

Research Status and Development Trend of Intelligent Water Fertilizer Integration Technology and Equipment

Fazhan Yang¹, Dongchao Bian^{1*}, Weihua Li², Fulin Jiang¹, Haibo Lin¹

¹College of Mechanical and Automotive Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao Shandong

²Shandong Academy of Agricultural Machinery Sciences, Jinan Shandong

Email: fazhany@163.com, ¹biandongchao@126.com

Received: Jun. 19th, 2020; accepted: Jul. 2nd, 2020; published: Jul. 9th, 2020

Abstract

In view of the fact that the input of water and fertilizer is large; the output is low; and the comprehensive utilization efficiency of various elements is low in China's agricultural production, this paper discusses the outstanding advantages of water and fertilizer integration technology in water saving, fertilizer saving, improving the output and quality of agricultural products, reducing the occurrence of diseases and pests and reducing agricultural pollution, which is the key technology to change the current agricultural development status. In particular, the development, application and promotion of intelligent water and fertilizer integration technology is a new model and technical way to improve the traditional agricultural management mode and promote the development of modern agriculture in China, which can effectively support the rapid development of modern agriculture. In this paper, the development and application of the current technology of water and fertilizer integration, and the existing defects and deficiencies are summarized, and the development direction and key technologies of the technology and equipment are pointed out.

Keywords

Intelligent Water Fertilizer Integration Technology, Research Status, Modern Agriculture, Development Direction

智能水肥一体化技术与装备的研究现状与发展趋势

杨发展¹, 卞东超^{1*}, 李维华², 姜芙林¹, 林海波¹

¹青岛理工大学机械与汽车工程学院, 山东 青岛

*通讯作者。

文章引用: 杨发展, 卞东超, 李维华, 姜芙林, 林海波. 智能水肥一体化技术与装备的研究现状与发展趋势[J]. 农业科学, 2020, 10(7): 419-425. DOI: 10.12677/hjas.2020.107062

²山东省农业机械科学研究院, 山东 济南
Email: fazhany@163.com, biandongchao@126.com

收稿日期: 2020年6月19日; 录用日期: 2020年7月2日; 发布日期: 2020年7月9日

摘要

针对目前我国农业生产中存在的水肥投入量大、产出低, 各类要素综合利用效率低的现状, 本文论述了水肥一体化技术在节水、节肥、提高农产品产量和质量、减少病虫害发生并降低农业污染等方面所具有的突出优势, 并被认为是目前改变农业生产现状的重要关键技术之一。智能水肥一体化技术的开发、应用和推广更是一项加速升级传统农业管理模式、促进我国现代农业发展的新的模式和技术途径, 可有力支撑现代农业的快速发展。本文综述了现有水肥一体化技术的发展研究与应用现状、存在的缺憾和不足, 并指出了该技术与装备的发展方向及关键技术。

关键词

智能水肥一体化技术, 研究现状, 现代农业, 发展趋势

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

截止到 2019 年的年底, 我国人口已突破 14 亿人, 随着城镇化率的提高和城镇化速度的不断加快, 人均耕地占有面积逐步呈现越发紧张的态势。同时, 随着经济的发展和人民群众生活水平的不断提升, 大众对物质生活提出了更高的要求, 亟需农业领域提供门类差异、质优价廉、层次多样的农产品。因此, 我国农业生产面临着单位面积产量与农产品质量双重加速升级的严峻挑战。同时, 随着农业人口向城镇的不断聚集, 直接从事农业劳动的总量人数, 尤其是青壮年人数出现大幅下降, 因此农业生产面临规模化生产趋势尤其紧迫, 农业生产必须依托机械化、自动化和智能化的技术和手段来替代传统的作业与运营模式, 以不断提升农业产业的生产效率和效益。

众所周知, 支撑农业生产发展的最为关键的资源为水资源, 而我国水资源严重缺乏, 人均淡水量仅占世界人均淡水量的 1/4。据统计, 目前农业领域每年灌溉用水的缺口就达 300 亿立方米以上, 而且在我国的很多地区农业用水方式极不合理, 存在大量浪费现象。据统计分析, 目前我国农业用水有效利用率平均不到 40% 左右, 与发达国家(如美国、日本、西欧等)农业用水有效利用率 80% 的状况差距较大[1], 我国农业生产在节水方面还有很大的提升空间。同时, 我国作为一个肥料生产和消费大国。每年使用的肥料约占世界总施肥量的 1/3, 达到 6000 多万吨, 但肥料的有效利用率逐年降低, 自 1980 年至 2014 年, 我国化肥施用总量增长 4.5 倍左右, 而同期我国各类粮食产量的总量仅增长了 82.8%, 化肥消耗量增速远超过粮食产量的增速, 目前平均仅有 30% 左右[2]被作物生长所吸收, 很多地区的农户为了追求高产量, 而一味增加化肥的施肥量, 这种不根据农作物自身生长发育营养元素的需求, 盲目增加施肥的方式, 不仅造成了大量的肥料浪费, 还带来土壤板结、酸化等一系列隐患[3], 非常不利于我国农业生产的可持续发展。根据农业部公布的数据, 现行我国农作物亩均化肥用量达到 21.9 公斤, 远高于世界平均水平的每

亩 8 公斤, 是美国用量的 2.6 倍, 欧盟用量的 2.5 倍。综合来看, 水肥用量的高投入与高消耗、低效能产出已成为制约我国农业实现持续健康发展的拦路虎和绊脚石[4], 必须通过科技手段予以攻克和解决。

水肥一体化技术是当今世界公认的一项高效节水、保肥、低污染、绿色与可持续发展的技术[5] [6] [7] [8], 其实现方法通常一般提前按比例将水和肥料混合, 借助管路的压力直接输运到作物营养物质的吸收区(根部), 快速、稳定、精准地完成灌溉施肥的全过程, 在业界又被称为灌溉施肥、水肥耦合等[9]。这一技术不仅实现了水肥的高效综合利用, 还能有效控制作物根系的湿度(特别是温室大棚), 减少了作物病虫害发生的概率以及农药的使用量, 在节约成本投入的同时, 可大幅降低对水土的污染[10]。不仅如此, 水肥一体化技术和设备的应用在改善土壤品质、保持土壤营养物质、防止土地盐渍化、提高农产品产量和质量方面也有显著效果[11] [12], 目前被越来越多的大型农场所采用。水肥一体化技术自诞生以来, 尤其是在最近几十年的发展过程中, 许多国家(尤其是发达国家)在水肥一体化技术开发方面投入了巨大精力, 尤其是研制了大量的水肥一体化装备及相关的元器件, 为农业生产的高效低耗发展做出了巨大贡献。

2. 国内外水肥一体化技术应用与研究现状

2.1. 国外水肥一体化技术研究现状与应用

水肥一体化技术的核心和起点是滴灌技术, 诞生于 19 世纪的中后期, 在 20 世纪的中期之后, 伴随着塑料工业的发展, 滴灌技术的发展逐渐走上了快车道并趋于不断完善和成熟[13], 在之后的 50 年时间里, 水肥一体化技术在全世界迅猛发展。作为一个最严重缺水的国家之一, 20 世纪 60 年代初以色列逐渐开始在国内普及水肥一体化技术, 并在 1964 年建成了覆盖全国农业生产领域的水肥一体化灌溉系统, 肥料溶解到水中进行滴灌的灌溉模式应用面积占全国耕地的一半以上[14], 到了 80 年代初期, 经过近 20 年的技术发展, 以色列水肥一体化技术更加成熟, 施肥管控系统和作业模式更加精准化、自动化和智能化, 目前水肥一体化作业模式已覆盖以色列 80% 以上的灌溉耕地, 研发出灌溉施肥技术 Netafim 和 Bermad 举世闻名, 引领世界水肥一体化的发展方向[15]。

同时, 作为世界上最大的经济体和发达国家, 美国在 20 世纪初期就建成其国内第一个滴灌工程, 其目前是世界上微灌面积最大的国家, 并握有大量的肥料和水肥一体化装备的专利技术, 在其国内农业比较发达的州, 已建立了比较完善的水肥一体化设施及服务体系[16]。西欧国家的荷兰, 在 50 年代初期开始广泛利用水肥一体化技术大力发展设施农业, 研制和开发了大量适于水肥一体化应用的精确配比的各类液体肥料和对应的施肥装备。目前, 举世闻名的荷兰温室无土栽培技术和控制方式已经完全实现了自动化控制, 荷兰开发的著名的 Priva 技术和 HortiMax 技术目前已经在世界其他国家广泛认可和应用, 创造了较好的经济效益和社会效益[15]。另外, 其他发达国家如德国、澳大利亚、日本等国也非常重视水肥一体化技术的开发和应用, 目前这些发达国家在水肥一体化技术方面的研究投入很大, 发展也比较迅猛。尤其是澳大利亚, 该国在国内大力推行国家水安全计划, 从国家层面重视水肥一体化技术的开发与应用, 逐步建立土壤墒情监测系统用以指导施肥[16]。目前, 部分发达国家的水肥控制系统运用了传感器技术、自动控制技术、物联网等高新技术, 采集环境数据信息, 根据数据信息的需要, 控制系统及时调整外部设备和水肥的配比, 个别地方基本实现了智能化灌溉施肥[11]。

2.2. 国内水肥一体化技术应用与研究现状

我国于 1974 年从墨西哥引进滴灌技术, 并购置了部分设备开始进行小范围的种植实验和探索, 自此开启了我国水肥一体化技术的研究先河[17]。1980 年, 我国成功自主研发制出了第一代适于某些区域应用的水肥一体化滴灌装备, 同时在国家“863 计划”、“科技支撑计划”以及一些地方科研投入的大力支持下[18], 我国的水肥一体化技术与装备研发逐渐进入了快车道。尤其是自 1995 年以后, 国家逐渐加大

了对水肥一体化技术的支持力度,进入 21 世纪以后,我国逐渐开始将理论研究和技术开发与实践经验紧密结合起来,在大量专业技术人才培养、系列化的水肥一体化装备和控制系统等方面,均有了突飞猛进的发展。目前,蔬菜尤其是温室大棚内各类作物、水果、玉米、小麦、棉花等作物的水肥一体化技术已经进入了规模化应用阶段,特别需要说明的是,我国新疆大力实施的棉花膜下滴灌与施肥技术已达到国际领先水平[19]。随着科技的进步和国家在水肥一体化技术和装备方面研发投入加大,我国在水肥一体化灌溉施肥耕地面积上将迈上一个大的台阶。

3. 智能水肥一体化技术目前存在的系列问题和不足

水肥一体化技术和装备研发方面目前虽取得了较大的进步,但在应用中还存在系列问题和不足,与农业生产中农艺的需求还存在很大的差距,主要表现在以下几个方面:

1) 智能水肥一体化装备所需的精准传感器严重缺失,作业方式粗放、细节还不可控

水肥一体化系统需要构建智能监测系统,而该系统需大量不同的传感器,但现阶段我国严重欠缺各类精度的传感器[15],特别是测量土壤肥料元素及含量的传感器,现有的土壤元素传感器测量速度慢,测量精度低且极易受污染失效,不能满足应用需求。另外,目前我国使用的很大一部分设备是简易性的水肥一体化装备,主要是施肥枪和水枪改造的施肥器,通过施肥枪将配置好的肥料直接注入作物根系周围的土壤[20],这类装备结构简单、操作和使用方便,但是用量很难控制。另外,对于丘陵山区地区,利用肥池与田地之间的高度差产生的重力,通过开关控制水量和肥量,将水肥输送到灌溉位置,但该装置受水压变化大,混肥不均匀,施肥精度低,难精确控制。

2) 作物生长模型严重缺乏,肥料与水的混合比例缺乏理论依据,水肥的用量均是靠传统的经验

实现智能决策需要大量的作物生长发育模型构建生长模型库,但我国现有的作物生长模型不足以构建准确的模型库。一种作物生长模型的建立需要花费大量的人力、物力和时间,仅一种作物的生长模型就需要进行大量的对比观察实验,观察时间以年为单位,耗时持久花费众多,且具有很大的不确定性。目前,广泛应用的压差式施肥罐就存在此类问题,该设备在工作时通过前后进出口的压力差,使水进入灌体,将充分混合的肥液压入灌溉管路,但水肥配比不易控制,且需多次添加肥料,添加量也没有依据,全靠经验。此外,在操作过程中,供肥用的注肥泵如受外界或管路的影响,肥液进入管路的流量不稳定,容易造成水肥配备不均匀,导致不同时间点的施肥量差距较大。

3) 智能水肥一体化装备控制的精准算法严重欠缺,还没有完整的体系支撑

生物模型建立、数据处理以及自动控制等方面都需要精准的算法支撑,我国精准算法发展研究较快,已经接近国际顶尖算法的研究水平,而且部分精准算法的研究成果也部分应用于我国水肥一体化装备研发中,这部分装备的控制精度目前也有了明显的改善和提高,但在不同地域的适应性还有待进一步的提高。

4) 适于水肥一体化智能管控与应用的肥料供给严重不足

目前,我国液体肥料严重欠缺,很多液体需要从国外进口。我国最常用的肥料还是以水溶性肥料为主,现有的这些水溶性肥料在和水混合后,大多存在溶解效果较差、容易出现沉淀、杂质含量高等突出问题,很容易出现水肥配比浓度不均匀、且不稳定现象,导致在后续滴灌中易出现堵塞灌溉管路和滴头的问题[20][21][22][23][24]。此外,目前市面上销售的肥料大多具有腐蚀性,灌溉和施肥所用的装备与元器件经常受到腐蚀和侵蚀现象,导致设备的使用寿命大幅缩短。尤其需要特别说明的是,由于传感器的精度和信息提取能力极易受腐蚀的影响,因此现有的肥料很容易造成现有传感器有限使用寿命的降低和使用周期内灵敏度降低等问题,给水肥一体化整个系统造成很大的损失和破坏。

5) 现有设备的地域适应性差、自适应能力不高

目前我国大部分的水肥一体化装备应用的领域较为集中,如棉花、果树、大棚蔬菜等,且一套装备只适用一种或者两种作物,而且需要进行繁琐的调整,不能或者很难实现一机多用,适应性较差,给农户增加了较多的成本。不仅如此,部分装备由于研发的理论和简化模拟等步骤,以及实验环境和条件的不利,使研发的设备仅适用于特定的地区与环境,普适性较差,实际应用还存在不少问题。

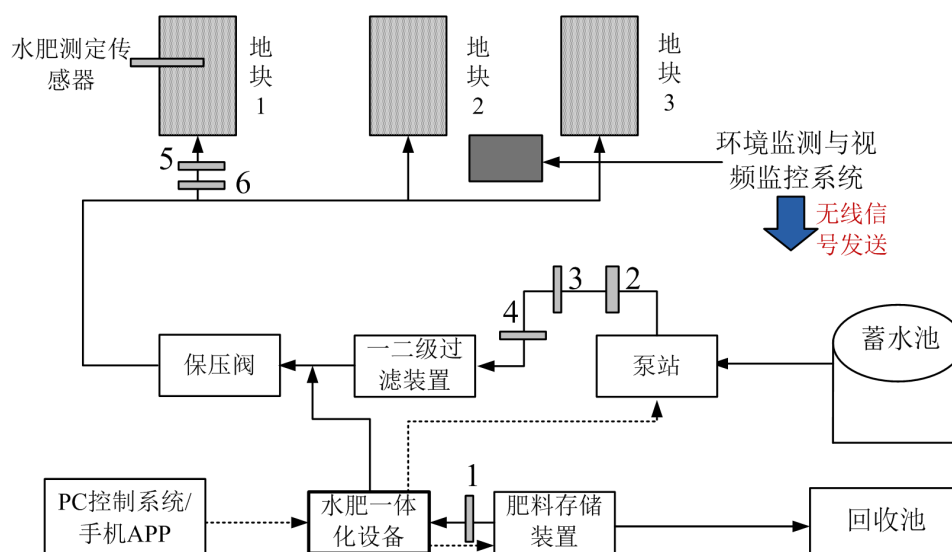
6) 其他问题

除上述列举的问题外,在我国部分干旱地区还存在水分蒸发过快,长期使用水肥一体化设备出现的土壤盐渍化现象如何解决的问题;长时间灌溉过程中滴头出现的化学堵塞和生物堵塞现象;水肥一体化技术涉及机械、电子、农学、植保等多学科的交叉,目前在技术开发等方面还面临技术储备不足,还缺乏专门的研发人才等。

4. 智能化水肥一体化技术与装备发展方向

下面以图 1 所示的水肥一体化田间作业为例,探讨后续智能化的水肥一体化技术和装备的发展方向 and 特征。

1) 实时智能监测系统的开发将助力水肥一体化向智能化方向发展:实时智能监测系统(如图 1 中环境监测)可实时监测作物的生长发育状况以及作物生长环境的变化,包括温度、湿度、气流速度、CO₂ 浓度、土壤各元素的含量、土壤的 PH 值等,而作物的生长发育以及各个时期所需要的水、肥、光、温等由其自身属性所确定,也就是由作物的生长模型来确定。这就需要对水肥的“供给侧”进行测定,以作物生理性的需要为出发点,建立作物的生长模型,以此模型根据不同的生长期计算核准所需提供作物根部土壤的含水率(墒情,以地块中设置的传感器为数据依据进行综合判定),并将该数据实时提供给基于环境监测与互联网技术相结合的智能监测系统,综合判定水肥的供给与否、供给量的多少为宜。因此,实时智能监测系统的开发是水肥一体化技术必须克服的首要问题。



图中 1, 6 为电磁控制阀 + 流量计, 2 压力表, 3 排气阀, 4 止回阀, 5 流量计。

Figure 1. Schematic diagram of water fertilizer integrated operation

图 1. 水肥一体化田间作业示意图

2) 大功率无线远程高精度传感器技术开发:如图 1 中地块 1 中水肥测定传感器需要提取并生成控制系统可认可的数据,作物周边土壤中的各类肥料含量、土壤中水分的含量均需要精准测定并将信号传输

给水肥一体化装备的控制系统，由控制系统根据作物生长模型的模拟数据进行判断，是否启动设备进行水肥的供给，而在供给过程中，传感器需要进行不间断的检测水肥滴灌中各个参数的变化，并准时提供给控制系统，改变设备允许的状态。上述工作必须依附于大功率无线远程高精度传感器的支持作用。

3) 智能远程自动控制技术的开发：当智能监控系统将采集的环境的数据信息、肥料存储装置中肥料的量值、并结合智能数据算法，实时监测水肥配比和流量数值，通过自动控制设备的运转和阀块的闭合，并在运转中适时对肥液的浓度进行自动的调整，能够自行完成自动灌溉与施肥。

4) 农业大数据集成与分析技术：根据前述的实时智能监测系统，能够根据生产要素进行作物长势的剖析、作物成熟度、产量等的分析，并对后续测土配方施肥、病虫害预警分析等，为后续农业生产提供智能化的指导。

5. 结论

随着现代农业技术的不断发展，我国农业要实现可持续发展，必须坚持高科技技术手段支撑下的高效低耗的战略决策，水肥一体化技术在提高水肥的综合利用率、改善土壤性质提升地力、减少农业污染和提升作物品质方面具有显著优势，必定是支撑现代农业发展的支柱技术之一，也是改变我国由传统农业向现代节约水肥、绿色可持续农业发展模式的必由之路，尤其是智能水肥一体化技术的开发、推广和大范围应用，是实现我国由农业大国到农业强国的重要途径和手段。随着传感器技术、信号及其无线传输技术、智能远程自动控制技术、大数据提取与数据处理/分析技术、数据结构与精准算法及物联网技术的快速发展和在水肥一体化技术及装备中的推广应用，将进一步推动我国现代农业沿着绿色、可持续、高效低耗的方向快速发展，为“乡村振兴”战略的实施贡献科技的力量和支撑。

基金项目

国家重点研发计划子课题(2018YFD0300606)、青岛市科技惠民示范引导专项(基于 GIS 的智能高效山地丘陵水肥一体化技术及装备研发)、青岛西海岸新区科技项目(科技惠民：2018-21)。

参考文献

- [1] 李永梅, 陈学东, 李锋, 张学俭. 我国水肥一体化技术发展研究[J]. 宁夏农林科技, 2018, 59(9): 51-53.
- [2] 马富裕, 刘扬, 崔静, 等. 水肥一体化研究进展[J]. 新疆农业科学, 2019, 56(1): 183-192.
- [3] 谭鸣. 探析传统农业施肥的不足及现代农业施肥的发展方向[J]. 种子科技, 2018, 36(10): 8 + 11.
- [4] 高祥照, 杜森, 吴勇, 等. 水肥耦合是提高水肥用效率的战略方向[J]. 农业技术与装备, 2011(3): 14-15.
- [5] 骆东松, 姜浩. 农业水肥一体化智能监控系统的研究与实现[J]. 自动化技术与应用, 2020, 39(1): 164-168+172.
- [6] 周良富, 金永奎, 薛新宇. 电磁阀开关模式下文丘里施肥器吸肥特性研究[J]. 农业工程学报, 2019, 35(22): 277-284.
- [7] 金永奎, 盛斌科, 孙竹, 等. 水肥一体化管控系统设计和实现[J]. 农机化研究, 2020, 42(6): 29-35.
- [8] 周加森, 马阳, 吴敏, 等. 不同水肥措施下的冬小麦水氮利用和生物效应研究[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(9): 36-41.
- [9] 吴勇, 高祥照, 杜森, 等. 大力发展水肥一体化加快建设现代农业[J]. 中国农业信息, 2011(12): 19-22.
- [10] 方栋平, 张富仓, 李静. 灌水量和滴灌施肥方式对温室黄瓜产量和品质的影响[J]. 应用生态学报, 2015(14): 175-177.
- [11] 吴应玲. 水肥一体化技术研究[J]. 河南农业, 2018(17): 28+31.
- [12] 红金. 水肥一体化技术的研究探讨[J]. 现代农业, 2017(4): 36-37.
- [13] 李字霞, 郭艳玲. 节水喷灌技术设备的研究[J]. 林业机械与木工设备, 2009, 37(2): 12-15.
- [14] 李寒松, 贾振超, 张锋, 等. 国内外水肥一体化技术发展现状与趋势[J]. 农业装备与车辆工程, 2018, 56(6): 13-16.
- [15] 李恺, 尹义蕾, 侯永. 中国设施园艺水肥一体化设备应用现状及发展趋势[J]. 农业工程技术, 2018, 38(4): 16-21.

-
- [16] 张凌飞, 马文杰, 马德新, 等. 水肥一体化技术的应用现状与发展前景[J]. 农业网络信息, 2016(8): 62-64.
- [17] 刘秀丽, 李志胜. 苹果水肥一体化技术研究进展[J]. 烟台果树, 2017(4): 6-9.
- [18] 王凯. 我国滴管水肥一体化技术研究与发展现状[J]. 乡村科技, 2016(12): 61-62.
- [19] 陈广锋, 杜森, 江荣凤, 等. 我国水肥一体化技术应用及研究现状[J]. 中国农技推广, 2013(5): 39-41.
- [20] 王海亭. 水肥一体化技术在农业生产中的运用[J]. 乡村科技, 2019(29): 122-124.
- [21] 韩启彪, 黄兴法, 刘洪禄, 等. 6种文丘里施肥器吸肥性能比较分析[J]. 农业机械学报, 2013, 44(4): 113-117+136.
- [22] 赵春江, 郭文忠. 中国水肥一体化装备的分类及发展方向[J]. 农业工程技术, 2017, 37(7): 10-15.
- [23] 韩子鑫, 齐瑞锋, 杨文挺. 智慧农业发展中物联网技术在设施农业中的应用[J]. 中国农业文摘-农业工程, 2017, 29(6): 21-23.
- [24] 赵云莉. 水肥一体化技术与液体肥料[J]. 氮肥技术, 2013, 34(5): 46-48.