

小粒径作物种子气力式排种器适应性试验

梅婷¹, 谢方平^{1,2*}, 李旭¹, 王修善¹, 毛利成¹

(1.湖南农业大学工学院, 湖南 长沙 410128; 2.湖南省现代农业装备工程技术研究中心, 湖南 长沙 410128)

摘要:针对现有气力式排种器对小粒径种子因吸附力大于重力造成落种困难的不足,设计了1种负压吸种、正压吹种的气力滚筒式小粒径种子排种器。选取油菜籽(球形)、芝麻种子(扁卵圆形)进行试验,以合格率为评价指标,通过转速、吸种压力、吹种压力、振动幅度等影响因素验证排种器的适应性。正交试验结果表明:该排种器能够适应球形、扁卵圆形种子的精播,合格率均能达到90%,球形种子精播效果优于扁卵圆形种子。影响油菜籽精播合格率的因素大小依次为吸种负压、振动幅度、转速、吹种正压;影响芝麻精播合格率的因素大小依次为转速、振动幅度、吹种正压、吸种负压。

关键词:气力式;排种器;小粒径种子;适应性

中图分类号:S223.2⁺5

文献标志码:A

文章编号:1007-1032(2014)02-0216-05

Adaptability experiment on pneumatic metering device for small-sized seeds

MEI Ting¹, XIE Fang-ping^{1,2*}, LI Xu¹, WANG Xiu-shan¹, MAO Li-cheng¹

(1.College of Engineering, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2.Hunan Provincial Engineering Technology Research Center for Modern Agricultural Equipment, Changsha 410128, China)

Abstract: A small-sized seed pneumatic cylinder-seeder which adopts negative pressure to adsorb and positive pressure to blow seeds was designed for available seed metering device at present exhibiting sowing difficulty caused by adsorption affinity to the seed exceeding its gravity. Rape (sphere) and sesame (pancake) seeds were selected to test and verify the adaptability of the seeder based on pass percentage of seeding considering rotation rate, adsorbing pressure, blowing pressure, amplitude of vibration. The result of orthogonal tests indicated that the seeder can be used for precision planting of sphere and pancake seeds, the pass percentage of seeding reached 90% with seeding result of sphere seeds superior to pancake seeds. Negative pressure showed the biggest influence on the pass percentage of rape seeding, followed by amplitude of vibration, rotational speed; and positive pressure and for sesame seeding rotational speed showed the biggest influence followed by amplitude of vibration, positive pressure and negative pressure.

Key words: pneumatic; seed metering device; small sized seeds; adapt ability

小粒径作物种子平均直径小于3 mm,千粒重小,几何形状不规则^[1-2]。小粒径种子的精量播种有机械式和气力式2种。机械式播种机对种子外形要求十分严格,易造成型孔堵塞,且因强制排种导致种子破损^[2-4],对不同作物种子的适应性较差^[5]。气力式播种机虽然对种子的外形要求不高,但小粒径种子外形尺寸小、自重轻、形状不规则,使得其精播排种器的研究和设计难度增大^[1]。国外的小粒径种子精密播种机均采用气吸式排种器,播种技术十分

成熟^[1],但价格昂贵,并不适合中国南方家庭小面积耕作的国情。国内精密播种机主要针对大豆、玉米、小麦、水稻等经济作物的播种。胡建平^[6]运用磁吸式播种原理设计的磁吸精密排种器,可实现对种子的非接触式播种,避免了对种子的机械损伤,但播前需对种子进行磁化包衣处理,不仅增加了播种工序和成本,而且磁化物对土壤的酸碱度有影响。吴明亮^[7-8]针对油菜直播研制的2BYF-6型油菜免耕直播联合播种机,采用偏心轮型孔轮式排种器,具

收稿日期:2013-10-31

基金项目:国家“十二·五”科技支撑计划项目(2011BAD20B083)

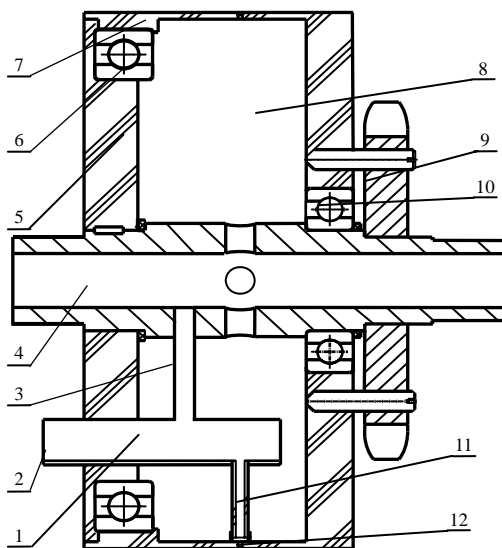
作者简介:梅婷(1988—),女,江西宜春人,硕士研究生,主要从事农业机械设计研究,onlymtg@163.com; *通信作者, hunanxie2002@163.com

有清种方便、易囊种、不伤种子的特点,但存在不能同时播多行、播量调节不方便等不足^[9]。夏红梅等^[10]自主研制的气力滚筒式蔬菜播种机解决了吸种孔小、易堵塞问题,但存在气室内气压不稳定,影响播种质量的缺陷。徐东^[11]以扁平形种子为研究对象,研制的蔬菜穴盘育苗滚筒式气力精量播种装置,则需要根据种子的三维尺寸更换吸种孔才能适应不同蔬菜种子的播种。上述小粒径种子排种器对于不同形状的种子的适应性均受到限制。笔者以烟草种子的物理特性为依据,设计了一种负压吸种、正压吹种的气吸滚筒式排种器,选取油菜籽和芝麻 2 种小粒径种子进行对比试验,对其适应性进行了探讨。

1 排种器结构及工作原理

1.1 排种器结构

排种器由滚筒体、端盖、型孔、负压管、正压吹种嘴、链传动系统等组成(图 1)。采用正、负压组合结构,滚筒负压管上装有固定端盖,固定端盖上设有正压吹种装置。为确保工作可靠,在吹种嘴上套有橡胶乳管,与滚筒内壁紧密贴合,将吹种嘴和滚筒内腔 2 个气压腔室隔离,以保证气压室内的气压稳定。



1 正压腔; 2 正压管; 3 支撑杆; 4 负压管; 5 固定端盖; 6 轴承; 7 滚筒体; 8 排种器内腔; 9 链轮; 10 轴承; 11 吹种嘴; 12 吸种孔。

图 1 排种器结构

Fig.1 Amplified cross section of the seed metering device

根据育苗盘穴孔间距(32 mm),选用滚筒外径为 160 mm,型孔孔径为 1 mm 的圆柱型孔,单排,沿滚筒周向分布 15 排吸种型孔。根据型孔计算经验公式及前人试验,型孔直径接近 1 mm 时,小粒球形种

子的吸附率达到 97% 以上,而小粒非球形种子吸附率达到 98% 以上,但单孔吸多粒现象明显^[12],确定型孔为直孔,孔径为 1 mm。

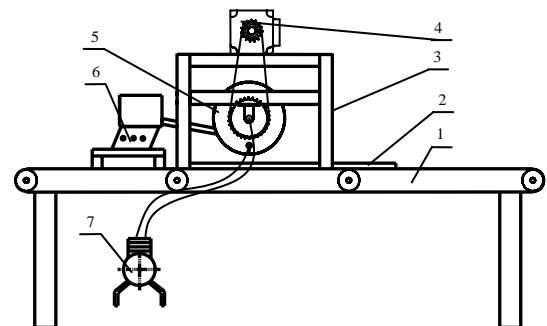
1.2 工作原理

采用负压吸种、正压吹种的原理,负压管与风机进风口相连,根据需要将排种器内腔抽成不同真空度的负压室,滚筒上开有吸种型孔,型孔在负压的作用下,对种子产生吸附力,使种子沿着型孔轴线方向运动并贴紧型孔,随之一起转动,实现负压吸种;正压管与风机出风口相连,将空气吹入正压腔,使得正压腔室内的压强大于或等于大气压强,当种子运动至落种位置时,型孔从负压腔切换至正压腔,种子 2 个表面的压力差逆转,所受的合力方向改变,种子脱离型孔的束缚,从而实现正压吹种。

工作时,依次启动负压风机、排种器电机、输送带,待排种器内腔负压与整机转速稳定后,再启动种箱振动器,种子在振动器的作用下沿着导种槽列队流出,到达吸种位置时,在负压的作用下被吸附到吸种型孔上,并随滚筒转动到吹种嘴位置落种。

1.3 试验装置

试验装置由播种装置、多功能排种试验输送台(湖南农业大学自行研制)、涡轮风机(型号 HG-370-C)、调速电机(型号 M5250-502)、机架组成(图 2)。



1 输送台; 2 白纸带; 3 机架; 4 调速电机; 5 播种装置; 6 振动种箱; 7 涡轮风机。

图 2 试验装置

Fig.2 Structural diagram of the seeder test

为便于观察,排种器的滚筒材料使用有机玻璃。排种器安装在排种试验台上,导种槽倾角 25°,置于导种槽下的物料输送振动器作为振动源给种子提供振动,由输送带的前进速度来代替机器行走速度。输送带速度由 iSV004iG5-4 变频器(LG 公司生产)控制。排种器转速由调速电机控制。当工作稳定后,再用输送带上涂有润滑油的 2 m 长的白纸带接收吹落的种子,根据每条纸带落种情况,计算合

格率、漏播率、重播率。每组试验重复3次,取其平均值作为最终试验结果。

2 试验设计

2.1 材料

‘湘杂油695’油菜籽和‘东芝8号’芝麻,其相关物理特性参数见表1。

表1 试验材料的特征参数

作物	外形	几何尺寸/mm	千粒重/g	漂浮速率/(m·s ⁻¹)
湘杂油695	圆球状	1.642×1.642×1.642	3.018	5.20
东芝8号	扁卵圆形	0.904×1.784×2.990	3.080	4.58

2.2 试验设计与评价指标

采用单因素与多因素正交试验。考察因素为转速、吸种负压、吹种正压、振动幅度,评价指标为播种合格率。播种合格率以每穴粒数计,按照GB/T 6973—2005《单粒(精密)播种机试验方法》及生产经验,每穴粒数为1~4粒时满足播种农艺要求,判定为合格。

2.2.1 单因素试验

为考查转速、吸种压力、振动幅度、吹种压力对播种合格率的影响,分别对这4个因素进行单因素播种试验。设定转速为600 r/h,吹种压力0.4 kPa,导种槽振动幅度为0.2 mm,吸种负压分别为0.2、0.3、0.4、0.5、0.6 kPa进行试验,记录合格率穴数和播种总穴数。设定较佳吸种负压0.4 kPa,保持吹种压力,导种槽振动幅度不变,依次用滚筒转速540、600、660、720、780、840、900 r/h试验,考查转速变化对播种合格率的影响。同理,在保证其他参数不变的情况下,依次改变振动幅度为0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 mm,吹种正压为0.2、0.3、0.4、0.5、0.6 kPa进行试验。

2.2.2 多因素正交试验

根据单因素试验结果,对转速(A)、吸种负压(B)、振幅(C)、吹种正压(D)采用四因素三水平(表2)方案 $L_9(3^4)^{[13]}$ 进行正交试验。

表2 正交试验因素及水平

水平	A/(r·h ⁻¹)	B/kPa	C/mm	D/kPa
1	600	0.2	2	0.2
2	720	0.4	4	0.4
3	840	0.6	6	0.6

3 结果与分析

3.1 转速对播种合格率的影响

从图3可以看出,随着转速的提高,油菜种子播种合格率总体呈下降趋势。转速低于720 r/h时,播种合格率减小,幅度远大于转速高于720 r/h时的,主要是滚筒转速较低时,吸孔有充足的时间与种子接触,吸附效果好,播种合格率高;当转速高于720 r/h后,播种合格率趋于平缓,可能说明在一定范围内,随着转速增加,合格率减小不显著。综合生产率及合格率两方面考虑,适合播种的转速为660~750 r/h。

当转速为660~720 r/h时,芝麻的播种合格率达到94%左右。滚筒转速低于660 r/h时,吸种时间充裕,受种子形状的影响,吸附4粒以上的百分比增大,导致合格率较低;转速大于720 r/h时,吸种时间缩短,种子所受的离心力也随之增加,在吸附力一定的条件下,多粒种子被吸附的概率随之减小,合格率下降。故可得适合芝麻播种的较佳转速范围为660~720 r/h。

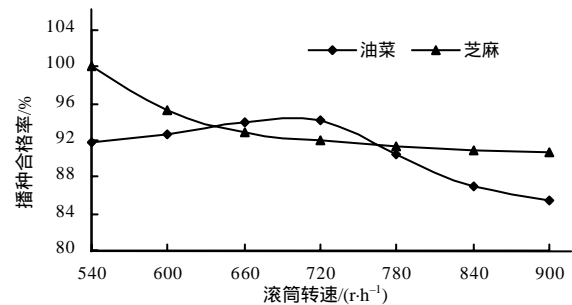


图3 不同转速下的播种合格率

Fig.3 Effects of rotation rate on the pass percentage of seeding

3.2 吸种负压对播种合格率的影响

图4表明,随着吸种负压的增大,油菜播种合格率大幅度提高后趋于稳定。这是因为吸种负压小于0.3 kPa时,种子所受吸附力小,空穴率高;当吸种负压大于0.4 kPa,吸附力剧增,出现一孔多粒的现象,漏播率下降,而重播率增大。油菜的较优吸种负压范围为0.3~0.4 kPa。

芝麻种子随着吸种负压的增大,播种合格率先增后减,在0.4 kPa时达到最大值。当吸种负压大于0.4 kPa后,合格率下降,是因为吸种压力大,不存在提前落种现象,且受种子形状的限制,很难将型孔全部堵住,造成吸附4粒以上种子的概率增加。芝麻的较优吸种负压为0.4 kPa左右。

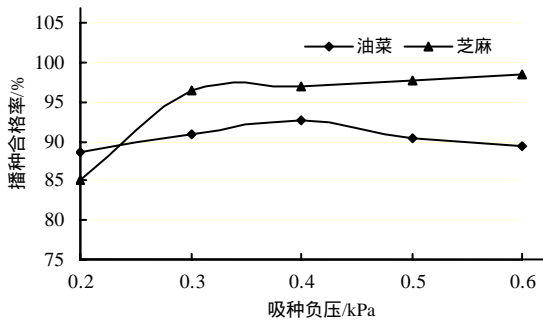


图 4 不同吸种负压下的播种合格率

Fig.4 Effects of inside vacuum of seed metering device on the pass percentage of seeding

3.3 振幅对播种合格率的影响

图 5 表明,随着振幅的增大,油菜播种合格率先升后降,峰值出现在振幅为 0.1~0.2 mm 时。油菜种子呈球形,摩擦阻力小,随着振幅(0~0.2 mm)加大,种子的“沸腾”状态愈加明显,种子间的相互作用力减小,有利于吸种;当振动幅度超过 0.2 mm 后,种子剧烈振动,游离在吸种空间之外或吸附力不足以克服惯性而造成空穴率增加。

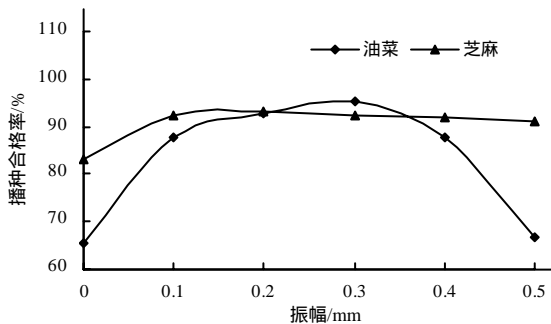


图 5 不同振幅下的播种合格率

Fig.5 Effects of amplitude of vibration on the pass percentage of seeding

芝麻的播种合格率与油菜相比,变化幅度要大得多,峰值出现在振幅为 0.3~0.4 mm 时。芝麻种子的流动性差,需要较大振动来保证供种流畅,且其在导种槽位置容易出现架空而不能被吸附^[14],振动虽能够打破架空现象,但振动太大又会造成种子的堆积,流动不畅。

油菜籽的较佳振动幅度为 0.1~0.2 mm,芝麻的为 0.3~0.4 mm。

3.4 吹种正压对播种合格率的影响

图 6 表明,随着吹种正压的增大,油菜和芝麻播种合格率都先增后减。因为吹种正压越大,种子所获得动能越大,使得种子落下的速度大小及方向都发生变化,造成落种点位置不一致。此外,落在纸上的种子还会出现“弹跳”、“翻滚”等现象,从而影响落种均匀性和播种合格率。综合比较,油菜的较佳吹种正压为 0.4 kPa,芝麻的为 0.3 kPa。

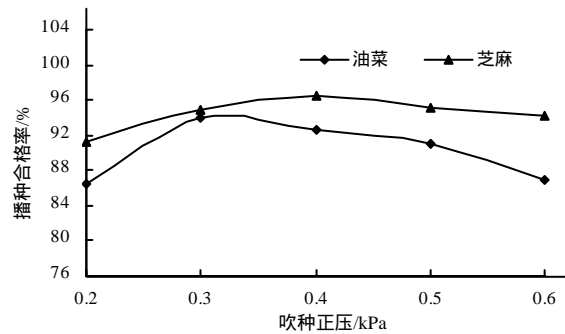


图 6 不同吹种正压下的播种合格率

Fig.6 Effects of blowing pressure on the pass percentage of seeding

3.5 正交试验结果

对正交试验结果(表 3)进行极差分析表明,影响油菜播种合格率的因素大小依次为吸种负压、振动幅度、转速、吹种正压,较佳组合为 $B_3C_1A_3D_1$,即负压 0.6 kPa、振幅 2 mm、转速 840 r/min、正压 0.2 kPa;影响芝麻播种合格率的因素大小依次为转速、振动幅度、吹种正压、吸种负压,较佳组合为 $A_1C_2D_1B_1$,即转速 720 r/min、振幅 4 mm、正压 0.2 kPa、负压 0.2 kPa。

油菜合格率较优组合与 9 号试验的结果接近。芝麻的较优组合与 1 号试验的结果接近。综合单因素试验结果,可以认为较优参数组合符合生产实际,也说明该排种器能够适应 2 类种子的播种。

表 3 油菜和芝麻的正交试验结果

试验号	A/(r·h ⁻¹)	B/kPa	C/mm	D/kPa	油菜合格率/%	芝麻合格率/%	芝麻重播率/%
1	1	1	1	1	92.22	91.84	2.72
2	1	2	2	2	87.06	91.78	2.74
3	1	3	3	3	90.59	83.33	11.46
4	2	1	2	3	83.87	86.14	11.88
5	2	2	3	1	90.66	82.47	9.28
6	2	3	1	2	92.78	80.63	5.00
7	3	1	3	2	84.30	73.74	9.09
8	3	2	1	3	95.78	75.90	24.10
9	3	3	2	1	94.09	82.24	3.74

续 表

试验号	A/(r·h ⁻¹)	B/kPa	C/mm	D/kPa	油菜合格率/%	芝麻合格率/%	芝麻重播率/%
油菜	K ₁	269.86	260.38	280.77	276.97		
	K ₂	267.31	273.50	265.02	275.62		
	K ₃	274.17	277.46	265.55	270.24		
	k ₁	89.95	86.80	93.59	92.32		
	k ₂	89.10	91.17	88.34	91.87		
	k ₃	91.39	92.49	88.52	90.08		
	R	2.29	5.69	5.25	2.24		
最优方案	A ₃	B ₃	C ₁	D ₁			
芝麻	K ₁	266.96	251.72	248.37	256.55		
	K ₂	249.23	250.15	260.16	246.14		
	K ₃	231.88	246.21	239.55	245.38		
	k ₁	88.99	83.91	82.79	85.52		
	k ₂	83.07	83.38	86.72	82.05		
	k ₃	77.29	82.07	79.85	81.79		
	R	11.70	1.84	6.87	3.73		
最优方案	A ₁	B ₁	C ₂	D ₁			

4 讨论

播种过程中,球形种子能够很好地适应圆柱形状的型孔,在负压较低时也能牢固地被吸附;对于三轴尺寸相差较大的扁卵圆形种子,种子被吸附的状态不确定,易出现吸附多粒的情况。另外,扁卵圆形种子还存在因吸附力不稳定而提前落种的现象,导致落种均匀性差,重播率高,但在某种程度上又减少了空穴率。两者相比,球形种子的播种合格率普遍高于扁卵圆形的。振动有利于种子从种箱中分离,提高吸种概率,间接提高播种合格率。扁卵圆形种子的流动性比球状种子的流动性要差,因而在试验过程中,扁卵圆形种子所需的振动幅度要大于球形种子;同时由于扁卵圆形种子的悬浮系数要比球状的小,因此扁卵圆形种子在吸附的过程中对负压的要求不高。

试验发现,由于滚筒与油菜籽、芝麻种子的相互摩擦力不大,且种子自身存在一定的弹性变形,因此在播种过程中,破损率接近于0。

扁卵圆种子自身的几何形状特点使得种子顶部易被吸进型孔,会导致重播率增加,所以对播种扁卵圆形种子的型孔孔径可以适当减小。考虑加工难易性,确定为1mm即可。

由于球状种子比扁卵圆形种子能更好地适应圆形型孔,所以对于外形尺寸小,但价格较贵、附加值高的非球状作物种子,为提高其播种合格率,可将其丸粒化,而对于较常见的种子则可通过控制工作参数来实现精少量播种。

参考文献:

[1] 段宏兵. 几种国外小粒种子气吸式精密排种器的结构

分析[J]. 中国农机化, 2008(2): 87-89.

- [2] 张宁, 廖庆喜. 我国小粒径种子播种技术与装备的应用与研究进展[J]. 中国农机化, 2012(1): 93-96, 103.
- [3] 武广伟. 温室穴盘精密播种设备的研究进展[J]. 北方园艺, 2010(15): 37-41.
- [4] 曹文, 丁俊华, 李再臣. 机械式精密排种器的研究与设计[J]. 农机化研究, 2009(7): 142-145.
- [5] 程欢庆, 张祖立, 张为政. 蔬菜穴盘播种装置的研究进展[J]. 农业科技与装备, 2010(4): 31-33.
- [6] 胡建平, 毛罕平. 磁吸式精密排种原理分析与试验[J]. 农业机械学报, 2004, 35(4): 55-58.
- [7] 吴明亮, 官春云, 汤楚宙, 等. 2BYF-6型油菜免耕直播联合播种机田间试验研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(11): 172-175.
- [8] 吴明亮, 汤楚宙, 谢方平. 免耕悬挂式油菜籽条播机的设计[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2008, 34(1): 109-111.
- [9] 吴明亮, 官春云, 汤楚宙, 等. 2BYF-6型油菜免耕直播联合播种机的改进及试验[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2007, 33(2): 172-175.
- [10] 夏红梅, 李志伟, 牛菊菊. 气力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.
- [11] 徐东. 蔬菜穴盘育苗滚筒式气力精量播种装置研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学工程学院, 2007.
- [12] 邢占强, 辜松. 气吸式穴盘播种器性能研究[J]. 农机化研究, 2007(6): 129-130.
- [13] 陈魁. 试验设计与分析[M]. 2版. 北京: 清华大学出版社, 2005: 72-73.
- [14] 李林. 气吸式排种器理论及试验的初步研究[J]. 农业机械学报, 1979(3): 56-63.

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 罗维