

节水灌溉 理论与技术

李远华 主编



武汉水利电力大学出版社

节水灌溉理论与技术

李远华 主编

武汉水利电力大学出版社

武汉

(鄂)新登字 15 号

内 容 提 要

本书结合我国节水农业实践的需要和现状,比较全面、系统地介绍了节水灌溉的基本理论与技术。可作为农田水利工程或其他相近专业本科生和研究生教材,也可供从事节水灌溉工作的工程技术人员参考。

全书共分为十章,内容包括绪论、作物与水分、作物蒸发蒸腾量、作物水分生产函数、节水灌溉水量最优分配、地面灌溉理论与技术、喷微灌理论与技术、节水灌溉输配水系统、节水灌溉管理和节水灌溉试验等。书中着重阐述了节水灌溉基本理论,并适当介绍了国内外节水灌溉研究的最新成果及其应用。

图书在版编目(CIP)数据

节水灌溉理论与技术/李远华主编. —武汉:武汉水利电力大学出版社,1999.1
ISBN 7-81063-026-1

I. 节… II. 李… III. 节约用水-灌溉-技术 IV. S275

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 01827 号

责任编辑:瞿扬清 封面设计:涂 驰
武汉水利电力大学出版社出版发行
(武汉市武昌东湖南路 8 号 邮编 430072)
京山金美印刷有限责任公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:19.75 字数:491 千字
1999 年 1 月第 1 版 1999 年 1 月第 1 次印刷 印数:0 001—2 000 册
ISBN 7-81063-026-1/S·1 定价:22.00 元

前 言

水资源危机不仅已成为全球经济持续发展的中心问题之一,而且已成为全球政治问题的中心议题之一。我国是一个水资源不丰富的国家,为解决我国水资源危机,认真搞好农业节水,大力发展节水灌溉,形成节水型社会,已经成为我国的一项基本国策。近年来,党中央和国务院对节水灌溉十分重视,水利部强调要从实现两个根本性转变的战略高度充分认识中央提出的“大力普及节水灌溉”的重要意义。

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,必须有较系统的节水灌溉理论作指导。但国内尚没有一本可供本科生和研究生使用、专门介绍节水灌溉理论与技术的教材或专著。为缓解我国迅速发展的节水农业实践与节水灌溉理论研究和教学不相适应的矛盾,高等学校水利水电类专业教学指导委员会“农水、测量与泵站教学组”于1997年5月认为此书急需出版。

《节水灌溉理论与技术》已成为农田水利工程专业的一门重要课程。在编写此书过程中,作者力求充分反映国内外节水灌溉方面的最新研究成果、应用及其发展方向;同时本着少而精和便于教学的原则,着重阐述了节水灌溉的基本理论与技术。全书共分十章,主要包括作物与水分的关系、作物蒸发蒸腾量计算与预测、作物水分生产函数、灌溉水量最优分配、地面灌溉理论与技术、喷微灌理论与技术、节水灌溉输配水系统、节水灌溉管理和节水灌溉科学试验等。

参加本书编写的有武汉水利电力大学李远华(第一、二、三、九、十章)、崔远来(第四章第五、六节及第五章)、魏永曜(第六章第一、二、三节)、罗金耀(第七章)、内蒙古农牧学院陈亚新、魏占民(第四章第一、二、三、四节)、河海大学彭世彰(第六章第四节)和西北农业大学林性粹(第八章)。全书由李远华主编,罗金耀参加了部分统稿工作。

本书的编写得到了农田水利学界许多专家的支持和帮助,雷声隆教授、房宽厚教授、李恩养教授及菲智教授等提出了许多宝贵意见,对此我们表示衷心的感谢。

由于国内外节水灌溉理论与实践尚处在发展和探索阶段,加之作者水平有限,书中缺点和错误在所难免,恳请读者批评指正。

本书的出版,得到了武汉水利电力大学“211工程”建设经费资助,主编和作者表示衷心感谢!

编 者

1998年2月

目 录

前 言	
第一章 绪论	(1)
第一节 节水灌溉的内涵及其范畴	(1)
第二节 发展节水灌溉的重要意义	(2)
第三节 节水灌溉的主要技术措施	(5)
第四节 节水灌溉理论体系及主要内容	(6)
第二章 作物与水分	(8)
第一节 作物水分生理	(8)
第二节 作物与水的生态关系	(17)
第三节 土壤-植物-大气水分传输系统	(20)
第四节 水分胁迫对作物生理活动及产量的影响	(22)
第五节 节水灌溉条件下稻田生态环境	(32)
第三章 作物蒸发蒸腾量	(35)
第一节 作物蒸发蒸腾量的变化规律	(35)
第二节 作物蒸发蒸腾量的主要影响因素	(45)
第三节 作物蒸发蒸腾量计算基本模型	(47)
第四节 参考作物蒸发蒸腾量计算	(55)
第五节 水分不足条件下作物蒸发蒸腾量计算	(60)
第六节 作物蒸发蒸腾量的预测	(64)
第四章 作物水分生产函数	(69)
第一节 作物水分生产函数的基本概念	(69)
第二节 作物水分生产函数的数学模型	(73)
第三节 作物水分生产函数数学模型的建模	(81)
第四节 旱作物水分生产函数	(86)
第五节 水稻水分生产函数	(89)
第六节 作物水分生产函数变化规律	(94)
第五章 节水灌溉水量最优分配	(100)
第一节 节水灌溉的最优灌溉制度	(100)
第二节 多种作物间灌溉水量最优分配	(117)
第三节 地区间水量大系统配水模式	(123)
第四节 一次灌水灌溉渠系最优水量分配	(124)
第六章 地面灌溉理论与技术	(130)
第一节 地面灌溉系统的分类及田间灌溉系统评价	(130)
第二节 地面灌溉系统的稳定流设计方法	(137)
第三节 地面灌溉系统的非稳定流设计方法	(153)
第四节 稻田节水灌溉	(172)

第七章 喷微灌理论与技术	(177)
第一节 概论.....	(177)
第二节 喷微灌设备.....	(179)
第三节 喷微灌灌水技术要素.....	(190)
第四节 喷灌系统规划设计.....	(204)
第五节 微灌系统规划设计.....	(223)
第六节 节水灌溉综合评价理论与方法.....	(230)
第八章 节水灌溉输配水系统	(237)
第一节 概述.....	(237)
第二节 低压管道输水灌溉系统.....	(241)
第三节 渠道防渗技术.....	(256)
第九章 节水灌溉管理	(271)
第一节 实时灌溉预报.....	(271)
第二节 中长期灌溉用水计划.....	(278)
第三节 短期灌溉用水计划及渠系动态配水.....	(283)
第四节 节水灌溉管理质量评估.....	(289)
第十章 节水灌溉试验	(297)
第一节 节水灌溉试验的主要内容及目的.....	(297)
第二节 试验处理.....	(298)
第三节 试验方法.....	(301)
第四节 节水灌溉试验成果分析.....	(302)
主要参考文献	(308)

第一章 绪 论

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80%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以管道代替沟渠的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。

第一节 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它措施,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)和必要的水工建筑物;同时还需要一定的管理组织和管理技术。由于包括自然的、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这个环节,都不与农作物吸收和消耗水分的过程直接发生关系。但是,在这两个环节中的节水潜力比较大,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。

第二节 发展节水灌溉的重要意义

一、我国水资源概况

我国多年平均降水量6.19万亿 m^3 ,地下水资源0.83万亿 m^3 ,两者重复量为0.73万亿 m^3 。我国的水资源总量虽在世界各国中排名第六,人均占有量不足2700 m^3 /年,只相当于世界人均占有量的22%,位居世界第88位;每公顷占有量仅为26535 m^3 /年,是世界平均值的76%,总体上属水资源不丰富的国家。我国的水资源不仅不丰富,而且时空分布极不均匀。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

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

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

是指年降水量在 400 ~ 800 mm 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

是指年降水量在 200 ~ 400 mm 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

是指年降水量在 200 mm 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。

我国各地区水土资源分布情况见表 1-1。

表 1-1 我国各地区水土资源分布情况表

地 区	河 川 径 流		耕 地
	总 量 (亿 m ³)	占全国比 (%)	占全国比 (%)
北 方	东 北 地 区	1 635.56	6.2
	黄淮海流域	1 741.08	6.6
	内蒙高原及西北内陆	1 160.72	4.4
	合 计	4 537.36	17.2
南 方	长江中下游	7 307.26	27.7
	东南沿海	5 302.38	20.1
	云贵、青藏高原	9 233.00	35.0
	合 计	21 842.64	82.8
全 国 总 计		26 380.00	100.0

我国降水量分布的总趋势,是由东南沿海向西北内陆递减的。与我国的耕地的分布状况很不一致,形成了南方水多地少,北方水少地多的水土资源组合很不协调的格局。例如:长江以南地区,耕地面积仅占全国耕地面积的 36%,而其河川径流量占全国总径流量的 83%;淮河及其以北地区,耕地面积占全国的 64%,而其河川径流量仅占全国的 17%。其中黄、淮、海、辽四个流域内的耕地面积占到全国的 40%,但其河川径流量仅占全国的 7%。降水和径流的地区分布不均匀性,尤其是水、土资源的组合很不协调、很不平衡,也是我国水资源的自然特点之一。

表 1-2 我国水资源量的每公顷年占有量 and 人均年占有量按流域分布情况表

地 区	年径流量 (亿 m ³)	耕地面积 (万 hm ²)	人 口 (万)	每公顷年水量		人均年水量	
				(m ³ /hm ²)	与全国比 (%)	(m ³ /人)	与全国比 (%)
珠江流域	3 070	520.50	7 411	58 980	224	4142	154
浙 闽 片	2 001.23	312.60	6 280	64 020	243	3 187	118
长江流域	9 793.53	2 470.20	34 580	39 645	151	2 832	105
淮河流域	530	1 257.73	12 479	4 215	16	425	16
黄河流域	626	1 304.07	8 167	4 800	18	766	28
海河流域	284	1 007.07	8 836	2 820	11	321	12
辽河流域	151	470.27	2 833	3 210	12	533	20
松花江流域	759	1 171.20	4 662	6 480	25	1 628	60
全 国	26 341.26	9 933.33	97 000	26 325	100	2 695	100

我国的水资源分布和人口的分布也不一致,人均和每公顷年占有的水资源量相差很大。我国水资源量和人均、每公顷年占有量按流域分布的情况见表 1-2。

从表 1-2 中可以看出:每公顷年水量和人均年水量都以海河流域为最低;每公顷年水量以浙、闽片为最高;人均年水量以珠江流域为最高。从每公顷年水量来看,海河流域同浙、闽片相比,相差达到 22.7 倍;从人均水量来看,海河流域同珠江流域相比,相差达到 12.9 倍。所以,水资源量的每公顷分配和人均分配的地区差别很大,是我国水资源的又一自然特点。

二、发展节水灌溉的重要意义

建国 40 多年来,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 1996 年的 0.5 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 85%,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,如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、植保等其它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它行业,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:

一、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。管道输水还有省沟渠占地、缩短灌水周期等优点。

二、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(IIMI)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 351 m^3 减少到 272 m^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。

三、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 213.33 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,比其它方法费水。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。

能够节水而且行之有效的灌水方法和技术还有许多种,这里我们不再一一列举。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。

第四节 节水灌溉理论体系及主要内容

一、节水灌溉理论的形成

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。

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。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(1972)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(1973)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。开始用灌溉经济学和系统工程学的原理评价灌溉行为,逐渐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水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利管理理论、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,水利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。

二、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;
- (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;
- (8)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;
- (9)节水灌溉环境评价理论与方法;
- (10)节水灌溉经济评价理论与方法;
- (11)节水灌溉新方法与新技术研究;
- (12)节水灌溉工程的规划、设计、施工、运行及管理理论;
- (13)节水灌溉设备的研制与设计理论;
- (14)节水灌溉科学试验的原理与方法。

第二章 作物与水分

作物与水的关系十分密切,水既是作物生活的基本条件之一,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作物的生理活动,而且会通过对土壤肥力的其它因素及农田小气候和农业技术措施等的影响而影响作物。要使作物生长发育良好而获得高产,必须了解作物水分生理和生态关系,根据作物需水规律和有关因素采用合理的措施,为作物创造良好的环境条件,充分发挥水对作物的有利作用,避免水分不足和过多的不良影响。

第一节 作物水分生理

一、作物体内水分状况及其生理作用

任何生活着的作物都含有大量的水分。其含水量的多少随作物的种类、器官以及生育阶段的不同而异。一般禾谷类作物的含水量约为鲜重的 60% ~ 80%;而块茎作物和蔬菜的含水量多达 90% 左右。就同一作物来说,通常生命活动愈旺盛的器官或部位,其含水量也愈高。随着这些器官的衰老,含水量逐渐降低。成熟种子的含水量一般降低至 15% ~ 10% 左右,因而其生命活动十分微弱。

作物体内的水分,按存在状态的不同,可分为束缚水和自由水两种。束缚水是细胞中靠近胶粒,受胶粒束缚而不易移动的水份。自由水则是离胶粒较远,不受束缚而能自由移动的水分。事实上,这两种状态的水分的划分是相对的,它们之间并没有明显的界限。

自由水参与各种代谢作用,它的数量制约着作物的代谢强度,如光合强度、蒸腾强度、呼吸强度和生长速度等。自由水占总含水量的百分比越大,则代谢越旺盛。束缚水不参与代谢作用,但含量的多少,与作物的抗性有密切关系。即束缚水含量与自由水含量的比率(通常 4 ~ 5 : 96 ~ 95)增高时,作物的抗寒、抗旱能力增强。因此,作物自由水和束缚水的含量及其比率是反映水分生理状况的一项重要指标。

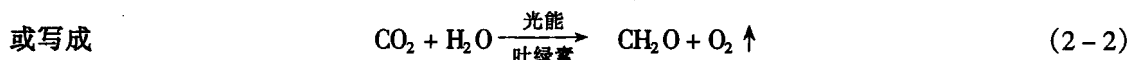
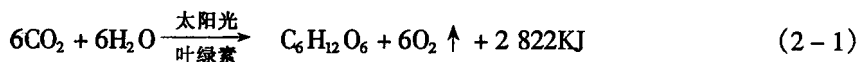
水分在作物生理中的主要作用如下。

(1) 细胞原生质的重要成分

原生质是细胞的主要组成部分,它的结构复杂,具有胶体性质,很多生理过程都在原生质中进行,是生命现象的主要体现者。在正常情况下,原生质的含水量为 90% 左右,这样有利于进行各种生理活动。如果水分含量减少,原生质胶体会由溶胶状态逐渐变成凝胶状态,生理活动逐渐减弱,甚至引起代谢紊乱而造成死亡。

(2) 光合作用的重要原料

作物的生长发育过程,就是作物有机体不断合成和积累有机物质的过程。这些有机物质主要是碳水化合物(糖、淀粉等)、脂肪、蛋白质等。它们都是绿色植物利用太阳光进行光合作用直接或间接合成的。光合作用可用下式表示:



在光合作用中,水是不可缺少的重要原料。如果作物水分不足就会抑制光合作用的进行,

从而严重影响产量。

(3)一切生化反应的介质

例如,光合作用所需的 CO_2 进入叶后,只有溶于细胞液转成液相,才能参与光合作用。各种有机物质的合成与分解也必须以水为介质,在水的参与下才能进行。

(4)溶解和输送养分

作物所需的矿质养分必须溶解在水中才能被根系吸收并输送至地上部分。由光合作用形成和转化的各种有机物质,也只有溶于水才能输送至植物体的各个部位。

(5)保持作物体的紧张度

作物体内水分充足时,细胞得以膨胀而使各种器官保持应有的紧张度。这样,可使叶片展开和气孔开放,便于接受阳光和交换气体,使根尖具有刚性,便于伸入土壤扩大吸收范围,保证花朵开放便于受粉等。

二、作物对水的吸收

1. 作物细胞的吸水

作物的吸水是通过细胞来完成的。作物细胞未形成液泡以前,主要靠细胞内胶体物质的吸胀作用进行吸水。如干燥种子和根尖分生组织细胞,都是靠吸胀作用而得到水分。当细胞形成液泡之后,主要靠渗透吸水,即通过渗透作用从外界吸取水分。渗透吸水是作物吸水的主要方式。下面着重介绍细胞的渗透吸水。

(1)渗透作用

渗透作用是扩散作用的一种特殊形式,即溶剂分子通过半透性膜的扩散作用。半透性膜是可透过溶剂分子而限制溶质分子透过的膜,又叫区别透性膜或选择性膜(例如火棉胶袋、动物膀胱膜和植物细胞原生质膜等)。如图 2-1 所示,在长颈漏斗下端装一个半透性膜,内盛糖液,再将漏斗置于盛有蒸馏水的烧杯中,由于水很易透过半透性膜,糖及其它溶质难于透过半透性膜,而漏斗中的溶液有一定的浓度,所以烧杯中的水就进入漏斗而使溶液上升,直至溶液上升到一定的高度(图 2-1 中的 h)后才停止上升,这种现象就叫渗透作用。

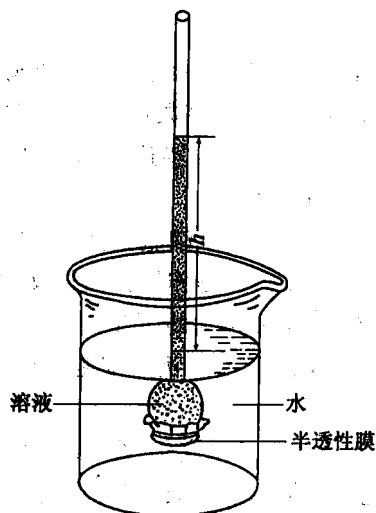


图 2-1 渗透作用示意图

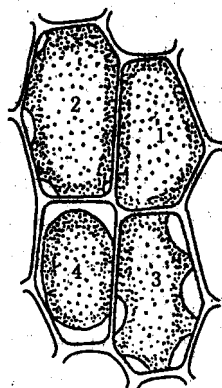


图 2-2 细胞质壁分离示意图

渗透作用的产生,是由于半透性膜内外的水势差所引起的。开始时纯水的水势远高于溶液的水势,故纯水进入漏斗的速度很快,随着漏斗中液柱上升,所产生的静水压逐渐增大而使水势增高,同时漏斗中糖液浓度降低也使水势增高。当糖液底部的水势与烧杯中水的水势相等时,水分便停止进入漏斗,达到动态平衡,渗透作用也就停止。所以渗透作用也就是水从水势高处通过半透性膜向水势低处移动的现象。

(2) 作物细胞是个渗透系统

作物的细胞壁主要是由纤维素分子组成的,是一种水和溶质都可以透过的全透膜。而整个原生质层(包括原生质膜、中质和液泡膜),则相当于一个相对的半透性膜。液泡里的泡液含有许多溶解的物质,具有一定的水势。这样,泡液、原生质层和环境中的溶液之间便会发生渗透作用。当外液浓度低于细胞液浓度时,水分渗入细胞,叫内渗,反之,液泡中的水分会渗到外液中,叫外渗。

外渗使液泡失水而体积缩小,包在外面的原生质也随之收缩。由于细胞壁与原生质之间有附着力,当原生质收缩时,细胞壁也随之收缩。如果细胞继续失水,因原生质的收缩性比细胞壁的收缩性大,结果使原生质与细胞壁分离,这叫质壁分离(图 2-2 中的 2、3、4 表示不同程度的质壁分离)。在质壁分离时,若增加外液中的水分使其转为内渗,则液泡体积逐渐增大,原生质又逐渐紧贴细胞壁,这叫质壁复合。质壁分离和质壁复合的现象,说明作物细胞是一个渗透系统。

(3) 细胞的水势

细胞的吸水情况决定于细胞的水势。已形成液泡的细胞水势主要由两个分势组成,即

$$\psi_c = \psi_s + \psi_p \quad (2-3)$$

式中 ψ_c ——细胞的总水势;

ψ_s ——渗透势;

ψ_p ——压力势。

此外,对未形成液泡的细胞来说,还有一个基质势(或称衬质势)。基质势(ψ_m)主要是由细胞的胶体物质对水分的吸附而产生的。已形成液泡的细胞基质势只有 -0.01 MPa 左右,通常可忽略不计。

渗透势亦称为溶质势,呈负值。溶液的渗透势决定于溶液中溶质的颗粒(分子或离子)的总数。作物细胞的渗透势值因内外条件不同而异。一般温带生长的大多数作物叶组织的渗透势为 $-1 \sim -2$ MPa,而旱生植物叶组织的渗透势可低至 -10 MPa 左右。渗透势的日变化和季变化也较大,凡影响细胞液浓度的外界条件,都能影响渗透势的变化。

压力势是细胞壁伸缩性对细胞内容物产生的静水压力,也就是由于细胞壁伸缩性有限,当细胞吸水膨胀时,细胞壁受膨压作用而产生的反压力。膨压和压力势是作用方向相反、大小相等的两种力。压力势往往是正值。草本植物叶片的压力势在温暖天气的下午约为 $0.3 \sim 0.5$ MPa,晚上则为 1.5 MPa 左右。在特殊情况下,压力势会等于零或负值。例如细胞质壁分离时压力势为零,剧烈蒸腾时,导管的压力势会呈负值。

细胞含水量不同时,细胞体积会发生变化,渗透势和压力势也发生变化,图 2-3 说明细胞水势、渗透势和压力势三者随细胞体积不同而变化的情况。在细胞初始质壁分离时(相对体积等于 1.0),压力势为零,细胞水势等于渗透势,此时细胞吸水力很大。当细胞吸水达到饱和时(相对体积等于 1.5),渗透势与压力势绝对值相等(但方面相反),水势为零,细胞不再吸水。

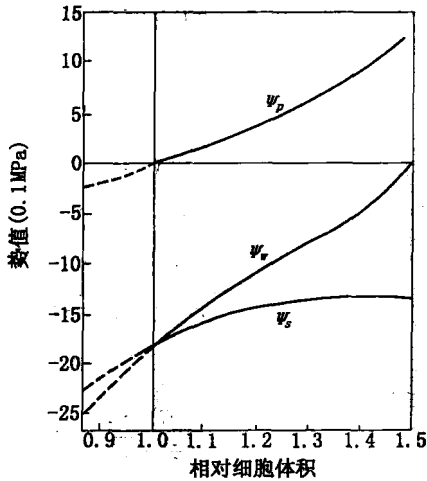


图 2-3 细胞水势、渗透势、压力势与细胞体积之间相互关系的图解

不同的细胞或组织的水势变化很大。在同一植株中,地上部分的细胞水势比根部低,叶片水势随着距离地面的高度的增加而降低。叶片中离主脉愈远,水势也愈低。在根中则内部低于外部。土壤或大气湿度小,光线强,都会使细胞水势降低。细胞水势的高低,可以说明作物水分是否充足,故可利用水势作为作物是否需要灌溉的指标。

2. 根系的吸水

作物的叶片虽能吸水,但数量有限。作物为了获得大量的水分,大都通过根系从土壤中吸收。根系也不是全部都能吸水,主要在根尖部分进行。其中以根毛区的吸水能力最大,根冠、分生区和伸长区较小。由于根系吸水主要在根尖部位进行,所以农田灌水应考虑作物大部分根尖的深度。

(1) 根系吸水的动力

根系吸水有两种方式,即动根压和蒸腾拉力。

根压是由于根系的生理活动使液流从根部上升的压力。根压把根部的水压到地上部位,土壤中的水便补充到根部,这就形成根系的吸水过程。如将一株生长健壮的作物(如玉米),在其近地面处切断,切口就会有水液流出,这种现象叫伤流。如果在切口处套上橡皮管,并与压力计相连(图 2-5)则可以测出伤流所产生的压力,即根压。

在潮湿的天气,太阳未升起前,叶面蒸腾尚未进行,一些作物幼苗的叶子尖端出现水珠的现象(图 2-6)叫吐水。吐水也是由于根压所引起的。在春季的清晨,稻田中秧苗呈现吐水现象是秧苗茁壮的标志。

根压之所以产生,一般用渗透理论来解释。由于根的木质导管四周的活细胞进行新陈代谢,不断向导管分泌无机盐和简单有机物质,使导管溶液水势下降,而邻近水势较高的活细胞中的水便流入导管。邻近细胞失水后,又从其邻近水势较高的细胞吸水。以此类推,土壤水分便通过根毛、皮层进入导管,以致导管中汁液产生足够的正压引起完整植株叶尖的吐水或植株切掉地上部分后茎桩的伤流。根压的另一解释是代谢理论。例如,当外界环境温度降低,氧分

(4) 细胞间水分的移动

相邻的细胞间水分移动的方向和速度,均取决于两细胞水势的高低,水势高的细胞中的水向水势低的细胞方向移动,如图 2-4 所示。两细胞间的水势差越大,则移动速度越快。

当一些

细胞相连时,如果一端的水势高,另一端的水势低,依次下降,就形成了一个水势梯度(water potential gradient),水分便由水势高处流向水势低处。作物各器官之间水分流动的方向也是如此。

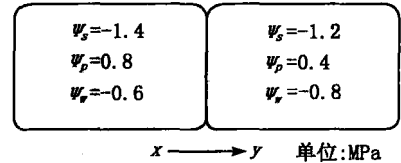


图 2-4 相邻两细胞间水分移动的图解