

北方农业 节水理论与 技术研究

王殿武 迟道才
张玉龙 等 编著

BEIFANG
NONGYE
JIESHUI
LILUN
YU
JISHU
YANJIU

北方农业 节水理论与 技术研究

王殿武 迟道才
张玉龙 等 编著

内 容 提 要

本书对农业节水灌溉理论、工程节水、农艺节水、管理节水及农业节水评价等方面进行了系统深入的研究,构建了先进、实用、具有北方特色的农业节水理论和技术集成体系。一是在理论研究方面:提出了水稻土壤水分能量调控标准,旱田潜水蒸发系数的幂函数和指数函数经验公式,农业灌溉水平衡测试及分析评价方法;建立了旱田年降雨入渗补给系数的经验模型、节点渗灌土壤水分运动模型、河库联合农业供水优化模型以及水稻水分生产函数动态产量模型,水稻水位生产函数,一井灌两田、提高单井利用率的优化模型;成功开发应用了节点渗灌新模式。二是在应用技术研究方面:提出了大田、经济等各类作物在不同灌水形式下的高效节水灌溉制度和操作管理模式。三是在管理节水研究方面:探索并提出了具有沈阳地域特色的两种自主灌排区管理(SIDD)模式。本书可供相关决策、科研、工程技术人员和大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

北方农业节水理论与技术研究/王殿武等编著. —北京:
中国水利水电出版社, 2009

ISBN 978-7-5084-5974-5

I. 北… II. 王… III. 农田灌溉—节约用水—研究—中国 IV. S275

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 163685 号

书 名	北方农业节水理论与技术研究
作 者	王殿武 迟道才 张玉龙 等 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 63202266 (总机)、68367658 (营销中心) 北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市地矿印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 39 印张 925 千字
版 次	2009 年 2 月第 1 版 2009 年 2 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	115.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

《北方农业节水理论与技术研究》

编写委员会

主 任：王殿武

副主任：张玉龙 迟道才

主要编写人员：

王殿武 迟道才 张玉龙 薛雪娟 王 才

参加编写人员：

李 里	彭贺志	代影君	李明宇	张广涛
周永德	李忠心	孟维忠	栾天新	李 松
赵晓明	赵忠柱	邓程林	许海军	梁凤国
辛云峰	吴法伟	高仕斌	郭维东	曹广祝
虞 娜	孙宝杰	李旭春	黄立春	唐 辉
蔺 聪	许晓艳	宋 楠	张治琴	田 英
闻绍轲	王洪斌	王兴泽	李洪利	刘 丹
郭 锐	姜国辉	孙仕军	夏桂敏	黄 毅

前

言

水、能源、人口、环境形成了当今世界的四大热点问题。其中水资源是各种资源中不可替代的一种重要资源，水资源问题已成为举世瞩目的重要问题之一。我国水资源总量为 2.8 万亿 m^3 ，人均水量不足 2200 m^3 ，仅为世界人均水量的 1/4，居世界第 110 位。我国水资源总量中，可用水储量只有 1.1 万亿 m^3 ，而目前用水量已达 5600 亿 m^3 ，全国 669 个城市中有 400 多个供水不足，其中 110 个严重缺水，日缺水量达 1600 万 m^3 。因缺水影响到 4000 万城市人口的正常生活，每年造成工业损失 2000 多亿元。每年农田受旱面积 3 亿~4 亿亩，平均因旱减产粮食 250 亿~300 亿 kg，占各种自然灾害损失总量的 60%。水资源日益短缺已成为制约我国经济和社会发展的“瓶颈”，且农业用水始终是水量的大户，是造成水资源短缺的主要矛盾。我国灌溉面积不足总耕地面积的一半，农业灌溉用水量占总用水量的 60% 以上，约 3500 亿 m^3 ，灌溉水的利用率只有 40% 左右。也就是说每年经过水利工程引、蓄水过程的 3500 亿 m^3 水量，有一半以上是在输水、配水和田间灌水过程中被白白浪费掉。我国每立方米水生产粮食不足 1kg，而发达国家的灌溉水利用率可达 80%~90%，每立方米水生产粮食为 2kg 以上，以色列已达到 2.32kg。可见，我国与发达国家的差距是很大的。如果采用先进的农业节水技术将全国已建成灌区灌溉水利用率提高 20%~40%，即使灌溉水的利用率达到 60%~80%，则每年可节约水量约 700 亿~1400 亿 m^3 。若按农作物利用的水量占灌溉用水的 1/3 左右考虑，仅辽宁省农业灌溉用水的节水潜力就达 60 亿 m^3 以上。

综上所述，解决水资源短缺问题已经成为经济社会发展面临的突出问题。由于农业是用水大户，其用水量约占全国用水总量的 70%，在西北地区则占到 90%，其中 90% 用于种植业灌溉，而且节水潜力巨大。因此，为了应对日趋严重的缺水形势，建立节水型社会、发展节水农业是一种必然选择，尤其对于北方地区发展节水农业是解决供水危机的首要途径，同时，也是建设现代农业本身的需要。水土资源的高效利用，经济、生态、社会效益的紧密结合是可持续农业所追求的一个目标，而根据水资源状况和农业需水规律所实施的节水灌溉便是达到这一目标的重要一环。为此，必须打破传统的农

业用水观念，建立起一个适应现代社会和现代农业发展需求的农业供水体制。从这个意义上说，节水农业就是现代农业，节水灌溉属于科学灌溉，农业节水的核心是节水灌溉，而节水灌溉的大力发展，需要有先进的理论和技术支撑。由此可看出，出版《北方农业节水理论与技术研究》一书意义十分重大。

为此，针对我国北方地区建立和发展节水型农业存在的突出问题，结合辽宁省发展节水灌溉的实际条件，在借鉴国内外先进成果和已有研究基础上撰写了《北方农业节水理论与技术研究》。该项目正式列入国家水利部“948”科技创新与转化项目计划（CT200516）及辽宁省水利科技指导性计划（200507），同时，还得到了辽宁省自然科学基金（2005230002）的资助。

根据国际发展农业节水的成功经验及最新成果，在对国内外节水灌溉理论与技术系统分析研究的基础上，重点开展了农业用水现状及节水潜力分析研究、北方水稻节水理论与技术研究、沈阳市利用世界银行贷款发展节水灌溉新技术研究与推广、辽河、浑河和太子河流域（以下简称辽浑太流域）农业灌溉水平衡测试研究，并利用辽宁省台安径流实验站进行了典型水田灌溉优化模型研究。研究内容主要包括发展节水灌溉的重大意义、节水灌溉新理念的应用以及工程节水、农业节水、管理节水等方面。在节水灌溉理论方面主要进行了多个灌区灌溉水利用效率的测定，水田渗漏补给系数、水田土壤水分损失速率的确定，地下水开采对水田渗漏程度的影响等实验研究，水资源现状及农业水资源需求研究，节水灌溉内涵及途径，节水农业体系及节水潜力，涉及三大河流和七大水库的450万亩水田农业灌溉水平衡测试。通过试验研究从农业水资源循环和平衡角度探求不同种植结构、不同土壤类型的最佳灌溉原理及理论依据，农业节水灌溉理论模型和灌溉模式等。在工程节水方面主要进行了农业节水灌溉新技术应用研究，日光温室花卉、蔬菜微灌的真实节水应用研究，保护地节水灌溉技术应用研究。结合辽西干旱半干旱地区农业高效节水集成模式示范区建设，以及沈阳市世行节水灌溉项目灌溉水利工程和农田水利设施建设内容实施重点进行了渠道防渗、低压管道、喷灌、微灌工程节水技术应用研究；在现有保护地灌溉技术分析研究基础上，对现有保护地主要灌溉方式与技术进行了系统分析总结，为北方地区农业节水灌溉冷、暖棚项目实施提供了科学依据，并开展了实施后的监测分析评价研究，形成了先进的保护地节水灌溉技术体系。在农业节水措施方面：主要进行了水稻节水栽培技术的应用研究、主要旱田作物和经济作物的农业节水措施以及化学药剂节水的應用研究。在管理节水方面：主要研究了参与式灌溉管理模式在沈阳市的适用性及其可推广性。重点结合沈阳市利用世行贷款发展节

水灌溉项目，在项目区引进国外先进的灌溉管理模式——自主管理灌排区，并结合沈阳市项目区的实际情况，探索出一条适合沈阳市推广应用的灌溉管理新模式，即具有沈阳特色的 SIDD 典型模式。从而为沈阳、辽宁省乃至全国的灌区管理体制改革的提供值得借鉴的经验。同时开展了工程、农业、管理等措施集成应用的节水效果及效益的监测评价及分析研究，为准确评价北方节水农业，尤其是评价世界银行贷款农业节水灌溉项目“真实节水、农民增收、水资源可持续利用”三大目标提供了科学的量化指标。本研究经规模化应用推广后已取得了显著的经济、环境、社会效益。

作者

2007 年 12 月

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 水资源现状及农业水资源需求情况	1
第二节 农业节水的内涵及其途径	6
第三节 农业节水理论与技术研究现状及发展趋势	11
第四节 本项目研究的目的及重大意义	31
第二章 农业节水对水资源承载能力的影响	35
第一节 水资源承载力的涵义及分析方法	35
第二节 典型区域水资源承载能力	39
第三节 农业节水对水资源可持续利用的重要影响	50
第三章 农业节水原理及理论模型	59
第一节 水稻节水机理	59
第二节 保护地经济作物节水增产机理	68
第三节 地膜覆盖灌溉条件下节水增产试验	76
第四节 水稻节水灌溉理论模型	85
第五节 保护地微灌节水灌溉模型	98
第六节 农田水分循环与转化规律	109
第四章 农业高效节水灌溉制度试验研究	145
第一节 节水灌溉制度的定义及涵义	145
第二节 水稻节水灌溉制度试验	147
第三节 保护地主要作物节水灌溉制度试验	159
第四节 高效节水灌溉制度设计	171
第五章 农业灌溉水利用系数及农田耗水	182
第一节 农业灌溉水利用系数涵义及测算方法	182
第二节 农业灌溉水利用系数测算	190
第三节 田间耗水量研究	202
第四节 农业灌溉耗水量	211
第六章 农业灌溉水平衡测试	213
第一节 农业灌溉水平衡测试的意义	213
第二节 辽河、浑河、太子河灌溉期水平衡测试监测站网布设	215

第三节	农业灌溉期水平衡测试分析评价	236
第四节	农业灌溉水资源平衡分析模型	262
第七章	农业节水模式	276
第一节	井渠结合灌溉工程模式	276
第二节	井灌水源喷灌工程典型模式	282
第三节	微灌工程模式	301
第四节	管灌工程典型模式	323
第五节	渠道防渗工程典型模式	340
第六节	沈阳市浑蒲灌区渠道防渗模式研究成果	342
第八章	农业节水栽培技术	361
第一节	我国农田推广应用的先进节水技术	361
第二节	水稻节水栽培技术研究与应用	364
第三节	地膜覆盖及营养剂节水栽培技术应用试验研究	385
第四节	抗旱作物和耐旱品种栽培技术规程	392
第五节	地膜覆盖栽培技术规程	395
第六节	保水剂的应用及技术规程	400
第七节	秸秆还田技术的应用	404
第九章	农业高效节水集成模式	407
第一节	单井优化种植结构模式	407
第二节	一井灌两田效益优化模型	415
第三节	高效节水技术集成模式	423
第四节	稻—蟹—泥鳅生态农业模式	433
第十章	保护地节水灌溉新技术应用	446
第一节	保护地栽培发展现状及趋势	446
第二节	沈阳市保护地节水灌溉技术及特点	449
第三节	保护地节水灌溉工程的设计与安装	474
第四节	保护地节水灌溉水肥耦合技术	502
第十一章	自主管理灌排区 (SIDD) 研究及推广	521
第一节	自主管理灌排区 (SIDD) 的概念及特点	521
第二节	研究与推广 SIDD 的必要性与可行性	526
第三节	沈阳市推行 SIDD 的背景及实施过程	530
第四节	沈阳市实施 SIDD 的典型模式及实施效果	538
第五节	SIDD 在灯塔灌区的应用	549
第六节	SIDD 研究与推广的主要创新点	553
第七节	推行 SIDD 存在的问题及今后发展方向	555

第十二章 北方农业节水效益分析	557
第一节 沈阳市世界银行贷款发展节水灌溉项目效益分析.....	557
第二节 辽浑太河大型水库农业水资源灌溉效益分析.....	562
第三节 北方水稻节水效益分析.....	564
第四节 农业工程节水模式效益分析.....	566
第五节 保护地节水灌溉新技术应用成效分析.....	577
第六节 农业高效节水集成模式效益分析.....	587
第七节 SIDD 效益分析	590
第八节 农业节水体系及节水增产效果.....	592
研究结论	594
参考文献	608

第一章 绪 论

第一节 水资源现状及农业水资源需求情况

一、世界及我国水资源状况

水、能源、人口、环境形成了当今世界的四大热点问题。其中水资源是各种资源中不可替代的一种重要资源，水资源问题已成为举世瞩目的重要问题之一。地球表面约有70%以上面积为水所覆盖，其余约占地球表面30%的陆地也有水存在，但只有2.53%的水是可供人类利用的淡水。由于开发困难或技术经济的限制，到目前为止，海水、深层地下水、冰雪固态淡水等难被直接利用。比较容易开发利用的、与人类生活生产关系最为密切的湖泊、河流和浅层地下淡水资源，只占淡水总储量的0.34%，还不到全球水总量的万分之一，因此，地球上的淡水资源并不丰富，若把一桶水比为地球上的水，可用的淡水只有几滴。随着经济的发展和人口的增加，全世界的用水量也在逐年增加。目前全球人均供水量比1970年减少了1/3，因为，在此期间地球上又增加了18亿人口。世界银行1995年的调查报告指出：占世界人口40%的80个国家正面临着水危机，发展中国家约有10亿人喝不到清洁的水，17亿人没有良好的卫生设施，每年约有2500万人死于饮用不清洁的水。目前，世界上已有超过1/2的陆地面积、遍及100多个国家和地区缺水，20亿人饮水困难。而人类正以每15年增加1倍的淡水需求消耗着水资源。截至目前，人类淡水消费量已占全世界可用淡水的54%。

世界的水资源分布也十分不均，除了欧洲因地理环境优越、水资源较为丰富以外，其他各洲都不同程度地存在一些严重缺水地区，最为明显的是非洲撒哈拉以南的内陆国家，那里几乎没有一个国家不存在严重缺水的问题；在亚洲也存在类似问题。例如，公元前每天人均耗水约12L，中世纪时人均耗水增加到20~40L，18世纪增加至60L，当前发达国家一些大城市人均每天耗水500L。在发展中国家，对水的需求量也日益增加。如我国，近20世纪80年代以来，城市用水量翻了几番。据联合国预计，到2025年，世界将近1/2的人口会生活在缺水的地区。水已成为制约众多国家经济社会发展、人民生活水平提高和环境生态维持、建设的重大问题了，水危机已经严重制约了人类的可持续发展。人们已深刻认识到，人类赖以生存的水，再也不是取之不尽，用之不竭的，世界上还没有找到任何一种物质可以替代水。

我国水资源总量为2.8万亿 m^3 ，人均水量不足2200 m^3 ，仅为世界人均水量的1/4，居世界第110位，我国水资源总量中，可用水储量只有1.1万亿 m^3 ，而目前用水量已达5600亿 m^3 ，全国669个城市中有400多个供水不足，其中110个严重缺水，日缺水量达1600万 m^3 。因缺水影响4000万城市人口的正常生活，每年造成的工业损失达2000多亿元。第二次全国水资源评价表明：①全国水资源总量2000年与1980年评价结果变化不

大。降水量为 61728 亿 m^3 ，水资源总量为 28405 亿 m^3 ，地表水 96%，不重复地下水 4%；②20 世纪 80 年代以来，北方地区水资源减少显著。黄淮海辽区降水减少 6%，地表水减少 17%，水资源总量减少 12%，海河区降水减少 10%，地表水减少 41%，总量减少 25%；③水资源分布不均。南多北少，山区多、平原少：南方面积占全国总面积 36%，占全国总人口 54%，耕地占 40%，GDP 占 56%，水资源量占 81%；北方面积占 64%，人口占 46%，耕地占 60%，GDP 占 44%，水资源量占 19%，其中黄淮海区水资源仅占 7%；④水资源年际年内变化大，开发难度大。降水和河川径流 60%~80%集中在汛期，北方最大年降水量与最小年降水量一般相差 3~6 倍，河川径流可差 10 倍以上；水资源可利用量有限；⑤全国水资源可利用总量为 8548 亿 m^3 ，占水资源总量的 31%，黄淮海区（2000 年一次性）供水量已接近可利用总量，个别地区超过可利用总量。

人类对水的需求量与日俱增，全世界 1975 年用水量为 3 万亿 m^3 ，1994 年为 4.3 万亿 m^3 ，2000 年为 7 万亿 m^3 。2030 年以后，水将供不应求；2050 年，缺水 2300 亿 m^3 ；2070 年，缺水 4100 亿 m^3 。我国年缺水总量约为 300 亿~400 亿 m^3 。全国 669 个城市，有 400 多个经常闹水荒，110 个严重缺水，年缺水量达 60 亿 t。近年来，平均每年有 318 座城市近 2200 万人因旱用水紧张。由于缺水，每年至少造成工业产值损失 2000 亿元。每年农田受旱面积 3 亿~4 亿亩，平均每年因旱减产粮食 250 亿~300 亿 kg，占各种自然灾害损失总量的 60%。全国用水量预测及农业用水占总用水量比重见表 1-1。据专家测算，在我国总量 2.8 万亿 m^3 水资源中，可利用的水资源为 8000 亿~9500 亿 m^3 ，预计到 2030 年，全国用水总量将达到 1.0 万亿 m^3 以上，即使尽量压缩，至少也将达 8000 亿 m^3 ，这将接近或超过我国可利用水资源的极限。毫无疑问，水资源日益短缺已成为制约我国经济社会发展的“瓶颈”，且农业用水始终是用水量的大头，是造成水资源短缺的主要矛盾。而要用约占世界 7% 的耕地养活目前占世界 22% 的人口以及未来增加到 16 亿甚至 17 亿的人口，农业又是确保的基础产业，过去、现在和将来吃饭问题始终是中国的的第一大问题，农业兴则国兴，农业稳则国家稳，农业发展了，整个国民经济就会健康发展。

表 1-1 全国用水量预测及农业用水占总用水量比重

项目 年份	农业用水		工业用水			生活用水		总用水 (亿 m^3)	农业用水 占总用水 (%)
	灌溉面积 (万 hm^2)	用水量 (亿 m^3)	产值 (亿元)	用水指标 (m^3 /万元)	用水量 (亿 m^3)	人日用水量 [L/(人·d)]	用水量 (亿 m^3)		
1990	4790	4400	23851	210	500	25	100	5000	88.0
1993	—	3850	—	—	1150	—	250	5250	73.3
2000	5492	3783	85674	133	1138	35	284	5205	68.8
2010	5700	5000	150984	120	1812	50	230	7042	71.0
2030	5700	5000	531460	90	4783	70	365	10148	49.3

由于缺水，导致受旱成灾面积不断扩大。20 世纪 50 年代全国受旱面积达 1333 万 hm^2 ，20 世纪 80 年代达 2333 万 hm^2 ，90 年代以来扩大到 2667 万 hm^2 ，1994 年全国受旱面积达 3000 万 hm^2 ，成灾面积达 1733 万 hm^2 ，减产粮食 260 亿 kg。由于缺水，导致过量引用地表水和超量开采地下水，致使旱季常发生河流干涸断流，地下水位大幅度下降。许多中、

小河流经常断流自不必说,我国第二大河黄河 1997 年断流竟超过 150 天。全国城市自来水供水能力平均仅能保证高峰季节日用水的 86%,省会城市能保证达到 83%,计划单列市保证达到 79%,近 50 个严重缺水城市高峰季节只能满足需水量的 65%~70%,许多城市不得不限时、限量供水,用水高峰期一些企业因供水不足而停产、半停产。沈阳市日需水约 160 万~170 万 m^3 ,已形成 250 km^2 、深约 30m 深的中心地下水漏斗,如能多供水 20 m^3 ,就现有设备可增加工业产值 12 亿元,利税 2 亿元。地市供水不足,已给城市工业、居民生活带来很大影响,且在不少城市引起工、农用水矛盾,有不少地区由于工业的迅速发展,不得不采取压农保工的办法。北京、天津两市均由于保城市用水,大大压缩了水稻面积。辽宁省的汤河水库计划用水分配是农业与工业配水比例是 8:2,而现在倒过来变成了工业与农业配水比例是 8:2。这势必也在很大程度上影响农业的稳定和发展。

二、中国北方地区水资源状况

我国北方 15 个省(自治区、直辖市)年人均占有水量为 1141 m^3 ,而南方 16 个省(自治区、直辖市)年人均占有水量为 3239 m^3 。按耕地计算,北方与南方占有水量分别为 632 m^3 /亩及 1879 m^3 /亩。由此看出,我国北方人均占有水量约为南方的 1/3。应该指出的是,即使地下水储量较丰富,也并非等于可获取的有效水量多。例如,新疆地下水储量人均达到 6000 m^3 ,但由于可获取的有效水量少,而蒸发量极大,干旱少雨,亦为严重缺水地区。

我国北方地区水资源的拥有量,东北大于华北大于西北。西北地区包括陕西、新疆、宁夏三省(自治区),土地面积占全国 6.9%,耕地面积占全国的 12.2%,而水资源量只占全国的 1.2%,每亩耕地年平均占有水量为 248 m^3 ,年人均水量为 654 m^3 ,两者分别为全国平均量的 14%和 24.1%;长江以北耕地占全国的 64%,而地上水资源仅占 17%,其中粮食增产潜力最大的黄淮海地区,耕地面积占全国的 42%,而地上水资源量还不到全国的 6%。华北地区虽然地下水储量较多,年人均水量大约为 1000 m^3 ,但地表径流很少,年人均占有量为 400 m^3 ,仅为世界人均水量的 1/24,致使地下水超量开采,据资料报道,该地区地下水位以每年 0.3~0.5m 的速度下降。我国北方地下漏斗面积已达 15 亿 m^2 。过去 10 年,黄河年年发生断流,1997 年断流 282 天;流经淮河地段断流 90 天,有数百个湖泊正在干枯,一些地方性河流也在消失。

水危机的征兆在我国北方越来越突出地表现出来。一些地区农村人畜饮水困难,城市供水紧张。特别是西北、华北和东北的部分地区,主要表现为河川断流,湖泊萎缩,土地沙化,植被退化,绿洲消亡,地下水漏斗范围扩大及层面加深,水质严重污染,导致毒害土壤并在地下水内聚集;黄河下游一旦断流与年俱增而变成内陆河,水质变咸,将出现严重盐渍化现象;环渤海地带地下水超量开采漏斗状,将产生海水倒灌而造成部分地区土壤盐碱化。

三、我国农业水资源需求情况

就农业来说,1952 年,我国的灌溉面积为 0.2 亿 hm^2 ,到 1991 年已达 0.478 亿 hm^2 ,用水量达 3800 多亿 m^3 ,占全国总用水量的 85%。正是由于我国人口多,耕地少,为解决吃饭问题,解决人民生活不断提高而对农业提出的更高要求,就必须不断地提高粮食、

油料、棉花及大农业产品的单产和总产，而提高单产和确保稳产、高产的重要因素之一，就是增加灌溉面积和增加灌溉保证率。2010 年以后预测农业用水量将达到 5000 亿 m^3 ，比 2000 年还要增加 1200 多亿 m^3 。这势必对水的供给和水资源提出更高的要求。特别是我国北方 15 个省（自治区、直辖市），灌溉面积只占本区耕地面积的 41.1%，大大低于南方灌溉面积占耕地面积 63.5% 的水平。而水资源量、人均占有量、单位面积耕地占有量分别只有南方 16 个省（自治区、直辖市）的 1/3 左右，用水将更加紧张。

就世界经济发展与用水形势看，在不同年代，经济、工业愈发达的国家，工业城市生活用水量所占用水的份额将愈大。美国是个农业也很发达的国家，工业城市生活用水 1975 年即占该国总用水量的 51.4%，加拿大 1968 年即占该国总用水量的 86.5%，前苏联 1969 年占该国总用水量的 41.0%，法国占该国总用水量 53%。而我国 1979 年才占 13.7%，1991 年占 19.8%，预测 2010 年为 29%，至 2030 年才达到 50.7%。这充分说明我国与其他发达国家一样，随着经济的发展，工业、城市生活用水必将大大增加，而与农业发生严重的争水现象。

四、辽宁省水资源现状及农业水资源需求情况

辽宁省多年平均年降水总量为 986.7 亿 m^3 ，折合降水深 678.1mm。多年平均水资源总量为 341.79 亿 m^3 ，折合成产水深为 234.9mm。辽宁省许多城市严重缺水，仅沈阳、大连、鞍山、营口四个大型工业城市，因缺水每年影响工业产值 53 亿元，因为缺水，每年影响全省利税达 20 亿元。同时，农业也几乎年年抗旱。辽宁省已成为我国淡水资源严重缺乏的省份之一，人均淡水资源占有量仅为全国人均占有量的 1/3，是世界人均占有量的 1/12。辽宁省水环境问题触目惊心。工农业争水、城乡争水、地区间争水，工业和城市超采地下水，挤占环境用水和水污染严重的问题普遍存在，辽宁省所有的地级市、几乎所有的县城都面临着缺水问题，资源性缺水、工程性缺水和水质性缺水问题并存。1997 年辽宁省耕地面积为 348.48 万 hm^2 ，实灌溉面积为 119.96 万 hm^2 ，全省 14 个市，74 个农业县（市、区），1997 年总人口为 4034.1 万人，其中农村人口为 2302.6 万人。辽宁省粮食年产量近年来多在 150 亿 kg 左右，1998 年达到历史最高水平 182.5 亿 kg。由于主要工农业用水在中部辽河冲积平原，当地辽河干流已开采水资源 70%，浑河利用 74%，开采比率很高，农业用水受到很大限制。辽宁省灌溉面积只占耕地面积的 34.4%，所以遇旱大幅度减产，21 世纪以来，辽宁省因旱灾造成粮食减产幅度增加到 20 亿~35 亿 kg。1989 年遇大旱，辽宁省粮食总产为 115 亿 kg，较正常年景减产 35 亿 kg。近几年工业、乡镇企业大发展，工农业用水矛盾日益尖锐，生活用水紧张。而且水污染严重，20 多亿 m^3 城市回归水 80% 未能处理而排放，更增加了用水紧张程度。内陆城市沈阳、鞍山、辽阳等地地下水大量超采，出现大片漏斗；沿海城市大连、丹东、锦州、营口等地由于出现大面积深度淡水漏斗而使海水倒灌入侵形成渍海，面积已达 800 km^2 。由于 1992 年秋降水少，水库蓄水不足，1993 年春有 133.7 hm^2 稻田无水插秧；同样情况发生于 1998 年春天，也使上百万公顷稻田失去用水保证，辽宁省政府不得不决定耗资数千万元修建应急的调水灌溉泵站工程。2000 年百年不遇的特大旱灾涉及全省 14 个市 59 个县（市、区）1103 个乡镇，受灾人口 1559 万人，先后有 40 个城镇不同程度缺水，日平均缺水为 49.29 万 m^3 ，

造成直接经济损失 110.86 亿元。2001 特大春旱使全省受旱面积达到 4193 万亩, 占辽宁省耕地面积的 67%, 减产粮食 20 亿 kg。辽宁省交替性、区域性、季节性、连续性发生的旱灾, 虽然无法抵御的天灾, 但大旱使辽宁省水资源开发利用所积累的矛盾集中显现出来, 总结起来有以下几点:

1. 水资源短缺, 已经制约辽宁省社会经济的发展, 未来缺水的矛盾将更加突出

辽宁省目前可供水量为 144.8 亿 m^3 , 其中污水处理回用水量为 0.4 亿 m^3 , 其他为 0.7 亿 m^3 。现状水平年全省总需水量为 151.7 亿 m^3 , 其中, 城镇生活 18.1 亿 m^3 , 工业 33.6 亿 m^3 , 农村人畜 6.9 亿 m^3 , 主要缺水地区在辽河中下游地区和辽西地区。辽宁省是我国经济比较发达的省份之一, 随着我国加入 WTO, 辽宁经济也将快速发展, 经济的发展, 人口的增长, 城镇规模的扩大, 社会的进步都需要更多的用水量, 水资源的供需矛盾将更加突出。

2. 水资源浪费、污染严重、加剧了供水紧张局面

农业: 辽宁省 1085 万亩水田大部分为传统灌溉方式, 渠道跑水、漏水、大水漫灌现象普遍存在, 灌溉水利用率在 38% 左右, 为农业提供的 90 亿 m^3 水中有近一半的水被损失掉, 而发达国家灌溉水利用率已达到 70%~80%。

工业: 辽宁省工业用水每万元产值需水为 130~150 m^3 , 高的达到 300 m^3 , 而发达国家只有 10 m^3 , 用水量相差十分悬殊。

城市: 辽宁省城市供水和用水设施跑、冒、滴、漏的现象相当普遍, 城市的供水管网流失水量很大, 城市输配水管网和用水器具的漏失率平均在 30% 以上, 个别城市高达 40%。

在追求工业化、城市化和农业现代化的进程中, 忽视了对水资源的保护, 出现了水污染、地下水超采、海水入侵等一系列环境问题。辽宁省每年废污水的排放总量在 28 亿 m^3 左右, 大部分未经处理。辽河、浑河、太子河、大辽河、大凌河的大部分河段为 IV~V 类水质。全省地下水超采区有 16 个, 总面积为 1500 km^2 , 超采总量为 3.75 亿 m^3 。沈阳、辽阳地区分别形成了降深为 28m 和 23.5m、面积为 280 km^2 、320 km^2 的超采漏斗。辽阳灌区每亩灌水定额为 1800 m^3 , 其中有 1000 m^3 用于补充地下水, 形成了恶性循环。大连、营口、锦州和葫芦岛等沿海地区, 海水入侵面积由 20 世纪 80 年代初的 50 km^2 发展到目前的 751.3 km^2 。

3. 农业基础设施脆弱, 农业生产受制于天

辽宁省每次发生旱灾后, 受旱最为严重的总是农业, 干旱年, 辽宁省受旱面积都在 2000 万亩以上, 因旱减产粮食 20 亿 kg 左右。不难看出, 辽宁省农业基础设施的建设还非常脆弱, 主要表现在: ①全省农田有效灌溉面积为 2161 万亩, 仅占耕地面积的 41.2%, 灌溉面积占耕地面积的比重小, 是辽宁省农业生产受旱严重的直接原因; ②辽宁省现有易旱耕地面积为 2000 多万亩, 这些耕地有雨则丰, 无雨则减产绝收, 是靠天种植的“雨养农业”, 2001 年春季无法正常播种的 810 万亩耕地, 基本是些大田作物; ③灌溉保证率低, 2001 年辽宁省有 503 万亩水田无泡插用水, 水田成了“望天田”; ④节水灌溉面积少, 辽宁省节水灌溉面积 522 万亩, 仅占辽宁省耕地面积的 10.5%。显而易见, 农业仍处于“雨养农业”的水平, 抗灾能力很低, 没有改变受制于天的局面。

4. 灌区内现行的体制和政策难以形成有效的节水机制

辽宁省现有大型灌区 8 处, 中型灌区 86 处, 小型灌区 3000 处。灌区管理单位多数为企业管理, 由于灌区缺乏经营自主权, 受到多方面的限制, 不能像企业那样追求利润最大化。目前, 灌区的收入主要依靠水费, 但灌区灌溉水价非常低, 省直水库供水灌区水价 0.5 元/ m^3 , 其他灌区 0.03 元/ m^3 , 远远达不到成本水价。导致水价的市场调节机制失灵, 难以调动用水户节水的积极性。过低的水价, 致使灌区内老化失修的工程没有更新改造资金, 辽宁省正在对盘山灌区、灯塔灌区、营口灌区、东港灌区进行节水改造, 中小型灌区基本是只用不修的“榨取式”使用方式, 工程效益衰减相当严重。

5. 农村人畜饮水保障低

连续的干旱, 不仅给辽宁省历史性资源性缺水地区农村饮水带来困难, 而且出现了 6889 个村屯、342 万人因旱季节性缺水。对此, 辽宁省政府加大了农村基本饮水井建设力度, 已在 3309 个村屯建设 3309 处饮水工程, 解决 125 万人的饮水困难问题。目前, 仍有 3580 个村屯、217 万人饮水困难, 建设任务很重。

6. 农业用水始终是用水大户, 农业节水潜力仍然巨大

辽宁省农田灌溉用水占全省总用水量的 61% 以上, 农业灌溉水量约为 80 亿~90 亿 m^3 , 始终是用水大户。2000 年灌溉水利用率在 38% 左右, 如通过节水措施达到发达国家灌溉水利用率 70%~80% 的程度, 即可节水 40 亿~46 亿 m^3 。

第二节 农业节水的内涵及其途径

“十五”期间, 我国农田受旱面积年均达 3.85 亿亩, 平均每年因旱减产粮食 350 亿 kg。全国农村有 3.2 亿人饮水不安全。长期以来我国存在着农田用水效率较低、用水浪费严重的现象。目前我国大部地区仍然采用传统的大水漫灌方式, 灌溉水利用系数只有 0.4~0.5, 而世界先进水平的国家已达 0.8 以上; 全国平均单方灌溉水粮食产量约为 1kg, 而世界上先进水平的国家(如以色列)平均单方灌溉水粮食产量达到 2.5~3.0kg。全国农业用水占总水量的 70%, 约为 4200 亿 m^3 , 如节省 1/10 就是 420 亿 m^3 , 比三峡水库库容还要大, 可见农业节水的重大意义所在。

农业节水就是要充分有效地利用自然降水和灌溉水, 通过采取水利、农业、管理等措施, 最大限度地减少水从水源通过输水、配水、灌水直至作物耗水过程中的损失, 最大限度地提高单位耗水量的作物产量和产值。农业节水的内涵一般包括水资源的合理开发利用、输配水和田间灌溉过程的节水、农业节水增产增效技术以及用水管理节水四个方面。农业节水已不是一种单一技术, 而是形成了包含多种措施的一套完整的农业节水技术体系。

一、农业水资源开发与优化调配技术

1. 雨水集流技术

在干旱缺水的丘陵山区, 选择有一定产流能力的坡面、路面、屋顶、村庄附近低洼地、溪谷等地方, 采取经过夯实防渗处理修建的水窖、蓄水池或塘坝, 将雨水引入储存起来, 经过净化处理, 供农村人畜饮水和农作物灌溉用水。

2. 地表水、地下水联合调配互补技术

利用系统工程理论和模糊数学方法建立优化调度模型,通过计算机等现代化手段调配水资源的合理分配,达到地表水、地下水互补,充分发挥水资源的效益,实现节水增节并保护灌区水资源的良性平衡。例如辽宁省中部地区大伙房、汤河、参窝、清河、柴河、观音阁 6 大水库与灌区的井群联合统一调度,优势互补,使有限的水资源发挥了最大潜能。

3. 劣质水利用技术

劣质水包括城市生活污水、工业废水、微咸水和灌溉回归水。城市生活污水、工业废水含有多种重金属元素、有害的无机物或有机化合物、病原生物等,必须经过严格净化处理达到灌溉水质要求,才能用于灌溉非直接食用的农作物。利用微咸水灌溉时,或者咸淡水掺混合使用,辽宁省营口地区经多年试验研究及群众生活实践,已总结出一套较科学的微咸水种稻技术,并在本区大面积推广。大洼灌区近两年将几座中型平原水库淡水通过合理调配用于咸水淡化灌溉也获得了费省效宏的效果。

4. 雨养型农业技术

我国北方受海洋及大陆季风影响,70%~80%的降雨集中在 6~9 月,选择适宜作物,采取适宜栽培方法,以适应在雨季用水特点,可取得充分利用自然降水及水资源的效果。如冬小麦在北方的生长期是 10 月至次年 5~6 月,春小麦生育期是 3~6 月,其用水正是北方缺雨期,不灌则只产 750~2250kg/hm²,灌则产 3750~6000kg/hm²,很不经济,水稻虽是嗜水性作物,但如改为旱种,5 月利用自然墒情直插,早出、早长到 6 月中下旬的四叶期,然后湿给水,这时已到汛期,生理需水和自然降雨正好吻合,可充分利用天然降雨,每公顷用水也只有 4500~7500m³,产量可达 6000~7500kg/hm²,与小麦相比,反而成了少耗水作物。可见这种技术适合国情,是大有发展前途的。

5. 云水资源开发技术

据国家气象部门资料,我国有 3 大云水资源逸出区,即松辽分水岭区、西北地区、黄河河套以下至潼关一带的宁夏、陕西、山西、河南地区。对一定云水含量的积云如及时投放干冰、碘化银,就能将云中水汽凝结为水,下落为雨雪,一般可增雨 20%~25%,增雨成本为 0.02~0.005 元/m³。辽宁省有云水资源 4950 亿 m³,自然落雨 990 亿 m³,形成地表径流 324 亿 m³,每年有约 4000 亿 m³ 云水资源逸出。

6. 水域资源利用技术

我国江河交织、湖泊众多,水库与池塘星罗棋布。全国有大小湖泊 24000 多个,总面积达 800 多万 hm²,水库总面积约 430 万 hm²,加上山塘、池塘以及不通航的江河等,宜于开发利用的内陆水域面积不少于 1300 万 hm²。然而,如此广阔的水域资源,在开发和利用上却长期处于低水平。如太湖的平均鱼产量只有 60kg/hm²,而水面利用则几近于零,致使约 16hm² 的水域纯收入才相当于 1hm² 农田。20 世纪 90 年代初,由中国水稻研究所研究成功的水面浮床无土种植技术,在水面上种植水稻、花卉、蔬菜等农作物,生产农产品,美化水域景观的同时,利用植物的吸收作用,可以达到净化水质、治理水域污染的目的。从而为水面资源的开发利用提供了新技术和新途径。

7. 水资源立体高效利用技术

联合国生态农业 500 家之一的辽宁大洼县西安生态养猪场、赵圈河苇田的鱼蟹混养、