

## 21 世纪农业高效用水技术展望\*

上官周平 邵明安

(中国科学院 水利部水土保持研究所)

**摘 要** 水资源短缺将是 21 世纪全球社会、经济和农业可持续发展的主要障碍之一, 农业高效用水已成为当今世界关注的焦点问题。目前发达国家农业高效用水技术方面主要在喷微灌技术、节水工程规模经营、节水设备和技术产业化和管理技术等四个方面取得明显进展。随着高新科技的发展, 可以预见不久的将来, 农业高效用水技术将在生物技术、农业管理一体化技术、精细灌溉技术和智能决策系统四个方面取得革命性的突破。

**关键词** 农业用水 节水技术 持续农业

世界上许多国家和地区都发生水分短缺, 水的问题日益引起社会各界的重视。21 世纪全球经济和社会的持续发展将受到淡水供应短缺的严重制约。水资源状况和利用水平已成为评价一个国家和一个地区经济能否持续发展的重要指标, 水资源危机将有可能引发全球社会和政治的动荡。我们在对水资源状况及农业高效用水技术现状分析基础上, 探讨了未来农业高效用水技术发展的突破口。

### 1 水资源状况

据估计世界人均淡水约为  $200 \text{ 万 m}^3$ , 可直接利用的淡水资源人均不到  $1 \text{ 万 m}^3$ , 而且水资源分布不均, 有 50 多个国家严重缺水,  $1/3$  的人口得不到安全用水, 缺水形势日趋严重。我国属水资源紧缺国。全国河川径流为  $27100 \text{ 亿 m}^3$ , 全国地下水资源量为  $8300 \text{ 亿 m}^3$ , 扣除地表和地下水相互转化重复估算量, 淡水资源总量为  $2.8 \text{ 万亿 m}^3$ <sup>[1]</sup>。人均淡水占有量  $2300 \text{ m}^3$ , 约为世界人均占有量的  $1/4$ , 居世界第 109 位。耕地水资源占有量  $28500 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ , 为世界的  $4/5$ 。目前全国总用水量约  $5250 \text{ 亿 m}^3$ , 其中农业用水量约占 73 % 左右, 全国人均用水量只有  $450 \text{ m}^3$ 。我国人口到下世纪中叶将从目前的 12.5 亿增加到 16 亿左右, 人均用水量将增加到  $500 \text{ m}^3$ , 需水量将从现在的  $5400 \text{ 亿 m}^3$  上升到  $8000 \text{ 亿 m}^3$ 。根据国内外经验, 当一个国家用水超过其可用水资源量的 20 % 时, 就可能发生危机。我国目前的用水量占到我国可用水量的 19 % 左右, 处在水危机的临界状态。到 21 世纪中叶, 这个比例将升高到 28 %, 人水矛盾已日趋尖锐<sup>[2]</sup>。

我国农业用水比重过大, 全国平均为 73 %, 西北地区为 87.3 % ~ 96.1 %, 而发达国家平均为 50 %, 农业与其它各行业用水矛盾十分突出。我国水资源在时空分布上十分不均, 冬季少雨, 夏季多雨, 雨热同期是我国降水水资源最突出的特点, 但水土资源的空间组合不甚理想<sup>[1]</sup> (图 1 注: 我国淡水资源和土地面积分别按  $2.8 \text{ 亿 m}^3$  和  $1.1 \text{ 亿 hm}^2$  计算。), 南方水资源丰富, 但山地丘陵多, 北方平原面积大, 但水资源相对短缺, 特别是地域辽阔的西北地区, 水资源十分

收稿日期: 1998-11-30

\* 国家“863”计划(863-306-ZD05-03-3)资助

上官周平, 研究员, 陕西杨凌 中国科学院、水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 712100

贫乏,加之人类的不合理开发利用,造成大面积土地荒漠化。由于缺水,导致过量引用地表水,致使旱季常发生河流干涸断流。黄河自 1972 年断流以来,21 年出现断流,特别是 1997 年断流河段达 700 km 以上,断流时间持续 226 天。由于缺水还导致地下水超量开采,许多地区地下水位持续下降,不仅造成大批机井、机泵报废,提水成本越来越高,而且引发地面沉降、海水入侵等。由于缺水,全国 7000 多万人吃水困难,300 多个城市用水紧张,其中 114 个城市严重缺水,每年因缺水影响工业产值达 1200 多亿元,减产粮食 700~ 800 亿 kg 余。

总之,对水资源的不科学地、掠夺性地利用已给全球和我国经济与社会可持续发展造成了极其严重的影响。

## 2 农业高效用水技术现状

由于全球人口剧增,对粮食及其他农产品需求量迅速增加,世界各国都积极采取各种措施,力求大幅度提高农作物产量。灌溉是提高单产的主要措施之一,在占世界总耕地面积 18.5 % 的灌溉耕地上却生产了世界粮食总产量的 40 %。纵观世界各发达国家,农业水高效利用技术见图 2 所示,并在以下 4 个方面获得较大进展,取得了较好的节水增产结果。

### 2.1 高效节水技术精细化

喷、微灌溉技术是当今世界上节水效果最明显的技术,目前已成为节水灌溉发展的主流,发展迅速,全世界喷灌面积已发展到 2000 多万  $\text{hm}^2$ 。以色列水资源极度贫乏,到 80 年代中期喷、微灌分别占灌溉面积的 2/3 和 1/3,90 年代初喷灌占总灌溉面积的比例下降到 30 %,微灌则上升为 70 %。美国的喷灌面积已占到总灌溉面积 40 % 以上,英国、德国、奥地利、丹麦、瑞典、日本等国旱地灌溉面积的 90 % 以上采用喷灌。目前,约有 80 多个国家和地区推广应用微灌技术<sup>[3]</sup>。我国从 70 年代开始发展喷微灌节水技术,经 20 多年的努力,喷灌面积已发展到 80 多万  $\text{hm}^2$ ,微灌面积已发展到 3 多万  $\text{hm}^2$ ,取得了比较显著的节水增产效果。

目前喷微灌技术的发展趋势是朝着低压、节能、多目标利用、产品标准化、系列化及运行管理自动化方向发展。其它先进的节水高效技术如封闭式管道输水、渠道输水、渠道膜料防渗衬

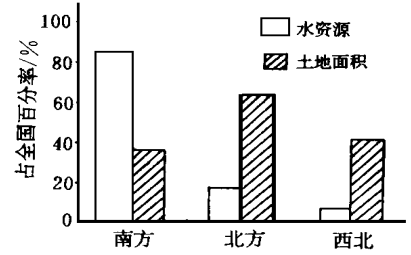


图 1 我国不同区域水土资源空间配置  
Fig. 1 The interspace scheme of water and soil resources in different areas in China

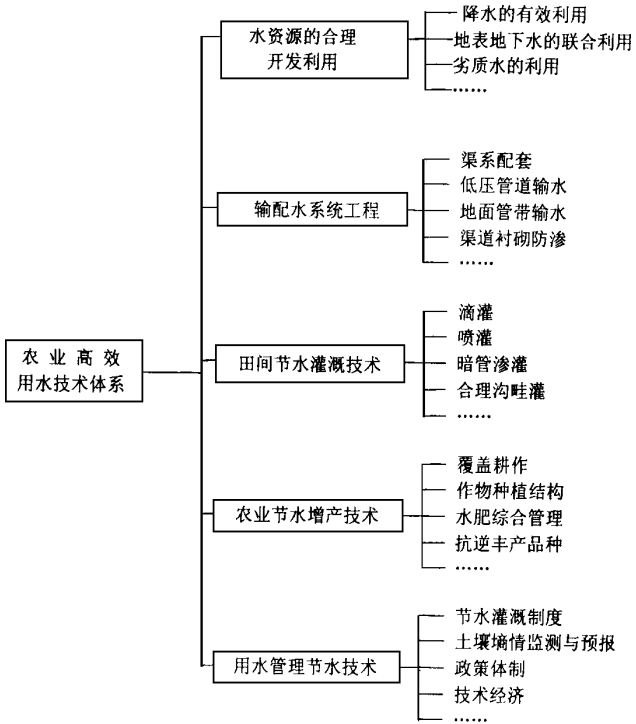


图 2 农业高效用水技术体系的主要结构  
Fig. 2 The structure of high-efficiency technical system of water-saving agriculture

砌、波涌灌、水平畦田灌以及自动化管理技术也获得迅速发展。

## 2.2 农业高效用水工程规模化

只有较大的农业高效用水工程规模,才能实现从水资源的开发、调度、蓄存、输运、田间灌溉到作物的吸收利用形成一个综合的完整系统,不断提高节水工程标准和质量,不断降低农业用水成本,适应现代农业发展需求。例如以色列建成的北水南调国家输水工程,由抽水站、加压泵站与国家输水工程组成的供水管网系统具有 7500 km 输水管道,连接全国 1400 余眼管井,25 个总库容为  $500 \text{ 万 m}^3$  的水库和 400 个水塘,这一系统日供水量最高可达  $480 \text{ 万 m}^3$  [3]。

## 2.3 农业高效用水设备产业化

将先进的节水技术和设备、成套施工机械、特殊材料和系统软件等形成产业化,强调生产的规模化、工艺操作的规范化和技术产品的标准化,发展名牌产品。我国已将农业高效用水技术、设备及其产业化列入国家“2116”工程的首批技术储备库,产业化发展已引起社会各届的广泛关注。

## 2.4 农业高效用水管理制度化

一般认为灌溉节水的潜力 50 % 在管理方面,只有科学的管理才能使其它节水措施得以顺利实施。节水管理技术是指按流域对地表水、地下水资源进行统一规划、统一管理、统一调配并根据作物的需水规律控制、调配水源,以最大限度地满足作物对水分的需求,实现区域效益最佳的农田水分调控管理技术 [2]。各国实践经验表明,灌区用水管理不善,在很大程度上与管理体制有关,因此,各国普遍开始重视运用经济杠杆和政策实现对水资源的合理分配与有偿使用。以色列对供水实行严格的配额制,我国长期以来把农田水利看作一种单纯为社会服务的公益事业,没有当成一种基础产业来对待,因此,我们迫切需要开展农业高效用水投入机制、政策、法规及管理服务体系研究,以节约灌溉用水,实现灌区水资源的合理调配。

# 3 农业高效用水技术展望

## 3.1 生物技术用于农业节水

抗旱节水高产作物品种在农业高效用水中十分重要,不同作物或同一作物不同品种其抗旱节水丰产性差异很大,如宁南山区的春小麦定西 8275 较当地传统品种红芒麦增产 39.3 %,水分利用效率(WUE)提高  $0.26 \text{ kg/m}^3$ 。通过调整作物布局,建立适应抗逆型种植制度,一般可使农田整体 WUE 提高  $0.15 \sim 0.26 \text{ kg/m}^3$ ,增产 15 % ~ 30 %。但目前常规育种技术很难满足农业节水需求,未来生物技术在作物种类和品种改良中将发挥重要作用。

植物生物技术包括基因工程和细胞工程。在 90 年代初,基因工程的三项关键技术,即 DNA 重组技术、基因转化技术和植物再生技术已经达到实用的水平。细胞工程与常规育种技术相结合,形成了一套高效的细胞工程育种新方法。生物技术用于农作物品种定向改良是 21 世纪农业高新技术的重要内容,目前已初步完成小麦、水稻、玉米等作物染色体基因图的绘制,人类完全可以根据自己的需要来重组作物基因。如利用限制性片段长度多态性(RFLP)分子标记对作物抗旱性的基因定位研究表明,小麦 ABA 调节位点在 5A 染色体长臂上,渗透调节由单隐性基因控制,位于 7A 染色体的短臂上;番茄 B、F 和 Q3 条染色体上,大麦 4H 染色体上,大豆 LGL5(G),LG14(H)和 LG18(J)上有控制 WUE 的基因位点;玉米染色体 7 上有控制气孔调节的重要位点,染色体 3 上有控制 ABA 含量的位点 [4]。今后利用生物工程技术在破译抗旱/抗逆基因组成和结构基础上,进行编码合成和培养转多抗基因作物,使抗旱、耐瘠薄、抗病虫害、优质、丰产等性状达到相对统一。同时通过基因工程研究微生物农药、生物化肥等技

术, 以与未来的节水灌溉相配套, 更好的实现节水增产优质的目的。

### 3.2 农业管理措施一体化技术

在工程节水技术的基础上发展综合一体化农业管理节水技术, 发挥各项农业节水技术的综合优势, 达到以节水、高产、高效是当前世界各国研究的一个热点<sup>[5]</sup>。未来的田间农业管理, 如灌溉、施肥、农药、除草剂等同时在智能系统控制和引导下, 依据农田作物生长状况来判别作物生长是否受到土壤或大气水分亏缺及亏缺程度如何, 作物体内养分平衡和土壤养分供应状况, 作物病害类型和严重程度, 田间杂草的种类和位置等信息, 以便使智能控制系统定时、定量、定点使用水分、肥料、农药和除草剂等, 可达到明显的节水、增产、降耗目的。美国和以色列开发的水—肥预测预报技术服务体系, 能较准确地预报墒情及施肥水平, 其氮素利用率达到 60% 以上, 单方水生产率达 2.32 kg。

今后, 在作物对土壤干旱逆境信号感知及其传递, 作物水分利用效率和抗旱性的改善与调控, 不同农业措施(覆盖、施肥、耕作等)条件下的水、热、肥运动、吸收、转化利用规律, 不同作物水分、养分状况分析与土壤水分有效性的自动判别, 作物水分—养分—环境—生产力形成的综合模拟模型等方面都需要进行深入、系统的研究。

### 3.3 高效用水的精细灌溉技术

3S 技术与信息高速公路相结合, 就有可能做到精细地指导农田抗旱和灌溉, 空间遥感的大力发展为 3S 技术的实用化提供了可能。通过高光谱分辨率的遥感技术及时地提供农作物长势、水肥状况和病虫害情况, 绘制征兆图, 同地理信息系统中已贮存的土壤背景数据库、农田灌溉、施肥、种子等数据库进行分析和判断, 形成诊断图, 并与社会经济信息相结合提出实施计划, 通过全球定位系统的控制, 即可使农业机械完成播种、施肥、灌溉、除草、培土及收割等工作。所以, 3S 技术非常适合应用在农业高效用水技术上, 可使农业用水效率有较大幅度的提高, 这也是未来的田间农业和农业高效用水技术发展的方向。

目前应重点开展各种精细地面灌溉技术要素优化组合软件开发, 环境胁迫下遥感机理和遥感标志研究; 遥感和 GIS 的集成对作物胁迫作用的诊断理论; 作物生长环境和收获产量实际分布的空间差异机理和环境胁迫作用与产量形成的遥感定量关系, 信息监测控制与数据采集系统的研制开发等内容的内容的研究。为我国 21 世纪农业高效用水, 乃至农业的可持续发展奠定科技基础。

### 3.4 农业高效用水智能决策系统

近十年来, 随着信息、通讯技术的发展及硬软件价格的不断下降, 信息技术已广泛应用于农业生产的各个领域。在发达国家, 信息技术已成为提高农业生产的最有效手段, 世界各国学者相继开发了有关节水灌溉方面的专家系统, 如滴灌系统中过滤设备选择专家系统, 灌溉水质与作物产量间关系的决策支持系统, 渗灌技术要素与氮素间关系的决策系统等, 国内在农业高效用水专家系统方面也进行了一些尝试, 但这类系统都是针对灌溉中某一具体技术开发的, 距

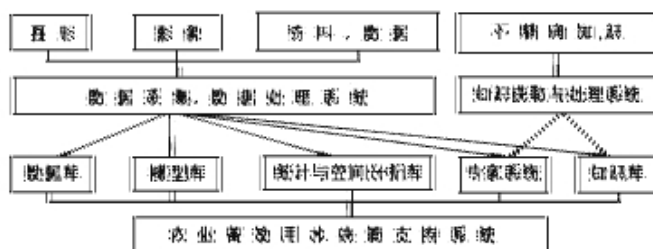


图3 农业高效用水决策支持系统框架

Fig. 3 The system outline of decision support system of agricultural high-efficiency water-using techniques

指导环境条件复杂的农业生产尚有一定差距,特别是基于作物生长发育模型,土壤水肥模型,作物灌溉生产函数等模型的农业专家系统还较少见。今后应将专家系统、模拟模型、资源数据库、控制技术、计算机网络等技术有机结合起来,形成适合不同水资源状况的水资源开发调配,农田输水与灌溉方式,农田水分与养分管理的农业高效用水决策支持系统(图 3),为农业生产可持续发展服务。

### 参 考 文 献

- 1 沈振荣, 贺伟程 中国农业用水的评价、存在问题及解决途径 自然资源学报, 1996(3): 221~ 230
- 2 吴景社, 李英能 我国 21 世纪农业用水管理与节水农业 农业工程学报, 1998(3): 95~ 101
- 3 水利部科技司 节水农业技术发展综述 节水灌溉, 1997(3): 23~ 39
- 4 张正斌, 山仑 作物抗旱生理性状遗传研究进展 科学通报, 1998(17): 1812~ 1817
- 5 石元春, 刘昌明, 龚元石主编 节水农业应用基础研究进展 中国农业出版社, 1995

## Prospects on Agricultural Techniques of High-Efficiency Water-Using in the 21st Century

Shangguan Zhouping      Shao Ming'an

(Institute of Water and Soil Conservation, C A S and M W R, Yangling)

**Abstract** The crisis of water resources is one of the main obstacle factors of society, economy and agriculture sustainable development of the world in the 21st century. Agricultural high-efficiency water-using is one of the key problems in the world development. Agricultural techniques of high-efficiency water-using in developed countries took out evident headway, i.e., sprinkler and micro-irrigation, water-using engineering, the industrialization of water-using machinery and equipment and the technology management. Along with developing of high- and new-techniques, agricultural high-efficiency water-using techniques will gain breaching development, in particular, bio-technology, the technology of unit agricultural management, fine irrigation and intelligent decision-making system.

**Key words** agricultural water-using, water-saving techniques, sustainable agriculture