

SHIYONG TURANG SHANGQING
JIANCE YUBAO JISHU

实用土壤墒情 监测预报技术

● 王振龙 高建峰 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

SHIYONG TURANG SHANGQING
JIANCE YUBAO JISHU

实用土壤墒情 监测预报技术

● 王振龙 高建峰 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是在作者多年来从事土壤墒情测报实用技术的研究成果基础上撰写而成,分别叙述了土壤水的基本性质和特点、土壤水运动、作物对土壤水的利用、土壤水的监测方法、土壤墒情预报模型和抗旱减灾信息系统几个方面的内容。撰写中注重应用性和实用性,深入浅出,尽可能地反映近年来该研究领域的新成果和新方法。

本书可供从事农业灌溉技术研究和管理工作的人员学习、参考。也可作为高等院校农业、水利和气象等专业的师生教学参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

实用土壤墒情监测预报技术 / 王振龙, 高建峰著.

北京: 中国水利水电出版社, 2006

ISBN 7-5084-4153-2

I. 实... II. ①王... ②高... III. ①土壤含水量—土壤监测②土壤含水量—预报 IV. S152.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 126942 号

书 名	实用土壤墒情监测预报技术
作 者	王振龙 高建峰 著
出版 发行	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: sales @ waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 11 印张 222 千字
版 次	2006 年 12 月第 1 版 2006 年 12 月第 1 次印刷
定 价	29.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

序

土壤墒情监测预报技术是涉及多学科领域的边缘学科，是利用水文学、土壤学和农业科学的基础理论知识，研究最优利用各种农业水资源、提高从水源到形成作物产量的各个环节的水分利用效率的理论和监测方法。通过在一定区域内布设适当的墒情测报站，对田间墒情实行全过程监控，利用现代网络和信息传输技术，快速获取土壤水分的时空分布信息，建立墒情预报和旱情预警的决策支持系统，从而实现科学制定灌溉计划和较准确地调控田间土壤水分的目的，既节水又增产。这项工作具有非常重要的现实意义。

《实用土壤墒情监测预报技术》是本书两位作者在近两年来开展土壤墒情相关的科学研究基础上撰写而成的，全书系统地介绍了土壤墒情研究领域的基本理论、土壤含水量的监测方法、土壤墒情和灌溉预报模型以及抗旱减灾信息系统的建设和应用。非常适合基层从事农业灌溉技术研究和管理工作的人员在工作和学习中参考。也可作为高等院校农业、水利和气象等相关专业师生的教学参考书。

作为土壤—植物—大气连续系统的一个重要过程，土壤水分直接影响水循环中的土壤蒸发、植物散发、产流、下渗等过程，也影响农作物的生长过程和产量，因此土壤水一直是水文学、土壤学和农学等领域的研究热点，国际上和我国在土壤水分运动规律和土壤墒情监测预报技术方

面的研究也有许多成果，但是在大量的实验和分析基础上系统研究土壤墒情的理论、监测方法和预报的专著还不多见。可以预见，《实用土壤墒情监测预报技术》一书的出版发行，将为从事土壤水分和土壤墒情研究的专业人员提供基础理论和监测方法的指导，对推动我国土壤水资源和农业节水灌溉技术研究的深入开展发挥积极的作用。

郝振纯

2006年11月于南京

前言

水是生命之源，是人类生存和社会发展不可缺少的基本条件。水资源短缺、供水不足，已成为全球性问题。当今，大多数国家和地区，特别是发展中国家，普遍受到供水不足和水源污染的严重威胁。

我国是一个水资源相对贫乏的国家，人均水资源占有量 2330m^3 ，居世界第 88 位，相当于世界平均值的 $1/4$ 。从地区分布看，华北地区人均仅 404m^3 ，不及全国平均数的 $1/6$ ，为世界平均数的 $1/24$ ，其中海河流域还不足 400m^3 ，与水资源奇缺的以色列接近。安徽淮北平原地区 37421km^2 面积上多年平均水资源总量为 114.4 亿 m^3 ，人均占有量也仅 424.2m^3 。目前农业用水浪费很大，不少灌区尤其是北方灌区，由于绝大部分为土渠，采用传统的地面灌水技术，土地不够平整和管理不善等原因，自流渠灌区灌溉水的利用系数一般不到 0.4，井灌区也只有 0.6 左右，与发达国家相比要低 0.2~0.4。在灌溉水生产效率方面，我国和发达国家相比差距更大。我国是人口众多的农业大国，农业用水占总用水量的 80% 以上，节水的最大潜力在农业用水。发展节水型农业不仅是缓解当前农业用水紧缺必须选择的正确道路，也是我国农业可持续发展的一项长期战略任务。实践证明，在作物增产灌溉和适时适量节水技术应用与研究中，都离不开田间墒情的监测和预报，监测墒情并与当时当地的作物需水量相结合是精确管理田间用水量最直接的办法。通过在一定区域内布设适当的墒情测报站，对田间墒情实行全过程监控，利用现代网络和信息技术，建立防旱抗旱信息系统，从而实现科学地

制定灌溉计划和较准确地调控田间土壤水分的目的，既节水又增产。

土壤墒情监测预报技术是涉及多学科领域的边缘学科，强调水利与农业的结合，协调水—土—作物—环境之间的关系，研究最优利用各种农业水资源、提高农业用水从水源到形成作物产量的各个环节的水分利用效率的理论和监测方法。其理论涉及到农业、水利和气象等众多学科。虽然科技人员过去已从不同的角度、不同的方面计算作物对水资源的利用量、预测土壤墒情、灌溉预报等各个领域做了大量的研究和探索，并取得了可观的研究成果和经验，但这些研究彼此还缺少联系、交叉和渗透，迫切需要综合、交融成一个新的学科领域。为此，我们在经过多年的科学实验和研究并在参考了国内外有关文献和资料的基础上，以安徽省土壤墒情预报和抗旱减灾信息系统技术研究成果为主体，写成本书，以图对土壤墒情预报和抗旱减灾信息系统方面做一比较系统完整的论述。

本书由王振龙、高建峰撰写。需要说明的是：本书是在完成安徽省“十五”科技攻关项目《安徽淮北地区墒情监测预报和抗旱减灾信息系统》的背景下才得以写成的。该项目的参加人员还有：赵家良、王兵、汪灶建、王式成、吴存荣、纪冰、王凤云、葛贻华、王家先、刘海声、王德胜、施宏江、庄彪、章启兵、宋家常等。因此本书也凝聚着上述这些同志的劳动结晶。

安徽省·水利部淮委水利科学研究院副总工赵家良高级工程师和金光炎教授级高级工程师认真审阅了全书并提出了许多宝贵意见。河海大学水资源环境学院副院长、博士生导师郝振纯教授百忙之中为本书写了序，在此，对他们表示深深的谢意。

由于作者水平有限，书中疏漏或不足之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

作者

2006年11月

目 录

序

前言

第一章 绪论	1
第一节 我国水旱灾害与水资源概况	1
第二节 土壤水资源与土壤墒情预报	7
第三节 土壤墒情监测预报研究现状及发展趋势	9
第二章 土壤水与土壤水运动	13
第一节 土壤的物理性质	13
第二节 土壤水作用力及存在形式	15
第三节 土壤水分常数	17
第四节 土壤水的能量特征	19
第五节 土壤蒸发	23
第六节 土壤水运动控制方程	26
第三章 作物对土壤水的吸收和利用	31
第一节 作物根系生长及其在土壤中的分布特征	31
第二节 作物根系对土壤水分的吸收特点	33
第三节 植物的蒸散发	35
第四节 提高作物根系吸收水分利用率的基本方法	38
第五节 作物需水量	44
第四章 土壤含水量监测	55
第一节 烘干称重法	55
第二节 电阻法和 γ 射线法	56
第三节 张力仪(负压计)法	57
第四节 中子水分仪法	59
第五节 时域反射仪(TDR)法	62
第六节 地下水水位监测	65

第七节 降雨和水面蒸发量的观测	66
第五章 土壤墒情预报方法	69
第一节 概述	69
第二节 土壤墒情监测站网的布设	71
第三节 区域干旱指标	75
第四节 土壤墒情预报模型	79
第五节 灌溉预报技术	85
第六节 区域抗旱减灾信息系统	88
第六章 土壤墒情预报与抗旱减灾信息系统实例	102
第一节 研究区概况	103
第二节 墒情预报模型及早情评估指标研究	108
第三节 站网布设与信息采集传输标准化	122
第四节 信息系统软件开发与 GIS 图形库	129
第五节 项目建设与运行管理	144
第六节 墒情和旱情信息的应用与效益分析评价	158
第七节 技术特点和成果总结	162
参考文献及参考资料	166

第一章 绪 论

第一节 我国水旱灾害与水资源概况

一、人类长期面临的水旱灾害

水与人类息息相关。水作为人类生存和工农业发展不可缺少的自然资源，具有如下基本属性：

(1) 水是维持地球上一切生物不可替代的物质，是生命之源，是地球系统的“血液”。水文循环就是地球系统的“血液循环”。水文循环导致的水的时空分布是地球上具有丰富多彩生态系统和美妙自然景色的根本原因之一。

(2) 水少可能引起缺水，发生工业、农业和城市生活用水的紧张，严重的会造成旱灾并发生水荒。

(3) 水多可能引起洪、涝、渍灾害，严重危及人民的生命财产安全和社会经济的发展。

(4) 水污染可能引起环境恶化，有水不能用。旱灾、水灾和水污染是人类生活和生产对水的需求与水的自然属性不协调的结果。

(5) 水资源虽可再生，但有时空变化。因此，人类研究、开发利用水资源一般需要一定条件。这是水资源有价值，也有其价值规律的主要原因所在。

(6) 如果处理不好“节水”、“防洪”或“水环境”问题可能影响地区甚至国家的经济发展，成为社会不稳定的一个因素。

人类经济社会的发展，从一定意义上说意味着人类向自然进行索取，如果这种索取不适当，则迟早会带来麻烦。人类面临的下列水问题就是这种麻烦的一些具体表现：

(1) 水、旱灾害是人类面临的主要自然灾害。人类与水、旱灾害做斗争已有几千年历史，但时至今日，水、旱灾害造成的损失仍位居诸自然灾害之首。据统计，在世界范围内每年因水、旱灾害造成的损失占各种自然灾害总损失的比例达 55%，其中水灾为 40%，旱灾为 15%。地球上的自然灾害主要分布在环太平洋和北纬 20°~50°两个带状区域内，全球 95% 的火山、95% 的地震、70% 的海啸都发生在这里，大部分水、旱灾害也集中在这里。中国大部分地区位于这两个灾害带内，每年因水、旱灾害造成的损失占各种自然灾害总损失的比例要大于 55%。中国目前受

旱耕地超过 0.2 亿 hm^2 ，农田灌溉年缺水达 300 亿 m^3 ；中国 620 座城市中约有 300 座城市缺水，年缺水量约 58 亿 m^3 ，缺水已成为中国工农业生产发展的重要障碍之一。近半个世纪以来，中国江河大洪水和特大洪水的出现产生了一些值得注意的倾向：一是长江、淮河及其以南地区和东北的松花江、辽河流域，大洪水和特大洪水发生频次增加；二是“小流量高水位”现象时有出现；三是有些地方，同样的降雨量和降雨过程产生的洪水比过去更大。长江、黄河的洪涝灾害仍是中华民族的心腹之患。淮北平原广大地区自古就有“十年九灾”的说法，洪涝和干旱问题是该地区长期需要解决的水资源问题。

(2) 全球气候变暖增加了解决水问题的难度。人口的增加，工业的发展，导致二氧化碳等温室气体大量向大气排放，“温室效应”加剧，全球气候变暖，海平面上升，水文循环发生一些变化。全球气候变暖已对中国产生比较明显的影响：一是使中国一些地区降水量减少，如山西省汾河流域多年平均降水量已由过去的 558mm 减少到现在的 449mm，减少近 20%；二是使海平面明显上升，据分析，近 100 年来中国海平面平均每年上升了 0.14cm，其中天津、江苏、上海和广东沿海近 100 年海平面上升超过了 20cm。降水量减少加重了一些地区的干旱缺水，海平面上升加重了沿海地区和感潮河段的水灾。

(3) 水污染加剧的势头还未得到有效的控制。很长一段时间，人们对保护水环境意识淡薄，走了一条“先发展经济，后治理环境”的路子，留下了许多环境方面的后遗症。目前仍有一些国家或地区水污染呈加剧趋势。中国工业企业的废污水排放量很大，而且约有 80% 以上未经处理就直接排入江河湖库等水体，已使得不少支流小河变成了排污沟；有的大江大河也出现了岸边污染带。水污染的加剧，不仅带来了严重的生态与环境问题，而且也增加了一些缺水地区和缺水城市的缺水程度，甚至出现缺乏安全饮用水的危机。

(4) 不合理的工程措施和管理产生了负面影响。盲目砍伐森林，不合理的筑坝拦水、围垦、跨流域调水、引水灌溉和开采地下水等，都有可能带来负面影响。对森林的乱砍滥伐，致使水土流失严重，恶化了当地生态与环境，造成了河道淤积，加之不合理的围垦，减少了水体的调蓄能力和输水能力，从而降低了江河防洪标准。过量地开采地下水，会出现区域性地下水漏斗，引发地面沉降和海水入侵，不利于防洪，污染了地下水。不合理的引水灌溉，可能造成灌区次生盐碱化，也可能引起河流盐化。流域大量修建蓄水工程，或不合理使用河川径流，或不合理跨流域调水，可能使河川径流不合理地减少，甚至断流，导致下游河道淤积萎缩，防洪能力降低，湿地缩小，河口水环境恶化，生物多样性减少。

二、水资源概述

水资源是一种宝贵的自然资源，是人类赖以生存和社会生产必不可少、又无法

替代的重要物质资源。自然界的水资源尽管能够循环,而且可以逐年得到补充和恢复,但对于某一时段、某一区域来说,可供人们日常生活和生产使用的水量是有限的,不少国家和地区历史上已多次发生水荒。近些年来,由于生产的发展,生活水平的提高,用水量逐年增大,加之用水浪费和污染。水资源已成为各国倍加关注的重大问题。为了人类生存和保持世界经济可持续发展,对现有水资源进行综合开发利用、科学管理是摆在世界各国面前的一项长远而又艰巨的历史重任。

(一) 水资源的概念

天然水资源即地球上所有的气态、液态或固态的天然水。人类可利用的水资源,主要指某一地区逐年可以恢复和更新的淡水资源,即通常所说的水资源。地球上的水可分为两大类:一类是永久储量,它的更替周期长,更新缓慢,如深层地下水;另一类是年内可以恢复储量,它积极参与全球水循环,逐年得到更新,在较长时间内保持动态平衡。只有年内可恢复的水资源可以为人类所利用。

从水质的角度出发,地球上的水又有淡水、咸水之分。海洋水、矿化地下水以及地表咸水湖泊中的水都是咸水,不能为人类所利用。这一类水占地球水储量的绝大部分。地球上的淡水只有 0.35 亿 km^3 , 占总储量的 2.5%。

水是生命之源,是人类赖以生存、社会、经济发展的重要物质资源。水的用途十分广泛,不仅用于农业灌溉、工业生产、城乡生活,而且还可用于发电、航运、生产养殖、旅游娱乐、改善生态环境等。水在人类生活中占有特殊重要的地位。

水资源的主要特点归纳为以下几点:

(1) 水资源的再生性和重复利用性。全球淡水资源只有 0.35 亿 km^3 , 但经长期的天然消耗和人类的取用,并不见减少,原因就在于淡水体处于水的循环系统中,不断得到大气降水的补给,此即水资源具有循环性再生的特点。

水资源与其他资源的区别在于其具有一定的重复利用性。发电用过的水并不影响工农业生产和生活应用,航运用水仍可用于其他方面。水资源量虽然有限,只要合理规划、科学管理,可以充分发挥其效益。

(2) 水资源时空分布不均匀性:从时程分布上看,水资源年际、年内分配都不均匀。以北京气象站资料为例,丰水年与枯水年降雨量相差达 6 倍以上;在年内,85% 以上的水量集中在 6 月、7 月、8 月和 9 月(汛期),其他月份(枯水期)则降雨量很少。

空间分布是指区域性分布情况。水资源的区域性变差很大,纬度 $40^\circ \sim 60^\circ$ 范围内降雨量明显高于其他地区,沿海地区也高于内陆地区。

(3) 地表水和地下水的相互转化性。地表水和地下水是水资源的统一体,它们之间存在密切联系并可相互转化。河川径流中包括一部分地下水的排泄水量;而地下水又承受地表水的入渗补给。地下水过分开采,必然导致河川径流和泉水的减少。

(4) 水资源经济上的两重性。一个地区降雨量适时适量,自然是风调雨顺的丰

收年。水量过多或过少的时间和地点,往往会出现洪、涝、旱、碱等自然灾害。而水资源开发利用不当,也会引起人为灾害,如垮坝事故、土壤次生盐碱、水质污染、环境恶化、地面下沉和地震等,造成经济上的损失。因此,在水资源开发利用和管理中,应达到兴利和除害的双重目的。

(二) 世界水资源概况

地球上水的总量约有 13.86 亿 km^3 , 其中海水 13.38 亿 km^3 , 占 96.5%; 陆地上的水有 0.48 亿 km^3 , 占总水量的 3.5%。

在陆地水量中,扣除地下矿化水和地表湖泊咸水,由表 1-1 可以看出,地球上的淡水只有 0.35 亿 km^3 , 仅占总量的 2.53%。在淡水中占很大比重的是处于两极地带的冰雪和高山冰川中永久性积雪、冻土中的水量,目前还难以被开发利用,仅有 0.35% 是在河流、湖泊、土壤中,人类可以利用。

表 1-1 地球上的水体分布

项 目	总水量 ($\times 10^6 \text{km}^3$)	占总水量百分比 (%)	淡水量 ($\times 10^6 \text{km}^3$)	占总水量百分比 (%)
总水量	1385.98461	100	35.02921	100
海洋水	1338.0	96.5		
地下水	23.4	1.7	10.53	30.06
土壤水	0.0165	0.001	0.0165	0.05
冰雪总量	24.0641	1.74	24.0641	68.7
其中: 南 极	21.6	1.56	21.6	61.7
格陵兰岛	2.34	0.17	2.34	6.68
北 极	0.0835	0.006	0.0835	0.24
山 岳	0.0406	0.003	0.0406	0.12
冰地下水	0.3	0.022	0.3	0.86
地表水	0.18999	0.014	0.10459	0.3
其中: 湖 泊	0.1764	0.013	0.091	0.26
沼 泽	0.01147	0.0008	0.01147	0.03
河 川	0.00212	0.0002	0.00212	0.006
大气中水	0.0129	0.001	0.0129	0.04
生物内水	0.00112	0.0001	0.00112	0.003

注 引自联合国水会议论文《世界水平衡和地球水资源》, 1997 年 3 月。

可见地球上水的总量虽多,但是能被人类容易利用的淡水资源却十分有限。水资源主要靠降雨补充。世界上大气降水在地域和时空的分布很不均匀,在北半球范围,随着纬度的增高,降水量明显减小;南半球降水量也有随着纬度的增高而减小的趋势,但在 $40^\circ \sim 60^\circ$ 范围内的降雨量明显增大。此外,沿海区域与内陆也有显著的差异,沿海地区明显高于内陆地区,少则几倍,多则十几倍,所以各大洲水资源量相差很大。大洋洲的一些岛屿,如新西兰、伊里安、塔斯马尼亚等,年降雨量几

乎高达 3000mm，淡水资源最为丰富；南美洲水资源也比较丰富，年平均降雨量约为 1600mm；而非洲一些国家和地区，由于干旱少雨，有 2/3 的国土面积为无永久性河流的荒漠、半荒漠，年降水量不足 200mm。世界各大洲陆面水资源分布情况详见表 1-2。

表 1-2 世界各大洲陆面水资源分布

大陆 (连同岛屿)	径流量		占径流总量 的百分比 (%)	产水量			
	mm	km ³		面积 (10 ⁴ km ²)	径流模数 (L/s/ km ²)	人口 (百万)	每人平均 径流量 (10 ³ km ³)
欧洲	306	3210	7	10500	9.7	654	4.9
亚洲	332	14410	31	43475	10.5	2161	6.7
非洲	151	4570	10	30120	4.8	290	15.8
北美洲	339	8200	17	24200	10.7	327	25.1
南美洲	661	11760	25	17800	21.0	185	63.6
大洋洲	1610	2040	4	1267	51.1	7.1	287
其中：澳大利亚	453	348	1	7683	1.44	12.7	27.4
南极洲	156	2310	5	13980	5.2		
总陆面	314	46800	100	14900	10.0	3637	12.9

人类的生活和各种生产活动离不开水，同时水又是人类赖以生存的地球环境的基本要素，这样一种自然资源一旦缺乏，必将严重影响经济及人类社会活动，危害人类生存。

据统计，全世界 1995 年工农业生产和城市生活用水量约 4200 km³，其中农业用水为 2940km³，占 70%；工业用水为 880km³，占 21%；城市生活用水 210 km³，占 5%，水面蒸发占 4%。用水总量较大的国家有美国、印度、前苏联、中国等，年用水量在 330~470km³。以 1995 年的世界人口统计资料，世界人均年用水量为 744m³，美国和前苏联人均用水量较高，分别为 2190m³ 和 1304m³；日本和印度接近世界平均值，分别为 792m³ 和 691m³；中国为 491m³。

(三) 我国水资源概况

我国疆域辽阔，国土面积 960 万 km²，由于位置处于季风气候区域，每年夏季来自热带及太平洋低纬度上的温暖而潮湿气团，随着强盛的东南季风侵入我国东南地区，引起大量降雨。从西南的印度洋和东北的鄂霍茨克送来的水汽，对我国西南和东北地区所获充足雨量，亦起重要作用。这些水汽引起丰沛的降雨和径流，使我国成为世界上水资源比较丰富的国家之一。

水利部门在 20 世纪 80 年代的水资源评价工作中，对水资源估算结果为：全国多年平均河川径流量为 27115 亿 m³，地下水资源量为 8288 亿 m³；扣除重复计算

量后, 全国多年平均年水资源总量为 28124 亿 m^3 。

这里顺便指出: 地下水资源中仅包括积极参与水循环的浅层地下水。深层地下水为永久储量, 没有计入。鉴于浅层地下水与河川径流有互相转化补给的复杂关系, 因而其间有重复的计算水量, 应予扣除。

如果将全国水资源按流域分为 11 个分区, 则各分区的计算面积、年降水总量、年地下水资源总量、年水资源总量分别列于表 1-3。

表 1-3 全国分区年降水、年河川径流、年地下水、年水资源总量表

分 区	计算面积 (km^2)	年降水		年河川径流		年地下水 资源 (亿 m^3)	年水资源总量 (亿 m^3)
		总量 (亿 m^3)	深 (mm)	总量 (亿 m^3)	深 (mm)		
黑龙江流域片	903418	4476	496	1166	129	431	1352
辽河流域片	345072	1901	551	487	141	194	577
海滦河流域片	318161	1781	560	288	91	265	421
黄河流域片	794712	3691	464	661	83	406	744
淮河流域片	329211	2830	360	741	225	393	961
长江流域片	1808500	19360	1071	9513	526	2464	9613
珠江流域片	580641	8967	1544	4685	807	1115	4708
浙闽台诸河片	239803	4216	1758	2557	1066	623	2592
西南诸河片	851406	9346	1098	5853	688	1544	5853
内陆诸河片	3321713	5113	154	1064	32	820	1200
额尔齐斯河	52730	208	395	100	190	43	103
全 国	9545322	61889	648	27115	284	8288	28124

注 引自中国水利电力部水文局《中国水资源评价》, 水利电力出版社, 1987 年 12 月。

(四) 我国水资源特点

(1) 我国水资源的人均、亩均占有量并不丰富。我国国土面积占世界陆地面积的 6%, 居世界第三位, 在 960 万 km^2 的国土上却养育着占世界 22% 的人民。我国平均每年降水深为 648mm (降水总量为 6.2 万亿 m^3), 小于全球陆面平均降水深 800mm, 也小于亚洲陆面平均降水深 740mm。单位耕地面积水资源量约为世界的 3/4; 人均水资源量约为世界人均水量的 1/4, 是美国人均水资源量的 1/5, 印尼的 1/7, 加拿大的 1/50, 日本的 1/2。我国水资源十分珍贵, 尤其是人均占有水资源量极不丰富。表 1-4 所显示的数据, 不能不引起我们的足够重视。

(2) 水资源地区分布不均。我国季风气候特别明显, 夏、秋季节, 太平洋的东南风, 带来大量雨水, 由东南向西北方向移动; 冬、春季节, 受西伯利亚的内陆气候影响, 干旱少雨, 由西北向东南方向移动, 形成我国水资源分布在东南多, 西北少的特点: 年平均降水深从东南的 1600~1800mm, 向西北逐渐减少到 200mm 以下, 致使西北和华北地区约有 45% 的面积处于干旱、半干旱地带, 水资源明显稀少。所以我国各行政区水资源分布不均匀。

表 1-4 我国年径流总量、人均、亩均水量与国外比较

国家名称	年径流总量 (10^8m^3)	年径流深 (mm)	人口 (亿)	人均水量 ($\text{m}^3/\text{人}$)	耕地 (10^8m^2)	亩均水量 ($\text{m}^3/\text{亩}$)
巴 西	51912	609	1.23	42200	4.85	10701
前苏联	47140	211	2.64	17860	34.00	1385
加拿大	31220	313	0.24	130080	6.54	4771
美 国	29702	317	2.2	13500	28.40	1046
印 尼	28113	1476	1.48	19000	2.13	13200
中 国	27115	284	11.73	2310	15.06	1800
印 度	17800	514	6.78	2625	24.70	721
日 本	5470	1470	1.16	4716	0.65	8462
全世界	468000	314	43.35	10800	198.90	2353

注 外国人口是联合国 1979 年的统计数。我国人口是 1993 年普查人口数。我国人口、水量、耕地均包括台湾省。

(3) 水资源在年内、年际分布不均。我国南方各省的汛期，一般在 5~8 月，降雨量占全年的 60%~70%；北方各省的汛期，一般在 6~9 月；不少省的降雨量集中在 7~8 月，占全年降雨量的 70%~80%；冬春季节作物需水时，却干旱少雨，致使我国北方作物受到威胁。丰水年与枯水年的水量变化也很大，南方河流一般相差 2~3 倍。河流愈小，相差愈大；北方河流丰、枯年的水量一般相差 4~6 倍，高的可达 10~20 倍，致使我国洪涝、干旱灾害频繁。

(4) 水资源分布与人口、耕地的分布不协调；我国南方四片（长江、华南、东南、西南）耕地面积占全国的 36%，人口占 54%，水资源总量占全国的 81%；人均水量为 4180m^3 ，为全国人均水量的 1.6 倍；每平方米耕地面积水量为 6.19m^3 ，为全国的 2.3 倍。其中西南诸河流域片水资源尤其丰富，人烟稀少，耕地少，人均水量达 38400m^3 ，为全国人均水量的 15 倍；每平方米耕地面积水量达 32.68m^3 ，为全国的 12 倍。

(5) 水资源分布具有热雨同期性。我国水资源在时间分布上具有热雨同期的突出优点：每年 5 月以后，气温持续上升，6~8 月大部分农作物进入高温生长期，此时雨季来临，为作物生长提供了热和水两个重要条件，使我国劳动人民在有限的土地上适时耕耘，为获取农业丰收奠定了基础。

第二节 土壤水资源与土壤墒情预报

一、土壤水资源

土壤水资源是农业和生态环境中各种作物与植被赖以生存的基础，同时也是流

域水循环中最为活跃的部分,影响着农作物生长、生态环境建设以及水资源的合理分配与高效利用。因此土壤水的研究备受关注,使得土壤水的研究经历了从微观到宏观,从定性到定量的研究过程。然而,关于土壤水资源的研究相对较少,从不同的角度和不同的尺度研究土壤水资源分别可以解决生产实践中不同的问题。从流域水循环和水资源形成转化角度认识土壤水的研究,可以了解水文循环的物理过程和实质,为地区水资源评价奠定基础;短期内监测土壤水资源的量,可以为指导建立正确的农作物灌溉制度具有非常重要的意义等。尽管近年来随着水资源日益紧缺,土壤水资源的含义从不同的角度被提出和研究,涌现出一些关于土壤水资源的监测和评价的方法,但是由于土壤水问题的复杂性,关于土壤水运动规律和土壤水资源的评价问题尚无统一论。为此,在众多研究的基础上,对土壤水资源的实时监测是这些研究的重要基础工作。这也是本书所要重点介绍的内容。

土壤水作为水循环过程中的一个重要环节,提供作物生长的特性是被普遍公认的。但是,长期以来,由于土壤水对降水的过分依赖性和易于耗散性等自然特征使人们未能将其与狭义水资源(地表水资源和地下水资源)相提并论。然而,随着水资源范畴的扩展,对土壤水认识的加深,从资源角度认识土壤水显得尤为重要。

首先,土壤水是地表水、地下水以及大气水相互联系的纽带,具有其他水资源共有的特性——循环再生性和可调控性。

由水循环过程土壤水的作用表明,地表水和地下水的形成和聚集均是在降水或灌溉水通过土壤过滤作用后得以实现的。土壤水的赋存形式影响它们的形成,土壤水的数量、质量也改变着它们的数量和质量。同时,尽管土壤水不能通过人工取水的方式直接获得,但是可通过调整种植结构、进行适时适量灌溉等人为措施改变土壤水的分布和运移,显著提高土壤水的利用率。由此可见,土壤水具有水资源共有的循环再生性和可调控性特征。

其次,土壤水是维系作物生长发育、生态环境良性循环的最主要的水分源泉。作物生长和发育所需的水分均由根系从土壤中获得,其他各部分的水只有转化为土壤水才能被作物吸收利用,土壤水的数量和质量直接影响着作物的生长发育;作物作为生态环境良性循环的主要环节,在土壤水直接作用的同时又间接参与维持生态环境的正常运转。

第三,土壤水具有相当大的数量。据统计世界土壤水储量为 165000 亿 m^3 ,是世界河流中常年蓄水量的 7.8 倍;中国 1956~1999 年降水量的 55% 被转化为土壤水。

第四,土壤水资源由于其赋存的介质——土壤具有一定的纳污能力和净化作用,通过循环,对地表水资源和地下水资源质量的变化具有重要作用。

由此可见,非饱和带土壤层并非一种简单的水循环介质,而是具有巨大容量的“土壤水库”,赋存于其中的水资源——土壤水资源具有地表水资源和地下水资源共