

摩擦型立式圆盘精密排种器的设计与试验

王业成^{1,2}, 邱立春^{1*}, 张文娇², 李杞超²

(1. 沈阳农业大学工程学院, 沈阳 110866; 2. 东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030)

摘要:为了解决机械式排种器种子充填力小、充填极限速度低的问题, 该文提出了一种新的摩擦式精密排种器的结构, 并研究了种子在充种空间内的受力、运动机理, 该结构依靠摩擦式排种盘对种子的摩擦力驱使种子流动, 增大种子充填力, 改善充种效果。样机台架试验表明, 在粒距为 10 cm, 种床带速为 10.1 km/h 时, 排种盘型孔的极限线速度达到 0.66 m/s, 此时合格指数 > 95%, 重播指数 < 5%, 漏播指数 < 5%, 该排种器能够满足高速精播要求。

关键词:农业机械; 摩擦式; 试验; 精密排种器; 排种频率

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.01.005

中图分类号: S223.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-01-0022-05

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 with English abstract)

0 引言

排种器是实现精密播种的核心部件, 排种精度及均匀性是衡量排种器工作性能的重要指标, 完善排种器的性能是提高播种质量, 增加粮食产量的基础^[1]。

立式圆盘排种器是一种典型的机械式精密排种器, 具有结构简单, 工作性能可靠, 价格低廉等优点, 但在高速播种作业时, 播种质量和作业效果将大大降低。

为了满足高速播种作业要求, 提高型孔极限线速度, 国内外研究人员从改进型孔结构、增加种子充填力等方面进行了大量的研究工作^[2-11]。排种器主要依靠重力、离心力、气流压力、气流吸力、电磁力来进行充种^[5-11]。气流吸力、压力可以有效地增加种子充填力, 而机械式精密排种器仅依靠重力、离心力充种, 型孔的线速度一般小于 0.35 m/s, 限制了排种频率, 使机械式排种器不适应大豆等小株距作物高速播种的要求^[1]。

针对立式圆盘排种器种子充填力小、型孔极限线速度低的问题, 本文提出了一种新的摩擦式精密排种器的结构, 该结构依靠摩擦式排种盘对种子的摩擦力驱使种子流动, 减小种子与型孔的相对运动, 扩大充种区域, 增大种子充填力, 从而改善充种效果, 提高型孔的充填极限线速度。

1 摩擦式排种器的结构及工作原理

如图 1 所示, 该排种器主要由进种孔、摩擦式排种

盘(由型孔盘、内外摩擦环固装在一起构成)、压板、清种钢丝、护种板、排种轴等组成。排种过程分为充种区、清种区、护种投种区 3 个过程。

当播种作业时, 种子由输种管通过进种孔进入到排种器壳体与隔板构成的种室内, 进种孔位于种室中部, 受其位置限制, 种室内种子处于非充满状态, 避免了种室内种子压力过大, 使种子顺利流入、流出充种区, 为充种、清种创造条件。

种室内的种子在重力作用下流入到充种入口, 充种口的锥形结构保证了种子连续地流入到充种区。由充种入口、4 块可独立运动的弹性压板、排种盘(包括型孔盘、内外摩擦环)等构成了矩形截面的弧形充种空间, 排种盘转动时在型孔盘、内外摩擦环对充种空间内种子群摩擦力的作用下形成流动的种子流, 从而减小种子与型孔的相对运动。若种子流动受到阻挡, 必然受到与种子流向相反的阻挡压力, 此时种子散体在种子流向相垂直的方向也将受到法向压力, 从而提供种子向型孔方向的充填力, 提高型孔的极限充填速度。通过对压板的预压力、板簧刚度及表面形状等参数的研究, 使种子流受到压板恒定的阻挡力和法向压力, 来保证种子充填力恒定, 避免种子破损。

在清种区增设了钢丝机械清种结构, 提高了清种的可靠性, 减少了型孔内种子脱出产生漏播现象及种子与护种板卡住而产生的伤种现象。

护种投种区的种子, 由于护种板及排种器壳体的作用, 避免种子脱离型孔。在排种盘圆周外侧的排种器壳体上安置一投种口, 种子在投种口处失去壳体的护种作用, 在重力、离心力及强制推种钢丝的作用下, 种子排出型孔, 完成投种。

2 种子充填力学模型

由于种子相对较小, 取图 2a 中弧形充种空间内的种子群为研究对象, 为简化分析过程, 忽略重力, 把其看

收稿日期: 2011-06-28 修订日期: 2011-10-20

基金项目: 黑龙江省教育厅科学技术研究项目(11551043)

作者简介: 王业成(1978—), 男, 博士生, 主要从事农业机械化工程的教学与科研工作。沈阳 沈阳农业大学工程学院, 110866。

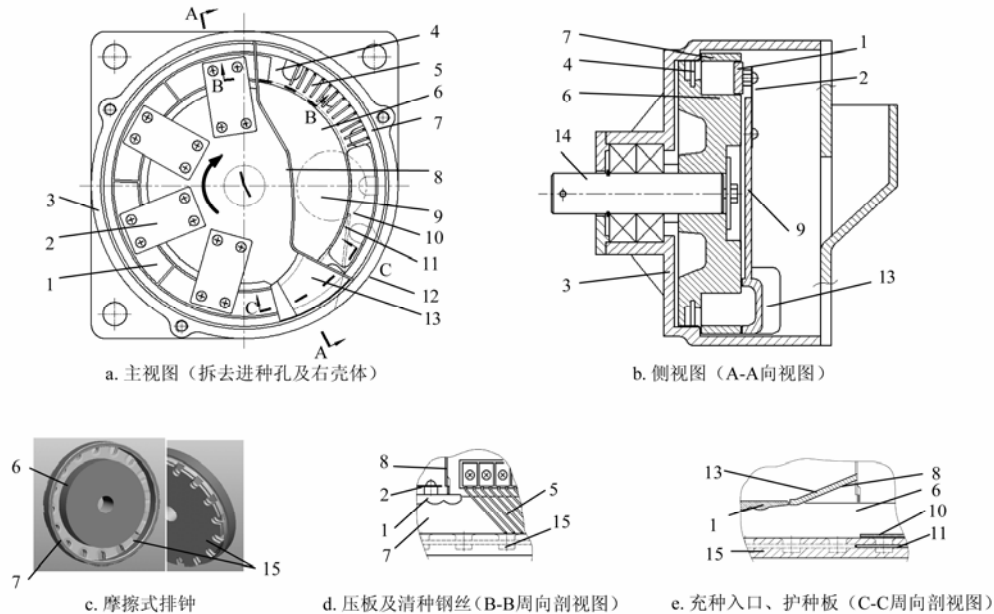
Email: wwwyec@163.com

*通信作者: 邱立春(1957—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事农业机械化工程的教学与科研工作。沈阳 沈阳农业大学工程学院, 110866。

Email: qlccn@126.com

成为方形截面 $h \times b$ 的种子流，在弧形空间中取种子群微段 ds 研究，设延种子流向为正向，如图 2b 所示。种子群微段 ds 前表受到静止压板向右的摩擦力 fF_{N2} ，其上、下表面及后表面分别受到内、外摩擦环及型孔盘向左的摩擦力 f_1F_{N1} 、 f_2F_{N2} ，左、右端面分别受到其他种子的作用

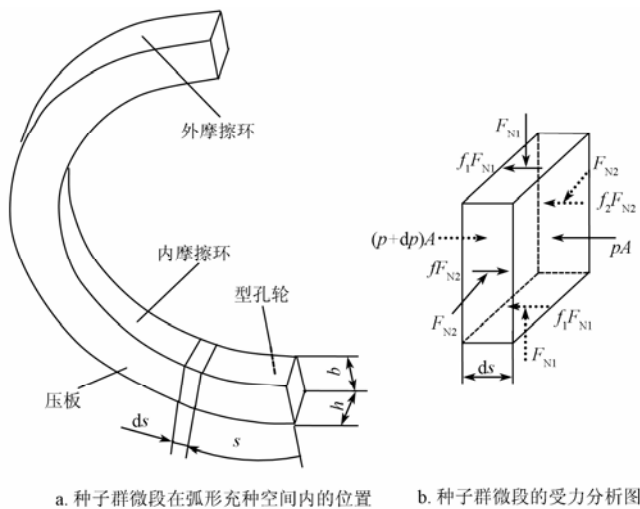
力。微段右端面受到因种子流动受到阻挡而引起的主动压力 p ，经过微段长度 ds 后，微段左端面的压力为 $p+dp$ ，由于种子的内摩擦力作用，微段其它方向的压力与左右端面的压力成正比，既大小为 μp ，其中压力比 μ 为小于 1 的比例常数，由种子内摩擦角确定。



1. 压板 2. 板簧 3. 壳体 4. 摩擦式排种盘 5. 清种钢丝 6. 排种盘上的内摩擦环 7. 排种盘上的外摩擦环 8. 隔板 9. 进种孔 10. 护种板 11. 推种钢丝 12. 投种口 13. 充种入口 14. 排种轴及组件 15. 排种盘上的型孔盘

图 1 摩擦式立式圆盘精密排种器的结构图

Fig.1 Structural drawing of friction vertical plate precision seed-metering device



注： b 为内摩擦环表面与外摩擦环表面之间距离； h 为型孔轮与压板之间距离； ds 、 s 为种子群微段的长度、微段的位置； A 为微段横截面的面积； p 为微段截面受到的压力； $(p+dp)A$ 、 pA 为种子群微段左、右端面受到其他种子的作用力； F_{N1} 、 f_1F_{N1} 为内、外摩擦环对种子群微段上、下表面的法向力及摩擦力； F_{N2} 为压板、型孔盘对种子群微段前、后表面的法向力； fF_{N2} 为压板对种子群微段前面的摩擦力、 f_2F_{N2} 为型孔盘对种子群微段后面的摩擦力； f_1 、 f_2 、 f 为种子与内、外摩擦环、型孔盘、压板之间的动摩擦因数。

图 2 种子散体的受力分析

Fig.2 Mechanics analysis of granular seed

对微段的静力学平衡方程

$$[(p+dp)-p]A = f_1F_{N1} + f_1F_{N1} + f_2F_{N2} - fF_{N2} \quad (1)$$

其中， $A = b \times h$ ， $F_{N1} = \mu p \times h \cdot ds$ ， $F_{N2} = \mu p \times b \cdot ds$

式中， p 为微段截面受到的压力，MPa； A 为微段横截面的面积， mm^2 ； b 为内摩擦环表面与外摩擦环表面之间距离，mm； h 为型孔轮与压板之间距离，mm； F_{N1} 为内、外摩擦环对种子群微段上、下表面的法向力，N； F_{N2} 为压板、型孔盘对种子群微段前、后表面的法向力，N； f_1 、 f_2 、 f 分别为种子与内外摩擦环、型孔盘、压板之间的动摩擦因数； μ 为微段其它方向的压力与左右端面的压力比值。

由式 (1)，得

$$\frac{dp}{p} = \mu \left(\frac{2f_1}{b} + \frac{f_2 - f}{h} \right) \cdot ds \quad (2)$$

设弧形种子群端面 $s=0$ 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。对式 (2) 进行积分

$$\ln p \Big|_{p_0}^p = \mu \left(\frac{2f_1}{b} + \frac{f_2 - f}{h} \right) \cdot ds \Big|_0^s \quad (3)$$

则充种区内种子群各横截面的压力为

$$p = p_0 e^{\mu \left(\frac{2f_1}{b} + \frac{f_2 - f}{h} \right) s} \quad (0 \leq s \leq l) \quad (4)$$

式中， l 为充种空间种子流的长度，mm。

由式 (4) 可以看出，充种区内种子群各横截面的压力 p 与各截面位置 s 呈指数关系。若压板为弹性，可通过设置压板的预压力、刚度及表面形状，来限制充种区内种子群受到的压力，从而避免种子损伤。

设种子与型孔盘、压板之间的动摩擦因数 f_2 、 f 相等, 则单粒种子充填加速 a (m/s^2) 为

$$a = \frac{F_N}{m_0} = \frac{C\mu p A_0}{m_0} = \frac{C\mu A_0 p_0}{m_0} e^{2\mu f_1 \frac{s}{b}} \quad (5)$$

式中, F_N 为单粒种子受到的充填力, N; m_0 为单粒种子的质量, kg; μp 为种子对型孔的压力, N; A_0 为单粒种子向型孔充填方向的投影面积, mm^2 ; C 为充填力修正系数, 反映周围种子对充填力的影响。

由式(5)可以看出, 压力比 μ 对种子充填加速度影响最大, 当比例常数 μ 越大(种子内摩擦角越小)时, 种子的充填加速度越大。随着摩擦环与种子间摩擦系数 f_1 的增加、充填区长度与内外摩擦环间距比值 s/b 的增加, 种子的充填加速度以指数形式增大。由于单粒种子质量较小(大豆种子黑农48、黑农38单粒质量约为0.20 g), 而种子的抗压强度较大(大豆单粒平板压碎压力 >80 N), 这为种子获得远大于重力的充填加速度成为可能, 从而实现高频率充种。

若型孔以线速度 v (m/s) 运动, 当型孔边缘的种子重心下落到型孔上沿以下, 即下落种子的直径 d (mm) 长度的 $1/2$ ($d/2$) 时, 认为充填是可靠的^[1,12-13]。型孔(直径为 D , mm) 边缘的种子充填可用的时间 t 最大为 $t = \frac{D-d/2}{v}$, 可知型孔充填的极限速度 v_d (m/s) 为

$$v_d \leq (D - \frac{d}{2}) \sqrt{\frac{a}{d}} \quad (6)$$

由式(6)可知, 若型孔充填的极限速度增加为原来的2倍, 需要种子充填力即充种加速度增加为原来的4倍。

分析计算过程由于经过模型简化, 以及种子散体复杂的力学特性, 理论分析一般仅作为结构可行性分析及样机设计的初始依据, 最终由试验验证并优化。

3 排种器的结构参数及性能测试

3.1 排种器的结构参数

如图1所示, 排种盘由灰口铸铁制作, 型孔盘外径

为130 mm, 圆周单排均布16个型孔, 每个型孔直径为10 mm, 深为8 mm。沿排种盘周向型孔中心处设置环槽, 在环槽内放置强制推种钢丝。

取水平向右为参考面, 顺时针转向为正向, 充种区、清种区、护种区、投种区的范围分别为: $45^\circ \sim 270^\circ$ 、 $270^\circ \sim 340^\circ$ 、 $-20^\circ \sim 45^\circ$ 、 $5^\circ \sim 35^\circ$ 。投种孔长为32 mm。

压板由4个板簧支撑, 每个板簧预压力约为3 N, 刚度约为1 N/mm。压板与种子接触表面为波纹曲面, 无棱角, 波纹深约为2 mm, 半径约为7 mm。

3.2 试验材料

本试验选用东北农业大学大豆研究中心的“东农46”大豆原种为样本, 千粒质量为200 g, 含水率为13%。

3.3 试验方法

利用黑龙江省农业机械科学研究所研制的JPS-12计算机视觉精密排种器性能检测试验台进行试验研究^[14], 排种盘转速与种床带速测量误差 $<0.5\%$ 。

试验按照GB6973-2005“单粒(精密)播种机试验方法”进行排种器性能试验和检定^[15], 每次采样250个粒距, 排种器投种高度为15 cm, 株距为10 cm。种子破碎率 y 的计算公式为

$$y = G_1 / G_0 \times 100\% \quad (7)$$

式中, G_1 为破损种子的质量(包括表皮破损), g; G_0 为每次排种器排出种子的总质量, g。

排种器合格指数 $A > 95\%$, 重播指数 $D < 5\%$, 漏播指数 $M < 5\%$ 时, 排种盘型孔中心线(直径为120 mm)处的线速度为型孔充填的极限线速度。采用排种盘转速(型孔线速度)单因素试验对排种器的极限线速度进行测试。

3.4 试验结果与分析

试验结果如表1所示, 合格指数 A 随着排种盘转速的增高而逐渐降低, 而重播率 D 、漏播指数 M 和变异系数 C 随着排种盘转速的增高而逐渐增高。排种盘转速对种子破碎率 y 影响不明显。

表1 试验结果

Table 1 Experimental results

序号	排种盘转速 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	型孔线速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	种床带速 ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	合格指数 A /%	重播指数 D /%	漏播指数 M /%	变异系数 C /%	破碎率 y /%
1	30	0.19	2.9	96.6	1.9	2.4	6.0	0
2	45	0.28	4.3	98.4	1.3	0.3	5.5	0
3	60	0.38	5.8	98.8	1.2	0.2	2.6	0
4	75	0.47	7.2	97.4	1.7	0.9	10.1	0.1
5	90	0.57	8.6	96.1	2.0	1.8	13.4	0
6	105	0.66	10.1	95.8	2.4	1.9	15.8	0
7	120	0.75	11.5	94.7	3.6	2.2	15.9	0
8	135	0.85	13.0	90.3	4.3	5.3	16.3	0.1
9	150	0.94	14.4	82.2	8.7	9.1	20.0	0
10	165	1.04	15.8	83.7	6.2	10.1	21.5	0
11	180	1.13	17.3	67.9	15.4	16.7	26.1	0.1

部分排出充种区的种子与型孔内种子发生碰撞, 在排种盘低转速时少量型孔内种子来不及受到钢丝清种装

置的护种而在清种处弹出, 导致排种器低转速时的合格指数降低。

在粒距 10 cm, 种床带速 10.1 km/h 时, 合格指数 $A > 95\%$, 重播指数 $D < 5\%$, 漏播指数 $M < 5\%$, 此时型孔的线速度为 0.66 m/s。

4 结 论

设计了一种摩擦式精密排种器, 提出了依靠摩擦式排种盘对种子的摩擦力驱使种子流动、受压, 来提高型孔极限线速度的方法。研究了种子在充种空间内的受力、运动机理, 为该排种器的设计提供了基础。

样机台架试验表明, 在粒距 10 cm, 种床带速 10.1 km/h 时, 型孔的极限线速度达到 0.66 m/s, 明显高于仅重力充种时的极限线速度, 此时合格指数 $> 95\%$, 重播指数 $< 5\%$, 漏播指数 $< 5\%$ 。该排种器能够满足高速精播要求。

立式圆盘排种器采用摩擦式排种盘、压板结构可以提高型孔充填极限线速度, 但影响播种性能的因素很多, 由于该排种器处于初步研究阶段, 各参数未达到最佳, 还需要进一步研究。试验中发现排种器不仅要解决排种时种子充填问题, 还要解决排种时投种的精准问题。

【参 考 文 献】

- [1] 张泽平, 马成林, 左春桢. 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, Zuo Chuncheng. The development of the seed-metering device for precision planter and its theoretical study[J]. Journal of Jilin University, Engineering and Technology Edition, 1995, 25(4): 112—116. (In Chinese with English abstract)
- [2] 罗锡文, 刘涛, 蒋恩臣, 等. 水稻精量穴直播排种轮的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2007, 23(3): 108—112.
Luo Xiwen, Liu Tao, Jiang Enchen, et al. Design and experiment of hill sowing wheel of precision rice direct-seeder[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(3): 108—112. (in Chinese with English abstract)
- [3] 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, 2010, 19(3): 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, 2010, 19(3): 109—113. (in Chinese with English abstract)
- [4] 汤楚宙, 罗海峰, 吴明亮, 等. 变容量型孔轮式排种器设计与试验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(12): 114—119.
Tang Chuzhou, Luo Haifeng, Wu Mingliang, et al. Design and test on seed metering device with variable capacity model-hole roller[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(12): 114—119. (in Chinese with English abstract)
- [5] 刘文忠, 赵满全, 王文明, 等. 气吸式排种装置排种性能理论分析与试验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 133—138.
Liu Wenzhong, Zhao Manquan, Wang Wenming, et al. Theoretical analysis and experiments of metering performance of the pneumatic seed metering device[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(9): 133—138. (in Chinese with English abstract)
- [6] 孙裕晶, 马成林, 李萌. 加压条件下气力轮式精密排种器性能分析[J]. 农业机械学报, 2009, 40(7): 72—77.
Sun Yujing, Ma Chenglin, Li Meng. Analysis on performance of an air-blowing vertical-rotor type Precision seed-metering device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(7): 72—77. (In Chinese with English abstract)
- [7] 刘宏新, 王福林, 杨广林. 新型立式复合圆盘大豆精密排种器研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(10): 112—116.
Liu Hongxin, Wang Fulin, Yang Guanglin. New vertical composite plate soybean precision seed-metering device[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(10): 112—116. (In Chinese with English abstract)
- [8] 胡建平, 李宣秋, 左志宇. 磁吸滚筒式精密排种器试验及参数优化[J]. 农业工程学报, 2007, 23(9): 115—117.
Hu Jianping, Li Xuanqiu, Zuo Zhiyu. Experiment and parameter optimization of magnetic precision cylinder-seeder[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(9): 115—117. (in Chinese with English abstract)
- [9] 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]. 吉林工业大学自然科学学报, 2000, 30(1): 16—20.
Yu Jianqun, Ma Chenglin, Yang Haikuan, et al. Study on the cell of combination inner cell corn precision seed-metering device[J]. Natural Science Journal of Jilin University of Technology, 2000, 30(1): 16—20. (In Chinese with English abstract)
- [10] Barut Z B, Ozmerzi A. Effect of different operating parameters on seed holding in the single seed metering unit of a pneumatic planter[J]. Turkish Journal of Agriculture Forestry, 2004, 28(6): 435—441.
- [11] 郝心亮. 复合充种式排种器的研究[J]. 农业工程学报, 2001, 4(7): 62—65.
Hao Xinliang. Study on seed-metering device with compound filling seeds[J]. Transactions of the CSAE, 2001, 4(7): 62—65. (in Chinese with English abstract)
- [12] 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007: 357—358.
- [13] 北京农业工程大学. 农业机械学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [14] 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 with English abstract)
- [15] GB/T6973—2005, 单粒(精密)播种机试验方法[S].

Design and experiment of friction vertical plate precision seed-metering device

Wang Yecheng^{1,2}, Qiu Lichun^{1*}, Zhang Wenjiao², Li Qichao²

(1. College of Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China;

2. College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: In order to solve the problems of low dropping limit velocity and small filling power, a new type of friction plate precision seed-metering device was devised, and the force and movement mechanism of seeds were analyzed in the course of filling seeds space. The seeds were driven to flow by the friction on the friction plate, and the filling power increased as well as the efficiency was improved. The new device was tested on test bench and the result indicated that when the plant spacing was 10cm, seedbed belt speed was 10.1 km/h, the limited speed of seed plate reached to 0.66m/s, and the qualification index was higher than 95%, overlapping seeding index was lower than 5% and missing seeding index was lower than 5%. It is shown that the seed meter is suitable for high-speed and accurate sowing.

Key words: agricultural machinery, friction, experiments, precision seed-metering device, dropping frequent