

内充气吹式油菜精量排种器气室流场仿真与试验*

廖庆喜 杨波 李旭 廖宜涛 张宁

(华中农业大学工学院, 武汉 430070)

【摘要】 针对机械式排种器易发生堵塞造成漏播的问题,设计了一种内充气吹式油菜精量排种器。以 ANSYS/CFX 为工具建立气室流场仿真模型,以气室有无平衡出气孔为试验因素,对气室内气流场进行了仿真分析。仿真结果表明,有平衡气孔的气室压力波动比无平衡气孔小 93 Pa。台架试验表明,无气吹作用、无平衡气孔气室气吹作用和有平衡气孔气室气吹作用 3 种状态下,漏播指数分别为 14.4%、4.4% 和 2.4%,排种器的合格指数分别为 66.8%、78.4% 和 82.0%,在气吹作用下排种器堵塞漏播问题得到明显改善。

关键词: 油菜 排种器 气吹式 仿真 台架试验

中图分类号: S233.2*5 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2012)04-0051-04

Simulation and Experiment of Inside-filling Air-blow Precision Metering Device for Rapeseed

Liao Qingxi Yang Bo Li Xu Liao Yitao Zhang Ning

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

Abstract

A prototype of inside-filling air-blow seed-metering device was developed to overcome the deficiency of mechanical precision metering device with high rate of cell blocked and seeds absent. Simulation analysis of flow in the prototype was carried out with software ANSYS/CFX. The simulation results showed that the pressure fluctuation in the prototype with stomata was fewer 93 Pa than it without stomata. The laboratory test results indicated that seeding performances of the seed-metering devices with stomata was much better than it without stomata: quality of feed index and miss index of the devices without air-blowing drop, with no-stomata air-blowing drop and with stomata air-blowing drop was 66.8%, 78.4%, 82.0% and 14.4%, 4.4%, 2.4%, respectively.

Key words Rapeseed, Metering device, Air-blow, Simulation, Laboratory experiment

引言

播种质量是影响油菜等小粒径作物机械化生产效率 and 效益的关键技术环节,作为播种机核心部件的排种器性能直接决定油菜播种机的排种性能,影响油菜机械化直播技术的推广应用和经济效益^[1]。

传统的机械式排种器是通过型孔将种子从种箱中分离出来,运动至落种口时靠种子自重进行卸种。因为机械结构的原因,这类排种器会在取种和落种

过程中因种子受挤压而堵塞型孔,易造成漏播缺苗断垄^[2]。通过调整型孔角度和形状、采用异性孔窝眼轮和斜窝眼偏心轮,减少多粒种子在盛种时受到的孔壁挤压^[3-5]。或在排种轮内配以小推卸轮、推种顶针和推种钢丝等辅助推种装置,将种子从窝眼中推出,减少型孔的堵塞^[6-8]。油菜的精量播种是将单粒种子均匀地播在理想的位置,但油菜籽粒直径小、重量轻,机械式的单粒取种对型孔要求高,落种时更易堵塞,对辅助推种装置的要求也较高。

收稿日期: 2011-02-20 修回日期: 2011-05-13

* 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20090146110016)、国家油菜产业技术体系专项资助项目(CARS-13)和中央高校基本科研业务费(2011PY021)

作者简介: 廖庆喜,教授,博士生导师,主要从事油菜播种机械与高粗茎秆作物收获机械研究, E-mail: liaoqx@mail.hzau.edu.cn

本文设计一种内充气吹式油菜精量排种器。通过内充种实现单粒取种,气压吹送卸种,可以有效地防止型孔堵塞。采用 ANSYS/CFX 对排种器的气室压力分布进行仿真研究,在仿真基础上通过台架试验验证排种器性能。

1 排种器基本结构及工作原理

内充气吹式油菜精量排种器结构如图 1 所示,主要由罩壳、排种滚轮、护种板、种子箱、平衡气孔、进气管、气室、隔气板、卸种口、排种管和支座等组成。

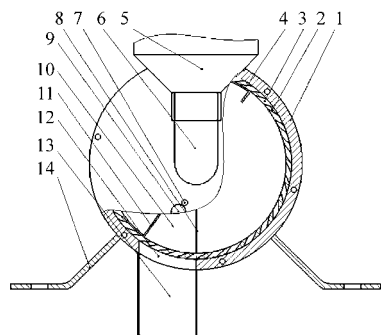


图 1 排种器结构示意图

Fig. 1 Structure of metering device

1. 罩壳 2. 排种滚轮 3. 型孔 4. 护种板 5. 种箱 6. 输种管
7. 平衡气孔 8. 隔气板 I 9. 进气管 10. 气室 11. 隔气板 II
12. 卸种口 13. 排种管 14. 支座

种子由种箱经输种管末端的开口进入充种区,输种管末端未开口部分可以防止种子滑落到护种区,其开口部分的开度可以控制充种区种子群高度。工作时,传动链轮驱动排种滚轮转动,当排种滚轮转动到充种区时,种子在自身重力、排种滚轮与种子间摩擦力以及种子群体间相互作用下充入型孔。排种滚轮继续转动进入清种区,未充入型孔的种子在重力作用下作用回落到充种区中。靠近型孔内壁的种子在重力、离心力和种子与内壁摩擦力的综合作用下沿型孔径向滑动,通过护种板、型孔倾角以及排种滚轮转动使多余的种子滑出型孔,回落到充种区,实现自助清种。在护种板开始端有凹陷区保证种子顺利进入护种区,有效地降低种子破损。充入型孔内的种子在护种板保护作用下随排种滚轮转到气室区,正压气体通过进气管输入气室区,使得气室区与卸种口处存在压力差,种子在气室区内受自身重力、离心力以及气吹力的作用下落入排种管,完成排种作业。通过平衡气孔可以调节气室区气体压力,保证气室内压力均匀。

2 气室流场仿真

2.1 气室初始化条件

排种器气室结构如图 2 所示。并作以下假设:

- ①排种器进气口压力均匀。②气室内气体为不可压缩气体。③气室密封不漏气。

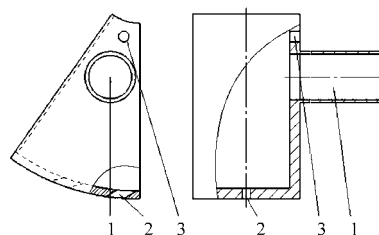


图 2 气室结构示意图

Fig. 2 Model of pressing area

1. 进气口 2. 型孔 3. 平衡气孔

利用 ANSYS/CFX 进行仿真模拟时各参数为:流体密度 1.205 kg/m^3 , 流体粘度 $1.83 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$, 进气口压力 500 Pa , 平衡气孔及型孔压力 0 Pa , 大气压 10^5 Pa , 室温 20°C 。

2.2 仿真与分析

排种器气室的作用是利用正压力吹出型孔内的种子,以防止型孔阻塞。气室流场压力稳定,有利于提高排种器排种的均匀性,降低漏播率。气室由进气管输进气流,型孔输出气体,通过平衡气孔调节气室气流量。因此,气室流场压力稳定,平衡气孔大小是关键参数。应用 ANSYS/CFX 软件对内充气吹式精量排种器气室气流压力分布进行仿真,观察气室平衡气孔对排种器气室气流压力的影响^[9-10]。

通过 ANSYS Workbench 建立几何模型,采用流体网格专用 CFX-Mesh 进行网格划分。

定义进气口端面为输入端面,定义型孔端面及平衡气孔端面为输出端面,其余定义为壁面。施加边界条件,输入与输出均定义为 opening 边界,边界输入压力为 500 Pa ,边界输出压力为 0 Pa 。

选用湍流 $k-\varepsilon$ 模型,定义流体的属性为空气,对其进行求解,得到结果如图 3 所示。图中,左图表示整个气室气压分布情况,其压力分布云图表明整个气室气压稳定;右图表示型孔横截面的压力云图,表明气室压力基本稳定。

从排种器气室有、无平衡气孔仿真结果表明,平衡气孔对排种器气室整体压力有一定的影响,有平衡气孔比无平衡气孔气室压力的波动范围小 93 Pa 。

3 台架试验

利用 JPS-12 型试验台对内充气吹式排种器进行试验研究,试验设备如图 4 所示。试验参数为:排种滚轮转速 20 r/min 、进气管气流压力 500 Pa 、种床带前进速度 2.4 km/h ,由排种滚轮转速、型孔数以及种床带前进速度计算出理论株距为 80 mm 。试验设定排种器 3 种工作状态:气室内无气流压力(即

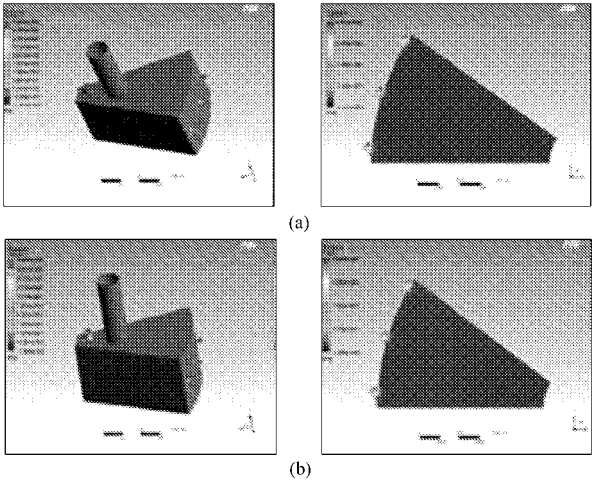


图3 气室气流场

Fig.3 Air current field of pressing area

(a) 有平衡气孔压力分布 (b) 无平衡气孔压力分布

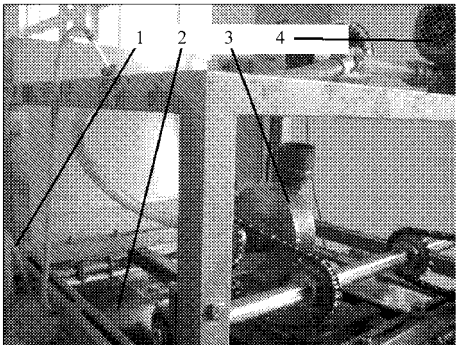


图4 试验装置

Fig.4 Experimental device

1. U型管测压计 2. JPS-12 型排种器试验台 3. 排种器

4. HG-260 型风泵

无气吹作用)、气室有气流压力但无平衡气孔和气室有气流压力平衡气孔。

随机在输种带上选取 25 段,测量单位长度内种子间距以及种子数。其中,排种滚筒型孔可能会随机的充入 1~2 颗种子,因此在种床带上有 2 粒种子间距小于 20 mm 时,视为一个型孔内排出种子,此时测量株距为 2 粒种子中间值与另外种子间距离;株距在 120 mm 以上的视为出现了漏播。排种器在无气吹作用、气室有气流压力无平衡气孔、气室有气流压力平衡气孔时测试结果如表 3 所示。株距在 120 mm 以上分别为 14.4%、4.4% 和 2.4%,表明在无气吹作用时,排种滚轮型孔堵塞率高,漏播严重,在气压吹种作用下,型孔堵塞率大幅度降低。株距在 100~119 mm 分别占 4.0%、4.4% 和 3.2%,表明部分种子在卸种过程中,与排种管碰撞,使得前、后 2 个型孔排出的种子下落到种床带上的时间间距变大,种床带上体现为株距偏大。排种器在 3 种状态下的重播指数接近,分别为 10.8%、12.8% 和

12.4%;合格指数分别为 66.8%、78.4% 和 82.0%,满足油菜种植农艺要求。试验表明,添加气吹作用后,型孔堵塞明显减少,排种合格指数提高,其中因为有平衡气孔的气室内部气压波动更小,气吹推力更平稳,合格指数比采用无平衡气孔气室进行气吹推种更高。

表 3 种子株距分布			
Tab.3 Seed-spacing distribution of rape			
株距 /mm	种子数		
	无气压	有气压无平衡气孔	有气压有平衡气孔
20~39	13	10	6
40~59	24	22	25
60~79	80	78	106
80~99	87	118	99
100~119	10	11	8
120 以上	36	11	6

统计的单位长度内排种量如图 5 所示。气室有气流压力及平衡气孔时均匀性最好,其排种量为 (20±2) 粒,变化范围为 10%;气室有气流压力无平衡气孔时其排种量为 (20±4) 粒,变化范围为 20%;而无气吹作用时排种器的排种量比有气流压力小,且变化幅度更大。

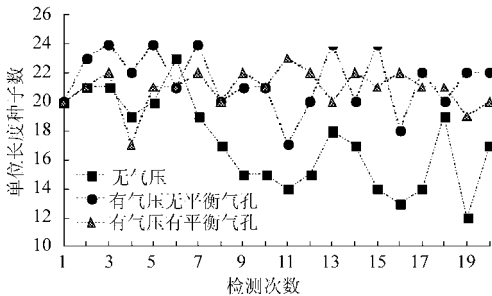


图5 种子分布频率

Fig.5 Frequency distribution of seeding-space

上述试验结果表明,通过气吹推种可以明显的减少型孔堵塞,提高排种器性能。气室有平衡气孔调节气压时,有利于气室气流压力稳定,提高排种量均匀性。

4 结论

(1)设计了一种内充气吹式油菜精量排种器,通过内充种,实现单粒取种;通过气流压力卸种,可有效防止型孔堵塞;通过平衡气孔调节气流压力,提高排种器的播种均匀性。

(2)运用 ANSYS/CFX 对排种器气室仿真研究,气室压力整体分布较稳定,有平衡气孔有利于降低气室气流压力波动。

(3)台架试验表明,无气吹作用、无平衡气孔气

室气吹作用和有平衡气孔气室气吹作用3种状态下,排种器的合格指数分别为66.8%、78.4%和82.0%,漏播指数分别为14.4%、4.4%和2.4%。

在有平衡气孔气室气吹作用下,播种最均匀,单位长度内播种数量变化范围在10%内。在有平衡气孔气室气吹作用下,排种器性能得到明显改善。

参 考 文 献

1 张秀花,夏玲,马洪亮.精密播种机的可靠性研究[J].农业机械学报,2004,35(2):62~65.
Zhang Xiuhua, Xia Ling, Ma Hongliang. Design and experiment of the vegetable seed metering[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(2): 62~65. (in Chinese)

2 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)

3 Ahmadi E, Ghassemzadeh H R, Moghaddam M, et al. Development of a precision seed drill for oilseed rape[J]. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 2008, 32(5): 451~458.

4 袁文胜,吴崇友,金诚谦.异形孔窝眼轮式油菜排种器设计与试验[J].农业机械学报,2009,40(5):72~75.
Yuan Wensheng, Wu Chongyou, Jin Chengqian. Design and experiment on seed-metering device with special cells for cole seed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(5): 72~75. (in Chinese)

5 李善军,廖庆喜,张衍林,等.油菜播种机斜窝眼偏心轮式排种器结构设计[J].农机化研究,2008(8):72~74.
Li Shanjun, Liao Qingxi, Zhang Yanlin, et al. The design of central parts about inclined-hole and partial-wheel seeding device of the rape sower[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008(8): 72~74. (in Chinese)

6 张宇文.机械式多功能精密排种器的设计[J].农业机械学报,2005,36(5):50~53.
Zhang Yuwen. Research and design for making a new type of mechanized and multiple functions of precision seed-drilled appliance[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(5): 50~53. (in Chinese)

7 张宇文,张文超,李冬肖.中心传动强推式精密排种器设计[J].农业机械学报,2010,41(2):78~81.
Zhang Yuwen, Zhang Wenchao, Li Dongxiao. Design for precision metering device with center transmission[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(2): 78~81. (in Chinese)

8 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)

9 Overview of ANSYS CFX. ANSYS CFX, Release 11.0. ANSYS user's manual[M]. Nasdaq: ANSYS, Inc. 2006.

10 韩占忠,王敬,兰小平. FLUENT 流体工程仿真计算实例与应用[M]. 北京:北京理工大学出版社,2008.

(上接第50页)

6 耿爱军,李法德,李陆星.国内外植保机械及植保技术研究现状[J].农机化研究,2007(4):181~191.
Geng Aijun, Li Fade, Li Luxing. The plant protection machinery and technology at home and abroad[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007(4): 181~191. (in Chinese)

7 Pimentel D, Levitan L. Pesticide: amounts applied and amounts reaching pests[J]. Bioscience, 1986, 36(2): 86~91.

8 Prairie Agricultural Machinery Institute. Hexi-coil mode 1562 field sprayer evaluation report 527 [R]. Saskatoon, Saskatchewan, Canada: Prairie Agricultural Machinery Institute, 1987.

9 张军伟,傅大放,彭奇均,等.响应面法优化酸水解稻秆制木糖的工艺参数[J].农业工程学报,2009,25(11):253~257.
Zhang Junwei, Fu Dafang, Peng Qijun, et al. Optimized conditions for production of xylose by acid-hydrolysis of rice straw based on response surface methodology[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(11): 253~257. (in Chinese)

10 易军鹏,朱文学,马海乐,等.牡丹籽油超声波辅助提取工艺的响应面法优化[J].农业机械学报,2009,40(6):103~110.
Yi Junpeng, Zhu Wenxue, Ma Haile, et al. Optimization on ultrasonic-assisted extraction technology of oil from *paeonia suffruticosa andr.* seeds with response surface analysis[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(6): 103~110. (in Chinese)