

刘 昊,赵 军,李维华,等. 国内花生机械化播种技术的研究现状[J]. 江苏农业科学,2019,47(4):5-10.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.04.002

# 国内花生机械化播种技术的研究现状

刘 昊<sup>1,2</sup>, 赵 军<sup>1,2</sup>, 李维华<sup>3</sup>, 荐世春<sup>3</sup>, 宋伟田<sup>1,2</sup>

[1. 山东大学机械工程学院/高效洁净机械制造教育部重点实验室, 山东济南 250061;

2. 机械工程国家级实验教学示范中心(山东大学), 山东济南 250061; 3. 山东省农业机械科学研究院, 山东济南 250100]

**摘要:**与美国、日本、欧洲等发达国家相比,我国农业生产机械化水平较低。在花生的整个生产过程中,对于其收获机械的研究较多,而对于其播种机械的研究还不够深入,从而拖慢了花生生产的机械化进程。本文对机械化播种花生的农艺技术要求进行了总结阐述,并就国内现阶段花生播种机械及其关键部件的研究现状予以总结,旨在为花生播种机械的优化与改进提供基础,为科研工作者提供科研思路。

**关键词:**中国;花生;机械化播种;播种机械;研究现状

**中图分类号:** S565.204.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)04-0005-06

花生作物种植历史悠久,在油料和经济作物中占有很大的比重,普遍种植于世界各地。在油料加工生产行业,花生作为重要的原材料之一,其地位仅次于大豆,位居第二。中国花生种植区域逐年增长,现阶段达到 550 万  $\text{hm}^2$ ,大约占世界花生种植总规模的 1/5,同时世界花生总产量的近 1/3 出自我

国,我国种植的花生在满足国内需求的同时还远销海外,为我国带来巨大的经济利润<sup>[1]</sup>。随着国家对于农作物种植比例的调整,对花生的需求进一步增加,其种植效益尤为显著,成为农业结构调整的新动能。目前适用于花生的机械有播种机、收获机和剥壳机等,实现播种的机械化生产,不但能够节约时间、节省人力,还能够扩大效益。花生的产量和品质受播种机性能的影响较大,因此对国内花生机械化播种技术的发展状况予以总结,找出目前花生播种机械亟需解决的问题,对于花生播种机械的改进优化、提高播种机具的实用性具有实际意义。

收稿日期:2018-06-12

基金项目:山东省农机装备研发创新计划(编号:2017YF016)。

作者简介:刘 昊(1995—),男,山东德州人,硕士研究生,主要研究方向为播种机械。E-mail:751755085@qq.com。

通信作者:赵 军,教授,博士生导师,研究方向为高速切削加工。E-mail:zhaojun@sdu.edu.cn。

116-123.

[25] 赵胜利,赵 海. 早熟杂交棉新陆早 14 号在北疆棉区的种植表现[J]. 农村科技,2005(6):4.

[26] 姚炎帝,赵 海,郭景红,等. 杂交棉新陆早 56 号高产高效栽培技术[J]. 农业科技通讯,2015(11):182-183.

[27] 刘金山,孟 林. 新疆兵团 2013 年早熟陆地棉新品种展示试验简报[J]. 种子科技,2014(2):50-53.

[28] 蔡素珍. 南疆棉区杂交棉新品种(系)农艺性状及产量比较[J]. 中国棉花,2011,38(7):37-39.

[29] 买买提·莫明,李雪源,艾先涛,等. 南疆棉花主栽品种的优势研究[C]//中国棉花学会年会论文汇编,2009:81-84.

[30] 魏玉强,李金萍. 杂交棉适宜密度及配套栽培技术试验研究[J]. 新疆农业科技,2010(3):40-41.

[31] 陈冠文,王光强,田永浩,等. 再论新疆棉花高产栽培理论的战略转移——“向光要棉”的技术途径及其机理[J]. 新疆农垦科技,2014(2):3-5.

[32] 曾庆涛,毕双杰,赵富强,等. 机采等行距植棉模式下外引品种在北疆生长发育及产量研究[J]. 农业科技通讯,2014(7):126-129.

[33] 蔡晓莉,曾庆涛,刘铨义,等. 机采杂交棉等行距高产机理初探[J]. 新疆农垦科技,2014,37(11):3-5.

[34] 李建峰,梁福斌,陈厚川,等. 棉花机采模式下株行距配置对农艺性状及产量的影响[J]. 新疆农业科学,2016,53(8):1390-1396.

[35] 张鲁云,陈永成. 新疆生产建设兵团机采棉现状及建议[J]. 农

业机械,2011(7):80-82.

[36] 邹家骥,曹 志,赵 静,等. 增加新疆杂交棉人工制种产量技术[J]. 中国棉花,2010,37(6):28.

[37] 郭景红. 北疆自育杂交棉  $F_1$ 、 $F_2$  代高产性状研究及  $F_2$  代推广应用前景分析[D]. 石河子:石河子大学,2013:10-25.

[38] 张志勇. 杂交棉在新疆棉区推广应用存在的问题与建议[J]. 中国种业,2012(12):45-46.

[39] 时增凯,裴亮只,王艳玲,等. 中棉所 1206 种植密度比较试验分析[J]. 新疆农垦科技,2015(2):10-11.

[40] 白 岩,毛树春,田立文,等. 新疆棉花高产简化栽培技术评述与展望[J]. 中国农业科学,2017,50(1):38-50.

[41] 喻树迅,范术丽,王寒涛,等. 中国棉花高产育种研究进展[J]. 中国农业科学,2016,49(18):3465-3476.

[42] 张玉花,李泽田,马德辉,等. 抗虫杂交棉简化栽培技术[J]. 中国棉花,2001,28(11):32.

[43] 张志勇. 杂交棉在新疆棉区推广应用存在的问题与建议[J]. 中国种业,2012(12):45-46.

[44] 张卫东. 杂交棉人工去雄高产高效制种技术研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2014:5-10.

[45] 黄丽叶,陈应先,王志刚,等. 新疆棉花杂交制种方法及制种成本初探[C]//中国棉花学会 2006 年年会论文汇编,2006:290-294.

[46] 庞立根,马奇祥,朱楨明,等. 新疆杂交棉制种技术改进[J]. 中国棉花,2011,38(11):40-42.

## 1 花生机械化播种技术要求

花生在机械化播种时,对于合格率等指标均有严格的限定,其中播种过后双粒率、穴粒合格率应该分别达到75%和95%以上,空穴率不能超过1%<sup>[2]</sup>。花生机械化播种时,根据花生种植的先后顺序,从以下6个方面进行阐述:(1)土地选择:应选择地形平坦、土壤肥沃、降雨量适中的地块进行播种(2)播种时间:花生分为春花生和夏花生,不同种类、不同自然条件、不同栽种模式下,花生的播种时间也不相同。对于早熟的花生品种,播种时天气温度应该在12~15℃之间,晚熟的花生品种则应该在15~18℃之间。当采取地膜覆盖的栽培模式时,由于地膜提高了种子周围的环境温度,因此大约可以提前10 d进行播种。播种时间应根据适合花生种子发芽的温度来决定,各地因地制宜,灵活选择。(3)播种深度:应根据土壤含水量、土质好坏和气温高低灵活决定。播种深度通常在5 cm上下,当土地温度较低、土壤较湿时可播浅些,但不能低于3 cm;反之则可播深些,但不能超过7 cm。(4)播种密度:用播种机播种花生时通常采用穴播模式,单粒穴播与双粒穴播的播种间距也略有不同。穴距一般在13.5~15.5 cm范围内,当土壤肥力较高、墒情较好、选用双粒穴播时,应选择较小的播种密度,但穴距不能超过22 cm;反之,播种密度要大,但穴距不能低于10 cm。(5)覆膜方式:①先播种后覆膜:优势是地表薄膜具有保温作用,花生出苗时间较短;劣势是需要人工放苗,耗时耗力且不规范的操作容易造成闷苗。②先覆膜后播种:当土地相对干旱,而在适播期前又遇到降水的情况时,可采用此种播种方式达到保温、保墒的效果;但由于播种机械的限制,覆膜打孔技术应用还不成熟,较易造成撕膜穿膜的发生,同时花生出苗时期温度较低导致花生出苗慢。(6)播种模式:①一垄双行(覆膜)播种。垄距在75~90 cm范围内,垄面宽为50~60 cm,垄上小行距在25~35 cm之间,垄高8~12 cm,具体参数应根据播种机具、土地肥力作相应调整。一垄双行的播种模式被长江以北的花生产区广泛采用,同时,该模式有匹配的多功能播种机进行联合播种,相应的收获技术已经较为完善;②高垄(覆膜)播种。在一垄双行(覆膜)基础上,当地降雨量大时应适当地提高垄高,但不能超过20 cm。高垄播种被东南沿海降雨量大的花生产区广泛采用,该模式能够有效防止花生种子被水淹没,从而保证了出苗率。该区域原来以高畦多行种植模式为主,但因为目前播种机、收获机没有多行播种与收获的机型,所以应选用高垄(覆膜)播种;③宽窄(大小)行平作播种。黄河流域以北土地贫瘠的花生产区常采用此种播种模式,以配套机械化的播种与收获机具<sup>[3]</sup>。

## 2 国内花生机械化播种的发展现状及典型机型

在花生生产过程中,播种是最先需要完成的环节。由于其适宜播种期较短,提前或拖后于适宜期进行播种,都会降低花生产量与品质。因此,抓住最优的播种时间显得尤为关键。花生播种工序较多,包括起垄、施肥、播种、喷除草剂、覆膜和膜上覆土等多道工序。花生的播种经历了人工播种、半机械化播种和机械化播种3个阶段。

从筒式农具到多功能联合播种机,我国花生的机械化播

种经历了多个发展阶段。近年来,国内花生播种机厂家通过坚持不懈的革新,使花生播种机械在功能上日趋完善。开发出不同功率、不同型号、适应不同地形作业的多类型花生播种机,使花生播种更加精确,出苗率、合格率等均得到保证,较好地满足了全国不同地域、不同耕作模式下对于花生播种的农艺要求,实现了从秸秆处理到播种完覆土的一体化播种以及漏肥监控、漏种检测等智能化播种<sup>[4]</sup>。

### 2.1 单行精播机

图1为人工单行精播机,该机型依靠人力推动,只能够完成播种单项任务。易于制造,售价较低,性能稳定。可根据不同的种子类型,灵活选择合适的排种器进行播种。当在试验田、梯田、温室大棚地区进行作业时,由于作业地域小、地形复杂等因素,一般选用此种机型进行播种。其外型尺寸(长×宽×高)为150 cm×50 cm×150 cm。

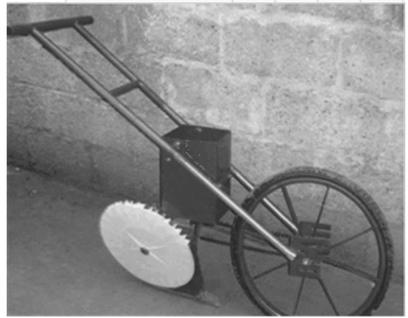


图1 人力单行精播机

### 2.2 膜下播种机

图2为2MB-2/4型花生铺膜播种机,该播种机功能比较完善,一次性可实现筑垄、施肥、播种、喷药、铺膜、膜上筑土带等工序。该机型适应膜宽、播种深度、播种行数分别为80~90 cm、3~5 cm、4行/幅;作业效率为0.33~0.53 hm<sup>2</sup>/h;提供15、18、20、25 cm等4种穴距以供选择;该播种机最显著的特点是能够在膜上建起筑土带,从而避免了人工去破孔放苗,省时省力。但该机具不适合在降雨量大的地区使用,雨水长时间冲刷膜上筑土带易造成土壤板结,给花生苗自行钻孔造成困难。

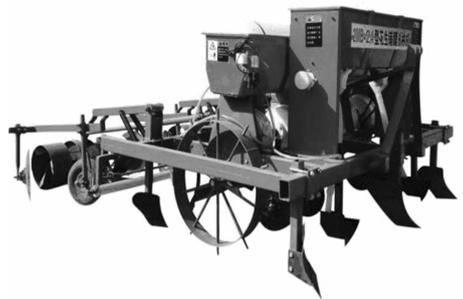


图2 2MB-2/4型花生铺膜播种机

### 2.3 膜上播种机

图3为SGTN-160Z4A2型节水覆膜旋播机,与目前市场上普遍存在的先播种后铺膜式播种机不同,该播种机借助鸭嘴式排种器实现了“膜上打孔”的先铺膜后播种模式。该机型配套动力需58.8~88.8 kW,膜宽可在80~95 cm之间进行

调整,播种深度为 3~5 cm,可同时进行 4 行作业,作业行距为 23~28 cm,穴距为 13~26 cm,耕种效率 0.53~0.8 hm<sup>2</sup>/h。该机虽然采取膜上播种避免了人工放苗,但存在排种稳定性差、容易撕膜穿膜、对土壤的耕整及墒情要求高等缺点。



图3 SGTN-160Z4A2 型节水覆膜旋播机

## 2.4 夏花生免耕播种机

图 4 为全秸秆覆盖花生免耕播种机,该设备可在收获完小麦的全秸秆地进行工作,联合完成碎秸、清秸、播种、施肥、播后覆秸等工序,针对现在市场上免耕播种机存在的入土部件被秸秆缠绕堵塞、秸秆清理不完全导致露籽等问题,该播种机进行了以下创新:(1)采用反向浅旋装置来旋耕土地,降低开种沟的阻力;(2)配备有秸秆分流装置:将一部分秸秆粉碎还田,另一部分抛撒于播过种的土壤表面<sup>[5]</sup>。



图4 全秸秆覆盖花生免耕播种机

虽然机械播种能一次完成从起垄到覆膜覆土的全部工作,但是目前花生机械播种还存在工作效率低、排种不均匀、种子破碎率高等普遍性问题。

## 3 关键部件研究现状

### 3.1 仿形机构

播种机在作业时,土壤本身存在起伏不平的情况,导致播种机播种深度深浅不一,从而影响花生的质量和产量。近年来随着人们环保意识的提高,保护性耕作模式被广泛倡导,免耕播种机得到了快速发展,但由于免耕播种机工作在秸秆全覆盖的土地上,工作环境恶劣,土地不平整性加剧,播种深度不均匀现象更为常见。为了提高花生的播种质量,通常需要在播种机上加装仿形机构,使播种机的土壤工作部件跟随地形的变化上下摆动,从而使开出的种沟深浅均匀。仿形方式分为整机仿形和单组仿形,与整机仿形相比,单组仿形能够实现播种机播种深度一致,因此应用较多。

王熙等在原来传统的仿形机构基础上,增加了电液控制

系统进行深度控制。对于土地软硬以及地形起伏的仿形灵敏度,该机构能够独立设定和调试,因而仿形精度较高,提高了所开出种沟深度的控制精度<sup>[6]</sup>。马永财等分别采用机械式和电液自控式 2 种平行四杆仿形机构进行了播深试验,对比试验结果得出机械式仿形机构存在仿形提前与滞后的问题,而电液自控式能很好地解决此类问题,仿形无提前与滞后现象发生,满足精量播种的要求<sup>[7]</sup>。闫以勋等利用虚拟样机技术,设计了双自由度双向平行仿形机构,并通过受力分析表明所设计的机构强度可靠;通过田间试验得出:该双向仿形机构有效缩短了播种机构的长度,前移了播种机构的重心,提高了机具工作的田间灵活性<sup>[8]</sup>。此外,胡军等<sup>[9]</sup>和白晓虎等<sup>[10]</sup>都通过动力学仿真软件 ADAMS 对平行四连杆仿形机构进行了运动仿真分析,胡军等实现了四连杆仿形机构的参数优化,白晓虎等发现了仿形机构进行前仿形和后仿形时开沟深度的不同变化规律,为设计制造仿形机构提供了理论基础。

目前一些科研单位开始尝试将传感器装置应用于播种深度的检测,同时将测得的信号反馈给控制器,由控制器控制液压机构升降开沟器,从而使开出的种沟深度一致<sup>[11]</sup>。上述学者的研究大多是对仿形机构的结构参数进行优化,但实际生产中,特别是采用保护性耕作模式以来,种子触土接触的是混有秸秆的免耕种床,对于仿形机构提出了新的挑战。

### 3.2 秸秆抛送装置

随着液化天然气的普及,人们对于秸秆燃料的需求大大降低,实现秸秆全部还田已成为我国耕种的新常态。传统的播种机无法实现在全秸秆覆盖的田地里作业,因此对于秸秆处理装置和抛送装置的研究具有重要意义。

为了在较低的功率情况下达到较高的作业效率,翟之平等在考虑气流的条件下,建立了适用于各种叶片倾角的叶片式抛送装置数学模型,能够较为准确地显示抛送装置的功耗情况。并分析了抛送装置的结构参数和工作参数,以得到最小功耗<sup>[12]</sup>。此外,林德志等采用 FLUENT 软件对抛送装置进行了数值模拟,得出了气流速度受叶轮转速、叶片大小的影响规律;提高叶轮的转速或者增大叶片的直径,均能提高抛送装置内部的气流速度,从而更有利于抛送秸秆;叶片数、叶片倾角分别设定为 4 片、后倾 10°时,所测点气流速度达到最大值。两者分别考虑了叶轮叶片的结构参数对于抛送装置功耗和气流速度的影响,其影响规律可为抛送装置的生产应用提供理论支撑<sup>[13]</sup>。

抛送功耗的影响因素,不仅仅与叶轮叶片的结构参数有关,还与要抛送的物料有关。因此,严伟等采用 BOX - Benhnken 中心组合试验方法改变物料含水率、叶轮转速、叶片倾角 3 个因素,以观察抛送功率的变化趋势。得出叶轮转速影响功耗最为显著,物料含水率次之,叶片倾角的影响最小;并得出当叶轮转速、物料含水率(针对玉米秸秆)、叶片倾角分别为 1 600 r/min、63%、后倾 9°时,消耗的功耗最少。将物料含水率考虑进功耗影响因素在一定程度上提高了试验的准确性<sup>[14]</sup>。

秸秆抛送装置是由推送搅龙、抛送叶轮和抛送管道组成的一个整体,除了对抛送叶轮进行分析优化外,研究抛送管道、推送搅龙对于功耗和抛送速度的影响,能够更为准确地评定抛送装置功耗情况。吴峰等研究了抛送管道截面积、抛送

叶轮转速以及喂入量对于比功耗和抛送速度的影响,运用 Box - Benhnken 的中心组合试验方法对上述 3 因素进行了试验研究,得出抛送叶轮转速对比功耗影响最为显著,抛送管道截面面积次之,喂入量影响最小。但该试验对象仅为水稻秸秆,对于其他作物秸秆是否适用有待进一步验证<sup>[15]</sup>。

在抛送装置结构设计方面,贾洪雷等应用动力学原理,根据抛送装置中秸秆切段的运动建立了微分方程,设计了具有切碎和抛送双重功能的曲面直刃圆筒式刀片,并通过改变抛送变量观察了刀片的切碎效果<sup>[16]</sup>。张佳喜等应用 Solidworks 软件对动刀辊进行了运动仿真(图 5)和动平衡检验,得出该动刀辊有很好的动平衡稳定性;同时对甩刀进行有限元分析,证明了甩刀强度的可靠性<sup>[17]</sup>,为抛送装置的设计提供了参考。



图5 动力辊等轴视图<sup>[17]</sup>

此外,抛送管道的尺寸在抛送装置线速度的影响因素中占有重要的地位。抛送管道出口对于高度和长度均有要求,若管道高度不够很容易造成秸秆喷撒不均匀;若管道过短,会导致秸秆喷撒到播种机上,反之则容易造成管道的堵塞。吴峰等在抛送叶轮外壳直径一定的前提下,将原有抛送管道进行了改进,使得改进后的管道动压大于原始管道动压,从而提高了抛送管道的风速,更有利于秸秆抛送,由此得出以提升抛送管道风速对其结构参数进行综合优化,抛送管道的性能尚有很大的提升空间<sup>[15]</sup>。翟之平等为了探究影响叶轮强度的因素,运用 ANSYS 软件分析了叶轮的应力应变,并利用响应曲面法对其进行了优化设计<sup>[18]</sup>。此外,翟之平等对出料管内物料运动规律进行了分析,并通过总结的规律建立了相应的数学模型;通过改变料管截面形状、弯管段形状以及出料直管段高度来观察物料运动规律,对比得出出料管界面形状合理化顺序为:圆形最合理,方形次之,矩形最差。2 段圆弧结合的弯管上壁与 1 段圆弧相比对物料输送更有利<sup>[19]</sup>。

叶片式抛送机构因为结构简单、维修方便、工作性能可靠、制造成本低廉等特点而被广泛应用,但工作过程中存在抛撒不均匀、抛送堵塞、抛送距离过短、抛送功耗过高等问题,针对这些问题,学者们优化了抛送机构的工作参数,对其结构进行了创新。但抛送机构作为一个整体,如何衡量结构优化与工作参数设定,达到抛送距离、抛送功耗等评价指标的综合提升有待进一步研究。

### 3.3 排种器

排种器的精度在很大程度上影响了播种的质量,只有选用性能优越且可靠的排种器,播种机械才能够更好地达到农艺技术要求,实现增产增收。根据工作原理的不同,排种器可以分为机械式和气力式 2 种类型:根据内部结构的不同,机械

式排种器又可分为勺轮式、锥盘式、内充式、窝眼轮式、水平圆盘式等;气力式排种器则根据工作原理不同,又可分为气吹式、气压式和气吸式 3 种形式<sup>[20]</sup>。其中气吸式排种器和内充式排种器是目前市场上选用最多的 2 种排种器。

3.3.1 气吸式排种器 气吸式排种器的特点是能够适应不同尺寸种型、对种子保护好,但其结构的复杂性使得制造相对困难,因而售价偏高。气吸式排种器内部的结构同样也有很多类别,如庞昌乐等研发了气吸式双层滚筒水稻播种器(图 6),试验证明该排种器有效地解决了工作过程中堵塞吸孔的问题<sup>[21]</sup>;梁素钰等研发了新型组合吸孔式小麦精密排种器,提高了小麦精播的质量;邱兵等设计了气吸振动式水稻秧盘精播机,为方便吸种排种,利用电磁式激振机构振动种子,从而使种子始终处于活跃状态<sup>[22-23]</sup>;庞振强等针对双层滚筒式水稻气吸排种器,通过试验分析得出了其最优工作参数<sup>[24]</sup>。陈立东等研制了一种充种室种面调节装置,通过该装置来调节进入充种室的种子数量,并能改善充种室种子群状态,提高了排种速度<sup>[25]</sup>。

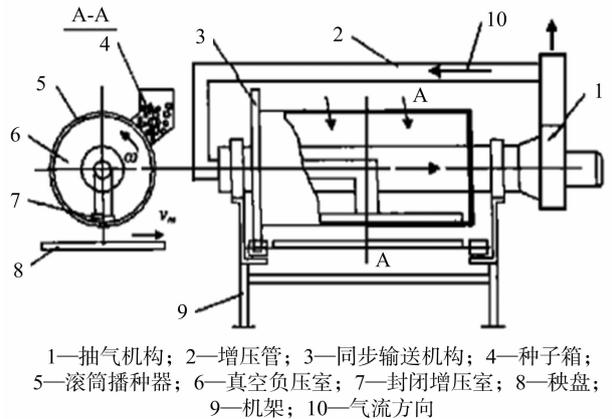


图6 气吸式双层滚筒播种器结构简图<sup>[22]</sup>

气吸式排种器结构复杂导致其性能受到的影响因素相对较多,主要包括气吸室的真空度、吸种孔的大小、形状及排列方式、投种点高度、作业速度、排种盘转动线速度等方面的影响。吸种效果是权衡气吸式排种器的重要指标之一,陈进等利用 ANSYS 有限元分析软件对排种器内部空气流场进行了仿真,并通过试验探究了吸孔大小、形状(图 7)以及吸孔导程对油菜籽吸种效果的影响程度,得出与直孔和沉孔相比,锥形孔的吸附性能更好;随吸孔半径的增大,其吸种能力逐渐增强;吸孔导程对于排种器吸种能力的影响较小,只是起到调节内部气流的作用<sup>[26]</sup>。钟陆明等为了研究气吸式排种器播种时种距分布的影响因素,通过改变压室压力、投种点高度、取种盘转速,测得不同情况下对应的株距合格率;通过正交方差分析得出:播种玉米种子时,投种点的高度对株距合格率产生的影响最大,取种盘的转速次之,负压式压力影响最小,并采用综合加权分析法得出 3 因素的最优组合<sup>[27]</sup>。吕小莲等分别改变吸种孔线速度、吸种负压 2 个工作参数,来观察排种器的合格指数、重播指数、空穴指数的变化规律。得出在所选试验范围内,在吸种负压确定的情况下,增大吸种孔的线速度发现空穴率随之增加,重播率降低;当吸种孔线速不变时,增大吸种负压发现合格率和重播率随之增加,空穴率有所降低<sup>[28]</sup>。

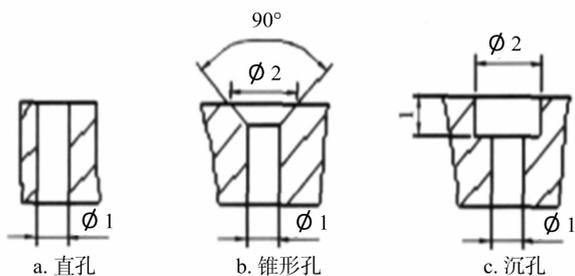


图7 吸孔的结构

在结构改进创新方面,张甜甜等针对排种器空穴率过高的问题,分别在排种圆盘上增设了倾斜拨片和尾风管:倾斜拨片能够引导种子向排种圆盘内部运动,这样种子经过吸种孔的概率相应增大,更容易被吸附;尾风管的作用是吹送隔离槽区的花生种子,能够将隔离区种衣粘连的花生种子分隔开,更有利于排种<sup>[29]</sup>。那晓雁等利用 JPS-12 排种器性能检测试验台,检测 2BQ 系列播种机的排种器对于播种玉米种子的合格率,并用种子合格率的试验数据对 BP 神经网络进行训练,预测效果较为理想;与回归分析预测相比,BP 神经网络能够将种子的种类与大小也考虑在内,考虑的影响因素更为全面,为后续的研究提供了参考<sup>[30]</sup>。

通过以上研究可以看出,国内对于排种器性能的研究对象大部分限于小麦、玉米、水稻等中小颗粒种子的研究,对于花生等大颗粒种子的精量化排种器研究尚未深入;此外,通过 BP 神经网络、决策树分类等统计学习的方法对排种器性能进行预测有待进一步探讨。

**3.3.2 内充式排种器** 内充式花生排种器的特点是结构简单,制造成本较低,方便操作;但排种速度慢因而不能满足高速作业的需要,对种子保护性差,且只能播种大小均匀的种子,随着种子大小差距的增大,播种的均匀性和精确度均会降低。杨玉国等针对该种排种器对种子保护性差的缺点,分析了种子在充种、清种、护种、排种整个流程中种子摩擦损伤的原因,提出了一种斜槽底轴向柱面复式型孔结构,理论分析证明增加斜槽底会增加排种器的护种角,对种子具有更好的保护作用,但在护种角的计算过程中,对数学公式进行了简化,导致计算不够精确;同时该复式型孔设计有“沟形”结构,能够有效减轻种子与排种器外壳的摩擦损伤,但复式型孔结构的改变对于充种的影响没有进行考虑。此外,针对播种宽度较小的问题,将挡板结构安装于护种板上,使得排种器的可排种宽度比原来提高了 21.4%<sup>[31]</sup>。张翔等针对内充式花生排种器充种过程中流动性变差出现的卡滞现象,在充种区域内侧端面增设充种突起,使壳体壁不再与种子平滑接触,转动过程中种子随突起做径向跳动,从而增强了种子在排种过程中的流动性;同时针对普通护种板易于伤种的现状,设计了一种入口渐收式柔性防伤种护种板,用厚度变化的橡胶型隔种板取代原来的护种板前端,有效地降低了种子的破碎率<sup>[32]</sup>。宋井玲等设计了一种固定凸轮活销机构,在充种、清种、护种、排种过程中,能够根据实际需要灵活地改变型孔的深度,能够很好地适应不同尺寸、不同种类的种子;同时在型孔轮直径大小一定的条件下,通过增加型孔数提高了播种速度。由于直径大小一定情况下,为保证型孔轮有一定的强度,型孔数有一定

的限制,因此播种速度的提升范围有一定的限制<sup>[33]</sup>。

除了对内充式花生排种器的结构进行优化革新外,对于排种器最优参数的研究同样重要。李鹏鹏等选取排种器的投种高度、型孔尺寸、作业速度作为试验因素,选取株距合格率、重播率、漏播率作为评价指标,根据试验数据建立了株距合格率、重播率的回归方程,分析等值线图得到株距合格率受投种高度和作业速度的影响较大,作业速度的增加会降低充种成功率,加重型孔壁与种子的碰撞,增大了种子的破碎率。但该研究只是对试验指标受各因素的影响做了定性的分析,对于各因素之间如何搭配能够达到综合最优效果并未提到<sup>[34]</sup>。陈腾等为了得到内充式花生排种器的最优转速,基于 EDEM 软件研究了不同转速下种子的排量大小规律以及种子的清种区域随转速的变化情况<sup>[35]</sup>。杨红光等通过改变护种板起始角大小、排种轮转速、复式型孔充种孔长度对种子的破碎率进行了统计,得出破碎率受护种板起始角影响最大,排种轮转速次之,受复式型孔充种孔长度影响最小;此外通过 Matlab 软件得出使破碎率最小的参数组合<sup>[36]</sup>。

**3.3.3 圆盘碟式排种器** 在花生播种的实际应用中,由于花生不同于小麦、水稻等小颗粒种型,现存排种器无法很好地适应花生种粒大,种粒之间差距大的问题,导致花生播种的破碎率、漏播率偏高。杨然兵等设计了一种倾斜圆盘碟式排种器,分析了分种碟转速、半径大小以及倾斜角度对花生播种的合格率、空穴率、破碎率等的影响,通过回归方程建立了该排种器结构参数、工作参数与其性能之间的关系,通过 Matlab 求解计算出组合最优参数<sup>[37]</sup>。

上述学者对 2 种排种器进行了工作参数优化,并通过分析影响种子破碎率等的原因进行了结构创新设计。随着研究的继续深入,由于气吸式排种器对种子适应性好、损伤性小等特点,将逐步代替内充式排种器成为首选。但由于气吸式排种器的结构相对较多,造价偏高,使得气吸式排种器的研究大多停留在实验室层面,在市场上所占比例相对较小。而对于排种器性能的研究,大部分集中在中小颗粒种子;对于花生等大尺寸种子的研究较少,应借鉴融合小尺寸种子排种器的研究思路,加快开发。

## 4 现存问题与发展对策

### 4.1 现存问题

(1) 与美国等发达国家“农机先行,农艺辅助农机”的发展模式相比,我国农业基础设施相对落后,有些问题农艺与农机互相否定,导致农艺要求与农机工作参数匹配不佳,导致花生播种机械发展缓慢。

(2) 国内对多功能花生播种机研究较晚,自主知识产权少,花生播种机械没有行业规范,缺乏标准,大多生产厂家自立型号、自成系列,导致大部分型号的播种机只能适应某一区域的生产条件,通用性差。

(3) 我国花生播种机尚处于传统播种机械阶段,人工智能的研发与使用较少。

(4) 现阶段我国花生播种机的工作效率不高,并且覆膜打孔技术不够成熟,易造成撕膜、穿膜。

### 4.2 发展对策

(1) 提前制定播种机械行业标准,在标准基础上进行设

备研发。加大对播种设备研发的财政支持,鼓励更多的高校和科研院所进行播种机械的开发<sup>[38]</sup>。

(2)通过研究花生、水稻等不同种子的播种机,高垄、免耕等不同耕作模式的播种机,建立数据库,为播种机的标准化、通用化发展提供数据支撑。

(3)为排种装置、限深装置配备电控单元、监测系统等,来增加播种精度、实现漏种报警、播种深度均匀等功能,从而实现播种机械的现代智能化研发。

(4)在达到机械化播种技术要求的前提下,采取提高工作速度和播种幅宽的办法来提高播种的效率。加大对覆膜打孔技术的研究,加强鸭嘴式排种器的改进创新。

(5)对播种机的功能结构进行优化,缩小机器长度,从而增强其田间工作的灵活性。

## 5 结束语

现阶段我国播种机的研发已经取得较大进展。但由于花生种粒尺寸不均匀、精量化播种要求高、我国地域辽阔导致花生播种的气候条件差异等因素,加大了花生播种机的研究难度,此外虽然对于播种机结构参数的优化研究已经达到了较高的水平,但应用于实际的案例较少。为此应坚持学科交叉研究,加强自主创新、成果转化,为实现智能化、通用型播种机的研制打下坚实基础。

## 参考文献:

- [1]张智猛,胡文广,许婷婷,等. 中国花生生产的发展与优势分析[J]. 花生学报,2005,34(3):6-10.
- [2]付国琪,杨貌亮. 花生覆膜播种机械化技术要点[J]. 山东农机化,2009(4):27.
- [3]中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册[M]. 北京:机械工业出版社,1990.
- [4]顾峰玮,胡志超,田立佳,等. 我国花生机械化播种概况与发展思路[J]. 江苏农业科学,2010(3):462-464.
- [5]顾峰玮,胡志超,陈有庆,等. “洁区播种”思路下麦茬全秸秆覆盖地花生免耕播种机研制[J]. 农业工程学报,2016,32(20):15-22.
- [6]王熙,张海玉,赵军,等. 大豆播种机电液仿形机构研究[J]. 农机化研究,2010,32(1):227-229.
- [7]马永财,张伟,李玉清,等. 播种机单体两种仿形机构的研究[J]. 农机化研究,2011,33(8):40-42.
- [8]闫以勋,赵淑红,杨悦乾,等. 双自由度双向平行四杆仿形机构的设计[C]//中国农业工程学会2011年学术年会论文摘要集. 重庆,2011:111.
- [9]胡军. 精密播种单体播深控制的理论与实验研究[D]. 长春:吉林大学,2012.
- [10]白晓虎,张祖立. 基于的播种机仿形机构运动仿真[J]. 农机化研究,2009,31(3):40-42.
- [11]邱添,胡志超,吴惠昌,等. 国内外免耕播种机研究现状及展望[J]. 江苏农业科学,2018,46(4):7-11.
- [12]翟之平,高搏,杨忠义,等. 叶片式秸秆抛送装置功耗分析与参数优化[J]. 农业工程学报,2013,29(10):26-32.
- [13]林德志,吴努,陆永光,等. 免耕播种机的抛送装置数值模拟与试验研究[J]. 江苏农业科学,2016,44(8):410-414.
- [14]严伟,吴努,顾峰玮,等. 叶片式抛送装置功耗试验研究与参数优化[J]. 中国农业大学学报,2017,22(7):99-106.
- [15]吴峰,徐弘博,顾峰玮,等. 秸秆粉碎后抛式多功能免耕播种机秸秆输送装置改进[J]. 农业工程学报,2017,33(24):18-25.
- [16]贾洪雷,马成林. 曲面直刃刀切碎与抛送变量的研究[J]. 农业机械学报,2002,33(6):41-43.
- [17]张佳喜,王学农,陈发,等. Solidworks在抛送式棉秸秆粉碎还田机设计中的应用[J]. 农机化研究,2008(12):50-52.
- [18]翟之平,李浩楠,赵艳琼,等. 秸秆揉碎机抛送叶轮应力应变分析与优化设计[J]. 机械设计与制造,2017(7):37-39.
- [19]翟之平,曹洁,郝磊. 叶片式抛送装置出料管内物料运动仿真与结构改进[J]. 农机化研究,2017(9):45-49.
- [20]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.
- [21]庞昌乐,鄂卓茂,苏聪英,等. 气吸式双层滚筒水稻播种器设计与试验研究[J]. 农业工程学报,2000,16(5):52-55.
- [22]邱兵,张建军,陈忠慧. 气吸振动式秧盘精播机振动部件的改进设计[J]. 农机化研究,2002(2):66-67.
- [23]梁素钰,封俊,曾爱军,等. 新型组合吸孔式小麦精密排种器性能的试验研究[J]. 农业工程学报,2001,17(2):84-87.
- [24]庞振强,黄建兰,苏聪英. 2ZBQ-300型双层滚筒气吸式水稻播种器的设计与试验研究[J]. 广西农业机械化,2001(3):2-5.
- [25]陈立东,马淑英,何堤,等. 气吸式排种器充种室封面调节装置的设计[J]. 河北科技师范学院学报,2007,21(3):59-62.
- [26]陈进,李耀明,王希强,等. 气吸式排种器吸孔气流场的有限元分析[J]. 农业机械学报,2007,38(9):59-62.
- [27]钟陆明,陈学庚,温浩军,等. 免耕播种机气吸式排种器影响因素的实验研究[J]. 农机化研究,2012(5):160-163.
- [28]吕小莲,胡志超,吕小荣,等. 气吸式花生精量穴播器取种性能的实验研究[J]. 扬州大学学报,2015,36(1):83-86.
- [29]张甜甜,何晓宁,王延耀,等. 气吸式花生精密播种机的研究[J]. 农机化研究,2017(5):68-74.
- [30]那晓雁,赵春雁,孙士明,等. 气吸式排种器性能试验及预测分析[J]. 湖南农业大学学报,2015,41(4):440-442.
- [31]杨玉国. 内充式花生排种器关键技术与结构创新研究[D]. 济南:山东理工大学,2013.
- [32]张翔,杨然兵,尚书旗. 内侧充种圆盘排种器防伤种装置的设计[J]. 农机化研究,2014(10):75-83.
- [33]宋井玲,杨自栋,杨善东,等. 一种新型内充式精密排种器[J]. 农机化研究,2013(6):90-93.
- [34]李鹏鹏,梁洁,王雨生,等. 浅析内充式花生排种器性能的影响因素[J]. 青岛农业大学学报,2009,26(1):45-48.
- [35]陈腾,翟超男,邢志中,等. 基于EDEM的内充式花生排种器排种过程的离散元仿真研究[J]. 安徽农业科学,2016,44(16):250-253,278.
- [36]杨红光,杨然兵,尚书旗,等. 国内侧充种式花生精密排种器性能分析与破碎试验[J]. 农业现代化研究,2017,38(2):360-366.
- [37]杨然兵,柴恒辉,尚书旗. 花生播种机倾斜圆盘式排种器设计与性能试验[J]. 农业机械学报,2014,45(6):79-84.
- [38]王俊,杜冬冬,胡金冰,等. 蔬菜机械化收获技术及其发展[J]. 农业机械学报,2014,45(2):81-87.