

## 荞麦剥壳机性能参数试验研究

陈伟 杜文亮\* 政东红 刘广硕

(内蒙古农业大学 机电工程学院,呼和浩特 010018)

**摘要** 针对砂盘式荞麦剥壳机存在效率较低、重复搓擦、能耗大等问题,改进了剥壳机主要工作部件,分析产生间隙调整误差的原因,在此基础上对提高荞麦剥壳机的出米率及降低相对碎米率进行研究。以粒径为 4.6~4.8 mm 的荞麦为试验原料,将出米率和相对碎米率作为评价指标,对影响剥壳效率的主要因素:剥壳间隙、砂盘转速及间隙周向误差进行试验研究。试验结果表明:剥壳间隙接近 5.0 mm 时,出米率较高而相对碎米率较低;随着砂盘转速的增大,相对碎米率呈二次函数逐渐递升,最佳转速为 950 r/min。正交试验结果表明:剥壳间隙周向误差对碎米率影响显著;剥壳间隙和砂盘转速对出米率、相对碎米率均有显著影响。最终优化方案为:剥壳间隙 4.8 mm,砂盘转速 950 r/min,间隙周向误差 $\pm 0.05$  mm,此时出米率为 35.4%,相对碎米率 5.8%,出米率高于目前荞麦米生产水平 10%~25%。

**关键词** 荞麦;剥壳机;间隙调整;剥壳规律;砂盘

**中图分类号** S226

**文章编号** 1007-4333(2017)07-0107-08

**文献标志码** A

## Experimental study and parameter analysis on buckwheat huller

CHEN Wei, DU Wenliang\*, ZHENG Donghong, LIU Guangshuo

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China)

**Abstract** Aiming at the problems of low efficiency, high energy consumption and repeatedly rubbing of the buckwheat huller, the main working parts of the huller were improved and the causes of the error of gap adjustment were analyzed. Research on improving the milled rice rate and reducing the relative broken rice rate during the shelling were conducted. Buckwheat's particles size between 4.6 and 4.8 mm were selected as test material and the milled rice rate and relative broken rice rate were taken as evaluation index. Main factors affecting shelling efficiency were shelling gap, running speed of sand disk and gap circumferential error. The results showed that: When the shelling gap was nearly 5 mm, the milled rice rate was higher and relative broken rice rate was lower; With the increasing of sand-disc speed, the relative broken rice rate was quadratic function gradually ascending, the best speed was 950 r/min. Orthogonal experiment results showed that: The clearance of shelling circumferential error significantly affected the relative rate of broken rice; The peeling clearance and speed of sand wheel affected the rice yield rate and reduced the relative rate of broken rice. In conclusion, when the shelling gap was 4.8 mm, the running speed of sand-disc was 950 r/min and circumferential gap to the error was less than or equal to 0.05 mm, the milled rice rate reached 35.4%, the relative broken rice rate was 5.8%, and the milled rice rate was higher than the current level of production of buckwheat rice by 10% - 25%.

**Keywords** buckwheat; huller; gapadjustment; sand disc

砂盘式剥壳机是荞麦米生产线上的主要设备,市场应用较为广泛,但生产率低、生产线上需多套设备共同工作才能满足生产需求,占地面积大,影响了

进一步的发展。效率低的主要原因是相对碎米率制约了出米率的提高<sup>[1-2]</sup>。一般情况下,相对碎米率在 6% 以下时基本能够保障质量,大于 6% 时荞麦米表

收稿日期: 2016-05-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31260409)

第一作者: 陈伟,博士研究生,E-mail:chenweidushui@163.com

通讯作者: 杜文亮,教授,博士生导师,主要从事现代机械设计及理论研究,E-mail:duwl5711@vip.ima.u.edu.cn

面损伤趋于严重,难以作为产品走向市场。生产上一般采取牺牲效率的方式降低碎米率,通过循环剥壳的方式以获得合格的荞麦米产品,但耗时长,效率低,不利于大面积推广应用。

砂盘式剥壳机不仅应用在荞麦剥壳中,同时也广泛应用于油菜籽<sup>[3]</sup>、葵花籽<sup>[4]</sup>、沙棘籽<sup>[5]</sup>、银杏<sup>[6]</sup>、球形坚果<sup>[7]</sup>等作物的剥壳(或脱壳)。该类型剥壳设备主要由一对上、下平行的砂盘构成,剥壳时上砂盘静止,下砂盘高速转动。上、下砂盘的间隙(即剥壳间隙)是影响剥壳效果的主要因素。已有研究<sup>[8-11]</sup>主要对剥壳间隙与粒径的关系进行了相关试验及探讨,结果表明在剥壳过程中,不同物料对间隙控制精度要求也不尽相同,甚至微小的间隙变化也会对生产效果产生较大的影响。由于剥壳设备加工制造及其调整结构本身造成的误差,砂盘间隙往往与理论间隙有所差异,其差异大小必然对剥壳效果产生一定的影响。此外,工作部件的转速也是影响剥壳效果的主要因素之一,速度高则增加破碎率,速度低则出米率较低,影响工作效率。本研究主要针对剥壳间隙,砂盘转速及间隙周向误差对剥壳效果的影响进行试验研究,依据试验结果对剥壳间隙与籽粒长度的关系进行探讨,并对加工过程中剥壳间隙与砂盘转速的选择和调整提出意见,以为设备参数设计和改进提供参考和依据。

## 1 试验方案

### 1.1 试验原料

选取经过清选和分级后的荞麦作为试验原料,粒径范围 4.6~4.8 mm,2014 年产自内蒙古自治区武川县,品种为黎麻道,含水率 10%~14%。

### 1.2 试验仪器

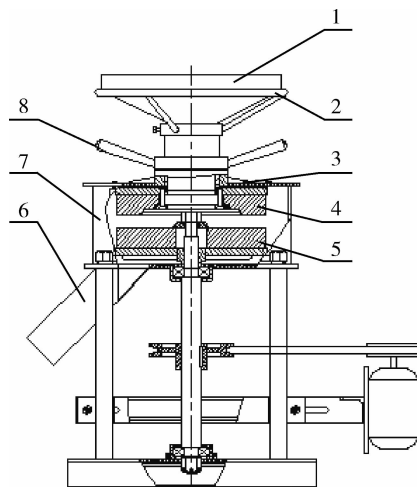
游标卡尺:FS-0601,精度 0.02 mm,香港五羊工具有限公司;电子天平:JEB2002,精度 0.01 g,上海圣科仪器机器有限公司;冲孔筛:直径 4.0~5.0 mm,天津市津乐机筛制品有限责任公司;筛分机:TQLM60 型,河北沧州市北方粮食机械厂;针规:直径 3.8~6.2 mm,精度 0.01 mm,深圳市荣成五金机械有限公司;数字转速表:EMT260A,1~99 999 r/min,北京伊麦特科技有限公司。

### 1.3 试验装置及工作原理

荞麦剥壳试验装置主要由料斗 1、调整轮 2、上盖 3、上砂盘 4、下砂盘 5、出料口 6、外圈 7、锁紧环 8 等组成(图 1)。主要参数为:砂盘直径 300 mm,粒

度 24 目,硬度 M 级,上砂盘工作面宽度 30 mm。

工作原理:剥壳机上方放置料斗,荞麦从料斗位置进入砂盘间的空腔后,受到上、下砂盘的撞击和摩擦作用,部分易剥壳籽粒外壳开裂,并在撞击作用下荞麦米从裂口处飞离。籽粒进入到砂盘工作段后,在下砂盘的带动下运动速度快速增加。籽粒在高速运动过程中不断旋转和弹跳,当籽粒趋于竖直的状态时,籽粒的上、下端同时接触上砂盘和下砂盘,并受到摩擦和挤压力,进而导致外壳开裂和壳米的分离。间隙调整时,松开锁紧环,转动调整轮使得上砂盘通过螺纹副一边转动一边上下移动,当移动至合适位置时,锁紧环锁紧即可。



1. 料斗; 2. 调整轮; 3. 上盖; 4. 上砂盘; 5. 下砂盘; 6. 出料口; 7. 外圈; 8. 锁紧环

1. Hopper; 2. Adjustment wheel; 3. Cover; 4. Upper sand disc; 5. Lower sand disc; 6. Discharging port; 7. Outer ring; 8. Locking ring

图 1 荞麦剥壳试验装置

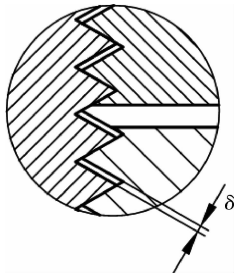
Fig. 1 Structure of buckwheat huller

装置调整:由于剥壳机外圈 7 是由钢板滚圆焊合而成,因此剥壳间隙无法进行直接观察和测量,只能通过旋转调整轮 2 带动下砂盘 4 一同旋转进行间接测量或估值。且由于上砂盘既做旋转运动又做上下进给运动,调节装置在调节上下砂盘的间隙时,不能获得准确的间隙值,从而影响后续的分析结论。分析可知,产生间隙读数误差的原因存在于以下 3 个方面:

1) 间隙的零点位置存在误差。剥壳机调整间隙时,螺纹传动使上砂盘向下移动,与下砂盘接触时认为间隙为零。但螺纹配合存在间隙,拧紧锁紧环时会导致上砂盘向上移动至局部螺纹间隙消除(图 2),由于  $\delta$  的存在,不同的操作者对零点的感知

存在差异,从而造成零点误差。

2)调整操作导致的误差。锁紧环在锁紧时,会在摩擦力作用下带动调整轮及上砂盘转动较小的角度后锁紧,此亦能造成调整轮与剥壳机上盖微小间隙误差 $\delta$ 。



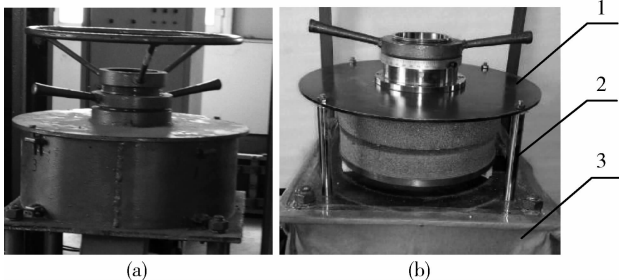
$\delta$  为间隙误差  $\delta$  is clearance error

图2 调整轮与上盖间的螺纹间隙

Fig. 2 Gaps of screw between adjustment wheel and cover

3)间隙周向均匀性误差。由于机器的加工和安装精度的原因,砂盘间隙存在周向不均匀性,即砂盘圆周方向上局部间隙存在大小差异,其影响试验结果。

针对上述情况,试验前对剥壳机进行适当调整,将剥壳机砂盘外圈去除,间隙测量是在可视化环境下直接测量,使得准确性得到显著提高。采用4根两端带螺纹头的立柱支撑剥壳机上盖,两端分别与机架和上盖连接(图3),便于对内部物料进行清理,提高数据准确性。立柱外围采用软质无纺布密封,避免了剥壳后荞麦四处散落。安装支撑立柱后,上、下砂盘不平行时,采用在立柱上端增加薄平垫的方式对砂盘进行调平,以保证砂盘的平行度。



1. 上盖;2. 立柱;3. 无纺布密封位置

1. Coverage; 2. Pillar; 3. The seal position of non-woven

图3 剥壳机结构改进前(a)和改进后(b)对比图

Fig. 3 Comparison of huller's structure improvement before (a) and after (b)

## 1.4 试验方法

试验前调节好剥壳间隙并用针规检测,合格后将外围密封布料固定于剥壳机上盖,保证密封,出料口以密封布袋接料。开机空转15 s后,以稳定流量倒入试验样品500 g,待样品全部进入剥壳机后等待15 s,随后关机;待机器完全停转和静止后对剥壳机内及出料口物料进行清理并称重。通过去粉→去皮→分离米→分离碎米等环节,分别得到粉尘、未剥壳荞麦、整米、碎米等,对各组成部分称重。试验中去粉采用20目筛,分离米使用筛孔比粒径小0.2 mm的分离筛,碎米采用3 mm孔径分离筛。

## 1.5 评价指标

本研究参考JB/T 10267—2013《胶辊砻谷机》<sup>[12]</sup>中糙碎率的定义,提出相对碎米率概念。参考GB 1350—2009《稻谷》<sup>[13]</sup>中出糙率的定义,定义荞麦加工的出米率为剥壳后获得的荞麦米质量与试样质量的比值。相对碎米率及出米率的公式为:

$$\begin{cases} \varphi = \frac{M_s}{M_m} \times 100\% \\ \epsilon = \frac{M_m}{M} \times 100\% \end{cases}$$

式中: $\varphi$ 为相对碎米率; $\epsilon$ 为出米率; $M_s$ 为荞麦碎米总质量,g; $M_m$ 为荞麦米总质量,g; $M$ 为试验样品总质量,g。

## 2 试验内容及结果分析

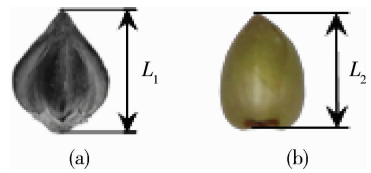
### 2.1 试验水平的选取

已有研究认为粒径是荞麦剥壳间隙选取的关键依据,而对荞麦长度未引起足够重视。然而部分研究显示物料力学性质及破损特点与受力方向有较大关系<sup>[12-18]</sup>。初步试验结果表明:荞麦的长度方向尺寸对剥壳效果具有较大的影响,因此有必要对其进行研究,分析其与剥壳率间存在的关系。试验前采用4.6 mm和4.8 mm的分级筛对原料进行筛分,取粒径4.6~4.8 mm的试验样品200 g。从样品中取50 g样品2份,一份作为荞麦样品,另一份对其进行手工剥壳获得荞麦米样品。

根据荞麦尺寸参数(图4)分别对荞麦和荞麦米样品进行随机抽样和尺寸测量并统计其长度分布规律(图5),试验中从扦样器中随机取样1 000粒荞麦和荞麦米。由籽粒长度分布直方图(图5)可看出,荞麦粒径在4.6~4.8 mm的籽粒长度分布区间主要在5~7 mm,均值为5.9 mm;荞麦米的长度分布

区间主要集中在 3.5~5.5 mm,均值为 4.4 mm。

由统计结果发现,砂盘间隙应为 4.4~5.9 mm。过大的砂盘间隙将会导致剥壳效率低下,影响出米率;而过小的砂盘间隙直接会导致碎米率增加,影响荞麦剥壳质量。故本试验将选取 4.6、4.8、5.0、5.2、5.4 和 5.6 mm 共 6 个砂盘间隙值对其剥壳效果进行单因素试验,根据单因素试验结果进而优选出剥壳间隙范围进行多因素正交试验。



$L_1$  和  $L_2$  分别为荞麦和荞麦米的长度,mm。

$L_1$  and  $L_2$  are the length of buckwheat and buckwheat rice respectively,mm.

图4 荞麦(a)及荞麦米(b)尺寸参数

Fig. 4 Size parameters of buckwheat (a) and buckwheat rice (b)

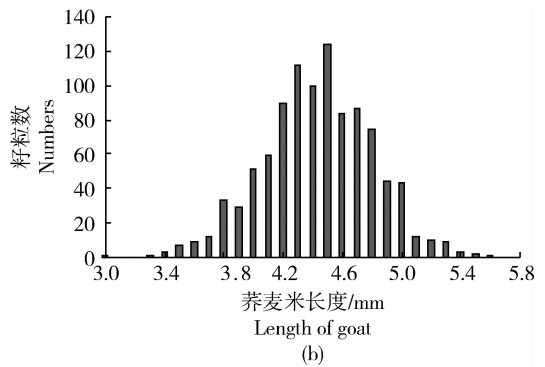
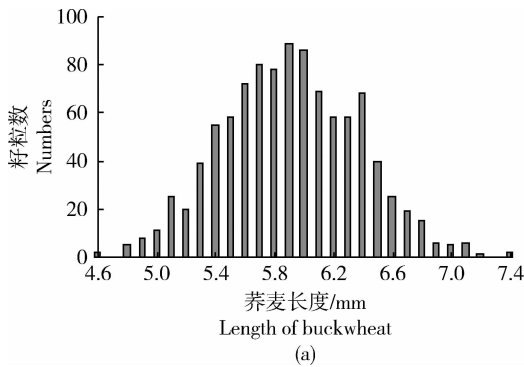


图5 荞麦(a)和荞麦米(b)长度与籽粒数分布直方图

Fig. 5 Length of buckwheat (a) and buckwheat rice (b) with the numbers of grains histogram

在实际生产中,受制造和安装精度的影响,通常剥壳机上、下砂盘存在夹角导致周向间隙大小不一,进而导致碎米率增加。通过对试验机型进行多次测量发现间隙周向误差为 0~2 mm,其中单个砂盘的厚度偏差为 0~0.5 mm。针对粒径为 4.6~4.8 mm 荞麦剥壳时的试验情况,间隙误差选取 ±0.05, ±0.2 和 ±0.4 mm 这 3 个水平。

此外,本研究选取对剥壳过程影响较大的砂盘转速作为试验因素之一,砂盘转速根据其单因素试

验结果选取。根据实际生产初选转速分别为 800、850、900、950、1 000 和 1 050 r/min 共 6 个水平,每个水平转速的控制精度为 ±5 r/min。

### 2.2 剥壳间隙单因素试验

为降低试验中存在的随机误差,每个水平进行 3 次重复试验,对上述 6 个水平的剥壳间隙进行单因素试验,取算术平均值作为试验值,转速初选 950 r/min,试验结果见图 6。

剥壳间隙在 4.6~5.2 mm 范围时出米率快速

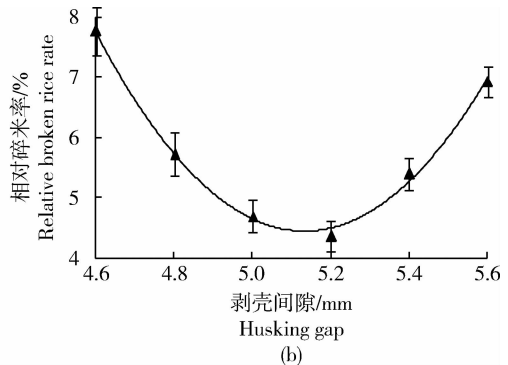
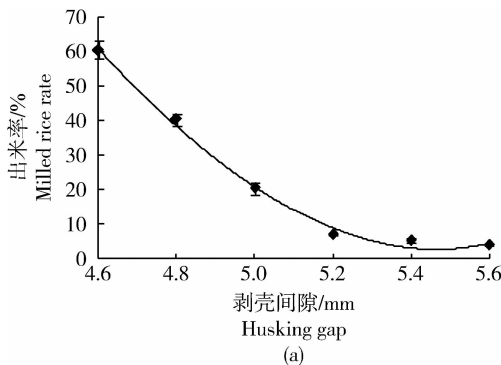


图6 剥壳间隙与出米率(a)和相对碎米率(b)的关系

Fig. 6 Relations husking gap with milled rice rate (a) and relative broken rice rate (b)

下降(图 6(a));当剥壳间隙大于 5.2 mm 时,出米率已经较低且变化不大。相对碎米率在剥壳间隙 4.6~5.2 mm 范围内呈下降趋势,当剥壳间隙大于 5.2 mm 时,相对碎米率反而会出现上升趋势(图 6(b))。对比荞麦及荞麦米的长度尺寸统计结果发现,间隙为 5.2 mm 正位于荞麦与荞麦米长度尺寸分布相重合位置,该尺寸大于荞麦米长度而小于荞麦长度。在此间隙时,当荞麦籽粒在砂盘中翻滚运动至近竖直状态时,籽粒沿长轴方向受到挤压时会导致外壳的开裂,但由于其大于米的长度,故而米不会受到强烈挤压力,从而保证米的完整性。小于此间隙,部分米会受到长度方向的挤压而导致破碎;大于此间隙时籽粒挤压力变小,出米率降低,被剥壳籽粒多来自于籽粒中的已损伤粒,故而米中的碎米

相对较多。由此可知,为了提高荞麦米生产效率,生产中剥壳间隙应以荞麦米的长度尺寸为依据,在相对碎米率允许的范围内尽量降低剥壳间隙。如单纯追求荞麦米质量则应合理选取,防止间隙过小或过大。

### 2.3 砂盘转速单因素试验

选取剥壳间隙 5 mm,每个转速进行 3 次重复试验,取算术平均值作为试验结果(图 7)。根据试验结果可知,随着砂盘转速的增加,出米率和相对碎米率均有所增大,当砂盘转速大于 950 r/min 时,相对碎米率增速较明显。相对碎米率的变化趋势与油菜、稻谷和蓖麻等作物脱壳相似,主要是由于荞麦运动速度临近冲击损伤速度所致<sup>[19-22]</sup>。碎米率是首要控制指标,兼顾出米率,选取砂盘转速 900、950 和 1 000 r/min 作为正交试验水平。

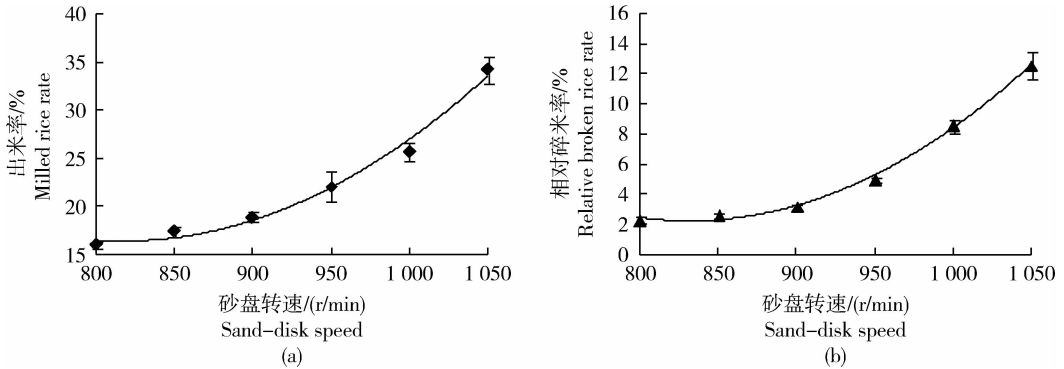


图 7 砂盘转速与出米率(a)和相对碎米率(b)关系

Fig. 7 Relations sand disk speed with milled rice rate (a) and relative broken rice rate (b)

### 2.4 正交试验及结果分析

根据单因素试验结果,选用正交表  $L_9(3^4)$  进行正交试验,试验因素水平的选取见表 1,试验结果见表 2。

根据正交试验结果分别对出米率和相对碎米率进行极差分析与方差分析,结果见表 3。

极差分析表明:剥壳间隙、砂盘转速和间隙周向

误差均会对试验结果产生影响,其中对出米率的影响顺序为:剥壳间隙>砂盘转速>间隙周向误差;对相对碎米率的影响顺序为:砂盘转速>剥壳间隙>间隙周向误差。

方差分析结果表明:剥壳间隙为 5 mm 时对出米率影响非常显著,对相对碎米率的影响显著;砂盘转速在 950 r/min 附近对出米率的影响显著,对相

表 1 影响出米率的因素水平

Table 1 Factors and levels affecting the rate of rice

水平 Level	因素 Factor		
	A, 剥壳间隙/mm Husking gap	B, 砂盘转速/(r/min) Sand-disc speed	C, 间隙周向误差/mm Gap fluctuation
1	4.8	900	±0.05
2	5.0	950	±0.20
3	5.2	1 000	±0.40

表2 影响出米率的正交试验结果

Table 2 Result of orthogonal experiment affecting the rate of rice

试验序号 Test number	因素水平 The level of factor			试验指标 Test index	
	A, 剥壳间隙/mm Husking gap	B, 砂盘转速/(r/min) Sand-disc speed	C, 间隙周向误差 /mm Gap fluctuation	出米率/% Milled rice rate	相对碎米率/% Relative broken rice rate
1	1	1	1	31.7	4.3
2	1	2	2	36.4	6.4
3	1	3	3	41.1	13.6
4	2	1	2	16.3	5.4
5	2	2	3	17.2	4.8
6	2	3	1	21.5	10.4
7	3	1	3	4.9	3.1
8	3	2	1	7.1	5.4
9	3	3	2	7.8	8.5

表3 出米率和相对碎米率试验结果分析

Table 3 Analysis the results of milled rice rate and relative broken rice rate

分析项	出米率 Milled rice rate			相对碎米率 Relative broken rice rate		
	A	B	C	A	B	C
$K_1$	108.2	51.9	55.7	24.3	12.8	17.6
$K_2$	55.0	60.7	62.8	20.6	16.6	19.9
$K_3$	19.8	70.4	64.5	17.0	32.5	24.4
极差 R Range	4.2	1.7	0.4	7.3	19.7	6.8
因素主次 Primary and secondary factors	$A>B>C$			$B>A>C$		
最优组合 Optimal combination	$A_1B_3C_3$			$B_1A_3C_1$		
离均差平方和 SS Sum of squares	1 320.4	57.1	14.5	8.9	72.8	7.9
自由度 df Degree of freedom	2	2	2	2	2	2
均方差 M Mean square error	660.2	28.5	7.3	4.4	36.4	3.9
统计量 F F-statistics	496.4	21.5	5.5	23.2	190.5	20.8
显著性 Significance	**	*		*	**	*

注:  $F_{0.05}(2,2)=19.00, F_{0.01}(2,2)=99.01; K_1, K_2, K_3$  为各因素在 1、2、3 水平时的试验指标和。

Note:  $F_{0.05}(2,2)=19.00, F_{0.01}(2,2)=99.01; K_1, K_2$  and  $K_3$  are sum of test indexes on 1, 2 and 3 level of different factors.

对碎米率的影响非常显著; 间隙周向误差对出米率的影响不显著, 但是对相对碎米率的影响达到了显著水平, 可见保证设备的制造和安装精度对碎米控制十分重要。

出米率和相对碎米率指标之间存在矛盾, 最优水平选取方向截然相反, 生产上必须二者兼顾。可采用综合平衡的原则进行水平选取, 相对碎米率的

重要性较高, 首先考虑对其影响最大的因素; 砂盘转速对相对碎米率影响最大, 对出米率影响较次, 当砂盘转速为 950 r/min 时, 可很好兼顾二者, 是较优选择。剥壳间隙对出米率影响最大, 对相对碎米率影响较弱, 故剥壳间隙可选取 4.8 mm; 间隙周向误差对 2 个指标的影响相对较弱, 可依据指标重要性选取, 综合可知较优生产条件为  $A_1B_2C_1$ 。

此外,由于间隙的周向误差对出米率有显著影响,即设备精度需要得到保障。改善间隙的均匀一致性可以通过提高剥壳机整体制造精度,亦可通过将上砂盘的运动方式由“转动+垂直移动”改变为单纯“垂直移动”的方式实现,其中后一种方式可消除因上砂盘转动而导致的间隙不均性,简单易行,易于推广使用。

### 3 结 论

本研究分析了剥壳机工作过程中产生间隙调整误差的原因,并对剥壳机结构进行改进,改进后的剥壳机能较好的提高间隙测量的准确性。试验发现荞麦长度尺寸对剥壳效果有较大影响,因此对荞麦及荞麦米的长度进行测量并统计其粒径分布规律。在此基础上以出米率和相对碎米率作为评价指标,选取粒径为 4.6~4.8 mm 的荞麦作为试验原料,对影响剥壳效果的影响因素剥壳间隙和砂盘转速等进行单因素试验及正交试验。对试验结果进行分析得出如下结论:

1) 荞麦及荞麦米长度尺寸统计、剥壳间隙的准确测量及剥壳试验结果的对比,发现了荞麦是在趋于竖直状态时完成剥壳,荞麦的长度尺寸是决定剥壳间隙的重要因素。

2) 正交试验结果表明,剥壳间隙接近于 5 mm 时,剥壳间隙对出米率影响的显著性大于砂盘转速,±0.4 mm 内的间隙误差对出米率的影响未达到显著水平,但对相对碎米率有显著性影响。当砂盘转速为 950 r/min 时,对相对碎米率的影响大于剥壳间隙。

3) 综合分析各因素水平后,得出较优参数组合为  $A_1B_2C_1$ , 即剥壳间隙为 4.8 mm, 砂盘转速 950 r/min 时,间隙周向误差为 ±0.05 mm。在此条件下,剥壳机的出米率为 35.4%, 相对碎米率 5.8%, 出米率高于目前生产水平 10%~25%。

### 参考文献 References

[1] 孙晓靖, 杜文亮, 赵士杰, 赵卫东, 刘艳辉. 苦荞麦脱壳方法的试验[J]. 农业机械学报, 2007, 38(12): 220-222  
Sun X J, Du W L, Zhao S J, Zhao W D, Liu Y H. Experimental study on shucking method of tartary buckwheat [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2007, 38(12): 220-222 (in Chinese)

[2] Denisko O A, Tkachuk A I. Experimental study of

technological efficiency vibrating peeling grain[J]. *Scientific Bulletin of NUBIP Ukraine*, 2010(3): 274-280

[3] 张麟. 油菜籽脱壳与仁壳分离设备研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 140-143  
Zhang L. Research and development of equipment for peeling rapeseed and separating hull and kernel[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2004, 20(1): 140-143 (in Chinese)

[4] 刘平, 肖诗明, 巩发永, 史碧波. 新型碾搓式葵花籽脱壳机[J]. 食品与机械, 2010, 26(3): 100-101+116  
Liu P, Xiao S M, Gong F Y, Shi B B. Design of a new sunflower seed sheller[J]. *Food & Machinery*, 2010, 26(3): 100-101+116 (in Chinese)

[5] 吉平, 陈杰, 吴华, 赵学笃. 沙棘籽脱壳方法及装置的试验研究[J]. 农业工程学报, 1999, 15(4): 258-263  
Ji P, Chen J, Wu H, Zhao X D. Experimental study on the hulling method and device of seabuckthorn seeds [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 1999, 15(4): 258-263 (in Chinese)

[6] 朱立学, 张日红, 韦鸿钰, 刘少达. 碾搓式银杏脱壳机的设计与试验[J]. 食品与机械, 2008, 24(4): 86-88  
Zhu L X, Zhang R g, Wei H Y, Liu S D. Study on extrusion grind decorticating equipment design and experiment of ginkgo with grinding wheel[J]. *Food & Machinery*, 2008, 24(4): 86-88 (in Chinese)

[7] 陈奎孚, 王凤竹, 张平. 用于剥裂球形坚果的碾磨盘间距优化[J]. 力学与实践, 2001, 23(6): 31-33  
Chen K F, Wang F Z, Zhuang P. The optimum millstone gap [J]. *Mechanics in Engineering*, 2001, 23(6): 31-33 (in Chinese)

[8] 张日红, 朱立学. 水平碾搓式银杏脱壳机脱壳过程仿真研究[J]. 食品与机械, 2011, 27(3): 101-103  
Zhang R H, Zhu L X. Simulation Study on shelling process with horizontal extrusion-grind ginkgo decorticating equipment [J]. *Food & Machinery*, 2011, 27(3): 101-103 (in Chinese)

[9] Campbell C G, Chubey B B. A dehuller for buckwheat samples [J]. *Canadian Journal of Plant Science*, 1985, 65: 771-773

[10] Ozdemir M. Comparison of the quality of hazelnuts shelled with modified conical sheller and stone sheller[J]. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1999, 72(3): 211-216

[11] 朱立学, 罗锡文, 刘少达. 轧辊-轧板式银杏脱壳机的优化设计与试验[J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 139-142  
Zhu L X, Luo X W, Liu S D. Optimized design and experiment of roller-crush board ginkgo huller [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(8): 139-142 (in Chinese)

[12] JB/T 10267—2013 胶辊磨谷机[S]. 中华人民共和国工业和信息化部; 中国机械工业联合会, 2013  
JB/T 10267—2013 Rubber roll husker [S]. Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China; *China Machinery Industry Association*, 2013 (in

- Chinese)
- [13] GB 1350—2009 稻谷[S].北京:中国标准出版社,2009  
GB 1350—2009 Paddy[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009 (in Chinese)
- [14] 刁斯琴,杜文亮,隋建民,赵卫东.剥壳间隙对荞麦整半仁率的影响规律[J].食品与机械,2013,29(3):191-193+221  
Diao S Q, Du W L, Sui J M, Zhao W D. Study on effect of shelling-gap on whole-half kernel rate of buckwheat[J]. *Food & Machinery*, 2013, 29(3): 191-193 (in Chinese)
- [15] 那雪姣,刘明国,张文,李飞,杜鑫,高连兴.机械脱壳时花生仁损伤特征及规律[J].农业工程学,2010,26(5):117-121  
Na X J, Liu M G, Zhang W, Li F, Du X, Gao L X. Damage characteristics and regularity of peanut kernels under mechanical shelling[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Engineering*, 2010, 26(5): 117-121 (in Chinese)
- [16] 蓝峰,崔勇,苏子昊,黎子明,谢舒.油茶果脱壳清选机的研制与试验[J].农业工程学报,2012,28(15):33-39  
Lan F, Cui Y, Su Z H, Li Z M, Xie S. Design and test on shelling and sorting machine of camellia oleifera fruit [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Engineering*, 2012, 28(15): 33-39 (in Chinese)
- [17] 徐谐庆,饶洪辉,李涛,刘木华.全自动莲子剥壳去皮机的设计与试验[J].农业工程学报,2014,30(13):28-34  
Xu X Q, Rao H H, Li T, Liu M H. Design and experiment on automatic husking and peeling machine for lotus seeds [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(13): 28-34 (in Chinese)
- [18] 李群,胡晓军,梁霞,许光映.亚麻籽脱皮分离方法及设备:中国, CN1883808 [P]. 2006-12-27  
Li Q, Hu X J, Liang X, Xu G Y. Flax seed peeling separation method and device [P]. CN1883808, 2006-12-27 (in Chinese)
- [19] 张黎骅,徐中明,苟文,马志远.滚筒栅条式银杏脱壳机结构参数的优化[J].农业工程学报,2012,28(10):39-45  
Zhang L L, Xu Z M, Gou W, Ma Z Y. Optimization of structure parameters of cylinder-bar type shelling device for *Ginkgo biloba* [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Engineering*, 2012, 28(10): 39-45 (in Chinese)
- [20] 郭贵生,吕新民,郭康权,党革荣.油菜籽脱壳机脱壳性能试验研究[J].农业机械学报,2005,36(1):148-149+154  
Guo G S, Lv X M, Guo K Q, Dang G R. Experimental study on the shelling performance of rapeseed sheller [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2005, 36(1): 148-149+154 (in Chinese)
- [21] 徐立章,李耀明.水稻谷粒冲击损伤临界速度分析[J].农业机械学报,2009,40(8):54-57  
Xu L Z, Li Y M. Critical speed of impact damage on a rice kernel [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2009, 40(8): 54-57 (in Chinese)
- [22] 曹玉华,李长友,张增学,卿艳梅,姚亮亮.蓖麻蒴果剥壳装置关键部件改进设计与试验[J].农业工程学报,2012,28(18):16-22  
Cao Y H, Li C Y, Zhang Z X, Qing Y M, Yao L L. Improvement design and test to key components of castor capsule hulling device [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Engineering*, 2012, 28(18): 16-22 (in Chinese)

责任编辑:刘迎春