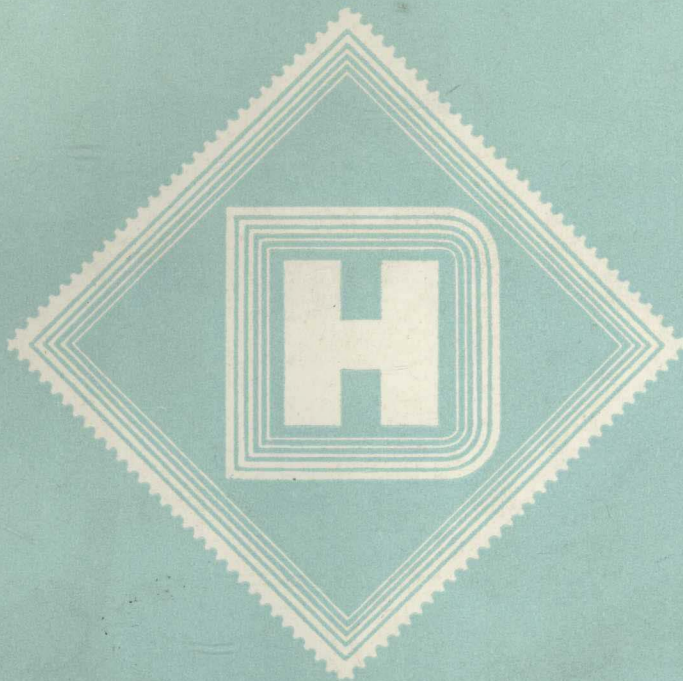


函授大学教材



农田灌溉与排水

河海大学 房宽厚 赖伟标 合编



函授大学教材

农田灌溉与排水

河海大学 房宽厚 赖伟标 合编

水利电力出版社

(京)新登字115号

函授大学教材

农田灌溉与排水

河海大学 房宽厚 赖伟标 合编

*

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 23.25印张 526千字

1993年6月第一版 1993年6月北京第一次印刷

印数0001—4590册

ISBN 7-120-01776-4/TV·636

定价 14.30 元

内 容 提 要

这是一本农田水利工程专业的函授教材。可供从事农田水利规划、设计、管理工作的人员自学或在实际工作中参考。

本书共十一章，包括：农作物生长的环境条件、灌溉用水量和灌水方法、渠道灌溉系统工程规划、灌溉渠道设计、管道灌溉系统的规划设计、井灌规划、田间排水工程规划、排水沟道系统规划设计、不同类型地区的治理规划、灌溉排水试验、灌溉排水系统管理。

农田灌溉工程

综合 水利部 农业院校 大学教材

前 言

本书是为“农田水利工程专业”编写的函授教材。初稿于1986年9月写成，在函授教学中使用过两遍。后根据1987年12月审订的《农田灌溉与排水函授教学大纲》进行了修改和补充，于1988年7月完稿，又使用过三遍。本次出版前根据专家评审意见又进行了修改和补充。

农田灌溉与排水是一门专业课，旨在向学生介绍农田灌溉与排水的基本原理、灌溉工程和排水工程规划及设计的基本方法和管理运用的基本知识。全书包括绪论和十一章内容。“绪论”部分简要介绍了中国灌溉排水事业的任务和建设成就。第一章从农作物生长对环境条件的要求出发，概略地论述了农田灌溉与排水对农业生产的重要作用。第二章论述灌溉用水量的计算方法和田间灌水方法。第三章至第五章介绍灌溉工程规划设计的基本方法。第六章讲述井灌区的规划方法。第七、八章介绍排水工程的规划设计方法。第九章介绍不同类型地区灌排工程规划的经验。第十章叙述灌溉排水试验的内容和观测研究方法。第十一章介绍灌排系统的管理工作内容、运行管理方法和维修养护技术。

在编写过程中，我们充分考虑了函授生以自学为主的特点，在各章的开头写了“学习提示”，说明各章学习的要点，建议应采用的学习方法。在各章的末尾附有“复习思考题”和“练习题”，引导学生逐章进行复习和自我测验。在阐述教材内容时，我们力求突出主要概念、文字通俗易懂。但是，限于我们的水平，缺点和错误在所难免，欢迎批评指正。

本书稿曾由五位同行专家评审，提出了宝贵的修改意见，对这些专家的支持和帮助，我们谨致深切的谢意。

本书由河海大学房宽厚和赖伟标编写。绪论和第一、二、三、四、五、十、十一章由房宽厚编写；第六、七、八、九章由赖伟标编写。全书由房宽厚统稿。

编 者

1993年1月

目 录

前言

绪论	1
第一章 农作物生长的环境条件	6
第一节 水与作物栽培的关系	6
第二节 作物生长的土壤环境	8
第三节 农田小气候	21
第二章 灌溉用水量和灌水方法	26
第一节 作物需水规律	26
第二节 作物需水量的估算	30
第三节 灌溉用水设计典型年的选择	40
第四节 作物的灌溉制度	42
第五节 灌溉用水量计算	54
第六节 灌水方法	58
第三章 渠道灌溉系统工程规划	71
第一节 灌溉水源和灌溉水质	71
第二节 以河流为水源的灌溉取水方式	74
第三节 引水灌溉工程的水利计算	7
第四节 灌溉渠系及渠系建筑物规划布置	84
第五节 田间工程规划	87
第四章 灌溉渠道设计	93
第一节 灌溉渠道水量损失	93
第二节 渠道设计流量的推算	96
第三节 渠道纵横断面设计	100
第四节 渠道防渗	115
第五章 管道灌溉系统的规划设计	124
第一节 压力管道的水力计算	124
第二节 喷灌系统的规划设计	135
第三节 滴灌系统的规划设计	137
第四节 低压管道输水灌溉系统的规划设计	140
第六章 井灌规划	147
第一节 概述	147
第二节 常用的井型	157
第三节 井的渗流计算	165
第四节 地下水资源分析计算	177

第五节	井灌区规划	184
第七章	田间排水工程规划	190
第一节	农田渍涝原因和排水标准	190
第二节	田间排水工程的类型和作用	195
第三节	田间排水工程规划	200
第四节	田间排水沟的沟深和间距计算	204
第八章	排水沟道系统规划设计	221
第一节	排水沟道系统布置	221
第二节	排水承泄区	224
第三节	排水沟道的设计流量	226
第四节	排水沟道的设计水位	233
第五节	排水沟道纵横断面设计	235
第九章	不同类型地区的治理规划	246
第一节	山区丘陵地区的治理规划	246
第二节	南方平原圩区的治理规划	259
第三节	北方平原地区的治理规划	274
第十章	灌溉排水试验	294
第一节	灌排试验的场地建设	295
第二节	试验设计	297
第三节	灌溉试验	302
第四节	排水试验	330
第十一章	灌溉排水系统管理	335
第一节	灌区管理工作概述	335
第二节	灌溉用水计划的编制和执行	338
第三节	灌区水量量测	344
第四节	渠道工程的管理	345
第五节	渠系建筑物的管理	351
第六节	排水工程的管理	358

绪 论

一、灌溉排水对发展中国农业生产的作用

中国大部分地区位于北温带和亚热带，发展农业生产有充分的热量资源和适宜的气候条件，农作物可一年两熟或三熟，需热量较多的水稻和玉米等作物在全国绝大部分地区都可以种植，小麦、大豆等粮食作物的种植更为普遍，棉、麻、油料、糖类等经济作物的栽培也十分广泛。

中国大陆的地势西高东低，呈阶梯状。这种地形特征发育了无数小溪，汇集成许多江河，大部分河流滚滚东流，泄入太平洋，主要江河有长江、黄河、珠江、辽河、松花江等。它们是中国东西交通的动脉、灌溉的主要水源和排水的主要出路，为发展农业生产提供了十分有利的条件。

勤劳勇敢的中国人民自古以来就借助这些有利的自然条件，发展农业生产，积累了利用自然和改造自然的丰富经验。这是我们进行农业现代化建设的宝贵资源。

中国农业生产的发展，也有一些不利因素，主要是人均占有的耕地面积较少，可供利用的水资源不够充分，自然灾害频繁。

中国的山地、高原和丘陵约占国土面积的三分之二，水面积也很辽阔，适宜于农业耕作的面积较小，现有耕地面积约15亿亩，仅占国土面积的10.4%，按1990年的11亿人口计算，人均占有耕地仅1.36亩，远低于世界平均水平。林地和草场也与此类似。因此，中国农业发展的方向只能是精耕细作，不断提高单位面积产量，向有限的土地索取更多的粮食和其他农副产品。

表 0-1 中国与世界人均农用土地比较

项 目	中国(亩/人)	世界(亩/人)	项 目	中国(亩/人)	世界(亩/人)
国 土	13.10	49.5	林 地	1.95	15.45
耕 地	1.36	5.55	草 场	4.65	11.40

中国多年平均年降水量约 6 万亿 m^3 ，折合降水深 630mm，低于全球陆面年平均降水深 (834mm)，也低于亚洲陆面年平均降水深 (740mm)。河川年径流总量为 2.7 万亿 m^3 ，居世界第 6 位。人均占有水量逐年减少，1990 年的人均占有水量为 2465 m^3 ，只有世界人均占有量 9360 m^3 的四分之一。每亩耕地占有水量 1800 m^3 ，占世界亩均水量 2353 m^3 的 76%。水资源在地区分布上也很不均匀，总的来说，南方水量有余，北方水量不足。长江流域以北地区的耕地面积占全国总耕地面积的 70%，而水资源只占全国的 30%。黄河流域、淮河流域、海河流域每亩耕地占有水量分别为 362 m^3 、337 m^3 、170 m^3 ，只有全国平

均值的20%、19%、9%。黄、淮、海平原是中国主要的粮棉生产基地之一，生产潜力很大，但水资源严重不足，是发展农业的主要障碍。北京、天津等地区水资源不足的现象更为突出。随着工业的发展和城市用水量的增加，农业用水将受到愈来愈多的制约。

中国主要江河流域的水资源状况和世界部分国家的水资源对比见表0-2和表0-3。

表 0-2 中国主要江河流域的水资源状况

流 域	河川年径流 (亿m ³)	人 口 (万)	耕 地 (万亩)	人均水量 (m ³ /人)	亩均水量 (m ³ /亩)
松 花 江	742	5112	15662	1451	474
辽 河	148	3400	6643	435	223
海 滦 河	288	10987	16953	262	170
黄 河	661	9233	18244	716	362
淮 河	622	14169	18453	439	337
长 江	9513	37972	35171	2505	2705
珠 江	3360	8202	7032	4097	4778

表 0-3 部分国家的水资源状况

国 家	年径流量 (亿m ³)	单位面积 产水量 (万m ³ /km ²)	人 口 (亿)	人均水量 (m ³ /人)	耕 地 (亿亩)	亩均水量 (m ³ /亩)
巴 西	51912	60.9	1.23	42200	4.85	10701
苏 联	47140	21.1	2.64	17860	34.00	1385
加 拿 大	31220	31.3	0.24	130080	6.54	4771
美 国	29702	31.7	2.20	13500	28.40	1046
印 尼	28113	147.6	1.48	19000	2.13	13200
中 国	27115	28.4	11.0	2465	15.0	1800
印 度	17800	51.4	6.78	2625	24.70	721
日 本	5470	147.0	1.16	4716	0.65	8462
全 世 界	468000	31.4	50.0	9360	198.90	2353

注 外国人口按1979年联合国统计数，全世界人口按1987年世界人口日统计数，中国人口按1990年国家统计数。

中国地域辽阔，地形复杂，受季风气候的影响显著，降水量在时间上和空间上的分布都很不均匀。离海越远，降水量越少，由东南沿海到西北内陆，年平均年降水量由1600mm以上逐渐减少到50mm以下。按年降水量的多少可把全国分为5个不同的气候带，见

表 0-4 按年降水量划分的气候带

气候带	多年平均降水量(mm)
多雨带	>1600
湿润带	800~1600
半湿润带	400~800
半干旱带	200~400
干旱带	<200

表0-4。

在多年平均年降水量等值线图上，400mm的等雨量线从东北到西南，形似对角线，斜穿中国大陆，这条线西部的面积占国土面积的45%，属于干旱地区和半干旱地区，降水量远不能满足农业生产的需要。

年降水量在时间上的分配也很不均匀，形成了明显的雨季和旱季。以秦岭山脉和淮

河为界,把中国分为南方和北方。南方的雨季出现在3~6月或4~7月,4个月的降雨量占全年降水量的50%~60%;北方的雨季为6~9月,4个月的降雨量占全年降水量的70%~80%。降水量的年际变化也很大,多雨年或少雨年时常接连出现,大旱、大涝、连旱、连涝等自然灾害给农业生产带来极大的威胁。据史料记载,自公元前206年到1949年的2155年间,发生过较大的水灾1029次,较大的旱灾1056次,加在一起共2085次,几乎每年平均就有一次较大的水旱灾害。1920年,陕西、河南、河北、山东、山西等五省大旱,灾民2000万人,死亡50万人。1928年的特大旱灾覆盖了华北、西北、西南等地区13个省的535个县,灾民达1.2亿人。1939年黄河流域又发生大旱,灾民达3400万人。水灾主要发生在黄河、长江、淮河、海河、珠江、辽河和松花江等七大江河的中下游地区。这些地区人口密集,经济文化发达,地面高程大部分在江河洪水水位以下,主要依靠堤防保护,一旦堤防溃决,往往造成毁灭性的灾害,损失十分惨重。

综上所述,中国农业生产的发展有光热资源充足、灌溉引水和农田排水比较方便等有利条件,但因人多地少,要求有很高的生产水平。由于水资源不足,降水量的时空分布不均,与农业用水要求很不一致,供需矛盾突出,水旱灾害频繁,影响范围遍及全国。在这种特定的自然条件下,只有兴修水利工程,抵御水旱灾害,才能为农业生产创造一个稳定发展的环境。灌溉工程的作用在于通过引水、蓄水等措施,改变地面水资源的时空分布,开发利用地下水资源,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泄多余的地面径流和过多的土壤水分,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、保证农业稳产高产的重要物质基础。

二、中国灌溉、排水工程建设的成就

中国是世界上发展最早的文明古国之一。几千年来,中国人民兴修了无数的灌溉、排水工程,和水旱灾害进行了顽强的斗争,为民族的生存和国家的发展写下了光辉灿烂的历史篇章。相传夏商时期,在黄河流域就出现了“沟洫”,即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(今安徽省寿县境内的安丰塘),利用天然湖泊构筑成周长65km、总库容1.71亿 m^3 的大型水库,汇集山丘坡地的地面径流,并引蓄洪水,发展灌溉。公元前4世纪,魏国的西门豹领导人民在今河北省的漳水两岸修建了12条引水灌溉兼起分洪作用的综合利用工程。秦代兴建的都江堰和郑国渠等大型引水灌溉工程把中国的水利工程技术发展到一个更高的阶段。都江堰工程位于四川省灌县,始建于公元前256年,从岷江引水,灌溉川西平原几百万亩良田,引水枢纽工程长达两公里,规模十分壮观。完美的设计和科学管理使这个伟大的灌溉工程两千多年来长盛不衰,一直发挥着它的巨大效益,使成都平原成为“水旱从人,不知饥馑”的“天府之国”。郑国渠位于陕西省关中平原的北部,始建于公元前246年,从泾河引取富含细粒泥沙的水流,淤灌盐碱土地270万亩,兼收灌溉、施肥、改碱一举三得之利。此外,宁夏的秦渠、汉渠以及浙江的鉴湖等都是秦汉时期兴建的大型灌溉工程。本世纪前期,著名水利专家李仪祉先生在陕西关中平原主持兴建的渭惠渠、泾惠渠和洛惠渠等大型灌区,为我们积累了用现代技术建设和管理灌溉工程的丰富经验。

在防洪除涝方面，唐代已有大型排水工程，如河北省沧州的无棣沟、任丘县的通利渠等。五代时期，在江苏省的太湖流域已形成浦塘制，即纵横交叉的人工河网，可用于灌溉、排涝、泄洪、运输等多种目的。

但是，漫长的封建社会严重压抑了人民的聪明才智，束缚了生产力的发展，特别是近几个世纪以来，由于地主阶级的残酷统治和帝国主义势力的入侵，生产发展缓慢，水利建设停滞不前，古代兴建的许多灌溉排水工程都因年久失修而湮灭，保留下来的工程大都残缺不全，效益很低。1949年，中华人民共和国成立时，全国的灌溉面积只有2.4亿亩，仅占耕地面积的16%，灌排工程的基础十分薄弱。

建国40多年来，在中国共产党的领导下，灌溉排水工程建设取得了巨大的成就。对原有工程进行了恢复和改建，扩大了工程效益，又新建了许多大型综合利用的水利工程和很多中小型灌排工程。截至1988年，全国兴建的大、中、小型水库8万多座，总库容4500亿 m^3 ，还有小型塘堰600多万处；农用机电排灌设备达到620万台，排灌动力6437万kW（其中农用机井252万眼，总动力2537万kW）；万亩以上的大中型灌区5300多处，其中30万亩以上的大型灌区146处；灌溉面积7.2亿亩，占耕地面积的48%；水稻年播种面积达4.8亿亩，总产量比1949年增加近3倍；旱作物的灌溉面积从1949年的4800万亩增加到3.6亿亩；全国3.6亿亩低洼易涝农田中已有2.8亿亩得到了初步治理，约占78%，1.1亿亩盐碱耕地中已有0.72亿亩得到不同程度的改良，约占65%。灌溉排水工程在抗御水旱灾害、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，例如：宁夏、内蒙古、河南、山东等省（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。随着农村经济体制改革的进行，农民的生产积极性大大提高，灌排工程的增产作用也更加显著。1990年同1980年相比，农业总产值增长了84.6%，平均每年增长6.3%，1990年的粮食产量达到4350亿kg，粮食和棉花的产量已居世界首位。我们用占总耕地面积不到一半的可灌溉耕地，生产了占全国总产量2/3的粮食，和占全国总产量3/4的棉花；用占世界7%的耕地，解决了占世界22%人口的温饱问题。

总之，中国的灌溉排水工程建设有着悠久的历史，历代兴建的灌排工程对治国安邦发挥了巨大的历史作用。40多年来的灌排工程建设成就更加灿烂辉煌，为中国的农业现代化建设创造了良好的条件。

三、中国的灌溉排水事业任重道远

在过去的40多年中，中国的灌溉排水事业取得了巨大的成就，但与建设现代化农业的要求相比，还有很大差距。水旱灾害对农业的威胁还远没有消除，每年平均受灾面积约占耕地面积的四分之一。全国还有一半以上的耕地没有灌排工程设施，无法抗御旱涝灾害的侵袭。现有的灌排工程普遍存在着工程失修、设备老化、效益不高的现象，加上水源变化、基建占地、投入减少等因素，有些灌区的工程效益还出现了衰减的趋势。在现有灌区，水资源的浪费现象十分严重，能源消耗很大。大中型灌区的渠系输水损失水量一般约占渠首引水量的一半。由于管理不善和灌水技术落后，灌溉用水量很大。全国农业年用水量达4000亿 m^3 ，占总用水量的86%。机电排灌站的年用电量达100亿kW·h，占农村总用电

量的40%。过量的用水和耗能大大降低了工程的经济效益。在农田排水方面，还有四分之一的低洼易涝农田亟待治理，初步治理的易涝农田还需要提高治理标准。还有近4000万亩的盐碱地需要改良。

随着人口的不断增长和国民经济的发展，对农业生产和水利建设的要求越来越高。预计到2000年，中国的人口将超过12亿，住房占地将不断扩大，工业和交通运输业的发展也要占用更多的土地，耕地面积将随之减少，水资源的供求矛盾将进一步加剧，我们必须利用有限的耕地生产出越来越多的粮食。根据《中华人民共和国国民经济和社会发展十年规划和第八个五年计划纲要》确定的目标，到2000年，全国粮食产量要达到5亿t，棉花产量要达到525万t。要实现这个目标，就必须进一步发展农业，贯彻“一靠政策，二靠科技，三靠投入”的指导思想，走“科技兴农”的道路，“要把水利作为国民经济的基础产业，放在重要的战略地位”。以改造现有水利工程为重点，充分挖掘现有工程的潜力，进一步提高工程效益。并适当兴建新的灌排工程，扩大灌溉面积。这个任务是十分艰巨的，也是十分光荣的。我们要进一步总结和继承中国灌溉排水工程建设的经验，吸收世界其他国家的先进技术，把灌溉排水工程的规划、设计、施工和管理工作提高到一个新的水平，为发展灌溉排水科学技术和加速中国农业现代化建设而努力奋斗。

第一章 农作物生长的环境条件

学 习 提 示

灌溉、排水工程主要为农业增产服务，农田水利工作者要履行自己的职责，做好服务工作，就必须了解农作物生长的环境条件，以便通过水利工程技术措施为农作物的生长创造良好的环境，取得优质、高产的效果。农作物生长的环境条件包括：①土壤能为作物的生长发育提供适宜的水分、养料、空气和温度；②农田小气候影响着田间的热量平衡，决定着农作物对辐射能的利用程度；③农田水分状况对土壤的肥力状况和农田小气候都有很大影响，水也是作物从土壤中吸取养分和输送养分的重要媒介，是植物进行光合作用、制造碳水化合物的主要原料。这三个环境条件互相渗透，互相影响，都直接影响着作物的生长和发育。本章学习的重点是：了解各个环境条件的主要内容及其对农作物生长发育的影响、土壤水分对作物生长的有效性及适宜土壤含水量的范围、影响土壤水分运动的主要因素以及描述土壤水分运动的表达式。

第一节 水与作物栽培的关系

水是作物生长的基本条件之一，又是土壤肥力的一个重要因素，它直接影响着作物的生长发育。一些农业技术措施也和水有着密切的关系。

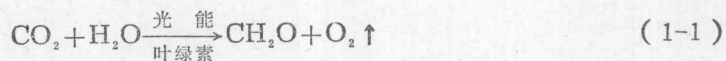
一、水对作物的生理作用

(一) 水是作物有机体的重要组成部分

植株是由脂肪、矿物质、碳水化合物、蛋白质和水组成的，一般农作物植株中的水量占植株总重量的65%~80%，蔬菜和块根作物高达90%~95%以上。正是这些水分充满了植株的所有细胞，维持着作物固有的形态，使植株挺立，叶面伸展，保证了各种生理活动的正常进行。

(二) 水是作物制造养分的原料

绿色植物的叶子里含有一种特殊的物质——叶绿素，它能利用光能，把从外界吸收进来的二氧化碳(CO₂)和水(H₂O)制造成潜藏着化学能的有机物质。绿色植物将日光能转变为贮藏的化学能，将无机物转变为有机物的自然过程叫做“光合作用”，可用式(1-1)表示它的反应过程。



式(1-1)中的CH₂O代表光合作用产生的有机物。绿色作物的叶子就象一座座“绿色工厂”，在这奇妙的工厂里，把由叶面气孔进入的空气中的二氧化碳和植物根系从土壤

里吸取的水分作为原材料，以太阳辐射来的光和热作为动力，通过叶绿素这个能量转换机械，不断地制造出糖和淀粉等有机物质，为植物生长发育提供养料，为人类提供粮食、蔬菜和其他必需的物质，还不断地向我们赖以生存的自然界补充氧气。可见，绿色植物合成有机物的这种特殊本领对人类的生存具有十分重要的意义。

（三）水是作物体内输送养分的工具

种子发芽时，贮存在种子里的营养物质要经过水解以后，才能送到幼芽中去，满足幼芽生长的需要；土壤中的无机盐类以水溶液状态被作物根系吸入后，通过体内的输导组织，送往植株的各个部分；作物叶子通过光合作用制造的有机物质，也要借助水，以水溶液状态被送往植株的消费和贮藏器官里去。如果作物体内缺水，营养物质的输送、正常的生理活动都要受到阻碍，就会影响作物的正常生长。

二、水对作物生活环境的影响

作物的生活环境主要包括土壤状况和近地面的气候条件。土壤状况系指土壤的结构和水、肥、气、热状况，又称作土壤肥力。水是土壤肥力的一个重要因素，可以直接被作物吸收利用；水又与其他肥力因素以及农田气候条件有着密切的关系。水对土壤的通气状况、温热状况、养分状况等都有直接的影响，通过调节、控制土壤水分可以达到调节土壤通气状况、温热状况和肥力状况的目的。土壤水分的蒸发对农田小气候有着明显的影响。这些关系和影响我们将在第二、三节中详细叙述。通过调节土壤水分状况，提高土壤肥力，改善农田小气候，为作物生长创造良好的环境，正是农田灌溉和排水的最终目的。

三、水与农业技术措施的关系

农田水分状况对农业技术措施的质量和效果影响很大，灌溉、排水必须和农业技术措施密切配合，才能充分发挥水的增产作用。

（一）水与土壤耕作的关系

影响耕作质量的主要自然因素是土壤的物理性能，而水分状况是影响土壤物理性能的重要条件。水分过少的土壤，土粒之间的粘结性很强，耕作费力，土块不易破碎，耕作质量差；过湿的土壤对耕作机械的粘着力较大，也增加了耕作阻力，而且过湿土壤的可塑性很大，耕作时会形成很大的土块。所以，土壤过湿和过干都不利于耕作。旱田宜耕的土壤含水量应稍低于土壤可塑下限（土壤表现塑性时的最小含水量）；水田干耕时和旱地要求相同，湿耕时的土壤含水量应大于可塑上限（土壤表现塑性时的最大含水量）。

正确的耕作有利于改善土壤的物理性状，提高土壤的透水性和持水能力，能充分利用降雨和灌溉水量。旱田的适时中耕能够建立一个疏松的表土层，切断土壤毛管，减少土壤水的蒸发损失。相反，如果采用不合理的耕作方法或使用不适当的耕作机具，就会破坏土壤结构，恶化土壤的物理性状。

（二）水与施肥的关系

适当施肥、补充土壤养分是保证作物正常生长、提高作物产量的需要，施肥的效果与土壤水分状况有着密切的关系。为了提高施肥效果，旱作物播前施肥应在灌水后进行，以免肥料流失；生育期内宜先施肥后灌水，借灌溉水的下渗使肥料移至根系周围，以利作物吸收，水溶性强的肥料也可在灌水之后施入；水稻追肥前应适当降低水层，追肥后结合耘

稿使水、肥、土融为一体，当水层快渗完时再灌浅水，切忌追肥后立即排水，以免肥料流失。

(三) 水与植物保护的关系

防治病虫害和消灭杂草是保证作物正常生长的重要农业技术措施。一些病虫害的发生和消长与田间水分状况关系密切。合理的灌溉和排水，可以改善田间小气候，防治病虫害。例如：稻瘟病、纹枯病、白叶枯病等水稻病害，都是在稻田长期深灌、通风透光不良、空气湿度高等条件下发病的。采用浅水勤灌、适时晒田等合理用水措施，就能对上述病虫害有效地进行防治。小麦的锈病、赤霉病和棉花的炭疽病、立枯病等，在湿度大的条件下容易发生。在多雨潮湿的地区，加强麦田和棉田排水，降低田间土壤含水量和空气湿度，就能抑制病害的发生和发展。用药物治虫灭草，也需要灌溉排水措施的密切配合。例如：在水稻田撒施毒土（拌和六六六粉或甲六粉的细土）治螟时，要求稻田保持1.5~2.0寸（1寸=3.3cm）深的水层，3~4d内不排水，使用敌稗消灭水稻田内三叶期以前的稗草和其他幼嫩杂草时，喷药前要排水落干，喷药后两天不灌水，以后再灌两天深水。使用除草醚、扑草净等除草剂时，需要维持1寸左右的水层4~5d，以提高除草效果。

第二节 作物生长的土壤环境

“万物土中生”，土壤是作物生长的主要环境，作物扎根于土壤之中，不断地从土壤中吸取水分和无机盐类，并从土壤中不断地获得氧气。因此，这个生活环境对作物的生长发育至关重要，现在，就让我们概略地认识一下这个环境。

一、土壤的组成

任何一种土壤都是由固体、液体和气体三类物质组成的一个整体。固体物质包括无机体和有机体，它们是组成土壤的基本成分。固体约占土壤总体积的50%左右，其中40%以上是矿物质颗粒（无机体），构成了土壤的主体，搭起了土壤的骨架。另外约10%的固体物质是有机体，主要是腐殖质，它是土壤肥力的精华。腐殖质常常胶结在矿物质颗粒的表面，形成有机无机复合体。在固体物质之间，存在着大小不同的孔隙，占据土壤总体积的另外50%。孔隙里充满着水分和空气，水分一般占土壤总体积的15%~35%，其余孔隙充满着空气。土壤水分实际上是含有可溶性养分的土壤溶液，它在土壤孔隙中可以向各个方向自由移动，好比是土壤的血液。孔隙中的空气与大气不断进行交换，大气补给土壤氧气，土壤又吐出碳酸气。

(一) 土壤矿物质

土壤是由岩石风化形成的，岩石风化后变成许许多多粗细不同的颗粒，称为土壤的矿物质颗粒，也就是常说的土粒。土壤矿物质颗粒通常占土壤固体部分重量的95%~98%以上，它的大小和数量直接影响着土壤的物理、化学性质，它也是植物矿物质养分的重要来源，可以说土壤的水、肥、气、热状况无不受土壤矿物质颗粒所制约，它同土壤肥力有着十分密切的关系。

土粒的大小很不一致，为了便于区分，瑞典土壤学家爱特伯把土壤颗粒按其粒径分成

几个粒组(表1-1),由于他提出的这个分组标准进位简明,后来在国际土壤学会上,被确定为国际通用标准。

任何一种土壤总是由不同数量的大小土粒搭配在一起的,土壤学里把大小不同的土粒的不同组合叫做土壤的机械组成,又叫土壤质地。通常以含粘粒的多少,把土壤分成砂土、壤土和粘土(表1-2)。

土壤质地是影响土壤肥力的重要因素之一。砂土含粘粒少,颗粒粗,土粒间的孔隙大,土粒的表面积小,对水分和养分的吸附力就较小,保水、保肥能力差。另外,土壤孔隙里含水少,含气多,在相同条件下,砂土的湿度升得快,也降得快。粘土和重粘土含粘粒多,表面积大,因而保水、保肥能力强,但是,土粒间的孔隙很小,下雨时,土粒吸附的水膜堵塞了水分下渗的通路,很容易积水,使庄稼受涝。壤土含有适量的粘粒,也含有适量的砂粒,群众称之为二合土。壤土虽然透水性不如砂土,保水能力不如粘土,但它既没有砂土那种漏水漏肥的缺点,也没有粘土那种容易使庄稼受涝、耕作困难、土温不易升高的毛病。所以,壤土是理想的农业土壤。中国农民早就用“客土”的办法改良砂土和粘土,就是把砂子送到粘土田里,将粘土搬到砂土田里,然后用犁将砂子和粘土掺和起来,收到了良好的效果。

表 1-1 国际制粒径等级表

粒组名称	土粒直径(mm)
石 砾	>2
粗 砂 粒	2.0~0.2
细 砂 粒	0.2~0.02
粉 砂 粒	0.02~0.002
粘 粒	<0.002

表 1-2 土 壤 质 地 分 级 表

土 壤	重 粘 土	粘 土	壤 土	砂 壤 土	砂 土
含粘粒(%)	> 60	50~60	30~50	10~30	< 10

中国在进行第二次全国土壤普查中,统一采用了国际制土壤质地分级标准(表1-3)。这个标准分级很细,对土壤工作和指导农业生产很有用处,但对水利工作来说,不必区分太细,仅供参考。

表 1-3 国际制土壤质地分级标准

质地名称	粘粒(%)	粉粒(%)	砂粒(%)	质地名称	粘粒(%)	粉粒(%)	砂粒(%)
砂 土	0~15	0~15	85~100	粉砂粘壤土	15~25	45~85	0~40
砂 壤 土	0~15	0~45	55~85	砂 粘 土	25~45	0~20	55~75
壤 土	0~15	35~45	40~55	壤 粘 土	25~45	0~15	10~55
粉砂壤土	0~15	45~100	0~40	粉砂粘土	25~45	45~75	0~30
砂粘壤土	15~25	0~30	55~85	粘 土	45~65	0~55	0~55
粘 壤 土	15~25	20~45	20~55	重 粘 土	65~100	0~55	0~35

测定土壤机械组成的方法很多,在实验室里多采用吸管法和比重计法。它们的原理都是利用大小不同的颗粒在静水里沉降的表速度不同,测定出土壤中各种土粒所占的百分

数。这里，我们介绍一种在野外勘测中鉴别土壤质地的简易方法：从农田里抓起一把土壤，用水和成泥巴，然后团成泥球或搓成一根小手指粗的细泥条，再把泥条弯成圆环，从它的表现判断土壤质地：①能团成球，搓成细泥条并弯成圆环时，细泥条不会断裂，这种土壤就是粘土。②能团成球，也能搓成细泥条，但把细泥条弯成圆环时，就会发生裂纹，甚至断裂，这种土壤就是壤土。③不能团成球，或虽能勉强团成球但不能搓成细泥条，这种土壤便是砂土。

（二）土壤有机质

土壤有机质泛指土壤中的生物、生物遗骸及其转化形成的中间物质。可以概括为两类：一类是新鲜的有机质；一类是腐殖质。新鲜的有机质包括庄稼收获后留在土壤里的根茎和枯枝落叶、施到地里的农家肥料以及生活在土壤里的各种各样的微生物。

土壤有机质里含有植物需要的各种各样的营养物质，但因不溶于水，因此不能被作物吸收利用。有机质只有被生活在土壤中的微生物分解为简单的无机化合物，才能溶解于水，成为可以被作物吸收的养料。这个分解过程叫土壤有机质的矿质化作用。微生物在生活过程中，通过身体的细胞膜，向体外分泌出一种特殊物质，这种物质叫做酶，酶能把组成动物和植物细胞的复杂物质变成能够溶解在水中的简单物质。溶解在水中的物质除少部分被微生物吸收外，大部分可供农作物吸收利用。上述分解过程是由好气性细菌完成的。改善土壤结构，调节土壤水分状况，保持土壤良好的通气性能，就能促进好气性微生物的活动，加快有机质的矿质化过程，为农作物提供足够的养料。如果土壤通气不良，在厌气性细菌的作用下，有机质被缓慢分解并重新合成一种新的有机化合物——腐殖质，这个过程叫腐殖质化过程。在厌气性微生物作用下，会产生大量的有机酸和一些还原性物质，如甲烷(CH_4)、氢、硫化氢(H_2S)等。这些还原性物质积累多了，庄稼生长就要受到抑制，严重时出现黑根、烂根等现象。腐殖质对改善土壤结构、保存土壤肥力有一定的作用。

（三）土壤空气

前面已经提到在土壤中孔隙体积约占总体积的50%，水和空气充满了这些孔隙，二者相互消长，处于矛盾状态。其矛盾程度与土壤的结构有密切关系，直接影响土壤的通气。土壤中的孔隙大小不同，通常把孔径大于0.1mm的通气孔隙称为大孔隙（又叫非毛管孔隙）；把孔径0.001~0.1mm的孔隙称为毛管孔隙；把孔径小于0.001mm的孔隙称为无效孔隙。在单粒结构的土壤中，单个土粒紧密排列[图1-1(a)]，缺少通气孔隙，水气矛盾比较突出；在有良好结构的土壤中，存在着很多由单粒胶结而成的团粒，直径为0.25~10mm，团粒之间的孔隙较大，有利通气[图1-1(b)]，降雨或灌溉时，地面水沿大孔隙顺畅地渗入土壤。团粒内部为毛管孔隙，可以有效地蓄存土壤水分。这样，水和空气各得其所。因此，建立和保持良好的土壤结构，能提供适宜的土壤水、气状况。

土壤通气性能和土壤质地也有很大关系，砂土通气性好，粘土通气性差。

土壤孔隙中水和空气所占的比重不同，直接影响着土壤的温度。由于水的热容量为1，空气的热容量为0.000306，水的热容量比空气的热容量约大3300倍，水的导热率比空气的导热率大25~30倍，因此，潮湿土壤白天能大量吸收来自太阳的辐射热，并将吸收的热量迅速向深层传导，表土的温度就不易升高；夜间气温下降时，土壤释放热量较慢，深