

气吸式精密排种器正交试验优化*

王延耀¹ 李建东² 王东伟¹ 孙庆卫¹ 杨 薇²

(1. 青岛农业大学机电工程学院, 青岛 266109; 2. 中机美诺科技股份有限公司, 北京 100083)

【摘要】 采用二次回归正交旋转试验设计,运用 JPS-12 型排种器性能检测试验台对气吸式精密排种器排种性能进行试验,得到粒距合格指数为 72.31%~98.17%,漏播指数为 0.51%~18.7%。对试验结果进行回归分析,得出回归方程并用 Matlab 绘制三维等值线图,得到各个试验因素对试验指标影响的强弱。对试验因素进行优化,得出最优组合:当相对压力为 -2.86 kPa,排种盘吸孔直径为 5.2 mm 和排种盘转速为 21 r/min 时,粒距合格指数为 91.03%,漏播指数为 2.98%。

关键词: 精密播种 气吸式排种器 试验 优化

中图分类号: S223.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2012)S0-0054-05

Orthogonal Experiment Optimization on Air-suction Precision Seed-metering Device

Wang Yanyao¹ Li Jiandong² Wang Dongwei¹ Sun Qingwei¹ Yang Wei²

(1. School of Electrical and Mechanical Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China

2. Menoble Co., Ltd., Beijing 100083, China)

Abstract

The design of quadratic regression orthogonal rotating experiment was used to test the performance of air-suction precision seed-metering device on the type JPS-12 seed metering performance testing bench. The seeding qualified index was 72.31%~98.17%. The leaking index was 0.51%~18.7%. The regression equation was received by regression analysis of the test results. 3-D figures were drawn with Matlab. Various effects on the experimental indexes by each factor could be received. The experimental factors were optimized, and then the best combination was achieved. When the relative pressure was -2.86 kPa, the hole diameter was 5.2 mm and the speed of seed tray was 21 r/min, the seeding qualified index was 91.03% and the leaking seed index was 2.98%.

Key words Precision seeding, Air-suction precision seed-metering device, Experiment, Optimization

引言

目前,大部分地区小区育种播种作业仍以人工为主,人工播种存在效率低、劳动强度大、成本高和播种质量差等问题^[1],严重影响播种作业的精度。为了提高播种作业的精度,许多科研院所都在致力于小区育种播种机的研制。近几年,精密播种受到越来越多的关注,精密排种器作为精密播种机的核心部件,其性能决定了整个播种机的作业性能^[2]。

精密排种器主要有机械式和气力式两大类^[3]。机械式精密排种器的播种机由于作业效率低、对种子损伤大等原因,其发展空间受到一定限制,气力式精密排种器的播种机由于对种子尺寸要求低、不伤种、通用性好,具备高速作业的性能^[4],满足对大功率拖拉机的配套和宽幅作业的要求,成为 21 世纪田间育种播种机的发展方向。目前播种机运用最多的是气吸式精密排种器。

本文对气吸式精密排种器进行试验,通过在专

收稿日期: 2012-07-10 修回日期: 2012-07-17

* 国家公益性行业(农业)科研专项资助项目(201203028.1)

作者简介: 王延耀,教授,主要从事农业机械系统理论、机械性能设计、试验及推广应用研究,E-mail: wyy57@126.com

用的排种器试验台上模拟播种机播种,从而得到排种器播种合格指数、漏播指数等相关性能参数,为进一步分析排种器性能提供可靠的依据。

1 气吸式精密排种器工作原理

气吸式精密排种器如图 1 所示,主要由吸室、存种室、排种盘和刮种器等零部件组成。种子箱内种子流入排种器存种室,排种盘将吸室和存种室隔开。吸室通过软管与风机相连,在壳体外部是刮种器调节手柄,可以根据需要调节刮种器的位置。当风机工作时,使吸室产生一定的负压,排种盘吸孔处形成吸力,将存种室部分种子吸住。种子随排种盘旋转到刮种部位时,刮种器将多余的种子刮掉,只留一粒种子继续随排种盘旋转到开沟器上方无吸力区,种子在自重或推种器的作用下掉入种沟内。

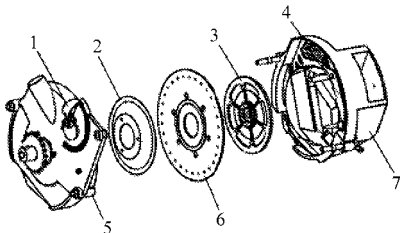


图 1 气吸式精密排种器示意图

Fig. 1 Sketch of pneumatic precision seed-metering device

1. 刮种器调节手柄 2. 压盖 3. 塑料垫片 4. 刮种器 5. 吸室
6. 排种盘 7. 存种室

2 试验用排种器试验台

试验在黑龙江省农业机械工程科学研究院研制的 JPS-12 型排种器性能检测试验台上进行,排种器试验台如图 2 所示,试验台操作面板如图 3 所示。

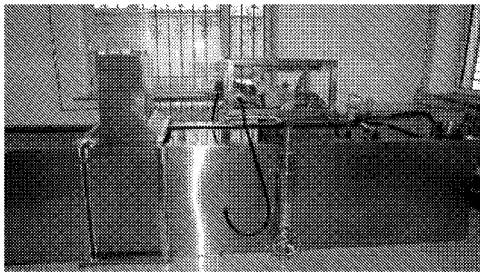


图 2 排种器试验台

Fig. 2 Test-bed of seed metering device

排种器试验台由台架、种床带装置、排种器安装架、粘种油液压系统、摄像装置、刮油板、油水分离装置和气吸式排种器驱动风机装置等组成。种床带周长为 19.23 m、宽 0.7 m、厚 3 mm,有效长度为 10 m。种床带的前进运动模拟播种机的工作速度。排种器和种床带分别由调速电动机驱动并控制其速度。种

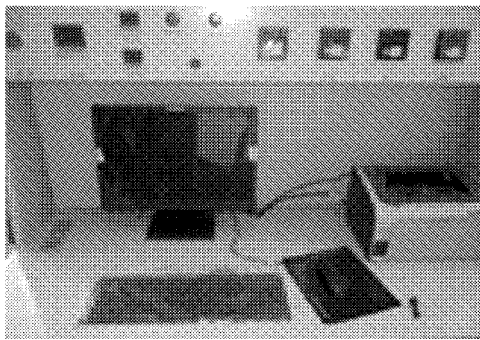


图 3 试验台操作面板

Fig. 3 Operation panel of test-bed

床带调速范围为 1.5 ~ 12 km/h,排种盘转速的调速范围为 10 ~ 150 r/min。试验时,排种器固定在排种器安装架上,由粘种油液压系统将粘种油从油箱压给刮油板,在中央涂成一条厚为 3 mm 的粘油带,以便播下的种子粘在种床带上用来测量计数。排种盘转速、种床带转速、粘种油油量以及风机的正、负压通过操作台操作面板上的相应旋钮来调节,面板上显示的是相应变频器的频率,各指标值可在计算机中操作软件中看到,如图 4 所示。



图 4 各指标的数值显示界面

Fig. 4 Numerical display interface of each index

3 试验依据

试验根据 GB/T 6973—2005《单粒(精密)播种机试验方法》^[5],对气吸式精密排种器进行性能测试(以玉米种子为例),通过测试落在种带上的种子粒距来反映排种性能。衡量排种器性能的指标主要有粒距合格指数、重播指数和漏播指数。实测粒距在(0.5X_r,1.5X_r)者为粒距合格,小于或等于 0.5X_r者为重播,大于 1.5X_r者为漏播,其中 X_r为理论合格粒距,根据农艺要求取为 20 cm,每单次试验重复 3 次取平均值。

4 试验与分析

4.1 试验因素和方法

影响气吸式精密排种器排种性能的因素很多^[6],例如排种盘直径及吸孔直径,吸孔的数量、相

对压力以及排种盘转速等,选择相对压力、排种盘吸孔直径以及转速 3 个因素进行试验。试验采用二次回归正交旋转设计^[7],得到的因素水平编码如表 1 所示^[8]。

表 1 因素水平编码
Tab.1 Factors and levels

编码	因素		
	相对压力 x_1/kPa	排种盘吸孔 直径 x_2/mm	排种盘转速 $x_3/\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$
1. 682	- 3. 00	6. 0	30
1	- 2. 92	5. 6	26
0	- 2. 80	5. 0	20
- 1	- 2. 68	4. 4	14
- 1. 682	- 2. 60	4. 0	10

表 2 粒距合格指数试验设计及结果

Tab.2 Experimental scheme and results of seeding qualified index

序号	z_0	z_1	z_2	z_3	z_1z_2	z_1z_3	z_2z_3	z'_1	z'_2	z'_3	$y_1/\%$
1	1	1	1	1	1	1	1	0. 406	0. 406	0. 406	78. 57
2	1	1	1	- 1	1	- 1	- 1	0. 406	0. 406	0. 406	76. 50
3	1	1	- 1	1	- 1	1	- 1	0. 406	0. 406	0. 406	79. 17
4	1	1	- 1	- 1	- 1	- 1	1	0. 406	0. 406	0. 406	76. 47
5	1	- 1	1	1	- 1	- 1	1	0. 406	0. 406	0. 406	73. 02
6	1	- 1	1	- 1	- 1	1	- 1	0. 406	0. 406	0. 406	72. 31
7	1	- 1	- 1	1	1	- 1	- 1	0. 406	0. 406	0. 406	81. 16
8	1	- 1	- 1	- 1	1	1	1	0. 406	0. 406	0. 406	76. 39
9	1	1. 682	0	0	0	0	0	2. 234	- 0. 594	- 0. 594	91. 30
10	1	- 1. 682	0	0	0	0	0	2. 234	- 0. 594	- 0. 594	85. 45
11	1	0	1. 682	0	0	0	0	- 0. 594	2. 234	- 0. 594	83. 00
12	1	0	- 1. 682	0	0	0	0	- 0. 594	2. 234	- 0. 594	74. 78
13	1	0	0	1. 682	0	0	0	- 0. 594	- 0. 594	2. 234	77. 54
14	1	0	0	- 1. 682	0	0	0	- 0. 594	- 0. 594	2. 234	81. 54
15	1	0	0	0	0	0	0	- 0. 594	- 0. 594	- 0. 594	93. 97
16	1	0	0	0	0	0	0	- 0. 594	- 0. 594	- 0. 594	98. 17
17	1	0	0	0	0	0	0	- 0. 594	- 0. 594	- 0. 594	93. 79
18	1	0	0	0	0	0	0	- 0. 594	- 0. 594	- 0. 594	96. 30
19	1	0	0	0	0	0	0	- 0. 594	- 0. 594	- 0. 594	88. 73
20	1	0	0	0	0	0	0	- 0. 594	- 0. 594	- 0. 594	87. 30
21	1	0	0	0	0	0	0	- 0. 594	- 0. 594	- 0. 594	89. 29
22	1	0	0	0	0	0	0	- 0. 594	- 0. 594	- 0. 594	87. 39
23	1	0	0	0	0	0	0	- 0. 594	- 0. 594	- 0. 594	96. 95
B_{ij}		17. 35	0. 59	3. 74	11. 65	- 0. 71	- 4. 85	- 38. 38	- 92. 03	- 88. 35	
d_{ij}	1 939. 09	13. 66	13. 66	13. 66	8. 00	8. 00	8. 00	15. 89	15. 89	15. 89	
b_{ij}	23. 00	1. 27	0. 04	0. 27	1. 46	- 0. 09	0. 61	- 2. 42	- 5. 79	- 5. 56	
U_{ij}	84. 31	22. 05	0. 03	1. 02	16. 97	0. 06	2. 94	92. 70	532. 98	491. 25	
F_{ij}		0. 94	0. 001	0. 04	0. 73	0. 003	0. 13	3. 97	22. 80	21. 03	

4. 2 试验结果与分析

4. 2. 1 粒距合格指数

根据试验设计条件,对气吸式精密排种器的排种的粒距合格指数进行试验,试验结果如表 2 所示, y_1 为粒距合格指数。

由表 2 分析可得粒距合格指数回归方程为

$$y_1 = 92. 43 - 2. 42z_1^2 - 5. 79z_2^2 - 5. 56z_3^2 \quad (1)$$

由 $F_n = 1. 69 < F_{0. 1}(5, 8) = 2. 73$,表明在整个研究区域内部,回归方程与实测值拟合较好,所取得的回归模型是合适的。由 $F_h = 5. 52 > F_{0. 01}(9, 13) = 4. 19$,表明回归方程在 $\alpha = 0. 01$ 水平上是显著的,二次回归方程拟合较好(表 3)。

为了更直观地得到粒距合格指数与各个试验因素之间的关系,利用 Matlab 软件,绘制三维等值线图^[9],如图 5 所示。

表 3 粒距合格指数方差分析

Tab.3 Variance analysis of seeding qualified index				
来源	平方和	自由度	均方差	F
回归	1 160	9	128. 89	
剩余	303. 73	13	23. 36	$F_h = 5. 52$
误差	147. 84	8	18. 48	
拟合	155. 88	5	31. 18	$F_n = 1. 69$
总和	1 463. 72	22	66. 53	
显著性	$F_{0.01}(9,13) = 4. 19$		$F_{0.1}(5,8) = 2. 73$	

由回归方程和等值线图可以看出,各个因素对粒距合格指数的影响由大到小顺序为 z_2' 、 z_3' 、 z_1' 、 z_1z_2 、 z_1 、 z_2z_3 、 z_3 、 z_2 、 z_1z_3 。

4.2.2 漏播指数

对气吸式精密排种器的排种的漏播指数进行试验,试验结果如表 4 所示, y_2 为漏播指数。

由表 4 分析可得漏播指数回归方程为

$$y_2 = 2. 26 - 1. 45z_2 + 1. 98z_3 + 1. 59z_2z_3 + 1. 43z_1^2$$

(2)

漏播指数的方差分析如表 5 所示。

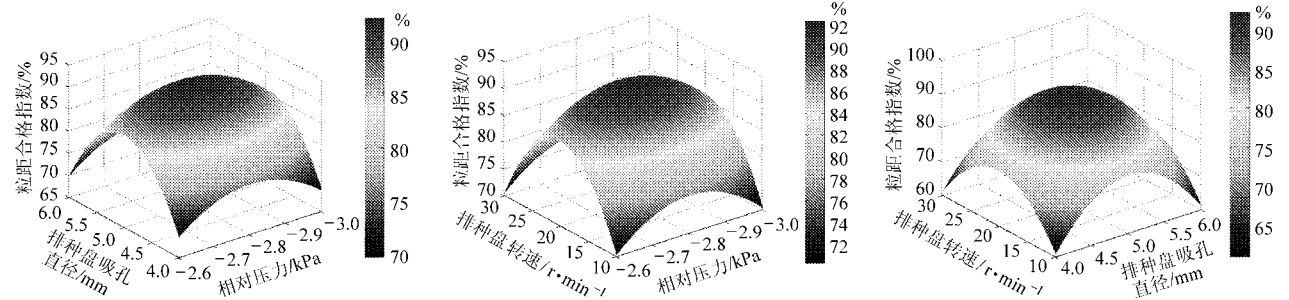


图 5 粒距合格指数等值线图

Fig.5 Isolines of seeding qualified index

表 4 漏播指数试验设计及结果

Tab.4 Experimental scheme and results of leaking index											
序号	z_0	z_1	z_2	z_3	z_1z_2	z_1z_3	z_2z_3	z_1'	z_2'	z_3'	$y_2/\%$
1	1	1	1	1	1	1	1	0.406	0.406	0.406	9.69
2	1	1	1	-1	1	-1	-1	0.406	0.406	0.406	4.37
3	1	1	-1	1	-1	1	-1	0.406	0.406	0.406	10.42
4	1	1	-1	-1	-1	-1	1	0.406	0.406	0.406	6.42
5	1	-1	1	1	-1	-1	1	0.406	0.406	0.406	10.05
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	0.406	0.406	0.406	4.62
7	1	-1	-1	1	1	-1	-1	0.406	0.406	0.406	10.14
8	1	-1	-1	-1	1	1	1	0.406	0.406	0.406	4.17
9	1	1.682	0	0	0	0	0	2.234	-0.594	-0.594	4.35
10	1	-1.682	0	0	0	0	0	2.234	-0.594	-0.594	8.56
11	1	0	1.682	0	0	0	0	-0.594	2.234	-0.594	8.00
12	1	0	-1.682	0	0	0	0	-0.594	2.234	-0.594	18.70
13	1	0	0	1.682	0	0	0	-0.594	-0.594	2.234	5.07
14	1	0	0	-1.682	0	0	0	-0.594	-0.594	2.234	1.18
15	1	0	0	0	0	0	0	-0.594	-0.594	-0.594	2.01
16	1	0	0	0	0	0	0	-0.594	-0.594	-0.594	0.92
17	1	0	0	0	0	0	0	-0.594	-0.594	-0.594	1.69
18	1	0	0	0	0	0	0	-0.594	-0.594	-0.594	1.23
19	1	0	0	0	0	0	0	-0.594	-0.594	-0.594	2.82
20	1	0	0	0	0	0	0	-0.594	-0.594	-0.594	2.65
21	1	0	0	0	0	0	0	-0.594	-0.594	-0.594	3.06
22	1	0	0	0	0	0	0	-0.594	-0.594	-0.594	3.36
23	1	0	0	0	0	0	0	-0.594	-0.594	-0.594	0.51
B_{2j}		-4.93	-19.84	27.05	-3.14	-2.08	12.72	22.74	61.74	3.90	
d_{2j}	123.99	13.66	13.66	13.66	8.00	8.00	8.00	15.89	15.89	15.89	
b_{2j}	23.00	-0.36	-1.45	1.98	-0.39	-0.26	1.59	1.43	3.88	0.25	
U_{2j}	5.39	1.78	28.80	53.60	1.23	0.54	20.22	32.54	239.87	0.96	
F_{2j}		0.65	10.55	19.60	0.45	0.20	7.40	11.90	87.80	0.35	

表 5 漏播指数方差分析
Tab.5 Variance analysis of leaking index

来源	平方和	自由度	均方差	F
回归	379.54	9	42.17	
剩余	35.51	13	2.73	$F_h = 15.44$
误差	8.14	8	8.14	
拟合	27.38	5	5.48	$F_n = 5.38$
总和	415.05	22	18.87	
显著性	$F_{0.01}(9,13) = 4.19$		$F_{0.01}(5,8) = 6.63$	

由 $F_n = 5.38 < F_{0.01}(5,8) = 6.63$,表明在整个研究区域内部,回归方程与实测值拟合得较好,所取得的回归模型是合适的。由 $F_h = 15.44 > F_{0.01}(9,13) = 4.19$,表明回归方程在 $\alpha = 0.01$ 水平上是显著的,二次回归方程拟合较好。

为了更直观地得到漏播指数与各个试验因素之间的关系,利用 Matlab 软件,绘制三维等值线图,如图 6 所示。

由回归方程和等值线图可以看出,各个因素对漏播指数的影响由大到小顺序为 $z'_2、z_3、z_2、z'_1、z'_3、z_1、z_1z_2、z_1z_3、z_2z_3$ 。

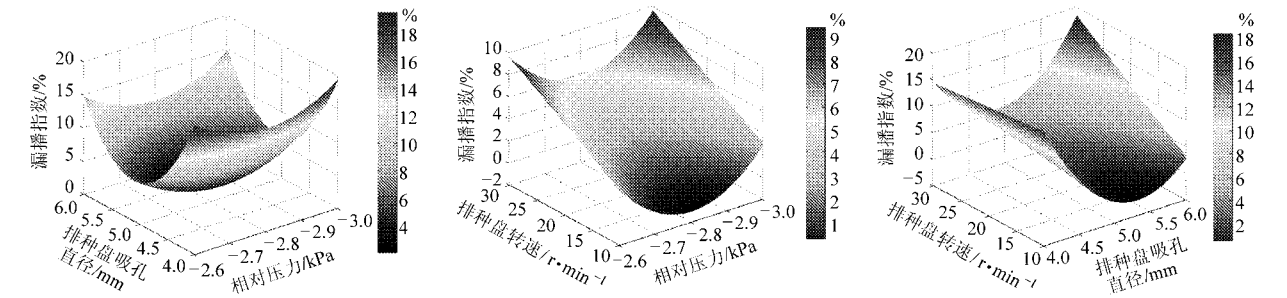


图 6 漏播指数等值线图
Fig.6 Isolines of leaking seed index

为了得到最佳的试验因素水平,应对试验因素进行优化设计。建立参数优化数学模型,结合试验因素的边界条件,对得出的粒距合格指数和漏播指数的回归方程进行分析,得到其非线性规划的数学模型^[10]为

对压力 -2.86 kPa ,排种盘吸孔直径 5.2 mm ,排种盘转速 21 r/min ,粒距合格指数 91.03% ,漏播指数 2.98% 。

5 结论

- (1) 试验得到的粒距合格指数为 $72.31\% \sim 98.17\%$,由于排种盘的制作精确度有限,造成试验指标值有的偏低,但总体能够满足试验要求。
- (2) 运用 Matlab 绘制粒距合格指数及漏播指数的等值线图,可以直观的看到试验因素对指标的影响趋势。
- (3) 对试验结果进行分析,得到各因素优化组合为: 相对压力 -2.86 kPa ,排种盘吸孔直径 5.2 mm ,排种盘转速 21 r/min 时,粒距合格指数为 91.03% ,漏播指数为 2.98% 。

参 考 文 献

1 姜峰,陈海涛,王业成. 小区育种插装式排种器的设计[J]. 农业工程学报,2010,26(增刊1):9~12.
Jiang Feng, Chen Haitao, Wang Yecheng. Design of insert-metering device for subdistrict breeding seeder[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010,26(Supp.1):9~12. (in Chinese)

2 王传鹏,何瑞银. 基于单片机的精密排种器性能检测装置的研究[J]. 科学技术与工程,2011,33(12):8300~8302.
Wang Chuanpeng, He Ruiyin. Performance detection of precision seed-metering device based on single chip microprocessor [J]. Science Technology and Engineering, 2011,33(12):8300~8302. (in Chinese)

3 刘佳,崔涛,张东兴,等. 机械气力组合式玉米精密排种器[J]. 农业机械学报,2012,43(2):43~47.
Liu Jia, Cui Tao, Zhang Dongxing, et al. Mechanical-pneumatic combined corn precision seed-metering device [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012,43(2):43~47. (in Chinese)

(下转第 89 页)

- 7 陈福彬,伍毅,王铁流.基于STM32的人行通道智能控制与管理系统设计[J].自动化与仪表,2010,25(1):45~48.
Chen Fubin, Wu Yi, Wang Tielu. Design of intelligent control and management system of pedestrian access based on STM32 [J]. Automation and Instrumentation, 2010,25(1):45~48. (in Chinese)
- 8 龚建伟,熊光明.Visual C++/Turbo C 串口通信编程实践[M].北京:电子工业出版社,2007:15~32.
- 9 廖宜涛,廖庆喜,舒彩霞,等.基于ANSYS/LS-DYNA的芦竹切割-进给速度匹配研究[J].农业机械学报,2011,42(2):36~40.
Liao Yitao, Liao Qingxi, Shu Caixia, et al. Matching of cutting and feeding speed for reaping *Arundo donax* L. Based on ANSYS/LS-DYNA [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(2):36~40. (in Chinese)
- 10 刘庆庭,区颖刚,卿上乐,等.农作物茎秆的力学特性研究进展[J].农业机械学报,2007,38(7):172~176.
Liu Qingting, Qu Yinggang, Qing Shangle, et al. Study progress on mechanics properties of crop stalks[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2007,38(7):172~176. (in Chinese)
- 11 张慧,侯加林,郎需强,等.便携式农作物茎秆剪切力测试仪的设计与试验[J].农业工程学报,2011,27(5):131~135.
Zhang Hui, Hou Jialin, Lang Xuqiang, et al. Design and experiment on portable shear tester for crop stalks[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(5):131~135. (in Chinese)
- 12 唐忠,李耀明,徐立章,等.单茎秆切割试验台的设计与实验[J].农机化研究,2009(12):141~143.
Tang Zhong, Li Yaoming, Xu Lizhang, et al. The design and test of single stem cutting test-bed[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009(5):141~143. (in Chinese)
- 13 莫永生,蔡中全,杨亲琼,等.高大籼稻茎秆的抗折力研究[J].中国农学通报,2008,24(2):193~198.
Mo Yongsheng, Cai Zhongquan, Yang Qinqiong, et al. The breaking resistance of higher, thicker, and tougher rice[J]. China Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(2):193~198. (in Chinese)
- 14 吴杰,王吉奎,黄勇.直刃刀切割棉秆的动力学特性分析[J].石河子大学学报,2005,23(6):752~754.
Wu Jie, Wang Jikui, Huang Yong. Dynamic analysis on straight knife cutting cotton stalks [J]. Journal of Shihezi University, 2005, 23(6):752~754. (in Chinese)
- 15 袁志华,冯宝萍,赵安庆,等.作物茎秆抗倒伏的力学分析及综合评价探讨[J].农业工程学报,2002,18(6):30~31.
Yuan Zhihua, Feng Baoping, Zhao Anqing, et al. Dynamic analysis and comprehensive evaluation of crop-stem lodging resistance[J]. Transactions of the CSAE, 2002,18(6):30~31 (in Chinese)
- 16 李耀明,秦同娣,陈进,等.玉米茎秆往复切割力学特性试验与分析[J].农业工程学报,2011,27(1):160~164.
Li Yaoming, Qin Tongdi, Chen Jin, et al. Experimental study and analysis on mechanical property of corn stalk reciprocating cutting [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(1):160~164. (in Chinese)
- 17 陈霓,田晓军.双动刀往复式切割器驱动装置设计[J].农机化研究,2007(6):72~73.
Chen Ni, Tian Xiaojun. Drive mechanism for double knife cutterbar[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007(6):72~73. (in Chinese)
- 18 孟海波,韩鲁佳,王继承.秸秆物料力学特性试验台及其测控系统的研制[J].农业工程学报,2005,21(5):77~79.
Meng Haibo, Han Lujia, Wang Jicheng. Development of the test-bed for testing the mechanical properties of straw materials [J]. Transactions of the CSAE,2005,21(5):77~79. (in Chinese)

(上接第58页)

- 4 刘文忠,赵满全,王文明.气吸式排种装置排种性能分析[J].农机化研究,2008(5):45~47.
Liu Wenzhong, Zhao Manquan, Wang Wenming. Analysis on the sowing performance of air-suction seed-metering device [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008(5):45~47. (in Chinese)
- 5 GB/T 6973—2005 单粒(精密)播种机试验方法[S]. 2005.
- 6 李玉清,刘佳,周桂霞,等.基于SolidWorks的气吸排种器运动仿真设计[J].农机化研究,2010(6):28~30.
Li Yuqing, Liu Jia, Zhou Guixia, et al. Motion simulation design of suction seed metering device base on Solid Works[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010(6):28~30. (in Chinese)
- 7 袁志发,周静芋.试验设计与分析[M].北京:高等教育出版社,2003.
- 8 中国农业机械化科学研究院.农业机械设计手册[M].北京:中国农业科学技术出版社,2007.
- 9 张平,吴云洁,周锐,等.MATLAB基础与应用简明教程[M].北京:北京航空航天大学出版社,2001.
- 10 孙靖民,梁迎春.机械优化设计[M].北京:机械工业出版社,2004.