

节水农业在中国

科学技术部中国农村技术开发中心 组编

中国农业科学技术出版社

JIESHUI NONGYE
ZAI ZHONGGUO

JIESHUI NONGYE
ZAI ZHONGGUO

中国农业科学技术出版社

科学技术部中国农村技术开发中心组编

节水农业在中国

江苏工业学院图书馆
藏书章

图书在版编目 (CIP) 数据

节水农业在中国/科学技术部中国农村技术开发中心组编. —北京:
中国农业科学技术出版社, 2006.10

ISBN 7-80233-100-5

I. 节… II. 科… III. 农业灌溉—节约用水—中国 IV. S275

中国版本图书馆 CIP数据核字 (2006) 第 115618 号

责任编辑 闫庆健 鲁卫泉

责任校对 贾晓红

整体设计 马 钢

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) 68919704 (发行部) (010) 62189012 (编辑室)

(010) 68919703 (读者服务部)

传 真 (010) 62189012

网 址 <http://www.castp.cn>

经 销 者 新华书店北京发行所

印 刷 者 北京华正印刷有限公司

开 本 880 mm × 1230 mm 1/16

印 张 27

字 数 690 千字

版 次 2006 年 10 月第 1 版 2006 年 10 月第 1 次印刷

印 数 1~1 000 册

定 价 60.00 元

《节水农业在中国》

编委会

主 任：吴远彬
副 主 任：余 健 王 喆 李思经
委 员：于双民 孙晓明 赵庆惠 卢兵友 胡熯华
黄 卫 王 强 袁学国 王敬华 王 峻

主 编：梅旭荣
副 主 编：康绍忠 许 迪 吴普特
编 委：于双民 王庆锁 王 峻 王 强 王敬华 卢兵友
孙晓明 许 迪 吴普特 李久生 段爱旺 胡熯华
袁学国 梅旭荣 康绍忠 景蕊莲

参编人员：（按姓氏笔画为序）

马兰忠	尹飞虎	尹光华	王一鸣	王月福	王玉坤
王庆锁	冯 浩	刘玉春	刘作新	刘祖贵	刘群昌
孙占祥	朱德峰	许 迪	邬来广	严昌荣	何文清
吴普特	妥德宝	张仁陟	张玉屏	张建新	张寄阳
李久生	李玉中	李英能	李益农	杜太生	杨其长
汪有科	武继承	武雪萍	郑大伟	段爱旺	郝卫平
柴 强	高 峰	梅旭荣	康绍忠	黄高宝	龚时宏
龚道枝	景蕊莲	程延年	程满金	雷水玲	蔡典雄
缴锡云					

前 言

上溯到舜、禹时期，中华民族是在与水的搏斗中崛起于世界东方的，龙的传人也把他崇拜的图腾——龙定为司水之王，黄河和长江也成为中华农业文明的发祥地。斗转星移，世纪交替，共和国半个多世纪在农—水—人的链条上英勇奋斗，伟业辉煌：以全球9%的耕地和7%的淡水资源养活了22%的人口，令世人折服！

然而，大自然并不因此留给我们喘息的机会。水之于中国现代农业，有几个问题始终让节水人难以释怀。首先是农业用水短缺的问题。用一句话概括，就是“总量不足，增量有限，缺水加剧”。现阶段农业用水总量约为4 000亿 m^3 ，其中农业灌溉用水3 500亿~3 600亿 m^3 ，单位耕地面积和单位灌溉面积的水资源量分别为世界平均的67%和19%。预计2020年我国农业用水无增，农业缺水程度将加剧。其次是农业水资源分布与生产格局失衡问题。地处秦岭淮河一线以北的广大地区虽拥有65%的国土面积，51%的耕地和40%的人口，却只有19%的水资源，但粮食流通的格局却是“北粮南运”，许多地区人均水资源已大大低于500 m^3 的极度缺水警戒线。第三是用水效率和效益问题。节水人耳闻能详的数据是灌溉水利用率45%，降水利用率56%，灌溉水的利用效率 1kgm^{-3} ，旱地水分利用效率 $7.5\text{kgmm}^{-1}\text{hm}^{-2}$ ，低于发达国家若干。第四是旱涝灾害与水环境问题。紧缺的淡水资源由于季节分布不均，旱涝灾害频发，水污染又使有限的水资源的可利用性降低，进一步加剧了水资源的短缺。当然还有中国农业节水潜力问题。以目前的灌溉格局，我国节水潜力最大的40.29亿 hm^2 水田所节约的水资源大部分在南方地区，这对于缺水的北方地区难以发挥效应。

可喜的是，党和政府十分重视节水农业的工作，2002年国家启动实施了“现代节水农业技术体系及新产品研究与开发”重大科技专项。2003年，国家颁布了《全国旱作节水农业示范工程建设规划》。《国家中长期科学和技术发展纲要（2006~2020年）》把“旱作节水与生物节水综合配套技术”列为“水与矿产资源”重点领域“综合节水”优先主题。最近的二十多年里，我国的节水农业科技工作者积极探索，努力创新，获得了一批具有自主知识产权的技术成果。例如，棉花膜下滴灌成为世界上应用面积最大的大田作物节水灌溉技术，旱地农田示范面积上的水分利用效率已经居国际领先和先进的水平，在低成本灌溉设备、节水型农作制度、生物性节水、水资源高效蓄积和利用、节水灌溉等领域也取得了重大的突破，可以说，我们基本找到了一些解决问题的办法。尽管我们面临的缺水条件下保障国家粮食安全的任务异常艰巨，但我们充满信心。

发展节水农业，提高水资源的利用率和利用效率，是事关我国粮食安全、水安全和生态安全的大事，也是全社会的共同事业。为了提高地方政府和农民的节水意识，普及节水知识，中国农村科技开发中心组织全国节水农业的有关专家编写了《节水农业在中国》这部著作，希望把我国近年来的节水农业研究的最新成果，推广运用到农业生产中去。

本书的出版得到国家科学技术部和参编单位的大力支持，特此致谢。

由于时间仓促，难免挂一漏万，恳请同仁和读者指正。

编 者

2006年10月

● 有机农业在中国
● 节水农业在中国
● 设施农业在中国

目 录

总论篇

第一章 节水农业的内涵与主要技术措施	(3)
第一节 节水农业的概念与技术体系	(3)
第二节 节水农业的生物学基础	(5)
第三节 节水农业的主要技术措施	(6)
参考文献	(14)
第二章 我国水资源现状及发展节水农业的需求	(17)
第一节 我国水资源的严峻形势与节水潜力分析	(17)
第二节 发展节水农业的意义	(20)
参考文献	(22)
第三章 国外节水农业技术新进展	(24)
第一节 提高水利用率的新技术	(24)
第二节 国际节水农业技术研究的总体发展趋势	(32)
第三节 国际节水农业重大技术领域及前沿	(43)
参考文献	(47)
第四章 我国节水农业技术发展现状及趋势	(51)
第一节 我国节水农业技术发展现状与总体发展趋势	(51)
第二节 我国重大节水农业技术优势领域分析	(62)
第三节 我国节水农业与世界先进技术的差距	(65)
参考文献	(70)

技术篇

第五章 灌溉节水技术	(77)
第一节 渠道防渗技术	(77)
第二节 地面灌溉技术	(90)
第三节 喷灌技术	(98)
第四节 微灌技术	(107)
第五节 低压管道输水灌溉技术	(124)
第六节 覆膜灌溉技术	(129)
第七节 坐水播种技术	(136)
参考文献	(146)
第六章 农艺节水技术	(149)
第一节 农业蓄水技术	(149)
第二节 保水技术	(155)
第三节 水分高效利用技术	(170)

第四节 化学抗旱节水技术	(181)
参考文献	(199)
第七章 生物节水技术	(202)
第一节 作物抗旱节水鉴定评价技术	(202)
第二节 基于生命需水信号的时空亏缺调控灌溉技术研究	(210)
第三节 作物抗旱节水品种选育技术	(218)
第四节 主要作物节水优质高产栽培技术	(227)
参考文献	(241)
第八章 管理节水技术	(250)
第一节 节水灌溉制度	(250)
第二节 土壤墒情监测与灌溉预报技术	(261)
第三节 灌区配水技术	(269)
第四节 灌区量水技术	(273)
第五节 现代化灌溉管理技术	(280)
参考文献	(284)
模式及应用篇	
第九章 渠灌类型区节水农业技术集成模式与应用情况	(287)
第一节 渠灌类型区农业高效用水技术水平现状与发展趋势	(287)
第二节 杨凌渠灌类型区节水农业示范情况	(288)
第三节 杨凌渠灌类型区节水农业技术集成模式	(289)
参考文献	(298)
第十章 井灌区节水农业技术集成模式及应用	(299)
第一节 研究区的选择及技术集成示范区的建立	(300)
第二节 井灌区节水农业技术集成模式	(302)
第三节 研究区作物种植结构优化调整	(307)
第四节 项目调节区地下水资源量均衡分析	(314)
第五节 项目研究区地下水数值分析与节水效果评价	(315)
第六节 节水农业技术集成模式及应用	(321)
第十一章 渠井结合灌区节水农业技术集成模式及应用	(325)
第一节 渠井结合灌区的类型和现状	(325)
第二节 主要技术和集成模式	(329)
第三节 应用效果及前景	(335)
参考文献	(337)
第十二章 集雨补灌区节水农业技术集成模式及应用	(338)
第一节 北方半干旱地区发展集雨农业的意义	(338)
第二节 可收集雨水潜力的测算	(339)
第三节 提高集雨农业雨水转化效率的试验研究	(345)
第四节 黄土高原丘陵区集雨农业技术集成总体模式的研究	(360)
参考文献	(364)

第十三章 北方干旱内陆河灌区节水农业技术集成模式及应用	(366)
第一节 模式产生背景	(366)
第二节 主要技术集成模式	(367)
第三节 推广应用情况及前景	(374)
第十四章 旱作节水技术集成模式及应用	(375)
第一节 旱地农业集成模式	(375)
第二节 旱地农田集雨节水高效利用技术及效果	(383)
第三节 抗旱补灌技术	(388)
参考文献	(397)
第十五章 设施节水农业技术集成模式及应用	(399)
第一节 资源现状	(399)
第二节 主要技术集成模式及应用效果	(400)
参考文献	(409)
第十六章 水稻节水栽培集成技术	(410)
第一节 水资源状况	(410)
第二节 水稻节水灌溉模式	(412)
第三节 应用效果及前景	(415)
参考文献	(422)

总论篇

第一章 节水农业的内涵与主要技术措施

第一节 节水农业的概念与技术体系

我国水资源供需矛盾日益尖锐、农业用水浪费严重、水污染问题突出,已成为严重制约国民经济可持续发展的瓶颈。我国多年平均水资源总量为 2.81 万亿 m^3 ,但人均水资源占有仅为 $2\,200\text{m}^3$,不足世界人均水平的 $1/4$ 。预计到 2030 年,我国人口达到 16 亿时,在降水不减少的情况下,人均水资源量将逼近目前国际上公认的严重缺水的警戒线 $1\,700\text{m}^3$ 。在占全国耕地 50% 左右的灌溉土地上,生产了占全国粮食总产量的 70% 、棉花总产量的 80% 、蔬菜总产量的 90% 以上的农产品。因此,发展节水农业是保障我国人口高峰期粮食安全、水安全和生态安全的重大战略。

2002 年修订施行的《中华人民共和国水法》明确规定“国家厉行节约用水,大力推行节约用水措施,推广节约用水新技术、新工艺,发展节水型工业、农业和服务业,建立节水型社会”。《中共中央、国务院关于推进社会主义新农村建设的若干意见》中指出,要大力加强农田水利、耕地质量和生态建设。加快发展节水灌溉,建立和完善生态补偿机制,加强荒漠化治理。《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006~2020年)》也提出要重点研究开发大气水、地表水、土壤水和地下水的转化机制和优化配置技术,重点研究开发灌溉节水、旱作节水与生物节水综合配套技术。由此可见,发展节水农业是我国应对日益严峻的缺水形势,建设现代化农业的必然选择,也是构建节约型社会的重要组成部分。

根据 2004 年中国水资源公报,该年度我国总用水量为 $5\,548$ 亿 m^3 ,与 1997 年的 $5\,566$ 亿 m^3 基本持平,而农业用水占 64.6% ,比 1997 年下降了 5.8% ,比 1980 年的 83.4% 则下降了 18.8% ,农业用水与工业、生活、生态用水之间争水的现象变得越来越严重,而且这种变化趋势还会随着我国工业化与城镇化进程的加速而加剧。按照 2000 年全国现状用水统计,中等干旱年份下农业缺水 300 亿 m^3 。即使在保持今后农业用水零增长的前提下, 2030 年我国农业缺水仍将达到 500 亿~ 700 亿 m^3 。按照中国工程院咨询项目组所作的分析,到 2030 年我国人口达到 16 亿时,将需要粮食 7 亿 t 左右,粮食播种面积单产应达到 $5\,250\text{kg}/\text{hm}^2$,而农业供水只能维持在目前 $4\,000$ 亿 m^3 的水平上。为满足增产需求,灌溉面积应从目前的 0.51 亿 hm^2 扩大到 0.60 亿 hm^2 左右,为基本保证 0.6 亿 hm^2 灌溉农田的实现,新增加的灌溉面积用水只能通过节水来解决,灌溉水利用系数需由现在的 0.45 提高到 $0.6\sim 0.7$,每立方米灌溉水生产粮食从现在的 1.1kg 提高到 $1.5\sim 1.8\text{kg}$ 。由此可见,通过各种农业节水理论与技术的创



新和采取综合节水措施来提高水分利用效率（WUE）是未来中国粮食安全保障和水资源可持续利用的根本途径。

一、节水农业的概念与类型

节水农业（Water saving agriculture）一词是由我国研究者提出并倡导的，与国外常用的“高效用水”（Water efficient; Efficient water use）涵义相同，它是充分利用各种可用水源，采取工程、农艺、管理等技术措施，使区域内有限的水资源总体利用率最高及其效益最佳的农业，即节水高效的农业。关于节水农业的定义，国内大致有两种观点：第一种观点认为节水农业只指灌溉农业，不包括旱作农业。如栗宗嵩、席承藩等指出，节水型农业是灌溉农业的一种新形式，实质上就是节水灌溉；第二种观点认为，节水农业是提高用水有效性的农业，节水农业需解决的中心问题是提高自然降水和灌溉水的利用效率和效益，包括节水灌溉农业和旱作农业，节水灌溉仅是节水农业的一部分。节水包含在用水之中，发展旱地农业，需要研究如何提高降水利用的有效性，可见第一种提法是对节水农业的狭义定义，对旱地农业未给予足够的重视，而事实上随着水资源危机的加剧，旱地农业将成为缺水地区未来农业发展的一种积极对策。显然，第二种观点对节水农业给予广义的定义，提倡既要大力发展节水灌溉农业，也要重视旱地农业，实现节水农业全面发展。

节水农业是包括水资源时空调配、充分利用自然降水、高效利用灌溉水以及提高植物自身水分利用效率等多个方面的高标准高效用水农业系统工程，其技术措施包括水资源的合理开发与利用、农艺节水、生物节水、化学节水、工程节水、灌溉节水、管理节水等方面。

如何用好有限的水资源，提高农业用水有效性和水分利用效率，是节水农业研究的核心问题。山仑院士认为，从社会需求看，推行节水农业既是缓解我国北方地区水资源日趋紧张状况、促进整个国民经济持续稳定发展的一项重大战略措施，同时也是建设现代农业本身的需求，是与农业现代化配套的多种措施中的重要组成部分。从科学技术角度看，节水农业主要指在干旱、半干旱和半湿润地区充分利用自然降水的基础上，高效利用灌溉水的农业。节水农业要解决的中心问题是：提高农业生产中水的利用率和利用效率；在灌溉农业中努力做到节约大量灌溉用水的同时实现作物高产，在旱作农业中力求做到充分挖掘降水潜力，以达到显著增产。

综上所述，节水农业主要包括三种农业类型：节水灌溉、有限灌溉和旱作农业（包括雨水集流补灌）。其中，节水灌溉是常规灌区最主要的农业灌溉类型，是当前实施节水农业的主体。旱作农业是否应属于节水农业的范畴，一个时期内学术界对此存在不同看法，目前认识已趋于一致，即“发展节水农业必须做到发展节水灌溉和旱作农业并举，两者不可偏废”，一般称之为旱作节水农业。有限灌溉系指缺水地区利用补充灌溉仅能部分满足作物对水分需求的一种方法，是旱地栽培与有限供水相结合的一种作物管理制度，可将其定义为“根据水资源状况和作物需水规律，在充分利用降水的基础上进行低限补充供水的一种节水农业类型”，是当前发展节水农业的一种新趋向，在科学技术不断进步的基础上，有可能成为未来农业高效用水的一种主要方式。

二、节水农业的技术体系

现代节水农业发展的方向必将是以提高水的有效利用率为中心的可持续发展农业，节水农业发展的关键在于高效节水技术体系的构建，即根据我国各地区不同的自然地理条件与气候特征和水源条件，以提高灌溉水的利用率和水分利用效率为核心。从节水机理、节水关键配套技术、成套节水技术的组装集成等方面出发，强调各种节水技术的综合，寻求多种农业节水技术（包括渠系和田间工程的配套与完善、土地平整与标准田块建设、田间灌水技术改进、节水灌溉制度、田间保水技术、水肥耦合技

术、农作物种植结构调整、节水抗旱品种选育、雨水利用、节水耕作及栽培技术等)的最优配置,形成一套综合的由节水栽培、节水灌溉、节水管理有机结合的农业高效节水技术体系。

节水农业技术措施可概括为工程节水、农艺节水、生物节水和管理节水等四大类。在研发的层次上可归纳为节水农业前沿与关键技术、节水农业关键设备与重大产品研发及产业化、节水农业技术体系集成模式等三方面。这些节水措施的基本用途又可大致划分在四个基本环节内:一是减少渠系(管道)输水过程中的水量蒸发渗漏损失,提高灌溉水的输水效率;二是减少田间灌溉过程中水分的深层渗漏和地表流失,提高灌溉水的利用率并减少单位灌溉面积的用水量;三是蓄水保墒,减少来自农田土壤的水分蒸发损失,最大限度地利用天然降水和灌溉水资源;四是提高作物水分生产效率,减少作物的水分奢侈性蒸腾消耗,以获得较高的作物产量和用水效益。

第二节 节水农业的生物学基础

近年来的研究表明,作物在适度水分亏缺的逆境下,对于有限缺水具有一定的适应性和生理效应,水分亏缺并不总是降低产量,早期适度水分亏缺有利于某些作物的增产。水分亏缺对与产量形成相关的各个生理过程的影响程度和顺序不同,其中叶片伸长对缺水最为敏感,物质运输则最为迟钝,不很严重的干旱反而对物质运输有促进作用。研究表明,缺水对禾谷类作物不同生理功能影响的先后顺序为细胞扩张>气孔运动>蒸腾运动>光合作用>物质运输。

另外,不同作物和品种对水分亏缺的反应也不相同,这集中表现在其水分利用效率的差异上。一般认为,水分利用效率是可遗传的,可以通过引种或选育具有高的水分利用效率 WUE 的抗旱或耐旱品种达到节水的目的。研究表明,由于 CO_2 同化方式的差异,不同光合途径 (C_4 、 C_3 、CAM) 类型和不同种类作物, WUE 存在很大差异, C_4 作物(玉米、高粱、甘蔗等)的 WUE 较 C_3 作物(小麦、水稻等)高 2~3 倍,现在正尝试用分子生物技术来转变 C_3 作物的碳代谢途径,尽管这种遗传工程难度很大,但 $\text{C}_3 \sim \text{C}_4$ 中间作物品种的存在证实了其实现的可能性。目前通过生物学技术已可以把某些抗旱耐盐基因移植到人们需要的植物上。2005 年澳大利亚的 Malse 等在 Nature 杂志上发表了一篇文章,报道从拟南芥中克隆出了一个富亮氨酸重复片段受体激酶基因,可以改变叶片气孔数目和叶片结构,已被证实能调控植株的蒸腾效率,在改良作物抗旱性及高效利用水分方面展示出良好的前景。

目前,随着荧光测定技术、基因重组与克隆技术、影像技术、膜片钳技术、细胞压力探针技术、碳稳定性同位素技术和热脉冲技术的迅速发展与应用,节水农业研究领域的深度和广度迅速得到拓展。如稳定性碳同位素测定技术为快速、大量长时期监测植物、群体、群落的水分利用效率提供了技术可能;基因重组与克隆技术为筛选高的水分利用效率 WUE 和抗旱型作物品种提供了快捷的技术手段;膜片钳技术在研究植物气孔运动、细胞器间的离子运输、逆境信号传递等方面具有广阔的应用前景;叶绿素 α 荧光测定技术为准确了解植物光合机构的运转状况提供了极为方便的探针;热脉冲技术也为人们深入研究植物根茎液流动态变化提供了条件。目前,酶联免疫测定技术已广泛用于 ABA 的定量分析,为人们对 ABA 的作用及其机理的深入研究提供了有效手段。现在用放射免疫分析(RIA)技术可更快速、微量、精确地测定 ABA,甚至可对单个细胞的 ABA 进行定量研究。上述先进测定手段的采用,使深入研究作物水分调控与 ABA 信号传导的关系成为可能。可以预见,随着人们在分子、细胞、组织、器官、单株、群体、流域等不同尺度水平上植物水分关系研究和认识的不断深入,生物节水技术将展现出更加诱人的应用前景。分子生物技术与工程节水、管理节水的有机结合,也必将为大幅度提高水资源利用效率提供一条切实可行的重要途径。

一般意义上的非充分灌溉,主要是考虑时间上水的调亏或水量的最优分配,比如调亏灌溉是主动



对作物施加一定程度的有益的亏水度,利用水分胁迫的正面效应,从生物学的角度来提高水分生产效率;而根系分区交替灌溉则是从作物根系的功能和根区土壤的湿润方式方面来提高水分生产效率,它是在充分吸收农田水利学、植物生理学、土壤学等学科研究成果的基础上而提出的一种节水新概念,是在植物某些生育期或全部生育期交替对部分根区进行正常灌溉,其余根区则受到人为的水分胁迫的灌溉方式。它的产生本身就是多学科交叉融合的产物。

Cowan 于 1982 年提出的植物水分利用的气孔调节最优化理论认为,气孔是 CO_2 和水汽交换的通道,气孔行为同时控制着叶片的光合与蒸腾,在蒸腾水量一定时,通过调节气孔开度,可实现对水分的最优利用。Kramer 等建立起的经典的植物水分关系理论则认为,当土壤干旱、植物吸水困难,导致向植物地上部分供应水分不足时,植物叶片相对含水量和水势下降,气孔开度降低,从而抑制了蒸腾失水过程。不少研究证明,土壤变干时,在叶片含水量或叶水势下降到某一“阈值”以前,气孔导度或光合作用不会受到影响。从表面看,首先发生了叶片水分亏缺,才引发气孔运动和光合等生理过程的变化。所以认为,植物以“植物吸水减少→叶片水分亏缺→气孔关闭”的被动方式适应缺水,并认为水信号是水分胁迫下植物体内唯一的信息传递方式。但 20 世纪 80 年代以后的大量研究表明,植物在叶片水分状况无任何变化之前,其地上部对土壤干旱就已经有了反应,这种反应几乎与土壤的水分亏缺效应同时发生。由此可见,当土壤水分下降时,植物必定具有“感知”根系周围的土壤水分状况,并以一定方式将信息传递至地上部,从而调节生长发育的机制,使地上部作出各种反应的能力。可以简单设想,处于相对较干燥土壤中的部分根系会产生某些化学信号,这些信号在总的水流量和叶片水分状况尚未发生变化时,就传递到地上部发挥作用。随着土壤继续变干,越来越多的根系产生更大强度的化学信号物质,从而使植物地上部能够随土壤水分的可利用程度来调整自身的生长发育和生理过程。现在人们已经普遍接受了气孔导度受土壤含水量控制是通过根的化学信号而不是依赖于叶水势这一观点。

根系化学信号是植物体内平衡和优化水分利用的预警系统,国内外学者对于干旱条件下根源化学信号的类型、产生与运输进行了大量的研究,发现土壤干旱时根系能够合成并输出多种信号物质,这些信号能够以电化学波或具体化学物质的形式从受旱细胞中输出,这些具体的化学物质是一种信号物质(或称逆境信使),它能够从产生部位向作用部位输送。相对于土壤干旱来说,即由根系向地上部输送。根据干旱条件下逆境信使含量的增加或减少,根冠通讯的信号物质可分为正的信号物质(如脱落酸、乙烯等)和负的信号物质(如细胞分裂素、乙烯胆碱等),目前也有人提出,正的信号物质和负的信号物质可能相互作用并联合影响植物根冠的生理过程。此外,木质部汁液 pH 值的变化也可以作为一种根源信号。

尽管根冠通讯理论中有许多问题尚不清楚,比如根系合成的 ABA 如何感应土壤干旱信息?根源 ABA 的感应能力能够持续多久?尤其是在田间复杂多变条件下 ABA 的信息量和可调控程度究竟有多大?但其基本体系已初步形成,我们可以借助其基本理论和试验方法,通过改变灌水方式与植物根区土壤湿润方式主动刺激根区土壤水分养分的有效性、调节根际微生态系统中水分和养分离子的传导性能,诱导根系吸收补偿效应,高效利用根区土壤水分和养分;同时利用植物根冠关系和水分逆境信号传递与气孔最优调节的机制,减少植物奢侈的蒸腾耗水损失,利用根系分区交替供水减少棵间土壤无效蒸发和深层渗漏损失,从而达到提高水分利用效率的目的。

第三节 节水农业的主要技术措施

节水农业包括节水灌溉农业、节水集流补充灌溉农业和节水旱地农业三种用水类型。发展节水农

业的主要技术途径包括工程节水、农艺节水、生物节水和管理节水四个方面。

一、工程节水技术措施

1. “开源”——农业水资源合理开发利用技术措施

(1) 水资源的优化配置技术

水资源优化配置是指在一定时段内,对一特定流域或区域内有限的多种水资源,通过工程和非工程措施,合理改变水资源的天然时空分布;通过跨流域调水及提高区域内水资源的利用效率,改变区域水源结构,兼顾当前利益和长远利益;在各用水部门之间进行科学分配,协调好各地区及各用水部门之间的利益矛盾,尽可能地提高区域整体的用水效率,实现流域或区域的社会、经济和生态环境的协调发展。

水资源配置的主要内容包括:在空间上,通过跨地区、跨流域调水来调剂水资源的余缺;在时间上,通过水库等调节工程来解决年内和年际水资源分布不均匀的问题;在不同的国民经济用水部门间,按照协调发展的投入产出关系实行计划供水;在近期目标和长远目标之间,既注重满足当前需要,也要积极进行水资源的保护与治理以形成水资源开发的良性循环;在开源与节流的关系上,坚持在节约的基础上扩大供水能力,控制需水的过度增长;在水资源的开发利用模式上,不仅重视原水的开发,更要注重污废水的再生处理及循环利用;在除害与兴利的关系上,要注重化害为利,将洪水转化为可用的水资源。

(2) 多水源联合调用技术

利用3S技术、系统工程理论和模糊数学方法,建立优化调度模型,采用计算机管理技术,利用计算机技术、现代通讯技术、自动化控制技术等现代技术,实现水利工程管理和泵站控制的自动化、智能化,提高灌区及泵站的运行管理水平和运行效率,合理调度和优化配置水资源,提高多种水资源的利用效率,充分发挥各种水源的效益。

(3) 非常规水利用技术

①雨水汇集利用技术

雨水汇集是指利用天然或人工修筑的汇流面,汇集雨水形成的地表径流以备高效利用。而雨水贮蓄则包括雨水的蓄存和水质改善两方面的技术。雨水蓄存是雨水集蓄利用系统的中间环节,是指将汇流面汇集的雨水通过导流渠(管)引入蓄水设施贮存,等到需水时再从蓄水设施取水的过程。我国北方干旱半干旱地区使用较多的蓄水设施有水窖、塘坝、涝池等。水窖主要用于人畜饮水和部分农田补灌。水窖建筑容易,使用方便,蓄存的水质基本不受污染,渗漏蒸发少,目前较多采用;其常用的形式有圆柱形、球形、瓶形、烧杯形、窑形等,构筑防渗材料有红黏土、混凝土、水泥沙浆等。

降落于地表的雨滴本身带有空气中的一些尘埃及大气污染物,再加上一般地区集流面没有适当的卫生防护设施,使得汇集于蓄水设施中的雨水水质较差。此外,水窖贮存的雨水量是很有限的,为使集蓄的雨水充分发挥效能,并为先进的节水灌溉技术(如滴灌等)所引用,应针对不同的水源采取相应的过滤净化措施,沉沙池和过滤池在雨水集流工程中属水质净化配套设施,二者均采用纯物理手段消除泥沙,以改善水质,且一经修建长久受益,管理运行简便。因此,为了使集蓄的雨水尽可能满足不同灌水方式的要求,修沉沙池和过滤池,做好入窖前的净化工作是十分必要的。

②微咸水利用技术

由于淡水资源日益短缺,利用咸水灌溉在我国很多地方受到重视,适当的咸水灌溉具有节约水源、增加产量和改善环境等功效。我国西北早在20世纪50年代就开始研究利用苦咸水,揭示了苦咸水灌溉的一些规律,掌握了利用矿化度 $3\sim 7\text{g/L}$ 水直接灌溉农田的技术。在甘肃河西地区也开展了引种耐

盐植物、盐碱地造林和深翻土壤等试验,并采用塑料薄膜棚和玻璃棚利用太阳能净化和分馏苦咸水,解决人畜饮水困难。在灌水技术方面,咸水同淡水一样,适用于地面灌溉、地下灌溉和喷微灌等各种灌水技术。近年来的研究发现,咸淡水混合交替灌溉对于作物生长和土壤盐分的降低均有明显的促进作用。今后应重点研究主要农作物的耐盐临界值指标和作物对盐分响应的敏感指数;不同条件(土壤、地下水位等)下微咸水灌溉的淋洗需水量,咸、淡水交替灌溉和混灌的淋滤定额;研究微咸水灌溉技术和灌溉制度。开发实用的具有自主知识产权的新型土壤与地下水盐分监测技术与相关仪器设备。

③劣质水与污水利用技术

对劣质水(尤其是污水)进行适当处理,达到农田灌溉要求的水质标准,使之成为多种用途的水资源,可在很大程度上缓解农业水资源的紧缺状况,对于节约水资源具有重要意义。污水处理技术主要包括物理法、生物法和化学法等方法,此外还包括污水土地处理系统,即将污水有效地投配到土地表层,通过土壤—植物系统自然地完成一系列的物理、化学和生物过程,达到预先设计的处理程度的一种污水处理方法。

用污水进行灌溉可以直接向作物提供水分和养分,同时又为污水通过土地进行处理提供了一个很方便的方法,从而避免了由于未控制的污水水流所造成的健康和环境危害的潜在可能。目前主要应研究污水或再生水灌溉对作物、土壤与地下水的潜在影响,以及对作物、土壤与地下水安全的污水灌溉量化控制指标体系。重点研究污水灌溉条件下典型污染物(尤其是重金属)在土壤中的迁移转化规律与累积效应以及土壤中污染物安全控制的技术与方法。

④海水淡化技术

海水淡化是第二次世界大战后发展起来的,20世纪70年代主要在中东地区发展,现在已遍及全球。目前淡化海水日产量达3000多万t,饮用淡化水的人口达3亿人之多。淡化技术比较成熟,最主要的有多级闪蒸、反渗透、多效蒸发、压缩蒸馏等多种淡化方法。从过去的发展来看,降低投资、减少运行成本是推动海水淡化的有效措施,也是我国今后主攻的方向。今后应重点研究和筛选适宜于淡化海水进行灌溉的作物,根据筛选的适宜作物,研究海水淡化后的水质控制指标和灌溉方法,同时改进电渗析脱盐技术,研制开发适用于灌溉的低成本海水淡化处理新工艺与新设备。

⑤海冰利用技术

我国沿海相当一部分地区冬季气温较低,特别是距京、津、辽很近的渤海湾地区,每年结冰期长。海水在结冰时,要大量排盐,海冰融水含盐量比原海水低。渤海湾冰区,海冰盐度为4‰~11‰。若对海冰融水再成冰,其盐度降低幅度在40%~70%,融水盐度可到0.05%~0.2%。可见研究利用沿海地区的海冰融水是开辟新水源的一种重要方式。今后应重点将采集、取冰、贮存、融冰、贮水全过程进行系统的研究,开发海冰利用关键技术设备和新工艺。

2. “节流”——节水灌溉工程技术措施

(1) 渠道防渗技术

渠道是我国农田灌溉的主要输水方式。传统土渠输水渗漏损失占引水量的50%~60%,一些土质较差的渠道渗漏高达70%以上。为了减少渗漏,提高渠系水利用系数,节约灌溉用水,将各级渠道进行防渗处理,是我国干旱半干旱地区目前应用最为广泛的渠道节水技术。

渠道防渗技术是为了减少输水渠道渠床的透水性或建立不易透水的防护层而采取的各种技术措施。目前用于衬砌的常用材料大致可分为刚性材料、膜料、土料。其中刚性材料,尤其是混凝土衬砌是渠道衬砌的主要形式。渠道衬砌防渗不仅可以显著地提高渠系水利用系数,减少渠水渗漏,节约大量灌溉用水,而且可以提高渠道输水安全保证率,增加输水能量。同时还具有调控地下水位,防止次生盐碱化,减少渠道淤积,防止杂草丛生,节约维修费用,降低灌溉成本的附加效益。今后应着重研究成