

机械式精密排种器研究现状及建议

吴永辉, 尚 均, 王晨曦, 任方杰, 段兴云, 吕小荣*

四川农业大学机电学院, 四川 雅安

收稿日期: 2025年3月16日; 录用日期: 2025年4月16日; 发布日期: 2025年4月24日

摘要

精密播种在当下已成为主流播种方式。其中, 排种器作为播种机的核心部件, 其性能的优劣对播种质量起着决定性作用。本文全面且系统地归纳分析了机械式精密排种器在国内外的研究现状。旨在为机械式精密排种器的研制与推广提供坚实的理论依据和具有建设性的建议, 推动农业播种向更高效、更精准的方向发展。

关键词

机械式排种器, 精密排种器, 研究现状, 精准农业

Research Status and Suggestions of Mechanical Precision Seed Meters

Yonghui Wu, Jun Shang, Chenxi Wang, Fangjie Ren, Xingyun Duan, Xiaorong Lyu*

College of Mechanical and Electrical Engineering, Sichuan Agricultural University, Ya'an Sichuan

Received: Mar. 16th, 2025; accepted: Apr. 16th, 2025; published: Apr. 24th, 2025

Abstract

Precision seeding has become the mainstream sowing method in contemporary agriculture. As the core component of seeders, the performance of seed meters plays a decisive role in seeding quality. This paper comprehensively and systematically reviews and analyzes the research status of mechanical precision seed meters both domestically and internationally, aiming to provide a solid theoretical foundation and constructive suggestions for the development and promotion of mechanical precision seed meters. The study seeks to advance agricultural seeding practices towards a more efficient and precise direction.

*通讯作者。

Keywords

Mechanical Seed Meter, Precision Seed Meter, Research Status, Precision Agriculture

Copyright © 2025 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

二十世纪以来,农艺的不断发展对播种方式提出了更为严苛的要求,精密排种技术应运而生。这一技术能够显著提升播种的精度与效率,进而实现农作物的高产与优质。而精密排种技术的核心部件当属精密排种器,其性能对播种质量起决定性作用。精密排种器按照工作原理的不同可分为机械式精密排种器和气力式精密排种器[1]。其中,机械式精密排种器又主要分为窝眼轮式、圆盘式、指夹式和槽轮式等。我国2022年农作物耕种收综合机械化率达到73%,而西南丘陵山区主要农作物耕种收综合机械化率为51%,落后22个百分点。主要原因是西南丘陵山区地面崎岖不平、地块较小且不规整等自然条件限制以及作物品种多等因素。机械式精密排种器凭借结构简单、成本低廉的优势,在我国西南地区的小地块得到了广泛应用。但机械式精密排种器由于其自身结构的局限性,在中高速作业时存在充种率明显下降的严重缺陷[2],因此,提高机械式精密排种器的高速运动性能成为目前研究热点。同时,在豆玉复合种植的趋势下,一机多作物通用播种成为对机械式精密排种器的新要求。

2. 国内研究现状

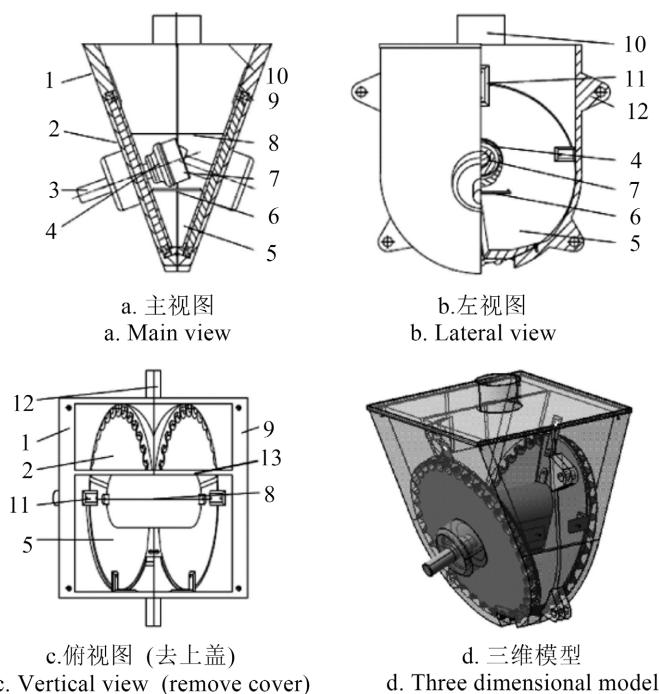


Figure 1. Opposed swash plate high-speed precision soybean seed metering device

图 1. 对置斜盘高速精密大豆排种器

我国机械式精密排种器的研究开始于 20 世纪 70 年代初, 最近几年国内气力式排种器发展迅速, 但仍有相当一部分针对机械式精密排种器的研究, 国内目前针对机械式排种器的研究主要分为两个方面:

- 1) 改进排种器结构, 在保证播种质量的前提下提高播种效率。
- 2) 将排种器模块化、通用化, 使其能够一机多用, 实现多作物通用播种。

在提高播种效率方面, 刘宏新[3]以增加充填力的方式对立式圆盘排种器进行改进, 设计了一种利用重力与离心力以及种子间相互作用力作为复合力进行充种的双腔立式浅盆型复合种盘机械式精密排种器, 利用 EDEM 进行三因素五水平的仿真试验, 得到最优参数组合, 满足了高速作业的要求。

东北农业大学刘宏新等[4]研制的对置斜盘高速精密大豆排种器, 综合了传统立式圆盘排种器(结构简单可靠、抗堵塞性能好)和水平圆盘排种器(播种精度高、灵活性高)的优点, 研发出一种种盘呈 20°倾斜对置的排种器, 如图 1 所示。其对置斜盘轮流播种, 提高了播种速度, 且不影响稳定性。斜置的圆盘不仅能够提高种子充填度, 还能节约装置所占用的空间。但该排种器对安装装配要求较为严格, 对置斜盘结构需要精确的机械配合, 相较于传统立式圆盘排种器其制造工艺要求更高, 成本上升, 同时维护难度加大。

西北农林科技大学沈浩[5]针对机械式精密排种器在高速作业下种子堆积形成粒拱阻碍充种、清种结构过度清种导致漏播的问题, 设计了一种导种槽式精量排种器, 如下图 2 所示, 该排种器取消了清种机构而改用导种槽, 提升了机械式精密排种器高速作业下的播种表现。但高速作业下种子与槽壁作用可能导致种子破裂率提高, 同时导种槽形状固定, 难以适应不同大小、形状的种子。

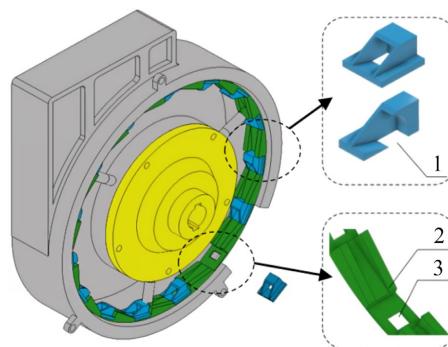


Figure 2. Guided seed groove-type precision seed metering device

图 2. 导种槽式精密排种器

吉林大学的陈玉龙等[6]设计了一种凸勺排种器, 该排种器型孔开口方向沿排种盘的切向, 使种子充种运动的方向和型孔开口方向一致, 相较于传统的径向开口的型孔, 该排种器取消了排种器最大转速受到种子充种速度的限制, 提高了其在高速作业下的充种能力。台架试验表明, 在行进速度为 6~12 km/h 时排种器合格率高于 93%, 漏播率低于 3%。

王希英等[7]通过对充种过程进行动力学分析和 EDEM 排种仿真试验, 优化设计了勺式排种器取种凹勺的结构参数, 使得凹勺取种过程的流畅性和播种性能得到优化, 提高了排种器的作业性能稳定性。

在将排种器模块化、通用化方面, 新疆农业大学的刘希光等[8]基于 TRIZ 理论对打瓜精量排种器进行了创新设计, 将打瓜精量排种器模块化, 各零部件的分割程度提高, 提高了排种器适应性和工作可靠性, 便于适应不同种类种子排种需求和后期维护, 同时优化了取种总成结构和取种块的形状、尺寸, 将取种块导流面与有效夹持面间给予倒圆成过渡曲面, 试验测得漏播指数较优化前降低 2.66%, 整体合格指数增加 2.22%。该研究对后续打瓜精密排种器的广泛应用创造了良好的条件, 提高了打瓜精密排种器

的易用性,降低了使用成本,有利于对其进行推广。

华中农业大学[9]研制了一种双腔机械式排种器,该排种圆盘采取双腔式垂直圆盘侧边充种、护种、排种的形式,结构紧凑,通过调节左右两个进种管调节装置可以实现单边或双边播种,实现播量的快速调节,能适应不同种类种子播量的要求,通过更换不同型孔的排种盘,调节排种盘转速可以调节播量和株距以满足不同种子的播种农艺要求。该双腔机械式排种器可适用于小型地块的播种和多作物播种,降低了小地块农户的农机具成本,提高了经济效益。

安徽农业大学潘帅[10]研制了一种箕状组合型孔轮式玉豆兼用穴播排种器,如图3,在可调节变容量型孔轮式排种器的基础上,设计了一种豆玉兼用的型孔。该箕状组合型孔轮式豆玉兼用穴播排种器对大豆和玉米的播种表现良好,对传统槽轮式精密排种器仅需更换箕状组合孔窝眼轮就可实现大豆和玉米的通用播种,但大豆和玉米不但种子形状不同,其种植株距要求和播种深度等同样有所差异,因此该箕状组合型孔轮还需搭配可变株距和播种深度的排种器才能真正实现豆玉兼用播种。

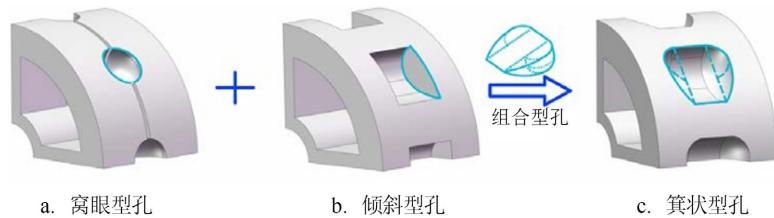


Figure 3. Combined scoop-shaped perforated wheel type dual-purpose (corn and bean) hill-drop seed metering device

图3. 箕状组合型孔轮式玉豆兼用穴播排种器

3. 国外研究现状

农业发达国家对于精密排种器的研究开始于20世纪40年代,起初以机械式精密排种器的研究为主[11],后来由于气力式排种器播种效率高、不伤种等优点,国外农业发达国家研究重点逐步转向气力式排种器。国外目前针对机械式精密排种器的研究重点为排种器结构轻量化和智能化控制方面。

John Deere公司研制的中小型Sembradora-101播种机如图4所示,该播种机采用指夹式排种系统,并可选配圆盘式排种系统,指夹式排种系统通过可调节指爪可兼容不同形状的大粒种子,圆盘式排种系统通过更换不同规格的槽轮,适配小粒和大粒种子。同时通过机械旋钮可直接调节播种深度,通过齿轮组的调整改变种植株距,适宜不同种子的农艺要求。该播种机配备ComputerTrak™ 150相机,可实时监测播种质量,快速排查卡种或漏播问题。但该播种机整机较重(空载1049 kg),且价格较贵。



Figure 4. Sembradora-1015 horizontal disc planter

图4. Sembradora-1015 水平圆盘式播种机

美国Kinze公司研制的5000系列播种机(如图5所示)采用指夹式排种器,同时可通过真空负压辅助充种,提高充种率和高速播种性能。该播种机支持快速更换型孔盘、镇压轮等部件,兼容15~30英寸行

距及多作物播种。其采用铝合金框架及耐磨涂层(如类金刚石涂层),减轻重量30%以上,关键部件寿命 \geq 5000小时。智能化控制方面,Blue Vantage集成显示屏实现播种深度液压调节(误差 ± 5 mm)、实时数据监测及云端协同。



Figure 5. Kinze 5000 series and 3005 series planters
图 5. Kinze 5000 系列和 3005 系列播种机

在一些发展中国家(如印度、菲律宾等),也有一些针对机械式精密排种器的研究。如 Anantachar M 等[12]利用 ANN 人工神经网络模型预测倾斜圆盘花生排种器的性能参数,首先训练神经网络模拟倾斜圆盘排种器的初始性能参数,然后应用反馈学习规则进行解搜索,通过计算期望输出与当前解对应输出的差异,并在神经网络中进行反馈,促使其修改输入变量,而权重保持不变,该过程重复多次,直到误差变为极小值,最后在具有一或多个不同初始值的解中以接近 100% 的单元格填充率为标准选择最佳解,该解即为最优设计参数。此研究将人工神经网络模型应用于花生排种器的仿真试验,可以通过预期的性能参数进行系统反求,相较于传统的回归分析有显著优势,可以结合 EDEM 等离散元分析软件进行进一步验证分析,减少了设计参数的计算量。

Cay A 等[13]针对传统玉米播种机机械驱动系统(CDS)在高速作业时因打滑、振动等问题导致播种不均匀,开发了一种机电驱动系统(EMDS)。EMDS 通过控制面板、传感器、无刷直流电机及 PID 反馈控制实现播种盘转速的精准调节,支持无级调速与实时同步控制。实验室测试中,对比分析 CDS 和 EMDS 在 5~10 km/h 和 6~29.3 cm 间距下的播种情况,发现两者在推荐间距(20~30 cm)下均达到“良好”或“中等”均匀性,但 EMDS 的实际播种间距更接近理论值,尤其在高速(10 km/h)下稳定性更好。小间距(<15 cm)时,两种系统均因播种盘转速过高导致均匀性下降。研究表明,EMDS 具备实时控制、独立行控和适应高速作业的优势,但需优化播种盘转速以降低变异系数。此外,EMDS 通过独立电机驱动各行播种盘,减少了传统链条传动对驱动轮的阻力,从而显著降低了滑移和能耗[14]。

4. 现有机械式精密排种器研究中存在的不足

目前国内针对机械式精密排种器的研究取得了一定成果,排种器播种效率和播种通用性得到了提高,但仍存在以下不足。

1) 高速作业性能不足。在中高速条件下,充种率显著下降,种子堆积形成“粒拱”导致漏播率增加,限制了排种器最大工作速度,且高速运动时,种子与排种器结构的作用会导致种子破损率升高。

2) 多作物适应性有限。现有排种器对种子形状、大小适应性差,需频繁更换部件才能兼容不同作物。部分设计(如箕状组合型孔)可实现单部件对多作物播种,但不同作物播种株距和播深无法调整。

3) 智能化和自动化水平低。尤其对国内机械式精密排种器普遍缺乏实时监测、精准调控等技术,难以实现播种参数的优化,同时多采用地轮机械传动,高速作业时易受震动和打滑影响,导致播种均匀性下降。

5. 建议

针对上述不足,同时为提高我国西南地区机械化程度普及率,适应我国西南地区多山地丘陵、多小地块、作物品种多的条件,机械式精密排种器的进一步优化和研制应当专注于西南地区耕地的特点,利用计算机视觉和图像识别处理技术、单片机以及北斗导航系统等现代技术方法,使机械式精密排种器向兼用性强、模块化和智能化发展。同时,对于国内理论研究较为成熟的机械式精密排种器来说,应当对结构和选材进行进一步优化设计,提高产品工艺制造性能并降低产品成本,与我国农业农村实际相结合,将产品推向市场,并在市场中对产品做进一步优化。未来机械式精密排种器的研究方向大致分为以下三点:

1) 多作物适应性优化。开发模块化排种器,如设计快速更换型孔盘或夹持部件,采用仿生柔性夹持爪以适应不同的种子形状,同时搭配可变株距和播深调节装置以适应不同作物的播种农艺要求,实现一种排种器实现多作物兼容播种。

2) 进行高速低损技术开发。优化排种器结构部件,通过仿真模拟找出最优参数组合以提高播种效率和质量。同时可使用橡胶等弹性材料制造排种盘,以减少种子破损率。通过优化排种器结构设计和新型材料应用,以达到提高机械式精密排种器高速播种能力并降低种子破损率。

3) 电驱动智能化升级方案。加装驱动电机和传感器,通过智能算法根据作业速度、种植模式等实现排种器智能化精准排种,进行漏播检测,检测到漏播后自动补种。集成物联网技术,实现播种参数的云端监测与实时调控。

6. 结论

综合上述所言,目前机械式精密排种器在结构优化和通用化播种方面取得了显著进展,但对高速低损的目标仍有差距,且我国机械式精密排种器自动化、智能化程度欠缺。未来研究应聚焦仿生设计降低破损率和物联网应用,推动机械式精密排种器向高智能方向发展,使其特别适用于我国西南地区等小型地块的播种。

基金项目

1) 本文为 2024 年度四川省大学生创新创业训练计划项目“绿野布谷——大豆玉米带状复合种植通用智能播种机器人”(项目编号: XX202410626022)研究成果; 2) 国家现代农业产业技术体系四川大豆创新团队专项资金(SCCXTD-2025-21)。

参考文献

- [1] 崔清亮, 秦刚, 王明富. 几种典型精密排种器的对比分析[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2003, 23(1): 69-71.
- [2] 刘宏新. 大豆密植平播机关键部件研究及整机设计[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [3] 刘宏新, 徐晓萌, 付露露, 等. 立式浅盆型复合种盘大豆排种器结构设计与参数优化[J]. 中国机械工程, 2016, 27(22): 3005-3011.
- [4] 刘宏新, 刘俊孝, 唐师法, 等. 对置斜盘高速精密大豆排种器设计与充种机理分析[J]. 农业工程学报, 2016, 32(20): 24-31.
- [5] 沈浩. 导种槽式高速精量排种器设计与试验研究[D]: [硕士学位论文]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2021.

- [6] 陈玉龙, 贾洪雷, 王佳旭, 等. 大豆高速精密播种机凸勾排种器设计与试验[J]. 农业机械学报, 2017, 48(8): 95-104.
- [7] 王希英, 王金武, 唐汉, 等. 勺式精量玉米排种器取种凹勺改进设计与试验[J]. 东北农业大学学报, 2015, 46(12): 79-85.
- [8] 刘希光, 张静, 韩长杰, 等. 基于 TRIZ 理论的机械式打瓜排种器创新设计[J]. 中国农机化学报, 2021, 42(9): 31-36.
- [9] 张国忠. 一种双腔机械式排种器[P]. 中国专利, CN201420555428.8. 2015-01-21.
- [10] 潘帅. 箕状组合型孔轮式玉豆兼用穴播排种器设计与性能试验[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 安徽农业大学, 2023.
- [11] 李洪昌, 高芳, 赵湛, 等. 国内外精密排种器研究现状与发展趋势[J]. 中国农机化学报, 2014, 35(2): 12-16+56.
- [12] Anantachar, M., Kumar, P.G.V. and Guruswamy, T. (2010) Neural Network Prediction of Performance Parameters of an Inclined Plate Seed Metering Device and Its Reverse Mapping for the Determination of Optimum Design and Operational Parameters. *Computers and Electronics in Agriculture*, **72**, 87-98. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.03.001>
- [13] Cay, A., Kocabiyik, H. and May, S. (2018) Development of an Electro-Mechanic Control System for Seed-Metering Unit of Single Seed Corn Planters Part I: Design and Laboratory Simulation. *Computers and Electronics in Agriculture*, **144**, 71-79. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.11.035>
- [14] Cay, A., Kocabiyik, H. and May, S. (2018) Development of an Electro-Mechanic Control System for Seed-Metering Unit of Single Seed Corn Planters Part II: Field Performance. *Computers and Electronics in Agriculture*, **145**, 11-17. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.12.021>