

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.S0.007

# 离心式油菜精量排种器型孔结构设计与试验\*

曹秀英<sup>1</sup> 廖庆喜<sup>1</sup> 丛锦玲<sup>1,2</sup> 廖宜涛<sup>1</sup>

(1. 华中农业大学工学院, 武汉 430070; 2. 石河子大学机械电气工程学院, 石河子 832003)

**摘要:** 针对传统机械离心式油菜排种器型孔易出现堵塞导致后续断条的问题,进行了离心式油菜精量排种器型孔结构的研究,分析了型孔囊取1、2、3粒油菜种子的临界直径;结合 EDEM 种子运动轨迹的仿真分析得到了型孔囊取1、2、3粒种子的临界值分别为2.6、3.5、3.8 mm;同时试验研究了型孔直径、转速与排种性能关系,进行了型孔堵塞统计试验。结果表明:改进后型孔直径取3.8 mm时,其总排量稳定性变异系数不大于14.8%,各行排量一致性变异系数不大于16.4%,型孔无堵塞现象。

**关键词:** 离心式排种器 油菜 型孔堵塞 型孔结构

**中图分类号:** S223.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)S0-0040-07

## 引言

国内外众多学者进行了集排器的相关研究工作<sup>[1-7]</sup>。研究表明传统机械式排种器适应于大中粒径种子,油菜等小粒径种子的精量集排多采用气力式排种器。这是由于油菜种子粒径小、质量轻、易破损等特殊物料特性,不适应于传统的机械式精量排种。

离心式排种器是一种应用较早的机械式集排器<sup>[8-16]</sup>,具有作业效率高,成本低、种子破损率较低等优点。工作时,排种盘以一定的转速旋转,排种盘中的种子在惯性离心力、种群作用力、重力等共同作用下被型孔囊入,经导种管排出。型孔是排种器的重要结构,国内外多学者针对型孔结构及试验开展了广泛研究<sup>[17-21]</sup>。若型孔设计与种子尺寸不适应时,种子在型孔通道内会产生相互挤压,当型孔不能同时容纳多粒种子通过时,型孔被堵塞。由于离心式排种器型孔与播种行数一一对应,一旦发生型孔堵塞,则会造成漏播与断条,严重影响离心式排种器的排种性能,增加后续补苗所需的人工、工时和种植成本,制约了离心式排种器的推广应用。

本文针对型孔堵塞问题,分析离心式排种器型孔堵塞影响要素,改进型孔结构,利用 EDEM 软件进行不同型孔直径下的种子运动仿真研究,确定型孔临界直径,并进行相关试验研究,得到排种型孔的

最佳直径。

## 1 排种器工作原理

离心式油菜排种器主要由种箱、盖板、排种盘、型孔、导种管、驱动轴、外锥筒等组成,结构示意图如图1所示。

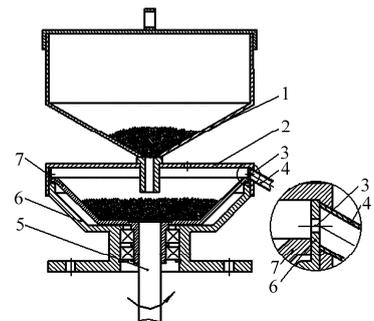


图1 离心式排种器结构示意图

Fig.1 Structure diagram of centrifugal metering device

1. 种箱 2. 盖板 3. 型孔 4. 导种管 5. 驱动轴 6. 外锥筒  
7. 排种盘

工作时,种子在重力作用下,由种箱经进种口均匀地流入排种盘内充种区,排种盘在驱动轴的作用下带动盘内充种区种子转动,种子在惯性离心力的作用下,沿排种盘内壁螺旋上升至盖板高度,形成规则种子旋转流动层,当流动层外缘种子与锥筒内壁型孔相遇时,种子由型孔囊入并投出,进入导种管,完成排种。

收稿日期: 2014-06-28 修回日期: 2014-08-22

\* 国家自然科学基金资助项目(51275197)、“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2013BAD08B02)、国家油菜产业技术体系专项资助项目(CARS-13)、中央高校基本科研业务费资助项目(2014PY033)和武汉市高新技术产业科技创新团队资助项目(2014070504020240)

作者简介: 曹秀英, 博士生, 主要从事现代农业装备设计与测控研究, E-mail: caoxy\_hb@163.com

通讯作者: 廖庆喜, 教授, 博士生导师, 主要从事油菜机械化生产技术与装备研究, E-mail: liaoqx@mail.hzau.edu.cn

## 2 型孔堵塞形式与影响要素分析

### 2.1 型孔堵塞形式

实际生产中,离心式油菜排种器存在型孔堵塞问题,前期型孔直径为 3.2 mm<sup>[15]</sup>,型孔堵塞形式主要是 2 粒或 3 粒种子同时被堵塞在型孔通道内,如图 2 所示,多数以图 2a 情况出现。

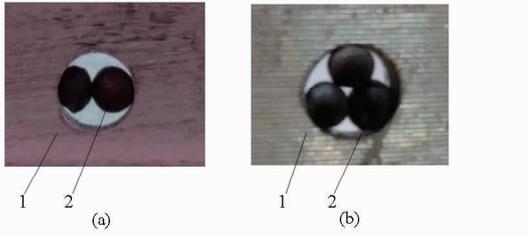


图 2 型孔堵塞形式

Fig. 2 Form of blocked hole

(a) 2 粒种子堵塞型孔 (b) 3 粒种子堵塞型孔  
1. 外锥筒 2. 油菜籽

### 2.2 型孔堵塞影响要素分析

#### 2.2.1 种子几何尺寸

种子几何尺寸是确定排种器型孔结构尺寸的重要依据,是引起离心式排种器型孔堵塞的重要影响因素。本试验选取了长江流域地区具有代表性的华油杂 62、华油杂 12、中油杂 7819、华双 4 号 4 个油菜品种作为试验对象,测定其 3 轴尺寸,其  $L$ (长)、 $W$ (宽)、 $H$ (高)的概率密度分布如图 3 所示。

由图 3 可知,4 个油菜品种的 3 轴尺寸集中分布在 1.4~2.5 mm 范围内,其中华油杂 62 的  $L$ 、 $W$ 、 $H$  均值大于其他 3 个品种;中油杂 7819 的  $L$ 、 $W$ 、 $H$

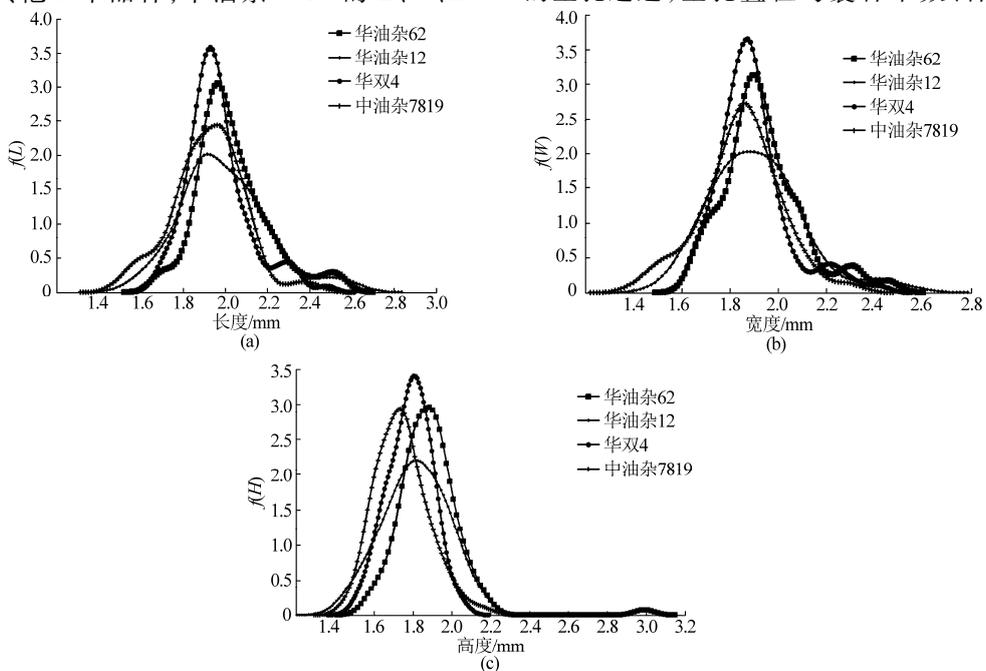


图 3 种子 3 轴尺寸概率密度分布

Fig. 3 Probability density distribution of geometrical size of seeds

均值较小;华双 4 号  $L$ 、 $W$ 、 $H$  的标准差较小,种子尺寸分布较为集中;华油杂 12 种子  $L$ 、 $W$ 、 $H$  的标准差较大,种子尺寸分布较为分散。

#### 2.2.2 型孔与种子作用关系

种子进入型孔时,有平躺、侧卧、竖立 3 种姿态。其进入姿态与概率呈正比。设  $\lambda_1 = L/W$ ,  $\lambda_2 = L/H$ , 其平躺、侧卧、竖立进入型孔的概率分别为  $P_p = \lambda_2 / (\lambda_1 + \lambda_2 + 1)$ ,  $P_s = 1 / (\lambda_1 + \lambda_2 + 1)$ ,  $P_w = \lambda_1 / (\lambda_1 + \lambda_2 + 1)$ 。以华油杂 62 为例,由前述所测参数可知平躺、侧卧、竖立的概率分别为 0.36、0.31、0.33,3 种状态的概率较接近,则可认为种子为类球形。设  $D'$  为种子当量直径,当型孔囊取 2 粒种子时,由前述所测参数,计算其当量直径为  $(1.94 + 0.159) \text{ mm}$ <sup>[22]</sup>,  $P(1.55 \leq D' \leq 1.65 \text{ mm})$  为 0.03,  $P(1.75 \leq D' \leq 1.85 \text{ mm})$  为 0.3,则此尺寸段内的种子同时经过型孔的概率为 0.009。由于型孔通道长度大于种子长轴长,当种子完全进入型孔时,种群作用力消失,而型孔直径不能同时容纳上述尺寸段内的 2 粒种子,完全进入通道内的种子将受型孔内壁与后续种子的压缩作用力,因油菜弹性模量仅为 10.52 MPa<sup>[23]</sup>,且表皮较薄,一旦受力大于其弹性变形范围,则引起种子堵塞或破皮。3 粒种子发生堵塞情况与上述相同。

## 3 型孔结构设计

由上述分析可知,引起型孔堵塞的要素为较长的型孔通道,型孔直径与囊种个数、种子直径不匹

配。有效解决型孔堵塞的途径有:①可将型孔两侧倒角,改进后的囊种、投种集成型孔结构如图4所示。②可增大型孔直径,减少种子在排出过程中与内壁的接触与挤压变形。考虑种子在型孔内不发生破损,采用图4a结构形式。

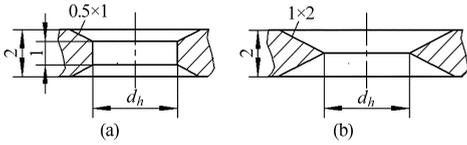


图4 型孔结构形式

Fig. 4 Structure of hole

型孔直径的选取取决于型孔囊入种子的临界运动过程。设定种子进入型孔后(忽略外部种群对进入型孔内种子的作用力)种子与型孔壁处于临界接触状态,型孔壁对种子的作用力可忽略不计,种子仅受重力作用,则型孔内的种子运动可视为平抛运动,如图5所示。

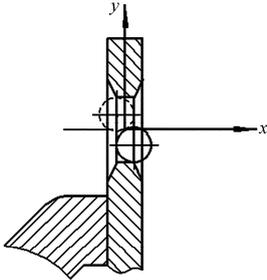


图5 种子临界运动状态

Fig. 5 Critical motion state of seeds

$$\begin{cases} S_x = vt \\ S_y = \frac{1}{2}gt^2 = d_h - d_s \\ v = \omega R \end{cases} \quad (1)$$

其中

$$\omega = \frac{n\pi}{30}$$

式中  $S_x$ ——种子在  $x$  轴方向位移, m

$S_y$ ——种子在  $y$  轴方向位移, m

$v$ ——种子在水平方向初速度, m/s

$d_h$ ——型孔临界直径, m

$d_s$ ——同时通过型孔的种子群直径, m

$t$ ——种子通过型孔所需要的时间, s

$\omega$ ——排种盘角速度, rad/s

$n$ ——排种盘转速, r/min

$g$ ——重力加速度, m/s<sup>2</sup>

$R$ ——外锥筒内壁上沿直径, m

联立方程,得

$$d_h = d_s + \frac{g}{2} \left( \frac{30S_x}{n\pi R} \right)^2 \quad (4)$$

由式(4)可知,型孔临界直径与种子直径、型孔

通道长度、排种器转速以及外锥筒上沿内壁直径有关,转速越大,则型孔临界直径越小。为保证排种器在转速范围内均能排种,转速取 160 r/min,锥筒上沿直径为 90 mm。试验选取具有代表性的华油杂 62 为研究对象。当只有 1 粒种子通过型孔,  $d_s$  取 1 粒种子直径,  $d_{h1}$  为 1.94 mm; 当同时有 2 粒种子通过型孔时,取  $d_s$  为 2 粒种子的外接圆直径,其当量直径为 2 倍种子直径,  $d_{h2}$  为 3.88 mm; 当同时有 3 粒种子通过型孔时,取  $d_s$  为 3 粒种子的外接圆直径,其当量直径为 2.15 倍种子直径,  $d_{h3}$  为 4.17 mm。在实际工作过程中,由于种子之间的相互作用力,型孔实际的临界直径比理论值略小。

## 4 排种过程的 EDEM 仿真

为得到不同囊种个数下的临界型孔直径,运用 EDEM 对种子的运动轨迹进行仿真,得到了型孔不同直径下囊种个数的频数,并验证其临界直径。

### 4.1 模型建立

由前述所测参数可得,油菜形状为类球形,其表面光滑、流动性好,材料属性为各向同性,籽粒与籽粒、籽粒与边界的接触模型采用 Hert 接触模型,籽粒的仿真模型建立采用硬球模型。由上述对种子几何尺寸测定结果,选用平均直径最大的华油杂 62 为仿真对象,其直径服从正态分布。

仿真中,设置油菜泊松比为 0.25,剪切模量为  $1.1 \times 10^7$  Pa,密度为  $680 \text{ kg/m}^3$ ,籽粒与籽粒以及籽粒与排种器的恢复系数、静摩擦因数、动摩擦因数分别为 0.6、0.5、0.01、0.6、0.3、0.01<sup>[24]</sup>。

### 4.2 EDEM 仿真种子运动轨迹

运用 EDEM 研究种子的运动过程,设定排种器转速为 160 r/min、型孔直径为 3.8 mm。从排出的籽粒中任选 1 粒,编号为 3086,其运动轨迹如图 6 所示。

由图 6 可知:充种阶段,籽粒在重力作用下由种箱下降至排种盘底部;1 s 后,排种盘以 160 r/min 的转速作匀速圆周运动,随着排种盘的转动,籽粒螺旋上升至盖板控制高度,在锥筒上沿旋转 3 周后,逐渐靠近外锥筒内壁,当其经过型孔时,在惯性离心力、种群作用力等的共同作用下被型孔囊入并进入导种管。

### 4.3 不同型孔直径下囊种频数的 EDEM 仿真

运用 EDEM 对型孔分别囊取 1、2、3 粒种子并顺利由型孔排出的临界值进行验证。设定排种盘转速为 160 r/min,添加籽粒数量为 30 000 粒,运动时间为 10 s(前 1 s 为充种时间,1 s 后排种盘开始旋转),模拟型孔直径分别为 2.6、2.9、3.2、3.5、3.8、4.1 mm

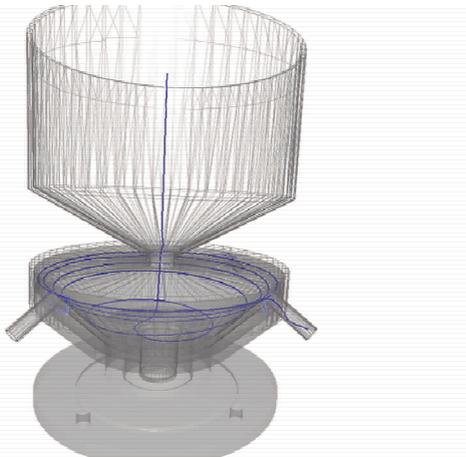


图6 籽粒 3086 运动轨迹

Fig. 6 Trajectory of seed No. 3086

情况下籽粒的运动情况,提取型孔囊取 1、2、3 粒种子的时间点与籽粒编号,运用 VC++ 语言对囊取时间点与籽粒编号进行编程,得到不同型孔直径下,型孔囊取 1、2、3 粒种子的频数。

由表 1 可知,排种器型孔直径为 2.6 mm 时,只发生囊取 1 粒种子的情况;随着型孔直径的增大,型孔囊取种子数与频数均升高,当型孔直径为 3.8 mm 时,囊取 1 粒种子的频数达到最大,后随着型孔直径的增大而降低,囊取 2 粒、3 粒种子的频数逐渐升高。当直径为 3.2 mm 时,囊取 2 粒种子的频数增大,并开始出现囊取 3 粒种子的情况,此为较小尺寸的种子同时被囊取的情况。当直径为 3.5 mm 时,其囊取 2 粒种子的频数明显增大,则可判定型孔囊取 2 粒种子的临界直径为 3.5 mm;当直径为 3.8 mm 时,型孔囊取 1 粒种子达到最大值,囊取 2、3 粒种子频数明显增大,则较大一部分种子可同时 3 粒通过型孔,可判定型孔囊取 3 粒种子的临界型孔直径为 3.8 mm。当型孔直径增大至 4.1 mm 时,其囊取 4 粒种子的频数呈明显上升趋势。当发生 4 粒或大于 4 粒种子同时囊入型孔时,种子在该状态下具有结构的不稳定性,排种过程中不会出现 4 粒及大于 4 粒种子堵塞型孔的现象。

表 1 型孔囊种频数

Tab. 1 Frequency of number of seeds taken by hole

囊种个数	型孔直径/mm					
	2.6	2.9	3.2	3.5	3.8	4.1
1	55	106	265	300	328	291
2	0	8	65	114	175	216
3	0	0	4	24	70	99
4	0	0	0	0	10	30

由以上分析可知,型孔囊取 1 粒种子的临界直径为 2.6 mm,囊取 2 粒种子的临界直径为 3.5 mm,囊取 3 粒种子的临界直径为 3.8 mm,与上述理论分

析比较接近。

## 5 排种性能试验

### 5.1 试验材料与方法

将离心式排种器固定在机架上,驱动轴动力由直流电动机提供。试验材料选取具有代表性的华油杂 62 为研究对象,所用参数如前所述,试验方法参照文献[15]。

### 5.2 试验设计

为确定离心式排种器不同型孔直径、转速与排种性能之间的关系模型,寻求实际工作中最佳型孔直径,开展排种器型孔直径、转速的全因子试验,表 2 为试验因素水平表,每个处理重复 3 次。

表 2 因素水平

Tab. 2 Factor levels

水平	因素	
	型孔直径/mm	转速/(r·min <sup>-1</sup> )
1	3.2	130
2	3.5	140
3	3.8	150
4	4.1	160
5		170
6		180
7		190
8		200

为验证型孔堵塞情况,对改进前后型孔开展了堵塞次数统计对比试验。排种器转速设定为 160 r/min,型孔直径在 3.2 ~ 4.1 mm 范围内,每隔 0.3 mm 取一个水平,型孔数为 3。统计排种器运行 3 min 型孔堵塞情况,每个处理统计 100 次。

### 5.3 试验结果与分析

#### 5.3.1 排种性能试验结果分析

图 7 ~ 9 为不同型孔直径与排种盘转速对排种性能的影响。

由图 7 可知,随着排种盘转速与型孔直径的增大,排种量呈上升趋势。在一定型孔直径下,当转速在 130 ~ 160 r/min 范围内时,排种量随转速的增加上升较快,转速达到 180 r/min 后,排种量增长逐渐趋于平缓。同时型孔直径越大,排种量趋于平缓时的排种盘转速越大。

由图 8 ~ 9 可知,随着型孔直径的增大,其各行排量一致性与总排量稳定性变异系数相应降低。当转速在 130 ~ 150 r/min 范围内时,排种盘内的种子未完全上升至盖板高度,种子进入型孔概率较小,排种量较低,各行排量一致性与总排量稳定性变异系数较大;当转速在 160 ~ 200 r/min 范围内时,排种盘

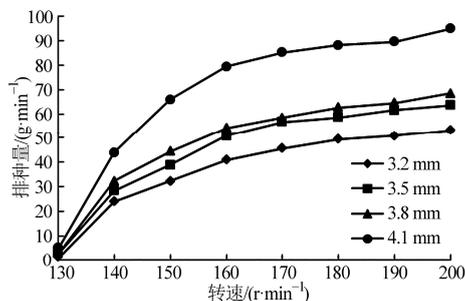


图7 型孔直径、转速与排种量关系曲线

Fig. 7 Relationship of hole diameter, rotation speed and seeding quantity

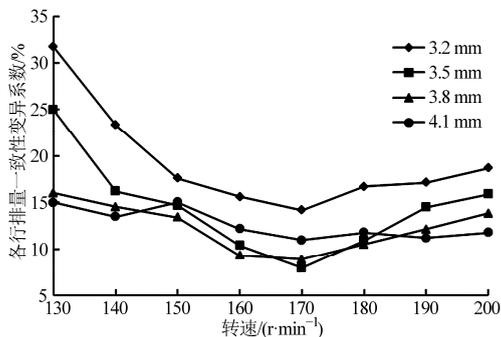


图8 型孔直径、转速对各行排量变异系数的影响

Fig. 8 Impact of hole diameter and rotation speed on variation coefficient of spacing row consistency

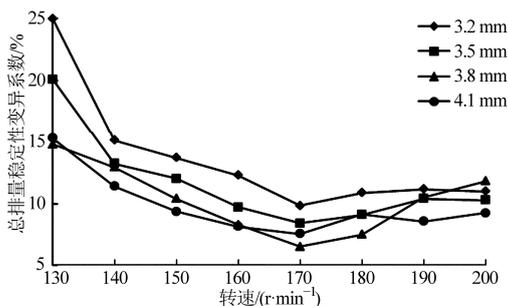


图9 型孔直径、转速对总排量变异系数的影响

Fig. 9 Impact of hole diameter and rotation speed on variation coefficient of stability of full seeding quantity

内种子均上升至盖板高度,排种的各行排量一致性与总排量稳定性变异系数较低,排种较为稳定。

试验中,当型孔直径为 3.8 mm 时,其总排量范围为 3 ~ 72 g/min,各行排量一致性变异系数不大于 16.4%,总排量稳定性变异系数不大于 14.8%。

### 5.3.2 型孔堵塞统计试验

统计分析型孔堵塞次数结果如表 3 所示。由表 3 可知,改进后型孔堵塞的概率明显下降,当型孔直径大于 3.5 mm 时,未发现型孔堵塞。结合机组前进速度,型孔直径为 4.1 mm 时,其排种量大于油菜种植农艺要求。根据油菜种植农艺要求,通过调节排种器转速与机组前进速度可适应油菜的高速播种作业。

为明确排种器的排种均匀性,在 JPS-12 型排

种器试验台架上进行了排种均匀性试验。以型孔直径为 3.8 mm,种床带前进速度为 3 km/h,随机在种床带上选取 50 段,测量单位长度(1 m)内的种子粒数并记录。设定油菜种植农艺要求株距为 50 mm,则单位长度种子数应为 20 粒,规定单位长度种子数为  $(20 \pm 5)$  粒时,符合测试指标。台架试验结果表明,该排种器单行播种均匀性变异系数为 18.2%,符合油菜种植农艺要求。

表 3 型孔堵塞次数统计

Tab. 3 Statistic of hole blocked times

型孔直径/mm	型孔形式	
	直孔	双侧倒角
3.2	4	1
3.5	3	1
3.8	1	0
4.1	0	0

### 5.4 田间试验

2013 年 10 月,在华中农业大学现代农业科技园的试验基地进行了排种器田间试验,如图 10 所示。图 11 为播种 50 d 后出苗效果,田间无断条现象。在田间随机选取 10 段,以 1 m 为测量单位,经测量田间平均株距为 58 mm,株距均匀性变异系数为 41.3%。



图 10 田间播种试验

Fig. 10 Field-seeding test



图 11 播后 50 d 田间出苗

Fig. 11 Emergence of seedling after fifty days of seeding

## 6 结论

(1) 分析了离心式排种器型孔堵塞影响要素,进行了排种器型孔结构改进设计,建立了型孔临界

直径与种子几何尺寸、排种器结构参数之间的关系模型,理论分析了型孔分别囊取1、2、3粒种子的临界直径。

(2) 结合 EDEM 对种子的运动轨迹的仿真分析得出型孔囊取1、2、3粒种子的临界直径,分别为2.6、3.5、3.8 mm。

(3) 试验表明:随着型孔直径的增大,其排种量

相应增大,各行排量一致性与总排量稳定性相应提高。型孔直径取3.8 mm时,排种器各行排量一致性变异系数不大于16.4%,总排量稳定性变异系数不大于14.8%,型孔堵塞统计试验表明型孔无堵塞,田间试验过程中未发生型孔堵塞与断条现象,有效解决了离心式排种器型孔堵塞问题,并提高了排种总排量稳定性与各行排量一致性。

#### 参 考 文 献

- Hassan A E. Precision drum seeder for uniform spacing [J]. Transactions of the ASAE,1981,24(4):879-883.
- Raheman H, Singh U. A manual drawn multi-crop drum seeder for dry land[J]. Journal-AG,2004,85:58-63.
- Prasanna G V, Kumar, Brijesh Srivastava, et al. Modeling and optimization of parameters of flow rate of paddy rice grains through the horizontal rotating cylindrical drum of drum seeder [J]. Computers and Electronics in Agriculture,2009,65(1):26-35.
- 李明,刘晓辉,廖宜涛,等. 气力滚筒式油菜精量集排器[J]. 农业机械学报,2013,44(12):68-73.  
Li Ming, Liu Xiaohui, Liao Yitao, et al. Pneumatic cylinder-type centralized precision metering device for rapeseed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2013,44(12):68-73. (in Chinese)
- 赵晓顺,于华丽,张晋国,等. 槽缝气吸式小麦精量排种器[J]. 农业机械学报,2013,44(2):48-51.  
Zhao Xiaoshun, Yu Huali, Zhang Jinguo, et al. Slot-type pneumatic precise wheat seed-metering device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2013,44(2):48-51. (in Chinese)
- 祁兵,张东兴,崔涛. 中央集排气送式玉米精量排种器设计与试验[J]. 农业工程学报,2013,29(18):8-15.  
Qi Bing, Zhang Dongxing, Cui Tao. Design and experiment of centralized pneumatic seed metering device for maize [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(18): 8-15. (in Chinese)
- 曹成茂,王安民,秦宽,等. 一器多行环槽推送式排种器的设计与试验[J]. 农业机械学报,2014,45(4):128-134.  
Cao Chengmao, Wang Anmin, Qin Kuan, et al. Design and experiment of multi-line metering device with ring groove push movement[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2014,45(4):128-134. (in Chinese)
- 李飞雄. 对离心式排种器设计参数的探讨[J]. 农业机械学报,1964,7(1):38-48.  
Li Feixiong. An investigation on the design parameters of the centrifugal seed feeding apparatus [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,1964,7(1):38-48. (in Chinese)
- 张波屏. 播种机械设计原理[M]. 北京:机械工业出版社,1982.
- 翁卫国,李建庄. 离心排种器试验研究[J]. 农业机械学报,1991,22(2):28-34.  
Weng Weiguo, Li Jianzhuang. Study on centrifugal seed feeder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1991,22(2):28-34. (in Chinese)
- Cunningham F M, Chao E Y S. Design relationships for centrifugal fertilizer distributors[J]. Transactions of the ASAE, 1967, 10(1):91-95.
- Patterson D E, Reece A R. The theory of centrifugal distributor. I: motion on the disc, near-centre feed [J]. Journal of Agricultural Engineering Research,1962,7(3):232-240.
- Inns F M, Reece A R. The theory of the centrifugal distributor. II: motion on the disc, off-centre feed [J]. Journal of Agricultural Engineering Research,1962,7(4):345-353.
- Mennel R M, Reece A R. The theory of the centrifugal distributor. III: particle trajectories [J]. Journal of Agricultural Engineering Research,1963,8(1):78-84.
- 廖庆喜,张宁,张朋玲,等. 一器多行离心式油菜排种器[J]. 农业机械学报,2012,43(2):48-52.  
Liao Qingxi, Zhang Ning, Zhang Pengling, et al. Centrifugal metering device for rapeseed [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2012,43(2):48-52. (in Chinese)
- 廖庆喜,张朋玲,廖宜涛,等. 基于 EDEM 的离心式排种器排种性能数值模拟[J]. 农业机械学报,2014,45(2):109-114.  
Liao Qingxi, Zhang Pengling, Liao Yitao, et al. Numerical simulation on seeding performance of centrifugal rape-seed metering device based on EDEM [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2014,45(2):109-114. (in Chinese)
- 廖庆喜,高焕文,臧英. 玉米水平圆盘精密排种器型孔的研究[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 CSAE,2003,19(2):109-113. (in Chinese)
- 赵镇宏. 刷轮式苗盘精播装置型孔板型孔尺寸的确定[J]. 农业机械学报,2005,36(3):44-47.  
Zhao Zhenhong. Determination of seed cell plate aperture of nursery tray precision seeding with brush type repeller wheel [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2005,36(3):44-47. (in Chinese)
- Yazgi A, Degirmencioglu A. Optimisation of the seed spacing uniformity performance of a vacuum-type precision seeder using

- response surface methodology[J]. *Biosystems Engineering*,2007,97(3):347-356.
- 20 袁文胜,吴崇友,金诚谦. 异形孔窝眼轮式油菜排种器设计与试验[J]. *农业机械学报*,2009,40(5):72-75.  
Yuan Wensheng,Wu Chongyou,Jin Chengqian. Design and experiment on seed-metering device with special cells for cole seed[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*,2009,40(5):72-75. ( in Chinese)
- 21 王冲,宋建农,李永磊,等. 基于三维打印的型孔排种轮制造技术[J]. *农业工程学报*,2011,27(3):108-111.  
Wang Chong,Song Jiannong,Li Yonglei,et al. Manufacture of type holes wheel based on three dimensional printing technology[J]. *Transactions of the CSAE*,2011,27(3):108-111. ( in Chinese)
- 22 周祖锴. *农业物料学*[M]. 北京:农业出版社,1994:7.
- 23 廖宜涛,黄海东,李旭,等. 浸种预处理对油菜籽气力精量排种性能的影响[J]. *农业机械学报*,2013,44(1):72-76.  
Liao Yitao,Huang Haidong,Li Xu,et al. Effects of seed pre-soaking on sowing performance by pneumatic precision metering device for rapeseed[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*,2013,44(1):72-76. ( in Chinese)
- 24 胡国明. *颗粒系统的离散元素法分析仿真*[M]. 武汉:武汉理工大学出版社,2010:301.

## Design and Experiment on Metering Hole Structure of Centrifugal Precision Metering Device for Rapeseed

Cao Xiuying<sup>1</sup> Liao Qingxi<sup>1</sup> Cong Jinling<sup>1,2</sup> Liao Yitao<sup>1</sup>

(1. *College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China*

2. *College of Mechanical and Electrical Engineering, Shihezi University, Shihezi 832003, China*)

**Abstract:** Based on problem that metering holes of centrifugal metering device were easily blocked and led to broken rows, the influential factors on blocking of metering hole was analyzed to develop a new structure of metering hole. The critical diameter of metering hole which only took one seed, two seeds or three seeds were determined via the model of relationship among rotation speed, structural parameters of hole and geometric properties of rapeseed. Combined with simulation of trajectory of seeds via discrete element method (DEM) software EDEM, the relevant critical diameter values of metering hole which only took one seed, two seeds or three seeds were 2.6 mm, 3.5 mm and 3.8 mm, respectively. The test research was carried out to achieve the relationship of hole diameter, rotate speed and the performance of metering device. Experiment results showed that when the hole diameter was 3.8 mm, variation coefficient of spacing row consistency and stability of full seeding quantity were less than 16.4% and 14.8%, respectively, and there was no blocked hole.

**Key words:** Centrifugal metering device Rapeseed Metering hole blocked Metering hole structure