



華夏英才基金學術文庫

张木清 陈如凯 等 编著

作物抗旱分子生理 与遗传改良



科学出版社

www.sciencep.com



华夏英才基金学术文库

作物抗旱分子生理 与遗传改良

张木清 陈如凯 等 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书浓缩了作者及其项目组成员在国家“八五”、“九五”、“十五”科技攻关、国家“863”计划和国家自然科学基金等项目的资助下,以甘蔗为主要研究对象的15年系统研究精华。作者参阅了国内外最新的有关作物抗旱分子生理、遗传改良、生物技术和栽培调控等方面研究成果,将全书分为四篇十五章,全面系统地论述了作物抗旱研究与农业可持续发展的关系,并结合甘蔗抗旱生理研究成果,从多方面揭示了作物抗旱的分子生理学机制,进一步探讨了作物抗旱的改良技术。

本书可作为高等院校和科研单位从事作物生理、作物分子生物学和遗传育种研究的科技工作者、教师和研究生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

作物抗旱分子生理与遗传改良/张木清,陈如凯等编著. —北京:科学出版社,2005

(华夏英才基金学术文库)

ISBN 7-03-016390-7

I. 作… II. ①张…②陈… III. ①作物-抗旱性-分子生物学②抗旱性-作物育种:遗传育种 IV. S332.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 124579 号

责任编辑:李 锋 李 悦 黄宗安/责任校对:包志虹

责任印制:钱玉芬/封面设计:陈 敬

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>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005 年 12 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2005 年 12 月第一次印刷 印张:33 1/2 插页:2

印数:1—2 000 字数:659 000

定价:88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

序

水资源短缺、干旱是一个长期存在的世界性难题，作为世界三大粮食产出的中国、印度和美国，粮食产量占世界的 50% 左右，近几年来都出现了严重的水资源危机，从而导致了粮食作物的严重减产。因此，作物抗旱和节水技术的研究成为我国当前迫切需要解决的重大问题之一。

我国从 20 世纪 50 年代开始，先后引进了以前苏联 Maximov 和美国 Levitt 等学者为代表的植物抗性生理专著，近年来我国科学家也编著了一系列与抗旱有关的专著、教材，如《植物对环境胁迫的反应》、《植物抗性生理学》、《作物抗旱节水的生理遗传育种基础》、《作物抗旱生理与节水技术研究》等，这些著作对抗旱生理理论虽然进行了较为深刻而详尽的阐述，但对作物抗旱的分子生物学基础和技术涉及有限。

福建农林大学农业部甘蔗生理生态与遗传改良重点实验室张木清和陈如凯教授，在国家“八五”、“九五”、“十五”科技攻关、国家“863”计划和国家自然科学基金的资助下，以甘蔗为研究对象经过 15 年系统研究，同时参阅国内外最新的有关作物抗旱分子生理、遗传改良、生物技术和栽培调控等研究成果，撰写了具有中国特色的《作物抗旱分子生理与遗传改良》。全书共分四篇十五章，系统地介绍了作物抗旱分子生理、遗传改良研究的理论和技术体系以及最新研究进展，从作物的形态御旱、渗透调节、活性氧清除、多胺代谢、光合作用和激素等方面阐述作物抗旱的生理生化基础，从信号转导、基因的分离与表达调控、水分胁迫蛋白等角度揭示作物抗旱的分子生物学基础，从抗旱鉴定指标、抗旱遗传育种、基因工程育种、分子标记辅助选择育种和节水抗旱的调控技术系统等探讨作物抗旱的遗传改良技术，为开创跨学科的学术思想和新的研究体系提供了理论依据，因此本书具有重要的理论和实践应用价值。

在此我愿意向国内外同行们推荐这本专著，作为大专院校和科研单位植物生理、植物生化与分子生物学、作物栽培与耕作、作物遗传育种等专业类的博士、硕士研究生的教材以及从事抗性生理、生物技术研究 and 农业生产的工作者的参考用书。

余松烈 院士

2005 年 6 月 11 日

前 言

水资源短缺及其在全球的时空分布不均匀造成包括中国在内的 80 多个国家严重缺水。干旱胁迫成为世界作物生产的主要限制因素。选择抗旱作物品种是节水农业最主要的生物措施之一,而制定改良作物抗旱性的育种计划时,首先必须了解作物对干旱的反应,鉴定作物在水分胁迫下避旱、御旱和耐旱的生理、生化和分子生物学机制,进而从产量、质量性状和抗旱机制互补的亲本组合中,研究育种群体的遗传变异和遗传力;最终遵循一定的遗传设计、系谱选择,培育具有理想性状并对水分反应不敏感的“聚合基因型”,或利用现代生物技术将抗旱基因分离克隆并转导到优异作物新品种,改良作物抗旱性。把植物生理学、遗传育种学和分子生物学的方法相结合而开展作物抗旱育种具有深远意义,也可能取得较大的进展。

本书根据作者 15 年的研究成果,并参考国内外有关最新研究成果编撰而成。全书分四篇十五章。第一篇分析全球水资源供需现状和开发利用战略,并提出节水抗旱的调控技术体系;第二篇从第三章至第八章,以甘蔗为例,介绍作物御旱、渗透调节、活性氧清除、多胺代谢、光合作用和激素等方面的作物抗旱生理生化机制;第三篇从第九章至第十一章,从分子水平上介绍作物抗旱信号转导、抗旱基因分离与表达调控以及水分胁迫诱导蛋白等分子生物学机理;第四篇从第十二章至第十五章,系统介绍作物抗旱鉴定、抗旱遗传育种、分子标记辅助选择和基因工程育种等改良作物抗旱性的技术体系以及作物高效节水栽培技术体系。内容力求新颖、翔实,基本反映了本领域国内外研究最新成果。

书中大部分研究在农业部甘蔗生理生态和遗传改良重点实验室完成,主要研究得到国家“863”计划、国家攻关项目、国家“948”计划和国家自然科学基金的联合支持。本书获得华夏英才出版基金资助。山东农业大学余松烈院士、中国科学院水土保持研究所上官周平教授、东北农业大学马凤鸣教授审阅了全书,提出了许多宝贵的修改意见,余松烈院士还欣然为本书作序。陈少裕教授、王自章博士、余爱丽博士以及陆裔波等参加了部分研究,邓祖湖副研究员和翁笑艳、刘文荣、陈义强、郭莺、周会、沈宝成、蔡秋华等博士、硕士研究生参与收集大量资料和部分撰稿工作,在此表示谢忱!

由于时间和水平的限制,书中可能存在欠妥和错漏之处,恳请读者指正。

作 者

2005 年 4 月 9 日

目 录

序 前言

第一篇 全球水资源的利用与作物抗旱节水调控

第一章 水资源的利用与农业的可持续发展	3
第一节 全球水资源的开发利用战略分析.....	3
第二节 农业需水分析与我国的西部开发	10
第三节 农业水分高效利用的发展思路和策略	14
第二章 作物抗旱性与农业节水调控	22
第一节 作物抗旱性研究	22
第二节 节水农业技术研究	31
第三节 抑蒸集水栽培调控技术	39
第四节 作物高新节水技术的应用	48

第二篇 作物抗旱的生理生化基础

第三章 作物御旱的基础	67
第一节 作物叶片形态结构与御旱	67
第二节 作物御旱的气孔调节	71
第三节 作物根系发育特性与御旱	81
第四节 作物御旱性的研究技术	86
第四章 作物渗透调节与耐旱	97
第一节 渗透调节的生理作用及其在作物抗旱上的应用	97
第二节 渗透调节物质及其代谢.....	103
第三节 渗透调节的影响因素.....	109
第四节 渗透调节的研究方法.....	111
第五章 作物的活性氧清除与耐旱	122
第一节 逆境胁迫下植物体内活性氧的产生.....	122
第二节 活性氧的大量产生与植物细胞的伤害.....	129
第三节 活性氧的清除与植物耐旱性.....	137
第四节 植物 SOD 对环境的响应	144

第六章 作物的多胺代谢与耐旱	157
第一节 逆境条件下植物多胺代谢变化.....	157
第二节 多胺的化学性质与生物大分子的稳定.....	169
第三节 多胺的代谢特性与植物激素.....	172
第四节 多胺对作物耐旱性的调节作用.....	175
第七章 植物激素与作物抗旱性	188
第一节 ABA 与植物干旱反应	188
第二节 其他内源激素与植物干旱反应.....	200
第三节 激素类物质与作物抗旱性.....	204
第四节 植物生长调节剂的保护作用与甘蔗抗旱性.....	212
第八章 作物光合作用与抗旱	228
第一节 水分胁迫下光系统的损伤与作物抗旱性.....	228
第二节 作物水分胁迫的气孔和非气孔限制.....	238
第三节 水分胁迫对光合产物形成、积累和分配的影响.....	245
第四节 水分胁迫下主要光合基因的表达.....	250
第五节 叶绿素荧光动力学技术在甘蔗抗旱生理育种研究上的应用.....	252

第三篇 作物抗旱分子生物学基础

第九章 水分胁迫诱导蛋白与植物抗旱	271
第一节 水分胁迫诱导蛋白.....	271
第二节 LEA 蛋白	273
第三节 水孔蛋白.....	278
第四节 热激蛋白与植物抗旱.....	288
第十章 作物抗旱的信号转导	298
第一节 植物逆境信号转导的特点与研究方法.....	298
第二节 植物细胞对干旱信号的感知.....	301
第三节 干旱信号在植物体内的传导.....	304
第四节 ABA 与干旱信号转导	309
第十一章 作物旱诱基因的分离与表达调控	324
第一节 植物干旱胁迫响应基因的分离克隆研究方法.....	324
第二节 植物干旱胁迫响应基因的功能.....	340
第三节 作物旱诱基因的表达调控.....	353
第四节 ABA 与旱诱基因表达调控	356

第四篇 作物抗旱性的遗传改良

第十二章 作物抗旱性鉴定技术体系	369
第一节 作物抗旱性鉴定指标.....	369
第二节 作物抗旱性鉴定的数量分析方法.....	379
第三节 作物抗旱性研究方法.....	392
第四节 作物抗旱性鉴定技术在甘蔗抗旱遗传育种上的应用实例.....	394
第十三章 作物抗旱遗传育种	407
第一节 作物抗旱性的遗传特性.....	407
第二节 作物抗旱性遗传改良.....	413
第三节 作物抗旱育种选择策略与技术.....	425
第四节 作物抗旱育种技术在甘蔗育种上的成功实践.....	435
第十四章 作物抗旱的分子标记辅助育种	451
第一节 作物分子标记的类型及原理.....	451
第二节 作物抗旱节水相关基因的分子标记.....	456
第三节 作物抗旱相关性状的 QTL _s 定位.....	461
第四节 分子标记技术在作物抗旱遗传育种中的应用.....	473
第十五章 作物抗旱基因工程育种	483
第一节 作物基因遗传转化技术.....	483
第二节 作物渗透调节的基因工程.....	498
第三节 作物抗旱代谢的基因工程.....	504
第四节 作物抗旱基因工程的存在问题与展望.....	506
英汉名词对照	513

第一篇

全球水资源的利用与 作物抗旱节水调控

第一章 水资源的利用与农业的可持续发展

据世界粮农组织资料统计,2003年全球粮食产量大约为18.18亿t,预计消费缺口在9300万t左右,这是历史上第一次连续4年出现粮食歉收,比第一次出现粮食危机的2000年多歉收7700万t左右。从中国的情况看,继1995年开始连续4年粮食丰收后,1999年开始由于中央政府为解决粮食阶段性过剩、库存压力加大问题而实施了一些农业结构调整政策,加之种粮效益较低,导致粮食种植面积大幅下滑,粮食产量持续走低。2003年更是出现小麦、粗粮、稻谷三大谷物同时减产的局面,2004年在中央一系列惠农政策(如直接补贴、减免农业税等)以及粮价、自然气候、降水等综合因素共同作用下,粮食生产止跌回升,预计全年总产超过4.6亿t。造成这种粮食减产的原因除全球耕地面积减少、温度升高外,水资源的短缺是导致粮食作物减产的主要原因之一。

水资源短缺、干旱是一个长期存在的世界性难题,全球干旱、半干旱地区约占陆地面积的35%,遍及世界60多个国家和地区。作为世界三大粮食产出的中国、印度和美国,粮食产量占世界的50%左右,近几年来也出现了严重的水资源危机,从而导致了粮食作物的严重减产。中国华北平原,小麦产量占全国的1/2,玉米产量占1/3,但是蓄水层却每年降低3m。世界银行2004年一份评估中国水资源现状的报告指出:北京地区现在必须在地下深达1000m的地方才可以到达新鲜的淡水地带,极大地增加了供水成本。这份报告还预测:除非水资源的供求很快恢复平衡,否则对未来的后代来说,后果将是灾难性的!在印度,整个国家蓄水量几乎都在降低,每年有数千口井枯竭,而美国农业部的报告也指出:得克萨斯州、俄克拉荷马州和堪萨斯州的一些地方,蓄水层已经降低了30m,加利福尼亚州的情况更为严峻。

由此可见,干旱半干旱地区亟待解决水资源的利用问题。缓解干旱农业缺水矛盾,已成为当前和今后农业可持续发展必须解决的紧迫问题。解决水资源短缺的有效途径是有效提高水资源的利用率。以色列农业用水的高度利用率堪称世界典范,他们采取的劳动密集型灌溉行为正被许多国家所借鉴,其创造出的高附加值农作物特别适合水资源十分缺乏而劳动力又比较丰富的国家,如中国、印度等。

第一节 全球水资源的开发利用战略分析

水是世界上一切生命活动的基础。近些年来,水资源的合理利用问题受到全

球极大关注。在瑞典召开的第十届斯德哥尔摩国际水问题研讨会, 共有 100 多个国家的近 900 名水问题专家和政府官员参加, 会议围绕“21 世纪水安全”这一主题进行了研讨, 指出水资源不仅是一个环境或经济问题, 同时也是社会和政治问题。

全球人均水资源拥有量 7342m^3 , 但由于水资源的时空分配不平衡, 仍有很多国家和地区都缺水。世界上 65% 的水资源集中分布于 10 个国家, 而人口占世界人口 40% 的其他 80 个国家却严重缺水。世界人口在 20 世纪增加了两倍, 而人类的用水量却增加了 5 倍, 据估计, 全球用水量在以每年大约 5% 的速度增加。世界水文理事会主席马哈茂德·阿布扎依德说: “在 20 世纪 50 年代, 只有少数几个国家缺水, 但到了 90 年代后期有 26 个国家的 30 亿人严重缺水。预计到 2050 年, 约占世界人口 21% 的 66 个国家将由一般缺水发展为严重缺水。”

如何解决水资源供应问题, 保持水资源供给和需求之间的相对平衡, 世界缺水国家和地区长期以来做了大量的探索工作, 一些发达国家或较发达国家都已取得了许多成功经验, 概括起来主要有三个方面: 采取积极措施, 通过区域调水解决地区之间水资源分布不均问题; 通过科学管理维护水资源的供需平衡; 开发和采用各种节水技术。

一、增加和平衡水的供给、大力治理水污染

为解决水资源的供给问题, 水资源比较紧缺的国家都十分重视水资源的开发利用和优化配置。20 世纪以来, 全世界修建了大量拦水蓄水工程以控制地表径流, 解决水资源供给季节分布不均的问题。为解决地区性的缺水问题, 还修建了大量的引水工程, 将水资源相对丰裕地区的水引到严重缺水的地区, 同时, 世界各国都非常重视地下水的合理开发利用, 为保持地下水的永续利用, 一些国家在抽取地下水的同时, 还对地下水资源进行回补。对于较大范围的区域性缺水, 许多国家通过区域之间水资源的调配, 解决短缺问题。

美国西部是干旱缺水地区。为开发西部, 仅 1933~1943 年联邦政府就批准兴建了 34 个灌溉与调水工程, 这些工程的建成为美国西部的繁荣发挥了重要作用。美国加利福尼亚州(加州)南部地区原本是沙漠地区, 年降雨量很少, 在美国西部开发中, 采取从克罗拉多河引水供应南加州地区的用水需求。20 世纪 50 年代, 加州又进一步实施了北水南调工程, 将加州北部的水引到南部。调水工程的成功, 为南加州的发展提供了坚实的基础。

以色列人均水资源占有量只有世界平均水平的 $1/32$ 。为解决水问题, 该国实施了全国性的北水南调工程, 从 1947 年开始相继建成了多条输水管道系统以及“全国输水管道”, 把北部地区相对丰富的水源引到干旱的南部地区。以色列

的北水南调工程于 1964 年建成, 总投资 1.47 亿美元, 每年从北部的加利列湖抽水 3~5 亿 m^3 , 输送到 130km 以外的以色列中部, 再经过两条大致平行的支管将按照国家饮用水标准处理过的水输送到中部地区和南部的沙漠地带。

西班牙也是北部水多, 南部干旱缺水的国家。为克服水资源时空分布的不均匀和各地区用水量的不平衡, 西班牙政府环境部制定了一项以跨十大流域调水为基础、总体解决西班牙内陆水资源分布不均衡的规划, 计划建设一批大型跨流域调水工程, 将埃布罗和塔霍两河流域的多余水资源调至地中海沿岸地区。

埃及在前苏联的援助下, 于 1960 年动工修建了阿斯旺大坝, 形成了蓄水量达 1820 亿 m^3 的纳赛尔湖, 为埃及减少洪涝和干旱灾害、改善灌溉发挥了重要作用。目前埃及政府正着手修建两个大型引水工程, 一个是和平渠工程, 另一个是新河谷水渠工程。和平渠工程西起三角洲尼罗河支流杜米亚特河, 向东穿过苏伊士运河将尼罗河水引到西奈半岛。该工程 1979 年开工, 水渠全长 242km, 总投资约 16.7 亿美元。新河谷水渠工程是埃及正在建设的规模最大的引水工程, 计划中的新河谷水渠总长 850km, 该水渠建成后将使更大范围的沙漠地区得到开发。

各国在加强水资源合理调配和平衡供给的同时, 也大力治理水污染, 增加水资源的有效、合理多次利用。美国从 1973 年就开始实施清洁水法案, 这项法案的实施已阻止数十万吨的污物排入河川, 来自工厂、下水道污物处理厂和土壤侵蚀的污染也大幅减少。为了达到清洁水法案原先制定的目标: 每一个美国人都能在所有河川、湖泊和沿海地区游泳和钓鱼, 1997 年 10 月美国前副总统戈尔下令农业部、环保署与其他联邦机构和民众合作拟订一项积极的行动方案, 以减少水污染。克林顿总统接着在 1998 年国情咨文演说中宣布了新的清洁水行动计划, 提议在 1999 年会计年度编列 5.68 亿美元的预算, 加强公共卫生保护、有限保护社区水源以及控制社区的污物排放。

欧盟在 1970 年开始制定了保护水源和河川的政策, 主要通过立法保护来自河川和其他水源的水品质, 并集中力量制定水质标准, 严格规范饮水的品质及海水与河水的品质。从 1990 年开始, 欧盟开始了一般的水源管理, 并通过了两项立法: 一是严格规范市区及郊区废水处理; 二是严格规范农业硝酸钠的使用。目前欧盟正在进行解决水源和河川污染的“第三波”行动, 将制定更加严格的制度防止水污染, 并将水源保护的范围扩大到地面水、地下水、河水及海水等所有水源。

以色列不仅有控制水污染的严格法律, 而且非常重视废水的回收利用, 是世界上废水利用率最高的国家, 城市的废水回收率在 40% 以上, 每年大约有 2.3 亿 m^3 经过处理的废水用于农业生产, 对使用净化废水和污水灌溉的农户, 其水费按照洁净水费的 1/3 收取。以色列计划到 2010 年农业用水将有 1/3 以上使用

废水。净化后的污水用于农业灌溉，缓解了缺水的矛盾，使更多的优质淡水可以用于家庭用水和其他用途，同时还减少了污染，保护了生态环境。

二、加强水资源的管理

为保证水资源的合理配置和有效利用，很多国家都十分重视水资源的管理。一些国家专门制定了很多有关水资源管理的法律，成立了专门的水资源管理机构，对水的调配、使用、开发等进行全面管理。

美国各州水资源的分布有较大差异，在水的管理上也有不同的模式。但总体来讲，美国对水资源的管理注重统一性和综合性，强调从流域甚至更大范围对水资源的统一管理，强调水资源的综合利用，不仅重视水资源开发利用对经济发展的影响，而且重视水资源开发利用对其他资源和生态环境的影响。美国水资源管理的一个典型模式是田纳西管理模式。田纳西河是美国的一条重要河流，田纳西河流域历史上曾是水旱灾害频繁、水土流失严重、经济最落后的地区。1933年美国通过一项法律，决定成立田纳西流域管理局，并授予其规划、开发、利用田纳西河流域各种资源的广泛权利，对整个流域进行综合治理、统一规划、统一开发、统一管理。经过10年的努力，田纳西流域管理局修建了31座水利工程，建设了21座大坝，控制了洪水，扩大了灌溉，发展了航运，开发了电力。同时，通过植树造林、防治水土流失等措施，改善了生态环境。田纳西流域的综合治理，极大地促进了当地经济的发展，10年间该流域居民的平均收入提高了9倍，创造了举世赞誉的“田纳西奇迹”。

以色列为缓解水资源的供需矛盾，也非常重视水资源的管理。政府专门设立水利委员会，负责制定水利政策、分配额度、用水计划与水资源发展规划以及开发防治污染、利用废水、研制海水淡化设备等。以色列建国不久，就先后制定了《水法》、《量水法》、《水井控制法》等法规，对用水权、用水额、水费征收和水质控制等做了明确规定。以色列对地表水和地下水实行联合调度、统一使用，地表水和地下水的开发利用均实行取水许可证制度，打井和开发地下水必须经过政府批准。以色列对不同的用水实行不同的水价，农业、工业和生活用水的价格不同，水价由全国水利委员会统一制定。为了节约用水，以色列还实行用水配额制。对于各种超配额用水，以色列规定了比较高的水费标准，比如农业超配额用水按3倍的价格收取费用。还有一项重要措施就是对废水进行净化处理，以及对咸水和海水进行脱盐淡化，以增加淡水的供应。

三、实施节约用水

节水是很多国家特别是水资源紧缺国家实现水资源平衡的一项战略性措施。农业、工业生产用水和城市生活用水、生态用水等各个领域都推广了一批先进、适用的节水技术,取得了显著成效。

美国从 20 世纪 50 年代开始普遍推广农业节水灌溉。2002 年美国农业灌溉面积已经从 1961 年的 1400 万 hm^2 增加到 2250 万 hm^2 (图 1-1)。目前整个灌溉面积中已有一半采用了喷灌、滴灌,另一半多数也采用了激光平地后的沟灌、涌流灌、畦灌等节水措施,喷灌、滴灌的比重还在不断提高。在没有灌溉措施的农场,也普遍采用了土地平整、轮作制、免耕法等节水保水措施。美国的粮食作物大多用时针式、平移式和卷盘式大型喷灌机灌溉,这种灌溉不但是节水的灌溉,也是科学的、现代化的灌溉。喷灌和滴灌往往与农作物施肥、使用农药相结合,取得很好的经济效益,可以使占全部耕地面积 15% 的灌区创造的农业产值占全国农业总产值的 40%。

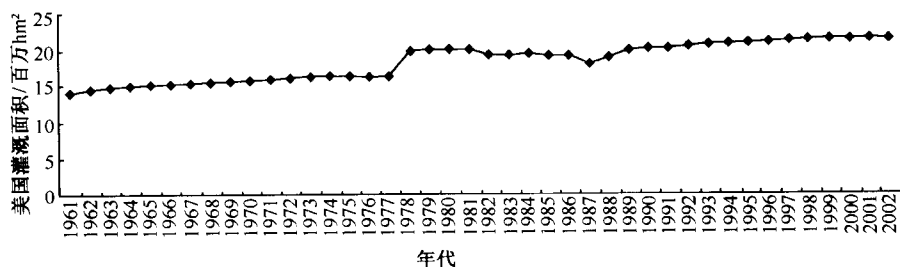


图 1-1 美国农业灌溉面积的变化 (资料来源: FAOSTAT)

以色列是世界上节水灌溉最发达的国家。2002 年以色列农业灌溉面积已经从 1961 年的 13.6 万 hm^2 增加到 19.4 万 hm^2 , 占耕地总面积的 55% 左右 (图 1-2)。以色列的农业灌溉已经由明渠输水变为管道输水, 由自流灌溉变为压

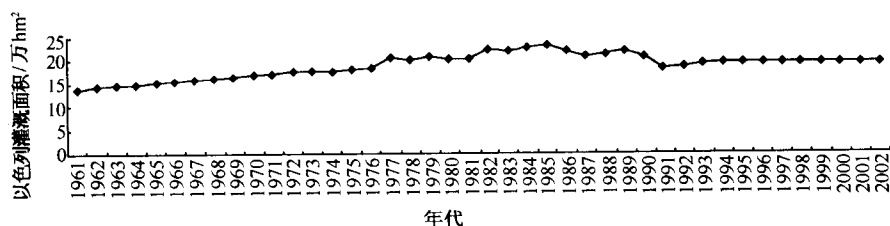


图 1-2 以色列农业灌溉面积的变化 (资料来源: FAOSTAT)

力灌溉,由粗放的传统灌溉方式变为现代化的自动控制灌溉方式,由制度灌溉变为按照作物的需水要求适时、适量灌溉,实现了农业灌溉领域的一场革命。

近几十年来,一些国家节水农业和节水灌溉发展很快,在很大程度上得益于政府的一系列政策支持。这些政策包括以下几项。

1. 对节水农业提供财政支持

美国农业灌溉工程的科研、设计等技术方面的费用全部由联邦政府支付;灌溉工程建设费用联邦政府资助 50%,其余 50% 由地方政府支付或者使用由政府提供担保的优惠贷款;另外每年美国政府还向农场主提供数亿美元的资助,帮助农场主发展农业灌溉。在以色列,农业灌溉所用水源以及输水管网的建设和管理,都由政府负责,政府将灌溉用水直接送到集体农庄或农户的地边;对于田间灌溉设施的投资,政府还提供 1/3 的资金补助,银行对发展节水灌溉的农户提供长期低息贷款。

2. 大力开发和采用节水灌溉技术与先进的灌溉设备

以色列建立了较为完善的节水灌溉技术研究、开发、生产、培训、销售和服务体系,不断研究和开发各种先进的节水灌溉技术和设备,不仅极大地促进了节水灌溉的发展,而且节水技术和设备等也大量进入国际市场,成为一个具有竞争优势的产业。以色列每年在节水灌溉技术和设备研制开发方面的投资高达上亿美元,仅滴灌设备,每年就要推出 5~10 种新产品。

3. 调整农业种植结构,提高农业生产的质量和效益

在节水灌溉比较发达的地区,一般由于缺水,水费本身比较高,另外节水灌溉设施的使用也会增加一定的农业生产成本。为了解决农业成本增加的矛盾,很多地方都对农业结构进行了必要的调整:一是减少高耗水农作物的生产,增加耗水量较少的农作物生产;二是大力发展高附加值的农作物,减轻成本增加的压力,提高农业经济效益。在世界各地,节水灌溉的发展一般都与效益农业联系在一起。在一般缺水地区,高效集约型的农业生产采用了节水灌溉技术。在农业集约程度很高的荷兰,花卉等生产采用了先进的节水灌溉技术。在澳大利亚,尽管农田灌溉的比率并不很高,但不少葡萄园的生产都采用了节水灌溉技术。以色列在发展节水灌溉的过程中,对农业结构进行了调整,减少了粮食作物的面积,扩大了创汇率高的蔬菜、水果和花卉等种植面积。发展节水灌溉,需要调整农业结构,反过来农业结构的调整和农业效益的提高,又为节水灌溉技术的发展和进步提供了更大的市场。

除了农业节水以外,工业生产和居民生活用水的节约也越来越受到各国的普遍重视。在美国,国民把节水当作一种有教养的表现融入整个社会文化中。在日本,人们节约并有效用水体现在各个方面,如普及节水器、兴建“节水型住宅”以及工业用水的反复多次使用等。

四、我国水资源利用现状

与世界其他国家一样,水资源问题在我国经济和社会发展中也具有十分重要的地位,特别是随着经济的持续发展和人民生活水平的迅速提高,保证充足的水资源供给已成为经济发展中的一个重大问题。就现状而言,我国水资源供应和使用上的特点主要体现在以下三个方面:① 水资源总量多,人均占有量少。我国水资源占全球径流资源量的6%左右,仅次于巴西、前苏联和加拿大,列世界第四位。但我国人均水资源仅相当于世界平均水平的1/14,世界排名110位,被列为全球13个人均水资源贫乏的国家之一。② 与其他国家相比,水资源使用量大,但利用效率低。农业用水中,渠灌区水的利用系数只有0.2~0.4,井灌区水的利用系数只有0.6左右;全国平均每立方米农业用水生产粮食0.87kg,而世界平均水平达2kg以上,我国每公斤粮食的耗水量是发达国家的2.3倍。我国万元工业产值的耗水量一般是发达国家的10~20倍,个别行业高达45倍;我国城市人均耗水量已接近发达国家的中等水平。我国工业生产用水的重复利用率约为40%,远低于发达国家75%~85%的水平。1995年我国国民生产总值的用水效益只相当于美国1990年的1/18,日本1989年的1/125。③ 水资源污染严重,污水的处理和利用落后于世界先进水平。

根据我国水资源的基本特点,今后我国水资源的开发利用中必须注意借鉴国外的一些成功经验。

1. 通过水资源的合理配置,解决好严重缺水地区的水资源供应和污染治理

我国南方地区水资源丰富,但北方地区缺水严重。为解决地区性的水资源分布不平衡问题,应适当考虑区域调水。近年来我国有关部门已就区域调水问题提出一些设想,比如,为解决辽河中下游缺水问题,提出了“引松(松花江)入辽”方案;为解决乌鲁木齐等地区的缺水问题,提出新疆“北水南调”工程;为解决华北、西北等地用水问题,实施南水北调中线、西线和东线工程。随着我国经济实力的增强,应当更多地考虑区域性的水资源分配问题,使有限资源得到更好的利用。近几年我国对淮河、海河、辽河以及太湖、滇池、巢湖等水域的水污染问题进行了重点治理,并取得良好效果,但是水污染的形势依然非常严峻,要把水环境治理和污水废水的处理与利用作为一项战略性的任务长期不懈地抓下去。

2. 加强对水资源的统一管理

要尽快理顺水资源的管理体制,加强水资源的流域管理,协调好江河上下游、左右岸的关系,促进流域经济的协调发展;逐步实行取水、用水的定额制度,合理确定水价,充分发挥水价对用水的调节作用。