微润灌溉技术应用研究

朱宏方

内蒙古河套灌区水利发展中心乌拉特分中心

DOI:10.12238/hwr.v9i7.6491

[摘要] 微润灌溉技术作为新型节水灌溉方式,依托高分子半透膜实现连续精准供水,突破传统间歇灌溉模式,在干旱区农业、生态修复领域优势显著。本文结合内蒙古河套灌区、宁夏干旱区等典型案例,系统分析其节水效率、作物增产及生态修复效益,揭示其在盐碱地改良、荒漠化治理中的独特价值。针对成本与设计规范等瓶颈,提出智能化升级、政策补贴等优化路径,为全球干旱区水资源高效利用提供参考。

[关键词] 微润灌溉; 节水技术; 生态修复; 干旱区农业; 水肥一体化

中图分类号: TU991.64 **文献标识码:** A

Research on the application of micro-irrigation technology

Hongfang Zhu

Ulate Branch of Inner Mongolia Hetao Irrigation District Water Conservancy Development Center

[Abstract] As a novel water-saving irrigation method, micro-irrigation technology relies on polymer semipermeable membranes to achieve continuous and precise water supply, breaking through the traditional intermittent irrigation mode and demonstrating significant advantages in the fields of agriculture and ecological restoration in arid regions. This paper systematically analyzes the water-saving efficiency, crop yield increase, and ecological restoration benefits of micro-irrigation technology through typical case studies such as the Hetao Irrigation District in Inner Mongolia and the arid regions of Ningxia, revealing its unique value in saline-alkali soil improvement and desertification control. In response to bottlenecks such as cost and design specifications, this paper proposes optimization paths such as intelligent upgrading and policy subsidies, providing a reference for the efficient utilization of water resources in arid regions worldwide.

[Key words] micro-irrigation; water-saving technology; ecological restoration; arid area agriculture; water-fertilizer integration

引言

全球水资源短缺与农业用水矛盾日益突出,传统灌溉方式效率低下(如地面灌溉利用率仅40%~50%),推动节水技术创新成为农业可持续发展的关键。微润灌溉技术以半透膜为核心,通过连续低流量供水实现水肥精准调控,较滴灌节水70%以上,且适应复杂地形与极端环境,在干旱区农业、生态修复中潜力巨大^[1]。国内自该技术商业化推广以来,已在内蒙古河套灌区、草原,宁夏同心县等地形成“机理研究-应用示范-模式创新”体系,但缺乏系统性理论总结与推广规范。本文结合典型案例,从技术机理、应用场景、效益评估、推广瓶颈展开研究,提出优化策略。

1 微润灌溉技术机理与创新

1.1 技术原理与核心优势

微润灌溉技术的核心在于其独特的半透膜驱动机制,这一机制巧妙地利用了水势差与土壤势能之间的动态平衡关系,实

现了无动力条件下的稳定供水。具体而言,半透膜具有选择性透过特性,当膜两侧存在水势差时,水分会自发地从高水势一侧向低水势一侧渗透,直至达到动态平衡。在微润灌溉系统中,通过合理设计半透膜的材质与结构,使其能够精确控制水分的渗透速率,从而满足作物根系的吸水需求^[2]。相较于传统滴灌技术,微润灌溉无需额外的动力设备来驱动水流,仅依靠自然的水势差即可完成灌溉过程,因此可节能高达95%,显著降低了灌溉系统的运行成本。

连续灌溉模式是微润灌溉技术的另一大核心优势。传统灌溉方式往往采用间歇性供水,导致土壤含水率呈现周期性波动,这种波动会对作物的根系生长和生理活动产生不利影响,如引发周期性旱涝胁迫,影响作物对水分和养分的吸收利用。而微润灌溉技术通过连续、低流量的供水方式,模拟了植物在自然环境下的24小时吸水过程,使土壤含水率始终保持在相对稳定的范

围内,波动幅度降低60%以上。这种稳定的土壤水分环境有利于作物根系的均匀生长和发育,提高了作物对水分和养分的利用效率,进而促进了作物的健康生长和高产稳产。

精准调控能力是微润灌溉技术适应不同作物需水规律的关键。通过在水位控制器中设置不同的水位阈值,可以精确调节微润灌溉系统的出水量,从而满足不同作物在不同生长阶段的需水需求。例如,玉米在苗期的需水量相对较少,仅为其生育期总需水量的30%左右,此时可以通过降低水位控制器的水位阈值,减少系统的出水量,避免水分浪费和土壤过湿;而在玉米的抽雄吐丝期和灌浆期,需水量大幅增加,此时则可以提高水位阈值,增加系统的出水量,确保作物获得充足的水分供应。这种精准的调控能力使得微润灌溉技术能够适应各种作物的种植需求,提高了灌溉的针对性和有效性。

1.2 技术迭代与设备创新

随着微润灌溉技术的不断发展和应用需求的不断提高,其技术迭代和设备创新也取得了显著进展^[3]。第一代微润管采用单层膜结构,具有结构简单、成本低廉等优点,适用于浅层作物的灌溉,如蔬菜、草本花卉等,埋深一般在10-20cm之间。然而,单层膜结构的微润管在蓄水能力和抗堵塞性能方面存在一定的局限性,限制了其在一些特殊环境下的应用。

为了克服第一代微润管的不足,第二代微型水库应运而生。微型水库采用袋状设计,内部填充有吸水性材料,能够显著提升蓄水量,较第一代微润管提升3倍以上。这种设计使得微型水库能够为果树等稀植作物提供更长时间的水分供应,减少了灌溉频率,降低了劳动强度。同时,袋状结构还能够有效防止土壤颗粒进入系统内部,提高了系统的抗堵塞性能,延长了设备的使用寿命。

随着物联网技术的快速发展,第三代智能系统成为微润灌溉技术的新方向。第三代智能系统集成了物联网传感器、无线通信模块和智能控制器等先进设备,能够实时监测土壤水分、作物生长状况等关键参数,并通过无线通信网络将数据传输至远程监控平台。用户可以通过手机APP或电脑终端远程查看系统运行状态,并根据监测数据自动调整灌溉参数,实现远程监控与自动启闭。这种智能化的管理方式大大提高了灌溉管理的效率,减少了人工干预,为大规模、集约化的农业生产提供了有力支持。据实际应用数据显示,采用第三代智能系统的微润灌溉系统,管理效率可提升50%以上,具有广阔的应用前景。

2 典型应用场景与效益分析

2.1 农业节水增效

在内蒙古河套灌区这一重要的农业产区,微润灌溉技术展现出了卓越的节水与增产效能。该地区传统上采用滴灌方式进行玉米种植,然而微润灌溉技术的引入带来了显著变革。在实际应用中,微润灌溉较滴灌节水达40%。这得益于其独特的半透膜驱动机制与连续灌溉模式,能够精准控制水分供应,避免了传统滴灌可能存在的水分浪费现象^[4]。同时,亩均增产15%,这一成果得益于稳定的土壤水分环境,为玉米根系生长和养分吸收提供

良好条件,促进了玉米的生长发育和产量形成。此外,肥料利用率提高35%,由于微润灌溉实现了水肥一体化精准调控,肥料能够随着水分均匀渗透到作物根系周围,减少了肥料的流失和挥发,提高了作物对肥料的吸收效率,从而降低了肥料使用成本,实现了农业的绿色可持续发展。

宁夏同心县枣树示范区同样见证了微润灌溉技术的显著优势。采用微型水库灌溉方式后,土壤含水率能够稳定保持在田间持水率的70%-80%。这种稳定的土壤水分环境为枣树的生长提供了理想条件,使得枣树坐果率提升20%。微型水库的袋状设计不仅增加了蓄水量,还能够根据枣树的需水规律缓慢释放水分,避免了因水分波动对枣树生理活动造成的不利影响,促进了花芽分化和果实发育,提高了枣树的产量和品质。

2.2 生态修复与荒漠化治理

阿联酋沙漠绿化工程是微润灌溉技术在生态修复领域的成功典范。在极端干旱的沙漠环境中,微润灌溉技术发挥了关键作用。通过持续、稳定的水分供应,沙地植被覆盖率从最初的5%大幅提升至35%。微润灌溉模拟了自然降水过程,为沙漠植物提供了适宜的生长条件,促进了植物种子的萌发和幼苗的生长。同时,种子萌发周期缩短至5天,大大提高了植物的成活率和生长速度,加速了沙漠生态系统的恢复和重建,为改善当地生态环境、防止沙漠化扩张做出了重要贡献。

内蒙古乌兰察布草原在荒漠化治理过程中,微润灌溉技术也取得了令人瞩目的成果。在黄芪种植中,较漫灌节水80%,这一巨大的节水效益得益于微润灌溉的低流量、连续供水特点,能够精准满足黄芪生长的水分需求,避免了漫灌造成的水分大量渗漏和蒸发。同时,产量提高81%,稳定的土壤水分环境有利于黄芪根系的发育和有效成分的积累,提高了黄芪的品质和产量。此外,土壤盐碱度下降40%,微润灌溉通过改善土壤水分状况,促进了土壤中盐分的淋洗和排出,减轻了土壤盐碱化对植物生长的抑制作用,为草原生态系统的恢复和可持续发展奠定了基础。

2.3 特殊地形适应性

湖北秭归梯田地形复杂,传统灌溉方式难以满足作物生长需求。而雨洪积蓄-微润灌溉模式的应用,有效解决了这一问题。该模式将雨洪资源进行积蓄,然后通过微润灌溉系统为柑橘树提供稳定的水分供应。灌溉水量从原来的400m³/亩大幅降至70m³/亩,同时柑橘产量提高30%。这一成果得益于雨洪积蓄为微润灌溉提供了充足的水源,而微润灌溉则能够根据柑橘树的需水规律精准供水,避免了水分过多或过少对柑橘生长的不利影响,提高了水分利用效率和柑橘产量。

徐州荒山治理面临着土壤贫瘠、保水能力差等难题。微润灌溉结合客土改良技术的应用,取得了显著成效。通过客土改良改善了土壤结构和肥力,而微润灌溉则为植物生长提供了稳定的水分保障。使裸岩地植被覆盖率从0提升至25%,同时人工成本降低80%。微润灌溉的精准供水减少了人工灌溉的频率和劳动强度,降低了治理成本,提高了荒山治理的效率和效益,为类似地区的生态修复提供了可借鉴的经验。

3 技术推广瓶颈与优化策略

3.1 成本与经济性约束

微润灌溉技术在推广过程中,成本与经济性问题是制约其广泛应用的重要因素。从初期投资来看,亩均设备成本约1500元,而传统滴灌亩均设备成本仅为800元。较高的初期投资对于小农户而言是一笔不小的开支,许多小农户由于资金有限,难以承担微润灌溉系统的建设费用,从而限制了该技术在小规模农业生产中的应用。

在设备维护方面,膜材料寿命相对较短,一般为3-5年。膜材料作为微润灌溉系统的核心部件,其更换成本较高,占年运营费用的40%。频繁更换膜材料不仅增加了运营成本,还影响了灌溉系统的稳定性和连续性。此外,其他设备部件的维护和检修也需要一定的费用支出,如水泵、管道等的维修和更换,进一步加重了农户的经济负担。这些问题使得一些农户对微润灌溉技术的接受度降低,影响了技术的推广速度和范围。

3.2 技术规范缺失

技术规范的缺失也是微润灌溉技术推广面临的一大挑战。在设计标准方面,目前缺乏针对不同土壤类型、作物的湿润体体积计算公式。不同土壤的质地、结构和水力特性存在差异,对水分的吸收和保持能力也不同;不同作物的根系分布和需水规律也各不相同。由于没有统一的设计标准,在实际工程设计中,往往只能凭借经验进行估算,导致灌溉系统的设计不合理,湿润体体积过大或过小,无法满足作物的生长需求,影响了灌溉效果和作物产量。

在灌溉制度方面,尚未建立基于作物蒸腾量的动态供水模型。作物的蒸腾量会随着生长阶段、气象条件等因素的变化而变化,传统的灌溉制度往往采用固定的灌溉时间和灌溉量,无法根据作物的实际需水情况进行动态调整,容易造成水分浪费或作物缺水。缺乏科学的灌溉制度,使得微润灌溉技术的优势难以充分发挥,限制了其在农业生产中的推广应用。

3.3 优化路径

针对上述问题,需要采取一系列优化策略来推动微润灌溉技术的推广应用。智能化升级是提高技术性能和管理效率的重

要途径。开发AI决策系统,该系统能够实时收集气象数据,如温度、湿度、光照强度等,并根据这些数据自动调整灌溉参数,如压力水头、埋深等。通过智能化的灌溉控制,能够实现精准灌溉,提高水分利用效率,减少人工干预,降低劳动强度。

政策补贴机制对于降低农户采用成本、提高技术接受度具有重要作用。政府可以对采用微润灌溉的农户给予50%的设备补贴,并将微润灌溉纳入农业节水奖励范围。通过经济激励措施,减轻农户的经济负担,提高农户采用新技术的积极性,促进微润灌溉技术的广泛应用。

跨学科协作是解决技术难题、推动技术创新的关键。联合材料科学、土壤学等领域的专家,共同攻关长寿命膜材料的研发。目标是开发出寿命 ≥ 10 年的膜材料,提高膜材料的耐用性和稳定性,降低膜材料的更换成本。通过跨学科的合作与交流,整合各方优势资源,加速技术创新的进程,为微润灌溉技术的推广应用提供坚实的技术支撑。

4 结论与展望

微润灌溉技术通过机理创新与场景拓展,在干旱区农业、生态修复中实现节水与增效的双重目标,但成本、规范等瓶颈需通过智能化、政策支持与跨学科研究突破。未来可探索“微润+光伏”清洁能源供能模式,降低运营成本;同时加强国际合作,推动技术标准互认,为全球干旱区可持续发展提供中国方案。

[参考文献]

- [1]陶涛.微润灌条件下微润袋入渗特性试验研究[D].河北工程大学,2014.
- [2]王振忠.微润灌水器深埋条件下土壤水分入渗湿润特性试验研究[J].水利技术监督,2016,24(06):3-5+121.
- [3]毛晓超.微润灌条件下微润管入渗特性试验研究[D].河北工程大学,2014.
- [4]水利部科技推广中心.2021年水利先进实用技术重点推广指导目录[M].中国水利水电出版社,2022.02.335.

作者简介:

朱宏方(1983--),女,汉族,内蒙古人,本科,工程师,研究方向:水利水电。