

施肥机械的研究现状及发展趋势

胡显威, 毛 伟

(新疆职业大学机械电子工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830013)

摘要: 施肥是农产品生产过程当中的重要环节, 该环节需通过施肥机械完成。本文针对国内外固体式施肥机械、液体式施肥机械及变量施肥机械, 总结分析了圆盘离心式、叶片式、锤片式和链指式施肥机的原理和优缺点, 并基于我国施肥机械出现的市场生产限制、农机与农艺缺少有机结合、配套机构研制缓慢等问题, 对我国施肥机械的发展提出了3点建议, 即政府应出台相关政策保障企业生产, 鼓励高校和企业联合研发高新技术; 集中小规模土地, 促进大规模施肥作业模式的形成; 结合实际作业条件, 逐步改进和优化机具相关零部件, 为实现变量精准施肥提供更高保障。

关键词: 施肥机械; 离心式; 农艺; 精准施肥

中图分类号: S233.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-2154 (2023) 02-0025-05

0 引言

农作物的生长及作物质量离不开肥料, 它是农业生产中最重要的营养物质。根据联合国及农业组织 (FAO) 的统计, 农作物产量的 40% ~ 60% 都是由肥料决定。合理的施肥主要包括化肥比例配置、先进的施肥技术以及高效率的施肥机械 3 部分^[1]。在我国, 化肥比例配置已基本达到饱和水平, 但先进的施肥技术和施肥机械却相对滞后^[2]。目前多数地区仍采用传统手工撒肥方式完成施肥作业, 仅有部分地区实现机械化施肥, 而实现机械化精准施肥地区则更少^[3]。

综合考虑现存施肥方式, 手工撒肥的缺点尤为突出, 此方式首先需要大量的劳动力, 且无法探测到某一块区域所需施肥量, 其次手工撒肥通常撒到地表, 造成肥料中的氮、磷、钾等元素大量挥发, 不能被农作物的根系吸收^[4]。随着农作物种植面积的扩大, 对施肥机械的要求则越高, 不同农作物的精准施肥成了目前亟需解决的问题。

本文针对固体肥料和液体肥料的施肥方式, 对比国内外现存施肥机械的种类及作业方式, 分析我国施肥机械存在的问题, 探索适用于我国农作物的施肥机械, 旨在为我国智能农业装备的发展提供参考方向。

1 作物对营养物质的吸收方式

不同农作物对营养物质的吸收方式不同, 例如, 果树在生长过程中不但吸收大气中的氧气、二氧化碳等, 还需吸收大量土壤中存在的养分, 故一般施肥时需要在其根系旁开沟^[5], 然后进行施肥, 该方式多用固体废料, 如图 1 (a) 所示。蔬菜、水稻等目前大多使用液体肥料进行喷洒, 液体肥营养高、养分齐全、见效快、吸收利用率高, 经常用在追肥过程中^[6], 如图 1 (b) 所示, 但还存在部分地区是撒播固体颗粒废料。



(a) 固体肥 (b) 液体肥

图 1 不同形态肥料

2 国外施肥机械研究现状

2.1 固体式施肥机械

固体式肥料包括人工有机肥和化学制造的颗粒

收稿日期: 2023-02-27

基金项目: 新疆职业大学2021年度校内科研课题 (XJZD21KY013)

作者简介: 胡显威 (1994—), 男, 硕士, 助教, 研究方向为智能制造。E-mail: 691914760@qq.com

化肥。国外对固体式肥料的使用机械主要朝着大规模化和自动化的方向发展,集成度较高,主要总结为以下几种:

1) 圆盘离心式撒肥机。波兰 UNIA 公司研发的圆盘离心式撒肥机,该机工作部件主要由撒肥圆盘、2~6 个旋转叶片及壳体总成组成,动力主要由拖拉机后输出轴提供,如图 2(a)所示。



(a) 单圆盘结构 (b) 双圆盘结构

图 2 圆盘离心式撒肥机

该施肥机工作时,肥料箱中的肥料在振动板作用下,流到高速旋转的撒肥圆盘上,借助离心力将肥料抛出。其中,排肥口的活门能够调节排肥量大小,且该机抛出肥料的位置在圆盘上可随时调节,方便施肥机在地的左、右单面施肥^[7]。经过对该机的改进和优化,研发了双圆盘式施肥机,两施肥圆盘转向相反,能够选择性地关闭左右两边的旋转圆盘,方便单边施肥,如图 2(b)所示。

该机结构较简单,工作效率较高,料斗容量最高可达 2 100 L,撒肥量可调,最高可达 1 000 kg/hm²;缺点是横向和纵向施肥量不均,不能实现精准施肥。

2) 叶片式施肥机。叶片式施肥机主要通过输送机构将肥料运送至抛洒机构,抛洒机构是几片高速旋转的叶片,叶片用旋转产生的力将肥料撞出,完成抛洒过程^[8]。典型机型是法国库恩公司研发的 Axis 30.1 撒肥机,如图 3 所示。



图 3 Axis 30.1 撒肥机

该机结构简单,容量可达 3 000 L,能够实现 12~42 m 的作业幅宽,施肥量及出料口控制可通过

液压或电控液压缸实现,提高了上料和卸料的速度,能够适用于多种有机肥料,适用性较强。缺点是無法实现精准施肥,横向和纵向施肥量无法控制,仍然存在肥料浪费的现象。

3) 锤片式施肥机。锤片式施肥机典型代表是法国库恩公司研制的库恩 8124 ProTwin 等机型,多用于侧抛施肥,该机抛洒机构是利用类似锤片的零件,当肥料被螺旋输送机构送至抛洒口,高速旋转的锤片会分解肥料,将肥料自下而上抛出^[9],如图 4 所示。

该机能够对外形较大的有机肥进行粉碎播撒,质量可靠,使用寿命长,缺点是因锤片抛洒,故不适用于化学颗粒肥料和液态肥料,作业过程中机具功率需求较大,施肥量无法精准控制。



图 4 Kuhn 8124 型施肥机

4) 链指式施肥机。链指式施肥机利用了链指式排肥器,是全幅施肥机上采用的一种排肥器^[10]。它的作业机构是 1 条回转链条,链指斜置安装在链节上。施肥时,链条沿箱底轨迹运动,化肥被链指带到排肥口排出。为保证箱底部肥料被完全排除,在链条上装有刮刀。该类型施肥机械的典型代表机型是美国的 Case IH 公司研发的 Nutri-Placer 930,如图 5 所示。

该机作业幅宽较大,能够实现精准施肥,多与播种机配套使用,适应性较强,适合于行栽类作物的施肥作业。但相比前 3 种施肥机械,该机工作效率较低,且机具结构复杂,研发相对困难。



图 5 Nutri-Placer 930 施肥机

2.2 液体式施肥机械

液体施肥包括将液态肥喷洒在农作物表面,以

及将液态肥施入土壤 2 种。针对直接将液态肥注入土壤, 国外研发了 BLUE-JET AT3105 型液态施肥机, 利用管道将液体肥料输送至开沟器开好的沟壑中, 后通过覆土盘覆土, 完成施肥^[11], 如图 6 所示。

该机施肥幅宽可同时完成 15 行左右的施肥, 适用于行栽类作物, 可实现精准喷洒施肥, 节约肥料; 但该机不适用于小规模土地作业和山地作业, 适用于平原作业, 且机具上需加装肥料储存罐, 整体质量较大, 所需输入动力源的马力较大。



图 6 BLUE-JET AT3105 型液态施肥机

2.3 变量精准式施肥机械

随着“3S”信息系统、农作物的种植管理技术及智能农业装备技术应用于农业生产和管理当中, 农业田间管理逐渐出现了精准施肥概念。

美国 Case 公司研制的 Flexi Coil 系列变量施肥机械, 如图 7 所示。该机是由传统的施肥机具安装电子控制系统构成, 能够完成多行精准变量施肥作业^[12], 多以单一类型肥料的施撒为主。目前, 正在向多种肥料同时变量施撒方向过渡。



图 7 Flexi Coil 系列的变量施肥机械

日本的精准农业技术在全世界相当领先, 目前精准施肥技术多运用于水稻苗期生长的变量施肥, 如图 8 所示。图中的水稻变量施肥系统主要由拓普康的 CropSpec 传感器、控制器、DGPS 导航系统及普通喷洒式施肥机组组成, CropSpec 传感器能够采集土壤中氮的含量, 并将数据传输到控制器, 控制器能够根据该数据控制肥料的撒播量, 从而实现精准施肥^[13]。该机最主要的特点就是数据采集, 动态监

测及动态喷洒均为实时进行, 可随时自动调节。缺点是仅适用于喷洒作业, 对操作人员驾驶技术有要求。

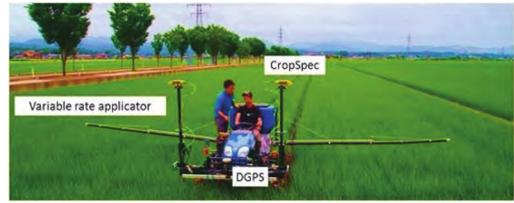


图 8 日本水稻变量施肥机械

法国基于 GPS 和 GIS 技术, 开发了“女骑士 (AMASAT)”肥料撒播变量控制系统, 搭载变量离心撒播机和变量自动喷雾机, 已大规模投入生产和使用^[14]。作为数据依托, 大多数发达国家的科学家确立了较为完整的信息网络, 将每年的农作物产量与施肥量、土壤养分含量、肥料类型及生长关键期的墒情分布等数据输入到精准农业系统进行存储, 形成精准施肥的数据库, 如图 9 所示, 该研究取得了较大的科研进步。



图 9 田间墒情数据采集

3 国内施肥机械研究现状

我国施肥机械始于 20 世纪 60 年代中期, 随着我国农业机械化的快速发展, 国内相继研制了多种类型的施肥机械, 但相比国外施肥机械作业规模较小^[15]。例如, 山东圣鲁研制的手扶式施肥机, 如图 10 (a) 所示; 江西滕州农机研制的自走式施肥机, 需要拖拉机牵引, 如图 10 (b) 所示; 石家庄保农业机械研发的旋耕施肥机, 能够完成 3 行作业, 如图 10 (c) 所示; 曲阜金佳机械研制的履带式旋耕施肥机, 能适用于较差的地理环境, 如图 10 (d) 所示。

国内对精准变量施肥技术的研究起步相对于国外发展较晚, 近年来众多高校和农业科研单位大规模引入国外先进的精准变量施肥技术, 并基于我国农艺要求对国外先进的精准变量施肥技术进行针对

性优化,取得了比较显著的成果。



(a) 手扶式施肥机 (b) 自走式施肥机



(c) 旋耕施肥机 (d) 履带式旋耕施肥机

图 10 国内施肥机械

吉林大学以传统施肥机械为载体,研发了利用 IC 卡完成手动变量施肥的机械 2SF-2 和自动变量施肥机械 2BFJ-6。该机施肥过程中基于倾斜网格划分理论进行施肥作业,通过 AGGPS132 技术进行田间精准定位,利用单片机完成网格划分并识别,并将每个网格进行命名,后控制系统以网格的名字访问 IC 卡并确认当前网格的施肥量,由单片机控制系统实现变量精准施肥^[16],如图 11 所示。该机能够实现精准施肥,但作业宽度有限,仅适用于小块地的施肥作业。



图 11 吉林大学研制的变量施肥机械

南京农业大学研制的离心式肥罩式水稻地表变量撒肥机,结合当地农艺特点,采用近地光谱探测技术和 PID 模糊控制系统,开发了水稻和冬小麦精准施肥控制系统,搭载施肥机具,有效提高了施肥机械的精准控制度^[17-18],但该机作业速度有限,如图 12 所示。



图 12 离心式肥罩式水稻地表变量撒肥机

4 我国施肥机械发展的局限及建议

4.1 市场生产限制

国内外施肥机械的应用目前已处于普遍状态,国内大部分使用的仍是传统的施肥机械,而精准施肥的农业机械相对较少,因其机械结构相对复杂,且需配套北斗卫星和 GPS 等先进定位技术,大大提高了精准施肥设备的研发难度。我国专门生产施肥设备的厂家较少,均是通过部件的形式装配在旋耕机、除草机等设备上,仅属于附属部件,没有将其专业化和单机化。究其因是生产企业不愿承担制造单体施肥机械的风险,若单体精准施肥机械被普及,则企业配套的其他相关农业设备的需求量就会降低。国内施肥机械目前多处在实验室阶段,对比国外的施肥机械,生产制造技术还不成熟,企业不愿将成本投入到产品的研发阶段当中。

针对以上问题,首先,国家应出台相关政策保障企业的研究与生产,解决企业在新技术研发、新设备投入的后顾之忧,鼓励高校和企业联合研发高新技术。同样,应提倡推广和使用北斗导航等新技术,加快农业装备信息化、智能化进程。

4.2 农机与农艺结合困难

我国土地分散,且农作物种类繁多,农业机械化、规模化作业难以集中,当前部分地区的作物种植模式与施肥机械不配套,导致新型施肥机械无法适应种植农艺要求。另外我国山地、丘陵地区较多,这类地区农业机械化程度较低,土地规模化实施困难,建议在作物种植过程当中统一农艺标准,规范农民种植模式,针对性地研发适合此类山地、丘陵地区的小型农业装备。其次,我国在土地管理当中,应集中小规模土地,扩大成片、成区域的大土地种植模式,促进大规模施肥作业模式的形成。

4.3 配套部件研制缓慢

目前施肥机械作业时, 均需要多种配套部件配合工作。例如开沟器, 不同材料和形状的开沟器直接决定施肥机械的施肥效果, 如果没有提高开沟器的强度及优化开沟形状, 就无法得到合格的沟形和良好的施肥效果。对于液态喷洒施肥机, 其按照多行模式进行作业, 该类施肥机的喷嘴是研发的重点之一, 它直接关系液态肥料是否能够按量喷洒在作物表面或沟壑内, 该喷头还需要长时间承载一定的压力且质量不能过大, 防止伸缩杆变形, 因此该喷嘴需要较大的硬度和较小的质量。

故建议零部件从受力分析开始, 做好力学试验及疲劳强度的试验, 保证零件基础性能的同时加快各种信息检测技术、先进制造技术和3D打印技术的引入, 切实提高农业机械的整体性能, 结合实际作业条件, 逐步改进和优化相关零部件, 为实现变量精准施肥提供基础保障。

5 结论

本文举例说明了国内外多种类型施肥机械的作业原理及其优缺点, 结合我国施肥机械的使用情况和研发现状, 基于现存问题, 提出以下3点建议: ①国家出台政策支持企业和高校对信息定位技术的研发; ②在作物种植过程当中统一农艺标准, 规范农民种植模式, 集中小规模土地, 扩大成片、成区域的大土地种植模式, 促进大规模施肥作业模式的形成; ③做好零部件制造的基础工程, 保证零件基础性能的同时加快各种信息检测技术、先进制造技术和3D打印技术的引入, 切实提高农业机械的整体性能, 让我国农业向精准智能化方向发展。

参考文献

- [1] 何亚凯, 赵学观, 李翠玲, 等. 玉米追肥机械施肥技术研究现状与分析[J]. 农机化研究, 2021, 43(7): 1-9.
- [2] 韩英, 贾如, 唐汉. 精准变量施肥机械研究现状与发展建议[J]. 农业工程, 2019, 9(5): 1-6.
- [3] 白由路. 高效施肥技术研究的现状与展望[J]. 中国农业科学, 2018, 51(11): 2116-2125.
- [4] 徐朋飞, 师广强, 张厚东, 等. 新疆果园施肥机械研究现状及建议[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(3): 33-37.
- [5] 张鲁云, 何义川, 杨怀君, 等. 液体施肥机械发展现状与现代农业关系分析[J]. 中国农机化学报, 2021, 42(4): 34-40.
- [6] 宋月鹏, 张紫涵, 范国强, 等. 我国果园开沟施肥机械研究现状及发展趋势[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(3): 7-12, 25.
- [7] MORSE M. Report of the committee on fertilizer distributing machinery of the American society of agronomy 1[J]. Agronomy Journal, 1928, 20(3): 302-304.
- [8] 肖远, 吴雪梅, 宋朱军, 等. 一种自走式施肥机变量施肥控制系统改进[J]. 农业装备与车辆工程, 2022, 60(10): 42-46.
- [9] 谭好超, 徐丽明, 马帅, 等. 刮板式有机肥条铺与旋耕混合施肥机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2022, 53(11): 163-175.
- [10] 陈爱慧, 田健, 吴昊, 等. 有机肥料及其配套施肥机械的发展现状[J]. 农机使用与维修, 2022, 313(9): 1-5.
- [11] I.A. DANIYAN et al. Development and performance evaluation of organic fertilizer machinery[J]. Cogent Engineering, 2017, 4(1): 131-139.
- [12] 段洁利, 李君, 卢玉华. 变量施肥机械研究现状与发展对策[J]. 农机化研究, 2011, 33(5): 245-248.
- [13] 彭珍凤. 精准施肥机械及关键技术[J]. 农业装备技术, 2009, 35(1): 17-19.
- [14] CHEN LIQING, LI YAN, CAO CHENGMAO, et al. Optimization design for vibration reduction of micro planter and fertilizer machinery used in mountain area based on genetic algorithm[J]. 2015, 31(3): 17-22.
- [15] 郑磊. 基于GPS的精确农业自动变量施肥控制系统的研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2009.
- [16] 于英杰. 基于传感器定位的变量施肥控制系统研制[D]. 吉林: 吉林大学, 2010.
- [17] 施印炎, 陈满, 汪小崑, 等. 稻麦精准变量施肥机排肥性能分析与试验[J]. 农业机械学报, 2017, 48(7): 97-103.
- [18] 陈满, 施印炎, 汪小崑, 等. 冬小麦双变量施肥控制策略研究[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(11): 58-62.

(下转第50页)

Design of Integrated Decision System of Irrigation and Fertilization for Based on the Application of Big Data of Environments and Physiology

Tan Jiangfeng¹, Zhang Lihui¹, Liu Haifeng^{1,2}, Xie qiubo^{1,2}, Chen Wanyun¹

(1. Guangzhou Joinken Network Technology Development Co.,Ltd.,Guangzhou 510630, China;

2. Guangdong Institute of Modern Agricultural Equipment,Guangzhou 510630, China)

Abstract: Irrigation and fertilization was the important application of agriculture. The research and application of decision-making integrated irrigation and fertilization system are few, This study was oriented to the yield of crops, and expounds a system, which used big data analysis technology, to analysis data of environments and physiology also the agronomic theory. By the system, constructs crop cultivation model, drives the formation of cultivation management regulation decision, and finally implements comprehensive application technology of regulation operation through fertilizer applicator. This system purpose was to promote the regulation strategy mechanism of irrigation and fertilization from “theoretical guidance, experience guidance and fixed value regulation” to the technical improvement based on comprehensive analysis and judgment of big data and real-time accurate regulation.

Key words: big data technology;integration of water and fertilizer;crop physiology and crop habitat;multifactorial coupling algorithm

(上接第29页)

Development Status and Expectation of the Fertilizer Machinery

Hu Xianwei, Mao Wei

(College of Mechanical and Electronic Engineering,Xinjiang Vocational University,Urumqi 830013, China)

Abstract: Fertilization is an important link in the production process of agricultural products, which needs to be completed by fertilization machinery. Aiming at domestic and foreign solid fertilizer machinery, liquid fertilizer machinery and variable rate fertilizer machinery, this paper summarizes and analyzes the principles, advantages and disadvantages of disc centrifugal, blade, hammer and chain finger fertilizer machinery, and based on the market production limitations of China's fertilizer machinery, the lack of organic integration of agricultural machinery and agronomy, and the slow development of supporting institutions, provides three suggestions for the development of China's fertilizer machinery, That is, the government should introduce relevant policies to guarantee enterprise production and encourage universities and enterprises to jointly research and develop high-tech. Secondly, it is suggested to concentrate small-scale land and promote the formation of large-scale fertilization operation mode. Finally, in combination with the actual operating conditions, gradually improve and optimize the relevant parts of machines and tools to improve the guarantee for achieving variable precision fertilization.

Key words: fertilization machinery;centrifugal;agronomy;precision fertilization