

High Efficient Water-saving
Cropping Systems in Northern China

中国北方 节水高效农作制度

蔡典雄 武雪萍 等 著



科学出版社
www.sciencep.com

High Efficient Water-saving
Cropping Systems in Northern China

中国北方 节水高效农作制度

蔡典雄 武雪萍 等 著

科学出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

中国北方节水高效农作制度/蔡典雄, 武雪萍等著. —北京: 科学出版社, 2010. 7

ISBN 978-7-03-027886-9

I. ①中… II. ①蔡…②武… III. ①节约用水—耕作制度—研究—中国 IV. ①S344

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 107626 号

责任编辑: 付 艳 刘希胜 / 责任校对: 刘小梅

责任印制: 赵德静 / 封面设计: 无极书装

编辑部电话: 010-64035853

E-mail: houjunlin@mail. sciencep. com

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京市农林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 7 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2010 年 7 月第一次印刷 印张: 20

印数: 1—2000

字数: 403 200

定价: 56 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《中国北方节水高效农作制度》编写组

成 员 (按姓氏笔画排序)

于希臣	马兴林	王 迪	王 璞
王小彬	王月福	甘任初	白 伟
冯良山	冯海旗	朱东海	庄 严
刘 洋	孙占祥	李 军	李久生
杨正礼	严昌荣	吴会军	吴海卿
张 晴	张立帧	张建君	武雪萍
罗其友	郑家明	赵全胜	赵军帅
赵瑞雪	查 燕	逢焕成	贾志宽
高明杰	陶 陶	韩思明	韩清芳
谢晓红	蔡典雄	廖允成	薛冬梅



前言

中国北方节水高效农作制度

干旱缺水是世界性问题,全球有近 80 个国家、40%的人口面临缺水问题。据《1998—2007 年中国农业用水报告》统计,中国 2007 年降水量 57 763 亿 m^3 中形成的水资源量仅为 25 255 亿 m^3 ,相当人均水资源量 1902 m^3 /人,远远低于世界人均 8600 m^3 水资源量水平。预计到 2030 年,中国人口将达到 16 亿高峰,在降水总量不减的情况下,人均水资源量将降为 1760 m^3 /人,逼近国际上公认的 1700 m^3 /人严重缺水警戒线!随着我国国民经济高速发展,工业、生活和生态用水比例大幅度提高,我国农业用水比例明显减少。仅 1998~2007 年 10 年间,全国农业用水占总用水量比例从 69.3%降到 61.8%,下降幅度达到 10.8%,凸显了农业生产用水比例快速下滑的现实。我国有效灌溉面积、有效实灌面积和旱涝保收面积占全国灌溉面积的比例逐年下降,平均值分别为 92%、80%和 67%。近 50 年来,随着全球气候变化,我国北方地区增温显著,干旱成灾频度和成灾程度有逐年扩大的趋势,不仅引发作物严重减产、生态环境恶化,而且还加大了缺水地区农民脱贫致富的难度。干旱和水资源短缺已成为我国北方农业、农村发展的首要限制因素。水资源短缺的严峻现实提醒我们,必须修正我国以追求粮食高产为目的的高耗水或低用水效率的农作模式,必须建立适应气候变化、应对我国农业资源性缺水的替代型农业生产新体系,加速发展以提高水资源利用效率、利用效益为中心和区域经济同步发展的节水高效型农业生产模式。

中国与世界上大多数缺水国家一样,不仅存在着严重的资源性缺水,同时还存在着工程性缺水、季节性缺水、区域性缺水和水质性缺水等结构性与管理性缺水问题。主要表现在:西北地区农业用水量比例均呈下降趋势,雨水稀少,十年九旱,目前耐旱作物与高耗水作物种植并存,种植结构与降水错位严重,造成旱上加旱、旱灾连绵;西南地区蓄水工程年久失修,蓄水储水能力薄弱,农业实际用水量呈下降趋势,季节性干旱或旱灾频发;东南部地区极端气候出现频度较高,虽水资源充足,但由于不合理的用水和管水制度,经常出现水质性缺水,季节性旱涝并存;特别是我国人均水资源拥有量极小的华北地区和农业用水比例小幅波动的东北地区,降水总量明显不足,高耗水作物种植面积大,资源性缺水和结构性缺水问

题非常严重。因此,根据区域农业水资源特点和经济实力水平,分析不同作物在不同地区生长发育各阶段需水与降水季节分配关联度,确立相应的种植制度、耕作、水肥管理和信息管理等农作制度体系,尽可能提高作物需水与降水吻合度,创建适合地区经济条件、简易可行的种植结构、耕种模式等一整套节水高效农作制度,对整体提高有限水资源利用率、利用效率和区域经济收入,以及对实现我国水资源可持续利用战略、农业和农村经济可持续发展战略无疑是一条非常重要的途径。

我国政府高度重视节水农业,重视食物安全。在解决人多地少、土地及水资源匮乏方面,我国利用作物多熟种植模式、理论与技术取得了举世瞩目的成就,多熟制及间套复种、立体种植等模式的创立,用7%的耕地养活了22%的世界人口,为人多地少、资源匮乏地区解决食品安全树立了典范。但是,面对全球气候变化、我国水资源日益紧缺、农业用水比例不断下降以及食物需求越来越高的压力,传统的水资源高耗低效型种植制度将难以持续。当代与未来的农业结构、作物布局和耕作栽培技术均相应需要调整,仅仅追求最高单产的传统丰水高产型农业经营模式应向节水高效优质型农业转变,农业水资源利用仅依赖资源性节水还不够,应朝资源性节水和结构性、管理性节水同时并举的方向发展。因此,采取区域种植结构优化,配套节水耕种和高效水肥管理等措施,建立全新的节水高效农作制度对于应对气候变化、缓解我国水资源紧缺矛盾和保障粮食安全将具有开创性意义与实际应用价值。

本书着重从保障水安全、粮食安全和生态安全出发,以我国节水高效农业发展的需求为方向,以提高水资源利用率、利用效率、节水增效和生态环境保护为核心,重点研究了制约现阶段农业发展的节水高效农作制度,从理论上对我国北方不同区域节水型种植结构形成机制、评价指标体系、综合评价方法、综合评价模型、调整种植结构节水的基本原理、节水型种植结构形成影响因素及其作用机制加以探讨,提出了我国北方节水高效种植结构的调整方向;通过对现有种植模式的筛选与改进,研究建立了区域节水高效种植模式;以农作制度优化模式为基础,以节水、节肥、高效、环保最佳嵌合为目标,以水肥互利的水资源深层次利用为切入点,提出了主要作物水肥高效利用的栽培技术体系;总结国内外有关保护性耕作的研究状况,结合我国的国情,研究和发展的环境友好型旱地保护性耕作关键技术,建立了系列化、操作性强的保护性耕作技术;研制出节水型农作制度决策支持平台,以高技术产品带动常规技术的应用,促进北方地区农业的节水增效和可持续发展,为实现区域粮食安全和资源可持续利用的



作物生产提供技术支撑,促进了学科的发展。

节水高效农作制度研究意义重大,但发展机制复杂、内容广泛。本书仅展示国家“863”计划项目“区域节水型农作制度与节水高效旱作保护耕作技术研究”(编号:2002AA2Z4021)的研究成果,该项目由中国农业科学院主持,中国农业大学、西北农林科技大学、中国水利水电科学研究院和辽宁省农业科学研究院等单位共同承担,中国农业科学院农业资源与农业区划研究所组织实施。参加本项目研究的科技骨干有40多人,在此向在项目实施过程中辛勤工作的研究人员表示诚挚的感谢!

本书共分六章,主要作者有:第一章 蔡典雄,武雪萍;第二章 罗其友,高明杰,陶陶,张晴;第三章 逢焕成,杨正礼,孙占祥,贾志宽,李军;第四章 蔡典雄,武雪萍,李久生,吴海卿,孙占祥,王璞,张立帧,严昌荣,贾志宽,马兴林,王月福,王迪,李军,韩清芳,郑家明,刘洋,冯良山,朱东海;第五章 蔡典雄,武雪萍,王小彬,孙占祥,贾志宽,韩思明,韩清芳,廖允成,郑家明,刘洋,冯良山,于希臣,白伟;第六章 赵瑞雪,冯海旗,武雪萍,甘任初,赵军帅,薛冬梅。另外,中国农业科学院农业资源与农业区划研究所节水农业知名专家汪德水研究员和中国农业大学王璞教授在书稿审改中提出了宝贵的建议,特此致谢!

由于本书是我国第一部节水高效农作制度专著,理论成熟度和写作水平有限,加之研究时间较短,书中难免有许多疏漏和不足之处,敬请专家和读者给予批评指正。

著 者

2010年2月20日



目 录

中国北方节水高效农作制度

前言 / i

第一章 绪论 / 1

- 第一节 创建节水高效农作制度是农业可持续发展的战略需求 / 1
- 第二节 节水高效农作制度发展态势 / 6
- 第三节 中国北方节水高效农作制度研究目标与技术取向 / 11

第二章 中国北方节水高效种植结构 / 14

- 第一节 北方旱作区农业资源概况 / 14
- 第二节 节水高效种植结构理论与方法 / 17
- 第三节 北方区域节水高效种植结构模型参数的确定 / 36
- 第四节 华北地区节水高效种植结构 / 43
- 第五节 东北地区节水高效种植结构 / 48
- 第六节 西北地区节水高效种植结构 / 53

第三章 中国北方节水高效种植模式与配套技术 / 62

- 第一节 黄淮海平原两熟区节水高效种植模式 / 62
- 第二节 东北地区节水高效种植模式与配套技术 / 109
- 第三节 西北地区节水高效种植模式与配套技术 / 114

第四章 中国北方节水高效农作制度水肥配套技术 / 125

- 第一节 冬小麦—夏玉米喷灌水肥高效利用技术 / 125
- 第二节 蔬菜滴灌施肥精量调控高效利用技术 / 154

- 第三节 黄淮海地区旱地小麦节水优质高产栽培技术/177
- 第四节 风沙半干旱地区玉米节水高产优质栽培技术/184
- 第五节 风沙半干旱地区大豆节水高产优质栽培技术/193
- 第六节 冬小麦节水省肥简化高产优质栽培技术/201
- 第七节 夏玉米节肥省水高产优质栽培技术/205
- 第八节 棉田节水复合高效栽培技术/206
- 第九节 春玉米超高产高效用水技术/207
- 第十节 黄河流域棉区节水灌溉技术/209
- 第十一节 黄土高原冬麦区冬小麦水肥调控技术/212
- 第十二节 春玉米水肥调控技术/213
- 第十三节 春小麦水肥调控技术/215
- 第十四节 春谷子水肥调控技术/216
- 第十五节 马铃薯水肥调控技术/217

第五章 中国北方节水高效型保护性耕作技术/222

- 第一节 保护性耕作技术发展概述及其机理研究/222
- 第二节 华北区域主要作物保护性耕作技术/235
- 第三节 东北区域主要作物保护性耕作技术/242
- 第四节 西北区域主要作物保护性耕作技术/256

第六章 中国北方节水高效农作制度智能决策平台/279

- 第一节 引言/279
- 第二节 平台应用流程及逻辑模型/280
- 第三节 平台功能设计与实现/285
- 第四节 平台的体系结构和关键技术/299
- 第五节 平台的特点/308

第一章



绪论

第一节 创建节水高效农作制度是 农业可持续发展的战略需求

节水高效农作制度 (water-saving farming system with high resource use efficiency) 在集合论上属节水、高效农业与农作制度交集概念,是指通过提高农业水资源利用率与利用效率,实现农业资源(包含自然资源、人力资源、社会经济、生态环境资源等)合理利用和农业高效的农作制度。节水高效农作制度具体可定义为:“在一个区域或生产经营单位内,各类农林加养等多种相互联系的农业生产亚系统与自然资源、生态环境、人工环境等生物生境相互融合,形成与有限水资源、人力资源、社会经济环境资源等时空协调、相对高效合理利用的时段性稳定集合体。”我国节水高效农作制度是以保障生产区域或单元水安全、生态安全为基础,以市场需求为方向,以提高水资源利用率、利用效率和节水增效为核心,根据区域水资源时空特点和经济发展水平,紧紧围绕资源节约、生态友好、集约高效、产业协调的总体目标,因地制宜地发展适合区域特点的现代节水高效农作制度,突出规范化与标准化产品产业的构建、技术优化配置和制度性进步,目标是建立起符合国情的综合节水高效型农作体系。在现代农业生产体系中,节水高效农作制度的核心内容主要包括:农林牧结合的节水高效农作制度、节水高效种植制度、节水高效型保护性耕作制度、水土

肥高效利用的作物水肥施用制度、区域农业结构调整与持续高效发展的节水高效农作物布局与结构性管理制度以及节水高效农作制度的信息决策管理体系等。

我国“节水高效农作制”是在传统“耕作学”、“耕作制度”研究基础上,经过两代科学家的努力研究、延伸和拓展形成的。第一阶段在20世纪70年代,以刘巽浩、王立祥等为代表的老一辈科学家以传统耕作制度为基础,通过跨学科交叉、宏观与微观结合、综合性和战略性思维的导入,逐步形成现代“农作制学”;第二阶段是在21世纪初,在国家“十五”“863”课题的支持下,以中国农业科学院和国内相关院校为代表的节水专家首次将制度节水、信息节水、水肥高效利用、管理节水等理念引入农作制,研究提出了富有中国特色的、现代高效的“节水农作制度”新理念,创建了农业水资源利用学科中的“节水高效农作制”分支学科。

随着全球农业现代化进程不断加速,人类对食物需求总量的增长在加快,全球性以追求高产为目的的水资源过度开发和资源保护不足的不平衡利用态势不减,食物需求与区域水资源不足的矛盾加重,特别是工业化进程中造成的全球性气候变化对农业生产影响程度加深,凸显出农业水资源性严重紧缺现实和区域性不协调、结构性不合理的特征。因此,从区域水资源时空特点与区域经济发展水平入手,从区域或生产单元水资源节约出发,从结构上资源合理布局着手,研发实施与水土肥等资源环境时空协调、资源高效利用和作物高产高效的节水高效农作制度,无疑对于保障国家粮食安全、提高农业资源持续高效利用以及保证农业生产环境安全具有极其重要的战略意义和现实应用价值。

一、创建节水高效农作制度是应对全球气候变化和我国农业严重缺水现状的迫切需要

据预测,随着全球气候的变化,近50年来我国北方地区区域增暖显著,同时干旱化趋势也最明显(邹旭恺,张强,2008)。我国气象学家研究指出,在全球气候变暖的大背景下,我国近100年的气候也发生了明显的变化。一是近100年来我国平均气温变化趋势与全球平均气温变化趋势基本一致,平均气温上升了 $0.4\sim 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,略低于全球平均值。20世纪90年代是我国近100年来最暖的时期之一,但尚未超过20世纪20~40年代最暖时期。从地区上看,气候变暖最明显的是西北、华北、东北地区,其中陕西、甘肃、宁夏、新疆等省(自治区)变暖的程度大于全国平均值。



从季节上看,我国冬季增温最明显。二是我国降水量以 20 世纪 50 年代最多,之后逐渐减少,华北地区减少最为明显,出现了暖干化趋势(陆均天, 2005)。我国是世界严重缺水的国家之一。我国年降水量 57 763 亿 m^3 中形成的水资源量为 25 255 亿 m^3 , 人均水资源量 2007 年为 1902 m^3 /人, 远远低于世界 8600 m^3 /人的水平, 低于澳大利亚和美国(李保国, 彭世琪, 2009)。预计到 2030 年, 人口达到 16 亿高峰时, 在降水不减少的情况下, 人均水资源量下降为 1760 m^3 /人, 将逼近国际上公认的 1700 m^3 /人的严重缺水的警戒线! 在严重缺水的形势下, 1998~2007 年的 10 年间, 全国农业用水量比例不断下降, 而工业和生活用水量比例则不断增加, 全国农业用水量占总用水量比例从 1998 年的 69.3% 下降到 2007 年的 61.8%, 下降了 7.5 个百分点, 下降幅度达 10.8%。华北、东南、西南和西北区的农业用水量比例均呈下降趋势, 其中东南区农业用水量比例下降的幅度较大, 西北区下降幅度较小, 东北区则呈小幅波动。近 10 年, 我国有效灌溉面积、有效实灌面积和旱涝保收面积占全国灌溉面积的比例逐年下降, 平均值分别为 92%、80% 和 67%, 其中有效灌溉面积比例 2007 年比 1998 年下降了 1.93 个百分点, 比 2006 年下降了 0.12 个百分点; 有效实灌面积比例 2007 年比 1998 年下降了 2.92 个百分点, 比 2006 年增加了 0.38 个百分点; 旱涝保收面积比例 2007 年比 1998 年下降了 2.05 个百分点, 比 2006 年下降了 0.24 个百分点(李保国, 彭世琪, 2009)。

干旱和水资源短缺已经严重影响到我国农业生产。20 世纪 50 年代, 全国每年因干旱损失粮食 43.5 亿 kg, 占全国粮食总产量的 2.5%; 90 年代, 每年损失 209 亿 kg, 占 4.4%; 而自 2000 年以来, 每年损失升至 370 亿 kg 余, 已经占到 7% 以上, 旱灾已经严重威胁到我国的粮食安全。近年来, 旱灾造成的损失呈加重趋势, 一般年景干旱造成的经济损失已经占到全国 GDP 的 1 个百分点以上。2009 年我国遭遇了近 10 年来罕见的春旱, 全国 31 个省(直辖市、自治区)均有旱情, 据不完全统计, 2009 年 2 月全国耕地受旱面积 2.99 亿亩 (1 亩=1/15 hm^2), 比常年同期多 1.10 亿亩, 河北、山西、安徽、江苏、河南、山东、陕西、甘肃 8 省冬麦区受旱面积总计 1.52 亿亩, 占全国作物受旱面积的 95%, 其中重旱 4879 万亩。

由此可见, 受全球性气候变化影响, 我国农业水资源不足状况更加严重, 特别是全国性、区域性干旱成灾频度大幅度增加, 不仅农业生产区水资源亏缺程度加剧, 而且缺水地区生态环境更加恶化, 已成为影响我国农业可持续生产能力提高的首要障碍因素。应对气候变化, 发展节水高效农作制度, 改变传统耕种模式, 因地制宜地调整作物布局, 创建低耗水耕种

模式,提高区域有限水资源利用效率和经济效益,已成为当今中国农业生产急迫需要解决的重点问题之一。

二、发展节水高效农作制度是提高我国农业结构性节水效率的重要战略举措

我国作物种植模式理论与技术研究虽取得了举世瞩目的成就,创立了多熟制及间套复种、立体种植等模式,成为全球解决人多地少地区食品安全的典范。但是,现阶段我国种植制度仍处于高耗水种植结构,表现为:作物耗水结构与水资源分布不匹配,缺水地区高耗水作物种植面积大;粮食作物南北布局与水资源时空分布不匹配,出现占全国水资源19%的北方却要向占全国81%水资源的南方输送粮食的现象。从目前我国农田水分利用效益状况分析:我国种植业结构主要存在的问题有:粮食作物比重高、结构单一;水分转化效率高、生育期水分满足程度高和耐旱等作物种植比例偏低,而高耗水作物比例较大,处于生产性低耗水而结构性高耗水的种植结构状态。部分灌溉作物的生产成本已与产出增加基本相抵,特别是我国北方降水量少且季节分配不均,不同作物生育期与降水分布的吻合性存在明显差别。相对而言,秋熟作物生长发育与降水分布基本保持同步,因而对旱区气候条件具有较好的适应性。夏熟作物特别是冬小麦,生育期需水与降水吻合度较差,农业水资源的经济型短缺问题更加突出。

目前我国农田平均水分生产效率只有 $0.87\sim 1.1\text{ kg/m}^3$,与高产田块和发达国家的差距较大,但我国也有一些节水高产种植典型,其水分生产效率可以高达 $1.5\sim 1.8\text{ kg/m}^3$,接近节水发达国家水平,这意味着蕴藏着巨大的可开发的制度节水潜力。农作制度节水潜力主要来源于以下几个方面。①用好天上雨:大力发展集雨、雨季农业。②保住地中墒:实行覆盖、保护性耕作。③适期适度干燥:作物苗期、营养生长期抗旱锻炼。④浇好关键水。⑤优化种植:从作物种植结构、种植模式、优化栽培角度挖掘节水潜力。⑥水肥耦合:以肥调水,以水调肥。如对农作制度节水措施进行提升和综合运用,在保证粮食总产和产值不减情况下亩节水潜力可达 $30\sim 80\text{ m}^3$,若全国按18亿亩耕地估算,30%实施节水高效农作制度,保守估计每年全国节水总量可达162亿~432亿 m^3 。

由此可见,通过研究和分析众多作物种群生长发育阶段需水与降水季节分配规律,从尽可能地提高作物需水与降水吻合度出发,调整相应种植结构,从区域结构性上改变作物种植布局,配套相应节水耕种措施,可整



体提高有限降水的利用效率,发挥农业潜在结构性节水的巨大优势。因此,在大力发展资源性节水的同时,应充分发挥农业结构性节水优势,根据有限水资源的时空分布,开展作物合理布局,综合提高水资源利用效率,建立起资源性节水与结构性节水的高效农作制度,替代传统农作制度无疑是我国农业结构性节水、有限水资源高效利用的战略举措。

三、实施节水高效农作制度战略是适应新时期农业水资源利用方式转变的需求

我国农作制度发展战略在不同时期有着不同的重点。新中国成立初期,出于人多地少的国情,主要是以增加粮食产量和提高土地利用率、实现解决国民吃饭问题为目标,研究重点主要围绕以间套复种为主要内容的多熟种植制度;20世纪50~70年代以扩大复种提高土地利用率为主提高粮食总产;80年代以提高单产、提高土地生产力为主以提高粮食总产,并逐步向高功能(高产量)高效益种植模式发展;90年代从高产高效种植实践与理论探讨,逐步走向种植业结构调整与优化;进入21世纪,随着我国农业水资源缺乏形势日益严重和现代高新技术不断涌现,给我国实施新的农作制度带来新的挑战,同时也带来了新的活力,节水农业发展进入新阶段,农作制度的研究与演变又呈现出新的研究趋势,与农业水资源高效配伍的可持续高效农作制度成为农业发展的基本方向,以高新技术为特征的资源性节水、以信息技术为特色的结构性管理节水、以生物技术为重点的生物节水、以现代装备和新材料为引导的现代节水高效农作制度成为我国缺水地区农业生产、结构调整的核心主轴,节水高效、环境友好和可持续发展是农作制度改革与发展的最终目标。

从未来我国人口-粮食需求-农业供水关系来看,2030年我国人口将达到16亿高峰,届时粮食总需求量为6亿t,而农业供水能力只能维持在3900亿~4000亿 m^3 ,农业水资源缺口将达900亿 m^3 ,无论是旱作农区还是灌溉农区都面临非常紧迫的高效用水与节水任务。水资源紧缺已成为严重制约我国农业和农村经济可持续发展的瓶颈,经过新中国成立以来大规模的建设,我国容易开发的水资源多已利用,我国农业和粮食生产靠大量消耗水资源、发展灌溉面积的外延型增长方式行不通,新形势下节水高效农作制度已成为打破依然依赖农田技术节水(点节水技术)的格局,朝着农田技术节水和区域结构性节水、系统管理节水(面节水技术)方向转变,即传统节水技术与现代高新节水技术、“点+面(技术节水+结构节水+管理节水

水)”节水技术相结合的系统节水技术是未来节水高效农作制度发展的方向。

因此,新时期转变传统农业水资源利用方式,根据我国不同区域农业资源状况、时空分布特点和区域经济水平,从农业可持续以保障区域水安全和粮食安全、促进生态安全为出发点,因地制宜地发展适合区域特点的现代节水高效农作制度,建立符合新时期我国国情的综合节水高效农作制度,最大限度地提高水分利用率和水分利用效率是保障我国粮食安全、实现农业可持续发展的重要途径,也是适应新时期农业水资源利用方式转变的需求。

第二节 节水高效农作制度发展态势

一、国外节水高效农作制度发展的特征与趋势

1. 节水高效种植制度的模式多元化、主导产业综合化

种植制度模式是环境、经济、技术有机结合的产物,随着社会的发展和技术的进步,资源的持续利用、环境的渐进改善、效益的稳步提高已成为国际种植模式发展的主要特征。

围绕全球经济一体化以及水资源危机的现状,世界各国都紧密结合国情、水情,积极探索发展具有区域特色的节水种植模式。目前,国际上主要有三种节水种植模式:①基于市场需求和水资源高增值生产,以现代喷灌、微灌为手段的节水高效种植模式,主要在水资源奇缺、灌溉规模小、经济实力雄厚的地区,以以色列、沙特阿拉伯等国家为代表;②基于国情、区域节水潜能,以常规地面节灌为手段的节水种植模式,适用于灌溉规模较大、利用地表水为主、经济支撑能力有限的地区,以印度、巴基斯坦等国家为代表;③基于全球水资源需求,以节水灌溉和管理措施相结合的综合节水种植模式,适用于地面灌溉规模宏大、经济与技术实力很强的地区,以美国、俄罗斯等国家为代表。

纵观世界节水农业发展的历程,节水种植模式表现出由“单一种植模式”向“以市场化为导向的多元化节水种植模式”转变,由“工程措施主导型”向“工程措施、非工程措施并重型”转变,由“资源透支利用”向“资源匹配型”种植模式转变,农艺、生物技术、智能管理成为节水农业



潜在的爆发点和突破点。形成以市场为导向，以开放式、高科技、高投入、高效益为主要发展模式，以调减高耗水大田作物为主栽品种、效益种植为主体结构、区域经济型产业（品）开发为龙头、高新技术相互配套的综合型节水高效农作制度，成为当今发达国家农作制的主要发展方向。

2. 配套水肥施用制度的水肥精准化、环保高效化

世界上节水农业发展比较成熟的国家，在确定了具体发展战略和生产模式后，关键技术的创新和突破就成为节水农业的制高点。技术发展的重点主要集中于生物节水、水肥精量调控、耕作体系、配套农机作业等方面，同时注重前沿技术与传统模式的嵌套、农业节水与生态环境保护的密切结合。

英国、澳大利亚等发达国家较早地应用喷滴灌技术，开展了节水灌溉、施肥和环境保护方面的研究，提出了灌溉管理和节水农业技术相结合的区域作业模式。美国、以色列等发达国家在继续研究提高工程节水技术的同时，结合液肥虹吸技术、滴灌精量施肥技术等，将施肥与节水灌溉融为一体，利用其技术、设备和经济优势，将作物水分、养分的需求规律和农田水分和养分的实时状况相结合，利用自动控制滴灌系统向作物同步精确的供给水分和养分，提高了水分和养分的利用率和利用效率，最大限度地降低了水分和养分的流失与污染的危险，也优化了水肥耦合关系，极大地提高了本国的农产品的质量和国际市场竞争力，获得了高技术、高投入、高收益的应用效果。

3. 节水高效型耕作制度的节水效益化、环保化

在利用耕作保墒措施调控农田水分状况、提高农田水分利用率和作物水分生产效率方面，国外已提出了许多行之有效的技术和方法。保护性耕作技术、田间覆盖技术、节水生化制剂和旱地专用肥等技术和产品正得到广泛应用。目前一个重要的发展趋势是将这些技术与先进的农业机械相结合，提高农业劳动生产率。如美国中西部大平原推行机械化耕作模式——由多耕到少耕或免耕，由表层松土覆盖到残茬秸秆覆盖，由机械耕作除草到化学除草，显著提高了农田保土、保肥、保水的效果和作物产量。当耕作次数由 7~10 次减少到 1 次或不耕时，休闲地的蓄水量可由 102 mm 增加到 183 mm，蓄水量从占降水量的 19% 提高到 40%，产量也得到很大提高。目前美国中西部大平原已大面积采用该技术，且仍在继续扩大。加拿大的“留茬免翻雪耕”耕作法、俄罗斯的抗旱留茬无壁犁等也为耕作技术的机械化作业提供了有效的借鉴依据。

干旱缺水不仅制约了经济发展,而且造成了土地荒漠化、沙尘暴等一系列环境问题。由于大面积开荒,连年机械翻耕,植被破坏严重,美国西部阿玛里罗草原 1934 年春季发生了“黑色风暴”,由此引发了在旱区研究并推行少免耕和残茬覆盖相结合的保护性耕作措施。该措施不但在控制大平原风蚀方面起到了重要作用,而且提高了水资源利用效率和农业产量。德国、意大利、瑞士等国及南美地区,均在改善生态环境和提高土地生产力同步发展的保护性耕作措施方面进行了大量的研究和开发工作,获得半干旱地区农业的高产高效、生态环境改善的协同发展。

4. 节水高效管理制度的技术标准化、信息智能化

发达国家和一些农业国际组织关于农业信息技术方面的研究开发起步较早,在大型农业数据库建设、农业管理信息系统、农业决策支持系统、农业专家系统以及农业信息网络建设方面很有成效。例如,美国的作物生产管理计算机咨询和数据分析系统 MSTAT,具有田间生产布局设计与管理、品种寻优设计与管理、作物育种、经济效益分析等综合功能。2000 年,美国的 Stephen 和 Searcy 将棉花生长模型 (ICEMM) 与 GIS 和传感器结合成为决策支持系统,对棉花高度的预报误差仅在 3 cm 之内。在印度农业信息技术也已有了初步应用,如预估作物生产潜力、决策达到潜在高产的手段、预告作物产量以及估计气候变化对农业的影响。1995 年,英国的 Audsley 等开发出 DESSAC 多媒体作物生产决策支持系统,主要模块之一是小麦病虫害防治,可以告诉农民小麦有关病虫害的病原、病因、流行途径等各种知识,帮助农民进行病虫害防治和风险评估等决策。以色列、日本等国家已经形成了较为完善的节水农业综合技术体系,并形成了技术智能决策系统,极大地提高了节水农业的效益。以色列的水利用率已达到 80% 以上,水的利用效率已达到 2.3 kg/m^3 。借助于节水农业技术智能体系及配套的工程和农艺措施以及实用化的作物模型如 CERES、MACROS、GOSSYM-COMAX、EPIC 等,空间信息技术、计算机技术、网络技术等高新技术在节水农业中得到应用,并逐步成为精准农业的主流技术,产生了显著的经济效益。

二、我国节水农作制度发展趋势

1. 种植制度的节水模式多样化、特色化

我国农作制度在历经市场经济的影响和农业新理论、新现实的冲击下