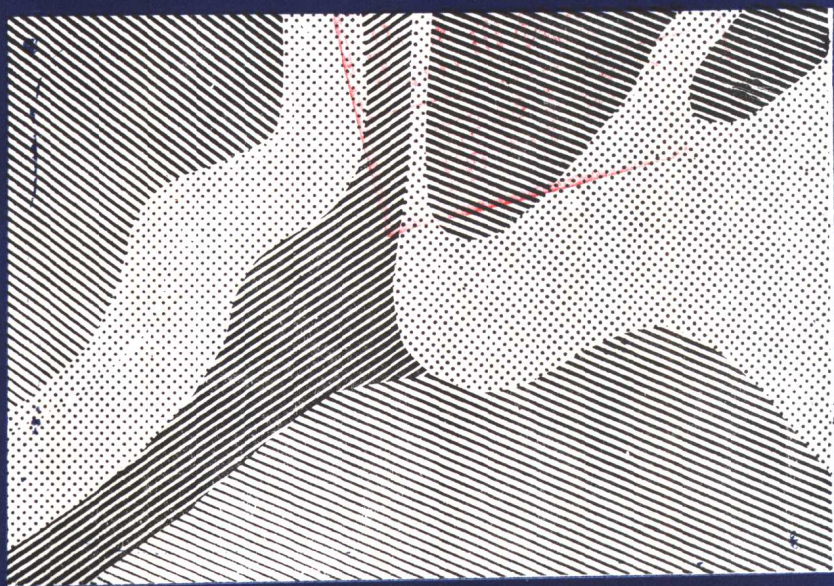


旱地农田水分状况 与调控技术

信勉詮 赵聚宝 主编



农业出版社

旱地土壤水分状况 与调控技术



农业出版社

与调控技术

傅通詮 趙聚寶 主編

读者注意

1. 爱护、公共图书切勿任意卷折和涂写，损坏或遗失照章赔偿。
2. 请在借书期限前送还以便他人阅读请给予合作。

成1106-i

(京)新登字006号

旱地农田水分状况与调控技术

信迺诠 赵聚宝 主编

* * *

责任编辑 刘 存

● 农业出版社出版 (北京市朝阳区发展馆北路2号)
新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

850×1168mm32开本 14.75印张 3 插页 533千字

1992年5月第 1 版 1992年5月北京第 1 次印刷

印数 1—1,080 册 定价 9.25 元

ISBN 7-109-02099-1/S·1392

序 言

干旱是个世界性问题。世界干旱半干旱地区遍及五十多个国家和地区，总面积约占地球陆地面积（寒带除外）的34.9%，约 $4570 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。就耕地面积而言，目前世界耕地面积约 210×10^8 亩，其中有灌溉条件的仅占10—15%，其余都是靠自然降水从事农业生产，即所谓雨养农业（Rainfed farming）。其中约占世界耕地面积42.9%，即 90×10^8 亩位于干旱半干旱地区，年降水量低于500毫米。随着世界人口的急剧增长，农产品供需矛盾日趋尖锐，一些发达国家和发展中国家对旱地农业给予极大的重视，投入了大量人力、财力和物力，设立专门的科研机构，开展旱地农业的科学研究，取得了显著效果，使干旱半干旱地区的农业面貌发生了重大变化。美国中西部大平原，昔日的黑风暴发源地，今天已成为重要的农牧业商品基地，小麦总产已占全国的63.7%，肉牛头数占41.2%；苏联中亚干旱地区，棉花总产跃居世界第一位。这些事例说明，干旱半干旱地区蕴藏着巨大的生产潜力。

我国是一个干旱半干旱地区占国土面积比例很大的国家，约占国土总面积的52.5%，主要分布在沿昆仑山脉、秦岭、淮河以北的大部分地区，包括16个省、市、自治区的741个县，耕地面积5.7亿亩，占全国耕地面积的38%。解放后，特别是党的十一届三中全会以来，这些地区的广大农民靠政策、靠科学，使我国旱地农业有了较大的发展。据统计，1985年这些地的主要农产品产量同1964年相比，粮食由4015.5万吨增加到8496.3万吨，增长1.1倍，其中小麦增长2.5倍，玉米增长2倍，高粱增长3.9倍。棉花由993.8万担增长到3481.3万担，增长2.5倍。油料由69.8万吨增长到411.9万吨，增长4.9倍。其他经济作物，如果、麻、烟等都是几倍或十几倍地增长。猪牛羊肉由1964年的242.5万吨增加到

774.6万吨，增长2.2倍。1985年粮食、棉花、油料和猪牛羊肉等主要农畜产品的年产量，分别占全国的22.4%、12.0%、26.1%和44.0%。近几年来，农业生产又有新的发展，农畜产品产量占全国的比重又有新的提高。但是，由于自然和人为的因素，特别是由于人口增长过快，长期实行掠夺式经营，滥垦过牧，毁林开荒，土地退化、沙化，水土流失严重，导致一些地区农业生态平衡失调，农牧生产水平低而不稳。据275个县的统计，1978—1980年粮食平均亩产仅106公斤，只相当全国同期平均亩产的38.8%，其中有些乡镇亩产只有50多公斤，温饱问题尚未解决。因此，必须依靠政策、投入和科学技术，进行综合规划和治理，全面提高这一地区的农业生产水平，彻底改变贫穷落后的面貌，将对我国农业发展和“四化”建设有着重要的战略意义。

我国干旱半干旱地区农业生产的主要限制因素是干旱缺水，再加上地形破碎，土壤瘠薄，自然灾害比较频繁，发展农业生产需要解决许多科学技术问题。如土壤水分动态、作物的需水规律、抗旱生理、土壤水库的供水能力、旱地蓄水保墒技术及提高自然降水利用效率的途径等。信迺詮、赵聚宝等同志有鉴于此，以多年来的试验研究成果为基础，综合近年来国内外发表的有关文献资料，编写出《旱地农田水分状况与调控技术》一书，填补了我国在这方面的空白，我认为这是非常有意义的工作。这本书的出版将会引起农业、水利、地理、气象界学者的共鸣，将会有力地促进我国旱地农业科学研究和生产的发展。

旱地农业是一个极其复杂的问题，涉及到农业许多学科领域，只有加强协作，开展综合研究，才能较快地取得成效。我热切地希望致力于旱地农业研究与开发的专家、教授，特别是中青年科学工作者，在已有工作的基础上，更加全面系统地开展科学研究工作，为我国干旱半干旱地区农业的发展做出新的贡献。

卢良恕

一九八九年一月十日

前 言

干旱是我国的主要农业气象灾害之一。著名的气象学家、地理学家竺可桢教授在《论我国气候的几个特点及其与粮食作物生产的关系》中指出：“我国二、三千年来各地的灾荒，史不绝书，而最多的灾荒是旱灾和水灾。……，解放以来受旱灾或涝灾的田地每年几乎统以千万亩至数亿亩计”。

在历史上，我国对于旱的认识是很早的。在古代，把干旱列为五害之一，并把防旱抗旱问题摆在非常重要的位置上。在春秋战国时代，《管子》中说：“善为国者，必先除其五害”。而后历代先哲在总结群众经验的基础上，对防旱抗旱问题曾经作过精辟的论述，如《吕氏春秋》的《任地篇》，公元一世纪汉代的《汜胜之书》、南北朝的《齐民要术》、明清时代的《知本提纲 农则》、《农政全书》、《国脉民天》等古代农书，对于平治水土，防止流失，合理耕作，蓄水保墒，选育抗旱良种，实行防旱抗旱的栽培技术，以及兴修水利，节约用水等问题，都有比较详细的论述。在近代，特别是全国解放以后，对于旱问题的研究工作，得到各方面的重视，我国许多农学家、水利学家、气象学家和地理学家对于旱进行了大量的研究工作，发表了许多学术论文，出版了一系列专著，对我国干旱危害的历史、成因、时空发生规律、干湿区划及防御途径进行了深入分析，为我国的防旱抗旱工作提供了重要的科学依据。

人类和干旱的斗争历史长达几千年，对防旱抗旱作过许多研究，取得了很多成果，但至今还很少见到全面地、系统地研究旱地农田水分状况及其调控技术方面的论著。为了合理开发水-土

资源。有效地利用有限的水分资源，促进干旱半干旱地区的农业发展，我们几位从事旱地农田水分研究的同志，以多年来的试验研究成果为基础，综合近年来国内外发表的有关文献资料，编写出《旱地农田水分状况与调控技术》一书。全书包括农田水分状况研究的基础理论、主要旱地作物田间水分供需特征和旱地农田水分状况的调控技术三个方面，共分6章29节。各章执笔人如下：第一章、第二章：赵聚宝，第三章：信迺诠；第四章：萧复兴；第五章：第一、二、八节习耀国，第三、五节田素青、梅旭荣，第四、六节田素青、赵聚宝，第七节田素青；第六章：第一、三、四、六节韩慧君，第二节习耀国，第五、八节萧复兴，第七节赵聚宝。本书在撰写上，紧密结合我国干旱半干旱地区的科研与生产实际，科学性与实用性并重，既注重了农田水分平衡基本理论的综合，又介绍了各种有关的适用技术，既总结了我国传统的蓄水保墒经验，又吸收了国内外调控农田水分状况的新技术。

本书有关章节分别承蒙崔读昌、陶毓汾、张绍丽、王世耆、王邦锡等先生审阅，提出了许多宝贵意见，特此表示衷心感谢。对热情提供资料和帮助的同志，恕不能在书中一一注明，特致歉意。

我们编写这本书的目的，一方面希望能对我国旱地农业的发展尽一点微薄的力量，另一方面想以此书作为引玉之砖，促进我国旱地农业科学研究工作。由于时间仓促，水平所限，书中不妥或疏漏之处在所难免，敬请读者指正。

目 录

序言

前言

第一章 水分平衡	1
第一节 作物体内的水分平衡	1
一、作物对水分的吸收	2
二、作物体内水分的运转	6
三、作物对水分的消耗	8
第二节 水分循环与水分平衡	18
一、自然界的水分循环	18
二、水分平衡	21
三、干旱地区的分布	36
第三节 我国干旱类型及其分布特点	43
一、干旱的基本概念	43
二、我国干旱的类型及其分布	44
三、各区干旱特点	57
第二章 能量平衡	65
第一节 辐射平衡	66
一、辐射	67
二、太阳辐射	70
三、地面辐射和大气辐射	80
四、辐射平衡	83
第二节 土壤热通量	85
一、土壤热通量	85
二、土壤温度	88

三、土壤热通量和土壤水分的关系	91
第三节 显热和潜热通量	95
一、湍流交换	95
二、显热通量	96
三、温度廓线与大气稳定度	99
四、风速廓线和湍流输送	106
五、潜热通量	117
第三章 蒸散	127
第一节 测定蒸散(发)的方法和仪器	129
一、器测法	129
二、水量平衡法	143
三、热量平衡法	144
四、交换方法	145
五、经验法	151
六、模式综合法	153
第二节 几种测量蒸散(发)方法评价和适应范围	154
一、称量蒸发器法	163
二、水量平衡法	167
三、热量平衡法	168
四、乱流扩散法	170
第三节 测量蒸散(发)方法的应用	170
第四章 土壤水和作物	175
第一节 土壤水分状态及测定方法	175
一、土壤水形态及分类	175
二、土壤水分常数及其测定方法	181
三、土壤含水量研究方法	185
第二节 水势	194
一、水势的概念	195
二、土壤水势	196
三、植物水势	203
第三节 土壤-作物-大气连续体的水分运动规律	211

二、土壤-作物-大气连续体的水分运动机制.....	211
二、土壤-作物-大气连续体的水分运动规律.....	217
三、影响因素.....	220
第四节 水分对作物生长发育的影响.....	222
一、植物体内水分状况及生理作用.....	222
二、种子萌发的水分条件.....	225
三、水分对作物生长的影响.....	226
四、作物抗旱的机制.....	235
第五章 旱地农田水分状况分析.....	242
第一节 我国北方旱地农田土壤水分的变化规律	242
一、土壤水分的运动.....	242
二、土壤水分的性质.....	245
三、土壤水分的变化规律.....	250
第二节 旱地麦田水分状况分析	257
一、旱地麦田水分状况.....	258
二、旱地麦田土壤水分变化规律.....	266
三、提高降水利用率的途径.....	270
第三节 旱地玉米田水分状况分析	273
一、旱地玉米田水分状况.....	274
二、旱地玉米田土壤水分变化规律.....	281
三、提高水分利用率的途径.....	285
第四节 旱地谷子田水分状况分析	289
一、谷子的需水特性.....	289
二、谷子产区的降水条件分析.....	292
三、谷子田土壤水分动态变化规律.....	295
四、提高谷子水分利用率的途径.....	297
第五节 旱地高粱田水分状况分析	302
一、旱地高粱田水分状况.....	303
二、旱地高粱田土壤水分变化规律.....	306
三、提高水分利用率的途径.....	310
第六节 旱地大豆田水分状况分析	311

一、大豆的需水规律	312
二、我国大豆主产区的降水条件	316
三、大豆田土壤水分的变化规律	321
四、提高水分利用率的途径	325
第七节 其它旱地作物田水分状况分析	328
一、旱地糜(黍、稷)田水分状况	328
二、旱地马铃薯田水分状况	331
三、旱地甘薯田水分状况	334
四、提高水分利用率的途径	335
第八节 旱地棉花田水分状况分析	336
一、旱地棉田水分状况	338
二、旱地棉田土壤水分变化规律	341
三、提高水分利用率的途径	345
第六章 旱地农田水分状况的调控技术	352
第一节 农田基本建设	352
一、修筑梯田	352
二、建造沟坝地	358
三、小流域综合治理	359
第二节 改良和培肥土壤	361
一、改良和培肥土壤的意义	361
二、建设稳产高产农田, 纳雨蓄墒	362
三、改良和培肥土壤的方法	365
四、分区治理途径	370
第三节 抗旱耕作	373
一、抗旱耕作技术的作用	373
二、抗旱耕作技术	374
第四节 少耕免耕	385
一、免耕法的基本理论	386
二、少耕免耕法的技术应用	388
三、免耕法的未来研究	392
第五节 地面覆盖	393

一、砂田覆盖.....	394
二、有机物覆盖.....	400
三、塑料薄膜覆盖.....	402
第六节 节水灌溉	409
一、搞好渠道补砌防渗.....	410
二、因地制宜推广节水灌溉方法.....	410
三、掌握作物耗水规律灌好关键水.....	418
四、调整旱农业生产结构与作物合理布局提高水分利用率.....	420
第七节 农田防护林	422
一、农田防护林的小气候效应.....	423
二、农田防护林的生态效应.....	432
三、农田防护林的生物效应.....	440
第八节 物理化学方法.....	443
一、化学覆盖.....	443
二、新型保水剂.....	446
三、抗蒸腾剂.....	452
四、种子处理.....	454
五、矿质营养.....	455

第一章 水分平衡

在农作物的生长发育中，水分起着十分重要的作用。水分既是农作物的基本生活因子之一，又是土壤肥力的一个重要因素，农田水分状况不仅直接影响农作物的生理活动，而且影响农作物的生态环境条件。在干旱缺水地区，产量的高低直接取决于水分供应状况；在低湿地区，水分过多也会给作物造成危害。从生态学的角度研究作物与水分的关系，应把土壤、作物、大气看成是一个连续体，来研究水分在土壤-作物-大气系统中的循环和水分平衡，弄清土壤能供给作物多少有效水分，作物通过根系能吸收多少有效水分以及它对作物的生长发育和产量的影响。农业措施上，要在作物生长发育的不同时期，根据作物的需要，科学地调节农田水分状况，协调水-土壤-植物关系，最大限度地满足作物生理生态需水要求，才能取得高额而稳定的产量。从全国看，农业生产的主要矛盾之一是缺水，所以如何保蓄自然降水，并提高其利用效率是农业上的一个很重要的课题。

第一节 作物体内的水分平衡

水是构成作物体的主要成分，也是植物赖以生存的生态环境。植物的生长与发育，都离不开水，它的每个生长细胞都浸透着水，新陈代谢只有在水分相当饱和的状态下，才能协调进行。农谚说：“有收无收在于水，收多收少在于肥”，说明水分对于农业生产是十分重要的。

作物体本来就充满着水分，它的根系生长在含有水分的土壤

中，茎、叶暴露在含有水汽的大气中。不论植物体中或是它生活的环境中，都需要保持一定的水分，水分不足就会影响植物生长发育，严重缺水时甚至还会引起植株死亡。

植物与水的关系是一种非常复杂的现象。植物一方面需要从环境中吸收水分，才能维持相当的水分饱和度，而另一方面，植物又要散失大量的水分到空气中去，这两个相反的过程只有在动态平衡状态下，才能保证植物正常地生长发育。水分是保持植物体与其生活环境条件相统一的重要环节。

一、作物对水分的吸收

作物在生长发育和产量形成过程中，为了维持体内正常的水分含量平衡，需要从土壤中吸收大量的水分，才能维持正常的生长。

(一) 关于细胞吸水的概念 高等植物是结构复杂的多细胞有机体，它的吸水主要是通过根细胞来完成的。幼嫩的根尖细胞没有液泡，主要靠胶体物质的吸胀作用吸水，成长了的细胞形成液泡后，细胞吸水就主要靠渗透吸水。

细胞的细胞壁及原生质，特别是原生质成分中的蛋白质、多糖等大分子物质都是亲水胶体，能大量吸水。亲水胶体由于吸水而体积增大称为吸胀。吸胀有两种，一种是有限的吸胀，如木头、细胞壁、原生质，吸收一定的水分以后，就不再继续吸水；另一种如洋菜、树胶，放在热水中，可以无限度的吸胀，变成溶液，直到很稀的溶液，但浓缩或冷却时，仍能变成凝胶。植物生活过程中，这种吸水方式对种子萌发和干旱的苔藓等吸水复苏是很重要的。

作物根系从土壤中吸收水分等物质，同时也将细胞内的一些物质通过表面排出体外，这种物质交换往往和物质分子本身的运动有关。

组成物质的分子，尤其是气体和液体的分子，由于不断地运

动，有从高浓度均匀地分布到低浓度的趋势，这种现象叫做扩散。气体进出植物体都是靠扩散来进行的，如 CO_2 和 O_2 的出入细胞，水分从叶面的蒸腾等等。

渗透作用是扩散作用的一种特殊形式，是在溶液扩散过程中遇到一个膜，这时候进行的扩散就要受到这个膜的性质的影响。如果这个膜是多孔体，溶质中的小颗粒可以通过，只有较孔大的颗粒不能通过。植物细胞壁就是这样的一种膜，几乎溶于水中的物质都可以通过它。如果这个膜不是多孔体，不但溶质不能透过，连水分子也不能通过。木栓化的细胞壁，或是角质化的茎、叶、果实表皮细胞外壁，对扩散的物质、水分都不能通过。如果这个膜是半透性膜，对溶质和溶剂的分子的透性不同，只允许溶剂分子（如水分子）透过，那么就发生溶剂分子的单方面扩散，这种现象称为渗透。植物细胞中的原生质膜、液泡膜及两膜之间的原生质层，都可以当作近似半透性膜来看。渗透作用是两种液体间隔着近似半透性膜的扩散现象，两种液体浓度不同，一种浓度小，水势高，另一种浓度大，水势低，水分就从水势高的液体移动到水势低的液体。由于渗透与气体的扩散很类似，所以可以用气体状态方程式来表示渗透势与溶液浓度的关系：

$$P = CRT$$

式中， P 为溶液的渗透势，以帕斯卡表示； C 为溶液的克分子浓度； T 为绝对温度； R 为气体常数（等于0.0821）。

细胞吸水与否决定于细胞液的渗透势与外界溶液的渗透势之差。如果外界溶液的渗透势低于细胞液的渗透势，细胞液泡内的水分就会向外渗透；如果细胞液的渗透势比外界环境渗透势低，外界的水分就向细胞内渗透。但是，细胞吸水不可能是无限制的。因为植物细胞的细胞壁紧贴着原生质，当细胞吸水涨大时，细胞液的渗透势增加，细胞液与外界环境间渗透势差逐渐降低，与此同时，壁压也相应增加（壁压和膨压大小相等，方向相反），当壁压与渗透势差相等时，细胞就停止吸水。

(二) 根系的吸水作用 根是支持植物躯体、吸收水分与养分的器官。高等植物的根，除水生植物和气生根外，基本上都生长在土壤中，它的周围环境中一般有充足的水分，根在吸水过程中起着决定性的作用。

植物的根系是很庞大的。双子叶植物种子发芽时主根就强烈伸长，并形成侧根，而单子叶植物的初生根，在经过一段时间生长后，次生根发育形成，初生根则往往死亡，在茎基部产生大量的不定根。根从种子长出来时，通常比地上部生长快，其长度也比地上部分长。根系的构造与分布，是适应吸收水分、养分和支持植物体的任务的。在较浅的土层中，根系分布数量最多，因而也是给植物供水最多的地方。但我们栽培的禾谷类作物，如小麦、玉米的根系，其发展不只限于耕作层。分析根系的入土深度发现，生长健壮的小麦根系一直下伸到 300 多厘米，试验测定的最大可见根深达 500 厘米。玉米根系的广度可达 2 米左右，深度达 2 米多。根的总长度约为 500—600 米。根的分枝很多，向各方面分布，更扩大了它的吸水能力。抗旱力较强的苜蓿，看来体积并不大，但是地下发展的根系却很庞大，支根总长可达数公里，甚至更长。但是，并不是所有的根在吸水功能上都是一样的。一般木栓化的老根，吸水能力大大的减弱。据实验，幼根（大约离根尖 1—10 厘米处）的伸长生长区和根毛区（图 1—1 和图 1—2）对水分的吸收最旺盛。根先端细胞分裂最旺盛的部分叫做分生区。分生区后面表皮细胞能发生大量根毛，其长度约 0.15—2.5 毫米。玉米根尖上每平方毫米面积上平均约有 420 个根毛，豌豆有 230 个根毛，一株冬小麦的根毛长度可达 20 公里。数量这样大的根毛伸入微细的土壤间隙内，以其粘性的表面（含果胶质）与微细的土粒紧密附着而起重要的吸水分和养分作用。根毛区产生大量细胞表皮突出，这些根毛更增大根的吸收面积。根系吸收面积的庞大与它生长增长的迅速，使其能从土壤中吸收大量的水分，即使在土壤中的水分不太多的情况下，也能完成吸水任务。