



粮经作物水肥一体化

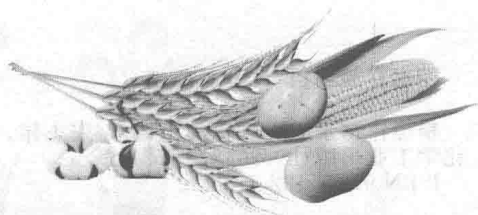
实用技术

LIANGJING ZUOWU
SHUIFEI YITIHUA
SHIYONG JISHU

宋志伟 张德君 主编



化学工业出版社



粮经作物水肥一体化

实用技术

LIANGJING ZUOWU
SHUIFEI YITIHUA
SHIYONG JISHU



宋志伟 张德君 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

粮经作物水肥一体化实用技术/宋志伟, 张德君主编. —北京:
化学工业出版社, 2018. 3
ISBN 978-7-122-31522-9

I. ①粮… II. ①宋… ②张… III. ①粮食作物-肥水管理
IV. ①S510.71 ②S365

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 029611 号

责任编辑: 邵桂林
责任校对: 宋 夏

文字编辑: 汲永臻
装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京京华铭诚工贸有限公司

装 订: 北京瑞隆泰达装订有限公司

850mm×1168mm 1/32 印张 8½ 字数 225 千字

2018 年 5 月北京第 1 版第 1 次印刷

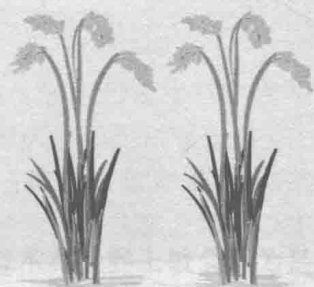
购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究



编写人员 名单

主 编 宋志伟 张德君

副 主 编 郭永涛 贾 佳

编写人员 宋志伟 张德君 郭永涛

贾 佳 郭江琳 魏凤玲

朱卫东

前言

Foreword

目前,水肥一体化技术在上世界上被公认为是提高水肥资源利用率的最好技术,水肥一体化技术于1960年左右始于以色列。2012年国务院印发《国家农业节水纲要(2012~2020)》,强调要积极发展水肥一体化;2013年3月农业部下发《水肥一体化技术指导意见》,全国农技中心把水肥一体化列为“一号技术”加以推广,并在蔬菜、果树、花卉和半干旱地区的作物上得到不同程度的应用,在北京、天津、河北、山东、河南、广东、广西、内蒙古等地的应用面积逐年扩大。

粮经作物水肥一体化技术是借助压力系统(或地形自然落差),按土壤养分含量和作物种类的需肥规律和特点,将可溶性固体或液体肥料配兑成的肥液与灌溉水一起相融后,通过管道和滴喷头形成滴喷灌,均匀、定时、定量地浸润作物根系,满足作物生长需要。该技术具有“水肥均衡、省工省时、节水省肥、减轻病害、控温调湿、增加产量、改善品质、效益显著”等特点。水肥一体化技术工程投资(包括管路、施肥池、动力设备等)约为1000元/亩,可以使用5年左右,比常规施肥可减少50%~70%的肥料用量,水量也只有沟灌的30%~40%,每年节省的肥料和农药至少为700元,增产幅度可达30%以上。

为更好地推广粮经作物水肥一体化技术,使读者更好地掌握和应用该项技术,我们联合灌溉技术和肥料技术等方面专家编写了这本《粮经作物水肥一体化实用技术》。本书主要介绍了水肥一体化技术的主要设备、水肥一体化技术的规划设计、水肥一体化技术的设备安装与调试、水肥一体化系统操作与维护、水肥一体化技术的灌溉施肥制度、粮食作物(小麦、玉米、大豆、马铃薯等)水肥一体化技术应用、经济作物(棉花、油菜、甘蔗、茶树等)水肥一体化技术应用等内容,具体作物水肥一体化技术应用主要从作物需水

规律与灌溉方式、作物不同生态区水肥一体化技术应用等方面入手,以我国目前推广应用较好的地区作为案例介绍,希望对其他地区建设该项目有所帮助。该书适合灌溉企业、肥料企业、农业技术推广部门等的技术与管理人员及专业种植户阅读,也可作为各层次科技人员及科研院所技术人员的参考用书。

本书由宋志伟、张德君主编,郭永涛、贾佳副主编,朱卫东、魏凤玲、郭江琳参加编写,全书由宋志伟教授进行统稿。本书在编写过程中得到化学工业出版社、河南农业职业学院、中国农业科学院农田灌溉研究所、开封市能源站、商丘市梁园区农业局、开封市种子管理站、兰考县植保站、兰考县农技推广中心等单位领导和有关人员的大力支持,在此表示感谢。本书在编写过程中参考引用了许多文献资料,在此谨向其作者深表谢意。由于我们水平有限,书中难免存在疏漏和不妥之处,敬请专家、同行和广大读者批评指正。

编者

2018年3月

目录

CONTENTS

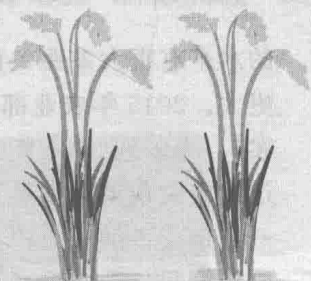
第一章 水肥一体化技术简介	1
第一节 水肥一体化技术发展	1
一、水肥一体化技术概述	1
二、水肥一体化技术发展概况	3
第二节 水肥一体化技术特点	7
一、水肥一体化技术优点	7
二、水肥一体化技术缺点	10
第三节 水肥一体化技术各种系统特点	12
一、滴灌技术特点	12
二、微喷灌技术特点	14
三、喷灌技术特点	16
第四节 水肥一体化技术系统组成	18
一、微灌系统的组成和分类	18
二、喷灌系统的组成和分类	24
第五节 水肥一体化技术应用前景	32
一、推广水肥一体化技术的必要性	32
二、水肥一体化技术推广应用存在的问题	34
三、水肥一体化技术的发展方向	36
第二章 水肥一体化技术的主要设备	38
第一节 水肥一体化技术的首部枢纽	38
一、加压设备	38
二、过滤设备	45
三、控制和测量设备	56
第二节 水肥一体化技术的施肥设备	62
一、压差施肥罐	62

二、文丘里施肥器	65
三、重力自压式施肥法	71
四、泵吸肥法	72
五、泵注肥法	73
六、注射泵	73
第三节 水肥一体化技术的输配水管网	77
一、喷灌的管道与管件	77
二、微灌的管道与管件	82
第四节 水肥一体化技术的灌水器	84
一、喷灌喷头	85
二、微灌灌水器	94
第三章 水肥一体化技术的规划设计	103
第一节 水肥一体化技术的信息采集与设计	103
一、项目实施单位信息采集	103
二、田间数据采集	105
三、绘制田间布局图	106
四、造价预算	106
第二节 水肥一体化智能灌溉系统设计	107
一、水肥一体化智能灌溉系统概述	107
二、水肥一体化智能灌溉系统总体设计方案	108
第四章 水肥一体化技术的设备安装与调试	117
第一节 首部设备安装与调试	117
一、负压变频供水设备安装	117
二、离心自吸泵安装	117
三、潜水泵安装	118
四、山地微蓄水肥一体化	119
第二节 管网设备安装与调试	121
一、平地管网	121
二、山地管网	126

第三节 微灌设备安装与调试	126
一、微喷灌的安装与调试	126
二、滴灌设备安装与调试	129
第五章 水肥一体化系统操作与维护	132
第一节 水肥一体化系统操作	132
一、运行前的准备	132
二、灌溉操作	133
三、施肥操作	134
四、轮灌组更替	145
五、结束灌溉	145
第二节 水肥一体化系统的维护保养	145
一、水源工程	145
二、水泵	146
三、动力机械	146
四、管道系统	146
五、过滤系统	146
六、施肥系统	147
七、田间设备	148
八、预防滴灌系统堵塞	148
九、细小部件的维护	149
第六章 水肥一体化技术的灌溉施肥制度	150
第一节 水肥一体化技术的灌溉制度	150
一、水肥一体化技术灌溉制度的有关参数	150
二、水肥一体化技术灌溉制度的制定	153
三、农田水分管理	156
第二节 水肥一体化技术的肥料选择	162
一、水肥一体化技术下的肥料品种与选择	162
二、配制氮磷钾储备液	174
第三节 水肥一体化技术的施肥制度	179

一、土壤养分检测	179
二、植物养分检测	181
三、施肥方案制订	185
第四节 水肥一体化技术中肥料配制与浓度控制	188
一、水肥一体化技术中肥料配制	188
二、水肥一体化技术设备运行中的肥料浓度控制	190
三、其他相关的计算公式和方法	193
第七章 粮食作物水肥一体化技术应用	195
第一节 小麦水肥一体化技术应用	195
一、小麦需水规律与灌溉方式	196
二、冬小麦滴灌水肥一体化栽培技术	196
三、冬小麦测墒与微喷水肥一体化技术	200
四、春小麦滴灌水肥一体化栽培技术	205
第二节 玉米水肥一体化技术应用	207
一、玉米需水规律与灌溉方式	207
二、华北地区夏玉米水肥一体化技术应用	208
三、东北地区春玉米水肥一体化技术应用	211
四、西北地区春玉米水肥一体化技术应用	214
五、华南地区甜玉米水肥一体化技术应用	216
六、西北地区制种玉米水肥一体化技术应用	218
第三节 马铃薯水肥一体化技术应用	219
一、马铃薯需水规律与灌溉方式	219
二、东北地区马铃薯膜下滴灌水肥一体化技术应用	221
三、西北地区马铃薯滴灌水肥一体化技术应用	224
第四节 大豆水肥一体化技术应用	228
一、大豆需水规律与灌溉方式	228
二、大豆滴灌水肥一体化技术应用	229
第八章 经济作物水肥一体化技术应用	233
第一节 棉花水肥一体化技术应用	233

一、棉花需水规律与灌溉方式	233
二、新疆棉花膜下滴灌水肥一体化技术应用	235
三、黄河流域棉花膜下滴灌水肥一体化技术应用	238
四、甘肃省棉花滴灌水肥一体化技术应用	240
第二节 油菜水肥一体化技术应用	243
一、油菜需水规律与灌溉方式	243
二、油菜水肥一体化技术的灌溉制度	244
三、油菜水肥一体化技术施肥制度	245
第三节 甘蔗水肥一体化技术应用	247
一、甘蔗需水规律与灌溉方式	247
二、甘蔗地埋式滴灌水肥一体化技术应用	249
第四节 茶树水肥一体化技术应用	251
一、茶树需水规律与灌溉方式	252
二、茶树滴灌水肥一体化技术应用	254
参考文献	258



第一章 水肥一体化技术简介

第一节 水肥一体化技术发展

水肥一体化技术是集节水灌溉和高效施肥于一体的现代农业生产综合水肥管理措施，具有显著的节水、节肥、省工、优质、高效、环保等优点，已广泛应用于粮食作物和经济作物生产中。

一、水肥一体化技术概述

我国是一个水资源匮乏的国家，人均淡水资源占有量为世界第109位，约为世界平均水平的1/4，人均占用量仅为2300立方米，单位耕地灌溉用水只有178米³/亩^①，而且在时空分布上极为不均匀，旱灾频繁，降水不均匀。同时，我国是化肥生产和使用大国，据国家统计局数据，2013年化肥生产量7037万吨（折纯），农用化肥施用量5912万吨。由于施肥的不科学，我国的肥料利用率不高，据2005年以来全国11788个“3414”试验数据表明，现阶段我国小麦氮肥利用率为28.8%、玉米氮肥利用率为30.4%、水稻氮肥利用率为32.3%，距一般发达国家的氮肥利用率40%~60%

① 1亩≈667平方米。

的水平有很大差距，而磷肥、钾肥等肥料利用率与发达国家的差距更大。2015年农业部制定了《到2020年化肥使用量零增长行动方案》，力争到2020年主要作物化肥使用量实现零增长，盲目施肥和过量施肥现象基本得到遏制，传统施肥方式得到改变。其中，水肥一体化技术推广面积1.5亿亩，增加8000万亩。从2015年起，主要作物肥料利用率平均每年提升1个百分点以上，力争到2020年主要作物肥料利用率达到40%以上。因此，寻求最佳的水肥管理措施来提高水肥资源利用率，对于解决目前资源短缺、提高资源利用率意义重大，也是发展现代农业、促进农业生产可持续发展的重要保障。

水分和养分的合理调节与平衡供应是作物增产的最关键因子，然而传统的灌溉和施肥是分开进行的。从施肥来看，传统的施肥方法如撒施、集中施、分层施用、叶面施用等肥料利用率都很低；从灌水来看，传统的方式是大水漫灌、沟灌等，水分利用效率也较低。在水肥供给作物生长的过程中，最有效的供应方式是实现水肥同步供给，充分发挥两者的相互作用，在供给作物水分的同时最大限度地发挥肥料的作用，实现水肥同步供应，即水肥一体化技术。

水肥一体化技术也称为灌溉施肥技术，是将灌溉与施肥融为一体的农业新技术，是精确施肥与精确灌溉相结合的产物。它是借助压力系统（或地形自然落差），根据土壤养分含量和作物种类的需肥规律及特点，将可溶性固体或液体肥料配制成肥液，与灌溉水一起，通过可控管道系统均匀、准确地输送到作物根部土壤，浸润作物根系发育生长区域，使主根根系土壤始终保持疏松和适宜的含水量。通俗地讲，就是将肥料溶于灌溉水中，通过管道在浇水的同时施肥，将水和肥料均匀、准确地输送到作物根部土壤中（图1-1）。

水肥一体化技术在国外用一个特定的词描述，叫“fertigation”，是由“fertilization（施肥）”和“irrigation（灌溉）”两个词汇组合而成的，意为灌溉和施肥结合的一种技术。国内根据英文字意翻译成“水肥一体化”“灌溉施肥”“加肥灌溉”“水肥耦合”“随水施肥”“管道施肥”“肥水灌溉”“肥水同灌”等，“水肥一体化技术”



图 1-1 小麦微喷灌水肥一体化技术应用

目前被广泛接受。针对具体灌水方式，又可分为水渠灌溉、管道灌溉、喷灌、微喷灌、泵加压滴灌、重力滴灌、渗灌等形式。水渠灌溉最为简单，对肥料要求不高，但这种灌溉方式不利于节水节肥；微喷灌、滴灌是根据作物需水、需肥量和根系分布进行最精确的供水、供肥，不受风力等外部条件限制；喷灌相对来说没有滴灌施肥适应性广。故狭义的水肥一体化技术也称滴灌施肥或微喷灌施肥。

二、水肥一体化技术发展概况

1. 国外水肥一体化技术的发展历史

水肥一体化技术是人类智慧的结晶，是生产力不断发展的产物，它的发展经历了很长的历史。水肥一体化技术起源于无土栽培技术。早在 18 世纪，英国科学家 John Woodward 利用土壤提取液配制了第一份水培营养液。后来水肥一体化技术经过了 3 个阶段的发展。

(1) 营养液栽培技术阶段 1859 年，德国著名科学家 Sachs 和 Knop 提出了使植物生长良好的第一个营养液的标准配方，并用

此营养液培养植物，该营养液直到今天还在使用。之后，营养液栽培的含义扩大了，在充满营养液的砂、砾石、蛭石、珍珠岩、稻壳、炉渣、岩棉、蔗渣等非天然土壤基质材料做成的种植床上种植植物均称为营养液栽培，因其不用土壤，故称无土栽培。1920年，营养液的制备达到标准化，但这些都是在实验室内进行的试验，尚未应用于生产。1929年，美国加利福尼亚大学的 W. F. Gericke 教授，利用营养液成功地培育出一株高 7.5 米的番茄，采收果实 14 千克，引起了人们极大的关注，被认为是无土栽培技术由试验转向实用化的开端，作物栽培终于摆脱自然土壤的束缚，可进入工厂化生产。

(2) 无土栽培技术阶段 19 世纪中期到 20 世纪中期无土栽培商业化生产，水肥一体化技术初步形成。无土栽培技术日臻成熟，并逐渐商业化。无土栽培的商业化生产开始于荷兰、意大利、英国、德国、法国、西班牙、以色列等国家。之后，墨西哥、科威特及中美洲、南美洲、撒哈拉沙漠等土地贫瘠、水资源稀少的地区也开始推广无土栽培技术。

(3) 水肥一体化技术成熟阶段 20 世纪中期至今是水肥一体化技术快速发展的阶段。20 世纪 50 年代，以色列内盖夫沙漠中哈特泽里姆基布兹的农民偶然发现水管渗漏处的庄稼长得格外好，后来经过试验证明，滴渗灌溉是减少蒸发、高效灌溉及控制水肥农药最有效的方法。随后以色列政府大力支持实施滴灌，1964 年成立了著名的耐特菲姆公司。以色列从落后农业国实现向现代工业国的迈进，主要得益于滴灌技术。与喷灌和沟灌相比，应用滴灌的番茄产量增加了 1 倍，黄瓜产量增加了 2 倍。以色列应用滴灌技术以来，全国农业用水量没有增加，农业产出却较之前翻了 5 番。

耐特菲姆公司生产的第一代滴灌系统设备是用一流量计量仪控制塑料管子中的单向水流，第二代产品是引用了高压设备控制水流，第三、第四代产品开始配合计算机使用。自 20 世纪 60 年代以来，以色列开始普及水肥一体化技术，全国 43 万公顷耕地中大约有 20 万公顷应用加压灌溉系统。由于管道和滴灌技术的成功，全

国灌溉面积从 16.5 亿平方米增加到 22 亿~25 亿平方米,耕地从 16.5 亿平方米增加到 44 亿平方米。据称,以色列的滴灌技术已经发展到第六代。果树、花卉和温室作物都是采用水肥一体化灌溉施肥技术,而大田蔬菜和大田作物有些是全部利用水肥一体化灌溉施肥技术,有些只是一定程度上应用,这取决于土壤本身的肥力和基肥应用科学。在喷灌、微喷灌等微灌系统中,水肥一体化技术对作物也有很显著的作用。随着喷灌系统由移动式转为固定式,水肥一体化技术也被应用到喷灌系统中。20 世纪 80 年代初期,水肥一体化技术被应用到自动推进机械灌溉系统中。

2. 我国水肥一体化技术的发展概况

我国农业灌溉有着悠久的历史,但是大多采用大水漫灌和串畦淹灌的传统灌溉方法,水资源的利用率低,不仅浪费了大量的水资源,同时作物的产量提高得也不明显。我国水肥一体化技术的发展始于 1974 年,随着微灌技术的推广应用,水肥一体化技术不断发展,大体经历了以下 3 个阶段。

第一阶段(1974—1980 年):引进滴灌设备,并进行国产设备研制与生产,开展微灌应用试验。1980 年我国第一代成套滴灌设备研制生产成功。

第二阶段(1981—1996 年):引进国外先进工艺技术,国产设备规模化生产基础逐渐形成。微灌技术由应用试点到较大面积推广,微灌试验研究取得了丰硕成果,在部分微灌试验研究中开始进行灌溉施肥内容的研究。

第三阶段(1996 年至今):灌溉施肥的理论及应用技术日趋被重视,技术研讨和技术培训大量开展,水肥一体化技术大面积推广。

自 20 世纪 90 年代中期以来,我国微灌技术和水肥一体化技术迅速推广。水肥一体化技术已经由过去局部试验示范发展为大面积推广应用,辐射范围由华北地区扩大到西北干旱区、东北寒温带和华南亚热带地区,覆盖了设施栽培、无土栽培,以及蔬菜、花卉、

苗木、大田经济作物等多种栽培模式和作物。在经济发达地区,水肥一体化技术水平日益提高,涌现了一批设备配置精良、专家系统智能自动控制的大型示范工程。部分地区因地制宜实施的山区滴灌施肥、西北半干旱和干旱区协调配置日光温室集雨灌溉系统、窑水滴灌、瓜类栽培吊瓶滴灌施肥、华南地区利用灌溉注入有机肥液等技术形式,使灌溉施肥技术日趋丰富和完善。大田作物灌溉施肥最成功的例子是新疆的棉花膜下滴灌。1996年,新疆引进了滴灌技术,经过3年的试验研究,成功地研究开发了适合大面积农田应用的低成本滴灌带。1998年新疆开展了干旱区棉花膜下滴灌综合配套技术与示范,成功地研究了与滴灌技术相配套的施肥和栽培管理技术,即利用大功率拖拉机将开沟、施肥、播种、铺设滴灌带和覆膜一次性完成,在棉花生长过程中,通过滴灌控制系统适时完成灌溉和追肥。

灌溉施肥应用与理论研究逐渐深入,由过去侧重土壤水分状况、节水和增产效益试验研究逐渐发展到灌溉施肥条件下水肥结合效应、对作物生理和产品品质影响、养分在土壤中运移规律等方面的研究;由单纯注重灌溉技术、灌溉制度逐渐发展到对灌溉与施肥的综合运用技术的研究。例如,对滴灌施肥条件下硝态氮和铵态氮分布规律的研究,对膜下滴灌土壤盐分特性及影响因素的研究以及关于溶质转化运移规律的研究和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 转化迁移规律的研究等。我国的水肥一体化技术总体水平,已从20世纪80年代的初级阶段发展和提高到中级阶段。其中,部分微灌设备产品性能、大型现代温室装备和自动化控制已基本达到目前国际先进水平。微灌工程的设计理论及方法已接近世界先进水平,微灌设备产品和微灌工程技术规范,特别是条款的逻辑性、严谨性和可操作性等方面,已跃居世界领先水平。1982年我国加入国际灌排委员会,并成为世界微灌组织成员之一,我国加强国际技术交流,重视微灌技术管理、微灌工程规划设计等的培训,培养了一大批水肥一体化技术推广管理及工程设计骨干和高学位人才。

但是,从技术应用的角度分析,我国水肥一体化技术推广缓