

# 玉米对生种子脱粒机试验\*

王晶<sup>1</sup> 聂影<sup>2</sup> 官元娟<sup>1</sup> 章惠全<sup>2</sup> 孙荣强<sup>3</sup>

(1. 沈阳农业大学工程学院, 沈阳 110161; 2. 辽宁省农业机械化研究所, 沈阳 110161;  
3. 海城市农业机械化学校, 海城 114200)

**【摘要】** 为提高玉米对生种子脱粒率,降低籽粒的破损率,对对生种子脱粒机进行了试验设计。采用玉米品种为美玉3号,进行四因素二次回归正交试验,分析了玉米果穗平均含水率、玉米果穗平均直径、脱粒机钻具直径和钻具锥角等因素对对生种子脱粒率和籽粒破损率的影响,建立数学模型并利用多目标非线性优化理论与方法,优化其参数。以对生种子脱粒率最高和籽粒破损率最低为评价指标,在果穗含水率为44%情况下,确定脱粒机的最优参数组合:果穗平均直径为39 mm时,钻具直径为23 mm,钻具锥角为74°;果穗平均直径为42 mm时,钻具直径为24 mm,钻具锥角为72°;果穗平均直径为47 mm时,钻具直径为25 mm,钻具锥角为70°。

**关键词:** 玉米 对生种子 脱粒机 钻具 优化设计 正交试验

中图分类号: S226.1<sup>+</sup>2 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)02-0104-05

## Experiment on Thresher of Maize Pair Seeds

Wang Jing<sup>1</sup> Nie Ying<sup>2</sup> Gong Yuanjuan<sup>1</sup> Zhang Huiquan<sup>2</sup> Sun Rongqiang<sup>3</sup>

(1. College of Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China

2. Liaoning Agricultural Mechanization Institute, Shenyang 110161, China

3. Haicheng Agricultural Mechanization School, Haicheng 114200, China)

### Abstract

In order to improve the thresh efficiency of maize pair seeds and reduce the percentage of damaged seeds, experiments were carried out about the maize pair seeds thresher. The variety of maize was Meiyu No. 3. The quadratic orthogonal tests were used. The effect of average water content, maize ear average diameter, thresher drilling tool diameter and drill angle on thresh percentage of pair seeds and damaged seeds of maize was analyzed. The mathematical model was developed. Taken the highest thresh percentage of pair seeds and the lowest percentage of damaged seeds as an evaluation index, the optimal parameters of thresher were obtained through multi-goal non-linear optimizing method. When the average diameter of maize ear was 39 mm, the ear water content was 44%, the drilling tool diameter was 23 mm and its angle was 74°. When the maize ear average diameter was 42 mm, the ear water content was 44%, the drilling tool diameter was 24 mm and its angle was 72°. When the maize ear average diameter was 47 mm, the ear water content was 44%, the drilling tool diameter was 25 mm and its angle was 70°.

**Key words** Maize, Pair seeds, Thresher, Drilling tool, Optimal design, Experiment

### 引言

目前,国内大多数玉米种子栽培为单粒或多个单粒种子随机放在一起。研究表明,玉米对生种子双株栽培是一种新型的玉米高产栽培技术<sup>[1-4]</sup>。

玉米对生种子脱粒机基于玉米种子的特性,减少对种子的损伤,采用内脱式原理来完成对生玉米种子的脱粒。其主要工作原理是将玉米果穗从内部破碎,把玉米果穗上并列成对的种子在小穗原基近穗轴处成对脱下来,形成并列成对种子体。玉米内

收稿日期: 2010-04-19 修回日期: 2010-05-06

\* 科技部粮食丰产科技工程项目(2006BAD02A1)

作者简介: 王晶,硕士生,主要从事农业机械性能研究,E-mail: wangjingng@163.com

通讯作者: 官元娟,教授,主要从事农业生产机械化研究,E-mail: yuanjuangong@163.com

脱是有效提高对生种子脱粒率、减少种子损伤的有效方法,相对于外脱是一项技术创新<sup>[4-5]</sup>。本文以玉米果穗含水率、玉米果穗直径、钻具直径和钻具锥角为试验因素,以玉米果穗脱粒呈对生种子的脱粒率及籽粒破损率为指标,对脱粒工艺参数进行试验研究,建立数学模型并优化其参数,确定脱粒机最优参数组合,为对生种子脱粒机的进一步优化设计提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与设备

玉米品种为美玉3号。

对生种子脱粒机如图1所示。经该脱粒机脱出的对生种子如图2所示。

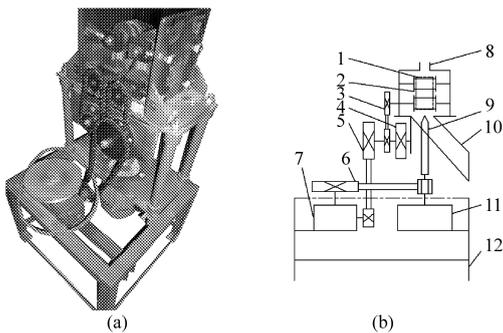


图1 玉米对生种子脱粒机

Fig. 1 Maize pair seeds thresher

(a) 实物照片 (b) 结构原理示意图

1. 柔性橡胶带 2. 辊子 3. 链轮传动1 4. 啮合齿轮 5. 链轮传动2  
6. 胶带传动 7. 减速器 8. 进料斗 9. 钻具 10. 出料斗  
11. 电动机 12. 机架

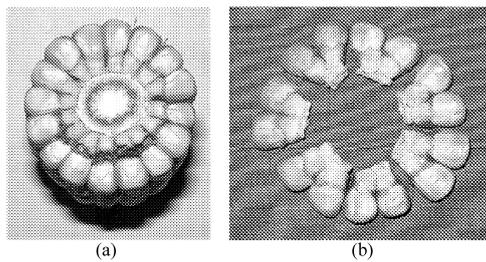


图2 玉米对生种子

Fig. 2 Maize pair seeds

(a) 种子玉米果穗横截面图 (b) 脱粒而成的对生种子

### 1.2 试验方法

试验时,将玉米果穗连续喂入进料斗进行脱粒,

随着夹持装置的持续进给,钻具与玉米果穗芯接触,二者之间除了有圆周旋转运动外,还有向下运动,完成对玉米果穗整个芯部的钻削,玉米籽粒与玉米果穗轴分离,从而实现玉米对生种子的脱粒。对生种子用肉眼分辨,破损的种子利用肉眼和灯箱检测系统检验。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 指标的确定

以玉米果穗对生种子脱粒率为主要试验指标,籽粒破损率为次要试验指标。由于脱粒过程中会出现钻具没有钻到玉米果穗小穗原基或钻过小穗原基,导致相邻小穗连接的对生种子无法被钻具分开或单个小穗连接的对生种子被钻具分开,从而主要形成对生种子外,同时也形成一部分单粒及多粒种子。单粒和多粒的玉米种子同样可以培育种植,作为对生种子的附属品,有效地提高了玉米果穗的脱粒效率。

### 2.2 单因素试验

选取玉米果穗喂入方向、果穗平均含水率、果穗平均直径、钻具直径和钻具锥角为试验因素,以对生种子脱粒率为试验指标,进行单因素试验<sup>[6-9]</sup>。

#### (1) 果穗喂入方向

当果穗含水率为30%,果穗直径为45 mm,钻具直径为24 mm,钻具锥角为60°时,玉米喂入进料斗时方向分大头朝下和小头朝下两种情况,试验结果如表1所示。由表可知,玉米果穗大头朝下喂入料斗的状态下,对生种子脱粒率要高于小头朝下的状态。因为玉米果穗小头与钻具接触时,较难保证钻具与果穗的同心度,容易钻偏,脱粒率较低。

#### (2) 玉米果穗含水率

当果穗直径为43 mm,钻具直径为24 mm,钻具锥角为60°,大头朝下喂入时,选取种子玉米果穗的平均含水率为25%、30%、35%、40%和45%,研究玉米果穗含水率对对生种子脱粒率的影响,试验结果如图3所示。由图可知,曲线呈先上升后下降的趋势,当果穗含水率为35%时到达最大值。当含水率低于35%时,果穗小穗处韧度较低,容易脱落,易形成单粒种子,对生种子脱粒率低。

表1 果穗喂入方向对对生种子脱粒率的影响

Tab. 1 Influence of ear placed-direction on thresh percentage of pair seeds

喂入方向	对生种子脱粒率/%								平均值/%
大头朝下	20.23	29.41	22.08	25.37	23.44	29.98	25.34	23.67	24.94
小头朝下	20.34	25.49	16.59	21.46	23.79	20.38	19.86	20.37	21.04

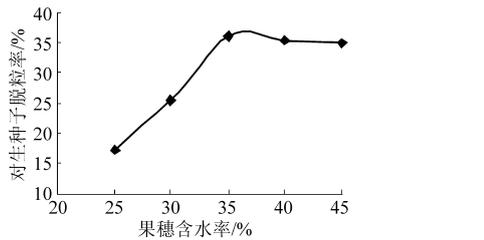


图3 果穗含水率对对生种子脱粒率的影响

Fig. 3 Influence of ear water content on thresh percentage of pair seeds

### (3) 玉米果穗直径

当果穗含水率为35%，钻具锥角为60°，大头朝下喂入时，选取玉米果穗直径为38、40、42、44、46和48 mm，钻具直径为23、24、25 mm，研究玉米果穗平均直径对对生种子脱粒率的影响，试验结果如图4所示。

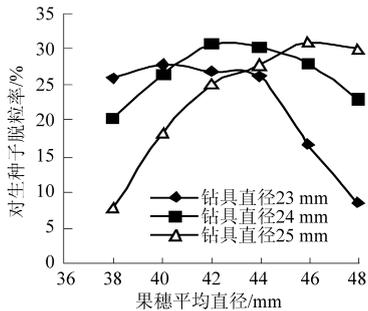


图4 果穗直径对对生种子脱粒率的影响

Fig. 4 Influence of ear diameter on thresh percentage of pair seeds

由图可知，曲线均呈先上升后下降的趋势。当钻具直径为23 mm，果穗直径为39~41 mm时达到最大值；当钻具直径为24 mm，果穗直径为42~44 mm时达到最大值；当钻具直径为25 mm，果穗直径为45~47 mm时达到最大值。

### (4) 钻具直径

当果穗含水率为35%，钻具锥角为60°，大头朝下喂入时，选取钻具直径为22、23、24、25和26 mm，果穗直径为40、43、46 mm，研究钻具直径对对生种子脱粒率的影响，试验结果如图5所示。

由图可知，曲线均呈先上升后下降的趋势。当

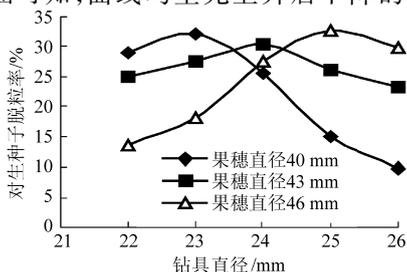


图5 钻具直径对对生种子脱粒率的影响

Fig. 5 Influence of drill diameter on thresh percentage of pair seeds

果穗直径为40 mm，钻具直径为23 mm时达到最大值；当果穗直径为43 mm，钻具直径为24 mm时达到最大值；当果穗直径为46 mm，钻具直径为25 mm时达到最大值。

### (5) 钻具锥角

当果穗含水率为35%，果穗直径为46 mm，钻具直径为25 mm，大头朝下喂入时，选取钻具锥角为30°、60°、90°和120°，研究钻具锥角对对生种子脱粒率的影响，试验结果如图6所示。

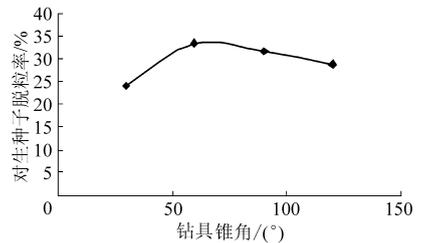


图6 钻具锥角对对生种子脱粒率的影响

Fig. 6 Influence of drill angle on thresh percentage of pair seeds

由图可知，曲线呈先上升后下降的趋势，钻具锥角为60°时达到最大值。锥角太小，钻削过程将要结束时，易将剩余果穗芯部劈开。

## 2.3 二次回归正交试验

在单因素试验的基础上，确定玉米果穗平均含水率、玉米果穗平均直径、钻具直径和钻具锥角为试验因素，以对生种子脱粒率和籽粒破损率为试验指标，采用四因素二次回归正交设计试验，分析各因素的不同水平及交互作用对对生种子脱粒率及破损率的影响<sup>[6-9]</sup>。试验方案的零水平重复次数为3，总试验次数为27， $\gamma = 1.547$ ，试验因素水平编码如表2所示。

表2 试验因素水平编码

Tab. 2 Levels and codes of test design factors

水平编码	钻具锥角 $X_1/(^\circ)$	钻具直径 $X_2/\text{mm}$	果穗平均 直径 $X_3/\text{mm}$	果穗平均含 水率 $X_4/\%$
-1.547	14	22	38	25
-1	30	23	40	29
0	60	24	43	35
1	90	25	46	41
1.547	106	26	48	45

## 2.4 二次回归正交试验结果分析

### (1) 对生种子脱粒率

根据27次试验结果，通过计算分析，确定试验因素与对生种子脱粒率之间的回归数学模型后，通过 $t$ 检验， $\alpha = 0.05$ 时，剔除不显著的回归系数，得

到试验因素编码值与对生种子脱粒率之间的回归方程为

$$y_1 = 37.259 + 4.3869x_1 + 3.5588x_4 + 7.2x_2x_3 - 5.0289x_1^2 - 4.4477x_2^2 \quad (1)$$

为了确定各因素对试验指标的影响程度,将各个因素的重要性进行了排序,影响试验指标的因素主次顺序为: $x_2x_3$ 、 $x_1$ 、 $x_4$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 。

## (2) 籽粒破损率

根据27次试验结果,通过计算分析,确定试验因素与籽粒破损率之间的回归数学模型后,通过 $t$ 检验, $\alpha = 0.1$ 时,剔除不显著的回归系数,得到试验因素编码值与籽粒破损率之间的回归方程为

$$y_2 = 0.6885 + 0.3028x_2 + 0.2075x_2x_4 + 0.177x_1^2 \quad (2)$$

为了确定各因素对试验指标的影响程度,将各个因素的重要性进行了排序,影响试验指标的因素主次顺序为: $x_2$ 、 $x_1$ 、 $x_3$ 、 $x_4$ 。

## 2.5 交互作用效应分析

根据各因素重要性分析的结果可以看出,交互作用对对生种子脱粒率的影响程度依次为: $x_2x_3$ 、 $x_1x_3$ 、 $x_2x_4$ 。

根据回归方程的数学模型,考虑 $x_2$ 和 $x_3$ 2个因素对对生种子脱粒率的影响,则将 $x_1$ 和 $x_4$ 2个因素

规定在零水平,变为双因素方程

$$y_{23} = 37.259 + 1.4599x_2 - 1.272x_3 + 7.2x_2x_3 - 4.4477x_2^2 - 2.344x_3^2 \quad (3)$$

$x_2x_3$ 对对生种子脱粒率的影响如图7所示。二者取相近的编码值时曲面出现波峰面,投影近似为基面的一条对角线,此时对生种子脱粒率高。

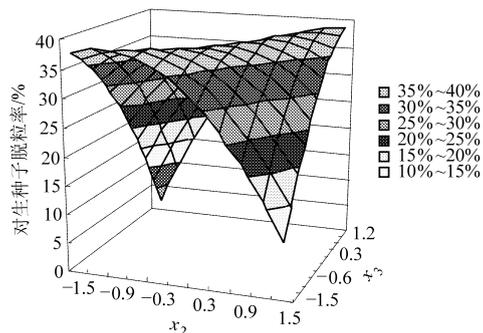


图7 钻具直径 $x_2$ 和果穗直径 $x_3$ 对对生种子脱粒率的影响

Fig.7 Influence of drill diameter and ear diameter on thresh percentage of pair seeds

## 2.6 优化分析

根据已建立的回归数学模型,利用多目标决策理论及非线性优化方法<sup>[10-11]</sup>,采用规划求解分析方法,对模型进行优化求解,得出不同直径玉米果穗脱粒的最佳参数如表3所示。

表3 玉米对生种子脱粒的最佳参数

Tab.3 Optimal parameters of maize pair seeds threshing

因素编码值				优化参数				指标值	
$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$X_1/(^\circ)$	$X_2/\text{mm}$	$X_3/\text{mm}$	$X_4/\%$	对生种子脱粒率 $y_1/\%$	籽粒破损率 $y_2/\%$
0.45	-1	-1.3	1.5	74	23	39	44	43.85	0.65
0.41	0	-0.3	1.5	72	24	42	44	42.19	0.91
0.36	1	1.23	1.5	70	25	47	44	42.01	1.24

## 3 结论

(1)通过单因素试验,确定了钻具锥角、钻具直径、果穗直径和果穗含水率为对生种子脱粒率显著影响因素。在玉米果穗大头向下喂入进料斗的前提下,钻具锥角为 $60^\circ$ 、果穗平均含水率为35%时,能够达到较高的对生种子脱粒率。

(2)通过四因素二次回归正交试验,研究了钻具锥角、钻具直径、果穗直径和果穗含水率4个因素对对生种子脱粒率和籽粒破损率的影响。当玉米果

穗含水率为44%情况下得到玉米对生种子脱粒的最佳参数组合:果穗平均直径为39 mm时,钻具直径为23 mm,钻具锥角为 $74^\circ$ ,此时对生种子脱粒率为43.85%,籽粒破损率为0.65%;果穗平均直径为42 mm时,钻具直径为24 mm,钻具锥角为 $72^\circ$ ,此时对生种子脱粒率为42.19%,籽粒破损率为0.91%;果穗平均为直径47 mm时,钻具直径为25 mm,钻具锥角为 $70^\circ$ ,此时对生种子脱粒率为42.01%,籽粒破损率为1.24%。

## 参 考 文 献

- 李心平,马福丽,高连兴. 差速式玉米种子脱粒机的设计[J]. 农业机械学报,2008,39(8):192~195.
- 程晋. 5TN-2型玉米对生种子脱粒机的设计与改进[J]. 农业科技与装备,2008,14(3):44~45.

- Cheng Jin. Design and improvement of type 5TN-2 oppositifolious maize thresher[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2008, 14(3):44~45. (in Chinese)
- 3 聂影. 玉米对生种子脱粒机和播种机设计研究初见成效[J]. 农业机械化与电气化, 2006, 12(4):45.
- 4 章惠全, 李伟红, 谢琼, 等. 5TN-1型玉米对生种子脱粒机的设计[J]. 农业科技与装备, 2009, 15(5):40~41.  
Zhang Huiquan, Li Weihong, Xie Qiong, et al. Design of 5TN-1 type thresher for oppositifolious corn[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2009, 15(5):40~41. (in Chinese)
- 5 李漫江, 何军, 冯欣. 脱粒机械与脱粒装置[J]. 农机化研究, 2004, 25(2):124~125.  
Li Manjiang, He Jun, Feng Xin. Threshing machinery and threshing equipment[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2004, 25(2):124~125. (in Chinese)
- 6 宋卫堂, 封俊, 胡鸿烈. 北京地区夏玉米联合收获的试验研究[J]. 农业机械学报, 2005, 36(5):45~48.  
Song Weitang, Feng Jun, Hu Honglie. Experimental study on combine harvesting of summer corn in Beijing area[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(5):45~48. (in Chinese)
- 7 曲恩, 刘喜平. 青玉米破碎脱粒机的设计与实验研究[J]. 机械工程师, 2003, 34(12):69~70.  
Qu En, Liu Xiping. Design and experimental research for the green-maize thresh-crasher[J]. Mechanical Engineer, 2003, 34(12):69~70. (in Chinese)
- 8 李心平, 高连兴, 马福丽. 玉米种子脱粒特性的试验研究[J]. 农机化研究, 2007, 28(2):156~158.  
Li Xinping, Gao Lianxing, Ma Fuli. Experimental research of seed corn on the threshing property[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007, 28(2):156~158. (in Chinese)
- 9 李云雁, 胡传荣. 试验设计与数据处理[M]. 北京:化学工业出版社, 2004:122~136.
- 10 钱颂迪. 运筹学[M]. 2版. 北京:清华大学出版社, 1990:444~461.
- 11 李心平, 马福丽, 高连兴. 玉米种子脱粒过程高速摄影观察分析[J]. 农业机械学报, 2009, 40(11):45~48.  
Li Xinping, Ma Fuli, Gao Lianxing. High-speed photograph analysis on threshing process of corn seed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(11):45~48. (in Chinese)