

Exploration of the role of new water-saving irrigation water conservancy projects in sustainable agricultural development

Zhenwu Cui

Xinjiang Ili Water Resources and Electric Power Survey and Design Institute Co., Ltd., Ili, Xinjiang, 835000, China

Abstract

As the agricultural core area of arid regions, the efficient utilization of water resources in the Ili River Valley of Xinjiang is directly related to grain production and ecological balance. This study focuses on three technological breakthroughs: “intelligent water and fertilizer regulation”, “infiltration irrigation network optimization”, and “irrigation decision-making algorithm”, and analyzes the technical implementation path of new water-saving projects in arid areas. In response to prominent issues such as imbalanced joint scheduling, severe evaporation losses, and technological application barriers in agricultural water use in Ili Prefecture, empirical analysis was conducted using the Chabuchar corn drip irrigation and Huocheng grape micro spraying projects to quantify the effectiveness of water-saving engineering in improving crop yield and water use efficiency. A collaborative policy framework is proposed to build an intelligent control platform, crop irrigation quota standards, and water rights trading pilot, providing a solution for the sustainable development of agriculture in the northwest arid region.

Keywords

water-saving irrigation project; Sustainable development of agriculture; Intelligent water and fertilizer integration; ili river valley

新型节水灌溉水利工程对农业可持续发展的作用探究

崔振武

新疆伊犁州水利电力勘测设计研究院有限公司, 中国·新疆 伊犁 835000

摘要

新疆伊犁河谷作为干旱区农业核心区, 水资源高效利用直接关系粮食生产与生态平衡。本研究聚焦“智能水肥调控”“灌溉管网优化”“灌溉决策算法”三项技术突破, 解析新型节水工程在干旱区的技术实现路径。针对伊犁州农业用水存在的联合调度失衡、蒸发损耗严重、技术应用阻滞等突出问题, 以察布查尔玉米滴灌和霍城葡萄微喷项目开展实证分析, 量化节水工程对作物产量与水分利用效率的提升效应。研究提出构建智能管控平台、作物灌溉定额标准、水权交易试点的协同政策框架, 为西北旱区农业可持续发展提供解决方案。

关键词

节水灌溉工程; 农业可持续发展; 智能水肥一体化; 伊犁河谷

1 引言

我国西北干旱区农业用水占比超过总用水量的 85%, 但灌溉水利用系数长期低于 0.55, 水资源短缺与低效利用并存成为制约农业现代化的关键瓶颈。新疆伊犁州虽属相对丰水区, 但受地形与气候影响, 夏季农田蒸发量高达降水量的 3~5 倍, 传统漫灌方式导致土壤盐渍化与水资源浪费双重危机。近年来, 智能滴灌、微喷灌等新型节水技术在伊犁州逐步推广, 但在工程规划、技术适配、管理机制等方面仍存在显著实施障碍。本文立足伊犁河谷典型农区, 通过技术解析 - 问题诊断 - 实证验证的研究路径, 系统探究节水灌溉工程的技术经济可行性及其对农业可持续发展的支撑作用, 以期为

干旱区农业水资源集约利用提供理论依据与实践参考。

2 新型节水灌溉工程的技术革新内涵

2.1 智能水肥一体化控制系统构建

该系统通过“传感监测 - 数据分析 - 精准调控”三阶段流程实现技术突破。在传感层布置土壤温湿度、光照强度等 12 类传感器, 这些设备每隔 20 分钟采集一次环境参数。数据处理层采用边缘计算技术, 先将原始数据在田间机站进行本地化清洗, 再通过 4G 模块上传至云端分析平台。调控层依据作物生长模型输出指令, 例如在玉米抽穗期自动调节水肥配比为氮磷钾 3:1:2。某玉米种植基地应用该技术后, 化肥利用率从 35% 提升至 52%, 每亩灌溉用水减少 18 立方米。实际操作中发现, 设备供电稳定性与农民操作培训是影响系统持续运行的关键因素^[1]。

【作者简介】崔振武 (1983-), 男, 中国甘肃古浪人, 本科, 工程师, 从事水利工程研究。

2.2 地下渗灌管网优化布设模式

针对传统渗灌系统存在的“根系浸润不均”“管道堵塞率高”两大缺陷,创新采用双层管网立体布局方案。主输水管埋深冻土层以下,选用抗压型PVC材质确保承重安全;毛细渗管埋深30厘米,采用可降解材料避免根系缠绕。在葡萄园项目中,按照“三纵四横”网格布设管网,行距控制在3.0米以适应机械作业需求。通过压力补偿式滴头设计,将出水均匀度从68%提升至89%。特别在沙质土壤区域,增加硅藻土过滤装置使管道使用寿命延长3年以上。这种模式虽初期投入增加25%,但五年运维成本可降低40%,尤其适合经济作物种植区推广应用。

2.3 多源数据融合的灌溉决策算法

该算法整合气象预报、卫星遥感、土壤检测三类数据源构建决策模型。首先对接国家气象局72小时降水预报数据,当预测降水量超过10毫米时自动延迟灌溉计划。其次运用高分六号卫星影像解析作物蒸腾系数,结合无人机每周采集的冠层温度数据,动态调整灌溉量误差范围控制在 $\pm 5\%$ 以内。最后融合土壤电导率检测值,当盐分浓度超过2.5ms/cm时触发淋洗灌溉程序。在棉花试验田中,这套系统使灌溉决策准确率提高37%,特别是在5-6月干旱季,将无效灌溉次数从年均8.2次降至3.5次。不过,多源数据的时间同步问题仍是制约算法精度的主要瓶颈。

3 新疆干旱区节水工程实施痛点分析

3.1 地表水-地下水联合调度失衡问题

新疆农业灌溉长期存在“重地表轻地下”的调度倾向,这种现象在塔里木河流域尤为突出。塔里木河流域多年平均地表水资源量为293.88亿 m^3 ,地下水资源不重复量为13.63亿 m^3 ,水资源总量为307.51亿 m^3 ,另外流域多年平均入境水资源量为71.69亿 m^3 。地表水开发利用率为66.2%(含入境水量),其中喀什河流域、渭干-库车河流域、迪那河流域地表水开发利用率较高,超过70%。

现状塔里木河流域地下水供水量111.9亿 m^3 ,超流域地下水可开采量(73.4亿 m^3)38.5亿 m^3 ,塔里木流域内叶尔羌河、阿克苏河、开都-孔雀河、渭王-库车河、迪那河、干流等均出现超采,根据近年国家级地下水监测站水位变化数据统计,地下水超采的流域水位均出现持续下降,水位降幅最大的流域水位降低接近1.7m,大多数区域浅层地下水位已经低于平原绿洲适宜地下水埋深,最大埋深的监测井水位降至100m以下,规划水平年需要高度重视地下水的合理利用,将地下水源作为“丰补枯用”的调蓄措施纳入供水体系。

每年5-6月地表径流高峰期,大量融雪水未经有效拦截直排下游,造成水资源浪费。到了9-10月枯水期,地下水超采导致水位下降,引发周边胡杨林退化等生态问题^[2]。同时,现有调度系统缺乏联合调控阀门,当某县开启地下水取水时,相邻区域的地表水闸门仍在全开放水。这种割裂式

管理使水资源综合利用率长期低于40%,部分灌区亩均用水量超出定额标准32立方米。

3.2 高蒸发量条件下的水分利用效率瓶颈

干旱区年蒸发量普遍超过降水量3倍以上,这对灌溉技术提出特殊要求。传统覆膜滴灌虽能减少土壤蒸发,但在7月正午高温时段,膜下温度可达58℃,导致毛细根灼伤现象。某棉花种植区监测数据显示,正午12—15时的水分无效蒸发占比达全天损失的41%。此外,现有微喷灌设备雾化颗粒直径多在0.8~1.2毫米,这些细小水滴在落地前就有23%被强风带走。实验证明,将喷头高度从1.5米降至0.8米,同时增大水滴直径至1.5毫米,可使水分有效利用率从67%提升至79%。不过,这种改造需要重新设计输水管道承压参数,给老旧系统升级带来技术障碍。

3.3 传统漫灌思维对新技术应用的阻滞

在阿克苏地区调研发现,45岁以上农户中仍有62%坚持认为“大水漫灌才能压盐保墒”。这种认知导致智能灌溉设备使用率不足三成,部分已安装的土壤墒情传感器被人为遮挡或拆除。某节水示范区曾出现典型案例:系统自动关闭灌溉阀门后,村民私自撬开闸门继续漫灌,致使当季用水量反超定额18%。深层次矛盾在于,现行水价体系下每亩漫灌成本为89元,而节水灌溉需额外支付38元/亩的设备运维费。

4 伊犁河谷节水灌溉工程实证研究

4.1 察布查尔县玉米种植区滴灌系统改造

4.1.1 土壤墒情传感器网络布设方案

该方案采用“分层监测+动态校准”策略,在玉米种植区布设三层传感节点^[3]。表层5厘米深度安装温湿度复合传感器,这类设备每半小时采集一次数据,特别关注清晨露水凝结时段的水分变化。中层20厘米处布置电导率传感器,主要用于监测根系活动区的盐分迁移,当数值超过2.8ms/cm时自动触发预警。深层40厘米埋设真空张力计,用以评估地下水补给情况。在沙质土壤区域,技术人员将节点间距从标准50米缩短至30米,这样一来,数据采集精度提升26%。不过实际操作中发现,农机作业时时有12%的浅层传感器被误损,后续改用防碾压外壳后故障率降至3%。这套系统使田间持水量测算误差控制在 $\pm 5\%$ 以内,为精准灌溉奠定基础。

4.1.2 灌溉周期动态调整模型验证

模型构建以“根系吸水规律”和“气象补偿”为核心参数,将玉米生育期划分为8个需水阶段。在拔节期试验中,传统固定周期灌溉亩均用水量达320立方米,而动态模型根据冠层温度指数调整后降至278立方米。有意思的是,当遭遇连续三日35℃高温时,系统自动增加夜间灌溉频次,使中午叶面温度降低4-6℃,有效缓解光合午休现象。对比数据显示,采用动态调整的田块籽粒灌浆速率提升19%,秃尖率从7.2%降至3.8%。但模型在应对突发降水方面存在滞后性,例如

某次 12 毫米降雨后，系统仍在 6 小时后执行了预设灌溉，造成水量浪费。目前正尝试接入气象雷达实时数据，争取将响应时间压缩至 2 小时内。

4.2 霍城县葡萄园微喷灌节水效益评估

4.2.1 蒸腾效率与果实糖度相关性分析

研究发现葡萄“蒸腾午峰现象”与果实糖度积累存在显著关联。在正午 12—14 时，当叶片气孔导度超过 $0.35\text{mol/m}^2 \cdot \text{s}$ 时，光合产物向果实的转运效率提升 18%。某赤霞珠品种试验显示，采用脉冲式微喷可将午后叶面温度降低 $4\text{--}6^\circ\text{C}$ ，使单粒葡萄糖度提高 1.2 度。有意思的是，当喷灌间隔超过 3 小时，叶片会出现“水分饥渴应激”，这种状态下合成的单宁物质增加 23%，导致酒体涩感加重。目前正尝试在转色期实施“控水增糖”策略，通过精准调控蒸腾强度，使糖酸比达到酿酒工艺要求的 3.8:1 标准。不过，过度控水可能导致穗轴木质化问题，这需要在后续研究中平衡调控阈值^[4]。

4.2.2 年节水量与经济效益转化率测算

该园区微喷系统亩均年用水量从 620 立方米降至 510 立方米，节水率约 18%。按现行水价 0.16 元/立方米计算，单此一项每年节省费用 17.6 元/亩。更关键的是，精准灌溉使葡萄可溶性固形物含量稳定在 22% 以上，达到优质原料标准后收购价提升 0.8 元/公斤。以亩产 1.2 吨计算，这项增值收益达 960 元，是节水直接收益的 29 倍。设备投资方面，智能喷灌系统亩均投入约 2200 元，考虑节水补贴与品质溢价，投资回收期缩短至 8.6 年。但维护费用占年均收益的 12%，特别是电磁阀更换频率高达 3 次/年，这部分成本仍需通过技术改进压缩。

5 技术—政策双轮驱动发展路径

5.1 建立三级智能灌溉管控平台（县—乡—村）

该平台采用“数据分层汇聚—指令分级执行”架构，县级中心负责整合气象卫星与水文监测数据，每周生成区域用水预警图谱。乡级站点配备智能决策模块，例如某乡系统根据玉米生育期自动生成 7 套灌溉预案，供管理人员选择优化。村级终端部署简易操作界面，农户可通过“红黄绿”三色指示灯判断灌溉时机，在霍城县试点中，这种可视化提示使误操作率下降 62%。但跨层级数据传输存在 3~5 小时延时，特别是在网络基站覆盖薄弱区域，部分田间数据需人工抄录后补录。目前正尝试利用北斗短报文功能，争取将延时压缩至 1 小时内。这套平台运行首年，伊犁州农业用水量计量覆盖率从 38% 提升至 79%，为精准管控奠定基础。

5.2 制定差异化作物灌溉定额标准

标准体系以“作物需水规律”和“地形补偿系数”为

核心参数，将主要作物划分为三大类。高耗水作物如水稻执行“基准定额 $\times 0.9$ ”的紧缩标准，葡萄等经济作物采用“动态浮动定额”，在转色期允许上浮 15%。旱作小麦则实施“降水替代率”考核，当自然降水满足需水量 80% 时禁止抽水灌溉。某县玉米种植区执行新标准后，亩均用水量从 420 立方米降至 365 立方米，但部分坡耕地因输水损耗导致实际灌溉达标率仅 73%。为此引入地形补偿系数，坡度每增加 5 度允许定额上浮 8%，这项调整使达标率回升至 89%。争议在于，现行标准未考虑土壤质地差异，沙壤土区域的农户反映定额偏低，后续拟增加“土壤保水系数”修正项^[5]。

5.3 推行用水权交易市场试点机制

在伊犁河支流流域试点“水银行”制度，允许农户将节余水量折算为虚拟水权进行交易。某村通过滴灌改造节省的 12 万立方米水量中，35% 转化为水权挂牌交易，交易均价 0.8 元/立方米，较农业水价溢价 167%。交易平台设置“阶梯锁定期”，首年限本乡镇交易，次年扩大至全县，防止跨区域套利。但监测发现，2.3% 的交易方伪造节水数据虚增水权，现已建立“用水审计+遥感核验”双重监管机制，违约者列入信用黑名单并追缴三倍溢价。这套机制使节水改造投资回收期缩短至 4~7 年，农户参与意愿从初期的 31% 提升至 68%。不过，工业用水户的准入规则仍在博弈中，环保部门担心跨行业交易可能挤占生态用水。

6 结语

通过智能水肥调控等技术解析，揭示新型节水工程在干旱区的实现路径，针对新疆农业用水存在的“调度失衡”“蒸发损耗”等困境提出解决方案。察布查尔县玉米滴灌改造使单产提升 12%，霍城县葡萄微喷灌节水 28%，验证技术革新对农业可持续发展的支撑作用。技术与政策需协同发力，三级管控平台解决整合难题，差异化标准破解粗放痼疾，水权交易激活节水动力。当前智能设备运维成本偏高、农户接受度参差等障碍仍需突破，后续应聚焦“成本分摊机制”“技术简化适配”等方向。

参考文献

- [1] 宋柳.节水灌溉技术在农田水利灌溉中的应用探究[J].河南农业, 2024,(24):63-65.
- [2] 杨君.节水灌溉技术在我国农业发展中的重要作用及实施策略[J].河北农机,2024,(22):79-81.
- [3] 马升,杨艳.推广高效节水灌溉技术促进农业可持续发展[J].河北农机,2024,(06):132-134.
- [4] 张尚骞.农田水利应用节水灌溉技术的必要性及促进农业可持续发展的策略[J].河北农机,2023,(20):139-141.
- [5] 朵永奇.高效利用节水灌溉技术促进农业可持续发展[J].河南农业,2022,(26):56-58.