

干旱与农业

干旱与农业

赵聚宝 李克煌 主编

中国农业出版社

赵聚宝 李克煌 主编
李德广 副主编

干旱与农业

中国农业出版社

干旱与农业

赵聚宝 李克焯 主编

责任编辑 刘 存

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

850×1168mm32开本 13.75 印张 365 千字

1995年8月第1版 1995年8月北京第1次印刷

印数 1—1,250 册 定价 22.90元

ISBN 7-109-03393-7/S·2478

前言

干旱是世界上普遍发生的一种自然现象,它不但能使农作物、树木、牧草生长不良,导致减产歉收,甚至绝收,还可使江河湖水减少,地下水水位下降,给人畜生活用水造成困难,从而给人类造成灾荒。因此,干旱给历代人民的印象都是非常深刻而沉重的。这里应该强调的是,干旱与旱灾是两个不同的概念。干旱是自然现象,旱灾是社会现象;干旱是造成旱灾的自然原因,旱灾是干旱造成的后果。两者互为因果,密切相关。不过,干旱是否成灾或灾情轻重,并不完全决定于干旱的程度,还与农业生态条件、农业技术水平和社会经济条件等因素有关。种草种树,增加地面植物覆盖率,能保持水土,调节气候,改善农业生态条件,旱灾就会明显减轻;及时引水灌溉也能做到旱而无灾。有意义的是,在同样的自然降水条件下,此地可以是正常年,而彼地可能是大的旱灾年。由此可以得到一个有益的启示:抗旱可以减轻旱灾,防旱也可以减轻旱灾。抗旱减灾措施往往是被动的措施,主要是治标;防旱减灾措施是主动的措施,重在治本。因此,减轻旱灾应以防旱为主,抗旱为辅,防旱与抗旱相结合,才能最大限度地减少或减轻旱灾。在此“国际减轻自然灾害十年”之际,为实现减灾十年预期目标尽一点绵薄力量,中国农业科学院农业气象研究所会同河南大学、兰州大学、中国农业科学院土壤肥料研究所和山西省气象科学研究所,以“7·5”国家科技攻关研究成果为基础,共同编写了《干旱与农业》这本书。全书共分八章,第一至四章着重从气候、土壤、作物等方面分析干旱的危害、成因、时空发生规律。第五至八章着重介绍一些农业防旱抗旱增产措施的原

理、方法和效果。本书把规律性的分析和农业实用技术融为一体，各章贯串在一起成为一本系统的干旱与防旱抗旱的专著。在撰写过程中，我们特别注重基本概念、原理及方法的论述，以便读者能灵活应用，分析和解决各地一些实际问题。

干旱和农业防旱抗旱问题是很复杂的，涉及到天、地、生、农、林、水、土、气、牧、渔等诸多研究领域，需要多学科进行长期联合攻关研究，才能取得较大的进展。“7·5”以来，旱地农业增产技术研究列为国家科技攻关项目，为我国广泛而深入地研究这个问题提供了基本保障，业已取得许多研究成果。由于种种原因，有些内容本书尚未涉及，有些内容还处于研究阶段，需要进一步完善提高，待今后条件成熟后，再陆续出版。

本书由赵聚宝、李克煌主编，各章（节）的执笔人如下：第一章，千怀隧；第二章第一、二、三、四节，李克煌，第五节，千怀隧、李克煌；第三章第一、三、四节，李德广，第二节，张建新；第四章，赵聚宝；第五章第一节，蔡典雄、王小彬，第二节，赵聚宝；第六章第一节，胡芬，第二节，梅旭荣，第三节，王邦锡；第七章第一节，赵聚宝、钟兆站，第二节，李克煌，第三节，童永奎、钟兆站；第八章，胡芬。全书由赵聚宝统稿。有关章节分别请信廷谏、刘明孝、崔读昌、陶毓汾、徐师华、冷石林等先生审阅，谨致谢意。在本书撰写过程中，得到许多同志的支持和帮助，参阅引用了许多研究成果和资料，特此致谢。

由于我们水平有限，撰写时间仓促，书中不妥或疏漏之处在所难免，诚请读者多多指正。

赵聚宝

1993年3月18日于北京

中国农业科学院农业气象研究所

目 录

※ 第一章 干旱概述 ※

第一节 干旱的概念.....	1
一、干旱的定义	1
二、干旱对农业的影响	6
第二节 干旱的研究	10
一、国内外干旱研究概况	10
二、今后干旱研究的任务和途径	23

※ 第二章 干旱的发生规律 ※

第一节 干旱的指标和类型	32
一、干旱的指标及其评述	32
二、干旱类型	38
第二节 干旱的原因	40
一、大气环流的影响	40
二、海洋的作用	42
三、天文因素变化的影响	46
四、人类活动的影响	49
第三节 干旱发生的基本规律	52
一、干旱的季节变化规律	52
二、干旱的长期变化规律	58
三、干旱的空间变化规律	63
第四节 干旱的预测	69
一、干旱预测的基本原理	69
二、干旱预测的基本方法	71

第五节 干旱化和沙漠化	74
一、干旱化和沙漠化的概念	74
二、干旱化和沙漠化的原因	76
三、干旱化和沙漠化的现状	81

※ 第三章 农田土壤水分的动态规律 ※

第一节 土壤水分的状况	88
一、土壤水分的类型和性质	88
二、土壤含水量与土壤吸水力的关系	94
三、土壤-作物-大气连续系统中水分移动规律	99
四、土壤水分的有效性	104
第二节 降水入渗与土壤水分蒸发	108
一、降水入渗	108
二、土壤水分蒸发	118
第三节 不同类型区主要作物农田土壤水分的动态规律	123
一、黄土高原地区	124
二、黄淮海平原地区	128
三、东北地区	131
四、南方地区	133
第四节 我国土壤水分分区	135
一、全国土壤水分分区指标及分级系统	136
二、全国土壤水分分区	137
三、分区评述	141

※ 第四章 农田水分平衡 ※

第一节 概述	146
一、作物需水量的概念	146
二、作物需水量和耗水量的计算模式	147
第二节 作物需水量	149
一、潜在蒸散量的估算方法	149
二、作物系数	158

三、主要作物的需水量	168
第三节 作物耗水量	174
一、作物耗水量的估算	174
二、土壤储水对作物供水的调节作用	182
三、主要作物的耗水量	183
第四节 主要作物农田水分盈亏分析	192
一、气候水分盈亏分析	192
二、作物水分盈亏分析	196
三、农田水分盈亏分析	205

第五章 农田水肥关系与耕作保墒

第一节 旱地农田水肥关系及其调控	213
一、旱地农田养分状况与作物用水	213
二、旱地农田土壤水分状况与作物可吸收的养分	218
三、作物生长对水分和肥料养分的响应	221
四、旱地农田水肥调控	224
第二节 合理耕作，蓄水保墒	228
一、蓄水保墒耕作技术	228
二、蓄水保墒耕作技术体系	235
三、保水保土耕作技术	240
四、关于少耕、免耕问题	247

第六章 地面覆盖

第一节 地膜覆盖栽培	254
一、农田覆盖栽培的历史及其发展	254
二、地膜覆盖栽培的保墒增温原理	256
三、地膜覆盖的环境效应	259
四、地膜覆盖栽培在农业上的应用	264
第二节 秸秆覆盖	300
一、秸秆覆盖的生物学基础及小气候效应	300
二、麦田秸秆覆盖的节水增产效应	305

三、玉米秸秆覆盖的节水增产效应	311
四、秸秆覆盖的生态效益	314
第三节 砂田	315
一、砂田的建设和种类	316
二、砂田的耕作方法	318
三、砂田对作物生长环境的效应	320
四、砂田对作物蒸腾作用和光合作用的影响	326
五、砂田的应用前景与改进	327

第七章 节水灌溉与汇集雨水

第一节 节水灌溉	333
一、节水灌溉的重要意义	333
二、节约用水和合理用水	335
三、节水灌溉技术	343
第二节 降雨径流的集存	352
一、降雨径流集存在旱地农业中的作用	352
二、降雨径流集存系统的组成和特征	353
三、降雨径流集存的主要形式	356
第三节 人工增雨	359
一、人工增雨的原理和方法	359
二、人工增雨的意义及应用	366
三、人工增雨的现状与前景	368

第八章 土壤、植物水分消耗的化学控制

第一节 土面保墒增温剂	374
一、研究概况	374
二、土面增温剂保墒增温原理	375
三、土面保墒增温剂的环境效应	381
四、土面保墒增温剂在农林业上的应用	387
第二节 吸水剂	399
一、研究概况	399

二、吸水剂的种类和基本特性	400
三、吸水剂在农林业生产上的应用	401
第三节 黄腐酸（抗旱剂 1 号）	413
一、研究概况	413
二、制剂的理化特性与作用机理	415
三、FA在农林业生产上的应用	418
四、使用方法效果	427

第一章

干旱概述

干旱是在一定地区内近地面生态系统水分不足时的一种自然现象，它普遍地存在于世界各地，频繁地发生于各个历史时期，使旱灾成为农业生产中最严重的自然灾害。我国的绝大部分地区属于季风气候区，降水量的季节变化和年际变化非常显著，其空间分布也很不均匀，干旱的发生频率很大，据不完全统计，从公元前206年到1949年，2155年内我国共发生较大的旱灾1056次，平均每两年发生一次大旱；1949年以来，我国平均每年旱灾面积达 3.0321×10^8 亩，占全国各种气候灾害总面积的59.3%，其中干旱严重的1959、1960、1961和1978年的受灾面积均在 5.0×10^8 亩以上，直接粮食损失也在 1.0×10^{10} kg以上。干旱和半干旱气候区是干旱最易发生的地区，但湿润和半湿润地区也很难幸免于干旱的危害。从古到今，干旱的防治一直是世界各地农业生产中的重要组成部分，虽然人类在长期的生产实践中总结出了一系列防治旱灾的经验，修建了许多大型水利工程，花费了大量的人力、物力和财力，但干旱对农业的危害仍十分严重，所以时至今日，干旱仍是气象学、农学、地理学和水文学的重点研究课题之一。

第一节 干旱的概念

一、干旱的定义

干旱是一复杂的自然现象，至今尚无统一的定义。干旱是自

然生态系统中所发生的水分供不应求现象，由于系统内外许多因子都对水分循环有一定的影响，从而使干旱的发生和变化变得非常复杂。虽然许多学科的学者对这一问题进行了多方位的、长期的研究，干旱概念，也广为人知，但由于人们的出发点不同，在干旱的内涵和外延的确定之中，存在有很大的分歧，所以至今还没有形成一个大家能接受的干旱定义。例如，气象学家往往从大气系统或气候系统出发，把降水量不足定义为干旱；水文学家则把水资源的短缺与干旱等同起来；而农学家则常把土壤水分不能满足作物需求看作干旱。定义干旱的困难是由多方面原因造成的，Shelton把这种原因归结为两点：①干旱是相对的，所以应把水分不足放入特定地区期望条件的范畴内加以研究；②干旱是一个水分供需现象，由水分循环的输入与输出变量表征之，所以水分需要特点与水分不足同等重要。Orville则认为，干旱对社会和自然生态系统的影响是一个客观存在的问题，但很难给予量化，从而加大了限定干旱的难度。实际上，干旱外延的广泛性、尺度的多样性和影响的不等效性也都是这方面的原因。

干旱是指在区域自然生态系统的水分循环中，水分收入量小于支出量，水分亏缺的积累使供水量在一定时段内不能满足生物活动需水量的现象。这一限定是对广义干旱的定义，它具有非常广泛的外延。首先，干旱发生于整个自然生态系统之中，它不仅是一种大气现象，也不仅是一种土壤现象，如果系统中的任一子系统出现了水分亏缺现象，则水分亏缺的积累可在该子系统中形成干旱，例如，大气中的水分亏缺可引起大气干旱，土壤水分平衡中的入不敷出可诱发土壤干旱，植物体吸水率小于失水率可造成生理干旱；其次，干旱是针对各种生物过程而言的，这是由于植物的生长和发育、动物的活动以及人类的生活和生产都离不开水，如果供水量不能满足需水量，这些生物过程都会因此而受到影响，所以可根据干旱影响的对象，把干旱分为农业干旱、牧业干旱、林业干旱等；另外，各种地区的各个时段都有可能发生干

旱，即干旱不只是干旱区和半干旱区的特有现象，在湿润和半湿润区也有可能发生，而且它可以出现在各个季节之中，但由于不同地区或不同时段内的干旱具有不同的特点、原因和影响，所以具有明显的区域性和阶段性。

就狭义农业而言，农业干旱是指在农田生态系统的水分循环之中，水分亏缺的积累使农田供水量不能满足作物需水量的现象。农田生态系统中的水分循环主要有两种形式，其一是土壤-植物-大气水分连续系统（SPAC）中的水分输送，其二是大气与土壤之间的水分交换。SPAC中的水分流动速度及其变化是制约作物生长发育、影响产量的主要水分因素，其中任一部位的供水不足都可以通过整个系统中的水分流动而影响到其它部位，使水分流动速度减小，作物生长发育速度降低，所以大气干旱、土壤干旱与生理干旱是相互联系的。例如，大气干旱可以加快土壤和作物水分亏缺的积累过程；土壤干旱也可以使大气和植物水分入不敷出。由于土壤水分是维持作物生长发育的主要水源，而且它也比较稳定，所以土壤水分亏缺是农业干旱发生和变化的关键，在作物正常生长发育的条件下，只要土壤供水量能满足作物需水量，一般不会发生干旱。

干旱发生和变化的物理基础是区域水分平衡方程，其中的水分收入和支出具有多种多样的源和汇。就一定的地区和一定的时段而言，水分主要来源于降水、前期水分储存、地下水补给和地表、地下水侧向补给，而水分的支出主要通过蒸散、下渗、侧向排水和时段末储水量剩余等过程完成，这些水分收入和支出过程在不同地区或不同时段具有不同的特点，对干旱的发生和变化也有不同的作用。在世界的绝大部分地区，水分收入的主要来源是降水，降水量的多少对其它水分输出过程都有很大影响，它是干旱发生和变化中的主导因子。例如，我国历史上严重的干旱都是由于长期无雨、少雨造成的，在史书方志中，也往往把干旱和无雨、少雨联系起来，所以很多人把无雨、少雨看作是造成干旱的主要

原因，把降水量明显偏少定义为干旱。实际上，其它来源的水分输入量对于干旱的发生和变化也有很大影响，其作用在降水量较小的干旱区、半干旱区和半湿润偏旱区比较明显，其中高山融雪通过地表和地下水侧向补给而在沙漠地区形成绿洲就是这方面的一个典型例证。

干旱的发生发展是水分亏缺积累的结果，水分亏缺与供水不足是两个不同的概念。水分亏缺与水分盈余是关于水分循环在一定区域一定时段内所造成的水分平衡的两种不同的状况，应合称为水分收支差额。若水分收入量大于支出量，则为正差额，即水分盈余，相反则为负差额，即水分亏缺。水分收支差额表征了区域储水量的变化方向 and 变化速率，如果一定时期内持续发生水分亏缺，则区域储水量就会不断减少，当供水量不能满足需水量时，就会发生干旱，而且水分亏缺愈大、持续时间愈长，干旱就愈严重。由此可见，干旱的发生和发展是一个动态积累过程，除受本阶段水分收支的影响外，前期区域储水量也有重要作用，它可以使前期水分产生滞后效应，所以在干旱研究之中必须考虑之。若仅用本阶段降水量的多少鉴定干旱，则很难客观地反映干旱的发生和变化过程。

区域需水量是干旱研究中的重要参照标准，其确定需要综合考虑水分循环中的各种输出过程，是一个复杂的问题。在世界绝大部分地区（特别是平原地区），蒸散过程是最主要的水分输出过程，所以人们在干旱研究中，往往把可能蒸散量作为区域需水量的上限。对于特定地区和时段来说，可能蒸散量虽然可以表征植物需水量的大小，但它不能反映区域需水量的全部，这主要是由于水分循环具有时空连续性，一方面区内水分要通过地表和地下径流向区外排放；另一方面时段内的水分还要向以后的时段排放（即期末剩余水分），这在植物需水关键的前期尤其重要，这两方面都是水分循环的客观需要。另外动物活动与人类生活、生产也需要一定量的水分。所以在确定区域需水量时，必须综合考虑这

些因素。

干旱的变化受多方面因子影响，具有多种多样的时间尺度。干旱的变化取决于水分收支的变化，而各种气候影响因子对各种水分收支过程都有不同程度的影响，多种多样的气候变化尺度在干旱变化之中也都有明显的反映，而且水分收支的主要源和汇都是大气层，所以很多人把干旱看作一种气候现象，并根据干旱的变化尺度，对干旱进行分类。例如，Thorntwaite和Newsweek把干旱分为永久干旱、季节干旱、偶然干旱和隐性干旱；Kewp把干旱与干燥性加以区别，他认为干旱是一种暂时现象，发生于降水量低于正常降水量或正常降水量有效性降低之时，而干燥性则是一种永久性的区域气候学现象，它具有很低的平均降水量，如沙漠区的年降水量低于100毫米，为永久性干旱；Orville把干旱变化分为季节尺度、数年尺度、数十年尺度和世纪尺度，并认为数星期内的降水不足和高温天气虽然可使多种作物受害，但这种短期现象不能称为干旱。实际上，虽然天气干旱与气候干旱具有不同的成因、特点和危害，但它们都通过水分不足而对生物界和人类带来威胁，况且农学界对天气干旱也非常重视，所以干旱应包括这两个方面。

不同时间尺度的干旱变化形成了不同长度的干旱期，生物和人类对长期湿润和干旱的适应性形成了湿润区、半湿润区、半干旱区和干旱区的空间格局。自生物和人类诞生以来，它们都在不断形成和强化自身对环境的适应能力，悠长的湿润期和干旱期为这种适应过程提供了足够的时间，从而形成了一些耐湿性和耐旱性自然景观和社会系统，由此可把全球分为湿润区、半湿润区、半干旱区和干旱区。例如，荒漠、草原和稀树草原都是生物界长期适应的结果；灌溉农业和旱地农业则是人类农业生产过程与干旱环境相适应的产物。由此可见，干旱地区是人们根据一定的干旱指数划分的干旱气候类型分布区，它是长期干旱变化在近代的反映，所以干旱与干旱地区有不同的含义。

旱灾（或旱害）是干旱研究中常用的概念，有人把它与干旱等同起来，也有人认为二者具有明显区别。目前许多人认为旱灾是指供水不足所引起的作物生长发育抑制、停滞和产量降低的农业气象灾害；也有人把旱灾定义为某地出现较为严重旱象时，社会未能采取必要措施，或措施不力，或无力抵御，从而未能及时解决维持正常的社会生产和人民生活所必需的最低定额的水量所造成的缺水灾祸。这些看法仅能说明短期干旱对现行农田生态系统的突发性灾害，可认为是狭义旱灾的定义。

干旱与旱灾是两个不同的概念，这一则是由于生物和人类具有较强的生态适应性和自我调节能力，较轻的短时干旱并不能造成灾害，例如大量研究结果表明，较轻的短时干旱虽然可以降低作物的生长发育速率，但当旱情解除以后，作物的生长发育速率明显加快，而且大于未受旱作物，即作物的内部调节能力使其具有一定的补偿生长，干旱对最终产量影响不大；二则也因为旱灾程度因时、因地、因作物种类、品种和生育期而异，即旱灾具有明显的相对性；三则还由于在一定的条件下，干旱还可以为人类提供一定的潜在优势，例如有人认为，干旱地区光热资源丰富，阳光中富含兰紫光，昼夜温差大，风干物燥，田间通风良好，土壤矿质养份丰富，作物抵抗能力强，病虫害少，农产品的品质好，在农业生产条件改善的条件下，其农业将优于多雨区。

二、干旱对农业的影响

干旱对农业有多重的影响，而且不同尺度干旱的影响取决于多方面的因素，其影响范围、危害程度和后果存在有明显的差别，是一复杂的问题。概括起来，干旱对农业的影响大致包括四个方面：①长周期的干旱变化在全球形成了不同类型的干旱区，严重的水分不足是农业生产中最主要的限制因素，从而使其农业生产潜力明显低于其它地区；②短周期干旱变化往往给现有农业生态系统带来突发性灾难，造成森林蓄积量减少、作物和牧草产量降

低以及牲畜死亡；③大规模的干旱往往可以使大范围的农业长期绝收，进而引起人民饥谨、社会动乱、战火蔓延和经济萧条；④频繁的旱灾迫使人们大量地投入农业资源，使农业成本提高。后两方面的影响涉及到大量的政治、经济和社会因素，本书不加评述。

陆地水分环境的长期演变使生态系统也随之变化，由于全球水分供应量具有明显的空间差异性，所以世界各地的生态系统具有不同的干旱适应性，即不同类型的干湿区维持有不同的生态系统，其中干旱地区生态系统在对水分减少的适应过程中变得非常脆弱，其生产潜力明显低于其它生态系统。例如，我国气候生产潜力的空间分布与水分条件密切相关，由东向西，气候生产潜力随水分供应量的减少而逐渐降低，年降水量小于400毫米的西北半干旱和干旱区是全国最重要的低潜力区，其气候生产潜力小于500 kg /亩。

又如，Lieth在对全球各种生态系统植物生产力测算的基础上，分析了植物生产力空间分布与各生态要素的关系，先后建立了植物生产力与降水量和蒸发量的定量关系。由其研究结果可见，各种生态系统的植物生产力明显地依赖于水分供应量，它随降水量或蒸发量的减少而呈指数形式降低。

与长期干旱不同，短期干旱往往对现有生态系统带来突发性破坏，这种灾难性影响不仅可发生在半干旱和干旱区，而且在湿润和半湿润区也有可能发生。就一定的生态系统而言，干旱的发生发展往往通过植物生理机制的变化而影响生长、发育和产量，虽然植物可以通过生理调节（如渗透调节和气孔关闭等）防止干旱的危害，但一旦干旱程度和持续时间超过植物的生理调节能力，则植物的生理机能就会明显下降，甚至会被完全破坏，从而使植物生长减缓，生育受阻，产量降低。

由干旱而诱发的植物水分胁迫会引起一系列的不良后果，其中包括从基本的生物化学过程到整个植株生理作用的全部生理功能。这些过程对水分不足的敏感性存在有很大差别，其中细胞