

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.12.012

气力滚筒式油菜精量集排器*

李明 刘晓辉 廖宜涛 廖庆喜

(华中农业大学工学院, 武汉 430070)

摘要: 设计了一种可实现一器多行的气力滚筒式油菜精量集排器,分析了气力滚筒式油菜精量集排器的工作原理,并确定了其结构组成和主要结构与运行参数。以集排器排种性能为主要评价指标,进行了集排器排种滚筒转速、正压区相对压力、负压区相对压力等运行参数的单因素试验与正交试验。台架试验结果表明:集排器种子破碎率小于0.5%;当排种滚筒转速为20 r/min、正压区相对压力为2 200 Pa和负压区相对压力为-2 200 Pa时,集排器单行合格指数可高达94.02%,漏播指数小于4.0%;集排器各行排量一致性变异系数为5.73%,总排量稳定性变异系数为1.21%。

关键词: 油菜籽 气力滚筒式 集排器 试验

中图分类号: S223.2*25 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)12-0068-06

Pneumatic Cylinder-type Centralized Precision Metering Device for Rapeseed

Li Ming Liu Xiaohui Liao Yitao Liao Qingxi

(College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: A cylinder-type pneumatic centralized precision metering device for rapeseed was designed. The structural composition, operating parameters and working principle of metering device were analyzed. The single factor and orthogonal experiments were conducted. The rotational speed of seeding cylinder, positive pressure and negative pressure were used as the experiment factor. The bench experiments showed that the damage rate was below 0.5%. When the rotational speed of seeding cylinder was 20 r/min, the positive pressure and negative pressure was 2 200 Pa and -2 200 Pa, it was found that the quality index was 94.02%, the loss index was below 4.0%, and the variation coefficient of the consistency of each line displacement and stability of the total displacement were 5.73% and 1.21%, respectively.

Key words: Rape seed Pneumatic cylinder-type Centralized metering device Experiments

引言

目前,油菜主要播种方式仍以半机械或人工播种为主,截止2012年统计油菜机械化播种水平仅为13.27%,作业效率低、成本高^[1-5]。为了提高油菜机械化播种水平,研究一种可靠有效的油菜精量直播技术已成为播种机械发展的趋势^[6-7]。实现油菜机械化播种其核心在于排种技术及其装置,本文设

计一种气力滚筒式精量集排器,集短程、气力、集排为一体。

1 集排器总体结构及工作原理

气力滚筒式集排器主要由正压进气管、负压抽气管、种箱、排种滚筒、内筒和导种管等组成,结构示意图如图1所示。集排器内腔分正压气室和负压气室。在风机的作用下,排种滚筒内腔形成负压区,内

收稿日期:2012-11-19 修回日期:2012-12-09

*国家自然科学基金资助项目(51275197)、国家油菜产业技术体系专项资助项目(CARS-13)、中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2011PY021)和“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2010BAD01B06)

作者简介:李明,博士生,主要从事现代农业装备设计与测控研究,E-mail:llmmingle@163.com

通讯作者:廖庆喜,教授,博士生导师,主要从事油菜机械化生产技术与装备研究,E-mail:liaoqx@mail.hzau.edu.cn

筒形成正压区。工作时,集排器由电动机带动链轮驱动。集排器排种滚筒逆时针旋转,当排种滚筒吸孔转到种箱处时,油菜籽在负压作用下吸附在吸孔位置上,转到正压区后,油菜籽在气流和自身重力的作用下经过 9 个导种管排出,完成一器九行排种。

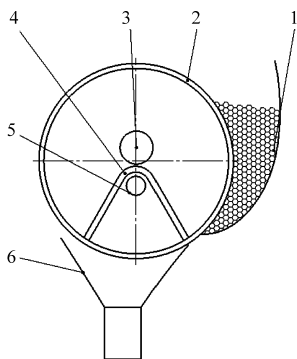


图 1 气力滚筒式集排器结构图

Fig. 1 Centralized pneumatic cylinder-type metering device

1. 种箱 2. 排种滚筒 3. 负压抽气管 4. 内筒 5. 正压进气管
6. 导种管

2 集排器关键部件参数设计及分析

2.1 排种滚筒直径

排种滚筒采用厚 2.5 mm 的无缝钢管和 1 mm 不锈钢板外覆层结构形式。其直径决定了排种滚筒线速度、种子所受离心惯性力、吸孔间距、需风量及排种器整体尺寸等参数^[8]。目前国内外滚筒式排种器直径均为 140 ~ 260 mm^[9-10],综合考虑各种因素与试验结果,选用排种滚筒外径为 $\phi 165$ mm,集排器正常工作状态下吸孔处线速度小于 0.3 m/s^[11],有利于提高排种器性能,且满足生产率要求。

2.2 排种滚筒吸孔孔径

Karayel 等研究表明在理想条件下,吸孔孔径一定程度上影响正、负压区压力,吸孔孔径越小,气室内相对压力越高^[12-13]。针对油菜、大豆等近似球形的种子,采用经验公式^[14]

$$d = (0.64 \sim 0.66)b \quad (1)$$

式中 b ——种子的平均宽度

根据华杂 9 号油菜物理特性可知,油菜种子平均宽度为 1.5 ~ 2.2 mm,代入式(1)中可获得孔径为 0.96 ~ 1.32 mm,取孔径为 1.2 mm。

2.3 排种滚筒吸孔的轴向行数与径向孔数

集排器采用侧面吸种,自重清种。由试验可知,种箱种子面的高度应小于 2/3 排种滚筒直径。综合考虑播种机生产率、排种滚筒转速及集排器性能等因素,选择径向吸孔数 Z 为 20,相邻吸孔对应的中心角为 18° ,排种滚筒表面径向距离为 26 mm,轴向距离为 30 mm。

2.4 排种滚筒转速

集排器工作过程时,种子在自身重力及吸孔处负压压力作用下被吸附。当集排器排种滚筒转速过高,吸孔经过充种区、投种区时间太短,易漏吸、漏吹造成漏播指数升高;当排种滚筒转速过低时,不能满足播种机生产率要求,且充种时间长造成重播指数过高,影响排种性能。

根据播种机理论,小时生产率确定排种滚筒的转速下限。播种机理论小时生产率为

$$y = (B + C)v_i \quad (2)$$

式中 y ——理论小时生产率,取 0.36 ~ 1.00 hm²/h

B ——播种机工作幅宽,取 1.8 m

C ——沟宽,取 0.2 m

v_i ——拖拉机前进速度,km/h

由相邻两粒种子时间间隔得

$$\frac{3.6L}{(1-\delta)v_i} = \frac{2\pi}{Z\omega_g} = \frac{60}{Zn_g} \quad (3)$$

式中 L ——油菜株距,按农艺要求取 70 mm

n_g ——排种滚筒转速,r/min

ω_g ——排种滚筒角速度,rad/s

δ ——地轮滑移系数,一般取 0.15

为了保证种子株距的稳定性,在满足最低生产率的要求下,联立式(2)、(3)计算得排种滚筒的转速下限为

$$n_{gmin} = \frac{16.67v_i(1-\delta)}{LZ} = 18.2 \text{ r/min} \quad (4)$$

集排器排种滚筒转速上限满足吸孔处极限线速度小于 0.3 m/s,即

$$n_{gmax} = \frac{60v}{2\pi r} \quad (5)$$

式中 r ——排种滚筒半径,取 82.5 mm

v ——吸孔处极限线速度,m/s

计算得 $n_{gmax} = 34.7 \text{ r/min}$ 。

2.5 负压区相对压力

在种子吸附过程中,当排种滚筒对种子的作用力为零时,此时负压区相对压力为最小。在此条件下种子投种所需的压力也最小,种子吸附阶段受力分析如图 2 所示。

$$\begin{cases} F_Q + N_z \cos\theta_2 + f_z \sin\theta_2 - N_g - mgs \sin\theta_1 = F_1 \\ mg \cos\theta_1 + f_z \cos\theta_2 - N_z \sin\theta_2 - f_g = 0 \\ F_Q = ks \Delta p \\ F_l = m\omega^2 r \\ f_z = N_z \tan\psi \\ f_g = N_g \tan\phi \end{cases} \quad (6)$$

式中 F_Q ——负压对种子的吸力,N

k ——气流受各种因素影响系数,取 0.6

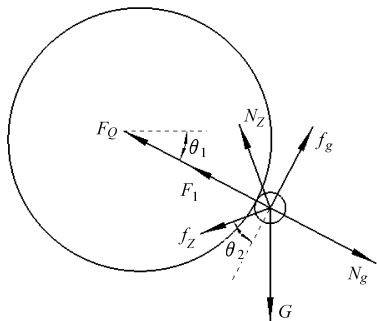


图2 种子吸附阶段受力分析

Fig.2 Force diagram of seed in absorbing phase

F_1 ——种子受到的向心力, N

N_Z ——种子群对所吸附种子的作用力, N

f_z ——种子间摩擦力, N

s ——种子投影面积, m^2

ω ——排种滚筒角速度, rad/s

f_g ——排种滚筒与种子间摩擦力

ψ ——种子内摩擦角, 取 19.8°

ϕ ——不锈钢外筒壁与种子摩擦角, 取 18.5°

Δp ——吸孔内外压差, Pa

m ——种子质量, kg

N_g ——排种滚筒对种子支持力, N

θ_1 ——吸附力与水平方向夹角, ($^\circ$)

θ_2 ——种子间摩擦力与切线方向夹角, ($^\circ$)

假定排种滚筒对种子的支持力为零, 吸孔吸附种箱顶层种子时, 负压最小, 综合整理式(6)可得排种滚筒内负压区相对压力下限为

$$\Delta p_{N_{\min}} = \frac{m\omega^2 r}{ks} - \frac{mg \cos(\theta_1 + \theta_2 - \psi)}{k s \sin(\theta_2 - \psi)} \quad (7)$$

计算得 $\Delta p_{N_{\min}} = -93 \text{ Pa}$ 。

在吸种过程中, 种子所受力或力矩超过种子的生物屈服极限时会导致种子卸载变形乃至破损, 影响种子发芽^[15], 即可得排种滚筒对种子的作用力应小于油菜籽的屈服极限。经试验可知: 油菜屈服力 F_q 取 $1.43 \sim 5.07 \text{ N}$, 结合式(6)可知当吸孔由种箱底部吸种且排种滚筒对种子的作用力恰好小于种子屈服极限时, 负压区内相对压力最大, 负压区相对压力上限为

$$\Delta p_{N_{\max}} = \frac{1}{ks} \left[F_q \frac{\sin(\varphi - \theta_2 - \phi)}{\cos\phi \sin(\varphi - \theta_2)} + mg \frac{\sin(\theta_1 + \theta_2 - \varphi)}{\sin(\varphi - \theta_2)} \right] \quad (8)$$

计算得 $\Delta p_{N_{\max}} = -37.2 \text{ kPa}$ 。

综合式(7)、(8)可知负压区相对压力范围为 $-93 \sim -37200 \text{ Pa}$ 。

2.6 正压区相对压力

正压区压力辅助吸孔投种、清理吸孔, 防止堵

塞。当正压区相对压力为零时, 种子借助自重投种, 即正压区相对压力下限 $\Delta p_{p_{\min}} = 0 \text{ Pa}$ 。

参照集排器工作过程中与外接漩涡气泵间的气流流向示意图, 如图3所示。由漩涡气泵进出气流量守恒可得

$$\begin{cases} Q_{\text{in}} = Q_{\text{out}} \\ Q_{\text{in}} = Q_N \\ Q_{\text{out}} = Q_P + Q_x \end{cases} \quad (9)$$

式中 Q_{in} ——进入风泵的气体总流量, m^3/h

Q_{out} ——由风泵流出的气体总流量, m^3/h

Q_N ——由集排器负压区抽出的气体总流量, m^3/h

Q_P ——进入集排器正压区的气体总流量, m^3/h

Q_x ——经泄气孔进入大气的气体流量, m^3/h

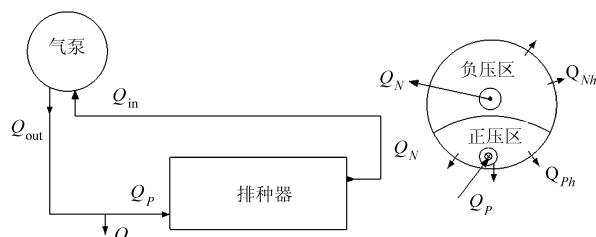


图3 集排器工作过程中气流流向示意图

Fig.3 Direction of air flow diagram in work process of centralized metering device

参照集排器工作过程中大气间的气流流向示意图(图3), 由集排器进出气流量守恒可得

$$\begin{cases} Q'_{\text{out}} = Q'_{\text{in}} \\ Q'_{\text{out}} = Q_N + Q_{Ph} \\ Q'_{\text{in}} = Q_P + Q_{Nh} \end{cases} \quad (10)$$

式中 Q'_{in} ——进入集排器的气体总流量, m^3/h

Q'_{out} ——由集排器流出的气体总流量, m^3/h

Q_{Nh} ——负压区未吸附种子吸孔处的气体总流量, m^3/h

Q_{Ph} ——正压区吸孔处的气体总流量, m^3/h

联立式(9)、(10)可得 $Q_{Ph} = Q_x + Q_{Nh}$, 当 $Q_x = 0$ 时, 正压区相对压力最大。

集排器吸孔处气流总流量为

$$Q = Nv_0A \quad (11)$$

式中 N ——吸孔个数, 个

v_0 ——吸孔处气流流速, m/s

A ——单个吸孔面积, m^2

集排器吸孔处气流流速为

$$v_0 = \sqrt{\frac{2K}{K-1} RT \left[1 - \left(\frac{\Delta p}{p_0} \right)^{\frac{K-1}{K}} \right]} \quad (12)$$

式中 p_0 ——大气压强, Pa

K ——空气比定压热容与比定容热容之比

T ——温度, K

R ——气体常数, 取 287 J/kg

整理式(11)、(12)可得

$$\Delta p_{p_{\max}} = p_0 \left[\frac{5}{9} + \frac{4}{9} \left(\frac{\Delta p_{\max}}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]^{\frac{k}{k-1}} \quad (13)$$

计算得 $\Delta p_{p_{\max}} = 65.6 \text{ kPa}$ 。综合上、下限值得正压区相对压力范围为 $0 \sim 65.6 \text{ kPa}$ 。

3 排种性能试验

3.1 单因素试验

3.1.1 试验设计

在前期试验基础上,以 GB/T 6973—2005 为依据^[16],进行集排器排种滚筒转速、正压区压力、负压区压力单因素试验,研究各因素对排种器性能指标的影响规律。

气力滚筒式集排器在 JPS-12 型排种器性能检测试验台上,获得了合格指数、重播指数、漏播指数及株距变异系数等试验指标。

3.1.2 试验结果分析

(1) 排种滚筒转速

设定正压区相对压力为 2 200 Pa,负压区相对压力为 -2 200 Pa,以播种机田间行驶速度划定集排器转速的 5 个水平为 18、20、28、30、35 r/min。通过试验获得的排种滚筒转速与排种性能指标的关系曲线,如图 4 所示。

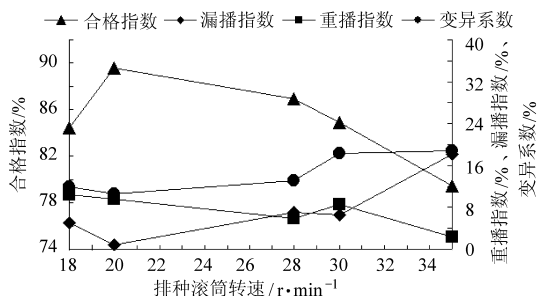


图 4 试验指标与排种滚筒转速关系曲线

Fig. 4 Relationship between indexes and rotational speed of seeding cylinder

从图 4 可知,随着排种滚筒转速的增大,合格指数先上升后下降,在排种滚筒转速为 20 r/min 时达到最大值 90.68%,漏播指数先下降至 1.69% 后上升,而变异系数在转速为 20 r/min 附近变化不显著。

当排种滚筒转速小于 20 r/min 时,由于吸孔充种时间较长而导致部分吸孔吸附较多种子,一方面会引起集排器重播指数增高,合格指数降低;另一方面,在其转动过程中,脱落的种子会对已吸附的种子造成干扰,从而引起集排器漏播指数增大。

当排种滚筒转速继续增大时,充种时间过短,种

子未被吸引引起漏播指数急剧增大,合格指数急剧下降。

(2) 负压区相对压力

设定排种滚筒转速为 20 r/min,正压区相对压力为 2 200 Pa,负压区相对压力的 7 个水平为 -1 900、-2 000、-2 100、-2 200、-2 300、-2 400、-2 500 Pa。通过试验获得负压区相对压力与试验指标的关系曲线如图 5 所示。

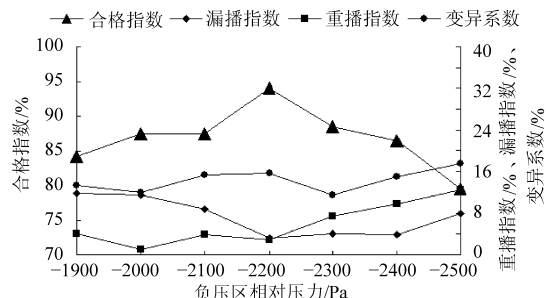


图 5 试验指标与负压区压力关系曲线

Fig. 5 Relationship between indexes and negative pressure

从图 5 可知,随着负压区相对压力的升高,重播指数不断上升,漏播指数先下降后上升,合格指数先上升后下降。在 -2 200 Pa 处漏播指数、合格指数曲线出现极值,分别 3.19%、94.02%。

当负压区相对压力小于 -2 200 Pa,吸孔因吸附力较小不能有效吸附种子,引起漏播指数增大,重播指数减小。

随着负压区相对压力的增大,种子因吸附力过大被大量吸附,引起重播指数增大,使被吸附种子未能及时投种导致漏播指数增大,在负压区相对压力大于 -2 400 Pa 时尤为明显。

(3) 正压区相对压力

设定排种滚筒转速为 20 r/min,负压区相对压力为 -2 200 Pa,正压区相对压力的 7 个水平为 1 900、2 000、2 100、2 200、2 300、2 400、2 500 Pa。通过试验获得正压区相对压力与试验指标的关系曲线如图 6 所示。

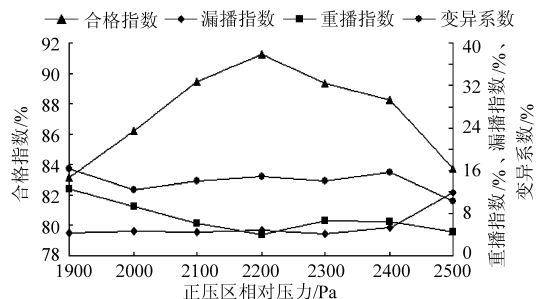


图 6 试验指标与正压区压力值关系曲线

Fig. 6 Relationship between indexes and positive pressure

从图 6 可知,随着正压区相对压力的增大,合格指数先增大后减小,当相对压力为 2 200 Pa 时达到

最高值 91.27%；重播指数先急剧下降至最低点后缓慢上升，最低点 3.97% 出现在相对压力为 2 200 Pa 处；漏播指数先缓慢上升，后急剧上升。

当正压区相对压力小于 2 100 Pa 时，过度紊流区表现为负压作用，使重播指数变化明显，随正压区相对压力的增大急剧减小，而漏播指数变化不明显。

当正压区相对压力持续增高至 2 300 Pa 时，过度紊流区表现为正压作用，使被吸附种子提前投种，导致种子未落入指定检测区域，造成漏播指数急剧增加，合格指数急剧下降。

3.2 正交试验

集排式排种器指一个排种部件、一个种箱或统一的输种系统同时完成多行播种作业的精密排种装置，排种过程中以各行排量一致性变异系数和总排量稳定性变异系数来衡量排种器的排种均匀性和稳定性。由单因素试验方差分析可知各试验因素对排种性能的影响规律显著，合适的排种滚筒转速和工作压力使排种器具有较好的排种一致性。选用排种滚筒转速、正压区相对压力、负压区相对压力 3 个主要影响因素进行正交试验^[17]，探讨各因素水平对各行排量一致性和总排量稳定性的影响程度及最佳工况组合。

3.2.1 试验设计

正交试验因素水平如表 1 所示。选用 $L_{16}(4^5)$ 进行正交试验，每组试验重复 3 次，每次使用电子秤分别称取各行对应的排种量和未破损种子总量并记录，计算出破碎率及不同条件下各行排量一致性变异系数、总排量稳定性变异系数。

表 1 正交试验因素水平

Tab. 1 Levels and factors of experimental

水平	因素		
	排种滚筒转速	正压区相对	负压区相对
	$a/r \cdot \min^{-1}$	压力 b/Pa	压力 c/Pa
1	15	2 100	-2 100
2	20	2 200	-2 200
3	25	2 300	-2 300
4	30	2 400	-2 400

3.2.2 试验结果分析

试验过程中统计破碎的种子可知，排种器的种子破碎率为 0.34%，满足行标 JB/T 10293—2001 对气力式排种器破碎率的要求^[18]。

由试验结果和极差分析可知：在不考虑正、负压区相对压力交互作用对试验结果影响的前提下，排种滚筒转速、正压区相对压力、负压区相对压力对各行排量一致性的影响依次减弱，选择各行排量一致性变异系数最低的优化参数组合为 $A_2B_2C_2$ ；负压

区相对压力、正压区相对压力、排种滚筒转速对总排量稳定性的影响作用依次减小，优化参数组合为 $A_3B_2C_2$ 。

表 2 正交试验方案与试验结果

Tab. 2 Scheme and results of experiment

试验号	A	B	C	空	空	各行排量一致性	总排量稳定性
						变异系数/%	变异系数/%
1	1	1	1	1	1	8.05	4.01
2	1	2	2	2	2	5.83	0.91
3	1	3	3	3	3	8.61	3.93
4	1	4	4	4	4	8.42	5.81
5	2	1	2	3	4	6.42	1.20
6	2	2	1	4	3	6.02	1.60
7	2	3	4	1	2	5.50	4.57
8	2	4	3	2	1	6.38	6.50
9	3	1	3	4	2	6.94	4.83
10	3	2	4	3	1	7.92	1.30
11	3	3	1	2	4	6.76	3.58
12	3	4	2	1	3	6.68	1.08
13	4	1	4	2	3	11.51	4.97
14	4	2	3	1	4	5.82	3.04
15	4	3	2	4	1	7.86	2.80
16	4	4	1	3	2	8.12	3.53

表 3 正交试验极差分析

Tab. 3 Results of range analysis

指标	A	B	C			
各行一致性 变异系数/%	K_1	30.91	32.92	28.95	26.06	30.21
	K_2	24.32	25.59	26.79	30.47	26.39
	K_3	28.30	28.73	27.75	31.07	32.82
	K_4	33.32	29.60	33.35	29.24	27.42
	R	9.00	7.33	6.56	5.01	6.43
总排量稳定性 变异系数/%	因素主次	A B C				
	优方案	$A_2B_2C_2$				
	K_1	14.67	15.02	12.71	12.70	14.61
	K_2	13.88	6.85	6.00	19.48	13.85
	K_3	10.79	14.88	18.30	9.96	11.58
K_4	14.33	16.92	16.65	15.05	13.62	
R	3.88	10.07	12.30	9.52	3.03	
	因素主次	C B A				
	优方案	$A_3B_2C_2$				

参考单因素试验结果，选用方案 $A_2B_2C_2$ 作为各行排量一致性和总排量稳定性变异系数的优化方案组合，进行性能测试得：排种滚筒转速为 20 r/min，正、负压力区相对压力为 2 200 Pa、-2 200 Pa 时排种器一致性变异系数、稳定性变异系数分别为 5.73% 和 1.21%，满足行标要求^[19]。

4 结论

(1) 设计了一种一器九行气力式油菜排种滚筒集排器，试验表明，其种子破碎率为 0.34%，满足 JB/T 10293—2001 对气力式排种器低伤种率要求。

(2) 单因素试验表明该集排器的合格指数、重

播指数、漏播指数等排种器性能指标受正、负压区相对压力、排种滚筒转速影响显著,当正压区相对压力为2 200 Pa,负压区相对压力为-2 200 Pa,排种滚筒转速为20 r/min时,排种效果较好,合格指数可达94.02%,漏播指数小于4.0%。

(3)一器九行集排器排种一致性和稳定性的正交试验结果表明,影响各行排量一致性的因素主次

依次为正压区相对压力、排种滚筒转速、负压区相对压力,影响总排量稳定性变异系数的因素主次依次为负压区相对压力、正压区相对压力和排种滚筒转速;综合考虑当集排器排种滚筒转速为20 r/min,负压区相对压力为-2 200 Pa,正压区相对压力为2 200 Pa时,集排器各行排量一致性和总排量稳定性变异系数分别为5.73%和1.21%。

参 考 文 献

- 1 廖庆喜.一种气力式油菜精量排种器:中国,ZL20062017278113[P].2008-12-30.
- 2 吴明亮,官春云,罗海峰,等.2BYD-6型油菜浅耕直播施肥联合播种机设计与试验[J].农业工程学报,2010,26(11):136~140.
- 3 Karaye D, Barut Z B, Ozmerzi A. Mathematical modelling of vacuum pressure on a precision seeder[J]. Biosystems Engineering, 2004, 87(4): 437~444.
- 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(2):48~52.
Liao Qingxi, Zhang Ning, Zhang Pengling, et al. Centrifugal metering device for rapeseed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(2): 48~52. (in Chinese)
- 5 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)
- 6 廖庆喜,杨波,李旭,等.内充气吹式油菜精量排种器气流场仿真与试验[J].农业机械学报,2012,43(4):51~54.
Liao Qingxi, Yang Bo, Li Xu, et al. Simulation and experiment of inside-filling air-blow precision metering device for rapeseed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(4): 51~54. (in Chinese)
- 7 赵晓顺,于华丽,张晋国,等.槽缝气吸式小麦精量排种器[J].农业机械学报,2013,44(2):48~51.
Zhao Xiaoshun, Yu Huali, Zhang Jinguo, et al. Slot-type pneumatic precise wheat seed-metering device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(2): 48~51. (in Chinese)
- 8 Orth R J, Marion S R, Granger S. Evaluation of a mechanical seed planter for transplanting *Zostera marina* (eelgrass) seeds [J]. Aquatic Botany, 2009, 90(2): 204~208.
- 9 廖庆喜,黄吉星,刘光,等.油菜播种机槽孔轮式精量排种器设计与试验[J].农业机械学报,2011,42(2):63~66.
Liao Qingxi, Huang Jixing, Liu Guang, et al. Design and experiment of precision metering device for slot wheeled seeder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(2): 63~66. (in Chinese)
- 10 Karayel D, Wiesehoff M, Ozmerzi A, et al. Laboratory measurement of seed drill seed spacing and velocity of fall of seeds using high-speed camera system[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2006, 50(2): 89~96.
- 11 赵湛,李耀明,陈进,等.气吸排种滚筒式排种器吸种过程的动力学分析[J].农业工程学报,2011,27(7):112~116.
Zhao Zhan, Li Yaoming, Chen Jin, et al. Dynamic analysis of seeds pick-up process for vacuum-cylinder seeder [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(7): 112~116. (in Chinese)
- 12 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.
- 13 Kumar G P V, Srivastava B, Nagesh D S. 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.
- 14 廖庆喜,张猛,余佳佳.气力集排式油菜精量排种器[J].农业机械学报,2011,42(8):30~34.
Liao Qingxi, Zhang Meng, Yu Jiajia. Pneumatic centralized metering device for rapeseed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(8): 30~34. (in Chinese)
- 15 夏红梅,李志伟,牛菊菊,等.气力排种滚筒式蔬菜穴盘播种机吸排种动力学模型的研究[J].农业工程学报,2008, 24(1):141~146.
- 16 GB/T 6973—2005 单粒(精量)播种机试验方法[S]. 2005.
- 17 周岭,施卫东,陆伟刚,等.井用潜水泵导叶的正交试验与优化设计[J].排灌机械工程学报,2011,29(4):312~315.
Zhou Ling, Shi Weidong, Lu Weigang, et al. Orthogonal test and optimization design of submersible pump guide vanes [J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2011, 29(4): 312~315. (in Chinese)
- 18 JB/T 10293—2001 单粒(精密)播种机 技术条件[S]. 2001.
- 19 JB/T 6274.1—2001 谷物播种机 技术条件[S]. 2001.