

JIAODONG BANDAO  
NONGYE SHUIZIYUAN

# 胶东半岛农业水资源 现代管理技术



XIANDAI GUANLI JISHU

徐征和 赵琳 邢立亭 等编著



黄河水利出版社

济南大学出版基金资助

# 胶东半岛农业水资源现代管理技术

徐征和 赵琳 邢立亭 等编著

黄河水利出版社

## 内 容 提 要

本书从现代农业要求农业水资源管理应遵循“资源水利——人与自然和谐相处”的原则出发,结合胶东半岛农业高效用水管理实例,从农业用水区域优化配置、地表水地下水联合调度、建立节水高效灌溉制度、农业用水的运行管理机制、区域农业用水水价体系、农业水资源信息化现代管理技术等几个方面,总结分析了农业水资源现代化管理技术,从而为充分提高农业水资源利用效率,改善水环境和生态,实现水资源可持续发展,提供先进的管理思路和科学技术。

本书可供农业与水利部门的科技人员、管理人员阅读使用,也可作为大专院校相关专业师生的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

胶东半岛农业水资源现代管理技术/徐征和等编著.  
郑州:黄河水利出版社,2008.10  
ISBN 978-7-80734-502-2

I. 胶… II. 徐… III. 农业资源-水资源管理:技术  
管理-研究-山东省 IV. S279.252

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第141855号

组稿编辑:王路平 电话:0371-66022212 E-mail:hhsllwp@126.com

---

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、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhsllchs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:13

字数:300千字

印数:1—1 000

版次:2008年10月第1版

印次:2008年10月第1次印刷

---

定价:38.00元

## 序

水资源的可持续利用是实现经济社会可持续发展的重要保障。当前我国人均及单位耕地面积平均水资源只分别占世界平均值的 1/4 及 1/2, 明显偏低; 加之我国水资源在时空两方面分布极不均匀, 更加重了缺水的严重性。到 2030 年左右, 我国人口将达到 16 亿人, 届时人均水资源从当今的  $2\ 160\ \text{m}^3$  再下降  $400\ \text{m}^3$ , 我国将成为水资源严重短缺的国家。为了社会经济的可持续发展, 必须认真地采取科学合理的保护、利用与管理水资源的措施。

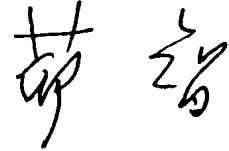
胶东半岛地处山东半岛东端, 当地人均淡水资源不足全国平均的 1/3, 属于严重缺水地区。该地区农业发达, 但气候条件不利, 受大陆和海洋交替作用影响, 降水量年际变化大, 年内分配不均匀, 形成冬春干旱、夏季湿润的气候特点。在农业需水的春灌期降水量只占全年的 20%, 影响农作物的高产及农业生产的高效益。近年来, 胶东半岛国民经济迅速发展, 城市规模不断扩大, 导致工业、生活用水急剧增加, 农业用水比例不断下降, 水污染日益严重; 许多原以灌溉为主的大中型水库, 其水量被部分或全部转向工业用水, 灌溉保证率降低, 不适应农业生产要求, 严重阻碍农业发展。

在此国民经济日益增长、农业用水日益紧缺和水环境问题日益严重的条件下, 胶东半岛人民十分重视农业高效用水, 经过较长期的逐步实践, 探索出一条适合本地区农业高效用水和水资源可持续利用的途径, 改变了区域农业用水的思路: 从传统的不惜耗竭水资源、破坏生态环境的农业用水模式转变为能支撑区域经济可持续发展的节水农业模式, 为我国北方沿海地区提供了十分宝贵、可供借鉴的实践经验。

《胶东半岛农业水资源现代管理技术》一书正是以胶东半岛的实例分析为基础, 从区域水资源管理配置出发, 对农业水资源(地表水、地下水)优化调度、农作物节水高产灌溉制度、农业水资源信息化管理技术及新型的农业水资源运行管理机制等多个方面进行了全面介绍。本书较全面、系统地总结分析了农业水资源现代化高效管理技术, 贯彻了“水资源可持续利用”、“建设节水防污型社会”、“人水和谐”等现代用水、治水与管水理念, 具有较强的创新性,

亦有较高的实用价值。本书的出版将对我国北方沿海地区以及其他条件类似地区农业高效用水技术水平的提高起到积极的促进作用。

中国工程院院士



2008年7月

## 前 言

20 世纪 80 年代以来,随着城市建设、工农业发展和人口的增长,水资源供需矛盾日趋突出。21 世纪中叶,我国将实现社会主义建设的第三步战略目标,人民生活达到中等发达国家的水平。既要支撑社会经济的可持续高速发展,又要逐步改善生态环境,这是 21 世纪我国水利事业面临的巨大挑战。

众所周知,农业是我国的用水大户,为了适应社会经济的发展,我国用水结构必须进行大的调整,提高城市生活、生态和工业的用水比重,压缩农业用水量,目前全国许多大、中型水库已由原来的以农业供水为主转向以城市生活和工业供水为主。一方面农业水资源减少,另一方面还要满足粮食发展的需求,我国 21 世纪初期农业发展的目标要求在农业用水量 4 000 亿~4 200 亿  $\text{m}^3$  前提下,满足 16 亿人口粮食需求,可见农业用水危机日趋严重。

正因为如此,国家非常重视农业的高效用水工作,党的十五届三中全会强调指出:“把推广节水灌溉作为一项革命性措施来抓,大幅度提高水的利用率,努力扩大农田有效灌溉面积。”科技部于“九五”、“十五”期间,对山东省分别下达了国家重大科技产业工程项目专题“灌溉水源联网调度类型区农业高效用水模式与产业化示范”、国家“863”计划课题“华东北部半湿润偏旱井渠结合灌区节水农业综合技术体系集成与示范”等研究项目,作者有幸作为主要执行人完成了项目的攻关研究工作,对山东省胶东半岛区农业用水管理的现状和发展有着较为深刻的思考。

本书正是以作者在山东省水利科学研究院多年来的实践经验和研究成果为基础,并吸收了山东省近年来在农业用水管理方面的新成果而完成的。全书既注重实用性,又兼顾理论性,既注意总结传统管理技术的新提升,又提炼吸收了农业用水管理的新技术,内容丰富,充分展现了胶东半岛农业水资源的现代管理技术。

本书由济南大学、山东省水利厅、山东省水利科学研究院、山东黄河河务局的人员共同编著。全书共分八章,第一章由徐征和、赵琳执笔,第二章由徐立荣、徐征和执笔,第三章由邢立亭、李遵栋执笔,第四章由徐征和、李遵栋执笔,第五章由徐征和、李遵栋执笔,第六章由赵琳、徐征和、韩合忠执笔,第七章由孔珂、徐征和执笔,第八章由徐征和、赵琳、李遵栋执笔。全书由徐征和修改定稿。

本书得到了济南大学科研基金项目(XKY0731)、国家自然科学基金(40672158)和山东省重点学科基金项目资助。

由于水平有限,书中难免有不妥之处,诚请读者批评指正。

作 者

2008 年 7 月

# 目 录

序	茆智
前 言	
第一章 农业水资源现代管理技术的内涵 .....	(1)
第一节 现代农业对用水管理现代化的要求 .....	(1)
第二节 农业水资源的特点 .....	(4)
第三节 农业水资源现代化管理技术 .....	(8)
第二章 胶东半岛的基本概况 .....	(10)
第一节 自然条件 .....	(10)
第二节 胶东半岛农业水资源的应用现状 .....	(15)
第三节 建立胶东半岛农业水资源现代化管理技术体系 .....	(18)
第三章 胶东半岛农业用水的区域优化配置 .....	(20)
第一节 水资源优化配置的基本概念 .....	(20)
第二节 区域水资源优化合理配置 .....	(24)
第三节 农业用水优化配置 .....	(33)
第四章 地表水、地下水联合优化调度大系统管理模型 .....	(46)
第一节 典型区水资源开发利用基本情况分析 .....	(47)
第二节 地表水、地下水优化效益大系统管理模型 .....	(52)
第三节 地表水、地下水优化管理模型的计算与分析 .....	(56)
第四节 多水源联网供水的优化分配 .....	(62)
第五节 地表水、地下水调度的监测与管理 .....	(67)
第五章 现代化节水高效的灌溉制度 .....	(75)
第一节 山东省充分灌溉条件下的节水灌溉制度 .....	(75)
第二节 山东省非充分灌溉(限额灌溉)条件下的灌溉制度 .....	(79)
第三节 胶东半岛主要农作物的节水高效灌溉制度 .....	(87)
第六章 提高农业用水效率的现代化运行管理机制 .....	(118)
第一节 现代化农业高效用水管理模式的内涵 .....	(118)
第二节 现代化农业用水管理模式 .....	(119)
第三节 关于现代化农业高效用水运行机制改革的思考 .....	(124)
第七章 区域农业用水的水权与水价体系 .....	(128)
第一节 区域农业用水的水权与水市场 .....	(128)
第二节 农业灌溉水资源的价格体系 .....	(139)
第三节 水市场价格的宏观调控 .....	(148)

<b>第八章 农业水资源信息化现代管理技术</b> .....	(151)
第一节 区域水资源信息管理系统 .....	(151)
第二节 果树微灌现代化自动监控管理技术 .....	(167)
第三节 温室大棚蔬菜微灌自动化控制管理技术 .....	(175)
第四节 农业用水管理的灌溉预报技术 .....	(179)
第五节 灌区信息化用水管理技术 .....	(186)
<b>参考文献</b> .....	(200)



# 第一章 农业水资源现代管理技术的内涵

## 第一节 现代农业对用水管理现代化的要求

### 一、现代农业的概念

现代农业是以资本高投入为基础,以工业化生产手段和先进科学技术为支撑,有社会化的服务体系相配套,用科学的经营理念来管理的农业形态。与传统农业相比,现代农业可谓有了“脱胎换骨”的变化。现代农业是一种“大农业”,它不仅包括传统农业的种植业、林业、畜牧业和水产业等,还包括产前的农业机械、农药、化肥、灌溉和地膜,产后的加工、储藏、运输、营销以及进出口贸易等,实际上贯穿了产前、产中、产后三个领域,成为一个与发展农业相关、为发展农业服务的庞大产业群体。

现代农业以科学技术为强大支柱。现代农业是伴随着科学技术的发展而发展的,并随着现代农业科学技术的创新与突破而产生新的飞跃。19世纪30年代,细胞学说的提出使农业科学实验进入了细胞水平,突破传统农业单纯依赖人们经验与直观描述的阶段。19世纪40年代,植物矿质营养学说的创立,有力地推动了化学肥料的广泛应用与化肥工业的蓬勃发展,标志着现代农业科学的一个新起点。19世纪50年代,生物进化论的问世,揭示了生物遗传变异、选择的规律,奠定了生物遗传学与育种学的理论基础。20世纪初,杂交优势理论的应用,带来玉米杂交种的产生与大面积推广。信息技术的发展和应用,加快了现代农业发展的节奏,信息技术尤其对科学技术的传播、市场供求的对接等起到了革命性的推动作用。

现代农业的核心是科学化,特征是商品化,方向是集约化,目标是产业化。它的基本特征是:①一整套建立在现代自然科学基础上的农业科学技术的形成和推广,使农业生产技术由经验转向科学,使多学科农业科学技术综合集成与应用;②现代机器体系的形成和农业机械的广泛应用,使农业由手工畜力农具生产转变为机器生产;③良好的、高效能的生态系统逐步形成;④农业生产的社会化程度有很大提高,“小而全”的自给自足生产被高度规模化、专业化、商品化的生产所代替;⑤经济数学方法、电子计算机等现代科学技术在现代农业管理中运用越来越广,管理方法显著改进。现代农业的产生和发展,大幅度地提高了农业劳动生产效率、土地生产率和农产品商品率,使农业生产、农村面貌和农户行为发生了重大变化。

### 二、现代农业的用水特点

水是农业的命脉,既然现代农业的核心是科学化,必然要求农业水资源的开发、利用、节约、保护、配置、管理科学化,一方面要保证区域水资源的可持续利用,以水资源的可持

续利用支撑区域农业乃至社会经济的可持续发展;另一方面,农业乃至社会经济的发展要适应区域水资源条件,以人与自然和谐相处为理念,走自律式发展道路。就目前的发展阶段来看,我国的水资源紧缺,工农业用水矛盾紧张,发展节水农业是现代农业发展的必然趋势。因此,现代农业的用水发展具有以下特点:

(1)大力推进适应性种植,注重提高生产力和改善生态环境技术同步发展。重视生态环境的保护和水资源的持续利用管理,兼顾生产、水资源持续利用和环境保护的目标。

(2)重视农艺节水技术的应用,提高内在的增产潜力。一是充分利用土壤水库的调蓄功能;二是重视耐旱作物种类及品种的选育和应用。澳大利亚学者发现,农田培肥是农业得以持续的基础,土壤有机质衰竭将导致土壤结构破坏,这一恶化过程是缓慢的,30~50年才明朗化,但后果却是致命的。因此,应把土壤地力建设和管理作为农业节水技术的重点。任何区域的灌溉农业都是建立在充分利用自然降水的基础上,通过土壤地力和生物技术的结合,确保水资源的可持续利用,降低农业生产成本。

(3)加强节水农业技术产业化发展,形成系列配套的农业节水灌溉设备系列,以支撑不同作物不同形式节水模式的推广。

(4)构筑高效的管理体制和运行机制,辅以现代化的运行管理技术,来保证农业节水技术的有效实施和高效率的运行。应该说,这是我国目前农业高效用水的劣势所在,需要我们予以加强的,也是本书阐述的主要内容。

(5)建立综合节水农业技术体系,把传统的农业节水技术与现代技术相结合,节水农业是一项农业、水利、农机、生物等多种技术紧密结合,水、土、作物资源综合开发的宏大的系统工程,只有将其作为系统问题对待,才能作出全面合理的节水技术对策,避免技术的相互脱节和重复建设。

### 三、现代农业对农业用水的要求

#### (一)科学制定农业用水综合发展规划

为适应水资源日趋紧缺的现实,制定农业用水规划首先要更新观念,即农业用水原则必须从“以需定供”转变为“以供定需”,据此研究确定不同区域水资源的承载力,提出与之相适应的农业发展规模与速度,以实现农业水资源供需的基本平衡。其次,应建立广义的水资源概念,即不但要重视可控的地表水和地下水,而且要重视整个天然降水。在制定农业节水规划时统筹考虑节水灌溉和旱作农业;在评价某一地区水资源状况时应全面看待各种水资源。建立与水资源相适应的农业结构,即节水型农业结构,这是一个被忽视的难点问题,为了实现大量节约农业用水目标也必须予以充分重视。

#### (二)建设农业用水的技术体系

农业节水是从水源到田间、从土壤到作物的综合节水技术的应用,涉及水利、农业、材料、经济、政策、管理等多方面的内容,是多学科、多技术的高度集成,是一个完整的体系。包括农学范畴的节水(作物上生理蓄水、农田水分调控)、灌溉范畴节水(灌溉工程、灌溉技术)和农业管理节水(政策、规划、体制)等。

农业节水技术是一个复杂的系统工程,水资源的合理利用是节水的基础。节水工程技术是通过改变输水方式实现农业节水的重要手段,是农业节水中投资最大的部分,节水

农业技术则是从根本上减少农业用水量,提高水分利用效率的综合措施,节水农业技术虽然投入不高,但节水增产效果是非常明显的。管理节水是以上各项节水技术的保证,没有良好的运行管理机制,农业高效用水是难以实现的。

### (三) 加快高效用水的农业节水工程建设

按照现代农业节水的要求,并不是节水工程单位面积投资大节水水平就达到现代化水平。现代农业节水工程技术至少符合以下条件:工程建设符合现有规范和标准要求;工程技术选择合理,因地制宜;技术应用满足水资源可持续利用的要求;管理水平高;工程技术与管理技术、农艺节水技术有机结合。农业节水工程包括渠道防渗技术、管道输水灌溉技术、喷灌和微灌技术、田间地面灌溉技术及自动化控制灌溉系统等。到2006年,山东省农业节水工程面积仅占有效灌溉面积的60%左右,高标准工程不到节水灌溉面积的20%。山东省农业节水工程建设任务还很重,特别是高标准农业节水工程还很少,这与我国的情况很类似。农业节水工程是农业节水的重要基础,必须加快发展高效用水的农业节水工程。

### (四) 大力推广农艺节水措施

山东省人多、地少、水资源不足,必须重视农艺节水措施,加强农艺节水措施与工程节水技术的结合,在提高灌溉水利用率的同时,注重提高水分生产率。充分利用天然降水,在合适的地区推广旱地农业增产技术,减少水资源紧缺的压力,提高水资源的利用率,促进区域水资源的可持续开发利用和经济发展,建设节水型的高产、优质、高效农业。

### (五) 全面提高农业用水的管理水平

#### 1. 优化配置农业用水资源

降水、地表水、地上水、地下水是密切联系并相互转化的水循环整体,只有对以上不同水源进行合理开发利用,才能维持水的良性循环。自然降水的有效利用,是实现农业高效用水、提高水分生产率的重要环节。通过调蓄措施充分利用降水,因地制宜地建立不同类型的地表、地下水库。地表水、地下水联合运用是水资源合理开发利用优化配置的方向。地表水、地下水优化配置的技术关键是合理调控地下水埋深,统一旱涝、灌排、采补之间的矛盾。井渠结合的灌溉方式是实现地表水、地下水联合运用的最有效的方式。

#### 2. 实施高效用水的灌溉制度

灌溉制度是指作物的灌水时间、灌水次数、灌水定额、灌溉定额的总和,确定作物合理节水灌溉制度,对于计划用水、科学配水和提供灌水决策至关重要。节水灌溉制度是把有限的灌溉水量在作物生育期内进行最优分配的过程,节水灌溉制度是节水灌溉管理技术的重要组成部分,是一种费省效宏的非工程节水措施。

#### 3. 提高农业节水的现代化管理水平

我国农业用水改革正在不断深化,新技术、新设备在灌溉用水管理中的应用与发达国家相比,目前还存在一定的差距,提高农业节水的现代化管理水平,对推动当前农业节水的发展至关重要。

随着电子技术、计算机技术的发展,应用半自动和自动量水装置,可大幅度提高灌区的量水效率和量水精度。应当加快推广现代化的测水量水技术,真正实行计划供水、按方收费,促进农民节约用水。

利用信息技术和自动控制等现代技术,可以对灌区气象、水文、土壤、农作物状况等数据进行及时的采集、存储、处理,编制出适合作物需水状况的短期灌溉用水实施计划,及时作出来水预报及灌溉预报。一旦来水、用水信息发生变化,可以迅速修正用水计划,并通过安装在灌溉系统上的测控设备及时测量和控制用水量,做到按计划配水,实现水资源的合理配置和灌溉系统的优化调度,使有限的水资源获得最大效益。

据专家预测,21世纪中叶以前,我国城市化水平可达到60%,城市人口将增加到9.6亿人左右,工业、生活用水将占总用水量的近50%。城市的迅速膨胀,工业、生活需水的不断增加必然对城市近郊农业用水造成严重威胁。如何保持城市近郊区农业的可持续发展,是农业节水中的重要研究内容。城郊区经济实力强,依托的科技力量雄厚,具备发展高新节水农业的有利条件。要首先发展现代化农业节水产业园区,实现高投入、高产出,将工业自动化的管理技术引入传统的农业管理,将灌溉节水技术、农作物栽培技术有机结合,通过计算机程序实现水、肥、环境因子的模拟优化,灌溉节水、作物生理、水肥耦合、温度、湿度等技术控制指标的逼近控制,实现现代化的农业节水管理。

## 第二节 农业水资源的特点

### 一、水资源总体贫乏,缺水严重

据水利部有关资料,我国平均年降水总量61 890亿 $m^3$ ,折合降水深648 mm,低于全球陆地平均降水量约20%。全国多年平均河川径流总量27 115亿 $m^3$ ,折合径流深284 mm。全国多年年平均地下水资源量8 288亿 $m^3$ ,其中山丘区地下水资源量为6 762亿 $m^3$ ,平原区为1 874亿 $m^3$ ,山区与平原区地下水的重复交换量约348亿 $m^3$ 。扣除地表水和地下水相互转化的重复量7 279亿 $m^3$ ,我国水资源总量约28 124亿 $m^3$ ,居世界第四位(见表1-1)。然而我国人口居世界之首,每人每年占有水资源只有2 200 $m^3$ ,是世界人均占有量的1/4。我国耕地每公顷平均占有水资源量21 622 $m^3$ ,相当于世界平均每公顷耕地占有量的1/2左右,可见我国人均、单位耕地面积的水资源量并不丰富,在世界上属于贫水国家。

表 1-1 我国水资源量与国外部分国家对照表

国家	水资源量(亿 $m^3$ )	排序	国家	水资源量(亿 $m^3$ )	排序
巴西	69 500	1	印度尼西亚	25 300	5
俄罗斯	44 980	2	美国	24 780	6
加拿大	29 010	3	孟加拉国	23 570	7
中国	28 124	4	印度	20 850	8

注:来源于1998年世界资源报告。

山东省是我国水资源十分缺乏的省份之一,全省多年平均降水量为676.5 mm,多年平均淡水资源总量305.82亿 $m^3$ ,仅占全国水资源总量的1.1%。而山东省人口却占全国总人口的7.1%,灌溉面积占全国有效灌溉面积的7.4%。全省每公顷占有水资源量为

4 605 m<sup>3</sup>,仅为全国平均占有量的 21.3%;人均占有水资源量 344 m<sup>3</sup>,仅为全国人均占有量的 15.6%,在全国各省(市、区)中位居倒数第三位。远小于国际公认的维持一个地区经济社会发展必需的人均占有水资源量 1 000 m<sup>3</sup> 的临界值,属于人均占有量小于 500 m<sup>3</sup> 的严重缺水地区。

## 二、国民经济发展迅速,农业用水危机加大

20 世纪 80 年代以来,随着城市建设、工农业发展和人口的增长,水资源供需矛盾日趋突出。20 世纪末,我国已实现社会主义建设的第二步战略目标,人民生活基本达到了小康水平。21 世纪中叶,我国将实现社会主义建设的第三步战略目标,人民生活达到中等发达国家的水平。既要支撑社会经济的可持续高速发展,又要逐步改善生态环境,这是 21 世纪我国水利事业面临的巨大挑战。众所周知,农业是我国的用水大户,1949 年农村用水量 1 001 亿 m<sup>3</sup>,占全国总用水量的 97.1%,其中农业灌溉用水量 907 亿 m<sup>3</sup>,占全国用水量的 88%;1997 年农村用水量 4 197 亿 m<sup>3</sup>,占全国总用水量的 75.4%,其中农业灌溉用水量 3 920 亿 m<sup>3</sup>,占全国总用水量的 70.4%。农业用水所占比重虽有所下降,但仍然很高,为了适应社会经济的发展,我国用水结构必须进行大的调整,提高第二产业、第三产业的用水比重,压缩农业用水量,目前全国许多大、中型水库已由原来的以农业供水为主转向以城市生活和工业供水为主。一方面农业水资源减少,另一方面还要满足粮食发展的需求,我国 21 世纪初期农业发展的目标要求在农业用水量 4 000 亿~4 200 亿 m<sup>3</sup> 前提下,满足 16 亿人口粮食需求,可见农业用水危机日趋严重。

山东省是我国的农业大省,改革开放 20 多年来,工农业生产迅速发展,城镇建设发展加快,城乡人民生活不断提高。山东省粮食产量占全国的 10%,国内生产总值占全国的 9.3%。截至 2000 年,工业用水量比 1986 年增加 6.67 倍,生活用水量增加了 20 倍。国民经济迅速发展的同时也加剧了水资源的供需矛盾。目前,全省 32 座大型水库中有 20 座水库由农业用水转向城市供水,胶东半岛地区尤为突出,农业用水面临严峻的形势,胶东半岛的农业因缺水灌溉,大面积减产现象时有发生,沿海、内陆地区井灌区地下水超采,沿海海水入侵面积不断扩大,全省海水入侵面积已超过 1 000 km<sup>2</sup>,内陆地区漏斗面积已达 1.75 万 km<sup>2</sup>。沿黄地区也由于黄河断流造成农业大面积减产,全省农业用水面临严峻挑战,农业的稳步发展面临严重危机。

## 三、农业用水工程标准低,技术比较落后,灌溉用水浪费

随着全球性水资源供需矛盾的日益加剧,世界各国,特别是发达国家都把农业高效用水列为农业发展的重要任务。

国外农业发展情况大致可分为四种类型。一种是以美国、澳大利亚等西方发达国家为代表的经济发达、水资源比较丰富的国家;一种是以以色列为代表的经济发达、水资源紧缺的国家;一种是经济不发达、水资源比较丰富的发展中国家;第四种是以中国、印度为代表的经济欠发达而水资源紧缺的国家。由于各国经济、水资源及管理方式的不同,农业节水发展进程也有差别。

首先对比分析国内外的用水情况,由表 1-2 数据可分析出以下结论:中国、美国水资

源开发率分别为 19.8%、18.8%；以色列水资源开发率已达到 95%，利用程度之高，世界上绝无仅有；印度水资源开发利用率达到 29%。除美国农业用水占总用水量的 42%，其他国家农业用水量占 72%~83%，单位国民经济生产总值耗水量，中国是美国的 13 倍，是澳大利亚的 19 倍，是以色列的 38 倍，是印度的 1/2。中国目前仍处于水资源消耗的发展阶段，主要表现在农业上，印度农业用水则更加浪费。

表 1-2 各国用水量与用水结构对比

国家	总用量 ( $\text{km}^3/\text{a}$ )	人均用水量 ( $\text{m}^3/(\text{人}\cdot\text{a})$ )	水资源开 发利用率 (%)	单位 GDP 用水量 ( $\text{m}^3/\text{万元}$ )	占总用水量(%)			
					农业	工业	生活	其他
中国	556.6	458	19.8	1 041	75.3	20.2	4.5	
印度	605	630	29	2 448	83	3.3	5	8.7
以色列	1.9	328	95	27	72	5	16	7
美国	467	1 719	18.8	80	42	46	12	
澳大利亚	14.6	800	4.3	54	73	2	25	

注：数据来源于 ICID《Watersave Scenario》、FAO 数据库(1997)、《中国可持续发展水资源战略研究》。

发达国家人均农业产值均在 5 000 美元以上，是中国人均产值的 40 倍以上，是印度的 60 倍以上。其中重要原因是发达国家种植结构中粮食作物所占比例仅 21.8%~35.1%，另外人口少也是主要原因。发达国家单位农业产值耗水量 0.4~1.39  $\text{m}^3/\text{美元}$ ，而中国是 2.44  $\text{m}^3/\text{美元}$ ，印度更高；中国灌溉水粮食产出效率为 1.0  $\text{kg}/\text{m}^3$  左右，印度为 0.4  $\text{kg}/\text{m}^3$ ，而以色列为 2.3  $\text{kg}/\text{m}^3$ ，可见农业灌溉工程标准低、技术比较落后，灌溉用水浪费。

#### 四、农业用水技术的发展

##### (一) 国外农业用水技术的发展

发达国家农业用水工程是世界一流的高标准工程。如美国，采用喷灌技术、激光平整土地等先进的高标准节水工程，喷灌面积占有效灌溉面积的 45% 以上，先进的沟畦灌占地面灌溉面积的 80% 以上，采用激光平整土地面积占地面灌溉面积的 30%，农业现代化水平高，节水灌溉技术含量高。以色列采用高效的输水方式和省水的现代化灌溉技术，园艺作物和经济作物(果树)种植面积大，微灌占有效灌溉面积的 75%，喷灌占 25%，主要是采用现代化控制技术、工厂化生产模式。以色列的北水南调工程利用地下管道把各区域性供水系统通过泵站与国家输水工程连成整体，形成了统一调度、联合运用的巨大管网。苏联的喷灌面积也发展到占总灌溉面积的 40% 以上。德国、英国、奥地利、日本等旱地灌溉面积的 80% 以上采用喷灌，日本的灌区干管输水工程全部衬砌，配套完善，大部分采用了自动化控制技术。中国的喷灌、微灌灌溉面积仅占总灌溉面积的 3% 左右，印度喷灌、微灌面积占总灌溉面积的 1.6%。

在灌溉用水管理方面，以色列和美国都是借助先进的田间土壤监测、灌溉预报、气象自动监测等技术为用水者提供准确的灌溉信息。在园艺作物种植地区，采用自动控制技

术,实施水肥同步协调控制。采用计算机、电测、遥感等技术实行灌溉管理自动化是发达国家节水管理技术的发展方向。在美国,大型灌区都有调度中心,实行自动化管理;许多灌区还采用卫星遥感技术,进行灌溉用水量估算。日本新建和改建的灌区大多从渠首到各分水点都安装有遥测遥控装置,中央管理所集中检测并发布指令,遥控闸门、水泵的启闭,进行分水和配水。以色列不论大小灌区,全部采用自动化控制,在灌溉季节前编好程序,灌水时按程序自动灌水。

研究农业经济用水和建立灌溉用水信息管理系统已成为一些国家关注的领域,利用以计算机为中心的现代化信息技术和优化方法,及时准确地采集、传输、存取和加工处理水资源信息,为管理部门提供用水决策和选择最佳运行方案。如美国加州 CIMIS 灌溉管理信息系统,包括由设在重点农业区的 70 多个气象站组成的网络,每个站的观测数据在每晚自动传输到水资源局计算中心,中心将得到的信息加工处理后存入 CIMIS 数据库,提供给各气象站使用。

### (二) 我国农业用水技术的发展

近年来,党中央、国务院对农业高效用水也高度重视,党的十五届三中全会强调指出:“把推广节水灌溉作为一项革命性措施来抓,大幅度提高水的利用率,努力扩大农田有效灌溉面积。”江泽民同志 1999 年指出:“当前要把节约用水作为一项紧迫的首要任务抓紧抓好,改变大面积漫灌这种粗放式的耕作方式,实现农业集约式发展。”温家宝同志 1999 年指出:“发展节水农业是灌溉领域一次全面、深刻的变革,是我国传统农业向现代化农业转变的重大战略举措。”在各级政府的大力支持下,经过多年的实践和探索,我国在农业节水灌溉技术的研究、节水灌溉设备的开发和生产、节水灌溉工程的示范推广、节水灌溉技术服务体系的建立等方面做了大量工作,积累了一定的经验,初步形成了具有中国特色、适合国情的节水灌溉模式和技术推广服务体系。

虽然农业节水取得了较好的成绩,但仍存在一些问题需要解决,大型灌区老化失修,特别是骨干工程老化失修的趋势没有得到根本扭转,许多工程带病运行,输水能力下降,不能正常地发挥效益;农业节水政策法规不健全。节水灌溉方面的政策、法规和规章制度建设相对滞后,农业灌溉用水管理体制不适应市场机制的要求;农业灌溉水价偏低难以发挥价格杠杆的作用,不利于农业节水技术的推广;农业节水投入机制未理顺,缺少稳定的投入渠道,远不能满足节水灌溉的发展需要;节水灌溉设备的生产规模和产品质量还不能完全满足节水灌溉的发展需要;节水灌溉设备的技术监督和质量检测工作亟待加强;节水灌溉制度的研究和应用仍是薄弱环节;认识不到位,我国水资源短缺的严重性,水资源对生态环境、国民经济和社会发展造成的影响还远未引起人们的足够重视。

### (三) 山东省农业节水技术的发展

20 多年来,山东省农业节水方面取得了显著成效,特别是近 10 年来,农业用水总量变化很小,灌溉定额呈递减趋势,全省农业节水的格局基本形成。胶东半岛已经建立了以高效节水工程为主,面向经济作物的农业高效用水区。全省井灌区基本实现了标准化畦田地面灌溉与低压管道输水相结合的节水灌溉方式。引黄灌区正在向黄河水与地下水联合运用、分级供水、按方收费的方向发展,引黄补源、以井保丰、井渠结合的农业用水模式已发挥出显著节水增产效益。全省已发展到 5 个百万亩节水示范区、6 个节水示范市、25

个全国节水增产重点县。大中型灌区的续建配套工程正在全面完善建设,城郊区现代化农业节水示范区发展迅速,全省单一工程节水的格局正在向工程节水与农艺节水、管理节水相结合的综合节水方向发展。21世纪初山东省国民经济发展的总体规划要求:工业发展速度要迅速提高,城市化发展要加快,城乡生活水平不断提高,生态环境进一步改善,因此水资源需求量还要加大。山东省开源增加水资源的难度越来越大,解决水资源供需矛盾的关键之一就是实现全省农业的全面高效用水,使农业用水实现零增长。虽然山东省农业节水的发展水平处于国内领先地位,但与国际先进水平相比差距较大。全省灌溉水利用系数不到0.6,粮食水分生产率仅 $1.0 \text{ kg/m}^3$ 左右,农业节水还有较大的潜力。农业用水的挑战与机遇并存。目前,山东省农业节水面临着许多亟待解决的问题:一是全民对农业节水的重要性仍然认识不足,一些地方只注重建设形象工程,不考虑实际需要,不考虑节水效益,不重视节水管理,以至于节水工程不能很好地发挥效益;二是农业节水体制未理顺,缺乏长期稳定的投入渠道,农业节水关系到国民经济持续发展 and 水资源可持续利用,农业节水向城市提供了供水保障,促进了工业与城市的发展以及生态环境的改善,对此,一些人却不能从国民经济可持续发展高度去认识农业节水的重要意义,仍认为农民群众是节水投入的主体;三是由于对农业节水投入力度不够,农业节水工程标准不高,目前全省节水灌溉面积仅占有效灌溉面积的34%,灌溉水平难以提高;四是促进农业节水的法规政策及有效管理体系尚未形成,缺乏农业高效用水的约束机制,农业的高效用水难以实现;五是缺乏农业节水综合技术体系的支撑,影响了全省农业节水向更高层次发展。以上问题制约了山东省农业节水的快速发展,制约了农业水资源的可持续高效利用,正因为如此,才必须应用推广现代化的农业水资源管理技术。

### 第三节 农业水资源现代化管理技术

农业用水现代化的管理技术是遵循“资源水利——人与自然和谐相处”的原则,运用现代先进的科学技术和手段,充分发挥水资源多功能作用,不断提高水资源利用效率,改善水环境和生态,以实现水资源的可持续发展来保障经济社会的可持续发展,为之进行的水事活动所有动态过程、结果和特点。其基本特征为:一是实现水资源可持续利用;二是建立节水防污型社会;三是恢复和建设良好的水生态系统;四是实现水资源的优化配置;五是坚持体制、机制和科技创新。

现代化标准是衡量农业用水管理现代化水平的核心问题,至今还没有形成统一的客观评价标准体系,由于现代化是一个动态发展过程,则客观的现代化标准体系也只能在农业用水管理现代化发展过程中不断加以总结和完善,现阶段综合水利部、广东、江苏及山东等地的研究成果,本书对农业用水管理现代化标准提出如下几条:①区域农业用水高保证率的水资源配置体系;②高质量的水环境保护体系;③建立起广泛性的节水型农业产业结构体系;④高效统一的农业水资源管理运行机制;⑤建立完善的具有自主知识产权的前沿性水利科学技术及支撑服务体系;⑥形成完善的水管政策法规体系和执法体系;⑦建立一支综合素质高的水利管理人才队伍。

围绕农业用水管理现代化的评价标准,农业水资源的现代化管理主要体现在以下几



个方面:

- (1) 农业用水的区域优化配置。
- (2) 区域地表水、地下水的联合调度。
- (3) 现代化节水高效的灌溉制度。
- (4) 提高农业用水效率的运行管理机制。
- (5) 区域农业用水的水价体系。
- (6) 农业水资源的信息化现代管理技术。