

气力集排式油菜精量排种器*

廖庆喜 张 猛 余佳佳 刘晓辉

(华中农业大学工学院, 武汉 430070)

【摘要】 针对油菜籽等小粒径种子的精量播种要求和传统排种器单体只能实施单行播种致使结构复杂的问题,设计了一种气力集排式排种器,阐述了结构设计的关键技术。以华杂4号油菜籽为试验对象,取滚筒相对压力、滚筒转速为主要影响因素进行了排种均匀性与排种一致性试验,确定各因素对排种均匀性与排种一致性的影响程度及因素水平优化组合。结果表明:影响排种器排种均匀性的因素主次顺序为滚筒相对压力、滚筒转速,且在滚筒相对压力为 -1.5 kPa ,滚筒转速为 20 r/min 时,排种一致性与排种均匀性同时达到最优,排种器排种性能最好。

关键词: 排种器 油菜 气力集排式

中图分类号: S233.2^{*5} **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)08-0030-05

Pneumatic Centralized Metering Device for Rapeseed

Liao Qingxi Zhang Meng Yu Jiajia Liu Xiaohui

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

Abstract

In order to solve the problem of small seed's precision seeding such as rapeseed seeds and complex structure caused by traditional metering device's multiline sowing, a pneumatic centralized metering device was developed. The structure and parameters were analyzed. With "Chinese hybrid 4" rapeseed as the test object, seeding consistency test and seeding uniformity test were applied to research the vacuum value and rotate speed of the roller that influenced the sowing-performance mainly. According to experiment analysis, the influencing regularity and the optimization of all the factors were defined. The analyses of the experiment results indicated that the vacuum value was the most important factor, the second was rotate speed. The optimum operation condition were: vacuum value of -1.5 kPa and rotate speed of the roller of 20 r/min .

Key words Metering, Rapeseed, Pneumatic centralized type

引言

目前,我国油菜仍采用手工播种,或将油菜籽与颗粒肥料混合后用小麦播种机播种^[1]。由于油菜籽粒径小、含油量高、易破损,排种器工作时油菜籽在型孔处易被挤压、破损率高,形成堵塞,进而造成漏播减产。气力式排种器具有对种子形状尺寸要求不严、适用性强、通用性好、不伤种子等特点,适于农作物精量播种^[2-5]。传统排种器多为“一器单行”

型式,导致播种机结构复杂;集中式排种器简称集排器,用“一器多行”能成倍提高排种效率,使播种机整体结构更为紧凑,满足高速、宽幅作业要求,集排器已经成为近年来播种工程的发展重点^[6]。为此,本文设计一种气力集排式油菜精量排种器,以实现油菜籽的精量播种。

1 排种器组成及工作原理

气力集排式油菜精量排种器主体结构如图1所

收稿日期: 2011-01-18 修回日期: 2011-02-24

* 国家自然科学基金资助项目(50875104)、教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目(NCET-07-0344)和高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20090146110016)

作者简介: 廖庆喜,教授,博士,主要从事播种机械和高秆茎秆作物收获机械研究, E-mail: liaoqx@mail.hzau.edu.cn

示,主要由副种箱、滚筒、吸嘴、种箱、刮种装置、导种装置、主侧板、气流分配管、进气口等组成。排种器工作时,滚筒逆时针旋转,风机启动后对滚筒进行吸气,滚筒与吸嘴腔内产生一定的负压,形成吸附力。副种箱内的种子在重力以及种子的相互作用下通过限位口充入种箱内,使种箱内种子处于一定高度。当吸嘴随滚筒一起转动时,吸嘴首先经过种箱处,进入种子群,种子被吸附并随吸嘴转动,吸嘴转动到刮种装置处时,刮种装置将吸嘴顶端的种子强制刮落,种子经导种装置投出,播种过程结束。其中安装有多排吸嘴的滚筒为排种器的核心部件,可以同时实现 4 行油菜籽的播种作业,成倍提高了排种效率。

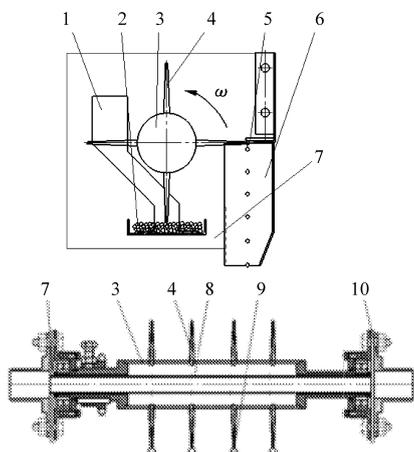


图 1 排种器主体结构示意图

Fig.1 Main structure of metering

1. 副种箱 2. 种箱 3. 滚筒 4. 吸嘴 5. 刮种装置 6. 导种装置
7. 主侧板 8. 气流分配管 9. 种子 10. 进气口

2 排种器关键部件的结构设计

2.1 结构方案

根据确定的气力集排式油菜精量排种器的工作原理,滚筒、吸嘴、刮种装置、导种装置为排种器的核心部件,其结构如图 2 所示。滚筒转动时,吸嘴顶点运动轨迹为圆形,吸嘴轨迹与刮种装置相切,此时吸嘴与刮种装置为点接触,将吸嘴顶端的种子强制刮落。导种装置位于刮种装置正下方,利于被刮落的种子进入导种口。

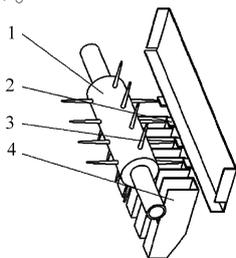


图 2 结构方案

Fig.2 Structure scheme

1. 滚筒 2. 吸嘴 3. 刮种装置 4. 导种装置

2.2 滚筒与吸嘴

滚筒与吸嘴二者组成滚筒组合,吸嘴安装布置方式直接影响到排种器排种性能。根据排种器的结构方案,滚筒结构为具有一定厚度的圆管,圆管两端焊接有实心滚筒轴,具有动力传动与气体输送通道的作用(图 3)。沿滚筒圆周方向均匀分布有 4 个吸嘴,吸嘴与滚筒为螺纹连接,通过调节螺纹连接的深度可以对吸嘴顶点的运动轨迹进行微调,使吸嘴与刮种装置形成点接触。同时,排种器长时间工作后,由于杂质、种子不纯等因素导致吸嘴型孔处形成的堵塞也可以通过螺纹连接的方式方便地将吸嘴从滚筒取下进行清孔处理或定期进行更换循环使用。沿滚筒轴向等距离分布有 4 排吸嘴,工作时 4 排吸嘴同时进行排种作业,即可实现“一器四行”的目标。

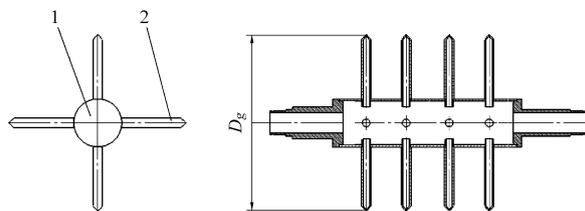


图 3 滚筒组合结构简图

Fig.3 Structure of roller combination

1. 滚筒 2. 吸嘴

吸嘴结构如图 4 所示。通过试验确定吸种孔直径 $d_k = (0.6 \sim 0.7) d_s$, d_s 为油菜籽直径^[7]。吸嘴入口锥角 2α 为 90° , 国内外研究表明吸种孔入口为锥形对吸种的相对压力要求最低, 锥角为 90° 时能获得最大的吸种保持力^[8]。吸种孔深度 $H_d = 2 \text{ mm}$, 吸种孔导程 $H_k = 1.5 \text{ mm}$ 。吸嘴内腔直径 $d_n = 8 \text{ mm}$, 吸嘴内腔锥角 2β 为 90° , 吸嘴长度 $H = 80 \text{ mm}$ 。在种子箱内, 吸嘴型孔低于种子面高度 2~3 层种子厚度, 种子层较厚或较薄均不利于种子被吸附。

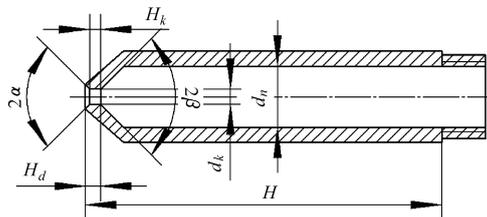


图 4 吸嘴结构图

Fig.4 Structure of suction nozzle

滚筒直径 D_g 以试验所得的滚筒圆周速度为选择基础。此处 D_g 为吸嘴顶点圆周运动轨迹直径, D_g 越大, 所需的空气量必然增加, 同时滚筒结构偏大; D_g 越小, 吸嘴型孔与种子层高度的敏感性越大。滚筒直径 D_g 由试验最后确定。

2.3 刮种装置

刮种装置的作用是将吸附在吸嘴顶端的种子强制刮落,使其进入导种装置,其核心是刮种片,为保持刮种过程的稳定有效性,刮种片材料不能太柔软或太坚硬,材料过于柔软或坚硬都不利于刮种,刮种材料较高的疲劳强度使刮种时效更长,排种性能更稳定。分析与试验比较得知,刮种片需具有一定的刚度、一定的韧性、较高的疲劳强度。为此,选取工业用3 mm厚的硅胶板为刮种片材料,硅胶为具有较高机械强度的高活性吸附材料,3 mm的硅胶板达到了刮种片的要求。

3 排种性能试验

3.1 试验材料及试验设备

试验材料为华杂4号油菜籽,种子主要机械物理特性为:平均粒径1.5~2.2 mm,千粒质量3.96 g,含水率7.6%。

试验在华中农业大学精密播种试验台上进行。主要设备有:哈尔滨博纳科技有限公司JPS-12型排种器性能检测试验台,浙江森森实业有限公司HG-260型渔亭牌漩涡式充气增氧机。JPS-12型试验台的视觉检测系统进行排种性能检测,增氧机提供负压。

3.2 试验因素

根据气力集排式排种器的排种原理,吸种、刮种过程的可靠性直接决定了排种器的排种性能,影响这两个关键过程的因素主要有滚筒相对压力、滚筒转速、吸嘴的结构及形式、刮种装置的材料及刮种形式等。前期针对各因素进行了大量的单因素试验,已确定了合理的吸嘴、刮种装置等结构参数。为获取排种器理想的工作参数,取滚筒相对压力、滚筒转速2个因素进行试验,各因素水平以满足排种器较高的排种效果及工作效率的要求来选取。其中滚筒转速通过变频器实现无级调速,滚筒相对压力由调压阀来控制,试验中测得相对压力在水平值 ± 50 Pa范围内波动。

3.3 试验评价指标

排种均匀性是指种子在行内纵向分布的均匀程度,是衡量作物田间分布质量的主要指标。无论是条播或点播都用播种均匀性来衡量播种机的工作性能,一般通过测定单位长度上的种子粒数,用各段种子粒数的变异系数来比较^[9]。

排种一致性是指排种器各行排量的一致程度与总排量的稳定程度,具体评价指标为各行排量一致性变异系数与总排量稳定性变异系数。进行试验时,一般通过连续称取单位时间内各行的排量以及

所有行的总排量,用单位时间内各行排量的变异系数和总排量的变异系数来比较。

3.4 试验方案

确定试验指标为排种均匀性变异系数,进行正交试验以确定单行排种均匀性达到最优时各试验因素的最佳组合(选取第2行为检测行)。确定试验指标为各行排量一致性变异系数与总排量稳定性变异系数,进行单因素试验以确定各试验因素对排种一致性的影响规律。通过排种均匀性试验与排种一致性试验的结合,找出气力集排式排种器的最佳工作状态,即排种均匀性与排种一致性均较为理想的状态。

4 试验结果与分析

4.1 排种均匀性试验

选择正交表 $L_9(3^4)$ 来安排正交试验^[10]。其中安排第3列为交互列,第4列为空列,根据试验安排对每组参数组合进行试验,利用SPSS统计软件对试验结果进行分析处理。其因素水平如表1所示,为模拟播种机的前进速度,设定种床带前进速度为1.9 km/h,试验过程中前进速度保持不变。

正交试验表以及对应的排种均匀性变异系数试验结果如表2所示。

极差与方差分析如表3、4所示。试验结果表

表1 试验因素水平

Tab.1 Levels of test factors

水平	因素	
	滚筒转速 $A/r \cdot \min^{-1}$	滚筒相对压力 B/kPa
1	20	-0.5
2	25	-1.0
3	30	-1.5

表2 正交试验结果

Tab.2 Orthogonal test results

试验序号	A	B	$A \times B$	C	排种均匀变异系数/%
1	1	1	1	1	13.85
2	1	2	2	2	10.31
3	1	3	3	3	7.26
4	2	1	2	3	15.29
5	2	2	3	1	13.22
6	2	3	1	2	10.89
7	3	1	3	2	14.43
8	3	2	1	3	11.94
9	3	3	2	1	14.90

明:对于排种均匀性变异系数,滚筒转速 A 较优水平为 A_1 ,滚筒相对压力 B 较优水平为 B_3 ;主次顺序依次为 $B、A$;因素优化水平组合为 A_1B_3 ,此时排种均匀性最优,对应的排种均匀性变异系数为 7.26%。滚筒转速为 20 ~ 30 r/min,滚筒相对压力为 -0.5 ~ -1.5 kPa 时,其均匀性变异系数保持在 7.26% ~ 15.29% 之间。参照谷物播种机技术条件^[11],播种均匀性变异系数不大于 45%,故滚筒转速、滚筒相对压力在上述范围内时,此排种器均获得较好的排种均匀性。通过试验验证,滚筒相对压力为 -1.5 kPa,滚筒转速为 20 r/min 时,排种器排种均匀性最好,排种均匀性变异系数为 7.26%。

表 3 排种均匀性变异系数极差分析

Tab.3 Results of extreme analysis

指标	A	B	A × B
K_1	10.47	14.52	12.23
K_2	13.13	11.82	13.50
K_3	13.76	11.02	11.64
R	3.29	3.50	1.86
较优水平	$A_1 B_3$		
主次因素	$B、A、A \times B$		

表 4 排种均匀性变异系数方差分析

Tab.4 Results of variance analysis

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	显著水平
A	18.244	2	9.122	1.685	0.372
B	20.237	2	10.119	1.869	0.349
A × B	5.441	2	2.721	0.503	0.666
误差	10.827	2	5.414		
总和	54.749	8			

4.2 排种一致性试验

选取滚筒转速、滚筒相对压力为试验因素,分别进行单因素试验,以获取二者对排种一致性的影响规律。

4.2.1 滚筒转速

设定滚筒相对压力为 -1.0 kPa,选择滚筒转速分别为 10、15、20、25 r/min 4 个水平,得滚筒转速对各行排量一致性变异系数与总排量稳定性变异系数的影响如图 5 所示。

由图 5 可知,随着滚筒转速的增加,各行排量一致性变异系数与总排量稳定性变异系数均呈总体上升趋势。转速高,种子所受离心力大,导致吸附种子困难,排种过程的稳定性受到影响,使排种一致性降低。但滚筒转速在 10 ~ 25 r/min 的范围内,各行排量一致性变异系数为 1.9% ~ 7.8%,总排量稳定性

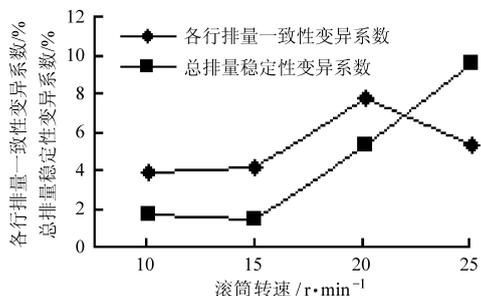


图 5 试验指标与滚筒转速关系曲线

Fig.5 Experiment index vs speeds of roller

变异系数为 1.6% ~ 9.6%,二者均能达到标准规定的要求。

4.2.2 滚筒相对压力

设定滚筒转速为 20 r/min,选择滚筒相对压力分别为 -0.5、-1.0、-1.5 kPa 3 个水平,试验得出滚筒相对压力对各行排量一致性变异系数与总排量稳定性变异系数的影响如图 6 所示。

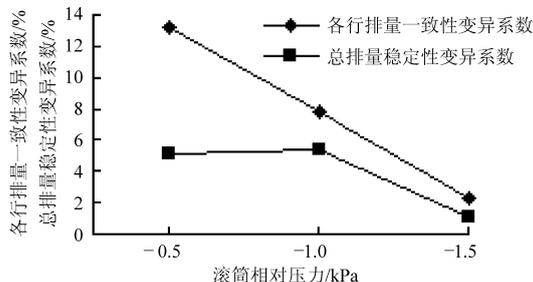


图 6 试验指标与滚筒相对压力关系曲线

Fig.6 Experiment index vs relative pressure of roller

由图 6 可知,随着滚筒负压的升高,各行排量一致性变异系数与总排量稳定性变异系数均呈总体下降趋势。滚筒负压越高,种子所受吸附力越大,利于种子被吸附,排种过程的稳定性得到提升,使得排种一致性升高。

通过均匀性试验可知,滚筒相对压力为 -1.5 kPa,滚筒转速为 20 r/min 时,排种均匀性变异系数为 7.26%,排种器单行排种均匀性达到最优,与此同时,由排种一致性试验可知,影响排种一致性的衡量指标均降到最低,各行排量一致性变异系数为 2.30%、总排量稳定性变异系数为 1.10%,排种器排种一致性也达到最佳,此时排种器排种一致性与单行排种均匀性二者同时达到最优,排种器排种性能最好。

5 结论

(1) 所设计的气力集排式油菜精量排种器,能同时完成 4 行的油菜播种作业。

(2) 试验表明,气力集排式油菜精量排种器结构紧凑,可实现气力集排的功能要求。

(3) 影响排种均匀性的主要因素为滚筒相对压力,其次为滚筒转速,二者交互作用影响最小。

(4) 随着滚筒转速的增加,各行排量一致性变异系数与总排量稳定性变异系数呈总体上升趋势;随着滚筒负压的升高,二者呈总体下降趋势。

(5) 滚筒相对压力为 -1.5 kPa,滚筒转速为 20 r/min时,排种均匀性变异系数、各行排量一致性变异系数、总排量稳定性变异系数分别为 7.26% 、 2.30% 、 1.10% ,排种器排种一致性与单行排种均匀性同时达到最优,排种器排种性能最佳。

参 考 文 献

- 张宇文,邹剑,张文超,等. 油菜机械精量播种技术及多功能精量排种器的研制[J]. 中国农机化,2003(2):28~30.
Zhang Yuwen, Zou Jian, Zhang Wenchao, et al. Precise seeding technology for rape and development of multi-functional precise seeding apparatus[J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2003(2):28~30. (in Chinese)
- 夏红梅,李志伟,甄文斌. 气力板式蔬菜排种器设计与试验[J]. 农业机械学报,2010,41(6):56~60.
Xia Hongmei, Li Zhiwei, Zhen Wenbin. Design and experiment of the vegetable seed metering[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(6):56~60. (in Chinese)
- 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):112~117.
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 of Technology, 1995, 25(4):112~117. (in Chinese)
- 廖庆喜,李继波,覃国良. 气力式油菜精量排种器气流场仿真分析[J]. 农业机械学报,2009,40(7):78~82.
Liao Qingxi, Li Jibo, Qin Guoliang. Simulation analysis on air current field of pneumatic precision metering device for rapeseed [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(7):78~82. (in Chinese)
- 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)
- 秦军伟,张晓辉,姜忠爱. 探讨集中式排种器的排种机理及其发展[J]. 农业装备技术,2004,30(4):20~23.
Qin Junwei, Zhang Xiaohui, Jiang Zhongai. Research of seeding principles of centralized type seedmeters and its development [J]. The Equipment and Technology of Agriculture, 2004, 30(4):20~23. (in Chinese)
- 张波屏. 播种机械设计原理 [M]. 北京:机械工业出版社,1982.
- 宋裕民,胡敦俊. 工厂化育苗精量播种装置的试验研究[J]. 山东理工大学学报,2002,16(3):48~52.
Song Yumin, Hu Dunjun. Experimental study on vacuum nozzle precision seed-meter [J]. Journal of Shandong University of Technology, 2002, 16(3):48~52. (in Chinese)
- 吴明亮,官春云,高晓燕,等. 偏心轮型孔轮式排种器排种油菜极限转速试验[J]. 农业工程学报,2010,26(6):119~123.
Wu Mingliang, Guan Chunyun, Gao Xiaoyan, et al. Test on limit turning speed of eccentric round hole-wheel seedmeter for rape [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(6):119~123. (in Chinese)
- 刘文卿. 试验设计[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- JB/T 6274.1—2001 谷物播种机 技术条件[S]. 2001.