

中国农业节水十年：成就、挑战及对策

康绍忠

(中国农业大学 农业水资源高效利用全国重点实验室, 100083, 北京)

摘要:水是农业的命脉。在水资源紧缺形势下,保障国家食物安全和农产品有效供给,必须实施农业节水,发展高水效农业。在系统总结过去10年我国农业节水在保障国家食物安全和农产品有效供给、促进区域农业可持续发展和生态环境改善、促进现代农业转型升级和提质增效以及带动农业节水产业发展等方面取得的巨大成就基础上,分析了当前我国农业节水与国际先进水平的差距,以及在农业节水相关基础数据观测和长期积累、节水评价指标体系和考核标准、灌溉面积盲目扩张与农业适水发展、灌区续建配套节水改造和高标准农田建设衔接、高效节水灌溉与农艺技术配套、农业水价综合改革与节水灌溉工程设施可持续运行机制和政策、农业节水科技创新与节水产业发展等方面面临的问题和挑战,提出了促进农业节水高质量发展的建议。

关键词:农业节水;适水发展;评价指标;藏水于技;政策供给

Ten years of agricultural water-saving in China: achievements, challenges and measures//Kang Shaozhong

Abstract: Water is the lifeblood of agriculture. Under the extreme condition of water scarcity, it is necessary to save water in agriculture and increase water use efficiency, in order to ensure national food security and effective supply of agricultural products. Based on a systematic summary of tremendous achievements made by China in agricultural water-saving in the past 10 years, in terms of ensuring national food security and effective supply of agricultural products, advancing sustainable development of regional agriculture and eco-environment recovery, promoting modern agricultural transformation and upgrading, improving quality and efficiency, and driving conservation industry development, the study examines the gap between current practices in China and advanced countries in the world, as well as issues and challenges regarding monitoring and long-term accumulation of basic data, evaluation index system and assessment standards, irrational expansion of irrigation area and water-based agricultural development, integration between conservation rehabilitation and irrigation system expiation with high standard farmland construction, highly-efficient conservation irrigation and agronomic technology support, comprehensive reform of agricultural water pricing system and mechanism and policies for conservation irrigation engineering sustainable operation, and technology innovation and conservation industry development. Suggestions are made to promote high-quality development of agricultural water-saving.

Keywords: agricultural water-saving; water-based development; evaluation indicators; technology-oriented water-saving; policy support

中图分类号: TV+S274 文献标识码: A 文章编号: 1000-1123(2024)10-0001-09

收稿日期: 2024-05-16

作者简介: 康绍忠, 中国工程院院士, 主任。

基金项目: 中国工程院战略咨询项目“我国高水效农业发展战略研究”(2023-XY-33); 国家自然科学基金战略咨询专项项目“我国农业基础研究的
发展战略”(L2224027)。

一、农业节水的重大意义

水是农业的命脉,水安全是食物安全与农产品有效供给的重要保障。我国用占全球9%的耕地、6%的淡水资源生产的粮食,养活了占全球18%的人口。我国多年平均水资源总量约2.8万亿 m^3 ,居世界第6位,而人均水资源量仅1986 m^3 ,不足世界人均水平的1/4,单位耕地面积的水资源量仅为世界平均水平的1/2。特别是水资源与其他社会资源的空间分布不匹配,国土面积、耕地面积、人口和GDP分别占全国64%、60%、46%和44%的北方地区,其水资源量仅占全国的18%，“水缺”比“地少”更为严峻。在北方水资源紧缺形势下,我国粮食生产重心仍在不断北移,北方粮食产量占全国总产量比重由2000年的36.7%增加到2020年的63.3%,全国5个粮食净调出省份中北方占4个。2024年3月8日《Nature Water》也发文指出:“21世纪全球52%的灌溉面积扩张发生在已经面临水资源压力的地区,虽然增加了全球作物产量,但也导致了淡水资源更大的压力。”在我国北方水资源紧缺地区,农业过度开发导致农业用水量大,加之用水效率低,引发了华北平原严重的地下水水位下降,西北内陆河流域下游土地沙化、沙进人退、绿洲萎缩,东北地下水水位大幅度下降、湿地退化等生态环境问题,进一步加剧了区域水资源短缺,对农业可持续发展和人类生存环境形成了严峻挑战。

2023年,全国农业用水3672.4亿 m^3 ,占全社会总用水的62.18%。在水资源严重紧缺形势下,要保障国家食物安全和农产品有效供给,必须实施农业节水,发展高水效农业,大幅度提高农业用水效率与效益。

习近平总书记高度重视农业节水。2014年3月14日,在中央财经领导小组第五次会议上,提出了“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的治水思路;2019年9月18日,在河南郑州主持召开黄河流域生态保护和高质量发展座谈会时再次指出,把水资源作为最大的刚性约束,大力推进农业节水,推动用水方式由粗放向节约集约转变;2020年6月9日,在宁夏贺兰县考察时指出,积极发展节水型农业,以水定产;2023年6月6日,在内蒙古河套灌区考察时再次强调,要节约水资源,大力发展现代高效农业和节水产业。习近平总书记的系列指示精神为我国农业节水发展提供了根本遵循。

近10年,党和政府把农业节水作为方向性、战略

性大事来抓,党的十九大报告提出“推进资源全面节约和循环利用,实施国家节水行动”,标志着节水上升为国家意志和全民行动。2019年4月,经中央全面深化改革委员会审议,国家发展改革委、水利部等20个部门联合印发《国家节水行动方案》;2023年9月,国家发展改革委、水利部等7部委联合出台《关于进一步加强水资源节约集约利用的意见》;2024年3月,国务院颁布《节约用水条例》,把水资源节约集约利用的要求贯穿于经济社会发展全过程和各领域。与此同时,为了推进农业节水工作的具体落实,国务院办公厅和相关部门先后印发了《关于推进农业水价综合改革的意见》《全国大中型灌区续建配套节水改造实施方案(2016—2020年)》《关于深入推进农业水价综合改革的通知》《“十四五”重大农业节水供水工程实施方案》。上述举措,加快了灌区续建配套节水改造,加速了喷微灌及水肥一体化等高效节水技术的推广应用,强化了农业节水的科技支撑,创新了农业节水体制机制,加强了农业用水的精细化、智能化管理,促进了农业用水方式的变革,全面提升了农业用水效率,为保障国家食物安全和农产品有效供给、国家水安全作出了重要贡献。

同时,也应该清醒地认识到,当前我国农业节水与国际先进水平还有较大差距。由于农业节水需要巨大的资金投入、强大的科技支撑和有力的政策保障,涉及不同行业部门,且我国各地经济发展不平衡,水资源利用形式、灌溉模式、土壤与作物种植的区域差异较大,在发展过程中也面临着一些严峻挑战。本文力求在总结过去10年农业节水成就的基础上,分析当前发展所面临的问题和挑战,提出促进农业节水高质量发展的几点建议。

二、农业节水取得的巨大成就

1. 为保障国家食物安全和农产品有效供给作出了巨大贡献

在水资源紧缺的条件下,近30年我国耕地灌溉面积增加了3.27亿亩(1亩=1/15 hm^2 ,下同),增加到10.55亿亩,生产了全国77%的粮食和90%以上的经济作物,农业节水和高效用水形成了1100亿 m^3 以上的年农业综合节水能力,其中农艺节水与工程节水的比例分别为45.76%和54.24%。在灌溉面积不断扩大、粮食连年丰收的前提下,农业用水总量下降了300亿 m^3 。特别是近10年,灌溉水利用系数从0.530提高到0.576,

单方灌溉水的粮食生产力从1.58 kg增加到1.80 kg以上。耕地灌溉亩均用水量由2014年的402 m³下降到2022年的364 m³,降低了9.5%。通过灌区续建配套节水改造,累计恢复新增灌溉面积6000余万亩,改善灌溉面积近3亿亩,有效遏制了灌溉面积衰减的局面,提高粮食综合生产能力约300亿kg,大中型灌区农田亩均单产比改造前平均提高了约100 kg,亩均产量是全国平均水平的1.5~2.0倍。膜下滴灌、浅埋滴灌水肥一体化技术得到广泛应用,通过与增密等农艺技术结合,取得了区域性大幅度节水、减肥、增粮的成效。例如,新疆伊犁玉米滴灌水肥一体化技术,将种植密度提高到每亩8000株以上,察布查尔锡伯自治县阔洪奇乡玉尔坦村11 260亩高产创建田平均亩产1300.67 kg,种羊场井灌区1439亩高产创建田平均亩产1427.66 kg,伊宁县喀什镇高产创建田100亩高产方平均亩产1545.94 kg。农业节水为国家食物安全和农产品有效供给提供了水安全保障。

2. 为促进区域农业可持续发展和生态环境改善发挥了重大作用

农业节水为华北平原地下水超采治理,西北内陆干旱区塔里木河、石羊河、黑河流域重点治理,东北三江平原和西辽河治理发挥了重大作用。例如,东北西辽河流域,通过农业节水和高效用水等综合措施,不仅保障了“节水增粮”和农业可持续发展,而且西辽河干流水头逐年向下游延伸,流域平原区地下水水位上升区域达到14.3%,水位稳定区达到83.3%,从河道断流到通水,从地下水超采到地下水水位回升,生态复苏效果逐步显现。西北地区膜下滴灌面积达7000余万亩,灌溉水利用系数由2011年的0.495提高到2022年的0.577,已高于全国平均值0.572,通过农业节水置换出的水资源用于河流生态修复,为确保干旱内陆区绿洲永续生存发展,筑牢国家西部生态安全屏障发挥了作用。华北地下水严重超采区开展了“节水压采”试点行动,2023年12月比2018年同期地下水超采治理区浅层地下水水位回升2.59 m,深层承压水水位回升7.06 m,近几年累计回补地下水超过130亿m³,地下水超采得到一定遏制。南方太湖流域平原河网区的稻田节水减排模式,通过标准田块建设、精准灌排管理、科学减量施肥等措施,实现了节水节能、绿色减排、增产增效,2020—2022年仅在浙江嘉兴平湖市就累计应用56 960余亩,实现减排总氮32 467 kg、总磷3132.9 kg,节水2427万m³,节电80万kW·h。

3. 为发展集约高效农业和促进农业现代化创造了有利条件

我国城镇化进程和农村劳动力转移步伐日益加快,农业机械化已成为推动规模化经营和节本增效、不断提高农业综合生产能力和市场竞争力的重要手段。如果没有节水灌溉机械化,就不能实现农业的全面全程机械化。喷灌、滴灌等高效节水灌溉技术的大面积推广应用不仅节约了灌溉用水,而且为土地流转、推进规模化生产和农业提质增效、农业现代化创造了有利条件。例如,新疆和田地区人均耕地少,过去采用小块地耕种模式,不利于发展集约高效农业。在高标准农田建设中,大力推广膜下滴灌技术,一个滴灌系统控制1000~1200亩耕地,通过引导土地规范有序流转,促进农田规模化经营,不仅可以更好地节水,而且为发展集约高效的现代农业提供了支撑。内蒙古科左中旗浅埋滴灌工程的实施,为农户土地流转、结构调整、规模化经营创造了有利条件,生产强度降低和生产效率提高加快了农村劳动力转移,使剩余劳力可以外出务工增收,近两年农户流转土地人均增收2300元。内蒙古河套灌区1100多万亩耕地分布在720多万个地块上,每块1.5亩左右,人均承包耕地6~10块,通常采用传统地面灌溉,既不节水又不省力,而且农业生产效益低。内蒙古河套灌区水利发展中心与当地农业龙头企业或种植大户合作,以投资建设引黄滴灌水肥一体化节水设施为载体,促进土地流转,带动农户规模化经营,实现了节水增效,促进了现代农业发展方式提档升级。

4. 促进了农业节水科技进步和农业节水产业发展

近10年,我国农业节水科技取得显著进步。2022年,新建农业水资源高效利用全国重点实验室,实现了该领域基础研究无国家级重点实验室的突破;建设了旱区作物高效用水、作物高效用水与抗灾减损国家工程实验室,甘肃武威绿洲农业高效用水国家野外科学观测研究站,国家节水灌溉(北京、杨凌、新疆)工程技术研究中心以及一批省部级科研平台。在国家重点研发计划项目、农业重大科技攻关项目、国家自然科学基金重大重点项目等支持下,取得了一批原创性理论与技术成果。成功研发了世界上应用面积最大的膜下滴灌、浅埋滴灌水肥一体化技术,通过与增密等农艺技术结合,实现了区域性大幅度节水、减肥、增粮、增效;研究出全国主要作物不同水文年份的需水量和灌溉定额标准,为农业用水精细管理和落实

“四水四定”提供了科学的控制指标;在国际上率先创建了作物节水调质高效用水理论,引领了该领域国际前沿研究;建立了我国北方旱地增蓄降耗雨水高效利用技术模式;研发了抗堵塞滴灌技术与系列产品,破解了黄河水直接滴灌的世界难题;提出了灌排泵站交替加载技术,研制出超低压脉动高效双吸离心泵,应用于全国81%的大型灌排泵站,实现了节水、节能、减碳、高效;创新了南方稻田绿色节水减排的控制灌溉模式;开发了灌区量测水和输配水自动化以及田间智能灌溉技术与装备,显著提高了精准灌溉和灌区现代化水平;创建了内陆干旱区基于生态健康的农业水资源科学配置与高效利用模式,助推我国内陆河流域由沙进人退向可持续发展转变。50余项技术入选水利部、农业农村部先进实用技术及主推技术名单,有力支撑了华北节水压采、东北节水增粮、西北节水增效、南方节水减排等节水行动,为推动我国高水效农业发展作出了重要贡献。

以科技创新推动节水产业创新,特别是大数据、云计算、人工智能、机器人、区块链、虚拟现实、生物信息学等前沿技术的创新应用,催生出作物高水效表型诊断与靶向智慧调控、智能灌溉、智慧节水、数字孪生灌区建设等新业态、新模式,既节水省工又增产增效。节水产业变革促进了新质生产力发展。

近10年,农业节水产业快速发展,全国节水灌溉相关企业3400余家,产值超500万元规模的微灌企业数量新增约20%,喷灌企业数量新增超100%,特别是驱动新质生产力发展的智能灌溉、智慧节水企业数倍增长。目前农业节水相关企业年产值近1000亿元,较10年前增长近50%。农业节水企业创新能力明显提升,大禹节水、上海华维、新疆天业、广东达华、江苏华源、河北润农、黑龙江东部节水等年产值5亿元以上企业均设有创新中心、研究院等,年投入研发经费占企业当年产值1%~4%。节水灌溉产品制造水平大幅度提升,如滴灌带生产速度由10年前国内先进的120 m/min提高到现在的近300 m/min,叠片过滤器、反冲洗三向阀、电磁阀、压力补偿式滴灌灌水器系列产品等实现国产化,农业节水设备企业与发达国家先进水平的差距进一步缩小。

三、当前农业节水发展面临的主要问题与挑战

我国农业水效指标与国际先进水平仍然有较大

差距,全国灌溉水利用系数为0.576,粮田单方灌溉水生产力为1.80 kg,旱地降水利用率为63%,而国际先进水平分别在0.7~0.8之间、2.0 kg以上和80%以上。预计到2035年,全国粮食产量须达到9.4亿t,若粮食自给率达到85%,还需增产1.0亿t。按照当前节水水平和灌溉地生产粮食占比预测,灌溉需水量约4300亿m³,农业缺水超过500亿m³,农业水安全问题十分突出,仍是国家新一轮千亿斤粮食产能提升行动、“力争到2035年左右把15.46亿亩永久基本农田全部建成高标准农田”、“盐碱地综合改造利用”和北方水资源紧缺区农业可持续发展的短板,亟须通过制度创新和科技创新双轮驱动加以解决。目前面临的主要问题和挑战有:

1. 缺乏农业节水相关基础数据的长期监测和科学合理的节水评价指标体系,难以进行农业用水总量和用水效率考核以及节水成效评价

目前,还缺乏对不同用水户和区域农业用水以及灌溉面积、地下水水位等相关基础数据的长期监测与积累。采用的灌溉水利用系数、节灌面积比和亩均灌溉用水量等指标,没有充分考虑不同区域降水、土壤、作物等实际状况以及节水改造后地下水和生态环境的变化,不便于区域间节水程度和效果的比较与全面评价,即使是纳入国民经济和社会刚性约束指标的灌溉水利用系数的测算方法也不够科学,长系列基础数据支撑不充分,满足不了农业节水评价的需求。灌溉的目的是为了创造良好的土壤环境,满足作物正常生长和高产需要,对于土壤盐碱化区域,灌溉不仅要满足作物正常的耗水需求,还要满足根区土壤冲洗压盐水量的需要,与土壤类型、盐碱化程度、种植作物种类和地下水埋深等有关;高产稻田也需要有适宜的渗漏量,以满足调节根区通气状况、调节土壤氧化还原电位、淋洗有毒物质的需要,与土壤类型、水稻品种和生育阶段有关。目前全国灌溉水利用系数测算中采用的“首尾测算法”,没有考虑为作物根系生长创造良好土壤环境所必需的冲洗压盐水量和稻田必需的适宜渗漏量,导致在土壤盐碱化地区和以水稻种植为主的地区测算的灌溉水利用系数偏低,不便与其他地区比较,甚至会引发一些盐碱化严重的区域盲目提高节水改造标准,追求高灌溉水利用系数,影响区域土壤和地下水环境及作物产量。节灌面积比没有考虑相同节灌面积上节水技术类型和技术水平的差异,亩均灌溉用水量没有考虑不同区域间年均降水量差异的影响,不便进

行区域间的比较。

2. “四水四定”落实不到位,农业节水和农业适水发展相脱节,有些水资源紧缺地区节水改造的灌区不考虑水资源承载力而盲目扩大灌溉面积,持续呈现农业用水总量缺乏控制、地下水水位不断下降的态势

有些灌区投巨资进行节水改造后,不考虑水资源承载力,盲目扩大灌溉面积和农业引用水量,农业耗用水量缺乏控制,大量挤占生态用水,地下水水位继续下降,其实这是没有把农业节水和农业适水发展统一考虑的表现。例如,华北平原农业节水技术已研究推广30多年,并没有改变地下水资源恶化的现状,主要原因是种植制度一直向高耗水结构发展。西北内陆干旱区投入大量资金进行灌区续建配套节水改造和发展膜下滴灌,2008—2022年,虽然单位面积的灌溉用水定额下降,但灌溉面积却从1.180亿亩增加到1.378亿亩以上,仅2008—2018年,农业净耗水量就从387亿 m^3 增加到493亿 m^3 ,导致区域地下水水位不断下降。GRACE卫星遥感数据表明,21世纪以来该区域陆地水储量呈显著下降趋势。同时,观测井资料显示,2008—2020年新疆南部阿瓦提县观测井地下水水位平均下降1.58 m,其中丰收三场观测井地下水水位下降5.42 m;北部鄯善县吐峪沟乡2013—2020年地下水水位下降14.05 m。甘肃河西走廊石羊河流域重点治理工程2007年启动后,虽然单位面积配水定额大幅度下降,灌溉水利用系数和灌溉水生产力提升,但除下游青土湖区因人工回补地下水水位小幅度上升外,流域地下水水位下降速度由每年0.205 m增大至2020年的0.332 m,其根本原因是2012年节水改造工程完成后,流域作物播种面积和灌溉面积应压减未压减,反而不断扩张,农业净耗水量增大所致。内蒙古河套灌区在节水改造后,引黄水量不断减少,灌溉面积却增加了近300万亩,特别是2015年以来增加了120万亩,达到1154万亩,节水改造后盲目扩大灌溉面积,导致湖泊湿地面积从2000年的4.65万亩减少到2023年的2.80万亩,湖泊数量年均减少2.78个,部分天然林草地退化,无疑对生态环境造成了严重影响。

3. 灌区续建配套节水改造和高标准农田建设缺乏有效衔接,小型农田水利工程管理不到位,灌溉渠道“最后一公里”不通畅,田间节水灌溉工程建设对接农户需求不够,高效节水灌溉与农艺技术配套不紧密,影响节水工程效益正常发挥

由于灌区续建配套节水改造属于水利部门管理,

而高标准农田建设属于农业农村部门管理,两者之间缺乏有效衔接,特别是市、县两级表现更加突出。国家投入重资,通过土地流转、土地整理、土地调整等措施,使得农田形状规整、农田规模形成,但在此过程中,为追求面积大、规模化,没有有效衔接周围渠道的实际情况,甚至出现了田面高于田间渠道的状况。高标准农田和田间节水工程建设对接农户需求不够,建设的高效节水灌溉工程缺乏与不同作物耕作种植和需水特点、土地经营方式等的协调,经常出现节水灌溉工程建设不能满足农田节水灌溉需求,导致一些工程流于形式,尤其在干旱时期,容易造成大面积农田难以灌溉而减产。

一些灌区虽然投巨资进行高标准农田信息化、灌区节水改造信息化建设,但大多处于深度业务应用不足的状态,造成资金浪费;而需要大量投资的骨干灌排渠系标准低,诸多中小型灌区的末级渠系还不完善,小型农田水利工程管理缺位,“最后一公里”不通畅,仍然达不到“早能灌、涝能排”的基本要求。大部分中小型灌区管理人员老龄化突出,专业技术人员占比低,管理模式落后,使得我国人均灌区管理面积只有发达国家的1/10左右,管理效率低下,难以利用现代信息技术手段实现“从严从细管好水资源,精打细算用好水资源,优化配置节约水资源”。

高效节水灌溉与农艺技术配套不紧密,影响其推广应用。例如,我国从20世纪70年代末就开始大力推广滴灌节水技术,但由于没有与农艺技术结合,不能在节水的同时实现增产增效,推广应用非常艰难。而从20世纪90年代末开始,膜下滴灌与水肥一体化以及密植技术相结合,实现了节水增产增效,推广应用面积迅速增长。甘肃武威绿洲农业高效用水国家野外科学观测研究站研究的甘肃河西走廊制种玉米膜下滴灌水肥一体化技术模式,滴灌带长度为60~65 m,滴头流量3.0 L/h,灌水间隔10 d,苗期轻度亏水,全生育期每亩灌水140 m^3 ,种植密度由传统的每亩5000株增加到每亩7500~8000株,每亩施纯氮10 kg,其中40%作为底肥基施,60%追施,每亩可节水129 m^3 、节氮7.3 kg,产量提高30%以上,水分利用效率提高76%。因为这种模式不仅节水,而且节肥、省工、省力、增产、增效,所以农户才有应用的积极性。目前,还缺乏适合不同区域、不同土壤、不同作物的高效节水灌溉和农艺技术有机融合的规范化、标准化技术体系,特别是为农户提供“套餐式”服务的高效节水综

合技术集成模式。

4. 农业水价综合改革不到位, 农民自觉节水的内在动力不足, 社会资本参与节水灌溉工程建设与运行管理的积极性不高, 节水灌溉工程设施可持续运行的机制和政策供给不足

农业水价杠杆对促进节水的作用未得到有效发挥, 不仅造成农业用水方式粗放, 而且难以保障节水灌溉工程设施建设和良性运行。目前, 农业水价综合改革面临着一些困难与瓶颈, 一是由于农业产业特别是粮食生产比较效益低, 农户用水交易意识不足, 地方政府调整农业灌溉水价的主动性和积极性不高; 二是部分地区节水奖补政策落实不到位, 奖补资金落实和筹集比较难, 特别是欠发达地区精准补贴“等米下锅”现象普遍, 价格调整相对滞后; 三是缺少足够用水计量设施, 农业水权分配和交易难, 特别是水的交易落实难度较大; 四是没有建立巩固农业水价综合改革成果的长效机制。目前, 大中型灌区农业灌溉平均执行水价仅占运行成本水价的50%左右, 农业水费实收率不足70%。农业节水技术应用主体是农民, 由于灌溉水价低, 大田作物节水仅减少少量水费成本, 经济效益有限, 而在实际生产中又没有体现出多节水多补偿、多奖励, 所以农民缺乏自觉节水的内在动力。

除了城镇生活和工业供水以及高附加值作物占比高的灌区, 参与以粮食生产为主的灌区节水灌溉工程建设和运行管理获利较少, 社会资本参与积极性不高。此外, 还缺乏节水灌溉工程设施建设和可持续运行的机制与政策。

5. 科技支撑农业节水高质量发展的能力不足, 节水产业发展不完善, 产学研用结合不紧密, 缺乏适合不同区域和不同作物的智慧化、成套化、定量化、模式化、标准化节水综合技术模式

目前, 我国农业节水整体创新能力不足, 国家计划的重大科技项目较少, 而且缺乏与不同区域需解决实际问题的有效对接, 缺乏重大公共科研与示范平台, 多单位协同的联合攻关不够, 区域性长期科学定位试验研究缺乏, 科技成果转化率低。节水产业发展不完善, 产学研用结合不紧密, 企业高端产品不足, 大多为一些中低端产品; 智能制造水平低; 产品系列化不足, 真正具有完全自主知识产权的核心产品少; 产能远大于市场需求, 市场竞争加剧, 竞争规范化亟待提高; 产品标准化及标准的应用有待提升。高效节水科技推广与服务体系不够完善, 导致高效节水灌溉工程建成后

没有专业化技术服务机构给用户的技术指导, 可持续性差, 节水效果大打折扣; 区域农业节水技术模式的落地性需提升, 产品、技术、农艺、农机适配性不强, 实用化技术不足, 亟待构建适合不同区域不同作物的智慧化、成套化、定量化、模式化、标准化节水综合技术模式, 形成区域粮食与其他农产品生产和水资源短缺矛盾的综合解决方案。

四、促进农业节水高质量发展的几点建议

1. 加强对全国农业节水相关基础数据的长期监测, 特别是水资源紧缺地区农业用水总量、灌溉面积、地下水水位的监测, 建立科学合理和简便实用的农业节水评价指标体系与分区分类考核评价标准

缺乏全国以及不同区域农业节水相关基础数据的监测, 既无法考核各地农业节水的成效, 也无法落实“四水四定”相关指标, 无法实现以农户为单元的水权交易以及农业水资源的精细管理。建议建立国家天、空、地一体化的农业节水基础数据监测网络和数据管理系统, 组织制定《农业节水相关基础数据观测规范》, 进一步完善相关观测指标, 合理划分网格单元, 对重点区域加密观测, 统一观测方法, 建立数据标准化处理程序。

建立科学合理的节水评价指标体系, 目前采用的灌溉水利用系数、节灌面积比和亩均灌溉用水量等指标不利于区域间节水水平的比较, 同一作物灌溉地产量减去雨养地产量再除以单位面积灌溉定额计算灌溉水生产力的传统方法, 其应用也因不易获得不同区域雨养地产量而受到限制, 而且缺少对某一区域节水后是否达到适水发展和可持续性的考核指标, 应该把区域地下水水位变化作为与灌溉水利用系数同等重要的评价指标。因此, 建议采用考虑盐碱地冲洗压盐水量和稻田适宜渗漏量后的灌溉水利用系数 η_* 、标准化的单位面积灌溉定额 M_{BZH} 、标准化的灌溉水生产力 IWP_{BZH} 和作物水分利用效率 WUE 以及地下水水位变化 ΔH , 作为不同区域农业节水成效的综合评价指标, 具体为:

$$\eta_* = \sum (ET - P_e + D_s + F_d) / W_T \quad (1)$$

$$M_{BZH} = \left(\frac{W_T}{A_T} - D_s - F_d \right) \left(1 + \frac{P_e}{P_c} \right) \quad (2)$$

$$IWP_{BZH} = \frac{Y}{IW \cdot \left(1 + \frac{P_e}{P_c} \right)} \quad (3)$$

$$WUE = \frac{Y}{\sum ET_{ij}} \quad (4)$$

$$\Delta H = H_g - H_c \quad (5)$$

式中: ET 是作物耗水量, D_s 是淋洗根区土壤盐分所必需的水量, F_d 是稻田必需的适宜渗漏量, W_T 为灌区总的引水量, A_T 为总的灌溉面积, P_e 为有效降雨量; $\bar{P}_e$ 为全国平均有效降雨量, Y 为作物产量, IW 为单位面积的灌溉用水量, H_g 是地下水埋深, H_c 是临界地下水埋深或者生态地下水埋深。

在上述农业节水评价指标的基础上, 科学确定不同区域、不同类型灌区和不同阶段的目标值, 作为农业节水成效考核评价的依据。例如全国平均灌溉水利用系数2035年达到0.625, 2050年达到0.70; 全国平均标准化粮田灌溉水生产力2035年达到2.0 kg/m³, 2050年达到2.3 kg/m³; 全国平均标准化亩均灌溉定额2035年降低到350 m³, 2050年降低到325 m³; 地下水水位到2035年全面遏制不断下降的趋势, 2050年控制在不产生土壤盐渍化的临界地下水水位与维护生态植被正常生长的生态地下水水位之间。不同区域则应根据具体的降水、土壤、地下水水位、作物等实际状况, 科学确定更加细致的评价指标考核目标值。

2. 认真落实“四水四定”, 根据水资源承载力严格控制不同区域的农业耗用水总量与强度, 发展适水农业, 彻底遏制水资源紧缺地区节水改造灌区灌溉面积盲目扩张、地下水水位不断下降的态势; 同时为了保障国家食物安全和农产品有效供给, 应通过跨区域调水 and 在水资源丰富地区扩大灌溉面积, 使2035年前后的农业用水总量适度增加到3875亿m³

“四水四定”就是要在水资源刚性约束条件下, 做到适水发展、科学发展和高质量发展。适水农业就是通过地表水、地下水、非常规水的优化配置和开发、利用、节约、保护, 最大限度地满足农业用水需求, 以水定农业规模, 以水定种植结构, 以水定作物产量, 控制水资源开发利用的不利环境影响, 保障水资源可持续利用和农业可持续发展。发展适水农业是更高层面的农业节水战略。随着水资源进一步短缺及农业用水比例持续降低, 只有发展适水农业, 才能从根本上解决农业用水供需矛盾。必须根据不同区域水资源特点, 通过系统设计、协同推进, 以水定种, 以水限产, 提质增效。结合深化农业供给侧结构性改革, 适度压缩高耗水作物种植面积, 减小区域农业耗用水强度, 建立适水

农业种植结构。

一方面, 基于GRACE卫星遥感数据以及陆地水储量变化与生态演变的关系分析, 为了维护区域生态健康和可持续发展, 目前技术水平下西北内陆干旱区灌溉耕地面积阈值约为1.2亿亩, 其中新疆约为1.05亿亩, 河西走廊约为1500万亩。从保持地下水适宜埋深和湖泊湿地的生态安全和稳定考虑, 在不突破现有黄河分水指标下, 宁蒙引黄灌区适度灌溉面积阈值为1700万亩, 其中内蒙古河套灌区为1100万亩, 宁夏引黄灌区为600万亩, 未来南水北调西线工程实施和黄河“八七分水方案”适度调整后再进行灌区规模调整, 达到适水发展的科学合理状态。

另一方面, 为了给国家新一轮千亿斤粮食产能提升行动、“力争到2035年左右把15.46亿亩永久基本农田全部建成高标准农田”提供水安全保障, 应在大力发展农业节水的同时, 通过跨区域调水和在水资源丰富地区适度增加灌溉面积, 保障在2035年前后农业用水总量适度增加到3875亿m³。

3. 统一协调灌区续建配套节水改造、高标准农田建设、小型农田水利工程、高效节水灌溉工程等建设项目的规划和实施, 充分发挥不同投资的叠加效应

目前, 灌区建设和骨干农田水利工程、农村供水由水利部门管理, 高标准农田建设和高效节水灌溉由农业农村部门管理, 不利于节水工程统一规划、建设和运维。建议建立全国不同类型节水工程统一管理的行政管理体制, 高度重视小型农田水利工程(小水窖、小水池、小泵站、小塘坝、小水渠)建设和维护的重要性, 对全国小型农田水利工程的数量和使用状况进行系统调查, 逐步开展集中连片式整治修缮和节水改造, 实现小型农田水利工程的维护管理和功能效益发挥。建议在灌区续建配套与现代化改造、高标准农田建设、小型农田水利工程统一规划的基础上, 省、市、县有关部门在工程具体实施中做好有效衔接, 避免出现“田面高于田间渠道”的状况, 重视工程建设的质量控制和后评估, 充分发挥节水工程效益。

从政策、改革等方面继续推进灌区节水改造, 尤其是中小型灌区, 在完善灌区基本灌排设施建设, 特别是解决好灌区“最后一公里”不畅的基础上, 积极推进灌区管理人员和管理模式的现代化, 加快灌区水量监测、自动控制和信息化管理进程, 为未来数字孪生灌区和智慧灌区建设打好坚实基础。

4. 积极推进采用分类分档水价、精准补贴与节水奖励的农业水价综合改革,创新引入社会资本参与节水工程设施建设和管理的可持续机制,通过农户节水增产增效、企业获益以及利用水价杠杆,充分调动社会资本投资和农户投入农业节水的积极性

需要进一步推进采用分类分档水价、节水精准补贴与奖励的农业水价综合改革,鼓励、吸引农民与企业参与到高效节水技术的应用与推广之中,促进农业节水。同时,亟须推进灌区管理改革,大幅度提高管理效率,降低灌溉运行成本水价,降低农业水价改革的难度。

由于农村经济水平相对低下,尤其是对于长期存在在水资源短缺的华北、西北、东北西部地区,有城镇生活和工业供水或高附加值作物占比大的灌区,可以通过农业节水向城镇生活和工业转移水权反哺节水设施建设,或者引入社会资本参与节水设施建设与管理;以作物灌溉,特别是以粮食作物灌溉为主的灌区,如果通过节水改造扩大灌溉面积,增加粮食产能,或者以保生态修复为目标,如通过农业节水回补地下水或满足河流生态基流,则应该以政府投入和节水优惠补贴为主。

高效节水工程与设施建成后,要做到可持续运行和发挥作用,必须政、企、管、用多方共同努力,探索规模化经营,拓展盈利渠道反哺节水设施建管的模式,创新专业化社会力量参与节水工程建设和管护机制。根据近几年多地的现场调研,除了河北桃城区提补式水价改革模式外,具有一定代表性的创新模式还有:

(1) 云南干热河谷以特色经济作物灌溉为主的“元谋模式”

该模式以农业水价综合改革为牵引,强化政府引导作用,引入社会资本和投资主体参与节水工程建设、运营和管理。元谋大型灌区丙间片11.4万亩高效节水灌溉工程,总投资3.07亿元,其中政府投资1.2亿元,大禹节水集团投资1.47亿元,农户自筹自建田间工程投资0.4亿元,虽然水价由0.12元/ m^3 提高到0.9元/ m^3 ,但由于种植作物具有高附加值,而且节肥、增产,净收益增加17.4%,农户具有积极性,改变了节水工程“政府建、无人管”的现状,政府、企业、群众三方共建共管共赢,实现了节水工程持续良性运行。

(2) 通过农业节水向城镇生活和工业转移水权的“河套灌区土地流转集约经营节水工程设施建管模式”

内蒙古河套灌区水利发展中心发挥供水服务优势,结合当地农业龙头企业或种植大户进行土地流转,合作投资建设“引黄滴灌水肥一体化”节水设施,

灌溉定额由450 m^3 /亩减少到300 m^3 /亩,灌溉水价由0.103元/ m^3 提高到0.65元/ m^3 ,滴灌水肥一体化技术与玉米增密栽培配套,亩产提高350 kg以上,每亩净效益增加600元以上,水价提升反而使种植大户的净收益增加。对于节约的水量,灌区管理单位通过水权交易收入约300元/亩,反哺节水设施建设,同时调动了灌区水管单位和种植大户的积极性。

(3) 江苏华源公司的“彩虹农服模式”

江苏华源节水股份有限公司提供大型卷盘式喷灌机和技术管理人员,当地有意愿有条件的劳动力参与入股,组建灌溉服务队,为规模化种植户提供专业化、全方位的灌溉解决方案。公司一台中大型卷盘式喷灌机投入3万元,每台喷灌机控制200亩,一般全年灌水4次,每次灌水收灌溉服务费32元/亩,而传统地面灌溉人工费50~70元/亩。1台卷盘式喷灌机年净收入约16 000元,公司2年可收回喷灌机成本。这种“农服模式”盘活了节水灌溉设备资产,不仅减少了灌溉人工成本,还可节水80 m^3 /亩,农户参与的积极性较高。目前,该模式已在山东、河南、安徽等地推广,投入卷盘式喷灌机设备350台套,形成了30人左右稳定的灌溉合伙人,服务面积达7万亩。

这些模式可能仅适合一些特定的条件,还需要在更大范围内试验和探索,不断总结经验和发展完善,创建出更多具有广适性的节水灌溉工程设施建设和运行管理可持续的新模式,充分调动社会资本投资和农户投入农业节水的积极性。

5. 强化科技支撑,藏水于技,发展高水效农业,减少单位食物和农产品生产的净耗水和灌溉用水,走技术进步替代灌溉用水大幅度增加之路,推动农业节水高质量发展

解决我国农业发展的水安全保障问题,根本出路在于藏水于技,发展高水效农业,通过科技创新减少单位食物和农产品生产的净耗水和灌溉用水,走技术进步替代灌溉用水增加之路。藏水于技就是要通过农业高效用水关键核心技术与重大关键产品、区域绿色高效用水模式的突破,大幅度提高灌溉水利用系数和水的生产效率与效益,在尽量少增加农业用水总量的条件下,获得粮食或其他农产品产量与质量的大幅度提升。同时,通过区域水土资源优化配置和作物种植结构、种植制度调整,合理布局农业生产,更好地挖潜水资源利用的效率和效益,缓解水资源紧缺对食物安全和农产品有效供给的威胁,全面提升我国农业水安全保障能力。

农业节水科技创新,应面向水资源紧缺条件下保障食物安全和农产品有效供给以及农业可持续发展的战略需求,贯通供水、输水、配水和用水全过程,加强与生物信息学、大数据、人工智能、云计算、机器人、传感器、物联网、多源遥感等技术的交叉融合和创新运用,促进农业节水向智慧化、精准化、无人化方向转变,发展新质生产力,提升我国农业节水研究的理论水平和解决实际问题的能力,为新一轮千亿斤粮食产能提升行动的实现和未来粮棉油的可持续生产提供科技支撑,为“力争到2035年左右把15.46亿亩永久基本农田全部建成高标准农田”提供可靠的水安全保障。

围绕农业节水与水资源高效利用的国际前沿与保障食物安全和农产品有效供给以及农业可持续发展对农业节水的科技需求,按照核心理论突破-关键技术与产品研发-场景化综合模式集成开展创新,形成“理论-技术-产品-模式”全链条的农业节水综合技术体系。突破作物高水效表型诊断与靶向调控、区域水-土-气-粮-生系统解析与适水农业发展路径优化理论和方法;攻克农艺节水增效、作物多尺度需水智能预报与高效用水、高标准农田喷灌水肥精准管理、大规模滴灌系统关键设备与智能管控、高标准农田精细地面灌溉、丘陵山地绿色智慧集雨补灌、高标准旱作农田增蓄降耗、非常规水源高效开发与安全利用、农业供-输-配-用水全过程智慧高效调控等9类关键技术与装备,形成农业节水技术与系统的标准化;创建华北地下水超采区麦-玉轮作节水增粮、东北三江平原水稻节水提质增效、内蒙古东部春玉米节水压采增粮、新疆绿洲棉花节水抑盐提质增效、河西走廊制种玉米节水优质丰产、黄土高原旱地主粮作物轮作减耗提效增产、黄河中游小麦玉米节水增粮、西南季节性干旱区粮经作物节水增效、长江中下游水稻节水减排、现代农业种养结合水循环生态利用等10大应用场景驱动的区域高水效农业综合模式。

坚持产业科技导向,遵循科技发展规律,强化场景驱动的协同创新和技术迭代升级,营造宽松创新生态,激发科研人员活力,提升整体创新效能。充分利用举

国体制优势,发挥国家战略科技力量的引领作用,建立平台、人才、项目“三位一体”的资助模式,联合行业骨干企业与地方科技力量,组建优势互补的创新联合体开展攻关。未来10年,力争使我国的灌溉水利用系数与粮食作物灌溉水生产力提升10%以上,快速追赶国际先进水平;重大关键节水设备与核心产品全面实现国产化,国内企业产品的国际市场占有率提高10%;形成年潜在节水当量150亿~200亿 m^3 ,为国家食物安全与农产品有效供给提供更可靠的水安全保障。

致谢:中国灌溉排水发展中心主任刘云波、农业农村部种植业司肥料与节水处处长薛彦东提出了宝贵的意见和建议,牛俊、丁日升、龚时宏、吴文勇、鲁笑瑶提供了部分资料,在此一并表示感谢。

参考文献:

- [1] 国务院新闻办公室.《中国的粮食安全》白皮书[R].2019.
- [2] 康绍忠.藏粮于水 藏水于技——发展高水效农业 保障国家食物安全[J].中国水利,2022(13):1-5.
- [3] 黄秉信,宋勇军.我国粮食生产重心进一步向北转移[J].中国粮食经济,2020(7):49-52.
- [4] MEHTA P, SIEBERT S, KUMMU M, et al., Half of twenty-first century global irrigation expansion has been in water stressed regions[J].Nature Water, 2024, 2:254-261.
- [5] 中华人民共和国水利部.中国水资源公报[R].2023.
- [6] 王浩.我国用水效率和效益持续提升[N].人民日报,2024-03-25(1).
- [7] 付丽丽.地下水位上升 生态用水充足——华北地区地下水超采综合治理成效显著[N].科技日报,2024-03-22.
- [8] 中国社会科学院农村发展研究所.中国农村发展报告(2021)——面向2035年的农业农村现代化[M].北京:中国社会科学出版社,2021.
- [9] 刘啸,戴向前.对深化农业水价综合改革的若干思考[J].水利发展研究,2023,23(11):70-73.

责任编辑 熊 璠