

物联网技术在农机精准施肥作业中的集成应用研究综述

新吉勒图¹ 包文育^{2,3} 张春友²

1. 通辽市农牧业装备发展中心, 内蒙古 通辽 028000

2. 内蒙古民族大学工学院, 内蒙古 通辽 028000

3. 蒙东高寒经济特色作物智能农机装备内蒙古自治区工程研究中心, 内蒙古 通辽 028000

[摘要]在农业现代化进程中, 农机精准施肥是实现农业绿色、高效发展的关键举措, 而物联网技术的集成应用为其提供了重要技术支持。文章围绕物联网技术在农机精准施肥作业的应用展开综述, 首先阐述农机精准施肥的重要性, 接着分析当前农机精准施肥面临的现有问题与挑战, 随后梳理国内外相关研究进展, 最后总结研究结论并对未来发展进行展望。研究表明, 物联网技术可有效解决传统施肥模式的弊端, 推动农机精准施肥向智能化、高效化发展, 但目前仍存在技术、成本、推广等方面的问题, 未来需进一步突破技术瓶颈、降低应用成本、加强推广普及, 以促进农业可持续发展。

[关键词]物联网技术; 农机; 精准施肥; 技术现状; 发展趋势

DOI: 10.33142/nsr.v2i4.18725

中图分类号: S147.2

文献标识码: A

Review of the Integrated Application of Internet of Things Technology in Precision Fertilization Operations of Agricultural Machinery

XINJI Letu¹, BAO Wenyu^{2,3}, ZHANG Chunyou²

1. Tongliao Agricultural and Animal Husbandry Equipment Development Center, Tongliao, Inner Mongolia, 028000, China

2. School of Engineering, Inner Mongolia Minzu University, Tongliao, Inner Mongolia, 028000, China

3. Inner Mongolia Mongolian East Cold Economic Characteristic Crop Intelligent Agricultural Machinery Equipment, Inner Mongolia Autonomous Region Engineering Research Center, Tongliao, Inner Mongolia, 028000, China

Abstract: In the process of agricultural modernization, precision fertilization of agricultural machinery is a key measure to achieve green and efficient development of agriculture, and the integrated application of Internet of Things technology provides important technical support for it. The article provides an overview of the application of Internet of Things technology in precision fertilization of agricultural machinery. Firstly, it elaborates on the importance of precision fertilization of agricultural machinery. Then, it analyzes the existing problems and challenges faced by precision fertilization of agricultural machinery. Finally, it reviews the relevant research progress at home and abroad. Finally, it summarizes the research conclusion and looks forward to future development. Research has shown that Internet of Things technology can effectively solve the drawbacks of traditional fertilization models and promote the development of intelligent and efficient precision fertilization in agricultural machinery. However, there are still problems in technology, cost, and promotion. In the future, it is necessary to further break through technological bottlenecks, reduce application costs, and strengthen promotion and popularization to promote sustainable agricultural development.

Keywords: Internet of Things technology; agricultural machinery; precision fertilization; technical status; development trend

1 农机精准施肥的重要性

农业机械化有助于实现资源的节约利用。机械化播种和施肥设备可以精确控制种子和肥料的用量, 避免了人工操作时的浪费, 提高了资源的利用效率。例如, 精准施肥技术通过土壤检测和计算机控制系统, 根据不同地块的土壤肥力和作物需求, 精确施加适量的肥料, 减

少了肥料的过量使用, 降低了农业生产成本, 同时也减少了对环境的污染。农业生产中的精准施肥技术是优化农田管理、提升作物产量和质量、实现资源高效利用的重要手段。传统施肥模式通常依赖经验判断, 往往导致肥料投入不足或过量, 这不仅给环境带来了潜在污染风险, 还影响了作物健康生长, 降低了经济效益。精准施

肥技术通过感知作物生长环境、实时监测土壤及空气参数,根据作物生长周期的养分需求规律制定科学的施肥策略,使肥料用量和投入时机达到最优,实现了高效化、精细化的管理。在这种施肥模式中,物联网技术扮演了关键角色,通过部署土壤湿度、温度、营养成分等多种传感器,精准采集土壤和作物环境数据,结合人工智能算法对采集的数据进行分析,为施肥提供数据支撑与决策依据。物联网技术不仅有效提高了农业生产的效率,还通过减少肥料浪费、提升作物健康水平和经济产出,显著推动了农业的可持续发展^[1]。因此,大力发展农机精准施肥对于实现农业高质量发展具有重要的现实意义和战略意义。

2 农机精准施肥的现有问题与挑战

然而,在农机精准施肥发展过程中,仍面临诸多问题与挑战,如技术适配性不足、成本较高、推广难度大等。物联网技术凭借其数据采集、传输、处理和控制的优点,为解决这些问题提供了有效途径。

2.1 技术层面问题

当前,农机精准施肥在技术方面存在诸多不足。一方面,数据采集精度有待提升。传感器受环境影响较大,测量数据存在误差,施肥决策精准度下降。无线传输在复杂地形条件下信号稳定性较差,数据丢失和延迟影响施肥效果。数据处理能力不足,整合分析能力有限,难以提供高效、精准的施肥方案,影响智能施肥的应用推广^[2]。例如,部分土壤养分传感器在检测土壤氮、磷、钾含量时,受土壤湿度影响较大,检测结果误差可达 10% 以上。另一方面,技术集成度不高。农机精准施肥涉及传感器技术、定位技术、通信技术、控制技术等多种技术,目前这些技术之间的融合程度较低,各技术模块之间缺乏有效的协同工作机制,导致精准施肥系统整体运行效率不高,难以充分发挥精准施肥的优势^[3]。

2.2 成本层面问题

集成先进技术的智能农业机械由于研发成本高昂,导致其产品价格居高不下^[4]。一套完整的物联网农机精准施肥设备,包括高精度传感器、智能控制器、变量施肥机、定位设备等,价格通常在数万元甚至十几万元,对于小规模种植农户而言,难以承担如此高昂的购置费用。以我国北方地区常见的小麦种植农户为例,户均种植面积约 10 亩,购置一套基础的物联网精准施肥设备成本占其年均农业收入的 30% 以上。其次,设备维护成本高。物联网设备的核心部件如传感器、控制器等,在长期使用过程中容易损坏,且维修更换费用较高,同时设备还需要定期进行

校准、调试,也需要投入一定的人力和物力成本,进一步增加了农户的经济负担。

2.3 推广与应用层面问题

在推广与应用过程中,农机精准施肥面临诸多障碍。一是农户认知水平不足。大部分农户长期采用传统施肥模式,对农机精准施肥的优势和原理了解较少,存在抵触心理,不愿意尝试新的施肥方式。二是技术服务体系不完善。目前,针对农机精准施肥的技术服务团队数量较少,专业技术人员匮乏,无法为农户提供及时、有效的技术指导和售后服务。当农户在设备操作、故障排查、施肥方案制定等方面遇到问题时,难以得到专业帮助,影响了农机精准施肥技术的正常应用。三是区域发展不均衡。在我国东部经济发达地区,农机精准施肥技术推广力度较大,应用较为广泛;而在中西部经济欠发达地区,由于经济条件、基础设施等方面的限制,技术推广进展缓慢,应用普及率较低,进一步加剧了区域农业发展的差距。

3 物联网技术在农机精准施肥中的国内外研究进展

3.1 国外研究进展

国外施肥机构的类型与发展现状呈现出多元化、专业化和高度市场化的特点,主要涉及政府主导的公共服务、合作社组织的市场化服务以及科研机构的技术支持^[5]。在技术研发方面,美国、德国、日本等发达国家投入大量资金用于物联网农机精准施肥技术的研究。

(1) 基于人工智能的土壤分析与施肥优化系统。美国国家科学基金会投入 500 万美元专项资金,在加州大学戴维斯分校建立了人工智能研究中心,重点开展精准农业相关研究,包括利用机器学习技术分析土壤特性和气候特征,智能优化施肥方案和灌溉策略。悉尼大学开发的土壤水分智能监测系统。该系统整合卫星遥感数据、气象预测信息和地面传感器数据,通过深度学习方法生成高精度(80m²分辨率)的土壤水分分布图,为农业生产者提供精准的灌溉和施肥决策支持。

(2) 变量施肥控制系统。以德国为代表的欧洲国家在施肥机械的智能化和精准化方面取得了重要突破。德国多家农业装备企业研发的多种变量施肥控制系统能够根据土壤养分分布图和作物生长需求实时调整施肥量,实现米级精度的变量施肥作业。这些系统通常与全球定位系统和地理信息系统相结合,构建“监测-决策-执行”的闭环管理体系,肥料利用率可超过 65%。

(3) 温室精准施肥系统。荷兰 Priva 公司开发的温室精准施肥系统代表了设施农业施肥技术的先进水平。

系统通过实时监测栽培基质的电导率和酸碱度,动态调节营养液配方和灌溉方案,实现作物整个生长周期的精准养分管理。Hoogendoorn 公司等企业研发的施肥控制系统能够同时调控多个温室区域的施肥参数,最多可精确配比 16 种营养元素,满足不同作物在各生长阶段的特殊营养需求。

(4) 基于传感器的智能灌溉与施肥系统。在智能灌溉控制器领域(包括 RainBird、Netafim 等知名品牌),采用土壤湿度检测装置的方案占据 45% 的市场份额,这类系统能够根据实时监测数据调节灌溉和施肥量,实现 30% -50% 的水资源节约。以色列研发的经济型三维视觉分析技术,利用普通摄像设备即可评估作物生长状态,降低了对传统破坏性检测的需求,为科学施肥提供决策支持。

(5) 自动化农业机械与 AI 施肥。新西兰的 Ro-botics Plus 企业推出的 Prospr 智能作业车,集成了人工智能算法和激光雷达系统,可自主完成定点施药和施肥作业,显著降低农药化肥的使用量。在温室种植领域(以 Arid Lands Greenhouses 为代表),通过人工智能调控的水肥协同管理系统,实现了资源的高效配置,特别适合缺水地区的农业生产^[5]。

3.2 国内研究进展

国内精准施肥系统的研究与应用相比于欧美等发达国家起步较晚,但近年来我国在该领域的研究和应用取得了快速进展,进行了较多的实验室试验以及小区域的精准施肥试验,但并没有进行大范围的推广应用^[6]。苏伟等基于 GIS 开发了一套小麦精准施肥信息系统,该系统利用 GIS 技术、优质小麦生产“氮肥后移”技术、地统计学和数据库系统,可以为小麦种植者提供有效的施肥决策。实验结果表明,通过系统生成的施肥方案开展精准施肥作业可以降低约 25% 的肥料施用量,其综合运用了多种技术手段,为农业生产提供了更加科学、高效的决策支持^[7]。周炼清等基于 WebGIS 开发了一款水稻精准施肥推荐系统,利用 ASP 技术和 JAVA/JavaScript/VBScript 编程语言,将水稻推荐施肥模型 ArcIMS4.01WebGIS 进行了有效集成,通过网络共享操作,提高了用户操作和结果表达的便利性和直观性,使研究成果的推广性大大提高^[8]。侯彦林等基于生态平衡施肥理论和技术体系,开发了精准施肥专家系统。该系统可以根据不同地块的土壤差异以及作物生长情况,提供精准的施肥决策,为农户精准施肥田间作业提供指导^[9]。曹丽英等基于“3S”技术开发了一款玉米精准种植决策系统,该系统采用“3S”技术、人工智能技术、

计算机程序等多种技术手段,具有测土施肥、产量预测、效果分析等功能模块,可以根据田块的实际生成精准的施肥决策,为农户提供有效的施肥指导^[10]。李文文等基于 GIS 开发了一款精准施肥系统,该系统将“3S”技术以及计算机网络技术有效结合,系统能够通过采样点采集信息,进而分析田块内部土壤空间差异性以及作物的长势特征,根据作物需求量和土壤养分状况,制定出科学合理的施肥方案^[11]。除此之外,国内的多位专家和研究人员都为我国精准农业以及精准施肥技术的研究与开发贡献着自己的力量。

目前,国内精准农业处于发展阶段,技术上与发达国家还存在着较大的差距,许多装置仍依赖进口。由于国外农作物和农艺同我国大部分地区存在差异,设备价格也相对昂贵,所以一般不选择从国外引进。为了提高我国变量施肥水平,我国农机科研院所、高校和相关部门的人员引进分析了国外技术,并进行自主研发,但相关技术还需进一步研究。

4 结论与展望

4.1 研究结论

本文通过对物联网技术在农机精准施肥作业中的集成应用研究进行综述,得出以下结论:首先,农机精准施肥在保障国家粮食安全、推动农业绿色发展、增加农民收入等方面具有重要意义,是实现农业现代化的重要途径。其次,当前农机精准施肥面临技术、成本、推广应用等多方面的问题与挑战,如数据采集精度低、技术集成度不高、设备成本高、农户认知不足、技术服务体系不完善等,这些问题严重制约了农机精准施肥的普及与发展。最后,国内外在物联网技术应用于农机精准施肥方面开展了大量研究,取得了显著成果。国外技术发展成熟,应用普及率高,在核心技术研发和技术服务体系建设方面具有优势;国内研究发展迅速,在技术适配性、区域示范推广等方面取得了一定进展,但与国外先进水平相比仍存在差距。

4.2 未来展望

未来,物联网技术在农机精准施肥作业中的集成应用可朝着以下方向发展:技术创新方向:加强核心技术研发,提高传感器检测精度和稳定性,突破传感器国产化技术瓶颈,降低设备成本;加强技术集成创新,实现传感器技术、定位技术、通信技术、人工智能技术等多种技术的深度融合,构建更加智能、高效的精准施肥系统。例如,将人工智能算法应用于施肥方案优化,根据土壤和作物的实时数据,动态调整施肥量和施肥时间,进一步提升施肥精准度

和效率。

成本控制方向：通过规模化生产、技术创新等方式，降低物联网精准施肥设备的生产成本。鼓励企业加大生产投入，扩大生产规模，实现设备零部件的标准化、通用化生产，降低生产成本；同时，加强产学研合作，开发低成本、高性能的替代材料和技术，进一步降低设备价格，提高设备的性价比，让更多农户能够负担得起。

推广应用方向：加强农户培训教育，通过举办培训班、现场演示、发放宣传资料等多种方式，提高农户对物联网农机精准施肥技术的认知水平和接受度，改变传统施肥观念；完善技术服务体系，加大专业技术人员培养力度，建立覆盖全国的技术服务网络，为农户提供全方位的技术指导和售后服务，解决农户在技术应用过程中的后顾之忧；加强区域协调发展，加大对中西部经济欠发达地区的政策扶持和资金投入，推动物联网农机精准施肥技术在这些地区的推广应用，缩小区域农业发展差距。

产业融合方向：推动物联网农机精准施肥技术与农业产业链各环节的融合发展，将精准施肥与农产品追溯、农业生产管理、市场销售等环节相结合，实现农业生产全过程的智能化、信息化管理。例如，将精准施肥数据纳入农产品追溯系统，消费者可通过扫描二维码查看农产品的施肥记录，提升农产品的公信力和市场竞争力；同时，利用精准施肥产生的大数据，为农业生产管理决策和市场预测提供支持，促进农业产业升级和高质量发展。

[参考文献]

[1]刘涛.智能农业中的物联网数据检测与精准施肥技术应用研究[J].南方农机,2025,56(15):52-54.

[2]田辉丽.基于智能化农业机械的精准施肥技术及推广模式探讨[J].当代农机,2025(9):19-20.

[3]张君.农业机械化水平促进农业可持续发展策略分析[J].新农民,2025(16):99-101.

[4]辛军,李佳慧.精准农业背景下农业机械化发展趋势分析[J].中国农机装备,2025(6):129-131.

[5]周巍岩,张燕梁,甘露,等.施肥机构的研究现状及发展趋势分析[J].农机使用与维修,2025(9):51-59.

[6]李凯.变量施肥系统的设计与研究[D].新疆:石河子大学,2017.

[7]苏伟,聂宜民,于振文,等.基于 GIS 的优质小麦变量施肥信息系统研究[J].农业工程学报,2005(7):94-98.

[8]周炼清,史舟,王珂,等.基于 WebGIS 的农业园区水稻施肥推荐系统的研究[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2005(2):60-64.

[9]侯彦林,刘兆荣.生态平衡施肥模型理论与应用[J].土壤通报,2000,31(1):33-35.

[10]曹丽英,张晓贤,姚玉霞,等.基于“3S”技术的玉米精准种植决策系统的设计[J].广东农业科学,2012,39(21):192-195.

[11]李文文,王雪涛,任磊,等.基于 GIS 技术精准施肥系统的研制[J].安徽农学通报,2017,23(5):108-110.

作者简介：新吉勒图（1967.3—），男，职称：农业技术推广研究员，研究领域：农牧业机械化智能化、农机农艺融合发展。

作者简介：新吉勒图（1967.3—），男，职称：农业技术推广研究员，研究领域：农牧业机械化智能化、农机农艺融合发展。