

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.08.014

大豆播种机偏置双圆盘气吸式排种器*

赵佳乐¹ 贾洪雷² 姜鑫铭¹ 王玉¹ 王刚¹ 郭慧¹

(1. 吉林大学生物与农业工程学院, 长春 130025; 2. 吉林大学工程仿生教育部重点实验室, 长春 130025)

摘要: 设计了一种大豆播种机偏置双圆盘气吸式排种器。通过分析偏置双圆盘气吸式排种器取种、排种作业原理, 对其关键部件进行了设计、优化。以排种器播种吸盘转速、气流运动速度为试验因素, 漏播率为试验指标分别进行单因素试验和二次通用旋转组合试验, 运用 Design-Expert 软件得出回归曲面并建立数学模型, 得出最佳因素组合为气流速度 220 m/s、排种器播种吸盘转速 100 r/min, 此时漏播率为 2.72%。

关键词: 大豆 排种器 气吸式 性能 设计

中图分类号: S222.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)08-0078-06

Suction Type Offset Double Disc Seed Metering Device of Soybean Seeder

Zhao Jiale¹ Jia Honglei² Jiang Xinming¹ Wang Yu¹ Wang Gang¹ Guo Hui¹

(1. College of Biological and Agricultural Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China

2. Key Laboratory of Bionic Engineering, Ministry of Education, Jilin University, Changchun 130025, China)

Abstract: A double offset disc air-suction seed metering device for soybean was designed. The key parts of seed metering device was designed and optimized based on the working principles of seed taking and seed metering. The single factor experiments and the quadratic general rotary unitized design were carried out with the rotational speed and air velocity as experimental factors and seed missing rate as experimental index. The regression surface was obtained and its mathematical model was built by using the Design-Expert software. The results showed that the air velocity of 220 m/s and rotational speed of 100 r/min were the best combination factors, which led to the seed missing rate of 2.72%.

Key words: Soybean Seeder Suction type Performance Design

引言

排种器主要分为气吸式排种器和机械式排种器两种^[1~2]。气吸式排种器主要有组合吸孔气吸式排种器、气吸滚筒式排种器等^[3~4]。机械式排种器主要有倾斜圆盘勺式排种器、组合内窝孔玉米精密排种器等^[5~9]。近年来随着运用大马力拖拉机进行耕种作业成为主要趋势, 播种作业的速度最高可达 8 km/h, 传统排种器的播种频率已无法满足作业要求^[10~14]。本文设计一种播种频率符合高速作业要求的大豆播种机偏置双圆盘气吸式排种器, 设有圆锥式吸种孔和球状对称曲面取种机构, 将机械式排

种器与气吸式排种器的优点结合起来, 实现低重播、低漏播、低破碎、高频率的作业要求。

1 排种器结构与工作原理

偏置双圆盘气吸式排种器主要由种箱、运种圆盘、播种吸盘、球状对称曲面取种夹、密闭风箱和圆锥式吸种孔等构成, 如图 1 所示。每两个球状对称曲面取种夹、两根空心轴、两根弹簧和两根实心轴组成一组球状对称曲面取种机构。弹簧的两端分别焊接在播种吸盘和球状对称曲面取种夹上, 实心轴与播种吸盘焊接, 空心轴与球状对称曲面取种夹焊接, 弹簧缠绕在实心轴上, 弹簧、空心轴、实心轴以轴线重合的方式套接在一

收稿日期: 2013-01-24 修回日期: 2013-01-30

* “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD20B09)

作者简介: 赵佳乐, 博士生, 主要从事全程机械化与保护性耕作理论与技术研究, E-mail: zhaojiale0313@163.com

通讯作者: 贾洪雷, 教授, 博士生导师, 主要从事全程机械化与保护性耕作理论与技术研究, E-mail: jiahl@vip.163.com

起。球状对称曲面取种夹、空心轴、弹簧受到种子挤压时可沿实心轴轴线移动, 弹簧对种子施加沿实心轴轴线方向上的力。圆锥式吸种孔最下端面为半径 3 mm 的圆, 最上端面为半径 4.32 mm 的圆, 孔长为 4 mm。圆

锥式吸种孔、球状对称曲面取种夹的内壁上都贴有泡沫薄膜, 种子与其接触时泡沫薄膜的形状可以改变, 使种子表面与圆锥式吸种孔、球状对称曲面取种夹完全接触, 能够有效地夹持种子并降低伤种率。

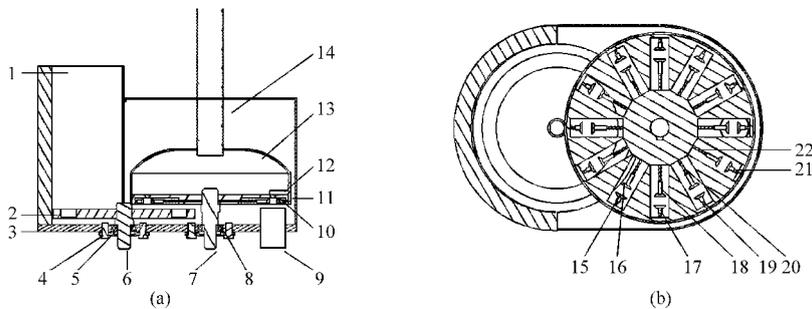


图 1 排种器结构

Fig. 1 Structure of seed metering device

(a) 主视图 (b) 俯视图

1. 种箱 2. 运种圆盘 3. 排种器盖 4. 轴承端盖 5. 运种圆盘轴承 6. 运种圆盘轴 7. 播种吸盘轴 8. 播种吸盘轴承 9. 排种管
10. 圆锥式吸种孔 11. 播种吸盘 12. 橡胶挡风板 13. 密闭风箱 14. 通风管 15、16 球状对称曲面取种夹 17、18. 空心轴 19、20. 弹簧
21、22. 实心轴

充种时种箱内的种子掉落进运种圆盘的凹槽内, 随运种圆盘转动至播种吸盘下方。风机使播种吸盘上、下两侧产生负压, 气流产生运动, 凹槽内的种子受到气流运动所产生的吸力 F_1 作用开始向吸种孔方向运动。因为吸种孔最下端面为半径 3 mm 的圆, 而大豆种子的球形率大于 90% 且半径均大于 3 mm, 所以率先与吸种孔接触的种子会将吸种孔下端堵住, 使吸种孔下端的气体停止流动, 其余未与吸种孔相接触的种子不再受到气流吸力 F_1 作用而掉落, 进而保证一组球状对称曲面取种夹只夹持一粒种子^[15]。此时堵住吸种孔的种子也不再受到气流吸力 F_1 作用, 但受到负压产生的压力 F_p 、自身重力 G 、球状对称曲面取种夹的压力 F_3 、 F_4 、 F_6 、 F_7 、离心力 F_8 、吸种孔下端边缘的支撑力 F_2 、 F_5 的共同作用, 如图 2 所示。 F_2 、 F_5 的值并不固定, 可以根据其他力的变化而变化, 使种子在轴向、径向上受力达到平衡, 满足

$$F_p - G - F_3 - F_4 = F_2 \quad (1)$$

$$F_6 + F_8 - F_7 = F_5 \quad (2)$$

种子在球状对称曲面取种夹夹持下, 随播种吸盘匀速转动, 排种器完成取种作业。由上述可知, 风机产生的负压越大, F_p 越大, 排种器对种子的夹持能力越好, 该排种器所连风机相对压力为 $-5 \sim -8$ kPa。气流吸力 F_1 越大, 种子越容易被吸附到吸种孔上, 排种器对种子的吸附效果越好, 气流吸力 F_1 为

$$F_1 = \frac{1}{2} C_d \pi r^2 \rho v^2 \quad (3)$$

式中 C_d ——空气阻力系数
 v ——气流速度, m/s

ρ ——空气密度, kg/m^3
 r ——种子半径, mm

F_p 可由下式求得

$$F_p = p_p \pi r_{AB}^2 \quad (4)$$

式中 p_p ——风机产生的负压, MPa
 r_{AB} ——吸种孔最下端面半径, mm

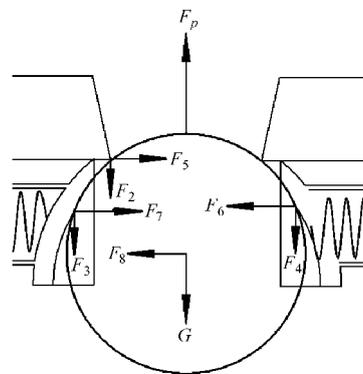


图 2 种子受力示意图

Fig. 2 Forces acting on seeds during seed taking

种子在球状对称曲面取种夹的夹持下随播种吸盘转动到排种管上方时, 位于播种吸盘上方的橡胶挡风板会将吸种孔上端完全挡住, 被夹持的种子不再受到 F_p 的作用, 在自身重力 G 、球状对称曲面取种夹所施加压力的分力 F_3 、 F_4 的共同作用下, 掉落进排种管中, 完成排种作业, 如图 3 所示。

2 取种机构关键参数设计

2.1 吸种孔形状和尺寸

2.1.1 吸种孔最下端面半径 r_{AB}

如图 4 所示, 播种吸盘上的吸种孔对气流有节

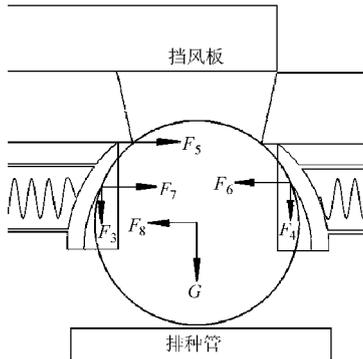


图3 排种阶段种子受力示意图

Fig. 3 Forces acting on seeds during seed metering

流作用,排种器取种室内的气流会在吸种孔最下端面 AB 处收缩,在 CD 处达到气流最小截面后开始扩张。

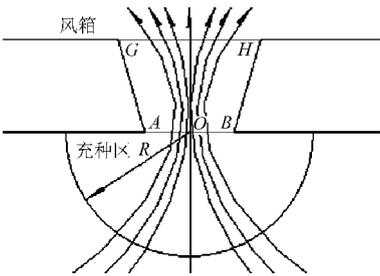


图4 气流运动示意图

Fig. 4 Schematic diagram of air motion

$$\frac{p_t}{\rho g} + \frac{v_t^2}{2g} = \frac{p_{CD}}{\rho g} + \frac{v_{CD}^2}{2g} \quad (5)$$

$$v_t S_t = v_{CD} S_{CD} \quad (6)$$

$$6v_{CD} S_{CD} = v_{AB} S_{AB} \quad (7)$$

$$S_{CD} = M_2 S_{AB} \quad (8)$$

$$S_{AB} = S_t M_1 \quad (9)$$

式中 p_t ——排种器取种区内的气压,MPa
 S_t ——取种区横截面积, m^2
 v_t ——排种器取种室内的气流运动速度, m/s
 p_{CD} ——密闭风箱中的气压,MPa
 S_{CD} ——气流最小截面 CD 的面积, m^2
 v_{CD} ——风箱内气流速度, m/s
 S_{AB} ——吸种孔最下端面 AB 的面积, m^2
 M_2 ——气体收缩系数

由式(4)~(9)联立得

$$v_{AB} = \frac{1}{6} \sqrt{\frac{2M_2^2(p_t - p_{CD})}{(1 - M_2^2 M_1^2)\rho}} \quad (10)$$

与吸种孔最下端面 AB 处圆心 O 距离为 R 的种子所受气流吸力 F 由式(4)、(10)联立得

$$F = \frac{1}{144} C_d r^2 \frac{M_1^2 M_2^2 S_t^2 (p_t - p_{CD})^2}{\pi R^4 (1 - M_2^2 M_1^2)} \quad (11)$$

由式(11)得

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial M_1} > 0 \\ 0 < M_1 < 1 \end{cases} \quad (12)$$

由式(12)可知,在 R 一定的条件下, M_1 越大 F 越大,取种效果越好,越不容易发生漏播。在 S_t 一定的条件下, S_{AB} 越大 M_1 越大,但为防止 S_{AB} 过大造成较小的种子被吸入密闭风箱,又因大豆种子的半径均大于 3 mm ,吸种孔最下端半径 r_{AB} 取为 3 mm 。

2.1.2 吸种孔最上端面半径 r_{CH}

因为 r_{AB} 已确定,所以吸种孔的形状取决于 r_{CH} 。当 $r_{CH} > r_{AB}$ 时,吸种孔为上粗下细的锥形孔;当 $r_{CH} = r_{AB}$ 时,吸种孔为上下均匀的圆柱形孔;当 $r_{CH} < r_{AB}$ 时,吸种孔为上细下粗的锥形孔。由流量测试仪测得 r_{CH} 取不同值时,气流速度 v_{AB} 的值,如表 1 所示。

表1 r_{CH} 单因素试验结果Tab. 1 Single factor repeated experimental results of r_{CH}

r_{CH} /mm	气流速度 $v_{AB}/m \cdot s^{-1}$					平均值
	1	2	3	4	5	
2.5	154.6	158.2	155.3	153.1	160.2	156.28
3.0	213.5	214.8	218.5	217.6	213.2	215.52
3.5	255.4	253.5	256.1	255.4	256.5	255.38
4.0	280.2	279.4	278.5	282.1	280.5	280.14
4.5	282.3	280.5	283.1	279.5	278.9	280.86

由 Design-Expert 软件得到 r_{CH} 关于 v_{AB} 的回归方程和响应曲线,如式(13)和图 5 所示。

$$v_{AB} = -429.66667 + 328.72549r_{CH} - 37.96078r_{CH}^2 \quad (13)$$

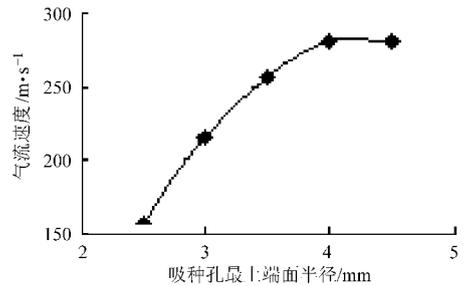


图5 吸种孔最上端面半径与气流速度拟合曲线
 Fig. 5 Fitted curve between air velocity and radius of top end face of suction hole

由响应曲线可知 v_{AB} 随着 r_{CH} 的增大而增大,随着 r_{CH} 不断增大, v_{AB} 增大的趋势越来越小,当 r_{CH} 增大到一定值时, v_{AB} 几乎不再增大。由于橡胶挡板需要完全覆盖住吸种孔, r_{CH} 增大时橡胶挡板随之增大,会产生能耗增加、机构磨损等问题。因此 r_{CH} 应为式(13)的极值点,经计算得出 $r_{CH} = 4.32 \text{ mm}$ 。由此得出吸种孔应为上粗下细的圆锥型孔,最下端面为半径 3 mm 的圆,最上端面为半径 4.32 mm 的圆。

2.2 球状对称曲面取种夹

如图 6 所示,建立一个空间直角坐标系 $OXYZ$, O 点为吸种孔最下端面圆心, X 轴为播种吸盘转动时 O 点瞬时速度方向, Y 轴为播种吸盘的轴向方向, Z 轴为播种吸盘的径向方向。

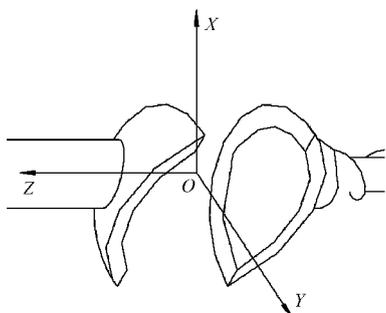


图 6 取种机构空间坐标系

Fig. 6 Space coordinates system of seed taking mechanism

由于大豆种子的球形率大于 90%,所以在设计分析过程中大豆种子按球形考虑。取种夹的形状为球体表面的一部分且每组球状对称曲面取种机构的两个取种夹相对于 XOY 平面对称。本文所分析的大豆种子半径为 3.5 mm。为使所有种子进入取种夹时,都能受到弹簧所施加的夹持力,取种夹的曲面半径 r 应取种子半径。如图 7 所示, S 、 T 两点在 Z 轴上的距离越小对种子的夹持效果越好,且取种夹不应挡住吸种口,所以 L_{ST} 应为 3 mm。因而 S 与 O 、 O 与 T 在 Z 轴上的距离为 1.5 mm, R 与 S 、 U 与 T 在 Z 轴上的距离为 2 mm。

$$L_{MS} = \sqrt{r^2 - (r - L_{RS})^2} \quad (14)$$

式中 L_{MS} —— M 、 S 两点在 Y 轴上的距离, mm

L_{RS} —— R 、 S 两点在 Z 轴上的距离, mm

由式 (14) 求得 W 与 S 在 X 轴上的距离为 3.1 mm,继而求得吸种孔两侧的球状对称曲面取种夹的曲面参数方程为

$$X^2 + (Y - 3.1)^2 + Z^2 = 12.25$$

$$(-3.1 \leq X \leq 3.1, 0 \leq Y \leq 3.1, 1.5 \leq |Z| \leq 3.5)$$

(15)

3 试验

3.1 试验因素与指标

排种器作业时,气体流速越快产生的吸力越大,球状对称曲面取种机构通过充种区时成功充种的概率越高。播种吸盘转速越快,球状对称曲面取种机构通过充种区的时间越短,成功充种的概率越低。因而选取吸种孔处气体流速 v_{AB} (m/s)、排种器播种吸盘转速 N_1 (r/min) 为试验因素。

试验时,用调速电动机同步带动排种器传动轴转动,由手持式数字转速表测定调速电动机的转速。

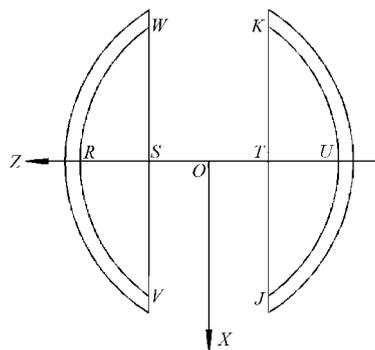


图 7 取种夹示意图

Fig. 7 Schematic diagram of seed-taking clamp

确定试验转速后,通过调节风机功率控制吸种孔处空气流速。由铺有沙土的传送带接住排种器排出的种子,持续 5 min 后停止作业,测量每相邻两粒种子之间的距离,并计算出平均距离。若两粒种子之间的距离大于 1.5 倍平均距离,则说明发生漏播现象。若两粒种子之间的距离小于平均距离 50%,则说明发生重播现象。经试验发现该排种器重播现象发生率极低可忽略不计,因而选取漏播率 y 为试验指标,漏播率为

$$y = \frac{tN_1n_2 - n_1}{tN_1n_2} \times 100\% \quad (16)$$

式中 n_1 ——传送带上的种子数,粒

n_2 ——排种器每转一周排出种子数,取 12 粒/r

t ——排种器作业时间,取 5 min

试验由单因素试验及通用旋转试验两部分组成。单因素试验时,试验因素依次取 5 个水平,另一因素固定在一个水平。通用旋转组合试验时,依照因素水平编码表(表 2)选取转速和功率。试验在试验台上进行,试验台上安装有风机、调速电动机和传送带。试验设备有手持式数字转速表、秒表、偏置双圆盘气吸式排种器、可调节功率的风机和气体流量计等。

表 2 试验因素与水平编码

Tab. 2 Experimental factors and levels

编码	试验因素	
	气流速度	排种器播种吸盘转速
	$x_1/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	$x_2/\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$
1.414	248	128
1	240	120
0	220	100
-1	200	80
-1.414	192	72

3.2 单因素试验结果与分析

3.2.1 气流速度

在气流速度单因素试验中,排种器播种吸盘转速固定为 100 r/min,按照表 3 所选水平依次调节风

机功率,进行气流速度的单因素试验。对试验结果进行 F 检验,得出 $F_q > F_{1-0.05}(4, 16)$, 即气流速度 v_{AB} 对漏播率 y 影响显著。利用 Design-Expert 软件拟合出回归曲线图,如图 8 所示。由回归曲线图可知漏播率 y 随着气流速度增加而降低,随着气流速度不断增加,漏播率降低的趋势逐渐减缓。气流速度单因素回归方程为

$$y = 68.449\ 678 - 0.546\ 63v_{AB} + 0.001\ 127\ 5v_{AB}^2 \quad (17)$$

表 3 气流速度单因素试验结果

Tab. 3 Single factor experimental results of air velocity

v_{AB} /m·s ⁻¹	漏播率/%					平均值
	1	2	3	4	5	
240	2.21	2.18	2.25	2.23	2.22	2.218
230	2.42	2.39	2.38	2.37	2.41	2.394
220	2.68	2.72	2.74	2.67	2.68	2.698
210	3.51	3.53	3.49	3.50	3.48	3.502
200	4.22	4.15	4.21	4.18	4.20	4.192

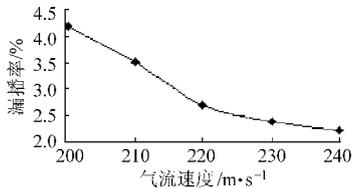


图 8 气流速度与漏播率关系拟合曲线

Fig. 8 Fitted curve between air velocity and seed missing rate

3.2.2 排种器播种吸盘转速

播种吸盘转速单因素试验中,气体流速固定为 220 m/s,排种器播种吸盘转速依次按照表 4 选取 5 个水平,进行排种器播种吸盘转速的单因素试验。对试验结果进行 F 检验,得 $F_z > F_{1-0.05}(4, 16)$, 即排种器播种吸盘转速对单粒率影响显著。通过 Design-Expert 软件拟合出回归曲线图,如图 9 所示。由回归曲线图可知漏播率 y 随着排种器播种吸盘转速 N_1 的提高而上升,随着排种器播种吸盘转速不断提高,漏播率上升的趋势逐渐减缓。排种器播种吸盘转速单因素回归方程为

$$y = -10.816\ 67 + 0.226\ 37N_1 - 0.000\ 824N_1^2 \quad (18)$$

表 4 排种器播种吸盘转速单因素试验结果

Tab. 4 Single factor repeated experimental results of rotational speed of seed metering device

排种器 播种吸盘 转速 N_1 /r·min ⁻¹	漏播率 y /%					平均值
	1	2	3	4	5	
120	4.42	4.50	4.29	4.49	4.60	4.460
110	4.03	4.22	4.10	4.15	4.08	4.116
100	3.65	3.76	3.55	3.52	3.50	3.596
90	3.04	2.95	2.82	3.22	3.14	3.034
80	2.15	1.96	1.97	2.05	1.98	2.022

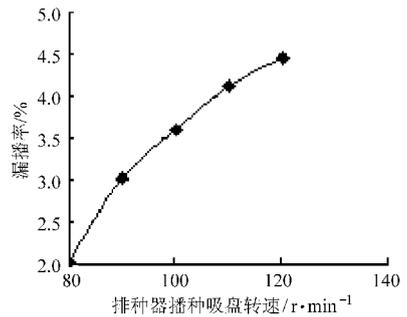


图 9 转速与漏播率关系拟合曲线

Fig. 9 Fitted curve between rotational speed and seed missing rate

3.3 旋转组合试验

试验结果如表 5 所示,由 Design-Expert 软件对试验结果进行分析,得出响应曲面图,如图 10 所示。由响应曲面图可知:漏播率随着气流速度的增大而降低,随着排种器播种吸盘转速的提高而上升;两个试验因素具有交互作用,其中气流速度比排种器播种吸盘转速对漏播率的影响显著。由 Design-Expert 软件得出漏播率与因素编码值的回归方程为

$$y = 2.76 - 1.05X_1 + 0.27X_2 + 0.46X_1^2 + 0.16X_2^2 + 0.05X_1X_2 \quad (19)$$

表 5 试验方案及试验结果

Tab. 5 Experimental scheme and results

试验编号	X_1	X_2	漏播率 y /%
1	1	1	3.22
2	1	-1	2.85
3	-1	-1	4.21
4	-1	1	4.63
5	1.414	0	2.77
6	-1.414	0	5.32
7	0	1.414	3.22
8	0	-1.414	2.83
9	0	0	2.72
10	0	0	2.70
11	0	0	2.75
12	0	0	2.64
13	0	0	2.71

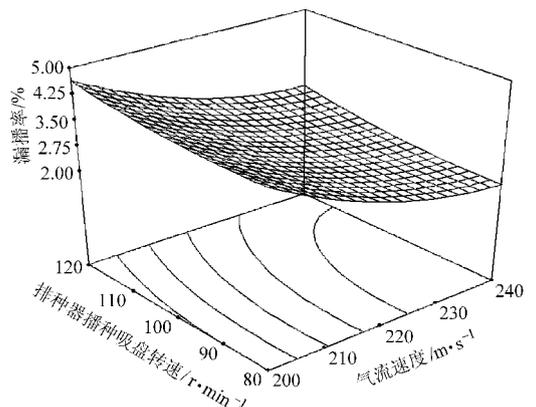


图 10 响应曲面

Fig. 10 Response surface plot

3.4 验证试验

根据 Design-Expert 软件得出的最优参数组合气流速度 220 m/s、排种器播种吸盘转速 100 r/min, 进行重复验证性试验,漏播率平均值为 2.72%, 与软件优化结果基本一致。

4 结论

(1) 吸种孔的结构对排种器作业性能具有显著影响,吸种孔采用圆锥形孔,且圆锥形孔最下端半径为 3 mm,最上端面半径为 4.32 mm 时排种器吸种效果最佳。

(2) 排种器播种吸盘转速对排种器漏播率具有

显著影响,漏播率随排种器播种吸盘转速的提高而增加,随着排种器播种吸盘转速不断提高,漏播率上升的趋势逐渐减缓。

(3) 气流速度对排种器漏播率具有显著影响,漏播率随着气流速度加快而降低,随着气流速度不断增加,漏播率降低的趋势逐渐减缓。

(4) 排种器播种吸盘转速和气流运动速度对排种器漏播率的影响具有交互作用,其中气流速度比排种器播种吸盘转速对漏播率的影响显著。排种器最佳因素组合为气流速度 220 m/s、排种器播种吸盘转速 100 r/min,此时漏播率为 2.72%。

参 考 文 献

- 1 陈立冬,何堤.论精密排种器的现状及发展方向[J].农机化研究,2006(4):16~18.
Chen Lidong, He Di. Discussion on the current situation of the planting device and developing direction[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006 (4):16~18. (in Chinese)
- 2 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):72~77,60.
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, 60. (in Chinese)
- 3 罗锡文,王在满,蒋恩臣,等.型孔轮式排种器弹性随动护种带装置设计[J].农业机械学报,2008,39(12):61~63.
Luo Xiwen, Wang Zaiman, Jiang Enchen, et al. Design of disassemble rubber guard device for cell wheel feed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(12):61~63. (in Chinese)
- 4 Jia Honglei, Ma Chenglin, Li Guangyu, et al. Combined rototilling-stubble-breaking-planting machine [J]. Soil & Tillage Research, 2007,96(1~2):73~82.
- 5 Jia Honglei, Ma Chenglin, Tong Jin. Study on universal blade rotor for rototilling and stubble-breaking machine[J]. Soil & Tillage Research, 2007,94(1):201~208.
- 6 Karayel D. Performance of a modified precision vacuum seeder for no-till sowing of maize and soybean [J]. Soil and Tillage Research, 2009, 104(1): 121~125.
- 7 Gaikwad B B, Sirohi N P S. Design of a low-cost pneumatic seeder for nursery plug trays [J]. Biosystems Engineering, 2008, 99(3): 322~329.
- 8 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.
- 9 贾秀芝,高晓辉,唐明辉.单粒(精密)播种机性能试验的测试与研究[J].农机化研究,2007(10):134~136.
Jia Xiuzhi, Gao Xiaohui, Tang Minghui. Testing and research on the performance test of single seed drills (precision drills)[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2007(10): 134~136. (in Chinese)
- 10 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)
- 11 廖庆喜,李继波,覃国良.气力式油菜精量排种器试验[J].农业机械学报,2009,40(8):44~48.
Liao Qingxi, Li Jibo, Qin Guoliang. Experiment of pneumatic precision metering device for rapeseed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(8): 44~48. (in Chinese)
- 12 陈立东,何堤,谢宇峰.气吸式排种器压力与转速关系的试验研究[J].农机化研究,2006(9):130~131.
Chen Lidong, He Di, Xie Yufeng. Experimental research of suction seed metering device about pressure and rotation speed[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2006 (9): 130~131. (in Chinese)
- 13 李成华,高玉芝,张本华.气吹式倾斜圆盘排种器排种性能试验[J].农业机械学报,2008,39(10):90~94.
Li Chenghua, Gao Yuzhi, Zhang Benhua. Experiment on dispensing performance of air-sweeping inclined plate seed-metering device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(10): 90~94. (in Chinese)
- 14 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.
- 15 于建群,申燕芳,牛序堂,等.组合内窝孔精密排种器清种过程的离散元法仿真分析[J].农业工程学报,2008,24(5):105~109.