

工作参数对超级稻育秧播种部件吸种性能的影响

王朝辉^{1,3}, 马旭^{2*}, 贾瑞昌²

(1. 吉林大学生物与农业工程学院, 长春 130025; 2. 华南农业大学南方农业机械与装备关键技术
省部共建教育部重点实验室, 广州 510642; 3. 吉林农业大学食品工程学院, 长春 130118)

摘要: 为进一步提高超级稻精密育秧生产率及播种精度, 该文以气吸振动组合式超级稻精密育秧播种部件为试验对象, 研究了种层厚度、双孔孔距和振动频率等工作参数对其吸种性能的影响规律。试验利用高速摄像技术与振动分析仪, 采用三因素五水平试验设计, 得出了吸种性能与种层厚度等试验因素之间的回归模型。试验表明: 滚筒真空度 3.1 kPa、滚筒转速 14 r/min、振动频率 90~104 Hz 的条件下, 种层厚度在吸种性能的回归模型中贡献率最大。最佳因素组合为种层厚度 7 mm、双孔孔距 3 mm 和振动频率 97 Hz, 吸种合格率为 93.12%。研究为超级稻育秧精密播种器的设计及参数优化提供科学的依据。

关键词: 农业机械, 播种机, 吸种性能, 种层厚度, 振动种盘

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.08.016

中图分类号: S233.71

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-8-0088-05

王朝辉, 马旭, 贾瑞昌. 工作参数对超级稻育秧播种部件吸种性能的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 88—92.
Wang Zhaohui, Ma Xu, Jia Ruichang. Effects of working parameters on seed suction performance of seeder device for super hybrid rice seeds[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(8): 88—92. (in Chinese with English abstract)

0 引言

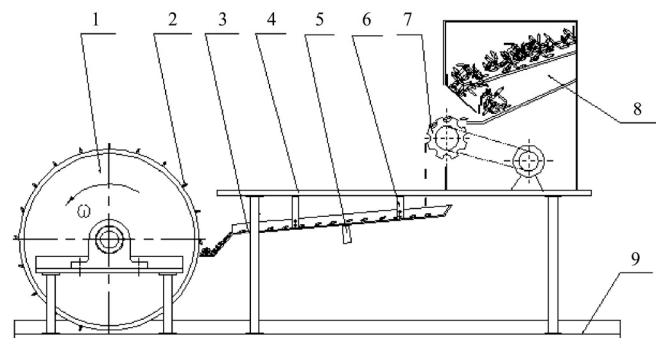
超级稻播种机是超级稻工厂化育秧的关键设备, 现有的水稻育秧设备已满足不了超级稻育秧生产率和合格率的要求^[1-2], 究其原因, 经浸种催芽处理的超级稻稻种含水率高, 流动性差, 易相互黏结成团, 造成漏播、重播, 制约了播种机的生产率和合格率的进一步提高^[3-5]。利用高速摄像系统记录吸种瞬间过程发现: 超级稻的籽粒面积、长度及千粒重对水分反应明显, 造成种盘内种子的振动状态对种层厚度反应明显, 进而影响了吸孔处的绕流阻力及种盘内种子的抛掷状态^[6-16], 导致吸种性能下降。为进一步发展超级稻生产, 提高超级稻精密育秧装备生产率(≥ 450 盘/h)及满足 (2 ± 1) 粒/穴的精密播种要求, 本文以气吸振动组合式的超级稻育秧播种部件为研究对象, 选取种层厚度、双孔孔距及种层振动频率为试验因素进行多因素组合试验, 研究种层厚度等工作参数对吸种性能的影响规律, 以期超级稻育秧精密播种器的设计及参数优化提供科学的依据。

1 试验材料与方法

1.1 工作原理

试验中的超级稻精密育秧播种器播种部件为气吸振

动组合式结构。播种部件主要由滚筒、振动种盘、种箱等部件组成, 如图1所示。



1. 滚筒 2. 种子 3. 振动种盘 4. 供种箱支架 5. 气动振动器
6. 种盘悬臂 7. 供种勺轮 8. 种箱 9. 机架

图1 超级稻精密育秧播种器播种部件结构简图

Fig.1 Schematic description of seeder device of air-suction cylinder seeder for super hybrid rice

工作过程为: 气力式滚筒包括密闭的负压室和正压室。滚筒两侧的一端与负压风机相连通, 使滚筒内形成负压室; 另一端与空压机相连通, 在滚筒的下方投种区形成正压室; 滚筒的外表面有与秧盘穴孔相对应和负压室相通的吸孔(本文为每个秧盘穴孔对应两个吸孔, 如图2)。工作时, 种子箱底部供种勺轮首先开始定量供种, 振动种盘开始振动, 靠近滚筒区域种子薄层呈沸腾状态; 滚筒转动, 风机抽走滚筒内腔的空气, 滚筒内的真空吸力形成负压室, 当吸孔经过充填区时, 种子被吸附在吸孔上, 当滚筒转到下方投种点时, 种子进入正压室, 种子在重力和正压气流的作用下落入秧盘的穴孔中, 从而实现滚筒连续精确吸种。

其主要特点是: 滚筒转速由调速电机单独控制; 吸

收稿日期: 2009-03-17 修订日期: 2009-05-31

基金项目: 国家“十一五”支撑计划资助(2006BAD11A05-4); 国家自然科学基金资助项目(50775078); 现代农业产业技术体系建设专项资金资助; 广东省高等学校人才引进科研资助项目

作者简介: 王朝辉(1973—), 男, 吉林长春人, 博士生。长春 吉林大学生物与农业工程学院, 130025。Email: wzhlndsp@yahoo.cn

*通信作者: 马旭(1959—), 男, 辽宁省沈阳人, 教授, 博士生导师, 中国农业工程学会会员(E04120000S), 主要从事农业机械设计与检测技术研究。广州市天河区五山路483号 华南农业大学工程学院, 510642。Email: maxu1959@scau.edu.cn

种区域位于滚筒第四象限区且与水平方向夹角为 5°；种子箱下方设有振动种盘，可与供种匀轮配合改变种层的厚度与抛掷状态，从而研究不同工作参数组合对振动气吸组合式超级稻精密育秧播种部件吸种性能的影响规律。

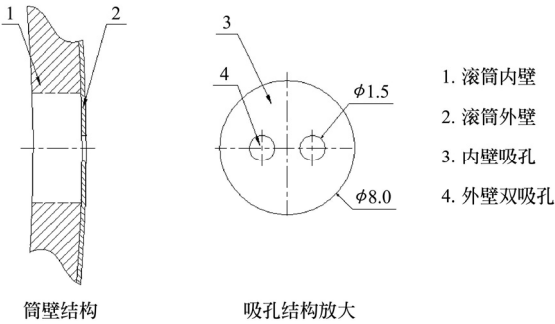


图 2 滚筒的双吸孔
Fig.2 Two suckers of the vacuum cylinder

1.2 试验主要测试设备

种层振动测试采用东华测试技术开发有限公司的 DH5938 振动测试系统。该系统测试通道可进行实时的频域、时域和幅值域的测试，利用计算机的并口实时进行数据传送，采样速率准确度为 0.05%；测量值的不确定度 <1%。

高速摄像机采用美国 FASTEC IMAGING 公司的 FASTEC TROUBLESHOTER 高速摄像机，该机采用旋转式 TFT 监视器，可实时显示拍摄图像，最高 1000 帧/s，使用 USB2.0 接口与电脑连接，并通过 MOTION-CAM 高速摄像系统对图像进行识别、分析、处理。

1.3 试验材料

试验用种子为超级稻种子两优培九，浸种催芽后水稻籽粒尺寸为 10.35 mm×0.27 mm×2.65 mm（粒长×粒宽×粒厚），千粒质量为 29.92 g。

1.4 试验方案及方法

通过初步试验，发现振动种盘内的种层厚度、振动频率及滚筒的双吸孔孔距，对播种性能影响较大，因此本文选定这 3 项因素为试验因素。由于双孔的孔距受到 17 列×33 行穴盘的穴格尺寸限制，为避免投种过程中发生窜穴，最大孔距取 3 mm，各因素水平为：种层厚度 3~11 mm、振动频率 90~104 Hz、双孔孔距 1~3 mm。工作参数采用预试验中的最佳播种参数组合：滚筒真空度 3 100 Pa，滚筒直径为 $\phi 200$ mm，滚筒转速 14 r/min。试验采用二次正交旋转组合设计方法，进行三因素五水平全因素试验，试验因素水平编码如表 1 所示。

表 1 因素水平编码表
Table 1 Experimental factors and levels

水平	X_1 种层厚度/mm	X_2 双孔孔距/mm	X_3 振动频率/Hz
1.682	11	3	104
1	9.5	2.6	100
0	7	2	97
-1	4.5	1.4	94
-1.682	3	1	90

振动种盘的侧面刻有长度标尺，借助于 MOTION-CAM 软件测得种子顶层距离振动种子盘的高度（种层厚度），振动频率大小可通过位于种子盘下方的气动振动器的调压阀调节，振动方向为垂直种子盘方向，振动频率、振幅由 DH5938 振动测试系统测得。同时，使用高速摄像系统记录吸种瞬间过程，并结合试验数据进一步分析吸种过程中的影响因素。

2 试验结果及分析

2.1 试验结果

试验在吉林大学农业工程实验室进行，每次试验分段随机抽出 5 盘作样本，重复 3 次，合格率为(2±1)粒/穴的个数与总穴数之比，试验数据如表 2 所示。

表 2 试验数据采集表
Table 2 Experimental data

序号	试验因素			合格率/%
	X_1	X_2	X_3	
1	9.5	2.6	100	83.17
2	9.5	2.6	94	84.61
3	9.5	1.4	100	87.02
4	9.5	1.4	94	83.18
5	4.5	2.6	100	90.18
6	4.5	2.6	94	88.42
7	4.5	1.4	100	87.23
8	4.5	1.4	94	85.34
9	11	2	97	87.54
10	3	2	97	80.89
11	7	3	97	93.12
12	7	1	97	91.65
13	7	2	104	89.37
14	7	2	90	86.83
15	7	2	97	92.57
16	7	2	97	91.30
17	7	2	97	92.02
18	7	2	97	92.32
19	7	2	97	92.56
20	7	2	97	92.46
21	7	2	97	92.27
22	7	2	97	91.59
23	7	2	97	92.11

图 3 为高速摄像机记录的种层厚度为 11 mm、双孔孔距 2 mm、振动频率 97 Hz 时吸种瞬间的种子运动状态。通过 MOTION-CAM 软件逐帧回放分析种子在此种层厚度下的吸附姿态，此种层厚度下种子的吸附情况不稳定，有漏播和重播发生。

2.2 回归方程

根据试验数据，通过 DPS 数据处理系统（data processing system, DPS）对试验结果进行回归分析，经标准化处理后，得吸种合格率与试验因素的回归方程为：
$$Y = 89.86 + 5.78X_1 + 0.76X_2 - 0.03X_3 - 1.20X_1^2 - 0.78X_2^2 - 0.14X_3^2 - 3.39X_1X_2 + 2.63X_1X_3 + 2.17X_2X_3$$

回归方程的显著性检验如表 3 所示。



图3 种层厚度为 11 mm 时的吸种瞬间种子运动状态
Fig.3 Instantaneous motion state of seeds during seed-layer thickness 11 mm

表3 回归方程方差分析
Table 3 Variance analysis of regression equation

来源	自由度	平方和	F 值	临界值
总和	22	325.3		
回归	9	303.3	$F_2=19.78$	$F_{0.01}(9,13)=4.25$
剩余	13	21.96		
拟合	5	15.13	$F_1=3.46$	$F_{0.05}(5,8)=3.73$
误差	8	6.83		

F 检验的结果表明, $F_2 > F_{0.01}(9, 13)=4.25$, $F_1 < F_{0.05}(5, 8)=3.73$, 相关系数 $R=0.9316$, F 值=19.7865, 表明回归方程显著。

2.4 图形分析与优化

通过 Design Expert 6 对回归方程进行优化分析表明, 当滚筒真空度 3 100 Pa、滚筒转速 14 r/min、振动频率 90~104 Hz 的条件下, 影响吸种性能的因素主次顺序为种层厚度、双孔孔距及振动频率。对于吸种性能而言, 最佳因素组合为种层厚度 7 mm、双孔孔距 3 mm 和振动频率 97 Hz, 吸种合格率为 93.12%。3 种最佳条件下的分析见图 4、图 5、图 6。

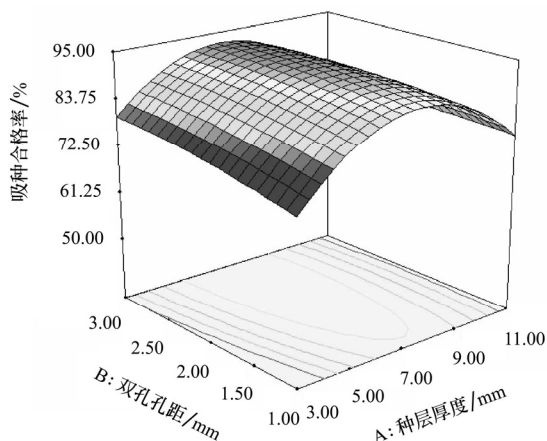


图4 振动频率 97 Hz 时种层厚度和双孔孔距对吸种性能的影响
Fig.4 Effects of seed-layer thickness and double-sucker interval on seed suction performance during frequency 97 Hz

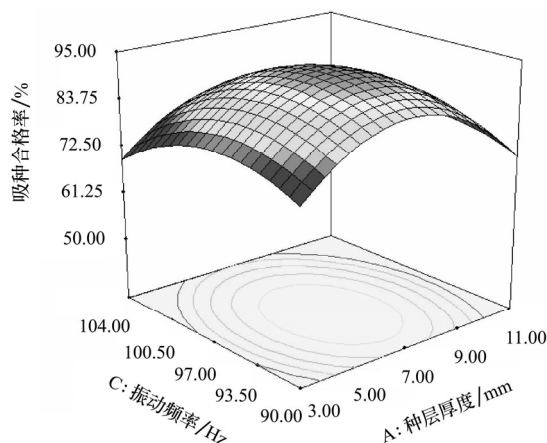


图5 双孔孔距 3 mm 时种层厚度和振动频率对吸种性能的影响
Fig.5 Effects of seed-layer thickness and vibration frequency on seed suction performance during double-sucker interval 3 mm

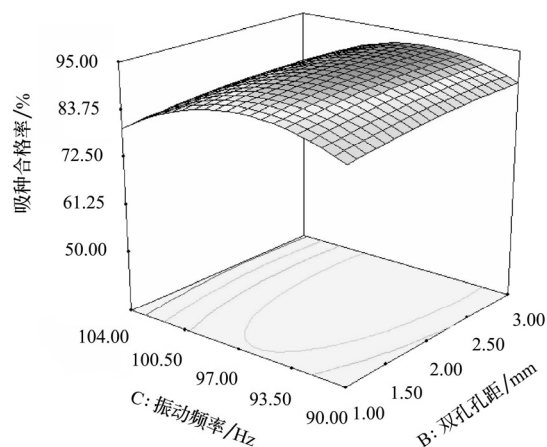


图6 种层厚度 7.5 mm 时双孔孔距、振动频率对吸种性能的影响
Fig.6 Effects of double-sucker interval and vibration frequency on seed suction performance during seed-layer thickness 7.5 mm

图 4 为振动频率在 97 Hz 时, 种层厚度、双孔孔距交互作用对吸种性能的影响。由图 4 可知, 当双孔孔距在 1~3 mm、种层厚度在 3~11 mm 时, 播种部件的吸种合格率随着双孔孔距的增加而小幅度上升, 最佳合格率为 93.12%。种层厚度在 7 mm 左右、双孔孔距在 3 mm 时, 吸种合格率达到组合较佳。

图 5 为双孔孔距在 3 mm 时, 振动频率、种层厚度交互作用对吸种性能的影响。由图 5 可知, 等值曲线及曲面变化较大, 两因素交互作用对吸种性能的作用明显。当振动频率在 90~104 Hz、种层厚度在 3~11 mm 时, 播种部件的吸种合格率随振动频率、种层厚度的增加均呈现有先上升后下降的规律; 种层厚度 7 mm 左右、振动频率在 97 Hz 时, 吸种合格率达到组合较佳。

图 6 为种层厚度在 7.5 mm 时, 振动频率、双孔孔距交互作用对吸种性能的影响。由图 6 可知, 播种部件的吸种合格率随振动频率增加呈现慢速上升和快速下降的变化规律, 而随着双孔孔距的增加有小幅度增加。最佳的 93.12% 的吸种合格率可在振动频率在 97 Hz 左右、双孔孔距在 3 mm 的参数条件下获得。

3 结 论

1) 通过二次正交旋转试验,对气吸振动组合式超级稻精密育秧播种性能进行三因素五水平全因素性能试验,建立了种层厚度、双孔孔距及振动频率因素间的回归方程,为超级稻育秧精密播种器的设计及参数优化提供了科学的依据。

2) 优化和图形分析表明,当滚筒真空度 3 100 Pa、滚筒转速 14 r/min、振动频率 90~104 Hz 的条件下,影响吸种性能的因素主次顺序为种层厚度、双孔孔距及振动频率,种层厚度是影响吸种性能的重要因素。对于吸种性能,最佳因素组合为种层厚度 7 mm、双孔孔距 3 mm 和振动频率 97 Hz,吸种合格率为 93.12%。

[参 考 文 献]

- [1] 周海波, 马旭, 姚亚利. 水稻秧盘育苗播种技术与装备的研究现状及发展趋势[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 301—306.
Zhou Haibo, Ma Xu, Yao Yali. Research advances and prospects in the seeding technology and equipment for tray nursing seedlings office[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(4): 301—306. (in Chinese with English abstract)
- [2] 袁月明, 马旭, 金汉学, 等. 气吸式水稻芽种排种器气室流场研究[J]. 农业机械学报, 2005, 36(6): 42—44.
Yuan Yueming, Ma Xu, Jin Hanxue, et al. Study on vacuum chamber fluid field of air suction seed-metering device for rice bud-sowing[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(6): 42—44. (in Chinese with English abstract)
- [3] 李耀明, 邱白晶, 陈进, 等. 气吸振动式水稻播种试验台的振动分析[J]. 农业机械学报, 1998, 29(3): 43—47.
Li Yaoming, Qiu Baijing, Chen Jin, et al. Study on vibration analysis of rice sowing test stands with suction and vibration[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1998, 29(3): 43—47. (in Chinese with English abstract)
- [4] 庞昌乐, 鄂卓茂, 苏聪英, 等. 气吸式双层滚筒水稻播种器设计与试验研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(5): 52—55.
Pang Changle, E Zhuomao, Su Chongying, et al. Design and experimental study on air suction two-layer cylinder rice seeder[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2000, 16(5): 52—55. (in Chinese with English abstract)
- [5] Guarella P, Pellerano A, Pascuzzi S. Experimental and Theoretical Performance of a Vacuum Seeder Nozzle for Vegetable Seeds[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1996, (64): 29—36.
- [6] Shafii S, Holmes R G. Air-jet seed metering, a theoretical and experimental study device[J]. Transaction of the ASAE, 1990, 33(5): 1432—1438.
- [7] Gaikwad B B, Sirohi N P S. Design of a low-cost pneumatic seeder for nursery plug trays[J]. Biosystems Engineering, 2008, 99: 322—329.
- [8] Karayel D, Barut Z B, Ozmerzi A. Mathematical modelling of vacuum pressure on a precision seeder[J]. Biosystems Engineering, 2004, 87(4): 437—444.
- [9] Kim D E, Chang Y S, Kim S H, et al. Development of vacuum nozzle seeder for cucurbitaceous seeds (I)—design factors for vacuum seeding large sized seeds[J]. Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery, 2003, 28(6): 525—530.
- [10] Rathinakumari A C, Kumaran G S, Mandhar S C. Design and development of tray type vacuum seeder and tray type dibbler for vegetable nursery[J]. Journal of Applied Horticulture, Lucknow, 2005, 7(1): 49—51.
- [11] 赵立新, 郑立允, 王玉果, 等. 气动振动器气吸播种机的种子振动性能研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(7): 47—50.
Zhao Lixin, Zheng Liyun, Liu Zhirnin, et al. Seed vibration performance of vibrationall air-sucking seeder with air-style vibrator[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(7): 47—50. (in Chinese with English abstract)
- [12] 靳智平, 刘宏丽, 孟涛, 等. 流体力学 泵与风机[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008: 133—150.
- [13] 陈进, 李耀明. 气吸振动式播种试验台内种子运动规律的研究[J]. 农业机械学报, 2002, 33(1): 47—50.
Chen Jin, Li Yaoming. Study on seeds movement law in sowing test stand with suction and vibration[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2002, 33(1): 47—50. (in Chinese with English abstract)
- [14] 张学义. 电磁振动播种机振动系统的试验研究[J]. 农机化研究, 2001, (4): 74—76.
- [15] 李志伟, 邵耀坚. 电磁振动式水稻穴盘精量播种机的设计与试验[J]. 农业机械学报, 2000, 31(5): 32—34.
Li zhiwei, Shao Yaojian. Study and test of electromagnetic vibrating type rice seeder for hill seedling nursery box[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2000, 31(5): 32—34. (in Chinese with English abstract)
- [16] 刘彩玲, 宋建农. 种盘振动对气吸振动式精量播种装置工作性能的影响[J]. 中国农业大学学报, 2004, 9(2): 12—14.
Liu Calling, Song Jiannong. Influence of seed tray vibration on work performance of suction-vibration type precision seed device[J]. Journal of China Agricultural University, 2004, 9(2): 12—14. (in Chinese with English abstract)

Effects of working parameters on seed suction performance of seeder device for super hybrid rice seeds

Wang Zhaohui^{1,3}, Ma Xu^{2*}, Jia Ruichang²

(1. College of Biological and Agricultural Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China;

2. Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment (South China Agricultural University),
Ministry of Education, Guangzhou 510642, China;

3. College of Food Engineering, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract: To further enhance the precision seedling productivity of super hybrid rice and seeding accuracy, the effects of working parameters (such as seeds thickness, double-sucker interval and vibration frequency) on seed suction performance were studied, taken a seeder device of air-suction cylinder seeder for super hybrid rice as test object. The regression model between seed suction performance and working parameters was obtained with three factors and five levels experiments by using computer vision technology and vibration analyzer. The results showed that seed-layer thickness was the most important performance index among the experimental factors under the conditions of vacuum pressure 3.1 kPa, rotate speed 14 r/min and vibration frequency among 90 and 104 Hz. The prime value of seed suction performance was 93.12% when the seed-layer thickness 7 mm, distance of double suckers 3 mm and frequency of vibration 97 Hz. The study provides a scientific basis for design and parameters optimization of air-suction cylinder seeder for super hybrid rice.

Key words: agricultural machinery, sower, seed suction performance, seeds thickness, vibrant plate