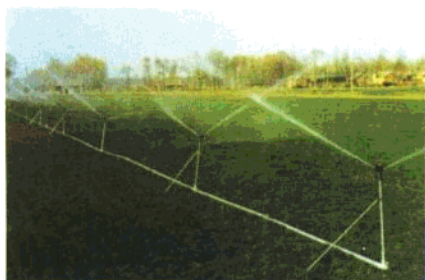


节水灌溉技术培训教材

旱作物地面灌溉 节水技术

水利部农村水利司

中国灌溉排水技术开发培训中心



 中国水利水电出版社

节水灌溉技术培训教材

旱作物地面灌溉 节水技术

林性粹 赵乐诗 等 编著

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书系《节水灌溉技术培训教材》的一个分册。它是作者在广泛搜集国内外,特别是我国北方地区有关地面灌溉的科研成果和实践经验的基础上编写的。其内容尽量反映近10多年来地面灌溉节水的新技术、新经验,着重介绍了旱作物的灌溉制度和沟灌、畦灌、地膜覆盖灌水等地面灌溉的节水技术;另外还介绍了相应的田间工程和田间灌溉管理等。

本书主要供培训基层水利技术人员和从事推广农田节水灌溉工作者使用,亦可供有关专业院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

旱作物地面灌溉节水技术/水利部农村水利司,中国灌溉排水技术开发培训中心编. —北京:中国水利水电出版社, 1999

节水灌溉技术培训教材

ISBN 7-80124-644-6

I. 旱… I. ①水… ②中… III. 旱地-地面灌溉 IV. S275.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 16068 号

书 名	节水灌溉技术培训教材 旱作物地面灌溉节水技术
作 者	水利部农村水利司 中国灌溉排水技术开发培训中心
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: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 8.25 印张 181 千字
版 次	1999 年 6 月第一版 1999 年 6 月北京第一次印刷
印 数	0001—4600 册
定 价	16.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

《节水灌溉技术培训教材》

编 委 会

主任委员： 陈 雷

副主任委员： 冯广志 乔玉成 许红波

高而坤 周卫平 赵竞成

委 员： （按姓氏笔画为序）

王晓玲 史 群 祁建华 曲 强

任晓力 沈秀英 李龙昌 李安国

李英能 张汉松 张祖新 郑耀泉

林性粹 顾宇平 彭世彰 彭建明

序

我国是一个水资源严重短缺的国家,人均水资源占有量排在世界第109位,仅为世界平均水平的1/4。随着经济的发展、人口的增加、社会的进步、工业和城市用水量的激增,农业用水量占全国总用水量的比重已从80年代初的80%降到目前的70%左右。农业用水供需矛盾日益突出,干旱缺水成为制约我国农业发展的主要因素之一。一方面农业缺水,另一方面用水浪费现象又普遍存在,灌溉水的利用率只有30%~40%,而先进国家达到70%~80%以上。我国单方水粮食生产能力只有1kg左右,而先进国家为2kg,以色列达2.32kg。我国目前采用喷灌、微灌等先进节水措施的灌溉面积仅占总灌溉面积的2%,而有些发达国家占灌溉面积的80%以上,美国的喷灌、滴灌面积为1.65亿亩,占灌溉面积的一半。我国目前已建的防渗渠道工程为55万多km,仅占渠道总长的18%。从国外和我国各地的实践经验看,凡采用先进的节水灌溉技术,都可获得十分显著的节水增产效果。农业灌溉节水潜力巨大,通过普及节水灌溉技术,提高灌溉水的利用率和水分生产率,无疑是解决农业用水危机,缓解我国水资源供需矛盾的有效途径。

党的十五大报告中指出要“大力推进科教兴农,发展高产、优质、高效农业和节水农业”,国务院决定在“九五”期间建设300个节水增产重点县和一批节水型井灌区,以推动我国节水灌溉工作的全面发展。在党中央的领导下,一个亿万农民群众参加的大搞农业节水灌溉的热潮已在全国各地蓬勃兴起。

为了配合节水灌溉技术的推广和普及,近年来,我们陆续举办了一系列培训班,请高等院校、科研单位、生产管理部门的有关专家讲课,并编写教材。在此基础上,充实修改,编写出节水灌溉系列培训教材,包括《水土资源评价与节水灌溉规划》、《喷灌与微灌设备》、《渠道防渗工程技术》、《管道输水工程技术》、《喷灌工程技术》、《微灌工程技术》、《地面灌溉节水技术》、《雨水集蓄工程技术》、《水稻节水灌溉技术》九个分册。该教材主要面向县、乡两级基层水利技术人员,普及与回答节水灌溉工作中的基本技术知识和常见问题,强调适用性,使读者在学到节水灌溉工程技术的同时也了解到水资源开发利用、节水管理技术及节水农艺措施等方面的知识,并能够结合当地情况选择适宜本地区节水灌溉的技术路线,掌握节水灌溉技术的实施步骤、设备选择、工程设计、施工、质量控制和运行管理等技术方法。

这套教材可用以对基层水利人员实施“继续工程教育”和“蓝色证书”的

培训，也可作为基层水利技术人员实施节水灌溉工程的参考资料。相信这套教材的出版发行，会对推动基层水利职工培训，节水灌溉的普及和技术水平的提高，灌溉管理水平的提高起到有益的作用。

由于节水灌溉技术内容丰富、发展迅速，有待进一步研究的内容很多，加之编写时间仓促，本书的不足和错误之处，诚恳希望读者提出补充、修改意见。我们向所有对这项工作给予支持的各位领导、有关单位和参与编写、审稿工作的同志表示衷心的感谢。

水利部农村水利司

冯广志

1997年12月22日

前 言

农田节水灌溉的实质是，合理灌溉、科学用水与高效用水。在农田灌溉的灌水方法类型中，地面灌溉是其中推广应用最为普遍的一类，世界各国地面灌溉的总面积要占到全世界总灌溉面积的90%以上，我国的地面灌溉面积占到全国总灌溉面积的98%以上。尤其是在当前，我国及世界各国都面临着水资源与能源日趋严重短缺的形势。因此，继续发展地面灌溉，推广应用地面灌溉节水新技术，对节约用水，缓解发展农田灌溉与水资源和能源紧缺的尖锐矛盾、提高田间灌水质量，以及继续扩大灌溉面积，是非常必要的，对于我国干旱、半干旱与半湿润地区的农业持续发展更具有特殊的重要意义。

我国地域宽广，幅员辽阔，各地区条件不同，其地面灌溉方法也千差万别。同时，我国又是世界上农田灌溉事业历史最悠久、最发达的国家之一，数千年来，我国劳动人民群众一直采用着的农田灌溉方法主要是地面灌溉，积累有相当丰富的地面灌溉经验。近年来，随着我国工农业生产规模的扩大和农业现代化建设的深入开展，我国的水、土资源不足更趋严重，从而促使我国的农田水利事业，特别是在地面灌溉节水领域的发展更加迅猛，内容更加丰富，并创造了许多新颖的方法和技术。因此，本书力求尽量全面系统地反映这些内容。但是，全书既要面向全国，又要受到篇幅的限制，故只能精益求精，重点介绍有关地面灌溉的合理灌溉、科学用水与高效用水等方面的基础知识，介绍地面灌溉节水的新方法和新技术，以及相应的田间工程和田间灌溉管理方面的内容。

本书主要由林性粹执笔编写（第一、二、三、四、五、六、七章）。参与编写的有汪志荣（第四章），费良军、门旗（第五章），李援农（第六章），赵乐诗、吴文庆（第七章）。全书由河海大学房宽厚教授审阅，水利部农村水利司冯广志副司长提出了许多具体修改的指导意见，在编写过程中还得到乔玉成、赵竞成、沈秀英、曲强等同志的支持和帮助。在此一并表示衷心的感谢。另外，沈弥英老师在世时，曾对本书的编写付出了辛勤的劳动，借本书出版之际谨向她致以诚挚的敬意和深深的怀念。

本书在编写过程中，收集了全国各地区，尤其是我国北方先进灌区的地面灌溉资料，收集了国内外有关地面灌溉节水新方法，以及新的研究成果，从而丰富了本书的内容。在本书的编写过程中，还力求体现科学性、系统性、先进性和实用性；尽量反映近些年来地面灌溉的新技术、新经验，及其应用的新进展、新动态。全书力求浅显，并具有适当的深度，尽量介绍一些行之有效的实用技术；全书图、文、表并茂，文字力求简洁通畅，以供广大农村干部和技术人员作为进行继续再教育的培训教材，同时也可供广大农田水利工作者学习参考。

由于收集资料范围有限，编写时间短促，也限于编者水平，书中难免存在疏漏和不足，恳请广大读者批评指正。

编 者

1998.12.1

目 录

序

前 言

第一章 绪论	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 旱作物对地面灌溉节水技术的基本要求	(2)
第三节 评估地面灌溉节水技术的主要指标	(5)
第二章 旱作物灌溉制度	(9)
第一节 旱作物消耗农田水分的途径与需水规律	(9)
第二节 旱作物灌溉制度的确定	(11)
第三节 我国主要旱作物的需水特性与灌溉制度	(15)
第四节 节水型灌溉制度问题	(23)
第三章 畦灌	(28)
第一节 畦灌的灌水技术	(28)
第二节 水平畦灌	(34)
第三节 节水型畦灌技术	(37)
第四章 沟灌	(41)
第一节 沟灌的灌水技术	(41)
第二节 涌流灌溉	(47)
第三节 节水型沟灌技术	(49)
第四节 果园地面灌溉	(53)
第五章 地膜覆盖灌水技术	(57)
第一节 地膜覆盖灌水的类型及其特征	(57)
第二节 膜上灌技术的效果	(61)
第三节 膜孔沟(畦)灌溉技术	(63)
第六章 田间工程	(65)
第一节 田间工程的配套	(65)
第二节 田间灌溉排水网	(66)
第三节 平整土地	(75)

第七章 田间灌溉管理.....	(84)
第一节 田间灌溉管理组织	(84)
第二节 田间灌溉水量调配	(86)
第三节 田间灌水装置	(92)
第四节 田间量水方法	(96)
第五节 田间灌溉管理技术经济分析	(112)
主要参考文献.....	(118)

第一章 绪 论

第一节 概 述

地面灌溉是最古老的,也是现今世界上采用最普遍的农田灌溉技术措施。据统计,全世界用地面灌水方法灌溉的面积占总灌溉面积的90%左右。我国现有灌溉面积的97%也是采用这类方法。我国劳动人民数千年来积累了极为丰富的地面灌溉经验,对促进和发展我国农牧业生产起了很重要的作用。

我国是一个干旱、半干旱及半湿润易旱地区(简称旱区)面积较大的国家,旱区面积约占总国土面积的74%,其中东北、华北、西北三大行政区的旱区面积约占全国土地面积的47%,且都超过了各区土地面积的80%。这个地区地域如此辽阔,资源又十分丰富,因此已成为我国林业、牧业、煤炭、石油、天然气和化工产业的重要基地。同时,这三个地区的土地资源宽广,光照资源充足,农业生产发展潜力巨大。

但是,旱区天然降水量稀少,水资源一般都很欠缺,因此,旱区经常发生干旱,旱灾频率达50%~80%,甚至十年九旱,连年干旱。干旱是旱区农业产量长期低而不稳的最根本原因。近年来,随着工农业生产规模的扩大和人口的不断增长,工农业用水量和人、畜用水量急剧增加,水源不足更趋严重,缺水已成为我国旱区经济可持续发展的最大制约因素。

尽管我国水资源非常紧缺,但用水中的浪费却十分惊人,尤其是地面灌溉用水,损失和浪费更为突出。在农田灌溉用水中,田间灌溉水量的浪费非常可观。例如,我国北方灌区有些地面灌溉灌水量均在 $100\text{m}^3/(\text{亩}\cdot\text{次})$ 以上,高出作物实际需要的1~2倍,最低也在 $75\text{m}^3/(\text{亩}\cdot\text{次})$ 左右;单位面积灌溉总水量达 $500\text{m}^3/\text{亩}$ 左右。农田灌溉水量的损失和浪费,不仅直接减少可供灌溉利用的水量,减少可灌溉的面积,而且还会抬高地下水位,引起灌区土壤次生盐碱化和沼泽化。

地面灌溉的主体是各种地面灌水方法,但从地面灌溉体系和节水技术看,地面灌溉还应包括相应的田间工程和田间灌溉管理两个组成部分。

地面灌水方法是使灌溉水通过田间渠沟或管道输入田间,水流在田面上呈连续薄水层或细小水流沿田面流动,主要借重力作用兼有毛细管作用下渗透湿润土壤的灌水方法,又称重力灌水方法和全面灌水方法。

传统的地面灌水方法能充分满足作物的需水要求;对灌水技术要求不高,很容易为人们掌握运用;不需要特殊的专门设备,投资省;由于水流是借重力和毛管作用下渗,故可以节省能源,运行费用低。但是,地面灌水方法也存在有许多问题,主要是:田间灌水有效利用率比喷灌、滴灌等灌水方法低,只适用于较密实的土壤质地,否则在砂性土壤上会产生大量深层渗漏损失;地面灌水方法很容易发生超量灌溉,导致地下水位上升、土壤渍害和盐碱化,或沿田面发生跑水泄流浪费;对土地平整要求较高,地形复杂的地区平整土地的投资大。因此,地面灌水方法比喷灌和滴灌更要注意改善和提高其灌水技术,以达到

节水、省劳、稳产、高产和低成本的目的。

根据灌溉水向田间输送的形式和湿润土壤的方式不同，地面灌水方法可分为畦灌、沟灌和淹灌三类。

1. 畦灌

畦灌是将田块用低矮土埂分割成许多矩形条状地块，灌溉水以薄水层水流的形式输入田间，并以重力作用为主，兼有毛细管作用湿润土壤的灌水方法。

畦灌有顺坡畦灌和横坡畦灌两种。地面坡度较小（小于1/100），畦田长边方向沿最陡地面坡度方向，即垂直于等高线布置的，称顺坡畦灌。地面坡度较大，畦长方向与等高线斜交或平行布置的，称横坡畦灌。依畦田长度划分，畦灌又有长畦灌和短畦灌两种。通常，畦长大于100m的称为长畦灌；畦长小于70m的称为短畦灌或小畦灌。试验证明，短畦灌较长畦灌可省水30%以上，作物产量也较高。国外近年来由于一些新的灌水方法的出现，以及平整土地机械化程度的提高，畦田规格趋向于加大，畦长可达300~500m，畦宽增至10~30m。一般，长畦灌的田间灌水有效利用率小于70%，短畦灌的田间灌水有效利用率可达80%以上。土地平整程度较好的，田间灌水有效利用率可以更高。畦灌是目前世界上运用最广泛的灌水方法之一。

2. 沟灌

沟灌是将灌溉水引入田间垄沟，水借重力作用和毛细管作用向灌水沟沟底和沟两侧入渗，以湿润周围土壤的地面灌水方法。

沟灌依地形坡度也有顺坡沟灌和横坡沟灌两种方法。依灌水垄沟断面尺寸大小又可分为深沟灌和浅沟灌两种。深沟灌常用于灌溉多年生、深根行播作物；浅沟灌或细流沟灌一般适用于土壤渗水较缓慢的土质及密植作物。由于沟灌主要是借毛细管力湿润土壤，土壤入渗时间较长，故对于地面坡度较大或透水性较弱的地块，为了增加土壤入渗时间，常有意增加灌水垄沟长度，使垄沟内水流延长，形成多种多样的灌溉垄沟形式，如回曲沟、锁链沟、直形沟、八字形沟、方形沟等。由于沟灌方法沟状水流仅覆盖了1/5的地表面，因此与畦灌方法相比，可减弱土壤蒸发，土壤团粒结构的破坏较小，灌水量较省，灌水效果比较理想，田间灌水有效利用率可达80%以上。

3. 淹灌

淹灌是在田间用较高的土埂筑成方格格田，一般引入较大流量迅速在格田内建立起一定厚度的水层，水主要借重力作用下渗入土壤内的地面灌水方法。

淹灌方法主要适用于水稻、水生植物及盐碱地冲洗灌溉。旱作物严禁使用淹灌方法，以避免产生深层渗漏，损失浪费大量灌溉水。

第二节 旱作物对地面灌溉节水技术的基本要求

一、旱作物对农田水分的基本要求

（一）对土壤水含量的要求

旱作物对土壤水含量的要求，都有一定的界限范围，通常均以适宜土壤含水量表征。适宜土壤含水量是指在作物的任一时段内都能保证作物正常生长发育所需要的土壤含水量。

一般以重量百分数或田间持水量的百分数表示。适宜土壤含水量随作物种类和品种，及其生育阶段的需水特点、土壤质地与结构、施肥等农业技术措施和气象条件等不同而有差异。

对于任何一种旱作物，相应于它的不同生育阶段，都有一个最适宜的土壤含水量范围。这不仅是为了充分满足作物各生育阶段的需水要求，而且更重要的是，还能为作物提供一个有利于生长发育的良好的土壤水分环境。就地面灌溉而言，为达到作物高产稳收，应尽量通过合理的灌溉技术，把土壤含水量控制在最适宜的土壤含水量下限与上限的范围之内。适宜土壤含水量下限与上限的范围一般相当于田间持水量的 55%~85%。

(二) 对田面淹水层的要求

由于强降雨或超量灌溉，往往会使旱作物田面上产生淹水层。但是，一般旱作物是不太耐淹涝的。若旱作物长时间被积水淹泡就会导致生长发育不良，进而造成减产。

衡量旱作物忍受淹涝程度的指标，称为作物耐淹能力，或称作物耐涝能力。即在产量不受明显影响的前提下，作物能忍受田面淹水的深度及其淹水的时间。作物耐淹能力与作物的类别、品种、生育阶段和植株素质等因素有关。一般，高秆作物耐淹能力强于矮秆作物，植株健壮的作物耐淹能力比瘦弱的作物强。田面的淹水越深，淹水历时越长，温度越高，旱作物越不耐淹。另外，作物在浑水中比在清水更不耐淹。

作物生长发育阶段不同，它的耐淹能力也有显著不同。例如小麦前期比后期耐淹，而玉米和豆类则后期比早期耐淹，高粱比其他旱作物都耐淹。几种旱作物的耐淹能力见表 1-1。

表 1-1 几种旱作物的耐淹能力

作物种类	生育期	允许淹水深度 (cm)	允许淹水历时 (d)
棉花	开花结铃期	5~10	1~2
玉米	抽穗期	8~12	1~1.5
	孕穗灌浆	8~12	1.5~2
	成熟期	10~15	2~3
春谷	孕穗期	10~15	1~2
	成熟期	10~15	2~3
高粱	孕穗期	10~15	6~7
	灌浆期	15~20	8~10
	乳熟期	15~20	15~20
大豆	开花期	7~10	2~3
小麦	拔节成熟	10	<1

(三) 对农田地下水位的要求

旱作物对农田地下水位的要求主要包括防渍害和防盐碱危害两个方面。

1. 适宜于旱作物生长发育的地下水位与防渍害的要求

在作物生育期内，若土壤水分过多，超过了田间持水量，甚至达到饱和含水量，而使地下水位上升几乎与地面齐平。此时，虽然地面上并没有产生积水，但因土壤中所有大小孔隙都被水分所充满，致使土壤内空气减少，从而造成根系缺氧和呼吸困难，生长不良，影响到根系对水分和养分的吸收，甚至烂根死亡。因此，为保证作物正常生长发育，必须对地下水的埋深有适当的要求。一般对于旱作物，要求平时地下水埋藏深度不小于适宜埋深，而在降雨或灌水后，就要求地下水位在允许的时间内回降到适宜的地下水埋深以下。作物所要求的适宜地下水埋藏深度因作物种类、品种及其生育阶段，以及土壤质地等条件不同而异。几种主要旱作物所要求的地下水埋深参见表 1-2。

作物对地下水埋深的要求也与作物的耐渍能力有关系。作物耐渍能力是指作物忍受过

表 1-2 几种旱作物要求的地下水埋深

作物	生育期要求 保持的地下 水埋深 (m)	雨后短期允 许的地下水 埋深 (m)	雨后降低至 允许埋深的 相应时间 (d)	备 注
小麦	1.0~1.2	0.8 1.0	15 8	生育初期 生育后期
玉米	1.2~1.5	0.4~0.5	3~4	孕穗至灌浆
棉花	1.0~1.5	0.4~0.5 0.7	3~4 7	开花结铃期
高粱	0.8~1.0	0.3~0.4	12~15	开花期
甘薯	0.9~1.1	0.5~0.6	7~8	
大豆		0.3~0.4	10~12	开花期

多土壤水分的能力。它也取决于作物的种类、品种与其生育阶段,以及土壤质地和结构等因素。如小麦和棉花,不同生育期所要求的地下水埋深(即耐渍能力)见表1-3。

2. 防止土壤返盐的地下水埋深的要求

在地下水位较高而又有产生盐碱威胁地区的土壤上,种植旱作物时,为了防止土壤盐碱化,要求地下水埋深必须在地下水临界深度以下。地下水临界深度是指在一定的自然条件和农业技术措施条件下,为了保证土壤不产生盐碱化和作物不受盐害所要求保持的地下水最小埋藏深度。它的大小与土壤质地、地下水含盐量、气象条件以及灌溉排水条件和农业技术措施有

关。轻质土,如砂壤、轻壤土的毛细管输水能力强,较粘质土蒸发量大,易在土壤内积盐,故应有较大的地下水临界深度。精耕细作,松土施肥,可减少土壤蒸发,防止返盐,故其地下水临界深度较小,地下水临界深度一般应根据实地调查和观测试验资料确定。北方地区采用的地下水临界深度参见表1-4。

表 1-3 小麦、棉花的耐渍能力

作 物	小 麦				棉 花	
生育阶段	播种出苗	分蘖越冬	返 青	拔节~成熟	苗期蕾期	花铃吐絮
地下水埋深 (m)	0.5	0.6~0.8	1.0~1.2	0.5~0.8	1.0~1.5	1.5

二、对地面灌溉节水技术的基本要求

(1) 保证实现定额灌水。各种地面灌水方法应能保证按作物的需水要求,遵循正确的灌溉制度,按照计划的灌水定额,适时供给作物以适量的灌溉水。

(2) 田间水的有效利用率高。优良的地面灌水方法,应能在田间灌水的全过程中控制各种水量损失;应能合理而有效地利用灌溉水,节约用水。严禁田面水流跑水、串灌、流失和废泄;避免产生深层渗漏,尽量减少灌水后地表面土壤强烈蒸发。

(3) 田间灌水均匀度高,灌水质量高。这是评价各种地面灌水方法优劣的一项重要指标。优良的地面灌水方法,要求灌溉农田田面受水均匀,渗入田间各点的灌溉水量均匀或者基本相等,湿润计划土壤层的深度大致相同。实施田间灌水时,应避免土壤计划湿润层内水分过多或者不足;维持适宜的土壤溶液浓度,不使土壤养分流失,从而促进土壤肥力的提高;尽量不冲刷田面表层土壤,不破坏或者少破坏土壤结构,不会使表层土壤板结,保持土壤疏松。

表 1-4

北方一些地区采用的地下水临界深度

地 区	土 壤 质 地	地下水的 矿 化 度 (g/L)	临界深度 (m)	地 区	土 壤 质 地	地下水的 矿 化 度 (g/L)	临界深度 (m)	
河南省北 部和东部 平原地区	轻 壤 砂 壤	<2	1.9~2.1	陕西省洛 惠渠灌区	砂壤土	1~3	1.4~1.6	
		2~5	2.1~2.3		轻壤土	2~7	1.5~1.8	
		5~10	2.3~2.5		中壤土	10~30	2.1~2.4	
	中 壤	重壤土	7~5		1.8~2.1			
		<2	1.5~1.7		轻粘土	7~15	1.1~1.4	
		2~5	1.7~1.9	山东省打 鱼张灌区	全剖面以砂壤土 为主和上砂下粘	<3~5 >3~5	2.0 2.2	
5~10	1.9~2.1	剖面中间有粘土层 和上粘下砂剖面	<3~5 >3~5		1.3 1.5			
河 南 省 平 原 地 区	轻壤土	<2	0.9~1.1		内 蒙 古 自 治 区 黄 河 灌 区	轻砂壤	3~5	1.8
		2~5	1.1~1.3				5~7	2.0
		5~10	1.3~10.5	7~9			2.2	
		10	2.3					
		轻壤土 夹胶泥	1~3	1.5~1.8		粘质或间粘	3~5	1.1
	3~5		1.8~2.0	5~7			1.2	
	5~8		2.1~2.2	7~9			1.3	
	8~10		2.2~2.4	10			1.35	
	胶 泥		1~5	1.0~1.2			新疆生产 建设兵团 沙井子土 壤改良综 合试验站	有粘质夹层
		5~10	1.2~1.4	砂壤——轻壤		10 左右		>2.0
			沙井子土	有薄粘质夹层	10 左右	1.8~2.2		
			壤改良综	有厚粘质夹层	10 左右	1.6~1.8		
			合试验站	有粘质夹层	>20	2.4~2.65		

(4) 高效低耗, 灌水成本低。正确的地面灌水方法及其良好的灌水技术应在田间工程配套健全的条件下, 不断完善和改进田间灌水劳动组织; 改良灌水工具和田间配水及灌水装置, 并能为以后的农业耕作管理创造便利条件, 为田间灌水工作逐步实施机械化与自动化奠定基础, 以使人工作业、配水的劳动强度减弱至最低限度; 促使田间灌溉效率提高, 田间灌水劳动生产率提高, 灌水用工少, 田间灌水用材料、燃料等消耗降低; 占地少、灌水成本低。

(5) 方便与农业技术措施密切配合。农田灌溉是保证农业可持续发展的重要措施之一。正确的地面灌水方法与良好的灌水技术必须方便与其他农业技术措施, 如中耕、密植、间作套种、立体栽培种植、施肥、喷药等密切配合, 充分发挥这些农业技术措施的作用, 为共同促进作物优质、稳产、高产创造有利的条件。

(6) 简易经济, 便于推广。各种地面灌水技术, 应简单, 容易操作, 便于推广。

第三节 评估地面灌溉节水技术的主要指标

一、评估地面灌溉节水技术的主要经济指标

1. 节水增产率

节水增产率是指在同样气候等自然条件和农业技术条件下, 旱作物采用地面灌水方法

某种节水灌水技术与传统地面灌水方法灌水技术间, 其平均单位面积产量所增加的产量百分数, 即

$$F_y = \frac{Y_1 - Y_2}{Y_1} \times 100 \quad (1-1)$$

式中: F_y 为节水增产率, %; Y_1, Y_2 分别为两种灌水方法或两项灌水技术的平均单位面积产量, kg/亩。节水增产率是评估地面灌水方法或灌水技术的一项综合性经济指标, 它标志着某种地面灌水方法或某项灌水技术的增产效果及其产量水平。

2. 田间灌溉效率

田间灌溉效率, 是指某次由最末一级固定渠道或管道 (一般指毛渠、毛管) 引入田间灌水, 平均一个流量 (即 $1.0\text{m}^3/\text{s}$) 一昼夜 (自流灌区为 24h; 提水灌区一般以 22h 计) 实际灌溉的面积

$$F_i = 86400 \frac{A}{W} \quad (1-2)$$

式中: F_i 为田间灌溉效率, 亩 / ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{d}$); A 为一昼夜实灌面积, 亩/d; W 为最末一级固定渠道或管道实际引入田间的流量, m^3/s ; 86400 为一昼夜按 24h 计算的秒数, 若一昼夜按 22h 计算, 则 86400s 应改为 79200s。

田间灌溉效率综合反映田间灌水管理工作的质量, 是田间灌水管理的一项重要指标。

3. 灌水劳动生产率

田间灌水劳动生产率是指实施地面灌溉, 每个灌水员 1 班 (通常 1 班为 8h 或 12h) 可灌溉的面积; 或者每个灌水员灌溉 1 亩农田所需要的工日数。

$$F_w = \frac{A}{nN} \quad (1-3)$$

$$\text{或} \quad D_w = \frac{nN}{A} \quad (1-4)$$

式中: F_w, D_w 为灌水劳动生产率, 单位分别为亩 / (人 · 班) 和工日/亩; A 为一昼夜实际灌溉的面积, 亩; n 为灌水员每班人数, 人; N 为一昼夜的灌水分班数, 班。

田间灌水劳动生产率的高低与田间工程的合理布局和完善程度, 灌水劳动组织, 灌水工具及设备, 田面平整状况及灌水员的技术熟练程度等有密切关系。

4. 田间灌水成本。

田间灌水成本是指旱作物采用地面节水技术灌溉农田单位面积所需要的费用

$$C = \frac{C_p + C_w + C_j + C_l}{A} \quad (1-5)$$

式中: C 为田间灌水成本, 元/亩; C_p 为灌水员的工资, 元; C_w 为水费或水资源费, 元; C_j 为灌水工具, 灌水设备、机具、机电装置, 以及田间工程设施和土地平整等的折旧费用, 元; C_l 为燃料, 包括机电用油或用电及照明等的费用, 元; A 为实灌面积, 亩。

5. 节水率

节水率是标志灌水方法节水效益高低的重要指标。节水率指不同地面灌水方法单位面积灌溉用水量的比值, 即

$$\eta_s = \frac{W_1 - W_2}{W} \times 100 \quad (1-6)$$

式中: η_s 为节水率, %; W_1, W_2 分别为两种灌水方法单位面积上的灌溉用水量, 通常可用实际的灌水定额计算, $\text{m}^3/\text{亩}$ 。

二、评估地面灌水方法的质量指标

正确设计和实施地面灌水方法, 必须制定一套完整的质量指标体系。多年来, 国内外许多农田灌溉专家、学者曾提出了多个分析评估农田灌水方法的田间灌水质量指标。其中, 目前最常用的有以下三个。

1. 田间灌溉水有效利用率

田间灌溉水有效利用率是指, 应用某种地面灌水方法或某项灌水技术后, 储存于计划湿润作物根系土壤区内的水量与实际灌入田间的总水量的比值, 即

$$E_s = \frac{V_s}{V} = (V_1 + V_4)/V = (V_1 + V_4)/(V_1 + V_2 + V_3 + V_4) \quad (1-7)$$

式中: E_s 为田间灌溉水有效利用率, %; V_s 为灌溉后储存于计划湿润作物根系土壤区内的水量, m^3 或 mm ; V_1 为作物有效利用的水量, 即作物蒸腾量, m^3 或 mm ; V_2 为深层渗漏损失水量, m^3 或 mm ; V_3 为田间灌水径流流失水量, m^3 或 mm ; V_4 (对于地面灌水方法), 主要指作物植株之间的土壤蒸发量, m^3 或 mm ; V 为输入田间实施灌水的总水量, m^3 或 mm 。见图 1-1。

田间灌溉水有效利用率表征应用某种地面灌水方法或某项灌水技术后农田灌溉水充分利用的程度, 是标志农田灌水质量优劣的一个重要评估指标。对于旱作物地面灌溉, SL207—98《节水灌溉技术规范》要求田间灌溉水有效利用率 $E_s \geq 90\%$ 。

2. 田间灌溉水储存率

田间灌溉水储存率是指, 应用某种地面灌水方法或某项灌水技术灌溉后, 储存于计划湿润作物根系土壤区内的水量与灌溉前计划湿润作物根系土壤区所需要的总水量的比值, 即

$$E_s = \frac{V_s}{V_n} = (V_1 + V_4)/(V_1 + V_4 + V_0) \quad (1-8)$$

式中: E_s 为田间灌溉水储存率, %; V_n 为灌水前计划湿润作物根系土壤区内所需要的总水量, m^3 或 mm ; V_0 为灌水量不足区域所欠缺的水量, m^3 或 mm ; 其余符号意义同前。

田间灌溉水储存率表征某种地面灌水方法、某项灌水技术实施灌水后, 能满足计划湿润作物根系土壤区所需要水量的程度。

3. 田间灌水均匀度

田间灌水均匀度是指, 应用地面灌水方法实施灌水后, 田间灌溉水湿润作物根系土壤区的均匀程度, 或者田间灌溉水下渗湿润作物计划湿润土层深度的均匀程度, 或者表征为田间灌溉水在田面上各点分布的均匀程度, 通常用下述公式表示:

$$E_d = 1 - \frac{\Delta Z}{Z_d} \quad (1-9)$$

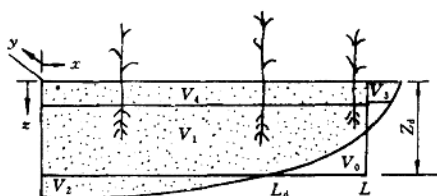


图 1-1 土壤入渗剖面湿润土层图

$$\text{或} \quad V_d = 1 - [\sum_{i=1}^N |X_i - M|] / (NM) \quad (1-10)$$

式中： E_d 、 V_d 为田间灌水均匀度，%； ΔZ 为灌水后各测点的实际入渗水量与平均入渗水量离差绝对值的平均值， m^3 或 mm ； Z_d 为灌水后土壤内的平均入渗水量， m^3 或 mm ； M 为 N 个测点的平均入渗水量， m^3 或 mm ； X_i 为等面积测点的点入渗水量， m^3 或 mm ； N 为测点数目。

田间灌水均匀度表征应用地面灌水方法、灌水技术实施灌水后，田面各点受水的均匀程度，以及湿润土壤计划层深度内的入渗水量的均匀程度。一般对地面灌水方法应要求， $E_d \geq 85\%$ 以上，最高 $E_d = 100\% = 1.0$ 。

由于上述三项评估灌水质量指标共同反映了作物产量和水资源利用程度的影响，所以它们必须同时使用才能较全面地分析和评估某种灌水方法或某田间灌水过程的灌水效果。目前，农田灌水方法都选用田间灌溉水有效利用率 E_e 和田间灌水均匀度 E_d 两个指标作为设计标准。而实施田间灌水则必须采用 E_e 、 E_s 和 E_d 三个指标共同评估其灌水质量的好坏，单独使用其中任一项指标都不能较全面和正确地判断田间灌水质量的优劣。