

花生脱壳力学特性的实验研究

张黎骅^{1,2}, 张 文², 秦 文^{2,*}, 李明霞²

(1.重庆大学 机械传动国家重点实验室, 重庆 610044; 2.四川农业大学信息与工程技术学院, 四川 雅安 625014)

摘 要: 利用微机控制的电子拉压实验机对川西地区花生进行施压的力学实验。并以花生破损力为目标参数, 以施压方向、施压速率、含水率为因素进行三因素三水平有重复观测值的正交试验。结果表明: 花生壳厚沿不同部位均匀分布; 花生在被压缩时, 均会经过弹性变形、塑性变形和突然破裂 3 个阶段; 花生施压方向、施压速率、花生含水率对花生破损力都有极显著影响, 并得到不同方向在弹性范围内的花生壳压缩与变形的回归方程, 提出花生脱壳的最佳参数组合为花生施压力方向为顶面(x 向)、施压速率为 30mm/min、含水率 15.8%。

关键词: 花生; 脱壳; 力学特性

Mechanical Characteristics of Peanut Cracking

ZHANG Li-hua^{1,2}, ZHANG Wen², QIN Wen^{2,*}, LI Ming-xia²

(1. State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 610044, China;

2. College of Information and Engineering Technology, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China)

Abstract: To improve cracking quality of peanuts from the western part of Sichuan province, mechanical characteristics of peanut cracking were investigated using a computer-controlled electronic tension and compression machine. A 9-run, 3-level orthogonal array design was employed to examine the effects of pressure location, loading rate and water content on peanut breaking force. The results indicated that the thickness of peanut shell was evenly distributed in different parts of peanuts. During the compression of peanut shell, three stages, i.e., elastic deformation, plastic deformation and sudden rupture occurred. The above factors significantly affected the breaking force of peanut shell. Regression equations of loading force with respect to degree of deformation of peanut shell under different compression directions were obtained through force analysis and the optimal values of the above factors for peanut cracking were determined as follows: pressure location, top surface (along the x -axis); loading rate, 30 mm/min; and water content, 15.8%.

Key words: peanut; cracking; mechanical characteristics

中图分类号: S565.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2010)13-0052-04

花生是一种高营养的食品, 含有蛋白质 25% ~ 36%, 脂肪可达 40% 以上, 还含有丰富的 VB₂、VPP、VA、VD、VE、钙和铁等^[1]。花生的营养价值比粮食类高, 可与鸡蛋、牛奶、肉类等一些动物性食物媲美, 是近年特别为人们所关注的优质食品和食用油来源。对花生进行深加工时, 都必须对其进行脱壳, 花生脱壳是一个非常复杂的过程, 处理不当会造成大量花生粒损伤和破裂、严重影响其加工产品的品质。目前刘红力等^[2]对花生破壳力学特性进行了初步研究。为进一步深入研究花生脱壳的力学特性, 本研究对花生进行三因素三水平重复区组试验, 以期得到花生脱壳的最佳参数组合。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

花生为四川红米花生(*Arachis hypogaea* L.), 是四川花生主栽品种。

LDS-W10A 型微机控制电子拉压实验机 杭州艾斯达特检测仪器有限公司; 20-T(AS) 电热恒温干燥箱 南通联丰计量技术有限公司; JD2000-2 电子天平 北京中仪友信科技有限公司。

1.2 方法

1.2.1 花生壳厚度的测量

收稿日期: 2009-11-28

基金项目: 四川省教育厅青年基金资助项目(2006B011)

作者简介: 张黎骅(1969—), 男, 副教授, 博士研究生, 研究方向为现代农业装备与设施。E-mail: zhanglihua69@126.com

* 通信作者: 秦文(1967—), 女, 教授, 博士, 研究方向为农产品加工与贮藏。E-mail: qinwen1967@yahoo.com.cn

选取四川红米花生3组, 每组30个样本, 用游标卡尺测量花生壳顶部、腰部、柄部各部位的厚度并记录^[3-5]。

1.2.2 花生施压的力学实验

用LDS微机控制电子拉压实验机进行不同方向花生受压的力学实验, 对含水率为15.8%(湿基)的四川红米花生分别沿 x 、 y 、 z 三维方向以10mm/min速度进行施压至破壳^[6-11]。并测定花生破裂时的破损力。

破损力测定的方法如下: 采用压力实验机以不同速度对花生施压, 当压头接触到花生时, 其显示器开始显示压力数据; 直到花生因受力增大开始破裂时, 压力骤减而自动停机, 记录压力峰值; 每次实验时任意选用含水率相同的10颗花生, 最后取实验结果的平均值^[2,9,12]。

1.2.3 花生受压正交试验

对四川红米花生进行了以花生破损力为目标参数, 以含水率、施压速率和施压方向为因素进行了三因素三水平有重复观测值的正交试验, 试验按 $L_9(3^4)$ 排列。试验重复两组, 每组做5次, 取平均值。因素水平表如表1所示^[13]。试验数据采用Matlab软件进行回归分析和SAS软件进行极差和方差分析^[14-15]。

表1 正交试验因素水平表

Table 1 Factors and levels in the orthogonal array design

水平	因素		
	A 施压方向	B 施压速率/(mm/min)	C 含水率/%
1	正面(z 向)	30	7.35
2	侧面(y 向)	20	15.80
3	顶面(x 向)	10	23.48

注: 所有花生含水率均为湿基含水率。

2 结果与分析

2.1 花生壳厚度测定与分析

四川红米花生壳不同部位厚度的测量值和方差分析结果如表2、3所示。

表2 四川红米花生壳厚度测量结果

Table 2 Thickness of peanut shell measured at different positions

处理	观测数	求和	平均	标准差
处理1(顶部)	30	35.46	1.182	0.1332
处理2(腰部)	30	43.62	1.454	0.1722
处理3(柄部)	30	38.34	1.278	0.1176

表3 四川红米花生壳厚度方差分析表

Table 3 Variance analysis for the thickness of peanut shell measured at different positions

差异来源	平方和	自由度	均方	F值
组间	1.142	2	0.5709	4.049
组内	12.267	87	0.1410	
总计	13.409	89		

经过 F 检验, 得到 $F=F_{0.05(2,87)}=4.88$, $F < F_{0.05}$, 这表示各处理间的数据没有显著差异, 即可以证明不同部位的壳厚差异不明显。因此, 可将花生壳厚看成是均匀的。

2.2 花生压力分析

红米花生准静态施压实验方法参考文献[10]、[16], 其压力与变形关系曲线如图1所示。

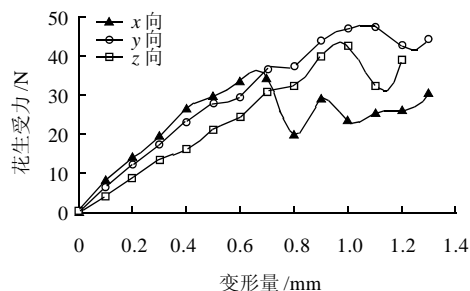


图1 花生受力与变形量的关系曲线

Fig.1 Curves between loading force and degree of deformation of peanut shell

由图1可知, 在一定范围内, 花生所受压力与变形量之间呈线性增长关系, 表明此刻发生了弹性变形。随着压力的逐渐增加, 弹性变形和塑性变形同时发生。在加载的后期阶段, 塑性变形是主要的。当压缩至花生承受某一载荷时, 花生壳开始出现裂纹, 此时花生的强度降低, 图中的曲线开始下降。此时, 所对应的最大压力即为花生破损力。

在弹性变形范围, 参考文献[7]方法拟合花生受力与变形量的线性回归方程为:

$$x \text{ 向: } F=42.4339S-0.0747(R^2=0.9942)$$

$$z \text{ 向: } F=43.9914S+3.7657(R^2=0.9884)$$

$$y \text{ 向: } F=51.6571S+3.5867(R^2=0.9877)$$

式中: F 为花生受力/N; S 为变形量/mm。

2.3 花生施压力学特性的主要影响因素

2.3.1 施压方向对花生破损力的影响

由图1可知, 红米花生从不同方向施压时, 花生所需的破损力是明显不同的。沿 x 向施压时花生所需的破损力最小(36.34N), 而沿 y 向施压时, 花生所需的破损力最大(48.59N), 而且变形也大, 容易使花生米破裂, 所以, y 方向是影响花生脱壳品质最不利的因素。

对3个方向出现最大破损力处进行单因素方差分析, 得到 $F=16.3574 > F_{0.01(2,12)}=6.93$, 说明花生施压方向对花生最大破损力影响显著。

2.3.2 含水率对花生破损力的影响

由图2可知, 花生破损力与湿基含水率(4.85%~32%)呈显著相关(在 x 方向: $F=22.4510 > F_{0.01(2,16)}=5.29$; 在 z 方向: $F=23.4404 > F_{0.01(3,16)}=5.29$), 最小破损力发

生在含水率为 15.8%，因为花生的含水率越低，花生壳的脆性越大，其能够抵抗破裂的能力就越小。所以，花生含水率在 15.8% 情况下脱壳其能量消耗最小。但含水率过高时(大于湿基含水率 25%)，花生壳较软容易变形，不易破裂。

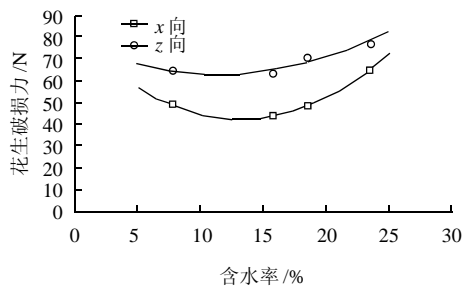


图2 花生含水率与破损失力的关系曲线

Fig.2 Effect of water content on breaking force of peanut shell

含水率和破损失力之间为非线性关系，在 x 方向时，其回归方程为：

$$F=79.7246-5.6435M+0.2129M^2$$

在 z 方向时，其回归方程为：

$$F=77.5301-2.5339M+0.1094M^2$$

式中： F 为花生破损失力/N； M 为花生湿基含水率/%。

2.3.3 施压速率对花生破损失力的影响

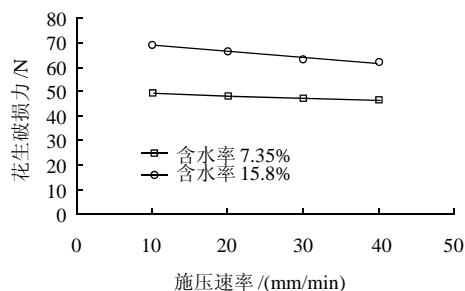


图3 施压速率与花生破损失力的关系曲线

Fig.3 Effect of loading rate on breaking force of peanut shell

从图3可以看出，当含水率在 15.8% 时，花生破损失力与施压速率是显著相关($F=7.1511 > F_{0.01(3,16)}=5.29$)，随着施压速率的增加，花生破损失力明显下降。其线性回归方程为：

$F=71-0.2442V(R^2=0.9840)$ ，式中： F 为花生破损失力/N； V 为施压速率/(m/s)。

当含水率为 7.35% 时，花生破损失力与施压速率无显著相关($F=0.9842 < F_{0.05(3,16)}=3.24$)。

2.4 正交试验分析

由表4可知，最优水平组合为 $A_3B_1C_2$ 。即花生施压方向为顶面(x 向)、施压速率为 30mm/min、含水率

15.8%。经实验验证，其破损失力为 22.53N，小于试验组9的破损失力。

表4 正交试验结果及极差分析

Table 4 Orthogonal experimental results and range analysis

试验号	因素			破损失力/N		合计/N	平均/N
	A	B	C	区组 I	区组 II		
1	1	1	1	49.52	47.64	97.16	48.58
2	1	2	2	66.45	65.82	132.27	66.14
3	1	3	3	62.91	61.57	124.48	62.24
4	2	1	2	34.48	35.29	69.77	34.89
5	2	2	3	85.95	83.73	169.68	84.84
6	2	3	1	76.36	77.92	154.28	77.14
7	3	1	3	32.82	33.86	66.68	33.34
8	3	2	1	33.77	34.63	68.40	34.20
9	3	3	2	26.79	26.68	53.47	26.74
k_1	58.99	38.94	53.31				
k_2	65.62	61.73	42.59				
k_3	31.43	55.37	60.14				
极差	34.19	22.79	17.55				

表5 方差分析表

Table 5 Variance analysis for the breaking force of peanut shell with various cracking conditions

变异来源	SS	DF	MS	F	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
区组	0.203	1	0.203	0.214	4.96	
因素A	3946.02	2	1973.01	2080.55**	4.10	7.55
因素B	1659.82	2	829.91	875.15**		
因素C	939.65	2	469.82	495.43**		
模型误差	700.73	2	350.36	369.46**		
实验误差	7.586	8	0.948			
总变异	7254.02	17				

注：**表示置信度水平 α 为 0.01 时差异极显著。下同。

由表5可知，模型误差与实验误差差异极显著，说明实验因素间交互作用极显著，因此，其因素间交互作用有待于进一步研究^[18]。 F 检验结果表明，施压方向、施压速率、花生含水率对花生破损失力都有极显著影响；区组间差异不显著。

为找出各因素最优水平组合，还需进行处理间的多重比较。其分析结果如6表所示。

表6 各处理平均数多重比较表(LSD法)

Table 6 Multiple comparison analysis for the orthogonal experimental results (LSD method)

试验号	\bar{x}	$\bar{x}-26.74$	$\bar{x}-33.34$	$\bar{x}-34.20$	$\bar{x}-34.89$	$\bar{x}-48.58$	$\bar{x}-62.24$	$\bar{x}-66.14$	$\bar{x}-77.14$
5	84.84	58.10	51.50	50.64	49.95	36.26	22.60	18.70	7.70**
6	77.14	50.40	43.80	42.94	42.25	28.56	14.90	11.00**	
2	66.14	39.40	32.80	31.94	31.25	17.56	3.90**		
3	62.24	35.50	28.90	28.04	27.35	13.66**			
1	48.58	21.84	15.24	14.38	13.69**				
4	34.89	8.15	1.54	0.68					
8	34.20	7.46	0.86						
7	33.34	6.60**							
9	26.74								

由文献[18]可知, 各处理均值标准误为:

$$s_{\bar{x}_{i-j}} = \sqrt{\frac{2MS_e}{r}} = \sqrt{\frac{2 \times 0.948}{2}} = 0.9737$$

式中: MS_e 为实验误差的平方均值; r 为模型误差的自由度; 取值见表 5。

$$LSD_{0.01} = t_{0.01(8)} \times s_{\bar{x}_{i-j}} = 3.355 \times 0.9737 = 3.267$$

由表 6 各处理平均数多重比较分析可知, 除试验组 4 与试验组 7、试验组 4 与试验组 8、试验组 8 与试验组 7 处理平均破损力差异不显著外, 其余各处理破损力间差异极显著。

3 结 论

3.1 花生在被压缩时, 均会经过弹性变形、塑性变形和突然破裂 3 个阶段; 但当花生过湿(含水率在 25% 以上)时, 花生一直呈弹性变形, 而很难压破。

3.2 花生施压方向、施压速率、花生含水率与花生破损力均为极显著相关, 要使花生脱壳破损力最小时, 最优水平组合为花生施压方向为顶面(x 向)、施压速率为 30mm/min、含水率 15.8%。

3.3 模型误差与实验误差差异极显著, 说明实验因素间交互作用极显著, 其因素间交互作用有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 万连步, 杨力, 张民. 花生[M]. 济南: 山东科技出版社, 2004: 3-5.
- [2] 刘红力, 张永丽, 高连兴, 等. 花生脱壳力学特性试验[J]. 沈阳农业大学学报, 2006, 37(6): 900-902.
- [3] ÇARMAN K. Some physical properties of lentil seeds[J]. J Agric Engng Res, 1996, 63(2): 87-92.
- [4] FASINA O O. Physical properties of peanut hull pellets[J]. Bioresource Technology, 2008, 99(5): 1259-1266.
- [5] AYDIN C. Physical properties of almond nut and kernel[J]. Journal of Food Engineering, 2003, 60(3): 315-320.
- [6] 郭贵生, 吕新民, 郭康权, 等. 油菜籽脱壳机脱壳性能试验研究[J]. 农业机械学报, 2005, 36(1): 148-150.
- [7] 潘周光. 茶叶梗茎剪切特性与嫩度关系的试验研究[J]. 茶叶科学, 2008, 28(6): 425-428.
- [8] FASINA O O. Compressibility and physical properties of peanut hull grinds[C]. 2007 ASAE Annual Meeting, 2007: 61-62.
- [9] 杨玉芬, 张永丽, 张本华, 等. 典型玉米种子籽粒的静压破损试验研究[J]. 农机化研究, 2008(7): 149-151.
- [10] 赵学笃, 马中苏, 孙永海, 等. 玉米籽粒力学性能的实验研究[J]. 吉林工业大学学报, 1996(1): 60-66.
- [11] AYDIN C. Some engineering properties of peanut and kernel[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 79(3): 810-816.
- [12] 曹玉华, 李长友, 张增学, 等. 蓖麻蒴果脱壳的力学分析[J]. 食品科学, 2008, 29(8): 137-139.
- [13] 马成良, 张海军, 李素平. 现代实验设计优化方法及应用[M]. 郑州: 郑州大学出版社, 2007: 121-159.
- [14] 包研科, 李腕绢. 数理统计与 MATLM 数据处理[M]. 沈阳: 东北大学出版社, 2008: 131-177.
- [15] 明道绪. 高级生物统计[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 296-298.
- [16] OGUNJIMI L A O, AYIARA N A, AREGBESOLA O A. Some engineering properties of locust bean seed[J]. Journal of Food Engineering, 2002, 55(2): 95-99.
- [17] 陈魁. 实验设计与分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006: 21-38.
- [18] 明道绪. 田间实验与统计分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 241-255.