

## 小区播种机充种装置工作性能试验

刘曙光<sup>1,2</sup> 尚书旗<sup>1\*</sup> 杨然兵<sup>1</sup> 郑月男<sup>1</sup> 王延耀<sup>1</sup> 赵大军<sup>1</sup> 赵建亮<sup>1</sup>

(1. 青岛农业大学 机电工程学院, 山东 青岛 266109;

2. 中国农业大学(烟台) 理工学院, 山东 烟台 264670)

**摘要** 为提高小区播种作业各排种环节的排种性能,以小区播种机充种装置为研究对象,采用通用旋转组合试验设计方案,研究小区播种机前进速度 $v$ 、充种装置转动速度 $\omega$ 、充种装置锥体母线长度 $l$ 和充种装置锥体底角角度 $\alpha$ ,对油菜和小麦种子充种均匀性变异系数的影响。通过 DPS 7.05 数据处理系统获得了 4 个试验因素对油菜、小麦种子充种均匀性变异系数的影响回归方程,确定了各因素的影响顺序:1) 油菜种子,充种装置锥体母线长度 $>$ 充种装置锥体底角角度 $>$ 小区播种机前进速度 $>$ 充种装置转动速度;2) 小麦种子,充种装置锥体底角角度 $>$ 充种装置锥体母线长度 $>$ 充种装置转动速度 $>$ 小区播种机前进速度。确定了针对油菜、小麦种子的充种装置结构及工作环境的最佳参数,即小区播种机前进速度 0.4 m/s、充种装置转动速度 0.25 rad/s、充种装置锥体母线长度 0.1 m、充种装置锥体底角角度 $50^\circ$ ;在最佳参数条件下,油菜和小麦种子播量分别为 5 和 180 g 时,充种装置最适合育种试验的长度为 10 m,充种均匀性变异系数分别为 5.68%和 7.85%。

**关键词** 小区播种机; 充种均匀性; 育种机械; 性能试验

中图分类号 S 223.2

文章编号 1007-4333(2011)03-0156-08

文献标志码 A

## Test on performance of seed-filling device of plot seeder

LIU Shu-guang<sup>1,2</sup>, SHANG Shu-qi<sup>1\*</sup>, YANG Ran-bing<sup>1</sup>, ZHENG Yue-nan<sup>1</sup>,

WANG Yan-yao<sup>1</sup>, ZHAO Da-jun<sup>1</sup>, ZHAO Jian-liang<sup>1</sup>

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

2. College of Science and Technology, China Agricultural University (Yantai), Yantai 264670, China)

**Abstract** In order to improve the performance of metering parts, a seed-filling device of plot seeder was studied in the paper. The influence of four test factors (motion velocity of plot seeder ( $v$ ), rotation speed of seed-filling device ( $\omega$ ), generatrix length of seed-filling device ( $l$ ) and base angle of seed-filling device ( $\alpha$ )) on CV of the uniformity in seeding-filling process for rape seed and wheat seed were analyzed by the quadratic general rotational combination design. With DPS 7.05 Data Processing System the regression equations of the uniformity in seed-filling process on the four test factors were established. The effect order of four test factors obtained by the regression equations is generatrix length of seed-filling device $>$ base angle of seed-filling device $>$ motion velocity of plot seeder $>$ rotation speed of seed-filling device for rape seed and base angle of seed-filling device $>$ generatrix length of seed-filling device $>$ rotation speed of seed-filling device $>$ motion velocity of plot seeder for wheat seed. The optimum parameters about structure and operational environment for rape seed and wheat seed established by analysis are as follows: motion velocity 0.4 m/s, rotation speed of filling device 0.25 rad/s, generatrix length of seed-filling device 0.1 m and base angle of seed-filling device  $50^\circ$ . From the result the best plot length for the seed-filling device is 10 m and the best CVs in seed-filling process for rape seed and wheat seed are 5.68% and 7.85%, respectively, when seeding rate for rape seed and wheat seed are 5 and 180 g/plot.

**Key words** plot seeder; uniformity in seed-filling process; breeding machine; performance test

收稿日期: 2010-11-15

基金项目: 国家“948”项目(2009-Z22)

第一作者: 刘曙光, 讲师, 博士研究生, 主要从事农业机械性能设计与试验研究, E-mail: shuguang800511@126.com

通讯作者: 尚书旗, 教授, 博士生导师, 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: sqshang@qau.edu.cn

小区播种机是为培育新品种和繁殖良种进行品种对比田间试验时所用的专用播种机<sup>[1-3]</sup>。20 世纪 60 年代,依格尔·奥约德(Egil Øyjord)研制了 Øyjord 小区播种机,成功实现了份量播种<sup>[4-5]</sup>。我国从 20 世纪七、八十年代开始引进国外的小区播种机,并进行研究试验<sup>[6-9]</sup>。研究表明,在结构参数与工作参数不变的情况下,小麦种子在格盘内的均匀性变异系数随种子播量的增大而减小<sup>[10]</sup>;大豆、玉米、高粱、谷子和小麦种子在确定的运种装置转动速度下其均匀性变异系数有差异<sup>[11]</sup>;存种装置的漏斗上、下径尺寸与漏斗的锥角角度、存种圆筒的直径在 4 种组合状态下,对大豆、玉米排种性能有影响<sup>[12]</sup>。由于小区播种机的应用较大田播种机少<sup>[13-15]</sup>,制约其发展的因素较多,我国有关小区播种机方面的研究成果还比较欠缺<sup>[2-3,6-7]</sup>。

充种过程中种子运动比较复杂,充种装置分散种子的均匀性直接影响运种效果。充种过程是排种的主要过程之一,目前未见充种环节的研究报道。

本研究拟以课题组研制的 2BY-6 型小区播种机充种装置为试验对象,研究充种装置在不同结构参数与工作参数下,对油菜和小麦种子充种均匀性的影响,以期获得充种装置的最佳工作条件和各排种环节共用参数的最佳工作条件提供试验依据。

### 1 充种工作过程

小区播种机(图 1)工作时,操作者将供种台上的待播种子置入存种装置 2 与充种装置 5 形成的存种空间内。随着播种机行进时的振动,种子在存种

空间内被振平。待到小区播种时,提起存种装置 2 后,种子沿着充种装置 5 的锥体面滑落到运种装置 3 的每一盘格内,完成充种过程。然后种子经运种过程及分种过程播入小区内。

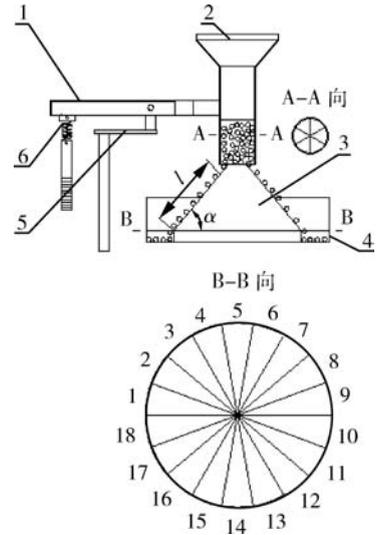
## 2 材料与方法

### 2.1 试验材料

本试验在青岛农业大学农业机械检测实验室进行。试验选用油菜和小麦 2 种作物种子:油菜种子 5 g,品种为高油 605,千粒重 3.96 g,休止角 26°,浙江龙游县五谷香种业有限公司生产;小麦种子 180 g,品种为烟农 24 号,千粒重 43.82 g,休止角 35°,山东省烟台市农业科学研究院生产。

### 2.2 试验设备

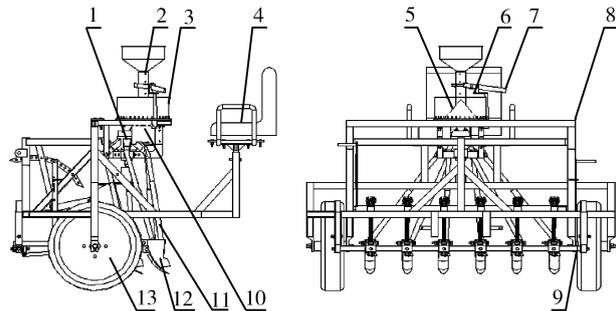
小区播种机排种装置见图 2。为了排除存种装置对充种过程的干扰,将存种装置加装隔离筒(图 2, A-A 向)。为了提高运种装置在试验过程中的通用性,将运种装置的可控范围扩大(图 2, B-B 向)。试验测量仪器为电子天平。



1. 提升杆;2. 存种装置;3. 充种装置;4. 运种装置;  
5. 支撑固定装置;6. 电磁装置。

图 2 小区播种机排种部件结构

Fig. 2 Structure of seeding part of plot seeder



1. 分种装置;2. 存种装置;3. 运种装置;4. 操作台;5. 充种装置;  
6. 支撑固定装置;7. 提升杆;8. 机架;9. 速度传感器;  
10. 步进电机;11. 输种管;12. 开沟器;13. 地轮。

图 1 小区播种机主要结构

Fig. 1 Main structure of plot seeder

### 2.3 试验参数

#### 2.3.1 小区播种机前进速度和充种装置转动速度

小区播种机前进速度与充种装置转动速度是小区播种机工作必不可少的 2 个工作参数,同时也是

影响充种均匀性变异系数的2个干涉因素,其大小直接影响到种子在充种装置表面圆周切向及圆周法向上的运动状态。根据小区播种机的设计原理,每播完1个小区,运种装置恰好转动1周,必须满足:

$$\frac{L}{v} = \frac{2\pi}{\omega}$$

式中: $L$ 为小区长度, $m$ ;  $v$ 为小区播种机前进速度, $m/s$ ;  $\omega$ 为充种装置转动速度, $rad/s$ 。根据小区播种机的一般作业速度范围,设定 $v$ 取值范围为 $0.4 \sim 1 m/s$ ,  $\omega$ 为 $0.25 \sim 0.6 rad/s$ 。根据小区播种机的作业特点,2工作参数的取值范围可以满足对 $4.2 \sim 25 m$ 长度的小区作业进行分析研究。

### 2.3.2 充种装置锥体母线长度和锥体底角角度

充种装置外形为锥体状(图2),母线长度 $l$ 和锥体底角角度 $\alpha$ 为其主要的结构参数。结构参数对种子运动状态、滑行时间、干扰程度等方面都会产生影响。考虑结构参数对充种过程的可行性,选取充种装置锥体母线长度 $l$ 取值范围为 $0.10 \sim 0.16 m$ 、充种装置锥体底角角度 $\alpha$ 取值范围为 $30 \sim 50^\circ$ 。

### 2.4 评价指标及试验方法

按照试验方案的要求,加工出5种不同结构参数的充种装置。充种装置转动速度由步进电机提供,小区播种机前进速度由土槽试验台调整。试验前,将试验装置置于土槽试验台上;试验时,通过振动存种装置使其中的种子表面平整,以防因各处质力不一影响充种效果;待机组运行稳定,迅速提起存种装置至预定位置(小麦种子 $h=12 mm$ ,油菜种子 $h=10 mm$ ,其中 $h$ 为存种装置提升高度。),待种子完全流入运种装置的格盘后,根据GT/T 9478—2005《谷物条播机试验方法》关于均匀性的定义要求,按式(1)计算充种均匀性变异系数 $A$ :

$$A = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (m_i - \sum_{i=1}^n m_i/n)^2 / (n-1)}}{\sum_{i=1}^n m_i/n} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $i$ 为运种装置盘格编号; $m_i$ 为编号 $i$ 的盘格中种子的质量, $g$ ;  $n$ 为运种装置的盘格数量, $n=18$ 。

### 2.5 试验设计

采用四因素二次通用旋转组合设计方案,试验

因素水平编码见表1。试验结果采用DPS 7.05数据处理系统进行分析,以确定在不同试验参数作用下,2种作物种子充种均匀性变异系数的变化规律。试验方案及充种均匀性变异系数见表2。

表1 充种均匀性变异系数影响因素水平编码

Table 1 Coding table of factors and levels on CV of uniformity in seeding-filling process

编码	小区播种机 前进速度 $v/(m/s)$	充种装置 转动速度 $\omega/(rad/s)$	充种装置 锥体母线 长度 $l/m$	充种装置锥 体底角角度 $\alpha/(^\circ)$
+2	1.00	0.600	0.160	50
+1	0.85	0.513	0.145	45
0	0.70	0.425	0.130	40
-1	0.55	0.338	0.115	35
-2	0.40	0.250	0.100	30
$\Delta_j$	0.15	0.088	0.015	5

## 3 结果与分析

### 3.1 油菜种子充种均匀性

#### 3.1.1 方差分析与显著性检验

表3示出充种均匀性变异系数方差分析结果。总回归量 $F_1=47.131$ ;各因素 $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 及 $X_1^2$ 、 $X_3^2$ 、 $X_4^2$ 、 $X_1X_2$ 、 $X_2X_3$ 在1%水平上达到极显著水平( $P<0.01$ )。 $X_2^2$ 、 $X_1X_3$ 、 $X_1X_4$ 、 $X_2X_4$ 和 $X_3X_4$ 对充种均匀性变异系数影响显著( $P<0.05$ )。充种均匀性变异系数数量纲1因素编码回归方程为:

$$A_{\text{油菜}} = 16.690 1 + 1.309 6X_1 + 1.202 9X_2 + 1.007 1X_3 - 0.541 3X_4 + 0.250 5X_1^2 + 0.206 8X_2^2 + 0.304 3X_3^2 + 0.263 0X_4^2 - 0.318 1X_1X_2 - 0.239 4X_1X_3 + 0.301 9X_1^4 - 0.338 1X_2X_3 + 0.293 1X_2X_4 + 0.264 4X_3X_4$$

式中: $X_1$ 为小区播种机前进速度; $X_2$ 为充种装置转动速度; $X_3$ 为充种装置锥体母线长度; $X_4$ 为充种装置锥体底角角度。各因素对油菜种子充种均匀性变异系数的影响主次顺序为:充种装置锥体母线长度、充种装置锥体底角角度、小区播种机前进速度、充种装置转动速度。

表 2 试验方案与充种均匀性变异系数

Table 2 Test scheme and CV of uniformity in seed-filling process

处理号	试验因素				变异系数/%		处理号	试验因素				变异系数/%	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	A <sub>油菜</sub>	A <sub>小麦</sub>		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	A <sub>油菜</sub>	A <sub>小麦</sub>
1	1	1	1	1	19.94	23.04	17	-2	0	0	0	14.77	17.53
2	1	1	1	-1	19.16	22.37	18	2	0	0	0	20.19	21.75
3	1	1	-1	1	19.31	21.16	19	0	-2	0	0	14.82	17.70
4	1	1	-1	-1	19.40	21.58	20	0	2	0	0	19.80	21.38
5	1	-1	1	1	18.96	21.20	21	0	0	-2	0	15.70	17.31
6	1	-1	1	-1	19.40	21.55	22	0	0	2	0	19.67	22.50
7	1	-1	-1	1	15.51	17.98	23	0	0	0	-2	18.79	22.25
8	1	-1	-1	-1	17.22	19.94	24	0	0	0	2	16.27	17.80
9	-1	1	1	1	18.64	21.55	25	0	0	0	0	16.59	19.52
10	-1	1	1	-1	18.94	22.02	26	0	0	0	0	16.32	18.97
11	-1	1	-1	1	15.39	18.45	27	0	0	0	0	16.44	19.17
12	-1	1	-1	-1	17.32	20.26	28	0	0	0	0	16.83	18.50
13	-1	-1	1	1	14.97	18.25	29	0	0	0	0	16.54	17.93
14	-1	-1	1	-1	16.78	20.16	30	0	0	0	0	16.19	18.72
15	-1	-1	-1	1	12.32	14.25	31	0	0	0	0	15.91	18.77
16	-1	-1	-1	-1	14.50	16.91							

注：X<sub>1</sub> 为小区播种机前进速度；X<sub>2</sub> 为充种装置转动速度；X<sub>3</sub> 为充种装置锥体母线长度；X<sub>4</sub> 为充种装置锥体底角角度。下表同。

表 3 充种均匀性变异系数方差分析

Table 3 Variance analysis on CV of uniformity in seed-filling process

变异来源	自由度	油菜种子			小麦种子		
		平方和	均方	F 值	平方和	均方	F 值
X <sub>1</sub>	1	41.160	41.160	223.677**	26.903	26.903	99.707**
X <sub>2</sub>	1	34.728	34.728	188.724**	31.625	31.625	117.208**
X <sub>3</sub>	1	24.341	24.341	132.278**	37.475	37.475	138.889**
X <sub>4</sub>	1	7.031	7.031	38.208**	13.217	13.217	48.983**
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	1	1.795	1.795	9.753**	1.856	1.856	6.879*
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	1	1.223	1.223	6.644*	1.510	1.510	5.596*
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	1	2.647	2.647	14.387**	2.947	2.947	10.922**
X <sub>4</sub> <sup>2</sup>	1	1.978	1.978	10.750**	3.524	3.524	13.059**
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	1	1.619	1.619	8.800**	1.710	1.710	6.336*
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	1	0.917	0.917	4.982*	1.328	1.328	4.923*
X <sub>1</sub> X <sub>4</sub>	1	1.458	1.458	7.924*	1.434	1.434	5.315*
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	1	1.829	1.829	9.941**	1.294	1.294	4.795*
X <sub>2</sub> X <sub>4</sub>	1	1.375	1.375	7.471*	1.470	1.470	5.449*
X <sub>3</sub> X <sub>4</sub>	1	1.118	1.118	6.077*	1.434	1.434	5.315*
回归	14	121.421	8.673	47.131**	125.445	8.960	33.209**
剩余	16	2.944	0.184		4.317	0.270	
失拟	10	2.385	0.239	2.560	2.779	0.278	1.084
误差	6	0.559	0.093		1.538	0.256	
总和	30	124.365			129.762		

注：F<sub>0.05</sub>(1,16)=4.49；F<sub>0.01</sub>(1,16)=8.53；F<sub>0.01</sub>(14,16)=3.45；F<sub>0.05</sub>(10,6)=4.06；\* 和 \*\* 分别表示影响显著和极显著。

### 3.1.2 单因素效应分析

采用降维法,将其他3因素置于0水平,研究单因素变化对充种均匀性变异系数的影响,结果见图3。4因素编码值在-2~2取值范围内,曲线均为下凹抛物线。充种均匀性变异系数A随小区播种机前进速度 $X_1$ 、充种装置转动速度 $X_2$ 的增大而单调递增, $A_{\min}(X_1) = A(-2) = 15.07\%$ , $A_{\min}(X_2) = A(-2) = 15.11\%$ 。充种均匀性变异系数A随充种装置锥体母线长度 $X_3$ 的增大呈先减小后增大趋势, $A_{\min}(X_3) = A(-1.65) = 15.86\%$ 。充种均匀性变异系数A随充种装置锥体底角角度 $X_4$ 的增大呈

先减小后增大趋势, $A_{\min}(X_4) = A(1.03) = 16.41\%$ 。

### 3.1.3 双因素交互效应分析

通过二次响应曲面及等值线,研究当4因素中任2因素为0水平,其他2个因素的变化对油菜种子充种均匀性变异系数的影响,结果见图4。

随着小区播种机前进速度 $X_1$ 的增大,充种均匀性变异系数A随充种装置转动速度 $X_2$ 的增大一直呈增大趋势;随着 $X_2$ 的增大,A随 $X_1$ 的增大先呈增大趋势逐渐过渡为先减小后增大趋势。 $A_{\min}(X_1, X_2, X_3, X_4) = A(-2, -2, 0, 0) = 12.22\%$ (图4(a))。

随着 $X_1$ 的增大,A随充种装置锥体母线长度 $X_3$ 的增大一直呈增大趋势;随着 $X_3$ 的增大,A随 $X_1$ 的增大先呈增大趋势逐渐过渡为先减小后增大趋势。 $A_{\min}(X_1, X_2, X_3, X_4) = A(-2, 0, -2, 0) = 13.32\%$ (图4(b))。

随着 $X_1$ 的增大,A随充种装置锥体底角角度 $X_4$ 的增大,一直呈先减小后增大趋势;随 $X_4$ 的增大,A随 $X_1$ 的增大呈先减小后增大趋势逐渐过渡为增大趋势。 $A_{\min}(X_1, X_2, X_3, X_4) = A(-2, 0, 0, 2) = 13.84\%$ (图4(c))。

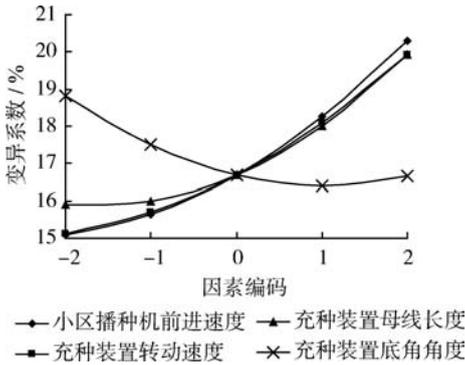


图3 单因素对油菜种子充种均匀性变异系数的影响  
Fig. 3 Influence of single factor on CV of uniformity in seeding-filling process for rape seed

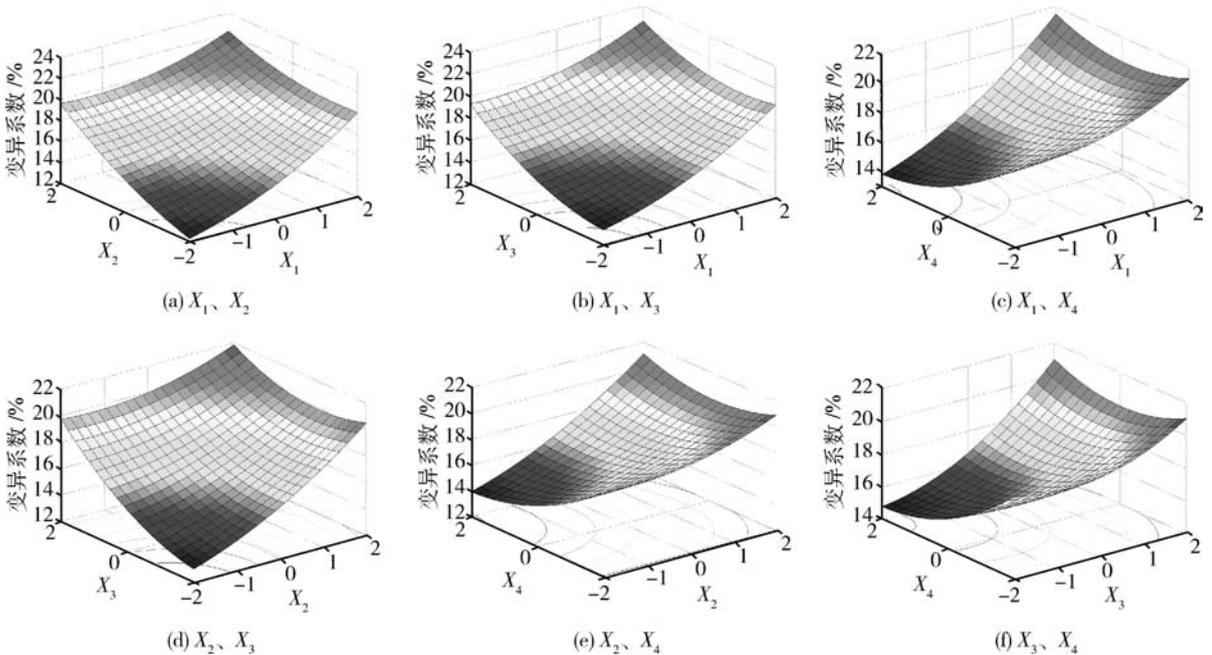


图4 2因素交互效应对油菜种子充种均匀性变异系数的影响

Fig. 4 Interaction influence of two factors on CV of the uniformity in seeding-filling process for rape seed

随着  $X_2$  的增大,  $A$  随  $X_3$  的增大先呈增大趋势逐渐过渡为先减小后增大趋势; 随着  $X_3$  的增大,  $A$  随  $X_2$  的增大先呈增大趋势逐渐过渡为先减小后增大趋势。  $A_{\min}(X_1, X_2, X_3, X_4) = A(0, -2, -2, 0) = 12.96\%$  (图 4(d))。

随着  $X_2$  的增大,  $A$  随  $X_4$  的增大, 一直呈先减小后增大趋势; 随  $X_4$  的增大,  $A$  随  $X_2$  的增大呈先减小后增大趋势逐渐过渡为增大趋势。  $A_{\min}(X_1, X_2, X_3, X_4) = A(0, -2, 0, 2) = 13.91\%$  (图 4(e))。

随着  $X_3$  的增大,  $A$  随  $X_4$  的增大, 一直呈先减小后增大趋势; 随  $X_4$  的增大,  $A$  随  $X_3$  的增大呈先减小后增大趋势逐渐过渡为增大趋势。  $A_{\min}(X_1, X_2, X_3, X_4) = A(0, 0, -2, 2) = 14.81\%$  (图 4(f))。

### 3.2 小麦种子充种均匀性

#### 3.2.1 方差分析与显著性检验

表 3 示出充种均匀性变异系数方差分析结果。可见: 总回归量  $F_1 = 33.209$ ; 各因素  $X_1, X_2, X_3, X_4$  以及  $X_3^2, X_4^2$  在 1% 水平上达到极显著水平 ( $P < 0.01$ )。  $X_1^2, X_2^2, X_1X_2, X_1X_3, X_1X_4, X_2X_3, X_2X_4, X_3X_4$  对充种均匀性变异系数的影响显著 ( $P < 0.05$ )。

充种均匀性变异系数量纲 1 因素编码回归方程:

$$A_{\text{小麦}} = 18.7971 + 1.0588X_1 + 1.1479X_2 + 1.2496X_3 - 0.7421X_4 + 0.2548X_1^2 + 0.2298X_2^2 + 0.3210X_3^2 + 0.3510X_4^2 - 0.3269X_1X_2 - 0.2881X_1X_3 + 0.2994X_1X_4 - 0.2844X_2X_3 + 0.3031X_2X_4 + 0.2994X_3X_4$$

各因素对小麦种子充种均匀性变异系数的影响主次顺序为: 充种装置锥体底角角度、充种装置锥体母线长度、小区播种机前进速度、充种装置转动速度。

#### 3.2.2 单因素效应分析

同样采用降维法, 将其他 3 因素置于 0 水平, 研究单因子变化对充种均匀性变异系数的影响, 结果见图 5。4 因素编码值在 -2~2 取值范围内, 4 条曲线均为为下凹抛物线, 充种均匀性变异系数  $A$  随小区播种机前进速度  $X_1$ 、充种装置转动速度  $X_2$  两因素编码值的增大而单调递增,  $A_{\min}(X_1) = A(-2) = 17.70\%$ ,  $A_{\min}(X_2) = A(-2) = 17.42\%$ 。  $A$  随充种装置锥体母线长度  $X_3$  的增大呈先减小后增大趋势,  $A_{\min}(X_3) = A(-1.95) = 17.58\%$ 。  $A$  随充种装置锥体底角角度  $X_4$  的增大呈先减小后增大趋势,  $A_{\min}(X_4) = A(1.06) = 18.4\%$ 。

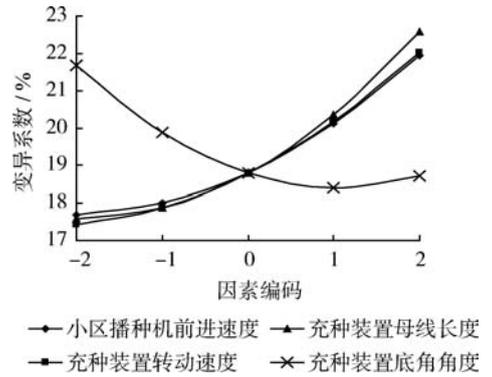


图 5 单因素对小麦种子充种均匀性变异系数的影响  
Fig. 5 Influence of single factor on CV of the uniformity in seeding-filling process for wheat seed

#### 3.2.3 双因素交互效应分析

通过二次响应曲面及等值线, 研究当 4 因素中任两因素为 0 水平, 其他 2 个因素的变化对小麦种子充种均匀性变异系数的影响, 结果见图 6。

随着充种装置转动速度  $X_2$  的增大, 充种均匀性变异系数  $A$  随小区播种机前进速度  $X_1$  的增大先呈增大趋势逐渐过渡为先减小后增大趋势; 随着  $X_1$  的增大,  $A$  随  $X_2$  的增大先呈增大趋势逐渐过渡为先减小后增大趋势。  $A_{\min}(X_1, X_2, X_3, X_4) = A(-2, -2, 0, 0) = 15.01\%$  (图 6(a))。

随着充种装置锥体母线长度  $X_3$  的增大,  $A$  随  $X_1$  的增大先呈增大趋势逐渐过渡为先减小后增大趋势; 随  $X_1$  的增大,  $A$  随充种装置锥体母线长度  $X_3$  的增大先呈增大趋势逐渐过渡为先减小后增大趋势。  $A_{\min}(X_1, X_2, X_3, X_4) = A(-2, 0, -2, 0) = 15.33\%$  (图 6(b))。

随着  $X_1$  的增大,  $A$  随充种装置锥体底角角度  $X_4$  的增大, 一直呈先减小后增大趋势; 随着  $X_4$  的增大,  $A$  随  $X_1$  的增大呈先减小后增大趋势逐渐过渡为增大趋势,  $A_{\min}(X_1, X_2, X_3, X_4) = A(-2, 0, 0, 2) = 16.42\%$  (图 6(c))。

随着  $X_2$  的增大,  $A$  随  $X_3$  的增大先呈增大趋势逐渐过渡为先减小后增大趋势; 随着  $X_3$  的增大,  $A$  随  $X_2$  的增大先呈增大趋势逐渐过渡为先减小后增大趋势,  $A_{\min}(X_1, X_2, X_3, X_4) = A(0, -2, -2, 0) = 15.07\%$  (图 6(d))。

随着  $X_2$  的增大,  $A$  随充种装置锥体底角角度  $X_4$  的增大, 一直呈先减小后增大趋势; 随着  $X_4$  的增大,  $A$  随  $X_2$  的增大呈先减小后增大趋势逐渐过

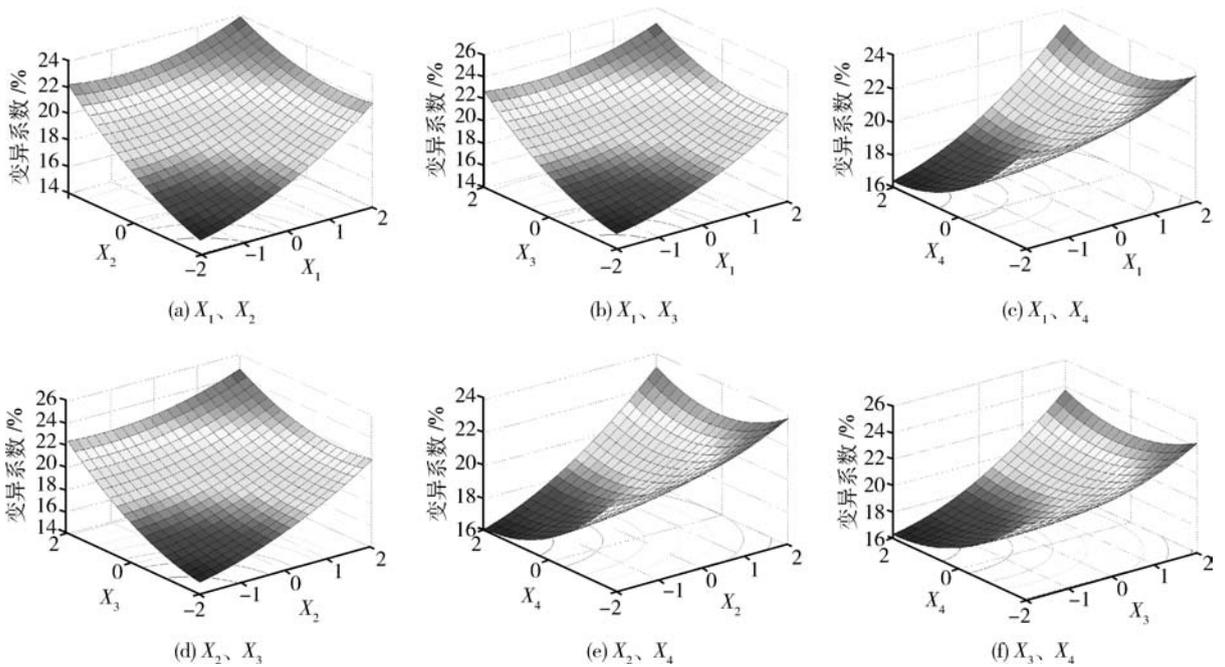


图6 2因素交互效应对小麦种子充种均匀性变异系数的影响

Fig. 6 Interaction influence of two factors on CV of uniformity in seeding-filling process for wheat seed

渡为增大趋势,  $A_{\min}(X_1, X_2, X_3, X_4) = A(0, -2, 0, 2) = 16.13\%$  (图6(e))。

随着  $X_3$  的增大,  $A$  随  $X_4$  的增大, 一直呈先减小后增大趋势; 随着  $X_4$  的增大,  $A$  随  $X_3$  的增大呈先减小后增大趋势逐渐过渡为增大趋势,  $A_{\min}(X_1, X_2, X_3, X_4) = A(0, 0, -2, 2) = 16.30\%$  (图6(f))。

#### 4 最佳参数优化与试验验证

根据非线性规划原理, 利用 dps7.05 对 2 种种子的试验参数进行优化。规划的目标函数与约束条件如下:

$$\begin{aligned} & \min A \\ & \text{s. t} \begin{cases} L(0.0875X_2 + 0.425) - \\ 2\pi(0.15X_1 + 0.7) = 0 \\ -2 \leq X_1, X_2, X_3, X_4 \leq 2 \end{cases} \end{aligned}$$

式中:  $L$  为小区长度, m。分别取  $L = 6, 7, 8, 9, 10$  m, 进行参数优化, 其充种均匀性变异系数见图7。当小区长度  $L = 10$  m 时, 对应油菜和小麦种子的充种均匀性变异系数最小, 分别为 5.68% 和 7.85%, 其试验参数为: 小区播种机前进速度 0.4 m/s、充种装置转动速度 0.25 rad/s、充种装置锥体母线长度 0.1 m/s、充种装置锥体底角角度  $50^\circ$ 。

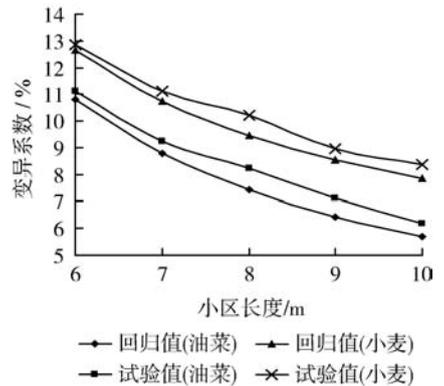


图7 不同小区长度油菜和小麦种子的充种均匀性变异系数

Fig. 7 CV of uniformity in seed-filling process for rape seed and wheat seed on different plot length

#### 5 结论

1) 以小区播种机前进速度  $v$ 、充种装置转动速度  $\omega$ 、充种装置锥体母线长度  $l$ 、充种装置锥体底角角度  $\alpha$  为自变量, 油菜、小麦种子充种均匀性变异系数为目标函数, 进行四因素二次通用旋转组合设计试验, 获得了工作参数与结构参数对小麦和油菜种子充种均匀性变异系数的影响关系。

2) 根据回归方程分析可知, 试验因素对油菜和

小麦种子充种均匀性变异系数的影响主次顺序不同。油菜种子: 充种装置锥体母线长度 > 充种装置锥体底角角度 > 小区播种机前进速度 > 充种装置转动速度; 小麦种子: 充种装置锥体底角角度 > 充种装置锥体母线长度 > 充种装置转动速度 > 小区播种机前进速度。这表明结构参数对充种均匀性变异系数的影响较工作参数大。

3) 根据小区播种机的播种特点进行参数优化, 结果表明: 油菜和小麦种子播量分别为 5 和 180 g, 小区长度为 10 m 时, 充种装置处于最佳工作状态, 其充种均匀性变异系数分别为 5.68% 和 7.85%。

### 参 考 文 献

- [1] 郭佩玉, 施森宝, 汪裕安. 田间育种机械化与种子加工现代化 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 1998: 12-30
- [2] 宋江腾, 张淑敏. 小区播种机的研究现状及发展方向 [J]. 农机化研究, 2004(4): 14-16
- [3] 卢秉福, 胡志超, 张祖立. 作物育种试验区机械化的研究进展 [J]. 中国农机化, 2006(6): 44-46
- [4] Wintersteiger AG. Plot Seeders [M]. Ried, Innkreis: Wintersteiger AG, 2009: 4-21
- [5] 王长春, 富乃新, 郭佩玉. 蓬勃发展的田间育种机械和种子加工业 [J]. 种子世界, 1996(11): 38
- [6] 郭佩玉, 尚书旗, 汪裕安. 普及和提高田间育种机械化水平 [J]. 农业工程学报, 2004, 20(增刊): 53-55
- [7] 佟超. 我国农业试验区播种机械的研究与发展 [J]. 农业机械学报, 1995, 26(1): 125-126
- [8] 张波屏. 菲约特小区试验田播种机 [J]. 粮油加工与食品机械, 1981(5): 36-39
- [9] 刘曙光, 尚书旗, 杨然兵, 等. 小区播种机存种装置参数试验及优化 [J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 101-108
- [10] 李春华, 张家惠, 候维高, 等. 株行播种机与小区播种机圆锥-格盘式排种装置性能试验 [J]. 粮油加工与食品机械, 1981(8): 19-25
- [11] 裴攸, 曹圉, 于长付, 等. 小区播种机排种器的试验研究 [J]. 粮油加工与食品机械, 1981(4): 17-23
- [12] 盛江源. 试验区用播种机排种器的研究 [J]. 吉林农业大学学报, 1986, 8(4): 90-111
- [13] 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
- [14] 张晓晨, 刘玉锋. 条播条灌施肥播种机评价指标体系及考核方法 [J]. 中国农业大学学报, 2000, 5(4): 54-57
- [15] 吴红丹, 李洪文, 梅峰, 等. 一沟双行小麦施肥播种单体的设计与试验 [J]. 中国农业大学学报, 2007, 12(2): 50-53

(责任编辑: 刘迎春)