

## 2BMFJ 系列大豆免耕覆秸精量播种机排种器选型试验研究

冯夷宁, 陈海涛, 侯守印, 张颖, 顿国强, 查韶辉

(东北农业大学 工程学院 黑龙江 哈尔滨 150030)

**摘要:** 为 2BMFJ 系列大豆免耕覆秸精量播种机不同机型选择适宜的排种器, 比较排种器排种性能优劣, 以气吸式排种器和机械式排种器为研究对象, 依据 GB6973-2005《单粒(精密)播种机试验方法》, 在 JPS-12 计算机视觉精密排种器性能检测试验台上实施正交与多重比较组合试验研究, 以排种器类型、作业速度和百粒重变异系数为试验因素, 粒距合格指数、重播指数、漏播指数和变异系数与经济性为评价指标。结果表明: 排种器类型对于株距合格指数、重播指数和变异系数均为主要影响因素, 作业速度对株距漏播指数的影响最为显著。在作业速度低于  $5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  时, 机械式排种器和气吸式排种器排种性能无显著差异, 当作业速度高于  $5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  时, 气吸式排种器的作业性能优于机械式排种器。在百粒重变异系数大于 7.6% 时气吸式排种器的排种性能均优于机械式排种器。机械式排种器可用于 2BMFJ-3/6 型播种机; 2BMFJ-10 型播种机应采用气吸式排种器。

**关键词:** 大豆排种器; 正交试验; 多重比较

中图分类号: S223.2

文献标识码: A

DOI: 10.11861/j.issn.1000-9841.2016.03.0505

## Experimental Research on Seed Metering Choice of 2BMFJ Series Soybean No-tillage Precision Planter

FENG Yi-ning, CHEN Hai-tao, HOU Shou-yin, ZHANG Ying, DUN Guo-qiang, ZHA Shao-hui

(Engineering College, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** In order to improve the performance of the 2BMFJ Series No-tillage Precision Planter, the comparative tests had been carried out on the JPS-12 seed-metering test bench by GB6973-2005, with the orthogonal experiment and multiple comparison of three factors with three levels, of which two kinds of air-suction seed metering device and mechanical soybean seed metering device were selected as the object. The type of seed metering device, operating speed and CV of 100-seed weight were selected as test factors. The qualified rate, multiple rate, missed rate and variable coefficient were selected as the experimental index. The result indicated that type of seed device qualified for qualified rate, multiple rate and variable coefficient were the main factors, operating speed with missed rate influence was the most significant. Air-suction seed metering device was better than mechanical seed metering device when the operating speed faster than  $5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  and the CV of 100-seed weight greater than 7.6%. For the 2BMFJ Series No-tillage Precision Planter, mechanical seed device could be used for 2BMFJ-3/6, air-suction seed metering device could be used for 2BMFJ-10.

**Keywords:** Soybean seed metering device; Orthogonal test; Multiple comparison

2BMFJ 系列大豆免耕覆秸精量播种机是针对玉米、小麦、大豆等前茬作物收获后秸秆量大, 根茬残留田间, 难以播种情况研制的一种可以一次进地完成种床整备、精量播种、侧深施肥、覆土镇压等作业过程的免耕播种机<sup>[1]</sup>, 随着该播种机的系列化研制和推广, 保证其各机型的精量播种尤为重要。精量排种器是实现精量播种的关键部件之一, 通过精量排种器可实现农艺要求的行距、株距, 从

而达到苗齐、苗全、苗壮、苗匀的效果, 加快作物生长发育进程, 提高产量和种植效益<sup>[2]</sup>。

目前, 国内外广泛应用的精量排种器主要分为两大类: 一是机械式精密排种器, 主要有窝眼轮式、水平圆盘式、倾斜圆盘式和指甲式等; 二是气力式精量排种器, 主要有气吹式、气吸式和气压式<sup>[3-5]</sup>。机械式排种器以其结构简单、制造成本低被广泛使用。但随着精量排种技术的发展, 气力式排种器以

收稿日期: 2015-12-16

基金项目: 国家现代农业产业技术体系专项( CARS-04-PS22); 国家公益性行业( 农业) 科研专项( 201303011) 。

第一作者简介: 冯夷宁( 1989-) , 男, 硕士, 主要从事农业机械装备研究。E-mail: fyn20059@sina.com。

通讯作者: 陈海涛( 1962-) , 男, 教授, 博导, 主要从事农业机械装备及生物质材料研究。E-mail: htchen@neau.edu.cn。

其较高排种精度和作业效率等方面的优势逐渐被认可,且以气吸式为主<sup>[5-7]</sup>。

本文结合机械式排种器和气吸式排种器的特点开展试验研究,旨在为2BMFJ系列大豆免耕覆秸精量播种机的不同机型配置适宜的排种器<sup>[8-10]</sup>,同时为精量播种机排种器的选型与设计提供参考依据。

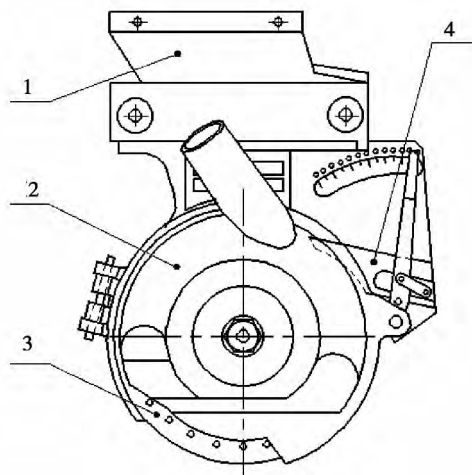
## 1 材料与方法

### 1.1 仪器与设备

试验利用黑龙江省农业机械科学研究所研制的JPS-12计算机视觉精密排种器性能检测试验台进行试验研究,排种盘转速与作业速度测量误差<0.5%。

通过大量市场调研和比较,试验选用具有代表性的两种气吸式排种器和一种播种大豆广泛使用的窝眼轮式机械排种器。

气吸排种器Ⅰ主要由壳体、排种盘、清种装置组成(图1)。其大豆用排种盘直径为230 mm,均布52个排种孔,型孔直径为4.5 mm,排种盘厚度为1 mm,在排种盘上均匀布置有13个搅种装置。该排种器市场采购价为每台800元,考虑与其配套风机费用可折算为每台900元。



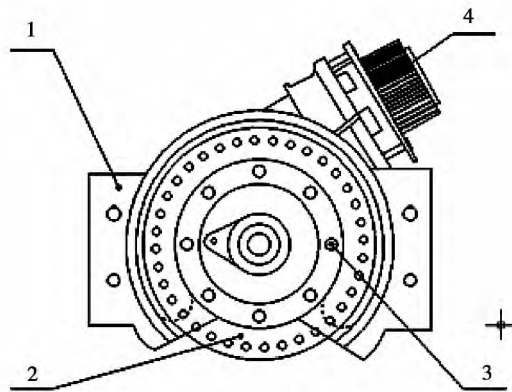
1. 壳体; 2. 气室壳体; 3. 排种盘; 4. 清种装置。  
1. Shell; 2. Air chamber shell; 3. Seed disk; 4. Scraping seed device.

图1 气吸排种器Ⅰ结构示意图

Fig. 1 Structure of the air-suction seed metering I

气吸排种器Ⅱ由壳体、电动风机、种盘等组成(图2),其大豆排种盘直径为200 mm,其上均布36个排种孔,型孔直径为4.3 mm,排种盘厚度为2 mm。该排种器市场采购价为每台1 000元。

两种气吸式排种器的主要区别在于负压来源不同,气吸式排种器Ⅰ依靠拖拉机动力输出带动风机提供负压,气吸式排种器Ⅱ自带电动风机,外接12 V电源即可为其供电,工作过程中通过电动风机提供的负压完成充种过程。气吸式排种器Ⅰ在稳定工作中可以保证充足的负压,但在拖拉机动力未完全稳定输出的起步和减速阶段存在负压不足,排种质量下降的情况,而气吸式排种器Ⅱ可保证播种全程负压稳定。

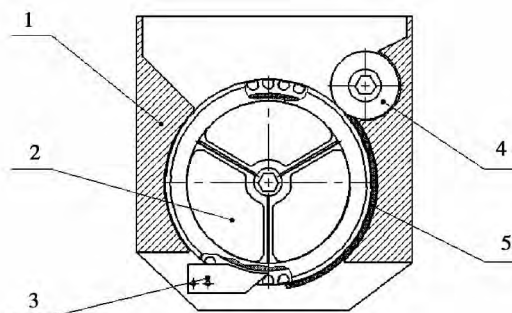


1. 壳体; 2. 排种盘; 3. 搅种器; 4. 电动风机。  
1. Shell; 2. Seed disk; 3. Stirring seed device; 4. Electric blower.

图2 气吸排种器Ⅱ结构示意图

Fig. 2 Structure of the air-suction seed metering II

窝眼轮式排种器(图3),由排种器壳体、排种轮、投种器、清种毛刷轮、护种板等组成。其排种盘直径为130 mm,均布33个窝眼型孔,根据大豆的三轴尺寸选取型孔直径为10 mm,孔深7 mm。该排种器市场采购价为每台130元。



1. 壳体; 2. 窝眼轮; 3. 投种器; 4. 清种毛刷轮; 5. 护种板。  
1. Shell; 2. Socket-roller disk; 3. Eliminating device; 4. Scraping brush wheel; 5. Protecting board.

图3 窝眼轮机械排种器结构示意图

Fig. 3 Structure of the socket-roller soybean seed metering

1.2 材料

试验用大豆种子为东农 52。对种子进行筛分,按大中小粒径进行分类,并将各粒径种子按一定比例进行混合分组,按组随机数取净种子 100 粒,8 次重复,分别称重,按式(1)计算百粒重变异系数,以满足试验用种子要求。

$$V = \frac{\sigma}{E} \times 100 \tag{1}$$

式中,V—百粒重变异系数(%);σ—8 组重复标准差;E—8 组重复均值。

1.3 方法

试验依据 GB6973-2005《单粒(精密)播种机试验方法》<sup>[11]</sup>进行排种器性能试验和检定,每次采样 250 个粒距,排种器投种高度为 20 cm,粒距为 60 mm。

试验采用三因素三水平正交试验设计进行<sup>[12-13]</sup>,以排种器种类(A)、作业速度(B)和百粒重变异系数(C)为试验因素,合格指数(y<sub>1</sub>)、重播指数(y<sub>2</sub>)、漏播指数(y<sub>3</sub>)、变异系数(y<sub>4</sub>)为评价指标,试

验按照 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>) 正交表安排,每组试验重复 3 次,取其平均值作为试验结果。试验 3 次重复数据用于多重比较。试验因素水平编码表如表 1 所示。数据采用 Design-Expert 6.0 进行处理与分析。

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

水平 Level	排种器类型 Seed-metering type	作业速度 Operating speed /km·h <sup>-1</sup>	百粒重变异系数 CV of 100-seed weight/%
1	MSMD	4	1.5
2	ASMD I	5	7.6
3	ASMD II	7	15.3

MSMD: 机械式排种器; ASMD: 气吸式排种器。  
MSMD: Mechanical seed metering device; ASMD: Air-suction seed metering device.

2 结果与分析

由方差分析可知,排种器类型、作业速度和百粒重变异系数对排种性能各指标均有显著影响。

表 2 试验结果  
Table 2 Orthogonal test results

序号 Serial number	因素 Factors			指标 Experimental index			
	排种器类型 Seed-metering type	作业速度 Operating speed	百粒重变异系数 CV of 100-seed weight /%	合格指数 Qualified rate y <sub>1</sub> /%	重播指数 Multiple rate y <sub>2</sub> /%	漏播指数 Missed rate y <sub>3</sub> /%	变异系数 Variable of coefficient y <sub>4</sub> /%
	A	B/km·h <sup>-1</sup>					
1	MSMD	4	1.5	91.85	6.98	1.17	9.45
2	MSMD	5	7.6	84.63	13.94	1.43	13.74
3	MSMD	7	15.3	73.14	20.88	5.98	16.54
4	ASMD I	4	7.6	98.56	1.44	0.00	13.4
5	ASMD I	5	15.3	94.13	4.55	1.32	16.21
6	ASMD I	7	1.5	93.75	4.24	2.01	17.9
7	ASMD II	4	15.3	91.45	4.97	3.58	17.24
8	ASMD II	5	1.5	92.94	4.89	2.17	18.98
9	ASMD II	7	7.6	83.69	11.23	5.08	24.56

表 3 方差分析

Table 3 Analysis of variance

	来源	平方和	自由度	均方和	F 值	显著性
	Source	Square sum	DF	Mean square sum	F value	Significance
y <sub>1</sub>	模型 Model	461.85	6	76.98	26.51	**
	A	225.95	2	112.98	38.91	**
	B	169.75	2	84.87	29.23	**
	C	66.15	2	33.08	11.39	*
	误差 Error	5.81	2	2.90		
	总和 Total	467.66	8			
y <sub>2</sub>	模型 Model	296.39	6	49.40	24.40	**
	A	171.50	2	85.75	42.36	**
	B	88.35	2	44.18	21.82	**
	C	36.54	2	18.27	9.02	*
	误差 Error	4.05	2	2.02		
	总和 Total	300.44	8			
y <sub>3</sub>	模型 Model	30.62	6	5.10	47.95	**
	A	9.88	2	4.94	46.39	**
	B	15.07	2	7.54	70.82	**
	C	5.67	2	2.83	26.63	**
	误差 Error	0.21	2	0.11		
	总和 Total	30.83	8			
y <sub>4</sub>	模型 Model	140.22	6	23.37	120.63	***
	A	75.52	2	37.76	194.92	***
	B	59.68	2	29.84	154.03	***
	C	5.02	2	2.51	12.95	*
	误差 Error	0.39	2	0.19		
	总和 Total	140.61	8			

\* , \*\* 和 \*\*\* 分别表示在 0.1  $\rho$ . 0.05 和 0.01 水平差异显著。下同。

\* , \*\* and \*\*\* show significant difference at 0.1  $\rho$ . 0.05  $\rho$ . 0.01 level respectively. The same below.

三因素对合格指数影响的主次顺序为: 排种器类型 > 作业速度 > 百粒重变异系数; 影响重播指数的主次顺序为: 排种器类型 > 作业速度 > 百粒重变异系数; 影响漏播指数的主次顺序为: 作业速度 > 排种器类型 > 百粒重变异系数; 影响变异系数的主次顺序为排种器类型 > 作业速度 > 百粒重变异系数。

由此可知排种器类型对于排种合格指数、重播指数和变异系数均为主要影响因素, 作业速度和百粒重变异系数次之; 作业速度对漏播指数的影响最为显著, 其原因为随着作业速度升高, 各排种器的充种性能下降, 出现漏播现象。根据软件分析, 使播种质量最优, 确定最佳组合方案为气吸式排种器 I、

播种速度  $4\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 、种子百粒重变异系数  $1.5\%$ 。因此保证播种机播种质量的首要因素是要选择适宜的排种器,其次要根据所配置的排种器类型确定最佳的作业速度,同时尽可能保证种子质量。

为比较各因素对排种器排种性能的影响,根据以上试验数据进行多重比较。

**2.1 排种器类型对合格指数的影响**

为比较各排种器的优劣,暂不考虑百粒重变异系数对各指标的影响,对各排种器在不同作业速度下的主要排种指标合格指数分别进行多重比较,方差分析见表4,差异显著性分析见表5。

表 4 合格指数方差分析

Table 4 Analysis of variance of qualified rate

作业速度 Operating speed/ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	来源 Source	平方和 Square sum	自由度 DF	均方和 Mean square sum	F 值 F value	显著性 Significance
4	模型 Model	95.74	2	47.87	3.28	
	误差 Error	87.53	6	14.59		
	总和 Total	183.27	8			
5	模型 Model	160.72	2	80.36	6.88	**
	误差 Error	70.13	6	11.69		
	总和 Total	230.85	8			
7	模型 Model	637.28	2	318.64	15.32	***
	误差 Error	124.76	6	20.79		
	总和 Total	762.04	8			

表 5 差异显著性分析

Table 5 Analysis of difference significance

作业速度 Operating speed/ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	处理 Treatment	均值差 Mean difference	自由度 DF	标准差 Standard error	t 值 t value	显著性 Significance
5	MSMD VS ASMD I	-9.50	1	2.79	-3.40	**
	MSMD VS ASMD II	-8.31	1	2.79	-2.98	**
	ASMD I VS ASMD II	1.19	1	2.79	0.43	
7	MSMD VS ASMD I	-20.61	1	3.72	-5.54	***
	MSMD VS ASMD II	-10.55	1	3.72	-2.83	**
	ASMD I VS ASMD II	10.06	1	3.72	2.70	**

根据方差分析可知,排种器类型对合格指数在  $4\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  作业速度下无显著影响,在  $5\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  作业速度下机械排种器与两种气吸排种器均存在显著差异,两种气吸排种器间不存在显著差异。在  $7\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  作业速度下各排种器间均存在显著差异,尤其气吸排种器 I 与机械排种器存在极显著差异。由此可知在作业速度低于  $5\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  时机械排种器和气吸式排种器均可保证精量播种机的播种质量,当作业速度高于  $5\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  时,气吸式排种器的作业性能优于机械式排种器。当作业速度为  $7\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  时,电动

风机提供负压的排种器排种性能下降,其原因为随着作业速度的升高,电动风机功率不足,难以保证在高速播种时提供充足负压。

**2.2 百粒重变异系数对合格指数的影响**

对种子的适应性是排种器性能的重要体现,比较各百粒重变异系数下排种器的排种性能,暂不考虑作业速度对合格指数的影响,判断各排种器对种子适应性优劣,多重比较方差分析见表6,差异显著性分析见表7。

表6 合格指数方差分析

Table 6 Analysis of variance of qualified rate

变异系数 CV / %	来源 Source	平方和 Square sum	自由度 DF	均方和 Mean square sum	F 值 F value	显著性 Significance
1.5	模型 Model	5.45	2	2.73	0.17	
	误差 Error	98.29	6	16.38		
	总和 Total	103.75	8			
7.6	模型 Model	416.05	2	208.02	11.67	***
	误差 Error	106.93	6	17.82		
	总和 Total	522.97	8			
15.3	模型 Model	783.02	2	391.51	30.43	***
	误差 Error	77.20	6	12.87		
	总和 Total	860.22	8			

表7 差异显著性分析

Table 7 Analysis of difference significance

变异系数 CV / %	处理 Treatment	均值差 Mean difference	自由度 DF	标准差 Standard Error	t 值 t value	显著性 Significance
7.6	MSMD VS ASMD I	-13.93	1	3.45	-4.04	***
	MSMD VS ASMD II	0.94	1	3.45	0.27	
	ASMD I VS ASMD II	14.87	1	3.45	4.31	***
15.3	MSMD VS ASMD I	-20.99	1	2.93	-7.17	***
	MSMD VS ASMD II	-18.31	1	2.93	-6.25	***
	ASMD I VS ASMD II	2.68	1	2.93	0.92	

根据方差分析可知,在百粒重变异系数为1.5%时,无显著差异,说明在种子质量为优的情况下,机械式排种器和气吸式排种器作业性能相一致。在百粒重变异系数为7.6%时,机械排种器与气吸排种器I之间存在极显著差异,在百粒重变异系数为15.3%时,机械排种器和两种气吸式排种器之间均存在极显著性差异,两种气吸式排种器之间差异不显著,由此可知当百粒重变异系数为7.6%时,机械排种器和气吸式排种器的排种性能已出现差异,当百粒重变异系数为15.3%时,两种气吸式排种器的排种性能均优于机械式排种器。

### 3 排种器选型分析

2BMFJ-3/6型播种机每台配置3~6组播种单体,若配置机械式排种器,则每台播种机的排种器总价为400~800元,作业速度不高于5 km·h<sup>-1</sup>。若配置气吸式排种器,则需3 000~6 000元,其作业效率虽可接近机械式排种器的一倍,但其排种器总价值为机械排种器的10倍左右,其经济性明显次于机械式排种器。2BMFJ-10型播种机配置10组播种

单体,主要用于农场等大田作业播种,应满足高速、高效作业的要求,在作业速度大于5 km·h<sup>-1</sup>时,机械排种器会造成“缺苗断垄”现象,致使粮食产量下降,考虑播种和收获的综合经济效应宜为其配置气吸式排种器。

### 4 结 论

排种器类型、作业速度和百粒重变异系数对排种器性能各指标均有显著影响,其中排种器类型对于株距合格指数、重播指数和变异系数均为主要影响因素,作业速度对株距漏播指数的影响最为显著。

在作业速度低于5 km·h<sup>-1</sup>时,机械式排种器和气吸式排种器排种性能无显著差异,均可保证精量播种机的播种质量,当作业速度高于5 km·h<sup>-1</sup>时,存在显著差异,气吸式排种器的作业性能优于机械式排种器。在百粒重变异系数低于7.6%时,机械式排种器与气吸式排种器之间排种性能无显著差异,大于7.6%时气吸式排种器的排种性能均显著优于机械式排种器。

考虑播种质量、综合经济效应,结合2BMFJ系

列大豆免耕覆秸精量播种机的机型设置,机械式排种器可用于 2BMFJ-3/6 型播种机;2BMFJ-40 型播种机应采用气吸式排种器。

## 参考文献

- [1] 王汉羊,陈海涛,纪文义. 2BMFJ-3 型麦茬地免耕精播机防堵装置[J]. 农业机械学报, 2013, 44(4): 64-70. (Wang H Y, Chen H T, Ji W Y. Anti-blocking mechanism of type 2BMFJ-3 No-till Precision Planter for wheat stubble fields[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 32(2): 257-261.)
- [2] 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, 59. (Hu J P, Mao H P. A study and innovation on precision seeding technology[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2003(10): 52-53, 59.)
- [3] 李国林,宋炜,毛俐,等. 国内外几种主要排种器的特点[J]. 农业科技与装备, 2011(8): 70-71. (Li G L, Song W, Mao L, et al. Features of some main seed-metering devices at home and abroad[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2011(8): 70-71.)
- [4] 刘文忠,赵满全,王文明,等. 气吸式排种装置排种性能理论分析与试验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 133-138. (Liu W Z, Zhao M Q, Wang W M, et al. Theoretical analysis and experiments of metering performance of the pneumatic seed metering device[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(9): 133-138.)
- [5] 杨丽,史嵩,崔涛,等. 气吸与机械辅助附种结合式玉米精量排种器[J]. 农业机械学报, 2012, 43(S1): 48-53. (Yang L, Shi S, Cui T, et al. Air-suction corn precision metering device with mechanical supporting plate to assist carrying seed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(S1): 48-53.)
- [6] 苏微,赖庆辉,罗奎,等. 气吸式大豆高速精密排种器的设计与试验[J]. 大豆科学, 2014, 33(4): 594-598. (Su W, Lai Q H, Luo K, et al. Design and experiment for soybean high-speed precision air suction seed metering[J]. Soybean Science, 2014, 33(4): 594-598.)
- [7] 尹海燕. 国内外气力式排种器发展研究[J]. 农业科技与装备, 2013(8): 19-20. (Yin H Y. The development of the air-suction seed metering[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2013(8): 19-20.)
- [8] 王汉羊,陈海涛,纪文义,等. 2BMFJ-3 型麦茬地免耕精密播种机排种器选型试验研究[J]. 大豆科学, 2013, 32(2): 257-261. (Wang H Y, Chen H T, Ji W Y, et al. Experimental research on seed-metering choice of 2BMFJ-3 Type No-till Precision Planter in wheat stubble fields[J]. Soybean Science, 2013, 32(2): 257-261.)
- [9] 纪文义,陈海涛,李卓,等. 麦茬地免耕覆秸播种机生产考核试验[J]. 大豆科学, 2014, 33(3): 447-450. (Ji W Y, Chen H T, Li Z, et al. Producing and examining test on No-till Straw-covering Planter in wheat stubble fields[J]. Soybean Science, 2014, 33(3): 447-450.)
- [10] 吴广伟,陈海涛,纪文义,等. 2BMFJ-3 型麦茬地大豆免耕覆秸精量播种机功耗与油耗特性试验[J]. 大豆科学, 2014, 33(4): 589-593. (Wu G W, Chen H T, Ji W Y, et al. Power and fuel consumption of 2BMFJ-3 No-tillage Soybean Precision Seeder in stubble field[J]. Soybean Science, 2014, 33(4): 589-593.)
- [11] GB/T6973-2005. 单粒(精密)播种机试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005: 10-24. (GB/T6973-2005. Testing methods of single seed drills (precision drills) [S]. Beijing: China Standard Press, 2005: 10-24.)
- [12] 王延耀,李建东,王东伟,等. 气吸式精密排种器正交试验优化[J]. 农业机械学报, 2012, 43(S1): 54-58. (Wang Y Y, Li J D, Wang D W, et al. Orthogonal experiment optimization on air-suction precision seed-metering device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(S1): 54-58.)
- [13] 曲芳,明向兰. 基于回归分析法的黑龙江省人口预测及应用[J]. 工业仪表与自动化装置, 2015(3): 66-68. (Qu F, Ming X L. Heilongjiang province population forecast and application based on regression analysis method[J]. Industrial Instrumentation & Automation, 2015(3): 66-68.)