

农田灌溉排水 研究与实践

袁光耀 王卫民 王立正 等编著



NONGTIAN

GUANGAI PAISHUI

YANJIU YU SHIJIAN



黄河水利出版社

农田灌溉排水研究与实践

袁光耀 王卫民 王立正 等编著

黄河水利出版社

内 容 提 要

农田灌溉排水是农田水利工作的主要内容。本书从农作物的需水量、灌溉制度、灌水技术、节水灌溉等几个主要方面,较系统地总结分析了有关试验研究成果,对引黄灌区泥沙处理、井渠结合、水资源合理利用、土壤次生盐碱化的防治等问题也进行了探讨。同时,书中还阐述了农田灌溉排水中土壤水分参数的测试方法和试验结果,对与农田灌溉排水有关的降雨量、蒸发量、土壤水分及地下水埋深等问题开展了预防研究。另外,对人民胜利渠灌区进行技术改造和实现灌区自动化管理等,也进行了详细的分析总结。本书既有翔实的试验数据,又有理论方面较深入的探讨,可供大专院校相关专业师生及科学研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

农田灌溉排水研究与实践/袁光耀,王卫民,王立正等编著.
郑州:黄河水利出版社,2005.12

ISBN 7-80621-972-2

I. 农… II. ①袁… ②王… ③王… III. ①农田灌溉
②农田水利-排水 IV. S27

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 106560 号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940

传真:0371-66022620

E-mail:yrp@public.zz.ha.cn

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:17.25

字数:440 千字

印数:1—2 100

版次:2005 年 12 月第 1 版

印次:2005 年 12 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80621-972-2/S·69

定价:35.00 元

《农田灌溉排水研究与实践》

编著人员

袁光耀	王卫民	王立正	岳 国	左奎孟
罗华梁	李中生	常国兴	马喜东	朱留杰
孙存省	刘国富	杨满堂	程顺中	王福增
吴中心	琚社群	袁 宾	杨英鸽	李素梅
马小兵	陈利利			

序

我国是一个人口大国,要用占世界 7%的耕地养活占世界 22%的人口,农业生产所肩负的任务是十分艰巨的。因此,促进农业向高产高效优质方向发展,是灌溉排水工作的重要任务。

随着社会的进步,农田灌溉排水的技术不断得到提高,一大批科技人员为此付出了毕生的精力。袁光耀等同志在我国著名的引黄人民胜利渠灌区长期从事农田灌溉排水工程管理和科学研究工作,在灌溉排水的理论和实践方面积累了丰富的经验,取得了大量的研究成果。《农田灌溉排水研究与实践》一书中收录的内容,就是作者在农田灌溉排水领域中进行科学试验研究成果的总结。

本书涉及农田灌溉排水各个主要方面。农作物的需水量、灌溉制度、灌水技术以及节水灌溉措施等,始终是农田灌溉所要解决的基本问题。在总结分析试验研究成果的基础上,书中提出农作物的需水量是由基本需水量和随机需水量两部分构成的,基本需水量主要受气象因子影响,随机需水量主要受土壤质地、土壤水分和土壤肥力的影响,并给出了相关的计算方法,为使农作物需水量研究更接近实际提供了新的思路。灌溉水利用系数的高低,是衡量灌区灌溉管理工作好坏的重要标志。按照传统的计算方法,灌溉水利用系数是渠系水利用系数和田面水利用系数的乘积,渠系水利用系数又是该渠道以下(包括该渠道)各渠道水利用系数的连乘积。由此可以看出,在每次灌水中,要测定灌溉水利用系数,其工作任务是十分繁重的。通过研究和工作实践,本书作者在 1958 年小麦春灌中,采取用需灌水定额、实灌水定额和毛灌水定额相互比值的方法,分别求得灌溉水、渠系水和田面水的利用系数,在国内较早地提出了解决这一复杂问题的有效方法。我国是一个水资源紧缺的国家,随着工农业生产的发展,水资源供需矛盾日益突出,农业是用水大户,节水势在必行。本书在总结我国农田灌溉经历大水漫灌一定额灌溉—节水灌溉 3 个阶段的经验后,分析了农田灌溉水量损失的途径,有针对性地提出了工程、管理、农业及灌水技术等节水措施,并就农田节水灌溉的标准、土壤持水率的掌握、计划灌水深度的控制等问题,进行了新的探索。

人民胜利渠是北方旱作地区最早实行在灌区内打井、实行井渠结合灌溉方法的灌区之一。40 多年的运用实践证明,在易旱易涝易碱的黄淮海平原,井渠结合灌溉是一条成功的经验。通过对人民胜利渠灌区井渠结合现状的调查和评价,书中提出了井渠结合合理利用水资源的最优配水方案,对井渠结合调控地下水位以及地表水和地下水联合运用中井灌开采强度的确定等问题,进行了比较系统的分析研究。特别是在井渠结合灌溉中,井灌可以弥补渠灌因轮灌所造成的用水不适时的缺点,渠灌又可弥补井灌水量的不足。所有这些,对井渠结合灌溉事业的发展都有重要的参考价值。

土壤次生盐碱化是大面积大水漫灌、地表水排泄不畅、地下水埋深长期小于临界深度和在强烈蒸发的作用下,表土大量积盐的必然结果。人民胜利渠灌区也曾受到过土壤次生盐碱化的危害。本书对人民胜利渠灌区水盐运动的规律、影响水盐运动的因素以及土壤次生盐碱化的防治措施等进行了系统的分析,提出了把灌区地下水埋深长期控制在抑止土壤返盐的深度以下,是防治土壤次生盐碱化的根本措施的观点等,具有重要的实际意义。

黄河是中华民族的摇篮。为了改变历史上“黄河百害,惟富一套”的说法,新中国成立后,1952年在黄河中下游兴建了第一个大型引黄灌溉工程——人民胜利渠,揭开了人民利用黄河水沙资源的序幕。目前,黄河中下游引黄灌溉面积已达200多万 hm^2 。黄河是一条多沙河流,引水必引沙,为了处理入渠泥沙,20世纪50、60年代,所有的引黄灌区都设置了沉沙池。随着灌溉时间的延长,用有限的沉沙池空间来应对无限的来水来沙量,终将会出现无低洼地可供沉沙的局面。因此,需要寻找新的处理入渠泥沙的措施。人民胜利渠灌区自20世纪70年代开始,为了解决这一难题,进行了长期系统的观测试验研究。本书从分析灌区水沙分配及淤积分布规律入手,在总结过去处理入渠泥沙经验措施的基础上,提出了用浑水灌溉解决泥沙问题,同时对实行浑水灌溉所应具备的条件和措施进行了分析研究。近20年来,人民胜利渠灌区一直都是采取浑水灌溉的方法使泥沙问题得到解决。

合理利用水资源是一个永久性的研究课题。本书在整理观测数据的基础上,进行了区域水量平衡分析计算,揭示了雨水、地表水、土壤水和地下水相互依存、相互转化的关系,并指出只有土壤水才能被作物根系吸收利用;但土壤水是由雨水和地表水入渗以及地下水借毛细管作用上升进入土壤而存在的,因此在充分拦蓄利用雨水的基础上,合理利用地表水及适量开采地下水,以保证土壤水的可持续利用,是非常重要的。

本书还收集了与灌溉排水有关的一些参数的测定方法和试验研究结果;对降雨、地下水、土壤水分和洪水等,介绍了开展观测预报的研究成果;最后,对灌区的节水技术改造及灌区管理自动化的研究实施,进行了系统的介绍和总结。

本书的内容都是从观测试验和科学研究的成果中总结出来的,既有一定的理论价值,又有较翔实的观测试验数据,具有实际的应用意义。

最后,希望《农田灌溉排水研究与实践》一书早日出版,供全国正在开展的以节水为中心的大型灌区改造参考,为我国农田水利事业的发展做出积极的贡献。

中国工程院院士 沈蔚椿

2005年2月2日

绪 论

农田灌溉排水是一个古老的课题。人类社会自有农业生产以来,就有农田灌溉排水,而且随着生产的发展和社会的进步,灌溉排水的技术水平越来越高,涉及学科的范围也越来越广。发展农业生产,是人类生存的第一需要。为此,一大批科学技术人员积极参加到灌溉排水的科学研究中来。本书就是作者对灌溉排水工作实践及试验研究部分成果的总结。

正确确定农作物的需水量是开展农田灌溉的基础。在农作物需水量的研究中,主要有两种学术观点:一种是以前苏联学者考斯加可夫(А Н Косяков)为代表的产量因子派;另一种是英国学者彭曼(Pen Man)为代表的气象因子派。考斯加可夫把农作物的需水量与产量联系起来,认为产量越高,需水量越大,当然他也提到了土壤、肥料等五项条件,但在他提供的计算式中没有反映出来;彭曼等学者认为农作物的需水量主要与气象因子有关,如气温、湿度、风、太阳辐射和空气饱和差等。通过长期实践检验,作者认为这两种理论各有优缺点。在中低产阶段,作物的需水量确实与产量成正比增长,但到高产阶段以后,产量的提高并不会引起需水量的增加。以气象因子确定需水量的方法,确实抓住了影响农作物需水量的主要因素,但生产实践发现,两个乡(村)相距不到 15km,从气象因素来说,应该相差不会太大,但实测作物需水量相差高达 50%。基于上述原因,作者通过长期研究,提出农作物的需水量是由基本需水量和随机需水量两部分构成的。基本需水量受气象因素影响,随机需水量受土壤质地、土壤肥力和土壤水分 3 个因素影响,并给出了相关的计算公式。这个理论能较好地反映生产实际,只是对随机需水量的计算方法研究得还不够充分,需要进一步研究完善。

灌溉水有效利用系数的高低,是检验灌区管理工作好坏的重要依据。灌溉水有效利用系数是渠系水有效利用系数和田面水有效利用系数的乘积;渠系水有效利用系数,又是该渠道以下(包括该渠道)各级渠道水有效利用系数的连乘积。人民胜利渠灌区有总干、干、支、斗、农五级固定渠道,如果每次灌水都要测定灌溉水有效利用系数,其工作量之大,简直难以想像。为解决以上问题,在 1958 年小麦春灌时,作者通过实践,提出用作物实测需灌水定额与渠首引入水量计算的毛灌水定额之比的方法,来确定灌区灌溉水有效利用系数。实践证明,这是一个简单且行之有效的方法,在国内较早、也较好地解决了这个问题。

土壤次生盐碱化是 20 世纪 50 年代末、60 年代初发生在华北平原一次大范围的自然灾害,曾使豫鲁两省许多引黄灌区被迫停灌,人民胜利渠灌区也只保留 30 万亩(2 万 hm^2)待观察。为了防治土壤次生盐碱化,人民胜利渠灌区从 1962 年起,连续三年大建排水除涝工程,控制引黄灌溉水量,开始打井实行井渠结合灌溉。通过采取这些有效措施,从 1964 年起,灌区地下水位逐步回落,次生盐碱地逐步得到改良。目前,全灌区不仅没有次生盐碱地,而且连原有的 10 万亩(约 6 667 hm^2)老盐碱地也基本得到了改良。为了总结防治土壤次生盐碱化的经验,书中对人民胜利渠灌区水盐运动规律、水土盐分运动及影响因素、井渠结合灌溉调控地下水位及灌区土壤次生盐碱化的防治等方面,均做了较系统的分析研究。

人民胜利渠是我国北方旱作区实行井渠结合灌溉最早的灌区之一,自 20 世纪 60 年代初开始,至今已经 40 余年。人民胜利渠灌区自实行井渠结合灌溉以来,取得了粮棉高产稳产、改

善生态环境等经济效益和社会效益。本书收集了人民胜利渠灌区井渠结合现状调查、井渠结合灌溉、合理利用水资源及井渠结合调控地下水位等研究成果,并对地表水和地下水联合运用中如何合理确定井灌开采强度,进行了专题研究。

人民胜利渠是新中国成立后在黄河中下游兴建的第一个大型引黄灌溉工程。由于黄河是多沙河流,引水必引沙,泥沙淤渠是引黄灌区一大公害。如何与泥沙作斗争,始终是引黄灌区一个重要的研究课题。人民胜利渠灌区开始是采用沉沙池处理入渠泥沙,后来由于可用做沉沙的低洼地都已通过淤改变成了高产农田,已无低洼地可设置沉沙池,因此必须寻找新的处理入渠泥沙的措施。书中从分析灌区水沙分配和淤积分布规律入手,在总结过去处理入渠泥沙措施的基础上,提出实行浑水灌溉的新思想,同时对实行浑水灌溉的边界条件进行了分析研究。

掌握好农作物的灌溉技术,搞好地面灌水技术研究,实行节水灌溉,始终是灌区管理的重要内容。本书除对一般性技术问题进行总结外,并重点对盐碱地小麦的灌溉、水稻间歇(湿润)灌溉、涌流灌溉、农田灌溉的节水技术措施及灌区节水技术改造与经济效益等方面,进行了系统的试验研究和分析总结。这些对灌区生产的发展和管理水平的提高,发挥了重要的作用。

为了开展灌溉排水工作,需要确定与之有关的一些参数,如:土壤渗透系数、土壤给水度、田间导水率、扩散率、径流系数、导水系数及影响半径等,为此,作者在人民胜利渠灌区古黄河漫滩区和古黄河背河洼地区,进行了两次地下水非稳定流抽水试验,并进行多次同心环土壤水分入渗试验。书中收录了有关这些方面的试验研究成果。

在我国水资源日益紧缺的情况下,如何合理利用灌区现有的水资源,是灌区管理工作中一个很重要的问题。本书从灌区水量平衡计算入手,到雨水、地表水、土壤水和地下水四水互相依存、互相转化的分析研究,最后提出了合理利用水资源的综合措施。

在农田灌溉排水中,降雨量、蒸发量、土壤水分、地下水埋深及除涝排洪占有重要的地位。开展这些方面的监测预报,对正确指导灌溉和排水,亦有重要的作用。

20世纪70年代末、80年代初,我国大力提倡在国民经济中实现四个现代化。在这个大的背景下,人民胜利渠灌区面临一个新的任务——灌区管理如何实现现代化。经过调查研究,作者提出了人民胜利渠灌区管理自动化的设想。书中提出灌区管理自动化应主要解决远距离的信息传递与自动操作问题,即对闸门实行遥测、遥讯、遥控、遥调,通称“四遥”;对田间土壤水分和地下水埋深,实行自动测报,并提出“由点到线,由线到面”的技术路线。在国家“七五”科技攻关期间,人民胜利渠自动化管理一期工程被列入国家科技攻关项目,由水利部中国水利水电科学研究院和河南省人民胜利渠管理局抽调专业人员,组成科技攻关小组。研究的主要内容是在人民胜利渠管理局内建立中心站,在渠首闸和1号跌水设立两个分站,对两个枢纽的闸门实行计算机远程监控。经过5年研究,该系统于1990年10月通过国家部级鉴定,投入运行使用。在国家“八五”科技攻关期间,人民胜利渠灌区田间土壤水分和地下水埋深自动测报研究被列入科技攻关二期工程项目,由河南省水利科学研究所和河南省人民胜利渠管理局组成攻关小组。该项目研究主要是在灌区田庄支渠(新乡县翟坡乡)内设立3个自动测报站,可定期遥测20、50、80cm深的土壤水分及地下水埋深,并在33号井站设立了降雨量自动测报点。该系统于1995年11月通过专家鉴定,交付灌区使用。书中对一、二期工程系统研究进行了较详细的介绍。

20世纪80年代,灌区自动化管理对人民胜利渠灌区来说是一个全新的课题,除少数参加项目研究的专业人员外,多数人员并不了解。因此,系统运行了几年后,就因零部件损坏得不

到补充而停止运行,这个教训是深刻的。究其原因有三点:

(1)限于当时我国的科技水平还不高,系统零部件大多由国外进口,不仅造价高,而且真正懂得其操作使用的人员也不多,因而,在生产运行中,当有损坏特别是一次性仪表(如传感器)损坏,国内很难找到配件。

(2)限于当时我国的综合国力水平尚较低,当系统零件损坏后,在科技攻关期间,可由攻关经费购买零部件解决;但系统交付灌区使用后,要求灌区管理部门拿出很多经费来购买零部件,这是管理部门难以承受的。

(3)当时的传感器,多数性能尚未过关,损坏的频率较高。

基于上述三点,再加上一、二期工程也只是试点,并不完善(如总干渠 2、3 号跌水就没有安装),因此,系统损坏后停止运行也就在所难免了。不过,人民胜利渠通过灌区自动化管理一、二期工程建设积累了很多宝贵的经验,待以后条件成熟,再开展这项工作时,还是有积极作用的。

本书收录的内容,多数都在国内各有关学术刊物上发表过,因此带有明显的时代痕迹,但书中阐述的学术观点、技术路线和研究结论则不受时间制约,仍有普遍的现实意义。

作 者

2005 年 8 月

目 录

序

张蔚榛

绪 论

第一章 农作物需水量研究	(1)
第一节 农作物需水量的内涵	(1)
第二节 农作物需水量的测试方法	(3)
第三节 农作物需水量的构成及影响因素	(7)
第四节 小麦田间耗水量的数学模型	(11)
第五节 小麦耗水量计算实例	(19)
第二章 农作物的灌溉技术	(23)
第一节 小麦的灌溉技术	(23)
第二节 晚玉米的灌溉技术	(29)
第三节 棉花的灌溉技术	(32)
第四节 水稻的灌溉技术	(36)
第三章 特定农田的灌溉问题研究	(39)
第一节 盐碱地小麦的灌溉问题	(39)
第二节 稻茬冬小麦的灌溉问题	(41)
第三节 水稻间歇(湿润)灌溉技术研究	(44)
第四章 确定灌排农田土壤水分参数的试验	(48)
第一节 田间土壤水分入渗试验	(48)
第二节 地下水平均埋深对径流系数影响的研究	(55)
第三节 降雨入渗对地下水影响分析	(61)
第四节 地下水非稳定流抽水试验	(70)
第五章 地面灌水技术研究	(83)
第一节 沟畦灌水技术研究	(83)
第二节 水稻田间工程布置研究	(87)
第三节 涌流灌水技术研究	(94)
第六章 农田节水灌溉研究	(101)
第一节 灌溉水利用系数的测定	(101)
第二节 农田节水灌溉的技术措施	(104)
第三节 农田灌溉中几个需要探讨的问题	(111)
第七章 人民胜利渠灌区节水技术改造研究	(115)
第一节 田间渠系节水技术改造	(115)
第二节 节水技术改造及经济效益	(120)
第八章 防治土壤次生盐碱化研究	(124)
第一节 水土盐分运动及影响因素分析	(124)

第二节	人民胜利渠灌区水盐运动规律及评价	(128)
第三节	井渠结合配水方案研究	(132)
第四节	灌区土壤次生盐碱化的防治	(143)
第九章	井渠结合灌溉研究	(151)
第一节	人民胜利渠灌区井渠结合现状及评价	(151)
第二节	渠井结合合理利用水资源	(154)
第三节	井渠结合调控地下水位	(158)
第四节	井渠结合灌溉分析研究	(162)
第五节	地表水与地下水联合运用井灌开采强度的确定	(175)
第十章	引黄灌区泥沙研究	(183)
第一节	人民胜利渠灌区水沙分配和淤积分布	(183)
第二节	人民胜利渠灌区泥沙处理措施	(189)
第三节	浑水灌溉条件研究	(192)
第四节	用浑水灌溉解决引黄灌溉中的泥沙问题	(197)
第十一章	合理利用水资源研究	(199)
第一节	灌区水量平衡计算	(199)
第二节	农业水资源的合理利用	(204)
第三节	水资源的综合利用与管理	(210)
第十二章	农田灌溉排水中几个预报的研究	(214)
第一节	利用周期分析预报降雨蒸发量	(214)
第二节	计算机在地下水埋深预报中的应用	(220)
第三节	水量平衡原理在洪水预报中的应用	(223)
第四节	土壤水分预报	(229)
第十三章	灌区管理自动化研究	(232)
第一节	人民胜利渠实现灌区管理自动化的设想	(232)
第二节	人民胜利渠灌区管理自动化监控系统研究	(236)
第三节	人民胜利渠灌区土壤水分自动测报系统研究	(242)
参考文献		(261)

第一章 农作物需水量研究

第一节 农作物需水量的内涵

一、农作物需水量的不同提法

农作物需水量是一个广义的名称。农作物一般是指小麦、棉花、玉米、水稻、谷子及高粱等栽培作物。因此,农作物需水量也有小麦需水量、棉花需水量、水稻需水量等分别。关于农作物需水量的概念,目前有多种说法,如有的人认为“作物需水量是指在作物生长季节,从生长面积上失去的水量,它包括从作物体上蒸腾的水量和组成作物体的水量,以及从种植面积的土壤上蒸发的水量……因此,作物需水量是从作物体上蒸腾的水和棵间蒸发的水之和,通常也称腾发量”。有的人认为“一般将农田中消耗的总水量称为田间耗水量,对于旱田,就是植株蒸腾与株间土壤蒸发量及深层渗漏量之和;对于水田,就是植株蒸腾,株间水面蒸发及田间渗漏量之和……不考虑渗漏水量,只将植株蒸腾与株间蒸发两项所消耗的水量加起来,称为田间耗水量,也叫田间腾发量”。还有的人认为“作物需水量的科学含义似乎可以这样说,即在当地自然条件及农业耕作条件下,适于某一品种农作物正常发育并取得较高产量所需要的水量,包括降雨、作物可能利用的地下水及灌溉”。另外,还有“作物需水量是指:作物在适宜的水、肥、气、热条件下,通过正常的生长、发育,实现最高的生物学产量的植株生理蒸腾与棵间蒸发之和。它除了与作物本身的生物学特性有关外,明显地受气象因子的影响,这里适宜的土壤水分条件,与产量对应的群体动态和实现最高生物学产量等,是相对而言,而不是绝对的,在这些条件得到确认后,求得的作物需水量值就应当认为是作物本身的真正需水量。作物需水量是不受灌水方法影响的”。又有“就一个地区来说,对应某一产量水平的作物需水量值只能有一个,而不是几个。不同灌水方法所测定的不同需水量值,是因为灌水方法本身不完善,使土壤水分偏离适宜指标,造成不同土壤水分状况所引起的水分消耗不同而形成的。这些值不能称为作物需水量,只能称为某一灌溉方法下的田面耗水量。作物需水量只能是作物为了实现某一产量水平的生理与生态所需水量”。其他也可能还有一些说法,但上述这些是国内有代表性的几种对农作物需水量的定义。

二、农作物需水量概念浅释

通过对以上几种提法和测试方法的分析,对农作物需水量有如下一些认识。

(一)理论认识

从理论上讲,农作物的需水量一般由三部分组成:①农作物生长期,为维持作物生长发育,保持作物体内热量与水分平衡所必需的叶面蒸腾;②植株之间的土壤蒸发;③最后储存在作物体内的水分。由于储存在作物体内的水分很少,一般可略而不计,所以,可以把农作物的

需水量视为农作物的叶面蒸腾和棵间土壤蒸发量之和。

需要指出的是：

(1)对于水稻田,棵间土壤蒸发量变成了棵间水面蒸发和田间渗漏量两项,因为这是维持水稻淹灌所必不可免的。

(2)对于旱田,不能把深层渗漏量视为农作物需水量的一部分,因为产生深层渗漏,是由于灌水技术不当引起的,它与水稻淹灌必须在田面上建立水层有原则性区别。

(3)农作物需水量,是农作物在生长期内(自播种至收获),为维持其正常生长发育所必需的叶面蒸腾与棵间土壤蒸发之和(指旱作物),可以简称为农作物的腾发量,也可叫做农作物的需水量。

(4)农作物需水量,是指为维持农作物生长发育所需要的水量而言的,它与补充土壤水分的方式无关,无论降雨、灌水或地下水借毛细管作用进入作物根系层,只要补充了土壤水,且又为农作物利用了,都应该视为农作物需水量的组成部分。

(二)实践认识

从实践上讲,不同条件下各种农作物的需水量值,都是运用水量平衡原理,通过灌溉试验测定出来的。由于测试的方法不同,其结果也不一样,表 1-1 列出了不同测试方法下的小麦需水量值。从表 1-1 中可以看出,在其他条件相同的情况下,筒测需水量大于田测需水量,畦灌需水量大于滴灌需水量。造成这些差值,当然有它的内在原因,但问题在于同是作为小麦需水量值,在名称概念上应如何区别。

表 1-1 不同测试方法下的小麦需水量值

年份		试验地点	土质	生长期降雨量 (mm)	生长期地下水平均埋深 (m)	实测需水量(m ³ /亩)	
						筒测	田测
1957		引黄忠义	轻壤土	54.5	1.99	277.0	211.1
1959				211.6	1.85	336.8	299.7
1979	不灌	偃师县关窑大队	粉土	160.9	很深,在邙山岭上		189.3
	畦灌						337.2
	滴灌						301.4

注:1979 年资料摘自农田灌溉研究所《冬小麦滴灌效果及其耗水规律研究》一文。

(三)理论与实践的统一

通过上面的分析可以认为:农作物的需水量就是农作物的腾发量,它包括生长期内农作物的叶面蒸腾和棵间土壤蒸发两项之和。用筒测法(包括有底筒测和有底坑测)测定出来的数值,基本上概括了它的内容,可以称其为农作物的需水量。相反,用田测法(包括无底筒测和无底坑测)测定出来的数值,没有计入地下水利用量,只反映了田间的耗水情况,不能视为农作物的需水量,只能称它为农作物的田间耗水量。

正确确定农作物的需水量,是进行农业区划、水资源的合理开发利用和灌区工程规划设计及用水管理必不可少的重要依据。

第二节 农作物需水量的测试方法

一、测试方法

综合国内外的情况,农作物需水量的测试方法大致可分为水量平衡法、能量(热量)平衡法和生物学方法三类。

(一)水量平衡法

该法的基本出发点是把“水—土壤—作物”看成一个综合体系,通过观测农作物从播种到收获全生长期作物根系自土壤中吸收消耗的水分,确定其需水量。这是一个直接求得作物需水量的方法。

(二)能量(热量)平衡法

该法把“水—土壤—作物”看成一个综合体系,认为农作物对土壤水分的消耗是受气象因子支配的,如太阳辐射、蒸发、温度、日照、湿度、风及气压等。该法确定农作物需水量有两条途径:一是以大气中水汽乱流扩散、分子运动及热量平衡理论为依据的纯理论计算方法;二是以一个或几个气象因子与实测农作物的需水量建立相关分析的数理统计经验公式方法。

(三)生物学方法

该法利用农作物在缺水时生理生态上的一些反应,如气孔张开度和根毛渗透压等,来确定农作物需要灌水的时间,记载其相应的灌水量,最后计算农作物的需水量。

在上述三类方法中,水量平衡法能直接求得农作物的需水量,是目前灌溉试验中较常用的方法。水量平衡法由于测试手段的不同,又有筒测、坑测、田测之分。在我国农作物灌溉试验的历史上,20世纪50年代多用筒测法,由于筒测的试验面积太小,筒体吸热影响了田间小气候,不能完全代表大田生产的实际情况,60年代以来多采用田测法。坑测是介于筒测和田测之间的一种方法,实质上,它是放大了试验面积的筒测法。目前,这三种方法还都在沿用。

二、测试方法的差别

下面着重研究一下不同测试方法所得农作物需水量的差别。

(一)筒测(包括坑测)法

该法是利用薄铁皮(或工程塑料)焊制面积不大于 1m^2 ,深度为 $1\sim 1.5\text{m}$ 的圆形(或方形)测筒。测筒有底,筒内装原状土。为了分别测得农作物的叶面蒸腾和棵间土壤蒸发,一般每组设两个测筒(若测定地下水利用量,则需再增设一个无底筒),见图1-1。从播种开始,用台秤或负压计测定筒内土壤水分的含量,生长期中每隔5~10天观测一次。当土壤

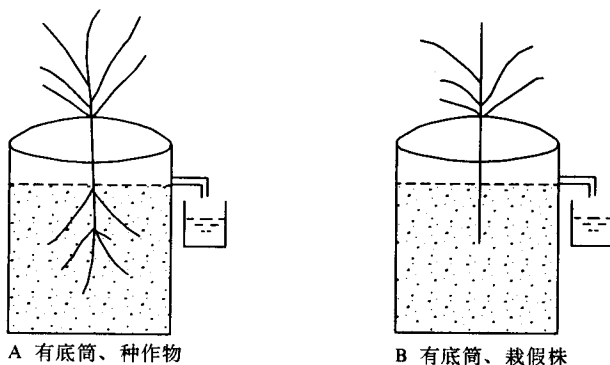


图 1-1 筒测作物需水量示意图

水分下降到一定值时,即用量筒加水,并记载其灌水量。降雨时,为了提高试验精度,一般都用玻璃棚遮盖,防止雨水滴入;有些无遮棚设施的,要观测降雨量,同时要在测筒土壤表面设排水口,用量筒测出地面径流量。收获时,要加测一次测筒土壤中的剩余水量。筒内作物种植密度和施肥管理与大田生产相同。测筒 B 为观测叶面蒸腾而设,因此应定期按 A 筒作物植株生长情况,用塑料片制成的假株插入 B 筒内。其需水量的计算为

$$E_A = M_{0A} + m_A + (P_A - K_A) - M_{1A} \quad (\text{A 筒})$$

$$E_B = M_{0B} + m_B + (P_B - K_B) - M_{1B} \quad (\text{B 筒})$$

式中: E_A 、 E_B 为 A、B 测筒的作物需水量; M_{0A} 、 M_{0B} 为 A、B 测筒的播前土壤储水量; m_A 、 m_B 为 A、B 测筒作物生长期灌入的总水量; P_A 、 P_B 为 A、B 测筒的降水总量,当用遮雨棚试验时,此项为零; K_A 、 K_B 为 A、B 测筒中降雨地面径流量,当用遮雨棚试验时,此项为零; M_{1A} 、 M_{1B} 为 A、B 测筒作物收获时,筒内土壤剩余的水量。

从上面的计算中可以看出,筒测试验作物的耗水全部从地面灌入(有的也包括降雨),其数量是完全可以计算的,总水量包括作物植株的叶面蒸腾量和棵间的土壤蒸发量两项,亦为农作物的需水量。由于 B 筒未种作物,只栽假株,因此 B 筒测定的水量,只代表棵间土壤蒸发量,故有

$$\text{作物叶面蒸腾量} = E_A - E_B$$

(二) 田测(包括无底测坑)法

该法是在大田中选择有代表性的地块(如图 1-2 所示),按规定布设土壤水分观测点,作物播种时,分层测定 0~100cm 土层的土壤含水率,计算土壤储水量。作物生长期,每隔 5~10 天测定一次土壤水分变化,灌水前后、降雨前后亦需加测一次土壤水分,并记载每次的灌水量和降雨量,收获时再测一次土壤水分,可以用下式计算农作物的需水量,即

$$E_{\text{田}} = M_{0\text{田}} + m_{\text{田}} + P_{\text{田}} - M_{1\text{田}}$$

式中: $E_{\text{田}}$ 为田测作物需水量; $M_{0\text{田}}$ 为播种时土壤水分储量; $m_{\text{田}}$ 为总灌水量; $P_{\text{田}}$ 为作物生长期有效降雨量; $M_{1\text{田}}$ 为作物收获时土壤水分储量。

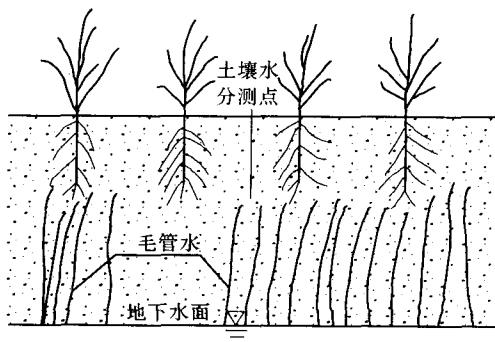


图 1-2 田测作物需水量示意图

从图 1-2 中可以看出,田测法计算出的需水量包括叶面蒸腾和棵间土壤蒸发两部分,相当于筒测法 A 筒的情况,但又与 A 筒有一个重要的区别。A 筒是有底筒,隔绝了地下水,农作物对水分的消耗,全部由灌水(或包括降雨)供给,其数量是已知的;而田测法没有隔绝地下水,农作物在生长过程中,除消耗灌水和降雨雨水外,还借根系的作用吸取、消耗地下水,作物消耗地下水的水量,田测法又无法测定出来。因此,用田测法试验测定出

来的作物需水量,在其他条件相同的情况下,要小于用筒测法试验的测定结果。其差值为农作物对地下水的利用量。故有

$$\text{地下水利用量} = \text{筒测需水量} - \text{田测需水量}$$

三、存在问题

农作物需水量的研究,在方法上虽然有水量平衡法、能量平衡法和生物学方法之分,但在取得成果上,只有水量平衡法才能直接测得农作物的需水量值,其他方法只能从间接的推断来计算农作物的需水量。

水量平衡法,是直接通过灌溉试验来测定农作物需水量的,随着试验时间(不同水文年、不同气候条件)、地点(不同土壤、不同地下水埋深)和耕作(不同施肥、灌水、耕翻等)条件的不同,其测定结果(见表 1-2)也不一样,原则上某种条件下测定出来的农作物需水量值,只能应用到条件相似的地区,这就大大限制了试验成果的推广使用。在一些没有条件试验而又缺乏相应资料可供借鉴的地区,在开展农业区划和灌区工程规划设计时由于没有各种农作物的需水量数据,影响了工作的开展。因此,利用有限的实测资料与其他影响因素建立联系,通过分析确立数理统计模型,使试验成果能得到广泛的应用,这就给确定不同条件下的农作物需水量提供了一条间接的途径。

表 1-2 不同条件下小麦田间耗水量试验结果

年份	试验地点	土质	生长期 雨量 (mm)	生长期 蒸发量 (mm)	生长期 灌水量 (m ³ /亩)	生长期 地下水 埋深 (m)	产量 (kg/亩)	田间 耗水量 (m ³ /亩)
1955	引黄忠义	轻壤	138.9	604.6	83.3	2.24	152.5	191.5
1957	引黄忠义	中壤	54.5	592.8	68.8	2.00	241.1	165.2
1959	引黄忠义	轻壤	189.0	724.3	121.6	1.40	147.0	303.9
1961	引黄忠义	轻壤	135.4	765.5		1.40	261.5	189.0
1962	引黄忠义	轻壤	169.9	821.4	80.0	1.74	300.1	189.0
1974	引黄忠义	轻壤	124.3		68.0	1.98	357.5	206.8
1975	引黄忠义	轻壤	192.4		104.6	1.62	432.0	231.6
1976	引黄忠义	轻壤	190.2	636.6	72.0	1.48	445.0	188.0
1978	引黄忠义	轻壤	132.5	649.9	148.0	1.94	382.0	246.3
1974	博爱县:许良	黏土	103.0		234.0	> 3.0	412.5	346.7
1974	博爱县:新店	壤土	103.0		207.0	> 3.0	392.5	334.4
1974	新乡县:宋庄	黏壤	135.8	1 055.8	230.2	2.8	515.0	351.4
1975	沁阳县:山王庄	黏壤	197.9	960.0		3.0	444.8	304.1
1975	新乡县:宋庄	黏壤	174.0	834.0	187.0		515.0	351.8
1975	获嘉县:尹寨	轻壤	192.4			1.62	362.0	270.6
1975	陕西省:泾惠渠		219.6	550.0	98.0	3.50	395.8	314.5
1981	引黄忠义	轻壤			108.7		397.4	245.9
1982	新乡县:李庄	中壤	105.2	1 094.1	170.6	3~3.5		242.5
1983	新乡县:李庄	中壤	208.6	957.8	148.8	> 3.5		290.1
1984	新乡县:李庄	中壤	70.8	972.7	52.8	> 3.5		314.6
1985	新乡县:李庄	中壤	164.2		56.0	> 3.5		206.1

注:①博爱县、沁阳县及新乡县宋庄的资料取自农田灌溉研究所的试验报告;②泾惠渠的资料取自泾惠渠试验站的研究报告;③其他为人民胜利渠的试验成果;④表中空格为原报告中没有说明。

影响农作物需水量的因素很多,一般可分为气候的(包括降雨、蒸发、日照、气温、相对湿度、气压、风速等)、地理的(包括土壤、地下水、地形地貌等)、作物的(指品种特性)和人为的(包括施肥、灌水、耕作等)等,且这些因素都是相互联系、相互制约的。因此,这就给农作物需水量的研究工作带来了艰巨的任务。目前,国内外各种计算公式繁多,按考虑因素的多少分,有单相关分析和复相关分析;按考虑因素的性质分,有纯气象因素和综合因素之别,现将各种有代表性的计算公式列入表 1-3 中。

表 1-3 旱作物需水量 E 或参照需水量 E_T 值计算公式

序号	作者(方法)	公 式	符号意义
1	N A Illapob 契恰索夫	$E = e(t - t_0)a$	e ——蒸发率, $m^3/(亩 \cdot ^\circ C)$ t, t_0 ——干球和湿球的平均气温, $^\circ C$ a ——生长期天数
2	A H Koetskob 考斯加可夫	$E = ky$	k ——需水量系数 y ——产量
3	Blaney - Criddle (布莱尼—柯来多)	$E_T = C[P(0.46T + 8)]$	T ——日平均温度 P ——日照小时百分数的逐日值 C ——修正系数
4	辐射法	$E_T = C(W \cdot R_s)$	R_s ——太阳辐射 W ——与温度、高度有关的系数 C ——与湿度、风速有关的系数
5	Pen Man (彭曼)	$E_T = C[W \cdot R_n + (1 - W) \cdot f(u)(e_a - e_d)]$	R_n ——换算为蒸发值的净辐射 W ——取决于温度的加权系数 $f(u)$ ——与风有关的函数 $e_a - e_d$ ——空气饱和差 C ——昼夜天气影响修正系数
6	蒸发皿法	$E_T = K_p \cdot E_{pan}$	K_p ——蒸发皿系数 E_{pan} ——蒸发皿的蒸发量
7	李文渊	$E = 0.0018y^{1/2}E_0(\beta - \beta_0)$	E_0 ——水面蒸发量 y ——产量 β_0 ——枯萎系数 β ——1m 土层内生长期平均含水率
8	河南引黄灌区小麦资料	$E = \alpha E_0 2.7 - \frac{1}{\beta} \ln y^{0.1}$	β ——小麦生长期平均含水率 y ——产量 E_0 ——水面蒸发量 α ——灌水次数修正系数
9	陈玉民	$E = a + bd$	d ——空气饱和差累积值 a, b ——系数
10	竺士林	$E = \beta \sum_{i=1}^n (\bar{t}_i + 50) E_{0i}^{1/2}$	β ——作物生长期内耗水系数 $\bar{t}_i$ ——阶段内日平均气温 E_{0i} ——相应于 $\bar{t}_i$ 阶段的水面蒸发量 n ——作物生育阶段数