

引用本文格式 陶春顺, 杨薇, 李建东, 等. 制种玉米播种机研究现状及展望[J]. 农业工程, 2025, 15(3): 1-8. DOI: 10.19998/j.cnki.2095-1795.202503301. TAO Chunshun, YANG Wei, LI Jiandong, et al. Research status and prospect of seed corn planter[J]. Agricultural Engineering, 2025, 15(3): 1-8.

制种玉米播种机研究现状及展望

陶春顺¹, 杨薇¹, 李建东¹, 张振东¹, 鲍国丞¹, 李辉², 吕洲翼¹, 陈欣新¹

(1. 中国农业机械化科学研究院集团有限公司, 北京 100083; 2. 中国农业机械化科学研究院集团有限公司浙江分公司, 浙江绍兴 312000)

摘要: 玉米是我国重要农作物, 大面积种植玉米使玉米制种业快速发展。目前我国制种玉米播种多采用大田通用播种机播种母本, 父本播种依然停留在人工播种阶段, 缺少父、母本兼用的制种玉米专用播种机。结合制种玉米播种农艺要求, 阐述国内外覆膜播种机发展现状, 介绍部分典型产品的性能特点。结合播种关键技术, 分析现有播种机不足之处, 提出制种玉米播种机发展趋势。

关键词: 制种玉米; 播种机; 覆膜播种; 种业装备

中图分类号: S223.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-1795(2025)03-0001-08

DOI: 10.19998/j.cnki.2095-1795.202503301

Research status and prospect of seed corn planter

TAO Chunshun¹, YANG Wei¹, LI Jiandong¹, ZHANG Zhendong¹, BAO Guocheng¹, LI Hui²,

LYU Zhouyi¹, CHEN Xinxin¹

(1. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences Group Co., Ltd., Beijing 100083, China; 2. Zhejiang Branch of Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences Group Co., Ltd., Shaoxing Zhejiang 312000, China)

Abstract: Corn is an important crop in China, a large-scale cultivation of corn has led to rapid development of corn seed industry. At present, in China, corn seed is mostly sown by general-purpose field planter for female parent, sowing male parent is still in manual sowing stage, lacking a dedicated planter for male and female parent corn sowing. Based on agronomic requirements of corn seed production, current development status of film mulch planter domestic and foreign countries was elaborated, and performance characteristics of some typical products were introduced. Combined with key technologies of seeding, shortcomings of existing planter have been analyzed, and development trend of seed corn planter has been pointed out.

Keywords: corn seed, planter, film mulch planter, seed equipment

0 引言

玉米是我国重要的粮食作物之一, 具有重要的经济和农业价值。近年来, 玉米大田种植面积和产量都在稳步上升, 2023年全国玉米种植面积4422万 hm^2 , 较2022年增加115万 hm^2 , 产量达28884万t, 增产4.2%^[1]。制种作为玉米产业中重要环节, 对整个玉米产业具有重要的影响。玉米种子质量直接影响玉米的生产和供应, 优质的玉米种子能够提高玉米产量, 保证粮食安全。近年来, 我国玉米制种业快速发展, 2023年, 杂交玉米制种面积和总产量创下近10年的最

高记录, 全国杂交制种玉米种植面积达到30.8万 hm^2 ^[2]。随着玉米制种产业发展, 种植面积不断增大, 实现制种全程机械化成为迫切需求。而制种玉米播种过程的烦琐、复杂较大程度上制约了播种机械化的实现。

国内重要制种基地甘肃省和新疆维吾尔自治区(简称新疆), 虽然能保证充足的光照, 但也受到水资源匮乏的影响, 因此, 覆膜垄作播种成为缓解降水不足的重要途径。实践研究表明, 针对西北缺水干旱地区, 覆膜和沟垄不仅能够加快制种玉米生长进程, 使玉米提前14d成熟, 而且与沟灌相结合, 能够增加灌溉效率, 达到节水目的, 提高出苗率, 显著提高玉

收稿日期: 2024-09-16 修回日期: 2024-11-14

基金项目: 国家重点研发计划项目(2023YFD2000402-1)

作者简介: 陶春顺, 硕士生, 主要从事农业机械设计及理论研究 E-mail: njytc@163.com

杨薇, 通信作者, 研究员, 主要从事农业机械设计及应用研究 E-mail: yangwei@caams.org.cn

在线投稿
www.d1ae.com

米籽粒产量^[3]。因此,制种玉米大多采用覆膜起垄方式进行播种。

不同地区、不同品种玉米播种方式的差异性,导致制种玉米播种机械化进程缓慢。现阶段我国制种玉米播种多采用机械与人工相结合方式,以新疆、甘肃省为例,母本多采用传统大田播种机进行机械播种,父本采用人工播种形式,整体机播率只有 20% 左右^[4]。也有部分地区如云南省,因为地形因素影响,父母本的播种仍处于人工播种阶段。

相较于大田播种机,专用于玉米杂交制种的播种机除需要满足覆膜播种外,还需要满足父本播种的农艺要求(如灵活调节播种株距),以实现分期播种目的。而目前国内关于制种玉米专用播种机相关研究还处于空白阶段,所使用的大田播种机只能满足覆膜播种作业要求^[5-6]。

1 国内外研究现状

1.1 国外覆膜播种机

国外对玉米覆膜播种机研究起步较早,目前已达到较高的机械化水平。以鸭嘴主动开启式的滚筒式覆膜穴播机为主,一次作业可完成覆膜、播种、镇压工作。在播种过程中,鸭嘴滚轮在动力装置驱动下主动旋转,同时,滚轮上的鸭嘴主动横向开启,以保证获得较为精确的播深及株距。整个播种过程中,鸭嘴滚轮与地膜不接触,有效减少地膜损坏,避免撕膜、挑膜等现象。

常用机型有法国 MONOSEM 公司生产的 MS、NG Plus 型播种机;美国 AGRICOR 公司生产的膜上播种机,如图 1 所示。AGRICOR 播种机在成穴鸭嘴上设置有横向刀刃,能够更高效地穿透地膜,完成播种。



图 1 AGRICOR 播种机
Fig. 1 AGRICOR planter

爱尔兰 SAMCO Agricultural Manufacturing 公司设计生产的系列播种机,包括 PM1140 型、PM2140 型、PM4140 型和 PM8220 型等,其中 PM1140 型播种机如图 2 所示。该系列播种机能满足不同膜宽种植需求,播种株距和行距大范围可调,并且打孔装置易于调整,



图 2 SAMCO PM1140 型播种机
Fig. 2 SAMCO PM1140 planter

播种不同种子不受农艺系统中土壤条件的影响。此外,除配有覆膜装置,同时实现覆膜、播种外,其巧妙的底盘设计,还能选装各种附加装置,如除草剂施用装置、固体或液体肥料施用装置、杀虫剂或营养素施用装置,以及用于灌溉的滴灌带等。

意大利 FORI-GO 公司生产的 MODULA 型播种机,如图 3 所示。鸭嘴轮采用独立电驱形式,播种机运动完全由电力系统调节,不受任何机械系统的调节,具有较高的播种精度及灵活性。



图 3 MODULA 型播种机
Fig. 3 MODULA planter

1.2 国内覆膜播种机

国内对覆膜播种机的研究起步较晚,1978 年从日本引进地膜覆盖技术后,我国才开始对地膜覆盖技术及覆膜播种机进行研究。按照工作原理,覆膜播种机可分为直插式穴播机和轮式穴播机。直插式穴播机通过连杆、凸轮、滑块等装置,使播种机在前进过程中,成穴器能垂直入土并垂直出土,到达土壤合适深度,完成打孔播种工作。轮式穴播机通过穴播轮直接接触地膜表面,地膜安装在穴播轮上与穴播轮一起做圆周运动,与穴播轮径向有一定夹角的鸭嘴在随穴播轮圆周运动的过程中实现打孔动作。

1.2.1 直插式穴播机

20 世纪 90 年代开始研究直插式穴播机,以应对覆膜播种技术要求。

陈晓光等^[7]首次提出并研究直插式穴播机构，分别设计凸轮导板式、双凸轮式、双凸轮式及凸轮曲柄连杆式成穴器，比较后确定凸轮曲柄式成穴器结构及性能最好。

魏宏安等^[8]设计垂直插入式覆膜穴播机，运用平行四连杆机构，设计具有偏心装置的滚杆式转筒，调整偏心盘使滚杆上的鸭嘴在转筒转动过程中始终保持垂直状态，以最有利的角度破膜和入土，避免种穴与膜孔错位及跳穴。但在作业速度较高时，工作可靠性会有所降低。刘军干等^[9]设计滑轨式直插穴播机，由平行四连杆和轨道共同控制，能够实现成穴器入土后无前后方向的显著水平位移，适合多种农作物的穴播。但受限于多种因素，以上两款播种机均未进一步推广。

甘肃农业大学赵武云团队针对甘肃省玉米覆膜播种机构进行了一系列研究。其中，马军民等^[10]针对玉米全膜播种时存在的撕膜及膜孔错位问题，设计槽轮驱动的垂直插入式穴播机（图4），能够实现成穴播种装置垂直往复运动，但作业效率较低。郭笑欢等^[11]对旱地全膜双垄沟玉米播种机的曲柄滑块式玉米直插播种装置进行仿真优化，使该机构能通过电机驱动曲柄，带动顶杆推动平行机构水平移动，两曲柄共同运动使入土成穴杆垂直插入地面，作业过程垂直杆始终与地面保持垂直。石林榕等^[12]集成以上关键装置，设计一款电驱式玉米膜上直插穴播机，电机驱动前进速度补偿机构使成穴器入土和出土瞬间水平位移接近零；该播种机安装有漏播报警器，在漏播时报警，提醒进行人工补种。

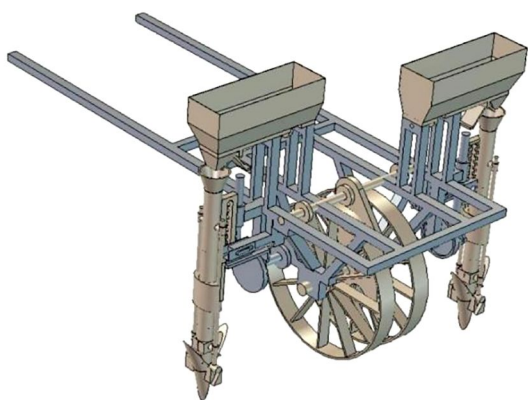


图4 槽轮式穴播机

Fig. 4 Grooved wheel type hill-drop planter

舒虹杰等^[13]设计一款株距、行距、播深可调的手推式膜上播种机，如图5所示。该机由不完全齿轮、齿条和曲柄滑块机构组成。在播种机前进过程中，开穴器绝对速度与播种机前进速度大小相同、方向相反，通过补偿整机水平方向运动，实现开穴器垂直入土。

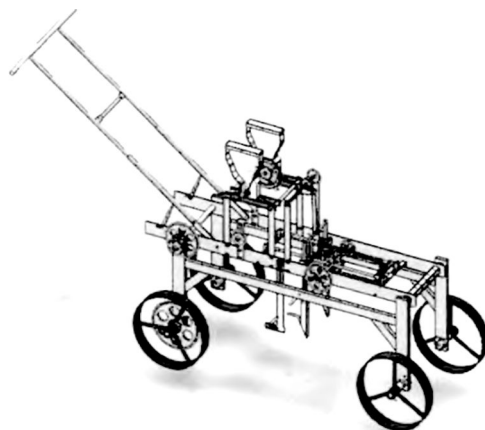


图5 曲柄连杆式穴播机

Fig. 5 Crank and link type hill-drop planter

但模拟试验结果，仍存在一定偏差。

1.2.2 轮式穴播机

汪遵元等^[14]1998年研制出一款手推式滚轮打孔播种机，能够实现花生、玉米、大豆和棉花等作物的膜上精密播种。

蒋蓓^[15]设计一种新型夹持式玉米膜上精密穴播轮的排种机理及机构，排种机构结构简单、制作成本低，并且排种表现良好，基本能够满足膜上精密播种。但该机构未见实际生产应用。

赵成龙等^[16]结合西北地区旱地全膜双垄沟播种作业农艺需求，设计一种2BZ-4型播种机，如图6所示。完成起垄覆膜后可以二次进地进行自走式播种作业，实现播深、行距的大范围可调，具有良好的通用性；但该播种机在行走过程中，偶尔会横向撕裂地膜，降低覆膜效果。



图6 2BZ-4型播种机

Fig. 6 2BZ-4 planter

郑亚北等^[17]为解决西北地区起垄全膜覆盖播种机械精密播种机械化不足问题，设计一款以电动车蓄电池为动力的自走式膜上打孔精量播种机，如图7所示。更换不同排种轮，能够实现玉米、大豆等不同作物的单粒精播和穴播，但播种单体在膜上行走会对地膜产生一定影响。

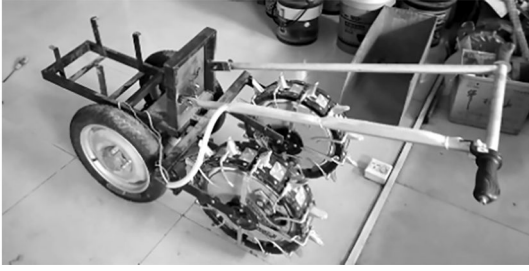


图7 电驱式膜上精量播种机
Fig. 7 Electric drive precision planter on film

吴海峰^[18]结合新疆玉米覆膜播种农艺要求,针对现有玉米覆膜播种机幅宽小、作业效率低及播种机转场运输困难等问题,设计一款宽幅平行折叠式玉米精量覆膜播种机。该机配备3段平行折叠机架,可通过一次作业实现膜床整形、铺带覆膜、精量播种和覆土等作业工序,具有作业效率高、转场运输便利且无安全隐患等特点。

韩广森^[19]针对玉米播种机不能精密播种问题,设计新型玉米膜上精密播种机构,勺式精密排种器和滚筒排种器组合排种,可实现膜上打孔和精密播种作业。

管燕燕^[20]针对传统地膜覆盖需要人工放苗、出苗错位、土壤容易板结及出苗率低等问题,基于农机农艺相结合原则,研制膜下播种机,试验结果显示,虽然机器作业相较于人工作业出苗率低,但能满足农艺要求且解决了人工放苗和出苗错位等问题,提高劳动效率,降低作业成本。

1.2.3 小结

直插式穴播机和轮式穴播机都能很好地实现覆膜播种作业。直插式穴播机更容易实现速度补偿,使播种机能够以接近零速垂直插入土壤,但结构相对复杂,作业效率低。轮式穴播机结构简单,成穴器与排种器连接简便,并且播种效率更高。

我国覆膜播种技术经过多年研究,已经较成熟,能很好地应用于实际播种作业机械。主要机型是轮式穴播机,主要产品型号有天诚2MB系列、科神2BMJ系列、金准2BMK系列等,生产企业有新疆金准农机装备有限公司、新疆科神农业装备科技开发股份有限公司、河北农哈哈机械集团有限公司及新疆天诚农机具制造有限公司等。天诚2MBJ型和2MBK型播种机如图8和图9所示。

2 关键部件研究进展

2.1 成穴器

2.1.1 结构与工作原理

成穴器的作用是在土壤中以适当的深度和大小形成孔穴,以便种子能够准确地落入土壤中。作为与土



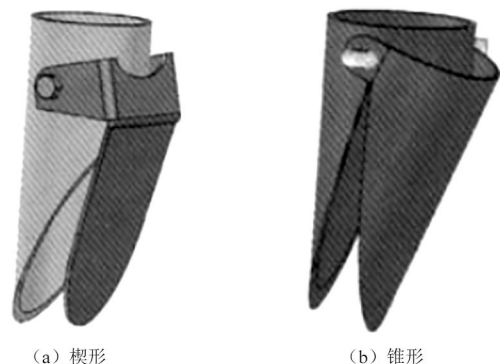
图8 天诚2MBJ型播种机
Fig. 8 Tiancheng 2MBJ planter



图9 天诚2BMK型播种机
Fig. 9 Tiancheng 2BMK planter

壤和地膜直接作用的成穴机构,其形状结构和工作方式会直接影响成穴器入土能力、所成穴孔及地膜切口大小形状,从而进一步影响玉米播种质量。针对不同播种工况及排种机构,需要选用不同成穴器。目前,使用较多的成穴机构为鸭嘴式成穴器,常见形状有楔形鸭嘴和锥形鸭嘴,如图10所示。

鸭嘴式成穴器大多由固定嘴和活动嘴两部分构成。当鸭嘴插入土壤后,固定嘴不动,活动嘴在外力作用下开启,在形成孔穴的同时种子掉落到土壤中,鸭嘴离地后闭合。不同结构的鸭嘴,其开合形式也有所差异,其中结构较为简单且运用最多的开启方式有两种。

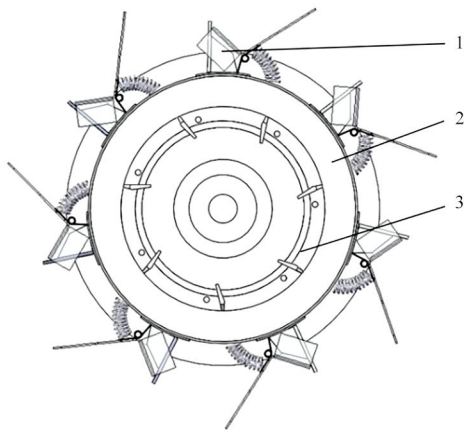


(a) 楔形 (b) 锥形

图10 楔形和锥形鸭嘴

Fig. 10 Wedge-shaped and taper-shaped duckbill

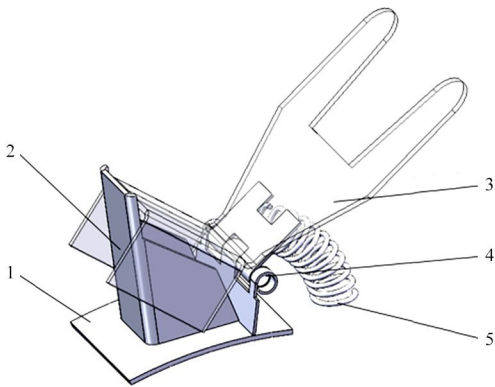
一种是在滚轮上设置接地支板，支板与活动鸭嘴固定连接，如图 11 所示。当鸭嘴滚轮在地面上向前滚动时，滚轮上的活动鸭嘴支板与地面接触，使活动鸭嘴在地面反作用力作用下开启。当滚轮继续向前滚动，支板离开地面，在复位弹簧作用下闭合，如图 12 所示。另一种是通过拨杆开启，拨杆与鸭嘴相连并且指向滚轮圆心，机架上设置相对机架静止的限位块，当鸭嘴转动到穴播轮下方且插入到土壤时，拨杆与限位块接触，并且受到限位块反方向阻力，与拨杆相连的活动鸭嘴转动相应角度，使整个鸭嘴开启。



1. 成穴机构 2. 滚轮 3. 排种机构

图 11 鸭嘴滚轮

Fig. 11 Duckbill roller



1. 固定板 2. 固定鸭嘴 3. 活动嘴 4. 转动轴 5. 复位弹簧

图 12 压板成穴机构

Fig. 12 Pressure plate cavitation device

鸭嘴式成穴器还可以通过活动鸭嘴与滚轮上固定装置相互作用开启。如活动鸭嘴在固连在滚轮上的拉线拉动下开启，或是通过鸭嘴上开合销与固定开合杆相互作用开启。也有少部分鸭嘴由两个活动鸭嘴构成，其作业时两个活动鸭嘴同时打开。

2.1.2 研究进展

已有大量研究针对不同成穴器的结构改进、运动轨迹、入土性能及动土量等指标进行全面分析，为成穴器选型设计提供理论指导^[21]。

马旭等^[22]为解决成穴器堵土和高速作业下膜孔质量差、撕膜挑膜严重的问题，对鸭嘴式成穴器成穴过程、运动轨迹及膜孔形状进行理论分析，建立鸭嘴运动轨迹方程，找到最佳成穴效果的成穴器结构参数，并进行试验研究，确定鸭嘴式成穴器最优结构形式，即采用圆锥形鸭嘴侧向开启。

王尊等^[23]基于 DEM-MBD 耦合仿真方法，对成穴器轨迹进行仿真分析，通过预试验和单因素试验，对影响播种株距、孔穴深度和宽度的牵引角度、牵引速度等因素进行仿真试验，以及田间验证试验，得到较优参数组合，即牵引速度 523.43 mm/s、牵引角度 21.9°、穴播器质量 18.2 kg 时，成穴轨迹性能最优。

李亚军等^[24]通过 Solidworks 软件对穴播轮进行建模仿真，分别研究牵引速度和滑移距离对鸭嘴轨迹的影响。仿真结果表明，牵引速度对穴距影响较小；滑移距离对鸭嘴轨迹产生显著影响，滑移距离越大，鸭嘴对土壤扰动越大，会加重地膜撕裂。

卢宇等^[25]基于 ADAMS 软件对鸭嘴式成穴器进行动力学分析，对比不同前进速度下鸭嘴边缘的运动轨迹。结果表明，前进速度不同，成穴器对土壤的扰动量和所成穴孔的形状大小也不同。当速度过大时，会出现滑移现象，容易发生扯膜；速度减小，滑移量随之减小，对土壤的扰动量也相应减小。太小的扰动量不利于投种，但速度太低又会导致播种效率降低，同时土壤扰动量较大会破坏土壤结构，导致水分流失^[19]。

杜元鹏等^[26]分析鸭嘴式覆膜播种机在作业时出现鸭嘴黏土现象的原因，并对原有鸭嘴进行改进设计，通过增加鸭嘴表面涂层、增加挡土机构等措施，改善鸭嘴破膜入土效果，解决鸭嘴黏土现象。

综上所述，针对纵向开启式鸭嘴成穴器覆膜作业的研究已较为全面，但横向鸭嘴的研究少见报道。

2.2 排种器

2.2.1 结构与工作原理

制种玉米播种要求实现精量、准确、高速，排种器作为播种机械核心部件之一，对播种机的性能和播种质量具有重要影响，包括准确性、一致性、适应性和耐久性等。高质量和工作可靠的排种器，能够提高播种质量和效率。排种器工作过程主要由充种、清种、导种和投种等环节依次进行，堆积在充种箱内的种子，经过排种器的搅种分离、定量输送，最后均匀有序地落入种床，完成排种作业。

根据工作原理，排种器可分为机械式排种器和气力式排种器，机械式排种器主要有圆盘式排种器、勺轮式排种器、指夹式排种器和窝眼式排种器等，气力式排种器主要有气吹式、气吸式和气压式。目前，鸭

嘴式播种机所采用的机械式排种器均为窝眼式排种器，气力式排种器均采用气吸式排种器。

窝眼式排种器主要部件为均匀分布有一定数量型孔的窝眼轮，排种器工作时，当型孔转动到充种区，种子在自身重力作用下落入到型孔内，之后到达清种区，由清种轮刷去多余种子，从而实现精量播种。之后目标种子随窝眼轮继续转动至隔板开口处经导种轮上面的凹槽进入投种机构中，完成排种工作。窝眼轮上可根据不同种子形状尺寸设置多行不同规格型孔，从而能够精量播种不同种子。窝眼式排种器虽然具有较强的适应性，能够播种不同类型种子，但其对种子外形尺寸要求较为严格，由于排种器需依靠重力充种，若作业速度较快，将难以保证充种质量，容易出现漏播现象。

气吸式排种器按旋转部件结构可分为垂直圆盘式和滚筒式两种，使用较多的是气吸圆盘式排种器，主要由排种盘、清种器和壳体等部分组成。壳体与排种盘之间形成一个密闭的气室，风机通过管道连接气室，并且在气室内部形成能够吸附种子的低压。种子由种箱落入充种区后，在排种盘另一端的低压吸附作用下附着在排种盘上，随排种盘一同旋转，随后到清种区清掉多余种子，实现精量排种。最后旋转至投种区，气孔与气室脱离，低压吸附力消失，种子依靠自身重力或强制排种装置投出，完成排种。

2.2.2 研究进展

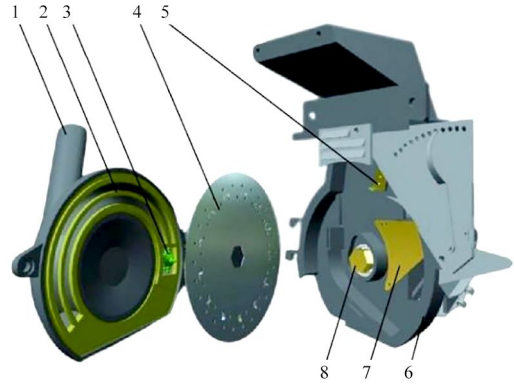
针对排种器的结构性能，研究人员进行了大量的研究分析。

于建群等^[27]采用离散元法，借助CAD软件进行仿真模拟，对排种器工作时种子的运动过程和清种性能进行分析。仿真结果与试验结果对比可得，二者数值接近、变化较一致，由此证明运用离散元法分析排种器性能的可行性。

李凤丽等^[28]对气吸式排种器投种过程进行理论分析，得到种子脱离吸孔后的运动微分方程、速度方程、位移方程，并建立两粒种子间距的数学模型，由此分析比较不同投种方式和种子吸附状态对种子间距的影响。由理论分析确定排种器结构参数和影响排种器工作性能的参数范围，为排种器相关设计和仿真提供理论依据。

王伟韦等^[29]针对两种作物复合种植需求，设计一款气吸双行错置式玉米精量排种器，结构如图13所示，通过两行错置分布在排种盘上的型孔实现大豆和玉米混合播种。基于DEM-CFD耦合方法对排种器进行仿真分析，探究作业速度、气室结构、负压等因素对排种性能的影响，确定了最佳排种器参数。

王敬等^[30]基于Fluent软件对组合气吸式排种器进



1. 气室盖 2. 密封垫 3. 投种轮 4. 排种盘 5. 清种刀 6. 排种器壳体
7. 进种调节板 8. 传动轴

图 13 气吸双行错置式排种器结构

Fig. 13 Structure of air suction double row processing type seed dispenser

行仿真模拟，根据种子的理论受力分析，求出吸附临界压强。对排种器内气流场变化规律进行分析，得到排种器能够稳定吸附种子的气流压强和气流速度，为气吸式排种器的设计优化提供理论支撑。

机械式排种器结构较为简单，加工制造成本低，在低速运行时，能够保证较好的播种质量。但机械式排种器对种子的尺寸和形状要求严格，当运行速度较大时，播种稳定性会变差，播种质量也会降低，种子破损率会随着播种机作业速度增大而提高。气吸式排种器虽然需要长时间维持较高且稳定的气压，制造和维修成本高，但能够满足高速播种的作业要求，并且对种子形状要求低、适应性强，播种精度高。因此，目前大多数播种机都选用气吸式排种器。

3 存在问题及发展趋势

3.1 存在问题

国外玉米覆膜播种机械经过多年的发展，现已形成成熟的技术体系，能够很好应用在制种玉米播种作业中。然而，引进国外制种玉米播种机，一方面价格昂贵，后续维修成本较高；另一方面，国内外环境、地形有所差异，国外机械不能完全适用国内播种条件。现阶段我国制种玉米播种还没有专用播种机，母本播种一般直接采用大田播种机。虽然精量播种和覆膜播种技术已较为成熟，能够应用于母本播种，但对于制种玉米播种而言，除母本播种外，父本播种也很重要，并且播种质量要求高、工作量大。现阶段父本播种仍停留在人工播种阶段，缺少能够同时满足父本和母本播种技术要求的专用播种机械。

3.2 发展趋势

针对不同地区、不同品种的制种玉米播种农艺要求，对现有覆膜玉米播种机进行改进创新，研发设计出能够同时满足父本和母本播种要求的播种机。

(1) 改进成穴器结构及成穴原理, 使其在进行膜上播种作业时, 具有更好的破膜入土能力, 在满足高质量播种的同时, 减少撕膜、挑膜等现象。

(2) 优化排种器和转动滚筒分布及驱动形式, 实现灵活大范围调节播种株距, 使播种机同时满足父本和母本或不同品种播种株距需要, 提高播种机通用性, 实现一机多用。

4 结束语

结合制种玉米播种农艺要求, 论述了国内外覆膜播种机发展现状, 分析播种机成穴器、排种器等关键部件的研究现状。现有技术能够实现母本覆膜播种需求, 但仍缺少能够兼用于父本播种的通用播种机。提出国内制种玉米播种机械发展趋势, 为开发适合制种玉米农艺需求的专用播种机提供参考。

参考文献

- [1] 国家统计局关于 2023 年粮食产量数据的公告[EB/OL]. (2023-12-11). https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202312/t20231211_1945417.html.
- [2] 农业农村部国家农业技术推广服务中心. 2023—2024 年度全国重要农作物种子产供需形势[R]. 第十五届中国国际种业博览会暨第二十届全国种子信息交流与产品交易会, 合肥, 2023.
- [3] 钟建龙. 覆膜和灌溉方式对制种玉米生长发育及产量影响的研究: 河西走廊为例[D]. 北京: 中国农业科学院, 2015.
ZHONG Jianlong. Study on the effects of plastic film mulching and irrigation mode on maize for seed in Hexi Corridor[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2015.
- [4] 孔东升, 吴尧, 王林. 制种玉米全程机械化存在的问题及对策建议: 以甘肃省张掖市为例[J]. 中国种业, 2024(8): 32-38.
KONG Dongsheng, WU Yao, WANG Lin. Problems and countermeasures of mechanization in the whole process of maize seed production: taking Zhangye City, Gansu Province as an example[J]. China Seed Industry, 2024(8): 32-38.
- [5] 刘洋, 石玉海, 胡圣尧, 等. 新疆制种玉米生产机械化技术: 种植与田间管理[J]. 新疆农机化, 2024(2): 5-7, 20.
LIU Yang, SHI Yuhai, HU Shengyao, et al. Mechanization technology for seed corn production in Xinjiang: planting and field management[J]. Xinjiang Agricultural Mechanization, 2024(2): 5-7, 20.
- [6] 汪振荣. 聚焦薄弱环节, 推进制种玉米生产全程机械化[J]. 农业机械, 2023(8): 44-46.
- [7] 陈晓光, 左春姪, 高峰. 直插式播种机的研究: I 直插式成穴器[J]. 农业工程学报, 1993, 9(3): 66-70.
CHEN Xiaoguang, ZUO Chuncheng, GAO Feng. Study on the direct insert planter (i) the research and the principal study of the direct insert hole former of planter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1993, 9(3): 66-70.
- [8] 魏宏安, 邵世禄. 垂直插入式小麦覆膜穴播机的研究[J]. 农业机械学报, 2001, 32(6): 34-37.
WEI Hongan, SHAO Shilu. Study on wheat hill-drop planter used for perpendicularly inserting film mulching field[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001, 32(6): 34-37.
- [9] 刘军干, 王天辰, 阎发旭, 等. 直插式覆膜小麦穴播机的设计[J]. 农业工程学报, 2001, 17(5): 55-58.
LIU Jungan, WANG Tianchen, YAN Faxu, et al. Design of film mulching wheat hill seeder with vertical dropping mechanism[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2001, 17(5): 55-58.
- [10] 马军民, 王芬娥. 槽轮驱动垂直插入式穴播机的设计[J]. 甘肃农业大学学报, 2010, 45(5): 134-137, 142.
MA Junmin, WANG Fene. Design of the slot-wheel driving and vertical plug-in hill seeder[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2010, 45(5): 134-137, 142.
- [11] 郭笑欢, 石林榕, 赵武云, 等. 旱地全膜双垄沟播直插式玉米播种装置的仿真优化[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(2): 278-281.
GUO Xiaohuan, SHI Linrong, ZHAO Wuyun, et al. Optimization of simulation of directinsert corn planting furrow seeder for whole plastic-film mulching on double ridges in dry land[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2017, 35(2): 278-281.
- [12] 石林榕, 赵武云, 孙伟, 等. 电驱式小区玉米膜上直插穴播机的研制与试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(4): 32-38.
SHI Linrong, ZHAO Wuyun, SUN Wei, et al. Development and experiment of electric driving insert hill-drop planter on film for plot corn[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(4): 32-38.
- [13] 舒虹杰, 杜铮, 王锐, 等. 直插式膜上播种机的设计与研究[J]. 湖北农机化, 2016(6): 59-60.
- [14] 汪遵元, 胡敦俊, 黄聿荣. 滚轮式膜上打孔精量播种机[J]. 农业机械学报, 1988(1): 88-95.
WANG Zunyuan, HU Dunjun, HUANG Yurong. The precision roller type hill-drop drill with the punching device on film[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1988(1): 88-95.
- [15] 蒋蓓. 夹持式玉米膜上精密穴播轮排种机理及机构的研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2014.
JIANG Bei. Metering mechanism and institutions research of clamping dibber wheel of corn seeding[D]. Shihezi: Shihezi University, 2014.
- [16] 赵成龙, 尹海鹏, 杨华, 等. 2BZ-4 全膜双垄沟精密播种机设计[J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36(5): 290-294.
ZHAO Chenglong, YIN Haipeng, YANG Hua, et al. The design of the 2BZ-4 planter with whole plastic-film mulching on double ridges[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2018, 36(5): 290-294.
- [17] 郑亚北, 冯晓静, 籍俊杰, 等. 电驱动自走膜上打孔精量播种机设计与试验[J]. 农机化研究, 2023, 45(6): 82-87.
ZHENG Yabei, FENG Xiaojing, JI Junjie, et al. Design of electric drive self-propelled precision seeder for drilling corn film[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2023, 45(6): 82-87.
- [18] 吴海峰. 宽幅平行折叠式玉米精量铺膜播种机的设计及试验[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2023.
WU Haifeng. Design and experiment of wide parallel folding type corn precision film folding planter[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2023.
- [19] 韩广森. 2MBYJ-2 型玉米膜上精密播种机排种机构设计与试验[J]. 农业工程, 2016, 6(1): 74-78.

- HAN Guangsen. Design and experiment on seed metering mechanism of 2MBYJ-2 type maize precision seeding machine on film[J]. *Agricultural Engineering*, 2016, 6(1): 74-78.
- [20] 管燕燕. 基于农机农艺结合的玉米膜下精密播种机设计[J]. *农业工程*, 2020, 10(5): 90-93.
- GUAN Yanyan. Design of corn precision seeder under film based on combination of agricultural machinery and agronomy[J]. *Agricultural Engineering*, 2020, 10(5): 90-93.
- [21] 孙伟, 吴建民. 鸭嘴式成穴器的选型与研究[J]. *甘肃农业大学学报*, 2009, 44(5): 140-142.
- SUN Wei, WU Jianmin. Shape select and study on the duck-rostra type punching-opener[J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2009, 44(5): 140-142.
- [22] 马旭, 马成林, 张守勤. 地膜覆盖播种机成穴器的研究[J]. *农业机械学报*, 1989(4): 20-27.
- MA Xu, MA Chenglin, ZHANG Shouqin. The study on accumulative drop unit of film mulch planter[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 1989(4): 20-27.
- [23] 王尊, 赵武云, 石林榕, 等. 基于 DEM-MBD 耦合的滚勺式精量穴播器成穴器运动参数优化[J]. *中国农业大学学报*, 2024, 29(1): 66-77.
- WANG Zun, ZHAO Wuyun, SHI Linrong, et al. Optimization of the motion parameters of a rolling spoon type precision hole planter based on DEM-MBD coupling[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(1): 66-77.
- [24] 李亚军, 石林榕. 指夹式玉米穴播轮鸭嘴入土轨迹仿真分析[J]. *林业机械与木工设备*, 2021, 49(11): 20-23.
- LI Yajun, SHI Linrong. Simulation analysis of picker finger maize dibbler soil penetration trajectory[J]. *Forestry Machinery & Woodworking Equipment*, 2021, 49(11): 20-23.
- [25] 卢宇, 蒋延金, 杜凤永, 等. 鸭嘴式精量排种器成穴机构的运动学分析[J]. *现代农业科技*, 2021(22): 128-131, 133.
- [26] 杜元鹏, 何金伟, 郭春阳, 等. 针对鸭嘴式铺膜穴播机粘土问题的改进设计[J]. *拖拉机与农用运输车*, 2024, 51(4): 51-53.
- DU Yuanpeng, HE Jinwei, GUO Chunyang, et al. Improvement design for problem of sticky soil in duckbilled film hill seeder[J]. *Tractor & Farm Transporter*, 2024, 51(4): 51-53.
- [27] 于建群, 申燕芳, 牛序堂, 等. 组合内窝孔精密排种器清种过程的离散元法仿真分析[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(5): 105-109.
- YU Jianqun, SHEN Yanfang, NIU Xutang, et al. DEM simulation and analysis of the clearing process in precision metering device with combination inner-cell[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(5): 105-109.
- [28] 李凤丽, 陈江辉, 张佳, 等. 气吸式排种器投种过程理论分析[J]. *南方农机*, 2024, 55(10): 6-10.
- LI Fengli, CHEN Jianghui, ZHANG Jia, et al. Theoretical analysis of the seeding process of the air suction seeding device[J]. *China Southern Agricultural Machinery*, 2024, 55(10): 6-10.
- [29] 王伟伟, 宋岚洲, 石文兵, 等. 气吸双行错置式玉米密植精量排种器设计与试验[J]. *农业机械学报*, 2024, 55(3): 53-63.
- WANG Weiwei, SONG Lanzhou, SHI Wenbing, et al. Design and experiment of air-suction double-row staggered precision seed metering device for maize dense planting[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2024, 55(3): 53-63.
- [30] 王敬, 李玉道, 宋占华, 等. 基于 Fluent 的组合气吸式排种器关键部件仿真研究[J]. *农业工程*, 2023, 13(12): 90-96.
- WANG Jing, LI Yudao, SONG Zhanhua, et al. Simulation study on key components of combined air suction seed metering device based on fluent[J]. *Agricultural Engineering*, 2023, 13(12): 90-96.