

20 世纪 90 年代我国农田水利科学技术的新进展

李英能

(水利部农田灌溉研究所 河南新乡 453003)

摘要 进入 20 世纪 90 年代以来,我国农田水利科学技术发展较为迅速,在节水农业应用基础研究,新技术、新方法、新材料研究,灌区工程改造技术和管理技术,中低产农田治理技术,保护农田生态环境和防治水资源污染研究,软科学研究等方面取得一大批成果,并加快了科技成果的推广和产业化步伐,使农田水利科技成果向产业的转化率有了较大提高,对推动我国农田水利事业的发展,起到了显著的作用。面向 21 世纪,我国农田水利科技应加强应用基础研究;提高新材料、新设备生产质量水平并形成产业;进一步重视水利生态环境保护和加快农田水利科技成果的推广应用,发挥科技兴农中农田水利科技的重要作用。

关键词 农田水利;节水农业;排灌工程;农田生态环境;农业水资源保护;综述

进入 90 年代以来,随着我国国民经济建设的持续快速发展,城市生活和工业用水急剧增长,城乡水污染严重,使全国范围内的供水受到很大的影响,农业用水日趋紧张,危机日益加深,特别是华北、西北以及东北等北方地区,缺水现象十分严重。所以,节水农业成了这一时期农田水利工作的重要任务和农田水利科技研究的主要领域,得到了国家的充分重视。“八五”期间李鹏总理亲自批准下达了“华北地区节水农业技术体系研究与示范”项目,国家科委将“华北平原节水农业应用基础研究”列为国家“自然科学基金重大项目”。“九五”期间,又首次将“节水农业技术研究与示范”列为国家攻关项目。1996 年国务院对水利部、国家计委、财政部、中国人民银行、中国农业发展银行“关于‘九五’期间在全国建设 300 个节水增产重点县和建设节水型井灌区的通知”的批复,突出强调节水灌溉工程建设要因地制宜,科学合理地选择节水灌溉方式,力争做到高标准、高起点、高质量、高效益。近几年来,针对北方地区农业水资源紧缺、南方地区季节性干旱和涝渍等问题以及大面积改造中低产田的需要,国家加大了农田水利科学技术研究和科技成果推广工作的力度,在以下几个方面取得了新的进展。

1 节水农业应用基础研究

历时 5 年的国家自然科学基金研究项目“华北平原节水农业应用基础研究”取得了显著的进展,获

得了一批创新性研究成果。在以土壤水为中心的农田水循环规律及节水调控机理研究方面,建立了土壤水分运动和作物生长耦合模型,从而把农田中与水分运行有关的最主要的两个过程即土壤水分运动和作物生长发育和时空的动态进行了有效的匹配,进一步集成了农田土壤水分计算模拟分析系统。利用这个系统对土壤水分转化几个主要过程如农田蒸散、深层通量和根系吸水等进行定量化研究,可更加科学、定量地回答农田水分运行、节水调控、提高农田水分利用效率中各种理论性问题和实践措施的效果与效益,对节水农业的理论研究和实践有广阔的应用前景。在典型农田 SPAC 系统水分运行、转化规律研究方面,发挥了 SPAC 系统界面过程研究,发现了土壤水分、叶面积对显热与潜热比值的控制性效益非常明显,首次取得了瞬时水分利用效率的试验结果,探明了与环境因素的关系,得出了不同土壤水分条件下光合与蒸腾存在非线性关系,发现单叶与群体水分利用率的一致性。在节水农业生物学基础研究方面,探索了作物节水的生物学机理,发现缺水与补充供水交替出现情况下,作物地上部生长滞后及经自组激发的反馈调节机制,并建立了相应的滞后生长模型。发现了乙酰胆碱在植物感应性中的神经递质作用,提出了电化学波传递信息的方式;在植物对胁迫反应的气孔膨压运动中存在细胞骨架参与类似动物的神经——肌肉机理,发展了气孔膨压运动的调节理论,提出了土壤水、氮资源利用效率,提

炼出作物根、冠间既相互依赖、促进,又相互竞争、制约,保持结构与功能适应趋向的框架,为作物高效用水的整体性研究提供了一个逻辑上前后一致的自洽分析工具.在节水农业综合技术的应用基础研究方面,丰富了非充分灌溉理论.提出了以提高水效益为中心的节水高产灌溉目标,以土壤水分转化和消耗为中心的农田 SPAC 理论,以作物水分生产函数为中心的作物需水规律,以水分调控指标和手段为中心的技术体系.初步形成了非充分灌溉的理论框架和技术体系.

2 节水农业新技术、新方法、新材料的研究与应用

国家“九五”科技攻关项目“节水农业技术研究与示范”设置了“高效低投入节水灌溉新技术研究与示范”、“提高农田水利用效率和综合技术研究”两个课题,其中包含“喷、微灌设备的研制与改进”、“滴灌技术研究与示范”、“田间节水灌溉新技术研究”、“主要农作物节水、高效灌溉制度的研究”、“节水灌溉与农业综合技术研究”、“人工汇集雨水利用技术研究”、“灌溉系统配水关键技术研究”等 7 个专题.通过两年的研究,已取得一批阶段性成果.与此同时,各有关部、各省(市)也安排了一批节水农业的研究项目,均取得了显著的进展,技术水平有了很大提高.

在节水灌溉设备研制与改进方面,重点研制成改进扇形转动的摇臂式喷头及节能喷头;可靠、适用的田间移动管道快速连接件;适用于喷灌用流量、压力控制设备;山丘地区喷灌专用设备;喷、微灌专用水泵;新型微喷灌水器、联接件及调压装置;喷、微灌自动化或半自动化控制系统、恒压喷灌设备;微灌施肥设备和过滤装置;井灌区低压管道输水灌溉的出水口、管件、地面移动多孔闸管;渠灌区大口径输水管道、渠道量水设备等.

在节水农业新技术方面,重点研究了大田作物滴灌成套技术,首次在西北的甘肃、宁夏、内蒙建成大面积的粮食滴灌示范区.针对我国地面灌占主导地位的现状,开展了田间节水灌溉新技术研究,对膜上灌技术进行完善和配套,确定膜上灌技术参数及测定方法,提高入渗均匀度和优选膜上灌进水口结构形式和连接技术;为使波涌灌技术从研究走向应用,开展了波涌灌间歇阀等设备研制、波涌灌对不同土壤及作物适宜性及技术参数测定、田间输水系统的连接方式及田间灌溉系统的设计和应用;为填补我国水平畦田灌水技术的空白,开展了水平畦田灌水要素测定和畦田进水口结构形式、进水口流量控制技术以及田间灌溉系统设计方法的研究.节水灌

溉制度不仅关系到作物单位耗水产出,即水分利用率的高低,而且还能控制作物最大可能耗水量,因此,一直是我国节水农业研究和推广应用中的重要课题.在旱作物的非充分灌溉和水稻“浅湿”灌溉研究与应用取得显著进展的情况下,目前正在开展大田作物的调亏灌溉研究.调亏灌溉是根据灌溉对象的生长发育规律及生产的实际需要,有目的地不充分供给水分,使作物经受水分胁迫,限制某方面(或时期)生长发育,达到节水又增产.当前调亏灌溉技术已应用在果树栽培上,取得了较明显的效益.随着西北干旱、半干旱地区农业发展与水资源短缺矛盾的加剧,人工汇集雨水高效利用技术的研究与应用得到了长足的发展.在汇流区表面处理技术、窑窖构建防渗及布局技术、汇流效率、汇流面与种植面比例的确定,以及与之配套的微型灌溉技术取得显著的进展,已进入大面积推广应用阶段.为了充分发挥各种单项节水农业技术的节水增产潜力,节水农业综合技术研究与应用进一步受到重视.水利部、中国农业科学院农田灌溉研究所等单位从 1991 年起承担总理基金项目,在河南、山西、河北建成三个节水农业示范区,实施节水农业综合技术措施,即在实行节水灌溉的同时,配合采用耐旱品种、水肥结合、地面覆盖等农业节水增产技术和施保水剂等化学节水增产技术,分别取得了增产 39.7%, 71.5%, 104%;节水 30.4%, 45.5%, 55%;提高水分生产率 63.3%, 30%, 96.5% 的显著效益.为提高节水农业工程设计水平的计算机辅助设计技术也已取得进展,目前滴灌工程优化设计的 CAD 系统正在研究开发.

在节水农业新材料研究应用方面,土工膜料防渗输水渠道在低投入高效益的防渗技术应用上又前进了一大步.用土工织物做农用水井反滤材料的技术更加成熟,性能和质量都有较大提高.覆盖保墒用的降解塑料薄膜的研制也取得一定进展,但由于制造工艺、成本等方面原因,目前尚没有在生产中得到普遍应用.抗旱剂、抑蒸剂等化学节水材料研究和应用更加深入和广泛,“FA 旱地龙”的主要成分是低分子量黄腐植酸,并含有植物所需的多种营养素和 16 种氨基酸等生物活性基因,施用于作物,可有效地促进根系生长,控制叶片气孔的开张度,减少植物水分蒸发.另外,利用高吸水树脂将有效降水在作物根际聚集的微集水技术也已在农田试验应用.

3 灌排工程改造技术和管理技术

由于我国灌排工程年久失修、老化损坏成了突出的问题,为此,在全国范围内开展了广泛调查研究,主要内容包括灌区工程系统技术状态的综评

价,量化指标体系与考核方法;灌区工程老化损坏状况的评价方法及其诊断与修补;灌区建筑物新型结构等,取得了一批研究成果,使灌排工程改造技术水平有了很大提高,加大了灌区更新改造和建设的力度,使全国灌溉面积结束了长期徘徊不前的局面,开始了稳步发展。

灌溉用水管理仍是提高灌区工程效益重要的内容,当前在多种水源联合调度、灌区实时灌溉预报及灌溉水动态管理、计算机控制自动化管理技术等方面取得较大进展。近几年来,对策论、存贮论、灰色理论、模糊理论及决策支持系统等方法在地表水、地下水联合运用系统中得到越来越多的应用。此外,从实际需要,多种优化方法的组合模型也得到了较快的发展。过去应用得较多的动态规划方法、线性规划与非线性规划方法、模拟技术、多目标优化与大系统优化理论等更趋于成熟。在河南省白龟山水库优化调度、白沙灌区地面水与地下水联合调度;河北省邢台地区水库、含水层联合运用;山西省利民灌区多种水源联合运用中都取得较好的效果。作为灌溉用水管理基础的土壤墒情监测预报技术有了较大进步,已开始进入实用。农田灌溉研究所在河南省清丰县研究应用时域反推法进行灌溉预报,取得比较满意的结果。其方法是用时域反推法跟踪土壤水分下限值出现的时间与地块;预报未来时段的腾发量并与降水量比较,判断灌水与否;发出灌水预报,指导灌水。利用此法,可通过县级气象站向农户发布灌溉预报。湖北省漳河工程管理局以灌区实时灌溉信息为基础,应用计算机技术,预测全灌区不同水稻品种、不同田块类型所需的灌水日期与灌水量。从实际运用情况来看,操作方便,大大提高了灌溉管理水平。武汉水利电力大学最近在山西省霍泉灌区开展了灌溉系统配水关键技术研究,在土壤墒情监测与预报技术、渠系动态配水技术及灌区量水新技术等方面取得阶段性成果。

4 中低产田治理技术

我国现有的 5 000 万 hm^2 (7.5 亿亩)有效灌溉面积中,有 2 000 ~ 2 670 万 hm^2 中低产田,只要进一步按高产要求进行改造,提高灌排保证率,旱涝渍碱综合治理,切实加强管理,就能发挥出良种、肥料、耕作制度改革等各种农业增产措施的作用。因此,中低产田治理技术也是农田水利技术的一个重要组成部分。

随着我国治理涝渍盐碱中低产田事业的发展,也使其科学技术的研究和新技术、新材料、新设备的应用和推广进入一个新的发展阶段。在治理南方渍害低产田方面,推广了明沟、暗管、鼠道等排水技术,

编写出版了《南方地区改造渍害田排水技术指南》,科研单位结合综合治理试验区,研制出了刚性吸水管和鼠道固壁机,为暗管排水提供了新管材和新机具。近几年北方地区渍涝盐碱中低产田治理也取得了不少新成果和新技术,如淮北砂礓黑土区浅埋密布暗管排灌两用工程系统、黄淮海平原旱涝碱综合治理模式、滨海缺水盐渍区盐碱低产田综合治理与盐渍化监测预报、天津郊区暗管排水防治渍涝盐碱技术、北京东南郊盐碱中低产区“四水转化”工程、东北地区打井种稻、以稻治涝及苏打盐碱地改良技术、宁夏和新疆大型灌区竖井排水改良盐碱技术、陕西洛惠渠高含沙引洪淤灌治理盐碱地技术等等。这对改善我国排水工程设施的现状、保证农业高产稳产,减轻水旱灾害的损失,起到了重要的作用。进入“九五”以来,中低产田治理技术进一步向综合技术发展,从水土资源高效利用、选用优良品种、采用农作物节本增值技术、农牧结合等方面进行技术集成,强调中低产田综合治理与高效持续农业发展。在农田水利技术方面,黄淮海平原重点开展了作物节水、节肥技术研究和新材料的研制,小麦节肥高效技术可增产 15%,肥料成本降低 20%,在日光温室中应用新型的的微灌节水灌溉设备;松嫩—三江平原进一步完善了不同标准的综合治理与水资源合理利用模式;南方红黄壤地区开展了蓄、保、灌综合配套技术、水土资源动态和水肥协调机理研究,均取得了阶段性成果,有的已在示范区中应用并发挥效益。在涝渍治理技术方面,重点研究综合防御涝渍灾害的组合排水技术,根据主要农作物综合防御涝渍灾害的要求,研究沟、管、洞、井、闸站等排水工程合理的结构、组合、规格及布局;根据我国农业生产中存在着涝渍相伴连续危害和间歇降雨持续渍害的特点,研究涝渍兼治和连续控制的动态指标和排水设计新技术。

5 保护农田生态环境和防治农业水资源污染技术

随着我国工农业和城市生活用水的迅速增长,因水资源不合理开发利用已导致土地沙化、海水倒灌、地下水位持续下降和由此引发的大面积土地沉陷、海水入侵;因使用化肥、农药普遍超标,城镇近郊和排污河道沿岸存在盲目利用污水灌溉现象,导致农田生态环境恶化和农业水资源的污染。上述问题的存在,不但影响了我国农业的持续发展,而且已对人民的卫生健康产生危害。因此研究与应用保护农田生态环境和防治农业资源污染技术也已成为现阶段农田水利科学技术发展的一个重要方面。

为控制地下水大幅度下降带来的一系列农田生

态环境问题,河北省廊坊市、沧州市等地区研究采用拦蓄洪水沥水、回补地下水;开发利用极薄层潜水和微咸水,避免集中开采深层水;推广节水技术措施,减少地下水开采量;加强水资源管理等技术措施,为搞清海水入侵带来的环境影响,南京大学和中国科学院针对山东省莱州湾的海水入侵问题,进行了我国首次大规模的海水入侵的系统研究.研究成果表明,过量开采地下水是导致海水入侵的主要原因.另外,地质因素对海水入侵的方式、途径、地点起一定的控制作用,含水层的非均质性也会起重要的作用.在计算方法上建立了我国第一个三维海水入侵的咸淡水界面运移数学模型,在对策措施上则提出必须向节水型经济转变,节约用水,建造水利工程拦蓄利用地下径流和河道入海径流,加强观测,做好水资源管理.

针对化肥使用过量以及灌溉方法不当引起农业水资源被污染的问题,武汉水利电力大学开展了排水条件下化肥流失及其对环境的影响、渍害稻田在排水治理中化肥流失及其对环境的影响等研究.探索了在土壤水作用下,化肥的运移规律,提出了减少化肥流失的施肥技术.河海大学也与美国地质调查局合作研究不同农业管理技术条件下,城市污水灌溉和农药化肥使用所产生的污染物质在土壤非饱和带运移及对地下水的影响.最近中国农业大学在河南省新乡地区开展了不同灌溉条件下水肥耦合技术研究,确定最佳灌水量、灌水次数和施肥量,提出水肥利用率高又不污染地下水的水肥时量耦合模式.

6 软科学技术

近几年来,围绕着我国农田水利中心工作,特别是节水灌溉中的重大决策问题,开展了多方面的软科学研究,为宏观决策提供了重要科学依据,促进了我国农田水利建设事业的健康发展.最近由农田灌溉研究所主持,27个省、自治区、直辖市参加完成的《中国灌溉农业节水规划》,在完善了灌溉农业节水的技术体系基础上,首次提出了灌溉农业节水的指标体系和效益体系,统一了灌溉农业节水的涵义、内容、判断标准及效益分析方法,摸清了我国灌溉农业节水的现状为:到1992年底,全国灌溉农业节水工程面积已达1333.3万 hm^2 (2亿亩),其中渠灌节水工程面积933.3万 hm^2 (1.4亿亩),低压管道输水灌溉工程面积290万 hm^2 (4350万亩),喷微灌工程面积85万 hm^2 (1275万亩).选择了地貌形态、气候特征、缺水程度、灌区类型等参数作为分区指标,首次对我国进行灌溉农业节水分区.以国民经济发展对灌溉农业的要求为主要目标,以农产品需求和资金投入为约束条件,对我国灌溉农业节水发展进行

了规划,提出2000年、2010年和2020年分省、分区灌溉农业节水的发展规划.各省、自治区、直辖市也完成了相应的省级灌溉农业节水规划,对指导各省及全国灌溉农业的发展起到了重要的作用.

为规范我国的节水灌溉工程建设,在颁布《渠道防渗工程技术规范》、《喷灌工程技术规范》、《微灌工程技术规范》、《低压管道输水灌溉工程技术规范》、《农田灌溉水质标准》、《泵站技术规范》、《农用机井技术规范》等标准后,又颁布了《节水灌溉技术规范》,使我国节水灌溉工程建设有了一合理、可行、统一的衡量尺度.

此外,农田水利专家系统研究和应用也取得了新进展.农田灌溉研究所相继开展了华北地区节水农业技术体系专家系统、黄淮海平原盐渍土综合治理专家系统研究;华北水利水电学院开展了区域水资源规划及灌区节水增产灌溉专家系统研究.专家系统由知识库、推理机、动态数据库、人一机接口和知识获取子系统5个模块组成,系统采用模块化结构设计,便于扩充、修改和移植.专家系统的建立为农田水利工程技术的决策、提供全面知识和培训基层技术人员起到了一定作用.

7 科技成果的推广和产业化

据统计,从1990年以来已有80余项农田水利科技成果获得了国家及部级的奖励,其中相当部分已在推广应用中获得较好的经济效益和社会效益.由于各级政府和有关部门的重视,科技成果向生产的转化率有所提高.

继国家科委编制《国家科技成果重点推广计划》、水利部编印《近期水利重点科技推广项目汇编》将一批农田水利科技成果列入重点推广计划,组织推广应用后,最近水利部又向中央农村工作领导小组提交了《关于水利行业新技术和新成果的报告》,建议重点推广水稻节水灌溉新技术、集雨灌溉技术、“FA旱地龙”抗旱剂.水利部近期编印了《水利先进技术推广白皮书》,将喷灌技术、雾化灌溉技术、注水灌溉技术、高效农用节能水泵、水稻旱种节水灌溉技术、低压管道输水灌溉技术、灌区量水技术、人工牧草节水高产综合技术等节水灌溉技术;暗管与鼠道排水技术、地下排灌两用技术、液态二氧化碳修复管井技术、井灌井排技术等中低产田改造技术;渠道防渗工程技术、农田水利装配式建筑物设计施工技术、渠系水工建筑物抗冻技术、橡胶坝设计施工技术 etc 农田水利工程技术;窑窖集蓄雨水及微灌高效利用技术;“FA旱地龙”抗旱剂应用技术等抗旱灌溉技术,列入现阶段重点推广的农田水利科技项目.水利

部中国灌溉排水技术开发培训中心最近出版的《水土资源评价与节水灌溉规划》、《喷灌与微灌设备》、《渠道防渗工程技术》、《管道输水工程技术》、《喷灌工程技术》、《微灌工程技术》、《地面灌溉节水技术》、《雨水集蓄工程技术》、《水稻节水灌溉技术》等9种节水灌溉技术培训教材,为基层农田水利科技人员的培训,推广先进的农田水利科技成果提供了条件。

1996年9月,水利部、国家计委、财政部、中国人民银行、中国农业发展银行联合下达了《关于“九五”期间在全国300个节水增产重点县和建设节水型井灌区的通知》,任务要求300个节水增产重点县每个县新增加节水灌溉工程面积 0.667万 hm^2 (10万亩)以上,同时节水灌溉工程面积要占全县有效灌溉面积的60%以上;节水灌溉工程项目区内灌溉水利用率提高20%,粮棉产量提高10%~20%。300个节水增产重点县建成以后,将新发展节水灌溉面积 200万 hm^2 (3000万亩),节地 4万 hm^2 (60万亩),年节水 36亿 m^3 ,增加 50亿 kg 粮食生产能力。节水型井灌区建设要发展 $100\sim 133.3\text{万 hm}^2$ (1500~2000万亩)节水型井灌面积,增加粮食生产能力 $50\sim 75\text{亿 kg}$ 。通过300个节水增产县和节水型井灌区建设,以点带面,推动全国节水灌溉的普及。

各省、自治区、直辖市十分重视农田水利科技成果的推广工作。如广西通过做好组织发动工作、建立健全推广网络、认真抓好技术培训、建设示范点和示范区,到1995年已推广水稻“薄浅湿晒”节水灌溉技术 383万 hm^2 (5745.5万亩),总节水量 45.73亿 m^3 ,增产粮食 12.64亿 kg 。山东省威海市通过典型宣传发动,提高农民节水意识,建立组织机构,落实责任制,搞好服务,提供技术保障,搞好检查评比,确保建设质量等措施建成 6.8万 hm^2 (102万亩)节水灌溉面积。目前全国已有28个省、自治区、直辖市组织推广了“FA旱地龙”应用技术,面积达到 22.7万 hm^2 (340万亩),作物品种有小麦、玉米、水稻等,粮食作物可增产10%~15%,经济作物可增产15%~40%,节水达20%~30%。

为适应农田水利新技术大规模推广应用的需求,农田水利科技产业化的步伐也开始加快,农田水利新材料、新设备的规模化生产,从水源到作物产量形成过程中的各项技术组装集成形成产业化已得到重视。如上百家生产节水灌溉设备的中小型企业,经过若干年的市场淘汰、筛选,已有几家企业脱颖而出,无论是生产规模或是质量已处于国内领先水平,成为产业化的龙头企业。中国灌排技术开发公司已在国内选择了一批生产企业,组成节水灌溉设备生产的集团,成批成套地供应节水灌溉设备。最近国家

科技部正在启动“农业高效用水科技产业示范工程”项目,通过在北方建设不同类型的8个示范区,带动我国农业高效用水相关技术设备的产业化。

目前我国已有喷灌技术、地下水、水工抗冻、渠道防渗、微灌技术和低压管道输水等情报网,在信息交流、技术咨询和技术推广方面起到了很好作用。《中国农村水利水电》、《灌溉排水》、《节水灌溉》等专业技术刊物在提高农田水利科技水平,宣传推广科技成果方面,继续发挥着重要作用。

8 结 语

进入90年代以来,农田水利科学技术,特别是节水灌溉科学技术,由于受到国家和各部门的高度重视,有了较大的进展,涌现出一批高水平的新成果和新经验,有相当部分成果获得了国家和省、部级科技进步奖,有的达到了国际先进或领先水平,对推动我国农田水利建设事业的发展,起到了重要的作用。

但是,我国农田水利科技水平与发达国家相比,还存在较大差距。如基础理论研究还比较薄弱;新材料、新设备的生产质量水平较低;水利生态环境保护技术的研究和应用还重视得不够等,需要进一步研究解决。

党的十五大为我国科技工作指明了方向,提出实施科教兴国战略和可持续发展战略,要求把加速科技进步放在经济社会发展的关键地位,使经济建设真正转到依靠科技进步和提高劳动者素质的轨道上来。对农业特别提出要大力推进科教兴农,发展高产、优质、高效农业和节水农业。因此在“九五”后两年和21世纪前10年,应围绕下列项目继续深入开展研究:①21世纪养活16亿中国人的农田水利发展战略;②节水农业新技术;③中低产地治理新技术;④灌区技术改造和用水管理新技术;⑤引黄灌区节水改造与发展;⑥节能高效的机电排灌新技术;⑦牧区水利与人畜饮水技术;⑧保护农田水利生态环境技术;⑨农田水利新材料、新设备的产业化;⑩农田水利应用基础研究。

参考文献

- 1 《中国水利年鉴》编辑委员会.中国水利年鉴 1990~1996.北京:中国水利水电出版社,1991~1997
- 2 21世纪农田水利学术研讨会论文集.中国农村水利水电,1997(增刊)
- 3 胡毓琪,李英能.华北地区节水型农业技术.北京:中国农业科技出版社,1995
- 4 国家科委等.农业节水技术.北京:水利电力出版社,1992
- 5 水利部科教司等.灌排工程新技术.北京:中国地质大学出版社,1993

(收稿日期:1999-08-31 编辑:马敏峰)