

夹持式棉花精密穴播轮改进设计与试验*

王吉奎^{1,2} 郭康权¹ 吕新民¹ 付威² 漆楚生¹

(1. 西北农林科技大学机械与电子工程学院, 陕西杨凌 712100;

2. 石河子大学机械电气工程学院, 石河子 832003)

【摘要】 针对夹持式棉花精密穴播轮作业引起的振动脱种问题,改进了取种器的结构,增设了护种装置。应用二次回归通用旋转组合试验方法,建立了穴播轮排种性能指标与取种器夹种口主要尺寸间的回归方程。分析了试验因素对穴播轮排种性能指标的影响规律,对于新陆早-26号棉种在单粒率最大、重播率和空穴率在一定范围内的条件下,优化得出夹种板长度为4.50 mm、夹种口宽度为5.70 mm、夹种口开度为7.50 mm。试验表明,改进后的穴播轮减小了振动对精密取种的影响。

关键词: 棉花 穴播轮 夹持 改进设计 试验

中图分类号: S223.2³ 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)04-0043-05

Experiment and Improvement on Clamping
Cotton Precision Seeding Dibbler

Wang Jikui^{1,2} Guo Kangquan¹ Lü Xinmin¹ Fu Wei² Qi Chusheng¹

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

Abstract

Aiming at the seed-dropping problems of clamping cotton-seeds precision dibbler due to vibration in operating, the seeding devices of the dibbler were improved. A seed retaining equipment was designed and installed on the dibbler. Mathematical models that described relationship between the performance indexes and influence factors of the seeding devices were established by applying quadrature regression experiment with general rotary design method. The tendency and regularity of the performance indexes influenced by the factors were analyzed. For the Xinluzao-26 cotton seed, with a goal of maximum single seed index and a given range of multi-seed and missing seed index, length of the clamping boards of the seeding device's jaw were 4.50 mm, width of the jaw were 5.70 mm, and opening of the jaw was 7.50 mm by parameter optimization. The experiment results showed that the effect of operating vibration was reduced on the improved dibbler.

Key words Cotton, Dibbler, Clamping, Improvement design, Experiment

引言

棉花膜上精密穴播已成为新疆棉花种植的主要模式之一。穴播轮是棉花精密播种的技术核心,现有精密穴播轮主要以气吸式为主。夹持式棉花精密穴播轮是一种新型播种装置,该装置采用夹持原理

取种,具有结构简单、造价低、故障少、使用维护方便和对种子大小适应性强等特点,目前已用于新疆棉花的精密播种^[1]。现有夹持式棉花精密穴播轮的夹持取种力来自重块的自重杠杆力,该力受振动影响较大,在实际工作中若地面不平或硬的土块颗粒较大,穴播轮会上下颠簸振动^[1]。在清种区重块受

收稿日期: 2010-06-02 修回日期: 2010-07-14

* 国家自然科学基金资助项目(50565004)

作者简介: 王吉奎,博士生,石河子大学副教授,主要从事农业机械装备研究,E-mail: shzwjks@sohu.com

通讯作者: 郭康权,教授,博士生导师,主要从事农业机械装备研究,E-mail: jdkgk@nwsuaf.edu.cn

到振动后会绕销轴转动,并带动夹种口张开,种子失去夹持作用力易从夹种口中脱落,造成空穴。经调查穴播轮作业振动后空穴率达到 7% 以上。针对上述问题,本文改进取种器的结构,增设护种装置,并采用试验方法建立穴播轮排种性能与取种器夹种口尺寸之间的回归模型,分析取种器夹种口尺寸对穴播轮排种性能的影响,优化取种器夹种口尺寸。

1 改进后穴播轮基本结构

改进后的穴播轮结构如图 1 所示,在取种器重块的末端设有滚轮,定盘上设护种轨道。工作时取种器离开种子群进入清种区后滚轮在护种轨道的作用下带动重块顺时针转动使夹种口变小,夹种口中的种子被夹住,滚轮沿护种轨道内侧行进,重块不会因振动而反向转动,从而防止了夹种口因振动而张开。当取种器进入落种区后滚轮不再受护种轨道的作用,在投种装置的作用下重块反向转动夹种口张开,种子通过接种杯进入鸭咀,随着穴播轮的转动鸭咀在地面掘穴并打开,种子落入种穴^[2]。

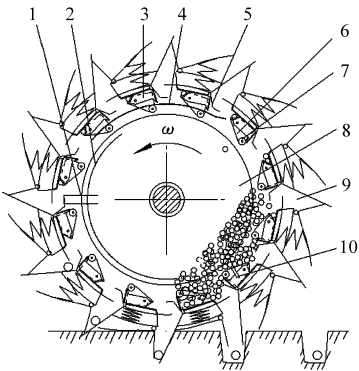


图 1 穴播轮结构图

Fig. 1 Diagram of configuration

1. 投种装置 2. 挡种圈 3. 取种器 4. 护种轨道 5. 接种杯
6. 重块 7. 滚轮 8. 定盘 9. 鸭咀圈 10. 充种装置

2 主要改进设计

2.1 取种器

取种器的结构如图 2 所示。重块安装在支座内,可绕销轴旋转,夹持板与重块制成一体,在夹种口处支座两侧与重块端面形成一个凹槽,进入夹种口的种子在凹槽的作用下可以比较可靠地保持在夹种口中。夹种板在支座与底座之间有弹性橡胶衬垫,在外力作用下支座相对底座有一定的摆动量,在护种时可防止夹伤种子^[3]。

2.2 护种轨道

护种轨道设在清种区,其结构示意图如图 3 所示。护种作用力由护种轨道施加在滚轮上,其大小由夹种口开启程度决定,开启度越大,作用力越大。

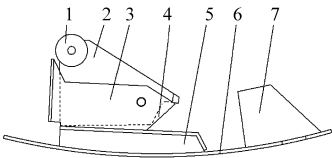


图 2 取种器示意图

Fig. 2 Sketch of seed-filling device

1. 滚轮 2. 重块 3. 支座 4. 凹槽 5. 衬垫 6. 底座 7. 接种杯

考虑到种子的大小不一,取种后夹种口开启程度也不相同,为防止夹伤种子和便于穴播轮的安装和使用,护种轨道采用 SBS 苯乙烯类热塑性弹性体材料制成^[4]。

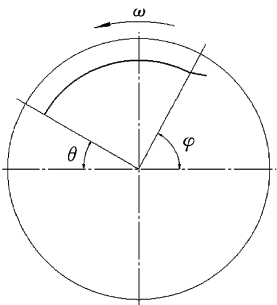


图 3 护种轨道示意图

Fig. 3 Sketch of clamping orbit

充种结束后取种器离开种子群,夹种口中的种子便失去种子群的保护,易被震落。此时夹种板应将种子可靠夹住,故护种轨道的起始角度 φ 以夹种口离开种子群为准,该角度太小种子会沿护种轨道进入投种区造成重播,太大则不利于护种。另外,夹种口离开种子群的位置由种子室内种子群上升的高度而定,此高度决定于穴播轮的作业速度。在穴播轮作业速度为 1 m/s 时,由观测可得护种轨道的起始角度 $\varphi = 60^\circ$;护种轨道终止角 θ 的大小按不同作业速度下夹种口中的种子能可靠落入接种杯的位置而定。由试验可知,护种轨道终止角 $\theta = 30^\circ$ 。

3 穴播轮性能试验

3.1 试验因素

取种器是夹持式棉花精密穴播轮的关键部件。种子进入取种器夹种口是穴播轮实现排种的重要环节。试验表明夹种口越大越易实现充种,空穴率也越小,但重播率增大。夹种口的尺寸主要有夹种板长度、夹种口宽度和开度,为进一步考察夹种口尺寸对排种性能的影响,现以夹种板长度 L 、夹种口宽度 W 和夹种口开度 H 3 个参数作为影响因素,来寻找夹种口尺寸参数与排种性能的关系,试验采用二次回归通用旋转组合设计方法,因素水平和编码如表 1 所示^[5-6]。

3.2 试验设备及种子

试验在石河子大学机电学院 JPS-12 型排种器性能检测试验台上进行。试验用种子品种为新陆早-26 号,种子经过脱绒、抛光和干燥处理,破碎籽粒经人工筛选。种子长度、宽度和厚度均值分别为 9.02 mm、4.83 mm 和 4.25 mm,种子千粒质量 95 g,

自然休止角 32.76° , 纯度大于 99.9%。

表 1 试验因素水平编码

Tab.1 Codings of experimental factors and levels			
编码	夹种板长度 L/mm	夹种口宽度 W/mm	夹种口开度 H/mm
-1.68	3.00	4.50	5.50
-1	3.61	5.11	6.11
0	4.50	6.00	7.00
1	5.39	6.89	7.89
1.68	6.00	7.50	8.50

3.3 试验结果与分析

根据二次回归通用旋转组合设计安排 20 组试验, 每组试验重复 3 次, 每次测 100 穴, 试验结果取平均值, 试验指标为单粒率 S 、重播率 D 、空穴率 M , 试验结果如表 2 所示。

表 2 试验结果
Tab.2 Experimental results %

试验号	单粒率 S	重播率 D	空穴率 M
1	86.67	13.00	0.33
2	86.33	9.33	4.33
3	89.33	6.67	4.00
4	84.33	5.33	10.33
5	86.67	7.67	5.67
6	83.67	1.33	15.00
7	91.33	2.33	6.33
8	82.67	0.33	17.00
9	87.33	11.33	1.33
10	85.67	2.33	12.00
11	86.33	11.33	2.33
12	89.33	3.67	7.00
13	91.33	6.67	2.00
14	82.67	1.33	16.00
15	93.33	4.00	2.67
16	93.67	4.00	2.33
17	93.33	4.33	2.33
18	93.33	4.00	2.67
19	93.33	4.33	2.33
20	93.00	4.33	2.67

依据试验数据, 应用 Design-Expert 7 软件对试验结果作显著性方差分析, 剔除不显著项后得到的回归方程极显著, 各因素在 0.05 以上水平显著。各试验指标与编码值的二次回归方程为

$$S = 93.38 + 0.37x_1 - 0.69x_2 + 2.31x_3 + 0.37x_1x_2 - 0.79x_1x_3 - 1.29x_2x_3 - 2.49x_1^2 - 2.02x_2^2 - 2.32x_3^2 \tag{1}$$

$$D = 4.09 + 2.77x_1 + 2.16x_2 + 1.64x_3 + 0.5x_1x_2 - 0.42x_1x_3 + 0.83x_2x_3 + 0.85x_1^2 + 1.09x_2^2 \tag{2}$$

$$M = 2.40 - 3.15x_1 - 1.48x_2 - 3.94x_3 - 0.88x_1x_2 + 1.21x_1x_3 + 0.46x_2x_3 + 1.66x_1^2 + 0.95x_2^2 + 2.48x_3^2 \tag{3}$$

式中 x_1 、 x_2 、 x_3 ——夹种板长度、夹种口宽度和夹种口开度编码值

将式(1)~(3)中夹种板长度、夹种口宽度和夹种口开度编码值分别取 $x_1 = 0$ (即 $L = 4.5\text{ mm}$)、 $x_2 = 0$ (即 $W = 6.0\text{ mm}$) 和 $x_3 = 0$ (即 $H = 7.0\text{ mm}$), 分析试验因素变化对各试验指标的影响。

3.3.1 单粒率

试验因素在编码空间内对单粒率的影响如图 4 所示。单粒率随夹种板长度和夹种口宽度的增大先增大后减小(图 4a), 夹种口宽度变化对单粒率的影响大于夹种板的长度变化的影响。单粒率在夹种板长度编码值 $-0.84 < x_1 < 0.84$ (即 $3.75\text{ mm} < L < 5.25\text{ mm}$) 和夹种口宽度编码值 $-0.84 < x_2 < 0.84$ (即 $5.25\text{ mm} < W < 6.75\text{ mm}$) 的区域内获得最大值。

单粒率随夹种板长度和夹种口开度的增大先增大后减小(图 4b), 夹种口开度变化对单粒率的影响大于夹种板长度的影响, 若夹种口开度小种子不能进入夹种口易造成空穴, 夹种口开度大则进入夹种口的种子过多易造成重播。单粒率的夹种板长度编码值 $-0.84 < x_1 < 0.84$ (即 $3.75\text{ mm} < L < 5.25\text{ mm}$) 和夹种口开度编码值 $0 < x_3 < 1$ (即 $7.00\text{ mm} < H < 7.89\text{ mm}$) 的区域内获得最大值。

单粒率随夹种口开度与夹种口宽度编码值的增大先增大后减小(图 4c), 夹种口开度的变化对单粒率的影响大于夹种口宽度对单粒率的影响。单粒率在夹种口宽度编码值 $-0.84 < x_2 < 0.84$ (即 $5.25\text{ mm} < W < 6.75\text{ mm}$) 和夹种口开度编码值 $0 < x_3 < 1$ (即 $7.00\text{ mm} < H < 7.89\text{ mm}$) 的区域内获得最大值。

3.3.2 重播率

试验因素在编码空间内对重播率的影响如图 5 所示。重播率变化的总趋势是随夹种板长度、夹种口宽度和夹种口开度增大而增大, 夹种板长度的变化对重播率的影响大于夹种口宽度的影响(图 5a)。种子在夹种板长度编码值 $x_1 < 0$ (即 $L < 4.50\text{ mm}$) 和夹种口宽度编码值 $x_2 < 0$ (即 $W < 6.00\text{ mm}$) 的区域内重播率获得最小值。

夹种板越长夹种口的深度越大, 进入夹种口的

种子也越多,种子被夹持后清种难度增大,重播率上升,夹种板长度变化对重播率的影响较夹种口开度大(图 5b)。对试验用种子在夹种板长度编码值 $x_1 < 0$ (即 $L < 4.50\text{ mm}$) 和夹种口开度编码值 $x_3 < 0$ (即 $H < 7.00\text{ mm}$) 的区域内重播率获得最小值。

在 $x_2 < 0$ 时夹种口宽度对重播率的影响小于夹种口开度对重播率的影响,在 $x_2 > 0$ 时则相反(图 5c)。对试验用种子在夹种口宽度编码值 $x_2 < 0$ (即 $W < 6.00\text{ mm}$) 和夹种口开度编码值 $x_3 < 0$ (即 $H < 7.00\text{ mm}$) 的区域内重播率获得最小值。

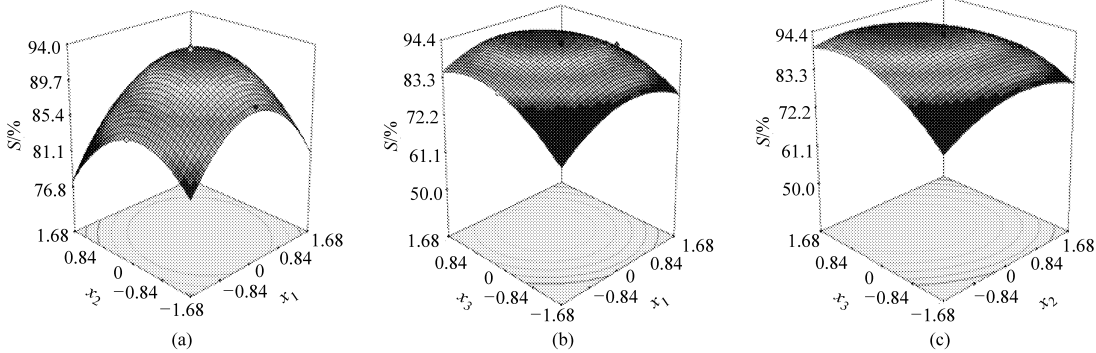


图 4 单粒率的变化
Fig. 4 Variation of single seed index

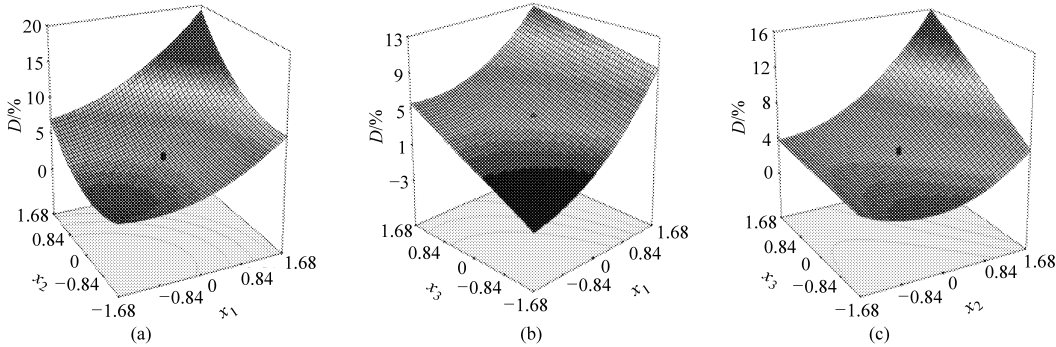


图 5 重播率的变化
Fig. 5 Variation of multi-seed index

3.3.3 空穴率

试验因素在编码空间内对空穴率的影响如图 6 所示。夹种口越大种子越容易进入夹种口,空穴率也就越小,故随着夹种板长度、夹种口宽度和夹种口开度的增大空穴率逐渐减小,且夹种板长度对空穴率的影响大于夹种口宽度的影响(图 6a);夹种口开度对空穴率的影响大于夹种板长度(图 6b);夹种口开度对空穴率的影响大于夹种口宽度(图 6c)。对

试验用种子在夹种板长度编码值 $x_1 > 0.84$ (即 $L > 5.25\text{ mm}$)、夹种口宽度编码值 $x_2 > 0.84$ (即 $W > 6.75\text{ mm}$) 和夹种口开度编码值 $x_3 > 0.84$ (即 $H > 7.75\text{ mm}$) 的区域内空穴率获得最小值。

3.4 参数优化

采用多目标优化方法,应用 Design - Expert 7.0.1 软件优化求解夹种口尺寸,寻找到满足响应变量范围的因素最佳组合。将优化目标参数单粒率

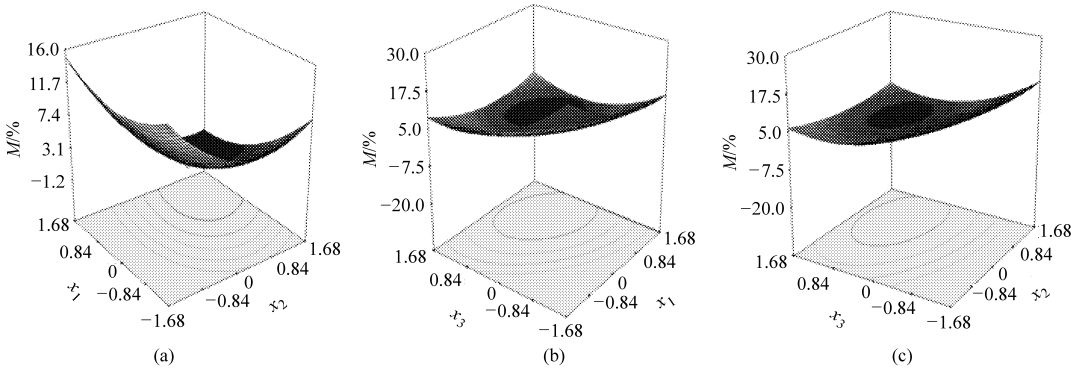
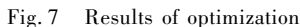


图 6 空穴率的变化
Fig. 6 Variation of missing seed index

5.70 mm和夹种口开度 $H = 7.50$ mm 的参数组合进行试验,试验地选在土块颗粒较大的地面,穴播轮工作时有一定振动,测试速度为 1 m/s,随机选取 5 个检测点,每个点取样 100 穴,测得到优化后穴播轮的单粒率 $S = 94.2\%$,重播率 $D = 3.4\%$,空穴率 $M = 2.4\%$,测试结果与试验优化预期结果基本相符,且经检测破碎率为零,达到预期的改进设计目的。



(2) 应用二次回归通用旋转组合试验方法,建立了穴播轮排种性能指标与取种器夹种口主要尺寸因素间的回归方程。对于新陆早-26号棉种优化得出夹种板长度为4.50 mm、夹种口宽度为5.70 mm和夹种口开度为7.50 mm。验证试验表明,改进和优化后的穴播轮对地面的适应性有明显增强,从而提高了穴播轮的工作可靠性。

- 1 王吉奎, 坎朵, 吴杰, 等. 夹持自锁式棉花精量穴播器的设计与试验[J]. 农业机械学报, 2006, 37(5): 53 ~ 56.
Wang Jikui, Kan Za, Wu Jie, et al. Design and experiment on clamping and self-locking cotton precision dibbler[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(5): 53 ~ 56. (in Chinese)
- 2 王吉奎, 吴杰, 李华. 重力夹持式精量排种器: 中国, 200620159035. 0[P]. 2007-10-24.
- 3 罗锡文, 王在满, 蒋恩臣, 等. 型孔轮式排种器弹性随动护种带装置设计[J]. 农业机械学报, 2008, 39(12): 60 ~ 63.
Luo Xiwen, Wang Zaiman, Jiang Enchen, et al. Design of disassemble rubber guard device for cell wheel feed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(12): 60 ~ 63. (in Chinese)
- 4 李春胜, 黄德彬. 机械工程材料手册: 下册[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- 5 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): 73 ~ 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): 73 ~ 75. (in Chinese)
- 6 洪伟, 吴承祯. 实验设计与分析[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004.
- 7 胡建平, 毛罕平. 精密播种技术的研究与创新[J]. 农机化研究, 2003(4): 52 ~ 53.
Hu Jianping, Mao Hanping. A study and innovation on precision seeding technology[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2003(4): 52 ~ 53. (in Chinese)
- 8 夏俊芳, 许绮川, 吴一明, 等. 旱作多功能精密穴播轮的研究[J]. 农业机械学报, 2002, 33(4): 42 ~ 45.
Xia Junfang, Xu Qichuan, Wu Yiming, et al. Study on sinus planting wheel of multi-function precision for dry farming[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2002, 33(4): 42 ~ 45. (in Chinese)
- 9 廖庆喜, 高焕文. 玉米水平圆盘精密排种器种子破损试验[J]. 农业机械学报, 2003, 34(4): 57 ~ 59.
Liao Qingxi, Gao Huanwen. Experimental study on corn seed damaging in a horizontal plate precision metering[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003, 34(4): 57 ~ 59. (in Chinese)
- 10 张波屏. 现代化种植机械工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 1997.