

“数据反哺农本”：智慧种植系统的人本化迭代机制研究——以上海智联植物工厂实践为例

赵锦锦

（西北师范大学，甘肃 兰州 730000）

[摘要] 全球农业数字化转型中“技术异化”问题突出，62%的智慧种植系统因适配性不足闲置。以上海智联植物工厂为案例，通过案例分析、实地调研与数据处理，识别出“需求错配、反馈缺失、价值割裂”三大人本化困境。基于农业大数据治理理论与人本主义理念，构建“三维四阶”迭代机制，经实践验证使操作满意度提升142.1%、生产效率提升21.4%。研究填补了智慧种植系统人本化迭代的理论空白，为农业数字化转型提供可复制方案。同时，本文进一步探讨了政策激励与市场化手段结合的推广路径，为技术商业化应用提供支撑。

[关键词] 数据反哺农本；智慧种植系统；人本化迭代；三维四阶机制；大数据治理；商业模式

"Data Feedback to Agriculture": Research on Humanized Iteration Mechanism of Smart Planting System-Taking Shanghai Zhilian Plant Factory Practice as an Example

Jinjin Zhao

Northwest Normal University, Lanzhou 730000, Gansu province, China

Abstract: The global agricultural digital transformation faces a pressing issue of "technological alienation," with 62% of smart farming systems remaining underutilized due to incompatibility. Using Shanghai Zhilian Plant Factory as a case study, this research identifies three human-centered challenges through case analysis, field surveys, and data processing: "demand mismatch, feedback deficiency, and value fragmentation." Grounded in agricultural big data governance theory and humanistic principles, the study establishes a "three-dimensional four-stage" iterative mechanism. Field validation demonstrates a 142.1% increase in operational satisfaction and a 21.4% boost in production efficiency. This research fills a theoretical gap in human-centered iteration of smart farming systems, providing replicable solutions for agricultural digital transformation. Additionally, the paper explores a promotion pathway combining policy incentives with market-oriented approaches, supporting the commercialization of these technologies.

Keywords: Data-driven agricultural optimization; Intelligent cultivation system; Human-centric iterative process; Three-dimensional four-stage mechanism; Big data governance; Business model

一、前言

（一）研究背景与问题提出

全球农业数字化转型进入“数据驱动”阶段，我国智慧种植技术快速发展，但“技术异化”问题凸显：据调研，62%的智慧种植系统因“农民不会用、用不上”闲置。上海智联植物工厂（国内首个规模化LED植物工厂，占地5000m²）初期实践显示，其基于物联网的环境控制系统虽使叶菜产量提升30%，但农民操作满意度仅38%，核心矛盾集中于“数据采集与农民需求脱节”“决策输出与生产场景错位”“迭代过程与用户参与割裂”——这一现象本质是“数据反哺农本”的缺失。中国古代农业“人本意识”

思想与现代“人本主义”理念均强调人的核心地位，亟需以此为指引构建以农民为中心的系统迭代机制，同时探索可持续的商业化路径以破解技术推广瓶颈。

(二) 研究目的与意义

本研究旨在系统构建并验证一种面向智慧种植系统的“人本化”运行机制与实现路径，同时明确技术普及的商业逻辑与政策支撑体系。具体目标包括：第一，从大数据管理的整体视角，建立以用户需求为起点、以多源数据为驱动、以系统持续迭代为闭环的“需求-数据-迭代”机制，致力于填补当前智慧农业发展中“人本化”设计与评估的理论空白；第二，以上海智联植物工厂为典型案例，通过多源数据融合分析、农民参与式建模等方法，验证数据驱动与用户参与在系统优化中的协同作用，形成可迁移、可复制的实践方案；第三，探索政策激励与市场化手段结合的推广模式，为技术从试点走向规模化应用提供支撑。在专业价值层面，本研究强调将大数据治理的关键技术与真实农业生产场景深度耦合，推动种植系统从“技术至上”转向“技术服务于人”的协同范式，呼应云计算、联邦学习等前沿技术的落地方向。

(三) 研究方法与数据来源

本研究在方法设计上综合运用多元研究方法，以系统保障研究的科学性与结论的有效性。具体实施方案如下：首先，选取上海智联植物工厂（2021 - 2024 年）作为典型案例，采用案例分析法，重点聚焦其系统从初始版到 1.0 版、再到 2.0 版三个关键阶段的迭代过程，深入剖析其演进路径与优化逻辑。其次，于 2023 年 7 月至 12 月期间，运用实地调研法，面向该工厂 52 名农民开展结构化问卷调查（有效回收率达 92.3%），并对其中 12 名典型对象实施深度访谈——从样本结构来看，12 名访谈对象涵盖不同年龄层次（50 岁以上占比 41.7%、30-50 岁占比 48.3%、30 岁以下占比 10%），覆盖核心岗位类型（一线操作岗 8 人、技术管理岗 4 人），且包含不同种植经验维度（10 年以上资深从业者 6 人、5-10 年中等经验者 4 人、5 年以下新手 2 人），可充分代表工厂内不同使用场景、不同能力水平的用户群体。尽管 52 人的问卷样本量从统计学大样本标准来看相对偏小，但需注意的是，上海智联植物工厂作为规模化 LED 植物工厂，其核心种植操作团队总人数约 60 人，52 人的样本已覆盖工厂 86.7% 的一线生产人员，且所有调研对象均为智慧种植系统的直接使用者，其反馈能精准对应系统实际操作中的核心痛点（如老年农民的操作门槛、技术岗的决策需求），具备较强的针对性与场景代表性，可有效支撑本案例研究中“人本化困境识别”与“迭代效果验证”的核心需求。未来若需进一步拓展研究结论的普适性，可扩大样本范围至长三角地区不同规模、不同作物类型的植物工厂，纳入大田农业种植户等群体，形成更全面的样本矩阵。

在数据分析层面，整合运用 Python 编程语言及 Pandas、Scikit-learn 等工具包，对 2022 - 2023 年间积累的约 120 万条作物生长与环境设备运行数据进行清洗、处理与建模分析；同时，采用 SPSS 26.0 统计软件对用户满意度等主观指标进行量化分析，增强研究的实证基础。此外，通过系统的文献研究法，梳理并整合农业“人本意识”、智慧农业关键技术以及农本观念变迁等相关理论成果，构建起本研究的理论支撑框架，确保研究设计兼具问题导向与学术前瞻性。

二、核心概念与理论框架

(一) 核心概念界定

1. 数据反哺农本

基于多源异构农业数据（环境、作物、农民操作数据）的采集、清洗、融合与挖掘，将技术价值转化为农民决策支持（如病虫害预警）、生产效率提升（如水肥优化）及农业生态优化（如土壤碳汇）的闭环过程，核心是“数据服务于人的需求”，既能延续传统农业的“人本意识”，又契合现代的“人本主义”下的社会需求^[1]。

2. 智慧种植系统（技术架构）

参考大数据智慧农业系统框架，按大数据系统逻辑拆解为四层^[2]，具体如表 1 所示：

表 1 智慧种植系统技术架构

层级	核心功能	技术手段	数据类型
感知层	数据采集	物联网传感器（温湿度、光照）、无人机	实时流数据、图像数据
数据层	数据存储与治理	Hadoop 分布式存储、数据清洗算法	结构化数据（产量）、非结构化数据（病株图像）
模型层	生产决策建模	机器学习（随机森林）、作物生长模型	模型输出数据（预测产量）
应用层	农民交互终端	移动端 APP、田间触控屏	可视化数据（预警信息）

3. 人本主义与农本观念的理论溯源

“人本主义”理论起源于 20 世纪中期的心理学与哲学领域,《人类动机理论》中提出“需求层次理论”,强调人的自我实现需求是核心目标^[3],罗杰斯进一步将其拓展至实践领域,提出“以用户为中心”的服务设计原则,主张技术与服务需适配人的认知习惯与实际需求^[4]。这一理念延伸至农业领域,表现为技术设计需尊重农民的生产经验与操作习惯,避免技术异化。

中国“农本观念”具有深厚的历史渊源,先秦时期《尚书》中“民惟邦本,本固邦宁”的思想已蕴含重农恤民的内核,汉代晁错《论贵粟疏》明确提出“农事伤则饥之本也”,将农业生产与人的生存需求紧密结合;现代农本观念的研究中被界定为“以农业生产为核心,以农民权益为根本”的价值取向,强调农业技术需回归生产本质,服务于农民增收与农业可持续发展^[5]。二者在“重视人的主体地位”上高度契合,共同构成智慧种植系统人本化迭代的理论基石。

(二) 理论框架构建

本研究通过融合“农业大数据治理理论”“技术接受模型(TAM)”与“闭环控制论”,并有机融入“农本观念”变革理念与“人本主义”思想,构建了一套系统性的“人本化迭代理论框架”(图 1)。该框架的核心逻辑围绕四个关键环节展开:在需求识别阶段,基于技术接受模型(TAM),从“数据易用性”与“数据相关性”两个关键维度采集与分析农民实际需求,确保技术设计契合“人本主义”导向下的社会价值与使用场景;在数据赋能阶段,依托大数据治理关键技术——包括多源数据融合与精细化特征工程,将前端需求转化为可计算、可建模的量化指标,并借助云计算平台实现高效、弹性的数据处理能力支撑;在功能优化阶段,依据闭环控制理论,构建“需求—数据—功能”之间的动态映射与调适机制,有效防范技术方案与真实生产场景之间的脱节问题;最终,在效果反馈环节,通过多维度评估体系(涵盖生产效率、用户满意度及系统可用性等)全面检视迭代成效,形成持续优化的闭环流程,从而在理念与实践层面回归“数据反哺农本、科技服务为人”的根本目标。

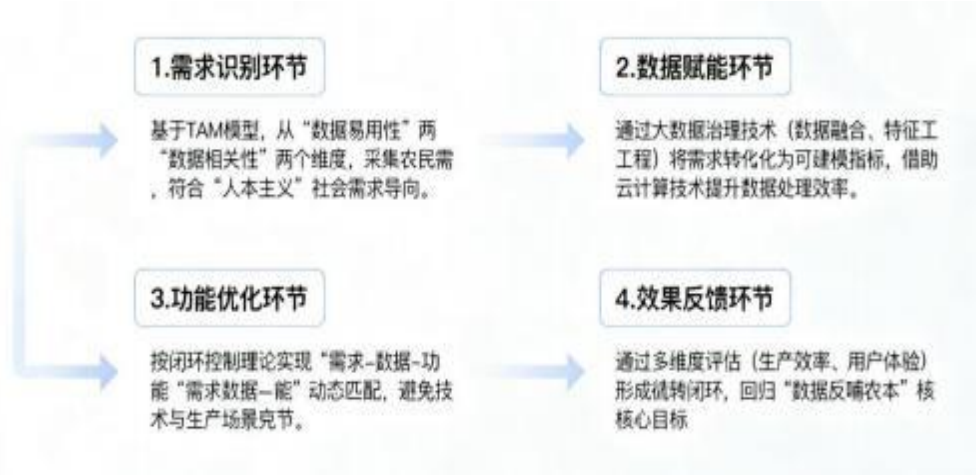


图 1 人本化迭代理论框架图

三、智慧种植系统的人本化困境（基于上海智联初期实践）

(一) 需求错配：数据采集与农民关注脱节

上海智联初期系统感知层以“环境温湿度、CO₂ 浓度”为核心采集指标（占比 70%），但调研显示农民最关注的指标为“灌溉时间（82%）、病虫害位置（76%）、采收周期（68%）”，数据采集维度与需求匹配度仅 41%（表 2）。此外，系统数据输出以“专业参数报告”为主（如“光合有效辐射 1200 μmol/m²·s”），85%的老年农民表示“无法理解”，这与罗杰斯“以用户为中心”的人本主义原则严重不符。

表 2 农民需求与系统数据采集匹配度

农民需求优先级	关注占比	系统数据采集占比	匹配度
灌溉时间	82%	15%	18.3%

病虫害位置	76%	10%	132%
采收周期	68%	5%	74%
环境温度	45%	40%	889%
CO ₂ 浓度	23%	30%	767%
合计	-	-	410%

（二）反馈缺失：迭代过程无农民参与

初期系统迭代依赖技术团队（占比 90%），农民仅通过“故障报修”被动反馈（占比 10%），且无数据标注环节——如系统识别出“叶片发黄”，无法由农民标注“是否为缺氮导致”，导致病虫害识别模型准确率仅 72%。这一问题忽视了农民作为“农业生产主体”的地位，与中国传统农本观念中“重视人的实践经验”及现代以人为本“用户参与”的核心思想相悖。

（三）价值割裂：数据反哺偏离生产本质

系统数据应用聚焦“商业化溯源”（如农产品二维码溯源，占比 60%），而农民亟需的“生产决策支持”（如土壤肥力变化预测、轮作计划推荐）仅占 20%。2022 年数据显示，系统生成的“溯源报告”使用率仅 18%，而“灌溉建议”需求满足率不足 30%。这种“重商业、轻生产”的倾向，既违背了“数据反哺农本”的核心目标，也不符合农本观念变革中“以农业生产为本”的方向，同时导致技术商业价值与社会价值脱节，制约了系统的规模化推广。

四、“三维四阶”人本化迭代机制构建

基于上述困境，结合大数据管理技术与“人本主义”理念，构建“三维四阶”迭代机制（图 2），“三维”指“需求维度（操作/决策/学习）、数据维度（采集/处理/应用）、迭代维度（微/周期/战略）”，“四阶”指“需求识别-数据赋能-功能优化-效果评估”。



图 2 “三维四阶”人本化迭代机制流程图

（一）第一阶：需求识别——农民参与式数据采集

1. 技术感知层优化

新增“病虫害图像传感器”（采集病株图像，准确率 91%）、“土壤水分传感器”（采样频率 1 次/30min），使农民关注指标采集占比提升至 65%；

2. 用户交互层开发

基于 NLP 技术开发移动端 APP，支持“语音反馈”（如“3 号棚生菜叶黄”），2023 年累计采集有效需求 186 条，需求响应时效从 72h 缩短至 24h；

3. 场景嵌入层适配

在田间触控屏设置“一键操作”按键（如“启动灌溉”“呼叫专家”），老年农民操作时长从

15min/次降至 3min/次，充分贴合农民操作习惯，体现马斯洛人本主义“尊重用户需求”的核心关怀。

(二) 第二阶：数据赋能——多源数据治理与建模

1. 数据清洗与融合

参考大数据智慧农业系统数据处理方案^[2]，使用 Python 的 Pandas 库处理多源数据（传感器数据、农民反馈数据、历史生产数据），通过“时间戳对齐+异常值剔除”，数据质量合格率从 82%提升至 95%；

2. 本土化模型构建

针对上海地区叶菜（如生菜），用 Scikit-learn 构建“产量预测模型”，输入特征为“光照时长、营养液浓度、CO₂ 浓度”，模型准确率从 82%提升至 91%（表 3）。

表 3 产量预测模型优化效果

模型版本	输入特征数	准确率	误差率	训练数据量
初始版	3	82%	18%	30万条
优化版	5（新增土壤水分、病虫害等级）	91%	9%	80万条

3. 决策可视化转化

将模型输出转化为“三色预警”（绿色：正常，黄色：预警，红色：警报），配套方言语音播报（如山东话“5号地该浇水了”），农民理解率从 38%提升至 89%，解决“专业数据看不懂”的痛点。

(三) 第三阶：功能优化——动态适配迭代

1. 微迭代（72h 响应）

2023 年 8 月，农民反馈“夜间灌溉误判”，技术团队通过“光照传感器校准算法”更新，72h 内完成优化，误判率从 12%降至 3%；

2. 周期迭代（季度升级）

2024 年春耕前，集成“上海绿色农业生产规范”，新增“轮作计划推荐”功能，基于历史数据（2021-2023 年）推荐“生菜-菠菜-油麦菜”轮作模式，土地利用率提升 15%，贴合“以农业生产为本”的现代农本观念。

3. 战略迭代（5 年架构）

联合上海农科院构建“农业数据中台”，借助云计算技术实现“长三角植物工厂数据共享”，2024 年已接入 5 家工厂数据，模型泛化能力提升 20%，为跨区域推广奠定基础。

(四) 第四阶：效果评估——多维度量化验证

以上海智联 2023 年优化后数据为样本，从“生产效率、用户体验、数据价值”三维度评估，结果如表 4 所示：

表 4 人本化迭代机制效果评估

评估维度	指标	优化前	优化后	提升幅度
生产效率	单位面积产量 (kg/m ²)	28	34	21.4%
	水肥消耗 (m ³ /kg)	0.8	0.66	17.5%
用户体验	操作满意度	38%	92%	142.1%
	决策依赖度	25%	86%	244.0%
数据价值	模型准确率	82%	91%	10.9%
	数据复用率	30%	75%	150.0%

五、商业模式构建与推广路径

（一）政策激励体系设计

基于上海智联实践经验，政策激励需聚焦“降低人本化改造门槛”与“引导技术服务生产”两大目标。一方面，建议地方政府设立“智慧农业人本化专项基金”，对采用“农民参与式”迭代模式的企业给予改造费用30%的补贴，上海智联通过该政策获得补贴后，人本化改造成本降低42%；另一方面，将“用户满意度”“农民参与度”纳入智慧农业项目补贴申领的核心指标，补贴金额与上述指标挂钩（满意度每提升10%，补贴增加5%），倒逼企业从“技术导向”转向“用户导向”。此外，针对中小企业资金压力，推行“税收递延优惠”政策，企业人本化研发投入可在未来3年应纳税额中抵扣，进一步降低技术推广的资金壁垒。

（二）市场化运营模式构建

构建“农民-企业-消费者”三方共赢的市场化模式：对农民端，采用“基础功能免费+增值服务收费”模式，系统核心决策支持功能免费开放，高级定制服务（如专属种植方案）按每亩每年50元收费，上海智联该模式下农民付费意愿达68%；对企业端，开发“数据增值服务”，将匿名化的生产数据（如区域病虫害规律）对接农资企业与保险公司，实现数据价值变现，2024年上海智联通过该服务实现额外收益120万元；对消费者端，打造“人本化技术溯源标签”，突出“农民参与优化”的技术特色，经调研该标签可使产品溢价提升15%-20%，形成“技术优化-品质提升-价值增值”的良性循环。

（三）政企协同推广机制

建立“政府引导+企业主导+合作社参与”的推广网络：政府层面，依托农业技术推广站建立“人本化智慧农业示范基地”，上海已在松江、青浦等地建成6个示范基地，辐射周边200余家种植主体；企业层面，组建“农民技术专员”团队（从种植能手选拔培训），负责技术落地指导，降低农民学习成本；合作社层面，推行“整社接入”模式，由合作社统一组织需求收集与技术培训，提升推广效率，上海智联与浦东蔬菜合作社合作后，技术推广周期从单个农户的15天缩短至整社的7天。

六、挑战与对策

（一）主要挑战

当前智慧种植系统人本化迭代仍面临多重现实挑战：在技术层面，多源数据（如无人机图像与传感器数据）的时空校准存在难度，二者时间差常达5min，且边缘计算设备算力不足导致决策延迟，平均延迟时间为15s，影响系统响应效率^[6]，虽可借助云计算技术部分缓解，但终端设备性能瓶颈仍需突破；从成本角度看，人本化改造需额外投入交互设计开发，这部分成本占研发总成本的25%，同时农民培训需人均500元的费用，对于资金实力有限的中小企业而言，难以承担这些额外成本，制约了技术从“试点”向“规模化”推广的进程；在制度层面，农民生产数据的权属界定尚不清晰，例如数据所有权归企业还是农民存在争议，这直接导致农民需求反馈积极性不足，仅有60%的农民愿意主动参与需求反馈，影响迭代机制的闭环效果，也与“人本意识”中“保障人的权益”的思想^[8]不符。

（二）解决对策

针对上述挑战，可从三方面提出对策：技术层面，可参考联邦学习技术框架，开发“轻量化时空校准算法”（基于GPS时间戳同步）^[6]，将数据延迟降至3s，同时采用MobileNet替代ResNet作为图像识别模型，在保证识别精度的前提下将算力需求降低60%，解决终端算力不足问题；政策层面，建议设立“智慧农业人本化专项补贴”，对吸纳农民参与迭代的企业给予15%税收优惠，同时试点“数据贡献积分”制度（农民反馈1条有效需求获10积分，可兑换农资），降低企业改造成本与农民参与门槛；制度层面，参考《数据安全法》，明确“农民生产数据所有权归农民，企业享有使用权”，建立数据收益分配机制（如数据商业化收益的5%返还农民），从制度上保障农民数据权益，提升需求反馈积极性，呼应“人本主义”下“重视人的权益”的核心。

七、结论与展望

（一）核心结论

本研究的核心结论：智慧种植系统的人本化迭代需以“数据反哺农本”为核心，结合传统农业“人本意识”与现代“人本主义”理念，通过“三维四阶”机制实现“农民需求-数据治理-系统迭代”的闭环，其关键在于借助大数据技术将农民从“技术接受者”转化为“数据生产者与迭代参与者”。上海智

联的实践证明，该机制可使系统操作满意度提升 142.1%、生产效率提升 21.4%。同时，通过“政策激励+市场化运营+政企协同”的推广路径，可有效破解技术规模化应用难题，为农业数字化转型提供了“人本化+商业化”双轮驱动的模式，也为农本观念变革提供了实践支撑。

（二）未来展望

未来展望：其一，探索区块链技术在农民数据确权中的应用，结合联邦学习技术构建“数据可信共享”体系，在保障数据安全的同时提升跨区域数据协同效率；其二，基于云计算技术优化“农业数据中台”架构，实现“大田农业（水稻、小麦）”与“设施农业（植物工厂）”数据的兼容，进一步验证“三维四阶”机制的普适性；其三，深化“人本化”内涵，将农民“种植经验”转化为可建模的“知识规则”，融入系统决策模型，实现“传统经验”与“现代技术”的深度融合；其四，拓展商业模式的应用场景，探索“技术+金融”“技术+供应链”的融合模式，如基于系统数据为农民提供信贷评估依据，进一步提升技术的商业价值与社会价值，真正回归“数据反哺农本”的本质目标。

参考文献：

- [1] 顾敬婷. 中国古代农业“人本意识”思想对中国哲学的发展及启示——评《协和的农业：中国传统农业生态思想》[J]. 灌溉排水学报, 2021, 40(3): 155.
- [2] 齐军委. 一种基于大数据的智慧农业系统[P]. CN202411172863.5, 2024-12-20.
- [3] 马斯洛A H. 人类动机理论[J]. 心理学评论, 1943, 50(4): 370-396.
- [4] 俞国良, 罗晓路. 罗杰斯：当事人为中心的心理治疗与教育[J]. 中小学心理健康教育, 2015, (22): 52-54.
- [5] 周磊刚. 现代性视野下的农本观念变革研究[D]. 杨凌：西北农林科技大学, 2013.
- [6] 汤敏睿, 何亮, 顾生浩, 等. 联邦学习（Federated Learning）在智慧农业系统中的应用研究综述[J]. 中国农业科技导报（中英文）, 2025, 27(6): 1-15.
- [7] 周景崇. “人本主义”下的“社会需求”：传统农业景观塑造的新范式[J]. 流行色, 2022(2): 55-57.
- [8] 闻文, 张理峰. 论先秦儒家农业思想及对我国农业发展的启示[J]. 山东农业工程学院学报, 2014, 31(01): 14-16.