

现代化农业高效用水 技术研究

刘洪禄 丁跃元 郝仲勇 吴文勇 等著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

现代化农业高效用水 技术研究

刘洪禄 丁跃元 郝仲勇 吴文勇 等著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是在系统总结北京市水利科学研究所“六五”至“十五”期间农业节水科研成果基础上编写而成的。全书共九章,内容包括:研究区域基本情况,粮食作物节水灌溉制度与灌溉技术,果树节水灌溉制度与灌溉技术,蔬菜节水灌溉制度与灌溉技术,牧草节水灌溉制度与灌溉技术,农村用水管理制度与模式,农业用水自动化管理设备研制与应用,节水灌溉专家决策系统开发与应用,基于 GIS 技术的区域水资源评价方法。

本书可供从事节水灌溉与农业高效用水技术研究的广大科技工作者和相关专业的工程技术人员与大专院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代化农业高效用水技术研究 / 刘洪禄等著. —北京:
中国水利水电出版社, 2005
ISBN 7-5084-2789-0

I. 现... II. 刘... III. 农业工程—节约用水—研究 IV. S275

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 101373 号

书 名	现代化农业高效用水技术研究
作 者	刘洪禄 丁跃元 郝仲勇 吴文勇 等著
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 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	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	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 20.5 印张 486 千字
版 次	2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	50.00 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

前言

21 世纪将是我国社会经济空前发展的时代,也是我国水资源供需矛盾日益突出的时代。2004 年,我国农业用水量接近 3600 亿 m^3 ,占全国总供水量的 64.6%。据预测,到 2030 年,农业用水将达 4300 亿 m^3 ,农业缺水量将达 500 亿~700 亿 m^3 。发展高效节水农业成为保障我国社会稳定、经济发展与粮食安全的重要举措。

随着社会发展与技术进步,现代节水农业的研究重点逐步向非常规水源利用技术、生物节水技术、节水灌溉技术与装备、区域节水发展模式等多个方向转变。现代节水农业的发展呈现出工程节水、农艺节水、生物节水与管理节水的综合集成与高度融合,逐步形成一套适合我国国情的农业高效节水技术体系,实现农业节水、农民增收与区域水资源可持续利用。

北京市水利科学研究所多年来一直致力于农业节水技术的研究,“七五”至“十五”期间,先后承担了“农业节水综合开发研究”、“北京市平原区节水型农业示范研究”、“北京市节水型农业应用基础研究”、“北京市现代化节水型农业研究与示范”、“北京市现代化农村高效用水技术研究与示范”等多项北京市重大科技攻关项目,形成了节水灌溉技术、节水监控技术、节水管理技术、多水源调度技术、农艺节水技术、生物节水技术等多项实用技术,有力地推动了北京地区节水型农业的建设。北京市农业用水已经由 1980 年的 31.72 亿 m^3 减少到 2003 年的 13.66 亿 m^3 ,农业用水占社会总用水的比例从 1980 年的 65% 下降到 2003 年的 39%,本书以北京市“九五”科技攻关项目“北京市现代化节水型农业研究与示范”、“十五”科技攻关项目“北京市现代化农村高效用水技术研究与示范”为编写基础,对北京市水利科学研究所多年来在农业节水领域取得的主要研究成果进行简要介绍。

全书共分九章。第一章为研究区域基本情况,简要介绍研究区域自然概况与所面临的水资源问题,阐述了北京地区农业节水发展的历程与趋势;第二章为粮食作物节水灌溉制度与灌溉技术,主要介绍粮食作物耗水规律、节水机理、灌溉模式等研究成果;第三章为果树节水灌溉制度与灌溉技术,主

要介绍苹果树和桃树耗水规律、果园低水头滴灌系统、果园节水灌溉设备选型与配套、果园蓄水保墒技术、果园土壤水分动态模拟等研究成果；第四章为蔬菜节水灌溉制度与灌溉技术，主要介绍主要蔬菜耗水规律、温室覆膜滴灌灌溉技术、蔬菜渗灌灌溉技术等研究成果；第五章为牧草节水灌溉制度与灌溉技术，主要介绍牧草耗水规律、京郊节水高产型牧草品种筛选、牧草土壤水分动态模拟等研究成果；第六章为农村用水管理制度与模式，主要介绍郊区水利现代化评价指标体系、农业水价、主要农作物节水灌溉定额等研究成果；第七章为农业用水自动化管理设备研制与应用，主要介绍土壤水分传感器、温室节水灌溉自动监控技术、机井用水计量与管理技术等研究成果；第八章为节水灌溉专家决策系统开发与应用，主要介绍综合性、智能性的节水灌溉专家决策系统；第九章为基于 GIS 技术的区域水资源评价方法，主要介绍利用 GIS 技术开展区域水资源评价的方法。

本书由参与上述项目研究的科研人员分工合作撰写，全书由吴文勇、郝仲勇统稿，最后由刘洪禄、丁跃元审定统稿，编著人员分工如下：

主 编	刘洪禄	丁跃元	郝仲勇	吴文勇
编 委	杨培岭	谢森传	赵春江	张书函
	许翠平	刘春明	李秀春	李光永

撰稿人员名单如下：

第一章	吴文勇	丁跃元	郝仲勇
第二章	刘洪禄	谢森传	王纪华
第三章	杨培岭	郝仲勇	吴文勇
第四章	丁跃元	张书函	许翠平
第五章	刘洪禄	杨培岭	吴文勇
第六章	郝仲勇	吴文勇	刘春明
第七章	刘洪禄	李秀春	郑文刚
第八章	赵春江	杨信庭	许翠平
第九章	马 明	丁跃元	刘洪禄

除上述参编人员以外，先后参加项目管理与项目研究的人员还有黄玉璋、张在林、杨进怀、李其军、孙凤华、廖平安、惠士博、胡树森、陆苏、刘虎城、孙荣姿、李鸿祥、张有山、任树梅、黄兴法、王伟、王小伟、李云开、侯旭峰、曹波、闫兆成、车建明、潘卫国、顾涛、顾永钢、师彦武、祁兴会、冯江，以及通州水务局曹岳、张连山、万凤兰、刘永清，大兴区水务局张凤刚、刘玉忠、张超品、姚少龙、刘雪峰、孙桐，昌平区水务局姚文成、于波、

许正峰等同志。本书也包含上述同志的工作成果。另外，本书还参考了其他单位及个人的研究成果，均已在参考文献中注出。在此一并致谢。

由于时间仓促，水平有限，文中欠妥或谬误之处，敬请读者批评指正，不吝赐教。

编 者

2005 年 10 月

目 录

前言

第一章 研究区域基本情况	1
第一节 自然概况	1
第二节 北京市水资源形势	4
第三节 北京市农业节水发展的回顾与展望	5
参考文献	11
第二章 粮食作物节水灌溉制度与灌溉技术	12
第一节 冬小麦需水规律与节水灌溉制度	12
第二节 夏玉米耗水规律与节水灌溉制度	28
第三节 高产高效冬小麦节水喷灌模式	31
第四节 喷灌和管灌投入与产出效益分析	35
第五节 畦田灌溉田面行水流动的数值模拟及应用	37
第六节 波涌灌溉机理及其灌溉技术	41
参考文献	55
第三章 果树节水灌溉制度与灌溉技术	57
第一节 苹果树耗水量与耗水规律	57
第二节 桃树耗水量与耗水规律	59
第三节 葡萄耗水量与耗水规律	60
第四节 果园节水灌溉制度	62
第五节 果园低水头滴灌系统研制与试验	64
第六节 果树节水灌溉设备选型与配置	75
第七节 果树生化制剂抗旱节水模式试验	78
第八节 果园蓄水保墒技术	90
第九节 京郊果园典型节水灌溉模式	94
第十节 果园土壤水分动态数值模拟	97
参考文献	100
第四章 蔬菜节水灌溉制度与灌溉技术	101
第一节 主要蔬菜耗水量与灌溉制度	101
第二节 温室覆膜滴灌灌溉技术	108
第三节 蔬菜渗灌灌溉技术	115

第四节	京郊保护地菜田节水灌溉模式	133
第五节	温室土壤—植物—环境系统中水热传输过程模拟	138
参考文献		147
第五章	牧草节水灌溉制度与灌溉技术	149
第一节	京郊节水高产型牧草品种筛选	149
第二节	苜蓿土壤水分动态变化规律与数值模拟	154
第三节	苜蓿耗水规律与灌溉制度	163
参考文献		168
第六章	农村用水管理制度与模式	169
第一节	郊区水利现代化评价指标体系	169
第二节	北京市农业用水水价核算	184
第三节	北京市主要农作物节水灌溉定额制定	205
第四节	北京市农业节水灌溉工程参考投资定额制定	215
第五节	郊区村级水务管理模式	219
参考文献		225
第七章	农业用水自动化管理设备研制与应用	226
第一节	温室节水灌溉自动监测与控制系统	226
第二节	自动控制灌溉系统的应用	234
第三节	农用井用水量管理系统研制与开发	240
参考文献		249
第八章	节水灌溉专家决策系统开发与应用	250
第一节	节水灌溉专家系统总体设计	250
第二节	节水灌溉专家决策系统开发	252
第三节	节水灌溉专家系统决策流程	254
第四节	节水灌溉专家决策系统功能	255
第五节	应用实例——牧草节水灌溉农业专家决策系统	263
第六节	牧草节水灌溉专家系统用户使用说明	282
参考文献		289
第九章	基于 GIS 技术的区域水资源评价方法	290
第一节	典型区域基本资料	290
第二节	区域水资源空间信息库的建立	293
第三节	区域降水特征分析	295
第四节	区域地表水资源评价	298
第五节	区域地下水资源评价	300
第六节	区域地下水资源采补趋势分析	308
参考文献		319

第一章 研究区域基本情况

北京人均水资源量不足 300m^3 ，为全国人均占有量的 $1/8$ 、世界人均占有量的 $1/30$ ，属于严重缺水地区，随着社会经济的迅速发展，水资源短缺已经成为制约社会经济发展的第一瓶颈。近年来，北京市采取了积极、有效的措施来缓解农业用水供需矛盾，农业节水工作取得了显著成效，形成了一套具有区域特色的农业高效用水技术体系，农业用水量已由 1980 年的 31.72亿 m^3 减少到 2003 年的 13.66亿 m^3 ，农业用水量占社会总用水量的比例从 1980 年的 65% 下降到 2003 年的 39% 。

北京市农业节水事业的迅速发展得益于政府的高度重视和节水科技的先导作用。今后，北京市农业节水事业应从“开源”与“节流”两方面入手，重点加强农业节水服务体系、管理体制与制度的完善，大力推广应用微灌技术，提高田间水分利用率，大规模发展再生水灌溉，替代优质地下水水源，实现农业高效节水与安全用水。

第一节 自然概况

北京位于华北平原的西北端，地理坐标为北纬 $39^\circ 28' \sim 41^\circ 05'$ 、东经 $115^\circ 25' \sim 117^\circ 30'$ ，总面积 1.68万 km^2 。

一、地形地貌

北京的地形西北高、东南低。西部为西山，属太行山脉，山脊平均海拔 $1400 \sim 1600\text{m}$ ，北部和东北部为军都山，属燕山山脉，山脊平均海拔 $1000 \sim 1500\text{m}$ 。两山脉相连形成北部平均海拔约 1000m 的弧形天然屏障。最高的山峰为门头沟区的东灵山，海拔 2303m ；最低的地面为通州区东南边界，海拔不足 10m ；西北部山区的延庆盆地海拔在 480m 左右。

地貌呈由西向东、由北向南的中山、低山、丘陵，过渡到洪积冲积台坡地和平原。山区山脉层叠，地势呈阶梯状下落。由于山脉交接、断裂、下陷和侵蚀作用，形成了古北口、南口和官厅山峡三条进入北京平原的风道。北京平原区，地势平坦广阔，而在山麓台地及山前平原上却星散分布着一些岛山、沙丘和山岗。平原的东南部是低洼地区。

二、水文地质

北京地区的地质构造单元属燕山纬向褶皱构造带、太行山北东向隆起构造带及华北平原沉降带的复合部位，断裂结构较为发育，大断层之间往往分布着许多较小的断裂破碎带，属地震活动比较频繁而强烈的地区。发达的岩层裂隙和断裂构成了地下水、地下热水及温泉的赋存条件。岩性分布：山区为坚硬岩石，主要有岩浆岩、沉积岩和变质岩等；平

原区为松散堆积物,其厚度从山前的数米向东南逐渐加厚至数百米,主要为壤土、砂壤土、砂及卵砾石。

平原区地下水主要存在于各大河形成的山前冲积洪积扇。这些冲积洪积扇交错沉积,相互切割,沉积厚度和岩性变化不一。总的规律是:从山前至平原沉积厚度由薄变厚,颗粒由粗变细。由单一的砂砾石层变为多层砂和粘性土层;地下水埋深由大变小,地下水类型由单一潜水变为多层承压水。根据抽水试验,按降深 5m 单孔日涌水量划分,地下水分布可分为以下五类地区。

(1) 一类地区(日出水量大于 5000m^3 的地区):主要分布在各河冲积洪积扇。这些地区含水层主要为单一砂卵石层,厚度约 30~70m,含水层渗流速度为 $300\sim 500\text{m/d}$,透水性良好。地下水多为潜水,山前区水位埋深 15~30m,向下游逐渐变浅,直至溢出地表。从地层组成看,地区砂卵石埋藏较浅,极易接受降水及河水的渗入补给,是地下水的良好补给区,也是平原区地下水资源最丰富地区。

(2) 二类地区(日出水量 $3000\sim 5000\text{m}^3$ 的地区):多分布在一类地区的外围,如房山大石河交道一带,大兴黄村一带,昌平南口以南土楼、北小营一带,顺义杨各庄一带,平谷岳各庄、马坊一带,延庆沈家营北部地区。含水层主要由 2~3 层砂砾石或多层砂砾石组成。主要含水层顶板埋深小于 20m,累计厚度 20~50m,多为承压水。

(3) 三类地区(日出水量 $1500\sim 3000\text{m}^3$ 的地区):主要分布在平原,面积最大,约占平原面积的 $1/2$ 。含水层主要由多层砂砾石、砂组成,层次多而薄,单层厚度一般小于 10m,累计厚度一般在 30m 以上,顺义、通州一带大于 50m。地下水埋深一般小于 12m。

(4) 四类地区(日出水量 $500\sim 1500\text{m}^3$ 的地区):主要分布在昌平沙河一带,大兴黄村东南部和通州永乐店以南地区。含水层以砂为主,夹少量砂砾石层,单层厚度小于 10m,累计厚度 30~50m,渗透性差,为承压水。地下水埋深一般小于 5m。

(5) 五类地区(日出水量小于 500m^3 的地区):分布在昌平百善以北和海淀永丰屯一带。含水层多由粉、细砂组成,层次少而薄,是贫水地区。山区地下水主要为基岩裂隙水和岩深裂隙水,受地层岩性、地质构造、地形条件所控制。地下水类型复杂多变,含水层富水性不均,地下水埋深和水量变化幅度大,地下水运动状态复杂,开采条件差。

三、土壤

北京郊区土壤覆盖率为 82%,土壤面积约 2067 万亩。其中,山区占 53%,平原占 47%。山区土壤以砾质轻壤土为主,砾质砂壤及中壤土次之。由高到低,依次为草甸土、棕壤和褐土,其中厚度小于 30cm 的薄土层和粗骨土占山地土壤面积的 47.3%。因坡陡雨大和历史原因,山地林木植被遭到严重破坏,山区水土流失严重,局部地区易发泥石流。平原地区土壤主要是洪积冲积物,以轻壤土为主,砂壤、中壤土次之,砂质重壤土较少。其分布规律是:山麓阶地及洪积冲积扇中、上部为褐土(黄土)、潮褐土(黑黄土);冲积扇末端及洼地则多为砂潮土、湿潮土和水稻土;城近郊区为菜园褐土。东部及东南部平原是盐碱地集中地区,多为以硫酸盐类为主、重碳酸盐类次之的硫酸盐潮土和苏打盐潮土。新中国成立初期,全市共有盐碱地 69.77 万亩,经过多年的综合治理,原来寸草不生的盐碱地已大部分改良成为丰产良田。

四、气候

北京地区属暖温带半干旱半湿润大陆性季风气候，冬季受蒙古高压影响，盛行偏北风，天气晴朗而少雨雪；夏季受大陆热低压影响，盛行偏南风，多阴雨天气。具有“春旱多风，夏热多雨，秋高气爽，冬寒晴燥”和“四季分明，冬季最长，夏季次之，春秋短促”的特点。

山前平原区，年平均气温 $11\sim 12^{\circ}\text{C}$ ，随着海拔的增高，年平均气温不断降低，大约每升高 100m ，年平均气温降低 0.7°C 。北京地区极端最高气温为 43.5°C （1961年6月10日在房山区）。极端最低气温为 -27.4°C （1966年2月22日在北京气象台）。

根据北京气象台 1951~1990 年的资料统计，年平均水汽压约为 10.6hPa ，较大水汽压集中在 7~8 月，与暴雨同期。年最大水汽压为 40hPa ，年最小水汽压为 0。

年平均风速为 $2\sim 3\text{m/s}$ ，春季风速最大，平均达 $3.5\sim 4.0\text{m/s}$ ，冬季风速次之，夏秋最小。日平均风速大于 17m/s 的大风日数为 $20\sim 30$ 天，冬春两季约占其 $60\%\sim 70\%$ 。

北京地区年日照时数为 $2600\sim 2800\text{h}$ ；年水面蒸发量多年平均值为 1120mm ；年陆地蒸发量多年平均值：平原地区为 500mm ，西部山地及延庆盆地为 $400\sim 500\text{mm}$ 。平原地区年无霜期平均为 $190\sim 195$ 天，延庆盆地仅 150 天左右。

北京地区形成暴雨的天气系统有蒙古低涡低槽、西南低涡、切变线、回流、内蒙古低涡、东北低涡、台风、西来槽、西北低涡等 9 类。特大暴雨的天气系统主要是蒙古低涡低槽、台风、西南低涡，其次是西北低涡和内蒙古低涡在一定的环流形势天气系统影响下，加上特殊地形的作用而产生的。每当夏季，东南风、西南风挟带大量水汽从海洋输送到大陆，其方向几乎与太行山、燕山的走向垂直；到达北京后受到西山、军都山的阻挡，使水汽抬升，导致暴雨。从 1883~1984 年有记录的 43 次特大暴雨来看，暴雨中心绝大多数位于山前迎风区，只有 1924 年 7 月 12 日的暴雨中心在官厅。北京地区日平均暴雨量在 $70\sim 95\text{mm}$ 之间。

五、河流水系

北京境内有 5 条河流，从东到西分布有洹河、潮白河、北运河、永定河、拒马河，分别属海河流域的蓟运河、潮白河、北运河、永定河、大清河五大水系。

除北运河发源于北京市外，蓟运河、潮白河、大清河三水系发源于河北省，永定河发源于山西省和内蒙古自治区。各河流域面积见表 1-1。

这些河道主要特点是洪枯水量相差悬殊，洪水集中在汛期 $6\sim 9$ 月；洪涝灾害偏多；年径流量有明显的地区分布规律，东部较西部多 19% ，山区径流约占全市的 70% 左右。

表 1-1 北京市各河流域分区面积

流域分区		计算面积 (km^2)	
I 级	II 级	总面积	其中：平原面积
海河流域	海河北系	蓟运河	1377
		潮白河	5688
		北运河	4348
		永定河	3168
		合 计	14581
	海河南系	大清河	2219
全 市		16800	6400

六、降水

据 1956~2000 年的资料统计,全市多年年平均降水量为 585mm,相当于亚洲陆面平均降水量 740mm 的 79%,相当全球陆面平均年降水量 800mm 的 73%。不同频率的降水值见表 1-2。

表 1-2

北京市降雨特征值

单位: mm

流域(行政区)	年均值	不同频率年降水量			
		20%	50%	75%	95%
北京	585	706	572	472	361

北京地区多年年平均降水量的地区分布总趋势是由永定河向东和向西方向呈递增趋势。多年平均年降水量在燕山、西山山前地区形成高值区,为 650~700mm 以上,其中怀柔县北部枣树林和房山区漫水河一带山区为高值中心区。由北向山前和山后逐渐减到 500mm 左右。

北京地区降水的年际变化很大,而且常呈现丰、枯水年交替或连续发生现象。从平均降水量来看,最大年降水量 1085.5mm 和最小年降水量 311.2mm 之比达 3.5,若以北京气象站点雨量分析,其极值比高达 5.8。丰水、枯水在年际间可呈先丰后枯或先枯后丰等各种情势。

北京地区降水量的年内分配极不均匀。降水主要集中在汛期的 6~9 月,汛期降水量约占全年降水量的 85%;最大 30 天降水量占全年降水量的 40%~70%;最大 3 天降水量占全年降水量的 14%~30%;最大 1 天降水量占全年降水量的 10%以上。

第二节 北京市水资源形势

根据北京市最新的水资源评价成果,北京市 1956~2000 年多年年平均水资源总量为 37.3 亿 m^3 (见表 1-3),多年年平均地表水资源量为 17.72 亿 m^3 ,多年年平均地下水资源为 25.59 亿 m^3 ,多年年平均出境水量为 14.51 亿 m^3 ,入境水量为 16.1 亿 m^3 。

表 1-3

北京市水资源总量

单位: 亿 m^3

流域 (行政区)	水资源总量均值	不同频率水资源总量			
		20%	50%	75%	95%
北京市	37.3	48.1	35.1	27.0	18.4

一、地表水资源形势

北京市入境水量的 95% 来自潮白河和永定河。近年来,两大水库来水基本上呈现递减趋势,如图 1-1 所示,官厅入库水量已由 1960 年的 13.35 亿 m^3 锐减至 2003 年的

1.33 亿 m^3 ，密云水库的入库水量也从 1960 年的 12.36 亿 m^3 下降到 2003 年的 1.91 亿 m^3 ，2003 年两大水库的可利用来水量合计 3.24 亿 m^3 。上游来水不断减少首先是由于上游地区社会经济迅速发展，拦蓄能力增加，其次是由于近年降水减少。

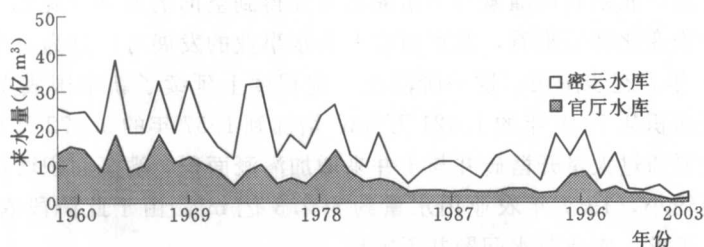


图 1-1 官厅水库与密云水库来水趋势

二、地下水资源形势

由于全社会用水量增加和近期持续干旱造成地下水过度开采，地下水水位持续下降。2003 年全市平原区地下水平均埋深为 18.33m，2003 年平原区地下水平均埋深比 1980 年下降了 11.09m，创历史最低（见图 1-2），其中规划市区地下水埋深为 25m，郊区地下水埋深为 15m，严重下降区（埋深下降大于 10m）面积约为 4108 km^2 ，地下水储量比 20 世纪 60 年代初减少 78 亿 m^3 ，比 1980 年累计减少 57 亿 m^3 。

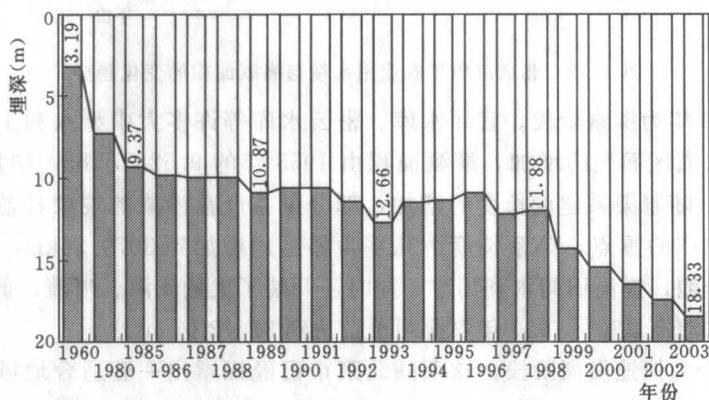


图 1-2 北京市平原区地下水平均埋深变化

第三节 北京市农业节水发展的回顾与展望

20 世纪 80 年代以来，北京市农业节水灌溉迅速发展，截至 2003 年，北京市节水灌溉面积已占总灌溉面积的 84%，在国内居于领先水平。农业节水为北京市节水工作做出了重要贡献，农业用水量已从 1980 年的 31.72 亿 m^3 减少到 2003 年的 13.66 亿 m^3 ，占全市总用水量的比例由 1980 年的 65% 降低到 2003 年的 39%。本节将对北京市农业节水的发展过程、主要经验与趋势进行深入阐述。

一、北京市农业节水发展过程

1. 北京市灌溉事业发展回顾

新中国成立后,北京农田灌溉与节水灌溉事业得到空前的发展(见图1-3),从农业用水量与灌溉面积变化特征来看,北京市农业节水事业的发展可以分为三个阶段。

1949~1956年为起步阶段。这一阶段在一定程度上延续了新中国成立前农田灌溉的建设模式,灌溉面积从1949年的1.421万 hm^2 增加到1957年的3.872万 hm^2 。这一时期的典型特征是主要通过大量开凿砖井与土井来增加灌溉面积,灌溉面积增长缓慢,灌溉面积与用水量增幅较小,1957年农业用水量约为2.3亿 m^3 。由于此阶段农业灌溉面积较小,水资源供大于求,农业节水问题并不突出。

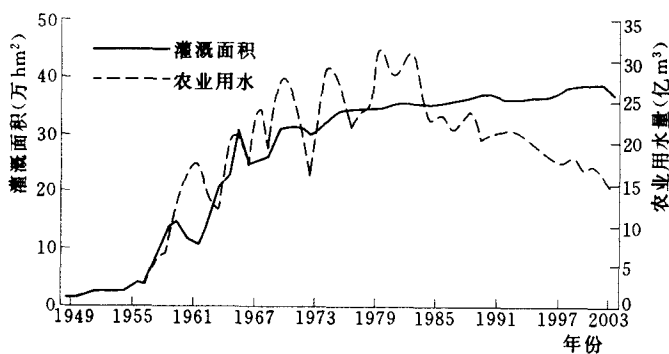


图 1-3 北京市历年农业用水量与灌溉面积的变化趋势

1958~1980年为探索阶段。官厅水库、密云水库等许多大中型水利工程的建设极大地促进了地表水灌区面积的增加,灌溉面积由1958年的9.528万 hm^2 增加到1980年的34.659万 hm^2 。随着渠系建设长度的增加,部分渠系严重渗漏的现象日益突出,渠道防渗成为研究与推广的重点,渠系长度由几乎为零迅速增加到3079.36km,这一时期还结合土地平整与畦灌,提高田间水利用率,同时还开展了大量滴灌、喷灌、低压管道输水灌溉等形式的节水灌溉试验,1980年农业用水量达到31.72亿 m^3 。

1981年至今为快速发展阶段。这期间北京市已经探索出一套适合地域特点的、节水高效的节水型农业建设思路,除渠道防渗以外,低压管灌、喷灌、微灌等节水灌溉技术得到广泛应用,节水效果显著。这一时期,灌溉面积增幅不大,从1980年的34.659万 hm^2 增加到2003年的36.785万 hm^2 ,但是节水灌溉面积占灌溉面积的比例由1980年的9%增加到2003年的84%,农业用水量由1980年的31.72亿 m^3 下降到2003年的13.66亿 m^3 ,农业用水量占社会总用水量的比例从1980年的65%下降到2003年的39%。

2. 农业用水水源的年际变化

1958~2003年北京市农业用水水源变化明显,用水水源与水量的变化对于农业节水的发展有显著影响(见图1-4)。初期灌溉水源主要以地表水为主,渠道衬砌防渗成为节水灌溉的重点内容。20世纪80年代,地表水比重减少,地下水比重迅速增加,这一期间低压管道输水灌溉、喷灌、滴灌得到迅速发展。地下水灌溉用水量从1958年的2.57亿

m^3 增加到 2003 年的 12.38 亿 m^3 ，地下水占灌溉用水的比重也由 44% 增加到 2003 年的 89%，地下水成为农业灌溉的主要水源。地表水水量呈现不断减少的趋势，灌溉用水量已从高峰期的 13.24 亿 m^3 （1962 年）减少 2003 年的 1.28 亿 m^3 。污水回用量最多的时期是 20 世纪 70 年代，利用量在 4 亿~6 亿 m^3 之间，最大量出现在 1980 年，为 6.09 亿 m^3 ，所占比重达到 21%。近年来，污水回用量逐渐减少，主要原因是灌溉条件得到有效改善、地下水开采能力不断增加和对食品安全的关注。2004 年，城区及近郊污水处理率已达 58%，全市再生水排放量达 6.3 亿 m^3 ，再生水灌溉利用成为解决北京市水资源危机的重要途径之一。

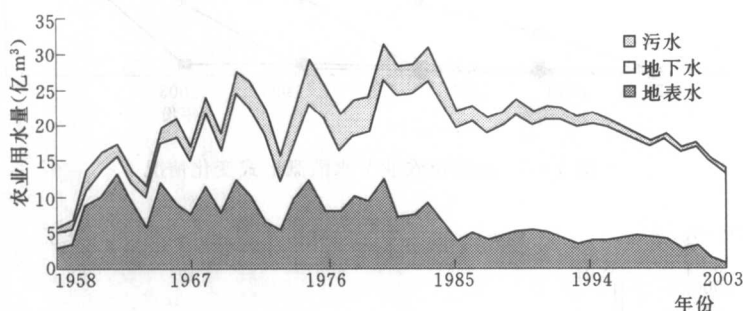


图 1-4 北京市农业用水水源年际变化情况

3. 农业节水灌溉形式的变化

20 世纪 50 年代至 60 年代初期，渠道防渗主要采取干砌卵石浑水挂淤、灰土夯实、白灰砂浆砌卵石等方法，两三年后失去防渗效果，节水效果有限，60 年代中期，逐步发展混凝土防渗，节水效果显著。到 1990 年，全市渠道防渗长度为 7573km，达到高峰期，灌溉面积达 6.191 万 hm^2 ，2003 年渠道衬砌灌溉面积为 5.621 万 hm^2 。随着灌溉水源由地表水向地下水的转变，渠道建设的功能和规模逐步发生变化，适合于井灌区输水的 U 形槽输水渠道得到迅速发展，井渠合灌对于提高井灌区的水分利用率起到了重要作用。

从 70 年代开始，在进行大规模渠道防渗的同时，北京市也在积极探索其他节水形式，逐步试验、推广微灌、管灌与喷灌等节水灌溉技术，但由于技术、管理、投资等诸多方面的原因，发展比较缓慢。随着北京市水资源短缺形势的日趋严重与灌溉对象的变化，这些灌溉方式先后迅速发展。1985 年前后喷灌进入迅速发展期，灌溉面积由 1985 年的 0.259 万 hm^2 增加到 2003 年的 12.538 万 hm^2 ，增长近 50 倍。1990 年前后，管灌因其投资低、节水效果好而得到迅速发展，由 1990 年的 0.446 万 hm^2 增加到 2003 年的 12.340 万 hm^2 。微灌的迅速发展期从 1995 年前后开始，面积由 1995 年的 0.044 万 hm^2 增加到 2003 年的 0.441 万 hm^2 ，8 年时间增长近 10 倍，如图 1-5 所示。

4. 单位面积年均用水量的变化趋势

如图 1-6 所示，20 世纪 80 年代初期以前，农业灌溉事业的发展是以扩大灌溉面积、提高粮食产量为核心的，灌溉条件的改善促进了单位面积用水量的增加，每公顷年均灌溉用水量从 1958 年的 6014 m^3 增加到 1980 年的 9152 m^3 ，增加 50% 左右。但是 1980 年后，随着农业用水形势的日趋紧张、农业节水工作的深入开展与种植结构的调整，单位面

积用水量不断下降,2003 年的每公顷年均灌溉用水量为 3712m^3 ,是 1980 年的 40%。说明北京市农田节水灌溉事业取得了显著成效,农田灌溉已经步入以提高水分利用率与水分生产效率为中心的时期。

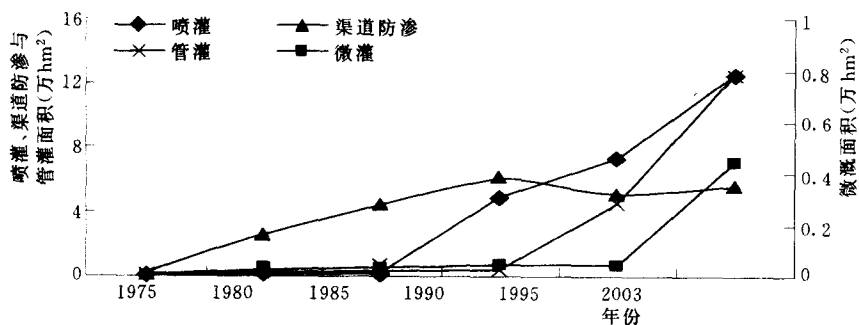


图 1-5 北京市农业节水灌溉形式变化情况

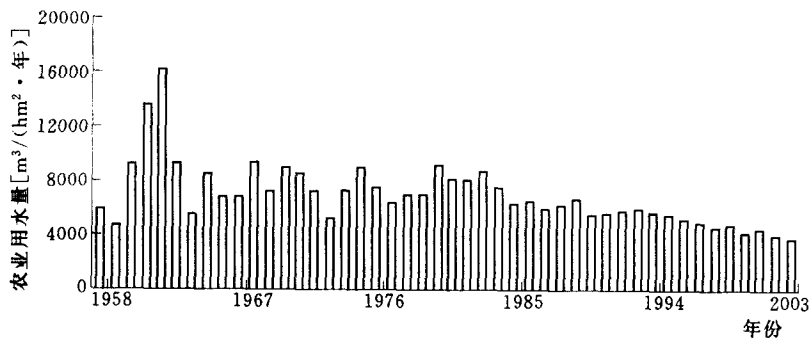


图 1-6 北京市单位面积灌溉用水量年际变化情况

5. 典型年农业用水构成分析

农作物和果林业内部种植面积和灌溉水量调研数据和分析结果表明,北京市 2003 年农作物和果林业总灌溉面积为 324.8 万亩,灌溉用水量为 11.9亿 m^3 。

农作物内部灌溉用水量比例以及相应的实灌面积比例见图 1-7~图 1-8。由图可知,农田灌溉作物中蔬菜灌溉面积占 24%,但是蔬菜灌溉用水占 56%,小麦、玉米灌溉面积占 47.2%,灌溉用水只占总用水量的 25.5%。今后,经济作物的种植面积与需水量还将不断增加。图中数据说明,北京地区的农业种植结构发生显著变化,农业节水重点将逐步从大田粮食作物向蔬菜、果树等经济作物转变。

二、北京市发展农业节水的经验

1. 政府重视

政府高度重视是北京市农业节水事业顺利发展的关键,建立节水型农业已经列为北京市国民经济和社会发展规划的重要内容。北京市还针对水资源紧缺的现状,建立了节水基金、颁布了“26 项节水措施”、建立了 10 多处农业高效节水增效示范区,同时利用世界

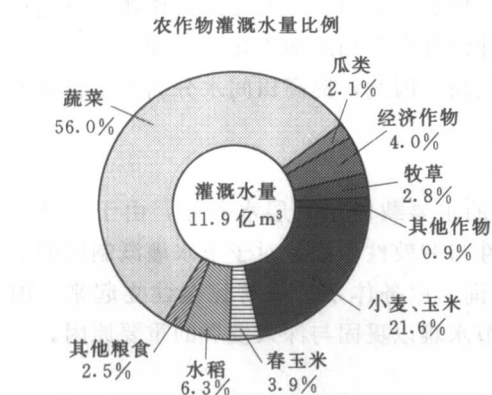


图 1-7 农作物灌溉水量构成

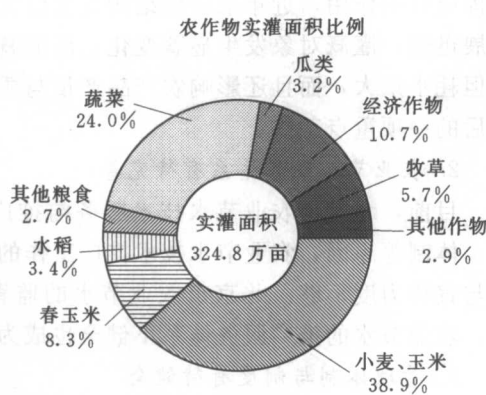


图 1-8 农作物实灌面积比例

银行贷款发展北京市农业节水灌溉事业。

资金投入是保障。目前，北京市通过多种渠道筹集资金发展节水灌溉，农业节水的发展不但节约大量水资源，而且还促进农业结构的调整和农民增收。政府的重视也带动了农民与基层单位投资农业节水的积极性。目前北京市大骨干工程、大型灌区改造及节水增效示范区的建设与改造以市政府投入为主，田间节水工程由地方政府与农民投入为主。

2. 科技先导

北京市的农业节水科研工作起步较早，从“六五”至今，北京市农业、水利科研机构围绕工程节水、生物节水、农艺节水、污水再生利用、水资源联合调度等方面，组织开展了一系列研究工作，累计开展相关研究项目 100 余项，累计投入科研经费上亿元，科研成果的示范与推广取得了良好的社会、经济和生态效益。

农业节水科研工作主要针对不同时期农业水土资源开发利用过程中的关键问题展开，“六五”、“七五”期间围绕粮食中低产田综合治理、农田节水灌溉试验以及作物需水量等方面开展研究；“八五”期间从平原区雨洪利用、水资源联合调度、节水灌溉技术、优化施肥技术、品种筛选与高产栽培技术等方面开展研究；“九五”期间在多功能种子包衣剂技术、覆膜滴灌技术、旱情遥感诊断、灌溉自动控制技术、水井计量技术方面开展研究；“十五”期间农业节水科研的领域进一步扩大，主要开展了“北京市现代化农村高效用水技术研究与示范”，“再生水灌溉利用示范研究”、“北方半干旱都市绿地灌溉区节水综合技术体系集成与示范”等科研项目。科研成果对农业节水的贡献率不断提高。

三、制约农业节水发展的主要因素

北京市农业节水发展水平与发达国家以及北京市 2010 年率先基本实现农业现代化的要求还有一定距离，存在的主要问题如下。

1. 田间水分利用率有待提高

田间水分利用率较低主要涉及两个原因：一是节水灌溉制度没有落实；二是田间配套水平较低。长期以来，农业节水工作主要侧重于如何提高输水与配水过程的节水效果，注重节水工程建设，忽视了节水灌溉制度的推广。同时，许多田间输配水渠系年久失修很难