



JIESHUI GUANGAI GONGCHENG

节水灌溉工程

■ 郭宗楼 主编



浙江省高等教育重点建设教材

节水灌溉工程

郭宗楼 主编

浙江大學出版社

内容提要

本书全面系统地介绍了国内外有关节水灌溉技术。全书共5章,内容包括绪论、水资源的合理开发利用技术、节水灌溉工程技术、节水农业技术、节水灌溉管理技术等。可作为农业水利工程或其他相近专业本科生教材,亦可供水利、农业等领域的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

节水灌溉工程 / 郭宗楼主编. — 杭州: 浙江大学出版社,
2008.2
ISBN 978-7-308-05779-0

I. 节… II. 郭… III. 节约用水—灌溉 IV. S275

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第009561号

节水灌溉工程

郭宗楼 主编

责任编辑 杜玲玲

封面设计 刘依群

出版发行 浙江大学出版社

(杭州天目山路118号 邮政编码310028)

(E-mail: zupress@mail.hz.zj.cn)

(网址: <http://www.zjupress.com>

<http://www.press.zju.edu.cn>)

电话: 0571-88925592, 88273066(传真)

排 版 浙江大学出版社电脑排版中心

印 刷 杭州余杭人民印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 18.5

字 数 450千字

版 印 次 2008年3月第1版 2008年3月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-05779-0

定 价 30.00元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话 0571-88072522

前 言

在我们面临的现实世界,人口持续增长,粮食供应不断紧张。尤其是中国,随着经济总量和人口总量的加大,农业资源已经迅速接近承载力的上限。平均每人拥有的耕地不到世界平均水平的 30%,每人拥有的水资源不到世界平均水平的 1/4。我国水土资源严重不足是国民经济发展、特别是农业持续发展的首要制约因素。节水农业就是以节约农业用水为中心的农业,它是科学技术进步的产物,也是农业持续发展的重要内涵。为了既能节约用水,又能保持农业持续发展,即最经济地利用有限的水资源和最有效地灌溉,必须有先进的节水灌溉技术与工程为基础。节水灌溉工程是为了充分利用灌溉水资源,提高水的利用率和利用效率,达到农作物高产高效而采取的技术措施,它是由水资源、工程、农业、管理等环节的节水技术措施组成。

随着节水灌溉技术的成熟和教学改革的发展,《节水灌溉工程》已成为农业水利工程专业的一门重要课程。本教材充分反映国内外节水灌溉方面的最新研究成果、应用实践及其发展方向,着重介绍节水灌溉技术以及节水灌溉工程的规划、设计与管理。

全书共分五章,第一章绪论,内容包括节水灌溉的基本概念、节水灌溉的理论依据及主要内容和节水灌溉的主要技术措施;第二章水资源的合理开发利用技术,内容包括水资源开发利用概述、地面水和地下水的合理利用技术、多水源(蓄、引、提)综合利用技术、集雨利用技术和劣质水利用技术等;第三章节水灌溉工程技术,内容包括喷灌微灌技术、低压管道输水灌溉技术、渠道防渗技术、畦灌技术、沟灌技术和水稻节水灌溉技术等;第四章节水农业技术,内容包括耕作保墒技术、坡地截水技术、覆盖保墒技术、培肥改土技术、抗旱品种选育技术化学控制节水技术等;第五章节水灌溉管理技术,内容包括节水灌溉管理、节水灌溉优化管理、灌溉系统信息现代化管理、灌溉工程自动化控制与管理、节水灌溉综合评价理论与方法等。

参加本书编写的有浙江大学郭宗楼(第一、二、三、五章)、郑金土(第四章),全书由郭宗楼主编和统稿,陆琦、姚杰、姚水萍参加了部分文字编辑和文字校对工作。

本书的出版得到了浙江省高等教育重点教材基金资助,编者表示衷心感谢!由于水平有限,书中不足和错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2003 年 1 月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 节水灌溉的基本概念	1
第二节 节水灌溉的理论依据及主要内容	5
第三节 节水灌溉的主要技术措施	8
第二章 水资源的合理开发利用技术	10
第一节 水资源开发利用概述	10
第二节 地面水和地下水的合理利用技术	24
第三节 多水源(蓄、引、提)综合利用技术	37
第四节 集雨利用技术	55
第五节 劣质水利用技术	63
第三章 节水灌溉工程技术	92
第一节 喷微灌技术	92
第二节 低压管道输水技术	142
第三节 渠道防渗技术	162
第四节 畦灌技术	175
第五节 沟灌技术	188
第六节 水稻节水灌溉技术	203
第四章 节水农业技术	209
第一节 耕作保墒技术	209
第二节 坡地截水技术	210
第三节 覆盖保墒技术	213
第四节 培肥改土技术	215
第五节 抗旱品种选育技术	217

第六节 化学控制节水技术·····	218
第五章 节水灌溉管理技术·····	222
第一节 节水灌溉管理·····	222
第二节 节水灌溉优化管理·····	247
第三节 灌溉系统信息现代化管理·····	268
第四节 灌溉工程自动化控制与管理·····	278
第五节 节水灌溉综合评价理论与方法·····	281
参考文献·····	288

第一章 绪 论

第一节 节水灌溉的基本概念

节水灌溉一词近年来在我国已十分流行,其含义甚广,方法措施也很多。灌溉水从水源到田间要经过几个环节,每个环节中都存在水量无益损耗。凡是在这些环节中能够减少水量损失、提高灌溉水使用效率和经济效益的各种措施,均属于节水灌溉范畴。

我国是一个水资源不丰富的国家。在各个用水部门中,灌溉用水最多,约占全国总用水量的70%以上。因此,开展节水灌溉对缓解我国日益突出的水资源供需矛盾具有十分重要的战略意义。在推行节水灌溉方面,几十年来我国已经做了许多工作,取得了一定成效。近年来渠道防渗、喷、微灌等节水新技术和低压管道输水灌溉得到迅速发展。为了减少田间灌溉水的损失,很多地区采用了平整土地、膜上灌、稻田湿润灌溉、改进畦沟灌等节水措施,效果也较显著。但是,节水灌溉在我国毕竟还处于发展阶段,发展不平衡,规模也不大。

一、节水灌溉的内涵及其范畴

节水灌溉是根据作物需水规律及当地供水条件,为了有效地利用降水和灌溉水,获取农业的最佳经济效益、社会效益、生态环境效益而采取的多种措施的总称。

在我国,人们习惯用“节水”这一提法,更确切的提法应当是“高效节水”,国外多用后者。节水是相对的概念,不同的水源条件,不同的自然条件和社会经济发展水平,对节水灌溉有不同的要求。因此,不同国家、不同地区、不同历史发展阶段,有不同的节水标准。

节水灌溉,主要是对符合一定技术要求的灌溉而言。由于灌溉是补充天然降水的不足,从而促使作物高产高效,节省灌溉用水,当然首先要提高天然降水的利用率。因此,把“节水灌溉”仅仅理解为节约灌溉用水是不全面的,应当在考虑灌溉的同时,还要把各种可以用于农业生产的水源,如地面水、地下水、天然降水、灌溉回归水、经过处理以后的污水、“废水”以及土壤水等都充分、合理地利用起来,并采用各种节水措施提高水的有效利用率。节水灌溉不仅包括灌溉过程中的节水措施,还包括与灌溉密切相关、提高农业用水效率的其他措施,如雨水蓄集、土壤保墒、渠井结合、渠系水优化调配、农业节水措施、用水管理措施等。广义的节水灌溉包含了农业高效用水的大部分内容。

灌溉通过给农田补充水分来满足作物需水要求,创造作物生长的良好环境条件,以获得较高的产量,从水源到形成作物产量要经过以下四个环节:

- (1)通过渠道或管道将水从水源输送至田间;
- (2)将引至田间的灌溉水尽可能均匀地分配到所指定的面积上转化为土壤水;
- (3)作物吸收、利用土壤水,以维持它的生理活动;
- (4)通过作物复杂的生理过程,形成经济产量。

前两个环节主要决定于工程技术条件和管理水平。从水源引水至田间,需修建渠道(或管道)和必要的水利工程建筑物;同时还需要一定的管理组织和管理技术。由于自然的、管理的和工程技术等原因,有一部分甚至一半以上的水在沿途损失了。据有关资料分析,灌溉输水损失水量在美国约占总引水量的 47%,原苏联为 50%,日本为 40%,我国平均为 50% 左右。这种水量损失程度可用渠系水利用系数来反映。渠系水利用系数一般根据流量计算,为了反映水量损失情况,在管理上也有以水量计算的,即从灌区的末级固定渠道供给田间的毛水量和与同一时期“渠首”引进水量(不含非灌溉用水量)之比。因此,灌溉水从水源输送至田间沿程水量损失越大,渠系水利用系数越低。实践证明,通过工程和管理措施可以显著地减少这一环节中的水量损失,提高渠系水利用系数。引入田间的灌溉水在转化为土壤水过程中也有水量损失,如深层渗漏和地面径流等损失。以水量计算的田间水利用系数可以反映田间灌溉水的损失程度,它是指同一时期内田间实际灌水面积计划湿润层内土壤中得到净水量与灌区末级固定渠道供给田间毛水量的比值。田间灌溉水损失越大,田间水利用系数越小,田间灌溉水有效利用程度与田间工程、土地平整以及所采用的灌水方法和技术有密切关系。例如,根据陕西省洛惠渠管理局的统计,实行小畦灌溉比大水漫灌可降低灌溉定额 17%~35%;又据文献报道,在半干旱地区用塑料软管代替水沟进行长畦分段灌溉,比一般的长畦灌溉可省水 40%~60%,微灌时水的利用率更高,一般要比地面灌溉省水 30%~50%,也比喷灌省水 15%~25%。由水源引水到田间灌水,都不与农作物吸收和消耗水分的过程直接发生关系。但是,这两个环节的节水潜力比较大,措施比较明确,是当前节水灌溉的重要方面。

在后两个环节中进行节水,一是靠减少作物棵间蒸发量,二是靠减少作物蒸腾量。作物全生育期棵间蒸发量约占作物总需水量的 40%~60%。这部分水量对改善作物生长环境有一定作用,不完全属于浪费水量。但从现有试验资料看,适当减少棵间蒸发量并不一定会影响作物产量,如覆盖保墒和局部灌溉技术均可大幅度减少棵间蒸发量,但对产量不产生影响。至于减少作物蒸腾量会不会影响作物生产发育和产量,目前尚存在一些理论问题有待解决。近年来的许多节水灌溉或非充分灌溉试验研究表明,在一定条件下,适当减少作物植株蒸腾量,也不会导致减产。

综上所述,节水灌溉应从整个灌溉过程上着手,凡能减少灌溉水损失、提高灌溉水使用效率的措施、技术和方法均属节水灌溉范畴。事实上,从水源引水到形成作物产量的每一环节中,都存在着节水潜力。一般情况下,节水应是减少灌溉水的无益消耗,不减少作物正常的需水量,不使作物减产;有些情况下,为了解决供需矛盾,也采用低于作物正常需水量标准进行供水,即采用非充分灌溉,这时不再追求单位面积上产量最高,而是以有限的水资源量,使整个区域上获得最高总产量的经济效益为目标。

二、发展节水灌溉的重要意义

1. 我国水资源概况

降水(包括雨、雪、冰雹、霰等)是水资源的补给来源,一个国家或地区水资源丰富还是匮乏,主要取决于降水。降水量的数据是根据按一定要求布置在各地的雨量站用特定的器具观测计算而来的。中国全国多年平均年降水总量为 61900 亿 m^3 ,换算成深度为 648mm。此一数量,远比全球平均的年降水量 1130mm 要小,比世界陆地的多年平均年降水量 800mm

要小,也不及亚洲的同类值 740mm。按照我国降水量多少的情况,可以把全国分为以下五个大区。

(1)多水区。多水区是指年降水量大于 1600mm 的地区。大致分布在我国东部沿海、华南沿海、云南的西部、西藏的东南部、台湾的中部一带。

(2)湿润区。湿润区是指年降水量在 800~1600mm 之间的地区。大致上包括秦岭、淮河以南、长江中、下游、云、贵、川和广西地区一带。

(3)半湿润区。半湿润区是指年降水量在 400~800mm 之间的地区。包括黄、淮、海平原地区、陕西、山西和我国东北的大部、四川西部、西藏的东部地区。

(4)半干旱区。半干旱区是指年降水量在 200~400mm 之间的地区。包括我国东北的西部、内蒙、宁夏、甘肃和新疆的西、北部地区。

(5)干旱区。干旱区是指年降水量在 200mm 以下的地区。包括内蒙、宁夏、甘肃的沙漠,青海的柴达木盆地,新疆的塔里木、准噶尔盆地等地区。

我国水资源总量为 28000 亿 m^3 ,居世界第六位。与世界其他国家比较,中国的水资源大致有以下五方面特点:

(1)人均、单位面积耕地占有量少。中国人均占有水资源量为 2220 m^3 (按 1997 年人口计算),相当于世界人均占有量的 1/4。与德国、印度相近,仅相当于日本的 1/2,美国的 1/4,原苏联的 1/12,巴西的 1/20,加拿大的 1/44。按耕地计算,中国耕地单位面积占有水资源量也不多,约合每公顷土地 28500 m^3 。

(2)地区分布与人口、土地、经济的布局不适应。中国水资源量的地区分布不均匀。浙闽台诸河、珠江、西南诸河单位面积水资源量最丰富,大致呈现出自东南沿海向西北内陆递减的趋势,这是与降水量的分布相一致的。

我国北方人口占全国总人口的 2/5,但水资源占有量不足全国水资源总量的 1/5,南方人口占全国的 3/5,而水资源总量为全国的 4/5。

北方人均水资源拥有量为 1127 m^3 ,仅为南方人均的 1/3。在全国人均水量不足 1000 m^3 的 10 个省区中,北方即占了 8 个,而且主要集中在华北。华北地区人口稠密,其人口占全国的 26%,但水资源量仅占全国的 6%,人均水量仅为 556 m^3 ,不足全国人均的 1/4。

北方耕地面积占全国耕地面积的 3/5,而水资源量仅占全国的 1/5。相反,南方耕地面积占全国的 2/5,而水资源量却占全国的 4/5。南方每公顷耕地水量 28695 m^3 ,而北方只有 9645 m^3 ,前者是后者的 3 倍。

(3)逐月水量时间分配不均衡。降水集中在夏秋雨季,甚至多到成灾地步,而冬春季少雨,往往与农事活动不相适应,出现“春旱”、“卡脖子旱”等。

(4)历年水量不稳定。历年水量绝不相同,水量多的年份来水与水量少的年份来水,有时可以相差 10 倍,而且并不是丰水、平水、枯水交替出现。在黄河的历史上曾出现连续 11 年(1922—1932)的干旱,连续 9 年(1943—1951)的丰水。

(5)多数河水含沙量较高。黄河平均含沙量为 37 kg/m^3 ,海河为 10 kg/m^3 ,辽河为 5 kg/m^3 ,长江为 1.2 kg/m^3 。在水土流失严重的地区,其数值更高。许多河流已遭到不同程度的污染。

中国水资源的这些特点,给开发利用水资源增加了诸多麻烦和困难,也给水利工作者提出了挑战。

2. 发展节水灌溉的重要意义

新中国成立以来,我国农田灌溉事业取得了很大成就,灌溉面积由 1949 年的 0.16 亿 hm^2 增加到 1998 年的 0.534 亿 hm^2 。在占全国总耕地面积约一半的灌溉面积上,生产了占总产量约 2/3 的粮食。这对基本解决全国 12 亿多人口的温饱问题,对促进工农业生产和国民经济的发展,起到了极为重要的作用。农业用水目前约占全国用水量的 70%,随着工业的进一步发展,工业和其他用水部门与农业争水的局面已经形成,其中北京、天津已非常严重。工业用水量的增加,若不认真进行污水处理,还会严重污染水源。

从我国目前的实际情况看,一方面水资源较紧缺,而另一方面又存在水量的严重浪费现象。不少灌区尤其北方灌区,由于灌水量偏大,渠道渗漏严重,加上管理不完善等原因,自流灌区灌溉水有效利用系数只有 0.4 左右,井灌区一般也只有 0.65 左右。由于粮食生产的极端重要性和灌溉用水量大、效率低的特殊性,为缓解我国水资源危机,认真搞好农业节水,大力发展节水灌溉,具有十分重要的意义。其实,长期以来的灌溉工作的全过程都是围绕提高水的有效利用率,促使农业高产稳产进行的,只不过受过去主观认识以及客观条件的限制,没有把节水工作放到应有的地位。目前,我们正在建立社会主义市场经济体制,加快实现“两个转变”,普及节水灌溉就意味着实现农业灌溉从粗放经营管理向集约经营管理的转变。在新的历史发展时期,大力发展节水灌溉,是进一步改善农业生产条件,缓解农业用水供需矛盾的需要,是加强农业基础设施建设,促使农业高产高效的有效措施,是农田水利基本建设的主要内容之一。发展节水灌溉的意义不仅仅是节约灌溉用水,而且改变了传统的用水、管水方法。现代节水灌溉,特别是先进的喷、滴灌技术,大量采用高分子材料,自动控制,计算机数据处理等先进科学技术和器材设备,能够科学有效地控制灌水质量、灌水时间、灌水量、灌水均匀程度等,大大促进了农田水利的科技进步,提高了灌溉的科技含量,节水灌溉已成为水利现代化的主要标志之一。发展节水灌溉不仅要研究作物需水规律和灌水技术,还要研究开发一系列与之密切相关的新材料、新设备、新工艺、新技术,需要大量水泥、塑料管、塑料薄膜、薄型铝管、钢管、喷灌机、滴灌灌水器及其附属配件等,可带动和促进水利产业的建设与发展。节水灌溉为农作物创造了比较适宜的水分条件;通过水的作用,影响土壤的肥、气、热等因素,促使作物高产、稳产;先进的灌水技术又反过来促进农业耕作栽培技术,良种培育等的变革。节水灌溉与农机、施肥、植保等其他现代农业科技相配套,成为现代化农业不可缺少的组成部分。发展节水灌溉,无论是比较简单的渠道防渗,管道输水,还是机械化程度较高的喷灌、微灌,都不同程度地减轻了农民用于平地、挖渠、灌水的劳动强度和用工,节省出大批劳动力转向乡镇企业和其他行业,促进农村产业结构的调整和社会进步。推行节水灌溉,所节省出的水用在工业和城镇生活方面,缓解城市和工业用水供需矛盾,有利于国民经济快速、健康、持续发展。此外,发展节水灌溉,还有利于促进人们在用水方面的思想观念更新,加快水费改革,提高用水管理水平,促进建立适应社会主义市场经济体制要求的用水、节水、管水新机制。因此,节水灌溉是农田灌溉乃至农业用水发展史上意义深远的一场重大变革。

第二节 节水灌溉的理论依据及主要内容

一、节水灌溉的理论依据

科学技术的进步和生产的发展,促进了人们对灌溉原理的认识不断深化。水资源的紧缺,给灌溉科学提出了新的目标和要求。为了既能节约用水,又能保持农业持续发展,即最经济地利用有限的水资源和最有效地进行灌溉,必须要有一定的节水灌溉理论作指导。

水分在时空上的分布不均,作物在生育过程的需水要求不同,使得要保持二者间的平衡往往是暂时的或相对的。从全过程和整体观察,在许多情况下,水分亏缺矛盾总是不可避免。

这种水分亏缺包括:供给土壤水量小于土壤水分消耗量的“土壤水分亏缺”;蒸腾失水大于根系吸水的“作物水分亏缺”。关键的问题是在不同的可供水量条件下,为了获得最佳产量,允许作物在什么时候发生水分亏缺及允许亏缺到什么程度?作物对水分胁迫逆境适应的能力有多大?当某生育阶段发生水分亏缺,经过灌溉补救以后,其后遗影响大小及延续时间的长短最终会对产量和产品质量构成哪些影响?揭示并依据这些规律便可科学地制定非充分灌溉的策略,为非充分灌溉和节水灌溉提供理论依据。

(1)物种资源中存在着一系列的对水分亏缺的适应机制,可采用增加作物在遭受干旱逆境时的定植、生长、发育和生产能力。这种机制表现为干旱时的逃旱(或避旱)和耐旱(或抗旱)作用。逃旱是指在土壤有效水分耗尽前,提前成熟;耐旱是指可增加对逆境耐性的适应能力,如延迟脱水和增加耐脱水能力。水分生理学研究表明,受水分胁迫的许多作物都表现了脯氨酸(PRO)和脱落酸(ABA)的积累。PRO增加对于渗透性的调节具有重要作用,作物通过渗透调节,能使细胞内渗透势大于周围环境的渗透势,以便维持细胞内一定膨压,有利于保持水分和各种代谢过程的进行及抗渗透胁迫能力的增强。ABA的积累能对气孔关闭有某种作用,从而减少和调节蒸腾强度,有利于作物体保持一定水分。这种生物适应能力随作物种类和品种不同有较大的差异,可对作物的耐性增加和延迟胁迫的适应机制作出生理解释和揭示,有助于非充分灌溉和节水灌溉作物品种、种类的选择。

(2)干旱和半干旱地区的某些土壤的水分特征,提供了低定额灌溉的可能性。据对我国西北地区黄土的水分物理研究表明,其土壤水分特征曲线在接 θ_f 处,水分有效性下降很快;而在 $40\% \sim 80\% \theta_f$ 的范围内,土壤水分作为作物利用的有效性下降非常缓慢。在此范围以内的土壤水分对作物的吸收影响,几乎同等有效(其能态指标接近)。若这类土壤从田间持水率的 70% 降低到 50% 时,其叶水势并不明显下降,而当叶片渗透势含水率降低到 40% 以下时,才与 70% 的供水植株的叶片表现有明显差异,这一研究结果与黄土的水分特征对作物有效性范围的研究基本吻合。表明在西北干旱和半干旱的黄土地区,土壤水分的有效性与植物根系吸水速率相关,保持低含水量水平,不会使作物遭受明显干旱而大幅度减产。为非充分灌溉和农业节水并获得中等以上的产量提供了可能。华北地区冬小麦的研究也表明,整个生育期适宜土壤含水率的下限可控制在田间持水率的 $50\% \sim 60\%$,显著区别于过去的 70% 或以上的结论,均为低定额的灌溉节水提供了土壤水分物理学的重要依据。

(3)作物具有一种有限缺水效应,在适度的水分亏缺情况下并不一定会显著降低产量。

作物在适度水分亏缺的逆境下,对于有限缺水具有一定的适应和抵抗效应,在经受了短期和适度水分胁迫影响,虽对生长和发育产生了一定抑制,但经过灌水的补救,一段时间后又会上加快生长,表现为一种补偿生长的效应。根据产量形成同化作用的理论及数学模型 $Y = HI \int_c^h A \cdot dt$, 只有当水分亏缺降低了单位面积(A)作物的同化作用,改变了同化物分配比例(HI)时,才会使产量(Y)降低。适度的有限缺水,虽然会影响叶片生长扩张,但并不影响叶片的气孔开放,不至于对光合作用速率产生明显影响,最终也不会影响产量。由于水分亏缺对蒸腾的影响迟缓于生长,在水分亏缺过程,蒸腾作用却超前于光合作用的下降,因此即使在轻、中度缺水情况下,气孔开度减小,蒸腾速率可能较大幅度下降,但光合作用仍不致显著下降,最终并不一定会造成产量的明显降低。

控制作物生长的最佳水分环境,科学地掌握生长过程的水分促控(也称“干湿交替”)技术,尽管在某些生育阶段出现适度水分亏缺,对于促进作物的群体高产具有积极作用。如我国总结棉花和玉米的“蹲苗”、水稻的控水“落干”增产经验。Turner 于 1989 年的研究认为,早期适度水分亏缺,对小麦、玉米、向日葵、花生、豆科牧草也会有利于增产。对于有限缺水可能引起增产的机制的研究初步揭示:如引起作物体内营养分配模式的改变,引起同化物从营养器官向生殖器官分配的增加,从而有利于经济产量的形成。刺激腋芽、新叶和花的发育,有利于无限习性作物产量的形成。由于氮素的重新分配,促进了根冠上部大叶的发育及根系下扎。“蹲苗”使作物各部分渗透压、吸水力相应提高,地下部分根系延伸生长,根毛区延伸生长加快,新的根毛加多等,都有利于作物从较深土层中吸收水分、加大根系吸水强度。禾谷类作物生长后期适度缺水,会促进灌浆的进程,使灌浆的初期速率得以加快,直到严重水分亏缺来临之前,小麦体内物质运输速率并不降低,可提高禾谷类作物的经济产量。对于块根作物——甜菜,生长后期适度缺水,虽产量会有所降低,但对于改善产品品质,提高含糖率有重要作用,最终产糖量仍有提高。关于作物有限缺水效应的应用,要注意缺水的时机和适度值的量化,以便在指导非充分灌溉和节水灌溉的实践中减少风险性和可消除的缺水滞后影响(或称后遗症)的大小。

(4)数量经济学和系统工程学的最优化理论,为提高每立方米灌溉水的生产效率、优化作物灌溉制度设计和作物的种植结构,拟定系统的用水计划和实现灌区的目标规划的非充分灌溉和节水灌溉,提供了科学的管理理论。随着节水灌溉问题涉及范围越来越大,需考虑的因素越来越多,经济意识越来越强,在灌溉规划设计和管理分配领域广泛地应用经济分析和系统分析理论,指导作物—水分关系的投入、产出研究,灌溉系统最佳管理策略研究,进行大系统的科学管理决策,成为非充分灌溉和节水灌溉系统管理的理论基础。

二、节水灌溉理论的形成

很久以来,人们对传统灌溉中的节水理论作过许多有益探索。20 世纪 70 年代,在水资源紧缺的形势下,比较广泛地开展了节水灌溉的试验探索与有限水量条件下灌溉水的优化管理理论的研究。Hillel 于 1972 年指出,节水灌溉理论研究的根本目的并非单纯节约用水,而是通过供水和其他环境变量的优化提高劳动生产率。福田仁志于 1973 年也认为,灌溉的目的是土地和劳动生产率二者协调一致的提高;即缺水时每立方米水所获得的产量和水管理的集约化问题。研究者们开始用灌溉经济学和系统工程学的原理评价灌溉行为,从

而形成了近代灌溉目标,即不但要取得最优的灌溉效果,同时要具有更高的灌溉效率。因此,节水灌溉的根本目标是在有限水量的条件下,能以最小的费用,最大限度地获得单位水量的灌溉产值(或产量),即力争以最小费用获得最大的净效益。

节水灌溉理论可分为两类:节水硬科学和节水软科学。节水硬科学,指从水源引水到田间灌溉的全部工程技术装备。如引水枢纽、输水和配水系统的防渗渠道和管道,地面灌溉方法和灌水技术,喷灌、微灌和管灌技术,灌溉效率测算和水费计量设施,土壤墒情监测、采集和传感系统,土地平整、农田整治和建设技术等。节水软科学,指土壤—作物—大气的水分关系研究和水管理理论、方法与实施。如作物节水灌溉的理论,有限水量在地区间、作物间及作物生育期内的时、空最优分配制度,计算机支持管理系统的预测和决策理论,节水政策和灌溉效益、成本研究,水管理质量评估方法和指标体系,灌溉管理组织改进和提高等。此外,还包括与灌溉密切相关、提高农业用水效率的其他措施,如雨水蓄集、土壤保墒、渠井结合、渠系水优化调配、农业节水措施等。

三、节水灌溉理论的研究任务及主要内容

节水灌溉理论的基本研究任务:一是研究技术上先进、经济上合理的各种工程措施、途径和方法,减少灌溉水的无益损耗;二是研究灌溉系统中各种工程设施的控制、调度和运用方法,在时间上和空间上合理地分配水源水量,并在田间推行科学的灌溉制度和灌水方法,以达到充分发挥工程作用,合理利用各种水资源,促进农业高产、稳产和获得较高经济效益的目的。

具体地说,节水灌溉理论的研究一般包括:

- (1)土壤—植物—大气连续系统(SPAC)水分传输理论;
- (2)水分胁迫对作物生理活动及产量的影响以及作物对水分胁迫的适应性;
- (3)不同田间水分条件下作物蒸发蒸腾量的变化规律、影响因素、分析计算及预报理论与模型;
- (4)作物水分生产函数及其变化规律;
- (5)节水灌溉条件下水肥综合运移规律及高效利用水肥的调控机理;
- (6)节水灌溉农业综合技术;
- (7)水资源的合理开发利用技术;
- (8)水量不足条件下灌溉水量在地区间、作物间及时间上的最优分配;
- (9)实时灌溉预报理论、方法与灌溉渠道动态配水理论及其决策支持系统;
- (10)节水灌溉环境评价理论与方法;
- (11)节水灌溉经济评价理论与方法;
- (12)节水灌溉新方法与新技术研究;
- (13)节水灌溉工程的规划、设计、施工、运行及管理理论;
- (14)节水灌溉设备的研制与设计理论;
- (15)节水灌溉科学试验的原理与方法。

本教材重点介绍水资源的合理开发利用技术、灌溉工程技术、节水利用技术和节水灌溉管理技术,至于节水灌溉的理论基础可参阅有关文献^{[1][7]}。

第三节 节水灌溉的主要技术措施

广义的节水灌溉技术内容十分广泛,包括工程、技术、农业、管理、政策法规等多方面的措施,如各种水源开发与优化利用措施,农业耕作栽培节水技术措施以及节水灌溉措施等。狭义的节水灌溉技术措施,按其性质不同一般可分为以下三类:

1. 降低渠道水量损失的措施

加强渠道管理,包括渠道配套完善、渠道和建筑物的养护、维修,是减少渠道水量损失的一个不可忽视的方面。但最根本和有效的措施则是采取渠道防渗。根据国内外实践经验,采取防渗措施后,至少可使渠道渗漏损失量减少一半以上。

小型渠道或井灌渠道可用管道代替,以减少输水损失,提高水的利用率。管道输水还有节省沟渠占地、缩短灌水周期等优点。

2. 提高用水管理水平

联合国粮农组织(FAO)、国际灌排委员会(ICID)、国际灌溉管理研究院(IMI)等组织的专家经过多年研究认为,在不投入大量资金对现有灌溉工程进行大的改造时,通过提高灌溉管理水平,有着很大的节水增产潜力。科学而有效的管理能大量减少灌溉用水的浪费。例如山东省水利厅在引黄灌区采用“分级供水,用水计量”的办法,使灌溉定额由原来的 351m^3 减少到 272m^3 ,节水 22%,渠系水有效利用系数由原来的 0.43 提高到 0.54,全省引黄灌区总节水量,可扩大灌溉面积 26.27 万 hm^2 。

提高用水管理水平,可从以下方面着手:

- (1) 实行计划用水、节约用水;
- (2) 建立预报测报系统,为用水管理提供水情、土壤水分状况等数据;
- (3) 因地制宜,制定最佳灌溉排水制度,合理进行灌排;
- (4) 对灌溉系统的配水进行优化管理;
- (5) 合理征收水费,鼓励用户节约用水;
- (6) 搞好测水量水工作,实行按量配水;
- (7) 搞好工程配套、改造和维修;
- (8) 提高管理人员技术素质,健全责任管理制度;
- (9) 组织农民参与灌溉用水管理。

3. 采用节水型灌水方法和技术

灌水方法的好坏,直接影响灌水均匀程度和田间水量损失大小。我国目前采用较多的节水型灌水方法有下列几种:

(1) 喷、微灌。喷灌适宜于各种作物,不要求地面平整,可用于地形复杂、土壤透水性大等进行地面灌溉有困难的地方。喷灌要求有一定的机械设备和动力,投资较大,技术也较复杂。喷灌比地面灌溉可省水 30%~50%。微灌属于局部湿润灌溉,即只湿润作物附近的一部分面积,它比喷灌更省水。

(2) 低压管道灌溉。低压管道灌溉技术近几年来在我国北方,特别是井灌区有较多发展。据统计,仅河北、山东等省近几年就发展了低压管道灌溉面积达 14.22 万 hm^2 。这种灌溉具有节水、节能、省地、省工等优点。有些省的井灌区用低压塑料软管输水配水进行灌溉,

俗称“小白龙”灌溉,可使水的利用率达 97%~100%,单井灌溉面积扩大近一倍,可比土渠灌溉节电 4.3%。

(3)节水型地面灌溉。地面灌溉,如沟灌、畦灌等至今仍是我国广泛使用的灌水方法。传统的地面灌溉定额大、渗漏多,比其他方法费水。但是改进后,可节省很多水量。例如,平好土地,长畦改短畦,大畦改小畦,控制改水成数以及利用地膜输水(即膜上灌)等,均有显著的节水效果。

(4)水稻节水灌溉。我国各地推广的水稻“薄、浅、湿、晒”,“薄、露”,“浅、湿”,“控制湿润”等节水灌溉技术与传统的水稻淹灌不同,在水稻生育期的大部分时间田面不建立水层,而只维持土壤一定的含水量。因此,可以大量减少渗漏和蒸发损失,起到节水作用。实践证明,采用这种技术不仅能大量节水,而且还可获得较高的产量。

除上述节水灌溉技术措施外,还有节水农业技术措施,如耕作保墒技术、适雨种植技术、覆盖保墒技术、培肥改土技术、抗旱品种选育技术等。

能够节水而且行之有效的灌水方法和技术还有许多种,这里不再一一列举。应当指出,每种节水灌溉措施各自都有一定的条件和技术要求。因此,选用这些措施时,应该结合实际条件,因地制宜,尽可能进行必要的试验研究。同时,任何节水措施的采用,要从更大范围来考虑它的合理性,例如渠道渗漏在地下水源缺乏、地下水水质好的地区,不能全作浪费看待,部分渗漏补充地下水源;南方水库供水灌区,节约的水量如不扩大灌溉面积或增加发电量、增加城镇生活供水等综合开发,只会增加年溢洪水量,节约的水发挥不了效益等等。此外,在发展节水灌溉时,还应处理好节水与开源,速度与效益,先进性与实用性,社会效益与经济效益以及经济效益与环境效益等之间的相互关系。

第二章 水资源的合理开发利用技术

第一节 水资源开发利用概述

一、水资源的含义和特性

1. 水资源的含义

水,自古以来就是人类“生产资料和生活资料的天然来源”(《现代汉语词典》对“资源”的释义)。但是,“水资源”一词的出现却是近代的事,1894年,美国地质调查局成立了一个水资源处。近二三十年来,随着人们对水资源问题的日益关注,“水资源”一词才在中国频繁出现。

由于研究的领域不同或思考的角度不同,专家学者们对“水资源”一词的理解大相径庭,对它的“定义”竟然有四五十种之多,现根据水文学家陈家琦和王浩所著《水资源学概论》的介绍及有关资料,择其主要者简列于下:

- 陆面地表水和地下水(美国地质调查局,1894)
- 自然界一切形态(液态、固态和气态)的水(《不列颠百科全书》,苏联加里宁撰稿)
- 具有足够数量的可用水源(英国《水资源法》,1963)
- 可供利用或有可能被利用,具有足够数量和可用质量,适合当地需求、能长期供应的水源(联合国教科文组织,世界气象组织,1988)
- 地球表层可供人类利用的水(《中国大百科全书·大气科学海洋科学水文科学》,1990)
- 自然界各种形态(气态、液态和固态)的天然水(《中国大百科全书·水利》,1992)
- 降水量中可以被利用的那一部分(张家诚,1991)
- 与人类生产和生活有关的天然水源(刘昌明,1991)
- 可供国民经济利用的淡水资源,其数量为扣除降水期蒸发的总降水量(曲耀光,1991)
- 一切具有利用价值,包括不同来源或不同形式的水(陈梦熊,1991)
- 具有稳定径流量、可供利用的相应数量的水(施德鸿,1991)
- 与人类社会用水密切相关而又能不断更新的淡水,包括地表水、地下水和土壤水(贺伟程)
- 按需要提供或可能提供、通过自然界水循环不断更新补充、可人工控制、适合用水要求的水量(陈家琦,1991)
- 地球上所有的气态、液态和固态的天然水(《中国水利百科全书》,陈志恺,1991)
- 地球上存在的不论属于哪种状态(即气态、液态或固态)的、对人类有潜在用途的天

然水体(《不列颠百科全书》国际中文版,1999)

——具有一定的数量、可利用的质量、年复一年循环再生的水(《水资源与可持续发展》,陈传友、王春元、窦以松,1999)

——与人类社会用水和生态环境保护密切相关而又能不断更新的淡水(《21世纪中国水供求》,1999)

不同的思考给出了多种多样的说法,正说明水资源问题的广泛性、重要性、复杂性,也说明一个新学科正在形成和发展之中。在其他科学领域,恐怕很少遇到这样的问题。因此,企图给出一个统一的权威的“水资源”定义,似乎不大现实,或许既无必要,也不可能吧。相反的,充分的探讨,集思广益,至关重要。

2. 水资源的自然特性

水资源的自然属性中最基本的当数水的理化性质。水资源的其他自然属性,皆与此密切相关。比如,液态水的流动性,使得水可以汇集与积蓄,这为城镇生活供水、水力发电、航运、水产养殖、防洪、旅游等活动,提供了重要的基本条件。水的代谢和水的循环,维持着地球上的能量的传输,生物才得以生存和延续。水流的净化作用,水中的微生物和溶解氧,能把有机的废物分解,使得构成生物有机体的各种物质能够不断地回归大自然,从而维持着大自然的净化和再生,留给我们一个洁净宜人的世界。

3. 水资源的经济特性

水资源的经济特性明显地表现在以下几方面:

(1)水资源具有不可替代性。水资源在人类的生活、生产上的作用,绝大多数情况下是其他物质不可替代的。有的方面(如工业部门的冷却水等)可以由其他物质替代,但是所花的代价过于昂贵或复杂,甚至给环境带来不良影响,得不偿失,成了实际上的不可替代。

(2)水资源具有再生性。凭借自然界的水循环,人类使用的水资源是不会耗尽的可再生资源。但是使用和管理的不当,会极大地影响水资源的再生。例如,超量开采地下水,超过自然再生的能力,就会延缓水资源再生的周期,甚至造成当地地下水资源的枯竭。一水多用,提高水的利用率以及代价较高的污水的再生化和资源化,也是水资源再生的途径。

(3)水资源具有波动性。这反映在各地水资源分布差异很大,同一地区的水资源历年各季不同,给使用造成许多困难,修工程进行调节要有巨大的经济投入。

(4)水流的随机可变性。河川水流不论是一年之内或年际的变化都往往很大,变化的趋势通常也难以确切预测(故有所谓“水文的随机性和不确定性”)。这个自然情况给水利工程的合理设计和建成后的合理运行,都带来一定的复杂性甚至风险性。

(5)水资源具有稀缺性。常年缺水地区,采取调水、节水、淡化海水、循环用水等方式解决水资源的紧缺,要付出巨大的经济代价。即使在水资源绝对数量并不少的地区,要获得可资利用的水资源量,也需要投入相应的生产成本,不会呼之即来,不能毫无限制、无代价地使用,因此也表现出不同程度的经济上的稀缺性。

(6)水利和水害的两重性。众所周知,江河水流既能为国民经济建设服务,也会带来洪水、旱涝等灾害。在河流上兴建水利工程,譬如修建水库,一方面可以用于兴利(灌溉、发电、给水、旅游等)和防洪,另一方面也引起库区农田、森林、矿藏淹没、人口迁移和可能的对环境生态的某些有利和不利的影晌。

(7)综合利用。许多国民经济部门利用水的方式是各不相同的,可分耗水和用水两种。