

组合式螺旋板齿种子玉米脱粒机工作参数优化\*

赵武云<sup>1,2</sup> 郭康权<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学机械与电子工程学院, 陕西杨凌 712100; 2. 甘肃农业大学工学院, 兰州 730070)

**【摘要】** 根据 Box-Behnken 试验设计原理,以喂入量、脱粒轴转速、板齿螺旋角和排芯口压板压力为自变量,籽粒破碎率为响应值,采用四因素三水平响应面分析方法,并利用 Design-Expert 软件建立数学模型,对各因素及其交互作用进行分析。建立了各因素与籽粒破碎率之间的数学模型。试验数据分析表明:建立的回归方程显著;4 个因素对籽粒破碎率影响的主次顺序为板齿螺旋角、脱粒轴转速、喂入量和排芯口压板压力;最佳工作参数为:喂入量 2.8 kg/s、脱粒轴转速 241 r/min、板齿螺旋角 9°和排芯口压板压力 40 N,此时籽粒破碎率为 0.366%,较参数优化前的破碎率减小了 0.084% ~ 0.274%。

**关键词:** 种子玉米 脱粒机 组合式螺旋板齿 响应面法 参数优化

**中图分类号:** S226.1<sup>+</sup>2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)12-0056-06

Parameters Optimization of Combined Spiral Bar Tooth Thresher for Maize Seed

Zhao Wuyun<sup>1,2</sup> Guo Kangquan<sup>1</sup>

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

2. School of Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract

In order to obtain the best working parameters combination of spiral bar tooth thresher for maize seed production, parameters such as feed rates, threshing rotation speed of roller, spiral angle of bar tooth and exhaust core mouth clamp pressure were selected as independent variables, which would influence kernel broken rate of maize seed. Subsequently, the Box-Behnken experimental design with four factors and three levels was performed, and the mathematical model was established by using Design-Expert software. Then the effects of various parameters and their interactions were analyzed as well. The results showed that effects order of four parameters on kernel broken rate of maize seed were as follows: spiral angle of bar tooth, threshing rotation speed of roller, feed rates and exhaust core mouth clamp pressure. The optimal working parameters were feed rates of 2.8 kg/s, threshing rotation speed of roller of 241 r/min, spiral angle of bar tooth of 9°and exhaust core mouth clamp pressure of 40 N, then the kernel broken rate of seed production of 0.366% was obtained, which was reduced by 0.084% ~ 0.274% after the parameters optimization.

**Key words** Maize seed, Thresher, Combined type of spiral bar tooth, Response surface method, Parameters optimization

引言

玉米果穗脱粒是制种收获及机加工过程中决定

玉米种子损伤程度的关键环节之一<sup>[1]</sup>。种子玉米籽粒不同程度的损伤将影响其安全储藏期、降低相应的发芽率与出苗率且容易产生霉菌等。因此,减

收稿日期: 2012-08-08 修回日期: 2012-09-28

\* “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAD14B10)和甘肃省科学技术攻关计划资助项目(2GS064-A52-032-03)

作者简介: 赵武云, 博士生, 甘肃农业大学教授, 主要从事农业工程技术与装备研究, E-mail: zhaowuy@gsau.edu.cn

通讯作者: 郭康权, 教授, 博士生导师, 主要从事农业机械与农产品加工装备研究, E-mail: jdkgq@nwsuaf.edu.cn

少玉米种子脱粒损伤已成为种子机械脱粒的主要问题<sup>[2-4]</sup>。

目前,大部分种子玉米的脱粒作业均由传统玉米脱粒机完成<sup>[5]</sup>。传统种子玉米脱粒装置主要通过垂直安装在脱粒轴上的板齿元件对玉米果穗进行搅动和撞击来完成脱粒作业,对玉米制种籽粒的损伤大、破碎率高,对玉米种子后续发芽、出苗产生严重影响与制约<sup>[6-8]</sup>。针对上述问题,结合挤搓式脱粒工艺、仿生技术及组合式脱粒元件工作性能柔和、脱粒效果好的特点,设计一种组合式螺旋板齿种子玉米脱粒机,以各脱粒工作参数作为自变量,通过试验测得不同因素水平组合条件下种子玉米籽粒破碎率,采用响应面分析法确定各因素及其交互作用对脱粒破碎率的影响和获取最优控制变量组合,以达到最佳脱粒效果。

1 试验装置结构与工作原理

1.1 试验装置结构

组合式螺旋板齿种子玉米脱粒机结构如图 1 所示,主要由变径变间距组合式螺旋板齿脱粒轴<sup>[9]</sup>、排芯口变刚度压板装置<sup>[10]</sup>及动力、传动系统等组成。自脱粒机进料口到排芯口方向,变径、变间距组合式螺旋板齿脱粒轴上分布的冠状齿间距增大,平板齿间距减小,且冠状齿与平板齿的直径均有增加。平板齿与冠状齿板设置相同,均顺着脱粒轴螺旋线排列。在脱粒作业过程中,可根据不同品种、不同含水率的种子玉米果穗,调整变刚度弹簧在排芯口压板杆上的位置,从而实现压板杆转矩的调节,实现对排芯口压板的开关控制。

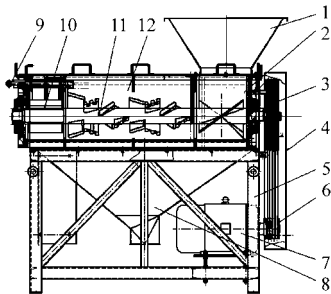


图 1 组合式螺旋板齿种子玉米脱粒机结构  
Fig.1 Structure schematic of combined spiral bar tooth threshers for maize seed

- 1. 喂料斗 2. 进料口 3. 大胶带轮 4. 胶带外罩 5. 机架
- 6. 小胶带轮 7. 电动机 8. 出料斗 9. 排芯口压板装置 10. 排芯口
- 11. 变径变间距螺旋板齿脱粒轴 12. 脱粒区

1.2 工作原理

种子玉米脱粒作业时,剥去苞叶的种子玉米果穗由人工投入喂料斗快速进入脱粒仓,在脱粒轴端部螺旋板齿的旋转带动下,玉米果穗随着脱粒轴上

的螺旋平板齿及螺旋冠状齿绕板齿滚筒作轴向螺旋挤搓运动。在挤搓脱粒过程中,玉米籽粒通过漏籽板进入出料斗进而排出机外,果穗轴芯向前运动,滞留在排芯口附近,当穗轴芯大量堆积在脱粒区内产生一定压力后,顶起脱粒机排芯口变刚度压板装置而排出,从而完成种子玉米果穗的揉搓脱粒。

2 试验材料与方法

2.1 材料与设备

选取甘肃省种子玉米种植主导品种金穗 4 号(甘审玉 2005006)玉米果穗作为试验材料,试验在甘肃白银金穗种业有限公司果穗脱粒车间内进行,样机工作参数优化脱粒试验过程如图 2 所示。果穗平均穗长为 15.3 cm,平均直径为 4.25 cm,穗行数为 14~16 行,行粒数为 32 粒,千粒质量 286 g,籽粒黄色,偏马齿型,果穗籽粒含水率在 17.3%~18.5% 之间。

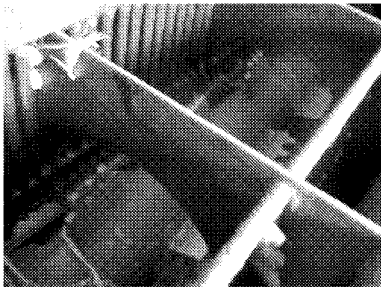


图 2 种子玉米脱粒机试验过程图  
Fig.2 Experiment process of combined spiral bar tooth threshers for maize seed

试验前准备样品 29 份,每份样品约 500 kg,为保证试验条件的一致性及其试验数据之间的统一性,脱粒时种子玉米果穗采用有序喂入,以保证其喂入的均匀性。用精度为 0.01 g 的分析天平进行脱粒籽粒破碎率的称量计算。

2.2 试验方案与方法

采用 Box-Behnken 设计模型能用较少的试验次数进行全面的分析研究<sup>[8,11]</sup>。以喂入量、脱粒轴转速、板齿螺旋角和排芯口压板压力为试验因素,以籽粒破碎率为响应值,各试验因素水平编码如表 1 所示,共实施 29 组响应面分析试验(表 2)。应用 Design-Expert 8.05 进行数据处理分析。

试验过程中通过电磁调速电动机控制脱粒轴不同转速,通过玉米果穗不同质量的人工均匀喂入实现喂入量的改变,通过置换设有不同板齿螺旋角  $\alpha$  的脱粒轴(图 3)实现板齿螺旋角参数的改变,通过变刚度压板装置(图 4)弹簧进行预紧控制改变排芯口压板压力。试验时,组合式螺旋板齿种子玉米脱粒机的脱粒间隙控制在 40.2~42.8 mm 之间。

表 1 因素水平编码  
Tab.1 Coding of factors and levels

| 编码 | 因素                                       |                                             |                                 |                            |
|----|------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
|    | 喂入量<br>$x_1/\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ | 脱粒轴转速<br>$x_2/\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ | 板齿螺旋角<br>$x_3/(\text{ }^\circ)$ | 排芯口压板<br>压力 $x_4/\text{N}$ |
| -1 | 2.8                                      | 220                                         | 6                               | 40                         |
| 0  | 3.1                                      | 245                                         | 9                               | 50                         |
| 1  | 3.4                                      | 270                                         | 12                              | 60                         |

表 2 响应面分析结果  
Tab.2 Results of response surface analysis

| 试验号 | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | $X_4$ | $Y/\%$ |
|-----|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1   | 1     | -1    | 0     | 0     | 0.49   |
| 2   | 0     | 0     | 1     | -1    | 0.56   |
| 3   | 0     | -1    | -1    | 0     | 0.53   |
| 4   | 0     | -1    | 0     | -1    | 0.47   |
| 5   | -1    | 1     | 0     | 0     | 0.48   |
| 6   | 1     | 0     | 0     | -1    | 0.49   |
| 7   | 1     | 0     | 0     | 1     | 0.52   |
| 8   | 0     | 1     | 0     | -1    | 0.54   |
| 9   | -1    | 0     | 1     | 0     | 0.59   |
| 10  | -1    | -1    | 0     | 0     | 0.45   |
| 11  | 1     | 0     | 1     | 0     | 0.62   |
| 12  | 0     | 0     | 1     | 1     | 0.60   |
| 13  | 0     | 1     | 1     | 0     | 0.64   |
| 14  | 0     | 1     | -1    | 0     | 0.62   |
| 15  | 0     | 0     | -1    | 1     | 0.61   |
| 16  | 1     | 1     | 0     | 0     | 0.56   |
| 17  | -1    | 0     | -1    | 0     | 0.57   |
| 18  | 0     | -1    | 0     | 1     | 0.48   |
| 19  | 0     | 0     | -1    | -1    | 0.59   |
| 20  | -1    | 0     | 0     | -1    | 0.46   |
| 21  | 1     | 0     | -1    | 0     | 0.61   |
| 22  | 0     | 1     | 0     | 1     | 0.52   |
| 23  | -1    | 0     | 0     | 1     | 0.51   |
| 24  | 0     | -1    | 1     | 0     | 0.59   |
| 25  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0.45   |
| 26  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0.46   |
| 27  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0.48   |
| 28  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0.47   |
| 29  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0.46   |

注： $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$  分别为喂入量、脱粒轴转速、板齿螺旋角和排芯口压板压力的编码值， $Y$  为籽粒破碎率。

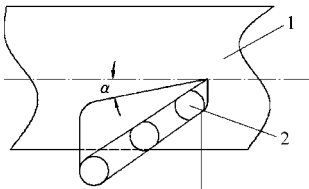


图 3 板齿螺旋角示意图

Fig.3 Schematic of spiral bar tooth  
1. 脱粒转轴 2. 螺旋板齿

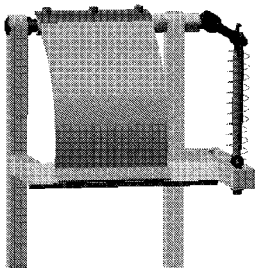


图 4 排芯口压板装置示意图

Fig.4 Schematic of exhaust core mouth clamp unit

以籽粒破碎率为试验指标,籽粒破碎率的计算公式为

$$Y = \frac{w}{W} \times 100\% \tag{1}$$

式中  $Y$ ——籽粒破碎率,%  
 $w$ ——脱粒破碎籽粒质量,g  
 $W$ ——脱粒籽粒总质量,g

试验中各项性能指标根据国家标准 GB/T 5982—2005 脱粒机试验方法及 NY 1136—2006 挤搓式玉米种子脱粒机技术条件测定,分别以 3 次重复的平均值为测试结果。

3 试验结果与分析

3.1 回归模型建立及检验

试验结果表示,籽粒破碎率在 0.45% ~ 0.64%,符合挤搓式玉米种子脱粒机技术条件(NY 1136—2006)中籽粒破碎率小于 0.90% 的要求。

借助 Design-Expert 8.05 软件对所得试验结果进行分析,获得籽粒破碎率  $Y$  的二次回归模型为

$$\begin{aligned} Y = & 0.460 + 0.019X_1 + 0.029X_2 + 0.006X_3 + \\ & 0.011X_4 + 0.016X_1^2 + 0.018X_2^2 + 0.110X_3^2 + \\ & 0.016X_4^2 + 0.010X_1X_2 + 0.003X_1X_3 - \\ & 0.005X_1X_4 - 0.010X_2X_3 - 0.008X_2X_4 + \\ & 0.005X_3X_4 \end{aligned} \tag{2}$$

对上述二次回归模型进行方差分析和回归系数显著性检验,结果如表 3 所示。

表 3 方差分析  
Tab.3 Variance analysis

| 变异来源 | 平方和                    | 自由度 | 均方                     | $F$   | $P$      |
|------|------------------------|-----|------------------------|-------|----------|
| 回归   | 0.100                  | 14  | $7.250 \times 10^{-3}$ | 21.50 | <0.000 1 |
| 剩余   | $4.720 \times 10^{-3}$ | 14  | $3.371 \times 10^{-4}$ |       |          |
| 失拟   | $4.200 \times 10^{-3}$ | 10  | $4.200 \times 10^{-4}$ | 3.23  | 0.134 8  |
| 误差   | $5.200 \times 10^{-4}$ | 4   | $1.300 \times 10^{-4}$ |       |          |
| 总和   | 0.110                  | 28  |                        |       |          |

由表 3 方差分析可知,回归模型的  $P < 0.000 1$ ,表明回归模型极其显著;失拟项  $P > 0.05$ ,失拟不显著,说明模型所拟合的二次回归方程与实际相符合,

能正确反映籽粒破碎率  $Y$  与  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$  和  $X_4$  之间的关系,回归模型可以较好地 对优化试验中各种试验结果进行预测。

3.2 各因素对性能指标的影响分析

3.2.1 喂入量和脱粒轴转速对籽粒破碎率的影响

取  $X_3 = 0, X_4 = 0$ ,得喂入量  $X_1$  和脱粒轴转速  $X_2$  与籽粒破碎率  $Y$  之间的关系为

$$Y = 0.460 + 0.019X_1 + 0.029X_2 + 0.016X_1^2 + 0.018X_2^2 + 0.010X_1X_2$$

(3)

图 5 为喂入量和脱粒轴转速与籽粒破碎率之间的关系曲面。

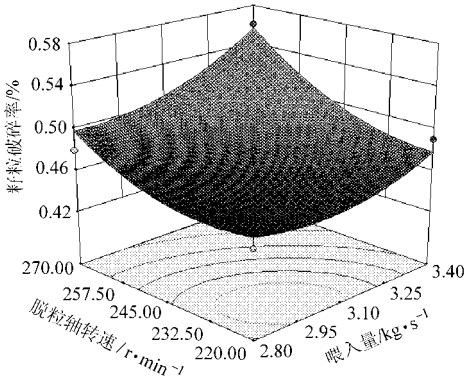


图 5 喂入量与脱粒轴转速对籽粒破碎率的影响  
Fig. 5 Impact of feed rates and threshing rotation speed of roller on kernel broken rate

由图 5 可以看出,脱粒轴转速由 220 r/min 向 270 r/min 变化时,籽粒破碎率不断增大,且上升趋势较明显。当脱粒轴转速固定在某一水平时,随喂入量的增加,籽粒破碎率基本呈缓慢上升趋势。这主要是因为当喂入量低于 3.1 kg/s 时,玉米果穗的脱粒是有序脱粒,籽粒破碎率稳定,基本不受喂入量的影响。说明在喂入量变化不大时,设计的组合式螺旋板齿脱粒轴对脱粒物料的适应性较强,对于在一定范围内喂入量的变化不很敏感。由偏回归分析可以得出,脱粒轴转速对籽粒破碎率的影响大于喂入量的影响。

3.2.2 喂入量和板齿螺旋角对籽粒破碎率的影响

取  $X_2 = 0, X_4 = 0$ ,得喂入量  $X_1$  和板齿螺旋角  $X_3$  与籽粒破碎率  $Y$  之间的关系为

$$Y = 0.460 + 0.019X_1 + 0.006X_3 + 0.016X_1^2 + 0.110X_3^2 + 0.003X_1X_3$$

(4)

图 6 为喂入量和板齿螺旋角与籽粒破碎率之间的关系曲面。

由图 6 可以看出,喂入量与板齿螺旋角的交互作用对于籽粒破碎率有明显的影响。当喂入量固定在某一水平时,由响应曲面变化趋势可以看出,随着脱粒轴上组合板齿螺旋角由 6°至 12°的不断变化,

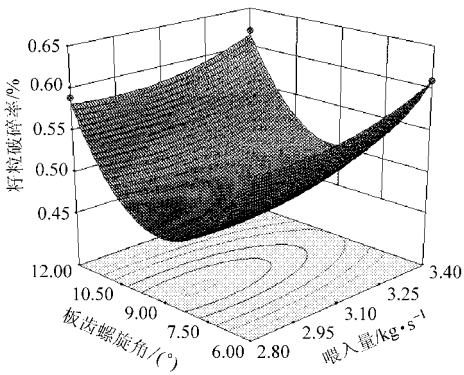


图 6 喂入量与板齿螺旋角对籽粒破碎率的影响  
Fig. 6 Impact of feed rates and spiral angle of bar tooth on kernel broken rate

籽粒破碎率先减小、后增大,呈现双重变化趋势。当板齿螺旋角为 9°时,籽粒破碎率最小。由偏回归分析及等高线密度可以得出,板齿螺旋角对籽粒破碎率的影响大于喂入量的影响。

3.2.3 喂入量和排芯口压板压力对籽粒破碎率的影响

取  $X_2 = 0, X_3 = 0$ ,得喂入量  $X_1$  和排芯口压板压力  $X_4$  与籽粒破碎率  $Y$  之间的关系为

$$Y = 0.460 + 0.019X_1 + 0.011X_4 + 0.016X_1^2 + 0.016X_4^2 - 0.005X_1X_4$$

(5)

图 7 为喂入量和排芯口压板压力与籽粒破碎率之间的关系曲面。

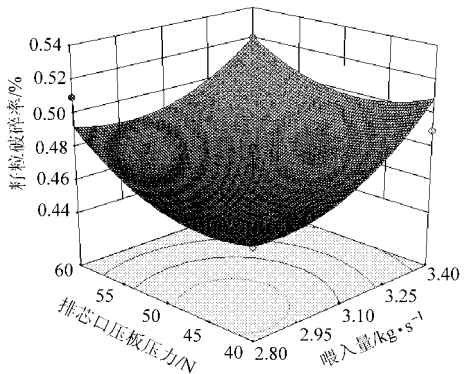


图 7 喂入量与排芯口压板压力对籽粒破碎率的影响  
Fig. 7 Impact of feed rates and exhaust core mouth clamp pressure on kernel broken rate

由图 7 可以看出,种子玉米脱粒机排芯口压板压力会随着喂入量的增加而不断增大,这是因为当喂入量不断加大时,脱粒腔内部压力变大,为保证玉米果穗脱净且不至于在脱粒区内滞留较长时间,此时压板装置弹簧预紧力也随之相应变大。当喂入量固定在某一水平时,随排芯口压板压力的增加,籽粒破碎率呈缓慢上升趋势,但变化幅度不大。由偏回归分析及等高线密度可以得出,喂入量对籽粒破碎率的影响稍高于排芯口压板压力

的影响。

3.2.4 脱粒轴转速和板齿螺旋角对籽粒破碎率的影响

取  $X_1 = 0, X_4 = 0$ , 得编码空间内脱粒轴转速  $X_2$  和板齿螺旋角  $X_3$  与籽粒破碎率  $Y$  之间的关系为

$$Y = 0.460 + 0.029X_2 + 0.006X_3 + 0.018X_2^2 + 0.110X_3^2 - 0.010X_2X_3$$

(6)

图 8 为脱粒轴转速和板齿螺旋角与籽粒破碎率之间的关系曲面。

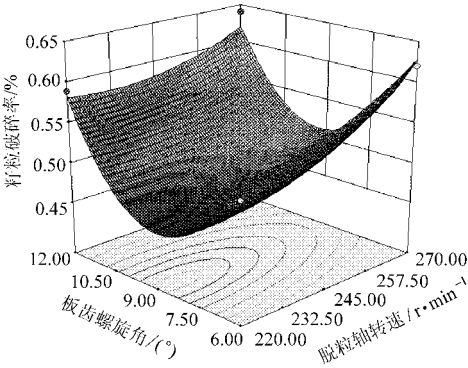


图 8 脱粒轴转速与板齿螺旋角对籽粒破碎率的影响  
Fig.8 Impact of threshing rotation speed of roller and spiral angle of bar tooth on kernel broken rate

由图 8 可以看出,脱粒轴转速与板齿螺旋角交互作用对籽粒破碎粒影响效果显著。当板齿螺旋角为 9°时,籽粒破碎率随着脱粒轴转速的不断升高而变大,表明脱粒轴转速与籽粒破碎率呈正相关。脱粒轴转速越低,对降低种子玉米籽粒损伤有利,但会影响脱粒效果与生产效率,因此在实际生产中要根据生产率确定脱粒轴的转速。由偏回归分析及等高线密度可以得出,板齿螺旋角对籽粒破碎率的影响稍高于脱粒轴转速的影响。

3.2.5 脱粒轴转速和排芯口压板压力对籽粒破碎率的影响

取  $X_1 = 0, X_3 = 0$ , 得脱粒轴转速  $X_2$  和排芯口压板压力  $X_4$  与籽粒破碎率  $Y$  之间的关系为

$$Y = 0.460 + 0.029X_2 + 0.011X_4 + 0.018X_2^2 + 0.016X_4^2 - 0.008X_2X_4$$

(7)

图 9 为脱粒轴转速和排芯口压板压力与脱粒籽粒破碎率之间的关系曲面。

由图 9 可以看出,在脱粒轴转速由 220 r/min 向 270 r/min 变化,排芯口压板压力由 40 N 向 60 N 增加过程中,通过两因素与籽粒破碎率相应曲面变化趋势可以得知:脱粒轴转速较排芯口压板压力对于籽粒破碎率的影响程度更高一些。在变化范围内,当脱粒轴转速大于 245 r/min 时,籽粒破碎率增大趋势较 220 ~ 245 r/min 区间内更加明显。

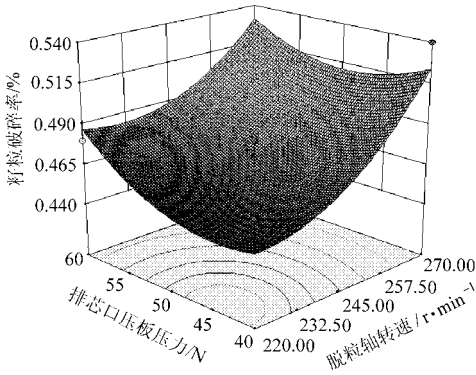


图 9 脱粒轴转速与排芯口压板压力对籽粒破碎率的影响  
Fig.9 Impact of threshing rotation speed of roller and exhaust core mouth clamp pressure on kernel broken rate

3.2.6 板齿螺旋角和排芯口压板压力对籽粒破碎率的影响

取  $X_1 = 0, X_2 = 0$ , 得板齿螺旋角  $X_3$  和排芯口压板压力  $X_4$  与籽粒破碎率  $Y$  之间的关系为

$$Y = 0.460 + 0.006X_3 + 0.011X_4 + 0.110X_3^2 + 0.016X_4^2 + 0.005X_3X_4$$

(8)

图 10 为板齿螺旋角和排芯口压板压力与籽粒破碎率之间的关系曲面。

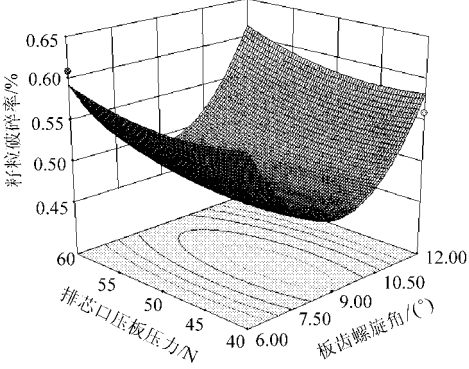


图 10 板齿螺旋角与排芯口压板压力对籽粒破碎率的影响  
Fig.10 Impact of spiral angle of bar and exhaust core mouth clamp pressure on kernel broken rate

由图 10 可以看出,板齿螺旋角与排芯口压板压力交互作用对籽粒破碎粒影响效果显著。当板齿螺旋角固定在某一水平时,随排芯口压板压力的增加,脱粒籽粒破碎率呈缓慢上升趋势,但变化幅度不大。通过两因素与籽粒破碎率响应曲面变化趋势可以得知:板齿螺旋角较排芯口压板压力对于籽粒破碎率的影响程度更高一些。

通过对组合式螺旋板齿种子玉米脱粒机各作业参数对脱粒籽粒破碎率产生影响的多因素分析,4 个因素对籽粒破碎率影响的主次顺序依次为:板齿螺旋角、脱粒轴转速、喂入量及排芯口压板压力。

3.3 最优作业参数确定及模型验证

通过对回归方程模型进行优化求解,得到组合式螺旋板齿种子玉米脱粒机最优工作参数为:种子

玉米果穗喂入量 2.8 kg/s、脱粒轴转速 241 r/min、板齿螺旋角 9°、排芯口压板压力 40 N, 籽粒破碎率最小值为 0.351%。

为了验证模型的可靠性,采用上述最优脱粒工作参数进行 3 次试验,3 次试验的脱粒籽粒破碎率均值为 0.366%,较工作参数优化前的籽粒破碎率减小了 0.084%~0.274%。将试验实测数值与回归模型的计算结果相比,平均相对误差为 4.5%与理论预测值基本吻合,说明该回归模型是可靠的。

4 结论

(1) 结合 Box-Behnken 试验设计原理,采用四因素三水平响应面分析方法,进行组合式螺旋板齿种子玉米脱粒机工作参数优化,通过试验优化结果

可得影响籽粒破碎率的因素由大到小依次为:板齿螺旋角、脱粒轴转速、喂入量和排芯口压板压力。

(2) 建立了籽粒破碎率与喂入量、脱粒轴转速、板齿螺旋角和排芯口压板压力的二次多项式回归模型,得到了最佳工作参数。经试验验证,当喂入量为 2.8 kg/s、脱粒轴转速为 241 r/min、板齿螺旋角为 9°和排芯口压板压力为 40 N 时,籽粒破碎率为 0.366%,较工作参数优化前的脱粒破碎率减小了 0.084%~0.274%,与回归模型的计算结果相比平均相对误差为 4.5%。试验值与回归模型的计算结果基本吻合,证明了该回归模型的可靠性。

(3) 响应面曲面分析结果表明,喂入量与板齿螺旋角、脱粒轴转速与板齿螺旋角、板齿螺旋角与排芯口压板压力的交互作用对于脱粒机脱粒籽粒破碎率影响显著,其他交互作用影响不显著。

参 考 文 献

1 李心平,高连兴. 差速式玉米种子脱粒机的性能试验[J]. 农业工程学报,2009,25(12):102~106.  
Li Xinping, Gao Lianxing. Performance test on corn thresher with different-speed threshing parts[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2009,25(12):102~106. (in Chinese)

2 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.  
Li Xinping, Ma Fuli, Gao Lianxing. Design on seed corn thresher with different speeds threshing parts[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2008,39(8):192~195. (in Chinese)

3 侯守印,陈海涛. 立式轴流大豆育种脱粒机参数优化[J]. 农业工程学报,2012,28(5):19~25.  
Hou Shouyin, Chen Haitao. Parameters optimization of vertical axial flow thresher for soybean breeding[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2012,28(5):19~25. (in Chinese)

4 Akubuo C O. Performance evaluation of a local maize sheller[J]. Biosystems Engineering,2002,83(1):77~83.

5 申德超,李文瑞. 5TZ-120 型脱粒机的试验研究[J]. 农业工程学报,1995,11(4):48~51.  
Shen Dechao, Li Wenrui. Experimental research on 5TZ-120 thresher[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,1995,11(4):48~51. (in Chinese)

6 何晓鹏,刘春和,师建芳,等. 挤搓式玉米脱粒机的研制[J]. 农业工程学报,2003,19(2):105~108.  
He Xiaopeng, Liu Chunhe, Shi Jianfang, et al. Research and design on corn sheller by extruding and rubbing method[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2003,19(2):105~108. (in Chinese)

7 王晶,聂影,宫元娟,等. 玉米对生种子脱粒机试验[J]. 农业机械学报,2011,42(2):104~108.  
Wang Jing, Nie Ying, Gong Yuanjuan, et al. Experiment on thresher of maize pair seeds[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2011,42(2):104~108. (in Chinese)

8 袁雪,祁力钧,王虎,等. 温室摇摆式变量弥雾机喷雾参数响应面法优化[J]. 农业机械学报,2012,43(4):45~50.  
Yuan Xue, Qi Lijun, Wang Hu, et al. Spraying parameters optimization of swing, automatic variables and greenhouse mist sprayer with response surface method[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2012,43(4):45~50. (in Chinese)

9 甘肃农业大学. 变径变间距组合式螺旋板齿脱粒装置:中国,201010515028.0[P]. 2012-05-09.

10 甘肃农业大学. 揉搓式玉米脱粒机排芯口变刚度压板装置:中国,200920033440.1[P]. 2010-03-10.

11 刘天舒,李树君,景全荣. 植物纤维餐具干法热压成型工艺响应面法优化[J]. 农业机械学报,2012,43(9):116~119,84.  
Liu Tianshu, Li Shujun, Jing Quanrong. Optimization of plant fiber tableware dry-hot molding process using response surface methodology[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2012,43(9):116~119,84. (in Chinese)