

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.S0.029

锥篮式核桃破壳装置设计与试验^{*}

李忠新 刘奎 杨莉玲 阿布力孜·巴斯提 马文强 闫圣坤

(新疆农业科学院农业机械化研究所, 乌鲁木齐 830091)

【摘要】 为了分析锥篮式核桃破壳装置的破壳机理及破壳性能,设计了基于挤压摩擦机理的破壳装置,在该装置上进行了不同核桃品种、尺寸(以棱长为标准)、含水率对核桃破壳效果影响的单因素试验,确定核桃破壳装置最适锥篮角度为 6° ,破壳装置最适核桃物性选择为:棱长大于等于28 mm,壳厚度小于等于2 mm,湿基含水率介于8%~10%之间。

关键词: 核桃 破壳装置 力学分析 性能试验

中图分类号: S226.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)S0-0146-07

Design and Experiment of Walnut-cracking Device

Li Zhongxin Liu Kui Yang Liling Abulizi Basiti Ma Wenqiang Yan Shengkun

(Agricultural Mechanization Institute, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China)

Abstract

In order to study the walnut-cracking broken mechanism and performance of walnut-cracking device, the cracking experimental research for certain physical characteristics was done by using a walnut-cracking device based on extrusion friction mechanism. On this basic, walnut varieties, size (length of edge), the moisture content of walnut shell, which were investigated by single-factor experiments, were tested to specify the effects of walnut cracking. The result is that the optimal scope of walnut and machine was as follows: 6° as cone basket angle of device, edge length above 28 mm, thickness of the shell below 2 mm and 8%~10% as moisture content of walnut.

Key words Walnut, Cracking device, Analysis of force, Performance test

引言

目前,我国核桃栽种面积及栽种数量均居世界首位^[1],主要分布在西南、西北地区,尤其是新疆维吾尔自治区。我国的核桃产量虽高,但销售大部分以未加工的核桃为主,主要原因是核桃的外壳韧硬坚实难以剥除,而我国大部分地区核桃破壳仍以手工去壳为主,既耗费大量的人力和时间,又增加了生产成本,降低了核桃的市场附加值。如何利用机械化设备去除核桃的坚硬外壳成为一项重要的研究课题。

关于坚果破壳的研究有很多,已有研究^[2]表明

坚果破壳效果的好坏与其大小、形状、壳厚度有很大的关系。还有许多研究^[3-5]显示核桃的含水率、核桃壳厚度、大小、破壳时的受力位置等是决定核桃破壳效果的关键因素。具体到核桃破壳的研究,主要从3个方面进行讨论:①核桃的物理特性,包括品种、大小、壳厚度、湿基含水率等^[6-11],Sezai等^[10]通过研究不同核桃品种、核桃的棱长、厚度等,分析核桃破壳过程中其对核桃的影响;Ragab Khir等^[11]人研究了核桃的大小及含水率特性,为核桃破壳的研究奠定了基础。②核桃破壳过程中的力学特性分析,主要从有限元模型^[12-15]和破壳力方面分析,Faroogh Sharifian等^[15]人通过力学测试仪器检测分

收稿日期:2012-07-01 修回日期:2012-08-15

^{*} 农业部“948”计划资助项目(2012-Z57)、国家科技型中小企业技术创新基金资助项目(12C26216507297)和国家星火计划资助项目(2010GA890006)

作者简介:李忠新,研究员,主要从事农产品加工机械研究,E-mail: xjxn669@126.com

析了破壳过程中破壳力及破壳角度。③核桃破壳装置的设计制造^[16~20], Anderasen M S 等^[19] 研究发明了正锥形旋转破壳设备等。几乎没有研究将核桃破壳装置的设计与核桃的物理特性(包括品种、尺寸、湿基含水率方面)相结合分析特定破壳装置对何种核桃可实现最好的效果,并且以何种标准判定破壳效果。

本课题组根据摩擦挤压原理设计生产了锥篮式核桃破壳取仁设备^[13], 本文旨在通过对核桃在破壳机中运动过程的力学分析, 来探讨锥篮角度对核桃破壳过程的影响; 研究该设备对不同品种、尺寸、湿基含水率核桃的破壳效果。

1 试验设备

图 1 所示锥篮式核桃破壳装置, 由入料斗、减速器、间隙调节装置、破壳体和机体组成。

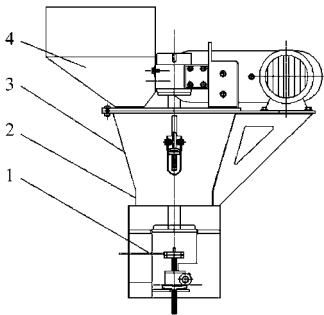


图 1 锥篮式核桃破壳装置简图

Fig. 1 Illustration of walnut-cracking equipment

1. 间隙调节装置 2. 机体 3. 破壳体 4. 入料斗

锥篮式核桃破壳装置主要部件为图 2 所示的两破壳体(包括外破壳体和内破壳体), 旋转的内破壳体上方通过轴与减速器连接, 下方通过轴承与间隙调节装置相连, 间隙调节装置由蜗轮蜗杆、刻度尺、调距手柄组成; 外破壳体通过锁紧挂钩与机体连接。旋转调距手柄用来调节两破壳体之间的间隙和角度, 使挤压间隙的最小宽度小于果壳的直径, 并接近于核桃果仁最大外径。两破壳体表面有许多斜条纹状的凸起并经过特殊处理, 用于增加与核桃接触的

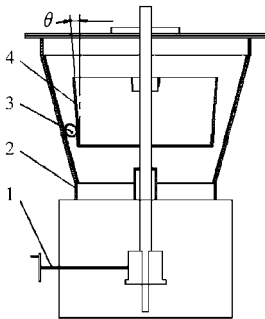


图 2 破壳体示意图

Fig. 2 Illustration of walnut-cracking bodies

1. 调距手柄 2. 外破壳体 3. 核桃 4. 内破壳体

粗糙度。落入破壳体狭缝的核桃, 随动破壳体运动而作自转运动, 在最窄处破壳后经出口甩出。

2 工作原理

破壳装置工作区材料选用表面花纹为菱形的花纹钢板, 硬度较高, 加上其表面的菱形花纹, 具有一定的摩擦力。核桃在破壳装置内受到内外破壳体的共同作用, 使核桃挤压变形, 最终外壳破裂, 完成破壳过程。为了分析核桃破壳机理, 估算核桃破壳所需力的大小, 必须建立核桃在破壳装置中的受力模型, 并作出如下假设: 破壳时, 核桃仅最大周向截面处受力; 分析核桃最大周向截面处受力情况时, 受力系统可由空间力系转换为平面力系; 破壳时, 核桃在破壳装置中处于受力平衡状态, 核桃自转为匀速旋转; 核桃壳可看作是具有一定弹性的薄球壳。

核桃破壳是核桃在破壳装置中受正压力和摩擦力综合作用的结果。核桃落入工作区后, 分别与锥篮和机体内壁接触, 并在两个接触面上受到弹力的作用。由于锥篮作高速旋转运动, 而核桃也因受锥篮作用进行旋转(其旋转线速度远小于锥篮旋转的线速度), 机体内壁处于静止状态, 因此核桃在两个接触面将受到摩擦力, 其大小与接触面上受到的弹力大小成正比。在弹力和摩擦力的作用下, 核桃最大周向截面将产生收缩形变, 形变后系统无法维持原有的平衡状态, 将在自身重力和弹力的作用下, 向下陷入一个新的可达到受力平衡的位置。同时由于收缩形变, 核桃在新的平衡下受到的弹力和摩擦力也将增大。此过程不断重复直到核桃壳的形变量与受力大于破壳所需的强度时, 核桃壳将破裂。核桃的自转运动使得核桃壳破裂后, 核桃仁可由破壳机构下方甩出, 减少了与破壳机构的接触时间, 可提高整仁率。

为了分析核桃破壳过程中的受力情况, 本文研究了核桃最大周向截面处的受力系统, 受力分析如图 3 所示。

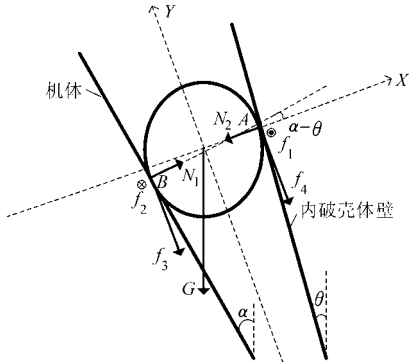


图 3 核桃破壳过程中的受力分析图

Fig. 3 Stress diagram of process of walnut cracking

图 3 中 A 、 B 为核桃与破壳装置的接触点,核桃在破壳装置中处于平衡状态,则

$$N_1 + mg\sin\theta - N_2\cos(\alpha - \theta) = 0 \tag{1}$$

$$N_2\sin(\alpha - \theta) - mg\cos\theta - f_s = 0 \tag{2}$$

$$N_1 = (\Delta V_1/V)G \tag{3}$$

$$N_2 = (\Delta V_2/V)G \tag{4}$$

$$f_1 = N_1\mu \tag{5}$$

$$f_2 = N_2\mu \tag{6}$$

$$\sum M = (f_1 + f_2)D/2 \tag{7}$$

式中 N_1 ——核桃与内破壳体接触时受接触面的弹力, N

N_2 ——核桃与外破壳体接触时受接触面的弹力, N

θ ——内破壳体与竖直平面的夹角

α ——外破壳体与竖直平面的夹角

f_1 ——核桃受内破壳体接触面的摩擦力, N

f_2 ——核桃受外破壳体接触面的摩擦力, N

V ——核桃体积, m^3

ΔV_1 ——核桃与内破壳体接触时接触面上的形变量, m^3

ΔV_2 ——核桃与外破壳体接触时接触面上的形变量, m^3

μ ——破壳装置动摩擦因数

M ——核桃受到的力矩, $\text{N}\cdot\text{m}$

G ——核桃弹性模量

D ——核桃直径

f_s ——静摩擦力

设核桃的总形变量为

$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 \tag{8}$$

核桃体积应变

$$\delta = \Delta V/V \tag{9}$$

联立式(1)~(6)、(9),解方程得

$$N_1 = \frac{\delta G \cos(\alpha - \theta) - g \sin\theta}{1 + \cos(\alpha - \theta)} \tag{10}$$

$$N_2 = \frac{\delta G + g \sin\theta}{1 + \cos(\alpha - \theta)} \tag{11}$$

核桃弹性模量设为 $10\text{ MPa}^{[21]}$, 质量为 20 g , 核桃与破壳体间的摩擦因数为 0.23 , 经 ANSYS 仿真测试“温 185”核桃破壳的体积应变为 3.5×10^{-4} , 当破壳体角度 $\alpha = 16^\circ$ 、 $\theta = 6^\circ$ 时, 得到 $N_1 = 173.7\text{ N}$, $N_2 = 176.3\text{ N}$, $f_1 = 40.0\text{ N}$, $f_2 = 40.6\text{ N}$ 。

在图 3 受力系统正交分解中, N_2 分解将产生一个向上的分力 $N_2\sin(\alpha - \theta)$, 由于重力不变, 随着作用力的增大, 将使核桃产生向上运动的趋势, 因此将产生平衡该趋势且与该趋势方向相反的静摩擦力 f_s , 且 $f_s = f_3 + f_4$, 将其代入式(2), 则 $N_2\sin(\alpha - \theta) -$

$mg\cos\theta - f_s = 0$ 。在设计锥篮倾角 θ 时, 由于机体壁的倾角不大, 正弦函数对角度的变化较敏感, 若 θ 取得较小, 分力 $N_2\sin(\alpha - \theta)$ 将迅速变大, 静摩擦力 f_s 将不足以克服核桃向上运动的趋势, 核桃将上移, 无法继续破壳。因此 $\alpha - \theta$ 的取值因小于核桃-机体接触系统当量摩擦角, 故 θ 不宜取得过小。 θ 取得过大, 机体壁与锥篮的间距变化率将变小, 破壳装置对核桃大小的选择范围将变窄, 同时破壳时间增长, 碎仁率增大。因此合理设计锥篮倾角 θ , 将对破壳效果产生重要的影响。

根据本破壳装置的原理分析, 本破壳装置中外破壳体倾角为 16° , 根据核桃与破壳体间的摩擦因数可知内破壳体倾角应大于 3° , 设计制造锥篮角度为 4° 、 6° 、 8° 、 10° 的 4 种不同内破壳体(图 2), 进行不同锥篮角度的对比试验。

3 试验材料与方法

3.1 试验材料

选用目前在新疆大面积种植的核桃品种:“温 185”、“33”、“新浦”、“一棵树”、“厚皮”为主要的试验品种。

3.2 试验方法

3.2.1 试验指标

如图 4 所示, 将破壳后的核桃仁分为 9 个等级, 并依据等级不同对其进行评分, 评分标准如表 1 所示。

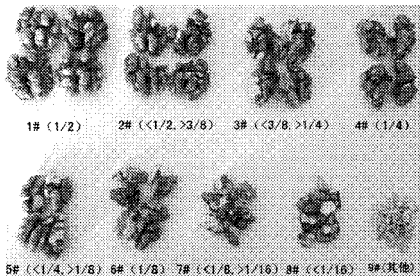


图 4 核桃仁大小等级示意图

Fig. 4 Grades of walnut kernel

表 1 核桃仁整仁等级评分标准

Tab. 1 Grade scoring criteria of walnut kernel									
等级 n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
分值 M_n	8	7	6	5	4	3	2	1	0

第 n 级的加合分 S_n 及每组试验所得结果加合分数 S_{tot} 表示为

$$S_n = M_n W_n \tag{12}$$

$$S_{tot} = \sum M_n W_n \tag{13}$$

其中

$$W_n = m_n/m_t$$

式中 M_n ——第 n 级核桃仁所对应的评分值

m_n ——每组样品中第 n 级核桃仁的质量, g
 m_t ——每组样品中核桃仁的总质量, g
 W_n ——每组样品中第 n 级核桃仁质量占核桃仁总质量的比重

式中, S_n 称为 n 级加合分数, S_n 介于 0 ~ 8 之间, 当 n 固定时, S_n 与 W_n 呈线性关系, W_n 越大, S_n 越大。当 n 越小、 S_n 越大时, 破壳效果越好, 但 $n = 9$ 时, 无论 W_9 如何变化, 始终有 $S_9 = 0$ 。核桃仁 S_{tot} 称为全级加合分数, S_{tot} 介于 0 ~ 8 之间, S_{tot} 越大, 说明核桃破壳效果越好, 当 S_{tot} 为 8 时, 意味着破壳后的核桃仁全为 1 级 (即 1/2 仁), 故将 S_{tot} 的大小作为判定核桃破壳效果好坏的指标。

3.2.2 试验设计

3.2.2.1 核桃品种物理特性试验

“温 185”、“33”、“新浦”、“一棵树”、“厚皮”5 个品种的核桃各随机选取 100 个作为试验样品, 利用精度为 0.01 mm 的千分尺测量每个核桃的长径 (L , mm)、棱长 (W , mm)、横径 (T , mm) 和壳厚度 (H , mm), 利用电子天平称量不同品种的核桃单果质量。

核桃的几何平均直径 $D_m^{[5-7]}$ 的计算公式为

$$D_m = (LWT)^{1/3} \tag{14}$$

用纵横比和球度表示核桃的形状, 球度^[8]公式为

$$\varphi = D_m/L \tag{15}$$

3.2.2.2 不同锥篮角度破壳效果对比试验

设计本破壳装置中外破壳体倾角为 16°, 选取内破壳体倾角为 4°、6°、8°、10°, 每组试验称取 10 kg “温 185”核桃, 放料速度一定, 转速为 1 400 r/min, 定时 3 min, 以 W_n 和 S_{tot} 为指标进行试验, S_n 及 S_{tot} 计算公式如式 (12)、(13) 所示, 每组分别进行 3 组平行试验。

3.2.2.3 不同品种破壳效果对比试验

由于核桃品种繁杂, 不同品种的核桃的壳仁间隙、壳厚度、形状各不相同, 考察不同品种的核桃的破壳效果, 对设备适应性研究具有重要意义。选取“温 185”、“33”、“新浦”、“一棵树”、“厚皮”核桃 5 个品种进行试验, 考察不同品种对核桃破壳效果的影响, 以 W_n 和 S_{tot} 为指标进行试验, 每组分别进行 3 组平行试验。

3.2.2.4 同一品种不同大小的核桃破壳效果试验

对同一品种的大、中、小核桃进行破壳, 考察本破壳取仁设备的破壳尺寸范围, 对本设备适合的核桃大小有深入了解。选取“温 185”品种大、中、小核桃进行同一品种不同大小破壳试验, 核桃大、中、小按棱长范围分类分别为 33 ~ 36 mm、31 ~ 33 mm、28 ~ 31 mm, 考察不同大小对核桃破壳效果的影响,

以 W_n 和 S_{tot} 为指标进行试验, 每组分别进行 3 组平行试验。

3.2.2.5 同一品种不同湿基含水率的核桃破壳效果试验

核桃含水率对外壳的强度、仁的粉碎度都有直接影响。一般情况下, 核桃湿基含水率越低, 其外壳越脆, 剥壳时易破壳, 但剥壳后混合物的粉末度增加。反之, 外壳的韧性好, 剥壳时的破壳率低, 但剥壳后的整仁率提高。在核桃剥壳时应保持适当的含水率, 既能使核桃破壳效果良好, 又能使整仁率高。因此, 控制核桃剥壳时的最佳含水率, 对提高剥壳效率和减少粉末度都十分重要。选取湿基含水率为 5.4%、10.8%、17.1%、19.5%、20.7% 的“温 185”核桃进行试验, 考察不同湿基含水率对核桃破壳效果的影响, 以 W_n 和 S_{tot} 为指标进行试验, 每组分别进行 3 组平行试验。

湿基含水率的测定方法: 参照 Gilberto^[22] 所使用的方法, 通过改变环境温度和环境湿度来调节核桃的湿基含水率。湿基含水率较低的核桃是通过将核桃样品放置在 43℃、空气湿度为 70% 进行预烘干来得到, 而湿基含水率较高的核桃则是通过放置在 28℃, 空气湿度为 95% 的纯水中进行复湿来得到, 在这些过程中, 核桃的质量要按时进行记录, 最后将核桃放置在 105℃ 的干燥箱中干燥 24 h, 前后两次质量差不超过 0.005 g 为止, 测定干燥前后质量差, 计算核桃湿基含水率, 每组分别进行 3 组平行试验。计算公式为

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_0} \times 100\% \tag{16}$$

式中 W_0 ——容器质量, g
 W_1 ——干燥前试样及容器质量, g
 W_2 ——干燥后试样及容器质量, g

4 试验结果及分析

4.1 不同品种核桃物理特性

表 2 所示为通过测量并计算得到的核桃长径、棱长、厚度、几何平均直径和球度的平均值。

核桃的物理特性主要通过棱长、长径和横径表示, 壳厚度也是破壳效果好坏的决定因素之一, 而核桃的球度代表着核桃的形状, 越接近于 1, 核桃越接近于球形。结合表 2 和图 5 可看出 5 种核桃品种中, 棱长大小排序依次为: 厚皮、新浦、33、温 185、一棵树; 长径大小排序依次为: 一棵树、新浦、33、厚皮、温 185; 横径大小排序依次为: 厚皮、新浦、温 185、33、一棵树; 壳厚度大小排序依次为: 厚皮、33、一棵树、新浦、温 185; 单果质量大小排序为: 厚皮、新浦、

表 2 5 种核桃品种的物理特性
Tab.2 Physical properties of five walnut cultivars

参数	温 185	33	新浦	一棵树	厚皮
棱长/mm	34.43 ± 1.09	35.08 ± 1.03	35.96 ± 1.17	34.14 ± 1.45	37.04 ± 1.86
	37.66 ± 1.93	43.25 ± 1.91	46.61 ± 2.17	47.53 ± 3.82	42.49 ± 1.15
长径/mm	38.54 ± 1.22	36.83 ± 1.29	39.02 ± 0.82	35.72 ± 2.66	41.47 ± 1.23
	1 ± 0.22	1.8 ± 0.21	1.4 ± 0.17	1.7 ± 0.10	2.6 ± 0.24
壳厚度/mm	15.3 ± 0.48	13.8 ± 0.67	16 ± 0.32	13.5 ± 0.52	22 ± 0.69
	36.83 ± 1.67	38.23 ± 1.41	40.29 ± 1.52	38.7 ± 2.71	40.26 ± 1.38
单果质量/g	0.98 ± 0.03	0.88 ± 0.02	0.86 ± 0.02	0.81 ± 0.03	0.95 ± 0.03

温 185、33、一棵树；球度大小排序为：温 185、厚皮、33、新浦、一棵树。其中温 185 核桃长径最短，棱长及横径也处于中间位置，球度为 0.98，在 5 个品种中属于最接近球形的核桃，壳较薄，单果质量为 15.3 g 左右，说明温 185 核桃属于皮薄仁大的核桃品种；厚皮核桃的棱长及横径最大，壳厚度最大，单果质量最大，形状也较接近于球形。一棵树的棱长和横径最小，但长径最长，球度最小，壳的厚度也处于中间水平，说明其最不接近球形。通过对核桃物理特性的分析，对进一步的破壳试验提供依据。

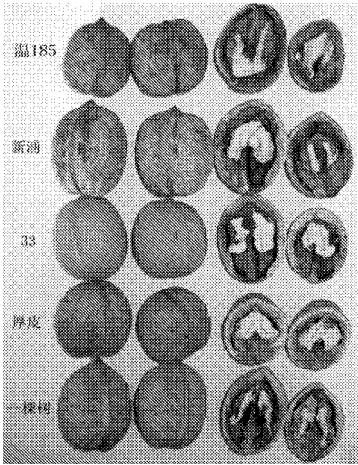


图 5 5 种品种核桃示意图

Fig.5 Photograph of five walnut cultivars

4.2 角度试验

不同内破壳体角度对核桃破壳效果的影响及 S_{tot} 如图 6、7 所示。

由图 6、7 可知，不同的内破壳体角度，各级核桃仁所占总核桃仁质量的比重不同，当锥篮倾角为 4°、8°、10° 时，核桃仁中 1 级约占到总质量的 25% 左右，但是同时，9 级即碎仁也较多，约为 5%，1/2 ~

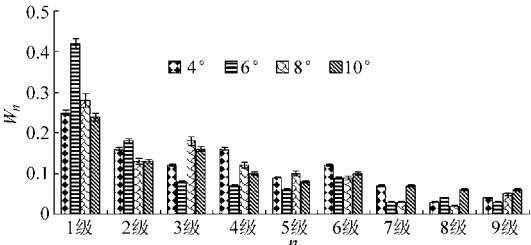


图 6 不同内破壳体角度对同一品种核桃破壳效果的影响

Fig.6 Effect of different basket angles on walnut cracking

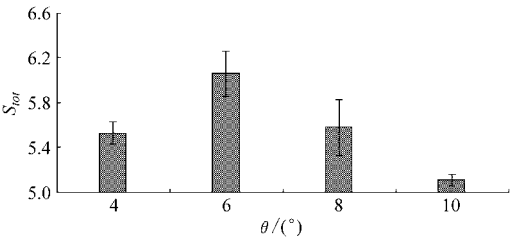


图 7 同一品种核桃在不同内破壳体角度条件下的 S_{tot}

Fig.7 Comparison of S_{tot} on different basket angles

1/4 仁的质量占总质量的比重较大，约占到了 60% 以上，故得到的整仁率较低，且碎仁率高，也提高了核桃的破壳成本。当内破壳体倾角为 6° 时，核桃仁中 1 级约占到总量的 43%，且碎仁较少， S_{tot} 也明显大于其他 3 个角度的 S_{tot} 值。故由以上试验可得出最适的内破壳体角度为 6°，此时破壳效果最佳。

4.3 不同品种破壳效果对比试验

不同品种核桃对破壳效果影响及 S_{tot} 如图 8、9 所示。

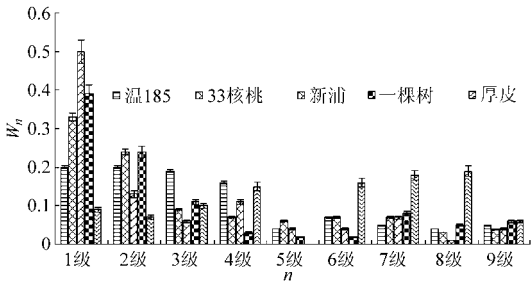


图 8 不同品种核桃对核桃破壳效果的影响

Fig.8 Effect of different walnut cultivars on walnut cracking

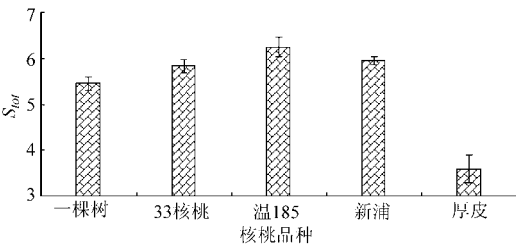


图 9 不同品种核桃的 S_{tot}

Fig.9 Comparison of S_{tot} on different walnut cultivars

由图 8 可以看出，不同品种的核桃破壳后核桃仁所占总核桃仁的比重差距很大，其中温 185 外壳

较薄,核桃仁体积相对较小,壳仁空隙较大,故核桃的整仁(1级)较多,接下来依次是新浦、33、一棵树,而厚皮核桃的外壳较厚,壳仁空隙较小,个头大小相差较大,破壳效率相对较低,碎仁(7~9级)较多。图9显示,不同品种核桃的 S_{tot} 大小顺序为:温185、新浦、33、一棵树、厚皮,由此可知,该破壳装置较适用于温185、新浦、33、一棵树等,且壳厚度小于2 mm、壳仁空隙较大的核桃品种。

4.4 同一品种不同大小的核桃破壳效果试验

同一品种不同大小的核桃对破壳效果的影响及 S_{tot} 如图10、11所示。

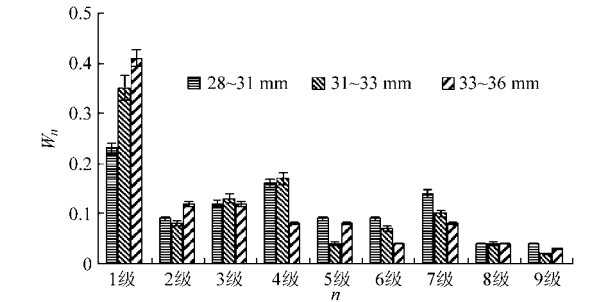


图10 同一品种不同核桃大小对核桃破壳效果的影响
Fig. 10 Effect of different sizes of walnut on walnut cracking

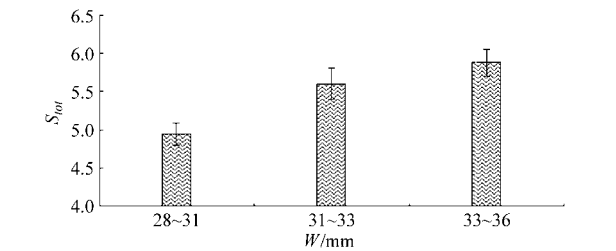


图11 不同大小核桃的 S_{tot}
Fig. 11 Comparison of S_{tot} on different sizes of walnut

从图10可以看出,同一品种不同大小的核桃破壳后核桃仁所占总核桃仁质量的比重差距不大,对同一品种而言,随着核桃的增大,相同等级的核桃仁之间的 W_n 较为接近。图11所示, S_{tot} 的大小顺序为:大(33~36 mm)、中(31~33 mm)、小(28~31 mm),而且核桃个头越大,破壳后的整仁率越高,由此可知,本设备对核桃大小的适应性广泛,可适用于棱长大于28 mm的大、中、小核桃,且破壳效果良好。

4.5 同一品种同等大小不同湿基含水率的核桃破壳效果试验

同一品种同等大小不同湿基含水率的核桃对破壳效果的影响及 S_{tot} 如图12、13所示。

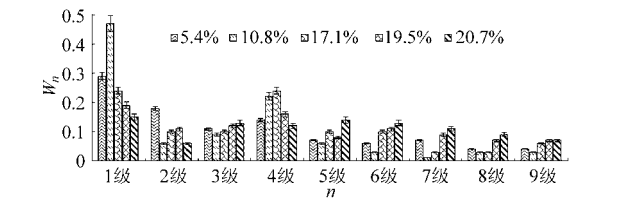


图12 同一品种同等大小不同湿基含水率对核桃破壳效果的影响
Fig. 12 Effect of different moisture content on walnut cracking

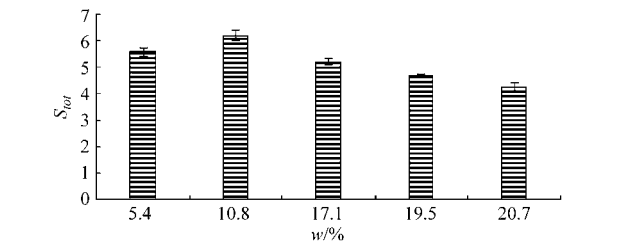


图13 同一品种同等大小不同湿基含水率的 S_{tot} 值的比较
Fig. 13 Comparison of S_{tot} on different moisture content

从图12、13可以看出,不同湿基含水率的核桃的破壳效果,用 S_{tot} 表示呈正态分布,核桃湿基含水率越低,核桃壳脆性越大,韧性越小,当湿基含水率为5.4%时,整仁的比例相对较高,但不如湿基含水率为10.8%时,湿基含水率为10.8%的核桃破壳后,整仁率最高,碎仁也较少, S_{tot} 也最大,由于本破壳设备是根据摩擦挤压原理设计,故湿基含水率过高,对破壳效果也有一定的影响,同一品种不同湿基含水率的核桃破壳效果差异也很大。当湿基含水率为10.8%时,温185核桃的破壳效果最好,湿基含水率为5.4%时破壳效果也较好,由此可估测当核桃湿基含水率为8%~10%之间时,核桃破壳效果最好。

5 结论

(1)利用摩擦挤压原理,通过对核桃在破壳体中运动过程的受力分析,建立受力模型,分析得出锥篮式核桃破壳装置锥篮角度为6°时,装置破壳效果最好。

(2)在锥篮式破壳装置定型基础上对不同核桃品种、大小(以棱长为标准)、含水率对核桃破壳效果影响的单因素试验,得到破壳装置最适核桃物性选择为:棱长大于等于28 mm,壳厚度小于等于2 mm,湿基含水率介于8%~10%之间。

参 考 文 献

- 1 Food and Agriculture Organization. FAO production yearbook; 2002[J]. New York: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2002.
- 2 Kashaninejad M, Safekordi A A, Tabil L G. Some physical properties of Pistachio (*Pistacia vera* L.) nut and its kernel[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 72(1): 30 ~ 38.
- 3 Liang T A. A new processing for maximizing macadamia nut kernel recovery[J]. Transactions of the ASAE, 1977, 20(3): 438 ~ 443.
- 4 Liang T A, Chin L, Mitchell J B. Modelling moisture influence on macadamia nut kernel recovery[J]. Transactions of the ASAE, 1984, 27(5): 1 538 ~ 1 541.
- 5 Ozdemir M, Ozilgen M. Comparison of the quality of hazelnut unshelled with different sizing and cracking systems[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1997, 67(3): 219 ~ 227.
- 6 Altuntas E, Ozkan Y. Physical and mechanical properties of some walnut (*Juglans regia* L.) cultivars[J]. Int. J. Food Engineering, 2008, 4(4): 10 ~ 16.
- 7 Kocturk B O, Gurhan R. Determination of mechanical properties of various walnut according to different moisture levels[J]. Journal of Agricultural Science, 2007, 13(1): 69 ~ 74.
- 8 Koyuncu M A, Ekinici K, Savran E. Cracking characteristics of walnut[J]. Biosystems Engineering, 2004, 87(3): 305 ~ 311.
- 9 Mehmet A K, Kamil E, Ayse G. The effects of altitude on fruit quality and compression load for cracking of walnuts (*Juglans regia* L.)[J]. Journal of Food Quality, 2004, 27(6): 407 ~ 417.
- 10 Sezai E, Mazhar K, Ismail O, et al. Comparison of some physico-mechanical nut and kernel properties of two walnut (*Juglans regia* L.) cultivars[J]. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 2011, 39(2): 227 ~ 231.
- 11 Ragab Khir, Pan Zhongli, Griffiths G Atungulu, et al. Size and moisture distribution characteristics of walnuts and their components[J]. Food and Bioprocess Technology, DOI 10.1007/s11947-011-0717-1 2011, 11-23, published online.
- 12 Güner M E Dursun, Dursun I G. Mechanical behaviour of hazelnut under compression loading[J]. Biosystems Engineering, 2003, 85(4): 485 ~ 491.
- 13 李忠新, 杨军, 杨莉玲, 等. 一种核桃破壳取仁设备的研究[J]. 中国农机化, 2011(3): 104 ~ 106.
- 14 Mohsenin N N. Physical properties of plant and animal materials[M]. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1986: 20 ~ 89.
- 15 Farough Sharifian, Mohammadali Haddad Derafshi. Mechanical behavior of walnut under cracking conditions[J]. Journal of Applied Sciences, 2008, 8(5): 886 ~ 890.
- 16 Kenneth R Evans. Nut cracking apparatus; US, 4201126[P]. 1980-05-06.
- 17 Clarence Lloyd Warmack. Nut cracking apparatus; US, 6516714[P]. 2003-02-11.
- 18 Boekelheide, Kim. Cracking the nut[J]. Toxicological Sciences, 2004, 81(1): 1 ~ 2.
- 19 Michael S Andereasen. Application publication; nutcracker; US, 0193984 A1[P]. 2009-01-27.
- 20 Roy I Carriker, Kennewick. Nut cracker; US, 7011016[P]. 2006-03-14.
- 21 史建新, 赵海军, 辛东军. 基于有限元分析的核桃脱壳技术研究[J]. 农业工程学报, 2005(3): 185 ~ 188.
- 22 Gilberto C Braga, Sandra M Couto, Tetuo Hara, et al. Mechanical behaviour of macadamia nut under compression loading [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1999, 72(3): 239 ~ 245.