

农业化控节水技术 原理及应用

杨培岭 王 勇 李云开 任树梅 王爱勤 著



农业化控节水技术原理及应用

杨培岭 王 勇 李云开 任树梅 王爱勤 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书围绕着土壤保水剂、植物抗蒸腾剂、土壤结构改良剂三种目前国内
外常用化控节水制剂类型,对农业化控节水原理及其协同调控技术模式进
行了系统的论述。本书分为上下两篇,上篇为基础理论研究,包括三种典型
化控制剂的节水、增产、调质效应;三种化学制剂典型产品的作用机理;基于
联合应用化控节水制剂的农业化控节水协同调控技术。下篇为应用技术研究,
介绍了协同调控技术在苹果、桃、葡萄、番茄、辣椒、甜瓜、西瓜、大叶黄
杨、早熟禾等不同植物种植园的应用。

本书可作为农业水土工程、环境工程、土壤物理等专业研究生和高年级
本科生的参考教材,也可供相关专业科研、教学和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

农业化控节水技术原理及应用/杨培岭等著. —北京:科学出版社,2010.6
ISBN 978-7-03-027994-1

I. ①农… II. ①杨… III. ①农业工程-节约用水-研究 IV. ①S275

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 114504 号

责任编辑:周 炜 王志欣 李晶晶 / 责任校对:张 林

责任印制:赵 博 / 封面设计:鑫联必升

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>

源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 6 月第 一 版 开本:B5 (720×1000)

2010 年 6 月第一次印刷 印张:21 1/4

印数:1—1 500 字数:416 000

定价:78.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

本书参编作者

第 1 章	杨培岭	王金满	韩玉国	
第 2 章	王爱勤	杨培岭		
第 3 章	王成志	杨培岭	杨林林	
第 4 章	王 勇	杨培岭	刘 东	
第 5 章	王金满	苏艳平	林雄财	
第 6 章	李云开	林雄财	韩玉国	
第 7 章	李云开	曹健康	胡智丹	
第 8 章	任树梅	崔海英	刘 东	
第 9 章	杨培岭	李云开	杨进怀	毕勇刚
第 10 章	韩玉国	任树梅	张文理	
第 11 章	韩玉国	李 磊	王 勇	
第 12 章	任树梅	李冬杰	段剑波	
第 13 章	任树梅	王 磊	段剑波	
第 14 章	王 勇	杨培岭	刘洪禄	
第 15 章	彭致功	李冬杰	王 勇	

前 言

化控节水技术是利用化学物质调控土壤和作物水分状况,来达到抑制土壤蒸发、防止渗漏、减少植物奢侈蒸腾、增产调质的目的,进而实现水分高效利用的一种新型节水技术。与其他节水技术相比,其具有操作简便、投资少、见效快等优点,是一种适宜于北方干旱地区节水、增产、调质型农业的综合技术。在科研部门和生产企业的共同努力下,目前化控节水技术产品的生产工艺基本成熟,应用试验研究不断深入,在粮食作物、经济作物、花卉蔬菜、果树苗木等多种作物上得到了应用。但我国农业化控节水技术领域的研究起步较晚,总体而言,目前还处于摸索阶段,应用性试验较多,系统机理性研究缺乏;短期探索试验较多,长期应用型试验研究缺乏;单一技术研究较多,综合集成技术和综合配套成型技术研究甚少,相应的作物灌溉制度研究亦缺乏。为此,作者在北京市世界银行节水项目节水灌溉专题“京郊主要果蔬农业化控节水集成技术的试验研究与示范推广”(项目编号:BJ00S02-002)、北京市“九五”重大科技攻关项目“北京市现代化节水型农业研究与示范”(项目编号:952360100)、北京市“十五”重大项目“北京市现代化农村高效用水技术研究与示范”(项目编号:Ho10710240113)、国家“863”重大专项“北方半干旱都市绿地灌溉区节水综合技术体系集成与示范”(项目编号:2002AA2Z4281-06)、内蒙古科技攻关计划“风沙区草场生态整治水利综合技术示范与推广”及北京市水利局项目“非工程抗旱节水试验研究”等项目的资助下,围绕土壤保水剂、植物抗蒸腾剂、土壤结构改良剂三种目前国内国外常用化控节水剂,从2000年开始,开展了包括“京郊山区果园典型蓄水保墒技术试验研究”、“有机栽培条件下水肥环境对盆栽番茄生长影响的试验研究”、“植物抗蒸腾剂对叶片气孔行为及水分利用效率的影响”、“保水剂吸水特征机理及其对土壤水分运动过程的影响”、“PAM对坡地水分入渗及土壤流失影响的研究”、“京郊地区果树化学抗旱节水集成技术模式研究”、“典型生化制剂在果园中的应用试验研究”、“FA旱地龙对作物水分生理及生长特性影响效应的试验研究”、“大叶黄杨水分利用效率模型及两种抗旱剂的节水效应研究”、“土壤水分及抗旱剂对草地早熟禾蒸散与生长发育影响的研究”、“典型化控节水制剂节水机理及其集成应用研究”等10余项与农业化控节水原理及其协同调控技术模式有关内容的系统研究。

本书在上述一系列研究成果的基础上,综合利用农田水利学、植物生理学、土壤物理等多学科理论和方法,注重理论研究与实证研究相结合、定量与定性分析相结合,对农业化控节水技术原理、机理及集成效应进行了全面系统的定量分析和评

价。将根区土壤-作物作为有机整体,以全面调控系统水分消耗,进而提高农田水分利用效率为根本目的,摸清了土壤保水剂、植物抗蒸腾剂、土壤结构改良剂三种典型化控制剂的节水、增产、调质效应。首次建立了基于联合应用三种化控节水制剂的农业化控节水协同调控技术,形成了以苹果、桃、葡萄、番茄、辣椒、甜瓜、西瓜、大叶黄杨、早熟禾等为供试对象的化控节水技术模式,提出了三种化控节水制剂联合应用的施用技术体系。探索性地将化控节水技术与现代节水灌溉技术理论相结合,构建了化控节水制剂联合作用条件下多种作物的节水、高效灌溉制度。系统地研究了保水剂在不同植物营养离子作用条件下的吸水、释水机理和内部微观结构形态变化特征,深入探讨了保水剂对土壤入渗、蒸发、饱和含水率、饱和导水率、扩散率、容重等影响的有效性、时效性,建立了保水剂吸水后土壤孔隙改变及一维水分垂直入渗模型,并进行了动态模拟。利用植物水分生理生化理论,通过温室和小区试验,系统研究了代谢型抗蒸腾剂黄腐酸对植物光合、蒸腾及叶片气孔行为和水利用效率等叶片尺度的作用机理,探讨了土壤结构改良剂聚丙烯酰胺及抗旱BGA的作用条件和机制。

先后参加有关项目研究的包括中国农业大学水利与土木工程学院杨培岭、任树梅、李云开、韩玉国、王金满、彭志功、王成志、王磊、李冬杰、苏艳平、杨林林、刘东、崔海英、段剑波、李磊、林雄财、于波、宝哲、胡智丹、曹健康、李鹏峰、廖人宽,内蒙古师范大学王勇,中国科学院兰州化学物理研究所王爱勤,北京市水务局杨进怀、张文理,北京市水土保持工作站毕勇刚,北京市水利水电技术中心郑文革、宋其龙、秦丽娜、肖华,北京市水利科学研究所刘洪禄、郝仲勇、吴文勇,北京市大兴区水务局刘玉忠,北京市密云县水务局杨荣全,北京市房山区水务局闫启勇,北京市平谷区水务局王有才,北京市通州区水务局邓艳霞。本书是对上述项目组成员研究成果的高度总结,包括了他们的研究成果。另外,本书还参考了其他单位和个人的研究成果,均已在参考文献中标注,在此一并表示感谢!全书由杨培岭、王勇、李云开、任树梅、王爱勤统稿,杨培岭最后审定。

在本书成稿之际,向所有为本书出版提供支持和帮助的同仁表示衷心感谢。由于时间及经费所限,所取得的成果仅仅涵盖了农业化控节水技术原理及应用研究领域中的某几个方面,对有些问题的认识和研究还有待于更进一步深入。同时,囿于学识视野和水平,在撰写过程中难免有疏漏和不妥之处,恳请同行专家批评指正。

作 者

2010年1月22日

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 国内外农业节水发展动态	1
1.2 农业节水技术发展现状与趋势	6
1.3 化控节水技术及发展态势	10
参考文献	18

上篇 基础理论研究

第 2 章 农业化控节水剂产品的制备与发展	25
2.1 保水剂	25
2.2 土壤结构改良剂	37
2.3 植物抗蒸腾剂	43
参考文献	47
第 3 章 土壤保水剂	51
3.1 保水剂的结构、类型及特性	51
3.2 保水剂吸水机制	53
3.3 保水剂的应用研究现状及进展	56
3.4 保水剂施用技术体系	60
参考文献	64
第 4 章 土壤结构改良剂	66
4.1 土壤结构改良剂的类型、性质及新产品	66
4.2 土壤结构改良剂作用机制	67
4.3 聚丙烯酰胺	68
4.4 有机抗旱剂 BGA	83
参考文献	88
第 5 章 植物抗蒸腾剂	90
5.1 应用植物抗蒸腾剂的理论基础	90
5.2 植物抗蒸腾剂的类型及作用机理	92
5.3 黄腐酸	94
5.4 脱落酸	102

参考文献	111
第6章 保水剂吸释水特性及其对土壤水分运移过程的影响	115
6.1 研究方法	115
6.2 保水剂的吸释水特性	123
6.3 保水剂微观形态结构及其分形特征	140
6.4 保水剂对土壤物理性质的影响及时效性	150
6.5 保水剂对土壤水分运动过程的影响	167
6.6 施用保水剂条件下的一维垂直入渗的动态模拟	176
参考文献	183
第7章 植物抗蒸腾剂对叶片气孔行为及水分利用效率的影响	184
7.1 试验材料与方法	184
7.2 抗蒸腾剂对日耗水量的影响	185
7.3 抗蒸腾剂对叶片气孔微观形态结构的影响	186
7.4 抗蒸腾剂对叶片光合、蒸腾及水分利用效率的影响	187
7.5 局部喷施黄腐酸对叶片气孔行为的影响	189
7.6 讨论与结论	189
参考文献	191
第8章 土壤结构改良剂 PAM 对降雨入渗的影响	193
8.1 试验设计	193
8.2 PAM 对坡地径流量的影响	196
8.3 PAM 对坡地侵蚀产沙量影响的试验研究	203
参考文献	208
第9章 农业化控节水制剂协同调控技术的理论基础及通用模式	210
9.1 理论基础	210
9.2 通用技术模式	214
参考文献	215

下篇 应用技术研究

第10章 协同调控技术在京郊苹果上的应用研究	219
10.1 试验方法	219
10.2 化控节水剂对土壤水分的影响	221
10.3 化控节水剂对苹果生产及生长的影响	226
10.4 保水剂作用下的苹果园灌溉制度分析	231
10.5 结论与建议	236
参考文献	237

第 11 章 协同调控技术在京郊桃树上的应用研究	238
11.1 试验方法	238
11.2 化控节水制剂对桃园土壤水分的影响	238
11.3 化控节水剂对桃树生产和品质的影响	241
11.4 经济效益分析	243
11.5 结论与建议	244
参考文献	245
第 12 章 协同调控技术在京郊葡萄上的应用研究	246
12.1 试验方法	246
12.2 化控节水剂的保墒效果	247
12.3 化控节水剂对葡萄产量和品质的影响	253
12.4 经济效益分析	256
12.5 结论与建议	256
参考文献	257
第 13 章 协同调控技术在京郊温室瓜菜上的应用研究	258
13.1 化控节水技术在温室番茄上的应用	258
13.2 化控节水技术在温室甜瓜上的应用	264
13.3 化控节水技术在温室辣椒上的应用	267
13.4 化控节水技术在温室西瓜上的应用	275
参考文献	280
第 14 章 协同调控技术在城市绿化阔叶灌木上的应用研究	281
14.1 试验方法	281
14.2 BGA 对大叶黄杨耗水及生长的影响	282
14.3 不同光温条件下 BGA 对大叶黄杨生长及耗水的影响	287
14.4 BGA 对大叶黄杨光合特性的影响	290
14.5 FA 旱地龙对大叶黄杨光合特性的影响	293
14.6 结论和建议	298
参考文献	299
第 15 章 协同调控技术在绿化草坪上的应用研究	300
15.1 试验方法	300
15.2 化控节水剂对草地早熟禾蒸散的影响	301
15.3 化控节水剂对草地早熟禾生理特性的影响	306
15.4 化控节水剂对草地早熟禾生长的影响	308
15.5 化控节水剂对草坪草质量的影响	316
15.6 化控节水剂对小区草坪草生长及质量的影响	321

15.7 化控节水剂最佳施用量分析.....	327
15.8 结论与建议.....	329
参考文献.....	330

第 1 章 绪 论

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,推动农村经济可持续发展的重大战略举措。

1.1 国内外农业节水发展动态

1.1.1 世界农业节水发展动态

世界各国,特别是发达国家都把发展高效节水农业作为农业可持续发展的重要措施。在生产实践中,始终把提高灌溉水的利用效率、作物水分生产率、水资源的再生利用率和单方水的农业生产效益作为研究重点和主要目标,注重高新技术在农业节水中的应用,注重新技术、新材料、新设备与传统农业节水技术的有机融合。目前,在现代微喷技术、节水种植技术、覆盖节水技术和生化制剂控制节水技术等方面均有了较大的发展和创新,有许多成功的经验。

随着农业现代化规模经营的发展,由传统的地面灌溉技术向现代地面灌溉技术的转变是大势所趋。除地面灌溉技术外,发达国家十分重视对喷灌、微灌技术的研究和应用。美国、以色列、澳大利亚等国家特别重视微灌系统的配套性、可靠性和先进性的研究,将计算机模拟技术、自控技术、先进的制造工艺技术相结合,开发高水力性能的微灌系列新产品、微灌系统施肥装置和过滤器。喷头是影响喷灌技术灌水质量的关键设备,世界主要发达国家一直致力于喷头的改进及研究开发,其发展趋势是向多功能、节能、低压等综合方向发展。例如,美国先后开发出不同摇臂形式、不同仰角及适用于不同目的的多功能喷头,具有防风、多功能利用、低压工作的显著特点。当前,世界上工业发达国家喷微灌发展表现出以下七大趋势:①不断提高机械化与自动化水平,喷灌面积持续增长,表现在机械化程度高的喷灌机使用面积日益扩大和计算机技术在喷灌系统的应用;②日益广泛地应用新技术(如激光、遥感等),重视提高喷灌质量;③喷微灌设备向低压、节能型方向发展;④喷微灌相互借鉴、同步发展;⑤积极开展多目标利用,有效降低单一用途的造价;⑥改进设备,提高性能,开发和研制新型喷头,提高喷灌质量;⑦产品日趋标准化、系统化。

种植制度模式是环境、经济、技术有机结合的产物。纵观世界农业节水发展的

历程,节水种植模式表现出由“单一种植模式”向“以市场化为导向的多元化节水种植模式”转变,由“工程措施主导型”向“工程措施、非工程措施并重型”转变,由“资源透支利用”向“资源匹配型”种植模式转变。农艺、生物技术、智能管理成为了农业节水潜在的爆发点和突破点。高科技、高效益成为现代节水型农业的发展方向,调减高耗水的大田粮食作物,建立以经济型产业等为主导的种植业结构,成为节水农业的发展途径。目前计算机技术、电子信息技术、红外遥感技术及其他技术的应用,多种因素控制的数字化、图像化及其叠加和优选,使节水农业朝着高效优化方向发展。

以覆盖节水为重点的保护性耕作技术体系的应用,为旱区农业节水带来了一场革命。从单一残茬覆盖耕种发展到生物覆盖、化学覆盖综合利用,并与保护性耕作措施相结合,已形成规范化、系列化技术体系。例如,美国、英国、加拿大、澳大利亚等 40 多个国家,在以免耕或少耕为主的作物残茬覆盖节水技术方面取得了很多成功经验,显著提高了农田的保土、保肥和保水的效果。国外农田使用化学覆盖的有美国、日本、法国、印度、罗马尼亚、比利时等十多个国家,增产效果达 10%~30%。光降解地膜覆盖材料、液态地膜的多种无污染覆盖材料得到了成功的应用。同时,与覆盖技术相配套的有多种实用性保护性机具,如多功能覆盖机,免耕覆盖播种作业机具,深松、浅旋土壤作业机具和秸秆覆盖机具等。目前,在世界旱地农业中,覆盖节水技术在提高地温、保墒节水、抗旱增产、改善环境等方面具有特殊的效果,并且已取得了显著的效益。

在抗旱节水作物品种的选育方面,发达国家已选育出一系列的抗旱、节水、优质的作物品种。例如,澳大利亚和以色列的小麦品种,以色列和美国的棉花品种,加拿大的牧草品种,以色列和西班牙的水果品种等。这些品种不仅具备节水抗旱性能,还具有稳定的产量性状和优良的品质特性。近年来,作物水分利用效率(water use efficiency, WUE)基因工程改良的研究正在世界范围内引起广泛重视,作物抗旱节水相关性状的基因定位、分子标记、基因克隆和转基因研究十分活跃。通过基因工程改良培育高 WUE 型和抗旱节水型作物新品种将成为节水农业中一个新的亮点。农作物抗旱种质资源的发掘与利用呈现出以下几方面的发展趋势:①以抗旱节水和水分高效利用的植物品种为核心的生物节水技术是进一步提高水分利用效率的根本措施;②抗旱节水、水分高效利用及优质、高产等重要经济性状联合筛选、鉴定与新品种选育,是目前植物抗旱节水新品种选育的重要发展趋势;③建立可操作性强的科学筛选鉴定技术与指标体系,是抗旱节水及水分高效利用鉴定和筛选技术的发展方向;④抗旱节水种质资源的发掘与创新是生物节水农业发展的关键,也是未来抗旱节水研究与开发领域中的重中之重。

国外一批低成本、高效率的新型农业节水制剂正在走向市场和大面积应用,产品日趋标准化、系统化,高效环保型节水材料与制剂是未来研发的亮点。高新技术

产品与材料也在不断更新换代,从天然材料到人工合成材料,从低相对分子质量产品向高相对分子质量产品,从单一功能向多功能发展。美国、加拿大、日本、比利时、法国、德国、以色列等在这一领域有着较大的优势,包括保水剂、种衣剂、抗蒸腾剂和土壤调理剂,如日本的 MAT,比利时的 BIT、FAM 和 TC,美国的 HUMATE、AMI-SORB 等是其中较有代表性的产品。仅 1999~2000 年全球新研制的农用新制剂就有近 200 种,超过近二十年的总和,其中美国、德国、日本三国就占到 80%之多。

1.1.2 我国农业节水发展动态

1949 年以来,我国农业节水发展遵循水旱并举的总体思路,在农业节水灌溉和旱作农业节水两个领域开展了一系列技术创新与应用,取得了举世瞩目的成就。近二十年来,特别是“九五”期间,我国在大中型灌区节水改造,节水灌溉与旱作节水示范,农业节水前沿与关键技术研究,农业节水关键设备与重大产品研发及产业化等方面取得了较大进展。“十五”期间,在科技部组织的节水农业重大专项中建设了 15 个不同类型的现代节水农业技术示范区,把农业节水技术体系集成与示范推进到了新的水平。根据我国国情,我国科技工作者在继承传统农业精华的基础上,创造性地建立了中国特色的农业节水技术体系,形成了自己的优势和特色。但由于与农业节水有关的材料科学、制造技术、信息技术及生物技术等现代科学技术的落后,我国在农业节水高技术领域尚缺乏有说服力和竞争力的重大突破。同样,在应用技术领域,由于技术的发展没有很好兼顾区域特点和标准化,已有的技术难以进行整体配套,技术效益不仅难以发挥,而且极不稳定。

在节水灌溉技术与产品研发方面,我国自行研制的各种喷灌机具、微灌设备、滴灌和渠道防渗材料等,已广泛应用于生产。在喷灌方面改进和开发出一批新型的灌溉设备,包括外混式自吸泵、高强度喷灌用铝合金管材、具有自泄功能的高密封性新型金属快速接头、调压给水栓及节能低造价的恒压灌溉设备。喷灌设备的系列化、标准化更加完善,大中小型喷灌机组已形成系列,管材、管件配套齐全,各种形式喷灌系统的设计、施工、运行管理日臻完善,已形成了整套比较成熟的技术。微灌设备研制成绩显著,研制、改进和开发出射程远、雾化好的折射式和耐久性能高的旋转式微喷头,稳压性能好的压力-流量调节器,密封性高的微喷连接件,水动式施肥泵,水动反冲洗沙过滤器,平面迷宫式滴头,毛管移动机具,地下滴灌专用滴头,经济型内镶式滴灌带,一次性滴灌带;形成了灌水器、管材与管件、净化过滤设备、施肥设备、控制阀及安全阀五大类设备产品系列,配套比较齐全,品种规格较多。

我国管道化灌溉技术有新的发展,低压管道输水灌溉技术经过攻关研究和试验示范,相关技术成果获得部门和国家奖励。新研究并投入生产应用的田间闸管

系统改进了材料配方,实现原料国产化,提高了软管的技术性能。工作压力达到30kPa,爆破压力150kPa,改进了配水闸门与输水软管的连接方式和闸门的止水结构,解决了配水口的脱落和滴漏问题,提出了适于不同灌区的系列化产品。研制与低压管道输水配套的波涌灌溉设备,包括波涌阀和自控器,波涌阀采用双阀门结构形式,利用太阳能充电,其自身具备切断水流功能。自控器只要输入基本的波涌灌溉参数,如灌溉次数、每次放水和停水时间,即可自动运行。

我国的渠道防渗研究始终以开发性能好、成本低、易于施工、便于群众掌握的防渗新材料为中心,同时研究推广新型防渗渠道断面和衬砌形式。当前研究的重点主要放在针对北方寒冷地区出现的渠道冻害问题,研究渠道防渗和防冻害技术,以及为提高渠道防渗衬砌的施工质量,研制适合我国国情的渠道防渗衬砌施工机械。在对不同形式和不同使用要求的刚性护面渠道冻胀破坏机理研究的基础上,提出了渠道刚性衬砌防冻胀破坏的内力计算与结构设计方法,并筛选出新型抗冻胀、防渗、输水技术和先进实用的施工工艺,形成了渠道抗冻胀、防渗高效输水技术集成模式。在冻胀问题较为严重的渠道,采用混凝土与复合土工膜相结合的板膜复合结构形式。从实施结果上看,基本上解决了地下水对渠道渗漏冻胀的影响问题。

由于从事节水灌溉设备生产的厂家以中小企业和民营企业为主,设计研制开发能力有限,产品质量欠佳。又由于引进技术和国产设备在规格和制式上的差异,造成国产节水灌溉设备的通用性、兼容性、互换性、多功能性较差,导致节水灌溉工程的性能不完善、质量低下。在管材管件、灌水器、灌溉控制部件、过滤器和施肥装置方面均存在规格少、质量差、产品配套水平较低等问题。今后应朝着多目标利用及运行管理自动化的方向发展,抗堵塞和压力补偿能力强的灌水器,浓度可调且注肥均匀和操作简单的注肥器,低压位和高性能自洁高效过滤系统等,是微灌设备开发的新趋势。微灌系统将进一步注重实现灌溉的智能化、自动化。

近几年,我国节水种植制度研究工作对提高水分利用率、节约用水、改善农田土壤环境和提高作物产量起到了重要的作用。通过研究,明确了冬小麦、夏玉米、棉花的关键需水期及节水高效灌溉指标,建立了3种作物节水高效灌溉决策模型,提出了节水高效灌溉模式。提出了冬小麦在地面灌溉和喷灌条件下、夏玉米在地面灌溉与春玉米在滴灌条件下、棉花在地面灌溉与滴灌条件下的经济灌溉模式;确定了冬小麦、夏玉米和棉花的调亏灌溉指标,包括调亏时期、土壤含水量下限、调亏灌溉制度。通过进一步深入研究,更加丰富了调亏灌溉的内涵,提出了不同节水灌溉条件下的水肥耦合及调配施肥技术,田间套作格式、耕作措施的优化与改进技术,农田覆盖及配套灌水、施肥技术,田间套种条件和不同灌水方式的结合应用技术等。但目前我国现有的农业节水种植制度研究成果同国外节水种植制度相比,在诸如生物性节水关键技术、信息节水关键技术和材料节水关键技术等软件和硬

件上都存在很大的差距。应用高新技术,通过区域资源数字化研究,对建立 WTO 框架下的、以水分利用效率和效益为中心的主要区域节水高效种植结构、种植制度、优化种植模式及配套技术的发展具有重大意义。

残茬覆盖、化学覆盖和生物覆盖等覆盖节水技术在我国已得到了长足的发展和面积的推广应用,但根据不同地区特点的单项农业节水技术研究较多,如何在此基础上借鉴国外高新技术,开发出适合不同地区采用的标准化、规范化、模式化、定量化、集成化的覆盖节水综合技术体系和应用模式,仍然是我国覆盖农业节水技术大规模应用的关键。从 20 世纪 80 年代初开始,我国科技人员在借鉴国外经验的基础上进行了免耕、深松、覆盖等技术和配套措施的研究,并进行了初步的有机集成和配套机具、产品的开发研制,目前在我国北方的山西、内蒙古、辽宁、河北、北京、陕西、天津、甘肃等地区已进行了大范围的试验、示范和推广。保护性耕作技术从当前的发展进程来看,技术还不够完善和全面,主要存在环境效应和经济效益还不够协调的问题。一方面配套技术跟不上,如杂草、低温、管理技术等问题;另一方面,机具还处于研发阶段,存在播种质量不匀、易堵塞、残茬切割等问题,且缺少小型、单体机具。与国外相比,我国化学覆盖技术的研究应用起步较晚,但进展较快。90 年代由于气候变暖、环境恶化,化学覆盖剂又重新变为研究的热点。中国科学院土壤肥料研究所先后与其他单位合作完成了几种阴离子和阳离子农用乳化沥青的开发研制工作,目前白色液膜、黑色液膜等产品已在农业生产中推广应用,取得了较好的效果。尽管抗旱节水化学覆盖技术研究已有几十年的历史,但在生产中并未大面积推广应用,与国外相比,主要是缺少新型高效、低毒、价廉的化学覆盖制剂和来源广、价格低廉、低毒或无毒的原料。我国生物覆盖技术还不成熟,应以节水为核心,水-肥-土高效利用为目标,加快发展节水田间套种模式、倒茬技术,同时引进配套的低耗水、生育期短的品种,解决覆盖作物品种问题。

我国有丰富的抗旱物种资源,筛选和创造出了一批重要的抗旱节水的优异育种新材料,为抗旱节水新品种的选育提供了有利条件。目前,我国国家种质库保存水稻、小麦、玉米、高粱、谷子、大豆、食用豆等农作物品种资源约 38 万份,保存数量居世界第三。与先进国家相比,在作物抗旱种质资源发掘与利用方面存在的问题如下:①种质资源收集保存数量多,抗旱性精细鉴定评价少;②抗旱性鉴定评价方法指标多,缺乏快速、高效的抗旱性鉴定评价方法指标;③抗旱性鉴定评价的设施落后,鉴定评价体系不完善;④抗旱种质资源利用效率低,种质创新工作亟须加强。

在节水制剂与材料研发方面,国内学者初步解决了秸秆纤维的溶胀和交联技术,使研发的产品耐盐性超过现有市场产品和文献报道。保水剂的非离子高分子齐聚物接枝工艺和螯合剂处理技术取得了较大创新,使产品的吸盐水率达到 40 倍。将土壤结构改良剂聚丙烯酰胺(polyacrylamide, PAM)应用技术与农田种植技术集成,提高了雨水入渗效率,增强了土壤储水容量。与节水发达国家相比,目

前产品的主要问题是价格昂贵、配方原料缺乏,使用时间短、次数少,区域适应性较差,且生产工艺和降解性都存在问题,造成现有的节水制剂与材料不能很好地推广应用,效益较差。因此,今后应改进现有生产工艺,研发胶联度好、寿命长、价格低廉、一次使用长时间受益、吸水功能强大的抗盐性保水剂和多功能生物型种衣剂。

总之,我国农业节水技术研究取得了显著进展,对推动我国农业生产的发展起到了重大的作用。但是,综观我国农业节水技术研究的历程,在近期的研究中,存在着下列问题:①总体技术水平与发达国家的差距还比较大,具有自主知识产权的先进技术和产品很少,不少研究工作仍然是照搬国外现有的研究内容,还处于移植和模仿阶段。②没能很好地按照“有所为,有所不为”的原则,重点研究适合我国国情应用的农业节水技术,当前世界上已应用或正在研究的农业节水技术我国都在研究,造成有些研究成果难以进入生产实用。③与生产实践结合不够紧密,重室内模型研究、轻农田生产试验。农业节水技术由于涉及诸多学科,是一门实验科学,需要开展艰苦细致的农田试验,取得准确的参数,但当前有一些研究工作虽然建立了很多模型,但经不起实际检验,起不到指导生产的作用。④节水灌溉设备产业化程度低,由于没有在材料和加工工艺上下工夫,近期研究的一些硬件设备成果,难以形成产业化进入市场。

因此,加快发展现代农业高效节水技术,建立中国特色的高效农业节水技术体系,是满足未来 20 年农业与农村经济可持续发展的重大战略,现已迫在眉睫,其战略意义重大。

1.2 农业节水技术发展现状与趋势

1.2.1 农业节水技术发展现状

目前,世界各国采用的农业节水技术通常可归纳为工程节水技术、农艺节水技术、生物(生理)节水技术和水管理节水技术四类。农业节水技术的应用可大致分布在四个基本环节中:一是减少灌溉渠系(管道)输水过程中的水量蒸发与渗漏损失,提高农田灌溉水的利用率;二是减少田间灌溉过程中的水分深层渗漏和地表流失,在改善灌水质量的同时减少单位灌溉面积的用水量;三是减少农田土壤的水分蒸发损失,有效地利用天然降水和灌溉水资源;四是提高作物水分生产率,减少作物的水分奢侈蒸腾,获得较高的作物产量和用水效益。农业节水发达的国家始终把提高上述环节中的灌溉水利用率和作物水分生产率作为重点,在建立了以高标准的衬砌渠道和压力管道输水为主的完善的灌溉输水工程系统和采用了以喷(微)灌技术和改进的地面灌溉技术为主的先进的田间灌水技术后,农业节水技术的研究重点正从工程节水向农艺节水、生理节水、水管理节水等方向倾斜,尤其重视农

业节水技术与生态环境保护技术的密切结合。

1. 农艺节水技术

利用耕作覆盖措施和化学制剂调控农田水分状况、蓄水保墒是提高农田水利利用效率和作物水分生产率的有效途径。国内外已提出许多行之有效的技术和方法,包括保护性耕作技术、田间覆盖技术、节水生化制剂(保水剂、吸水剂、种衣剂)和旱地专用肥技术和产品等。例如,美国中西部大平原由传统耕作到少耕或免耕,由表层松土覆盖到作物残茬秸秆覆盖,由机械耕作除草到化学制剂除草,都显著提高了农田的保土、保肥、保水的效果和农业产量。法国、美国、日本、英国等开发出抗旱节水制剂(保水剂、吸水剂)的系列产品,在经济作物上广泛使用,取得了良好的节水增产效果。法国、美国等将 PAM 喷施在土壤表面,起到了抑制农田水分蒸发、防止水土流失、改善土壤结构的明显效果。美国利用沙漠植物和淀粉类物质成功地合成了生物类的高吸水物质,取得了显著的保水效果。

节水农作制度主要是研究适宜当地自然条件的节水高效型作物种植结构,提出相应的节水高效间作套种与轮作种植模式。例如,在澳大利亚采用的粮草轮作制度中,实施豆科牧草与作物轮作会避免土壤有机质下降,保持土壤基础肥力,提高土壤蓄水保墒能力。

近年来,水肥耦合高效利用技术的研究已将提高水分养分耦合利用效率的灌水方式、灌溉制度、根区湿润方式和范围等与水分养分的有效性、根系的吸收功能调节等有机地结合了起来。通过改变灌水方式、灌溉制度和作物根区的湿润方式达到有效调节根区水分养分的有效性和根系微生态系统的目的,从而最大限度地提高水分养分耦合的利用效率。美国、以色列等国家将作物水分养分的需求规律和农田水分养分的实时状况相结合,利用自控的滴灌系统向作物同步精确供给水分和养分,既提高了水分和养分的利用效率,最大限度地降低了水分养分的流失和污染的危险,也优化了水肥耦合关系,从而提高了农作物的产量和品质。

2. 生理节水技术

将作物水分生理调控机制与作物高效用水技术紧密结合开发出诸如调亏灌溉(regulated deficit irrigation, RDI)、分根区交替灌溉(alternate partial root-zone irrigation, ARDI)和部分根干燥(partial rootzone drying, PRD)等作物生理节水技术,可明显地提高作物和果树的水分利用效率。与传统灌水方法追求田间作物根系活动层的充分和均匀湿润的思想不同,ARDI 和 PRD 技术强调在土壤垂直剖面或水平面的某个区域保持土壤干燥,仅让一部分土壤区域灌水湿润,交替控制部分根系区域干燥、部分根系区域湿润,以利于使不同区域的根系交替经受一定程度的水分胁迫锻炼,刺激根系的吸收补偿功能,使根源信号 ABA 向上传输至叶片,调