

倾斜双圆环型孔圆盘式玉米排种器设计与试验

耿端阳¹ 张明源² 何珂¹ 李玉环¹ 解春季¹ 金诚谦¹

(1. 山东理工大学农业工程与食品科学学院, 淄博 255000; 2. 雷沃重工股份有限公司, 潍坊 261206)

摘要: 针对现有气力式排种器作业质量受外界条件影响大以及传统机械式排种器难以满足高速播种要求的问题, 设计了一种结构简单、充种效果好、可适应高速作业要求的倾斜圆盘式排种器; 以黄淮海地区玉米种子的物料学特性为基础, 对该排种器的充种、清种以及主要结构参数的确定方法进行了研究。采用二次正交旋转试验对其排种性能进行了试验, 建立了排种器性能指标(合格指数、重播指数和漏播指数)与排种器倾角、型孔数、型孔盘转速的回归方程, 确定了各参数对性能指标的影响规律, 并进行了优化计算, 对优化结果进行了验证试验。最后进行了田间试验, 结果表明: 在倾角为 39°、型孔数为 30 个、机器前进速度为 8.2 ~ 11.9 km/h 时, 排种器合格指数大于 90%, 重播指数小于 3%, 漏播指数小于 8%, 均满足国家相关标准要求。

关键词: 玉米排种器; 倾斜圆盘; 型孔; 双圆环; 正交试验

中图分类号: S223.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2018)01-0068-09

Design and Experiment of Declined Disc Plate with Double Ring Corn Metering Device

GENG Duanyang¹ ZHANG Mingyuan² HE Ke¹ LI Yuhuan¹ XIE Chunji¹ JIN Chengqian¹

(1. School of Agricultural Engineering and Food Science, Shandong University of Technology, Zibo 255000, China

2. Foton Lovol International Heavy Industry Co., Ltd., Weifang 261206, China)

Abstract: Under the influence of medium and high power tractor driving the sowing machine, high-speed precise seeding technology has become an important direction of corn seeder development. So the corn metering device which is the core component of corn seeder attracted many experts and scholars to study. And the results dedicates that the existing pneumatic metering device existed inaccurate sowing precision and the mechanical metering device owns poor adaptability for high-speed operation. According to the above practical problems, a declined disk corn metering device was designed which owned advantages such as simple structure and good seeding performance. The declined dick metering device used angle strengthen sufficient effect and type hole plate to reduce the damage of seeds. The key parameters such as the inclination of the seed metering device and the main structure of the type hole plate were analyzed and determined. Based on the results of the orthogonal rotational combination experiment on the metering device test bed JPS-12, the performance of the metering device was analyzed and the regression equation was obtained between working parameters (the declination angle, number of the type hole, velocity of the type hole plate) and metering performance index. Then the optimized calculation was carried out. According to the optimization results, the speed adaptability test was carried out, the results showed that when the declination angle was 39°, the number of type hole was 30, the speed of the plant was 8.2 ~ 11.9 km/h, the metering device qualified rate was more than 90%, the leakage rate was less than 3% and the replanting rate was less then 8%, which could completely meet the requirement of technical specifications of quality evaluation for drills in China.

Key words: metering device of corn; declined disk; type hole; double ring; orthogonal rotational test

0 引言

目前,常用的玉米排种器主要有机械式、气吸式

和气吹式 3 大类^[1]。其中气吸式和气吹式排种器对种子适应性强、损伤轻,但其结构复杂,成本较高,且排种质量受气流速度和压力影响较大,严重制约了

气力式排种器的推广应用^[2-4]。而机械式排种器虽然具有结构简单、成本低廉等优点,但是由于受到结构和工作原理的限制,在播种机高速作业时,排种质量明显下降^[5-6]。因此在土地集约化经营和中大功率拖拉机带动播种机高速高效播种的影响下^[7],研究适用于高速播种的机械式排种器显得尤为重要。

国内许多专家学者在该方面进行了研究^[8-15]。这些研究虽然对机械式玉米排种器的某一特性进行了有益的探索,但是基本都未达到成熟、可靠的实用阶段。为此,借鉴相关研究成果^[16-19],本文设计一种结构简单、充种效果好、清种便捷且满足高速作业要求的倾斜双圆环型孔圆盘式玉米精量排种器。

1 结构与工作原理

倾斜圆盘式排种器主要由型孔盘、清种器、投种器、定盘、护种板、罩壳、窥视孔盖和驱动齿轮等部件组成。定盘与水平面呈一倾角固定,且在投种位置设有投种口,型孔盘紧靠在定盘上;罩壳与型孔盘共同组成排种器容腔,罩壳外部设有窥视孔盖,型孔盘上方设有与型孔配合的清种器和投种器,罩壳内部下侧设置有护种板,护种板与型孔盘共同确定了容种腔种子的充盈高度,构成了容种腔。其结构如图 1 所示。

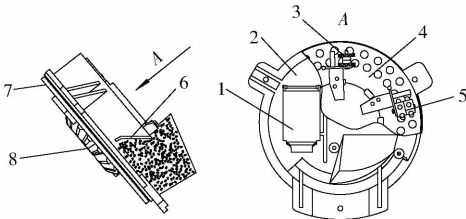


图 1 排种器结构图

Fig.1 Structure diagram of seeder

1. 窥视孔盖 2. 罩壳 3. 清种器 4. 型孔盘 5. 投种器 6. 护种板 7. 定盘 8. 驱动齿轮

排种器工作时,驱动齿轮带动型孔盘转动,当型孔转动至容种腔时,种子在自身重力和其上层种子压力的共同作用下充入双圆环型孔内,由于型孔盘面上采用了双圆环型孔分布结构,可以有效降低型

孔盘工作时的转速,延长了型孔的充种时间,降低了种子因为离心力作用飞离型孔的概率,较好地解决了当前机械式排种器高速播种充种性能差的问题。随着型孔盘的转动,当型孔转离容种腔后,在清种区内位于型孔中多余的种子便在重力作用下自主滑落,对于型孔中未能滑落的多余种子,则由位于排种盘最上部的清种器完成清种过程;当充有单粒种子的型孔经过携种区到达投种区时,该种子便由啮合式投种器强制投出型孔,完成排种器的投种过程,如图 2 所示。

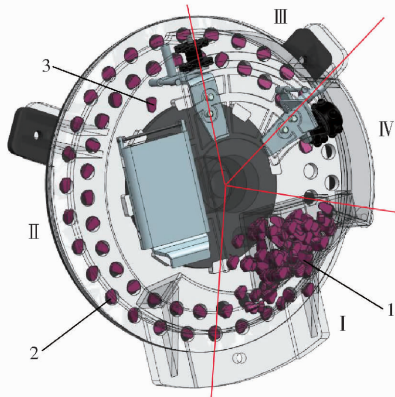


图 2 排种器工作过程示意图

Fig.2 Process diagram of seeder

1. 容种腔 2. 充入型孔的种子 3. 自清的种子 I. 充种区 II. 清种区 III. 携种区 IV. 投种区

2 结构参数分析

2.1 玉米种子物料学特性

为保证玉米种子对型孔的充填效果,实现型孔中多余种子的顺利清种和后续投种工作,并减少投、清种过程的种子损伤,对当前黄淮海地区应用较多的 3 种主要玉米品种进行了外形尺寸统计测量,每种取样 1 000 粒,分别对其长度 l 、宽度 b 、厚度 n 三维尺寸进行统计,结果如图 3 所示。

由图 3a 可知,90% 以上的种子长度 l 范围在 11 ~ 13 mm; 由图 3b 可知,超过 90% 的种子宽度 b 范围在 9 ~ 11 mm; 由图 3c 可知,90% 以上的种子厚

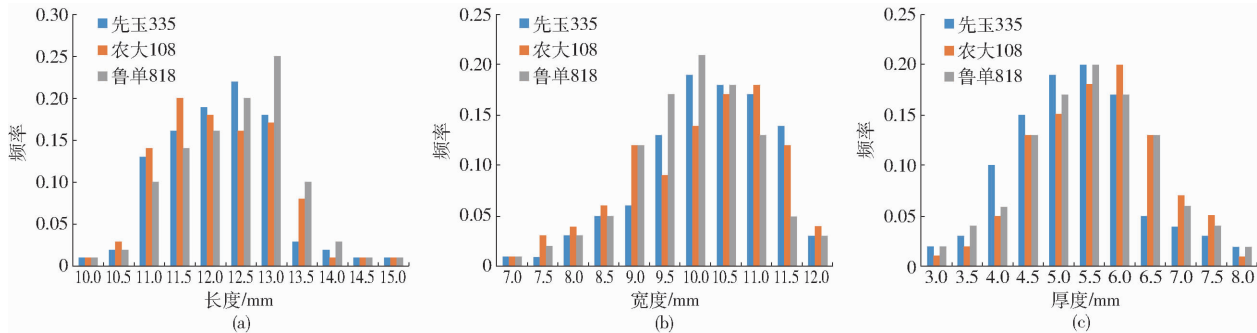


图 3 种子尺寸分布频率图

Fig.3 Probability of seed's dimension

度 n 范围在 4.5 ~ 6.0 mm。

2.2 型孔盘倾角的确定

型孔盘的倾角对该排种器性能有很大影响。为保证容种腔内种子能够滑向充种位置以及充种后多余种子在清种区Ⅱ能自流清种,必须保证种子能在重力作用下沿型孔盘自动下滑。设种子的摩擦角为 φ ,型孔盘倾角为 α ,为了保证种子能够稳定向下滑落,则型孔盘的倾角 α 要大于等于种子的摩擦角 φ ,即

$$\alpha \geq \varphi \tag{1}$$

通过测量玉米种子的摩擦角约为 28° ,则排种盘的角度 $\alpha \geq 28^\circ$ 。

容种腔内种子首先滑落到型孔位置处,对即将充入型孔的种子进行受力分析,如图 4 所示。该过程种子受力主要包括重力 F_g ,上层种子对其的垂直压力 F_v ,以及种腔种子对型孔上方种子产生的水平侧压力 F_h ,在上述 3 个力作用下,种子产生沿型孔轴线方向的充填力 F_t 。显然,充填力 F_t 越大,则越有利于种子充入型孔。

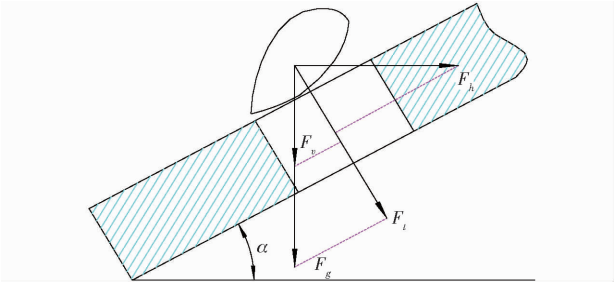


图 4 种子充填型孔过程的受力分析图
Fig.4 Stress analysis of seed filling cell process

由图 4 可知,此时种子受到的充填力 F_t 为

$$F_t = (F_g + F_v) \cos \alpha + F_h \sin \alpha \tag{2}$$

由于护种板限制了种子的充盈高度,且排种器的容种腔高度较小,故可视该容种腔为浅仓^[20]。

在容种腔内,有

$$\begin{cases} K = \frac{F_h}{F_v} \\ F_v = \gamma_s y \end{cases} \tag{3}$$

式中 γ_s ——物料重度,玉米种子为 $9.96 \sim 10 \text{ kN/m}^3$
 y ——充种高度,本排种器充种高度将受到护种板限制

K ——压力比

由于玉米种子的粘聚力为零,故有

$$K = \frac{F_h}{F_v} = \frac{1 - \sin \varphi_i}{1 + \sin \varphi_i} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_i}{2} \right) \tag{4}$$

式中 φ_i ——种子内摩擦角,玉米种子为 $18^\circ \sim 20^\circ$

$$F_g = mg / (lb) \tag{5}$$

试验用 3 种玉米种子平均百粒质量 26 ~ 30 g,种子长度 l 取 11 ~ 13 mm,种子宽度 b 取 9 ~ 11 mm。

将式(3) ~ (5)代入式(2),则有

$$F_t = \left(\frac{g}{l} + \gamma_s y \right) \cos \alpha + \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_i}{2} \right) \gamma_s y \sin \alpha \tag{6}$$

由式(6)可知,充填力与充种高度 y 、倾角 α 相关。应用 Matlab 绘制填充力与倾角、充种高度的关系图,如图 5 所示。

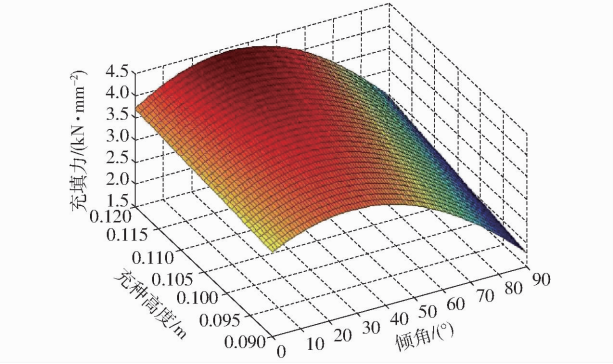


图 5 充填力曲面
Fig.5 Stress filling cell function surface

由图 5 可知,排种器的充填应力随倾斜角度的增大呈先增大后减小的趋势,且在 $16^\circ \sim 44^\circ$ 角度范围内变化较小,结合上文种子沿型孔盘的自流角必须大于 28° ,倾斜角度的最佳范围是 $[28^\circ, 44^\circ]$,而排种器的充填应力随充种高度增加而缓慢增大,考虑到容种腔与清种位置影响,充种高度范围为 $[0.09 \text{ m}, 0.11 \text{ m}]$,故设计时选取充种高度与型孔盘中心至水平面垂直距离基本相等,即 0.11 m。

2.3 型孔分布与结构

2.3.1 型孔尺寸确定

型孔尺寸对种子的充孔姿态有很大影响。为尽量提高型孔充种的单粒率,型孔直径并未大于种子的最大长度,因而种子在充填力作用下充入型孔较少为平躺姿态。考虑极端情况,即一端先充入,另一端后充入,如图 6 所示,对其进行受力分析,则种子受力包括重力 mg ,A、B 接触点的支反力 N_A 、 N_B 以及摩擦力 F_A 、 F_B 。

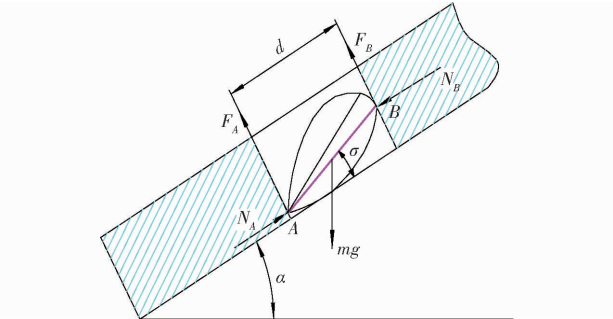


图 6 种子在型孔不被卡住的条件
Fig.6 Condition that seed cannot be stuck in cell

设型孔直径为 d ,种子与型孔的接触点为 A、B,

AB 连线与型孔盘底面的夹角为 σ , 型孔盘与水平面的夹角为 α , 则当种子卡在型孔时, 由 $\sum M_A(F) = 0$ 近似有

$$mg\cos\alpha \frac{d}{2} \geqslant mg\sin\alpha \frac{l}{2} \sin\sigma + N_B l \sin\sigma + F_B d \quad (7)$$

由 $\begin{cases} \sum X = 0 \\ \sum Y = 0 \end{cases}$ 有

$$\begin{cases} N_A = mg\sin\alpha + N_B \\ F_A + F_B = mg\cos\alpha \\ F_B = fN_B \\ F_A = fN_A \end{cases} \quad (8)$$

式中 f ——种子与型孔内壁摩擦因数, 一般为 $0.53 \sim 0.85$ ^[21-22]

忽略种子接触点的圆弧误差, 则

$$\cos\sigma \approx \frac{d}{l} \quad (9)$$

对式(9)化简, 有

$$\tan\sigma \leqslant f^2 \tan\alpha \quad (10)$$

α 由上文可知取 $[28^\circ, 44^\circ]$, 所以要保证种子不卡在型孔中, 有

$$\sigma \leqslant 3.94^\circ \quad (11)$$

型孔直径 d 的下限至少大于等于种子的宽度, 由上文知玉米种子长度 l 范围 $11 \sim 13$ mm, 宽度 b 范围 $9 \sim 11$ mm, 所以 d 的选择应满足

$$b < d \leqslant l \cos\sigma$$

即 $11 \text{ mm} < d \leqslant 12.96 \text{ mm}$ 。

为保证充种的可靠性, 型孔直径不应过小。最终选择型孔直径 12 mm。

2.3.2 型孔分布方式和内外型孔环直径的确定

为了降低型孔盘的转动速度, 本排种器采用双圆环型孔结构, 内外环型孔采用错位布置方式。这样充有种子的型孔转至投种区域时, 型孔内种子将以内、外环型孔交替方式依次被投种器投出, 这样实现了在型孔盘低速转动满足高速播种的要求。

本排种器设计需要满足播种机高速和低速作业的要求, 设机器作业速度为 v , 排种器转速为 n , 排种器每转内外环型孔数为 N , 玉米播种株距为 s , 取 0.25 m, 则 t 时间后排种器排出的种子数为

$$N_1 = 2Nnt \quad (12)$$

t 时间机器实际需要播种的株数

$$N_2 = \frac{vt}{s} \quad (13)$$

由 $N_1 = N_2$, 解得

$$n = v / (2sN) \quad (14)$$

由式(14)可知, 对于不同作业速度, 型孔盘应该有不同的转速。例如当播种机的作业速度为 12 km/h, 型孔数为 26、28、30、32、34 时, 型孔盘转速为 15.3、14.2、13.3、12.4、11.7 r/min。

随着型孔盘每周型孔数越多, 型孔盘转速越低, 则充种时间越长, 越有利于保证型孔的充种性能。

由于充种容腔内种子受到型孔盘转动的影响, 多数种子会沿着与型孔盘平行的姿态分布^[23], 所以为了保持种子以该姿态在复合填充力作用下稳定落入型孔, 须保证同一环型孔间距能至少驻存一粒种子, 内外环型孔环之间能够驻留一粒种子。

故内环最小直径

$$d_{i1} = \frac{2Nd}{\pi} \quad (15)$$

外环最小圆周直径

$$d_{i2} = d_{i1} + 2d \quad (16)$$

最小内外环直径如表 1 所示。

表 1 最小型孔环直径					
Tab.1 Minimum cell ring diameter					mm
型孔数	26	28	30	32	34
内环直径	198	213	220	244	259
外环直径	222	237	243	268	283

由式(15)、(16)可知, 在型孔直径确定的情况下, 型孔数目影响型孔环直径, 型孔越多, 型孔盘转速越低, 有利于提高充种率、降低破碎率, 但同时也会导致排种盘结构的增大; 反之, 型孔越少, 在保证播种株距前提下, 型孔盘转速会有所提升。

考虑到排种器需安装在播种机上, 结构尺寸不宜过大, 型孔盘直径选择 290 mm, 故型孔数目范围需小于等于 34。

2.3.3 清种器与投种器

为了进一步提高充种的单粒率, 种子除了在清种区Ⅱ内采用自流清种外, 还在型孔盘顶部(自流清种末端)设有可防止种子破碎的弹性清种器, 如图 7 所示。

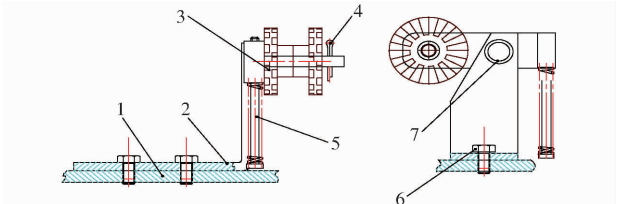


图 7 弹性清种器结构图

Fig.7 Structure diagram of elastic seed cleaner

1.罩壳 2.连接板 3.清种盘片 4.开口销 5.弹簧 6.螺栓 7.销

该弹性清种器主要对不能通过自流清种的多余

种子进行强制清种。即通过弹簧使清种盘片紧靠在型孔盘面型孔位置,当出现未能通过自流清种的多余种子滞留于型孔内时,清种盘片就会将多余的种子强制清出,从而保证排种器的单粒播种率要求。

考虑种子以倾斜姿态充入型孔,可能出现种子因为卡滞而不能顺畅从型孔落入投种口,所以在投种口位置设有啮合式投种器,该啮合式投种器采用与双圆环型孔啮合的双排行星轮式结构,如图 8 所示,在型孔转到投种口位置时,通过行星轮与型孔的啮合作用实现型孔内种子的强制排出,从而保证投种过程的稳定性和可靠性。

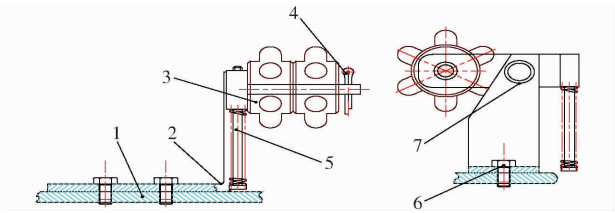


图 8 啮合式投种器结构图

Fig. 8 Structure diagram of apparatus

- 1.罩壳 2.连接板 3.投种轮 4.开口销 5.弹簧 6.螺栓
7.销

3 性能台架试验

3.1 试验材料与设备

试验材料:先玉 355 玉米种子,千粒质量 280.2 g,含水率 12.9%。

试验设备:JPS-12 型排种器性能检测试验台。

3.2 试验指标及方法

试验指标:由 GB/T 6937—2005《单粒(精密)播种机试验方法》,性能指数包括:

合格指数 $A = n_1 / N' \times 100\%$ (17)

重播指数 $D = n_2 / N' \times 100\%$ (18)

漏播指数 $M = n_3 / N' \times 100\%$ (19)

式中 n_1 ——单粒排种数

n_2 ——2 粒以上排种数

n_3 ——漏排种数

N' ——理论排种数

采用三因素五水平的二次旋转组合设计进行试验研究,选择倾角、型孔数、型孔盘转速作为试验因素。通过调节排种器固定点实现倾角变化,自制多种型孔数的型孔盘,通过更换型孔盘调节型孔数,型孔盘转速由调速电动机提供,通过调节步进电动机实现型孔盘转速的改变。试验因素编码表如表 2 所示,试验方案及结果如表 3 所示。 X_1 、 X_2 、 X_3 为因素编码值。

3.3 试验结果分析

3.3.1 回归分析

试验结果采用 DPS 数据处理系统进行回归分

表 2 试验因素编码

Tab. 2 Codes of factors and levels

编码	因素		
	倾角/ (°)	型孔数	型孔盘转速/ (r·min ⁻¹)
1.682	44.00	34	18
1	40.75	32	16
0	36.00	30	14
-1	31.25	28	12
-1.682	28.00	26	10

表 3 试验方案与结果

Tab. 3 Experimental project and results

序号	倾角 X_1	型孔数 X_2	型孔盘 转速 X_3	合格指 数 $A/\%$	重播指 数 $D/\%$	漏播指 数 $M/\%$
1	1	1	1	89.46	2.87	7.67
2	1	1	-1	90.77	2.67	6.56
3	1	-1	1	92.69	2.43	4.88
4	1	-1	-1	91.06	3.18	5.76
5	-1	1	1	92.85	5.78	1.37
6	-1	1	-1	93.65	4.17	2.18
7	-1	-1	1	90.21	8.12	1.67
8	-1	-1	-1	90.21	8.58	1.21
9	1.682	0	0	89.67	2.89	7.44
10	-1.682	0	0	90.80	7.23	1.97
11	0	1.682	0	89.79	3.11	7.10
12	0	-1.682	0	88.02	8.79	3.19
13	0	0	1.682	97.31	1.98	0.71
14	0	0	-1.682	97.03	2.10	0.87
15	0	0	0	97.21	2.11	0.68
16	0	0	0	96.97	2.32	0.71
17	0	0	0	97.16	2.19	0.65
18	0	0	0	95.80	3.43	0.77
19	0	0	0	97.41	2.08	0.51
20	0	0	0	93.96	2.17	3.87
21	0	0	0	96.75	2.69	0.56
22	0	0	0	95.77	2.81	1.42
23	0	0	0	97.03	2.51	0.46

析,以确定各试验指标在不同试验因素水平组合下的变化规律。具体数据分析如表 4~6 所示。

表 4 方差分析表明试验指标回归方程与试验数据拟合较好,可得合格指数与各因素编码值的回归方程为

$$y_1 = 96.451 - 0.625X_1 + 0.134X_2 - 0.271X_3 - 2.200X_1^2 - 2.670X_2^2 + 0.251X_3^2 - 0.737X_1X_2 + 0.602X_1X_3 - 0.005X_2X_3$$
 (20)

同理可得重播指数与各因素编码值的回归方程为

$$y_2 = 2.473 - 1.680X_1 - 1.198X_2 + 0.029X_3 + 0.966X_1^2 + 1.281X_2^2 + 0.10X_3^2 + 0.835X_1X_2 + 0.375X_2X_3 - 0.21X_1X_3$$
 (21)

表 4 合格指数试验结果方差分析

Tab.4 Variance analysis of test results for qualified rate

来源	平方和	自由度	均方	F
X_1	5.34	1	5.34	3.95
X_2	0.24	1	0.24	0.18
X_3	1.00	1	1.00	0.74
X_1^2	76.95	1	76.95	56.98
X_2^2	113.35	1	113.35	83.94
X_3^2	1.00	1	1.00	0.74
X_1X_2	4.35	1	4.35	3.22
X_1X_3	2.90	1	2.90	2.15
X_2X_3	0	1	0	0
回归	204.16	9	22.68	$F_2 = 16.79$
剩余	175.55	13	1.35	
失拟	7.77	5	1.55	$F_1 = 1.27$
误差	9.78	8	1.22	
综合	221.72	22		

注： $F_{0.05}(5,8)=3.69,F_{0.01}(9,13)=4.19,F_{0.1}(1,13)=3.14$,下同。

表 5 重播指数试验结果方差分析

Tab.5 Variance analysis of test results for replanting rate

来源	平方和	自由度	均方	F
X_1	38.06	1	38.06	87.11
X_2	19.62	1	19.62	44.92
X_3	0.01	1	0.01	0.02
X_1^2	14.85	1	14.85	33.90
X_2^2	24.09	1	24.09	59.71
X_3^2	0.16	1	0.16	0.37
X_1X_2	5.57	1	5.57	12.76
X_1X_3	0.36	1	0.36	0.82
X_2X_3	1.14	1	1.14	2.60
回归	105.67	9	11.74	$F_2 = 26.87$
剩余	5.68	13	0.43	
失拟	4.12	5	0.82	$F_1 = 3.23$
误差	1.60	8	0.19	
综合	111.34	22		

同理可得漏播指数与各因素编码值的回归方程为

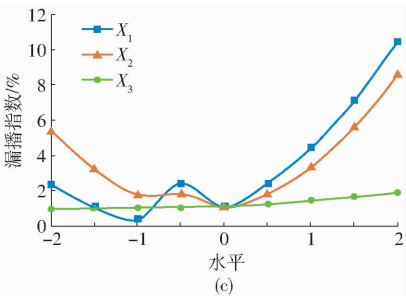
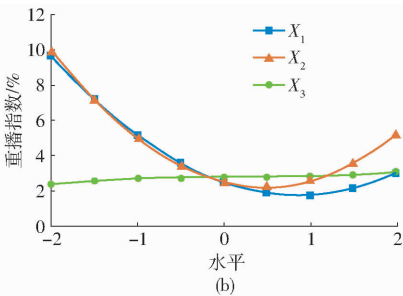
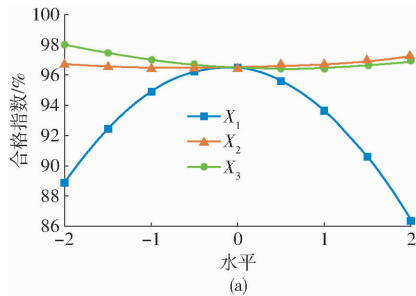
$$y_3 = 1.065 + 2.023X_1 + 0.793X_2 - 0.0284X_3 + 1.330X_1^2 + 1.485X_2^2 - 0.054X_3^2 + 0.365X_1X_2 + 0.072X_1X_3 + 0.09X_2X_3 \quad (22)$$


图 9 各因素对试验指标的影响

Fig.9 Effects of varying levels of each factor on test index

表 6 漏播指数试验结果方差分析

Tab.6 Variance analysis of test results for leakage rate

来源	平方和	自由度	均方	F
X_1	55.94	1	55.94	52.78
X_2	8.60	1	8.60	8.11
X_3	0.01	1	0.01	0.01
X_1^2	28.10	1	28.10	26.51
X_2^2	35.06	1	35.06	33.07
X_3^2	0.05	1	0.05	0.04
X_1X_2	1.07	1	1.07	1.00
X_1X_3	0.04	1	0.04	0.03
X_2X_3	0.06	1	0.06	0.06
回归	128.53	9	14.28	$F_2 = 13.47$
剩余	13.77	13	1.06	
失拟	4.32	5	0.86	$F_1 = 0.73$
误差	9.45	8	1.18	
综合	142.31	22		

3.3.2 排种性能分析

由回归方程可知,在试验范围内三因素对合格指数显著性影响大小顺序依次是:倾角、型孔盘转速和型孔数目;在试验范围内三因素对重播指数与漏播指数的显著性影响大小顺序是:倾角、型孔数目和型孔盘转速。

采用降维法将任意两个因素固定在零水平,分析另一单因素对试验指标的影响,三因素对合格指数影响结果如图 9a 所示。随着倾角增加,合格指数呈先上升后下降的趋势,增大型孔盘转速与型孔数目合格指数则呈逐渐下降趋于稳定趋势。

三因素对重播指数影响结果如图 9b 所示,随着倾角与型孔数增加,重播指数呈先下降后上升趋势,随着型孔盘转速增加,重播指数逐渐增加。

三因素对漏播指数影响结果如图 9c 所示,漏播指数随着倾角增大与型孔数增加呈上升趋势,随着型孔盘转速增加,漏播指数逐渐增大。

通过回归方程可知 X_1X_2 影响显著,利用 Matlab 绘制三维等值线图如图 10 所示。

由图 10a 可知在倾斜角度置于零水平之下时,随着倾斜角度的增加,合格指数随着型孔数目增多而上升;在倾斜角度置于零水平之上时,随着倾斜角度增加,合格指数随着型孔数目增多而下降。随着

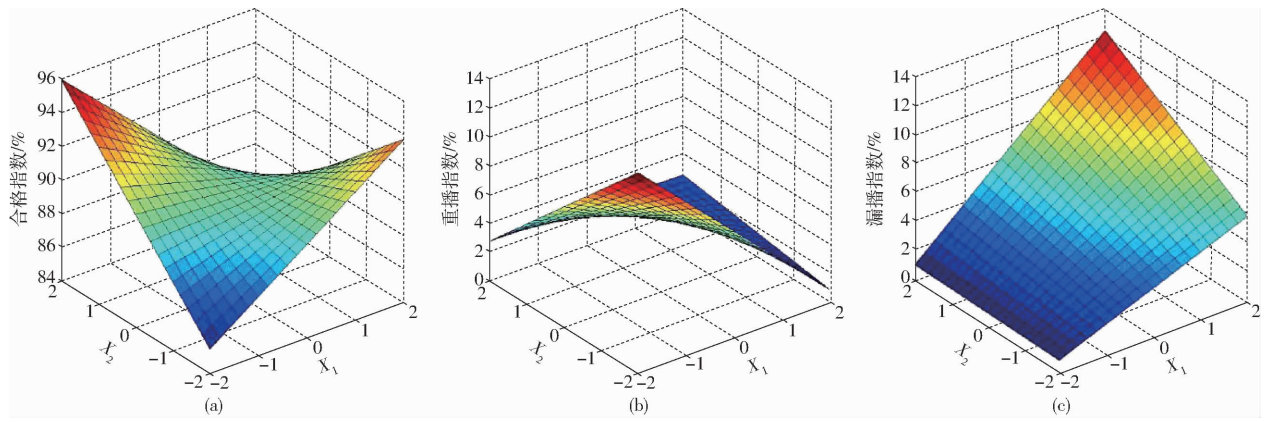


图 10 X_1 与 X_2 交互作用的影响

Fig. 10 Interaction effects analysis of X_1 and X_2

型孔数目增多,合格指数随着倾斜角度增加而呈一定下降趋势。

由图 10b 可知随着倾斜角度增加,重播指数随着型孔数目增多呈下降趋势;随着型孔数目增多,重播指数随着倾斜角度增加呈下降趋势。

由图 10c 可知随着倾斜角度增加,漏播指数随着型孔数目增多而上升,随着型孔数目增多,漏播指数随着倾斜角度增加而上升。

3.3.3 排种器性能优化

依玉米排种器田间作业国家标准要求可知,排种器合格指数大于 80%,重播指数小于 15%,漏播指数小于 8%。据此创建目标函数,将回归方程代入目标函数中,规划目标函数及约束条件为

$$F_{\max} = A - D - M \tag{23}$$

s. t.

$$\begin{cases} A > 80\% \\ D < 15\% \\ M < 8\% \\ 28^\circ \leq x_1 \leq 44^\circ \\ 26 \leq x_2 \leq 34 \\ 10 \text{ r/min} \leq x_3 \leq 18 \text{ r/min} \end{cases}$$

依据拉格朗日乘数法求解,圆整优化结果为:倾斜角度 39° ,型孔数目 30 个,型孔盘转速 11 r/min。

在此条件下进行验证试验,试验表明本排种器合格指数大于等于 97%,重播指数小于等于 1.5%,漏播指数小于等于 0.5%。

4 田间试验

根据上述优化计算结果,选择倾斜角度为 39° ,型孔数目 30 个进行排种器大田试验。试验于 2017 年 6 月 5—8 日在山东省淄博市淄川区赵瓦村试验田进行,试验机型为山东常林 2BMTF-5 型玉米免耕精量播种机,配套动力为雷沃欧豹 M1304-G 型拖拉机,动力输出轴转速为 540 r/min。图 11 为排种器田间试验情况。



图 11 排种器田间试验

Fig. 11 Field test of seed-metering device

试验田地土质疏松,小麦留茬高度 15 cm,试验小区长度选定为 70 m,每个小区内各含有 10 m 的启动区与停车区,通过秒表计时的方法测定工作速度,计时误差 ± 1 s。

试验设定播种株距 250 mm,考察排种器在 8.2、9.1、9.9、11.2、11.9 km/h 5 种机器前进速度下的工作性能(对应型孔盘转速分别为 9.1、10.1、11、12.4、13.2 r/min)。每次试验测定不低于 250 粒种子,每个速度水平进行 3 次重复,试验数据均依照 GB/T 6973—2005《单粒(精密)播种机试验方法》的统计方法进行处理。田间统计试验结果为:在各速度水平下,排种器合格指数均大于 90%,随着前进速度提高,漏播指数与重播指数均有所上升,但漏播指数仍小于 8%,重播指数仍小于 3%,符合国家标准要求。所以本排种器具有良好的适应性。

5 结论

- (1)从理论上探索了倾斜双圆环型孔式排种器主要结构参数的确定方法,并通过试验对其进行验证。
- (2)通过二次正交旋转试验建立了 3 个考察指标的回归方程,确定了影响合格指数、重播指数和漏播指数的主次因素。
- (3)确定了该型排种器的较优组合参数,在倾角 39° 、型孔数目 30 个、型孔盘转速 11 r/min 时,排种器合格指数大于等于 97%,重播指数小于等于

1. 5% ,漏播指数小于等于 0. 5% 。
- 度作业条件下,合格指数可达到 90% 以上,重播指数与漏播指数均符合国标要求。
- (4)田间试验表明,在 8. 2 ~ 11. 9 km/h 前进速

参 考 文 献

1 杨丽,颜丙新,张东兴,等. 玉米精密播种技术研究进展[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(11):38-48. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20161106&journal_id=jcsam. DOI:10. 6041/j. issn. 1000-1298. 2016. 11. 006.
YANG Li, YAN Bingxin, ZHANG Dongxing, et al. Research progress on precision planting technology of maize[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016,47(11):38-48. (in Chinese)

2 刘佳,崔涛,张东兴,等. 机械气力组合式玉米精密排种器[J/OL]. 农业机械学报,2012,43(2):43-47. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20120209&journal_id=jcsam. DOI:10. 6041/j. issn. 1000-1298. 2012. 02. 009.
LIU Jia, CUI Tao, ZHANG Dongxing, et al. Mechanical-pneumatic combined corn precision seed-metering device[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012,43(2):43-47. (in Chinese)

3 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/OL]. 农业机械学报,2012,43(增刊):48-53. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2012s10&journal_id=jcsam. DOI:10. 6041/j. issn. 1000-1298. 2012. S0. 010.
YANG Li, SHI Song, CUI Tao, et al. Air-suction corn precision metering device with mechanical supporting plate to assist carrying seed[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012,43(Supp.):48-53. (in Chinese)

4 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)

5 BEREKET B Z. Effect of different operating parameters on seed holding in the single seed metering unit of a pneumatic planter[J]. Turkish Journal of Agricultural Machinery, 2004, 28(6):435-441.

6 YAZGI A, DEGIRMENCIOGLU A. Optimization of the seed spacing uniformity performance of a vacuum-type precision seeder using response surface methodology[J]. Biosystems Engineering,2007,97(3):347-356.

7 温凤荣. 山东省玉米产业竞争力研究[D]. 泰安:山东农业大学,2014.
WEN Fengrong. Research on corn industry competitiveness of Shandong province[D]. Taian:Shandong Agricultural University, 2014. (in Chineses)

8 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,2003,34(1):99-103.
LIAO Qingxi, GAO Huanwen. Experimental study on performance of horizontal disc precision meter for corn seed[J]. Transactions of the CSAE, 2003,34(1):99-103. (in Chinese)

9 廖庆喜,高焕文. 玉米水平圆盘精密排种器种子破损试验[J]. 农业机械学报,2003,34(4):57-59.
LIAO Qingxi, GAO Huanwen. Experimental study on corn seed damaging in a horizontal plate precision metering[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2003,34(4):57-59. (in Chinese)

10 付威,李树峰,孙嘉亿,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)

11 李成华,夏建满,何波. 倾斜圆盘勺式精密排种器清种过程分析与试验[J]. 农业机械学报,2004,35(3):68-70.
LI Chenghua, XIA Jianman, HE Bo. Analysis and experiment of seed metering procedure in scoop metering device with declined disc[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(3):68-70. (in Chinese)

12 李成华,夏建满,何波. 倾斜圆盘勺式精密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)

13 何波,李成华,张玉娟. 倾斜圆盘勺式精密排种器分种勺持种空间分析[J]. 沈阳农业大学学报,2006,37(5):789-791.
HE Bo, LI Chenghua, ZHANG Yujuan. Analysis on seed holding space of metering scooping declined disc-scoop-type precision metering device[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2006, 37(5):789-791. (in Chinese)

14 何波,李成华,张家峰. 倾斜圆盘勺式精密排种器充种过程的种子运动分析[J]. 沈阳农业大学学报,2009,40(2):234-236.
HE Bo, LI Chenghua, ZHANG Jiafeng. Analysis on seed moving during filling process of declined disc scoop type precision metering device[J]. Journal of Shenyang Agricultural University,2009,40(2):234-236. (in Chinese)

15 耿端阳,李玉环,孟鹏祥,等. 玉米伸缩指夹式排种器设计与试验[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(5):38-45. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160506&journal_id=jcsam. DOI:10. 6041/j. issn. 1000-1298. 2016. 05. 006.
GENG Duanyang, LI Yuhuan, MENG Pengxiang, et al. Design and test on telescopic clip finger type of metering device[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016,47(5):38-45. (in Chinese)

- 16 ANANTACHAR M, PRASANNA K G V, GURUSWAMY T. Neural network prediction of performance parameters of an inclined plate seed metering device and its reverse mapping for the determination of optimum design and operational parameters [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2010, 72(2): 87–98.
- 17 MUKESH S, KUMAR A, RANI V, et al. Development and performance evaluation of multi crop planter in BT Cotton and DSR [J]. AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, 2015, 46(4): 39–44.
- 18 夏连明, 王相友, 耿端阳. 倾斜圆台型玉米精密排种器种子破损试验 [J/OL]. 农业机械学报, 2012, 43(12): 67–71. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20121213&journal_id=jcsam. DOI: 10. 6041/j. issn. 1000-1298. 2012. 12. 013.
- XIA Lianming, WANG Xiangyou, GENG Duanyang. Corn seed damaging experiment in turncated cone precision metering [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(12): 67–71. (in Chinese)
- 19 王峰霞. 圆盘型孔式精密排种器的研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- WANG Fengxia. The study on disc-shaped hole precision metering mechanism [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2014. (in Chinese)
- 20 周祖饬. 农业物料学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1994.
- 21 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)
- 22 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)
- 23 刘宏新, 刘俊孝, 唐师法, 等. 对置斜盘高速精密大豆排种器设计与充种机理分析 [J]. 农业工程学报, 2016, 32(20): 24–31.
- LIU Hongxin, LIU Junxiao, TANG Shifa, et al. Design on opposed inclined plate high speed pre-cison seed-metering device and its working mechanism analysis [J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(20): 24–31. (in Chinese)