



中国生态系统研究网络丛书

豫北平原农业生态系统研究

傅积平 徐福安 主编

气象出版社

豫北平原农业生态系统研究

Agricultural Ecosystem on the Northern Henan Plain

傅积平 徐富安 主编

气象出版社

内 容 简 介

本书是国家“八五”科技攻关成果之一。本书分四部分:第一部分,论述了潮土中水分、养分、盐分的变化规律,并进行预报和预控。第二部分,论述了黄淮海平原地区几种主要的农林复合生态系统的结构模式。第三部分,论述水生生态系统的特点与能量动态。第四部分,论述农业可持续发展中的关键技术。

本书供农业生态、农业、林业、畜牧业科技人员及研究人员参阅。

图书在版编目(CIP)数据

豫北平原农业生态系统研究/傅积平,徐富安主编.-
北京:气象出版社,1998.5

ISBN 7-5029-2466-3

I. 豫… II. ①傅… ②徐… III. 农业-生态系-研究-中
国-豫北地区 N. S181

中国版本图书馆CIP数据核字(98)第02556号

豫北平原农业生态系统研究

* * *

傅积平 徐富安 主编

责任编辑:潘根娣 终审:纪乃晋

封面设计:王群力 责任技编:李欣 责任校对:李新

* * *

气象出版社出版

(北京海淀区白石桥路46号 100081)

北京市宏远兴旺印刷厂印刷

气象出版社发行 全国各地新华书店经销

开本:787×1092 1/16 印张:18 字数:480千

1998年5月第一版 1998年5月第一次印刷

印数:1-800 定价:45.00元

ISBN 7-5029-2466-3/S·0323

《中国生态系统研究网络丛书》编辑委员会

主 任： 孙鸿烈

委 员：（以下按姓氏笔画为序）

王明星 孙鸿烈 孙九林

陈宜瑜 沈善敏 陆亚洲

张新时 赵士洞 赵其国

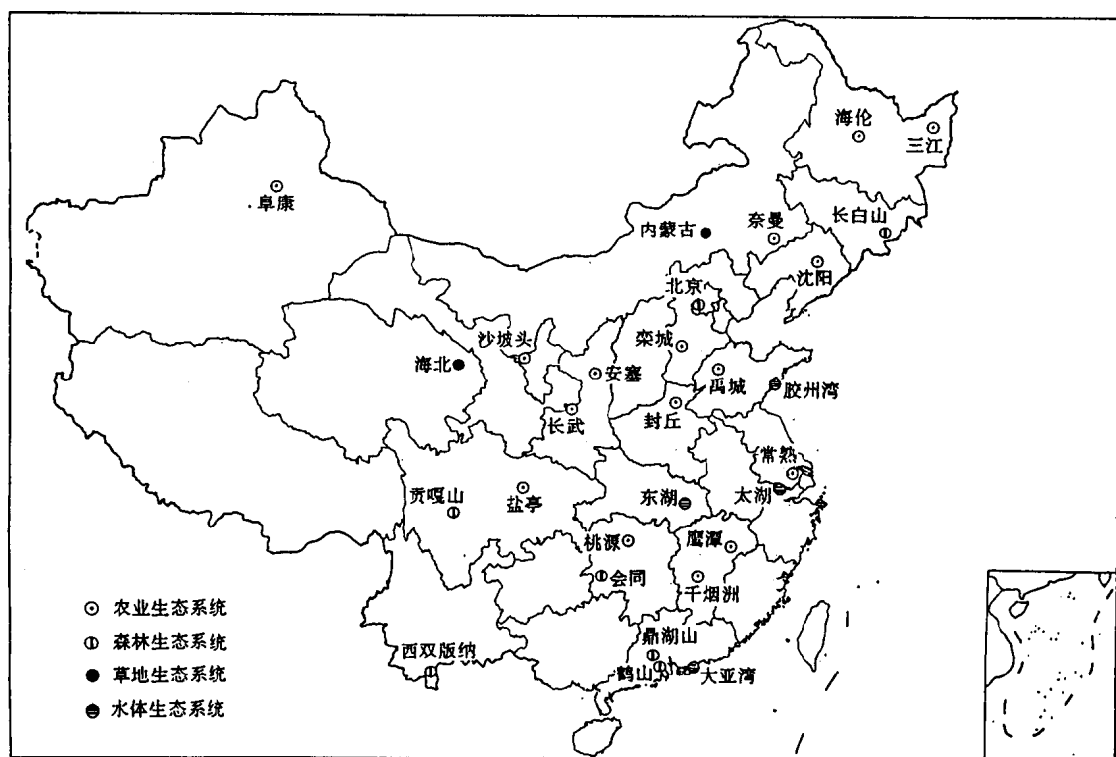
钱迎青 唐登银

秘 书： 王群力

《中国生态系统研究网络丛书》序

中国科学院自 1949 年建院以来,陆续在全国各重要生态区建立了 100 多个以合理利用资源,促进当地农业、林业、牧业和渔业发展,以及观测和研究诸如冰川、冻土、泥石流和滑坡等一些特殊自然现象为目的的定位研究站。在过去几十年中,这些站无论在解决本地区资源、环境和社会经济发展所面临的问题方面,还是在发展生态学方面,都发挥了重大的作用。

自本世纪 80 年代以来,一方面由于地球系统科学的出现与发展,特别是由于国际地圈-生物圈计划(IGBP)的提出与实施;另一方面,由于日益严重的全球性资源、环境问题所造成的压力,使生态学家们提出了以从事长期、大地域尺度生态学监测和研究为目的的国家、区域乃至全球性网络的议题。就是在这种背景下,中国科学院从已有的定位研究站中选出条件较好的农田、森林、草原、湖泊和海洋生态系统定位研究站 29 个(见中国生态系统研究网络生态站分布图),并新建水分、土壤、大气、生物和水域生态系统 5 个学科分中心及 1 个综合研究中心,于 1988 年开始了筹建“中国生态系统研究网络(英文名称为 Chinese Ecosystem Research Network,缩写为 CERN)”的工作。目前,中国科学院所属 21 个研究所的千余名科技人员参与了该网络的建设与研究工作。



中国生态系统研究网络生态站分布图

网络筹建阶段的中心任务,是完成 CERN 的总体设计。1988~1992 年的 5 年间,在中国科学院、国家计委、财政部和国家科委的领导与支持下,来自我院各有关所的科技人员,详细研究了生态学的最新发展动向,特别着重研究了当代生态学对生态系统研究网络所提出的种种新的要求;了解了世界上已有的或正在筹建的各个以长期生态学监测和研究为目标的网络的设计和执行情况;特别是分析了“美国长期生态学研究网络(英文名称为 U. S. Long-Term Ecological Research Network,缩写为 U. S. LTER Network)”的发展过程,注意吸取了它的经验和教训;同时,结合我国的具体情况,经过反复推敲,集思广益,于 1992 年底完成了网络的设计工作,并开始建设。

与其他网络相比较,CERN 的设计有如下特征:在整个网络的目的性方面,强调网络的整体性和总体目标,强调直接服务于解决社会、经济发展与资源、环境方面的问题;在观测方面,强调观测仪器、设备和观测方法和标准化,以便取得可以互比的数据;在数据方面,强调数据格式的統一和数据质量的控制、数据共享和数据的综合与分析;在研究方法上,强调包括社会科学在内的多学科参与的综合研究,强调按统一的目标和方法进行的,有多个站参与的网络研究。

几年来,通过国内、外专家的多次评议,肯定了上述设计的先进性和可行性,这为 CERN 的总体目标和各项任务的实现奠定了可靠的基础。

CERN 的长期目标是以地面网络式观测、试验为主,结合遥感、地理信息系统和数学模型等现代生态学研究手段,实现对我国各主要类型生态系统和环境状况的长期、全面的监测和研究,为改善我国的生存环境,保证自然资源的可持续利用及发展生态学做贡献。它的具体任务是:

1. 按统一的规程对我国主要类型农田、森林、草原、湖泊和海洋生态系统的重要生态学过程和水、土壤、大气、生物等生态系统的组分进行长期监测;
2. 全面、深入地研究我国主要类型生态系统的结构、功能、动态和持续利用的途径和方法;
3. 为各站所在的地区提供自然资源持续利用和改善生存环境的优化经营样板;
4. 为地区和国家关于资源、环境方面的重大决策提供科学依据;
5. 积极参与国际合作研究,为认识并解决全球性重大资源、环境问题做贡献。

为了及时反映该网络所属各生态站、分中心和综合研究中心的研究成果,CERN 科学委员会决定从 1994 年起设立出版基金,资助出版《中国生态系统研究网络丛书》。我们希望该丛书的问世,将对认识我国主要类型生态系统的基本特征和合理经营的途径,对促进我国自然资源的可持续利用和国家、地区社会经济的可持续发展,以及对提高生态学的研究水平发挥积极作用。



1995 年 4 月 16 日

前 言

《豫北平原农业生态系统研究》是中国科学院封丘农业生态实验站承担国家“八五”科技攻关,中科院生态网络研究、开放站基金课题等重大研究项目的系统总结。“八五”期间,围绕黄淮海平原农业生态系统的结构功能和提高生产力的途径,以及农业可持续发展中的关键问题,进行了综合研究,取得了一批重要的阶段性成果。本文集收集了38篇论文,按系统分四个部分进行论述。

第一部分,农田生态系统。论述了潮土中水分、养分、盐分的变化规律,并进行预报和预控。在对封丘试区农业结构现状分析的基础上,提出了调控建议,初步建立了站区农业生态数据管理系统。

第二部分,农林复合生态系统。论述了黄淮海平原地区几种主要的农林复合生态系统的结构模式,对比了果粮间作,农桐间作,果药间作等模式的生态效应和综合效益,提出了结构优化的建议。并对农村复合生态系统中树种资源数据管理信息系统进行了研究。

第三部分,水生生态系统。论述了豫北平原水生生态系统的特点与能量动态,进行了水体水质的多元分析,提出高效生态渔业模式,并进行了评价。

第四部分,生物技术。论述了农业可持续发展中的一些关键技术,包括棉铃虫的病毒生防、杂草综合防治、天然农药的研制、名特优植物的快繁,新品种选育和农村庭院经济优化模式试验示范等。

“八五”期间参加封丘站工作的单位有15个,近120名科技人员,承担了63项课题研究。本文集尽可能收集其中的主要部分,但难免有遗漏之处。更由于时间仓促,编辑水平有限,本文集还不够系统和完整,必然存在一些缺点和问题,敬请读者批评指正。

编 者

1996年7月

目 录

《中国生态系统研究网络丛书》序

前言

一、农田生态系统

豫北地区小麦节水灌溉模式建立与应用·····	周凌云、徐梦熊、周刘宗(1)
黄淮海地区农业节水技术的应用与效果·····	阮立山(10)
蔬菜生产的水分管理·····	徐富安(15)
小麦水肥交互作用试验研究初探·····	周凌云、徐梦熊(20)
封丘万亩试区土壤肥力评价及发展趋势·····	李淑秋、唐诵六、傅积平、顾新运、赖辉比(27)
封丘试区土壤的养分供应及平衡施肥·····	钦绳武(38)
潮土上夏玉米追肥后的氮素去向和硝化-反硝化损失的研究·····	范晓晖、朱兆良(48)
磷肥在潮土中转化机理的研究·····	蒋柏藩、顾益初、李阿荣(52)
长期施用磷肥条件下潮土中磷素的积累、形态转化和有效性·····	顾益初、钦绳武(57)
封丘试区主要农作物微量元素的应用效果·····	尹楚良(63)
潮土有机质的平衡状况·····	车玉萍、林心雄(68)
客土对黄淮海平原轻质土壤的培肥作用·····	李欣、傅积平、唐诵六、周军(80)
有机物培肥土壤的监测预报·····	赖辉比、唐诵六、周军、傅积平(89)
菇渣培肥效应研究·····	顾希贤、林先贵、许月蓉、吴铁航、施亚琴(95)
土壤次生盐化、碱化的预报与预控·····	俞仁培、杨道平、石万普、张绍德、蔡阿兴(100)
豫北平原盐渍土培肥熟化与水盐动态的调控·····	张丽君(106)
封丘县农业结构现状及调整方向研究·····	林富瑞等(117)

二、农林复合生态系统

混林农业系统生物量和生产力的研究·····	吴刚、王效科、刘国华、冯宗炜(123)
农林复合生态系统能量转移的初步探讨·····	蔡天麒、王碧霞(133)
泡桐、苹果根系对作物生长的潜在影响·····	祝心如、王大力(146)
黄淮海平原高效农业生态结构模式的研究·····	潘如圭、周雪林、 朱元芳 、丁月香(153)
黄淮海地区农林复合生态系统树种资源数据管理信息系统研究·····	樊巍、赵勇、马小奇(158)

三、水生生态系统

豫北平原高效生态渔业模式示范研究·····	司亚东、刘建雄、陈英鸿、余仪(164)
黄淮海平原水生态系统结构特点与物质能量动态的研究	
1 豫北平原水生态系统的基本特点·····	蔡庆华、黎道丰、伍焯田、刘瑞秋、倪乐意、梁彦龄(170)
黄淮海平原若干水体水质的多元分析与比较·····	刘瑞秋、蔡庆华、黎道丰(179)
黄淮海平原封丘试区鱼类区系结构及渔业评价·····	黎道丰、蔡庆华、梁彦龄(186)

黄淮海平原若干水体底栖动物及其渔产潜力的初步研究	谢志才、黎道丰、蔡庆华、梁彦龄(191)
黄淮海平原(豫北)不同水体的浮游动物.....	伍焯田、蔡庆华、黎道丰(199)
黄淮海平原封丘试区轮虫的区系与生态特征	伍焯田、蔡庆华、黎道丰、梁彦龄(209)

四、生物技术

河南省不同类型区立体农业结构模式、效益及功能研究	林富瑞等(218)
农村庭院经济优化模式试验示范	汪祖强、傅积平(227)
棉铃虫病毒(NPV)杀虫剂新剂型——乳县剂应用效果的评估	张光裕、张忠信、孙修炼、蒋其鳌、张承林(237)
杂草的化学防除及其对土壤生态的影响.....	李德平(243)
肉鹅优化草粉饲料配方的研制	方热军、邢廷锐(250)
秸秆覆盖对农田生态环境影响的研究.....	周凌云、徐梦熊、周刘宗(256)
银杏扦插快速育苗试验研究.....	张家勋(263)
名优特植物微型繁殖技术的应用研究	杨其光、郭忠林、陈学静、刘芷宇(266)
不同生态条件下立体栽培优良草莓品种比较研究 ...	柯善强、吴立东、何子仙、徐立铭等(273)

一、农田生态系统

豫北地区小麦节水灌溉模式建立与应用

周凌云 徐梦熊 周刘宗

(中国科学院南京土壤研究所)

豫北地区有充足的光、热条件,是河南省重要的小麦产区,其丰歉直接关系到该区的社会稳定与经济发展。据1992年统计,该区麦播面积为1403.5万亩^①,占全省20.1%。其中小麦灌溉面积占麦播的80%以上。在农业用水方面,全省农业灌溉用水量占全部用水量的80.5%,但豫北地区则为91.5%。可见本区灌溉用水量高于全省平均。而且本区用于小麦的灌溉用水量约23~28亿m³,占农业总灌溉用水量的50%~60%。水资源十分紧缺。由于水资源不足而限制了该区的农业生产的持续发展。一方面农田由于没有水源而得不到灌溉,小麦产量长期徘徊在中低产水平;另一方面,灌溉地区对水资源又有很大的浪费现象。主要表现在灌溉时间上基本依传统经验而定,与当地的土壤墒情变化规律和未来的天气条件变化结合得不紧密,并且灌溉定额偏大,造成水资源浪费。那么如何解决这种供需矛盾,是小麦生产中迫切需要解决的问题。为此,我们开展了小麦的节水灌溉用水问题研究,解决农业灌溉用水的主要作物——小麦的合理用水问题。充分采用经济合理的灌溉制度及有效的节水保水新技术,是提高该区水资源利用率的有效途径;走“节水农业”的道路是该区持续农业发展的方向。

一、豫北地区水文条件与农业水资源概况

豫北地区主要指河南省黄河以北地区的新乡、濮阳、安阳、焦作、鹤壁五市及其所属的27个县市。全区面积2.8万km²,占全省面积的16.7%,其中山区面积为0.75万km²,平原面积2.05万km²。全区人口1598万人。

1. 水文条件

本地区属于东亚大陆季风气候带,由于受季风的影响,阳光充足、四季分明、雨热同季。年日照总数为2278~2580小时,日平均气温稳定通过0℃的积温为4820~5432℃。大气降水是该地区农业生产的主要水分来源。全区年平均降水量为567~693mm,由于受季风环流的影响,各季降水分布不均,其中60%以上集中在7、8、9三个月,而且年、月际变异很大,冬春季节干旱少雨。与黄河以北的大部分地区一样,在春季3~5月降水量不足80mm,春季期间是小麦返青,拔节,抽穗,灌浆和乳熟期,这个季节中降水普遍偏少,对农业生产是十分不利的。小麦生长季里,降水量(155mm)与小麦耗水量相差甚大,且麦季里降水年变率为28%左右。这显然水分不足,难以满足小麦正常生长发育的需要,成为该区小麦生长的限制因子。灌溉则是夺取小麦高

^① 1亩=666.6m²,下同。

产稳产的重要手段。

2. 水资源状况

豫北地区缺水已成定局,该区水资源总量(包括地表水资源和地下水资源)为51.73亿 m^3 ,人均占有量为337 m^3 ,仅为全国平均值的12%;亩均占有量为253.2方,占全国的14%,可见该区的水资源是十分贫乏的。在灌溉用水过程中,水分利用率不高,水资源浪费十分严重。随着工农业生产的发展,水资源的供需矛盾会进一步加强。据预测,到2000年豫北地区按中等供水方案,平水年份($P=50\%$)缺水12.76亿 m^3 ,中旱年份($P=75\%$)缺水达33.05亿 m^3 。至2030年,虽然小浪底工程和南水北调工程顺利完成,向本区分别供水20亿方和25.5亿 m^3 ,可以缓解水资源的供需矛盾,平水年份供需只能基本平衡,但中旱年份缺水仍达25.2亿 m^3 。因此,在用水方面必须采取严格的节水措施,真正形成节水型社会,否则到2030年,本区亦难实现中旱年份的供需平衡。

二、试验材料与方法

1. 试验地的概况

本试验以中科院封丘生态实验站为中心,同时有豫北的巩义市、濮阳等地区运用了“小麦节水灌溉模式”指导麦田灌溉,以验证模式的可靠性。封丘地区位于黄河以北平原南部,属于受季风影响的半湿润地区。历年平均Penman蒸发量为1377 $\text{mm}^{(2)}$,降雨量(R)为618 mm ,在黄河以北属中等水平(表1),是该地区农业生产的主要水分来源。但黄河流经它的南部,其引黄之利非北部广大地区可比。此外,它有一定地下水资源可用。据统计,本区历年平均亩耕地可用水量为532 m^3/a (798 mm),其中土壤水(有效降雨)564 mm ,地面水101 mm ,地下水133 mm 。但它的旱季分明,在4、5、6月十分干旱,降雨量占全年23%,对小麦生长来说,降雨十分不足,田间水分难以满足其蒸散要求,灌溉有明显效益。另外降雨量分布不稳定是该地区气候的显著特征之一。同一个月份的降雨量年际变异率高达65%~173%。

表1 黄淮海平原中北部的降雨量(R)与Penman蒸发量(ET_0)

地区	$R(\text{mm})$			$ET_0(\text{mm})$			R/ET_0		
	全年	4、5、6月	7、8、9月	全年	4、5、6月	7、8、9月	全年	4、5、6月	7、8、9月
封丘	601.8	144.3	364.3	1377.5	528.4	404.4	0.44	0.27	0.90
安阳	606.3	124.5	390.1	1337.4	526.6	400.9	0.45	0.24	0.97
北京	644.5	130.3	462.1	1351.1	522.8	396.9	0.48	0.25	1.16
天津	602.8	120.9	395.6	1392.9	534.2	422.6	0.43	0.23	0.94
保定	566.6	112.7	397.4	1287.8	510.9	397.6	0.44	0.22	1.00
沧州	630.6	133.2	436.4	1486.9	589.4	442.5	0.42	0.23	0.99
邢台	555.2	134.8	388.4	1373.9	552.9	401.6	0.44	0.24	0.97
德州	590.1	134.8	381.5	1423.0	578.6	419.7	0.42	0.23	0.91
济南	685.0	149.9	432.7	1591.0	616.0	455.1	0.43	0.24	0.95
开封	633.9	168.3	349.5	1353.6	511.0	400.7	0.47	0.33	0.87
郑州	640.9	164.6	344.7	1400.0	523.5	413.9	0.46	0.31	0.83
商丘	711.9	179.9	401.0	1318.0	494.1	410.3	0.54	0.36	0.98
菏泽	680.8	168.4	405.0	1370.8	503.7	399.5	0.52	0.33	1.01
兖州	723.2	168.4	447.7	1339.2	514.7	404.7	0.54	0.33	1.11
徐州	848.1	220.9	479.7	1338.7	493.9	409.6	0.63	0.45	1.17

土壤为黄河冲积物发育而成的黄潮土,根据田间 77 个取样点样本分析,试验地土壤质地可分三层。表层(0~30cm)为砂壤土,中层为(30~80cm)粉质粘土,下层(>80cm)为砂壤土。剖面土壤的干容重及其变异见表 2,地力属中等水平,地下水位较浅(1~4m),变化幅度大。

表 2 土壤的干容重及其统计值

深度(cm)	干容重(g/cm ³)	σ	CV	N
0~10	1.490	0.082	0.055	38
10~30	1.547	0.056	0.036	35
30~80	1.413	0.056	0.039	60
80~100	1.472	0.042	0.028	88

σ 标准差, CV 变异系数, N 样本数。

2. 试验方法

本试验设在中科院生态实验站试区的麦田中。试验地耕层(0~15cm)的土壤有机质平均含量为 $0.864 \pm 0.15\%$ 。全氮为 $0.056 \pm 0.007\%$ 。在 4 年小麦试验中,麦作规格是统一的,每季小麦的施肥量: N 为 12kg/亩, P_2O_5 为 6kg/亩,小麦品种为郑州 8329。按传统方式播种,播种量为 10kg/亩,每年 10 月中旬播种,翌年 6 月初收割。生育期为 231 ± 1 天,在生育期内除草 3 次。根据小麦节水灌溉模式进行灌水预报,每季小麦取小区样方测定地上部分生物量和籽实产量。

三、小麦节水灌溉模式实施程序

1. 小麦节水灌溉模式的建立

根据“封丘地区雨季麦田水分平衡研究”(1984~1989)和“八五”的研究工作,提出一个小麦节水灌溉模式^[1]。它根据麦播期的土壤有效储水量和雨情预计灌溉额定并进行预分配,然后根据实际雨情调节灌溉程序,使麦田水分与理想湿度的差值不超过 $\pm 50\text{mm}$ 。

根据麦播期的土壤有效储水量(Se)以及历年麦作期的平均(R)和(ETO)预报,可以估算出该麦季的水分亏值(D_w)。其预报灌溉模式如下:

$$D_w = 0.8 \times ETO - R - Se \tag{1}$$

式中 0.8 为经验常数, ETO 为历年平均麦季的 Penman 蒸发量, R 为历年平均麦季期降雨量。

2. 灌溉定额的预报与预分配

应用上述(1)式节水灌溉模式对小麦季节中水分亏值(D_w)的估算与预分配。根据气象资料计算,封丘麦田历年的水分亏值为 0~390mm($P=95\%$),或加以分级,其亏值分配如表 3。根据预估的水分亏值,即可预定灌溉次数和每次的定额(表 4)。

表3 封丘麦田历年水分亏值的概率分配

水分亏值		概 率 (%)	累计概率 (%)
mm	m ³ /亩		
<0	<0	10	10
0~75	0~50	14	24
75~150	50~100	20	44
150~225	100~150	22	66
225~300	150~200	22	88
>300	>200	12	100

表4 灌溉水的预分方案

水分亏值 (m ³ /亩)	总灌溉定额 (Q _i , m ³ /亩)	灌溉次数	灌溉时期和每次的定额 (Q _i , m ³ /亩)
0~50	≤50	1	①拔节水(3月下旬), Q ₁ ≤50
50~100	≤100	2	①返青水(2月初), Q ₁ ≤50; ②拔节水, Q ₂ =50
100~150	≤150	3	①播前水, Q ₁ ≤50; ②返青水, Q ₂ =50; ③拔节水, Q ₃ =50
150~200	≤200	3	①播前水, 50<Q ₁ <100; ②返青水, Q ₂ =50; ③拔节水, Q ₃ =50
>200	200 *	3~4	①播前水, Q ₁ =100; ②返青水, Q ₂ =50; ③拔节水, Q ₃ =50

* 此灌溉定额尚未补足其水分亏值, 如何补足在后面说明。

3. 灌溉程序的修正

封丘历年麦季的 ETO 变异小($CV=0.098$), 而降雨(R)的变异较大($CV=0.35$)。故还需定时段地对预报降雨量与实际降雨量进行比较, 校正灌溉方案。

(1) 同步地, 依次地分别累计各时段的预报降雨量(ΣR_p)和实际降雨量(ΣR_a), 并求它们的差(R_d)。

$$R_d = \Sigma R_p - \Sigma R_a \quad (2)$$

(2) 在累计过程中, 当 $R_d \geq 50\text{mm}$ 时, 补加灌水一次($50\text{m}^3/\text{亩}$)。也就是说 ΣR_p 比 ΣR_a 大 50mm 。实际降雨偏少。

(3) 累计到预定灌溉日期时, 如果 $R_d \leq -50\text{mm}$, 说明 ΣR_a 比 ΣR_p 大 50mm , 实际降雨比预报偏多, 该次灌溉停止; 若差值(R_d)不是 $R_d \leq -50\text{mm}$, 则将 R_d 值加进下次预灌定额中去。

(4) 若本年度天气比较异常, 则还须根据实测气象资料对模型修正。将实测 ETO_a 、 R_a 与预报 $ETOp$ 、 R_p 进行比较。

$$\Delta = (\Sigma ETO_p - \Sigma ETO_a) \times 0.8 + (\Sigma R_p - \Sigma R_a) \quad (3)$$

若累计过程 $\Delta \geq 50\text{mm}$, 则补加一次灌水。若累计到预定灌溉日期, $\Delta \leq -50\text{mm}$, 该次灌溉停止。否则将 Δ 值加进该次灌溉定额中去。

四、中试结果与讨论

1. 中试田的试验结果分析

1990~1995年在封丘潘店万亩试区内,巩义市、濮阳等地进行了小麦节水灌溉模式应用的试工作。5年来主要的中试结果见表5。

表5 小麦节水灌溉模式中试结果

地区	观测项目	1990~1991年 节水灌溉	1991~1992年 节水灌溉	1992~1993年 节水灌溉	1993~1994年 节水灌溉	1994~1995年 节水灌溉
封丘	灌水量(mm/次)		225/3	75/1	150/2	75/1
	产量(kg/亩)		410	405	375	377
	耗水量(mm)		413	401	407	381
	水利用率 (kg/(亩·mm))		0.99	1.00	0.91	0.99
巩义	灌水量(mm/次)	60/1	210/3	105/2	120/2	
	产量(kg/亩)	389	475	436	445	
	耗水量(mm)	376	430	428	451.2	
	水利用率 (kg/(亩·mm))	1.03	1.10	1.02	0.99	
濮阳	灌水量(mm/次)	225/3	225/3	150/2	75/1	
	产量(kg/亩)	358	361	376	409.8	
	耗水量(mm)	398	383	406	426.9	
	水利用率 (kg/(亩·mm))	0.90	0.94	0.93	0.96	

从表中结果可见,四季节水灌溉麦田的水分利用率均 $\geq 0.9\text{kg}/(\text{亩}\cdot\text{mm})$ 。1992~1993年封丘中试麦田按节水模式进行灌溉预报,结果在小麦拔节期灌一次水($50\text{m}^3/\text{亩}$),由于后期雨水充足,亩产达 $405\text{kg}/\text{亩}$,其水分利用率达对 $1.0\text{kg}/(\text{亩}\cdot\text{mm})$,节水 $50\text{m}^3/\text{亩}$ 。以豫北平原的巩义市、濮阳为例,三年来节水灌溉模式中试结果,小麦产量均 $\geq 358\text{kg}/\text{亩}$ 以上(在模式设计产量 $350\text{kg}/\text{亩}$ 水平以上),水分利用率均 $0.90\text{kg}/(\text{亩}\cdot\text{mm})$ 。均满足该模式建立时的预计水平。通过四季小麦在封丘、巩义市、濮阳地区的中试结果表明,该节水灌溉模式可操作性强,节水潜力大,便于应用,有良好的推广前景。

2. 对该模式的检验

关于小麦生长过程的耗水分析,已见诸大量文献报导。一般认为,拔节至乳熟期这一阶段对水分要求最为敏感,加之这个阶段适逢本区的干旱季节,更反衬出其水分条件的重要性,应当是灌溉最有效的时期。不过,如果它的前期没有一定的湿度条件相配合,育出壮苗,那么即使该期湿度最佳,也难获得满意的收成。换言之,要取得满意的产量,各生育期都有其一定的水分要求。我们根据其小麦耗水特征,并结合对其四个麦季的分析,将小麦的耗水过程分为三个阶段。第一阶段(154天),从麦播日一返青,是小麦营养生长阶段;第二阶段(155~219天),从拔

节—开花—灌浆诸生育期,是小麦的生殖生长阶段。它的耗水量约为全生育期的60%左右,比重很大;第三阶段(220~231天),是小麦的成熟阶段,其耗水量比重较小,这个阶段的水分对小麦的产量形成不甚重要,其耗水强度一般随小麦成熟而下降。

1984~1990年对雨养麦田水分平衡研究表明,理想湿度麦田的耗水过程中(AET/ETO)耗水率(C)如表6:

表6 麦田理想的耗水率

	第一阶段	第二阶段	第三阶段
耗水率(AET/ETO)	0.46	0.76	0.32

表中 $C=0.46$,播种日——20/3(翌年3月20日);

$C=0.76$,21/3——收割前7天;

$C=0.32$,收割前6天——收割日;

C ——为经验参数,在土壤湿度基本满足植物需水的前提下,它表示植物因素(高度、封闭度)对 ETO 的影响。

所谓理想麦田土壤湿度是一个相对概念,本报告指获得高产量的土壤湿度,以此作为灌溉的参比,以争取小麦丰产,是有意义的。四季小麦中试结果表明,通过对封丘、巩义市、濮阳三地区麦田土壤湿度监测资料分析,检验 C 值的可靠性如何,以便更好的修正 C 值。

表7 土壤水分平衡误差估算

封 丘				
1991~1992	15/10~20/3	21/3~26/5	27/5~1/6	15/10~1/6(230天)
ΣETO	313.7	302.2	38.5	
$\Sigma ETO \times C$	144.3	229.7	12.3	$\Sigma 386.3 \text{ mm}$
AET				413.0 mm
				$\Delta = 26.7 \text{ mm}, 6.5\%$
				平均误差:0.116 mm/天
1992~1993	14/10~20/3	21/3~28/5	29/5~3/6	14/10~3/6(232天)
ΣETO	286.0	306.9	40.9	
$\Sigma ETO \times C$	131.8	233.2	13.1	$\Sigma 378.1 \text{ mm}$
AET				400.8 mm
				$\Delta = 22.7 \text{ mm}, 5.7\%$
				平均误差:0.098 mm/天
1993~1994	15/10~20/3	21/3~26/5	27/5~1/6	15/10~1/6(230天)
ΣETO	316.1	358.9	39.5	
$\Sigma ETO \times C$	145.4	272.8	12.6	$\Sigma 430.8 \text{ mm}$
AET				407.8 mm
				$\Delta = -23.0 \text{ mm}, 5.6\%$
				平均误差:0.100 mm/天

巩 县

1990~1991	12/10~20/3	21/3~1/6	2/6~7/6	12/10~7/6(242 天)
ΣETO	358.3	334.5	28.4	
$\Sigma ETO \times C$	164.8	254.2	9.1	$\Sigma 428.1 \text{ mm}$
AET				376 mm
				$\Delta = -52.1 \text{ mm}, 13.8\%$
				平均误差:0.22 mm/天
1991~1992	7/10~20/3	21/3~26/5	27/5~1/6	7/10~1/6(240 天)
ΣETO	420.5	336.5	43.5	
$\Sigma ETO \times C$	193.4	255.7	13.9	$\Sigma 463.00 \text{ mm}$
AET				430.1 mm
				$\Delta = -32.9 \text{ mm}, 7.6\%$
				平均误差:0.14 mm/天
1992~1993	12/10~20/3	21/3~26/5	2/6~7/6	12/10~7/6(237 天)
ΣETO	373.3	333.8	39.8	
$\Sigma ETO \times C$	171.7	253.7	12.7	$\Sigma 438.1 \text{ mm}$
AET				428.4 mm
				$\Delta = -9.7 \text{ mm}, 2.2\%$
				平均误差:0.04 mm/天

濮 阳

1990~1991	11/10~20/3	21/3~6/5	7/6~12/6	11/10~12/6(245 天)
ΣETO	277.2	335.3	26.3	
$\Sigma ETO \times C$	127.5	254.8	8.4	$\Sigma 390.7 \text{ mm}$
AET				398.4 mm
				$\Delta = 7.7 \text{ mm}, 1.9\%$
				平均误差:0.031 mm/天
1991~1992	16/10~20/3	21/3~29/5	30/5~4/6	16/10~4/6(233 天)
ΣETO	291.6	342	40.9	
$\Sigma ETO \times C$	134.2	265.2	13.1	$\Sigma 412.5 \text{ mm}$
AET				383.4 mm
				$\Delta = -29.1 \text{ mm}, 7.5\%$
				平均误差:0.12 mm/天
1992~1993	15/10~20/3	21/3~2/6	3/6~8/6	15/10~8/6(237 天)
ΣETO	279.9	342.0	33.3	
$\Sigma ETO \times C$	128.8	259.9	10.7	$\Sigma 399.4 \text{ mm}$
AET				405.8 mm
				$\Delta = 6.4 \text{ mm}, 1.5\%$
				平均误差:0.027 mm/天

从以上三地区试验结果分析可见,理想麦田的耗水量与实际的耗水量偏差主要在1.5%~

7.6%之间。说明用该小麦节水灌溉模式进行麦田土壤墒情预报,指导灌溉基本上是可以满足小麦生长要求水分条件。获得350kg/亩以上的小麦产量。对在维持该区域水资源平衡的基础上充分发挥灌溉的增产效益有实际意义。

3. 模式的应用与节水效益分析

对于小麦,当地传统的灌溉为三水制模式,即灌返青水,拔节水和灌浆水。在干旱年份,则加灌一次播前水。但返青水是必灌的,它可以提高返青肥的肥效。本模式考虑到这种管理方式,建议该次追肥作如下调整:(1)在不灌模式中,预计小麦追返青肥时土壤很湿(有效储水量 $\geq 400\text{mm}$),不会因水分不足而限制肥效的利用,故仍可在小麦返青时使用。(2)在只灌一次水(拔节水)的模式中,返青时土壤湿度不大(有效水 $\leq 370\text{mm}$),肥效可能受到限制,这次追肥可以推迟到灌拔水灌水时一起施用。拔节期是穗分化的关键时期,追肥灌水有很显著的增产效果。应当强调指出,本模式特别重视提高拔节期土壤的湿度。灌拔节水后,土壤至少存有350mm以上有效水,加上其后期至少有20mm降雨(如不足20mm,按模式修正程序应加灌一次),能够满足第二阶段(65天)小麦的水分消耗。这点与传统的灌溉模式有重大区别。传统的灌溉模式可能只注意到后期表层土壤湿度的下降。忽视了深层储水的供水功能,本模式则注意充分发挥其效益。

5年来的田间中试结果表明,与传统灌溉模式相比本节水模式的节水效益(以封丘试验为例)估计如表8。

表8 节水灌溉模型节水效益分析

年 份	传统灌溉模式		节水灌溉模式		节水效益 (m ³ /亩)	概 率 (%)
	灌溉次数	灌溉定额	灌溉次数	灌溉定额		
	(m ³ /亩)		(m ³ /亩)			
1991~1992	3	150	3	150	0	25
1992~1993	2	100	1	50	50	25
1993~1994	3	150	2	100	50	25
1994~1995	3	150	2	100	50	25

从表中的结果可见,四季小麦的权平均节水效益为37.5m³/亩,即与传统灌溉模式相比,本模式可节省用水25%。另外本模式只需知道麦播期的土壤湿度,便可根据天气预报进行程序设计。在模式应用过程中只要对雨量(R)进行监测便可对程序作适当校正,这些操作都是十分方便的。运用该模式进行灌溉管理,具有很强的可操作性。对发展节水农业有一定的参考价值。

五、小 结

(1)从1990~1995年在封丘试区、巩义市、濮阳等地区进行的小麦节水灌溉中试田结果表明,四季节水灌溉麦田的水分利用率均 $\geq 0.9\text{kg}/(\text{亩} \cdot \text{mm})$,1992~1993年封丘中试麦田按节水灌溉模式进行灌溉预报,结果产量达405kg/亩,其水分利用率达到1.0kg/(亩·mm),且节水50m³/亩。在豫北平原的巩义市、濮阳地区,3年来节水灌溉中试田结果,小麦产量均 $\geq 358\text{kg}/\text{亩}$ 以上,水分利用率均 $\geq 0.9\text{kg}/(\text{亩} \cdot \text{mm})$ 。通过四季小麦在封丘、巩义市、濮阳地区中试结果表明,该节水灌溉模式可操作性强,节水潜力大,便于应用,有良好的推广前景。