

灌溉现代化核心内涵及水管理关键技术

谢崇宝 张国华

(中国灌溉排水发展中心,北京 100054)

摘要:灌溉现代化是农业现代化的重要组成部分。围绕灌溉现代化这个核心,提出了灌溉现代化的定义、核心理念、基本特征、评价标准和表现形式;围绕灌溉现代化水管理技术,提出了灌溉现代化水管理技术主要包括灌溉水源配置现代化关键技术、灌区输配水调度现代化关键技术、田间灌水现代化关键技术、灌溉管理现代化关键技术等4个方面,构建了灌溉现代化水管理基本框架和“供水可靠化、调度灵活化、用水精准化、管理信息化”协同发展的灌溉现代化水管理技术模式,为推进灌溉现代化水管理工作提供实用的技术支撑。

关键词:灌溉现代化;评价标准;水管理技术;水源配置;水量调度

中图分类号:TV93;S27;S28;TV91 **文献标识码:**A

1 灌溉现代化核心内涵

现代化(modernization)是以经济工业化和政治民主化为主要标志,是人类社会从传统的农业社会向现代工业社会转变的必经阶段。我国是一个农业大国,人口多、耕地少、水资源紧缺、水旱灾害频繁,特殊的气候、地理等自然条件以及社会条件决定了我国农业必须走灌溉农业的发展道路,因此,灌溉现代化(Irrigation Modernization)也是农业现代化的必然要求。根据世界银行和联合国粮农组织的研究,国际上一般认为,灌溉现代化指结合灌区管理体制和运行机制的改革,通过技术上和管理上的改进,提高灌溉系统效率和效益的过程,其根本目的是提高劳动力资源和水资源的使用效率和效益,改善灌区供水服务质量。灌溉现代化不仅仅包括渠道衬砌、建筑物更新、自动化设备配置、计算机网络链接等硬件设施的改变,也应包括灌区技术革新和管理水平提高,是由用水管理向供水服务的转变过程。

1.1 灌溉现代化的定义

所谓灌溉,就是按照作物生长需要,借助水利设施有计划地将水输送和分配到田间,以补充农田水分的人工措施。所谓

现代化,是人类文明的一种深刻变化,其核心是生产力的解放。现代化既是进步,也是选择,更是淘汰。现代化是动态的,不是静止的;是一个过程,也是一种状态。因此,灌溉现代化也是一个过程,是一个不断改进影响灌溉效率关键环节的过程,是一个不断提升劳动力资源和水资源使用效率的过程。

灌溉现代化与灌区现代化、现代化灌区、现代灌区、现代化灌溉、现代灌溉等既有区别又有联系。灌区现代化和现代化灌区包含了灌溉现代化,现代化灌溉和现代灌溉是灌溉现代化的一个重要组成部分,现代灌区包含了灌溉现代化的部分内容。因此,从整体上看,灌区现代化、现代化灌区、现代化灌溉、现代灌区、现代灌溉等概念,其核心为灌溉现代化。灌溉现代化是最基础的工作,没有灌溉现代化,上述各种现代化论述均很难成立;从供求整体关系来看,灌溉现代化条件下的来水和需水应是可预测可调节的,应能得到可靠的保障,有适当的预测预报和调蓄调节能力;从配送具体过程来看,灌溉现代化条件下的配水和用水应是可监控可计量的,有适当的监测控制和精准投放能力。因此,灌溉现代化应展现“供水可靠化”、“调度灵活化”、“用水精准化”和“管理信息化”等主要表现形式。本书在总结前人工作的基础上,将灌溉现代化作如下定义:

灌溉现代化是指通过技术设施革新和体制机制改革,不断提高灌溉供水服务的安全性、公平性、可靠性和灵活性水平,不断提高灌溉劳动力资源和水资源的使用效率和效益,持续保障灌区节水省工增效的过程。

1.2 灌溉现代化的核心理念

灌溉现代化的根本目的是解放和发展生产力。就灌溉而言,其基本的生产要素包括“劳动力”和“水资源”,而且在开展灌溉的活动中,不能以牺牲环境为代价,反过来又影响人类的

收稿日期:2016-12-05

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划“灌溉用水实时调控技术与方法(2011BAD25B03)”。

作者简介:谢崇宝(1965-),男,教授级高级工程师,主要从事农田水利与饮水安全方面的研究。

通讯作者:张国华(1980-),男,高级工程师,主要从事农业水土工程方面的研究,E-mail:zgh311133@163.com。

健康。因此,灌溉现代化必须坚持把“以人为本”、“节水优先”、“环境友好”作为其核心理念。

(1) 以人为本。实现灌溉现代化是解放和发展生产力的根本要求,追求以最少劳动力投入为用水户提供最优质供水服务这个根本目标,而且其服务质量应由用水户来评判。在全心全意为用水户服务的理念指导下,开展灌区的改造与改革,开展灌溉技术的选择与升级。这些改造既包括硬件的改善也应包括管理体制和运行机制的改革,是一个不断改进服务的过程,从这个意义上讲,单纯的节水技术不再是灌溉现代化的全部,灌溉现代化必须是解放生产力的,必须是节约劳动力的,因此,灌溉现代化必须坚持“以人为本”的核心理念。

(2) 节水优先。实现灌溉现代化的基本要求是节水,从观念、意识、措施等各方面都要把节水放在优先位置。坚持节水优先,深挖农业节水潜力,大力发展高效节水灌溉技术,积极推广节约用水的生产方式和消费模式。要积极推广低压管道输水、喷灌、微灌等高效节水灌溉技术,改进地面灌溉技术、节水型水稻控制灌溉技术,抓好输水、配水、用水全过程节水,积极摒弃大水漫灌等粗放型灌溉方式,实现水资源的优化配置和用水效率的提高,因此,灌溉现代化必须坚持“节水优先”的核心理念。

(3) 环境友好。灌溉现代化不是以牺牲环境为代价的现代化,而应充分坚持人与自然和谐发展的理念,按照生态规律办事,以维持生态系统的相对稳定及脆弱生态系统的自我修复使其良性循环为底线,创造出比自然生态系统有更高生产力的“人-社会-自然”协调发展的灌溉现代化。灌溉现代化追求的是生态与经济双赢,通过建设现代化的水利设施和良好的生态环境,使经济与生态形成合理、高效的良性循环,实现可持续发展,并为人们提供一个良好的生产和生活环境,因此,灌溉现代化必须坚持“环境友好”的核心理念。

1.3 灌溉现代化的基本特征

灌溉现代化是一个不断改进服务和提高劳动力效率及水资源效率的过程,因此,必须始终准确把握灌溉现代化的基本特征。

(1) 服务改善。从用水户的角度来看,灌溉现代化开展的一切活动均应能促进灌区供水服务质量的改善,这种改善可以通过一定的规则来定量或定性评价,其结果应是积极而正面的,也就是这种服务的改善是可以测量和感知的,能够为广大用水户所认可,也是广大用水户所期待的。

(2) 效率提高。从管理者的角度来看,灌溉现代化主要指劳动力效率和水资源利用效率的双提高,同样,这种提高应该是可以测量的,能够为广大用水户和灌区管理机构所认可,而且这种效率提高的幅度应高于一定范围内的平均水平。

(3) 运转持续。从体制机制的保障设施来看,灌溉方式或技术的现代化必须满足技术经济的合理性,在没有外界干预或者特定环境下,能够自我维持良性发展,因此,可持续运行是灌溉现代化的又一重要特征。

2 灌溉现代化的表现形式

在开展灌溉现代化的建设过程中,必须自始至终坚持“以

人为本、节水优先、环境友好”的核心理念,考察在多种措施的综合作用下,灌区是否具备“服务改善、效率提高、运转持续”的基本特征。但是如何实现灌溉现代化,则构建灌溉现代化的技术模式是十分必要的,这种技术模式具备“供水可靠化、调度灵活化、用水精准化、管理信息化”的特点,他们构成了灌溉现代化的重要表现形式。

(1) 供水可靠化。灌溉现代化必须要有稳定可靠的水源,它与控制的灌溉面积应是相匹配的,灌区内种植的作物及相应的灌溉定额也应是满足供求关系的,其设计理念应是以供定需。在水源优化运行的前提下,可通过调整区域经济结构和灌区种植结构,采用节水灌溉技术等措施,满足灌区控制范围内的用水需求。

(2) 调度灵活化。灌溉现代化必须要有灵活的调度手段。灌溉用水具有明显的季节性和气候性特点,尤其是干旱季节,来水少用水多,灵活的调度措施和高效的调度手段是确保灌溉现代化标准不降低的重要支撑,也是考验灌溉是否达到现代化的关键环节。灵活的调度措施应能够按照作物实时需水情况和灌区来水情况,有重点有次序的对灌区各类作物用水进行及时调配;高效的调度手段应能按照调度规则,及时快速调度各类测控设施,依靠可靠的渠系网络,适时保障作物的用水需求。

(3) 用水精准化。灌溉现代化必须要做到将灌溉水适时适量精准送至作物根部。过多或过少、提前或滞后灌溉都不符合作物的需水规律,难以满足作物的用水需求,影响作物的产量和品质,因此在灌溉现代化的实施过程中,必须不断研发或改进已有的灌溉技术,大力推广和使用符合精准灌溉需求的新技术及新产品,确保灌溉水均匀、适量、及时送至作物根部,最高效地满足作物需水。

(4) 管理信息化。灌溉现代化必须要有简便快捷的管理手段。影响灌溉的因素很多,收集和管理众多的灌溉信息,是灌溉现代化的前提和基础,应用大数据和云平台等现代信息技术,分类管理各种信息,同时基于大量的信息监测和高效的信息分析,辅之各种数学模型,充分发挥现代信息技术的优势,实现灌溉决策的科学化和灌溉管理的高效化。

3 灌溉现代化的评价标准

灌溉现代化的出发点和最终目标就是通过设施的改造和体制机制的改革为用水户提供优质的服务。为评价灌溉现代化对提高供水服务质量的影响,本文提出采用灌溉供水的安全性、公平性、可靠性和灵活性等4个指标来衡量灌溉现代化的实现程度。要实现灌溉现代化,实现灌溉供水服务的安全性、公平性、可靠性和灵活性,需要从“灌溉水源”、“渠系配水”、“田间灌水”和“灌溉管理”4个方面同步改进,这四个环节构成了灌溉现代化的完整过程,不可或缺。图1为灌溉现代化的基本框架。

(1) 安全性。指灌溉对象不会因供水系统的修建和运行面临不安全的潜在威胁。在整个灌溉区域涉及的范围内,生命安全、工程安全、水质安全和生态安全等诸多方面不会因为灌溉行为而面临现实的威胁或未来的潜在风险。

评价生命安全性,可以从供水工程基础设施在遭受自然或

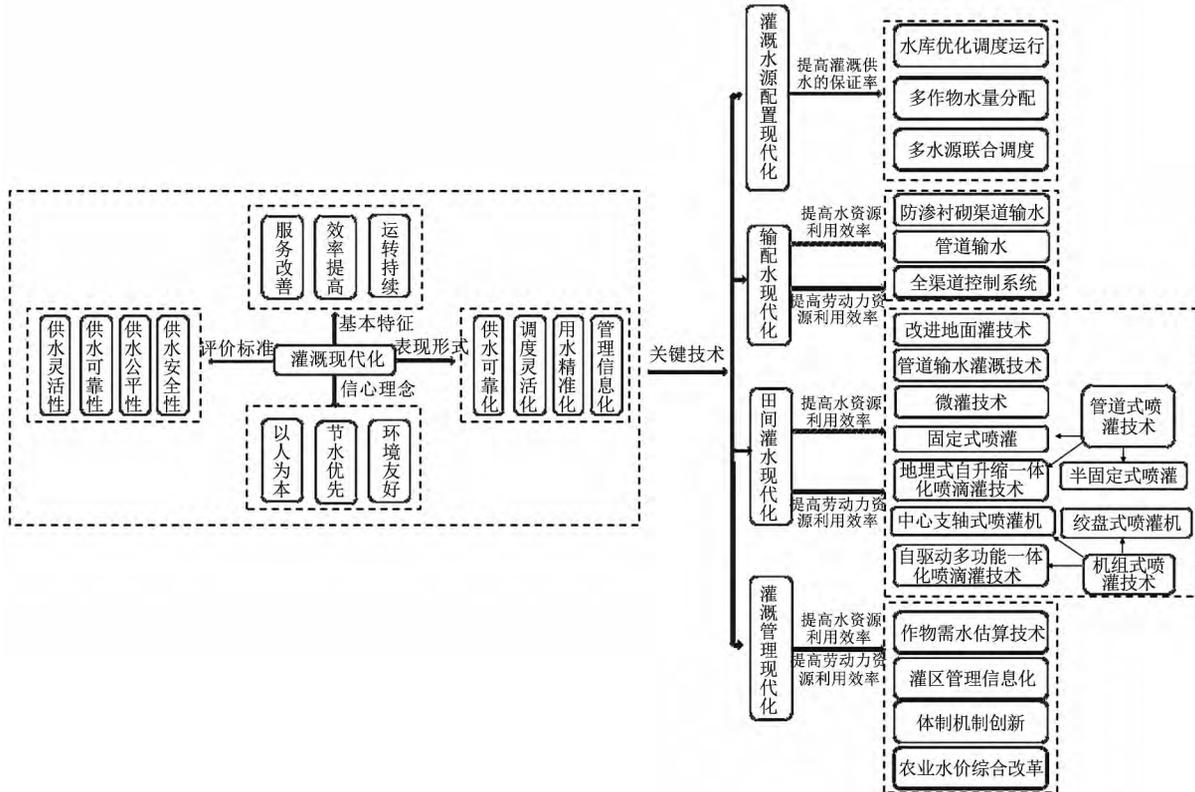


图 1 灌溉现代化的基本框架

人为破坏后保障人和动物生命安全的能力等方面进行评价;评价工程安全性,主要对供水工程发生漫顶、垮塌的可能性进行评价;评价水质安全性,主要从劣质水灌溉可能造成的后果进行评价,可以根据农田灌溉水质标准,确定灌区供水服务环境安全性等级;评价生态安全性,主要是评价灌溉供水对灌区生态的影响,其中以灌区供水对灌区生态用水的满足程度为主要评价指标。

(2) 公平性。主要用来评价位于不同区域的用水户是否都得到了适时适量的灌溉,重点表征灌溉系统的调度规则和各配水口得到水量的合理性。

上级渠道向下级渠道服务的公平性与调度规则、灌溉水费、灌溉效益、灌溉安全等众多方面有着密切的联系。因行政归属、渠道系统、种植结构、经济发展水平等方面的差异,不同灌溉区域对灌溉供水的需求也不同。丰水年份,水源充足,不同区域的供水需求均能得到满足;而枯水年份,灌溉水源有限,灌区用水供需矛盾突出。灌区公平合理的供水服务,不仅能够提高灌区的经济效益和生态效益,而且对提高用水户缴纳水费的积极性,促进灌区的社会和谐和公共安全具有重要的意义。末级配水点供水服务公平性水平直接关系着各用水单元能否获得公平供水服务。灌区各田块和用水单位对应灌区不同的末级配水点,而未级配水点之间也存在着密切的联系,协调末级配水点间的供水关系,确保末级配水点控制区域内的水平衡关系,成为末级配水点供水服务是否公平的关键所在,也是衡量灌区供水服务公平性水平的基本标准。

(3) 可靠性。供水日期、供水历时、供水流量是衡量供水可靠性的指标,重点表征灌溉系统运行状况和下级渠道或作物得到适当水量的及时性。

上级渠道向下级渠道的实际可靠性服务水平可以从下级渠道能否获得所需水量的时间和年内下级渠道缺水次数等方面衡量。下级渠道所需水量和上级渠道配水时间是基于渠道的过水断面和灌区的来水情况,通过预测下级渠道控制区域的各种作物需水量和需水时间综合确定。因此,下级渠道能否获得可靠的所需水量和供水时间,是灌区能否取得较大效益的关键,也是衡量上级渠道向下级渠道实际可靠性服务水平的落脚点。

末级配水点的服务可靠性水平主要从作物能否获得生长发育所需灌水量、充足的灌溉持续时间和灌溉频率等方面衡量。作物耗水量除与作物本身生理有关外,与自然气候条件、土壤水肥状况等也有密切的联系。在丰水年份,若灌区的渠道系统完整,则灌区末级配水点能够为各区域作物提供可靠的供水服务;但在枯水年份,灌溉水源紧张,可能会造成末级配水点供水服务可靠性水平下降。通过灌区科学合理的水量调度,以灌区社会效益、经济效益和生态效益最大化为目标,合理配置不同用水单元农作物的供水量和供水时间,保证灌区获得最大效益,也是衡量末级配水点供水服务可靠性的重要指标。

(4) 灵活性。需求的改变是否能够得到适当的响应是衡量灵活性的重要考虑因素,其响应时间是构成灵活性的主要指标。灵活性有助于实现水资源的高效利用,在灌区田间尺度上尽可能实现按需供水,重点表征系统的设计状况和作物按需供水的可能性。

评价灌溉供水服务灵活性的指标与灌溉供水服务公平性指标基本一致,也从上级渠道对下级渠道服务灵活性水平和末级配水点服务灵活性水平等方面表征。上级渠道对下级渠道的供水次数、供水流量和供水时间的灵活性,供水计划调整的

灵活性;末级配水点能否根据计划供水,供水次数和供水水量及时间是否固定;泵站的供水流量是否有较大的调节幅度,供水次数和供水流量及供水时间是否有较大的灵活性,是否能保证根据实际需要调整供水方案。所有这些因素构成了供水服务灵活性的基本要素。

4 灌溉现代化水管理关键技术

水源供水、渠系配水和田间用水是灌溉系统的基本组成部分,供水可靠化、调度灵活化、用水精准化及管理信息化是灌溉现代化的具体表现,灌溉现代化水管理技术是灌溉现代化的核心。灌溉现代化水管理技术主要包括灌溉水源配置现代化关键技术、灌区输配水调度现代化关键技术、田间灌水现代化关键技术、灌溉管理现代化关键技术等4个方面。

4.1 灌溉水源配置现代化关键技术

灌溉水源优化配置是解决农业水资源紧缺的重要技术措施,也是灌溉现代化水管理的重要组成部分。无论是过去、现在,还是未来一段时间,灌溉始终是我国的用水大户,《全国现代灌溉发展规划(2012-2020年)》预计到2020年,在多年平均情形下,全国灌溉可用水量占总用水量的比重为56%;到2030年,在多年平均情形下,全国灌溉可用水量占总用水量的比重为53%。因此,针对灌区水资源紧缺以及灌区多水源特征,研究非充分灌溉条件下的农作物经济灌溉定额、最优灌溉制度、最优种植比例、作物间灌溉水量最优分配、水库优化调度、灌区多水源联合调度及区间灌溉水量调配等关键技术,有效促进灌区水资源高效利用,减少地下水开采,缓解由于过度开采对生态环境造成的危害,促进灌区农业健康持续发展,具有十分重要的意义。

4.2 灌区输配水调度现代化关键技术

灌区渠系水量调度是灌溉现代化水管理的核心,考察灌区渠系水量调度现代化的指标主要包括上级渠道向下级渠道供水服务水平、渠系建筑物配水服务水平、末级配水点供水服务水平、水量调度信息服务水平等,而评价灌区渠系水量调度现代化的基础依然是基于供水服务安全性、公平性、可靠性和灵活性的服务理念。当调度系统完成之后,渠系上的各级测控建筑物及其运行调度是影响供水服务质量的关键因素。从灌溉现代化的理念出发,输配水系统的现代化改造升级,主要体现在对渠道的防渗衬砌以减少输水损失,对闸门或闸阀的信息化改造以提高调度质量、减少劳动强度、契合灌溉需求,这些措施可不同程度上实现节水和省工的双重功效,是灌溉现代化的重要措施。因此,基于灌溉现代化水管理要求,应重点围绕水情监测、水量控制、信息传输、流量配置等方面开展灌区渠系水量调度关键技术及设备研发。

4.3 田间灌水现代化关键技术

田间灌溉技术是灌溉现代化水管理的集中体现,集中体现灌溉现代化的成效。田间灌水技术的选择和应用应因地制宜,合理确定。喷灌、微灌、管道输水灌溉等现代灌溉技术近年来发展较快,但也存在一些亟需解决的技术问题。现有的田间取水设备,主要采用两种方式,其一,依靠混凝土构筑物在地面以上或地下一定范围内形成保护装置;其二,在耕作层以下安装取水闸阀,每次使用前开挖田间土壤连接取水设备,使用后卸

下取水设备,回填土壤保护取水闸阀。导致的问题主要有影响耕作和收割,不便于田间机械化作业或损坏作业机械,寻找出水口困难,破坏土壤耕作层等。现有的喷微灌设备,灌溉之前需要与遍布田间的取水口配接竖管和喷头,灌溉之后,再将这些设备全部拆卸,并搬运回库房存放,金属结构还需要防锈处理。地上取水口不仅影响耕作,而且灌溉过程还需要耗费大量的人力物力,并且不可避免会造成部分管件的损坏,占用库房,额外增加仓储管理费用等问题。因此,创新研发与现代农业要求相适应的灌溉现代化关键技术及设备,是发展现代农业实现农业现代化的必然要求。

4.4 灌溉管理现代化关键技术

(1) 灌区作物需水预报关键技术。及时准确地掌握作物用水需求,做好灌区不同作物的需求管理,实现灌区灌溉需水的安全可靠预报是灌溉现代化水管理的前提。作物需水量是指作物在适宜的土壤水分和肥力条件下,经过正常生长发育,获得高产时的植株蒸腾、株间蒸发以及构成植株体的水量之和。计算作物需水量的方法,可归纳为两类,一类是直接计算出作物需水量,另一类是先计算参考作物需水量(ET_0),然后考虑作物系数的影响计算实际作物需水量。参考作物需水量计算一般采用彭曼-蒙特斯方程。作物系数反映作物本身的生物学特性、产量水平、土壤耕作条件等对作物需水量的影响。灌溉现代化必须适时适量精准供水,掌握需求是关键。需水量预报所需资料要少而易得,区域要大,精度要满足要求,同时预报信息应可区域发布、定向发布和精准发布,因此,基于灌溉现代化水管理要求,应重点围绕参考作物需水量动态估算和作物需水量估算开展灌区作物需水预报关键技术研发。

(2) 水管理信息化关键技术。灌溉现代化水管理决策支持系统是实现灌区现代化的必要支撑手段。灌溉现代化水管理决策支持系统最主要的任务是实现用水调度决策的信息化、科学化,达到节水、高效的目的。基本思路是建成以灌区水管理信息采集与渠系建筑物监测监控系统为基础、通信和计算机网络平台为支撑、灌区综合数据库和决策支持系统为核心的灌溉现代化水管理决策支持系统,提高灌区用水信息采集、传输、处理自动化程度,降低灌区水管理成本,实现灌区优化调度和现代化管理,促进灌区“节水、省工、增效”的进程,同时也为更好地促进灌区供水服务水平的提高,显著改善供水服务的安全性、公平性、可靠性和灵活性,更好地为用水户服务提供高效的技术平台。灌溉现代化水管理决策支持系统建设任务应包括5个方面,即灌区识别技术、水情监测技术、信息通讯技术、闸门控制技术、水量调度技术。通过上述五个方面的高效融合与组装集成,在来水预报模型、需水预报模型、水量优化调配模型等专业软件的支持下,为灌区管理者提供用水决策依据,实现灌区水资源的高效利用和优化配置。

(3) 农业水价综合改革关键技术。推进农业水价综合改革要以完善农田水利工程体系为基础,以健全农业水价形成机制为核心,以创新体制机制为动力。改革的目标方向是逐步建立农业灌溉用水总量控制和定额管理制度,提高农业用水效率,促进农业现代化。主要任务包括以完善供水计量设施、建立农业水权制度、提高农业供水效率和效益、加强农业用水需求管理、探索创新终端用水管理方式为重点,夯实农业水价改革基

础,以明确定价权限、合理确定价格水平、创新价格机制为重点,建立健全农业水价形成机制,建立农业用水精准补贴机制和节水奖励机制。

(4) 管理体制保障关键技术。以灌区水利设施“产权到位、权责明确、保障经费、管用得当、持续发展”为总目标,以改革灌区建设、管理体制和运行机制为重点,以提高灌区服务水平和用水效率为核心,探索建立市场在资源配置中起决定性作用和更好发挥政府作用的灌区建设管护新机制,推进创新组织发动机制、创新资金投入机制、创新项目管理机制、创新运行管护机制。充分发挥群众的主动性和创造力,尊重和保护农民和基层的首创精神,加快推进农业水价综合改革,实现灌区水资源的优化配置和高效利用,理顺灌溉水价和水费计收方式,协调推进项目管理方式转变、管护主体培育、基层水利服务体系建设和各项工作,增强灌区实现自我管理、自我发展的能力,为农业增效和农民增收提供长期的制度保障。 □

参考文献:

- [1] 康绍忠. 现代灌溉用水管理的几个研究方向[J]. 水资源与水工程学报, 1993 (2): 1-7.
[2] 许迪, 刘钰, 李益农, 等. 现代灌溉水管理发展理念及改善策略

(上接第 27 页)

方式具有较显著的优势。 □

参考文献:

- [1] 张慧坚, 刘恩平, 刘 海, 等. 广西木薯产业发展现状与对策[J]. 广东农业科学, 2012 (5): 161-164.
[2] 陈发科, 黄 凯, 韦海波, 等. 广西农田水利现状及发展对策[J]. 中国农村水利水电, 2008 (11): 55-56, 59.
[3] 李晓玲, 刘普海, 成自勇, 等. 不同灌溉方式下玉米节水增产效果试验研究[J]. 节水灌溉, 2006 (3): 7-9.
[4] 马海燕, 张展羽, 王 昕, 等. 膜沟灌溉条件下夏玉米生长状况及产量、水分利用效率研究[J]. 节水灌溉, 2012 (9): 52-54, 57.
[5] 汪明霞, 陈晓飞, 徐 鹏. 夏玉米控制性交替灌溉条件下土壤水分动态模拟[J]. 中国农村水利水电, 2010 (8): 13-15.
[6] 王 成, 姚宝林, 王兴鹏, 等. 棉花膜下滴灌干播湿出土壤水盐变化与耗水规律试验研究[J]. 中国农村水利水电, 2012 (10): 25-30.
[7] 康跃虎, 王凤新, 刘士平, 等. 滴灌调控土壤水分对马铃薯生长的影响[J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 66-72.
[8] 赵 莹, 李 波, 王铁良, 等. 小管出流条件下日光温室茄子耗水规律研究[J]. 节水灌溉, 2011 (3): 33-35, 38.
[9] 张耀华, 蒋建华, 张远青, 等. 不同灌溉处理对木薯农艺性状的影响[J]. 广东农业科学, 2010 (4): 26-29.
[10] 郑厚贵, 关意昭, 张耀华, 等. 不同灌水量对木薯需水量及产量的影响研究[J]. 广东农业科学, 2011 (1): 1-3.
[11] 王泽平, 刘海斌, 罗兴录. 两个木薯品种需水特性研究[J]. 南方农业学报, 2012, 43(10): 1461-1465.
[12] 刘战东, 牛豪震, 贾云茂, 等. 不同地下水埋深下冬小麦和春玉米非充分灌溉制度研究[J]. 节水灌溉, 2010 (6): 36-38, 41.
[13] 古智生. 推广小管出流技术发展林果灌溉[J]. 节水灌溉, 2003, (3): 29-30.
[14] 谭 明. 涌泉灌技术应用[J]. 节水灌溉, 2003 (6): 24-26.
[15] 邹战强, 董宏奇. 微喷灌对荔枝生长的影响研究[J]. 节水灌溉,

研究综述[J]. 水利学报, 2008 (10): 1204-1212.

- [3] 许 平, 郝耀泉. 现代灌溉设备与塑料节水灌溉器材[J]. 中国农村水利水电, 2001 (11): 55-56.
[4] 李玉国, 韩合忠, 李利红, 等. 现代农业灌溉管理信息系统开发应用[J]. 中国农村水利水电, 2009 (8): 130-132.
[5] 李仰斌, 顾宇平, 谢崇宝, 等. 灌溉现代化理念与灌区快速评估方法[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.
[6] 谢崇宝, 黄 斌, 高 虹, 等. 灌区用水管理信息化结构体系[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
[7] 谢崇宝, 张国华. 我国灌溉现代化技术与设备[J]. 中国水利, 2015 (17): 66, 68, 70, 72.
[8] 谢崇宝. 对灌区水管理信息化建设有关问题的思考[N]. 中国水利报, 2010-01-07003.
[9] 谢崇宝, 张国华, 高 虹, 等. 我国灌区用水管理信息化软件系统研发现状[J]. 节水灌溉, 2009 (2): 8-10.
[10] 高虹, 谢崇宝. 灌溉现代化与灌区快速评估整体框架[J]. 中国水利, 2008 (3): 46-48.
[11] 谢崇宝, 高 虹, 张国华, 等. 现代灌区管理快速评价及软件开发研究[J]. 中国水利, 2009 (13): 38-40.
[12] 张展羽, 孔莉莉, 张国华. 我国生态灌区建设浅议[C]//中国水利学会 2006 学术年会论文集, 2006.
[16] 张 权, 陈正兵, 沈大伟, 等. 基于土壤入渗水量分布特性的微喷灌系统组合分析[J]. 中国农村水利水电, 2009 (9): 1-3, 7.
[17] 李朝阳, 夏建华, 王兴鹏. 低压微润灌溉水均匀性及土壤水分分布特性[J]. 节水灌溉, 2014 (9): 9-12.
[18] 王兴鹏, 姚宝林, 王 龙, 等. 红枣不同灌水方式对土壤水分与产量影响研究[J]. 节水灌溉, 2011 (12): 23-25, 32.
[19] 张学军, 吴政文, 丁小明, 等. 微喷带水量分布特性试验分析[J]. 农业工程学报, 2009, 25(4): 66-69.
[20] 刘巧玉. 喷灌条件下土壤水分运动状况分析[J]. 中国农村水利水电, 2001 (9): 22-23.
[21] 刘晓英, 杨振刚, 王天俊. 滴灌条件下土壤水分运动规律的研究[J]. 水利学报, 1990 (1): 15-20.
[22] 冯 江, 李道西, 陈思翌. 滴灌土壤水分运动研究进展[J]. 节水灌溉, 2011 (9): 36-38, 41.
[23] 费顺华, 周建杰, 钱万元, 等. 特低水头微灌中微喷带的水力特性和灌水均匀度[J]. 节水灌溉, 2011 (1): 31-33, 40.
[24] 满建国, 王 东, 于振文, 等. 不同带长微喷带灌溉对土壤水分分布与冬小麦耗水特性及产量的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(8): 2186-2196.
[25] 满建国, 王 东, 张永丽, 等. 不同喷射角微喷带灌溉对土壤水分分布与冬小麦耗水特性及产量的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(24): 5098-5112.
[26] 周 斌, 封 俊, 张学军, 等. 微喷带单孔喷水量分布的基本特征研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(4): 101-103.
[27] 张连辉, 刘兴武, 王小莹, 等. 小管出流灌溉技术的发展与应用[J]. 农业科技与装备, 2009 (2): 66-68, 71.
[28] 孙仕军, 樊玉苗, 刘彦平, 等. 土壤裸间蒸发的测定及其影响因素[J]. 节水灌溉, 2014 (4): 79-82.
[29] 肖俊夫, 刘战东, 段爱旺, 等. 不同土壤水分条件下冬小麦根系分布规律及其耗水特性研究[J]. 中国农村水利水电, 2007 (8): 18-21.