

# 丸粒化玉米种子精密排种器\*

夏连明<sup>1,2</sup> 王相友<sup>2</sup> 耿端阳<sup>2</sup> 张庆峰<sup>2</sup>

(1. 东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030; 2. 山东理工大学农业工程与食品科学学院, 淄博 255000)

**【摘要】** 针对机械式精密排种器对种子尺寸要求严格、伤种率高的问题,在对种子丸粒化的基础上设计了一种丸粒化玉米种子精密排种器。通过改变排种盘的结构、参数和排种轴转速,运用丸粒化后尺寸近似服从正态分布  $N(13.9, 0.0566)$  的玉米种子,在排种试验台上进行排种性能试验。结果显示当排种轴转速为 14 r/min、型孔直径为 15 mm、排种盘的倾角为 23°时,排种单粒指数可达 98%,满足精密播种的精度和速度要求。

**关键词:** 精密排种器 玉米 丸粒化 性能试验

**中图分类号:** S223.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)06-0053-05

## Precision Seed-metering Device for Pelleted Corn Seeds

Xia Lianming<sup>1,2</sup> Wang Xiangyou<sup>2</sup> Geng Duanyang<sup>2</sup> Zhang Qingfeng<sup>2</sup>

(1. College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China

2. School of Agricultural and Food Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255000, China)

### Abstract

In order to solve the problem of mechanical precision metering, such as being strict with the size of seeds and high damage to seeds, a precision metering was designed based on the pelleted corn seeds. A single (precision) seeder experimental method, with the pelleted corn seeds whose size approximatively follow the normal distribution  $N(13.9, 0.0566)$ , comparative experiments of the metering performance were conducted by changing the structure parameters and rational speed of the moving plate. The results indicated that the single seed index was more than 98% when the rational speed of the moving plate was 14 r/min, the diameter of the cell was 15 mm and the oblique angle was 23°, so it proved that it had high sowing precision and speed.

**Key words** Precision seed-metering device, Corn, Pellete, Performance experiment

### 引言

玉米精密排种器按其工作原理可分为机械式和气力式两大类。气力式排种器对种子适应性强、损伤轻,但结构复杂、成本和技术要求高<sup>[1]</sup>。机械式精密排种器结构简单、制造容易、造价低廉,但目前国内常用的机械式精密排种器如水平圆盘排种器、倾斜圆盘勺式排种器以及组合内窝孔式排种器对种子尺寸要求严格,种箱内种子少时充种率低且清种过程中存在伤种现象<sup>[2~5]</sup>。究其原因是种子尺寸差别较大且种子在进入型孔时存在平躺、直立、侧卧 3 种状态<sup>[6~7]</sup>,显然以型孔原理控制单粒播种精度,

难度较大。为解决上述问题,在对玉米种子进行丸粒化的基础上,本文设计一种丸粒化玉米种子精密排种器,通过试验探讨排种盘的形状及结构参数对排种性能的影响,找出实现精密播种的最优组合。

### 1 排种器结构及工作原理

排种器的结构如图 1 所示,主要由种箱、副箱、动盘、定盘、清种器、投种器、主轴、锥齿轮等组成。动盘在排种轴带动下旋转时,种箱内的种子在重力和离心力的作用下流向排种盘周围,当充有种子的型孔转到旋转的清种毛刷位置时,便可将多余的种子刮去。当被清种器刮过仅剩一粒种子的型孔转到

收稿日期: 2010-12-08 修回日期: 2011-01-10

\* “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD11A17)

作者简介: 夏连明, 博士生, 山东理工大学讲师, 主要从事农业装备工程及农业机械设计研究, E-mail: xiawj655@163.com

通讯作者: 王相友, 教授, 博士生导师, 主要从事农产品贮藏及加工研究, E-mail: wxy@sdu.edu.cn

投种口位置时,在投种器作用下便可将种子投入导种管。

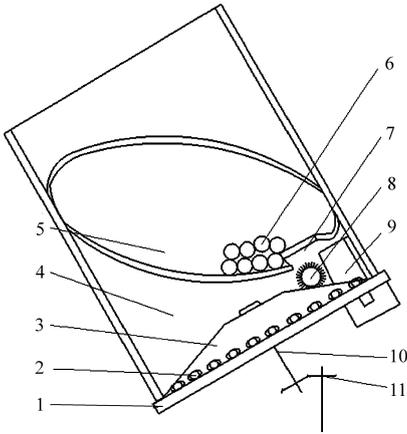


图1 排种器结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of precision metering device

1. 定盘 2. 型孔 3. 动盘 4. 种箱 5. 副箱 6. 种子 7. 入种口 8. 清种毛刷 9. 护种器 10. 主轴 11. 锥齿轮

在排种器投种过程中,为防止型孔堵塞,在护种器中增设投种器。为了使投种器顺利脱出型孔以及减小对种子的损伤,投种器的截面形状设计为半椭圆形,如图2所示。

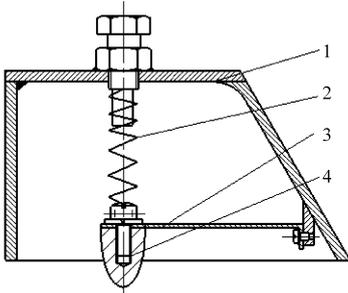


图2 投种器结构示意图

Fig.2 Schematic diagram of seed dropping device

1. 护种盒 2. 弹簧 3. 弹簧钢片 4. 投种器

排种动盘可分为充种区、清种区和投种区,充种行程较长,同时被清种器清出的多余种子会落入空的型孔中,存在两次充种的可能,如图3所示。

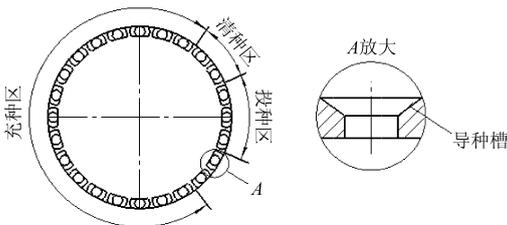


图3 动盘型孔结构示意图

Fig.3 Schematic diagram of moving disc hole

## 2 排种器动盘和型孔结构参数分析

### 2.1 排种盘倾角

为便于清种,使排种盘与水平面呈一定的夹角,

但倾角过大会造成种子在清种区域堆积造成伤种,倾角过小则影响充种效果。对位于种箱边缘的种子进行受力分析,如图4所示。

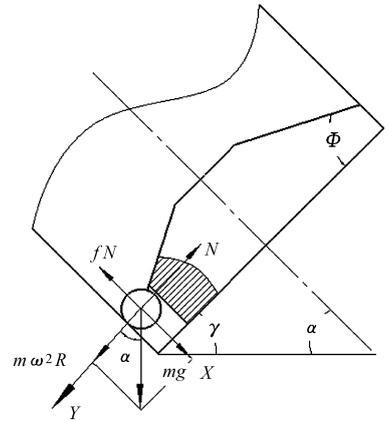


图4 种子受力分析图

Fig.4 Diagram of force analysis

考虑到种子充入型孔的极限情况,有

$$\begin{cases} N = m\omega^2 R + mg\cos\alpha \\ mgsin\alpha = fN \end{cases} \quad (1)$$

式中  $N$ ——种箱内壁对种子的支撑力

$\omega$ ——排种轴的角速度

$R$ ——排种盘型孔所在圆的半径

$\alpha$ ——排种轴与水平面夹角

$f$ ——种子与种箱间的摩擦因数

当播种速度为 5 ~ 8 km/h、株距为 20 ~ 30 cm 时,结合排种器的结构参数,以种子不飞越型孔为条件得出主轴的适宜转速  $\omega$  为 8 ~ 22 r/min。动盘型孔所在圆的半径  $R$  为 135 mm。种子与种箱的摩擦因数  $f$  由试验测定为 0.68。由式(1)计算得  $\alpha = 39.01^\circ$ 。考虑充种的具体情况,取  $\alpha = 60^\circ$ 。动盘与水平面之间的夹角  $\gamma$  为  $30^\circ$ 。

### 2.2 排种动盘

当种箱内种子较少或播种速度较低时种子不能及时被甩向圆盘周围,充种效果会下降。为了解决这一问题,动盘外形设计为圆台型。动盘的锥角  $\Phi$  应大于丸粒化种子的自然休止角  $\delta$ ,但锥角过大会造成种箱体积减小及型孔深度增加,加大清种难度。由试验测得,丸粒化玉米种子自然休止角  $\delta = 22.2^\circ$ ,所以  $\Phi$  取  $23^\circ \sim 40^\circ$ 。

### 2.3 型孔结构参数

#### 2.3.1 型孔直径

型孔直径过大会造成型孔间隔墙厚度减小使排种均匀性下降,直径过小会使种子直接飞越型孔而造成漏播<sup>[8-10]</sup>。型孔直径  $D_k$  取决于种子丸粒化后的直径  $d$ ,通过对丸粒化后的种子尺寸进行统计,得出其直径近似服从正态分布  $N(13.9, 0.0566)$ 。

根据 JB/T 10293—2001《单粒(精密)播种机技术条件》，要求整机的使用可靠度不低于 90%<sup>[11]</sup>，而整机的可靠度取决于充种、清种、护种和投种过程的可靠度<sup>[12]</sup>。假如充种的可靠度为 99.99%，则

$$z = \frac{D_k - d}{\sqrt{\sigma_k^2 + \sigma^2}} \quad (2)$$

式中  $\sigma$ ——种子直径的标准差，为 0.238

$\sigma_k$ ——型孔基本偏差的标准差，对直径为 10~18 mm 的型孔， $\sigma_k = 0.003$

由标准正态分布表，查得  $z = 3.05$ ，代入式(2)可得  $D_k = 14.62$  mm，因此取  $D_k = 15$  mm。为了验证充种效果， $D_k$ 可取 15~17 mm。

### 2.3.2 导种槽开槽角度

在型孔两侧开有导种槽不但有利于充种和清种，还可以减小清种器对种子的冲击。对位于型孔中的种子 2 进行受力分析，如图 5 所示。有

$$\begin{cases} F \cos \gamma + N_2 \sin(\beta + \gamma) = f_1 N_1 \sin(\beta + \gamma) + N_1 \cos(\beta + \gamma) + f_2 N_2 \cos(\beta + \gamma) \\ mg + F \sin \gamma + f_1 N_1 \cos(\beta + \gamma) = N_2 \cos(\beta + \gamma) + N_1 \sin(\beta + \gamma) + f_2 N_2 \sin(\beta + \gamma) \\ Fh = f_2 N_2 r + f_1 N_1 r \end{cases} \quad (3)$$

式中  $N_1$ ——种子 1 对种子 2 的力

$N_2$ ——导种槽斜面对种子 2 的力

$f_1$ ——种子之间的摩擦因数

$f_2$ ——种子与动盘间的摩擦因数

$\beta$ ——导种槽斜面与动盘底面的夹角

$F$ ——清种力  $r$ ——种子半径

$h$ ——清种力  $F$  与种子圆心垂直距离

考虑到种子被清出的极限情况以及尺寸关系，有

$$N_2 = 0 \quad (4)$$

$$h = 2r \sin \beta - r \quad (5)$$

由式(3)、(4)、(5)联立得

$$\begin{aligned} & (16f_1^2 + 16) \sin^4 \beta - (16f_1^2 + 16) \sin^3 \beta - \\ & (12f_1^2 + 4\sqrt{3}f_1 + 8) \sin^2 \beta + \\ & (10f_1^2 + 6\sqrt{3}f_1 + 12) \sin \beta + 2f_1^2 - 2\sqrt{3}f_1 - 3 = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

由试验测得  $f_1 = 0.65$ ，代入式(6)得  $\beta = 44.6^\circ$ ，取  $\beta = 45^\circ$ 。

## 3 排种性能试验

### 3.1 试验材料

试验所用玉米种子为农大 108、登海 1568、莘州 158，所用填充剂为膨润土(由临淄中宝化工厂提

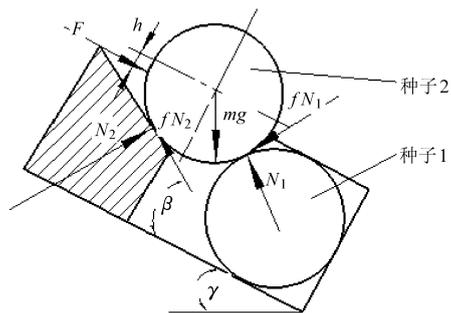


图 5 型孔结构及清种受力分析示意图

Fig. 5 Schematic diagram of cell structure and seed-deleting mechanism

供)、粘结剂(107 胶)、生物调节剂、药剂。种子消毒后放入丸粒化机，用粘结剂浸湿后加入药剂生物调节剂进行混合，然后不断地加入膨润土和粘结剂直到种子成规则的球形为止，最后用热风进行干燥处理<sup>[13]</sup>。对丸粒化后的种子初选后对其直径进行测量，种子直径范围为 13.3~14.4 mm，直径近似服从正态分布  $N(13.9, 0.0566)$ 。

### 3.2 试验方法

试验在黑龙江农业机械科学研究院研制的 JPS-12 型精密排种试验台上进行，按照国家标准 GB/T 6973—2005《单粒(精密)播种机试验方法》统计试验指标，即单粒指数  $S$ 、重播指数  $D$  及漏播指数  $M$ 。

### 3.3 试验方案

依据排种器的工作原理和种子的受力分析，影响该排种器工作性能的主要参数有主轴转速  $n$ 、型孔直径  $D_k$ 、动盘锥角  $\Phi$ 。为此，选取上述参数作为试验因素，各因素的水平以满足精密播种的要求来安排。根据因素与水平的个数并考虑因素间的交互作用，选择正交表  $L_{27}(3^3)$  安排试验<sup>[14-15]</sup>。试验因素及水平如表 1 所示。

表 1 因素水平

Tab. 1 Factors and levels

水平	因素		
	主轴转速 $A/r \cdot \min^{-1}$	型孔直径 $B/\text{mm}$	动盘锥角 $C/(\circ)$
1	14	15	23
2	17	16	30
3	20	17	37

### 3.4 试验结果分析

试验结果及方差分析如表 2 和表 3 所示。试验指标方差分析结果表明：主轴转速、型孔直径、动盘锥角以及主轴转速与动盘锥角的交互作用对于排种性能指标有显著作用，是影响排种性能的主要因素。

动盘锥角对排种性能起最显著的作用，锥角过大不但会使种箱体积减小，而且在排种盘直径一定

表2 试验方案及试验结果

Tab.2 Test scheme and experiment results

序号	因素						排种性能指标/%					
	A	B	A×B	C	A×C	B×C	S	M	D			
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	98.31	1.69	0
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	97.67	2.03	0.30
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	94.46	4.88	0.66
4	1	2	2	2	1	1	1	2	3	98.21	1.79	0
5	1	2	2	2	2	2	2	3	1	97.45	1.99	0.56
6	1	2	2	2	3	3	3	1	2	94.39	4.63	0.98
7	1	3	3	3	1	1	1	3	2	98.12	0.89	0.99
8	1	3	3	3	2	2	2	1	3	96.48	2.04	1.48
9	1	3	3	3	3	3	3	2	1	93.94	4.39	1.67
10	2	1	2	3	1	2	3	1	1	98.26	1.51	0.23
11	2	1	2	3	2	3	1	2	2	95.79	3.42	0.79
12	2	1	2	3	3	1	2	3	3	93.11	5.58	1.31
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	98.19	0.82	0.99
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	95.34	3.24	1.42
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	93.09	5.23	1.68
16	2	3	1	2	1	2	3	3	2	97.01	0.78	2.21
17	2	3	1	2	2	3	1	1	3	95.24	2.92	1.84
18	2	3	1	2	3	1	2	2	1	92.57	4.97	2.46
19	3	1	3	2	1	3	2	1	1	96.72	2.32	0.96
20	3	1	3	2	2	1	3	2	2	92.08	6.05	1.87
21	3	1	3	2	3	2	1	3	3	87.72	8.42	3.86
22	3	2	1	3	1	3	2	2	3	95.71	2.28	2.01
23	3	2	1	3	2	1	3	3	1	91.18	5.15	3.67
24	3	2	1	3	3	2	1	1	2	87.08	8.26	4.66
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	94.04	2.04	3.92
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	91.14	4.88	3.98
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	86.81	8.06	5.13

的情况下会使型孔深度增加从而加大清种难度,造成种子破损及重播。同时,锥角过大会使种子在种箱和动盘的边缘处架空造成漏播甚至卡死使种子破裂。

主轴转速也是影响排种性能的显著性因素,速度越大,被动盘带至清种区的种子越多,使得部分种子由于来不及被清出而被清种器和相邻的种子挤压而破损。同时,动盘的转速过大会使种子的充种速度大于极限速度,导致种子越过型孔而造成漏播。

型孔直径对排种性能也有一定的影响,在动盘锥角固定的情况下,直径增大会使型孔的体积增大而造成重播。

表3 试验指标方差分析结果

Tab.3 Results of variance analysis

试验指标	方差来源	均方和	F比	显著性
单粒指数	A	66.302 5	396.072	**
	B	2.168 5	12.954	**
	A×B	0.194 5	1.162	
	C	73.841 5	441.108	**
	A×C	4.145 5	24.764	**
	B×C	0.134 5	0.803	
	误差列	0.167 4		
漏播指数	A	16.903	218.734	**
	B	0.675	8.721	**
	A×B	0.026 5	0.342	
	C	45.354 5	585.975	**
	A×C	1.981	25.594	**
	B×C	0.011 5	0.149	
	误差列	0.077 4		
重播指数	A	16.324	192.273	**
	B	5.241	61.731	**
	A×B	0.279	3.286	
	C	3.456	40.707	**
	A×C	0.612	7.208	**
	B×C	0.211 5	2.491	
	误差列	0.084 9		
$F_{0.10}(2,8) = 3.11$ $F_{0.05}(2,8) = 4.46$ $F_{0.01}(2,8) = 8.649$				
$F_{0.10}(4,8) = 2.81$ $F_{0.05}(4,8) = 3.84$ $F_{0.01}(4,8) = 7.006$				

综合试验因素对排种性能指标的影响及其优化组合,按照以单粒指数较高、兼顾漏播指数和重播指数较低的原则,确定  $A_1B_1C_1$  为试验因素的最优组合,即主轴转速为 14 r/min、型孔直径为 15 mm、动盘锥角为  $23^\circ$ ,在此条件下单粒指数  $S = 98.31\%$ 、漏播指数  $M = 1.69\%$ 、重播指数  $D = 0$ ,对于 26 型孔动盘,按株距 30 cm 计算排种播种速度可达 6.4 km/h,可满足精密播种的速度和精度要求。

## 4 结论

(1) 丸粒化玉米种子流动性好、外形一致,在该排种器上很好地实现了单粒播种。

(2) 圆台型动盘确保种子在型孔周围流动,解决了播种速度较低或种子数量减少时充种不足问题。

(3) 排种性能试验结果表明:其单粒播种指数可达 98.31%,播种速度达 6.4 km/h,能够满足精密播种的精度和速度要求。

## 参 考 文 献

- 1 曹文,丁俊华,李在臣. 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)
- 2 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 Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(1):99~103. (in Chinese)
- 3 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 scoop-type disc for maize[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1999, 30(2):38~42. (in Chinese)
- 4 于建群,马成林,王立鼎. 组合内窝孔精量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)
- 5 李成华,夏建满,何波. 倾斜圆盘勺式排种器投种过程分析[J]. 农业机械学报,2005, 36(3):48~50.  
Li Chenghua, Xia Jianman, He Bo. Analysis of seed throwing procedure by declined scope metering device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005,36(3):48~50. (in Chinese)
- 6 张波屏. 播种机械设计原理[M]. 北京:农业出版社,1985.
- 7 张德文,李林,王惠民. 精密播种机械[M]. 北京:农业出版社,1982.
- 8 廖庆喜,高焕文,臧英. 玉米水平圆盘排种器型孔的研究[J]. 农业工程学报,2003,19(2):109~113.  
Liao Qingxi, Gao Huanwen, Zang Ying. Experimental study on the cell of the horizontal plate precision meter for corn seed[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(2):109~113. (in Chinese)
- 9 Singh R C, Singh G, Saraswat D C. Optimization of design and operational parameters of a pneumatic seed metering device for planting cotton seeds[J]. Biosystems Engineering, 2005, 92(4):429~438.
- 10 于建群,马成林,杨海宽,等. 组合内窝孔玉米精密排种器型孔的研究[J]. 吉林大学学报:工学版,2000, 30(1):16~20.  
Yu Jianqun, Ma Chenglin, Yang Haikuan, et al. Study on the combination inner-cell corn precision seed-metering device[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2000, 30(1):16~20. (in Chinese)
- 11 JB/T10293—2001 单粒(精密)播种机 技术条件[S].
- 12 廖庆喜,舒彩霞. 水平圆盘排种系统可靠性预测与评估方法[J]. 农机化研究, 2003,25(7):73~74.  
Liao Qingxi, Shu Caixia. Research on method of reliability's prediction and evaluation for horizontal disc metering system[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2003,25(7):73~74. (in Chinese)
- 13 张彦才,刘明分,李若楠. 种子丸粒化技术及其研究进展[J]. 作物研究,2007(3):173~175.
- 14 任露泉. 试验优化设计与分析[M]. 北京:高等教育出版社,2003.
- 15 胡建平,郑赛男,刘文东. 磁吸滚筒式精密排种器设计与试验[J]. 农业机械学报,2009, 40(3):60~63.  
Hu Jianping, Zheng Sainan, Liu Wendong. Design and experiment of precision magnetic cylinder-seeder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(3):60~63. (in Chinese)