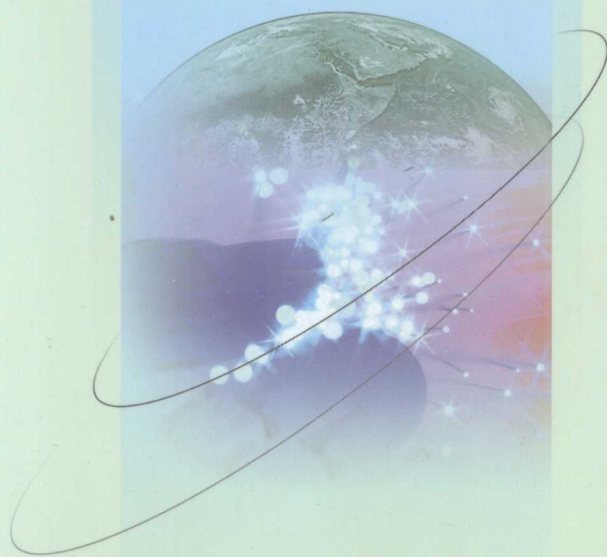


中国现代节水 高效农业技术发展战略

科学技术部农村科技司编
中国农村技术开发中心



中国农业科学技术出版社

中国现代节水 高效农业技术发展战略

科学技术部农村科技司编
中国农村技术开发中心

中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中国现代节水高效农业技术发展战略/科学技术部农村科技司、中国农村技术开发中心编. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2006. 6

ISBN 978-7-80167-956-3

I. 中… II. 科… III. 农田灌溉—节约用水—技术发展—发展战略—研究—中国 IV. S275

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 043440 号

责任编辑: 崔改系

责任校对: 贾晓红

整体设计: 孙宝林

出版者: 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电话: (010)62187620; 62121228 传真: (010) 62189012

E-mail: cuigb@caas.net.cn

发行者: 中国农业科学技术出版社 邮编: 100081

电话: (010)68975144 传真: (010)62189014

经销者: 新华书店北京发行所

印刷者: 北京佳信达艺术印刷有限公司

开本: 889mm × 1194mm 1/16

印张: 19.5

字数: 573 千字

版次: 2006 年 6 月第 1 版

印次: 2006 年 6 月第 1 次印刷

印数: 1 ~ 1 000 册

定价: 120.00 元

《中国现代节水高效农业技术发展战略》

编辑委员会

主 任：杜占元

副 主 任：吴远彬 余 健

委 员：贾敬敦 蒋茂森 吴普特
康绍忠 梅旭荣 许 迪

主 编：贾敬敦

副 主 编：蒋茂森 吴普特 陈兆波

编写人员：（按姓氏笔画排序）

马孝义	牛文全	王凤新	王亚武	王学勤
王景雷	冯 浩	刘 钰	刘凤权	孙传范
许 迪	严昌荣	张 富	张建君	张富仓
李英能	李树辉	李益农	杜太生	汪有科
邱宏伟	武学萍	赵西宁	郝卫平	郭源远
高 峰	康绍忠	戚 鹏	梅旭荣	龚时宏
蔡典雄				

序

我国是一个严重缺水的国家，水资源总量虽居世界第6位，但人均占有量不足世界平均水平的1/4，居世界第121位；水资源短缺已经成为制约我国经济社会可持续发展的重要瓶颈。党的十六届五中全会提出的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要的建议》中明确指出：要把节约资源作为基本国策，发展循环经济，保护生态环境，加快建设资源节约型、环境友好型社会，促进经济发展与人口、资源、环境相协调，并明确指出要把发展现代农业作为社会主义新农村建设的首要任务。

农业特别是粮食生产是我国经济社会持续发展的基础。新中国成立以来，特别是改革开放以来，在党中央和国务院的高度重视下，我国农业的发展取得了举世瞩目的成就，用不到世界10%的耕地和不足6%的水资源总量，生产了占世界24%的粮食，养活了占世界22%的人口。但是在取得这一巨大成就的同时，我们还必须认识到，目前我国水资源形势依然不容乐观，水对农业的瓶颈制约尚未得到有效解决。由于人口的增长，预计到2030年我国人均水资源量将从现在的2200m³左右降至1700~1800m³，需水量接近水资源可开发利用量，干旱缺水问题将更加突出。目前，全国正常年份农业缺水量约300亿m³，据水利部、中国工程院预测，在不增加农田灌溉用水的情况下，2030年农业缺水量将达500亿~700亿m³。尽管水资源日益紧缺，但我国农业用水效率较低。目前灌溉水利用率仅为45%左右，与国外先进国家70%~80%的高利用率差距仍很明显；农田降水资源利用率也仅为30%左右，而发达国家一般为60%~70%；作物水分利用效率也仅有1.0kg/m³，远远低于国外发达国家2.0kg/m³的水平。因此，要满足未来人口持续增加和经济社会全面、协调、可持续发展对水和粮食的需求，必须依靠科学技术，强化自主创新，大力发展现代节水农业，提高水资源综合利用效率。

发展节水农业是建设高产、优质、高效、生态、安全现代农业的重要内容，根据我国不同区域特点，建立具有中国特色的现代节水农业，提高水资源的利用率和利用效率，是一项涉及多学科、多专业、集成度较高的复杂系统工程，必须依靠理论创新和技术创新，加强现代节水农业技术研究和开发，促进节水农业科技创新和成果转化应用，丰富和完善具有中国特色的现代节水农业技术体系。该书是现代节水农业理论创新研究和宏观战略研究的一项重要成果，比较系统地分析和总结了目前国际上节水农业技术的总体发展趋势、我国节水农业技术发展现状及其主要差距、技术需求与技术进步障碍因素、节水高效农业发展模式与节水农业工程综合投资效益等重要问题，

对我国节水农业发展政策体系与运行机制进行了有益的探讨，在此基础上，提出了我国现代节水农业技术发展战略，近期技术研发重点。该书内容十分丰富，不但对国内外节水农业技术发展现状进行详细介绍和分析，而且对我国节水农业技术发展战略与对策进行了深入探讨；既是对“九五”和“十五”期间我国节水农业技术相关研究成果及其经验的系统总结，又是对近期我国节水农业发展方向的深度思考和探索，具有较高的借鉴和参考应用价值。该书的出版对于推动和促进我国现代节水农业科技创新、提高农业高效用水技术水平以及构筑具有中国特色的现代节水农业技术体系具有重要的现实意义。

科学技术部副部长

刘燕华

2006年4月2日

前 言

刚刚过去的 20 世纪是人类有史以来发展速度最快的 100 年，世界人口增加了 3 倍，工业生产总值增加了 50 倍，水资源消耗增加了 6 倍！这种以资源过度消耗而换来经济快速增长的发展模式，导致全球用水量已逼近水资源开发的最大潜力！如何缓解日益严重的全球性水资源危机，已成为 21 世纪世界各国普遍关注的重大战略性问题。

进入 21 世纪后，随着干旱缺水态势不断加剧，人口增长、城镇化和经济快速发展，我国用水矛盾日益尖锐，要满足国家战略水安全必须确保我国农业用水量维持零增长或负增长，但要满足我国粮食安全战略需求必须增加农业用水量约 1 200 亿 m^3 ，这两个现实需求形成了一对难以调和的矛盾。农业是我国节水潜力最大的行业，在我国水资源极为有限的前提下，解决这一矛盾的唯一出路只能是依靠科学技术，大力发展现代节水高效农业，走扩大资源内涵式的发展道路。发展现代节水农业已经成为确保我国粮食安全、水安全和生态安全的重大战略举措。

为了进一步推动我国节水农业技术发展和创新体系建设，探讨“十一五”节水农业科技发展方向、目标、重点和模式，编写了《中国现代节水高效农业技术发展战略》一书。本书分别从国际节水农业技术发展趋势、我国节水农业技术发展现状及主要技术差距、我国节水农业技术需求与技术进步障碍、我国节水高效农业发展模式与综合效益分析、我国现代节水农业技术发展战略、近期我国节水高效农业技术研发重点等六个方面，对我国节水农业科技创新现状与未来进行了探索。

在本书的编写过程中，参考和引用了许多国内外文献，在此对这些文献的作者表示衷心的感谢！限于编著者水平有限，所涉及的问题不够全面，深度也显得不够，提出的观点和建议可能有失偏颇，恳请读者批评指正。

编 者

二〇〇六年五月

目 录

第一章 总 论	(1)
第一节 中国农业用水现状与总体发展态势	(1)
一、中国水资源现状	(1)
二、农业用水现状	(3)
三、农业用水总体发展态势	(6)
第二节 节水农业主要技术及适宜性评价	(9)
一、节水农业技术发展回顾	(9)
二、节水农业主要技术水平及适宜性评价	(11)
三、现代节水农业新技术及其进展	(15)
第三节 中国节水农业发展的目标与任务	(22)
一、我国节水农业的发展目标	(22)
二、我国节水农业发展的主要任务	(23)
第二章 国际节水农业技术发展趋势	(28)
第一节 国际节水农业技术发展现状	(28)
一、重视水资源的保护和管理	(28)
二、节流——提高水资源的利用效率	(28)
三、开源——增加农业用水供应量	(32)
第二节 国际节水农业技术的总体发展趋势	(36)
一、前沿与关键技术研究进展与发展趋势	(37)
二、关键设备与重大产品研发及产业化开发现状与发展趋势	(45)
三、技术体系集成模式与示范现状及发展趋势	(46)
四、高新技术在农业节水中的应用现状与发展趋势	(46)
第三节 国际节水农业重大技术领域及其技术前沿	(47)
一、作物高效用水的生理学与分子生物学基础	(47)
二、抗旱节水型作物新品种选育及应用	(48)
三、农田尺度水分高效利用的应用基础	(48)
四、现代高效、低投入节水灌溉技术	(49)
五、现代作物水分信息采集与精量控制灌溉技术	(50)
六、现代高效农艺节水技术	(50)
七、非常规水资源开发与灌溉利用技术	(50)
八、农业高效用水的区域水土环境效应及区域多水源优化配置	(50)
九、灌区水转化与农业水资源持续高效利用	(50)
第三章 我国节水农业技术发展现状及主要技术差距	(54)
第一节 我国节水农业技术发展现状与总体发展趋势	(54)
一、我国节水农业技术发展现状综述	(54)



二、我国节水灌溉技术与设备发展状况与评价	(55)
三、中国农艺节水技术发展现状	(61)
四、中国非常规水资源开发利用技术现状	(61)
第二节 重大节水农业技术优势领域分析	(64)
一、大田作物高效用水理论及技术研究领域总体水平进入国际前列	(64)
二、节水灌溉新技术与新产品研发能力提升较快	(65)
三、雨水集蓄利用与旱地节水技术发展迅速	(66)
四、筛选和创制出了一批重要的抗旱节水优异育种新材料	(67)
第三节 中外节水农业发展主要技术差距	(68)
一、缺乏节水农业发展的基础数据积累和对农业用水状况的有效监测与控制	(68)
二、对节水农业发展起关键作用的从纯基础到应用层面的应用基础研究还很欠缺	(69)
三、缺少适合不同地区采用的标准化、定量化、集成化的农业节水综合技术体系 和应用模式	(70)
四、节水农业设备与产品功能单一、性能不稳定耐久性差，材料与工艺研究水平 滞后	(70)
五、作物抗旱种质资源发掘与利用不够，缺乏快速、高效的抗旱性鉴定评价方法 与指标	(71)
六、农业节水管理中信息技术应用水平低，节水管理信息采集、传输的可靠性差	(71)
第四章 中国节水农业技术需求与技术进步障碍分析	(73)
第一节 农业用水需求分析与平衡预测	(73)
一、粮食需求与种植结构变化预测	(73)
二、农业用水需求分析	(79)
三、农业节水潜力分析	(83)
四、农业用水供需平衡预测	(85)
第二节 节水农业发展目标与技术需求分析	(86)
一、技术发展目标	(86)
二、科技发展目标	(88)
三、分区发展目标及重点	(89)
四、技术及设备的市场需求	(94)
第三节 我国节水农业技术进步障碍因素分析	(102)
一、政策及体制	(102)
二、技术创新	(107)
三、平台能力建设	(109)
四、技术应用推广服务体系	(112)
第五章 中国节水高效农业发展模式与综合效益分析	(115)
第一节 节水高效区域发展模式与综合技术体系	(115)
一、旱作节水区域模式与技术体系	(115)
二、灌溉节水区域模式与技术体系	(123)
第二节 我国节水高效农业技术进步潜力分析	(136)
一、障碍因素分析	(136)
二、技术进步潜力分析	(141)

第三节 我国节水高效农业综合效益分析.....	(152)
一、节水效益即短缺资源的替代能力分析	(152)
二、经济效益分析	(154)
三、生态效益分析	(156)
第六章 节水农业工程综合投资效益对比分析	(161)
第一节 节水农业工程	(161)
一、节水农业工程的内涵与技术措施	(161)
二、节水农业工程发展现状	(166)
三、节水农业工程发展趋势	(166)
第二节 节水农业工程建设模式	(169)
一、渠灌区节水农业工程建设模式	(169)
二、井灌区节水农业工程建设模式	(169)
三、井渠结合灌区节水农业工程建设模式	(170)
四、南方小型机电提水灌区节水农业工程建设模式	(170)
五、集雨灌溉节水农业工程建设模式	(171)
六、城郊节水农业工程建设模式	(172)
七、抗旱节水农业工程建设模式	(173)
第三节 不同类型节水农业工程投资与效益对比分析	(173)
一、节水农业工程投资分析	(173)
二、节水农业工程效益分析	(176)
三、不同节水农业工程的投资效益分析	(179)
四、不同类型节水农业工程投资与效益对比分析	(194)
第四节 跨流域调水工程.....	(195)
一、中外调水工程的发展现状与趋势	(195)
二、节水与调水的相互关系和作用.....	(200)
三、调水应重点研究的节水问题	(202)
第五节 节水与调水工程的综合投资与效益分析	(203)
一、节水工程综合投资与效益分析	(203)
二、调水工程综合投资与效益分析	(205)
三、节水与调水工程综合效益对比分析	(208)
四、节水与调水工程综合评估	(209)
第七章 中国节水农业技术发展战略	(211)
第一节 战略目标与任务.....	(211)
一、总体目标	(211)
二、战略思考	(212)
三、主要任务	(214)
第二节 技术发展战略	(215)
一、综合节水战略	(216)
二、技术升级与创新战略	(216)
三、产业支撑与提升战略	(217)
四、虚拟水开发战略	(217)

五、平台建设战略	(218)
第三节 重点技术发展方向	(218)
一、生物节水技术	(218)
二、非传统水资源开发利用技术	(221)
三、信息节水技术	(223)
四、渠(管)系高效输配水与田间节水灌溉技术	(224)
五、节水、抗旱、保墒生化制剂开发与产业化	(227)
六、现代节水工程技术的标准化	(228)
七、区域水资源配置、利用、生态安全、水权等方面的一些亟待研究的课题	(228)
第四节 优先发展的技术领域	(230)
一、节水农业前沿与关键技术创新	(230)
二、节水农业重大产品及关键设备研制与产业化开发	(234)
三、节水农业技术集成与示范	(238)
四、现代节水农业发展战略研究	(238)
第八章 我国节水农业发展政策体系与运行机制分析	(242)
第一节 现行政策体系与运行机制分析	(242)
一、节水农业政策体系与运行机制的内涵和作用	(242)
二、我国现行的节水农业政策体系与运行机制	(243)
三、我国节水农业政策体系与运行机制存在的问题	(245)
四、我国节水农业政策体系与运行机制发展的趋势	(247)
第二节 节水农业发展政策体系建设与运行机制	(247)
一、节水农业项目评价体系和选择机制	(247)
二、投入政策和运行机制	(250)
三、水权政策和运行机制	(253)
四、水价政策和运行机制	(258)
五、水市场政策和运行机制	(261)
六、用水户参与灌溉管理的政策和运行机制	(264)
七、科技成果转化的政策和运行机制	(266)
八、节水农业工程质量监督政策与运行机制	(269)
第三节 政策体系运行支撑与保障体系建设	(274)
一、加强组织领导,调动各部门的积极性	(274)
二、全面规划,统筹安排,突出重点,分步实施	(274)
三、按发展公益事业模式建立投入机制	(275)
四、制定和完善有关政策法规,为节水农业发展创造良好的环境	(276)
五、以节水为目标,改革灌溉管理	(277)
六、加强科技创新和产业化,促进科技成果转化	(278)
七、加大宣传,提高全民节水意识	(279)
第九章 近期我国节水高效农业技术研发重点	(281)
第一节 近期国内外高技术发展现状和趋势	(281)
一、应用生物技术充分挖掘植物本身节水潜力	(281)
二、非传统水资源开发利用技术成为本研究领域关注的热点	(281)

三、信息技术、计算机技术、3S 技术不断推进节水管理高效化和现代化	(282)
四、先进制造技术和新材料技术促进了节水灌溉产品开发和升级换代	(283)
五、注重区域节水农业综合技术集成, 选择适宜的节水发展模式	(284)
第二节 近期国民经济和社会需求分析	(284)
一、干旱缺水已成为我国经济社会全面、协调、可持续发展的重大制约因素	(284)
二、发展现代节水农业是建设节水型社会、解决严重干旱缺水问题的关键	(285)
三、发展现代节水农业是确保国家可持续发展的战略需求	(285)
四、发展现代节水农业是保障我国“粮食安全”的重大举措	(285)
第三节 近期我国节水农业技术发展总体目标与任务	(286)
一、总体目标	(286)
二、具体目标和任务指标	(286)
第四节 近期我国节水农业研究内容和重点任务	(286)
一、研究内容	(286)
二、高技术构成与内涵	(287)
三、研究重点	(288)
四、拟解决的关键问题	(290)
五、技术创新点、水平及判断依据	(290)
六、重大产品	(291)
七、市场分析	(291)
第五节 对相关技术领域和产业的影响和带动作用分析	(293)
一、提升创新能力, 引领学科和技术发展	(293)
二、加速技术突破, 提高技术国际竞争力	(293)
三、推动产业发展, 提高产业国际竞争力	(293)
四、实现节水 200 亿 m^3 , 确保国家粮食安全、水安全和生态安全	(293)

第一章 总 论

第一节 中国农业用水现状与总体发展态势

一、中国水资源现状

1. 总量虽多，但人均地均占有量偏少

我国年径流总量 27 115 亿 m^3 ，相当于全球陆地径流总量的 5.5%，居世界第 6 位（见表 1-1）。但按 2000 年全国第五次人口普查的约 13 亿人口计算，人均年占有水资源量仅为 2 160 m^3 ，不足世界人均水平的 1/4，居世界第 121 位。耕地每公顷平均水量为 28 050 m^3 ，也仅为世界平均水平的 4/5。预计到 2030 年，当我国人口达到 16 亿时，在降水不减少的情况下，人均水资源会下降到 1 760 m^3 ，逼近目前国际上公认的严重缺水警戒线 1 700 m^3 。

表 1-1 世界各主要国家年径流量、人均和单位耕地面积占有水量

国家	年径流量 (亿 m^3)	单位面积水量 (万 m^3/km^2)	人口 (亿)	人均水量 ($\text{m}^3/\text{人}$)	耕地 (万 hm^2)	单位耕地面积水量 (m^3/hm^2)
巴西	69 500	81.5	1.49	46 808	3 230	215 170
前苏联	54 660	24.5	2.80	19 521	22 670	24 111
美国	30 560	32.6	2.50	12 224	18 930	16 144
加拿大	29 010	29.3	0.28	103 607	4 360	66 536
印尼	28 113	148.0	1.83	15 362	1420	197 979
中国	27 115	28.4	12.96	2 160	9 730	28 050
印度	20 850	60.2	8.50	2 464	16 470	12 662
日本	5 470	147.0	1.24	4 411	433	126 328
全世界	476 600	32.0	52.94	9 003	132 600	35 943

2. 时空分布不均，难以满足北方地区经济发展的要求

首先，降水资源季节分布极不均衡。受季风气候影响，全国各地降水主要集中在夏季的 6~9 月，其降水量约占全年降水总量的 60%~80%。雨热同季虽然具有较高的气候生产潜力，有利于发展农业，但由于降水过度集中，不仅极易形成春旱夏涝，且 2/3 左右为洪水径流，形成江河汛期洪水和非汛期枯水，农作物生长经常遭受干旱与洪涝灾害的交叉影响，每年水旱灾害面积约 4 亿亩，绝收面积达数千万亩。其次，降水资源年际间变化剧烈。季风气候的另一个特征是不稳定性，统计资料显示我国降水的年变率为 15%~20% 左右。降水年际间的巨大差异以及水库调蓄能力的限制，导致许多地方经常出现连枯或连涝现象，给农业生产、人民生活 and 财产带来严重威胁。第三，水资源空间分布不均，区域性缺水严重。地处秦岭淮河一线以北的广大地区总面积占全国土地面积的 65%，人口占 40%，集中了我国重要的能源重工业等基地和全国 51% 的耕地，但水资源总量只占全国的 20%，许多地区的人均水资源占有量已大大低于 1 700 m^3 的缺水警戒线，区域性缺水问题十分严重。其中，黄河、淮河、海河三大流域片的土地面积占全国的 13.4%，耕地占全国的 39%，人口占 35%，GDP 占 32%，是我国经济集约化程度较高的地区，而水资源总量只有 2 164 亿 m^3 ，仅占全国的 7.7%，降水的资源转化率只有 23.5%（降水资源总量约 9 200

亿 m^3), 人均水资源和耕地亩均水资源分别只有 $500m^3$ 和不足 $400m^3$ (见表 1-2)。联合国粮农组织近年也特别指出中国北方、印度南方和墨西哥部分地区缺水的严重性。

表 1-2 中国各流域片水资源统计

流域片名称	面积占全国百分比 (%)	年水资源总量 (亿 m^3)	占全国百分比 (%)	人口占全国百分比 (%)	耕地占全国百分比 (%)	人均水量 (m^3 /人)	单位耕地面积水量 (m^3/hm^2)
黑龙江	9.5	1 352	4.8	5.1	13.0	2297	10 688
辽河	3.6	577	2.1	4.7	6.7	1 064	8 850
海河	3.3	421	1.5	9.8	10.9	372	3 968
黄河	8.3	744	2.6	8.2	12.7	786	6 019
淮河	3.5	961	3.4	15.7	14.9	530	6 628
长江	19.0	9 613	34.2	34.8	24.0	2 394	41 169
珠江	6.1	4 708	16.8	10.9	6.8	3 743	72 205
浙闽台	2.5	2 592	9.2	7.2	3.4	3 120	78 308
西南	8.9	5 853	20.8	1.5	1.8	33 813	334 457
内陆河	35.3	1 303	4.6	2.1	5.8	5 378	23 103
全国	100.0	28 124	100.0	100.0	100.0	2 437	28 904

3. 河川径流泥沙含量高, 利用困难

我国长江、黄河、珠江和众多国际河流都发源于西部地区, 不仅地势高差大, 而且又有水土流失极为严重的黄土高原和岩溶山地, 自然因素再加上长时期不合理的人为活动破坏, 使很多地区水土流失严重, 不仅对当地土地资源和生态环境造成严重危害, 也使许多江河挟带大量泥沙。例如黄河作为世界第一多沙河流, 年均输沙量达 16 亿 t 之多, 为了减缓下游河道的淤积, 每年大约有 1/3 的径流量用于输沙用水。自 20 世纪 70 年代以来, 黄河下游频频出现的断流现象, 兆示着黄河流域水危机在日益加重。1972~1997 年的 26 年中, 共有 20 年发生断流, 特别是进入 90 年代后, 已连续 7 年发生断流, 而且断流历时、断流河段不断延长。1995 年断流河段长达 680km 之多, 1996 年断流天数长达 136 天。这给下游沿黄地区的工农业生产造成很大损失, 也对依靠黄河作为重要水源的华北、西北地区的可持续发展构成严重威胁。同时黄河不仅输沙量大、含沙量高, 而且具有“水沙异源”的特点。高泥沙含量的问题既影响着水资源的有效利用, 同时也增加了我国江河治理的复杂性和生态环境建设的迫切性。

4. 水资源污染加剧, 江河湖库水质急剧下降

根据 2002 年《中国水资源公报》, 全国废、污水排放总量约为 631 亿 t (不包括火电直流冷却水), 为我国水资源总量的 2.4% 左右, 其中工业废水占 61.5%, 生活污水占 38.5%。排放的废污水主要集中在大中城市和工业区, 然而我国目前的城市污水集中处理率仅为 43.6%, 与欧美国家 80%~90% 和以色列 95% 以上的城市污水处理率相差甚远, 而且处理后的污水也未能全部得到合理利用。由于大量的废污水未经处理或处理后未达标就直接排放, 使河流、湖泊、水库均遭受了不同程度的污染, 近海水产业的生产能力几乎丧失。通过对全国 12.3 万 km 长度的河流水质进行评价, 结果表明: I 类水河长占 5.6%, II 类水河长占 33.1%, III 类水河长占 26.0%, IV 类水河长占 12.2%, V 类水河长占 5.6%, 劣 V 类水河长占 17.5%。对全国 24 个主要湖泊和 196 个水库进行评价, 结果显示: 符合饮用水标准的仅占 1/3 左右, 有 11% 的水质低于农田灌溉水质标准要求, 约有 6% 的水中有毒物质含量超过排放标准或有机污染达到黑臭程度。北方的辽河、黄河、淮河、海河等流域, 污水与地表径流的比例高达 1:4~1:6, 全国湖泊约有 75% 以上的水域水质受到严重污染。全国 118 个城市的饮用水调查显示: 64% 的城市地下水受到严重污染, 33% 的城市地下水受到轻度污染。水质的严重恶化使已经紧缺的水资源可利用量进一步下降, 加剧了水资源的紧缺程度。

5. 全球气候变化已经影响到我国水资源的时空分布格局

有关研究表明,由于人类活动产生的温室气体导致温室效应增强,未来50年全球气温可能升高 $1.3\sim 4.0^{\circ}\text{C}$ 。气候变暖虽然有许多不确定性,但包括降水在内的气候要素的不稳定性将增加。可以预见的是,我国不同地区的降水变率将升高,气候突变和极值天气(如洪涝、旱灾等)的发生概率将升高。从新中国成立以来近50年的降水和气温资料分析,我国在近20年来北旱南涝的趋势正在加剧。20世纪80年代华北地区持续偏旱,使京津地区、海滦河流域、山东半岛10年平均降水量偏少 $10\%\sim 15\%$ 。进入20世纪90年代,黄河中上游地区、汉江流域、淮河上游、四川盆地8年来平均降水偏少 $5\%\sim 10\%$ 。统计资料和气候变化研究结果显示:全国范围水资源总量变化不大,而北方地区持续出现的枯水年份和近年来水旱灾害发生频率加快、危害程度加剧的事实表明,区域性水资源短缺在加剧,水资源的不稳定性在增加。

二、农业用水现状

我国不仅是一个水资源十分短缺的国家,而且又是一个人口众多的农业大国,更是一个农业用水大国。在我国,农业是用水大户,主要消耗于农田灌溉。目前我国年供水能力约为 $5\,600\text{亿}\text{m}^3$,其中:工业用水量约为 $1\,000\text{亿}\text{m}^3$,生活用水量约为 $600\text{亿}\text{m}^3$,农业用水量约为 $4\,000\text{亿}\text{m}^3$,占全国总用水量的 70% 。尽管该比例在未来30年内会有所下降,但是到2030年仍将维持在 60% 左右,农业将持续保持行业用水大户的地位。农业用水量 $4\,000\text{亿}\text{m}^3$ 中大约 90% 用于农田灌溉,即约 $3\,600\text{亿}\text{m}^3$ 。我国目前灌溉面积已达 $0.55\text{亿}\text{hm}^2$,居世界首位,约占全国耕地面积的 $1/2$,但农业用水的有效利用率很低,渠灌区只有 $40\%\sim 50\%$ 左右,井灌区也只有 60% 左右,而一些发达国家可达到 80% 以上,旱作农业区的自然降水利用率只有 56% ,其中还有 26% 的水分消耗于田间的无效蒸发,作物真正利用的降水只有总量的 30% ,即我国旱作农业区雨水资源的利用率平均仅为 30% 左右,大部分以径流和无效蒸发的形式浪费掉了。另一方面,我国灌溉水利用效率也很低,每立方米水生产粮食不足 1.0kg ,旱作农业的作物水分利用效率仅为 $0.6\sim 0.75\text{kg}/\text{m}^3$,全国平均作物水分利用效率为 $0.8\text{kg}/\text{m}^3$,而一些发达国家大体都在 $2.0\text{kg}/\text{m}^3$ 以上。这说明我国各种节水农业技术的综合应用程度还十分低下,与世界发达国家相比还存在很大的差距。同时,这也使我们看到了在中国发展节水农业的巨大潜力和广阔前景。

1. 农业用水总量紧缺,增水能力有限,缺水程度加剧,扩大灌溉的潜力受限

我国不仅是世界上严重干旱缺水的国家之一,也是农业严重缺水的国家之一。据测算,我国干旱缺水地区约占国土面积的 72% ,单位耕地面积水资源量仅为世界平均水平的 67% ,单位灌溉面积的水资源量仅为世界平均的 19% 。因为缺水以及由此引发的灌溉成本逐年上升,我国农田有效灌溉面积自1975年以来一直维持在 $7.0\text{亿}\sim 7.8\text{亿亩}$ 之间(见图1-1),有效灌溉面积中每年尚有 1亿亩 左右得不到有效灌溉。

在缺水条件下,我国一方面要满足新增人口和新增消费的农产品供应,农业用水需求增加;另一方面农业用水占总用水量的比重逐年下降。新中国成立以来到改革开放(1980年),我国粮食总产由解放初期的 $1.13\text{亿}\text{t}$ 提高到 $3.21\text{亿}\text{t}$,增长了 1.84 倍,同期农田灌溉用水量 and 有效灌溉面积分别由 $956\text{亿}\text{m}^3$ 和 2.39亿亩 增加到 $3\,574\text{亿}\text{m}^3$ 和 7.33亿亩 ,分别增长了 2.82 倍和 2.07 倍。可见,灌溉农业的发展对短缺经济时期的粮食增产发挥了重要的不可替代的作用。但改革开放20年来,随着水资源紧缺的矛盾日益突出,我国粮食总产由1980年的 $3.2\text{亿}\text{t}$ 增加到2000年的 $4.62\text{亿}\text{t}$,增幅达 44.4% ,同期农业用水量和灌溉面积分别从1980年的 $3\,574\text{亿}\text{m}^3$ 和 7.33亿亩 增加到2000年的 $3\,784\text{亿}\text{m}^3$ 和 8.08亿亩 ,增幅分别为 8.1% 和 9.0% ,灌溉农业增产的作用在减弱。而同期农业年用水量总量占全国年总用水量的比重从 88% 下降到 70% ,基本维持在 $3\,900\text{亿}\sim 4\,000\text{亿}\text{m}^3$,灌溉用水占总用水

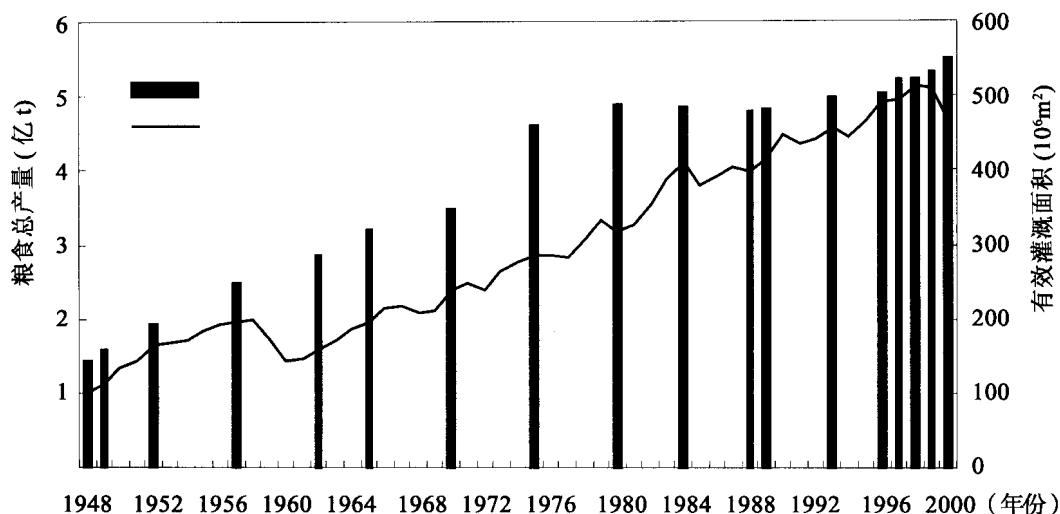


图 1-1 我国历年粮食总产量和有效灌溉面积 (1948~2000 年)

的比重也由 80% 下降到 65%，约维持在 3 500 亿~3 600 亿 m^3 ，也说明了同期节水技术和措施的应用使有限的水资源基本保障了农业发展的需要。据估计，到 2030 年我国人口达到 16 亿高峰值时，全国总用水量将增加到 8 000 亿 m^3 ，农业用水的比重将由目前的 72% 下降到 52%，在不增加灌溉用水情况下，2030 年全国缺水量将高达 1 300 亿~2 600 亿 m^3 ，其中农业缺水量达 500 亿~700 亿 m^3 。同时在农业用水特别是灌溉用水总量要求维持零增长或负增长的情况下，粮食总产量最低要达到 6.4 亿 t 的生产能力，将会导致农业生产缺水程度进一步加剧。

2. 农业水资源短缺，但农业用水浪费严重

我国农田灌溉因为缺乏有效资金投入，无力挖潜改造，宝贵的水资源在输、配、灌过程中浪费、损失，不能高效利用。一些老灌区，长期以来习惯于大水漫灌、大块灌，土地不平整，田间工程不配套，渠系未衬砌或衬砌不全，农业管理粗放，灌溉定额过高，有的高达 15 000~22 500 m^3/hm^2 以上，超出全国平均毛灌溉定额 9 930 m^3/hm^2 的 2~3 倍，浪费严重，同时还造成土壤肥力流失，土壤养分的利用率低下，引起地下水的污染和水质的变坏，部分地区引起地下水位上升，加速土壤次生盐碱化，为农业生产带来极为不利的影响。如内蒙古河套平原的毛灌溉定额 11 364 m^3/hm^2 ，宁夏引黄灌区的毛灌溉定额 10 980 m^3/hm^2 ，青海万亩以上灌区的灌溉定额 11 337 m^3/hm^2 ，新疆全区平均灌溉定额 14 550 m^3/hm^2 ，平均每次的灌水定额高达 2 700 m^3/hm^2 ，仍有 133.33 多万 hm^2 农田采用落后的大水漫灌，南疆有些地州一次灌水定额高达 3 750 m^3/hm^2 。

水量的浪费，导致了灌溉水有效利用率的低下，一般灌溉水的有效利用系数在 0.5 以下，有的甚至只有 0.3。如新疆全区平均渠系水利用系数 0.41；内蒙古河套灌区渠系水利用系数 0.394，田间水利用系数 0.71；陕西关中各大灌区比较重视渠道衬砌、防渗工作，但平均渠系水利用系数也只有 0.5 左右。民勤湖区灌溉水利用系数只有 0.28，湖区入渗水直接进入地下水系统后与苦水层混合，失去重复利用价值。由于灌溉水的大量浪费，致使农业用水占各项总用水量的比值过大，如西北内陆区高达 95%，黄土高原区高达 87.3%，而一些发达国家仅占 50% 左右。根据山西省调查资料（见表 1-3），大型灌区灌溉水利用系数仅为 0.389，中型灌区 0.618，小型灌区 0.672；据“七五”攻关专题“农业节水的研究”调研资料，华北地区土渠输水的灌区渠系水利用系数只有 0.37~0.50（见表 1-4）。我国目前采用传统畦、沟地面灌的面积约占总灌溉面积的 97%，而渠道防渗率约为 20%，田间因土地不平整、畦块过大和管理不善等原因，田间水利用系数也很低，据“北方地区主要农作物灌溉用水定额的研究”课题对北方分区调研资料，渠灌区的田间水利用系数

平均为 0.80 左右（见表 1-5）。因此，粗略估算，全国现状灌溉水利用系数大致为 0.43。也就是说引入灌区的灌溉用水有一半以上是在输水和田间灌水过程中损失了，没有被作物真正利用。

表 1-3 山西省各类典型灌区水利用系数抽样调查结果

灌区类型	现状水利用系数		
	渠系水	田间水	灌溉水
大型灌区	0.48	0.81	0.389
中型灌区	0.695	0.889	0.618
小型（井）灌区	0.800	0.84	0.672

表 1-4 华北地区渠系水利用系数调查统计结果

灌区类型	渠道级别	现状土渠的水利用系数
渠灌区	干渠	0.60 ~ 0.70
	支渠	0.83 ~ 0.85
	斗渠	0.86 ~ 0.90
	农渠	0.86 ~ 0.93
	渠系	0.37 ~ 0.50
井灌区	渠系	0.72 ~ 0.78

表 1-5 北方不同分区田间水利用系数调查结果

分区	自流灌区	提水灌区	井灌区
海河	0.80	0.86	0.89
淮河	0.81	0.85	0.90
黄河	0.78	0.86	0.87
内陆河	0.74	0.84	0.86

在旱地农业区，对天然降水未能充分有效的集蓄和利用，不仅导致了降水利用效率较低，而且还导致了严重的水土流失，使农作物产量低而不稳，生态环境遭受严重破坏，大量泥沙注入河流，增加了水资源开发利用的难度，更进一步加剧了水资源紧缺的矛盾。因此，要使我国工农业生产持续稳定发展，必须发展节水农业，提高天然降水和灌溉水的利用率，提高单方水的生产效率，节水扩灌，提高粮食产量；同时通过节水来满足“生态环境用水”的需求，通过节水和提高水的利用效率来减少灌溉本身所产生的负效应和旱作农业区的水土流失。发展节水农业是水资源持续利用和促进农业持续发展的根本出路。

3. 结构性高耗水导致区域性缺水程度加剧，农业水资源利用效率和效益低下

目前我国农业生产布局与水资源分布错位，导致区域性缺水矛盾加剧。长期以来，由于我国农业数量性生产目标占统治地位，已经成功地解决了我国基本粮食安全问题。但从农业用水效益角度与国外比较分析，存在这样一个基本事实：即水分利用效益低下。研究资料显示，我国的主要粮食作物以产量计算的水分利用效率平均值为 $0.8\text{kg}/\text{m}^3$ ，而单方农业用水的综合经济产出仅为 2 元左右（第一性生产），与节水发达的美国、以色列等国家相比较，前者偏低 10% ~ 25%，后者相差 7 ~ 10 倍。以上情况表明，现阶段我国农业水资源整体利用效率低，水资源利用效益更低，说明产业结构缺陷导致的结构性高耗水（主要指效益方面）问题突出，致使节水农业投入的经济基础薄弱，严重制约了农业的可持续发展。