

文章编号:1673-1689(2007)03-0056-05

影响板栗破壳力大小的因素

杨雪银¹, 齐延兴²

(1. 临沂师范学院 工程学院, 山东 临沂 276005; 2. 临沂师范学院 物理系, 山东 临沂 276005)

摘要: 用准静态压缩试验, 对影响板栗破壳力的不同因素——加载方向、板栗大小、加载速率、板栗含水率以及板栗的几何形状进行了分析。结果表明, 影响板栗破壳力的主要因素为板栗含水率、板栗大小以及加载方向; 在沿 Y 方向施加载荷时最省力; 由单因素试验得出了板栗大小和破壳力之间、板栗含水率与破壳力之间的函数关系式; 由多因素试验得出了板栗大小、含水率以及加载速率和破壳力之间的函数关系式。

关键词: 板栗; 含水率; 加载速率; 破壳力

中图分类号: TS 255. 1

文献标识码: A

A Study on Factors of Chinese Chestnut' Shelled Force

YANG Xue-yin¹, QI Yan-xing²

(1. College of Engineering, Linyi Normal University, Linyi 276005, China; 2. Department of Physics, Linyi Normal University, Linyi 276005, China)

Abstract: The effects of different factors, such as the loading direction, the size, the loading speed, the water content and geometry shape, on the chestnut shelled force were investigated in this manuscript. It was found that, (1) the loading direction, the size, and the water content play key role on the strength of chestnut; (2) at Y direction loading, the force was the smallest. A single factor experiment was develop to establish the relationships between the shelled force and size and water content, respectively. On the other hand, the multifactor experiment to establish the relationships between the shelled force and the size, water content and load speed.

Key words: Chinese chestnut; moisture content; loading speed; shelled force

板栗仁味道鲜美, 风味独特, 营养丰富^[1]。板栗的销售和消费受到了严重的季节性限制^[2], 所以板栗的深加工势在必行。板栗破壳是板栗深加工的首道工序, 也是深加工的技术难题之一。目前板栗的深加工主要以机械式破壳为主, 机械式破壳存在一个共同的缺点即板栗的破损率较高, 整仁率较低^[3]。造成板栗破壳效率低的因素较多, 作者主要对影响板栗破壳力的因素进行研究, 从而为板栗破

壳加工工艺提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

采用的试验样本为湖北省罗田地区产的中迟栗。板栗在 HPG-320H 型人工气候箱储存, 调节储存环境为: 温度 -1~0 ℃、相对湿度 90%~95%。在试验前先对板栗进行质量分级。随机取 100 粒

收稿日期: 2006-01-10.

作者简介: 杨雪银(1978-), 女, 山东阳谷人, 工学硕士, 讲师, 主要从事车辆工程研究. Email: xueyinyang@163.com

板栗,使用电子天平(精度 0.01 g)称量,板栗的质量都在 4~15 g 之间,根据质量的频率分布,把板栗分成表 1 所示的 A、B、C 3 个等级:

表 1 板栗的分级

Tab. 1 The quality grade of the chestnut

级别	大小(质量)范围/g
A	>10.09
B	7.46~10.09
C	<7.46

1.2 试验装置

采用 RG2000-2 型微机控制电子万能试验机、KQY-500 型电热干燥箱、XMD 温度传感器;板栗分级采用 500 g 量程的电子秤,精确度 0.01 g。

1.3 试验方法

板栗的几何形状及空间加载方向见图 1,把板栗的宽度定为 X 向,长度定为 Y 向,厚度定为 Z 向^[4]。加载试验所采用的压头为平板压头(见图 2),主要在不同的加载速率、板栗含水率、板栗大小、加载方向以及不同板栗形状下,对板栗施力破壳,研究不同条件下的破壳力与影响因素之间的关系。

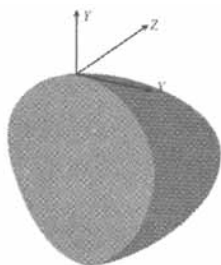
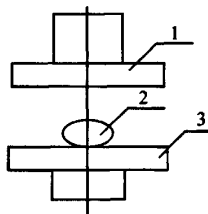


图 1 板栗的几何形状

Fig. 1 Geometry shape of Chinese chestnut's



1. 上压板; 2. 板栗; 3. 下压板

图 2 平板式压头

Fig. 2 Scheme diagram of Apron Compressive Chunk

2 单因素对板栗破壳力大小的影响

板栗破壳力的大小和破壳的难易程度,既与板栗本身的特性有关系,如板栗的含水率、大小、形状

及壳体的厚度有关,又和外界的加载方向、加载的速率因素有关。

2.1 加载方向对板栗破壳力的影响

取 B 等级、含水率为 54% 的半球形板栗,加载速率为 15 mm/min,通过对板栗沿 X、Y、Z 不同的方向加载直到板栗破裂。在每一方向下各做 10 次试验,根据每次试验的力-变形曲线,取板栗开裂时的破壳力值,分析不同方向对板栗破壳力的影响。在同一坐标系内,分别沿 X、Y、Z 3 个方向做破壳试验,其 F-S 曲线见图 3,由图可知加载方向不同,破壳力大小也不同。沿 Y 向加载时破壳力最小,沿 Z 向加载时破壳力最大,沿 X 方向需要的施力居中。

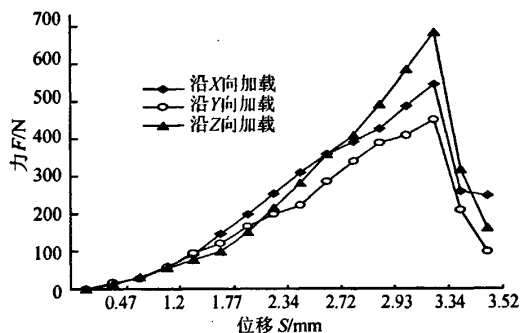


图 3 沿不同方向加载的 F—S 曲线

Fig. 3 The curve of F—S that following the different direction loading

分析破壳过程中的力-变形曲线,板栗在准静态压缩试验刚开始时,图中的曲线呈线性上升趋势。当压缩至某一载荷时,板栗的果壳纤维组织开始出现裂纹,此时果壳的强度降低,图中的曲线开始下降,这时板栗所承受的载荷称为“破裂载荷”^[5]。过此点后破壳力急剧下降,当变形量进一步增加时,板栗的变形量与加载力不再是线性关系,果壳继续开裂直至压碎。

板栗在不同的方向加载时,裂纹的产生部位和扩展方式不同。当沿 X 向加载时,果壳的对称面上产生沿 Y 向裂纹。中段的裂纹是从受力点开始向壳体中间延伸,有方向性。沿 Z 向加载时,裂纹是以加载中心为原点向四周辐射,裂纹发生的方向是随机的,但总的规律呈轮辐状,同时在加载中心有凹坑,并引起较大的变形。当沿 Y 的轴向加载时,裂纹产生的部位主要集中在壳体的尖端,因为尖端部分受力的截面面积很小,在此部分受力最大。

根据沿不同方向的加载试验方案,计算各个方向的破壳力均值,可得试验分析结果,见表 2。

经实测可知,壳仁之间的间隙沿 Y 方向最大;

果壳开裂时的破壳力值沿 Y 向加载时最小,X 向时次之,Z 向时最大;从破壳效果看,沿 Y 向的破壳效果最好,主要原因是 Y 向壳仁间隙最大,沿此方向加载可减少栗仁破损率,提高一次破壳率。另外,由于果壳组织结构的纤维是沿 Y 方向的,故沿 Y 向施加外力时,外壳易于破裂,同时也大大减小了破壳力的值。但是在实际破壳过程中,由于沿 X 向的破壳效果和破壳力值与沿 Y 向的差别不大,且沿 X 方向容易加载,故在其它单因素和多因素的破壳试验中,都选择沿 X 方向对板栗施加载荷。

表 2 不同方向加载时板栗的破壳力分布及壳仁间隙均值
Tab.2 The broken shell force and gap average value of Chinese chestnut's at different direction load

加载方向	破壳率/%	整仁率/%	破壳力均值/N	壳仁间隙均值/mm
X	99	94	610.99	0.70
Y	99	95	590.64	1.01
Z	92	91	761.95	0.36

2.2 板栗大小对破壳力的影响

取含水率为 54% 的半球形板栗,加载速率为 15 mm/min,通过对 A、B、C 3 个不同等级的板栗沿 X 向加载,直到板栗破壳。在每种情况下各做 10 次试验,根据每次试验的力-变形曲线,取每次板栗开裂时的破壳力值。试验数据经 SPSS 软件分析处理,可得破壳力和板栗质量之间的函数关系式:

$y = 92.334x_1 - 190.998 \tag{1}$

式中:y—破壳力(N);x₁—板栗质量(g)。

用方差分析对方程进行检验,结果见表 3。

经查表, $F_{0.01}(2,27) = 5.49$, $F = 92.2 > F_{0.01}(2,27)$,故板栗大小对板栗破壳力的影响极其显著。显然,板栗越大,所需施加的力越大;板栗越小,所需施加的力越小。所以板栗的大小是影响板栗破壳力大小的主要因素。

表 3 板栗质量的方差分析
Tab.3 The values of variance analysis

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值
回归	1 128 887.0	2	564 443.5	92.2
剩余	165 252.3	27	6 120.5	
总和	1 294 139.0	29		

2.3 不同加载速率对板栗破壳力的影响

速率范围的确定:一般农业物料压缩加载速率的范围为 2~100 mm/min,试验中选择的加载速率范围为 5~30 mm/min。在这个范围内等间距分成 6 个不同的加载速率,分别为 5 mm/min、10 mm/

min、15 mm/min、20 mm/min、25 mm/min 和 30 mm/min^[6]。在每一速率下各取 B 等级、含水率在 54% 的半球形板栗 20 粒进行破壳试验。根据每次试验的力-变形曲线,取板栗开裂时的破壳力值。

对不同的加载速率下的破壳力进行相关性分析,得出破壳力和加载速率之间的函数关系式:

$y = 310.968 + 2.695x_2 \tag{2}$

式中:y—破壳力(N);x₂—加载速率(mm/min)。

回归方程的方差分析见表 4,经查表 $F_{0.05}(5,54) = 2.34$, $F = 2.02 < F_{0.01}(5,54)$,故加载速率的大小对破壳力的影响不显著。

表 4 加载速率的方差分析
Tab.4 The variance analysis of the velocity

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值
回归	9 534.41	5	1 906.88	2.02
剩余	207 616.88	54	3 844.76	
总和	217 151.29	59		

但从破壳效果分析,在不同的加载速率下,比较每种加载速率下的 20 粒板栗的破壳率依次为 82%、88%、95%、95%、97%、98%;破损率依次为 7%、9%、10%、14%、16%、20%。可知,加载速率对于破壳效果的影响极为显著,降低加载速率,造成破壳率下降,整仁率提高;增加加载速率,破壳率提高,但整仁率降低。综合考虑,应该选择合适的加载速率,故在其它单因素试验中,所选的加载速率均为 15 mm/min。

2.4 板栗含水率对破壳力的影响

取 B 等级的板栗 5 份,每份有 10 粒半球形板栗,同时放在烘箱中。由板栗的干燥特性可知,对板栗连续烘 160 min 而使果仁不发生褐变甚至熟化现象的安全温度为 60~65 ℃^[7]。试验中选用的干燥温度为 60 ℃。试验中每隔 40 min 取出一份板栗,计算所取板栗的含水率并立刻进行破壳试验。试验中加载速率为 15 mm/min。不同干燥时间下板栗的含水率见表 5。

表 5 不同干燥时间的板栗的含水率
Tab.5 The water content Chinese chestnut's at the different drying time

时间/min	含水率/%
0	54.00
40	51.30
80	50.65
120	47.74
160	46.50

对不同含水率的板栗破壳时的最大破壳力进行方差分析,得出结果见表 6。

表 6 板栗含水率的方差分析

Tab. 6 Variance analysis				
方差来源	平方和	自由度	均方和	F 值
组间	717 797.5	4	179 449.4	40.6
误差	198 724.6	45	4 416.1	
总和	916 522.1	49		

注: $F_{0.05}(4,45)=2.60$ $F_{0.01}(4,45)=3.81$

表 6 中 $F=40.6>F_{0.01}(4,45)$,故板栗含水率对破壳力的影响极为显著,不同含水率板栗的破壳力均不相等。对试验数据进行曲线拟合,得到板栗含水率和破壳力之间的关系曲线。如图 4 所示,可知破壳力和板栗含水率之间的关系为非线性的,并求出破壳力 y 与板栗含水率 x_3 之间的关系式:
$$y=-50\ 181.89x_3^2+58\ 032.65x_3+10\ 981.39,$$
$$(0.46 < x_3 < 0.54) \tag{3}$$

式中: y —破壳力(N); x_3 —含水率(%)。

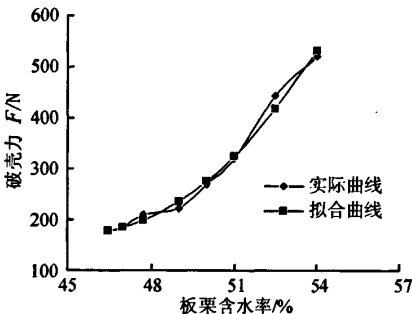


图 4 含水率和破壳力的关系曲线

Fig. 4 The relationship of water content and break force

对非线性回归方程进行拟合分析^[8],用非线性关系的相关指数 $\tilde{R}^2$ 验证,得到观测值和拟合值之间的相关系数 $\tilde{R}^2=0.991$ 。此系数非常接近于 1,即相关性系数很大,因此方程拟合良好。

2.5 板栗的形状对破壳力的影响

板栗的几何形状近似可分为球形、半球形和扁平形。取 B 级、含水率为 54% 的板栗,在加载速率为 15 mm/min 时,对每种形状的板栗各做 5 次试验,对板栗施加载荷直至开裂,根据每次试验的力—变形曲线,取板栗开裂时的破壳力值,从而判断板栗的形状对板栗破壳力的影响程度。对 3 组不同几何形状的板栗破壳力进行方差分析,结果见表 7。

由表 7 可知,各形状因素间 $F=2.80<F_{0.05}(2,12)$,故板栗形状对破壳力的影响不显著,板栗破壳时对板栗的几何形状不作要求。

表 7 板栗形状的方差分析

Tab. 7 Variance analysis

方差来源	平方和	自由度	均方和	F 值
组间	587 719.20	2	293 859.60	2.80
误差	1 258 294.83	12	104 857.90	
总和	1 846 014.03	14		

注: $F_{0.05}(2,12)=3.89$

通过对板栗力学特性的单因素试验研究,得到影响板栗破壳力的主要因素为板栗的含水率、板栗大小及加载方向。

3 多因素对板栗破壳力大小的影响

由上述单因素试验得知,加载速率、板栗大小、加载方向、板栗含水率是影响板栗破壳力大小和破壳效果的主要因素。那么试验中,加载方向选用 X 方向,以板栗含水率、板栗大小、加载速率作为影响因子,进行 3 因素 2 水平的 $L_8(2^3)$ 型正交试验,其试验结果如表 8 所示。

破壳力 y 和板栗大小、加载速率、板栗含水率的三元一次回归函数关系式为

$$y=275.96+44.81x_1+0.99x_2+16.41x_3-9.08x_1x_2+51.05x_1x_3-6.56x_2x_3+16.87x_1x_2x_3 \tag{4}$$

式中: y —破壳力(N); x_1 —板栗质量(g); x_2 —加载速率(mm/min); x_3 —含水率(%)。

引入交互效应项并消去偏回归平方和比较小的因子 x_2 后,得到三元一次回归方程:

$$y=275.96+44.81x_1+16.41x_3-9.08x_1x_2+51.05x_1x_3-6.56x_2x_3+16.87x_1x_2x_3 \tag{5}$$

对回归方程进行显著性检验,利用方差分析,结果见表 9。

$F_{0.01}(6,1)=5859$, $F_{0.05}(6,1)=234$,故 $F_{0.01}(6,1)>F>F_{0.05}(6,1)$,说明回归方程显著,具有实际意义。再对回归系数进行分析, x_1x_2 和 x_2x_3 的回归系数均小于 $F_{0.05}(1,2)$,被剔除。经检验后的回归方程为:

$$y=275.96+44.81x_1+16.41x_3+51.05x_1x_3+16.87x_1x_2x_3 \tag{6}$$

4 结 论

1)由试验得出影响板栗破壳力的主要因素为板栗含水率、板栗大小以及加载方向;影响板栗破壳效果的主要因素有板栗含水率、加载速率。

表 8 三元一次回归正交试验设计表
Tab. 8 The values of orthoynonal experimental design

试验号		x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	y
1	1	1	1	1	1	1	1	1	390.46
2	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	234.91
3	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	386.00
4	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	271.71
5	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	183.14
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	299.29
7	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	209.86
8	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	232.29
B_j	2 207.66	358.50	7.94	131.26	-72.62	408.42	-52.46	134.98	651 578.67
b_j	275.96	44.81	0.99	16.41	-9.08	51.05	-6.56	16.87	81 447.33
SS_j		16 064.39	7.86	2 153.98	659.39	20 849.84	344.14	2 277.11	42 356.70

注： $B_j = l_{ij}$, $b_j = B_j/n$, $SS_j = nb_j^2$

表 9 多因素方差分析
Tab. 9 The multifact analysis of variance

来源	平方和	自由度	均方和	F 值
x_1	16 064.39	1	16 064.39	2 043.82
x_3	2 153.98	1	2 153.98	276.15
$x_1 x_2$	659.39	1	659.39	83.89
$x_2 x_3$	344.14	1	344.14	43.78
$x_1 x_3$	20 849.84	1	20 849.84	2 652.65
$x_1 x_2 x_3$	2 277.11	1	2 277.11	289.71
SSR	42 348.84	6	7 058.14	897.98
SSE	7.86	1	7.86	
SST	42 356.70	7		

2) 分别从 X、Y、Z 3 个方向对板栗施加载荷,破

壳力的大小为: $F_Z > F_X > F_Y$,沿 Y 向加载最省力。
3) 由单因素试验的结果可知,板栗含水率和板栗大小对破壳力的影响极为显著。

板栗含水率和破壳力之间的函数关系为:
 $y = -50\ 181.89x_2^2 + 58\ 032.65x_3 + 10\ 981.39$,
($0.46 < x_3 < 0.54$)

板栗质量和破壳力之间的函数关系式为:
 $y = 92.334x_1 - 190.998$

4) 由多因素试验,通过三元一次正交试验,建立了破壳力与板栗含水率、板栗质量、加载速率之间的数学模型:

$y = 275.96 + 44.81x_1 + 16.41x_3 + 51.05x_1x_3 + 16.87x_1x_2x_3$

参考文献(References):

[1] 鲁周民,张忠良.我国板栗贮藏加工现状及发展趋势[J].陕西林业科技,1999(1):71-73.
LU Zhou-min, ZHANG Zhong-liang. Our Chinese chestnut stores the processing present situation and the development tendency[J]. Shanxi Forest Science and Technology, 1999(1):71-73. (in Chinese)
[2] 田应秋,梁及芝.我国板栗生产现状、存在问题及发展对策[2006-01-13]. <http://www.banli.cn/17/20061136710-1.html>
[3] 佚名.新型板栗脱壳机[2006-07-22]. http://www.livecg.com/data/2006/0722/article_11250.html
[4] 栾玉振,袁月明.松籽壳体的几何特性和压缩破坏的试验研究[J].试验技术与试验机,1991,38(4):13-15.
LUAN Yu-zhen, YUAN Yue-ming. The seed shell geometry characteristic and the compression destroys experimental study[J]. Test Technology and Testing Machine, 1991,38(4):13-15. (in Chinese)
[5] 周祖铎.农业物科学[M].北京:农业出版社,1994:5,40-41.
[6] 冯和平,毛志怀.含水率、干燥温度和力裂纹对玉米力学性能影响的试验研究[J].粮油加工与食品机械,2003(4):48-50.
FENG He-ping, MAO Zhi-huai. Moisture content, dry temperature and strength crack to corn mechanics performance influence study[J]. Machinery For Cereals, oil and Food Processing, 2003(4):48-50. (in Chinese)
[7] 郑传祥.板栗干燥特性试验研究[J].食品工业科技,2000,21(2):8-10.
ZHENG Chuan-xiang. Chinese chestnut dry characteristics test research[J]. Science and Technology of Food Industry, 2000,21(2):8-10. (in Chinese)
[8] 余家林.农业多元试验统计[M].北京:北京农业大学出版社,1993:3.

(责任编辑:秦和平,杨萌)