春旱，其次为夏旱，长江中下游及珠江流域以伏旱为主，其次为秋旱。我国每年水灾面积1亿多亩，成灾面积近亿亩，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。

水旱灾害是我国农业生产发展的最大障碍，给我国人民带来了无穷的灾难。不战胜水旱灾害，我国农业生产的被动局面就不能克服，农业就不能持续稳定的发展。兴修水利，发展灌溉，加强排水，调节地区水情，改善农田水分状况，建设旱涝保收高产稳产农田，是抵御水旱灾害的根本措施，也是农田水利的根本任务。所以，农田水利在我国占有特定的地位。

尽管历代特别是新中国成立后的40年中,我国人民在抗干旱、防洪涝斗争中取得了卓越的成绩,但降水量和径流量地区分布不均,年内和年际变化剧烈这一自然特点,决定了水旱灾害将是长期威胁我国农业生产稳定发展的主要自然灾害。发展农田水利,消减水旱灾害将始终是我国人民的一项艰巨任务。

第二节 我国农田水利事业的发展

几千年来,农田水利一直是人类和水旱灾害作斗争,发展农业生产,变水害为水利,使水为人民生活和生产服务的重要措施。农田水利的发展史是劳动人民与水旱灾害作斗争的历史,是农业和社会进步的重要标志,也是社会生产力发展的具体表现。我国农田水利的历史可以追溯到很远的年代。四千多年前新石器时代的大禹治水是我国治水历史悠久的见证。商代甲骨文中就有黄河流域农田沟洫的记载,所谓“沟洫”就是古代用作灌溉排水的渠道。公元前6世纪楚国人民兴建了芍陂(今安徽省寿县南30km的安丰塘),它是利用天然湖泊构筑成周长60km,总库容1.71亿m³的大水库,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422年,魏国西门豹发动人民在邺(今河北临漳西南20km的邺镇)修建了引漳十二渠,是我国早期较大的引水灌溉工程。公元前256年,秦朝李冰父子领导人民兴建了我国古代最大的灌溉工程——都江堰,渠首位于四川省灌县,从岷江引水,枢纽工程长达2km,灌区有干、支渠500多条,总长度逾1100km,灌溉着成都、灌县等十余个县的300多万亩良田,使成都平原成为“水旱从人,不知饥馑”的“天府之国”。后经多次改造和扩建,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800多万亩良田的大型灌区。这项工程合理的规划,精美的设计,完善的管理,都具有较高的科学性和创造性,充分显示了我国劳动人民的聪明才智。秦汉时期修建的较大灌溉工程还有陕西的郑国渠,宁夏的秦渠、汉渠和唐徕渠,浙江的鉴湖灌溉工程等。近代著名水利专家李仪祉在陕西省主持兴建了泾惠渠、洛惠渠和渭惠渠等大型灌区,积累了一套灌区建设和管理的经验,为农田水利发展史谱写了新篇章。

在防洪、除涝和排水方面,大约3000年前我国已采用井田沟洫制,就有了相当完备的明沟排水系统。唐宋时期已有大型排水工程出现,如河北省沧州无棣县的无棣沟,郑州任丘县的通利渠等。五代时期,在江苏太湖流域已形成浦塘制,即修建纵横交叉的河网,既可用以灌溉,又可进行除涝和航运。江、浙沿海修建的防止海潮侵袭农田的海塘工程,在汉朝就已有记载。

但是,漫长的封建社会,农业生产发展缓慢,水利建设停滞不前,水利工程设施简陋,古代兴建的许多灌溉排水工程都因年久失修而毁灭,保留下来的工程大都残缺不全,效益很低。到1949年中华人民共和国成立时,全国仅有灌溉面积2.4亿亩,灌排工程的基础十分薄弱。

新中国成立40年来,在中国共产党的领导下,农田水利建设取得了巨大的成就。对原有的农田水利工程进行了修复、改建和扩建,提高了工程效益;新建了一大批大中小型农田水利工程,为农业生产的发展提供了物质基础。据不完全统计,截至1989年,我国已建

成大、中、小型水库83675座，总库容达4617.31亿 m^3 ；配套机井263.29万多眼，每年提取利用地下水约550亿 m^3 ；机电排灌站47万多处，排灌动力6635.4万kW；万亩以上(按有效灌溉面积计算)灌区5331处，其中30万亩以上的灌区150处；全国有效灌溉面积已达到7.25亿亩，占总耕地面积的50%；全国3.66亿亩低洼易涝农田，约有2.88亿亩进行了初步治理；全国1.13亿亩盐碱耕地，有0.73亿亩得到了不同程度的改良。

农田水利工程在抗御水旱灾害，促进农业生产方面发挥了巨大作用，取得了显著效果。我国在占总耕地面积不到一半的灌溉土地上，生产的粮食和棉花都分别占全国总产量的2/3和3/4，许多灌区已成为我国农业商品粮的重要基地，为解决全国人民的温饱问题和满足国民经济发展的需要作出了巨大贡献。近几年来，随着农村经济体制的改革，广大农民的生产积极性空前高涨，农田水利的增产作用也更加显著。1984年我国粮食总产量首次超过了4000亿kg，比1982年增长了27%，棉花总产量达到了1.2亿万担，比1980年增长131%。1989年我国粮食总产量又创历史新纪录，达到了4079亿kg，比1984年增长了60000万kg。1990年我国粮食总产量达到4520亿kg，创历史最好水平，超额完成了“七五”计划要求的粮食年产量4500亿kg的目标，基本上实现了人均粮食400kg的指标，接近世界人均水平。从全国来看，我国的粮食已基本可以自给，棉花自给有余。我国在占世界7%的耕地上解决了占世界22%人口的温饱问题，这是个了不起的奇迹，它雄辩地说明了社会主义制度的无比优越性。

但是，我们也必须指出，我国农田水利工程的现状，还远远不能适当治理整顿、深化改革对发展农业生产的需要。不少农田水利设施工程失修，设备老化，需要更新改造；有的工程遭到破坏，灌排工作无法进行；许多灌排工程科学技术落后，管理机制缺乏活力，配套工程很差，管理水平很低，抗御灾害标准不高，水资源浪费严重，能源消耗很大，设备利用率很低，经济效益不高。全国的灌溉面积一直徘徊在7亿亩左右，而且建设标准不高，各地发展也不平衡，一半以上的耕地还没有灌排设施，1/3的低洼易涝农田亟待治理，5000多万亩盐碱地需要改良，每年还有4亿多亩农田遭受水旱灾害。所有这些都说明我国的农田水利建设还存在着不少问题，有待于改善、充实和提高。

我国的“八五”计划和十年规划明确指出，水利是国民经济的基础产业，要放在重要的战略地位，农田水利建设必须大力加强，积极发展。根据“八五”期间、本世纪末和今后半个世纪内我国粮食产量要分别达到4500亿kg、5000亿kg和6000亿kg的目标，“八五”期间要新增灌溉面积3000万亩，到2000年我国的农田灌溉面积应达到8亿亩，排水面积要发展到3.2亿亩，改造中低产田4亿亩；21世纪灌溉面积要达到9亿亩。只有这样，才能为农业增产指标的实现提供可靠的物质基础。这是一项十分艰巨而又光荣的任务，真可谓任重而道远。

总之，我国的农田水利事业有着悠久的历史，历代修建的农田水利工程在发展农业生产中发挥了巨大的作用。新中国成立40年来农田水利建设的成就更是灿烂辉煌，为我国的农业现代化建设创造了良好的物质基础。但是，现有的农田水利工程也确实存在着不少问题，远远不能满足农业稳定发展的需要，挖潜改造的任务还很大，发展节水灌溉的要求十分紧迫。农业的稳定发展要求农田水利工程有更大的发展，农业现代化对农田水利事业提

出了更高的要求。我们要总结和弘扬我国农田水利建设的经验，吸取和利用先进的科学技术，为把我国的农田水利建设推向新高潮，为把我国的农田水利事业提高到新水平而努力奋斗！

第三节 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的变化规律及其调节措施，消减水旱灾害和充分利用水资源，为创造良好农业生态环境和发展农业生产服务的科学。

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。引起农田水分过多或不足的主要原因是水旱灾害。调节农田水分不足或过多的主要措施是灌溉和排水。所以，灌溉、排水措施中所涉及的农田水分运动规律、灌溉排水系统规划设计以及灌溉排水技术等都是农田水利学的主要内容。

地区水情是指地区水资源的数量、分布及其变化规律。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发展农业生产的需要，天然来水和作物需水在时间和空间上常常不相协调，时旱时涝或旱涝交错的现象经常发生，严重地影响着农业生产的发展。为此，必须通过蓄水、引水和调水等各种工程措施，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，做到“遇早有水，遇涝排水”，为农业的稳定发展创造有利条件。所以，地区的自然条件、水文要素、水土资源、水旱灾害和供需水量的变化规律及其调节措施的规划设计等都是农田水利学的研究内容。水资源的计划开发、合理调配、充分利用，最大限度地满足各用水部门特别是农业部门的用水需要，努力提高水资源利用率，以最小的投入取得最大的经济效益和社会效益，是农田水利学研究的主要课题。

农田水利学的根本任务是认识和掌握自然规律，总结和应用农田水利建设的成功经验，建立和完善农田水利工程的理论基础，引用和推广先进的科学技术，从理论上和技术上解决农田水利现代化建设中的实际问题，更好地发挥农田水利学在发展农业生产中的作用。

第二章 灌溉用水量

分析计算灌溉用水量及其年内变化过程，是灌区水利计算的基本内容之一，并为灌溉工程的规划设计和用水管理以及水资源的合理开发利用提供重要的依据。而作物需水量和灌溉制度又是进行作物灌溉和计算灌溉用水量的主要依据。农田水分状况则是分析作物需水量、制定作物灌溉制度和计算灌溉用水量的基础。

第一节 农田水分状况

农田水分状况系指农田中的地面水、土壤水和地下水的数量、分布、形态及其变化状况。一切农田水利设施，归根结底都是为了调节和控制农田水分状况，从而改善土壤的水、肥、气、热状况和农田小气候，以达到促进农业增产的目的。因此，研究和调节农田水分状况有着十分重要的意义。

一、土壤水

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。它是土壤的重要组成物质，也是土壤肥力的主要因素，更是作物需水的基本来源。土壤水和作物的生长发育密切相关，对作物的产量起着决定作用。

(一) 土壤水分形态

土壤水分主要来自降水和灌水。它和普通水一样，也有固体、液体和气体三种形态。固态水只有在土壤冻结时才出现；气态水以水汽形式存在于未被水分占据的土壤孔隙中，数量很少，一般不超过土壤质量的十万分之一，而且在土壤中存留时间短暂，并不停地向大气中散发；液态水是土壤水分的主要形态，与作物生长发育的关系最为密切。水渗入土壤后，受到土粒表面的分子引力、土壤孔隙的毛管力以及重力作用。液态水按其受力和运动特性可分为三种类型。

1. 吸着水

吸着水受土粒分子吸引力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。吸着水有吸湿水和膜状水两种形态。

吸湿水是土壤孔隙中的水汽在土粒的吸附力为 $1000\sim 3.1\text{MPa}$ 时的吸引下，而被吸附于土粒表面上的水。它牢固的紧贴在土粒表面，既不易移动，也不易蒸发，接近于固态水的性质，其密度可达 $1.4\sim 1.7\text{g/cm}^3$ ，热容量低达 $2.1\sim 3.35\text{J/cm}^3$ ，冰点达 -78°C ，不能呈液态流动，导电性极弱，对溶质没有溶解能力。由于吸湿水受到的土粒的吸力远大于作物根系对水的吸力（平均约为 1.5MPa ），所以也不能被作物吸收利用。土壤中吸湿水的含量决定于土壤质地和胶粒含量以及空气的相对湿度。土壤颗粒越细，胶粒越分散，吸

附力越大，吸湿水越多。当空气相对湿度达到99%~100%(即饱和)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或最大吸湿量。不同质地土壤的吸湿系数在0.034%~6.5%(占干土质量百分数)之间。

当土壤含水率达到吸湿系数后，土粒的分子引力已不能再从空气中吸附水分子，但土粒表面仍有剩余的分子引力。这时，如再遇到土壤孔隙中的液态水，就会继续吸附并在吸湿水的外围形成水膜，这层水叫膜状水，又称薄膜水。膜状水受到土粒的吸力约为3.1~0.625MPa，仍然比较大，故其排列比较紧密，密度大于1g/cm³，冰点-15℃左右，粘滞性较大，无溶解性，移动速度缓慢，一般小于0.2~0.4mm/h，只有与根毛接触时才能被作物吸收利用一小部分。随着膜状水的水膜厚度加大，所受的引力将逐渐减小，以至逐步过渡到自由的液态水。当膜状水达最大值时的土壤含水率，叫最大分子持水率，约为吸湿系数的2~4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 d 成反比，当 $d > 8\text{mm}$ 时，毛管作用不明显； d 为 $8 \sim 0.1\text{mm}$ 时，毛管作用逐渐明显； d 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毛管悬着水和毛管上升水两种。

毛管悬着水是指在地下水埋藏较深，地下水不能向作物根系分布层补给水分的条件下，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。它不受地下水位升降的影响，又不与地下水连通，而且与其下部的土层有明显的界限，好象悬挂在土壤上层，故称毛管悬着水。它是旱田土壤供给作物需水的主要土壤水分。当毛管悬着水达最大值的土壤含水率叫田间持水率，在数量上它包括全部吸湿水、膜状水和毛管悬着水。在生产实践中，常把灌水或降雨两天后测得的土壤含水率作为田间持水率。通常用它作为旱田灌水量的上限，是一个很有实用意义的土壤水分指标。

毛管上升水是指土壤下层的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。毛管水的上升高度和速度，与土壤质地和结构等因素有关，土壤质地越细，孔隙直径越小，毛管水上升高度越大，但上升的速度缓慢，这是因为颗粒细的土壤，内部的表面积大，水分上升时受到的阻力也大；反之，土壤质地越粗，上升高度越小，但上升速度越快。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2-1为各种土壤的毛管水最大上升高度，供参考。

表 2-1

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

由于毛管水被土粒吸持的力较小，约为0.625~0.01MPa，故可以在毛管力的作用下

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。毛管水能溶解矿物质养料，随着水分的移动而输送到作物的各个部分。所以，毛管水是被作物吸收利用的最主要的土壤水分。

3. 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，这部分水叫做重力水。如果重力水下渗到地下水水面，就会转化为地下水，并抬高地下水水位。重力水虽能被作物吸收，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) 土壤含水率的表示方法

土壤含水率又叫土壤含水量，也叫土壤湿度，它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，并用适当的方法加以表示。土壤含水率的测定方法很多，如称重法、电阻法、热传导法、张力计法、中子散射法、 γ 射线法和碳化钙法等，其中以称重法最为常用。具体测法可参考《土力学》或《土壤与农作学》。现将土壤含水率的表示方法介绍如下：

1. 以土壤水分重量占干土重的百分数表示

这种表示方法可用称重法直接测定出来，设备简单，操作方便，精度较高，应用广泛。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 $m_{水}$ 、 $m_{湿土}$ 、 $m_{干土}$ ——分别为土壤中的水、湿土和干土的质量，均以g为单位。

2. 以土壤水分体积占土壤体积的百分数表示

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，或者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。但是，由于土壤水分体积在田间难以测定，所以生产实践中常用含水率的质量百分数换算为容积百分数，算式为：

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

式中 $V_{水}$ 、 $V_{土壤}$ ——分别为土壤水分体积和土壤体积 (cm^3)；

$\rho_{土}$ ——土壤干密度 (g/cm^3)。

3. 以土壤水分体积占土壤孔隙体积的百分数表示

这种表示方法能清楚地表明土壤水分占据土壤孔隙的程度。孔隙百分数也常用质量百分数进行换算，公式为：

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

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
这种表示方法是表示土壤含水率的相对概念, 算式为:

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

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

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, 并以mm为单位。

(三) 土壤水分的有效性

土壤中持有的水分, 并不是都能被作物吸收利用的, 这取决于作物根系和土壤对水分吸力的对比。作物根系的吸水力因作物种类、品种等而异, 大约在0.3~3.0MPa之间, 平均1.5MPa左右。受土壤吸力小于1.5MPa的那部分土壤水分, 可被作物吸收利用, 称为有效水; 受土壤吸力大于和等于1.5MPa的那部分土壤水分, 不能被作物吸收利用, 称为无效水。所以, 土壤对水分的吸力为1.5MPa时, 是有效水和无效水的分界限, 这时相应的土壤含水率叫做凋萎系数。土壤对水分的吸力超过1.5MPa, 也就是土壤实际含水率小于凋萎系数时, 作物很难从土壤中吸收到水分而呈现永久性凋萎, 所以, 这时的土壤含水率又叫永久凋萎系数, 它是作物吸收土壤水分的下限含水率, 约相当于吸湿系数的1.5~2倍。前已述及, 田间持水率是土壤有效水的上限。所以, 永久凋萎系数至田间持水率之间的那部分水量是土壤的最大有效水量。不同土壤的田间持水率及最大有效水量如表2-2所示。

表 2-2 不同土壤的田间持水率及有效水量 (占干土质量百分数)

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
粘土	23~30	12~17	11~13

根据上述分析可知, 土壤中的吸湿水为无效水; 膜状水中的大部分为无效水, 少部分为有效水; 毛管水为有效水。

当土壤含水率降至永久凋萎系数时, 作物将呈现永久性凋萎, 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, 并把它叫做初期凋萎系数。这时相应的土壤对水分的吸力约为0.8MPa, 其值约为田间持水率的60%左右。即当土壤含水率下降至初期凋萎系数时, 作物吸水不足, 呈现旱象, 需要及时灌水。

综上所述，可将土壤水分形态、水分特征指标、土壤水分的有效性以及它们之间的关系，用图2-1表示。

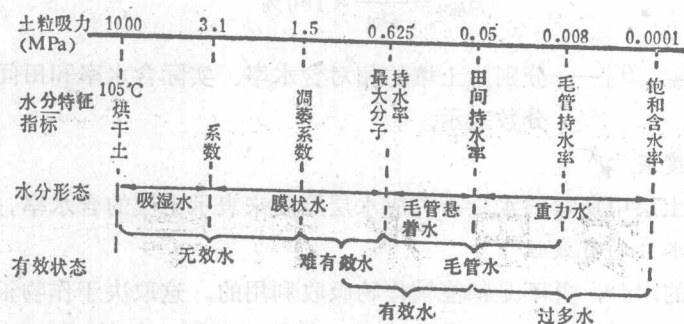


图 2-1 土壤水分关系示意图

二、农田水分状况

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) 旱作地区适宜的农田水分状况

旱作地区的土壤水分形态及其对作物的有效性已如前述，结论是：适宜土壤含水率的下限是初期凋萎系数，上限是田间持水率，即适宜于作物生长的土壤含水率应在 $(0.6 \sim 1) \beta_{\text{田}}$ 之间。

旱作地区的农田田面是不允许长期积水的，除高粱在孕穗期以后可以允许淹水7d以内外，其他旱作物的开花、孕穗期间，一般只允许地面积水1~2d，淹水深度10cm左右。

作物对地下水的要求主要是地下水位适宜。地下水位过高，会使作物遭受渍害，甚至造成土壤盐碱化。为了防止渍害和土壤盐碱化，不同土壤、各种作物要求的地下水埋深一般应距地面1m以下，详见第八章第二节。

(二) 水稻地区适宜的农田水分状况

水稻是一种喜水作物，除烤田期外，田面需要经常维持一定深度的水层，以满足水稻的生理要求，调节稻田温度，减少昼夜温差，防止过冷或过热对水稻生长的不利影响，使土壤中有较多的营养物质处于有效状态，便于水稻根系吸收，还可抑制某些杂草的孽生。但是，稻田的淹水也不宜深度过大和时间过长，否则，会使土壤空气缺乏，微生物活动减弱，有机质分解缓慢，有毒物质增多，根系发育不良，吸收能力衰减，且易造成发病条件。因此，生产实践中，多采用浅水勤灌、适时晒田的灌水技术，使淹水层经常处于适宜水层的上、下限之间。适宜水层的上、下限，随水稻种类、品种和生育阶段而不同，应根据灌溉试验成果和群众丰产灌水经验确定。在水源供水不足的地区，可以拦蓄天然降雨量，以减少灌溉用水量，但蓄水深度应有严格的限制。表2-3给出长江中下游地区各生育阶段的适宜水层深度，可供参考。

水稻地区的地下水状况，因地形、土壤等条件而不同。地势低平、出流条件差的地区，地下水可与地面水连为一体；地势较高、出流条件好的地区，地下水与地面保持一定的距离。水稻地区地下水位过高或过低，对水稻生长都不利。地下水位过高，土壤长期处