

“十五” 国家重大科技专项（863计划）研究成果专著

农业高效用水技术创新

许 迪 龚时宏 李益农 李久生 高占义 等 编著
刘 钰 谢崇宝 王少丽 刘群昌 程先军



 中国农业出版社

● “十五”国家重大科技专项(863计划)研究成果专著

农业高效用水技术 研究与创新

许迪 龚时宏 李益农 李久生 高占义 等 编著
刘钰 谢崇宝 王少丽 刘群昌 程先军

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

农业高效用水技术创新/许迪等编著. —北京:
中国农业出版社, 2007. 7

ISBN 978-7-109-11763-1

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 099620 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

责任编辑 段丽君 赵立山

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2007 年 7 月第 1 版 2007 年 7 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 47

字数: 1 100 千字 印数: 1~1 200 册

定价: 120.00 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

本书主要依据作者在“十五”期间承担的国家重大科技专项(863计划)“现代节水农业技术体系及新产品研究与开发”部分课题成果编著而成。全书共分10章,重点从工程节水与用水管理节水有机结合的思路出发,对农业高效用水关键技术创新研究与产品创制,相关内容包括:①农业高效用水技术发展趋势与需求及技术进步障碍;②灌溉发展与粮食安全需求预测;③污水灌溉土地处理复合系统;④灌排条件下农田氮污染预测与控制技术;⑤灌区渠系水量监控与水管理技术及产品;⑥灌溉管网输配水调(量)控技术与产品;⑦喷灌水分高效利用技术与产品;⑧低压高效微灌技术与产品;⑨精细地面灌溉技术与产品;⑩精量控制灌溉预报与决策支持系统。

本书可供从事农业高效用水技术研究与推广的科技人员和大专院校有关专业师生参考。

编 著 人 员

- 第1章 许迪 龚时宏 李益农
第2章 高占义 穆建新 王少丽 刘钰
第3章 程先军 许迪 高占义 焦平金
第4章 王少丽 许迪
第5章 谢崇宝 黄斌 高占义 许迪
第6章 刘群昌 龚时宏 丁昆仑
第7章 李久生 徐茂云
第8章 龚时宏 李久生 王建东 李光永
第9章 许迪 李益农 白美健 李福祥 章少辉
第10章 刘钰 蔡甲冰 许迪
统稿 许迪

前 言

导致全球粮食安全状况恶化的主要原因是世界人口的持续性增长、可耕作土地面积的逐渐减少以及对水资源的竞争日益加剧。据联合国粮农组织(FAO)预测,未来30年世界人口将增加20亿,其中到2025年,全球粮食产量必须翻番才能满足人口增长对粮食的需求。由于灌溉土地上的粮食产量可比原来增长1倍以上,故发展灌溉无疑是提高粮食产量最为快捷的途径之一。目前,全球范围内的灌溉农业以占不到耕地面积20%的比例,提供了全世界40%的粮食供应量和发展中国家近60%的谷物产量,未来增加粮食产量的主要突破口在于大力发展灌溉农业。到2030年,预计全球近一半的粮食产量将来自灌溉土地,为此需再增加17%的灌溉用水量,这势必会进一步加剧农业与其他用水部门的激烈竞争,并使得用于维持环境和生态的用水减少。

全球范围水资源供需矛盾的急剧扩大和水资源竞争局面的日益加剧,使得农业供水总量的增加在很大程度上将取决于农业能否提高其用水效率。灌溉作为农业用水大户存在着巨大的节水潜力,微量提高灌溉用水效率所节约出的大量水资源,除满足日趋增加的灌溉用水需求外,还可在一定程度上满足其他用水户,包括环境和生态系统的需求。当前,发展灌溉农业所面临的最大挑战是如何有效地提高灌溉用水效率和作物水分生产效率,通过工程措施、用水管理措施、田间农艺措施和作物生理调控措施等农业高效用水技术的推广应用与灌溉管理体制和机制以及投入的有机结合,达到综合节水增效的目标。在推进灌溉现代化进程中,一方面应继续改革和完善相关的管理体制与资金投入机制,建立有效的农业节水激励政策与对策,修复和完善灌排工程系统,强化对灌排系统的及时更新与科学管理,实现良好的工程设施运营与维护,促使广大农民用水户在灌区水土资源开发规划、灌溉设施管理与运营等方面参与更多的自主管理工作,另一方面则应大力开展现代农业高效用水技术与产品研发,借助当代高新技术对传统的农业节水技术与产品进行升级改造,依靠农业节水科技创新,大幅度提升灌溉水利用率和作物水分生产效率,实现产出率的极大化,从“提高每滴水的粮食产出”向“少用水,多产粮”的目标转变,服务于

新时期我国建设资源节约型、环境友好型社会的长远目标。

国家节水灌溉工程技术研究中心（北京）和中国水利水电科学研究院水利研究所在“十五”国家重大科技专项（863 计划）“现代节水农业技术体系及新产品研究与开发”中，主持和参与了“中国节水农业科技进步潜力及其效应分析（2004AA2Z4030）”、“精细地面灌溉技术研究（2002AA2Z4041）”、“作物水分信息采集与精量控制用水技术研究（2002AA2Z4071）”、“大田微灌系统关键设备及产品研制与产业化开发（2002AA2Z4101）”、“田间固定式与半固定式喷灌系统关键设备及产品研制与产业化开发（2002AA2Z4150）”、“渠道输水系统防渗抗冻胀新材料新设备与水量监控产品研制与产业化开发（2002AA2Z4131）”、“管道输水系统新型管材管件与量配水设备研制及产业化开发（2002AA2Z4141）”、“微咸水与再生水高效安全利用技术研究（2002AA2Z4061）”等课题的部分研究任务，着重从工程节水与用水管理节水措施相结合的思路出发，通过大量的室内外实（试）验观测工作，借助现代科学分析方法与高新技术手段，对农业高效用水关键技术开展创新研究与产品创制，在应用基础与技术研究以及具有自主知识产权的成果研发方面，获得了一批重大科研成果，为灌溉农业和灌溉现代化提供了有效的技术支撑条件和手段，促进了我国农业高效用水的技术进步。基于上述取得的科技成果，结合“十五”期间完成的部分其他研究成果，特编撰出版本专著，为我国农业高效用水的可持续发展尽绵薄之力。

除本书编著者外，先后参与研究任务的其他人员还有杨继富、高本虎、赵华、刘文朝、孙文海、王桂芬、武文凤、徐志昂、李蓓、栗岩峰、孟一彬、史宝成等，本书也包含了这些同志的辛勤劳动成果。此外，在完成上述研究课题任务过程中，得到来自科技部、水利部、中国水利水电科学研究院以及相关大专院校和企业领导、专家的指教与支持。在此，一并表示衷心的感谢和敬意。

编著者

2007 年 3 月

目 录

前言

第 1 章 农业高效用水技术发展趋势与需求及技术进步障碍	1
1.1 农业高效用水技术发展趋势与研究重点	1
1.1.1 研究进展	2
1.1.2 发展趋势与主要特征	5
1.1.3 科技创新成效	7
1.1.4 研究重点与内容	12
1.2 农业高效用水技术发展目标与需求	15
1.2.1 科技发展目标	15
1.2.2 技术发展目标	18
1.2.3 节水潜力	19
1.2.4 分区发展目标与重点	22
1.2.5 技术与产品市场需求	27
1.3 农业高效用水技术进步障碍	37
1.3.1 政策与机制	37
1.3.2 技术创新与标准化	41
1.3.3 研发平台与基础设施建设	46
1.3.4 技术成果转化与服务体系	48
第 2 章 灌溉发展与粮食安全需求预测	51
2.1 概述	51
2.1.1 研究背景与目的	51
2.1.2 国内外研究概况	55
2.1.3 研究内容	58
2.2 研究方法 with 模拟模型	58
2.2.1 粮食与灌溉发展需求预测模型	58
2.2.2 水与粮食生产决策支持模型	60
2.3 粮食与灌溉发展需求预测分析	62
2.3.1 粮食增长需求预测	63
2.3.2 灌溉用水供需平衡预测	67
2.3.3 灌溉与粮食发展需求关系	70
2.3.4 结论	84

2.4 水与粮食生产决策支持预测分析	84
2.4.1 研究区域概况	84
2.4.2 模型校验	88
2.4.3 模型应用	90
2.4.4 结果分析	92
2.4.5 结论	98
2.5 不同尺度灌溉水利用率的关系	99
2.5.1 灌溉水利用率	99
2.5.2 灌溉水利用率间的关系	100
2.5.3 提高灌溉水利用率的途径与措施	106
第3章 污水灌溉土地处理复合系统	110
3.1 概述	110
3.1.1 研究现状与发展趋势	111
3.1.2 研发必要性	113
3.2 污水灌溉土地处理系统去污效果的土柱实验	113
3.2.1 实验装置	114
3.2.2 实验过程及观测内容	114
3.2.3 实验结果分析	116
3.2.4 结论	120
3.3 污水灌溉土地处理复合系统的田间试验	120
3.3.1 复合系统结构	120
3.3.2 试验区布设与系统运行	121
3.3.3 试验结果分析	124
3.3.4 结论	132
3.4 污水灌溉土地处理复合系统的应用效果	133
3.4.1 温室大棚灌溉	133
3.4.2 城镇生活污水处理	138
3.4.3 公厕污水处理	148
第4章 灌排条件下农田氮污染预测与控制技术	156
4.1 概述	157
4.1.1 研究现状及发展趋势	157
4.1.2 研究必要性	162
4.2 农田氮转化运移模型	164
4.2.1 模型研究综述	164
4.2.2 有机或无机肥料氮转化运移模型	169
4.2.3 无机肥料氮转化运移模型	180

4.2.4 氮转化运移模型参数	185
4.3 有机或无机肥料氮转化运移模型参数的敏感性	191
4.3.1 有机氮的净矿化	192
4.3.2 NH_3 的挥发	193
4.3.3 NH_4^+ —N 的硝化	193
4.3.4 NO_3^- —N 的反硝化	194
4.3.5 地表径流氮损失	194
4.3.6 地下排水 NO_3^- —N 损失	195
4.3.7 作物的氮吸收	196
4.3.8 根区 20cm 内的 NO_3^- —N 动态	196
4.4 一维与准二维农田氮转化运移模拟结果	197
4.4.1 土壤水热动态	197
4.4.2 模拟结果对比	198
4.5 农田氮流失量模拟预测与控制措施	199
4.5.1 地下水位控制方式、耕作措施和作物种植模式对氮流失影响的预测	199
4.5.2 不同施肥类型下的氮流失量预测评价	209
4.5.3 控制农田氮流失量的水土管理措施	218
第5章 灌区渠系水量监控与水管理技术及产品	231
5.1 概述	231
5.1.1 研究现状与发展趋势	232
5.1.2 研发必要性	235
5.1.3 技术与产品构成	235
5.2 渠系水位(量)监控技术与产品	237
5.2.1 压力式水位计	238
5.2.2 浮子式水位计	240
5.2.3 智能型量水计	243
5.2.4 水位计安装方式	245
5.3 渠系闸门控制技术与产品	247
5.3.1 自记式闸门开度仪	248
5.3.2 渠系闸门太阳能自控系统	250
5.4 灌区用水管理信息传输技术与产品	254
5.4.1 信息采集需求	254
5.4.2 动态信息点类别	255
5.4.3 智能 IC 卡信息转储技术与设备	256
5.4.4 无线移动网 GSM 信息传输技术与设备	258
5.5 渠系水管理模拟技术与软件	262
5.5.1 灌溉渠系用户可视化搭建系统	263

5.5.2 灌区渠系水流模拟仿真系统	274
5.6 灌区水管理信息系统	284
5.6.1 系统架构与程序设计	284
5.6.2 系统模块功能	286
5.7 灌区渠系水量监控与水管理技术及产品应用	293
5.7.1 甘肃景泰川电力提灌灌区	293
5.7.2 甘肃张掖西浚灌区	294
5.7.3 甘肃黑河草滩庄水利枢纽	296
5.7.4 山东簸箕李引黄灌区	297
5.7.5 四川都江堰人民渠二处灌区	298
5.7.6 经济、社会和环境效益	299
第6章 灌溉管网输配水调(量)控技术与产品	301
6.1 概述	301
6.1.1 研究现状与发展趋势	301
6.1.2 研发必要性	303
6.2 灌溉管网输配水系统运行安全性与模拟仿真	303
6.2.1 管网输配水系统安全性水力评价	304
6.2.2 管道进口空气吸入临界水深试验	309
6.2.3 管网输配水系统模拟仿真	313
6.3 灌溉管网输水量控技术与产品	325
6.3.1 管道灌溉用水管理信息系统	325
6.3.2 管道波涌灌溉控制系统	333
6.3.3 多功能调压分水控制装置	337
6.4 新型低压灌溉输水管材(道)与管件	340
6.4.1 竹—塑高分子复合管材(道)	341
6.4.2 地埋管道附件	346
6.4.3 复合管卡	349
第7章 喷灌水分高效利用技术与产品	352
7.1 概述	352
7.1.1 研究现状与发展趋势	352
7.1.2 研发必要性	354
7.2 喷灌水利用率	355
7.2.1 试验方法与设计	356
7.2.2 喷洒水利用系数在灌溉季节内的变化趋势	356
7.2.3 喷洒水利用系数与环境因子的关系	357
7.2.4 作物灌溉季节的平均喷洒水利用系数	358

7.2.5 结论	360
7.3 喷灌均匀系数	360
7.3.1 试验方法与设计	361
7.3.2 喷灌均匀性对土壤水分布特性的影响	363
7.3.3 喷灌均匀系数与喷灌分布均匀系数的关系	369
7.3.4 喷灌均匀系数对作物产量的影响	371
7.3.5 结论	374
7.4 异形喷嘴喷头	375
7.4.1 异形喷嘴喷头与喷嘴尺寸	376
7.4.2 方形喷嘴设计原理及方法	376
7.4.3 双长方形喷嘴设计原理及方法	382
7.4.4 三角形喷嘴设计原理及方法	391
7.4.5 异形喷嘴喷头水力性能比较	393
7.5 短流道喷头	394
7.5.1 喷头结构特点	394
7.5.2 压力流量关系	395
7.5.3 能量转化率	397
7.5.4 转动均匀性	398
7.5.5 单喷头水量分布	399
7.5.6 耐久性试验	401
7.6 地埋升降式喷灌装置	402
7.6.1 喷头结构参数设计	402
7.6.2 散射升降式喷头水力性能	404
7.6.3 齿轮传动升降式喷头水力性能	405
7.6.4 涡轮驱动升降式喷头水力性能	414
第8章 低压高效微灌技术与产品	418
8.1 概述	418
8.1.1 研究现状与发展趋势	418
8.1.2 研发必要性	421
8.2 低压微灌灌水器	423
8.2.1 流道结构形式对滴头水力性能的影响	423
8.2.2 流道结构参数对滴头水力和抗堵塞性能的影响	427
8.2.3 低压灌水器流道结构设计与性能指标	434
8.2.4 应用效果	437
8.3 内镶片式滴灌管生产线	439
8.3.1 生产线构成与工艺流程	439
8.3.2 设备的引进、研发及配套	440

8.3.3 主要性能特点	449
8.4 低压压力调节器	449
8.4.1 影响压力调节器性能的结构参数	450
8.4.2 结构参数对压力调节器性能的影响	452
8.4.3 低压压力调节器结构设计与性能指标	465
8.4.4 应用效果	467
8.5 微灌施肥装置	469
8.5.1 压差式施肥罐水力性能试验	471
8.5.2 文丘里式施肥器水力性能试验	477
8.5.3 可调比例式施肥泵水力性能试验	484
8.5.4 水动式施肥泵结构与性能的改进及完善	491
第9章 精细地面灌溉技术与产品	500
9.1 概述	500
9.1.1 精细地面灌溉技术体系构成	500
9.1.2 研究现状与发展趋势	503
9.2 激光控制土地精细平整技术	512
9.2.1 基于三维 GPS 设备的地面高程测量技术与方法	513
9.2.2 土地精平施工适宜高程测量网格间距	519
9.2.3 土地精细平整工程优化设计与评价软件	525
9.2.4 土地精细平整铲运设备及液压伺服控制装置	531
9.2.5 激光控制土地精细平整技术规模化应用	536
9.3 地面灌溉过程精量控制技术	544
9.3.1 基于 SGA 和 SRFR 的畦灌入渗参数与糙率系数优化反演模型	545
9.3.2 地面灌溉水深测量仪	557
9.3.3 田间闸管灌溉系列化产品	563
9.4 畦面微地形和土壤入渗时空变异性	568
9.4.1 田间试验与分析方法	568
9.4.2 畦面相对高程空间分布相关结构	571
9.4.3 畦面微地形时空变异性	578
9.4.4 土壤入渗参数时空变异性	584
9.5 微地形空间变异性对畦灌性能影响的数值模拟	588
9.5.1 随机模拟畦面微地形的的方法	588
9.5.2 微地形起伏位置空间分布差异对畦灌性能的影响	592
9.5.3 随机生成的畦面相对高程最小样本容量	595
9.5.4 微地形空间变异性对畦灌系统影响的数值模拟	601
9.6 考虑微地形和入渗时空变异的畦灌系统模拟效果田间验证	609
9.6.1 田间试验与模拟方法	609

9.6.2 畦灌过程	614
9.6.3 畦灌性能	624
9.6.4 结论	625
第 10 章 精量控制灌溉预报与决策支持系统	631
10.1 概述	631
10.1.1 研究现状与发展趋势	631
10.1.2 研发必要性	639
10.2 作物缺水诊断指标	640
10.2.1 试验设计与观测方法	641
10.2.2 冬小麦缺水诊断指标	645
10.2.3 春玉米和夏大豆缺水诊断指标	670
10.3 作物需水量预报模型	683
10.3.1 参照腾发量实时预报模型	683
10.3.2 作物系数计算模型	695
10.3.3 作物需水量预报模型检验	700
10.4 智能化灌溉预报与决策支持系统	701
10.4.1 系统框架结构	702
10.4.2 系统支撑平台	704
10.4.3 灌溉预报与决策支持方法	705
10.4.4 控制界面与运行	719
10.5 作物水分信息采集与精量控制灌溉系统	722
10.5.1 总体结构	722
10.5.2 作物水分信息采集系统	723
10.5.3 精量控制灌溉系统	724
10.5.4 应用效果	727

第 1 章 农业高效用水技术发展趋势 与需求及技术进步障碍

人口快速增长、资源短缺与浪费、生态环境恶化、高耗型生产方式已成为我国社会经济可持续发展的桎梏。2004 年我国国内生产总值约占全球的 4%，但消耗的一次性能源和淡水资源分别占全球的 12%和 15%，这意味着我国未来经济增长的方式亟待由粗放型向集约型转变，从过度依赖资金、自然资源和环境投入的高耗型增长方式转向更多地依靠提高劳动者素质和技术进步、以提高效率获取经济增长的方式。提高自主创新能力、转变经济增长方式、发展循环经济、建设资源节约型与环境友好型社会将成为我国社会经济发展规划的长期战略目标和构成新发展模式的主要内容，而增强技术自主创新能力无疑是实现这一战略目标的关键所在。

农业高效用水技术发展与科技创新在提高农业用水利用率和作物水分生产效率、改善农田生态环境、增加农业效益和农民收入等方面具有举足轻重的作用，面对未来我国资源型缺水的严峻形势和对农产品需求提出的严重挑战，应将技术进步与发展作为促进我国农业高效用水的重要支撑措施与手段。本章在对农业高效用水技术研究进展与发展趋势及特征进行阐述基础上，对近年来我国在农业高效用水科技创新方面取得的成效进行综述，阐述农业高效用水技术研究重点与内容，探讨农业高效用水技术的发展目标与需求状况，对影响其技术进步的障碍因素进行分析，促进我国农业高效用水技术的进步与科技创新。

1.1 农业高效用水技术发展趋势与研究重点

我国是世界上水资源缺乏的国家之一，水资源紧缺已成为严重制约我国国民经济可持续发展和生态环境建设的瓶颈。农业是我国的用水大户，用水总量约 4 000 亿 m^3 ，占全国总用水量的 70%，其中农田灌溉用水量 3 600 亿~3 800 亿 m^3 ，占农业用水量的 90%~95%。目前，农业用水过程中存在的高耗低效问题相当严重，从农业水资源利用率而言，灌溉水利用率平均仅为 43%左右，对自然降水的利用率仅达到 56%，从农业水资源利用效率来讲，灌溉作物水分生产效率仅为 $1\text{kg}/\text{m}^3$ 左右，旱地农田水分生产效率为 $0.6\sim 0.75\text{kg}/\text{m}^3$ 。随着我国社会经济的快速发展，农业用水正逐步被工业和城镇生活用水挤占，环境生态需水与农业分享用水的问题愈来愈突出。按照 2000 年全国现状用水统计（水利部农村水利司，2000），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（钱正英等，2001），2030 年我国农业缺水将达到 500 亿~700 亿 m^3 。为了解决或缓解农业缺水及高耗水问题，我国农业的发展继续沿用传统的高耗水种植模式和无限扩大灌溉面积的外延型增长方式是根本行不通的，必须走依靠科技创新大幅度提高水的利用效率、发展节水型高效农业的内涵式增长道路，从传统的粗放型灌溉农

业和旱地雨养农业向现代高效节水型灌溉农业、节水型旱作农业和节水型生态农业转变。若依靠科技进步与创新,全面推进高新技术和高科技产品在农业节水中的应用、配套和完善灌溉供水工程设施等一系列措施,将全国灌溉水利用率和作物水分生产效率分别从目前的43%和 $1\text{kg}/\text{m}^3$ 提高到接近发达国家70%和 $2\text{kg}/\text{m}^3$ 的水平,则可节水约900亿 m^3 ,这不仅可满足未来农业用水的需求,还能向国民经济其他行业转移约300亿 m^3 的水量(水利部农村水利司,2001),这无疑对促进我国农业和农村经济的发展、增加农民收入、提高农民生活质量、改善生态环境、全面建设小康社会起到重要的支撑作用。

1.1.1 研究进展

随着全球性水资源供需矛盾的日益加剧,世界各国,特别是发达国家都把发展节水高效农业作为现代农业可持续发展的重要措施。发达国家在农业生产实践中,把提高灌溉(降)水的利用率、单方水的利用效率、水资源再生利用率作为研究重点和主要目标。在研究农业高效用水基础理论上,将生物、信息、计算机、高分子材料等高新技术与传统的农业节水技术相结合,提升农业高效用水技术的科技含量,建立适合国情的农业高效用水技术体系,加快由传统的粗放农业向现代化的精准农业转型的进程。

农业高效用水技术通常可归纳为工程节水技术、农艺节水技术、生物节水技术和用水管理节水技术等四类,其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效率,减少作物的水分奢侈性蒸腾消耗,获得较高的作物产量和用水效益。发达国家将提高上述环节中的灌溉(降)水利用率和作物水分生产效率为重点,在建立了以高标准的衬砌渠道和压力管道输水为主的灌溉输水工程系统和采用了以喷微灌技术和精细地面灌技术为主的田间灌溉技术后,农业高效用水技术的研究重点正向工程节水技术与农艺节水技术、生物节水技术和用水管理节水技术的有机结合转变,日趋重视农业高效用水与生态环境保护需求的密切结合(许迪等,2002)。

1.1.1.1 工程节水技术

随着现代化规模经营农业的发展,由传统的地面灌溉技术向现代精细地面灌溉技术的转变是大势所趋。在采用高精度的土地平整技术基础上,采用水平畦田灌和波涌灌等先进的地面灌溉方法无疑是实现这一转变的重要标志之一。精细地面灌溉方法的应用可明显改进地面畦(沟)灌溉系统的性能,具有节水、增产的显著效益。激光控制土地精细平整技术是目前世界上最先进的土地平整技术,国内外的应用结果表明,高精度的土地平整可使灌溉均匀度达到80%以上,田间灌溉效率达到70%~80%,是改进地面灌溉质量的有效措施。随着计算机技术的发展,在采用地面灌溉实时反馈控制技术的基础上,利用数学模型对地面灌溉全过程进行分析已成为研究地面灌溉性能的重要手段。应用地面灌溉控制参数反求法可有效地克服田间土壤性能的空间变异性,获得最佳的灌水控制参数,有效地提高地面灌溉技术的评价精度和制定地面灌溉实施方案的准确性。

除地面灌溉技术外,发达国家十分重视对喷、微灌技术的研究和应用。微灌技术是所

有田间灌水技术中能够做到对作物进行精量灌溉的高效方法之一。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、先进的制造成模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。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。

为减少来自农田输水系统的水量损失,许多国家已实现灌溉输水系统的管网化和施工手段上的机械化。近年来,国内外将高分子材料应用在渠道防渗方面,开发出高性能、低成本的新型土壤固化剂和固化土复合材料,研究具有防渗、抗冻胀性能的复合衬砌工程结构形式。如已在德国、美国应用的新型土工复合材料 GCLS 就具有防渗性能好、抗穿刺能力强的明显特点。此外,管道输水技术因成本低、节水明显、管理方便等特点,已作为许多国家开展灌区节水改造的必要措施,开展渠道和管网相结合的高效输水技术研究和口径复合管材的研制是渠灌区发展输水灌溉中亟待解决的关键问题。

1.1.1.2 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用率和作物水分生产效率的有效途径。国内外已提出许多行之有效的技术和方法,如保护性耕作技术、田间覆盖技术、节水生化制剂(保水剂、吸水剂、种衣剂)和旱地专用肥等技术及产品正得到广泛的应用。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、美国等将聚丙烯酰胺(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。

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。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。特别是近年来,在植物抗旱基因的挖掘和分离、水分高效利用相关的基因定位以及分子辅助标记技术、转基因技术、基因聚合技术等抗旱节水作物品种的选育上取得了一些极富开发潜力的成果。

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物生态系统的目的,从而最大限度地提高水分养分耦合的利用效率。美