

节水农业 理论与技术

JIESHUI NONGYE LILUN YU JISHU

姚素梅 刘战东 单长卷 郭长霞 徐士珺◎编著



 中国农业出版社

节水农业 理论与技术

姚素梅 刘战东 单长卷 郭长霞 徐士珺 编著



中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

节水农业理论与技术 / 姚素梅等编著. —北京:
中国农业出版社, 2015. 9
ISBN 978-7-109-20875-9

I. ①节… II. ①姚… III. ①节水农业—研究—中国
IV. ①S275

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 206107 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

责任编辑 张岩

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2015 年 9 月第 1 版 2015 年 9 月北京第 1 次印刷

开本: 850mm×1168mm 1/32 印张: 7.375

字数: 180 千字

定价: 35.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

本书从国内外节水农业发展动态入手，在介绍作物抗旱节水生理基本理论的基础上，本着理论联系实际的原则，结合最新的理论和应用技术，系统地介绍了水源节水技术，渠道防渗和低压管道输水技术，改进的地面灌溉、喷灌、微灌和渗灌等灌溉技术，耕作保墒、覆盖栽培、节水品种选育和化控节水等农艺节水技术，根据作物需水规律调配水源以实现区域效益最佳的管理节水技术。





水资源是基础性的自然资源和重要的战略资源，我国是世界上水资源严重短缺的国家之一，尤其是在北方干旱半干旱地区，水资源已经接近承载能力的上限，水资源短缺问题日趋严重。在我国，农业是用水大户，其用水量约占总用水量的 70%，水资源在农业生产中发挥了巨大的作用。但是我国的农业用水浪费严重，水分利用效率低，这不仅加剧了水资源的供需矛盾，而且引发了土体和水体环境污染问题，已经成为制约我国农业可持续发展的重要因素。发展节水农业，不仅是缓解我国水资源不足的有效途径，同时也将是转变农业增长方式，使传统农业向高产、优质、高效农业转变的重大战略举措，对促进我国水资源可持续利用，保障粮食安全和生态安全，推动农业可持续发展具有重大意义。

本书将节水农业作为一项复杂的系统工程，在介绍作物水分生理学基础、作物干旱胁迫抗性生理等基础理论的前提下，从水源节水、输水节水、灌溉节水、农艺节水、管理节水等方面对其技术措施进行重点论述。其

中水源节水技术指在地表水、地下水合理利用的基础上,开辟灌溉水源,安全利用微咸水,资源化高效利用再生水和蓄集利用雨水等;输水节水技术指通过采用渠道防渗和管道输水,减少输水过程中的水量蒸发渗漏损失,提高灌溉水的输水效率;灌溉节水技术指通过在田间铺设各种辅助灌溉工程设施,减少地表径流和增加灌水入渗,提高灌溉水的利用效率;农艺节水技术指通过各种耕作栽培方法保墒,提高作物光合效率和水分利用效率的节水措施;管理节水技术指通过各种科学经济的农业和农田管理措施,优化各种农业生产环节和生产要素,促进节约用水和水分的生产效率的提高。应用上述节水农业技术措施时,应根据当地具体情况因地制宜地选用,并注意将各种适宜的技术措施组装配套,形成技术体系,以充分发挥这些技术措施的综合效益。

本书由河南科技学院的姚素梅、单长卷,中国农业科学院农田灌溉研究所的刘战东,河南省新乡市洪门镇便民服务中心的基层水务管理工作郭长霞,河南农业职业学院的徐士珺共同编著。王永刚校对了全稿,在此表示衷心的感谢!

由于我们的学识水平所限,书中的缺点和错误在所难免,敬请专家和读者批评指正。

编著者

2015年6月

目



录

前言

第一章 绪论	1
第一节 发展节水农业的重要意义	1
一、发展节水农业是确保国家粮食安全的关键	1
二、发展节水农业是构建良好生态环境的需要	3
三、发展节水农业是实现农业可持续发展的必然选择	5
第二节 国内外节水农业发展动态	6
一、国内节水农业发展动态	6
二、国外节水农业发展动态	7
第三节 节水农业的技术措施	9
一、水源节水技术措施	10
二、输水节水技术措施	11
三、田间灌溉节水技术措施	12
四、农艺节水技术措施	13
五、节水农业管理技术措施	14
第二章 作物水分生理学基础	16
第一节 作物与水分的关系	16
一、作物的含水量	16
二、作物体内水分存在的状态	16

三、作物对水分状况的要求	17
四、水分亏缺下作物与水分关系	18
第二节 土壤与水分的关系	21
一、土壤水分的类型	21
二、土壤水分含量的表示方法	24
三、土壤水分的能态	25
四、不同土壤的持水特性	26
五、土壤水分的有效性	27
第三节 根系对水分的吸收	27
一、根部吸水的主要区域	27
二、根系吸水方式及其动力	28
三、根部吸水的途径	29
四、根系的提水作用	30
五、影响根系吸水的土壤条件	31
第四节 蒸腾作用	32
一、蒸腾作用的概念	33
二、蒸腾作用的部位	34
三、蒸腾作用的生理意义	34
四、蒸腾作用的影响因素	35
五、蒸腾的指标	36
六、降低蒸腾的途径	36
第五节 植物体内的水分运输	37
一、土壤—植物—大气水分传输系统	37
二、植物体内水分运输的途径和速度	37
三、水分沿导管上升的机制	38
第六节 作物需水规律与合理灌溉	40
一、农田水分消耗构成分析	40
二、作物需水量及其确定	41
三、作物需水规律	43

四、合理灌溉的指标	44
第三章 作物抗旱生理	46
第一节 干旱的严重性及其概念、类型	46
一、干旱的严重性	46
二、干旱的概念与类型	47
第二节 干旱胁迫对作物生理活动的影响	48
一、渗透调节物质发生变化	48
二、活性氧增加	49
三、干旱胁迫对作物抗氧化系统的影响	50
四、光合作用受到抑制	52
五、干旱胁迫对作物呼吸作用的影响	53
六、干旱胁迫对细胞程序性死亡的影响	54
第三节 干旱胁迫对作物生长发育、产量和品质的影响 ...	55
一、干旱胁迫对作物生长发育和产量的影响	55
二、干旱胁迫对作物品质的影响	61
第四节 作物抗旱的生理机制	63
一、形态抗旱机制	64
二、渗透调节机制	64
三、抗氧化机制	65
四、内源激素调控机制	66
五、气孔调控	67
六、胁迫诱导蛋白	67
第五节 作物抗旱鉴定指标及抗旱性评价方法	69
一、作物抗旱鉴定指标	69
二、抗旱性评价方法	70
第四章 作物水分生产函数	72
第一节 作物水分生产函数的基本概念	72

一、作物生产函数	72
二、作物水分生产函数	73
第二节 作物水分生产函数的数学模型	75
一、静态模型	75
二、动态模型	77
第三节 作物缺水敏感指数 λ 的变化规律	78
一、 λ 在全生育期内的变化规律	78
二、 λ 的年际变化规律	79
第五章 水源节水技术	80
第一节 地表水和地下水的合理利用技术	80
一、地表水资源的利用	80
二、地下水资源的利用	81
三、地表水地下水合理联合运用	84
第二节 微咸水安全利用技术	85
一、微咸水的资源量	85
二、微咸水的水质指标与作物耐盐能力	86
三、微咸水灌溉对土壤盐分的影响及与作物 产量的关系	87
四、微咸水灌溉的方法	88
第三节 再生水资源化高效利用技术	90
一、再生水的概念	90
二、再生水灌溉的优缺点	90
三、再生水灌溉的方法	91
第四节 旱区雨水集蓄利用技术	92
一、雨水集蓄农业利用的优点	92
二、雨水集蓄农业利用的方式	93
第五节 多水源（蓄、引、提）联合运用技术	94
一、蓄水灌溉	94

二、引水灌溉	95
三、提水灌溉	96
四、蓄引提结合灌溉	96
第六章 输水节水技术	99
第一节 渠道防渗技术	99
一、渠道防渗的种类及其适用条件	99
二、渠道防渗措施的基本技术要求	101
第二节 管道输水工程技术	105
一、管道输水灌溉系统的类型及特点	105
二、管道输水系统的主要设备	108
三、管道输水工程规划设计	110
第七章 田间灌溉节水技术	115
第一节 地面灌溉新技术	115
一、节水型畦灌技术	115
二、节水型沟灌技术	121
三、地膜覆盖灌水技术	125
四、波涌灌溉技术	131
第二节 喷灌技术	139
一、喷灌技术的优缺点	139
二、喷灌系统的组成及分类	140
三、喷灌的主要技术要素	143
四、喷灌工程的规划与设计	148
第三节 微灌技术	159
一、概述	159
二、微灌系统的组成及其主要设备	160
三、微灌工程的规划与设计	163
第四节 渗灌	169

一、渗灌特点及其发展	169
二、渗灌机理	172
三、渗灌类型及系统组成	175
第八章 田间农艺节水技术	177
第一节 节水品种选育(筛选)技术	177
一、节水高产农作物品种的概念和内涵	177
二、节水品种的引种步骤和注意事项	178
三、节水品种试验鉴定和合理布局	179
四、节水品种繁育技术	181
第二节 覆盖保墒技术	182
一、地膜覆盖	182
二、秸秆覆盖	186
第三节 耕作保墒技术	187
一、深耕	188
二、深松	190
三、川台地垄沟种植法	191
四、水平等高耕作	191
五、水平梯田	192
六、等高沟垄种植法	193
七、蓄水聚肥改土耕作法	194
第四节 化控节水技术	195
一、保水剂	196
二、蒸腾抑制剂	198
三、土壤结构改良剂	200
第九章 节水农业管理技术	203
第一节 节水灌溉的优化灌溉制度	203
一、节水灌溉最优灌溉制度的含义	203

二、节水灌溉制度优化设计	204
第二节 多种作物间灌溉水量优化分配	207
一、农作物优化种植模式	207
二、灌溉水量在多作物间全生育期的优化分配	208
第三节 土壤墒情监测与灌溉预报技术	210
一、土壤墒情监测方法与要求	210
二、灌溉预报技术	212
第四节 水资源的政策管理	214
一、流域管理与区域管理的有机结合	215
二、实行科学合理的水价政策	215
三、建立有效的协商和公众参与机制	216
四、重视恢复和保护水生态环境	217
五、建立完善的水法规体系	217
六、建设水资源管理信息系统	218
参考文献	219

第一章 绪 论

节水农业是指在农业生产的全过程中，根据作物的需水规律和耗水规律，通过综合运用与之相适应的多项技术措施，提高天然降水与灌溉用水的利用率和水分生产率，在水资源有效条件下实现最佳经济效益、社会效益和生态效益的农业。节水农业是技术进步的产物，也是现代化农业的重要内涵。首先，节水农业必须围绕农业生产过程进行，在生产过程中体现降低无效损耗、节约灌溉用水的特性；其次，节水农业需在确保区域生态健康和环境安全的前提下，在维持植物生命健康与充分利用自然降水的基础上开展；第三，节水农业的目的是为充分发挥区域水资源潜在的为人类社会和生态系统服务的价值与功能，以最少的资源利用和消耗获得最大的综合效益，从而实现区域水资源的可持续利用，促进区域的可持续发展。

目前，在我国农业资源尤其是水资源短缺、水土资源配置失衡的严峻形势下，依靠科技创新，加强农业节水技术的研究，推动农业节水技术体系的创新与发展，拓宽农业节水技术的应用范围和思路，是促进我国水资源可持续利用，保障粮食安全和生态安全，推动农业可持续发展的重大战略举措。

第一节 发展节水农业的重要意义

一、发展节水农业是确保国家粮食安全的关键

随着全球人口增加，保障粮食安全已成为世界可持续发展的

头等大事。据估计,到2030年全球人口将达80多亿,粮食需求量达30亿t,农业灌溉用水将达到38000亿 m^3 ,水资源的短缺已成为制约世界粮食生产和安全的主要因素。国际上尤其是农业发达国家和水资源较少的干旱国家,节水农业更是保障粮食安全的重要措施与研究热点。如人均水资源量仅为370 m^3 的以色列,正是依靠其先进的滴灌、喷灌系统及其他农业节水技术,使灌溉水利用率由1949年的1.60 kg/m^3 增长到20世纪90年代初的2.32 kg/m^3 。美国一些农场利用全球卫星定位系统(GPS)准确记录农业作业中每一单位面积的有关数据,并根据这些数据精确地指导各种耕作,全面提高大面积土地的水分利用率和产出率。德国农业相关部门也正在牵头启动农业高效用水研究计划,以提高农产品的水资源利用率。FAO近年来也启动了多项农业水资源高效利用方面的项目,旨在提高农业用水效率,解决粮食安全与水资源短缺的矛盾。

我国是世界人口最多的发展中国家,用占全球7%的土地、8%的淡水养活了全球22%的人口。目前我国的农业用水量约为4000亿 m^3 ,其中约70%,即有约3000亿 m^3 的水用于粮食生产。据统计,2030年农业需水量将增加至6400亿 m^3 ,较现在增加2400亿 m^3 。然而水资源总量是有限的,随着人口的持续增长,气候干旱和生态环境破坏以及水污染的不断扩大和加重,水和耕地资源不断减少,我国在粮食安全方面将面临巨大的压力与挑战。我国的粮食安全直接影响到世界粮食安全,保证我国13亿人口的粮食安全,是关乎国家民生的大事,也是保障世界粮食安全的大事。常言道“有收无收在于水,收多收少在于肥”,可见水对粮食生产的重要性。传统的大水漫灌方式使得中国农业用水浪费严重,水资源利用率只有30%~40%,发达国家水资源利用率已达60%~80%,中国农业每立方米水的粮食生产能力只有0.85 kg ,远低于发达国家2.00 kg 以上的水平。中国现阶段农业生产的水资源条件与水

资源开发利用方式已经愈加不适应现今的经济发展方式，现实的灌溉物质条件和发展需求已经发生了改变，并且从来没有像现在这样严重影响着农业生产的发展。因此，推广节水农业技术是现今发展现代农业的必然选择，在追求农业用水总量零增长或负增长的情况下，通过推广农业高效节水技术，支撑农业可持续发展的用水需求，确保粮食安全，对提高粮食生产率、稳定粮食生产能力都有着重要的现实意义。

二、发展节水农业是构建良好生态环境的需要

目前我国农业水资源短缺和浪费并存的现象不仅使我国水资源危机进一步加剧，而且引发了严重的生态环境问题，包括过量引用地表水导致河流干涸断流、土地退化甚至沙化，过量引用地下水造成地下水位大幅度下降。全国部分地区甚至出现区域性地下水漏斗。随着中国经济快速发展、城市化进程加快和社会全面进步带来的城市、工业用水量的增加，当前及未来相当长一段时期内，中国农业都要面临以水资源短缺为代表的一系列资源与环境问题。节水农业最重要的特点之一是节水高效，达到良好的经济、社会、生态环境效应的统一。节水农业能合理的调节引用水资源，在丰水年份可以使用较少的水量，对农作物进行浇灌，以减少潜水蒸发，也有利于防止土壤沼泽出现盐碱化的情况，有利于维持良好的生态环境。另外，在降水量不足的情况下，节水农业技术可以用最少的水量达到最大的产出率，有利于缓解土壤干旱、农作物缺水等不良状况。节水农业技术的合理使用，可以帮助改善生态环境，具体体现在以下几个方面：

节水农业对地表水的作用，主要从两方面出发：水质和水量。在水质方面，节水农业要求使用最合理的水源，结合科学的输配方式，在源头上保证了原有水资源不被污染，在一定程度上缓解了水资源的质量问题。另外，节水农业对灌溉用水的回排也

做了一定的保护措施，保证最合适的灌溉水量，防止过度的灌溉导致多余水量重新流入地表，造成地表水被严重的污染。在水量方面，节水农业技术在使用前，都会事先对各类农作物的实际需水量做精确地计算，并结合当地气候环境等情况，以最大限度地减少所引用的水资源，尽量不去破坏地表原有的水量，从而保护地表水环境。

与地表水环境一样，节水农业对地下水环境的影响不仅表现在水量上，也体现在水质上。众所周知，灌溉技术的优劣与否，直接影响着地下水位多年和年内变化的多少。对作物的浇灌难免会引起地下水位上升，对地下水环境产生一定的影响。如果灌溉水量计算不规范，在灌溉水较多时，会使地下水位上升幅度过高，相反，则会使地下水位上升幅度过低。而对地下水而言，水位过高或过低都不利于合理地调节地下水环境，严重影响着地下水的循环系统。一旦灌溉用水过多，会出现多余水量回排的现象，严重污染原来的地下水环境，不利于生态环境的构建。

合理、科学的农业节水技术对土壤湿度、肥沃程度、温度等状况具有良好的调节作用，有利于土壤环境的改善。相反的，不合理、不科学的农业节水技术则会对土壤结构带来严重的破坏作用，使土壤易出现沼泽化、盐碱化等现象，严重恶化了土壤正常的环境。根据有关数据显示，我国北部地区大约有 667 万 hm^2 耕地出现了不同程度的盐碱化现象，而很大一部分原因是由于采用不合理的灌溉方式引起的。长期以来，不良的灌溉技术、无序的灌溉方式，严重破坏了水土、水盐的动态平衡。再加上，灌溉后容易引起地下水位迅速提升，从而加大了土壤表面的蒸发量，使土壤表层盐分相对增加，造成土壤次生盐碱化。与此同时，不合理的灌溉也对农田土壤造成不同程度的侵蚀。而如果采用节水灌溉技术，则可以大大消除上述弊端，对土壤环境产生一定的保护作用，及时调节土壤环境。