

关于我国大田滴灌未来发展的思考

王振华^{1,2}, 陈学庚^{1,2}, 郑旭荣^{1,2}, 范文波^{1,2}, 李文昊^{1,2}, 宗睿^{1,2}

(1.石河子大学水利建筑工程学院,新疆石河子 832000;2.现代节水灌溉兵团重点实验室,新疆石河子 832000)

摘要:滴灌是当今世界上公认的最先进的精量灌溉技术之一。依托中国工程院院士咨询研究项目“中国大田滴灌发展战略研究”,系统梳理了滴灌技术在国内外的历史。阐明了对我国大田滴灌的总体认识;结合新疆滴灌节水技术发展过程,从区域发展、自动化程度、系统能耗、管理标准规范、水肥利用效率及残膜污染等方面深刻剖析了我国大田滴灌发展存在的问题;提出了我国大田滴灌发展建议:制定分区分级分步骤发展规划,创新发展滴灌信息化和自动化关键技术及设备,因地制宜发展自压滴灌,滴灌技术应向标准化、规范化方向发展,提高滴灌系统水肥利用效率及推动实现膜下滴灌生态可持续等;形成了滴灌技术分区发展与工程建设、灌排管网一体化及自动化协同建设、规模化自压自动化滴灌系统科技攻关及工程建设、长期滴灌节水增效与生态可持续研究等适合我国大田滴灌发展战略。为促进滴灌技术可持续发展,支撑“节水优先”思想,落实国家节水行动提供一定思路和支撑。

关键词:滴灌;发展历程;问题剖析;发展建议;发展战略

中图分类号:S275.6 **文献标志码:**A

Discussion of the future development of field drip irrigation in China

WANG Zhenhua^{1,2}, CHEN Xuegeng^{1,2}, ZHENG Xurong^{1,2}, FAN Wenbo^{1,2}, LI Wenhao^{1,2}, ZONG Rui^{1,2}

(1. College of Water & Architectural Engineering, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China;

2. Crops Key Laboratory of Modern Water-Saving Irrigation, Shihezi, Xinjiang 832000, China)

Abstract: Drip irrigation is one of the most advanced precision irrigation technologies in the world. Based on the consulting research project of academician of China Engineering Academy “Research on the Development Strategy of Field Drip Irrigation in China”, after a two and a half years of research, the development history of domestic and international drip irrigation technology was systematically reviewed, and the general cognition of field drip irrigation in China was clarified. Combined with the development process of drip irrigation water-saving technology in Xinjiang, the problems existing in the development of drip irrigation in China were analyzed in the following aspects: unbalanced regional development, low automation degree, high energy consumption, lack of effective management standards and norms, low utilization efficiency of water and fertilizer, and serious residue-film pollution. Five suggestions for the development of field drip irrigation in China were put forward: (1) Formulate the development plan by areas, levels, and steps; (2) Innovate and develop the key technologies and equipment of drip irrigation informatization and automation; (3) Develop self-pressure drip irrigation according to local conditions; (4) Develop drip irrigation technology towards standardization and normalization; (5) Improve the water and fertilizer utilization efficiency with drip irrigation system and promote the ecological sustainability of drip irrigation under mulch. Four development strategies of field drip irrigation in China were formed, including regional development and engineering construction of drip irrigation technology, integration and automation collaborative construction of irrigation and drainage pipe network, scientific problem tackling and engineering construction of large-scale self-pressure automatic drip irrigation system, and long-term research on water-saving efficiency and ecological sustainability of drip irrigation. The results provided some ideas and support for promoting the sustainable development of drip irrigation technology, supporting the idea of “water saving priority” and implementing national water-saving action.

Keywords: drip irrigation; development process; problems; suggestions; strategy

1 滴灌的发展历史

滴灌是目前最有效的节水灌溉方式之一^[1], 该技术的发展已有很长的历史。早在 1860 年德国就开始利用瓦管排水开展地下灌溉的试验^[2-3]; 1913 年美国 Houses 首次应用滴灌系统^[4]; 1920 年美国加利福尼亚州 Charle 通过在陶瓷瓦罐四周打孔进行灌溉^[5], 被认为是世界上最早的地下滴灌技术; 同年德国首次采用穿孔管灌溉, 使水沿着管道输送从孔眼流出, 在孔口式滴头出流方面取得重大突破^[6]; 1934 年 Robey 研究了帆布管渗水灌溉, 成为滴灌的另一种形式^[7]。随着塑料工业的迅速发展, 塑料管逐渐被应用到滴灌系统中^[8]。20 世纪 50 年代末期, 以色列成功研制出长流道滴头, 到 60 年代滴灌技术已经成为以色列重要的灌溉方式^[9]。自 20 世纪 70 年代以来, 滴灌技术在世界范围内发展迅速, 90 年代滴灌技术开始应用于大田作物。据国际灌溉排水委员会 2017 年统计数据显示, 微(滴)灌在发展中国家的使用比例为 66.89%, 远超过发达国家的 33.07%, 主要被应用于棉花、玉米、小麦、果树、蔬菜灌溉以及坡地和沙漠造林灌水^[10]。

我国自 1974 年从墨西哥引进滴灌技术^[11], 历经试点、制造设备引进、重点推广及普及推广 4 个典型阶段^[10]。1996 年新疆生产建设兵团(以下简称兵团)第八师职工将滴灌技术与地膜覆盖技术相结合, 探索形成膜下滴灌技术, 并成功进行大田试验, 石河子大学、新疆农垦科学院和兵团第八师等单位科研人员在兵团水利局的大力支持下开展专项研究, 取得了膜下滴灌及其综合配套技术的关键突破, 提出一系列膜下滴灌实用技术。1998 年, 新疆天业公司在兵团专项经费支持下引进了成套滴灌设备, 在吸收、改造、创新的基础上, 逐步实现滴灌设备的国产化研究, 取得了突破性进展, 为田间滴灌技术在作物上的应用打下了基础^[12]。从 2000 年开始大规模开展田间推广, 到目前取得显著成效, 并推动了我国大田滴灌技术的发展与应用^[4]。目前, 滴灌技术已在新疆、宁夏、内蒙古自治区及东北、华北、西南、华南等地区推广应用, 各地区在滴灌设备以及材料的研发上均取得了一定的成果。

2 对我国大田滴灌的总体认识

研究认为, 总体上我国大田滴灌完成了从国外引进、消化吸收再创新到规模化应用推广的转变, 应用区域覆盖国内干旱区、半干旱区、半湿润区甚

至季节性干旱的湿润区, 并走向国门, 援外输出到中亚、非洲等几十个国家, 实现了设备产品设计、生产及技术理论等一系列创新和发展, 基本构建了以大田滴灌为核心的农业栽培、机械化耕作、精准灌溉、水肥一体化、滴灌材料生产等完整的技术体系, 实现了滴灌技术由以色列的“贵族化”模式转变为中国的“平民化”模式, 灌溉对象也从经济作物延伸到大田滴灌常规作物^[12]。我国的滴灌技术发展主要遵循了低成本、实用至上的原则, 走出了一条有自己特色的大田滴灌发展道路。

新疆地区作为大田滴灌应用最早也是最为广泛的地区, 在滴灌技术发展应用方面有着丰富的经验。新疆滴灌节水取得了举世瞩目的成就, 膜下滴灌技术的推广应用为我国其他灌区节水灌溉起到了重要示范引领作用^[13]。“九五”以来, 兵团滴灌及其综合配套技术的关键突破和大规模应用, 带动了新疆维吾尔自治区节水灌溉事业的快速发展。兵团和地方政府先后建成了一批国家节水灌溉示范基地, 培育了一批节水产业品牌, 并通过援外项目向国外输出节水技术, 在农业节水灌溉领域发挥了良好示范引领作用。截至 2018 年底, 新疆滴灌技术应用总面积达到 353 万 hm^2 ^[14], 占全国滴灌面积的 60% 以上, 形成了以节水滴灌技术为平台的现代精准农业技术体系, 实现了农业增产、农民增收, 促进了乡村振兴, 产生了重大的经济、社会和生态效益, 引发了新疆农业生产的革命。实践证明, 农业大田滴灌高效节水工程是新疆干旱区的基础性、战略性、先导性、核心性民生工程。

3 新疆滴灌节水发展历程

3.1 膜下滴灌技术的试验摸索阶段(1996 年—1998 年)

新疆地区滴灌发展起源于兵团^[15], 1996 年在兵团第八师石河子 121 团开始试验研究, 试验规模 1.67 hm^2 , 1997 年试验规模达到 42.8 hm^2 , 连续两年试验成功。1998 年起, 兵团水利局又拨出专款, 以科技项目形式组织石河子大学、兵团第八师、新疆农垦科学院等单位协同开展了更为深入的试验研究。新疆天业股份有限公司利用兵团专项资金引进全套国外滴灌设备, 在吸收国外滴灌带先进技术的基础上, 开发并生产价格低廉的实用性滴灌带, 突破了因滴灌带价格昂贵而制约这项技术大面积推广应用的“瓶颈”, 为这项技术的大范围大规模应用开辟了道路^[13]。

3.2 滴灌技术的大力推广阶段(1999年—2007年)

1999年以后,兵团相继出台了“关于大力发展节水灌溉的决定”^[16]、“27万 hm^2 现代化节水灌溉工程规划”和“7万 hm^2 节水灌溉可行性研究报告”,进一步细化节水灌溉的发展方向、实施步骤和技术路线,有力促进了膜下滴灌工程建设规范化发展。2000年,兵团滴灌面积从1999年的 $2.47 \times 10^3 \text{hm}^2$ 迅速扩大到1.67万 hm^2 ,2001年增加到5.23万 hm^2 ,2006年增加到41.01万 hm^2 ,2007年扩大到53.7万 hm^2 。1999—2007年间,兵团滴灌面积年均增加超过6.67万 hm^2 。

3.3 滴灌技术推广与节水增效并存发展阶段(2008年—2014年)

2008—2014年间,在国家政策与资金的大力支持下,通过兵团、师、团各级的不懈努力,膜下滴灌技术推广应用有了长足发展,兵团滴灌面积年均增加超过8.67万 hm^2 ;6年间,兵团灌溉用水量由 $9\,135 \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 降低到 $6\,990 \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,膜下滴灌面积超过120万 hm^2 ,占兵团灌溉面积的80%以上,奠定了全国节水“灌溉示范基地的历史地位。2013年2月,出台了“兵团贯彻《国家农业节水纲要(2012年—2020年)》的实施意见”^[18],提出到2020年全面建成全国节水灌溉示范基地。

3.4 滴灌技术规模趋稳、提质、增效、内涵发展阶段(2015年—2017年)

截止2018年底^[14],兵团高效节水灌溉面积达125.03万 hm^2 ,占兵团总灌溉面积150.6万 hm^2 的83.01%,其中滴灌面积124.1万 hm^2 ,占兵团总灌溉面积的82.4%,带动新疆成为世界上规模化膜下滴灌面积最大的区域;2017年兵团灌溉水利用系数达到0.571,农业用水总量为102.97亿 m^3 ,占兵团总用水量的86.70%;兵团棉花总产占新疆自治区总产的40.43%,占全国棉花总产的27.19%,棉花单产比全国平均高47.11%,超过新疆自治区23.11%;从2006年开始兵团粮食单位面积产量排名由全国第四名上升到全国第一名并一直保持领先优势,兵团粮食单产是新疆自治区的1.34倍,是全国平均粮食单产的1.50倍,兵团人均粮食产量是新疆自治区的1.57倍,是全国人均产量的2.12倍。

4 我国大田滴灌发展存在问题与建议

4.1 国家大田滴灌区域发展不平衡,亟需国家顶层设计

滴灌技术的应用过于模式化,没有做到因地制

宜。从多年的试验、示范结果和目前的推广情况看,滴灌技术得到了不断完善,设计和设备技术水平不断提高,许多技术难题也逐渐得到解决,尤其对一些高效的宽行作物和温室作物灌溉效果比较理想。但也正是由于滴灌技术的优势,许多不适合发展滴灌的地方在看到滴灌产生的节水增产效益后,盲目地推广滴灌,导致滴灌与当地种植及实际需求不适应,存在降雨量适宜而灌溉需求不强烈、土地分散未规模整治、种植作物杂乱不统一、投入产出不适宜、比较效益不突出、技术指导不到位等突出问题,造成不必要的经济浪费。建议在统筹协调推进国家土地集中流转,在高标准农田建设中制定国家大田滴灌分区、分级、分步骤发展规划。在推动滴灌农田发展与水资源水环境承载能力相适应、进行土地流转整治和高标准农田建设基础上发展规模化滴灌,根据降雨量、地形、土壤等自然条件和当地经济技术发展水平分区、分级、分步骤发展大田滴灌,实现全国更大范围的高效节水。

4.2 滴灌工程建设投入以政府为主,部分灌区农民投入缺乏积极性

滴灌工程建设如水泵、变压器、水源工程、过滤器、主干管等一次性投入较大,总体上以国家财政为主。西北干旱区发展较快,除国家及地方政府财政投入以外,有部分民间资本及农民自发投入发展大田滴灌;东北地区滴灌工程建设几乎全部靠国家财政投入;华北及南方地区零星滴灌工程建设也基本以各级政府投入为主;除西北干旱区和内蒙古部分地区主动发展滴灌之外,其他省份灌区农民对建设滴灌工程尚缺乏主动性和积极性。在降雨量较少且具有国家战略意义的大宗作物种植区域(粮、棉、油、糖等作物)及经济欠发达地区,滴灌工程主体部分投入可参照骨干水利工程建设,主要由国家财政投入,确保国家粮食安全和乡村振兴战略实施。对滴灌工程相关设备及材料实施特别税收政策,如推广滴灌带回收制度,一方面,滴灌带回收可以减轻农户经济负担,让农户在购买滴灌带时,可以优先考虑滴灌带质量;另一方面,滴灌带回收也有利于减少滴灌带残留于土壤造成的环境污染,有利于滴灌带循环使用,提高农民对滴灌工程建设的积极性和主动性。建议探索农田滴灌工程建设多元投入机制,引入社会资本,同时加大国家财政投入力度,在降雨量较少且具有国家战略意义的大宗作物种植区域及经济欠发达地区,滴灌工程主体部分由国家投入,对于滴灌工程相关设备及材料实施特别税收政策。

4.3 滴灌工程关键设备、材料整体科技含量及工程管理信息化程度偏低

滴灌带作为一种耗材,每年种植时均需铺设新的滴灌带,许多农户在选购滴灌带时,经常以价格作为主要依据。但是,市场上价格较低的滴灌带往往存在着多种质量问题,对滴灌系统以及作物种植产生负面影响。

传统滴灌系统采用人工控制球阀进行灌溉,种植户不能严格按照设计轮灌,经常人为延长轮灌时间,造成轮灌周期得不到有效控制,作物因灌水不均匀而不能达到理想的节水增产效果。工程管理仍以人工为主,如正常灌水时长 4~6 h,而人为延长至 10 h,林果灌溉定额仅需 $7.5\sim 9.0\times 10^3\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$,实际灌溉定额超过 $1.5\times 10^4\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$;滴灌系统未达到理想的节水效果。滴灌工程系统关键设备如水泵、变压器、过滤器、各级管材管件及滴灌灌水器虽然已逐步实现国产化,但整体上科技含量仍然偏低,设备及材料质量参差不齐,滴灌系统跑冒滴漏或滴头堵塞现象仍然普遍存在。建议实施滴灌带强制标准并研发新型轻质、高强度、低成本的滴灌关键设备及材料,创新发展滴灌信息化和自动化关键技术及设备,使滴灌技术走向标准化、信息化、自动化。

由于滴灌技术本身具有定时、定量、定位灌溉的独特优势,为灌溉自动化技术的发展提供了应用平台。滴灌自动化控制技术严格执行灌溉制度,避免人为因素影响,不仅实现定时、定量、定次的科学灌溉,而且保证了灌水的均匀度,真正实现了精准灌溉,成为农业现代化发展的主要方向。机器设备系统在生产管理过程中依据作物和土壤以及气候的特性,实现自动检测、信息处理、分析判断、操纵控制,自动调节水、肥、气、热因素,使作物得到最佳的生长发育环境,以实现预期的目标。通过自动化技术实现滴灌的智能调节,真正做到精准灌溉,减少劳动力成本,对自动化系统中的管理中心、首部监控站、首部控制单元、田间控制单元 4 部分进一步优化完善,提高滴灌系统的自动化水平。滴灌自动化、信息化的示范推广是全国实现精准农业的基础,可以显著促进滴灌技术的健康持续发展,提高劳动生产率,降低劳动强度,提高作物产量,增加农业效益。

4.4 滴灌系统能耗高,节能减排压力大

高效节水灌溉要求水资源保证率由原来常规地面灌的 75% 提高到 90%,与水利工程的调蓄能力存在不适应;我国几千年来的农业灌溉主要是根据

河流和地势落差产生的引水自流灌溉,不需要消耗电能及其他能源,然而近年来发展的大田滴灌需要首部水泵加压而消耗大量能源,自流灌溉变为加压滴灌,部分地区电网薄弱,夏季灌溉高峰期电力不足现象时有发生,影响了节水灌溉工程效益正常发挥。假设全国 628.35 万 hm^2 微灌面积全部按膜下滴灌棉花计算,全国滴灌年耗电约 89.96 亿度,按照火力发电计算折合燃烧 314.78 万 t 标准煤,排放 CO_2 约 924.4 万 t,灌溉系统总体能耗及碳排放量均很高,对大气环境质量影响很大。建议因地制宜发展自压滴灌,使滴灌系统向节能减排方向发展。

4.5 滴灌技术缺乏有效的管理标准规范,技术服务体系不健全

滴灌技术缺乏有效的管理标准规范。按照农民自己的意思设计的“土滴灌”也有一定数量;大田滴灌中过滤器过滤精度不能满足要求,过滤能力低下,滴头堵塞问题时有发生;已建高效节水自动控制灌溉工程普遍存在重建设轻管理,不按设计轮灌组灌水,随意开阀,滴灌工程在设计、运行、管理方面规范化和标准化薄弱,影响滴灌技术质量和效益。滴灌工程设计存在工程设计基础数据不充分、系统设计中泥沙处理认识不到位,自动化滴灌设备选型难等问题,亟需在现有实践经验基础上建立统一的标准体系,规范滴灌自动化建设和规模化应用,自压滴灌系统设计问题亟需规范。另一方面,滴灌工程管理缺乏资金投入;技术服务和管理措施不完善。普遍存在重硬件轻软件,示范质量有待提高。工程管理缺乏专业人才队伍保障,自动化滴灌工程管理不到位问题突出,节水灌溉设备市场监管不到位,如管件规格杂、质量差、过滤设备选择混乱、高效节水灌溉工程配套设施不完善。配套的水利工程研究建设程度低、科学研究成果与生产实践结合程度低等。建议滴灌技术向标准化、规范化方向发展。

4.6 滴灌水肥利用效率不高,残膜污染严重

重灌轻排,一些地方发展滴灌的同时,为充分利用土地资源,废弃了原有的排水系统甚至不建设排水系统,膜下滴灌农田土壤中的盐分没有减少途径,只是在土壤内部重新分布,盐分总量没有减少,棉田土壤积盐趋势没有改变,随着膜下滴灌应用年限的增长,一些土地盐碱化问题开始显现,出现了节水灌溉条件下的土壤盐渍化问题。滴头下方产生(半球体)湿润区,但滴灌农田土壤积盐趋势没有改变,节水灌溉型土壤盐渍化问题显现。

随着覆膜的不断使用,大量塑料残膜碎片随着

土壤翻耕遗留于土壤耕层中,不仅造成土壤残膜污染和大气环境污染逐渐加重,土壤质量及膜下滴灌的效率也下降。调查显示,膜下滴灌种植10年以上的耕地,地膜平均残留量为 $150\sim 225\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,15年以上耕地平均残留 $414\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。膜下滴灌已由当初的“白色革命”变成现在的“白色污染”,作物生长面临较大威胁,土壤耕作质量及膜下滴灌的可持续性受到严重挑战。我国目前普遍存在的问题是化肥利用率低,肥料生产效益长期徘徊在较低水平。在施用化肥总量中,氮肥占有相当大的比重,约为60%左右。我国氮肥利用率为30%~50%,其中水稻平均为33%~38%,麦类作物为28%~41%,国外一般氮肥利用率为50%~60%。农户化肥使用量大,肥料利用率仅为33%,滴灌水肥一体化普遍应用之后依然存在过度施肥现象,过剩肥料极易污染地表水和地下水,化肥的面源污染威胁生态安全。建议加强滴灌系统与降解地膜或者秸秆等其它覆盖材料的结合,推广应用便于机械化回收的耐用地膜、加厚地膜等,力求从源头上解决残膜污染,加强残膜治理,完善灌溉制度和施肥技术,提高水肥效率,实现膜下滴灌生态环境可持续。

5 关于大田滴灌发展的思考

5.1 指导思想

以水资源可持续利用支撑经济社会可持续发展,以水资源优化配置为中心,以提高水资源利用效率和效益为目标,根据水土资源承载能力合理确定或调整农业生产布局和产业结构,统筹土地流转集中、高标准农田建设和滴灌发展,分区分级发展,以点带面,示范引路,坚持新建与改造相结合,制度创新与工程建设相结合,充分利用现代化技术装备农业,实现节水、节肥、节地和增产、增收、增效,推动我国现代灌区和现代农业发展。

5.2 发展目标

5.2.1 因地制宜,分区分级 根据平原、丘陵和山地等地形特点,地表水、地下水等水资源条件,粮、经、林、果、糖、草等灌溉对象及作物种植结构和规模,因地制宜发展各具特色的适宜形式的滴灌工程,在具备自流和有地势落差条件区域大力发展自压滴灌。根据国家节水灌溉分区发展重点,西北节水增效、东北节水增粮、华北节水压采和南方节水减排,四大区域大田滴灌发展重点各有侧重,西北区域一方面对现有滴灌进行升级换代、提质增效,向滴灌自动化和信息化方向改造升级并因地制宜大力发展自压滴灌,另一方面对于年降雨量在200

mm以下地区农田5年内完成土地流转整治、集中连片和高标准农田建设及滴灌工程建设,对于年降雨量在200~400mm的区域农田宜在2035年前完成滴灌工程建设;东北区域一方面做好现有滴灌的总结评估,将滴灌发展重点放到作物生育期降雨量在400mm以下的地区,另一方面主要进行集中连片规模化滴灌,发挥水肥一体化优势,提高作物产量和品质;华北区域重点发展补充灌溉区滴灌水肥一体化提质增效技术,提高粮食产量和品质,大幅节约地表水,回补地下水;南方区域主要在季节性干旱区和山地丘陵区因地制宜发展经济作物滴灌技术。

5.2.2 政府主导,多元投入 由于大田滴灌发展事关农民增产增收、乡村振兴战略实施和国家节水行动计划推进,规模化滴灌节水技术推广应用既便于发展现代灌区和现代农业,亦便于当地政府利用节约的水资源统筹推进山水林田湖草系统治理和落实“绿水青山就是金山银山”的可持续发展理念,因此,大田滴灌工程规划发展和建设必须由政府主导。

参照骨干水利工程建设和大中型灌区改造模式,滴灌水源工程、首部和骨干管网工程包括发展自压灌溉配套的山区水库工程及其引水渠道管涵、沉沙调节池及配套电力设施等均由政府投入为主,田间滴灌支管及毛管可由农民投入为主,并充分发挥先建滴灌工程的示范带动作用,探索引导龙头企业、农民合作社等发展规模滴灌的多元投入机制,同时对于滴灌产品和材料实施特别税收政策,进一步减轻农民负担。

5.2.3 规模适度,标准规范 滴灌发展规模适度具有两个方面的含义:一方面是宏观上,国家层面制定大田滴灌分区、分级、分步骤发展规划的顶层设计,根据国家和区域经济社会发展水平,拟定不同阶段的大田滴灌发展总体规模,宜采用边建设边示范并且分区域确定不同建设标准的滴灌发展规模,根据降水量分区、分阶段发展大田滴灌,预计到2035年可新增滴灌面积3666.71万 hm^2 ,预计投入4570亿元建设资金(按 $1.5\text{万元}\cdot\text{hm}^{-2}$ 预计,不包括土地整治及骨干水源工程投资);另一方面是微观上,单个滴灌系统规模根据水源情况适度控制,面积宜在100 hm^2 左右,滴灌系统控制面积太小,单位面积工程投入偏大,对于自压滴灌系统,控制面积可因地制宜进行设计调整。

大田滴灌建设一定要遵循标准化建设、规范化运行管理,才能发挥滴灌工程的效益,从滴灌工程建设前期的准备上,对于平原区,一定要进行土地

流转或集中连片,作物种植结构调整统一,土地进行高标准农田建设,滴灌工程设计、施工和滴灌设备产品要符合国家或行业标准,滴灌系统控制规模适宜,滴灌运行管理科学规范,充分发挥滴灌技术精准灌溉施肥的高频少量和水肥一体化特点。

5.2.4 节能降耗,提质增效 大田滴灌发展宜向低能耗方向建设和发展,一方面因地制宜大力发展自压滴灌,另一方面大力发展低压滴灌技术,减轻水源工程能源消耗;滴灌技术应用过程中,一定要充分发挥滴灌技术特点,并以滴灌为载体集成机械化技术、精准施肥技术、精量播种和高效栽培技术,精量调控滴灌土壤-作物系统的关键生境要素(水、肥、盐、气、热、光、生、电等),有效提升作物产量、质量和效益。

5.3 滴灌工程建设目标

按照“四化”(水质处理自动化、输水管道化、滴灌均匀化、管理信息化)的总体要求,建成具有五个显著特征(集中连片、设施完善、技术领先、管理规范、效益显著)的具有可持续性的高效节水滴灌示范区。

5.3.1 “四化”的具体内涵

(1)水质处理自动化:80%以上为地表水灌溉,地表水往往泥沙含量高或易受到漂浮物影响,将直接影响到田间滴灌和自动控制灌溉设备的性能,因此,地表水灌溉水质处理非常关键,是建设高效节水滴灌必须要考虑的重要内容之一。采用地表水灌溉的滴灌工程须设置沉淀池及自动反冲洗过滤设施。采用地下水灌溉的须设置自动反冲洗过滤设施,实现对水质处理的自动化,提高滴灌设备使用效率。

(2)输水管道化:输水管道化具有两方面的内涵,一是灌区采用防渗渠系输水至滴灌系统首部,在田间全部实行管道化输水,从而防止渠系渗漏和蒸发损失;二是如果滴灌区域位于河流下游,可因地制宜发展管道输水自压滴灌。在具备发展自压滴灌条件的区域逐步实现从水源到田间的全程管道化输水,不仅实现输水的高效节水,还达到了节能降耗的目的。

(3)滴灌均匀化:田间灌水全部采用滴灌技术,并实行滴灌水肥一体化,在保证设计压力工况下滴灌毛管首位流量偏差不超过 20%的设计要求并尽量加大毛管铺设长度(极限铺设长度的 80%),一方面保证灌水均匀,另一方面减少支管数量,适当节约成本。

(4)管理信息化:高效节水滴灌建设管理正快

速向信息化迈进,在逐步实现自动控制灌溉基础上,将水情、土壤墒情、作物长势、气象信息、首部工况等信息综合处理,建立高效节水滴灌信息管理系统,实现自动化程度更高的精准灌溉和信息化管理。

5.3.2 五个显著特征的具体内涵

(1)集中连片:因地制宜发展大田滴灌,在平原区宜建设集中连片滴灌工程,调整作物种植结构,大力推进土地流转或合作经营,单个滴灌系统控制面积宜在 70 hm² 以上,村级滴灌规模宜在 700 hm² 以上,乡级滴灌规模宜在 7 000 hm² 以上,县级滴灌规模可在 7 万 hm² 左右。

(2)设施完善:大田滴灌工程建设需要具备大中型灌区节水改造的完善设施和高标准农田建设的各项要求(林成网、田成方、渠相通、路相连、电到田,旱能灌、涝能排、渍能降等)。同时,具有完备的水质处理设施、泵房首部设施、水量、流量、墒情监测设备、安全监控设备、信息化管理设施等。

(3)技术先进:滴灌建设尽量做到水质处理自动化、滴灌水肥一体化、全程机械化、管理信息化。滴灌灌溉水利用系数不低于 0.92,灌水均匀系数不低于 0.85,灌溉保证率在 90%以上。

(4)管理规范:建立滴灌工程运行管理信息系统,在灌溉用水调度、取用水计量监测及工程运行管理等方面实现自动化和信息化。建立结构合理、运行高效、服务优质的滴灌工程管理体系;建立和完善市场化、专业化和社会化的滴灌工程维修、养护体系;建立合理的水价形成机制和高效的水费计收方式;建立规范的资金投入、使用、管理和监督机制。

(5)效益显著:滴灌工程建设要达到显著提高灌溉水利用系数和灌溉水生产效益,具有显著的经济、社会和生态效益。实现农业增效、农民增收和整体经济的可持续发展,为乡村振兴打下更为坚实的基础。

6 中国大田滴灌发展战略

6.1 大田滴灌技术分区发展与工程建设

根据“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的治水思想和《国家节水行动方案》^[19],结合中国降水分布特点、地理条件和种植类型开展滴灌工程分区布局。在进行土地流转整治和高标准农田建设基础上发展规模化滴灌,根据降雨量、地形、土壤等自然条件和当地经济技术发展水平,分区、分级、分步骤发展大田滴灌,实现全国更大范围的高效节水。主要根据降水量分区分阶段发展大田滴灌,预计到 2035 年新增滴灌面积 3 666.71 万 hm²。

西北节水增效区域 ($P < 200$ mm) (表1), 农田今后5年内优先全部完成大田滴灌工程建设, 估算发展滴灌的耕地面积还有505.77万 hm^2 , 已经建成的大田滴灌系统应向标准化、信息化、自动化方向改造升级。

西北节水抗旱区域 ($200 \text{ mm} < P < 400$ mm) 宜大力发展滴灌技术(表2), 建议今后8年内发展滴灌工程约948.85万 hm^2 , 用来提高区域水资源利用效率, 确保国家生态安全、棉花安全、粮食战略储备安全, 助力农村脱贫致富和乡村振兴。

华北及陕西关中部分地区节水压采区域(生育期 $P < 400$ mm)(表3), 发展主要作物滴灌技术, 在2035年前亦逐步建设一定规模的滴灌工程约648.78万 hm^2 , 用于主要作物需水关键期滴灌补充灌溉和滴灌水肥一体化提高作物产量和品质, 该区域主要用来确保国家粮食安全、区域地下水安全及首都区域供水安全。针对蔬菜等高耗水作物建设设施滴灌工程。山区丘陵区适度发展滴灌系统。

东北节水增粮区域(生育期 $P < 400$ mm)(表4), 农田在今后5~10 a内宜大力发展滴灌工程建设, 适宜发展滴灌耕地面积约1516.64万 hm^2 , 该区域滴灌技术主要用于抗旱补充灌溉及水肥一体化调控, 确保国家粮食安全。

南方节水减排区域包括西南季节性干旱地区, 主要针对山区及丘陵地区季节性干旱区因地制宜发展特色经济作物滴灌工程, 针对云贵高原丘陵坝子农业区季节性干旱特点, 发展粮食作物、特色经济作物滴灌工程, 增强灌溉保证率, 推动农村脱贫致富工作, 适宜发展滴灌耕地面积约46.67万 hm^2 。

6.2 大田滴灌排管网一体化及自动化协同建设

随着社会的发展和技术的进步, 未来农业工程朝着规模化生产、管道化灌溉、自动化管理方向发展。乡村振兴战略要求加快灌区续建配套与现代化改造, 推动发展滴灌系统信息化改造和智能化升级, 建设大田滴灌排管网一体化及自动化, 在地表

表1 西北节水增效区域 ($P < 200$ mm)

Table 1 Water saving and efficiency increasing areas in Northwest China ($P < 200$ mm)

地区 Region	灌溉面积 Irrigated area / 10^4 hm^2	已有节水面积 Existing water saving area/ 10^4 hm^2	传统灌溉面积 Traditional irrigation area/ 10^4 hm^2	节水比例/% Water saving ratio	未来节水比例/% Future water saving ratio
新疆 Xinjiang	647.53	351.67	295.86	54.31	45.69
宁夏 Ningxia	58.85	15.36	43.49	26.10	73.90
甘肃(河西) Gansu (Hexi)	134.21	46.67	87.54	34.77	65.23
青海 Qinghai	4.77	0.94	3.83	19.71	80.29
内蒙古 Inner Mongolia	155.18	80.13	75.05	51.64	48.36
合计 Total	1000.54	494.77	505.77	49.45	50.55

表2 西北节水抗旱区域 ($200 \text{ mm} < P < 400$ mm)

Table 2 Water saving and drought resistance areas in Northwest China ($200 \text{ mm} < P < 400$ mm)

地区 Region	耕地面积 Cultivated area / 10^4 hm^2	已有节水面积 Existing water saving area/ 10^4 hm^2	传统灌溉面积 Traditional irrigation area/ 10^4 hm^2	节水比例/% Water saving ratio	未来节水比例/% Future water saving ratio
陕西(榆林、延安) Shaanxi (Yulin, Yan'an)	87.82	8.6	79.22	9.79	90.21
甘肃(定西、平凉) Gansu (Dingxi, Pingliang)	1069.64	200.01	869.63	18.70	81.30
合计 Total	1157.46	208.61	948.85	18.02	81.98

表3 华北及陕西关中部分地区节水压采区域(生育期 $P < 400$ mm)

Table 3 Water saving and groundwater extraction mining areas in North China and parts of Guanzhong of Shaanxi Province ($P < 400$ mm in growth period)

省份 Province	灌溉面积 Irrigated area / 10^4 hm^2	已有节水面积 Existing water saving area/ 10^4 hm^2	传统灌溉面积 Traditional irrigation area/ 10^4 hm^2	节水比例/% Water saving ratio	未来节水比例/% Future water saving ratio
河南 Henan	148.66	57.13	91.53	38.43	61.57
河北 Hebei	343.67	109.62	234.05	31.90	68.10
山东 Shandong	231.35	28.88	202.47	12.48	87.52
陕西(关中) Shaanxi (Guanzhong)	226.52	105.8	120.72	46.71	53.29
合计 Total	950.20	301.42	648.78	31.72	68.28

表 4 东北节水增粮区域 (生育期 $P < 400$ mm)Table 4 Water saving and food increasing areas in Northeast China ($P < 400$ mm in growth period)

省份 Province	灌溉面积 Irrigated area /10 ⁴ hm ²	已有节水面积 Existing water saving area/10 ⁴ hm ²	传统灌溉面积 Traditional irrigation area/10 ⁴ hm ²	节水比例/% Water saving ratio	未来节水比例/% Future water saving ratio
黑龙江 Helongjiang	1070.80	208.66	862.14	19.49	80.51
吉林 Jilin	173.94	75.88	98.06	43.62	56.38
辽宁 Liaoning	260.72	92.96	167.76	35.66	64.34
内蒙古(赤峰、通辽) Inner Mongolia (Chifeng, Tongliao)	519.67	131.00	388.68	25.21	74.79
合计 Total	2025.13	508.5	1516.64	25.11	74.89

建设滴灌管道系统,在地下配套建设调控地下水位、防止次生盐碱化的暗管排盐系统,同时集成灌排管网一体化监测管理平台、农业环境感知设备及配套通信设备,形成自动化管理决策的地上滴灌、地下暗管排盐系统。实现大田滴灌灌排管网一体化及自动化,是贯彻落实《国家农业节水纲要(2012—2020年)》^[20]中“积极推行农业节水信息化,有条件的灌区要实行灌溉用水自动化、数字化管理”的重要举措。

(1) 统筹规划滴灌灌排管网一体化。建议结合滴灌规划设计,综合考虑地区农业特征及用水的具体条件,发展地面滴灌系统的同时,加大对地下排水排盐系统管网化建设。通过全面管网化的灌排一体化建设,实现地面系统与地下系统的全面协同调控,收集农田排水处理后循环利用,进一步提高水利用效率,促进农业生产和地区环境的良性循环。

(2) 推进大田滴灌灌排系统管网化、自动化研究。建议成立滴灌灌排系统管网化、自动化国家工程技术研究中心,设立研发专项,重点研究开发基于压差分析的智能轮灌控制系统,开发配套的低能耗自动反冲洗过滤装备、低能耗滴灌自动控制关键设备;对比测试目前用于农田灌溉系统的主流通讯网络,优选通讯网络并进行测试评价;同时基于无线通信技术、数据库技术、自动监控技术、软件技术,开发具有自主知识产权的、架构合理、功能齐全、操作简便、技术先进、兼容性好的自动控制灌溉综合管理平台。

(3) 逐步实现大田滴灌灌排系统信息化和自动化。通过农业环境感知设备,实时监测气候条件、土壤墒情、作物生长情况等数据,实现滴灌系统的全面数据化、信息化,为一体化管理平台灌溉决策提供数据基础。同时实时采集地下水位、土壤盐分数据,集成排水系统监测模块,监测分析排水流量、

排水矿化度,反馈一体化管理平台,指导灌溉,形成自动感知、自动分析、自动管理的滴灌灌排系统。

6.3 规模化自压自动化滴灌系统科技攻关及工程建设

为落实“最严格水资源管理制度”,执行三条红线,落实《国家节水行动》^[19]要求,今后西北干旱区农业灌溉面临的形势日益严峻,提高水资源利用率是必然出路,为提升国家水资源安全保障科技支撑能力,实现水资源系统智能调度与精细化管理,针对西北地区有利的山区-盆地系统发展规模化自压自动化灌溉系统,提出以下建议:

(1) 加快建设规模化自压自动化滴灌系统的绿色高效低能耗现代灌区。建议在管道化建设已较为成熟、地形条件较好的新疆盆地周边灌区加大规模化自压自动化灌溉工程试点建设,通过试点工程分析自压自动化灌溉系统的增效、节能、节水效果和农业生产效益,充分利用自然地理优势,建设绿色、高效、低能耗的现代化灌区。在今后5~10年有计划推进规模化自压自动化灌溉工程建设,将灌溉信息化和灌溉自动化相关技术相结合,推动一体化设计,构建山区水库-管道化输水-自压滴灌灌区整体节水技术体系,实现灌区引水、蓄水、输水、配水、灌溉、用水全过程节水,提高水资源安全保障能力、智能调度和水资源精细化管理水平。

(2) 加快制定农田灌溉输水管道化建设技术标准和指导方案。通过管道输水逐渐代替明渠输水,实现农田灌溉输水管道化,是进一步发展自压灌溉的工程基础,建议加快制定农田灌溉输水工程建设相关技术标准,确定管道化建设的规范、规程、标准,并对管道化建设提供工程技术指导,确保农田灌溉输水管道化建设顺利实施。

(3) 提高灌溉系统智能化水平,实现灌溉自动化。在完善农田管道化灌溉建设的基础上,将山区

水库与管道化输配水衔接,利用自动化灌溉技术,实现灌区管网化输配水和自压自动化灌溉,通过田间墒情监测系统,根据需要自动启闭阀门,灌溉系统管网中始终具有一定压力,完全像城市市政工程的自来水系统一样,农田管道可随时自压灌溉,大幅提高节水技术的科技含量与信息化和自动化程度。

(4)加强规模化自压自动化灌溉系统科技研发及创新平台建设。建议启动规模化自压自动化灌溉系统关键技术重点研发计划,设立规模化自压自动化灌溉系统国家重点研发专项,针对目前自压自动化灌溉系统中软件、硬件设备存在的问题,加大相关理论技术的研究攻关,为规模化应用奠定科学依据和理论基础。建议组建规模化自压自动化灌溉系统研发平台,为规模化自压自动化灌溉系统的技术创新研发提供科学保障。

6.4 长期滴灌节水增效与生态可持续研究

通过对我国西北长期滴灌区域节水增效与生态可持续发展研究,在宏观及微观尺度上寻求农田生态系统诸过程变化规律及主控因子,阐明作物生长与物质循环、残膜与作物生长的耦合机理,完成滴灌区农田生态系统与气候变化的耦合、农业措施、工程措施、地下水升降环境效应内在关系的量化分析。在分析土壤质量生态过程及与作物相互作用关系基础上,完成滴灌区域农田生态系统稳定性和大气、水、土、残膜等环境的主控因子、耦合作用研究,创立滴灌区域农田生态系统稳定性调控理论与对策,提出长期滴灌区域节水增效关键技术,为干旱区农业资源高效利用及可持续发展提供理论和技术支撑,为国家决策和宏观调控提供科学依据。同时凝聚一批年轻学科带头人和骨干,充实完善试验基地和科技大平台,促进我国干旱区农业、生态、水文科学及相关学科的发展。多学科共同合作开展以下方面的科学研究:

(1)长期滴灌区域物质(重要生命元素、水、盐碱、残膜等)循环机理及与生物过程和环境过程的耦合互动机制。研究滴灌区域物质循环过程中的机理问题,主要包括物理机理、化学机理、生物机理等。研究物质循环过程与生物过程耦合作用下的产量形成过程,以及产生生态环境效应的环境过程。揭示物质循环与生物过程的关系,阐述物质循环对生产力和资源环境效应的影响机理。建立物质循环过程与作物生长的耦合模型,对控制措施进行优化,并在宏观尺度上寻求诸过程变化规律及主控因子。

(2)长期滴灌区域土壤生态过程演变规律及与作物相互作用机制。土壤生态系统演变是滴灌区域整个农田生态系统的演变反映。研究了土壤生物群落、遗传物质的复杂性、区域多样性、物质和能量转化的作用以及与作物的关系。对水、热、人为调控驱动下土壤生态系统的长期演替,以及由此产生的土壤养分库和有机碳库、盐碱化、残膜环境质量长期演变过程及其对农田生态系统功能影响进行重点研究。

(3)长期滴灌区域农田生态系统与外部环境物质交换通量的量化方法。针对全球气候变化、地下水波动、水资源消耗、农业措施、工程措施等与滴灌区农田生态系统物质交换密切相关的重大问题,通过对农田生态系统与水体、大气界面主要物质(C、N、S、水;溶质、N、P、水等)的交换速率、通量及其关键控制因子的研究,建立了界面物质交换通量的测量或估算方法,为定量评价滴灌区域农田生态环境效应提供关键手段。

(4)长期滴灌区域节水增效与农田生态系统稳定性机制及调控技术。认识长期滴灌区域基于农田生态系统的重要生态过程,结合景观学、GIS和遥感信息分析,研究农田生态系统稳定性生态结构特征,研究典型区域和水热梯度方向稳定性评价指标体系及其定量表达方法;研究长期滴灌区影响节水效率、农田生态系统稳定性和大气、水土环境的主要控制因素、耦合机理与长期滴灌区域农田生态系统的建立与调控理论与节水增效技术,提出包括对养分投入、水分管理、盐碱治理、残膜治理、农田生态系统结构等的调控对策。

参考文献:

- [1] 尹飞虎.节水农业及滴灌水肥一体化技术的发展现状及应用前景[J].中国农垦,2018,(6):30-32.
- [2] Nakayama F S. Trickle irrigation for crop production[J]. Soil & Tillage Research, 1987, 10(2):191-192.
- [3] Abbott J S. Micro irrigation-world wide usage[J]. ICID Bulletin, 1984,33 (1): 4-9.
- [4] 李明思.膜下滴灌灌水技术参数对土壤水热盐动态和作物水分利用的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2006.
- [5] 黄兴法,李光永.地下滴灌技术的研究现状与发展[J].农业工程学报,2002,18(2):176-181.
- [6] 牛文全,吴普特,范兴科.低压滴灌系统研究[J].节水灌溉. 2005,(2):29-30,32.
- [7] 刘焕芳,孙海燕,苏萍,等.微灌自压软管合理铺设长度的确定[J].农业工程学报. 2005,21(2):46-50.