

玉米伸缩指夹式排种器设计与试验

耿端阳 李玉环 孟鹏祥 杜瑞成 孟凡虎

(山东理工大学农业工程与食品科学学院, 淄博 255000)

摘要: 针对现有气力式玉米排种器播种可靠性差和机械式玉米排种器存在对高速作业适应性差、对种子外形要求严格等问题,设计了一种结构简单、排种效果好的伸缩指夹式精量排种器,研究了该排种器主要结构参数对排种性能的影响规律;通过正交试验确定了影响其排种性能的主次因素为夹持力、指夹器开启行程和排种器转速,在较优参数组合为夹持力 0.87 N、指夹器开启行程 16 mm、排种器转速 45 r/min 时其株距合格率 S 为 95.4%、漏播率 M 为 1.9%、重播率 D 为 2.7%,满足国家标准要求。

关键词: 排种器; 玉米; 精密播种; 伸缩指夹; 指夹器

中图分类号: S223.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)05-0038-08

Design and Test on Telescopic Clip Finger Type of Metering Device

Geng Duanyang Li Yuhuan Meng Pengxiang Du Ruicheng Meng Fanhu

(School of Agricultural and Food Engineering,

Shandong University of Technology, Zibo 255000, China)

Abstract: In order to shorten the corn seeding period, reduce the waste of corn seeds and insure the sowing quality, the high-speed precise seeding technology has become an important direction of corn seeder development, which mainly includes pneumatic type of corn seeder and mechanical type of corn seeder. So the corn metering device which is the core component of corn seeder attracted many experts and scholars to study. And the results showed that the pneumatic corn metering device existed inaccurate sowing precision and the mechanical corn metering device owns poor adaptability for high-speed operation and different corn seed shapes and so on. According to the above practical problems, a telescopic clip finger type of corn precise metering device was developed which owns two advantages such as simple structure and good seeding performance. Its influenced laws with the main structural parameters to the metering performance were firstly studied, and the main parameters influenced the metering performance were determined by the orthogonal test method which included clamping force, opening distance of clip-finger and the rotating speed of metering plate. And their optimal experimental results were: the clamping force of 0.87 N, opening distance of 16 mm and the rotating speed of metering plate of 45 r/min. And the corresponding performance indexes are as following: the spacing of the qualified rate is 95.4%, the leakage sowing rate is 1.9% and the replanting rate is 2.7%, which could completely meet the requirement of the technical specifications of quality evaluation for drills in China. The research provides a reference for further improving quality and optimizing the parameter for clip finger type of metering device.

Key words: metering device; corn; precision seeding; telescopic finger; clip finger

收稿日期: 2015-10-18 修回日期: 2015-12-16

基金项目: 山东省科技发展计划项目(2014GNC112004)和山东省现代农业产业技术体系创新团队项目(SDAIT-01-022-10)

作者简介: 耿端阳(1969—),男,教授,主要从事农业机械装备研究,E-mail: dygxt@sdut.edu.cn

通信作者: 杜瑞成(1957—),男,教授,博士生导师,主要从事玉米播种机械化技术研究,E-mail: drc@sdut.edu.cn

引言

目前我国虽然解决了玉米的单粒播种问题,但是由于玉米播种机多用勺轮式排种器,加之玉米种子外形差异较大,所以当作业速度提高后,其作业质量明显降低。为此许多专家和研究人員继续深入研究种子外形和作业速度适应性好、排种精度高的排种器,主要包括气力式精密排种器和机械式精密排种器。其中气力式精密排种器虽然具有对种子适应性强、损伤小的优势,但由于密封、耐磨性、地头气压难以保证,以及国内吸盘加工质量差导致吸种过多、制造成本高和可靠性较低等问题,使其推广受到较大限制^[1-5];而机械式主要包括勺盘(轮)式和指夹式排种器两种结构,其中勺盘式排种器虽然结构简单、成本低廉,但是播种精度较低,特别是当作业速度提高后,其作业质量下降非常明显,严重制约了机器作业速度的提高^[6-10];指夹式排种器早在20世纪80年代国内外学者就对其进行了研究,如黑龙江八一农垦大学钱简可教授研制的指夹式排种器田间作业合格率不低于90%^[11];石河子大学付威教授研制的强制夹持式玉米精量排种器,台架试验表明单粒率大于85%^[12];东北农业大学王金武教授对指夹式排种器进行了改进设计,并利用EDEM软件对该排种器性能参数进行了模拟试验,为指夹式排种器的优化设计提供了理论参考^[13-14]。上述指夹式排种器虽然夹持单粒率水平较高,但还存在结构复杂、可靠性难以保证等问题,加之其夹持原理采用摆动夹完成种子的充种和夹持,且摆动夹多为平面结构,所以夹持过程容易出现种子滑落,进而导致空穴问题的出现;当摆动夹带有防脱折边或沟槽时,则容易出现一次夹持多粒的问题;另外种盘为定盘,摆动夹夹持种子在种盘上运动,种子易产生破损,指夹易发生磨损,从而制约了该型排种器的推广使用^[11-14]。

针对上述问题,设计一种结构简单,夹种精度高,成本低廉,且对种子大小、形状和作业速度有较好适应性的伸缩指夹式排种器。

1 伸缩指夹式排种器结构和工作原理

伸缩指夹式排种器主要由种盘、指夹器、前壳体、清种毛刷、后壳体等组成,其结构如图 1 所示。指夹器是该排种器的核心部件,结构如图 2 所示,主要由夹指、弹簧、伸缩杆、轴承等部件组成。指夹器安装在种盘上,随排种盘一起转动,回避了种子和夹指在定盘面上的磨损;为了减小指夹器在轨道运动过程的摩擦力,指夹器的末端安装了滚动轴承,保证

了指夹器在种盘壳体导轨上的柔顺运动,防止了卡滞现象的发生。工作时,该指夹器一方面随种盘做圆周运动,一方面在后壳体轨道和弹簧的控制下实现垂直于种盘的往复伸缩运动,完成种子的充种、持种和投种功能。

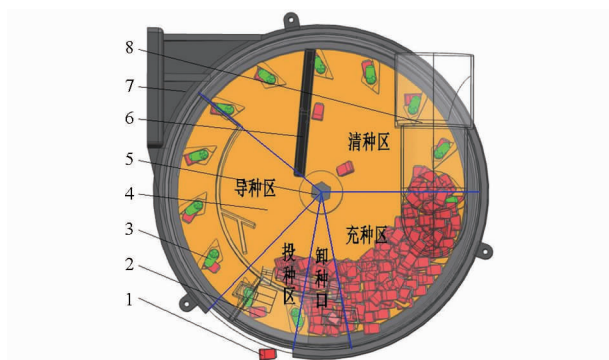


图 1 伸缩指夹式排种器结构图

Fig. 1 Finger clip metering device structure

1. 种子 2. 卸种盖 3. 伸缩指夹器 4. 种盘 5. 传动轴 6. 清种毛刷 7. 后壳体 8. 前壳体

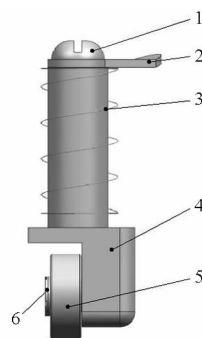


图 2 指夹器结构图

Fig. 2 Finger clip structure

1. 紧固螺钉 2. 夹指 3. 弹簧 4. 伸缩杆 5. 轴承 6. 固定轴

本研究的排种器根据功能划分为 5 个工作区域,分别为充种区、清种区、导种区、投种区和卸种口。工作时,种盘在传动轴驱动下带动其上的伸缩指夹器一起转动,种盘每转动一周,伸缩指夹器在后壳体轨道的作用下沿垂直于种盘的方向伸缩一次,完成充种、清种、导种和投种。其中充种过程是当伸缩指夹器运动到充种区伸缩指夹器打开,排种器内的种子进入到伸缩指夹器;继而当伸缩指夹器运动到后壳体轨道(后壳体轨道结构图如图 3 所示)的关闭面位置时被关闭,完成种子的充种过程;清种过程是指当指夹器运动到清种区时,伸缩指夹器运动到后壳体轨道关闭区间,伸缩指夹器处于闭合状态,将种子稳定的夹持,指夹器在重力和清种毛刷的作用下,完成多夹种子的清理,保证每次只有一粒种子被夹持;导种过程是指伸缩指夹器运动到导种区时,由指夹器稳定夹持完成种子向投种区的输送;投种过程是指当指夹器运动到投种区时,伸缩指夹器运动

到后部壳体上轨道的开启面,指夹器向外打开,被夹持的种子在重力和离心力作用下落入投种口完成投种。卸种过程是播种作业完成后将排种器内的种子清除,其位置位于排种器下部,在排种器前壳体上开有卸种口,完成播种工作后打开卸种口,种子在重力的作用下即可完成卸种。

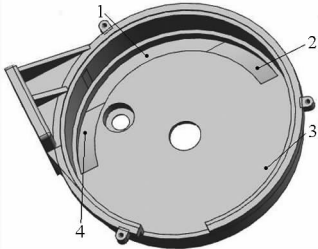


图 3 后壳体轨道结构图

Fig. 3 Guide rail structure

1. 闭合区间 2. 关闭面 3. 开启区间 4. 开启面

2 排种器结构参数和运动参数分析

2.1 玉米种子物料学特性

为了保证伸缩指夹器对种子的适应性和夹持种子的准确性,对当前黄淮海地区应用较多的 3 种主要玉米品种进行了测量,其结果如表 1 所示。

表 1 玉米种子的外形几何参数
Tab.1 Geometric sizes of corn seeds mm

品种	长度 <i>l</i>		宽度 <i>b</i>		厚度 <i>d</i>	
	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
莘州 158	11.78	0.94	9.48	0.77	5.68	0.63
农大 108	10.21	0.77	8.24	0.81	5.22	0.56
鲁单 818	12.09	0.91	8.96	0.79	5.29	0.79

由表 1 可以看出,不同玉米品种其外形尺寸存在较大差异,但所有尺寸基本符合正态分布;且 3 种种子的长度范围为 9.5 ~ 14.6 mm,宽度范围为 6.6 ~ 12.3 mm,厚度范围为 3.4 ~ 8.1 mm。

2.2 排种器结构参数确定

2.2.1 种盘功能区域划分

考虑到种子是在种盘和前壳体之间完成充种、清种、导种和投种,而该过程主要通过后壳体的轨道作用于伸缩指夹器末端的轴承来完成,所以为了准确适时控制伸缩指夹器的伸出与缩回,必须对种盘的功能区域进行划分,以便确定后壳体的轨道形状与位置。

首先,为了减小投种过程种子在导种管、种床上的水平弹跳,一般要求零速投种,如图 4 所示, α 为投种口与竖直方向的夹角, v_m 为机器前进速度, v_s 为种子相对机架的速度, v_z 为种子离开排种口时绝对运动速度,显然,根据零速投种原理,只有当种子的

绝对运动在水平方向的分速度应该等于或接近于零时,才能减少种子着床的跳动;进一步结合零速投种技术及理论设计^[15]以及国外在土槽小车上进行播种摄影跟踪试验结果,玉米种子着床时运动方向与种床夹角为 $75^\circ \sim 85^\circ$ 时,种子弹跳的平均位移最小;又考虑该排种器要满足高低速作业要求,且在投种口处能顺畅投出种子,本排种器适当加大投种口范围,结合试验最终确定投种口位置为 $\alpha = (25 \pm 10)^\circ$,即投种区范围 $[335^\circ, 355^\circ]$ 。

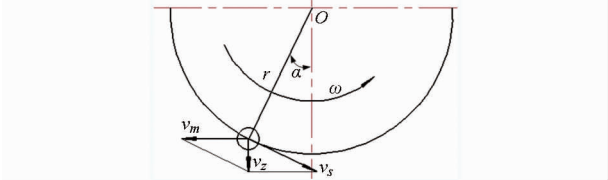


图 4 投种过程分析示意图

Fig. 4 Analysis of seed charging process

为了保证充种的可靠性,应该尽量加大充种区的作用范围,由图 1 可知,当指夹器转到水平位置时,即失去了充种的作用,所以充种区的作用范围为 $5^\circ + 90^\circ = 95^\circ$,即充种区为 $[355^\circ, 0^\circ] \cup [0^\circ, 90^\circ]$ 。

清种区主要为防止出现重播而设置,一般来说,只要能保证指夹器所夹多余种子被清理并落下即可,这里根据试验情况,将其作用范围设定为 150° ,即清种区为 $[90^\circ, 240^\circ]$ 。

考虑清种区和投种区有相当的距离,所以在清种区和投种区之间设有导种区,该区要求被夹持的种子能够稳定、可靠地随种盘被夹持运动到投种区,所以该区的种范围为 $360^\circ - 150^\circ - 95^\circ - 20^\circ = 95^\circ$,即导种区为 $[240^\circ, 335^\circ]$,这样最终的种盘功能区划分如图 1 所示。进一步,为了防止在导种过程出现种子滑落而空穴,所以在导种区沿圆周方向设有导种槽,这样运送到该区的种子即使从指夹器松脱后,也可以在离心力作用下被甩向投种口,从而防止了空穴问题的出现。

卸种区主要是为清理排种器内种子设立的,卸种过程在播种完成后进行,利用种子的自身重力将排种器内剩余的种子从卸种口清理干净,卸种口位置位于排种器下部种子区,其位置与排种器的充种区重合。

2.2.2 伸缩指夹器的伸缩行程

伸缩指夹器的行程受种子在充种区的姿态影响很大,如果行程过大,则可能出现夹持多粒的问题;如果行程过小,则可能影响种子的充种效果。根据相关资料显示,由于种子受到种盘的摩擦作用,大多数种子在充种过程中处于与种盘平行的方向,即按照厚度进行夹持;但是为了保证作业质量,考虑极限

情况,即高速作业时,处于外圆的种子为保证稳定性大多与圆周方向平行,此时种子可能出现转向横躺姿态,即沿着长度方向夹持,所以为了能够使所有种子都进入充种空间,选择伸缩行程大于种子的长度,即

$$s = l_{\max} + \Delta \tag{1}$$

式中 $l_{\max}$ ——种子的最大长度,按照前述实测数据,取 14.6 mm

Δ ——预留间隙,取 0.7 ~ 1.5 mm^[16]

将上述数据代入得 s 为 15.3 ~ 16.1 mm。

2.2.3 后壳体轨道的确定

后壳体轨道作为指夹器伸缩运动的主驱动部件,其结构参数的设计影响排种器的整个工作过程。考虑种子在指夹器作用过程中,只有在清种区和导种区需要稳定夹持种子,且这两个位置相邻,而其它位置必须有利于种子顺畅滑入和滑出,该指夹器采用常开结构,即在种盘转动过程,指夹器的动夹在后壳体轨道作用下始终处于打开状态,以便种子进入和滑出夹持位置;而在清种区和导种区为了保证夹持种子不被清出或掉落,且在清种区多余种子能被顺利清出,所以要求指夹器运动到该区时,其上的动夹能在弹簧作用下实现动夹向种盘的压紧作用。为此,在后壳体轨道依据种盘功能模块进行设计,能够控制指夹器伸缩打开和关闭轨道,其轨道深度为指夹器动夹的伸缩行程,继而确定轨道位置深度与指夹器相位角的对应关系,如图 5 所示。

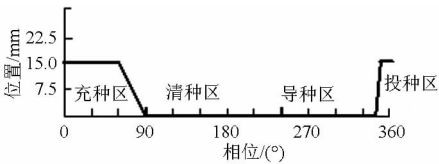


图 5 动夹位置与指夹器相位角的对应关系

Fig.5 Dynamic clamp location and finger clip phase angle corresponding relation

考虑指夹器冲击可能导致种子的损伤,所以充种区到清种区采用柔性过渡形式,如图 5 中 90°前部斜线部分;而在导种区到投种区,采用快速打开的形式,如图中 335°后的斜线过渡。

2.2.4 种子夹持方式及夹持力的确定

种子夹持方式对夹持的稳定性有很大的影响,传统的摆动夹持式排种器,其夹持方式为动夹平面以线接触方式夹持种子,所以作业过程会出现夹持不稳定、甚至种子滑落的问题,为此本伸缩式指夹器的动夹采用往复平动方式以面接触方式将种子压紧在运动的种盘上,且为保证种子夹持的稳定性,在种盘上配合夹持种子的位置设有微凹槽,如图 6 所示。

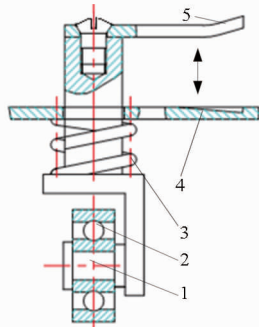


图 6 指夹器结构简图

Fig.6 Finger clip structure

1. 轴 2. 轴承 3. 弹簧 4. 种盘 5. 动夹

在作业过程中,当指夹器在充种结束后,其末端轴承进入后壳体下凹的轨道,指夹器动夹在弹簧作用下向下平动回缩,以夹持面将种子紧紧压在种盘的微凹槽上;当指夹器运动到投种区位置时,指夹器上的轴承从后壳体的轨道凹槽滑出,从而指夹器的动夹被顶起,被夹持的种子在重力和离心力作用下脱离夹持位置,并由投种口投出。

对排种器作业过程的种子受力情况进行分析可知,当种子运动到种盘最高位置时,其重力与离心力方向相反,此时需要较小的夹持力即可保证稳定夹持;而当种子运动到种盘最低位置时,其重力与离心力方向同向,此时需要的夹持力最大,所以只要在此位置种子不被甩出,则其它位置亦不会出现脱夹的问题。进一步,为了确保夹持种子的稳定性,必须确保种子与指夹器及种盘之间都不出现滑动,即种盘和指夹对种子产生的摩擦力都必须大于种子的离心力和重力之和。设种子受到离心力为 $m\omega^2 r$,种子重力为 mg ,指夹器动夹对种子的压力为 F ,种盘对其的支撑力为 N ,则夹指和种盘对其摩擦力为 fN ,种子在极限情况受力如图 7 所示,则由

$$\begin{cases} \sum X = 0 \\ \sum Y = 0 \end{cases} \tag{2}$$

有

$$\begin{cases} F = N \\ mg + m\omega^2 r = fN \end{cases} \tag{3}$$

即当指夹器夹持种子时,其压力为

$$F = \frac{mg + m\omega^2 r}{f} \tag{4}$$

式中 f ——夹指与种子之间的摩擦因数

由相关资料可知,玉米与钢板的摩擦因数为 0.36 ~ 0.49^[17]。

根据实测,鲁单 818 种子质量为 0.356 g/粒,种盘直径 240 mm,则夹持力为 0.27 ~ 0.37 N。

2.2.5 夹指结构尺寸的确定

虽然平面伸缩型动夹对种子有良好的夹持效

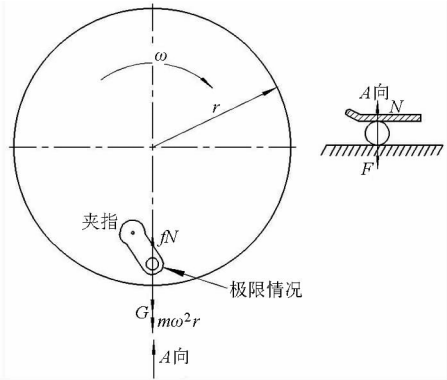


图 7 种子在运动平面受力分析示意图
Fig.7 Force analysis of corn seed on the moving plane

果,亦可以为充种创造较大的容种空间,但其前提是必须保证种子进入该充种空间。考虑本排种器同时适应高速和低速播种的要求,对于低速播种由于种盘转动速度较低,所以种子从径向和切向都可充种,即沿指夹器动夹的宽度和长度方向都可充种;而对于高速播种,由于种子在离心力作用下甩向周边,所以主要进行径向充种。为了保证种子能稳定滑向指夹器动夹的夹持位置,则将其端部结构设计为端部外折结构,如图 8 所示。



图 8 夹指形状
Fig.8 Shape of clip finger

显然,该外折角越大,容种量越大,但是过大后可能出现种子结拱,影响种子的充种效果;如果过小,降低了充种能力,所以该角度要小于种子与指夹器夹指的摩擦角。考虑作业过程充种区种子和种盘始终处于运动状态,所以本排种器采用外折角不大于最大摩擦角即可,依据上述分析和相关试验,最终确定为 24°。

动夹的宽度和长度,主要是依据前述玉米种子的外型结构结合机械可靠性设计方法进行确定,具体计算过程考虑该指夹器对玉米种子的适应性,选择较大外型尺寸的品种。如计算夹指长度时,选择鲁单 818,其长度的均值和方差为 $(12.09, 0.91^2)$,考虑农业机械采用常规加工方法,选取其加工尺寸的变异系数为 0.1,则依据种子尺寸和加工精度都符合正态分布,有

$$Z_R = \frac{\mu_l - \mu_s}{\sqrt{\sigma_l^2 + \sigma_s^2}} = \frac{\mu_l - 12.09}{\sqrt{0.91^2 + (0.1\mu_l)^2}} \quad (5)$$

取排种器的可靠度为 99%,则查取正态分布表,有 $Z_R = 2.33$ 。经计算可得: $\mu_l = 16.31$ mm。对其圆整后,取夹指长度为 16 mm。

同理可计算得指夹宽度为 7.05 mm,圆整后取 7 mm 即可。

2.2.6 充种挡板角度的确定

为了保证充种效果,在每个指夹器的迎种面一侧设有充种挡板,能使充种区甩向种盘周边的种子沿着该挡板下滑进入指夹器的夹持范围,提高充种效果和夹持的稳定性。

如前文所述,充种区的最后时刻为指夹器运动到图 9 的 A 点位置。为了保证位于充种挡板上方的种子在该位置能继续滑向指夹器的作用范围,则要求该挡板在该位置具有向下的角度,即 β 。显然,要保证种子能沿该挡板下滑,则该角度必须大于种子与种盘的磨擦角 $19^\circ \sim 26^\circ$;又考虑该挡板在整个充种区能阻挡种子,防止种子从指夹器作用区滑出,该角度也不宜过大,最终结合台架试验取该角度为 $\beta = 32^\circ$ 。

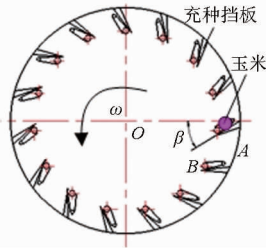


图 9 充种挡板角度的确定示意图
Fig.9 Determination of seed filling baffle angles

3 排种器试验设计与数据分析

本试验选择了对排种器工作性能影响较大的夹持力 N 、指夹器开启行程 s 和排种器转速 n 为试验参数,按照正交试验的方法进行试验,以寻求影响排种性能因素的主次关系,确定较优组合。其中夹持力由弹簧的弹力提供,本试验通过定制不同弹力的弹簧控制夹持力水平的变化。

3.1 试验条件和试验装置

试验时间:2015 年 4 月 15—20 日。试验地点:山东理工大学农业机械化及其自动化系排种器性能实验室。试验装置:JPS-12 型排种器性能检测试验台,黑龙江农业机械科学研究所研制,试验装置如图 10 所示。

试验对象:山东省推广应用较多的玉米品种



图 10 JPS-12 型排种器性能检测试验台
Fig.10 Performance test of JPS-12 seed metering device

“鲁单 818”,该品种主要参数为千粒质量为 356 g,几何尺寸为 12 mm×9 mm×5 mm,种子形状为半马齿形,种子容重为 716 g/L。

试验指标:按照 GB/T 6937—2005《单粒(精密)播种机试验方法》,包括株距合格率、漏播率和重播率。

3.2 试验方案与结果

为了验证上述理论分析的正确性,寻求较优的参数组合,对所选 3 个参数进行了三因素四水平的正交试验,即选用正交表 $L_{16}(4^3)$ 进行试验设计与分析^[18-20]。各因素的水平以满足精密播种的要求来安排,其因素与水平表如表 2 所示。试验结果如表 3 所示。

表 2 试验因素与水平

Tab.2 Experimental factors and levels

水平	夹持力	指夹器开启行程	排种器转速
	/N	/mm	/(r·min ⁻¹)
1	0.37	14	35
2	0.62	15	45
3	0.87	16	55
4	1.12	17	65

3.3 试验结果与分析

3.3.1 极差分析

夹持力、指夹器开启行程和排种器转速各水平对排种性能指标的影响如图 11 所示。

由图 11 可知,各考察因子的极差值越大,说明该因子对试验指标的影响越大。这样确定了株距合格率、漏播率和重播率影响因素的主次关系如表 4 所示。

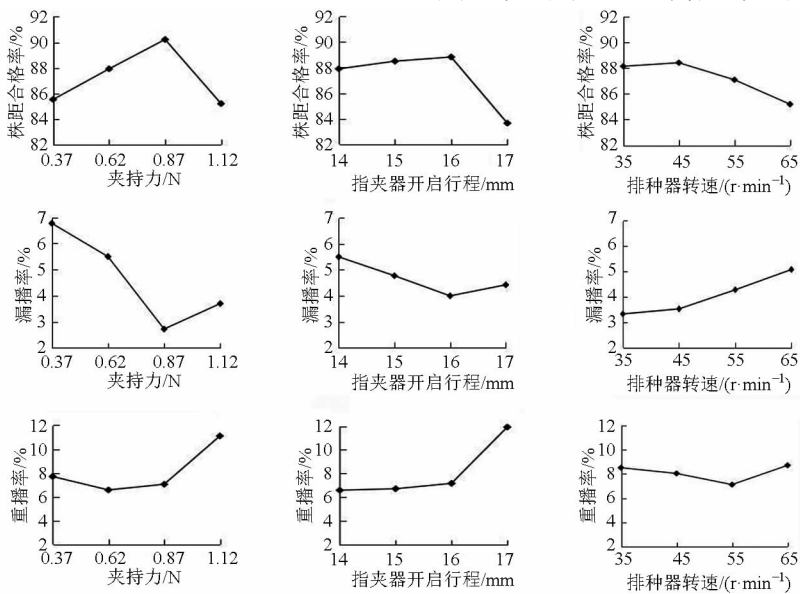


图 11 各指标对排种性能的影响

Fig.11 Effect of different levels on rowing performance

表 3 试验方案与结果

Tab.3 Test design scheme and results

序号	因素			排种性能指标		
	夹持力 A	指夹器 开启行 程 B	排种器 转速 C	株距 合格 率/%	漏播 率/%	重播 率/%
1	1	1	1	86.5	6.4	7.1
2	1	2	2	88.7	5.6	5.7
3	1	3	3	86.5	7.3	6.2
4	1	4	4	80.4	7.8	11.8
5	2	1	2	90.3	4.5	5.2
6	2	2	1	89.6	4.9	5.5
7	2	3	4	88.6	5.3	6.1
8	2	4	3	83.2	7.3	9.5
9	3	1	3	91.3	4.4	4.3
10	3	2	4	88.3	4.5	7.2
11	3	3	1	93.4	0.7	5.9
12	3	4	2	87.9	1.3	10.8
13	4	1	4	83.5	6.7	9.8
14	4	2	3	87.4	4.1	8.5
15	4	3	2	86.8	2.7	10.5
16	4	4	1	83.1	1.3	15.6

3.3.2 方差分析

综合极差分析与方差分析可知,夹持力、指夹器开启行程和排种器转速对排种器排种效果的影响是不同的,如表 5 所示。由方差分析结果可知:夹持力、指夹器开启行程、排种器转速对排种性能指标均有显著作用,表明所选 3 个参数正确,是影响该型排种器性能的主要因素。

在这 3 个参数中,夹持力对排种器性能的 3 个指标均有显著性影响。这是因为夹持力越大,种子被夹持的稳定性越好,夹持多粒种子的概率就越大,

表 4 试验指标分析
Tab.4 Analysis of test indexes

	株距合格率	漏播率	重播率
较优水平	$A_3、B_3、C_2$	$A_3、B_3、C_1$	$A_2、B_1、C_3$
主次因素	$B、A、C$	$A、C、B$	$B、A、C$
较优组合	$B_3A_3C_2$	$A_3C_1B_3$	$B_1A_2C_3$

表 5 排种器性能指标方差分析
Tab.5 Variance analysis of seeding performance

试验指标	方差来源	离差平方和	自由度	<i>F</i>	显著性
株距合格率	<i>A</i>	65.992	3	14.348	* *
	<i>B</i>	69.687	3	15.167	* *
	<i>C</i>	25.647	3	5.582	*
	误差列	9.190	6		
漏播率	<i>A</i>	39.375	3	14.583	* *
	<i>B</i>	4.835	3	1.791	
	<i>C</i>	25.260	3	9.356	*
	误差列	5.400	6		
重播率	<i>A</i>	50.352	3	37.660	* *
	<i>B</i>	78.507	3	58.719	* *
	<i>C</i>	6.097	3	4.560	
	误差列	2.670	6		
$F_{0.1}(3,6)=3.29$		$F_{0.05}(3,6)=4.76$	$F_{0.01}(3,6)=9.87$		

指夹器经过清种区时多余种子不容易被清除,导致重播的概率增加;夹持力过小,种子被夹持的稳定性差,在随排种盘运动过程中容易脱离指夹器,造成漏播的情况发生。显然,夹持力过大或过小都会降低排种的株距合格率。

指夹器开启行程对株距合格率和重播率具有显著影响,开启行程越大,充种空间增加,有利于充种性能的改善,但指夹器夹持多粒种子的概率增大,从而造成重播增加;开启行程减小,则充种空间变小,会增加玉米种子的充种难度,造成漏播率增加。因

此指夹器开启行程要适中,过大或过小都会影响排种器性能,造成株距合格率低的问题。

排种器转速对重播影响相对较小,但对株距合格率和漏播率具有显著性影响,且转速越大,排种器内的种子被搅动运动越剧烈,增加了夹持的难度;且夹持种子在离心力作用下越容易被甩出,从而导致漏播率有所增加。

通过极差和方差的试验数据分析,综合各试验因素对排种器性能指标的影响及其优化组合,按照以株距合格率较高、兼顾漏播率和重播率较低的原则^[21],确定 $A_3B_3C_2$ 的较优组合,即夹持力 0.87 N、指夹器开启行程 16 mm、排种器转速 45 r/min,在该条件下本排种器的株距合格率为 95.4%、漏播率为 1.9%、重播率为 2.7%,满足国家玉米精量播种的技术要求。

4 结论

- (1)提出了伸缩指夹式排种器主要结构和工作参数的研究方法,为该型排种器的改进设计提供了理论基础。
- (2)验证了该型排种器对种子外形结构、尺寸以及作业速度的良好适应性,为玉米高速播种提供了新的选择。
- (3)通过正交试验确定了影响排种性能的 3 个主次因素顺序为:夹持力、指夹器的开启行程和排种器转速;较优组合为夹持力 0.87 N、指夹器开启行程 16 mm、排种器转速 45 r/min。在该条件下排种器的株距合格率为 95.4%、漏播率为 1.9%、重播率为 2.7%。

参 考 文 献

1 KARAYEL D, BARUT Z B, OZMERZI A. Mathematical modeling of vacuum pressure on a precision seeder [J]. Biosystems Engineering, 2004, 87(4): 437-444.

2 SINGH R C, SINGH G, SARASWAT D C. Optimization of design and operational parameters of a pneumatic seed metering device for planting cottonseeds [J]. Biosystems Engineering, 2005, 92(4): 429-438.

3 曹文, 丁俊华, 李再臣. 机械式精密排种器的研究与设计 [J]. 农机化研究, 2009, 31(7): 142-145.

CAO Wen, DING Junhua, LI Zaichen. Research and design of mechanical precision metering [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(7): 142-145. (in Chinese)

4 史嵩, 张东兴, 杨丽, 等. 气压组合孔式玉米精量排种器设计与试验 [J]. 农业工程学报, 2014, 30(5): 10-18.

SHI Song, ZHANG Dongxing, YANG Li, et al. Design and experiment of pneumatic maize precision seed-metering device with combined holes [J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(5): 10-18. (in Chinese)

5 杨丽, 史嵩, 崔涛, 等. 气吸与机械辅助附种结合式玉米精量排种器 [J]. 农业机械学报, 2012, 43(增刊): 48-53.

YANG Li, SHI Song, CUI Tao, et al. Air-suction corn precision metering device with mechanical supporting plate to assist carrying seed [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(Supp.): 48-53. (in Chinese)

6 孙伟, 吴建民, 黄晓鹏, 等. 勺匙式玉米精量取种器的设计与试验 [J]. 农业工程学报, 2011, 27(10): 17-21.

SUN Wei, WU Jianmin, HUANG Xiaopeng, et al. Design and experiment of spoon-shape maize precision seedmeter [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(10): 17-21. (in Chinese)

7 廖庆喜, 高焕文. 玉米水平圆盘精密排种器排种性能试验研究 [J]. 农业工程学报, 2003, 19(1): 99-103.

- LIAO Qingxi,GAO Huanwen. Experimental study on performance of horizontal disc precision meter for corn seed [J]. Transactions of the CSAE,2003,19(1):99-103. (in Chinese)
- 8 李成华,马成林,于海业,等. 倾斜圆盘勺式玉米精密排种器的试验研究[J]. 农业机械学报,1999,30(2):38-42.
LI Chenghua,MA Chenglin,YU Haiye,et al. An experimental study on the precision metering device with declined scooptype disc for maize[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,1999,30(2):38-42. (in Chinese)
- 9 于建群,马成林,王立鼎. 组合内窝孔精密排种器充种过程分析[J]. 农业机械学报,2001,32(5):30-33.
YU Jianqun,MA Chenglin,WANG Liding. The development of the seed-metering device for precision planter and its theoretical study [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2001,32(5):30-33. (in Chinese)
- 10 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)
- 11 周祖良,钱简可. 指夹式玉米精密播种排种器[J]. 农业机械学报,1986,17(1):47-53.
ZHOU Zuliang,QIAN Jianke. The structure design of the picker finger seed metering units of precision corn seed drill[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,1986,17(1):47-53. (in Chinese)
- 12 付威,李树峰,孙嘉忆,等. 强制夹持式玉米精量排种器的设计[J]. 农业工程学报,2011,27(12):38-42.
FU Wei,LI Shufeng,SUN Jiayi,et al. Design of compulsory clamp-type precision seed-metering device for corn[J]. Transactions of the CSAE,2011,27(12):38-42. (in Chinese)
- 13 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]. 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]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2015,46(9):68-76. (in Chinese)
- 14 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 seeding-metering device based on EDEM[J]. Transactions of the CSAE,2015,31(21):43-50. (in Chinese)
- 15 佟超. 零速投种技术及理论设计[J]. 机械研究与应用,1995(1):16-18.
TONG Chao. Theoretical design of the zero super throwing [J]. Mechanical Research and Application,1995(1):16-18. (in Chinese)
- 16 李宝筏. 农业机械学[M]. 北京:中国农业出版社,2003.
- 17 颜辉. 组合内窝孔玉米精密排种器优化设计新方法研究[D]. 长春:吉林大学,2012.
YAN Hui. A new kind of method for the optimized design of combination inner-cell corn precision seed metering device [D]. Changchun: Jilin University,2012. (in Chinese)
- 18 蔡晓华,吴泽全,刘俊杰,等. 基于计算机视觉的排种粒距实时检测系统[J]. 农业机械学报,2005,36(8):41-44.
CAI Xiaohua,WU Zequan,LIU Junjie,et al. Grain distance real-time checking and measuring system based on computer vision [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2005,36(8):41-44. (in Chinese)
- 19 陈学庚,钟陆明. 气吸式排种器带式导种装置的设计与试验[J]. 农业工程学报,2012,28(22):8-15.
CHEN Xuegeng,ZHONG Luming. Design and test on belt-type seed delivery of air-suction metering device[J]. Transactions of the CSAE,2012,28(22):8-15. (in Chinese)
- 20 李云雁,胡穿荣. 试验设计与数据处理[M]. 北京:化学工业出版社,2008.
- 21 夏连明,王相友,耿端阳,等. 丸粒化玉米种子精密排种器[J]. 农业机械学报,2011,42(6):53-57.
XIA Lianming,WANG Xiangyou, GENG Duanyang,et al. Precision seed-metering device for pelleted corn seeds[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2011,42(6):53-57. (in Chinese)