

磁吸滚筒式精密排种器设计与试验^{*}

胡建平 郑赛男 刘文东

(江苏大学现代农业装备与技术省部共建教育部重点实验室, 镇江 212013)

【摘要】 针对蔬菜、花卉类小颗粒种子精密播种问题,利用磁吸式排种原理,设计了一种磁吸滚筒式精密排种器。通过分析比较单排磁吸头不同极性排列方式下的磁路及磁感应强度,确定了滚筒内磁吸头沿周向4排阵列,各排磁吸头按N、S极间隔排列的设计方案。对研制的排种器,以磁粉包衣油菜籽为试验对象,滚筒转速及磁吸头工作电流为试验因素,进行了正交试验,通过方差分析确定了影响排种性能的主次因素及优化组合。试验结果表明,磁吸头工作电流是影响排种性能的主要因素,在磁吸头工作电流230 mA、滚筒转速15 r/min条件下,排种器单粒精播指数可达93.6%,重播指数为2.2%,排种速率达3 600排/h,能够满足精密播种的精度和效率要求。

关键词: 排种器 磁吸滚筒式 设计 试验

中图分类号: S223.2⁺5

文献标识码: A

Design and Experiment of Precision Magnetic Cylinder-seeder

Hu Jianping Zheng Sainan Liu Wendong

(Jiangsu Provincial Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology,
Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract

In order to solve the problem of small seed's precision seeding, such as vegetable and flower seeds, a new type of magnetic cylinder-seeder was developed according to the magnetic seed-metering principle. By analyzing and comparing magnetic field route and intensity of one row suction head in the case of two kinds of polarity arrangements, the designed project was ascertained that four rows of magnetic suction head were assembled in the cylinder inner and its pole was arranged according to gap way. To improve the metering performance of this device, the orthogonal experiment was conducted with test object of rapeseed coated with magnetic powder, test factors of cylinder rotation rate and suction head's electric current. Variance analysis of the experiment results indicates that the suction head's electric current is the main factor and the optimization of two factors are the suction head's electric current of 230 mA and the cylinder rotation rate of 15 r/min. Under such working conditions, the single seed index is 93.6%, multi-seed index is 2.2%, and the seed-metering efficiency could achieve 3 600 rows per hour, so it proves that this machine has higher sowing precision and better adaptability to small seeds.

Key words Seed-metering device, Magnetic cylinder, Design, Experiment

引言

精密播种是将种子精确播入穴孔中的一种现代化播种技术,一般实行一穴一粒。由于蔬菜、花卉、

苗木等作物种子体积小、重量轻、形状不规则,因而给精密播种带来了困难。目前,国内外先进的精密播种机主要以气吸式和机械式排种方式为主^[1~3],如荷兰飞梭国际公司的针式精密播种机、美国文图

收稿日期: 2008-05-21 修回日期: 2008-07-17

^{*} “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD11A10)和江苏省自然科学基金资助项目(BK2007088)

作者简介: 胡建平,教授,主要从事农业机械设计理论及试验研究,E-mail: hujp@ujs.edu.cn

尔公司的齿盘式精密播种机等。气吸式精密播种对种子外形尺寸要求不严,播种精度较高,但结构复杂、制造成本高,对不同颗粒大小种子需更换吸嘴;机械式精密播种结构简单、播种速度快,但对种子外形尺寸要求较严,一般需对种子进行严格筛选或丸粒化处理,且排种时易伤种。针对现有精密播种机存在的不足,本文利用磁吸式排种原理^[4~5],设计一种滚筒式精密排种器,实现小颗粒种子的精密播种。

1 排种器结构及工作原理

磁吸滚筒式精密排种器如图 1 所示,主要由滚筒、磁吸头、种箱、穴盘输送带和驱动电动机等组成。其中,磁吸头为一柱状电磁铁,并在滚筒内按周向 4 排布置,每排磁吸头按穴盘孔距阵列,每个磁吸头端面紧贴于滚筒内壁。待播种子经磁粉包衣成丸粒状,其磁粉由细铁粉与普通包衣粉料按一定比例混合而成。排种器工作时,首先给滚筒内磁吸头通以直流电,使磁吸头磁极端面产生稳定强磁场,当磁吸头随滚筒旋转经过种箱开口处时,种箱开口处的磁粉包衣种子因所处位置不同,将受到不同的磁吸力作用,其中受力大的种子被磁吸头磁极端面吸附在滚筒壁上,跟随滚筒一起旋转,而受力小的种子将留在种箱内;当吸取种子的磁吸头随滚筒运行至下端穴孔上方时,控制装置临时切断该排磁吸头电流,磁力消失,种子在重力和离心力的作用下落入穴孔,随后该排磁吸头再次通电,等待下次取种。由于滚筒作单向连续匀速运转,各排磁吸头通过控制电流的通断,依次充种、携种和对穴播种,所以排种器的工作效率和工作稳定性得到了提高。

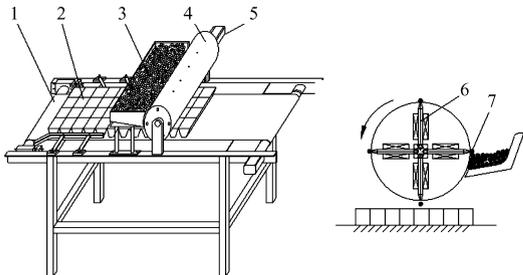


图 1 磁吸滚筒式精密排种器示意图

Fig. 1 Sketch map of precision magnetic cylinder-seeder

- 1. 穴盘输送带 2. 穴盘 3. 种箱 4. 滚筒 5. 驱动电动机
- 6. 磁吸头 7. 磁粉包衣种子

2 单排磁吸头极性布置分析

由图 1 可知,排种器内多个磁吸头整排布置,从而组成了一个平面多极开放磁系。对于一个平面多极开放磁系,不同的磁极形状及磁极配置方案将直

接影响到磁吸头排种空间的磁场特性,并最终影响其排种性能。由电磁铁理论知^[6~7],电磁铁螺线管电流通以不同绕行方向时,其两端将呈现不同的磁性,因而多个电磁铁串接时,其磁吸端可有 2 种不同的磁极配置方式:一种是按 N、S 极间隔排列,如图 2a 所示;另一种是按 N 极或 S 极同侧排列,如图 2b 所示。当 N、S 极作间隔排列时,由于电磁铁铁芯长度远比两磁极间隙距离长,而磁铁和磁性种子的磁导率远比空气大,因而总的磁路将按图 2a 所示方向;当 N 极或 S 极作同侧配置时,由于磁有同性相斥、异性相吸的性质,因而总的磁路按图 2b 所示方向。

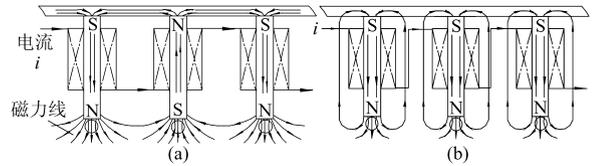


图 2 磁吸头磁极 N、S 不同排列时的磁路

Fig. 2 Magnetic pole arranges

- (a) N、S 极间隔排列 (b) N、S 极同侧排列

以图 1 所示滚筒内单排 6 个磁吸头为例,已知线圈匝数 2 000 匝,磁吸头铁芯长 80 mm,磁吸头之间的间隙为 40 mm,对 6 个磁吸头同时通以 220 mA 的直流电,利用 LZ-610 型特斯拉计测得 2 种磁极配置下,离磁极端面不同距离的气隙磁感应强度平均值如表 1 所示。从实测数据看出,N、S 极作间隔排列时在不同气隙高度下的磁感应强度均比同侧排列的磁感应强度大,尤其是在磁极面(即气隙为零)处 2 种相差达 134 mT。这就说明:在吸取相同质量的磁粉包衣种子时,N、S 极作间隔排列的磁吸头所需安匝数要比同侧排列的磁吸头小,因此在排种器滚筒内各排磁吸头的磁极排列宜采用 N、S 极间隔排列方式。

表 1 不同磁极排列方式下的气隙磁感应强度

Tab. 1 Intensity of magnetic field under the different pole arrangement

磁极排列方式	离磁极端面的垂直距离/mm					
	0	2	4	6	8	10
N、S 极间隔排列	465	363	261	152	81	23
N、S 极同侧排列	331	263	185	93	31	0

3 排种性能试验

3.1 试验设备及试验指标

试验种子为宁油 16 号油菜籽(由江苏镇江市种子公司提供),包衣丸粒化磁粉用 200 目铁粉(由苏州金穗粉末冶金有限公司提供)与普通包衣粉(由南

京六合区农业科学研究所提供)按 1:4.5 质量比混合,种子由南京市六合区农业科学研究所提供的 NLE-500 型包衣机丸粒化,丸粒化前后种子平均直径分别为 1.870 mm 和 3.375 mm,千粒质量分别为 3.691 g 和 34.352 g。

排种器滚筒直径为 200 mm,滚筒壁为 PVC 塑料,壁厚为 0.5 mm,磁吸头铁芯直径为 6 mm,根据磁粉包衣种子颗粒大小取磁吸头端面直径为 2 mm,铁芯绕线匝数 2 000 匝。排种器滚筒、穴盘输送带均由步进电动机驱动,单片机控制。

试验在江苏大学现代农业装备与技术实验室的 JPS-12 型排种性能试验台上进行。试验用穴盘采用 12×6 的 72 孔标准穴盘,穴盘孔距 30 mm,试验样本数 250 穴,3 次重复。根据 GB/T 6973—2005《单粒(精密)播种机试验方法》^[8]以及排种器排种性能试验目的,确定试验指标为单粒指数 S 、重播指数 D 和漏播指数 L ,各试验指标计算式为

$$S = \frac{n_1}{N} \times 100\% \quad (1)$$

$$D = \frac{n_2}{N} \times 100\% \quad (2)$$

$$L = \frac{n_3}{N} \times 100\% \quad (3)$$

式中 N ——理论排种数 n_1 ——单粒排种数
 n_2 ——2 粒以上排种数 n_3 ——漏排种数

3.2 正交试验方案及结果

根据磁吸滚筒式精密排种器工作原理,在排种器结构参数一定情况下,影响排种性能的主要工作参数有:磁吸头线圈通电电流 i 和滚筒转速 n 。通电电流小,磁吸头的吸力小,漏播率可能增加,反之则重播率增加;滚筒转速慢,则磁吸头吸取种子更充分,对减小漏播有利,但工作效率降低。为此,选取线圈电流和滚筒转速作为试验因素,各因素水平以满足排种器单粒排种精度及工作效率要求来选取。因素水平如表 2 所示,利用正交表 $L_9(3^4)$ 安排试验,其中安排第 3 列为交互列,第 4 列为空白列,试验结果如表 3 所示。

表 2 因素水平表

Tab.2 Table of factors and levels

水平	因素	
	线圈电流 A/mA	滚筒转速 $B/r \cdot \min^{-1}$
1	200	15
2	230	20
3	260	25

3.3 试验结果分析

对试验结果进行极差分析,得不同试验指标的

因素优水平、主次顺序以及优化组合。极差分析结果表明,影响 3 个试验指标的主要因素是磁吸头线圈电流,其次是滚筒转速,两者的交互作用对单粒指数影响较滚筒转速大。对于单粒指数,因素的优化组合为 A_2B_1 ,对应的单粒指数为 93.6%;对于漏播指数,因素的优化组合为 A_3B_1 ,对应的漏播指数为 2.5%,但单粒指数只有 78.5%;对于重播指数,因素的优化组合为 A_1B_3 ,对应的重播指数为 0.8%,而单粒指数也只有 77.3%。

表 3 试验方案及试验结果

Tab.3 Test scheme and result of experimentation

序号	A	B	$A \times B$	C	试验结果		
					单粒	漏播	重播
					指数 $S/\%$	指数 $L/\%$	指数 $D/\%$
1	1	1	1	1	82.5	14.5	3.0
2	1	2	2	2	77.3	21.9	0.8
3	1	3	3	3	72.5	27.5	0
4	2	1	2	3	93.6	4.2	2.2
5	2	2	3	1	90.5	8.5	1.0
6	2	3	1	2	87.8	18.0	1.2
7	3	1	3	2	78.5	2.5	19.0
8	3	2	1	3	83.3	4.0	12.7
9	3	3	2	1	85.5	8.2	6.3

对试验结果进行方差分析,以进一步确定试验因素对试验指标的影响程度,方差分析结果如表 4 所示。方差分析结果表明:影响单粒指数的主要因

表 4 试验指标方差分析结果

Tab.4 Results of variance analysis

试验指标	方差来源	平方和	自由度	均方	F	显著性水平
单粒率	A	266.480	2	133.240	7.086	0.124
	B	13.087	2	6.543	0.348	0.742
	$A \times B$	41.807	2	20.903	1.112	0.474
	误差	37.607	2	18.803		
	总和	358.980				
漏播率	A	419.876	2	209.938	19.828	0.048
	B	178.109	2	89.054	8.411	0.106
	$A \times B$	2.942	2	1.471	0.139	0.878
	误差	21.176	2	10.588		
	总和	622.102				
重播率	A	255.440	2	127.720	13.300	0.050
	B	46.887	2	23.443	2.441	0.291
	$A \times B$	20.207	2	10.103	1.052	0.487
	误差	19.207	2	9.603		
	总和	341.740				

素是磁吸头线圈电流,其次是滚筒转速及电流的交互作用;另外,线圈电流对漏播指数和重播指数有显著影响,而滚筒转速无显著影响。从试验结果中可以看出,电流取 200 mA 时,其漏播率明显比 260 mA 高。因此,对排种器工作参数的选择,应根据所播种子的几何物理参数,确定适宜的电流参数,以保证较高的单粒排种率和较低的漏播率,同时兼顾排种器工作效率取合适的滚筒转速。

综合试验因素对 3 个试验指标的影响及其因素的优化组合,采取以单粒指数最高、兼顾重播指数和漏播指数较低的原则,确定 A_2B_1 为试验因素的优化组合,即电流为 230 mA、滚筒转速为 15 r/min,在此条件下单粒指数 $S = 93.6\%$ 、重播指数 $D = 2.2\%$ 、漏播指数 $L = 4.2\%$,对应 72 孔穴盘的排种

速率达 3 600 排/h,可满足穴盘播种的精度和速度要求。

4 结论

(1) 滚筒内电磁铁吸头沿周向 4 排阵列,各排磁吸头按 N、S 极间隔排列、磁力滚筒作单向匀速转动的设计方案,不仅提高了磁吸头的磁吸力和排种速率,而且实现了排种器的连续排种,从而提高了排种器的工作效率和运行稳定性。

(2) 对排种器进行了排种性能试验,根据试验结果进行了滚筒转速、线圈电流的参数优化。试验结果表明:其单粒精播指数可达 93.6%,排种速率达 3 600 排/h,能够满足精密播种的精度和效率要求。

参 考 文 献

- 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):112~116.
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: Engineering and Technology Edition, 1995, 25 (4): 112 ~ 116. (in Chinese)
- 石宏,李达. 目前国内外播种机械发展走向(I) [J]. 农业机械化与电气化,2000(1):47~48.
- 霍文国,肖继军,吕钊钦. 浅析气力式精密播种机的发展及研究现状[J]. 山东农机,2003(3):11~13.
- 胡建平,毛罕平. 磁吸式精密排种原理分析及实验研究[J]. 农业机械学报,2004,35(4):55~58.
Hu Jianping, Mao Hanping. Analytical and experimental study on principle of precision seed-meter by magnetic force [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004,35(4):55~58. (in Chinese)
- 胡建平,侯俊华,毛罕平. 磁吸式穴盘精密播种机的研制及试验[J]. 农业工程学报,2003,19(6):122~125
Hu Jianping, Hou Junhua, Mao Hanping. Development and test of the magnetic precision seeder for plug seedlings [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003,19(6):122~125. (in Chinese)
- 张冠生,陆俭国. 电磁铁与自动电磁元件[M]. 北京:机械工业出版社,1982.
- 徐建民,徐建成. 圆柱形多极磁选机磁场分布和场强梯度的解析计算[J]. 有色金属,2001,53(4):66~68.
Xu Jianmin, Xu Jiancheng. Analytical calculation of magnetic field distribution and gradient of cylindrical multipolar magnetic separator [J]. Nonferrous Metals, 2001,53(4):66~68. (in Chinese)
- GB/T6973—2005 单粒(精密)播种机试验方法[S].
- 任露泉. 试验优化技术[M]. 北京:机械工业出版社,1987.
- Ivančan S, Sito S, Fabijanić G. Effect of precision drill operating speed on the intra-row seed distribution for parsley [J]. Biosystems Engineering, 2004,89(3):373~376.
- Özmerzi A, Karayel D, Topakci M. Effect of sowing depth on precision seeder uniformity [J]. Biosystems Engineering, 2002,82(2):227~230.