

集排式大豆精量排种器设计与试验

王业成 靳亚东 罗嗣博 孙浩 陈海涛

(东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030)

摘要: 为了简化播种单体结构,提高播种质量,适应大豆窄行密植农艺对播种机的要求,设计了一种集排式大豆精量排种器。阐述了该排种器滑落吸种、碰撞清种工作方式,通过对充种区域的种子进行受力分析,确定了种子吸附时排种器所需气压范围;分析下落种子相对滚筒的速度及其通过吸孔的次数;对多自由度密封结构进行了受力分析,确定了气室铰接的结构参数;应用高速摄像技术,选取合格指数 A 、重播指数 D 、漏播指数 M 为试验指标,气压、作业速度为试验因素进行了双因素重复试验。试验结果表明:当气压为 3、4 kPa,作业速度为 4 ~ 12 km/h 时,合格指数随作业速度增大呈下降趋势;当气压为 5、6、7 kPa,作业速度为 4 ~ 12 km/h 时,合格指数随作业速度增大呈先上升后下降趋势;漏播指数随气压增大呈下降趋势,且随作业速度增大呈上升趋势;当气压为 5 kPa,作业速度为 4 ~ 12 km/h 时,合格指数大于 95%,漏播指数小于 2%,该排种器能够满足播种要求。

关键词: 大豆;集排式;排种器;设计;试验

中图分类号: S223.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2018)06-0112-07

Design and Experiment of Centralized Precision Soybean Seed-metering Device

WANG Yecheng JIN Yadong LUO Sibao SUN Hao CHEN Haitao
(College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: In order to simplify the structure of seeding monomer, improve the quality of planting, and meet the agricultural requirements of narrow row of soy closely planting on planter, a centralized precision seed-metering device was designed. The method of slipped seed absorbing and impacted seed cleaning of seed-metering device was expounded. Through the analysis of the movement of the seeds in filling area, the pressure range of seed metering device for seed sorption was determined. The speed of the drop seed relative to the drum and the number of the suction hole passing through were analyzed. The force analysis of the multi-degree-of-freedom seal structure was carried out to determine the structural parameters of the hinge joint of gas chamber. The high-speed camera technology was used to conduct experiment, repeated experiment of two factors was conducted in which the test indexes were qualified index, and the missing index, the multiple index and the experimental factors were air pressure and operating speed. The results of the experiment showed that when the air pressure of seed-metering device was increased from 3 kPa to 4 kPa and the operating speed was in the range of 4 ~ 12 km/h, the qualified index showed a trend of declining with the increase of working speed. When the air pressure was increased from 5 kPa to 7 kPa and the operating speed was in the range of 4 ~ 12 km/h, the qualified index showed a trend of declining after the growing with the increase of working speed. The missing index was in decline with the increase of pressure value and in rise with the increase of operating speed. The qualified index was more than 95% and the missing seeding index was less than 2%, while the air pressure was 5 kPa and the operating speed was in the range of 4 ~ 12 km/h. This seed-metering device could meet the seeding requirements well.

Key words: soybean; centralized; seed-metering device; design; experiment

收稿日期: 2017-10-23 修回日期: 2018-03-26

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303011)和中国博士后科学基金项目(2016M601407)

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

0 引言

排种器是播种机的核心部件,其性能是保证播种机播种质量的前提^[1-4]。集排式排种器采用1个排种部件进行多行播种,可以简化播种单体结构及传动系统、减小播种机重量,降低成本,解决大豆窄行密植农艺对播种机的要求,进而实现宽幅、高效播种作业,成为排种器的发展方向^[5-9]。

气力式排种器,是利用气流压力差从种子群中攫取分离出单粒种子,并依次等间距地排出投入到种床中,实现精密播种作业。为了减小单粒种子从种子群间分离的阻力^[10-12],目前普遍采用机械搅拌种子方式和气力、振动种子沸腾的方式^[13-16],强制种室内种子间的相对运动,便于单粒种子从种子群内分离。机械搅拌种子装置和机械振动方式不能避免由重力引起的种子间作用力,其降低单粒种子从种子群间分离的阻力是有限的,而采用气力沸腾的方式存在结构复杂,消耗风压等问题,目前仅在室内、小粒种子和有粘性种子精量播种机上少量使用。

本文采用滑落吸种、碰撞清种的方式设计一种集排式精量排种器。吸种时种子在重力及滚筒摩擦力的作用下,与吸孔同向并加速向下运动,从而减小重力引起的种子间作用力,降低单粒种子从种子群内分离的阻力,同时增大吸种行程,降低种子相对滚筒速度,从而改善排种器充种性能,提高播种质量。

1 排种器结构与工作原理

如图1所示,集排式精量排种器主要由种箱、壳体、滚筒、导种板、送种管、提升装置及传动装置等组成。

如图2所示,风机产生的正压气流通过进气口进入排种器壳体内,在滚筒吸孔内外压差的作用下种子吸附在滚筒吸孔上,实现充种过程。

当滚筒转动时,种子群在滚筒摩擦力及其重力作用下,沿导种板由静止以一定的加速度向下滑落,种子间距逐渐增大,从而减小了种子间作用力,降低了单粒种子从种子群内分离的阻力。加速滑落的种子在滚筒某一位置区域可以达到与滚筒表面相同的线速度,在该位置吸附种子,可以减小种子惯性力对吸种效果的影响。

清种时,加速下落的种子与滚筒上已吸附种子存在一定的速度差,通过导种板控制下落种子的轨迹、速度,使其与已吸附种子发生一系列轻微碰撞,使已吸附种子由静摩擦状态转变为不稳定的动摩擦状态,吸力较大的种子将挤掉吸力较弱的种子,实现清种过程。

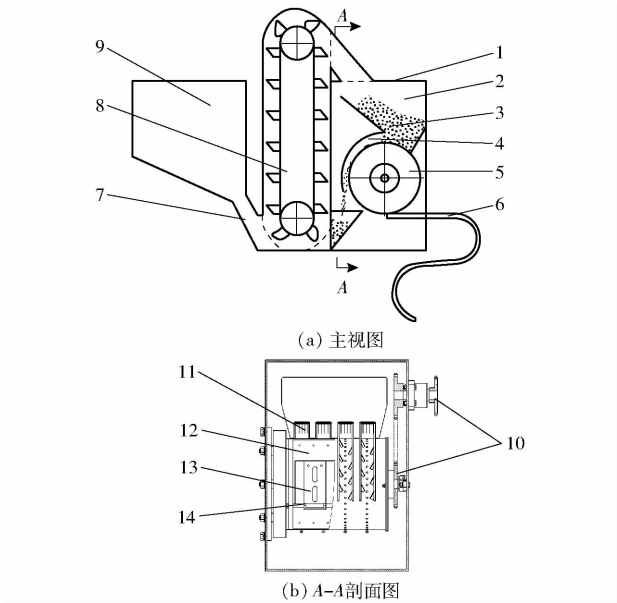


图1 排种器结构示意图

Fig. 1 Structure diagrams of seed-metering device

1. 壳体 2. 种室 3. 种子 4. 导种板 5. 滚筒 6. 送种管 7. 进种管 8. 提升装置 9. 种箱 10. 传动装置 11. 毛刷 12. 气室 13. 板簧 14. 连杆

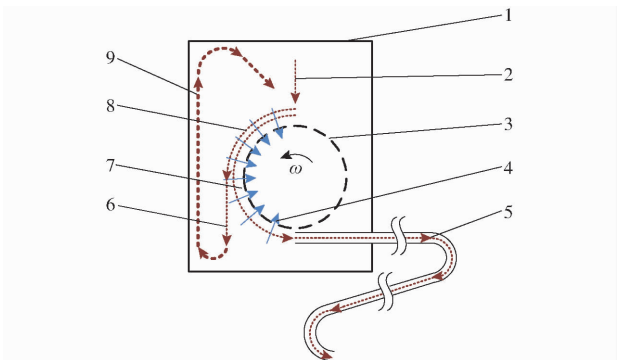


图2 排种器工作过程示意图

Fig. 2 Schematic diagram for working process of seed-metering device

1. 壳体 2. 种子 3. 滚筒 4. 压种气流 5. 送种管 6. 未被吸附种子 7. 已吸附种子 8. 自由滑落种子 9. 提升装置

投种时,滚筒的吸孔被密封,在重力及送种口气流场的作用下,种子与滚筒表面分离,进入送种管,经送种管气力运送至投种口进行投种,实现投种过程。未被吸附的种子通过提升装置提升至滚筒上方的种室内,准备进行下次充种。

2 排种器关键部件设计与分析

2.1 排种滚筒设计

排种滚筒直径为211 mm,采用1 mm 弹性不锈钢钢板制成,两端分别固定安装有法兰,以提高其刚度。

吸孔直径 d 采用经验公式^[17]

$$d = (0.64 \sim 0.66)b \tag{1}$$

式中 b ——种子的平均宽度, mm

根据大豆几何特性, 大豆种子平均宽度 b 为 5.1 ~ 7.3 mm^[18], 由式(1)可得孔径 d 为 3.26 ~ 4.82 mm, 取吸孔直径为 3.5 mm。

根据所播作物的株距和行距要求, 考虑播种机作业速度及排种器性能等因素^[19], 选择周向吸孔数为 45 个, 轴向每排吸孔间距为 50 mm。

2.2 充种过程分析

排种器工作时, 种子在滚筒摩擦力及其重力的作用下由静止开始加速滑落。为简化分析, 忽略种子间作用力, 种子未脱离滚筒时受力分析如图3所示。

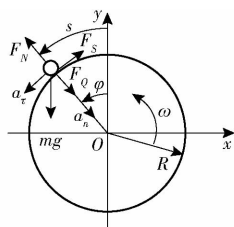


图3 种子受力分析

Fig.3 Force analysis for seed

沿种子滑落轨迹的切向、法向建立其动力学方程

$$\begin{cases} ma_{\tau} = mg \sin \varphi - F_S \\ ma_n = mg \cos \varphi + F_Q - F_N \end{cases} \quad (2)$$

其中

$$a_{\tau} = \ddot{s} \quad s = \varphi R$$

$$a_n = \frac{\dot{s}^2}{R} = \omega^2 R$$

$$F_S = \begin{cases} fF_N & (v_r > 0) \\ mg \sin \varphi & (v_r = 0) \\ -fF_N & (v_r < 0) \end{cases}$$

$$F_Q = \Phi \Delta p \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2$$

式中 φ ——种子相对初始位置的转角, rad

s ——种子相对初始位置的路程, mm

$\dot{s}$ ——种子相对初始位置的线速度, m/s

a_{τ} ——种子切向加速度, m/s²

a_n ——种子法向加速度, m/s²

m ——种子质量, g R ——滚筒半径, mm

ω ——滚筒角速度, rad/s

F_S ——种子对滚筒的摩擦力, N

F_Q ——由吸孔内外压差形成的种子吸附力, N

F_N ——滚筒对种子的支持力, N

f ——滚筒与种子的摩擦因数

Φ ——各种因素对种子所受吸附力影响的修正系数

Δp ——壳体内气压, kPa

v_r ——种子与滚筒表面相对速度

当未吸附种子从滚筒表面滑落时, 忽略种子受到的滚筒摩擦力及吸附力, 由式(2)可得种子滑落线速度及滚筒对种子的支持力

$$\dot{s} = \sqrt{2gR(1 - \cos \varphi)} \quad (3)$$

$$F_N = mg \left(3 \cos \frac{s}{R} - 2 \right) \quad (4)$$

由式(3)、(4)可知, 随路程 s 的增加, 种子滑落的线速度 $\dot{s}$ 逐渐增大, 种子对滚筒的压力逐渐减小。在种子相对滚筒速度较小的区域进行充种可以减小种子惯性力对吸种性能的影响。当滚筒对种子的支持力 $F_N = 0$ 时, 由式(3)可得种子开始脱离滚筒时种子相对初始位置的转角 $\varphi = 48.2^\circ$ 。

当种子被滚筒吸孔吸附时, 种子与滚筒表面相对速度 $v_r = 0$, 为保证种子被吸孔吸附, 要求滚筒对种子的支持力 $F_N > 0$, 则

$$F_Q = \Phi \Delta p \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \geq m \omega^2 R - mg \cos \varphi \quad (5)$$

由式(5)可知, 种子能否被滚筒吸孔吸附并随滚筒转动, 与壳体内气压 Δp 、吸孔直径 d 、滚筒角速度 ω 、种子物料特性 (Φ 、 m)、滚筒半径 R 等因素有关。

取播种机作业速度为 4 ~ 12 km/h, 即滚筒角速度 ω 为 2.20 ~ 6.70 rad/s。取 $\Phi = 0.15$, $f = 0.3$, 大豆颗粒质量 $m = 0.256$ g, 吸孔直径 $d = 3.5$ mm, 滚筒半径 $R = 104.5$ mm, 可求得排种器工作时所需气压 Δp 为 3.0 ~ 5.2 kPa。考虑到排种器实际作业情况复杂, 本文考察排种器性能试验时, 气压取值范围为 3 ~ 7 kPa。

2.3 清种过程分析

当滚筒吸孔吸附多粒种子时, 已吸附种子之间的间距变小, 如果让滑落种子从已吸附种子之间穿过, 将与其发生碰撞, 并扰动、清除多余吸附的种子。

分析下落种子与已吸附种子之间的相对速度, 如图4a、4b所示, 取下落种子为动点, 把动系固定在滚筒表面, 应用点的速度合成定理

$$\mathbf{v}_a = \mathbf{v}_e + \mathbf{v}_r \quad (6)$$

式中 $\mathbf{v}_a$ ——种子相对排种器的绝对速度, m/s

$\mathbf{v}_e$ ——滚筒表面的牵连速度, m/s

获得相对速度与水平方向的夹角

$$\beta = \arctan \left(\frac{1}{\tan \alpha} - \frac{1}{k \sin \alpha} \right) \quad (7)$$

其中

$$k = \frac{v_a}{v_e}$$

式中 k ——绝对速度与牵连速度的比值

α ——绝对速度（导种板）与牵连速度的夹角,rad

如图 4a 所示,在充种区域初始阶段,种子滑落的绝对速度 v_a 小于滚筒的牵连速度 v_e ,此时相对速度 v_r 随着导种板夹角 α 减小、绝对速度 v_a 增大而减小。为提高充种质量,在充种区域应减小种子相对滚筒的速度 v_r ,即减小导种板夹角 α ,使滑落的种子在重力作用下获得较大的加速度,提高绝对速度 v_a 。如图 4b 所示,在清种区域,种子下落速度 v_a 已经达到或大于滚筒的牵连速度 v_e ,此时相对速度 v_r 随着导种板夹角 α 、绝对速度 v_a 的增大而增大。较大的相对速度 v_r 可以提高种子间的碰撞强度。

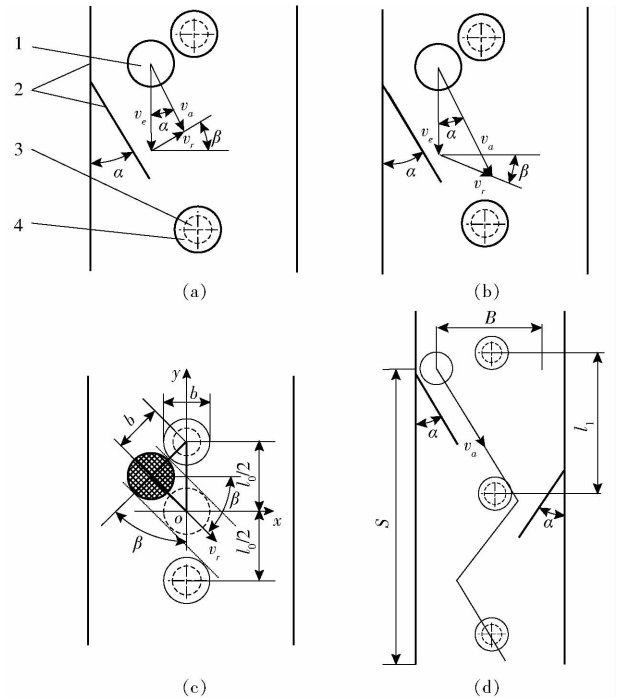


图 4 种子运动分析
Fig.4 Seed motion analyses

1. 下落种子 2. 导种板 3. 吸孔 4. 已吸附种子

如图 4c 所示,当下落种子从已吸附单粒种子中间穿过,不发生碰撞时,下落种子相对速度 v_r 与水平方向的最大夹角

$$\beta_0 = \arccos \frac{2b}{l_0} \tag{8}$$

式中 l_0 ——吸孔之间临界距离,mm

如图 4d 所示,增大导种板夹角 α 可以在有限的下落高度 S 内,增加下落种子从吸孔中间穿过的次数 p ,提高种子间碰撞的频率。当吸孔之间距离为 l_1 时,下落种子通过吸孔次数 p 为

$$p = \frac{l_0}{l_1} \frac{S}{B \tan \alpha} \tag{9}$$

式中 B ——导种通道宽度,mm

根据导种板结构,得到 $S = 300 \text{ mm}$ 、 $B = 30 \text{ mm}$,

由式(9)获得通过吸孔次数 p ,如图 5 所示。在绝对速度与牵连速度比值 k 相同的条件下,通过吸孔次数 p 随导种板夹角 α 的增加而增大。当 $k < 0.8$ 时,通过吸孔次数 p 随速度比值 k 的增加而增大;当 $k \geq 1$ 时,速度比值 k 的变化对通过吸孔次数 p 的影响较小。

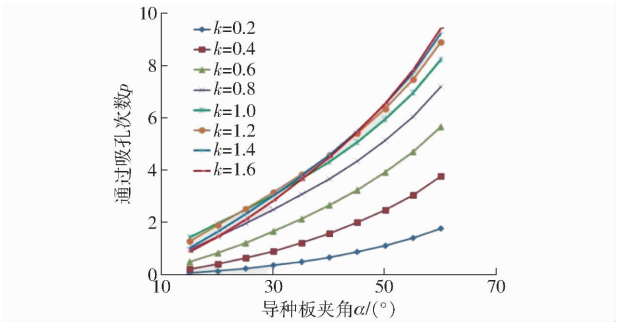


图 5 通过吸孔次数变化曲线
Fig.5 Curves of number through suction hole

2.4 密封装置

排种器密封结构决定着排种器工作的可靠性,密封装置的结构简图如图 6 所示。

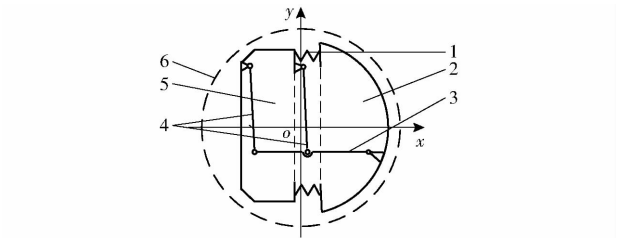


图 6 密封装置结构简图
Fig.6 Structure diagram of sealing device

1. 波纹管 2. 气室 3. 连杆 4. 板簧 5. 导气管 6. 排种滚筒

导气管固定安装在排种器壳体上并与外界相通,4 个板簧的两端分别与导气管 2 个连杆连接,连杆在 2 个板簧的限制下做水平移动,气室与每个连杆端部的球铰链连接,实现气室在 2 个球铰链处沿 y 方向及沿滚筒轴线方向位移的限制,在板簧水平弹性力及气压的作用下,浮动的气室与滚筒以较大的力紧密贴合,同时气室上固定柔性密封条以较小的贴合力实现气室与滚筒之间间隙的密封,从而减少气体的泄漏和减小密封部件工作阻力。

为了确保滚筒运转平稳,避免气室与滚筒之间自锁,应合理设计气室铰接点位置。

气室受力如图 7a 所示,设气室对滚筒的正压力及摩擦力均匀分布,其合力作用线方程为

$$x \sum F_y - y \sum F_x = \sum M_0(F) \tag{10}$$

$$x - \frac{y}{f} = \frac{R(l + R\theta_0)}{l\cos\theta_0 + R\sin\theta_0} \tag{11}$$

其中 $\sum M_0(F) = -2q_f IR - 2q_f R^2 \theta_0$

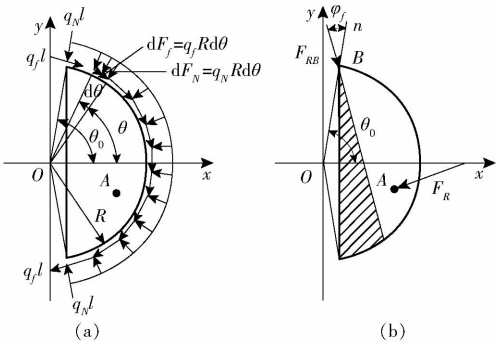


图 7 气室受力图

Fig. 7 Free body diagrams of air chamber

$$\sum F_x = -2q_N l \cos \theta_0 + \int_{-\theta_0}^{\theta_0} -2q_N R \cos \theta d\theta = -2q_N (l \cos \theta_0 + R \sin \theta_0)$$
$$\sum F_y = -2q_f l \cos \theta_0 + \int_{-\theta_0}^{\theta_0} -2q_f R \cos \theta d\theta = -2q_f (l \cos \theta_0 + R \sin \theta_0)$$

式中 F_x ——气室与滚筒之间正压力与摩擦力合力在 x 轴的分力, N

F_y ——气室与滚筒之间正压力与摩擦力合力在 y 轴的分力, N

q_f ——气室与滚筒之间摩擦力, N

q_N ——气室与滚筒之间正压力, N

l ——气室沿滚筒轴向边长, mm

θ ——正压力与水平轴线的夹角, rad

θ_0 ——气室对应的圆心半角, rad

为使气室正应力均匀分布,应取气室的铰接点位于气室正压力与摩擦力合力作用线上,保证气室与滚筒之间的密封可靠性。

如图 7b 所示,阴影区域为滚筒对气室端部的全约束力作用线所在区域,其中 φ_f 为摩擦角。为了避免滚筒吸孔内残留的种子可能与气室之间出现自锁现象,安装气室铰接点 A 应位于全约束力作用线所在区域的外侧,来保证排种滚筒转动平稳。

取 $R = 104.5 \text{ mm}$, $l = 210 \text{ mm}$, $\theta_0 = 81^\circ$, $f = 0.3$, 可由式 (11) 得合力作用线方程 $y = 0.3x - 82.4$ 。取铰接点 A 位于合力作用线上,并靠近滚筒(气室边缘)处。考虑铰接点结构安装尺寸,如图 7 所示,取铰接点 A 的坐标 $x_A = 71 \text{ mm}$, $y_A = -61 \text{ mm}$,来实现气室正压力均匀分布和避免出现自锁现象。

3 排种性能试验

3.1 试验材料及设备

本试验选用“黑农 38”大豆为样本,千粒质量为 265.6 g ,三轴尺寸为 $(7.15 \pm 0.45) \text{ mm}$ 、 $(5.63 \pm 0.43) \text{ mm}$ 、 $(6.71 \pm 0.40) \text{ mm}$ 。试验在东北农业大学农机实验室进行。

如图 8 所示,试验装置主要由 JPS-12 型排种器性能检测试验台、U 型压力计、高速摄像机 (Phantom V5.1-4G, Vision Research, Inc. USA) 和传动系统等组成。

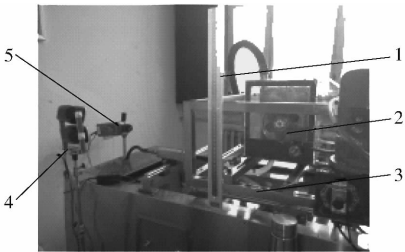


图 8 试验装置

Fig. 8 Experimental device

1. U 型压力计 2. 集排式精量排种器 3. JPS-12 型排种器性能检测试验台 4. 光源 5. 高速摄像机

3.2 试验方法

参照 GB/T 6973—2005《单粒(精密)播种机试验方法》,选取合格指数 A 、重播指数 D 、漏播指数 M 为测试指标,气压、作业速度为试验因素,进行双因素重复试验。试验因素和水平如表 1 所示。试验共 25 组,每组重复 3 次,取 3 次测试数据的均值作为该组试验结果。

表 1 试验因素与水平

Tab. 1 Factors and levels of experiment

水平	因素	
	气压/kPa	作业速度/(km·h ⁻¹)
1	3	4
2	4	6
3	5	8
4	6	10
5	7	12

应用高速摄像技术对每个吸孔吸附粒数进行测量,其拍摄速率为 300 帧/s。每次试验分别统计 250 个吸孔吸附种子的粒数,吸附 1 粒种子为单粒,吸附 2 粒及以上为多粒,未吸附种子为空穴。

各试验指标为

$$A = \frac{n_1}{N'} \times 100\% \tag{12}$$

$$D = \frac{n_2}{N'} \times 100\% \tag{13}$$

$$M = \frac{n_3}{N'} \times 100\% \tag{14}$$

式中 n_1 ——单粒种子个数

n_2 ——多粒种子个数

n_3 ——空穴个数

N' ——理论排种个数

气压为排种器工作时,排种器壳体内的正压值,采用 U 型压力计进行测定。应用 JPS-12 型精密排

种器性能检测试验台进行作业速度的测量,测量误差小于 0.5%。

3.3 试验结果与分析

如图 9a 所示,当气压为 3、4 kPa 时,合格指数随作业速度增大呈下降趋势,当气压为 3 kPa,作业速度为 10 ~ 12 km/h 时,合格指数小于 95%,此时排种器不能满足使用要求。当气压为 5、6、7 kPa 时,合格指数随作业速度变化呈先上升后下降趋势,合格指数大于 95%,排种器满足使用要求。

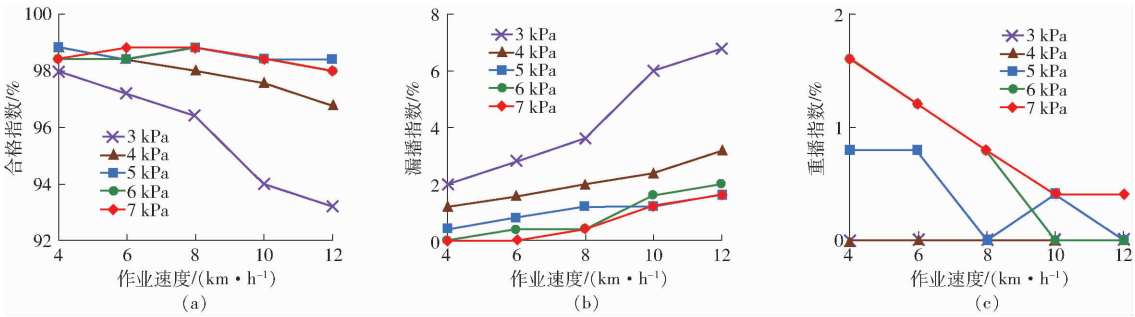


图 9 气压与作业速度对排种性能的影响

Fig. 9 Influence of air pressure and working speed on seed-metering performance

应用高速摄像技术观察多余吸附种子被下落种子碰撞清除过程,如图 10a 所示,气压为 7 kPa,作业速度 8 km/h,各幅图片间隔时间 2 ms,实线圆圈为已吸附种子,虚线圆圈为多余吸附种子。下落种子

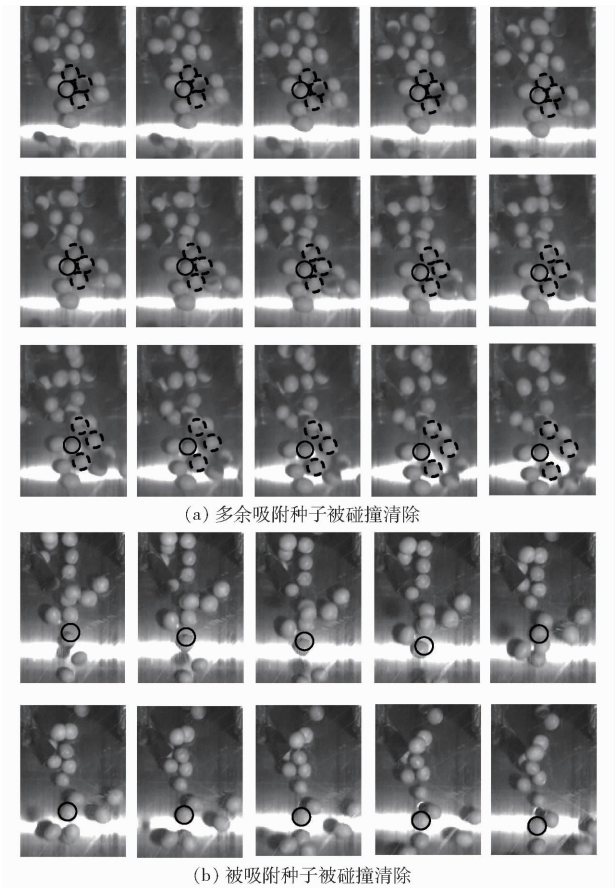


图 10 清种过程高速影像

Fig. 10 High-speed images of cleaning process

如图 9b 所示,漏播指数随作业速度增大呈上升趋势,随气压增大呈下降趋势。其中,气压为 3 kPa 时,种子所受吸附力较小,漏播指数明显高于其它气压,漏播指数随作业速度显著增大;气压为 5 ~ 7 kPa 时,种子所受吸附力较大,漏播指数小于 2%。

如图 9c 所示,重播指数一直保持较低水平。其中,当气压为 3、4 kPa 时,重播指数为 0;气压为 5、6、7 kPa 时,重播指数小于 2%,重播指数随作业速度增大呈下降趋势。

流与已吸附种子发生碰撞,干扰已吸附种子,吸力较大种子将挤掉吸力较弱种子,从第 6 幅图片起,吸附力较弱种子逐渐远离吸孔,直至脱离滚筒,完成清种过程。

已吸附种子被下落种子清除过程如图 10b 所示,气压为 3 kPa,作业速度 10 km/h,各幅图片间隔时间 4 ms,实线圆圈为已吸附种子。下落种子流以较高的速度与已吸附种子发生碰撞,种子所受碰撞力大于其吸附力,使其脱离滚筒,发生漏播现象。

下落种子有必要采用导种板控制其运动轨迹、速度,来延长滚筒的吸附区域,降低滑落种子的速度,使滑落种子与滚筒吸孔的运动轨迹多次交叉,实现对已吸附种子进行多次小碰撞干扰,可靠地清除多余吸附种子,并避免单粒已吸附种子被清除,从而提高排种器的工作质量。

4 结论

(1)设计了一种滑落吸种、碰撞清种方式的集排式精量排种器,结构简单,无机械清种装置,种子适应性好,可满足大豆精量播种的作业要求。

(2)对充种区域的种子进行运动分析,确定了种子吸附时排种器所需气压范围,分析了下落种子相对滚筒的速度及其通过吸孔的次数。设计了多自由度密封结构,确定了气室铰接的结构参数,提高了气室与滚筒密封的可靠性。分析并应用高速摄像技术观察了排种器滑落吸种、碰撞清种的工作过程。

(3)试验研究表明,当气压为 3、4 kPa,作业速度为 4 ~ 12 km/h 时,合格指数随作业速度增大呈下

降趋势;当气压为 5、6、7 kPa,作业速度为 4~12 km/h 时,合格指数随作业速度增大呈先上升后下降趋势;漏播指数随气压增大呈下降趋势,且随作业速度增

大呈上升趋势;重播指数一直保持较低水平。当气压为 5 kPa、作业速度 8 km/h 时,合格指数大于 95%,漏播指数小于 2%,能适应高速作业。

参 考 文 献

- 张泽平,马成林,王春桢.精播排种器及排种理论研究进展[J].吉林工业大学学报,1995,25(4):112-116.
ZHANG Zeping, MA Chenglin, WANG Chuncheng. The development of the seed-metering device for precision planter and its theoretical study[J]. Journal of Jilin University of Technology, 1995, 25(4): 112-116. (in Chinese)
- 李国林,宋炜,毛俐,等.国内外几种主要排种器的特点[J].农业科技与装备,2011(8):70-71,73.
LI Guolin, SONG Wei, MAO Li, et al. Features of some main seed-metering devices at home and abroad[J]. Agricultural Science and Technology and Equipment, 2011(8): 70-71, 73. (in Chinese)
- 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)
- 陈玉龙,贾洪雷,王佳旭,等.大豆高速精密播种机凸勾排种器设计与试验[J/OL].农业机械学报,2017,48(8):95-104.
http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170810&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.08.010.
CHEN Yulong, JIA Honglei, WANG Jiaxu, et al. Design and experiment of scoop metering device for soybean high-speed and precision seeder[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(8): 95-104. (in Chinese)
- 秦军伟,张晓辉,姜忠爱.探讨集中式排种器的排种机理及其发展[J].农业装备技术,2004,30(4):22-23.
QIN Junwei, ZHANG Xiaohui, JIANG Zhongai. Research of seeding principles of centralized type seed meters and its development[J]. Agricultural Equipment & Technology, 2004, 30(4): 22-23. (in Chinese)
- 廖庆喜,张宁,张朋玲,等.一器多行离心式油菜排种器[J/OL].农业机械学报,2012,43(2):48-52.
http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20120210&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.02.010.
LIAO Qingxi, ZHANG Ning, ZHANG Pengling, et al. Centrifugal metering device for rapeseed[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(2): 48-52. (in Chinese)
- 常金丽,张晓辉.2BQ-10型气流一阶集排式排种系统设计与试验[J].农业工程学报,2011,27(1):136-141.
CHANG Jinli, ZHANG Xiaohui. Design and test of one-step centralized type pneumatic seeding system[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(1): 136-141. (in Chinese)
- 张昆,衣淑娟.气吸滚筒式玉米排种器充种性能仿真与试验优化[J/OL].农业机械学报,2017,48(7):78-86.
http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170710&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.07.010.
ZHANG Kun, YI Shujuan. Simulation and experimental optimization on filling seeds performance of seed metering device with roller of air-suction[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(7): 78-86. (in Chinese)
- 倪向东,徐国杰,王琦,等.气吸滚筒阵列式棉花精密排种器设计与试验[J/OL].农业机械学报,2017,48(12):58-67.
http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20171207&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.12.007.
NI Xiangdong, XU Guojie, WANG Qi, et al. Design and experiment of pneumatic cylinder array precision seed-metering device for cotton[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(12): 58-67. (in Chinese)
- KUMAR V J F, DIVAKER C D. Influence of head geometry on the distributive performance of air-assisted seed drills[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 2000, 1(1): 81-95.
- PRASANNA KUMAR G V, SRIVASTAVA BRIJESH, NAGESH D S, 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.
- 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.
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.
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. (in Chinese)
- 廖庆喜,雷小龙,廖宜涛,等.油菜精量播种技术研究进展[J/OL].农业机械学报,2017,48(9):1-16.
http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20170901&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.09.001.
LIAO Qingxi, LEI Xiaolong, LIAO Yitao, et al. Research progress of precision seeding for rapeseed[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(9): 1-16. (in Chinese)
- 张顺,夏俊芳,周勇,等.气力滚筒式水稻直播精量排种器的设计与试验[J].农业工程学报,2015,31(1):11-19.
- 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 metering device for maize[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(18): 8-15. (in Chinese)
- 雷小龙,廖宜涛,李兆东,等.种层厚度对油麦兼用集排器供种装置充种性能的影响[J].农业工程学报,2016,32(6):11-19.
LEI Xiaolong, LIAO Yitao, LI Zhaodong, et al. Effects of seed layer thickness on seed filling performance of seed feeding device for rapeseed and wheat[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(6): 11-19. (in Chinese)
- 中国农业机械化科学研究院.农业机械设计手册:上册[M].北京:中国农业科学技术出版社,2007.
- 王业成.摩擦式精密排种器的设计与试验研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2012.
WANG Yecheng. Design and experiment of friction precision seed-metering device[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2012. (in Chinese)
- 张德文.精密播种机械[M].北京:农业出版社,1982.