

乡村碳行者：农村居民行为响应视角下水肥精施技术的应用与效益研究——基于广东等六省 60 个试点基地的田野调查研究

张茹露 申思展

广州商学院，广东广州，511363；

摘要：农业既是全球碳排放源，也是碳汇系统。根据 FAO 统计，中国农业贡献了 11% 的碳排放和 42% 的甲烷排放，主要源于过度灌溉和化肥浪费。农业用水占总用水量的 80%，但灌溉水利用率仅 34%，而化肥施用浪费率高达 70%。因此，节约农业用水和减少化肥浪费是减少碳排放的紧迫任务。

关键词：碳排放；中国农业；节水节肥

DOI:10.69979/3041-0673.25.04.070

1 绪论

1.1 研究背景

为应对过度灌溉和化肥浪费这一挑战，我国采取了一系列推动节水节肥的政策，如《2021 年“十四五”清洁生产推行方案》，鼓励创新农业减排固碳技术。水肥精准灌施技术结合灌溉与施肥，通过合理管理提高水资源和肥料利用效率，减少碳排放，增强农田碳汇能力。到 2023 年，该技术在大规模农田应用比例为 73%，但中小型地块的应用仅为 33%。中小型农田的复杂地形和多变情况使得技术推广面临困难。为此，团队深入六大低碳试点省份，调研 200 个中小型农田，收集 1478 份问卷，访谈 169 名农民和专家，提出解决方案，旨在提升农田的减排增汇能力，推动低碳农业发展。

1.2 调研目的

- （1）分析水肥精准灌施技术应用现状及问题，提出解决方案；
- （2）基于所提出的解决方案进行典型试点，推动技术推广；
- （3）减少水与化肥资源浪费，促进减排增汇，推动“碳中和”。

2 调研现状

2.1 技术人才与研发

调研发现，各农技站的人员短缺，平均仅有 3 人，精准灌施技术培训和示范项目负责人数更少，平均为 1.

7 人，见表 1。大多数农技人员文化程度较低，72% 为大专以下学历，且年轻人较少，仅占 13.7%。此外，34% 的农技人员对技术操作掌握不完全，且每月培训频率超过一次的仅为 33.2%，多数依赖经验丰富的“土专家”。

在湿地地区，精准灌施设备应用受地形复杂和土壤湿润度限制，固定设备难以铺设，无法覆盖整个种植区域。此外，地方产学研结合较弱，仅 10.3% 地区有科研机构或试验田，17% 的乡镇与高校有实践研学活动，缺乏技术研发和升级渠道。

表 1 农技站及农技人员详细情况

项目名称	技术建设项目数	人员个数	项目平均人数
农业技术服务站	20 个	60 人	3（人/个）
农业合作社	63 个	108 户	1.7（户/个）

2.2 技术的应用情况

调研显示，大规模产业化农田多由国有或地方政府支持，积极响应精准灌施技术政策。然而，中小型地块农田的政策驱动较弱，只有 30.4% 的中小型地块应用该技术。通过问卷和访谈，农民未采用精准灌施技术的原因主要包括技术操作难度大、投资高、技术实用性差等。30% 的农民认为“技术补贴不足，投资过高”以及“先解决温饱，再考虑环境问题”；62% 的居民认为管道铺设难、设备操作复杂；32.1% 的农民表示技术不适应作物转换，36.3% 认为技术无法适应零散或山地果树种植。基于这些因素，构建的多元 OLS 模型分析表明，技术操

作难易对农民采纳技术的影响较大。

2.3 技术碳中和效果

团队通过生命周期法测量不同灌施设备下的碳排放与碳固定量，以传统灌施设备农田为对照组。采用二氧化碳测定仪和土壤样本测定的碳排放量，以及植株样本测定的碳固定量。若农田的碳固定量大于碳排放量，则为碳汇系统，有益于碳循环；反之，则为碳源系统，污染环境。

以零散平原农田为例，传统灌施的碳排放量为 $642.96\text{gCO}_2 \text{ eq} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，碳固定量为 $397.3\text{gCO}_2 \text{ eq} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，差值为 $244.46\text{gCO}_2 \text{ eq} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，属于碳源系统；精准灌施技术的碳排放量降至 $460.93\text{gCO}_2 \text{ eq} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，碳固定量增至 $382.64\text{gCO}_2 \text{ eq} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，差值为 $78.29\text{gCO}_2 \text{ eq} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，但未改变农田的碳源性质，如图 1。

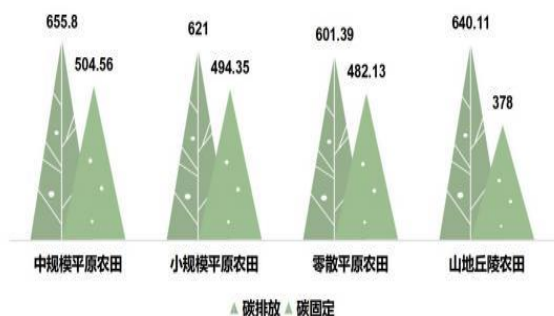


图 1 精准灌施技术碳中和效果

2.4 资金投入与回报

调研发现，相较于传统灌施方式，采用水肥精准灌施技术后，各种类地形都有不同程度 的生态效益提高。通过查阅台账，以山地丘陵农田中一生态系统为 2.00hm^2 小规模 的果树园 为例分析两种灌施方式的成本效益、内部收益率及投资回报率：

2.4.1 成本效益

其采用水肥精准灌施设备，如表 2 虽然前期设备成本较高达 12311 元，但后期使用费用 低至 630 元/年，且灌施过程中用水量、水费、施肥次数等大大降低，相比传统灌 施设备节水 36.8%，省肥达 20.1%。

表 2 前期成本投入具体费用对比

设备形式	平均设备成本	设备维护费用 (一次)	管道铺设费用	人员劳务费
传统灌施设备	3440 元	200 元	200 元	140 元/次
水肥精准灌施设备	9400 元	30 元	2731 元	40 元/次

2.4.2 回报净现值及内部收益率分析

假设研究期内折现率 $r=12.21\%$ ，由两种灌施技术四年期的现金流量计算其回报净现值 NPV，水肥精准灌施技术的 NPV₁ 为 29802.72 元，而传统灌施方式的 NPV₂ 为 9233.31 元可以看出，精准灌施技术的净现值更大，且对于水肥精准灌施，其回收期更长，在后期回报收益会 更高，其 NPV 也会随之增加；且水肥精准灌施技术内部收益率 IRR 为 84.39%，传统灌施技术为 68.76%，此外构建时间序列模型预测可得投资技术回报周期约在三年以上，每 年节本增效盈利增加 43000 元以上。因此，水肥精准灌施技术为更优的灌施方式，对于一个 理性的投资者而言，水肥精准灌施技术更值得投资。

2.4 转型环境建设

32%的农民表示未接收到政府激励政策和资金补贴，因此缺乏采用精准灌施技术的动力。调研发现，80%的技术设备补贴依赖政府，但资金规模有限，缺乏多元化支持，农民难以获得大规模资金支持。在培训方面，政府主要通过线上推送和线下广播宣传，更新频率平均半年一次。68.3%的地区未与农技站、科研院校保持定期联系，示范作用不显著，仅 13.1%的示范田可供农民学习。监管方面，72%的村庄仅粗略统计技术普及情况。

然而，部分村庄如信阳市张畈村通过创新举措取得成效。该村通过政府主导、节能企业、金融机构等多方资源合作，联合高校和农技站为农民提供定向宣传和技术指导，成为示范典范。

3 存在问题

3.1 技术创新维度：技术部件及复合应用问题阻碍适用

3.1.1 技术核心部件研发创新不足

在实际农田环境中，水肥精准灌施设备由于核心部件的不适应，在水肥施用方面遇到困难。一方面，无法适应湿地等农田的特殊地形和土壤条件，从而影响了农作物的生长和产量；另一方面，农民往往根据市场需求改变作物种类，而精准灌施技术设备固定化无法调整，难以适应各类作物灌施需求。因此，针对湿地农田环境下和不同作物中水肥和药物施用的困难，需要开发适用于多地形多作物的特殊灌溉和施肥技术。

3.1.2 技术复合应用形式创新不足

水肥精准灌施设备目前仅有固定式一种形式，无法

满足种植密度小作物的精准喷洒，导致作物生长不均匀。尽管精准灌施技术能够减排增汇，但由于技术功能的局限，无法将生态系统从碳源系统转变为碳汇系统。缺乏关键数据获取、智能水肥配比和科学排液等复合功能，导致养分盈余和碳排放。

3.2 人力组织维度：产学研结合程度及农民观念待改善

3.2.1 技术持续研发改进缺乏支撑

新技术应用升级需经过一系列的周期以获取试验数据及研发，这一过程需要大量的时间和资源投入。而精准灌施技术正是依靠持续农业作业数据输入以不断研发改进，从而确保其因地制宜、因株制宜。调研可得，在技术获取数据方面，试验地区的技术人员不足且专业程度不高，从业者多为中老年，导致难以获取水肥精准灌施设备大量周期性作业数据。在技术研发升级方面，试验地区产学研结合程度低，仅 10.3%的调研地拥有科研机构或农业高校的试验田，缺乏有效研发升级人员渠道。

3.2.2 农民传统灌施观念阻碍应用

调研结果显示，46%的农民在经济重担下，生态观念相对较弱。其大多担心水肥精准灌施技术可能会带来的经济风险，例如，季节性种植以及技术更新迭代过快导致的性价比不高。因此，他们偏向投资较低的传统灌施方式，能满足基本灌溉施肥经济需求即可。而化肥污染过多导致土壤肥力下降所带来的潜在经济风险以及生态风险，处于其考虑的次要地位。

3.3 环境基础维度：技术推广政策及配套扶持结构单一

3.3.1 技术推广激励政策有待提升

目前，国家及各地政府针对中小型地块农田精准灌施技术的激励政策较为匮乏，且缺少配套宣传、补贴模式。目前的宣传模式大多仍停留在传统的宣传栏、大字报。导致农民缺乏工作开展动机，也难以捕获最有效农机信息。

3.3.2 地方资金支持结构较为单一

查阅调研地方年鉴得，地方针对精准灌施技术的资金补贴分配中规模十分有限，且主要依靠政府，且缺乏“政府+企业”优惠政策，使得农民等个体经营者难以获得大规模的资金支持。要使精准灌施技术更好

地服务农业，需要资金的支持来补贴农民购买农机以及 4G 网络等基础设施的铺设。

4 改进建议

4.1 跟踪农民灌施多样需求，实现技术持续因地制宜

4.1.1 加强多方数据可持续更新，确保技术可持续创新

在数据规模上，研发厂家与科研院所等研发机构需不断获取中国各类耕地进行获取土壤 pH 值等数据以便于技术的精密性的增强；在获取数据人员水平上，联合农机生产公司等，共同建立培训基地以提升农技站技术人员的专业水平，确保技术发展的软实力；此外，着力推进新型职业农民队伍建设。政府、企业等多方力量应协同合作，建立完善的涉农教学培训体系，以培养适应现代农业生产需要的新型职业农民。

4.1.2 加强核心部件及形式研发，确保技术可持续应用

为适应不同地形和作物，水肥精准灌施技术应加强核心部件的研究，制定滴灌、喷灌、移动喷灌等多种解决方案，并提高机械部件的使用年限。同时，研发自动监测土壤肥力和水分含量的集成设备，自动提示施肥和灌溉时间，完善配套技术能力，推出水溶性肥料、农药和土壤调节剂。团队以河北秦皇岛卢龙县山区为案例，发现当地农民普遍面临灌施设备使用不当、成本高和作物生长问题。为此，团队创新研发了移动水肥精准灌施设备，具备智能检测、配比、排液和自主运行四大功能，适应山区特殊地形和作物需求。试点应用有效改善了精准灌施设备的使用情况，提高了农民的田间管理水平。

4.1.3 加强产学研持续结合力度，推动技术高质量发展

根据访谈对象对设备的多样需求，需不断研发创新技术。优化创新环境，加强产学研合作，高校、科研院所和企业建立跨界协作关系，与对应试验乡村形成产学研推一体化的合作模式，通过健全协作开发机制以缩短技术的升级周期，例如，添加和优化升级设备喷洒农药附加功能，如农药仓等，为解决技术应用实际问题提供更加快速和成熟的方案。

4.2 夯实农机服务环境基础，加强技术的持续推广性

4.2.1 优化农业资金的扶持结构，降低农民购买技术成本

政策支持是影响新技术的应用和推广的重要因素。

一是当地政府要加大对农业的资金支持力度,通过制定相关政策和开发相关项目,提供资金支持如直接补贴以激励农民。二是创新绿色金融业务,鼓励金融机构为推广水肥精准灌施技术等智慧农业项目提供贷款和融资支持。

4.2.2 优化部分农民传统灌施观,拓展技术农田应用范围

高标准农田建设是生产效益与生态环境双赢的关键,而精准灌施技术作为节水节肥的一部分,其应用将会强化高标准农田建设。政府可通过颁布强化高标准农田建设相关措施来促进农民灌施观念的改变,使其同时建立良好生态观念。具体为:一是推动水肥精准灌施技术设备金融租赁等示范试点的建立,鼓励农民试用设备以体验设备的良好灌施效果,助推农民使用技术。二是可以制定鼓励使用水肥精准灌施清洁技术的政策,如提供农田整理补助、基础设施建设奖励等。

4.3 更新技术应用推广模式,实现技术的可持续应用

4.3.1 构建技术信息化平台,促进技术全面智能化应用

将农机作业调度、农机推广服务、农机监理以及农机深耕作业等四个系统有机地整合起来,平台系统物理模块可涵盖农机商品化信息、农机的相关政策、农机的推广信息、农机物理管理、在线电子商务等多个方面,从而构建一个完整的智慧灌施信息管理平台,以方便农民的需求在购买前中后都得到满足,从而促进技术的售卖以及推广。

4.3.2 构建技术低碳产业生态链,促进技术全方位应用

根据循环经济理念并仿照自然生态系统,构建以水肥精准灌施技术为核心,以技术减少的碳排放量为交易货币,以“企业+工厂+农户”的组织方式,采用碳汇项目、碳补偿机制的方式,使生态产业链上的利益相关者通过契约方式来结成利益共享、风险共担的利益共同体,使企业得发展,农户得实惠,以此促进技术的全方位利用,具体应用如将农田管理中减少的碳排放量作为碳汇项目进行认证和交易,农民通过与碳排放量过多的工厂交换碳交易空间从而获得相应的碳排放权收益。

参考文献

[1] 王会强,刘维娜,尹义蕾,等.我国水肥精准灌施技

术发展现状及分析[J].河北农机,2021(09):27-28. DOI:10.14989.2021.09.013

[2] 谷守宽,詹林庆,周佳,等.重庆市水肥精准灌施技术应用现状及发展建议[J].南方农业,出版年份不详(11).

[3] 徐利.河南省扶沟县推广应用小麦种植滴灌水肥精准灌施技术[J].农业工程技术,2021,31(08):37+39.

[4] 马富裕,刘扬,崔静,等.水肥精准灌施研究进展[J].新疆农业科学,2019,46(1):183-192.

[5] 张小峰,朱宗梅,吴光洪.水肥精准灌施技术应用中的问题及对策[J].农技服务,2017,33(4):78.

[6] 孙强生.浅析水肥精准灌施在应用中存在问题及建议[J].新农民,2020(24):38.

[7] 谢朝斌.浅谈城市园林灌溉系统发展趋势[J].内蒙古科技与经济,2014,No.332(20):34-37.

[8] 陈舜,逯非,王效科.中国氮磷钾肥制造温室气体排放系数的估算[J].生态学报,2014,34(19):6371-6383.

[9] 刘巽浩,徐文修,李增嘉,等.农田生态系统碳足迹法:误区、改进与应用——兼析中国集约农作碳效率[J].中国农业资源与区划,2013,33(06):1-11.

[10] 农业部.全国农业可持续发展规划(2014—2030年)[R].北京:农业部,2014-04-28.

[11] Phene C J, Howell T A. Soil Sensor Control of High-frequency Irrigation System[J]. Transactions of The Asae, 2011, 27(2): 392-396.

[12] 王晨,王春玲,李海洋,等.水肥精准灌溉对农业生产效益的影响及推广策略[J].农业机械化学报,2020,31(12):84-90.

[13] 陈一凡,王凯,李鹏飞,等.基于智能传感器的水肥精准灌溉技术优化研究[J].农业工程学报,2022,38(4):162-169.

[14] 张琪,刘艳婷,黄卫东,等.水肥精准灌溉技术在节水农业中的应用与展望[J].中国农业科技导报,2021,23(1):102-107.

[15] Xu L, Yang X, Wang L, et al. Precision irrigation and fertilization based on remote sensing in sustainable agriculture[J]. Agricultural Water Management, 2020, 227: 104824.