

# 橡胶籽冲击特性研究

## Study on impact characteristics of rubber seeds

李梓豪 王 涛

LI Zi-hao WANG Tao

(海南大学机电工程学院, 海南 海口 570228)

(Institute of Electrical and Mechanical Engineering, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China)

**摘要:**用碰撞的原理破碎橡胶籽是一种重要的方式,为了研究橡胶籽在碰撞过程中的破碎力学规律,采用 RFP 数据采集系统对橡胶籽所受的瞬时碰撞力进行动态测量试验,分析高度、角度、初速度对橡胶籽所受碰撞力的影响。试验结果表明:高度从 0.5 m 提高到 2.0 m,碰撞力从 1.712 N 增加到 3.461 N;角度从 30° 增加到 90°,碰撞力从 0.831 N 增加到 2.401 N;初速度从 0.5 m/s 增加到 5.0 m/s,碰撞力从 1.781 N 增加到 3.311 N;通过 SPSS 软件进行单因素曲线估计,并拟合出各因素与碰撞力的最优曲线关系图,经分析得出高度、角度和初速度均与碰撞力呈较强正线性相关关系,在此基础上进行多因素线性回归分析,根据试验数据推出具有显著性的公式,并用插入法验证了公式的准确性;研究结果可结合不同情况下的橡胶籽破碎力,设计合理的破壳机结构,使得橡胶籽进入破壳机后能够更有效地完成脱壳工作。

**关键词:**橡胶籽;冲击特性;碰撞力;数据采集系统

**Abstract:** It is an important method to break rubber seeds with the principle of collision. In order to study the breaking mechanics of rubber seeds in the collision process, the instantaneous impact force of rubber seeds was measured by RFP data acquisition system. In this experiment, single factor method was adopted to select the height, angle and initial velocity factors to analyze the influence of various factors on the impact force of rubber seeds. The experimental results showed that (the perspective of the range is 0° to 90°): When height increased from 0.5 m to 2.0 m, the collision force increased from 1.712 to 3.461 N. When the Angle increases from 30 degrees to 90 degrees, the impact force increases from 0.831 N to 2.401 N. When the initial velocity increased from 0.5 to 5.0 m/s, the impact force increased from 1.781 to 3.311 N. Through the SPSS software was used

to estimate the curve and fitting out the optimal model, and it could concluded that the height, angle and initial velocity were positively correlated with the impact force, and the correlation was significant. The results of homogeneity test showed that the variance of the three groups was homogeneity in height, initial velocity and angle. According to the experimental data, the formula was derived by multiple linear regression analysis. The results can be combined in different cases of the size of the rubber seed crushing force, which provide a test to design the reasonable structure of cutting, enabling the machine to complete the shell work more efficiently.

**Keywords:** rubber seed; shock characteristic; collision force; data acquisition system

橡胶籽是橡胶树的一种高附加值副的产品,对其外壳制备的活性炭可应用于医学、食品及工业等多种领域;其籽仁油精炼后可获取富含不饱和脂肪酸的高品质食用油,功效与深海鱼油相近<sup>[1]</sup>。橡胶籽属于坚果类,脱壳程度直接影响炼油的品质。由于橡胶籽外形复杂、种类繁多<sup>[2]</sup>,壳仁分离难度大,用已有的其他种类坚果脱壳机处理橡胶籽时效率较低,所以开发专用的橡胶籽脱壳机<sup>[3]</sup>尤其重要,而橡胶籽的冲击特性则是设计脱壳机结构的理论基础。

目前对临界破碎力的研究较多,对橡胶籽冲击特性的研究较少。何焯亮等选取加载速度、方向、挡板材料、含水率、球度等因素,进行破坏力试验<sup>[4]</sup>,分析以上指标对橡胶籽外壳破碎力的影响<sup>[5]</sup>,进行了剥壳机的设计<sup>[6]</sup>,但忽略了外界因素对碰撞力的影响,使得在破碎时机器破壳结构与外界因素作用未达到最优解,从而不能达到预期的脱壳效果。本研究拟对橡胶籽冲击特性进行试验研究,以了解冲击破碎的基本规律,以为今后脱壳机械的优化设计提供试验依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 试验材料

橡胶籽呈卵圆形,褐色并带有银灰色斑纹<sup>[7]</sup>,由籽壳和

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:51465015)

作者简介:李梓豪,男,海南大学在读本科生。

通信作者:王涛(1980—),男,海南大学副教授,硕士。

E-mail: gxdxyjs@163.com

收稿日期:2017-09-07

籽仁组成。籽外壳坚硬,厚度约为1 mm,有一定韧性,籽仁含油量高,约占50%。试验所用的橡胶籽来自海南省澄迈县橡胶园,成熟橡胶果经干燥及破壳处理后得到的橡胶籽。从中选取纵棱 $L$ 约为24 mm、横棱 $W$ 约为20 mm、侧棱 $H$ 约为17 mm的橡胶籽作为试验对象,橡胶籽尺寸示意图见图1。

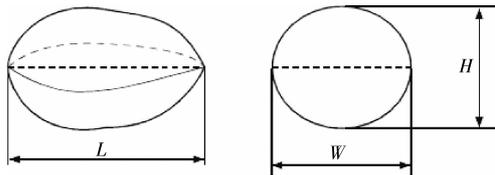


图1 橡胶籽尺寸示意图

Figure 1 Schematic diagram of rubber seed size

1.2 试验仪器

电子数显游标卡尺:规格0~200 mm,桂林量具刀具有限公司;

数据采集仪:RFP-CJ8型,宇博智能科技(杭州)有限公司;

RFP薄膜压力传感器:RFP-612型,宇博智能科技(杭州)有限公司。

其中RFP薄膜压力传感器可对任何接触面的压力进行静态和动态测量,并且通过多通道压力采集仪,可以在PC端的软件上以直观、形象的二维图像实时显示各点的压力值,并且可随时对测量记录进行查看、分析。

1.3 试验原理

在不同外界条件作用下,将橡胶籽释放并撞击传感器,传感器将施加在其感应区域的压力变化转换成电阻信号,然后使用数据采集仪,根据力-电阻的标定关系曲线获得外界所施压力的变化信息,从而在PC端软件上显示出橡胶籽的碰撞力,进而分析不同外界条件对橡胶籽碰撞力的影响,数据采集装置见图2。



图2 数据采集装置实物图

Figure 2 Physical picture of data acquisition device

1.4 试验方法

挑选若干个形状和重量相似的橡胶籽,采用单因素试验方法,将传感器放在地面上,由不同的撞击条件测出试验所需碰撞力。如图3所示,从0.5 m到2.0 m每隔0.1 m取一个高度无初速度释放橡胶籽,测量并记录橡胶籽的碰撞力;

如图4所示,保持高度1.0 m不变,从30°到90°每隔5°设置一个对应角度的斜面,将橡胶籽从斜面上端无初速释放,测量并记录橡胶籽到达斜面底端撞击传感器时的碰撞力;保持高度1.0 m、斜面角度90°不变,从0.5 m/s到5.0 m/s每隔0.5 m/s设置一个试验的初速度,测量并记录橡胶籽的碰撞力;试验记录的每个数据是由多次测量,去除粗大误差后取平均值得到。

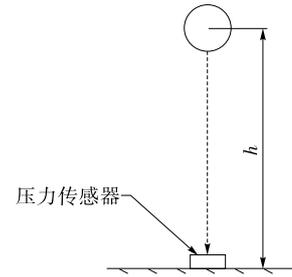


图3 试验过程示意图

Figure 3 Schematic diagram of the experimental process

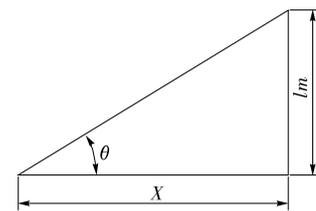


图4 斜面示意图

Figure 4 Schematic diagram of slope

2 结果与分析

2.1 曲线估计

2.1.1 高度与碰撞力 采用SPSS Statistics 22.0软件对高度与碰撞力进行不同函数模型的曲线估计,结果见图5,以判定系数 $R^2$ 、回归系数和显著性水平P值为主要依据,筛选出图5中的最优曲线拟合模型(幂函数),见图6。随着高度的增加碰撞力逐渐增大。根据动能定理可算出橡胶籽和传感器碰撞前瞬间的速度 $V = \sqrt{2gh}$ ,根据动量定理可知 $F = m \frac{V}{t}$ (初速度为零),其中 $t$ 为碰撞作用时间,将其理想化认

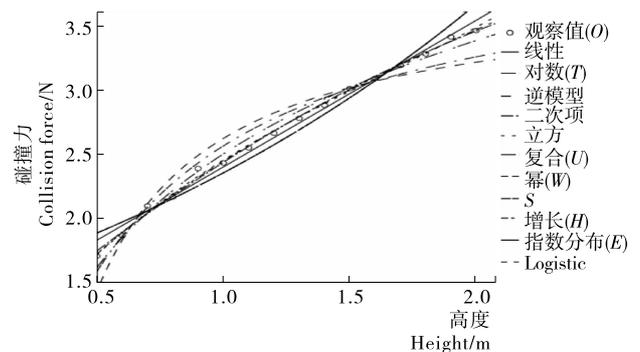


图5 高度和碰撞力对于不同函数模型的曲线估计图

Figure 5 The graph of height and collision force for different functional models

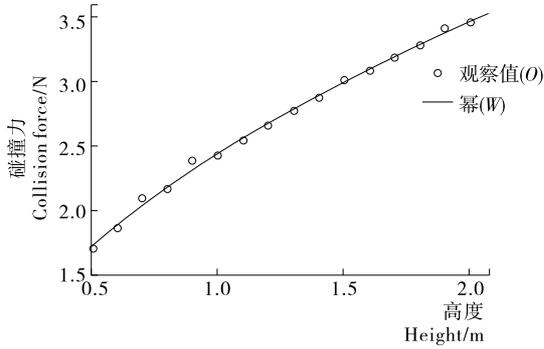


图 6 高度和碰撞力的最优模型图

Figure 6 The optimal model of height and collision force

为  $t$  在不同条件下变化不大,将其视为常数;故  $F = \frac{m \sqrt{2gh}}{t}$ ,

在此理想化条件下,可知本次试验结果符合物理规律。

2.1.2 角度与碰撞力 采用 SPSS Statistics 22.0 软件对角度与碰撞力进行不同函数模型的曲线估计,结果见图 7,以判定系数  $R^2$ 、回归系数和显著性水平  $P$  值为主要依据,筛选出图 7 中的最优曲线拟合模型(复合函数),见图 8。随着角度的增加碰撞力逐渐增大,而且增长速度逐渐增加。由动能定理和动量定理推导可知  $F = m \frac{\sqrt{2gh - \mu gX}}{t}$ ,由于不同角度的斜面材料一致所以  $\mu$  值相同;和高度分析一样将  $t$  视为定值;当角度增加时,保持高度 1.0 m 不变可知  $X$  值不断减小,从而使得  $F$  增加。

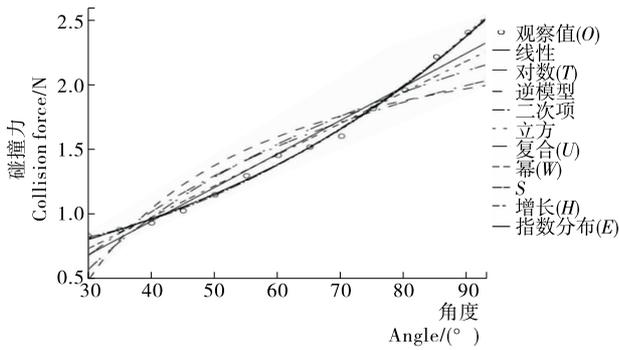


图 7 角度和碰撞力对于不同函数模型的曲线估计图

Figure 7 The graph of angle and collision force for different functional models

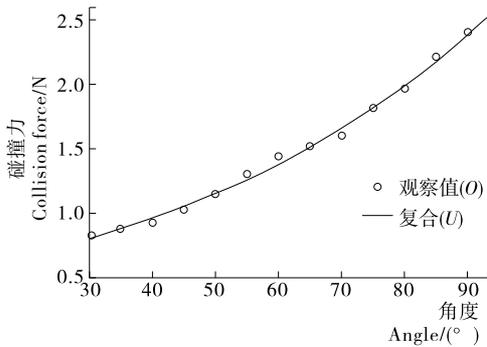


图 8 角度和碰撞力的最优模型图

Figure 8 The optimal model of angle and collision force

2.1.3 初速度与碰撞力 采用 SPSS Statistics 22.0 软件对初速度与碰撞力进行不同函数模型的曲线估计,结果见图 9,以判定系数  $R^2$ 、回归系数和显著性水平  $P$  值为主要依据,筛选出图 9 中的最优曲线拟合模型(指数函数,以  $e$  为底),见图 10。随着初速度的增加碰撞力逐渐增大。初速度的变化由动能定理可以转变为高度的变化,即由初速度可推算出相对应的零初速度的高度,所以可知初速度越大相对应的假设高度越高,由高度试验结果可知,碰撞力  $F$  也越大,即该试验结果符合物理规律。

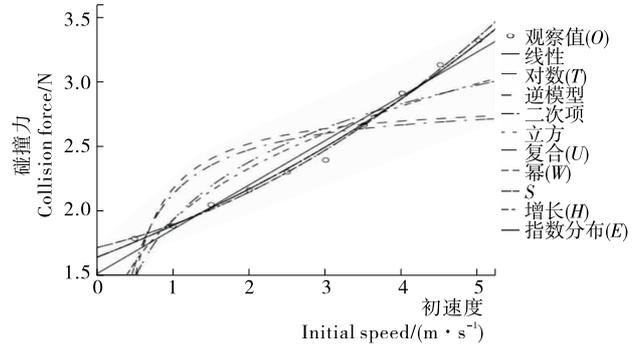


图 9 初速度和碰撞力对于不同函数模型的曲线估计图

Figure 9 The graph of initial speed and collision force for different functional models

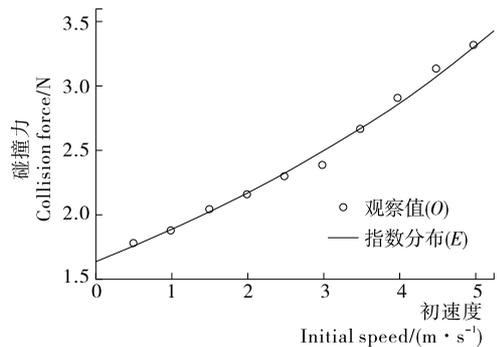


图 10 初速度和碰撞力的最优模型图

Figure 10 The optimal model of initial speed and collision force

## 2.2 相关性分析

采用 SPSS Statistics 22.0 软件对图 6、8、10 中的数据进行相关性分析,结果见表 1。由表 1 可知,高度与碰撞力达到极显著性水平 ( $P < 0.01$ ),角度、初速度与碰撞力达到显著性水平 ( $P < 0.05$ );由于 Pearson 相关系数均大于 0.8,可知碰撞力与高度、角度和初速度的都呈较强正线性相关关系。

表 1 碰撞力和多因素的相关性<sup>†</sup>

Table 1 The correlation between collision force and multifactor

相关性	高度	角度	初速度
Pearson 相关性	0.996 **	0.989 *	0.986 *
显著性(双尾)	0.004	0.011	0.014

<sup>†</sup> \*\* . 在置信度(双测)为 0.01 时,相关性是显著的; \* . 在置信度(双测)为 0.05 时,相关性是显著的。

2.3 多元线性回归分析

2.3.1 拟合公式模型 通过 SPSS Statistics 22.0 软件采用逐步法,以碰撞力为因变量,依次以角度,角度和高度,角度、高度和初速度作为自变量,对上述图 6、8、10 的试验数据进行多元线性回归。

由表 2 可以看出,模型 1 的 P 值为 0.003,模型 2 的 P 值为 0.001,模型 3 的 P 值为 0.000,由于 3 个模型回归方程显著性检验的 P 值均小于显著性水平 0.01,因此被解释变量(碰撞力)与解释变量(高度、角度和初速度)间的线性关系显著,即建立线性模型是恰当的。

由表 3 可知,模型 1 中常数项的 P 值为 0.649;模型 2 中常数项的 P 值为 0.077,高度变量系数的 P 值为 0.025;而模型 3 中的常数项及 3 个变量系数的 P 值 < 0.01。即前 2 个模型都存在不显著的解释变量,则模型 3 为最终拟合结果,从表 3 中提取相应项的系数得到其表达式为:

$$Y = -1.246 + 0.024X_1 + 1.272X_2 + 0.192X_3, \quad (1)$$

式中:

Y——碰撞力, N;

X<sub>1</sub>——角度(0°~90°), (°);

X<sub>2</sub>——高度, m;

X<sub>3</sub>——初速度, m/s。

2.3.2 模型的验证 为防止样本的局限性,利用插入法选取样本外部的 4 组自变量,一方面用拟合的多元公式模型进行带入计算得出对应的碰撞力,另一方面用上述提到的试验方法测得真实的碰撞力。再对这两种方法得出的碰撞力大小进行比较得出直观散点图(见图 11),并根据式(2)、(3)求出相对误差 α 值,见图 12。由图 12 可清晰地看出,误差均在允许范围 ±5% 以内,进一步证明了由多元线性回归得出的公式模型的准确性。

$$\beta = b - b', \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{\beta}{b'} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

b——公式计算值, N;

b'——试验实测值, N;

β——绝对误差, N;

α——相对误差, %。

表 2 3 个模型的方差分析<sup>†</sup>

Table 2 The variance analysis of three models

模型来源	平方和	自由度	均方	F	显著性	
1	回归	5.320	1	5.320	14.645	0.003
	残差	3.633	10	0.363		
	总计	8.953	11			
2	回归	6.941	2	3.471	15.522	0.001
	残差	2.012	9	0.224		
	总计	8.953	11			
3	回归	8.369	3	2.790	38.212	0.000
	残差	0.584	8	0.073		
	总计	8.953	11			

<sup>†</sup> 模型 1~3 的预测变量分别为:常量、角度;常量、角度、高度;常量、角度、高度、初速度。

表 3 模型中变量的系数及其显著性

Table 3 The coefficients of variables in the model and their significance

模型来源	非标准化系数		标准系数	t	显著性	
	B	标准错误	β			
1	常量	-0.325	0.693	-0.468	0.649	
	角度	0.033	0.009	0.771	3.827	0.003
2	常量	-1.303	0.654	-1.992	0.077	
	角度	0.030	0.007	0.714	4.475	0.002
	高度	1.079	0.401	0.429	2.692	0.025
3	常量	-1.246	0.374	-3.333	0.009	
	角度	0.024	0.004	0.572	5.923	0.000
	高度	1.272	0.233	0.506	5.456	0.001
	初速度	0.192	0.043	0.427	4.423	0.002

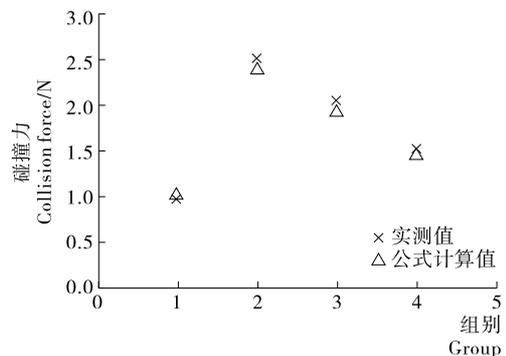


图 11 实测值与公式计算值的直观比较图

Figure 11 The visual comparison diagram of measured values and formula values

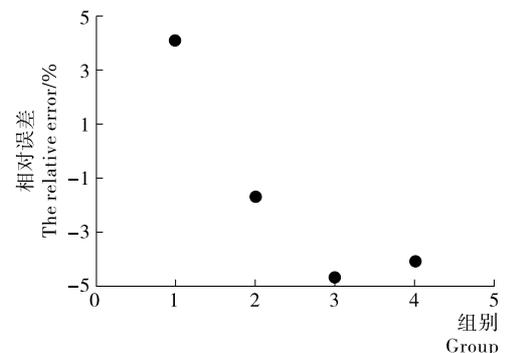


图 12 相对误差图

Figure 12 The graph of relative error

3 结论

(1) 本试验结果显示,高度、初速度、角度均和碰撞力呈正相关,而且相关性达到显著水平,在理想条件下由动能定理和动量定理推导验证可知试验结果及分析的正相关是正确的,符合物理规律;多元线性回归分析根据试验数据推出具有显著性的公式,并用插入法对公式模型进行了准确性验证。

(下转第 163 页)

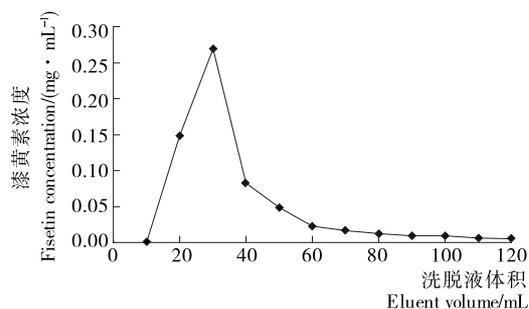


图6 洗脱曲线图

Figure 6 Elution curve diagram

以认为绝大部分漆黄素已被洗脱下来。故选择 80 mL 作为最适洗脱量,约为 4 BV。

### 2.3 精制次数对漆黄素纯度的影响

将黄栌叶粗提取物配置成浓度为 0.535 8 mg/mL 的溶液,以 2 BV 为上样量,1 mL/min 的流速通过 80~100 目的聚酰胺柱,吸附完成后,水洗至无色,然后用 4 BV 体积分数为 70% 的乙醇洗脱,收集洗脱液,减压浓缩至无乙醇味,冷冻干燥,计算纯化物中漆黄素的质量分数,重复精制 3 次。

表3 精制次数对漆黄素纯度的影响

Table 3 Effects of refined times on purity of fisetin

精制次数	粗品	1	2	3
漆黄素含量/%	10.30	30.51	59.46	79.82

由表 3 可知,黄栌叶粗提取物经过聚酰胺树脂的 3 次吸附和解吸后漆黄素含量由粗品的 10.30% 升高到了 79.82%,纯度提高了 6.75 倍。

## 3 结论

树脂法具有工艺简单,成本低廉,无有害残留物等优点,广泛应用于有效成分的分离与纯化。而聚酰胺可通过分子中的酰胺羰基与黄酮类化合物中的酚羟基形成氢键缔合而产生吸附作用,故聚酰胺是分离纯化黄酮类化合物较好的吸附剂。本试验考察了聚酰胺分离纯化黄栌叶漆黄素的工艺,确定了最佳条件:上样流速 1 mL/min,样品浓度 0.535 8 mg/mL,上样量 2 BV,洗脱剂为 70% 的乙醇,洗脱剂用量 4 BV,在此工

艺条件下,黄栌叶粗提取物经聚酰胺树脂精制 3 次后漆黄素纯度提高了 6.75 倍,表明此分离纯化方法可行。但本试验仅对聚酰胺树脂分离纯化黄栌叶漆黄素的工艺条件进行了单因素试验,在此基础上对纯化条件进一步优化,可通过正交或响应面法试验探究各影响因素之间关系,为下一步提纯工艺提供参考文献。

### 参考文献

[1] 王继红. 从木腊树中提取非瑟酮的研究[J]. 实验室科学, 2012, 15(6): 87-89.

[2] 廖洪利, 吴也, 臧志和. 漆黄素抗肿瘤作用研究进展[J]. 天津药学, 2013, 25(6): 44-46.

[3] 李建华, 段丹丹, 马聪玲, 等. 黄栌有效成分漆黄素提取工艺研究[J]. 中华中医药杂志, 2012, 27(7): 1 956-1 958.

[4] 陶峰, 颜仁杰, 周海凤, 等. 黄栌化学成分与药理活性研究进展[J]. 世界临床药物, 2014, 35(2): 109-112.

[5] 王俊杰, 江善青, 王刚, 等. 黄栌植物化学成分、药理作用与临床应用研究进展[J]. 国际中医中药杂志, 2015, 37(3): 283-285.

[6] 陈兴玉, 李萍, 张昌华, 等. 漆黄素与酸、碱、盐反应的动态紫外吸收光谱[J]. 光散射学报, 2013, 25(4): 429-432.

[7] 陈虹霞, 王成章. 漆树黄酮类化合物研究进展[J]. 天然产物研究与开发, 2013, 25(12): 1 752-1 758.

[8] 刘东锋, 李法庆, 杨成东. 一种漆黄素的提取方法: 中国, 201010500143.0[P]. 2010-10-09.

[9] 龙丽辉, 郭增军. 黄栌中漆黄素提取工艺及含量测定方法的研究进展[J]. 中华临床医学研究杂志, 2006, 12(21): 2 937-2 938.

[10] 张伟, 葛志强, 蒋建兰. 聚酰胺树脂分离纯化复方山楂提取物中总黄酮的研究[J]. 中草药, 2009, 40(1): 63-66.

[11] 王克勤, 严志慧, 罗军武, 等. 聚酰胺树脂分离纯化芹菜黄酮的工艺研究[J]. 食品与机械, 2009, 25(3): 46-50.

[12] 苗建武, 陈绍民, 王超, 等. 聚酰胺树脂分离纯化丹参总酚酸的研究[J]. 中国实验方剂学杂志, 2011, 17(3): 28-30.

[13] 周林. 桑枝黄酮提取分离及抗氧化活性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2011: 30.

[14] 申庆亮, 李建华, 于盛茂, 等. 紫外分光光度法测定黄栌糖浆中漆黄素含量[J]. 中国中药杂志, 1990, 15(7): 40-41.

[15] 董江涛. 柿黄酮的提取、纯化及抗氧化性研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2010: 43.

(上接第 94 页)

(2) 本试验讨论分析了不同外界条件下的橡胶籽所受碰撞力的大小,可结合橡胶籽的破碎力试验中不同情况的破碎力,设计合理的破壳机结构,从而控制高度、角度、初速度等因素,使得橡胶籽进入破壳机后能够更有效地完成脱壳工作。

(3) 后续可在本试验的基础进行更深层次的试验,得出多因素、更加全面、更加符合实际情况的力学模型,如进行有限元分析<sup>[8]</sup>等,使橡胶籽脱壳机模型更加趋于高效化和自动化。

### 参考文献

[1] 潘善甫, 郑联合. 食用橡胶籽油的开发利用研究[J]. 中国油脂, 2000(6): 114-115.

[2] 赵瀛华, 范武平, 范武波. 橡胶籽的全成分开发与利用[J]. 热带

农业工程, 2013, 37(2): 46-49.

[3] 王云. 一种橡胶籽脱壳设备: 中国, CN102160676A[P]. 2011-08-24.

[4] 何焯亮, 王涛, 嵇明志, 等. 橡胶果外壳破碎力试验[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(15): 3 655-3 658.

[5] 何焯亮, 王涛, 嵇明志, 等. 橡胶籽壳破碎试验研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(2): 128-131.

[6] 麦贤豪, 王涛, 林勇, 等. 橡胶果剥壳机设计[J]. 食品与机械, 2014, 30(6): 112-114.

[7] 袁江, 胡明辅, 毕二朋, 等. 橡胶籽的开发利用[J]. 中国农业科技导报, 2012, 14(1): 116-121.

[8] 张新, 王博, 张黎骅. 葵花籽仁力学特性的有限元分析[J]. 食品与机械, 2017, 33(2): 31-35.