



董风雪,房海悦,杨慧莹,等.黑龙江省风沙半干旱区水肥一体化技术推广现状与发展对策[J].黑龙江农业科学,2025(11):86-92.

黑龙江省风沙半干旱区水肥一体化技术推广现状与发展对策

董风雪,房海悦,杨慧莹,于运凯,柴丽丽

(黑龙江省农业科学院 齐齐哈尔分院,黑龙江 齐齐哈尔 161006)

摘要:水肥一体化技术是循环农业经济中的重要支撑技术之一,通过将灌溉和施肥过程相结合,实现了作物水分和养分供应的精准管理,可以提高水分和肥料利用率,降低农作物病虫害,对土壤环境保护及改良具有一定的效果。为明确水肥一体化技术在风沙半干旱区提升作物单产与促进可持续发展的作用,通过综述全国及黑龙江省风沙干旱区水肥一体化技术的发展现状,水肥一体化技术的原理、优势及主要措施,分析该技术推广中存在的问题,提出发展对策建议。如相关部门应加大宣传和推广力度,加强对农民的培训 and 指导,出台相应农业补贴;引导农业科研单位进行育种和配套设备攻关,水肥一体化专业液态肥的研发;制定浅埋滴灌水肥一体化地方标准和作业规范,实现技术应用标准化等。

关键词:风沙半干旱区;水肥一体化技术;可持续发展;精准管理;土壤环境保护及改良

粮食安全是国家安全的重要基石,而农业可持续发展是保障粮食产能的核心路径。《全国农业可持续发展规划(2015—2030年)》明确提出,需通过技术创新提升水肥资源利用效率,推动农业绿色转型。风沙半干旱区作为我国重要的农业生产区域,耕地面积广阔但面临水资源匮乏、土壤沙化严重、肥力低下等突出问题,制约了农业单产提升与可持续发展。黑龙江省西部为风沙半干旱区,气候特点是雨热同期,但水资源的时空分布不均,季节性差异对农业经济效益的影响是实现粮食产量提升需要突破的瓶颈。水肥一体化技术通过灌溉与施肥的协同调控,实现水分和养分的精准供应,已被证实可显著提高水肥利用率、降低病虫害发生率,并对土壤改良具有积极作用。然而,当前水肥一体化技术的推广应用仍面临多重制约因素:其一,农户对该技术的认知程度有限,且初期投入成本偏高;其二,适配的耐密植品种供给不足;其三,配套液态肥料产品较为匮乏;其四,标准化技术规程尚未健全,这些因素共同导致水肥一体化技术潜力未能得到充分释放。本研究旨在通过综述全国及黑龙江省风沙半干旱区水肥一体化技术的发展现状,解析其技术原理、优势及主要模式,系统梳理推广中的核心问题,进而提出针对性的发展对策。研究对于推动该技术在风沙半干旱区的标准化应用、提升粮食单产、促进农业可持续发展具有重要的理论与实践意义。

1 风沙半干旱区水肥一体化发展现状

1.1 全国水肥一体化技术发展现状

科学的水肥管理是提高作物生产力、保障产量和品质的关键环节。自20世纪70年代我国引进滴灌设备以来,水肥一体化技术经历了早期探索、试点推广和稳定普及等多个阶段。近年来,立足节水增粮行动,风沙半干旱区的水肥一体化技术得到了全面的推广与应用,全面覆盖东北地区、华北地区、西南地区和南方大部分地区,主要应用于粮食、蔬菜、果树、茶叶、花卉等多种农作物的栽培^[1]。其中,西北、东北西部地区一般采用滴灌模式;华北、长江中下游地区一般采用微喷灌模式;设施农业蔬菜、水果地区一般采用滴灌模式;果园地区一般采用滴灌、微喷灌模式。但受气候影响,在技术具体应用上有很大区别,黑龙江西部地区主要种植春小麦、玉米、大豆等耐寒作物,农业机械需要具有较好排水功能;新疆适合棉花、葡萄、马铃薯等作物生长,已在全疆14个地州及兵团14个师得到了推广应用,覆盖超20万hm²农田^[2],农业设备需要具备良好的防风沙性能和耐旱性;内蒙古东部则以种植谷子、高粱、马铃薯等耐旱耐贫瘠的作物为主,农业设备需要适应较为复杂的地形和气候条件,在播种和收割设备的选择上,要考虑到当地的土壤肥力和作物生长特点。甘肃河西走廊主要种植小麦、玉米、棉花等作物,同时还发展了特色的瓜果种植,农业设备则要注

收稿日期:2025-01-08

基金项目:黑龙江省外向型农业产业技术协同创新推广体系。

第一作者:董风雪(1978—),女,硕士,高级经济师,从事经济管理研究。E-mail:87238630@qq.com。

重与灌溉系统的配套并具备防风功能。水肥一体化技术通过配置农业物联网与远程控制设备,已形成信息化、精准化、自动化的智能管理体系,目前主要应用于经济与科技实力较强的工厂化生产企业、现代农业示范区及果树种植区,用于培育高经济价值的花卉、水培蔬菜及优质果品^[3]。孙晓周等^[4]针对玉米生长中后期普遍存在的浇水追肥用工难、产量低且不稳等问题,开展玉米滴灌水肥一体化配套技术应用研究,结果表明,增产率达25.9%,节水15%~20%,节肥20%~30%,具有很高的推广价值。李娜等^[5]在小麦种植中采用微喷灌水肥一体化技术,与常规施肥相比增产36.35 kg·(667 m²)⁻¹,增产率7.80%,增产效果显著。王国栋等^[6]规定滴灌棉花水肥一体化定义、播种要求、田间管理、水肥指导及收获等技术指标,建立了一套棉花膜下滴灌水肥一体化管理技术规程,指导生产应用。朱保侠等^[7]对设施番茄水肥一体化管理研究表明,在水肥一体化管理下,施肥量节省55.1%、用水量节约23.4%,同时番茄产量提升了12.7%,利润增加了15.9%。

1.2 黑龙江省水肥一体化技术发展现状

黑龙江省西部风沙半干旱区包括龙江县、泰来县、富裕县、杜尔伯特蒙古族自治县、林甸县、甘南县及依安县一部分^[8]。长期以来受水资源缺乏,土质瘠薄,土壤沙化严重等因素的限制,该区域农业经济效益较低,发展速度缓慢。黑龙江省作为中国主要的农耕省份,同时也是国内最关键的农产品贸易中心及国家重要的粮食储备地^[9-10]。国家稳产保供“压舱石”,在粮食生产实现二十连丰的基础上,深入落实《新一轮千亿斤粮食产能提升行动方案(2024—2030年)》,整合政府部门和科研机构力量,深入推进黑土地保护利用,采取工程、农艺、生物等措施,以提高黑土地质量,建成旱能灌涝能排的现代化良田为目标,深挖粮食增产潜力,提升粮食生产能力。黑龙江省已累计实施保护性耕作面积9 850万亩,实施黑土地保护示范区7 800万亩,累计建成高标准农田1.1亿亩以上^[11]。“黑土地保护”政策为水肥一体化技术提供土壤基础保障,减少养分流失;“高标准农田建设”配套灌溉设施,解决技术推广硬件难题,二者联动降低水肥一体化技术应用成本,推动其在西部半干旱区快速落地。推进水肥一体化和大垄双行密植技术作为单产提升的重要手段,特别是黑龙江省西部风沙半干旱区,在玉米、大豆等主要粮食作物上广泛应用,效果显著。

2023—2024年,黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院承担科技增粮任务,在大庆市杜尔伯特蒙

古族自治县、齐齐哈尔市甘南县和梅里斯区建设了3万亩玉米水肥精准调控技术模式高产攻关示范田,经专家现场实收测产,增产幅度均在30%以上。其中黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院示范区平均产量为13 648.63 kg·hm⁻²,对照区平均产量为9 872.86 kg·hm⁻²,技术示范区比对照区增产38.24%。杜蒙示范区平均产量为12 037.5 kg·hm⁻²,对照区平均产量为9 433.5 kg·hm⁻²,增产幅度达到27.6%,扣除成本后增收192.8元·(667 m²)⁻¹。预计到2025年,水肥一体化技术基本可实现大面积推广,并在家庭农场、种植大户、专业合作社等新型经营主体的规模化种植区推广应用。黑龙江省西部风沙半干旱区作为全国同类区域的典型代表,其技术应用成效与问题具有共性参考意义,厘清水肥一体化技术的核心原理与优势,能够为水肥一体化技术的进一步推广应用奠定基础。

2 水肥一体化技术原理与优势

2.1 主要技术原理

滴灌技术作为节水灌溉体系的关键组成,是一种具备高节水率、高资源利用效率的精准灌溉方式。其通过定向输送水分至作物根区,可精准匹配作物不同生育期的水分需求,有效减少水分在输送、蒸发及深层渗漏环节的无效损耗,显著降低水资源浪费,为农业水资源高效利用提供技术支撑^[12]。水肥一体化技术是将灌溉与施肥过程进行系统整合的现代农业生产范式,其核心是依托专用施肥装置,将液态肥料或水溶性肥料与灌溉水混合后,直接输送至作物根区土壤,实现“水肥同施、定向供给”^[13]。该技术可显著提升作物根系对水分与养分的协同吸收效率,一方面促进农作物植株生长发育,实现产量提升与增收目标;另一方面通过养分精准调控改善作物品质,为农产品质量优化提供保障^[14-15]。从管理维度看,水肥一体化技术亦是融合灌溉与施肥的现代农业生产模式,可推动农业生产从“粗放供给”向“精准调控”转型。水肥一体化技术的实现依赖“肥料控释”与“灌溉技术”两大核心模块的协同支撑。

肥料控释原理:通过微粒包衣、缓释基质复合、膜质包裹等控释工艺对肥料进行加工处理,优先选用溶解度高、溶解速率适配、腐蚀性低的肥料类型;同时结合土壤养分基线数据与不同作物在各生育阶段的需肥规律(如养分种类、需求量、吸收峰值),借助水肥一体化设备将肥料与灌溉水按科学配比混合,实现养分向作物根区土壤的均匀、精准输送,保障养分缓慢释放并被作物持续吸收利用,避免养分流失或供给失衡。

灌溉技术原理:灌溉系统是水肥一体化技术的基础载体,其核心是集成滴灌、喷灌、微灌等节水灌溉技术,通过智能化或机械自动化控制手段,精准调控灌溉定额(灌溉水量)与灌溉周期(灌溉时间),确保在作物生长的关键时期(如苗期、孕穗期、灌浆期)实现水分与养分的同步精准供给,构建“水-肥-作物”协同适配的供给体系。

2.2 技术优势

水肥一体化技术的优势有三方面。一是,精准控制水肥。该技术通过集成水肥配比调控与节水灌溉系统,实现对水肥供给量、供给时段的精准控制,依托滴灌、微灌等节水灌溉技术,将水肥混合液定向输送至作物根区,从源头减少水分蒸发、深层渗漏及养分流失,显著提升资源利用效率。相较于传统地面灌溉模式,该技术可实现节水60%~70%,肥料利用效率提升20%~30%,有效破解传统灌溉施肥中“大水大肥”导致的资源浪费问题^[16-18]。二是,节水降害。该技术在节水基础上,能够同步实现降害增效与生态改善的多重效能,一方面通过水肥供应的空间均匀性调控,保障作物群体生长一致性,减少因水肥供给不均导致的生长差异,进而提升作物产量与品质;另一方面,通过定向水肥输送降低田间局部空气相对湿度,维持土壤温度稳定性,改善土壤通气性、保水性等物理性质,同时增强土壤微生物活性。进而可协同降低病虫害发生概率,减少土壤养分淋失量,缓解因水肥过量投入引发的地下水污染,为农业生态环境可持续性提供保障。三是,节本增效。水肥一体化技术通过简化生产流程与优化资源投入,构建“节本-增效”联动机制,在成本控制层面,技术应用显著降低灌溉、施肥环节的劳动力投入强度,结合自动化水肥调控设备,可实现水肥供应的定时段、定剂量精准操作,进一步减少人工成本;同时,通过节水、节肥及病虫害发生率降低,间接减少农药使用量,形成“水-肥-药-人工”多维度成本节约。在效率提升层面,上述成本节约与作物生长环境优化协同作用,推动农业生产效率显著提升,实现“降本”与“增效”的双重目标^[19]。

黑龙江省西部地区应用的“玉米浅埋滴灌增效种植技术”,是水肥一体化技术在干旱半干旱区域的典型实践。该技术通过将具有一定压力的水肥混合液,经灌溉主管道输送至田间毛管,再由毛管上的滴头缓慢均匀滴入玉米根系附近土壤,实现水肥精准供给。实践数据显示,该技术应用下节水率超50%,作物增产率超20%,水肥产出比提升80%以上,同时农药与化肥使用量减少30%以上,既显著提升肥料利用效率,又降低农业面源

污染风险^[20],为水肥一体化技术在风沙半干旱区等水资源约束型区域的规模化应用提供了实践佐证。

3 主要技术模式

本文所述水肥一体化技术主要包括微喷灌、膜下滴灌、大垄密植浅埋滴灌3种模式,其中大垄密植浅埋滴灌是针对黑龙江省风沙半干旱区特点优化的浅埋滴灌衍生模式。

3.1 微喷灌水肥一体化技术

微喷灌水肥一体化技术依托低压管道输送系统,将水肥混合液输送至田间微喷头后,以较高流速实现雾化喷洒,使水肥混合液均匀覆盖作物冠层表面与根区土壤。该技术通过微喷头的雾化效应,将水肥以分散式喷洒方式作用于作物生长关键区域,既保障作物对水肥的直接吸收,又可通过水分蒸发调节局部环境,形成“精准供给-环境适配”的双重技术特征。

该技术在农业生产中呈现多维度应用优势:一是,水肥利用效率显著提升。通过雾化喷洒减少水肥在输送与施用过程中的损耗,实现节水减肥协同效应;二是,技术操作便捷性与应用灵活性突出。可根据作物种类、生育期及地块条件调整喷洒参数,适配不同种植场景;三是,具备田间微气候调节功能。通过水分雾化可改善田间温湿度条件,优化作物生长微生态环境,为作物优质生长提供保障。

该技术在推广中同样存在明显制约因素:一是,对灌溉水源的水质要求严苛。需要配套完善的水质过滤处理系统,避免杂质进入管道引发堵塞,增加前期设备投入成本;二是,田间微喷头易受杂草、作物茎秆及残体等杂物堵塞。导致喷洒均匀性下降,影响水肥供给稳定性;三是,环境适应性较弱。喷洒质量与灌水均匀度受风力条件干扰显著,当风速较大时易出现水肥空间分布不均问题,在一定程度上制约该技术在多风区域的应用效果。李娜等^[5]的田间试验研究表明,微喷灌水肥一体化技术在小麦种植中具有显著的产能提升效应,相较于常规粗放式施肥模式,在该技术应用下小麦产量提升 $36.35 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$,增产率达7.8%,充分证实其在优化小麦水肥供给、提升作物产能方面的应用价值,为该技术在粮食作物种植中的推广应用提供了实践支撑。

3.2 膜下滴灌水肥一体化技术

膜下滴灌水肥一体化技术核心在于将覆膜栽培技术与滴灌系统进行集成耦合,通过将滴灌管道预设于地膜下方,构建“覆膜保墒-滴灌精准供给”

的协同系统。其具体操作流程为:依托管道输送系统将水肥混合液定向输送至膜下滴灌带,滴灌带配备精准滴头,使水肥混合液以持续、微量的滴灌方式注入作物根区土壤,最终实现水肥向作物根系的定向供给与高效吸收,兼具保墒增温与水肥精准调控的双重功能。该技术在实际应用中存在一定局限:一是,滴灌系统灌水器易发生堵塞,影响水肥输送均匀性;二是,长期应用易导致浅层土壤盐分表聚,改变根区土壤盐碱环境,进而抑制作物根系纵深生长;三是,技术采用的高频次灌溉模式对水电供给保障能力要求较高,在水电基础设施薄弱区域易受制约。吴晓红等^[21]研究发现膜下滴灌水肥一体化技术在马铃薯生产中能对产量提升和品质优化具有显著促进效应,该技术应用下,氮、磷和钾肥利用率分别达到 54.6%、30.7% 和 63.9%,马铃薯产量达到 $39.7 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,各项指标均显著高于传统粗放式施肥模式,充分证实该技术在提升肥料利用效率与作物产能方面的突出优势。

3.3 大垄密植浅埋滴灌水肥一体化技术

大垄密植浅埋滴灌水肥一体化技术通过集成融合秸秆全量还田、水肥精准调控、病虫害绿色防控及无人机“一喷多效”等关键技术模块,构建“节水补灌-减肥增效-产能提升”协同耦合的技术体系。该体系以浅埋滴灌为核心载体,实现各技术模块的功能互补与效能叠加,最终达成作物产量提升与农业生产效率优化的核心目标。以玉米为例,在种植规格设计上,采用两种大垄宽窄行配置模式,分别为 130 cm 大垄(40 cm+90 cm)和 110 cm 大垄(40 cm+70 cm)。在作业流程方面,依托播种-施肥-铺管一体化作业机械,一次性高效完成播种、基肥施用、滴灌管铺设、覆土、镇压全流程作业,保障作业效率与各工序紧密衔接。其中,播种深度控制在 3~5 cm,作物种植密度设定为 $5\,500 \sim 6\,000 \text{ 株} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$,确保群体结构合理性与资源利用最大化。水肥管理参数设定方面,水肥供给采用专用水溶肥,全生育期关键参数为灌水量 270~300 mm,灌水 4~6 次 $\cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$,依据作物生育期需水规律动态调整;养分用量为氮肥全生育期用量 $15 \sim 18 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$ 、磷肥用量 $8 \sim 10 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$ 、钾肥用量 $10 \sim 12 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$,通过滴灌系统实现养分的精准分期供给,保障作物各生育阶段养分需求匹配。

4 水肥一体化技术推广应用前景

水肥供给是作物高产稳产的核心物质基础。在传统农业生产中,农户为追求短期产量提升,普

遍采用“大水大肥”的粗放式水肥管理模式,导致水肥调控精准度不足:一方面,容易造成水资源与肥料资源的双重浪费,同时引发农业面源污染,加剧生态环境压力;另一方面,该模式无法破解玉米等主粮作物中后期灌溉需求难以满足的技术瓶颈,易导致作物苗期徒长、茎秆纤细、抗倒伏能力弱化,后期则因养分供给失衡出现生长势衰退、光合效率下降等问题。既不符合国家“一控两减三基本”农业绿色发展总体目标,也制约作物产量与品质提升,对“绿色粮仓”高质量建设形成阻碍^[22]。近年田间实践表明,水肥一体化技术在粮食产能提升中具备关键支撑作用,即便遭遇干旱胁迫,通过浅埋滴灌设施构建的精准水肥调控系统,可针对不同作物生育期需求实施精细化水肥供给,实现资源利用效率最大化^[23]。该技术在多维度呈现显著优势,在资源利用层面,可实现水资源利用率提升与肥料减量增效;在生产效率层面,能够显著降低人工投入,实现劳动力成本节约;在综合效益层面,能同步提升作物产量与品质、优化田间微生态环境,并直接推动农户经济效益增收,是支撑农业绿色高效发展的核心技术路径。从区域实践来看,黑龙江省作为粮食主产区,正积极响应国家粮食安全战略,全力推进千亿斤粮食产能提升行动。未来,黑龙江省将进一步扩大水肥一体化技术应用耕地范围,通过技术规模化落地为粮食产能大幅增长提供刚性保障。

在特色经济作物领域,黑龙江省拥有丰富的特色作物资源,其中浆果类作物(蓝莓、树莓等)和药用植物(各类中药材)对水肥供给精准度要求较高,蔬菜作物(马铃薯、番茄等)亦需科学水肥管理支撑,但当前该类作物水肥一体化技术应用覆盖率较低,具备显著推广潜力与应用空间。预计未来几年,伴随技术普及度的持续提升与农户认知水平的深化,水肥一体化技术在黑龙江省特色经济作物种植领域的应用面积将实现快速扩张,逐步成为推动区域特色农业高质量发展的核心技术驱动力。

5 水肥一体化技术在黑龙江省推广的制约因素

黑龙江省作为我国北方风沙半干旱区的典型代表,其西部区域土壤沙化严重、水资源时空分布不均、积温条件受限,这些地域特征对水肥一体化技术的适配性提出了特殊要求。然而,当前该技术在推广过程中,面临认知、品种、物资、标准四大维度的系统性制约,导致技术应用难以突破从“点状示范”向“规模化落地”转化的瓶颈。

5.1 技术推广力度与服务支撑体系不足

技术推广力度薄弱是制约水肥一体化落地的首要障碍,核心体现在“认知-成本-服务”三重壁垒的叠加。从认知层面看,黑龙江省西部风沙半干旱区农户以小散经营为主,长期依赖“大水大肥”的传统耕作经验,对水肥一体化技术的精准调控逻辑、长期生态效益(如土壤改良)认知深度不足,部分农户将其简单等同于“滴灌+施肥”的叠加,忽视技术对作物生长全周期的协同调控价值,导致主动采纳意愿偏低。从成本层面看,该技术初期投入呈现“高固定成本+持续运维成本”的局面。以浅埋滴灌水肥一体化技术为例,需配套混拌罐、多级过滤管、主管道及毛细支管等核心设备,除去前期较高的设备费用外,还要年投入成本 $80\sim 100\text{元}\cdot(667\text{m}^2)^{-1}$;此外,应用地块需配套灌溉机电井,作业环节需专用130 cm或110 cm轴距拖拉机及播种-施肥-铺管一体机,其经济压力不容忽视。从服务层面看,专业技术指导体系存在“覆盖缺口”,黑龙江省基层农技推广人员与农户的配比低,难以开展滴灌系统维护及水肥配比动态调整的专项培训,难以针对沙质土壤管道铺设深度、季节性干旱期灌水频率等地域性问题提供精准指导,部分农户因操作不当出现管道堵塞、水肥供应失衡等问题,导致进一步降低技术信任度。

5.2 适配性品种供给与技术需求错配

水肥一体化技术的核心优势在于通过精准供水激活作物生产潜力,而品种的生物特性直接决定技术潜力的释放程度。黑龙江省西部风沙半干旱区主栽作物为玉米、大豆,当前该区域推广的品种多为适配传统雨养农业或常规灌溉的类型,与水肥一体化技术的“高水肥、高密植”需求存在显著错配。具体而言,一是,现有栽培品种耐密性不足;二是,喜肥水性缺失;三是,熟期与积温不匹配。

5.3 专用配套液态肥料产品供给短缺

水肥一体化技术对肥料的“水溶性、无残渣、养分均匀性”要求极高,而液态肥料因具备溶解速度快、养分释放可控、适配滴灌系统(无堵塞风险)等优势,是该技术的理想肥料形态。然而,黑龙江省当前液态肥料市场存在“供给总量不足、专用性缺失”的双重问题。从专用性看,针对风沙半干旱区砂质土壤的液态肥研发严重滞后,该区域土壤保肥能力差、养分淋失快,需液态肥具备“缓释-控释”双重特性,而当前市场上的通用液态肥多为速效型;同时,针对黑龙江省主栽作物(玉米、大豆)不同生育期的专用液态肥匮乏,如玉米大喇叭口

期需施用高氮型液态肥,而大豆花荚期需施用高磷钾型液态肥,然而现有产品难以满足这些差异化需求。此外,液态肥生产成本较颗粒肥高 $20\%\sim 30\%$,企业研发与生产意愿偏低,进一步加剧液体肥料的供给短缺。

5.4 配套标准化技术规程和标准体系不健全

标准化技术规程是保障水肥一体化技术“精准落地、效果稳定”的核心前提,而黑龙江省当前尚未建立适配风沙半干旱区的完整标准体系,导致技术应用呈现“碎片化、经验化”特征。从耕作环节看,缺乏秸秆全量还田与滴灌管道铺设的协同标准;从化控环节看,缺失水肥协同下的化控剂应用标准;从植保环节看,缺乏滴灌系统下的病虫害防控标准。此外,黑龙江省尚未出台风沙半干旱区浅埋滴灌水肥一体化技术地方标准。该技术推广时间较短,目前还缺乏相应配套的耕作、化控、植保等标准化技术规程和标准,导致技术应用效果波动较大。

6 发展对策

6.1 宣传推广与政策支持

首先,构建多元协同的宣传推广体系。构建全域覆盖、多层联动的水肥一体化技术宣传推广机制,充分发挥短视频平台、农业类移动应用程序(APP)等新媒体传播载体的广泛传播作用。开发具象化、通俗化的技术操作演示视频、典型应用案例解析等传播内容,系统提升农户对水肥一体化技术的认知深度与接纳意愿,夯实技术推广的认知基础。其次,强化精准化财政补贴支持。完善财政扶持与专项补贴政策,针对具备水肥一体化技术应用条件的种植地块,向农户发放专项补贴。对机电井、混拌罐、过滤罐及配套农机具等高额投入类生产资料给予重点补贴;对管道铺设、设备运维等关键实施环节,按固定比例提供补贴支持,降低农户初始投入门槛。再次,建立信贷与风险保障协同机制。依托农村信用合作社、农业保险机构等服务主体,构建信贷融资与风险保障联动机制,通过信贷支持缓解农户在设备采购、肥料购置等方面的资金压力;通过农业保险产品创新,降低因设备故障、技术应用不当等因素引发的生产损失风险,为技术应用提供稳定保障。最后,完善技术指导长效机制。构建水肥一体化技术专业指导长效服务机制,一是,推行农业技术人员分片驻点制度,按区域明确固定服务人员,定期组织田间实操培训与现场答疑指导,破解农户对技术认知浅薄、应用技能缺失的难题;二是,依托新型农业经营主体(农民专业合作社、种粮大户)发挥带动作

用,牵头建设技术示范田以直观呈现应用成效,并通过联合采购设备与肥料降低投入成本,引导小农户参与技术应用;三是,建立农业技术人员考核评价与农户反馈联动机制,通过双向监督保障技术指导服务落地见效,实现机制化、可持续运行。

6.2 开展育种和配套设备联合攻关

首先,构建产学研深度协同攻关机制。整合农业科研院所、高等院校及农业企业的资源禀赋与技术专长,建立“产学研用”紧密衔接的联合攻关机制,明确各方在育种研发、设备创新、成果转化中的功能定位,形成分工协作、优势互补的技术攻关联合体,为育种与配套设备研发提供系统组织支撑。其次,研发区域适配性作物品种。基于风沙半干旱区的地域生态特征(如干旱少雨、土壤保水保肥能力弱、风沙灾害频发)与农业生产实际需求,定向培育适配该区域生态类型与积温条件的作物品种,重点选育耐密性强、抗倒伏、高产稳产、综合抗性(抗旱、抗病虫害)优异,且适配浅埋滴灌水肥一体化栽培模式的玉米、大豆专用品种,实现作物品种与区域环境、栽培技术的精准匹配。再次,创新水肥一体化配套技术与设备。聚焦农户生产投入成本控制需求,开展水肥一体化关键技术与配套设备的创新性研发,重点突破设备小型化、操作简便化、成本可控化等技术瓶颈,研发兼具科学性(符合作物需水需肥规律)、经济性(降低设备购置与运维成本)与实用性(适配小农户地块规模)的水肥一体化设备,同步优化滴灌带铺设、水肥精准调控等配套技术,减少农户生产投入。最后,推动良种与良法协同融合。建立“良种选育-良法配套”协同联动机制,将定向培育的专用作物品种与浅埋滴灌水肥一体化栽培技术深度融合,通过田间试验示范验证品种与技术的适配性,形成“良种+良法”一体化技术方案,为保障粮食稳定生产、实现增产增收目标提供技术集成支撑,助力区域粮食安全与农业可持续发展。

6.3 专业液态肥的研发

首先,依托优势资源攻克液态肥核心技术。农业科研院所、专业研发机构等主体,依托微生物工程、有机肥料研发领域的技术积累与研究专长,聚焦液态肥研发关键环节,重点突破配方精准优化、养分释放调控、作物吸收效率提升等技术瓶颈,为专用液态肥产品开发奠定技术基础。其次,研发区域适配性水肥一体化液态肥。结合风沙半干旱区土壤沙化、保水保肥能力弱、养分流失率高的特性,以及区域主栽作物(玉米、大豆)的养分需求规律,定向研发适配水肥一体化栽培模式的专用液态肥产品,重点强化腐殖酸、氨基酸等功能性

成分的科学配比,通过功能性成分改良土壤结构、促进作物根系发育,实现肥料利用效率提升与作物抗逆性(抗旱、耐贫瘠)增强的双重效能。再次,构建“产学研用”协同转化与产业化机制。依托农业企业搭建科研成果转化与规模化生产平台,完善“产学研用”协同转化机制,通过企业承接科研成果,开展液态肥规模化生产工艺优化、质量标准制定与市场推广,推动技术成果向实际生产应用转化;同时形成科研单位技术输出、企业产业化运营、农户应用增收的联动模式,实现企业经济效益与农业生产效益的双向提升,为风沙半干旱区农业绿色高效发展提供肥料支撑。

6.4 健全标准化体系与服务模式

首先,构建全流程技术标准化体系。围绕风沙半干旱区水肥一体化技术应用全链条,聚焦地块选址适配性评估、设备安装调试规范、水肥精准调控方案、病虫害绿色防控协同等关键环节。在开展农户需求调研、科研机构技术论证、行业专家评审等多方主体意见征询的基础上,制定发布地方级技术标准与田间作业规程,明确各环节技术参数、操作流程与质量管控要求,为技术规范应用提供刚性依据与实操指南。其次,强化企业主导的服务模式赋能。充分激活农业企业在技术研发与服务供给中的主体效能,一方面支持企业依托自主研发能力,参与水肥一体化技术示范基地建设,通过示范场景验证技术与产品适配性;另一方面推动企业构建“物资供应+技术服务”一体化支撑模式,为农户提供灌溉设备、水溶肥料等核心物资的优质供应。同步配套设备系统运维、全周期技术咨询、应急问题处置等服务,形成“产品-服务-保障”闭环,有效解决农户技术应用中的后顾之忧,保障水肥一体化技术稳定落地与高效运行。

7 结语

风沙半干旱区水肥一体化技术在农业生产系统中具有不可替代的战略作用。其通过精准调控水肥供给模式,可显著提升水资源利用效率与肥料利用效率,有效缓解区域水资源短缺、土壤保肥能力弱及养分流失率高的生态制约,同时减少水肥过量投入引发的环境风险,为区域农业绿色可持续发展提供关键技术支撑。尽管该技术应用价值显著,在推广过程中仍面临技术适配性不足、农户接受度不足、成本较高、服务保障体系不完善等现实瓶颈。对此,需依托政府部门、科研机构、市场主体(如农业企业、新型经营主体)的协同联动,构建“政策保障-技术创新-管理优化”多维度协同机制。以政策支持夯实推广基础(如财政补贴、标准体系构建),以技术指导突破应用壁垒(如产学

研联合攻关、田间实操培训),以管理优化提升实施效能(如考核反馈机制、服务闭环构建),通过多主体、多维度协同发力破解推广瓶颈,推动水肥一体化技术向更大范围、更深层次应用。通过上述协同机制的落地实施,可充分释放水肥一体化技术的应用潜力,不仅为风沙半干旱区农业生产效率提升提供技术保障,更能通过稳粮增产、降本增效的双重作用,为区域农民增收致富与农业高质量发展注入持久动力。

参考文献:

[1] 史国慧. 水肥一体化技术提高水肥利用效率研究进展[J]. 农业工程技术, 2019, 39(5): 51-53.

[2] 蒋智超, 黄家鹏, 王雄, 等. 新疆智能水肥一体化应用现状及前景[J]. 新疆农机化, 2024(4): 51-54.

[3] 陈芳. 水肥一体化技术发展现状与对策[J]. 农业工程, 2022, 12(2): 75-78.

[4] 孙晓周, 李钦梅, 杨丙俭, 等. 玉米滴灌水肥一体化技术研究[J]. 基层农技推广, 2019, 7(12): 20-22.

[5] 李娜, 刘胜海. 望都县小麦微喷灌水肥一体化增产效益分析[J]. 农民致富之友, 2013(6): 102.

[6] 王国栋, 李全胜, 戴显余, 等. 棉花膜下滴灌水肥一体化管理技术规程[J]. 新疆农垦科技, 2021, 44(2): 42-44.

[7] 朱保侠, 王鲁豫. 水肥一体化管理对设施番茄产量和经济效益的影响[J]. 现代农业科技, 2020(14): 58-59, 62.

[8] 刘忠秩. 黑龙江省西部风沙半干旱区农业综合开发研究[J]. 理论观察, 1993(1): 23-25.

[9] 高洪福, 刘家明. 筑牢中华大粮仓的交易平台: 北大荒粮食电子交易市场公司发展纪实[J]. 中国农垦, 2011(5): 67-69.

[10] 赵国春. 从北大荒到“中华大粮仓”[J]. 生命世界, 2010(5): 12-14.

[11] 周静. 黑龙江: 打造更加坚实可靠稳固大粮仓[N]. 黑龙江日报, 2024-01-04(001).

[12] 麦玉卿. 滴灌技术在农田水利灌溉中的有效运用[J]. 农业产业化, 2024(12): 92-94.

[13] 王文刚, 孟纷, 李帅, 等. 水肥一体化技术应用现状及发展对策[J]. 中国果菜, 2019, 39(10): 68-70.

[14] 许庆广. 水肥一体化技术在实际应用中存在的问题及对策[J]. 现代农村科技, 2019(12): 60-61.

[15] 于珍珍. 水肥气耦合调控土壤环境对玉米生长影响的研究[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2020.

[16] 杨柳, 南雄雄, 李永华. 水肥一体化技术对叶用枸杞干物质积累及养分吸收的影响[J]. 北方园艺, 2022(13): 112-118.

[17] 沈东萍, 张国强, 王克如, 等. 水肥一体化施磷对滴灌高产春玉米产量及肥料利用率的影响[J]. 玉米科学, 2022, 30(1): 152-157.

[18] 骆洪义, 李志红, 贾国燊, 等. 水肥一体化条件下生菜养分吸收特性研究[J]. 山东农业科学, 2022, 54(6): 99-103.

[19] 裴海河, 张国明, 宋振凤, 等. 水肥一体化滴灌技术助力黑土地保护[J]. 农机市场, 2023(12): 26-28.

[20] 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.

[21] 吴晓红, 曾路生, 李俊良, 等. 膜下滴灌不同施肥处理对马铃薯产量和品质及肥料利用率的影响[J]. 华北农学报, 2016, 31(5): 193-198.

[22] 王炳春. “水肥一体化技术”在产粮第一大省单产提升中的应用[J]. 黑龙江粮食, 2024(1): 12-14.

[23] 赵迪. 白城市水肥一体化技术推广工作现状与发展对策[J]. 贵州农机化, 2024(4): 16-19.

Current Situation and Development Countermeasures of Water and Fertilizer Integration Technology in Sandy and Semiarid Regions of Heilongjiang Province

DONG Fengxue, FANG Haiyue, YANG Huiying, YU Yunkai, CHAI Lili

(Qiqihar Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihar 161006, China)

Abstract: By integrating irrigation and fertilization processes to achieve precision management of crop water and nutrient supply, water and fertilizer integration technology has become an crucial supporting technology in the circular agricultural economy, which can improve water and fertilizer utilization rate, reduce crop diseases and pests, and contribute to soil environmental protection and improvement. In order to clarify the role of integrated water and fertilizer technology in improving agricultural yield and promoting sustainable development in sandy and semi-arid areas, this paper summarized the development status of the integrated technology of water and fertilizer in the whole country and Heilongjiang Province, including its principles, advantages and main implementation measures, analyzed the existing problems in the promotion of the technology, and proposed development countermeasures. For instance, relevant departments should intensify publicity and promotion efforts, strengthen training and guidance for farmers, and introduce corresponding agricultural subsidies. Moreover, agricultural research institutions should be guided to focus on breeding and supporting equipment breakthroughs, develop specialized liquid fertilizers for water and fertilizer integration, and establish local standards and operational specifications for shallow-buried drip irrigation-based water and fertilizer integration to standardize the application of the technology.

Keywords: sandy and semi-arid areas; water and fertilizer integration technology; sustainable development; precision management; soil environmental protection and improvement