

窝眼窄缝式气吸滚筒排种装置的试验

左彦军¹, 马 旭^{1*}, 齐 龙¹, 玉大略², 廖醒龙¹

(1. 华南农业大学工程学院, 广州 510642; 2. 至卓飞高线路板深圳有限公司, 深圳 518067)

摘 要: 为了实现超级稻工厂化育秧, 保证作业质量, 研制了窝眼窄缝式气吸滚筒排种试验装置。以超级稻“培杂泰丰”为研究对象, 采用 4 因素 3 水平正交试验设计方法, 研究了窝眼半径、窄缝宽度、真空度和滚筒转速对播种空穴率、重播率和合格率的影响规律。通过对试验结果的分析, 得出了影响空穴率和合格率的主次顺序为窝眼半径>真空度>滚筒转速>窄缝宽度; 影响重播率的主次顺序为窝眼半径>滚筒转速>窄缝宽度>真空度; 最佳参数组合为窝眼半径 5.5 mm、真空度 4 kPa、滚筒转速为 0.82 rad/s 和窄缝宽度 1 mm。经验证, 在最佳参数下, 播种空穴率、重播率和合格率分别为 4.88%、9.78% 和 85.34%。尽管性能有待提高, 但窄缝不发生堵塞, 表明这是一种具有应用前景的精密播种装置。

关键词: 农业机械, 性能, 试验, 窝眼窄缝, 气吸滚筒, 播种性能, 超级稻育秧播种

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.11.025

中图分类号: S233.71

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2010)-11-0141-04

左彦军, 马 旭, 齐 龙, 等. 窝眼窄缝式气吸滚筒排种装置的试验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 141—144.

Zuo Yanjun, Ma Xu, Qi Long, et al. Seeding experiments of suction cylinder-seeder with socket-slot[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(11): 141—144. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

随着中国超级稻种植面积的逐年扩大, 亟待解决超级稻育秧的工厂化育秧机械化。超级稻育秧通常要求每穴(2±1)粒, 及其机械化播种要求为空穴率≤5%、重播率≤10%、合格率≥85%, 所以理想的育秧装置应是伤种少、对种子形状和尺寸要求不严格的精密排种器^[1-2]。

目前国内研制的水稻秧盘育秧播种装置主要有机械式、气力式 2 类^[1], 机械式播种装置主要用于精度要求不高的撒播与条播; 对于高精度要求的播种则主要采用气吸式。国内外有多人不断进行播种装置研究, 如陈进、李耀明等探讨了气吸振动式试验台的工作频率、弹簧刚度、质量、偏心距等参数对种子运动和吸种的影响规律^[3-4]; 庞昌乐等设计并研究了气吸式双层滚筒水稻播种器^[5], 王朝辉、马旭等对滚筒内部流场和吸种性能进行了模拟和研究^[6-7], 韩豹等设计研制的气吸滚筒式自动清堵排种器^[8]; 刘彩玲、宋建农等研制了往复摆动式气吸精量播种装置, 并对吸种理论进行了分析^[9]。国外 Guarella P 等也对气吸播种机原理进行了深入研究^[10]。

上述研究在一定程度上满足了常规稻育秧机械化要

求, 但仍存在超级稻播种精度达不到要求的问题。如机械式工作原理结构简单、精度差; 气吸式原理无论是吸盘式、滚筒式, 还是吸针式都存在吸孔容易堵塞问题, 尽管采用双层气吸滚筒后有所改善, 但堵塞问题仍严重存在, 不能满足超级稻精密育秧播种要求。针对存在的问题, 本文研制了一种窝眼窄缝式气吸滚筒排种试验装置, 通过研究窝眼半径和窄缝宽度对播种合格率的影响规律, 探求滚筒播种性能的最优组合, 为超级稻精密排种器的设计提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验材料为超级稻培杂泰丰, 种子在播种前经过催芽处理, 露白后芽种尺寸如表 1。

表 1 芽种尺寸

Table 1 Size of rice seed with sprout

品种	mm		
	长	宽	厚
培杂泰丰	9.23	3.45	2.42

1.2 试验设备

窝眼窄缝式气吸滚筒排种试验装置主要由供种箱、振动种盘和窝眼窄缝式气吸滚筒等组成。滚筒外表面分布 25×15 个半球形窝眼, 沿滚筒长度, 每 5 排窝眼为一区, 3 个区的窝眼尺寸依次为半径 $R=4.5$ 、5.0 和 5.5 mm; 滚筒内表面沿与每排窝眼对应的圆周方向依次加工“槽宽×槽深”为 1.0 mm×2.0 mm、1.1 mm×1.5 mm、1.2 mm×1.0 mm 的环形槽, 则该环形槽与半球形窝眼相贯形成长度约 4.0 mm 的窄缝, 如图 1 所示。

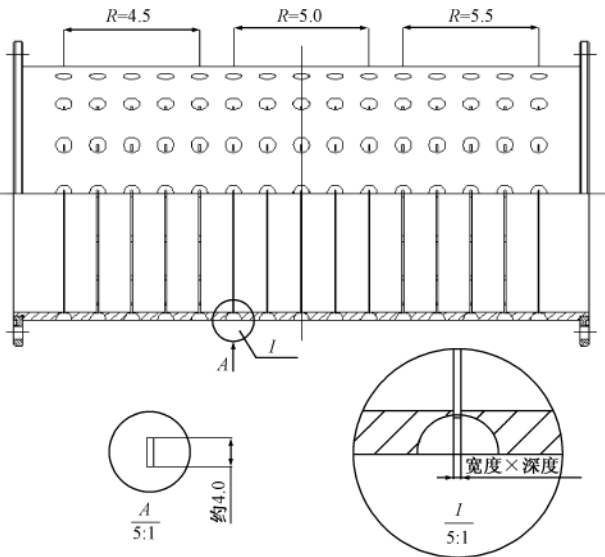
收稿日期: 2010-02-24 修回日期: 2010-06-19

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

作者简介: 左彦军(1982—), 男, 博士, 黑龙江省哈尔滨人。广州 华南农业大学工程学院, 510642。Email: 42648135@qq.com

*通信作者: 马 旭(1959—), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向: 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, 510642。

Email: maxu1959@scau.edu.cn



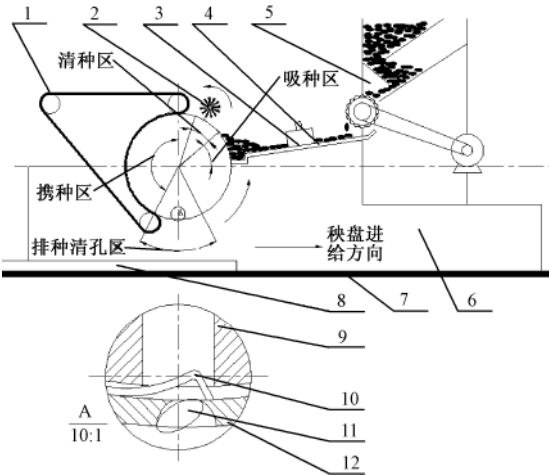
注：宽度指环形槽的宽度；深度指环形槽的深度

图 1 滚筒结构

Fig. 1 Structure of cylinder

1.3 工作原理

试验装置原理如图 2。工作时，种子由供种箱落到振动种盘上，随着振动种盘的振动向下蠕动，种子流经振动种盘时将芒刺、碎芽和其它杂质从筛孔除去后进入吸种区，种子在自重及窄缝真空吸力进入窝眼完成充种。当充种的一排窝眼完成充种后，首先被同向旋转的滚刷去掉窝眼内多余的种子，剩余的种子依靠吸力随滚筒继续旋转进入携种带，当该排窝眼旋转至排种清孔区时，切断真空，与此同时滚筒内的弹种钢丝强制性的把窝眼内的种子弹出并清孔，种子则在重力和弹种钢丝的作用下抛出，落入到预定的育秧盘穴孔内，从而实现精确播种。



1.携种带 2.滚刷 3.气动振动器 4.振动种盘 5.种箱 6.机架
7.输送带 8.秧盘 9.正压室 10.弹种钢丝 11.种子 12.滚筒

图 2 窝眼窄缝式气吸滚筒排种试验装置原理简图

Fig.2 Principle diagram of suction cylinder-seeder with socket-slot

1.4 试验因素和指标

根据初步分析和试验我们选定窝眼尺寸与、真空度

(即压差)、窄缝宽度和滚筒转速为主要因素，每个因素确定 3 个水平，试验因素及水平见表 2。

表 2 试验因素及水平
Table 2 Factors and levels of experiment

水平	窝眼半径 A/mm	窄缝宽度 B/mm	真空度 C/kPa	滚筒转速 D/(rad·s ⁻¹)
1	4.5	1.0	2	0.82
2	5.0	1.1	3	1.09
3	5.5	1.2	4	1.36

1.5 试验安排和试验结果

试验在华南农业大学工程实验室育秧试验台上完成，以播种空穴率 Y_1 (0 粒种子穴数/全部穴数×100%)、重播率 Y_2 和 (>3 粒种子穴数/全部穴数×100%) 合格率 Y_3 (1~3 粒种子穴数/全部穴数×100%) 为指标。采用 4 因素 3 水平正交试验设计方法，试验方案及结果见表 3。

表 3 试验方案及结果
Table 3 Design and results of experiment

试验 序号	因素水平				$Y_1/\%$	$Y_2/\%$	$Y_3/\%$
	A	B	C	D			
1	1	1	1	1	24.17	3.11	72.72
2	1	2	2	2	25.84	2.39	71.77
3	1	3	3	3	27.18	0.93	71.89
4	2	1	2	3	21.84	4.99	73.17
5	2	2	3	1	13.25	6.94	79.81
6	2	3	1	2	26.94	3.63	69.43
7	3	1	3	2	9.77	7.87	82.36
8	3	2	1	3	22.73	5.19	72.08
9	3	3	2	1	14.18	7.18	78.64

注： Y_1 为播种空穴率， Y_2 为重播率， Y_3 为合格率，下同。

2 结果与分析

采用直观极差法进行分析，结果见表 4。

由表 4 可以看出影响空穴率和合格率的主次顺序为：窝眼半径>真空度>滚筒转速>窄缝宽度；影响重播率的主次顺序为：窝眼半径>滚筒转速>窄缝宽度>真空度。空穴率和合格率的最佳参数组合为：窝眼半径 5.5 mm、真空度 4 kPa、滚筒转速 0.82 rad/s 和窄缝宽度 1 mm；重播率的最佳参数组合为：窝眼半径 4.5 mm、滚筒转速 1.36 rad/s、窄缝宽度 1.2 mm 和真空度 2 kPa。

2.1 真空度对合格率的影响

真空度在试验参数范围内对播种结果影响最大。吸孔两端面积一致，所以可看做皮托—静压管，则流速为^[11]

$$v_0 = \sqrt{\frac{2K(p_0 - p)}{\rho}} \quad (1)$$

式中， K 为校正系数，大约在 0.98~1.05 之间； $(p_0 - p)$ 为压差； ρ 为流体密度 (1.205 kg/m³)。可见真空度 (即压差) 越小，流速越小，绕流阻力越小，固种越难，易造成空穴；反之虽然充填重播率增加，但滚刷可清除多

余的种子，所以在参数所选范围内，真空度 4 kPa 最为 合适。

表 4 分析结果
Table 4 Results of analysis

分析项	Y ₁				Y ₂				Y ₃			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
K ₁	25.73	18.59	24.61	17.20	2.14	5.32	3.98	5.74	72.13	76.09	71.41	77.06
K ₂	20.68	20.61	20.62	20.85	5.19	4.84	4.85	4.63	74.13	74.55	74.53	74.52
K ₃	15.56	22.77	16.73	23.92	6.75	4.01	5.25	3.70	85.22	73.22	78.02	72.38
R	10.17	4.18	7.88	6.72	4.61	1.31	1.27	2.04	13.09	2.87	6.61	4.68
较优水平	A ₃	B ₁	C ₃	D ₁	A ₁	B ₃	C ₁	D ₃	A ₃	B ₁	C ₃	D ₁
主次因素	A ₃ C ₃ D ₁ B ₁				A ₁ D ₃ B ₃ C ₁				A ₃ C ₃ D ₁ B ₁			

2.2 窝眼半径对合格率的影响

窝眼半径在试验参数范围内对播种结果影响较大。由表 1 可知，若窝眼半径太小，则种子不能完全进入窝眼内，容易被滚刷全部扫落，造成空穴；而若窝眼半径太大，则进入窝眼内的种子过多，因滚刷能及时清除多余的种子，所以在参数所选范围内，窝眼半径 5.5 mm 最为合适。

2.3 滚筒转速对合格率的影响

滚筒转速在试验参数范围内对播种结果影响较小。吸牢种子的条件为

$$F_{\text{向}} = m\omega^2 r \quad (2)$$

式中， m 为种子质量，kg； ω 为滚筒转速，rad/s； r 为滚筒半径，m。可见生产率越大，即滚筒转速越大，种子随滚筒转动需要的向心力越大，需要的绕流阻力越大，难固种，易造成空穴；反之虽然充填重播率增加，但多余的种子被滚刷清掉，所以在参数所选范围内，滚筒转速 0.82 rad/s 最为合适。

2.4 窄缝宽度对合格率的影响

窄缝宽度在试验参数范围内对播种结果影响最小。滚筒内部的真空由负压风机提供，真空稳定时，可看做不可压流体在管道中作定常流动，则根据连续方程有

$$vA=C \quad (3)$$

式中， C 为常数； v 为穿过窄缝的流速，mm/s； A 为窄缝面积， $A=bh$ ； h 为窄缝长度，且 $h=4$ mm； b 为窄缝宽度，mm。可见窄缝越宽，窄缝面积越大，流体的平均速度越小，绕流阻力越小，固种越难，易造成空穴；若窄缝宽度过小，弹种钢丝排种和清孔困难，易造成阻塞，导致吸不上种，形成空穴，所以在参数所选范围内窄缝宽度 1 mm 最为合适。

2.5 最佳参数的选择

影响窝眼窄缝式气吸滚筒排种器的空穴率、重播率和合格率的最佳参数组合不尽相同，但超级稻播种的合格率为主要考核指标，所以选择窝眼半径 5.5 mm、真空度 4 kPa、滚筒转速 0.82 rad/s 和窄缝宽度 1 mm 为最佳参数组合。经验证，此时，播种空穴率、重播率和合格率分别为 4.88%、9.78% 和 85.34%。

3 结论与讨论

1) 在窝眼窄缝式气吸滚筒播种时，影响空穴率和合

格率因素的主次顺序为窝眼半径>真空度>滚筒转速>窄缝宽度；影响重播率因素的主次顺序为窝眼半径>滚筒转速>窄缝宽度>真空度。

2) 在试验参数范围内最佳参数组合为窝眼半径 5.5 mm、真空度 4 kPa、滚筒转速 0.82 rad/s 和窄缝宽度 1 mm。此时，空穴率、重播率和合格率分别为 4.88%、9.78% 和 85.34%。

3) 影响播种性能的因素很多，如种层厚度和供种区位置角等，由于是初步研究，各因素还未达到最佳参数，导致目前总体性能不高（85.34%），我们将进一步研究。但在播种试验过程中发现，没有发生窝眼窄缝堵塞的现象，说明窝眼窄缝式气吸滚筒是一种极有应用前景的精密播种装置。

[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, 34(4): 301—305.
Zhou Haibo, Ma Xu, Yao Yali. Research advances and prospects in the seeding technology and equipment for tray nursing seedlings of rice[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 34(4): 301—305. (in Chinese with English abstract)
- [2] 吴明亮, 汤楚宙, 李明, 等. 水稻精密播种机排种器研究的现状与对策[J]. 中国农机化, 2003, (3): 30—31.
Wu Mingliang, Tang Chuzhou, Li Ming, et al. The present situation and countermeasures about seeding apparatus of paddy precision seeder[J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2003, (3): 30—31. (in Chinese with English abstract)
- [3] 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 CSAM, 2002, 33(1): 47—50. (in Chinese with English Abstract)
- [4] 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 CSAM, 1998, 29(3): 43—47. (in Chinese with English Abstract)
- [5] 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 Congying, et al. Design and experimental study on air-suction two-layer cylinder rice seeder[J]. Transactions of the CSAM, 2000, 16(5): 52—55. (in Chinese with English abstract)
- [6] 王朝辉, 马旭, 袁月明, 等. 超级稻育秧精密播种器内部流场的数值模拟[J]. 吉林大学学报, 2009, 31(6): 781—784.
- Wang Zhaohui, Yuan Yueming, Dong Runjian, et al. Numerical simulation for air field of air-suction cylinder seeder[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2009, 31(6): 781—784. (in Chinese with English Abstract)
- [7] 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)
- [8] 韩豹, 吴文福, 王宏业. 水稻机摆钵育苗气吸滚筒式自动清堵排种器[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 96—99.
- Han Bao, Wu Wenfu, Wang Hongye. Suction drum-type seed metering device with auto-cleaning block of transplanter for tray grown rice seedling[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(9): 96—99. (in Chinese with English abstract)
- [9] 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 Cailing, 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)
- [10] 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.
- [11] 王松龄. 流体力学[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.

Seeding experiments of suction cylinder-seeder with socket-slot

Zuo Yanjun¹, Ma Xu^{1*}, Qi Long¹, Yu Dalue², Liao Xinglong¹

(1. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2. Topsearch Printed Circuits Shenzhen Ltd., Shenzhen 518067, China)

Abstract: In order to achieve the nursing seedlings of super hybrid rice for factory production, and assure its working performance, the suction cylinder-seeder with socket-slot for experiment was designed and produced. The super hybrid rice Peizataifeng was selected as experimental object, and the effects of socket radius, slot width, vacuum and cylinder speed on cavity rate, reseeding rate and qualified rate of seeding were studied by the four factors and three-level orthogonal experimental method. Results indicated that the orders affecting cavity rate and qualified rate was socket radius > vacuum > cylinder speed > slot width, and the order affecting reseeding rate was socket radius > cylinder speed > slot width > vacuum. The optimal parameter combination was socket radius with 5.5 mm, vacuum with 4 kPa, cylinder speed with 0.82 rad/s and slot width with 1 mm. The cavity rate, reseeding rate and qualified rate of seeding were 4.88%, 9.78% and 85.34% respectively under condition of the optimal parameters. Although seeding performance should be further improved, the slots are never plugged, which shows that the seeder is a precision seeding device with good application prospect.

Key words: agricultural machinery, functions, experiments, socket-slot, suction cylinder, seeding performance, seeding for nursing seedling of super hybrid rice