

气吸式覆膜精量油菜播种机排种 性能试验与优化设计

张 琴¹,王保爱¹,孙步功²,冯 岩³

(1. 甘肃畜牧工程职业技术学院,甘肃 武威 733006;2. 甘肃农业大学机电工程学院,甘肃 兰州 730070

3. 北汽福田汽车有限公司,山东 潍坊 261000)

摘 要:针对目前高寒地油菜播种机普遍存在的重播漏播率高、人工劳动强度大、生长期缺水等问题,研究设计了一种气吸式精量播种机,一次性完成膜上播种、施肥、滴水灌溉、覆膜。分析了播种机主要结构、工作原理,对其关键部件进行结构设计,以排种盘转速、气吸室负压、排种盘型孔直径为试验因素,利用软件优化分析获得合理参数组合。结果表明:播种机排种盘转速 $197 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 、气吸室负压 2.5 kPa、排种盘型孔直径 1.2 mm 时,田间播种合格率为 93%、重播率 3%、漏播率 1%,播种质量较好。田间试验表明上述参数组合下排种器工作性能满足油菜播种机工作性能要求,该研究为油菜精密播种机的研究和设计提供了理论和技术参数。

关键词:油菜;气吸式;覆膜;精量播种;排种性能

中图分类号:S223.2 **文献标志码:**A

The performance test and optimization design of the air absorption film mulching precision rapeseed seeder

ZHANG Qin¹, WANG Bao-ai¹, SUN Bu-gong², FENG Yan³

(1. Gansu Animal Husbandry Engineering Technical College, Wuwei, Gansu 733006, China;

2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

3. Beiqi Foton Motor Co., Ltd., Weifang, Shandong 261000, China)

Abstract: Due to high failure rate of rapeseed seeding, high labor intensity, water shortage during growth period, and needed reseeding in the cold and high elevation region, we tried to explore how to improve the rapeseed planting successful level. We designed a pneumatic precision seeder that could accomplish film seeding, fertilization, re-mulching, and drip irrigation in one-time. Based on the working principle of the main structure, seeder, and the structure design of the key parts, the disc rotational speed, suction pressure, chamber diameter of exhaust hole plate were evaluated as experiment factors. Then, a set of optimal parameters were selected by doing software optimization analysis. The results showed that a combination of parameters, $197 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ of the seeding rotational speed, 2.5 kPa of negative pressure suction chamber, and 1.2 mm of diameter of a row of seed holes resulted in significant improvement in a successful seeding rate of 93%, 3% of reseeding rate, and only 1% of missing seeding rate. The field experiment showed that this combination of parameters reduced labor requirement to achieve high rapeseed seeder performance. This research provided theoretical and technical foundations for the research and design of precision seeder for rapeseed.

Keywords: rapeseed; air-suction; film mulching; precision seeding; seeding performance

油菜作为我国主要经济作物,年产量已接近
600 万吨,提高油菜单位面积产率、改善种植劳动强

度变得尤为关键。大量试验表明精准播种是实现
油菜高产的必要条件。设计高效可靠的油菜播种

收稿日期:2017-11-10

修回日期:2018-01-19

基金项目:国家自然科学基金(51665001,51665002);国家公益性行业科研专项经费(201503124)

作者简介:张琴(1986-),女,陕西榆林人,讲师,硕士研究生,主要从事农业工程技术与装备研究工作。E-mail: 562791478@qq.com

通信作者:孙步功(1971-),男,甘肃通渭人,副教授,博士,主要从事种子加工设备研发工作。E-mail: sunbg@gsau.edu.cn

机有利于提高油菜播种的效率和质量^[1-2]。

发达国家对精量播种机械研究起步较早,德国哈西亚公司的气吸式播种机,能进行开沟、施肥、播种、镇压、覆土、喷洒药剂等作业,但成本较高^[3]。国内起步晚速度快,廖庆喜等针对传统单行排种器,设计出四行离心式排种器,利用驱动轴带动内锥筒旋转,在离心作用下,将种子推至出种孔排出^[4]。郭玉明等研制的 2BX 系列谷子精量播种机,利用环槽式高频振动和异型螺旋槽两种类型的排种装置控制播种量,并设计出形状尺寸不同的槽断面排种轮来适应粒径大小不同(谷子、糜子、菜籽、牧草等谷物种子)的小籽粒谷物种子的排种要求^[5]。纵观国内一些油菜播种情况,大多由调整改装后的小麦条播机进行播种,而小麦播种机的排种器多为外槽轮式,由于油菜籽粒径小(1.5~2.2 mm),导致油菜播种过程中播种量难以控制,不仅浪费大量的种子,且给后期的间苗、定苗增加了工作量;此外,这类播种机械大多为小型机械,工作效率低,其重播漏播率在 3%~4%。由于油菜种植方式的多样性、油菜籽粒的特殊性及土壤条件的复杂性,致使油菜种植机械推广受到阻碍,导致部分地区在油菜生产机械化试验示范过程中无适宜的机械。

由上述相关研究可知,重播漏播率高、人工劳动强度大是油菜播种最为关键的问题,针对以上问题,本试验致力于研究开发一种精准、高效的气吸式精量播种机,对其进行结构设计,利用相关软件进行分析,获得影响播种性能的关键因素和最优参数组合,最后通过田间试验验证最优参数组合下播种机的播种性能。

1 整机结构及其工作原理

1.1 整机结构

整机结构如图 1 所示,该播种机由拖拉机提供动力,采用三点悬挂方式;整机由悬挂装置、整地装置、开沟器、排肥装置、覆膜装置、排种装置、覆土装置、镇压装置等组成。

1.2 工作原理

田间作业时,最前端的平土铲对地表进行平整,施肥装置中的肥料经过塑料软管和圆盘式开沟器相连,在开沟的同时把肥料精确地撒入沟槽内,然后再经大镇压轮将土地压平实现施基肥工作。覆膜时先用铺膜辊将地膜展平,再用压膜轮将地膜压入左右两侧由前刮土器所开的沟中,机架左右两侧的小覆土铲再将土壤填入沟中。滴水灌溉设施

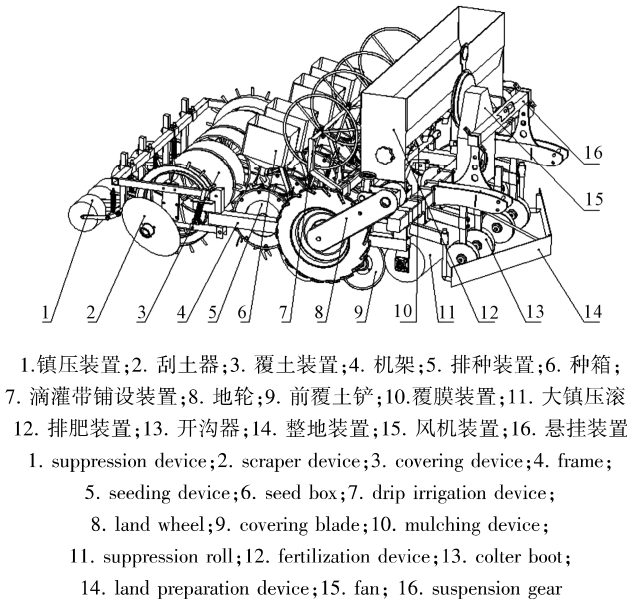


图 1 气吸式油菜精量播种机结构示意图

Fig.1 The structure sketch of air-suction precision seeder mechanism

铺设在膜的下面,滴水口在播种处,实现精准灌溉,提高育苗的成活率。播种环节排种时,排种装置通过机架的向前运动开始向前滚动,在膜上进行先扎眼,后播种。最后,利用镇压覆土装置和地面产生的摩擦滚动,将镇压覆土装置里面的土壤通过装置中间空隙覆盖在土地上所扎的眼孔,盖住种子。机架左右的大覆土铲向覆土装置中填充土壤,保证足够的土壤可以盖住孔穴。覆土轮可以上下浮动,镇压住覆盖在地膜下面的土壤,使土壤和种子接触更加充分。完成一体化播种作业。

1.3 播种机主要技术参数

播种机主要技术参数见表 1。

表 1 气吸式覆膜精量油菜播种机技术参数
Table 1 Technical parameters of air-suction precision rapeseed seeding machine

参数 Parameter	数值 Numerical value
配套动力 Auxiliary power/kW	≤35
外形尺寸 Size/(mm×mm×mm)	2500×2200×1200
整机质量 Weight/kg	2500
作业行数 Number of rows	4
播种行距 Sowing spacing/mm	200,400
作业幅宽 Operation width/mm	1200
播种深度 Sowing depth/mm	20~40
工作速度 Speed/(km·h ⁻¹)	1.9~2.7
施肥行数 Number of fertilizing lines	4
气吸装置工作压力 Suction device pressure/kPa	2.5
施肥深度 Depth of fertilization/mm	60~80
油菜株距 Space between plant/mm	100

2 关键部件结构设计

2.1 排种装置设计

气吸式排种器是应用气吸原理进行排种的,其排种圆盘呈垂直状安装在种子箱底面,一侧与种子暂存仓相接,另一侧与气吸室相接,在排种圆盘上开有气流通孔。排种通过压紧装置压住排种盘以减少漏气。穴播轮前壳体与导种管相连,底部装有刮种板。气吸室和风机相连,风机工作时使气吸室产生真空度,进而在排种盘两侧形成一定的压力差,在该压力差的作用下,种子被吸附在吸种孔上。当带孔排种盘携种子运转至刮种板时,种子受到阻力在自身重力作用下掉落至对应鸭嘴穴内。排种盘继续旋转,在压力差的作用下再次吸附种子,如此循环连续进行排种。以垂直圆盘式排种盘为例,当排种器工作时,种子所受外力主要有种子重力(G)、种子旋转惯性力(J)、吸孔吸附力(P)及吸孔处产生的支持力(N)。种子离开种子群开始移动时产生的摩擦力可忽略,如图2所示。

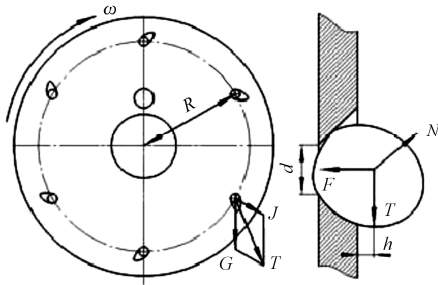


图2 种子受力示意图

Fig.2 Schematic diagram of pressure on seeds

排种装置的结构 G —种子所受重力, J —种子所受惯性力, T — G 、 J 的合力, d —吸种孔直径, h —种子重心与排种盘的距离, F —种子所受吸附力, N —种子所受支持力, 其中: $J = mr\omega^2$ (ω 为排种盘的角速度, r 为种子重心到排种盘转动轴的距离)。

当排种盘等速转动时, 惯性力(J)的大小保持恒定, 而其方向不断变化, 重力(G)的大小和方向恒定不变。从受力分析图可以看出, 合力的大小在开始吸种时最大, 随后减小。当 G 与 J 方向相反时, 即种子达到排种盘顶部时种子所受外力的合力最小, 此时所需吸孔的吸附力最小, 要求的真空度亦最小; 当种子转过顶部逐渐下降时所受合力又逐渐增大。计算真空室所需最小真空压力时, 应以充种区所需真空压力为基准。因此, 要保证吸孔吸住种子, 需满足息室真空度最大值要求^[6]:

$$H_{\max} = \frac{80K_1K_2mgc}{\pi d^3} \left[1 + \frac{v^2}{gr} + \lambda \right] \quad (1)$$

式中, d 为排种盘吸孔直径(mm), 取 $d = 1.2$ mm; c 为种子重心到排种盘的距离(mm), 取 $c = 2.5$ mm; m 为单粒种子的质量(kg), $m = 5.6 \times 10^{-6}$ kg; v 为吸孔中心处的线速度($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), $v = 0.35$ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; r 为排种盘吸孔处的转动半径(m), $r = 0.07$ m; λ 为种子的摩擦阻力综合系数, $\lambda = (6 \sim 10) \tan \theta$, θ 为种子自然休止角, $\lambda = 8 \times \tan 28^\circ$; K_1 为吸种可靠性系数, 一般在种子千粒重小, 种子形状近似球形时选择较小值, $K_1 = 1.8 \sim 2.0$; K_2 为工作稳定可靠性系数, 一般 $K_2 = 1.6 \sim 2.0$, 种子千粒重大时取大值, 本文取 $K_2 = 1.6$ 。本设计选沟宽为 50 mm, 由式(1), 根据所需要的数据, 计算出吸室的真空度范围为 2.5 kPa。

由计算公式(1)可知, 气吸式排种器所需真空度极限值与吸孔直径、排种盘吸孔处线速度及种子物理特性等有关。吸室的结构形式主要有两种, 即圆环形和马蹄形^[7-8]。由文献[9-10]可知, 气吸室流场满足:

$$\begin{cases} \omega_x = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_z}{\partial y} - \frac{\partial U_y}{\partial z} \right) = 0 \\ \omega_y = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_x}{\partial z} - \frac{\partial U_z}{\partial x} \right) = 0 \\ \omega_z = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_y}{\partial x} - \frac{\partial U_x}{\partial y} \right) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中: ω_x 为假设微团(质点) x 方向的旋转角速度; ω_y 为假设微团(质点) y 方向的旋转角速度; ω_z 为假设微团(质点) z 方向的旋转角速度。由式(2)可以看出气吸室为等势流场, 即气吸室内部压力相等, 与气吸室形状无关。由于在吸孔附近存在压力差, 气流产生流动, 所以种子会受到气流的作用力, 其在流体中的受力^[11]如图3所示。

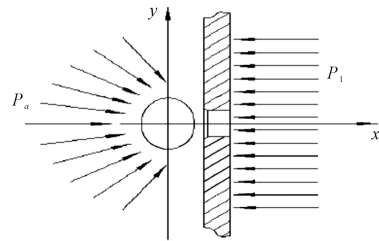


图3 流体中种子受力

Fig.3 Pressure on seed in fluid

设种子负压面所受压力为 P_1 , 正压面所受压力为大气压力 P_a , 那么推动种子移动的力为 $P_a - P_1$, 所以, 根据伯努利方程可得:

$$P_a - P_1 = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (3)$$

$$v^2 = \frac{A^2}{4} \left[\frac{-6r}{(y^2 + r^2)} + \frac{8r^3}{(y^2 + r^2)^2} + 2(y^2 + r^2)^{\frac{3}{2}} \right] \tag{4}$$

式中: A 为吸孔的面积, ρ 为空气的密度($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), r 为种子与吸孔的距离(m), y 为种子偏离吸种孔中心的横向距离(m)。则有:

$$F = \iint (P_a - P_1) ds$$
$$= \int_0^\pi \int_0^a \frac{1}{2} \rho \frac{A^2}{2} \left[\frac{-3r}{(R^2 + r^2)^2} + \frac{4r^3}{(R^2 + r^2)^3} + (R^2 + r^2)^{\frac{3}{2}} \right] R dQ \tag{5}$$

式中, R 为种子半径, Q 为空气流量($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)。
若假设种子为圆形,且取种子当量半径为 a ,对种子受力在其平面上进行积分,可得种子的受力为:

$$F = (K_1 - K_2) \frac{\rho Q^2}{\pi c^2} \left[\frac{3r}{(a^2 + r^2)} - \frac{2r^2}{(a^2 + r^2)^2} - \frac{1}{\sqrt{a^2 + r^2}} + \frac{1}{r} \right] \tag{6}$$

式中, c 为吸孔半径(m)。
由(6)式可以看出,种子在气流中的作用力 F 与吸孔的面积及种子和吸种孔的距离有很大关系,即随着吸种孔面积的增大吸种孔吸力显著增大,随着种子与吸种孔距离的增大种子所受吸力急剧减小,距离增大到一定值后,所受吸力减至最小值为零,所以吸种孔应尽量与种子接触。因此设计排种装置结构如图 4 所示。

3 排种性能试验

3.1 试验指标

试验依据《单粒(精密)播种机试验方法》(GB/T6973-2005),选用油菜种子的漏播率、合格率和重播率作为衡量排种器工作质量的性能指标,并且将其作为试验目标^[17-20],根据前期试验研究,结合相

关学者的研究成果^[12,13-18],影响排种性能的主要参数为排种盘转速、气吸室负压、排种盘型孔直径。故选取这 3 个主要试验因素展开对排种器排种性能影响的试验研究,寻求上述试验因素间的最佳参数组合,以期获得较高的合格率,为气吸式油菜精量排种器的设计提供参考。

3.2 试验设计

前期通过大量的单因素试验确定了播种机排种盘转速取值范围在 $150 \sim 250 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$,负压值取值范围在 $1.5 \sim 3 \text{ kPa}$,排种盘型孔直径范围在 $0.5 \sim 1.9 \text{ mm}$ 。为了找到这 3 个因素的最佳参数,使得此排种器排种性能最佳,本文采用 Central Composite Design 试验设计原理,以播种机排种盘转速 X_1 、气吸室负压 X_2 、排种盘型孔直径 X_3 为自变量,合格率 Y_1 、重播率 Y_2 、漏播率 Y_3 为响应值,选择了试验次数少,计算方便,可以避免回归系数间相关性的二次旋转正交组合试验方法,试验因素和水平如表 2 所示。

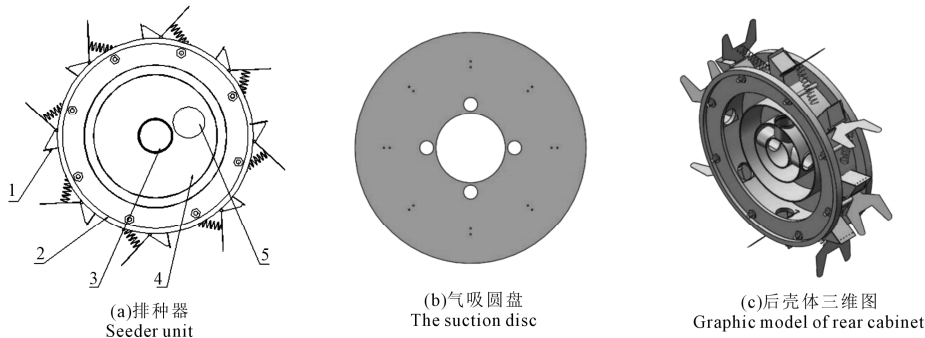
再根据三因素二次旋转正交组合试验表进行试验,每组试验重复 3 次取平均值。试验设计及结果见表 3。

3.3 回归分析

借助 Design-Expert 8.0.5 软件对试验数据进行多元回归拟合,对试验结果进行回归分析,可以得到

表 2 试验因素和水平
Table 2 Factors and levels of experiment

水平 Level	排种盘转速 Rotation speed $X_1/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$	负压 Negative pressure X_2/MPa	排种盘型孔直径 Hole diameter X_3/mm
1.682	242.41	3.17	1.87
1	224	2.9	1.6
0	197	2.5	1.2
-1	170	2.1	0.8
-1.682	151.59	1.83	0.53



1.鸭嘴;2.穴播器后壳体;3.进气孔;4.穴播器前壳体;5.进种口
1.the duck mouth;2. rear cabinet of dibble;3. air inlet;4. fan blades of dibble;5. feed inlet

图 4 排种器结构示意图

Fig.4 Schematic diagram of seed distribution device

表 3 试验设计方案及响应值
Table 3 Experiment design and response values

试验序号 Test serial number	因素水平 Level		响应值 Response value			
	排种盘转速 X_1 Rotation speed	负压 X_2 Negative pressure	排种盘型孔直径 X_3 Hole diameter	合格率 $Y_1/\%$ Qualified rate	漏播率 $Y_2/\%$ Failure rate	重播率 $Y_3/\%$ Reseed rate
1	-1	-1	-1	85.6	6.3	8.1
2	1	-1	-1	86.1	5.4	8.5
3	-1	1	-1	82.3	11.3	6.4
4	1	1	-1	80.9	14.2	4.9
5	-1	-1	1	84.3	9.7	6.0
6	1	-1	1	82.5	11.3	6.2
7	-1	1	1	83.7	8.2	8.1
8	1	1	1	81.3	12.4	6.3
9	-1.682	0	0	88.7	3.6	7.7
10	1.682	0	0	85.6	6.7	7.7
11	0	-1.682	0	92.3	2.8	4.9
12	0	1.682	0	86.7	7.8	5.5
13	0	0	-1.682	78.8	15.3	5.9
14	0	0	1.682	74.8	18.0	7.2
15	0	0	0	96.3	1.9	1.8
16	0	0	0	96.8	2.1	1.1
17	0	0	0	97.2	1.7	1.7
18	0	0	0	96.3	1.9	1.8
19	0	0	0	95.8	2.3	1.9
20	0	0	0	95.0	2.6	2.4
21	0	0	0	98.0	1.3	0.7
22	0	0	0	97.4	1.5	1.1
23	0	0	0	96.9	2.4	0.7

合格率(Y_1)、漏播率(Y_2)和重播率(Y_3)的回归方程。

合格率(Y_1)回归模型的建立与显著性检验通过试验以及对试验数据进行多元回归拟合,获得各因素编码值表示的合格率(Y_1)、漏播率(Y_2)、重播率(Y_3)的二次回归模型分别为:

$$Y_1 = 96.64 - 0.76X_1 - 1.44X_2 - 0.72X_3 - 0.31X_1X_2 - 0.41X_1X_3 + 0.84X_2X_3 - 3.44X_1^2 - 2.61X_2^2 - 7.10X_3^2 \quad (7)$$

$$Y_2 = 1.96 + 0.95X_1 + 1.60X_2 + 0.65X_3 + 0.80X_1X_2 - 0.48X_1X_3 - 1.78X_2X_3 + 1.21X_1^2 + 1.26X_2^2 + 5.27X_3^2 \quad (8)$$

$$Y_3 = 1.47 - 0.2X_1 - 0.15X_2 + 0.065X_3 - 0.49X_1X_2 - 0.063X_1X_3 + 0.94X_2X_3 + 2.21X_1^2 + 1.33X_2^2 + 1.8X_3^2 \quad (9)$$

由表 4 可知,回归模型的 $P < 0.001$,表明回归模型极其显著;失拟项 $P > 0.05$,失拟不显著,说明模型所拟合的二次回归方程与实际相符合,能正确反映合格率 Y_1 与 X_1 、 X_2 、 X_3 之间的关系,回归模型可以较好地优化试验中各种试验结果进行预测。其中对于合格率,模型的一次项 X_1 、 X_2 、 X_3 和影响极显

著,其余影响不显著。根据以上三式各因素回归系数的大小,可得到影响合格率及漏播率主次顺序为: $X_2 > X_1 > X_3$,即气吸室负压>排种盘转速>排种盘型孔直径。

3.4 结果分析

通过 Design-Expert 8.0.5 对数据进行处理,可得到播种机排种盘转速(X_1)、气吸室负压(X_2)、排种盘型孔直径(X_3)对合格率的影响,交互因素对排种合格率响应面曲线如图 5 所示。

(1)排种盘转速和气吸室负压的交互作用对排种合格率的影响。图 a 为排种盘型孔直径在 1.2 mm 时,排种盘转速和气吸室负压对排种合格率交互作用的响应曲面图。由图可知,气吸室负压一定时,排种随着排种盘转速的增大,排种合格率先上升后下降;排种盘转速一定时,随着气吸室负压的增大,排种合格率同样先上升后降低。排种盘转速为 $197 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 、气吸室负压 2.5 kPa 时,播种机合格率最高。

(2)排种盘转速和排种盘型孔直径的交互作用对排种合格率的影响。图 b 为气吸室负压为 2.5 kPa 时,排种盘转速和排种盘型孔直径对排种合格率交互作用的响应曲面图。由图可知,排种盘转速

表 4 回归方程方差分析

Table 4 Variance analysis of regression equation

变异来源 Source of variation	合格率 Qualification rate					漏播率 Failure rate					重播率 Reseed rate				
	平方和 Sum of squares	DOF	均方 Mean square	<i>F</i>	<i>P</i>	平方和 Sum of squares	DOF	均方 Mean square	<i>F</i>	<i>P</i>	平方和 Sum of squares	DOF	均方 Mean square	<i>F</i>	<i>P</i>
回归 Regression	1135.9	9	126.2	162.9	<0.0001	571.98	9	63.55	335.9	<0.0001	164.91	9	18.32	45.63	<0.0001
x_1	7.79	1	7.79	10.05	0.0074	12.4	1	12.4	65.53	<0.0001	0.53	1	0.53	1.33	0.2697
x_2	28.47	1	28.47	36.74	<0.0001	34.83	1	34.83	184.1	<0.0001	0.32	1	0.32	0.8	0.3882
x_3	7.07	1	7.07	9.12	0.0098	5.85	1	5.85	30.93	<0.0001	0.058	1	0.058	0.14	0.7112
x_1x_2	0.78	1	0.78	1.01	0.3337	5.12	1	5.12	27.06	0.0002	1.9	1	1.9	4.73	0.0486
x_1x_3	1.36	1	1.36	1.76	0.2079	1.8	1	1.8	9.54	0.0086	0.031	1	0.031	0.078	0.7847
x_2x_3	5.61	1	5.61	7.24	0.0185	25.21	1	25.21	133.2	<0.0001	7.03	1	7.03	17.51	0.0011
x_{12}	187.77	1	187.8	242.3	<0.0001	23.11	1	23.11	122.1	<0.0001	77.53	1	77.53	193.1	<0.0001
x_{22}	107.97	1	108	139.3	<0.0001	25.18	1	25.18	133.1	<0.0001	27.9	1	27.9	69.47	<0.0001
x_{32}	800.29	1	800.3	1033	<0.0001	441.59	1	441.6	2334	<0.0001	51.62	1	51.62	128.5	<0.0001
残差 Residual	10.07	13	0.77			2.46	13	0.19			5.22	13	0.4		
失拟 Lack of fit	3.61	5	0.72	0.9	0.5272	1	5	0.2	1.1	0.4315	2.44	5	0.49	1.4	0.3182
误差 Error	6.46	8	0.81			1.46	8	0.18			2.78	8	0.35		
总和 Sum	1145.97	22				574.44	22				170.13	22			

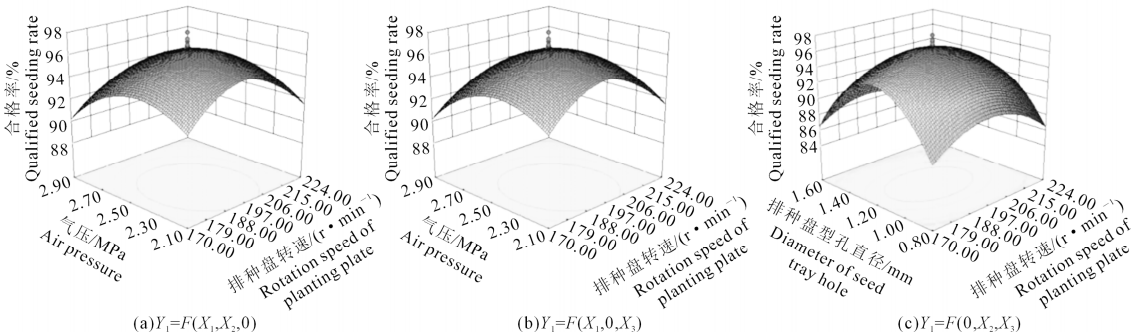


图 5 交互作用对合格率的影响

Fig.5 The effects of interaction on the qualification rate

一定时,随着排种盘型孔直径增大,排种合格率先上升后下降;排种盘型孔直径一定时,随着排种盘转速的增大,排种合格率同样先上升后降低。排种盘转速 $197\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 、排种盘型孔直径 1.2 mm 时,排种合格率最高。

(3)气吸室负压和排种盘型孔直径的交互作用对排种合格率的影响。图 c 为排种盘转速 $197\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 时,气吸室负压和排种盘型孔直径对排种合格率交互作用的响应曲面图。由图可知,气吸室负压一定时,随着排种器排种盘型孔直径的增大,排种合格率先上升后下降;排种盘型孔直径一定时,随着气吸室负压的增大,排种合格率同样先上升后下降。气吸室负压为 2.5 kPa ,排种盘型孔直径 1.2 mm 时,排种合格率最高。

同理,各交互因素对排种漏播率的影响响应面曲线如图 6 所示,对排种重播率的影响响应面曲线如图 7 所示。

4 参数优化与田间试验

利用优化工具箱,对回归方程模型进行优化求解,得到气吸式油菜精量播种机最优工作参数为:播种机排种盘转速 $197\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 、气吸室负压 2.5 kPa 、排种盘型孔直径 1.2 mm 。为了验证模型的可靠性,采用上述最优播种工作参数进行 9 次试验取平均值。结果表明,膜上播种合格率平均值为 96% ,与回归模型的计算结果相比平均相对误差为 2% ,表明优化工作参数组合可以作为气吸式油菜精量播种机田间作业的最佳依据。

精准型气吸式覆膜油菜穴播机在膜上播种,可以一次性完成平土整土、开沟施肥、滴水灌溉、覆膜、播种、覆土镇压等作业。有效解决了旱地油菜生长期缺水、苗间距不一致等问题,具有播种效率和出苗率高,省种,免间苗,适宜机械收获,设备制造成本低等优点,达到精准播种施肥的目的。

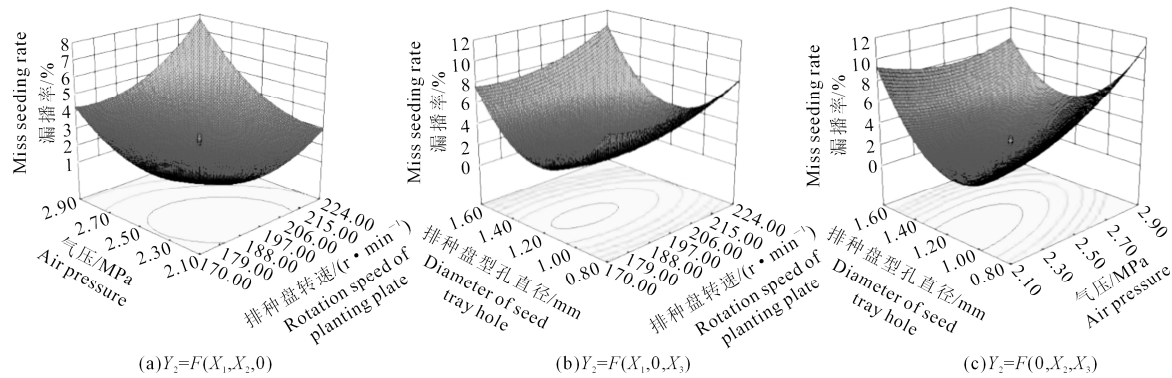


图 6 交互作用对漏播率的影响
Fig.6 The effects of interaction on the failure rate

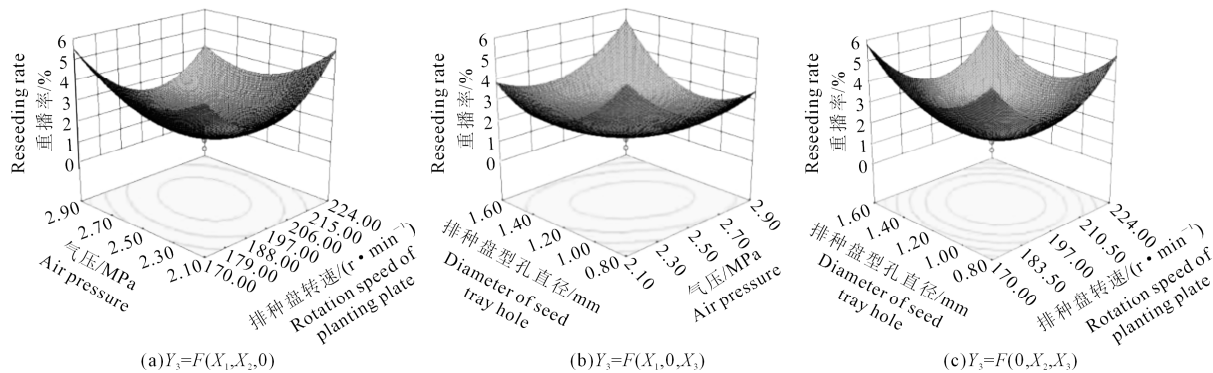


图 7 交互作用对重播率的影响
Fig.7 The effects of interaction on the reseed rate

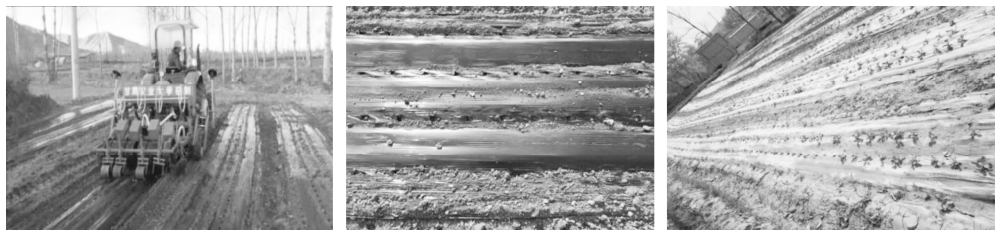


图 8 气吸式油菜精量播种机田间试验
Fig.8 Field experiment of air-suction precision rapeseed seeder

表 5 设计与田间试验对比

Table 5 Comparison of design and field test

检测项目 Testing subject	设计要求 Design requirement	实测结果 Test result
作业幅宽 Operation width/mm	1200	1200
株距 Space between plants/mm	100	100
播种/施肥行数 Number of sowing/fertilizing	4	4
播种深度 Sowing depth/mm	20~30	25
播种量 Sowing amount/(kg·hm ⁻²)	1.5~3.0	2.55
施肥量 Amount of fertilizer/(kg·hm ⁻²)	300~525	340
合格率 Qualification rate/%	93	96
重播指数 Reseed index/%	≤7	3
漏播指数 Failure index/%	≤5	1
作业速度 Speed/(km·h ⁻¹)	1.9~2.7	2.16
生产率 Productivity/(hm ² ·h ⁻¹)	0.3~0.4	0.35

5 结 论

本文针对油菜播种机普遍存在的重播漏播率高等问题设计一种精量覆膜播种机,对于播种器排种性能以排种盘转速、气吸室负压、排种盘型孔直径为 3 个试验因素,以合格率、重播率、漏播率为 3 个响应值,分别进行试验,并通过 Design-Expert 8.0.5 对数据进行处理,分析了三因素的交互作用对排种合格率的影响,得到以下结论:

- 1) 播种机排种盘转速 197 r·min⁻¹、气吸室负压 2.5 kPa、排种盘型孔直径 1.2 mm 时,播种合格率为 93%,重播率为≤7%,漏播率为≤5%。
- 2) 田间试验结果表明,播种合格率为 96%,重播率为 3%,漏播率为 1%,效果较好。

参 考 文 献:

- [1] 王汉中, 殷艳. 我国油料产业形势分析与发展对策建议[J]. 中国油料作物学报, 2014, 36(03): 414-421.
- [2] 王汉中. 我国油菜产业发展的历史回顾与展望[J]. 中国油料作物学报, 2010, 32(02): 300-302.
- [3] 梁宝忠, 赵明, 魏忠, 等. 气吸式精密播种机国内外发展概况[J]. 农业机械, 2009, (14): 28-29.
- [4] 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(02): 48-51.
- [5] 郭玉明, 张东光, 郑德聪. 2BX 系列谷子精少量播种机的开发与研制[J]. 农业技术与装备, 2012, 12: 18-21.
- [6] 陈立东. 气吸式排种器性能参数设计及其对排种质量影响的试验研究[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2006.
- [7] 张波屏. 现代种植机械工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 1997.
- [8] 中国农机研究所. 实用机械设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [9] 盛江源, 齐红彬. 吸盘真空室理论流场的确定[J]. 吉林农业大学学报, 1990, 12(3): 89-92.
- [10] 赵湛. 气吸振动式精密排种器理论及试验研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2009.
- [11] 盛江源, 高玉林. 种子在吸孔气流作用下受力的数学模型及其试验研究[J]. 吉林农业大学学报, 1989, 11(1): 77-83.
- [12] 李明, 廖庆喜, 廖宜涛, 等. 滚筒集排式油菜精量排种器排种过程分析[J]. 农业工程学报, 2014, 30(23): 17-27.
- [13] 中国农业机械化科学研究院. GB/T6973-2005. 单粒(精密)播种机试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [14] 丛锦玲. 油菜小麦兼用型气力式精量排种系统及其机理研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.
- [15] 李宣秋. 磁吸滚筒精密播种器的设计与试验研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2006.
- [16] 刘剑锋. 气吸滚筒式烟草包衣种子排种器设计与研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2012.
- [17] 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.
- [18] 雷小龙, 廖宜涛, 李兆东, 等. 油麦兼用型气送式集排器供种装置设计与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(20): 10-18.
- [19] Gaikwad B, Sirohi N P S. Design of a low-cost pneumatic seeder for nursery plug trays[J]. Biosystems Engineering, 2008, 99(3): 322-329.
- [20] 周海波, 马旭, 姚亚利. 水稻秧盘育秧播种技术与装备的研究现状及发展趋势[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 301-306.