

冬小麦节水高产三十载

探索集萃

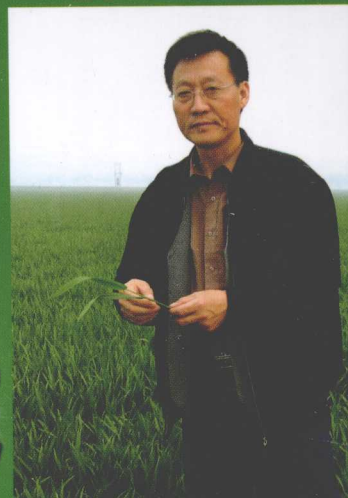
马瑞昆 主编

Water Saving and High
Yield of Winter Wheat:
Research Collection in
1979-2009



 科学技术文献出版社

冬小麦节水高产三十载



Water Saving and High Yield of Winter Wheat:
Research Collection in 1979-2009

探索集萃

ISBN 978-7-5023-6463-2



定价: 138.00 元

封面设计: 宋雪梅

国家“十一五”科技支撑项目2007BAD69B09
国家“973”基础研究项目2006CB403401

联合资助

冬小麦节水高产 三十载探索集萃

主 编	马瑞昆		
副主编	王慧军	贾秀领	秦大庸
编 委	马瑞昆	王慧军	贾秀领
	秦大庸	张全国	张丽华
	姚艳荣	蹇家利	郑小六
	蒲娜娜	刘家宏	

科学技术文献出版社

Scientific and Technical Documents Publishing House

北 京

图书在版编目(CIP)数据

冬小麦节水高产三十载探索集萃/马瑞昆主编. -北京:科学技术文献出版社, 2009. 12

ISBN 978-7-5023-6463-2

I. 冬… II. 马… III. 冬小麦-栽培-文集 IV. S512.1-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 166385 号

出 版 者 科学技术文献出版社

地 址 北京市复兴路 15 号(中央电视台西侧)/100038

图书编务部电话 (010)58882938, 58882087(传真)

图书发行部电话 (010)58882866(传真)

邮 购 部 电 话 (010)58882873

网 址 <http://www.stdph.com>

E-mail: stdph@istic.ac.cn

策 划 编 辑 丁坤善

责 任 编 辑 周 玲

责 任 校 对 赵文珍

责 任 出 版 王杰馨

发 行 者 科学技术文献出版社发行 全国各地新华书店经销

印 刷 者 北京高迪印刷有限公司

版 (印) 次 2009 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

开 本 889×1194 大 16 开

字 数 1673 千

印 张 58

印 数 1~1000 册

定 价 138.00 元

© 版权所有 违法必究

购买本社图书,凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换。

(京)新登字 130 号

内 容 简 介

本书系统地汇总了作者和他的科研团队 30 年来在冬小麦节水高产超
高产栽培调控技术和生理基础研究领域的研究成果。共收入文章 140 多
篇,其中论文 120 多篇,未公开发表的 54 篇,占 43%,以使读者能更全面地
了解 30 年来我们的研究进展动态和全貌。

全书共分为七章。每一章中的文章均以发表或撰写年代来编排。第一
章为综述、述评、理论和生产建议等方面的文章,共 23 篇。第二章主要涉及
节水高产冬小麦品种的鉴定、筛选和应用,共 25 篇。第三章侧重于冬小麦
节水高产的生理基础探讨,共 25 篇。第四章为从前茬收获后的播前准备、
播种、生育期管理的冬小麦节水高产全程栽培技术,共 28 篇。第五章为冬
小麦节水高产的物理和化学调控技术的应用和效果,主要包括了研究较为
深入的黄腐酸、生物型抗逆调节物质的研制和应用,共 12 篇。第六章为综
合技术的应用、示范和推广,多为科普文章和讲座报告提纲等,共 19 篇短
文。第七章为实验方法和技术的改进和创新,共 11 篇。

本书可作为大专院校和科研单位从事作物抗旱节水研究的专家学者、
研究生、本科生的参考书,实用技术部分也可直接指导各级农业技术推广人
员和农民应用。

科学技术文献出版社是国家科学技术部系统惟一—
家中央级综合性科技出版机构,我们所有的努力都是为
了使您增长知识和才干。

作者简介

马瑞昆

双硕士,研究员,享受国务院政府特殊津贴专家,国家首批“突出贡献回国留学人员”。

1949 年出生,河北肃宁人,1982 年毕业于中国农业科学院研究生院,获农学硕士学位,1984—1986 年留学英国诺丁汉大学获理学硕士学位。多次赴加拿大、澳大利亚和位于印度的热带半干旱国际农业研究中心合作研究。

现任河北省农科院粮油所作物栽培生理室主任,河北省农林科学院学术带头人,河北省农林科学院小麦科研团队核心组专家。

社会学术兼职:

中国作物学会栽培专业委员会委员,生理学组副组长;

河北省耕作学会常务理事、河北省植物生理学会常务理事和河北省作物学会理事;

《中国农业科学》编辑委员会编委,《河北农业科学》编辑委员会编委;

河北省农林科学院学术委员会委员,河北省农林科学院粮油作物研究所学术委员会委员;

国家和河北省科技奖励评审专家,国家自然科学基金项目评审专家,河北省农科系列高职评审专家;

河北省小麦科技入户工程专家组成员,河北省农林科学院科技服务团小麦专家等。

先后主持国家自然科学基金、国家 863、国家支撑计划、国际合作、农业部、河北省科技支撑、河北省基金和河北省农业开发等项目 30 多项。在小麦节水的生理生态基础及节水高产调控技术方面开展了深入研究,明确了节水高产的(超)补偿机理,构建起小麦节水 100mm 以上高产超高产关键创新技术,生产应用的经济社会效果显著,为节水农业做出了重要贡献。研制成功“增收宝”抗逆调节剂,在多种作物上成功应用和技术转让,取得明显的社会效益。在国内率先开展了小麦木质部导管气栓塞研究,在植株超声波信号与水分输导关系方面取得创新性结果。现正重点深入研

究作物节水高产超高产的创新理论和技术、作物气栓塞机理及调控、小麦优质高效栽培和优质保健粮油作物高效益种植,为农业高效可持续发展提供技术支撑。

作为山东农业大学和沈阳农业大学兼职研究生导师,已培养博士、硕士各 1 名。

取得科技成果 17 项,其中省部级等科技进步奖 13 项:

“我国北方冬小麦节水高产的生理基础及调控技术”获农业部科技进步二等奖第 1 名;

“野生植物中抗逆调节物质的研究及应用”获河北省山区创业二等奖第 1 名;

河北省科技进步三等奖 3 项,第 1 或 2 名;

河北省科技进步四等奖 3 项,第 1、1、4 名。

发明专利 1 项,第一发明人。目前申请发明专利 1 项。

在《中国农业科学》、《作物学报》、国外刊物和国际学术会议等发表论文 200 余篇,其中英文论文 21 篇,SCI 收录 1 篇。依据多年小麦节水高产研究,撰写出版《冬小麦水分关系与节水高产》专著 1 部,主编学术著作 1 部,参(译)著 3 部。

联系电话:0311-87670620 手机:13933036331

电子信箱:ruikunma@hotmail.com

序

民以食为天。确保粮食安全,对人均水资源仅为世界平均水平 1/4 的中国来说是一项艰巨而长期的任务。近期我国连续 5 年粮食总产迈上 5000 亿公斤的台阶,不仅缓解了粮食的供需压力,而且为平衡和稳定世界粮食供给做出了巨大贡献。然而,水资源的严重匮乏已成为我国农业生产发展的一个制约因素,尤其对需水量较大的北方粮食主产区来说这一矛盾更为突出。

徐光启的《农政全书》认为水利为农之本,无水则无田。小麦是我国北方主要粮食作物之一,不仅需水量较大,而且作物生长季节的降雨量不能满足小麦高产在生育期内对水分的需求。产量不断提高的迫切需求使人工补充灌溉的发展成为必然。随着灌溉农业的迅猛发展,日益短缺的水资源态势变得更加令人忧虑,严重影响着小麦生产的持续稳定发展。《王桢农书》的“顺天之时、因地之宜、存乎其人”的见解仍应是解决这一矛盾的重要农耕思想。因此,针对华北平原的特点,坚持长期开展小麦节水理论与应用技术的研究变得至关重要。在不断探明小麦节水高产的生理机制的同时,从生物和农艺技术等方面挖掘节水灌溉潜力,构建在大量减少灌溉水条件下持续提高产量的技术和途径,应为农业节水研究工作者的必然选择。这也是本学术专著的研究者们在研究过程中自始至终坚持的出发点和落脚点。

马瑞昆研究员和他的科研团队自 20 世纪 80 年代以来一直致力于作物节水高产高效的生理和调控技术等方面的试验研究和示范推广应用,取得的系统成果为河北省乃至我国北方地区在大幅度节约灌溉水的条件下实现冬小麦从中低产到高产的跨越做出重要贡献。

本书是 30 年来该科研团队对冬小麦节水研究论文的遴选汇总,入集论文涵盖了节水品种选用、节水高产生理、农艺栽培技术、物理化学调控技术等从基础到应用、从研究到推广的诸多方面。根据文章主题内容,将这些论文分章节集结成册出版,可充实我国农业节水研究的理论和实践宝库。同时,

书中介绍的改进实验技术和方法也可作为相关实验研究的参考应用。应该说,这部学术专集是一部以冬小麦节水高产为目标,集应用基础研究、应用研究、技术示范应用及实验方法的改进与创新为一体的研究成果汇集。

作为一名长期从事旱地与节水农业研究的老科技工作者,我在阅读本书的过程中特别感受到了农业科研工作者为农业节水及农业生产所投入的那份热情和艰辛,那种由取得科研成就和实用技术被农民接受所流露出的满足和愉悦。很高兴为本书作序,此书对从事作物节水研究的科技工作者和师生是一本很好的参考读物,技术内容部分对农业技术推广人员和小麦生产者也有直接指导作用。我也由衷地相信,通过我们不懈的努力,农业节水事业必将呈现更加灿烂的明天,定能做到用更少的水生产出更多的粮食,以满足人类不断增长的物质需求。

山 仑

中国工程院院士

西北农林科技大学研究员

于陕西杨凌

2009年3月10日

前言

时光荏苒,踏入小麦节水栽培研究领域,矢志不移,默默耕耘,转眼 30 年,如过眼烟云。

1 研究历程

1979 年,农业部委托山东莱阳农学院举办中等农业学校作物栽培教师培训班,我作为河北省沧州地区农业学校的一名年轻的作物栽培课老师,被单位选派去培训。在培训过程中,我了解到我国研究生招生的具体情况,在其他几位培训老师的鼓动下,得到单位的同意,报考了中国农业科学院张锦熙先生的研究生,并同时开始突击复习英语。当时的英语学习材料很少,想买都买不到,只得借用了另一位来自石家庄地区农业学校的同志学习用的一本当时编的农业院校的英语教材,利用周末时间抄写下来,大约用了 3 个周末的时间就把一本书抄写完了,其他时间就反复学习这个抄本,我记得很清楚。从开始报考起,就开始突击英语,到考试日期一共 45 天。幸亏我中学时代的英文底子厚,再加上也是幸运的,我学的这本书基本上是当时的英语试题命题依据。我考了 85 分(可能当时规定的及格分数是 40 分或 45 分),加之专业知识扎实,我有幸成为张锦熙先生的第一大弟子。张先生当时在国内小麦栽培学界已经很有名气,叫得最响的是小麦“叶龄指标促控法”。其实质是在探明植株和穗分化生长发育进程与叶龄关系的基础上,以叶龄为指标实施春季小麦的肥水调控措施。从而提出了 V 型促控法(大马鞍型法)和 W 型促控法(双马鞍型法)。依据叶龄指标促控法,我的研究生论文题目是“冬小麦蹲苗及其对光合特性效应的研究”,蹲苗的实质就是要在我国北方水资源不足的情况下,走一条实行节水灌溉,降低成本,稳定高产的路子。也就是说,从成为张先生的研究生那一刻起,我就与小麦的节水栽培有了不解之缘,并矢志不移地为之奋斗至今。

1984—1986 年英国诺丁汉大学农学院的留学进一步明确了小麦节水研究的目标,夯实了研究的理论和实验基础。通过一年半在英国废寝忘食的试验田和实验室工作,我不但熟练掌握了作物抗旱生理的实验技术和研究思路,而且完成了硕士学位论文“Water stress in tall and dwarf cultivars of winter wheat”,放弃了进一步攻读博士的机会,取得了理学硕士学位,义无反顾地按期回国,报效祖国。

从当时国内的研究基础和实验条件看,涉足此研究领域可以说是从零起步,但河北省农林科学院和粮油作物研究所的领导给予了大力支持,使我的研究工作得以逐步开展起来。首先在财力上,所内拿出 3000 元支持我,作为所级课题启动了研究工作,并申报了国家自然科学基金课题“麦类作物水分生理节水栽培机理探讨及综合措施(3860492,1987—1991)”,为期 5 年,主要侧重冬小麦节水栽培的机理研究。并为我配备了科研力量,从一开始的 2 人,到 3 人,一直到最后的 6 人,形成了一支团结合作、有生命力的科研团队,为着一个共同的目标——小麦节水高产不懈地努力着。随着科研工作的开展和深入,我不断得到国家、河北省、河北省农林科学院等各级各类课题的支持,使冬小麦节水高产的机理和调控技术研究工作不断深化,陆续获得了十几项省部级科技进步奖等,发表了上百篇学术论文。本人并于 1991 年受到了国家人事部和国家教育委员会的“突出贡献留学回国人员”表彰,2002 年荣获“享受国务院政府特殊津贴”专家荣誉称号。

2 研究进展

与本书内容有关的研究成就可归结为以下几个主要方面。

2.1 理论创新

首先通过前 10 多年(1986—1998)的攻关,探明了在我国北方冬小麦节水高产的生理基础。通过节水高产调控栽培技术措施的综合应用,冬小麦能够以 6 种补偿超补偿效应机制的充分发挥,与 1980 年以前传统的无节制水肥管理技术相比,在实现籽粒产量从约 5000~5500kg/hm² 提高到 7000~7500kg/hm² 的高产水平(增产约 40%)的同时,灌水从全生育期 5~6 水减少至 2~3 水,实现节水 120~150mm,水分利用效率提高到可达 18~19kg/(hm²·mm)的节水高产水平。这 6 种补偿超补偿效应机制是:

- (1)叶片和群体光合速率的增强对叶面积系数降低的超补偿效应;
- (2)营养器官物质向籽粒运输再分配的增强对生物量积累降低的超补偿效应实现较高经济系数对略低生物量的超补偿;
- (3)个体增壮对群体减小的超补偿效应实现穗粒重增加对公顷穗数降低的超补偿;
- (4)水分利用效率的提高对总耗水量降低的超补偿效应;
- (5)植株渗透调节和膨压维持的增强对叶水势降低的超补偿效应;
- (6)水分利用效率的提高对总耗水量降低的超补偿效应。

前 3 种超补偿效应的发挥是冬小麦通过综合调控技术应用达到节水前提下实现高产的生理基础,后 3 种超补偿效应是在小麦获得高产前提下实现节水的生理基础。这些超补偿效应构成了冬小麦节水高产的理论内核。

通过最近 10 年(1999—2008)的创新研究、技术耦合和集成研究,以最小要素法则作为理论指导原则,提出并阐明了冬小麦节水高产超高产的 8 大替代技术原理,这些替代技术原理分别为“以水代水”技术原理、“以品代水”技术原理、“以耕代水”技术原理、“以种代水”技术原理、“以密代水”技术原理、“以肥代水”技术原理、“以覆代水”技术原理和“以化代水”技术原理。这些替代技术原理综合了生物的、农艺的、化学的和物理的技术理论体系于一身,各种技术原理之间具有相互关联、相辅相成、相得益彰的内在关系,彰显了技术和理论进步的特点。通过这些替代技术的综合应用,与前 10 年的节水技术相比,在实现冬小麦籽粒产量从 7000~7500kg/hm² 高产水平提高到 9000~9500kg/hm² 的超高产水平(再增产约 30%)的同时,灌水从全生育期 3 水减少至多数年份 1~2 水、少数年份 2~3 水,实现节水 40~60mm,水分利用效率提高到可达 21~22kg/(hm²·mm)的节水超高产水平。

2.2 技术进步

我们对节水性的认识起于 1980 年代,并做过较为详尽的论述。节水性(water saving)这个词,过去在英文里是没有的,而且很长时间 water saving 这个词并没有被西方学者所认可和接受,在英文文献中很久没有登上大雅之堂。我记得过去我写过一遍英文论文,用了 water saving 这个词,我的加拿大朋友在给我修改时,都将 water saving 用 water conservation 代替了。当时,他们还不能理解 water saving 的含义以及与 water conservation 的区别。当然,现在情况不同了,water saving 已经为世界广为接受,2002 年在 *Advances in Agronomy* 综述性刊物 75 卷上有一篇综述,是两位中国学者和一位澳大利亚学者合写的,它的题目就是“Water-saving Agriculture in China”,这足以证明了国际的认可。这是事物发展的必然,不再赘述。

节水性绝非仅仅是抗旱性,既有明显差别,又有一定关联,在某些方面的表达应该是相通的。就农业而言,节水性就是高水分利用效率。也就是追求单位水分消耗量所生产的经济产量的最大化。就小麦而言,水分利用效率(WUE, Water Use Efficiency)=籽粒产量(Y, Yield)/耗水量(ET or WU, Evapotranspiration or Water Use)。在这个等式中,实现 WUE 最大化的途径有 3 条。一条途径是运用各种技术手段最大限度地提高 Y,现代作物育种工作的主要目标就是为了达到这个目的。另一条途径是采用各种技术方法

最大限度地降低 ET,下面所提的第一项单项技术,优化灌水技术运用的主要目标就是为了达到这个目的。当然,还有很多其他技术,我们将在后面陆续提及。第三条途径就是二者兼而用之,我们的工作就是围绕这第三条途径全面展开的。

2.2.1 单项技术

2.2.1.1 生育期高效灌水运筹技术

既然研究是以水为核心,因此试验涉及最多的是灌水技术问题。就冬小麦而言,主要研究实现小麦节水高产的灌水时间、次数、数量、方式和根据降水年型的灵活运用等。通过多年研究,最高效的灌水模式是在保证小麦播种前底墒充足(根据小麦播种前降水多少确定灌底墒水与否)的前提下,不论何种降水年型,省去拔节以前的蒙头水、分蘖水、越冬水、返青水和起身水等,要灌好拔节水、抽穗水和灌浆水 3 水,达到保群体穗数、保穗粒数和保千粒重,从而实现产量的最大化。这 3 水的灌溉与否,取决于灌水前一段时期内的降水与否、降水强度和所处的生育阶段。这项技术是非常成功的技术,是节水高产的核心技术,也是我们多年付出的心血所换来的。而且,这种灌溉节水理念不仅在实验证实上和理论上是成立的,也得到了广泛的认可和实践验证。冬小麦从播种到拔节,历时约 150d 左右,在这段时间内,约有一半的时间是小麦越冬阶段。在河北省条件下,小麦基本处于停止生长阶段,另一半时间,小麦也不能完全覆盖地表。这样,大部分时间、大部分地面处于裸露状态,以地表土壤蒸发为主,因此成为以生态节水为主的主要时期。研究已经证明,拔节前灌的水,到拔节期大部分都无效消耗掉了,浪费的多少因灌水次数多少和早晚而异。一般来说,越冬水到拔节期所剩无几。而且,前期适度的水分胁迫,不仅有生态节水的功效,而且还有促进根系深扎,调控和增强拔节复水后生理功能的功效。如果拔节前一直不灌水,地表一直处于一种疏松干燥状态,切断了毛细管,形成一层良好的覆盖层,对减缓土壤表层水分蒸发十分有利。我们多年的研究结果证实,就这一项技术,可省水约 70mm,省工、省水又高产,何乐而不为呢?

小麦进入拔节期,进入了快速生长发育阶段,对水分和养分的需求逐渐增大,而且叶面积系数都在 2 以上,地面基本都被植被覆盖,水分的散失以叶片蒸腾为主,地面裸间蒸发已经退为次要地位。因此,拔节水是全生育期最关键的一次灌水,灌拔节水配合追施氮肥对于确保单位土地面积上穗数的建成、干物质的快速积累、最大叶面积系数的形成和穗分化进程的作用不可替代。除了极个别的降水年份,这次灌水是不能忽略的。当然,可以根据当年当时的降水情况,适当提前或推迟。这是奠定在节水栽培条件下实现高产的最关键的一次水肥运筹。

小麦籽粒灌浆后期阶段土壤水分过多并非有利,适当偏低而又随着籽粒的成熟过程逐渐下降的土壤水分动态对籽粒后期的充实是非常有利的,因此,适当减少灌浆后期水分供应有利无害,既可达到节水目的,又可稳定高产和改善品质,还能降低倒伏的风险。而且,到了 5 月下旬以后,降雨逐渐增多。因此,我们的研究显示,几乎有 50% 以上的年份,灌浆水是可以省去不灌的,麦黄水是绝对不提倡的。这样,小麦后期的水分运筹又可省去约 30~40mm 的水。

2.2.1.2 节水高产品种选用技术

有一点想跟同仁们达成共识的是:小麦高产品种的育成是育种家的功劳。以往极大多数育种家在培育品种过程中,节水性不是他们的选育目标,而且到目前为止,也还没有一个让育种家应用的简便易行的节水性指标。小麦品种的节水性高低,或者说一个品种是否节水高产,都是在一个品种育成甚至审定之后,我们的大量细致研究工作(筛选鉴定、生理测定、综合分析、全面评判等)的结果使然,这一点应该是不容质疑的。有了这点共识,下面的观点就容易理解了。

筛选和应用节水高产品种是单项关键技术之二。我们的研究在这方面的工作量可以说仅次于在灌水方面的研究。除了上面提到的我们建立起节水性概念并确立了研究目标外,我们在节水品种筛选方面做了大量工作,并开展了深入细致的生理基础研究。可以说与节水性最直接相关的水分生理指标是叶片气孔蒸腾和残留蒸腾(角质层蒸腾,以测定离体叶片失水速率(RWL, Rate of Water Loss of excised-leaf)指标来表

示)、植株水分状况(叶水势和叶片相对含水量,更多用前者)的品种差异,与节水性直接相关的经济指标是籽粒产量和抗旱指数。与作物吸水相关的是根系生长发育特性和功能。另外,还有其他指标。通过研究,我们构建起了一个节水高产基因型的综合评判模型。

多年研究认为,小麦品种实现节水高产最关键的决定因素之一是产量。只有在高产前提下,品种兼有了其他节水特性,才能实现既节水又高产。因此,在评判模型中,产量性状所占权重为 50%。除产量性状外,水分生理性状如蒸腾速率、离体叶片失水速率、叶水势、气孔阻力和少水足水产量比等分别占权重各为 10%,在简化的模型中,只包含了蒸腾速率、离体叶片失水速率和少水足水产量比 3 个指标,获得相近的评判效果。应用这种评判方法,结合其他农艺性状的抉择,我们分别在不同的时期选用了不同的小麦节水高产品种。现以下述几个节水高产品种为例进行说明。

冀麦 25 是我们最早筛选鉴定出的一个品种,其特点首先是高产,其次是较低的蒸腾速率和离体叶片失水速率及在水分胁迫条件下的较高叶水势。这个品种不论幼苗还是后期植株,都表现出较强的耐水分逆境的能力,从而在较缺水条件下,可良好生长发育而节水高产。譬如,该品种的幼苗能够较早感知水分逆境的到来,而较早降低蒸腾速率,从而在水分逆境条件下以较低的蒸腾保持较长时间的生长发育和代谢功能期,当然与该品种的较高根系活力有直接关系。这个品种应该是 1980 年代初期的一个较好的节水高产品种。

冀麦 30(冀 84-5418)是第二个筛选鉴定和选用的节水高产品种。首先,高产是该品种的第一优势特点,而且有非常广泛的适应性。其次是较低的蒸腾速率和离体叶片失水速率,较高的少水足水产量比。该品种的个体发育和群体结构也很好,叶片和群体的光合作用较高。因此,在节水高产品种综合评判中处于第一的位置,是 1980 年代末和 1990 年代初的一个代表性节水高产品种。在小麦节水高产生产中发挥了重要作用。该品种还有一个优点是对磷的需求吸收量较低,因此具有耐低磷和节磷特点。这个品种是当时小麦实现节水高产突破的主要品种之一,产量突破 $7500\text{kg}/\text{hm}^2$,水分利用效率达到 $18.5\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ 以上。

第三个筛选鉴定和选用的节水高产超高产品种是石新 733。石新 733 不但营养和加工品质较好,而且产量表现突出,产量构成因素协调,能够在保证较多公顷穗数的前提下,以较多穗粒数及较高千粒重和穗粒重(穗粒重可达 1.5g)实现高产超高产,产量可以突破 $9000\text{kg}/\text{hm}^2$ 。该品种在限水灌溉条件下叶片渗透调节能力和叶水势明显高于其他高产品种,而且以较高蒸腾速率、光合速率和蒸腾效率而达到节水目的。该品种在生育期灌水 2~4 次范围内的产量变化很小,产量较稳定,对灌溉次数的多少有广幅适应性,成为 21 世纪初的节水高产超高产新品种,可在小麦节水高产超高产栽培上广为应用。

第四个节水高产超高产品种是石麦 15,其优异节水特性目前我们仍在深入探讨挖掘之中。从我们已有的研究结果可以看出,该品种以稳定较高的公顷穗数、较高穗粒数和千粒重实现高产超高产。与其他一般高产品种相比,该品种更能适应进一步减少灌水的节水灌溉条件,生育期灌 1~2 水就可达到超高产水平,表现明显较高的抗旱指数,节水性能进一步提高。该品种的另一节水特点是可以适当晚播而产量变化较小。在节水灌溉条件下,以比其他高产品种较低的施氮量水平,既可维持较高叶片叶绿素含量和光合速率,又可维持较高叶片硝酸还原酶活性和较高植株体内可溶性糖和蔗糖含量,从而维持较高碳氮代谢功能而获得高产超高产,是一个不但节水而且省肥的双节品种。

2.2.1.3 优化种植技术

实现节水高产超高产的第一步是优化种植,而优化种植的基础是充足的底墒、充足底肥地力基础和精细土地耕作条件。我们多年底墒和施肥试验研究显示,产量随播前土壤底墒的改善和氮磷钾底肥的合理配合施用而明显增产。因此,为打好节水高产超高产的基础,前茬收获后,土壤水分若低于田间持水量 70%要浇足底墒水,一般要求底墒水 $750\text{m}^3/\text{hm}^2$;并施足 NPK 化肥和有机肥,适墒精细耕耙,做到土壤塌实平整,上虚下实,土表细碎,无明暗坷垃。一般要求磷酸二铵 $250\sim 350\text{kg}/\text{hm}^2$,氯化钾 $150\text{kg}/\text{hm}^2$,并通过施用有机肥或大量秸秆还田以补充土壤有机质。

实现优化种植保壮苗要把握好三关。

首先是种子质量关。一定要选用籽粒饱满、大小均匀一致、发芽率高和幼苗生活力旺盛的种子,并进行种子处理以防治地下害虫和预防小麦病害。

第二关是播种关。首先是适期偏晚播。我们不同播期的试验研究表明,在冀中南地区,最佳播期为10月5~10日,播种过早,易冬前旺长,冻害严重。较早建立合理的群体对实现节水高产超高产至关重要,适当提高种植密度有利优良群体的构建。我们的不同种植密度的试验表明,节水高产超高产栽培的种植密度应该高一些,半精量播种技术不适用于节水栽培。就一般成穗偏多的品种而言,适期播种条件下,基本苗控制在300万~350万/hm²对群体构建,稳定高产超高产水平有利。以10月5日为准每推迟2d增减基本苗15万/hm²。年度间产量差异受气候影响,生育期多雨年份密度较低对产量有利,而少雨年份则密度较高更好。多穗型品种以适中偏高密度为宜。我们不同种植方式和行距的试验研究还表明,获取节水高产超高产的种植样式以等行小行距(行距不超过10~13cm)最佳。小行距技术是我从英国引进来的。在英国很早就是小行距种植了,一般行距在10~12.5cm。所以,除了种植样式的试验外,多年来,我们都采用小行距种植技术。在同样密度条件下,缩小行距就增加了株距,一方面在幼苗阶段,降低了个体之间的竞争压力,对个体发育有利;另一方面作物能够较早较大面积地覆盖土表,相对减少了棵间蒸发比例,有利于节水。播种深度掌握在3~5cm,要求出苗匀齐全壮。

第三关是播后镇压。播后及时在适墒情况下进行镇压,使种子与潮湿土壤紧密接触,利于种子吸水、发芽和出苗。特别是在当前秸秆还田已经十分普及的情况下,秸秆还田后,大量秸秆留在地表,部分与表土混合,不进行镇压,播种后有部分种子腾空现象,适墒镇压是保证全苗和壮苗必不可少的一项技术。

2.2.1.4 “以肥代水”的合理施肥技术

我们及其他研究均证明,以氮磷钾为主,合理和平衡施用不同种类的肥料,不论是无机肥还是有机肥,是实现在减少水的投入前提下提高产量,达到节水高产的营养物质保证。除了氮磷肥外,在河北小麦玉米一年两熟种植制度条件下,配合施用钾肥是节水高产超高产很关键的投入。肥料的合理投入,既可替代部分供水,又可促进生长发育和产量形成,达到在高产条件下的高水分利用效率。施肥技术可以非常简化,就无机化肥而言,1/3~1/2氮肥和全部磷肥和钾肥播种前或播种过程中一次底施,剩余的1/2~2/3氮肥在拔节期灌水(一般是生育期第1水)时施入即可,没有必要复杂化。

2.2.1.5 化学和物理调控技术

这里所说的化学物理调控是指包含了能够达到节水效果(不论直接效果还是间接效果)的技术,直接降低生理耗水,即叶片蒸腾的技术首推抗蒸腾剂的应用。黄腐酸是一种较好的代谢型抗蒸腾剂,用法简单,成本低廉,原料来源丰富。成膜型抗蒸腾剂是一种在叶片表面形成一层覆盖膜,达到减缓叶片蒸腾的效果,其原理与水果保鲜处理相近。直接降低生态耗水的最常用技术应该为地面覆盖,多种形式、多种材料的地面覆盖既可减少地表蒸发,又可调节土壤温度,促进小麦生长发育,效果是很明显的。

间接降低作物水分消耗的技术包括生长调节剂的应用。应用具有抗逆调节作用的制剂可以强化小麦的生理代谢功能,提高对逆境条件的适应能力而节水高产。合理适期应用生长抑制剂和延缓剂可缩短基部节间,控制群体过旺生长,促进物质向经济器官的运转,降低小麦后期的倒伏风险,从而达到节水高产。除草剂、杀虫剂和杀菌剂的应用也应包括在间接降低小麦水分消耗的技术范畴。麦蚜与小麦激烈竞争营养和水分,有效控制麦蚜的节水增产效果十分明显。白粉病对后期小麦籽粒灌浆影响很大,对白粉病的有效控制对籽粒增重非常明显。

2.2.2 综合调控技术集成

冬小麦节水高产超高产的综合调控技术集成要点为:选用节水高产良种,足墒适期适量播种,播后直至拔节不灌水(生态节水,促根耐旱壮苗)。灌好拔节水追拔节肥。根据气候条件和个体群体发育状况,一般灌挑旗期至灌浆期的第2水,灵活灌溉第3水。满足拔节后快速生长及产量形成阶段以生理耗水为主的水

分供应,实现节水高产超高产。

2.2.2.1 秸秆还田、巧灌底墒水、施足底肥和精细整地

前茬收获后,机械化秸秆全量或部分还田,不断培肥和改良土壤。土壤水分若低于田间持水量 70% 要浇足底墒水,并施足 NPK 化肥,精细整地,土壤塌实平整。一般要求磷酸二铵 250~350kg/hm²,氯化钾 150kg/hm² 和少量氮素化肥或者 NPK 比例适宜的小麦专用复合肥。

2.2.2.2 选用节水高产超高产品种

选用具备高产、高水分利用效率和抗倒抗病等综合性状优良的节水高产超高产品种。从河北省的自然和生产条件来看,具有较好节水性状的多穗数、多穗粒数和较高千粒重的高产超高产品种更适宜于节水高产栽培应用。

2.2.2.3 优化播种技术、提高播种质量

取得节水高产超高的优化播种技术应为小行距(10~13cm 行距),适宜播期,晚播增密度。播种深度掌握在 3~5cm,要求出苗匀齐全壮。生育期多雨年份密度较低对产量有利,而少雨年份则密度较高更好。一般以适中偏高密度为宜。播后在适墒时及时镇压。

2.2.2.4 “两免两晚一减”式肥水运筹技术模式

在足墒播种前提下,免浇小麦冬前水和免浇早春返青水,推迟春季第 1 水至拔节期,推迟开花水 5~7d,多数年份少浇或不浇灌浆水,小麦生育期灌 2 水,浇水量 150~200mm。在拔节期一次追足氮肥 250~300kg/hm²。

2.2.2.5 “一喷综防”防控病虫草害和生长调节剂降低蒸腾

早期人工或化学除草,化学除草可同时喷施杀菌剂预防多种病害的发生;抽穗开花期化学防治麦蚜可同时防控多种病害。挑旗至灌浆期喷施抗蒸腾剂和植物生长调节剂等物质降低蒸腾促进灌浆,确保粒大粒饱高产。

3 主题内容及章节

本书共纳入文章 140 多篇。根据每篇文章的内容和特点,全书共分为七章。每一章节中,文章的排序是以发表或撰写的年代来编排。第一章为综述、述评、理论和生产建议等方面的文章,共 23 篇。第二章主要涉及节水高产冬小麦品种的鉴定、筛选和应用,共收入文章 25 篇。第三章主要探讨冬小麦节水高产的生理基础,共收入文章 25 篇。第四章为冬小麦节水高产的农艺栽培技术,包括从前茬收获后的播前准备、播种、生育期管理的全程栽培技术,共收入文章 28 篇。第五章为冬小麦节水高产的物理和化学调控技术的应用和效果,主要包括了我们较为深入研究的几种抗蒸腾剂(如黄腐酸)、生长调节剂(如生物型抗逆调节物质)的研制和应用,共有文章 12 篇。第六章为冬小麦节水高产栽培技术的应用、示范和推广,多为科普文章和讲座报告提纲等,共 19 篇短文。基本是较早期和近期的文章,中间一段时间的多数文章都没有留存下来,因此无法编入此书。第七章为多年研究过程中对实验方法和技术不断改进和创新的介绍,共 11 篇。期望这些技术和方法对其他研究者有参考价值。

有两点需要说明:一是,除第六章外,其他所有论文在这次汇集时,都添加了中英文摘要,而且原文是英文的,这次仍以英文编入。二是,除第六章外的 124 篇文章中,不仅收入了已经在学术刊物和论文集书刊中公开发表的文章 70 篇,而且收入了未公开发表的文章 54 篇(占 43%),这其中包括了一部分从未发表的试验报告,还包括了一部分只是在当时内部刊物上刊登的文章。这样更能充实本书内容和使读者更能较为全面地了解 30 年来我们的研究进展动态和研究的全貌。

4 谢忱

首先,感谢已故著名小麦栽培专家、我的硕士研究生导师张锦熙先生和仍健在的刘锡山先生的指引使

我走上了小麦栽培和节水研究之路。感谢英国诺丁汉大学的导师使我能够深入到小麦抗旱和节水的生理研究领域而驰骋。

其次,感谢从国家、河北省到河北省农林科学院和石家庄市多年来几十项科研项目经费的支持,使得以冬小麦节水高产为目标的研究坚持至今,从未间断,使这本涵盖了 30 年研究成果的论文荟萃集的出版才有了可能。

在这些项目的支持以及各级领导的重视和鼓励下,科研团队的全体同仁,精诚合作,刻苦攻关,在冬小麦节水高产超高产的生理基础和调控技术上取得了突破性进展和成果。本书几乎囊括了 30 多年来冬小麦节水高产生理和调控研究的全部过程和内容。

除本书作者和编委们外,对本书数据的收集、整理、分析和总结做出实质性贡献的有刘淑贞同志;在试验田辛勤耕耘多年的工人技师李建敏、丁灵琴和田英才同志。有了这些无私的帮助和支持,才使本书得以问世,在此,一并表示由衷的谢意。

马瑞昆

河北省石家庄市

河北省农林科学院粮油作物研究所