

文章编号: 1672-3031(2008)03-0199-08

农业高效用水研究进展与成果回顾

许迪, 高占义

(中国水利水电科学研究院 水利研究所; 国家节水灌溉北京工程技术研究中心, 北京 100044)

摘要: 在系统阐述农业高效用水研究进展与发展趋势基础上, 对农业高效用水研究领域取得的主要成果及创新进行回顾和综述。在应用基础与前沿技术方面, 开展农田水土管理、灌区节水决策、精量灌溉预报决策、精量控制地面灌溉、喷微灌水肥高效利用、农田氮素迁移转化与控制等方法和技术研究; 在关键技术与产品方面, 对喷滴灌、地面灌、管道输水灌溉、灌区用水管理、农田排水与涝渍灾害防治、劣质水资源化灌溉利用、农业水资源开发利用、节水灌溉设备质量监测与评价等技术和产品进行研发; 在宏观战略与发展对策方面, 开展农村水利发展战略、粮食安全与灌溉发展战略、节水灌溉发展战略和农村水利科技发展战略等研究。通过国家重大科技成果推广应用项目, 对取得的科技成果进行转化和推广应用, 为我国农业高效用水提供了新技术、新方法和新产品。

关键词: 农业高效用水; 灌溉(降)水利用率; 水分生产效率; 精量灌溉; 灌溉水管理

中图分类号: TV93; S27

文献标识码: A

农业高效用水是以提高灌溉(降)水利用率和利用效率、水资源再生利用率和保护农田水土环境为核心, 以灌溉(降水)–土壤水–作物水–光合作用–干物质积累–经济产量形成的循环转化过程和区域农田水循环过程为主线, 从田间水分调控、作物耗水生理调节、水肥高效利用、作物品种生理与遗传改良等挖掘节水潜力的措施, 以及从农业节水对区域农田生态系统产生的潜在影响出发, 重点开展与农田水分高效利用及调控、田间节水灌溉与水肥高效利用、农业节水对区域水土环境响应评估与调控、水分胁迫对作物生长的影响及其提高水分生产效率的机理与方法等相关应用基础理论研究和关键技术及产品研发, 研究农田灌溉水循环和农田生态系统耗水中的水分运动与交换、溶质运移与转化、根系发育与植物生长、能量交换等过程间的相互关系及各界面间的转化机制与规律。探索在上述环节中有效提高水分转化效率和生产效率的途径及区域农田水土环境对节水灌溉的响应过程, 利用现代高新技术开展农业节水关键技术研究与新产品研发及新材料创制^[1,2]。

中国水利水电科学研究院建院 50 年来, 水利研究所广大科研人员在农田水利学科领域开展了长期卓有成效的研究工作。初期以河南新乡人民胜利渠灌区为基点, 开展黄淮海平原中低产田综合治理研究, 在灌溉、除涝和防治盐碱化、地下排灌技术等方面取得了丰硕成果, 曾获 1993 年度国家科技进步特等奖。近 30 年来, 水利研究所和国家节水灌溉北京工程技术研究中心与有关单位合作, 在农业高效用水应用基础与前沿技术研究、关键技术与产品研发、宏观战略与发展对策研究、技术推广应用等方面获得了一批重大科研成果, 为我国农业高效用水的现代化和信息化建设以及快速发展提供了新技术、新方法、新产品和新专利, 提升了我国农业高效用水的科技创新能力, 促进了农业节水产品和设备的升级改造与更新换代, 为构建适合国情的现代农业高效用水技术体系、制定相关政策与决策、促进农业可持续发展提供了可靠的支撑条件。

1 应用基础与前沿技术

1.1 农田水土管理方法与技术 以减缓华北地区农业水资源供需矛盾、改善农田生态环境为目的, 从

收稿日期: 2008-07-30

基金项目: 国家 863 计划重点项目(2006AA100200); 国家科技支撑计划重点项目(2006BAD11B00); 国家 973 计划项目课题(2006CB403405)

田间水土管理和区域水管理与调控两个层次入手,研究适宜华北平原应用的农田水土管理技术与方法及其应用模式。在河北雄县和北京大兴农业节水灌溉试验基地长期开展小区试验观测、田间参数测定,在计算机数值模拟分析基础上,利用GIS、GPS等手段与分析方法对当地气象、水文、土壤、作物、地面水和地下水等数据进行收集和分析,确定田间各类参数的时空变异分布特征,采用数学模拟手段定量研究农田水土管理活动对田间水平衡过程的影响,描述大气-土壤-作物-地下水连续系统中农田水分循环特点与特征;在验证对比各种计算参照作物蒸发量和作物系数方法基础上,研究确定了主要作物的需水量及其相关参数,利用改进的作物灌溉模型对现行灌溉制度进行分析评价,模拟了不同典型气候条件下冬小麦-夏玉米连作模式的节水灌溉制度与模式;对影响地面畦灌特性的灌水技术要素进行分析,模拟评价改进畦灌系统性能的节水潜力;研究田间土管理措施对土壤特性、土壤水分、作物产量及其水分利用效率的影响作用,提出以增强降雨入渗和土壤贮水能力、减少地面径流和表土蒸发为目标的田间土管理措施组合应用模式;根据区域水量平衡计算,制定人工回补地下水条件下以提高农业用水效率、补充地下水资源为目标的区域水管理策略和模式^[3]。

1.2 灌区节水决策方法与技术 以灌区节水决策技术创新促进农业增效、改善农田水土环境、提高农民生活质量为目标,在研究节水决策关键技术和方法基础上,重点研发节水决策管理核心技术与模型,将田间尺度的农田灌排技术与灌区尺度的灌溉用水管理技术相集成。针对黄河流域上游宁夏惠农灌区和下游山东簸箕李灌区的气象气候特点、水土资源条件、灌溉排水系统现状、农业种植模式和经济社会发展状况等方面存在的共性问题,采取室内外实验观测、田间小区试验和数学模拟相结合的技术路线,开展灌区农业经济社会状况调查与评价、基于遥感数据的灌区资源状况分析评价、渠系输水损失估算方法的改进、地面灌溉技术要素制约下的灌溉制度模拟优化、农田排水再利用效应模拟与潜力分析、水管理措施对农田水盐动态和区域排水影响的模拟分析等6类关键技术研究,对基于节水多准则分析的田间灌溉需求与渠系输配水模拟决策和基于渠系输配水条件制约的干渠供水配置模拟等2类核心技术开发研究,构建起集干渠供水、田间渠系输配水、作物灌溉需求模拟为一体的引黄灌区节水决策技术应用模式,为沿黄灌区制定合理的节水灌溉策略和灌区水管理运行方案提供科学依据^[4]。

1.3 精量灌溉预报决策方法与技术 以我国北方冬小麦、春玉米、夏大豆作物为对象,研究了土壤水分和作物生理生态两类指标响应作物缺水状况的能力及其相互依赖性,确定了相关指标的临界阈值,借助通径分析方法分析了冬小麦作物缺水诊断指标的敏感性及其在灌溉预报决策中的相对重要程度。针对难以获得长系列气象数据的状况,在对公共天气预报信息进行解析转换获得必要气象数据基础上,建立了基于Penman-Monteith方法估算作物参照腾发量的实时预报模型,以常规天气预报中的天气情况和日最高气温作为输入项,利用自适应模糊神经推理系统,建立了作物参照腾发量实时估算模型。开发出以作物需水信息诊断为基础、综合考虑土壤和气象等环境因子影响的人工智能型灌溉预报决策支持系统,在对田间作物、土壤和气象数据进行实时采集、分析和预测基础上,根据水量平衡原理和作物缺水诊断指标阈值,开展基于单一指标或多指标灌溉预报决策支持下的智能化灌溉用水管理方法及技术研究,构建起基于作物水分信息采集系统、智能化灌溉预报决策支持系统、精量控制灌溉系统为一体的作物水分信息采集与精量控制灌溉系统^[5]。

1.4 精量控制地面灌溉原理与技术 针对地面灌溉过程实时反馈控制,基于实测的畦田地表水流运动数据,依据基本遗传算法SGA与地面灌溉模型SRFR构建起畦灌入渗参数与田面糙率系数同步优化反演算法,在给定的相关参数值域范围内,开展参数优化反演过程的自动化运作及其相关参数的全局性寻优。基于田间试验和地面灌溉数值模拟手段,分析评价田面平整状况对畦灌系统性能的影响,定量研究田面微地形条件变化对地面灌水质量影响的程度及范围,探讨了田面平整精度与畦灌系统性能和作物产量间的关系。采用地质统计学方法分析各类畦块的田面相对高程空间变异结构特征,建立起用于估算畦面相对高程空间变异特征参数的经验公式,根据畦面相对高程分布既具有随机性又具有空间相关性的特点,对利用Monte-Carlo方法随机生成的畦面相对高程进行数值修正基础上,构建起随机模拟畦面微地形的方法;在考虑随机生成的畦面相对高程最小样本容量基础上,借助二维地面灌溉模型和构建的畦面微地形随机模拟方法,对微地形起伏幅度及其相应的起伏位置空间分布差异引起的畦灌系统性

能响应进行数值模拟和分析评价^[5]。

1.5 喷灌水肥高效利用原理与技术 在华北平原和西北干旱风沙区对喷洒水利用系数在小麦和玉米生育期内进行监测, 评价喷灌技术在不同地区的适应性, 开展喷灌条件下水分和氮在土壤中的时空变化特性的田间试验和模拟研究, 分析喷灌均匀系数对水分深层渗漏和氮淋失的影响, 探讨作物生长对土壤水氮分布不均匀性和土壤特性空间变异的响应特征。根据不同喷灌均匀系数下监测的土壤水分空间分布状况, 研究喷灌条件下灌水量的空间变异和统计分布规律, 分析喷灌均匀性对土壤水分分布特性以及喷灌施肥均匀性对作物产量的影响, 探讨喷灌均匀系数与喷灌分布均匀系数的关系。研究冠层截留对喷灌水量分布的影响, 基于水量平衡原理, 分析冠层截留水量的大小及其与作物生长的关系, 采用植物热平衡茎流计、称重式蒸渗仪、波文比能量平衡系统和涡度协方差系统等先进测试手段, 构建喷灌水蒸发与作物冠层能量平衡的联合模拟模型, 对作物冠层截留水量损失进行定量评估, 分析冠层截留水量对喷灌作物水分利用率的影响^[6]。

1.6 微灌水肥高效利用原理与技术 对微灌系统中常见的施肥装置水力性能进行系统测试, 研究施肥装置结构参数和系统运行参数对施肥性能的影响, 对地表滴灌和地下滴灌系统的灌水和施肥均匀性进行田间评估, 评价灌水器类型及制造偏差、施肥装置类型、毛管埋深对系统性能的影响, 研究灌水器堵塞程度对系统灌水均匀性的影响特征, 探讨土壤特性空间变异和系统水力学特性对地下滴灌土壤水氮分布和作物生长的影响。开展室内试验, 研究土壤质地剖面上变化及灌水器流量、灌水量、肥料溶液浓度对水分和氮在土壤中运移分布的影响, 通过田间试验, 系统研究地表滴灌系统运行方式和施肥频率、施肥量等技术要素对土壤水氮运移分布和作物吸收及残留的影响, 探讨了作物产量、品质及生理生态指标对水氮管理措施的动态响应特征。对地下滴灌条件下施用氟乐灵农药抗作物根系堵塞及调控根系分布机理进行试验与模拟研究, 分析施药浓度和日期对滴头根系堵塞的控制效应及其对冬小麦和番茄作物生理状况、产量及品质的影响, 探讨适宜的地下滴灌施药制度与模式, 利用地下滴灌土壤溶质迁移运动模型, 模拟分析氟乐灵在土壤中的动态变化规律, 分析滴头流量变化对氟乐灵分布状况的影响^[7]。

1.7 农田氮迁移转化模拟与控制方法 在对比评价国内外较为广泛应用的土壤水热运动模型 SWAP 和 DRAINMOD 基础上, 以其水热动态输出变量作为氮运移转化的驱动因子, 构建农田氮迁移转化集成模型, 用于模拟施用无机肥或有机肥条件下地表和地下排水中硝态氮流失的动态变化特性, 开展不同农田水肥管理措施及不同地下水位条件下施用氮肥对土壤、作物和水环境影响的分析评价。对影响农田氮运移转化过程的主要参数因子进行敏感性分析, 研究各种形态氮运移转化过程中主要参数的变化对氮动态特性影响和作用, 提出利用建立的集成模型开展水土环境定量评价时对参数进行率定的判别标准。应用建立的农田氮迁移转化集成模型, 分析了影响氮淋洗流失的主要因素, 从施肥管理、灌溉管理、地下水控制、耕作措施、作物系统、排水资源化利用等方面对氮流失量的影响效果进行模拟评价, 提出适宜的农田水土管理措施。根据不同作物植被条件下径流试验小区观测数据, 研究农田地表径流及氮磷流失规律及特征, 探讨作物植被类型对农田地表径流、土壤侵蚀和氮磷径流流失的影响作用, 采用地表径流模型 SCS 对地表径流流失量进行分析研究, 基于建立的径流修正系数与降雨量的回归关系, 对 SCS 模型进行改进, 探讨利用 SCS 模型计算径流时确定 CN 参数值的方法^[8]。

1.8 灌区水盐监测预报理论与方法 以河南省人民胜利渠引黄灌区为研究对象, 在积累了较长系列的历史观测资料基础上, 通过开展灌区水盐运动观测试验, 系统研究探讨了水盐运动规律, 利用建立的水盐动态预报模型开展实时预报, 为黄河下游引黄灌区防治土壤盐碱化、改善作物生长条件提供技术支撑。研究提出利用周期分析原理进行年、月、旬降雨量和蒸发量的预报方法, 通过对实测的降雨量和蒸发量序列进行周期排列及周期显著性判别, 选定降雨和蒸发预报周期并据此预报降雨量和蒸发量。根据渠灌、井灌、降雨和蒸发等要素与地下水埋深间的统计规律, 建立了地下水预报模型, 对不同分区开展地下水动态预报, 以土壤含盐量和干旱度与地下水埋深间的关系为依据, 利用建立的土壤水盐动态预报模型进行分区土壤含盐量预报。对观测点水位与均衡区平均地下水位之间的关系进行相关分析基础上, 得到观测点的水位预报值, 提高了均衡法预报模型的精度, 实现了基于均衡法和有限元法预报地下水位动态的目的。根据观测数据的分布特性和数据自身的类型, 研究提出用于预报地下水和土壤

盐分动态变化的时间序列组合模型和多层递阶模型,探索了利用时间序列法预报地下水和土壤盐分变化的可能性。在分析灌区盐碱地面积变化、土壤盐分动态特征、盐碱地分区及地下水埋深和矿化度的基础上,采用灰色-耦合随机模型开展土壤盐分动态和地下水水质预报研究^[8]。

2 关键技术与产品

2.1 滴灌技术与产品 研发出适应国情的燕山滴灌技术,包括半固定式滴灌技术、全移动式滴灌技术、利用黄河水滴灌的防堵技术和温室滴灌技术等。开发出具有制造偏差小、工作压力低、射程大、喷洒均匀特点的旋转式微喷头,通过改变部件的连接和安装拆卸受力方式,研制出结构简单、密封性好、部件抗脱落能力强的微灌用组合式旁通^[9]。研究不同迷宫流道结构形式对流态指数、流量系数、流道长度和截面积等参数的影响,分析流道结构参数对滴头水力性能和抗堵塞性能的作用,建立起低压片式齿形迷宫流道滴头结构优化设计方法,研发出低压片式齿形迷宫流道滴头及滴灌管产品。在确定结构参数对滴灌压力调节器调压性能影响的主次顺序以及结构参数与预置压力间的定量关系基础上,通过优选结构设计参数,研发出微灌低压压力调节器产品。根据流体压差推动活塞运动原理,对活塞及活塞组件换向机构进行开发设计,开发出国产化的水动式施肥泵产品。研制出国产化的滴头上料机构、挤出机头及加热机构、滴头自动黏贴机构、真空定径及冷却机构、导向及牵引机构、电子机械打孔机构、自动卷管机构、在线监测及自控系统等8种关键设备,实现了内镶片式滴灌管生产线关键设备与制作工艺的国产化^[5]。

2.2 喷灌技术与产品 开展恒压供水半固定管道式喷灌系统工程研究与建设,研发出泵站调压罐和相关的自控、自动等稳定水压和运行安全的装置与产品,实现了水压稳定自控、高效节能下的半固定管道式喷灌系统的安全运行。对异形喷嘴、短流道异形喷嘴喷头、地埋升降式喷灌装置的结构设计方法开展研究,通过性能结构对比分析,根据喷嘴流道的渐变段锥角、喷嘴长方形孔的长宽比及两孔边距、喷嘴流道的渐变角及三角形孔的高宽比等关键影响要素,设计异形喷嘴的流道结构形式,对喷管、摇臂和换向机构弹簧进行结构改进,提出短流道喷头结构的优化设计方案,依据密封性好、可靠性强、自清洗、工作性能稳定、适应范围广泛的结构特点要求,建立升降式喷灌装置结构的优化设计思路。基于室内外试验测试结果,在对各种喷头样机的流量及流量系数、射程、水量分布、末端水滴直径、压力流量关系等水力性能以及能量转化率、转动均匀性、耐久性等其它性能指标进行综合分析评价基础上,确定相应的喷头流道结构优化设计原则及其相关参数值的选用范围,据此研发异形喷嘴、短流道异形喷嘴喷头、地埋升降式喷灌装置等产品。对大型电动圆形和平移式喷灌机机架的设计方法及制造工艺、传动装置进行改进,开发了喷头配置设计软件^[5]。

2.3 地面灌溉技术与产品 采用水量平衡两点法估算土壤入渗参数和田面糙率,研究提出用于评价波涌灌溉土壤入渗性能和田间参数的方法,应用水动力学模型开发了波涌灌溉设计与管理软件,用于模拟不同灌水方案下的地表水流间歇运动状况,研发出具有配水和控水双重功能的国产化波涌灌溉设备。对激光控制平地技术的平整精度、作业效率、成本费用等进行分析评价,开展激光控制农田土地精平技术经济可行性分析,提出激光控制平地技术与常规机械平地技术组合应用的适宜模式^[10]。对基于三维GPS设备的地面高程测量方法开展应用研究与效果评价,开发出土地平整工程优化设计与评价软件,研制出激光控制土地精细平整国产化铲运设备及液压伺服控制装置,开展基于三维GPS田面高程信息自动采集系统的激光控制土地精平技术规模化应用效果研究。在分析田面平整精度差异对畦田水流运动状况、水量入渗分布、作物产量影响的基础上,提出适合国情的水平畦田灌溉系统田间工程模式 and 设计方法,给出相应的田间工程布局模式和结构形式以及适宜的水平畦田灌水最佳技术要素组合。开发出系列化的田间闸管灌溉产品及附件,提出相应的田间工程配套设施和运行管理方法^[5]。

2.4 管道输水灌溉技术与产品 对低压管道输水灌溉技术与产品进行研发,开发出薄壁和双壁PVC塑料管材,研制出内衬塑膜现浇管、砂土水泥管、一次成型现浇管等一批输水管材和产品,初步构建起集田间工程规划设计、管材管件施工到工程运行管理为一体的低压管道输水灌溉技术体系^[11]。以不饱和聚酯和改性铸型尼龙树脂材料为基体与价格低廉的竹纤维材料进行复合,通过竹材预处理、树脂单体活

性料制备、管材成型、后处理等生产工艺,开发出具有高强、轻质、耐磨、耐腐蚀性特点的竹塑高分子复合管材(道)产品。研究灌溉管网安全性水力评价方法及对管网安全影响最大的空气渗入问题,分析事故发生频度与影响管网输配水系统运行安全性水力因素间的相关性,探讨灌溉管道进口空气吸入形式和临界水深与管道流速的关系,提出影响灌溉管网输配水系统运行安全性的主要水力学评价指标。基于研发的智能用水管理信息系统和智能 IC 卡式机井灌溉控制器,构建对机井水位、灌溉用水量、水泵和电磁阀启闭工况等实施远程监控和智能化管理的机井用水管理信息系统,开发出管道波涌灌溉控制系统、多功能调压分水控制装置、PE 地面管道附件及复合管卡等井灌区高效用水管网系统安全运行调控设备与产品^[5,12]。

2.5 灌区用水管理技术与产品 在用户自定义行政区划、灌区管理机构、渠道类型与级别和利用渠道建筑物自行搭建渠系结构基础上,开发出灌区用水管理闸门控制系统,可根据实际需求定义渠道受控闸门建筑物的各种工况运行参数,自动记录闸门操作过程和开度变化过程,对用户发出的操作指令进行安全性评估,同时研制出低功耗自记式闸门开度仪、渠道闸门太阳能就地自动控制器、自控闸门的机械离合保护装置等配套控制产品。研发的灌区用水管理信息采集系统可依据信息点类别配置不同的水情信息采集与处理方式,借助各种信息采集通讯方式,上传灌区用水管理信息,研制出低功耗智能型自记式量水仪表、低功耗自记式水位计、智能 IC 卡信息转储设备、即时唤醒 GSM 调制解调器等相关产品。对渠系水流模拟仿真系统进行开发,数值模拟渠系水流推进演变过程,实时回放渠系任意指定位置处的水深、流量、流速等模拟结果。研发的渠灌区用水管理信息系统考虑了灌溉系统识别以及水情信息监测、控制、传输和处理等相关内容,以各类信息数据源作为渠灌区用水管理分析与调度运行的基础,通过人机交互方式实现水情信息服务、水文数据整理、需水量预测、灌溉调度、数据库管理等^[5]。

2.6 农田排水与涝渍灾害防治技术及产品 以农田涝渍兼治组合排水条件下的水平衡动态机理为基础,分析计算了涝渍兼治的田间地下和地面排水模数,提出了除涝治渍结合的排水工程设计方法。采用阶段动态控制标准替代传统的地下水位临界深度标准,研究提出控制渍碱的农田排水设计非稳定流计算通式,通过区域水盐监测和水盐平衡计算与分析,提出区域盐分平衡所需达到的水量排引比^[13]。对灌排条件下的土壤盐渍化问题进行定量预测,对防治灌区涝渍盐碱化的主要排水技术手段进行排水工程形式布局研究,从经济可行、防治盐渍效果好并便于运行管理的角度考虑,提出采用暗管排水与集水明沟相配合的田间明暗组合排水工程模式。对农用聚氯乙烯波纹排水管加工工艺及生产设备的研发,在筛选低成本、性能优良的无增塑聚氯乙烯材料配方基础上,开发出无增塑聚氯乙烯粉料加工工艺,研制出大容量机头、锥形双螺杆挤出机及其配套的成波机、打孔机、卷取机等生产设备,研发出双螺旋形波纹状塑料排水管,为在轻质土地区建设管滤合一的田间排水工程提供了适用性的管材产品^[14]。

2.7 劣质水资源化灌溉利用技术与产品 对高灌水定额下劣质水灌溉土地处理慢渗系统的去污效果开展实验研究,探讨对传统劣质水灌溉系统工程结构进行改进、增加水力负荷、提高处理能力的可行性。基于建立的劣质水灌溉土地处理慢渗系统概念模型,对温室大棚作物劣质水灌溉与处理相结合的工程应用模式和将作物生长季节内劣质水灌溉、低温季节储水入参与地下水管理相组合的工程应用模式进行探索,通过增加水平或垂直排水系统,显著提高系统的水力负荷。对苜蓿作物生长条件下劣质水灌溉土地处理慢渗系统中的氮迁移转化过程、去除氮的效果开展实验研究,分析在灌溉原污水中增加有机碳含量对作物生长、排水量、氮淋溶量、化学需氧量的作用,探讨添加有机碳对劣质水灌溉土地处理慢渗系统的去除氮、氮平衡项结构变化的影响,指出增加有机碳含量会影响劣质水灌溉土地处理慢渗系统去除氮的效果和作物生长条件^[5]。

2.8 农业水资源开发利用技术与设备 针对以钢筋混凝土管作为竖井井管、利用柔性塑料波纹管作为水平辐射管的井型结构,研发钻机成孔、漂浮法下管的辐射井成井工艺技术,开发出用于竖井和水平辐射管施工的钻机设备,为开发利用弱透水含水层地区的地下水资源提供了新的手段和途径。针对辐射井应用中存在的关键技术开展研究,将水平钻机改进为具有扭力、推力、拉力和水冲力的全液压水平钻机,形成双油缸和单油缸两个系列的水平辐射管施工设备,增加了辐射井的成井深度;研制出振冲式全液压水平钻机,增加了水平辐射管在砂砾石含水层中的敷设长度,取得了较好的应用效果。研究提出与

橡胶坝坝袋、锚固系统、控制与观测系统、土建工程相关的设计标准,制订了橡胶坝施工准则和橡胶坝运行管理规则,编制了橡胶坝技术行业规范、橡胶坝坝袋国家产品标准以及橡胶坝技术国家工程建设标准^[15]。

2.9 节水灌溉设备质量监测与评价技术 基于指标定量与定性筛选相结合的方法,对主要节水灌溉产品质量评价指标进行筛选和分级,基于模糊数学方法构建节水灌溉产品质量评价方法与模型,对喷头、滴灌管(带)和输水管材等节水灌溉产品质量进行评价,分析各类指标对产品质量评价的敏感性,提出较完整的主要节水灌溉产品质量评价方法。以我国 160 家节水灌溉产品企业生产的 25 大类产品性能指标和现行的 300 多个国内外节水灌溉产品技术标准为信息源,建立了集产品信息库、企业信息库、技术标准库为一体的节水灌溉产品与技术标准信息数据共享平台,实现了节水灌溉产品信息资源的高度共享和有效利用,为主管部门、科研机构、企业及用户提供了可靠的节水灌溉产品信息数据来源^[16]。

3 宏观战略与发展对策

3.1 中国农村水利发展战略研究 紧密围绕粮食安全、水安全、农民增收和改善生态环境的需要,研究制定中国农村水利发展总体思路与战略发展框架。在农田水利领域,应加快灌排工程配套和完善,力争到 2020 年基本完成大型灌区和重点中型灌区的续建配套与节水改造,建立农业用水“总量控制、定额管理”体系,节水型农业县达到总数的 1/3,节水灌溉工程面积达到有效灌溉面积的 2/3。在农村供水领域,以解决农村饮水水质问题为重点,到 2020 年基本实现农村饮水安全,在经济发达地区普及自来水供水。在农村水环境改善方面,以建立健全农村排水系统及生活污水处理设施、保护饮用水源、修复和治理农村周边水环境为重点,到 2020 年基本达到实现农村水环境清洁和水污染得到有效控制的目标,初步建立农村水环境监测与保护体系^[17]。

3.2 中国粮食安全与灌溉发展战略研究 基于研发的粮食生产与用水需求预测模型,得出在 2010 年和 2020 年农业用水总量基本不变和不同粮食自给率条件下,全国灌溉面积发展规模和灌溉水利用率需提高的幅度,为制定灌溉及农业高效用水发展规划提供依据。在粮食自给率为 95% 情况下,2010 年全国有效灌溉面积应达到 5853 万 hm^2 ,2020 年全国有效灌溉面积达到 5980 万 hm^2 。在农业用水总量不变前提下为保障灌溉面积的发展,2010 年全国灌溉水利用率应比 2000 年提高 10.8 个百分点,2020 年全国灌溉水利用率应比 2000 年提高 16.5 个百分点。在粮食自给率为 95% 情况下,2010 年全国节水灌溉面积应达到 2980 万 hm^2 ,2020 年全国节水灌溉面积应达到 3967 万 hm^2 ^[17]。

3.3 中国节水灌溉发展战略研究 研究提出我国节水灌溉发展的基本原则包括:(1)以水资源承载能力为基础,确定农业高效用水的发展模式和重点,做到与人口、资源、生态环境的相互协调,促进经济社会的可持续发展;(2)根据各地具体情况,抓住制约农业用水效率提高的关键环节,大中小型工程并举,工程措施与非工程措施配套,先进技术与实用技术相结合,走适合国情的农业高效用水发展道路;(3)开源节流并举,节流优先,以提高灌溉水和天然降雨的利用效率为前提,实现水资源的优化配置、高效利用与有效保护;(4)以降低灌溉成本,提高作物产量,增加农民收入为目标,兼顾国家和农民两者利益,调动农民参与农业高效用水的积极性,处理好经济效益、社会效益与环境效益的关系。根据降雨量、干旱指数、作物种植结构、复种指数等气候、农业和灌溉指标并结合各省(市、区)行政区划,将全国划分为东北、华北、西北、华中、西南、东南沿海等 6 个灌溉分区,研究提出各分区发展农业高效用水的重点任务以及适宜采用的农业高效用水发展模式与技术手段^[18]。

4 技术推广应用

4.1 国家节水灌溉北京工程技术研究中心组建项目 在中心组建期内,共完成 14 个节水产品设备开发与性能改进及其推广应用工作,包括与北京绿源塑料联合公司联合开发的内镶式滴灌管系列产品、与北京中冠新型管材设备开发有限公司联合开发的加筋 HDPE 管系列产品、与海南灌排技术开发公司联

合开发的轻型汽油喷微灌机组、与山东环球塑业有限公司联合开发的低压输水灌溉管道地埋管附件、与河北华雨灌溉装备有限公司联合开发的大型电动圆形和平移式喷灌机组、与机械工业部天津机械工业研究院联合研制开发的激光控制平地铲运设备、与浙江宁海润茵节水灌溉设备有限公司联合开发的波涌灌溉成套设备、与广州华润喷泉喷灌有限公司联合改进和提高旋转式微喷头系列产品性能、与中国农科院农田灌溉所联合开发的井群无线自动控制系统和薄壁滴灌带生产设备、与我院牧区水利科学研究所联合开发的二千瓦太阳能提水灌溉系统和一千瓦风力发电提水灌溉系统, 以及由中心自主开发的灌溉用水管理测控设备及软件和田间闸管灌溉系列产品。

4.2 国家科技成果转化与推广计划项目 污水灌溉利用与再生生态技术示范模式在山西阳高县、北京延庆县和云南滇池人民公园得到推广应用。灌区用水管理及渠系自控技术与设备示范应用项目在山东滨州簸箕李灌区等地开展示范推广应用, 提高渠系水利用系数 5.5 个百分点, 年节水 3635 万 m^3 , 年增产 2840 万 kg。高效滴灌施肥装置及技术研究与应用项目在河北邢台黑龙港地区建成 1700 hm^2 棉花膜下滴灌和日光温室番茄滴灌示范工程, 节水 50% 以上, 增产 27.5%。基于激光控制平地技术及国产铲运设备示范应用项目开发了精细平地铲运设备, 在新疆和山东建设 3400 hm^2 激光控制精细平地示范区, 节水 30%, 增产 20%。农用竹- 塑复合管材配套技术改进与推广应用项目在江苏无锡水稻示范区得到推广应用, 节水 30.6%, 增产 12.7%。田间闸管灌溉技术示范应用项目在山东桓台县等地建起 5 个不同类型的示范应用区, 提高灌溉水利用率 10%, 增产 10%~15%。明、暗组合农田排水及暗管外包料成套技术示范应用项目在新疆生产建设兵团农七师等地建成示范区 300 hm^2 , 增产 10% 以上。通过经济型内镶片式滴灌管生产线产业化开发, 使生产线国产化率由 55% 提高到 90% 以上, 性价比提高 30% 以上。田间节水灌溉新技术及设备集成应用项目已在新疆兵团奎屯建成示范区 1000 hm^2 , 产品销售收入 233 万元, 节支增收 154 万元。辐射井技术在农业水资源高效利用中的应用与示范项目在宁夏惠农县建立试验示范区 200 hm^2 , 小麦每公顷产量提高 960 kg, 节能 40%。

4.3 全国 300 个节水增产重点县建设技术推广项目 在水利部主持的全国 300 个节水增产重点县建设技术推广项目中, 推广应用研发的各类节水灌溉技术与产品, 包括以提高水资源承载能力为基础的水土资源优化配置技术、以提高降雨利用率为代表的多水源优化和联合调度技术、以渠道防渗为主要内容的高效输配水技术、以低压管道输水为主要内容的高效输配水技术、以发展经济作物和城郊农业并以实行区域种植和规模化经营为特色的喷灌技术、以发展经济作物和设施农业等为特色的微灌技术、以发展庭院经济和建设抗旱基本农田为主的集雨节灌技术、以出苗保墒为目的的抗旱点浇技术和行走式注水与补水技术、以大田旱作非充分灌溉和水稻控制节水灌溉等为主的节水灌溉技术、以用水计量和水情信息测控技术为基础的灌溉用水管理技术、以覆盖保墒和作物蒸腾抑制及配方施肥等为代表的农艺化控节水技术、以沟畦规格改造和灌水技术要素优化组合为主的改进地面灌水技术。上述节水灌溉技术与产品的推广应用, 新发展节水灌溉面积 200 万 hm^2 , 节地 4 万 hm^2 , 年节水 36 亿 m^3 , 增加 50 亿 kg 粮食生产能力, 有力推动了全国节水灌溉技术的普及和应用^[19]。

参 考 文 献:

- [1] 许迪, 康绍忠. 现代节水农业技术研究进展与发展趋势[J]. 高技术通讯, 2002, 12(12): 45-50.
- [2] 康绍忠, 胡笑涛, 蔡焕杰, 等. 现代农业与生态节水的理论创新及研究重点[J]. 水利学报, 2004, (12): 5-9.
- [3] 许迪, 蔡林根, 王少丽, 等. 农业持续发展的农田水土管理研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000.
- [4] 许迪, 蔡林根, 茆智, 等. 引黄灌区节水决策技术应用研究[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [5] 许迪, 龚时宏, 李益农, 等. 农业高效用水技术创新[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [6] Li Jiusheng. Sprinkler irrigation hydraulic performance and crop yield[M]. Beijing: China Agricultural Sciencetech Press, 2000.
- [7] 李久生, 张建君, 薛克宗, 等. 滴灌施肥灌溉原理与应用[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2003.
- [8] 河南省人民胜利渠管理局, 等. 灌区水盐监测预报理论与实践[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1997.
- [9] 钱蕴璧, 李英能, 杨刚, 等. 节水农业新技术研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002.

[10] 许迪, 李益农, 程先军, 等. 田间节水灌溉新技术研究与应用[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.

[11] 金永堂, 余玲. 低压管道输水灌溉技术[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2000.

[12] 邢义川, 李远华, 何武全, 等. 现代渠道与管网高效输水新材料及新技术[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2005.

[13] 温季, 王少丽, 王修贵, 等. 农业涝渍灾害防御技术[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.

[14] 余玲, 刘群昌, 程先军, 等. 塑料在节水灌溉中的应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.

[15] 高本虎. 橡胶坝工程技术指南[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.

[16] 许迪, 龚时宏, 高本虎. 我国节水灌溉设备质量监测与评价技术体系研究[R]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2006.

[17] 高占义, 杨继富, 龚时宏, 等. 农村水利发展重点对策研究[R]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2004.

[18] 高占义, 龚时宏, 刘文朝, 等. 水利科技发展战略研究[R]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2006.

[19] 龚时宏, 高占义, 王晓玲, 等. 全国 300 个节水重点县节水灌溉技术推广应用[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2003, 1(4): 5- 10.

Review on progress and achievement in efficient water use research in agriculture

XU Di, GAO Zhan-yi

(Dept. of Irrigation and Drainage, IWHR, National Center for Efficient Irrigation Engineering
and Technology Research, Beijing 100044, China)

Abstract: This paper summarized the main achievements and innovations in the research field of efficient agricultural water use by IWHR on the basis of systematically expatiating its study progress and development trend. With respect to application bases and advanced technologies, the study priorities include on-farm soil and water management, decision-making on water-saving in irrigation districts, decision-making on forecasting of precise irrigation, precise control of surface irrigation, efficient water and fertilizer use by sprinkling and micro irrigation, and transformation-transport-control of nitrogen on farmlands etc. With regard to key technologies and products, the study priorities include sprinkling and dripping irrigation, surface irrigation, pipeline irrigation, water management in irrigation districts, drainage and prevention of water logging, utilization of poor quality water for irrigation, exploitation of agricultural water resources, quality monitoring and assessment of water-saving equipments etc. With respect to macro-strategy and development countermeasures, the research has been conducted on water resources exploitation in rural areas, food security and irrigation development strategy and water saving development strategy. These achievements have been transformed and extended to application, and provided new technology, new approaches and new products to high-efficient water use in agriculture.

Key words: efficient water use in agriculture; irrigation (precipitation) water use efficiency; crop water productivity, precise irrigation; irrigation water management



作者简介: 许迪(1957-), 男, 北京人, 教授级高级工程师, 博士生导师, 中国水利水电科学研究院水利研究所副所长, 国家节水灌溉北京工程技术研究中心常务副主任, 主要从事农业节水应用基础理论与技术研究及产品研发。

(责任编辑: 吕斌秀)