

夹持式玉米精密排种器设计与试验

王业成 高云鹏 台文硕 李宝权 张伟 韩星
(东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030)

摘要: 为了简化机械式玉米排种器结构,提高作业质量,设计了一种夹持式玉米精密排种器,通过压种环在各工作区域的不同结构配合夹种块控制种子的位置及运动状态,实现排种作业。结合玉米种子几何尺寸,对充种过程进行理论分析,获得种子填充力的变化规律,阐述了清种、投种工作原理,设计了夹种块、压种环等关键部件。为检验排种器的排种性能,选用天农九(大粒)、红旗 688(中粒)、黄金糯(小粒)3 种不同几何尺寸的玉米种子为试验对象,以播种机工作速度为试验因素,以合格指数、重播指数、漏播指数为试验指标,进行单因素试验。试验表明,天农九排种效果较好,在工作速度为 11 km/h 时,其合格指数为 90.1%,重播指数为 9.1%,漏播指数为 0.8%,满足排种作业要求。

关键词: 玉米; 精密排种; 夹持式; 排种器

中图分类号: S223.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2019)09-0040-07

Design and Experiment of Clamping Maize Precision Seed-metering Device

WANG Yecheng GAO Yunpeng TAI Wenshuo LI Baoquan ZHANG Wei HAN Xing
(College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: A clamping maize precision seed metering device was designed based on the fitting of different structures of seed-clamping piece in each region and seed-pressing annulus to control the position and movement of seed to get a simple structure, improve the performance of maize seed metering device and meet the requirement of precision planting. The overall structure and working principle of the seed metering device were illustrated and analyzed by the size of maize seeds. The design of structural parameters of key components was conducted, such as seed-clamping piece and seed-pressing annulus. The rule of seed collection mechanics was got by analysis of seed collection process. In order to test the performance of clamping maize seed metering device, the experiment was employed through the method of single factor with Tiannongjiu (big size), Hongqi 688 (middle size) and Huangjinnuo (little size), three kinds of maize seeds. In test, working speed was taken as main influencing factor, the seed qualified index, and multiple index and missing index were taken as response index. The experiment indicated that the clamping maize precision seed metering device fit in the maize seed with big size better and the qualified index was 90.1%, the multiple index was 9.1% and the missing index was 0.8% with Tiannongjiu maize seed at working speed of 11 km/h, which could meet the requirement of precision planting. The results can provide guidance and direction for the design and development of high-speed precision mechanical seed-metering device.

Key words: maize; precision planting; clamping; seed-metering

0 引言

玉米精密播种是根据农艺要求、利用精密播种机械将玉米种子精准定量地播入土壤预定位置的先进技术^[1-2],其关键是在保证播种密度的前提下,实

现粒距均匀和播深一致。精密排种器作为实现精密播种技术的核心工作部件,是保证播种质量的重要手段^[3-5]。

近年来国内外学者针对机械式玉米排种器进行了大量研究^[6-13],王金武等^[6]对动定指勾夹持式玉

收稿日期: 2019-01-08 修回日期: 2019-04-02
基金项目: 东北农业大学学术骨干项目(15XG10)、中国博士后科学基金项目(2016M601407)和黑龙江省博士后面上资助经费项目(LBH-Z16022)
作者简介: 王业成(1978—),男,副教授,博士,主要从事农业机械装备研究,E-mail: 6wyec@163.com

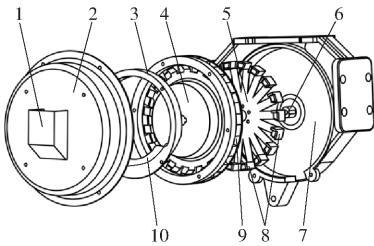
米精量排种器结构参数进行了优化,提高了排种器对种子的适应性;耿端阳等^[11]设计了一种玉米伸缩指夹式排种器,提高了排种器高速排种性能;李洪刚^[12]设计了仿生指夹排种器,降低了种子破损率。目前机械式玉米排种器已能满足播种要求^[6],但仍存在着结构复杂、运动部件易磨损等问题。

针对上述问题,为简化排种器结构,提高工作性能,本文设计一种夹持式玉米精密排种器,通过压种环在各工作区域的不同结构,配合夹种块控制种子的位置及其运动状态,在夹种块、压种环之间的空间实现充种、夹种、清种、投种过程,以提高播种质量。

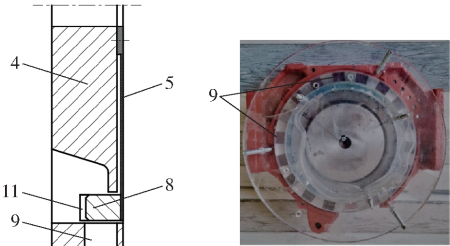
1 排种器结构与工作原理

1.1 主要结构

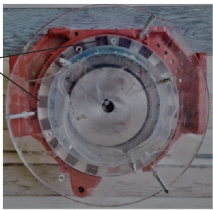
如图 1 所示,夹持式玉米精密排种器主要由护罩、压种环、排种盘、壳体、主轴等部件组成,其中压种环固装在护罩上,护罩固装在壳体上,排种盘通过主轴可转动地安装在壳体上。压种环按照排种功能分为充种、夹种、清种、投种 4 个区域;排种盘由排种盘座、18 个夹种块及板簧构成,排种盘座外侧开有 18 个投种室,每个夹种块分别通过板簧安装在排种盘座上,位置分别与排种盘座上的 18 个投种室依次对应,工作时夹种块可对种子提供沿排种盘轴向的压力来实现种子夹持,夹种块上装有推种凸台,可推动种子沿压种环工作表面滑动;在压种环充种区上方装有隔板,隔板与排种盘座上的环形凹槽构成管状的充种空间。



(a) 整体结构示意图



(b) 排种盘剖视图



(c) 实物图

图 1 夹持式玉米精密排种器结构图

Fig. 1 Structural drawings of clamping maize precision seed-metering device

1. 进种口 2. 护罩 3. 压种环 4. 排种盘座 5. 板簧 6. 主轴
7. 壳体 8. 夹种块 9. 投种室 10. 隔板 11. 推种凸台

1.2 工作原理

如图 2 所示,排种器工作过程分为充种、夹种、清种、投种 4 个过程,其中投种过程分为一次投种和二次投种两部分。

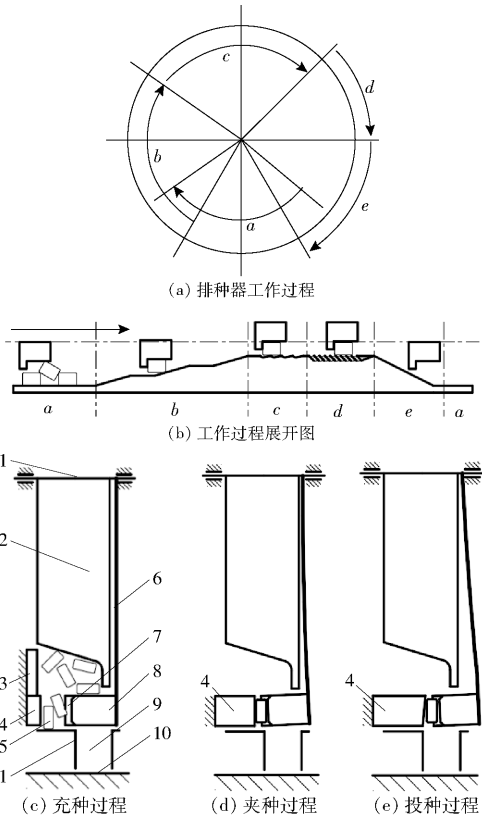


图 2 工作原理图

Fig. 2 Working principle diagrams

a. 充种区 b. 夹种区 c. 清种区 d. 一次投种区 e. 二次投种区
1. 主轴 2、11. 排种盘座 3. 隔板 4. 压种环 5. 玉米种子 6. 板簧 7. 推种凸台 8. 夹种块 9. 投种室 10. 壳体

作业时,种子通过护罩上的进种口进入护罩内,在自身重力作用下流入隔板与排种盘之间的管状空间里,在排种盘摩擦力的作用下,种子随排种盘运动,从管状空间另一侧的出口流出。如图 2c 所示,管状空间内的种子在重力及种子之间作用力的作用下进入到夹种块与压种环之间,完成充种过程。如图 2b~2d 所示,在夹种区,压种环的高度逐渐升高,使其与夹种块之间的距离逐渐减小,当距离小于种子几何尺寸时,压种环推动种子及夹种块做轴向运动,使板簧变形,通过板簧的形变控制对种子的夹持力,将种子夹紧,完成夹种过程。被夹持的种子在夹种块和推种凸台推力的作用下,沿着压种环工作表面滑动。在清种区,压种环工作表面为多个波浪型起伏结构,种子、夹种块随着压种环的波浪型表面起伏运动。当夹种块与压种环之间夹持 2 粒种子时,2 粒种子将依次交替通过波浪型起伏结构的波峰和波谷,当一粒种子位于波峰时另一粒种子可能位于波谷,位于波峰的种子将被夹紧,而位于波谷的种子将

丧失夹持力,在自身重力的作用下与夹种块分离,实现清种过程。如图 2e 所示,在投种区随着压种环继续升高,推动种子及夹种块作轴向运动,使被夹持的种子所在的空间与投种室连通,同时压种环向外侧倾斜,夹种块与压种环对种子的夹持力将提供一个沿排种盘径向向外的推力分量,推动种子向外滑动进入投种室,失去种子的支撑后,夹种块在板簧弹力的作用下回弹,与压种环接触,封闭投种室,完成一次投种过程。进入投种室的种子随排种盘一同转动,当投种室转到壳体下方投种口位置时,种子在重力作用下掉出投种室,完成二次投种过程。

2 关键部件设计与分析

2.1 玉米种子几何参数

玉米种子的几何参数为排种器的设计与分析提供了基础参数和设计依据^[14-15],本文选取黑龙江地区种植的 3 种玉米:天农九(大粒)、红旗 688(中粒)、黄金糯(小粒),其几何尺寸如表 1 所示。

表 1 玉米种子几何参数

Tab. 1 Geometric dimension parameters of maize seeds					
品种	参数	平均值	最大值	最小值	标准差
天农九	长	10.8	13.0	6.5	1.4
	宽	8.2	11.0	6.9	0.9
	高	6.2	10.0	4.1	1.2
红旗 688	长	9.4	12.0	6.1	1.2
	宽	8.5	10.2	6.9	0.9
	高	5.6	8.6	3.9	1.0
黄金糯	长	9.1	11.2	6.6	1.3
	宽	7.5	9.9	5.5	0.8
	高	5.4	8.1	3.6	1.0

不同品种之间几何尺寸存在较大差异,各品种内部长度差异较大,宽度、高度差异较小。为方便研究,将玉米种子按几何形状分为扁形和圆形^[14-15],如图 3 所示。

2.2 充种过程分析

充种时,护罩内的种子在重力作用下流入到隔板与排种盘之间的管状空间里,在排种盘摩擦力的作用下,种子随排种盘运动,从管状空间另一侧的出口流出。管状空间内的种子在重力及种子之间作用力的作用下进入夹种块和压种环之间,实现充种过程。

取图 2a 中圆弧充种区域内的种子群为研究对象,忽略重力,由于种子相对较小,为简化分析过程,把其看成截面为矩形的连续体进行分析^[16],取种子群微段 ds 为研究对象,设沿种子流向为正向,如图 4a 所示。对微段 ds 进行受力分析,如图 4b 所

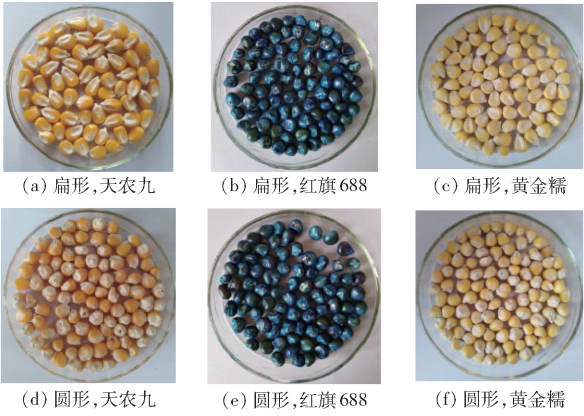


图 3 玉米种子外形分类

Fig. 3 Shape grading of maize seeds

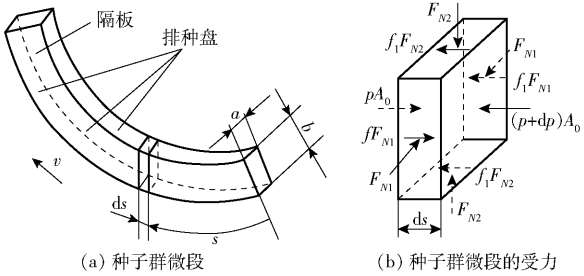


图 4 种子散体受力分析

Fig. 4 Mechanics analyses of granular seeds

示。充种区域内的种子三面受到排种盘向左的摩擦力,一面受到隔板向右的摩擦力,左、右端受到其他种子的作用力。

对微段水平方向列静力学方程

$$(p + dp - p) A_0 = f_1 F_{N2} + f_1 F_{N2} + f_1 F_{N1} - f F_{N1} \tag{1}$$

其中 $A_0 = ab$ $F_{N1} = \mu p b ds$ $F_{N2} = \mu p a ds$

式中 p ——截面受到的压力,MPa

A_0 ——截面面积, mm^2

a ——排种盘座上环形凹槽底部到隔板的距离,mm

b ——排种盘座上环形凹槽宽度,mm

F_{N1} ——排种盘座上环形凹槽底部与隔板对种子群微段前、后表面的法向力,N

F_{N2} ——排种盘座上环形凹槽两侧对种子群微段上、下表面的法向力,N

f ——种子与隔板间的动摩擦因数

f_1 ——种子与排种盘座间的动摩擦因数

μ ——微段其他方向压力与左右端面的压力比值

由式(1)得

$$\frac{dp}{p} = \mu \left(\frac{2f_1}{b} + \frac{f_1 - f}{a} \right) ds \tag{2}$$

设在弧形种子群端面 $s = 0$ 处作用有均匀分布的初始压力 p_0 ,其大小由排种器内种子的高度、密

度、内摩擦角、外摩擦角等因素确定,可按散体理论深仓模型进行估算^[17],由式(2)得充种区内种子群各横截面的压力为

$$p = p_0 e^{\mu \left(\frac{2f_1}{b} + \frac{f_1 - f}{a} \right) s} \quad (0 \leq s \leq l_0) \tag{3}$$

式中 l_0 ——弧形空间种子散体长度,mm
 s ——弧形空间的截面位置,mm

由式(3)可以看出,充种区内种子群各截面的压力 p 与各截面位置 s 呈指数关系增大,这使种子可以获得大于自身重力的填充力,快速进入夹种块与压种环之间,完成充种过程^[18]。同时种子随着排种盘一同运动,减小了种子与排种盘间的相对速度,降低了种子惯性力对充种性能的影响。

2.3 夹种部件设计

2.3.1 压种环夹种区

压种环夹种区由 3 个斜面 and 2 个水平面构成,各斜面的倾角、长度均相等,如图 2b 所示。

夹种过程中,种子沿着压种环的斜面向上滑动,其受力如图 5 所示,斜面上倾角 θ 应满足种子在压种环表面滑动时不发生自锁现象,避免种子自锁后相对夹种块、压种环翻转,要求

$$\varphi > \varphi_f \tag{4}$$

其中 $\varphi = 90^\circ - \theta - \arctan \frac{t - h - r(1 - \cos\theta)}{l - r(2 - \sin\theta)}$

式中 φ ——压种环对种子全约束力 F_R 与接触面法线的夹角, (°)

φ_f ——玉米种子与压种环间的摩擦角, (°)

l ——玉米种子沿滑动方向的长度,mm

t ——玉米种子高度,mm

h ——推种凸台高度,mm

r ——玉米种子棱边圆角半径,mm

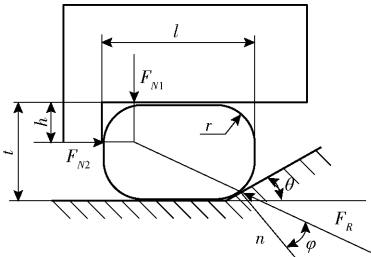


图 5 夹种过程受力分析

Fig. 5 Mechanics analysis of seed clamping

由式(4)可知,在一定摩擦角 φ_f 条件下,增大推种凸台高度 h 可以降低结构对斜面倾角 θ 的要求,长高比大、棱边圆角半径小的种子不易发生自锁、翻转现象。

玉米种子与压种环间的摩擦角为 $24.6^\circ \sim 35.0^\circ$,结合表 1、式(4),取斜面上倾角 $\theta = 7^\circ$,可满足玉米种子不发生自锁的要求。

2.3.2 夹种块

夹种块是夹持种子的关键部件,其长度、宽度决定了夹种块与种子接触面的几何参数,应满足排种器各工作过程的作业要求。在充种过程中要求夹种块与压种环形成较大的充填空间,便于种子填充,满足充种要求;在夹种过程中要求夹种块对种子的稳定夹持;在清种过程中要求夹种块便于清除多余的种子,实现较高的单粒夹持率^[19]。为了满足各工作过程的要求,取夹种块的长度大于宽度,在长度方向实现可靠充种,在宽度方向避免夹持 2 粒玉米种子,结合表 1 玉米种子的几何参数,取其种子接触的工作表面的长度为 15 mm,宽度为 9 mm。

推种凸台在排种器的充种、夹种、清种及一次投种过程中,推动种子沿压种环工作表面滑动。如图 5 所示,推种凸台高度 h 应小于单粒种子高度 t ,才能实现夹种块与压种环对种子的夹持,反之较大的推种凸台高度可以使种子沿压种环平稳地滑动。取推种凸台高度 $h = 3$ mm。

2.4 清种过程分析

在清种区,受夹种块与压种环宽度的限制,夹种块难以横向夹持 2 粒种子。为了提高充种性能,选取较大的夹种块长度,使夹种块与压种环纵向存在夹持 2 粒种子的可能。

对夹种块纵向夹持 2 粒种子的情况进行分析。由于夹种块相对于排种盘做轴向平行移动,当 2 粒种子尺寸相差较大时,尺寸较小的种子将不能被夹持,当 2 粒种子尺寸相近时,可同时被夹种块夹持。如图 6 所示,在清种区,2 粒种子依次交替地通过波浪型起伏结构的波峰、波谷,当一粒种子位于波峰时另一粒种子可能位于波谷,位于波峰的种子将被夹紧,而位于波谷的种子将丧失夹持力,丧失夹持力的种子在自身重力的作用下与夹种块分离。在清种过程中,波浪形结构多次出现,使夹持 2 粒种子的夹种块多次丧失对其中某一粒种子的夹持,以提高清种性能。

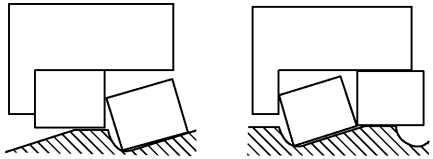


图 6 清种过程示意图

Fig. 6 Schematics of seed clearing

波浪型结构的长度应大于单粒种子的几何尺寸,实现一粒种子位于波峰时另一粒种子可以位于波谷;波浪型结构的深度应小于种子的最小尺寸,不影响单粒种子的夹持,在夹持 2 粒种子时,其深度应能实现使位于波谷的种子丧失夹持力;波浪型结构

的斜面上升倾角应避免种子发生自锁现象。取波浪型结构的长度为 16.5 mm,深度为 1.5 mm,斜面上升倾角为 5.2°。

2.5 投种过程分析

投种过程分为一次投种和二次投种两部分。如图 7 所示,一次投种阶段压种环工作平面与夹种块由平行转为向外侧倾斜 α ,使夹种块与压种环对种子提供的支持力 F_{N3} 、 F_{N4} 产生一个沿排种盘径向向外的推力分量,此时夹种块、压种环与种子间的摩擦力 F_{s1} 、 F_{s2} 沿排种盘径向向内的分量与之平衡。压种环在投种区的工作表面为起伏较小的波浪形结构,当种子与夹种块间的静摩擦力变为动摩擦力时,由于动摩擦力与相对速度方向相反,使种子有向外滑动的运动分量 v_n ,种子将向外滑动进入投种室,完成一次投种过程。

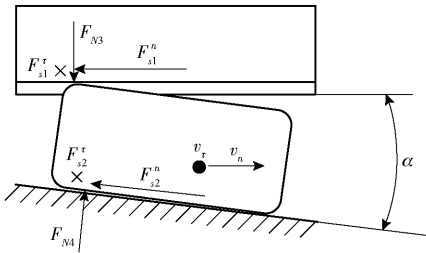


图 7 投种过程受力分析图

一次投种过程完成后,夹种块在板簧弹力的作用下回弹,与压种环接触,将投种室封闭,避免种子掉出投种室,落入护罩内,造成漏播,同时进入投种室的种子随排种盘一同转动,当投种室转到壳体下方投种口位置时,种子在重力作用下掉出投种室,完成二次投种过程。

3 试验

3.1 试验材料与设备

试验材料选用天农九(大粒)、红旗 688(中粒)、黄金糯(小粒)玉米种子。试验在东北农业大学排种器实验室实施。

如图 8 所示,试验装置主要由夹持式玉米精密排种器、JPS-12 型排种器性能试验台、高速摄像机等组成。

3.2 试验方法

选取播种机工作速度为试验因素。根据农艺要求,选取天农九玉米种子播种株距为 33 mm,红旗 688、黄金糯玉米种子播种株距为 25 mm。参考 GB/T 6973—2005《单粒(精密)播种机试验方法》和 JB/T 10293—2001《单粒(精密)播种机技术条件》,选取玉米播种合格指数、重播指数和漏播指数为试验指标,进行单因素试验,以评价排种器作业质

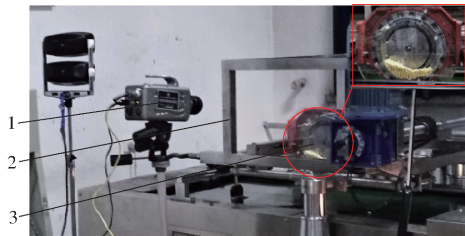


图 8 排种性能试验台

Fig. 8 Test bed of seeding performance experiments
1. 高速摄像机 2. JPS-12 型排种器性能试验台 3. 夹持式玉米精密排种器

量、适播范围。在试验过程中,每组试验重复 3 次,每次连续记录当排种器稳定工作时起种床带上排出的 250 颗种子,取 3 次试验的平均值作为试验结果^[20]。

3.3 试验结果与分析

试验结果如表 2 所示。

表 2 试验结果
Tab.2 Experiment results

品种	试验 序号	播种机 工作速度/ (km·h ⁻¹)	排种器 转速/ (r·min ⁻¹)	合格 指数/ %	重播 指数/ %	漏播 指数/ %
天农九	1	3	8.4	93.1	6.5	0.4
	2	5	14.0	92.3	7.1	0.6
	3	7	19.6	91.9	7.7	0.4
	4	9	25.3	91.1	8.4	0.5
	5	11	30.9	90.1	9.1	0.8
	6	13	36.5	89.1	10.3	0.6
红旗 688	7	3	11.1	84.7	14.8	0.5
	8	5	18.5	82.7	17.2	0.1
	9	7	25.9	81.5	18.1	0.4
	10	9	33.3	79.3	20.0	0.7
	11	11	40.7	78.0	21.5	0.5
	12	13	48.2	76.8	22.9	0.3
黄金糯	13	3	11.1	80.0	19.7	0.3
	14	5	18.5	77.7	22.1	0.2
	15	7	25.9	76.5	23.1	0.4
	16	9	33.3	75.5	24.5	0.0
	17	11	40.7	74.0	25.5	0.5
	18	13	48.2	72.9	26.8	0.3

如图 9 所示,各品种的重播指数随播种机工作速度的增加而增高,随玉米种子几何尺寸的减小而增高。当播种机工作速度增加时,夹种块通过清种区时的速度增加、多余种子丧失夹持力的时间减少,使部分多余种子没有充足的时间依靠重力脱离夹种块与压种环之间的区域,同时离心力增大,降低了种子脱离夹种块与压种环之间区域的速度,造成重播指数增高;夹种块在设计过程中主要参考了天农九(大粒)种子的几何尺寸,在针对红旗 688(中粒)、

黄金糯(小粒)种子进行试验时,出现了重播指数较高的问题,可通过设计不同规格的压种环以改善排种器对中、小型玉米种子的播种性能。

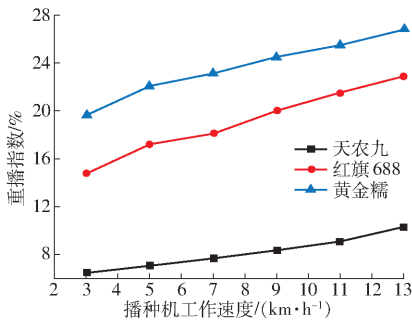


图 9 重播指数随播种机工作速度变化曲线
Fig. 9 Changing curves of multiple index with planter operating speed

如图 10 所示,各品种的漏播指数受播种机工作速度与玉米种子几何尺寸变化影响较小,当播种机工作速度为 3 ~ 13 km/h 时,该排种器针对 3 种不同品种的玉米种子,漏播指数均不大于 0.8%,该排种器利用排种盘的摩擦力驱动种子流动、增大种子充填力、减小种子与排种盘的相对速度的充种方案可行。

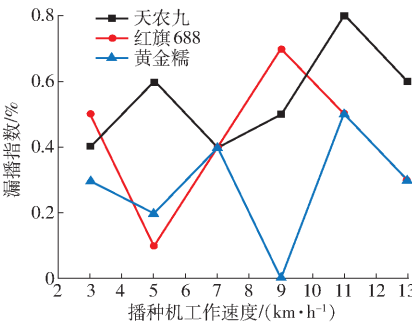


图 10 漏播指数随播种机工作速度变化曲线
Fig. 10 Changing curves of missing index with planter operating speed

如图 11 所示,各品种的合格指数随着播种机工作速度的增加而降低,随种子尺寸的减小而降低。合格指数降低主要由重播指数的增加引起。

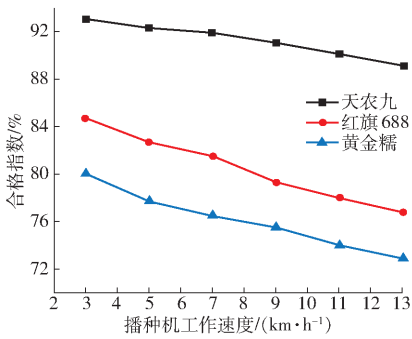


图 11 合格指数随播种机工作速度变化曲线
Fig. 11 Changing curves of qualified index with planter operating speed

夹持式玉米精密排种器播种质量受玉米种子几何尺寸影响较大,其中针对天农九(大粒)玉米种子的排种效果较佳,在工作速度为 11 km/h 时,其合格指数为 90.1%,重播指数为 9.1%,漏播指数为 0.8%,满足排种作业要求。

4 结论

(1)设计了一种夹持式玉米精密排种器,阐述了排种器总体结构及工作原理,对充种过程进行理论分析,获得种子填充力变化规律,分析了清种、投种工作过程,确定了关键部件结构参数。

(2)通过天农九(大粒)、红旗 688(中粒)、黄金糯(小粒)3 个玉米品种的对比试验发现,天农九的排种效果较佳,在工作速度为 11 km/h 时,其合格指数为 90.1%,重播指数为 9.1%,漏播指数为 0.8%,满足播种作业要求。

参 考 文 献

[1] 杨丽,颜丙新,张东兴,等. 玉米精密播种技术研究进展[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(11):38-48.
YANG Li, YAN Bingxin, ZHANG Dongxing, et al. Research progress on precision planting technology of maize [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(11): 38-48. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20161106&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.11.006. (in Chinese)

[2] YANG Li, HE Xiantao, CUI Tao, et al. Development of mechatronic driving system for seed meters equipped on conventional precision corn planter[J]. International Journal of Agriculture and Biological Engineering, 2015, 8(4): 1-9.

[3] 丛锦玲,余佳佳,曹秀英,等. 油菜小麦兼用型气力式精量排种器[J/OL]. 农业机械学报,2014,45(1):46-52.
CONG Jinling, YU Jiajia, CAO Xiuying, et al. Design of dual-purpose pneumatic precision metering device for rape and wheat[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(1): 46-52. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20140108&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2014.01.008. (in Chinese)

[4] 翟建波,夏俊芳,周勇. 气力式杂交稻精量穴直播排种器设计与试验[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(1):75-82.
ZHAI Jianbo, XIA Junfang, ZHOU Yong. Design and experiment of pneumatic precision hill-drop drilling seed metering device for hybrid rice[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(1): 75-82. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160111&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.01.011. (in Chinese)

[5] 马旭,谭永妍,齐龙,等. 水稻秧盘育秧精密播种流水线软硬秧盘自动叠放装置[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(3):29-36.

- MA Xu, TAN Yongxin, QI Long, et al. Automatic tray stacking device for hard and soft tray of rice precision seeding for nursing seedlings pipeline[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(3): 29–36. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160305&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.03.005. (in Chinese)
- [6] 王金武, 唐汉, 关睿, 等. 动定指勾夹持式玉米精量排种器优化设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(12): 48–57. WANG Jinwu, TANG Han, GUAN Rui, et al. Optimization design and experiment on clamping static and dynamic finger-spoon maize precision seed metering device[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(12): 48–57. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20171206&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2017.12.006. (in Chinese)
- [7] 王金武, 唐汉, 周文琪, 等. 指夹式精量玉米排种器改进设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(9): 68–76. WANG Jinwu, TANG Han, ZHOU Wenqi, et al. Improved design and experiment on pickup finger precision seed metering device[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(9): 68–76. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20150910&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2015.09.010. (in Chinese)
- [8] 王金武, 唐汉, 王奇, 等. 基于 EDEM 软件的指夹式精量排种器排种性能数值模拟与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(21): 43–50. WANG Jinwu, TANG Han, WANG Qi, et al. Numerical simulation and experiment on seeding performance of pickup finger precision seed-metering device on EDEM[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(21): 43–50. (in Chinese)
- [9] 王金武, 唐汉, 王金峰, 等. 指夹式玉米精量排种器导种投送运移机理分析与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(1): 29–37, 46. WANG Jinwu, TANG Han, WANG Jinfeng, et al. Analysis and experiment of guiding and dropping migratory mechanism on pickup finger precision seed metering device for corn[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(1): 29–37, 46. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170105&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2017.01.005. (in Chinese)
- [10] WANG Jinwu, TANG Han, WANG Jinfeng, et al. Optimization design and experiment on ripple surface type pickup finger of precision maize seed metering device[J]. International Journal of Agriculture and Biological Engineering, 2017, 10(1): 61–71.
- [11] 耿端阳, 李玉环, 孟鹏翔, 等. 玉米伸缩指夹式排种器设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(5): 38–45. GENG Duanyang, LI Yuhuan, MENG Pengxiang, et al. Design and test on telescopic clip finger type of metering device[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(5): 38–45. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160506&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.05.006. (in Chinese)
- [12] 李洪刚. 仿生指夹式排种器[D]. 长春: 吉林大学, 2010. LI Honggang. Bionic pinch of metering device[D]. Changchun: Jilin University, 2010. (in Chinese)
- [13] MAO Xin, YI Shujian, TAO Guixiang, et al. Experimental study on seed-filling performance of maize bowl-tray precision seeder[J]. International Journal of Agriculture and Biological Engineering, 2015, 8(2): 31–38.
- [14] 陈志, 郝付平, 王锋德, 等. 中国玉米收获技术与装备发展研究[J/OL]. 农业机械学报, 2012, 43(12): 44–50. CHEN Zhi, HAO Fuping, WANG Fengde, et al. Development of technology and equipment of corn harvester in China[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(12): 44–50. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20121209&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2012.12.009. (in Chinese)
- [15] 刘佳, 崔涛, 张东兴, 等. 玉米种子分级处理对气力式精量排种器播种效果的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 109–113. LIU Jia, CUI Tao, ZHANG Dongxing, et al. Effects of maize seed grading on sowing quality by pneumatic precision seed-metering device[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(9): 109–113. (in Chinese)
- [16] 王业成, 邱立春, 张文娇, 等. 摩擦型立式圆盘精密排种器的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 22–26. WANG Yecheng, QIU Lichun, ZHANG Wenjiao, et al. Design and experiment of friction vertical plate precision seed-metering device[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(1): 22–26. (in Chinese)
- [17] 周祖饬. 农业物料学[M]. 北京: 北京出版社, 1994.
- [18] JIA Honglei, CHEN Yulong, ZHAO Jiale, et al. Design and key parameter optimization of an agitated soybean seed metering device with horizontal seed filling[J]. International Journal of Agriculture and Biological Engineering, 2018, 11(2): 76–87.
- [19] 李玉环, 杨丽, 韩英, 等. 勾夹式蚕豆精量排种器设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2018, 49(增刊): 108–116. LI Yuhuan, YANG Li, HAN Ying, et al. Design and experiment of spoon-clamping type metering device for faba beans[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(Supp.): 108–116. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2018s015&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2018.S0.015. (in Chinese)
- [20] 王业成, 靳亚东, 罗思博, 等. 集排式大豆精量排种器设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2018, 49(6): 112–118. WANG Yecheng, JIN Yadong, LUO Sibao, et al. Design and experiment of centralized precision soybean seed-metering device[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(6): 112–118. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180613&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2018.06.013. (in Chinese)