

碾搓式橡胶果脱壳试验

Experimental Study on Extrusion-grind Rubber Fruit Shell

何晓帆 王 涛 范海燕 吴 迪

HE Xiao-fan WANG Tao FAN Hai-yan WU Di

(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:为研究橡胶果脱壳效率随相关参数的变化规律, 确定最佳脱壳条件, 根据碾搓原理研制了橡胶果脱壳试验机。通过单因素试验和正交试验, 分析不同的挤压压力、摩擦速度和摩擦材料对脱壳率指标的影响规律及机器的最佳工作参数。结果表明: 随着摩擦速度增大, 脱壳率先增大后降低; 随着挤压压力的增加, 脱壳率线性增加; 摩擦材料依次取钢板、塑料板、木板、橡胶板时, 脱壳率逐渐降低。对橡胶果脱壳率的影响因素从大到小依次为挤压压力、摩擦材料、摩擦速度。当挤压压力为 700 N、摩擦速度为 46 mm/s、摩擦材料为钢板时, 橡胶果的脱壳率达到 81.8%。研究结果可为橡胶果脱壳机的整体设计提供试验依据。

关键词: 橡胶果; 脱壳率; 碾搓

Abstract: In order to research the change rules of rubber fruit shelling efficiency with the related parameters and determine the optimum conditions of shelling efficiency, a rubber fruit shelling test machine was developed according to the principle of extrusion-grind. By using the single factor and orthogonal tests to analyze the influence rules of shelling rate with different extrusion pressures, friction velocity and material, and the optimal operating parameters of the machine was found. The results were as follows. With the increase of friction velocity, shelling rate firstly increased and then decreased, and it increased linearly with the increase of extrusion pressure. Moreover, it was also found that the shelling rate gradually reduced, when friction material were steel, plastic, wood, rubber. The influence factors of rubber fruit shelling rate from high to low in order were extrusion pressure, friction material, friction velocity. When it worded with extrusion pressure at 700 N, friction speed at 46 mm/s, with steel friction material, the shelling rate reached 81.8%. The results could provide test bases for the whole design of rubber fruit sheller.

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 51465015)

作者简介: 何晓帆, 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: 2017-01-03

Keywords: rubber fruit; shelling rate; extrusion-grind

橡胶树广泛种植于中国南方地区, 橡胶果是橡胶树的种子, 由种壳和种仁组成, 种仁含油率约 50%^[1]。橡胶果油是一种保健食用油, 其理化性质与大豆油相近, 脂肪酸组成中不饱和脂肪酸占 80% 以上, 具有很高的营养价值^[2]。橡胶果也是一种重要的工业原料, 可用于油漆工业等^[3]。D Balköse 等^[4] 提出橡胶果油还是制造金属香皂的优质原始材料。橡胶籽壳是生产高品质木塑产品、果壳级活性炭等的优质原料。开发橡胶果资源对解决中国蛋白饲料短缺和实现资源综合利用具有重要意义。

目前中国橡胶果脱壳机械普遍采用辊子挤压^[5] 和离心撞击^[6] 2 种方法, 但都存在脱壳效率低, 果仁损伤率大等问题, 导致国内丰富的橡胶果资源没有得到充分利用。因此, 急需研制针对橡胶果的高效脱壳机械, 而确定机械脱壳部分的最佳工作参数则是其基础。国内外对各类坚果脱壳机器的试验研究较详尽, 但对橡胶果脱壳机的工作参数试验却显得不足。李君等^[7] 曾利用挤压剪切原理设计一款刀豆脱壳机构, 并对其进行正交试验研究得到双辊转速为 25 r/min、双辊材料为橡胶、双辊间隙为 18 mm 为最佳工作参数。Oluwole 等^[8] 将含水率、叶轮槽角度和数量作为变量研究离心式花生脱壳机的性能。张黎骅等^[9] 利用单因素试验和二次回归正交试验得到了滚筒-栅条式银杏脱壳机结构的最佳工作参数并进行优化。阮竞兰等^[10] 通过试验研究稻谷脱壳率与辊压、快辊线速、流量等因素的关系, 提高了胶辊磨谷机的工艺性能。中国学者对银杏^[11]、葵花籽^[12] 等都进行过碾搓式脱壳试验的研究, 结果显示碾搓式脱壳的效率较高, 果仁损伤率小。所以将碾搓原理运用到橡胶果脱壳机械上可能会带来较好的效果。为此, 基于对以上学者研究的分析, 设计一款碾搓式橡胶果脱壳试验机, 并通过试验找出其最佳工作参数, 旨在为后续高效橡胶果脱壳机的设计提供重要数据。

1 橡胶果脱壳试验机的设计

橡胶果脱壳试验机的总体结构见图 1。摩擦槽可在千斤顶的作用下沿导柱上升。摩擦板由电机带动,并在齿轮齿条等传动部件和限位开关等电器元件的作用下做往复直线运动,对放置于摩擦槽中的橡胶果进行碾搓。压力传感器和电机调速器测得挤压压力和电机转速。摩擦板通过两个角码固定,方便摩擦板面材料的更换。试验机的具体配置参数:电动机为 7IK400RGU-CF 型;滑块为 HGH-30CA 型;导轨为 HGR-30R 型;齿轮齿条模数为 2.5,齿轮齿数为 40;联轴器为 DJM03 型。

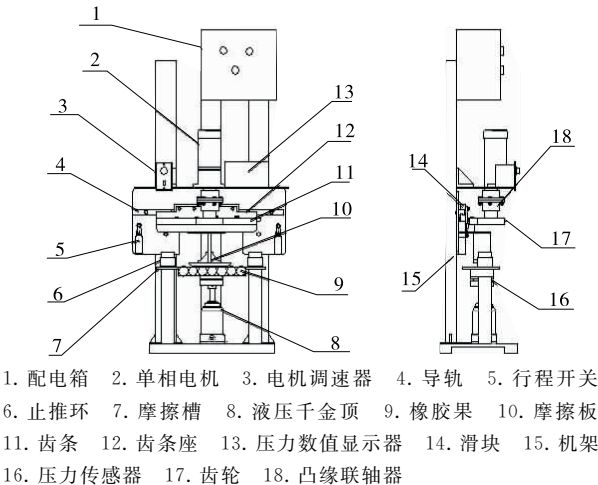


图 1 橡胶果脱壳试验机

Figure 1 Rubber fruit shelling test machine

2 材料与方法

2.1 材料与仪器

本次试验所需的橡胶果于 2015 年 4 月取自海南省儋州市橡胶林,去外壳,橡胶果子粒经过自然风干 1 年,测得含水率约为 12.5%;

电子秤:YHC-A6 型,精度 0.1 g,上海实润实业有限公司;

电子数字显示游标卡尺:ZH7438 型,规格 0~200 mm,精度 0.01 mm,桂林量具刀具有限公司;

由于试验属于平板碾搓,因此橡胶果自然放置和滚动时的高度需要保持一致。但橡胶果并非球体而呈现卵圆形^[13],自然放置与滚动时的高度分别是其高和宽,所以先通过电子数字显示游标卡尺测量其高宽并据此将其分成 5 组(极差为 1 mm),分组见表 1。每次试验都选取同一组的 10 个

表 1 根据橡胶果尺寸的分组

Table 1 Grouped according to the size of rubber seeds

分组	宽/mm	高/mm
1	17.2~18.2	16.0~16.9
2	18.2~19.2	17.0~18.0
3	19.2~20.2	18.0~19.0
4	16.8~17.8	15.0~16.0
5	19.2~20.2	15.0~16.0

橡胶果,避免每次试验橡胶果尺寸差异过大影响试验结果的准确性。

2.2 试验指标

根据试验目的和实际生产的需要,以橡胶果的脱壳率作为试验结果的主要评价指标。脱壳率按式(1)计算:

$$T = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

T ——橡胶果的脱壳率,%;

M_1 ——放入的橡胶果总质量,g;

M_2 ——未脱壳橡胶果质量,g。

2.3 试验方法

2.3.1 单因素试验

(1) 电机转速试验:固定参数为挤压压力 700 N,摩擦板面材料为钢板;变量为电机转速,分别设置为 175,350,525,700,875,1 050 r/min;脱壳率为评价指标。根据电机转速与摩擦板摩擦速度之间的公式:

$$v = \frac{n \times \pi d}{40 \times 60}, \quad (2)$$

式中:

d ——齿轮分度圆直径, $d=100$ mm;

n ——电机转速,r/min;

40——电机上减速机减速比。

则对应的摩擦板摩擦速度分别为 23,46,69,92,115,138 mm/s。

(2) 摩擦板面材料试验:固定参数为挤压压力 700 N,电机转速 350 r/min;变量为摩擦板面材料,分别设置为橡胶板、钢板、塑料板、木板;脱壳率为评价指标。

(3) 挤压压力试验:固定参数为电机转速 350 r/min,摩擦板面材料为钢板;变量为挤压压力,分别设置为 200,300,400,500,600,700 N;脱壳率为评价指标。

2.3.2 正交试验 综合单因素试验结果,选取摩擦板面材料、摩擦速度和挤压压力为影响因素,每个因素有 4 个水平,采用节选的 $L_{16}(4^5)$ 正交试验表设计试验,并以脱壳率为评价指标。

2.4 试验主要过程

每次试验前先测量将放入的橡胶果总质量,千斤顶降至最低,将橡胶果放入摩擦槽中,然后利用千斤顶升起摩擦槽使得胶果被压紧在摩擦板与摩擦槽之间,直到压力示数达到条件数值加上压紧前示数时启动电机。摩擦板左右往复摩擦两个来回后停止电机,测量未脱壳的橡胶果质量。代入式(1)计算脱壳率。相同条件下试验进行 5 次,结果取其平均值,每次试验样本为 10 个同组的橡胶果。

3 试验结果与讨论

3.1 单因素试验结果与分析

通过控制变量法,取挤压压力为 700 N,板面材料为钢板时,研究摩擦速度对橡胶果脱壳率的影响,结果见图 2。由图 2 可知,随着摩擦板摩擦速度增大,脱壳率呈现先增大后

降低的趋势。可能是,虽然摩擦速度增加带给橡胶果的动能增加,但在运动行程相同的情况下,碾搓的时间也减少了。两个因素综合的情况下呈现这种趋势。曲线后半段下降明显表明碾搓时间对脱壳率的影响较大。

取挤压压力为 700 N,摩擦速度为 46 mm/s 时,研究摩擦板面材料对脱壳率的影响。结果表明:摩擦板面材料为橡胶时对应的脱壳率为 41.7%,木板时为 59.1%,塑料板时为 70.8%,钢板时为 81.8%。原因可能是摩擦板面材料的硬度由大到小依次是钢板、塑料板、木板、橡胶板。在相同的挤压压力下,材质硬的变形小,与橡胶果的接触面积小,对橡胶果的压应力大,所以脱壳率高。与此同时,不同摩擦板面材料,对应不同的摩擦系数也是一个原因。何焯亮等^[14]在橡胶籽壳破碎试验中也发现相似的结果。

取摩擦速度为 46 mm/s,摩擦板面为钢板。研究不同挤压压力对橡胶果脱壳率的影响,结果见图 3。由图 3 可知,挤压压力与脱壳率呈现出良好的线性关系。挤压压力越大,脱壳率越高。但试验表明压力不宜超过 700 N,否则易损伤果仁。

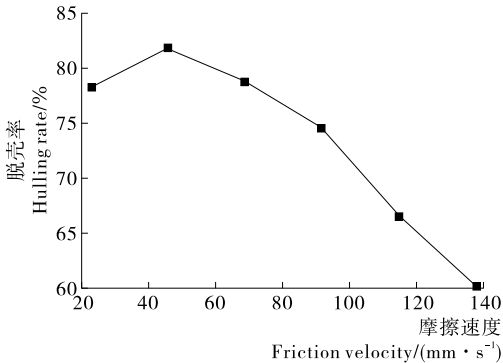


图 2 摩擦速度对脱壳率的影响

Figure 2 Effect of friction speed on the hulling rate

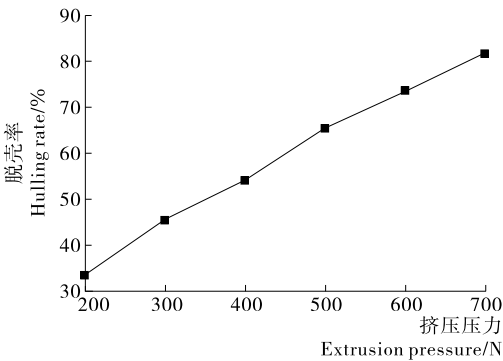


图 3 挤压压力对脱壳率的影响

Figure 3 Effect of extrusion pressure on the hulling rate

3.2 正交试验结果与分析

根据单因素试验结果,采用 L₁₆(4⁵)正交试验因素与水平见表 2。按照正交表的各试验号进行试验,将试验结果填入表中并进行极差分析,见表 3。

由表 3 可知,对于橡胶果壳脱壳率的主要影响因素从大到小依次为挤压压力、摩擦板面材料、摩擦板摩擦速度。橡胶

表 2 试验因素与水平
Table 2 Factors and levels of test

水平	A 摩擦板面材料	B 摩擦速度/(mm · s ⁻¹)	C 挤压压力/N
1	橡胶板	23	200
2	钢板	46	400
3	塑料板	92	600
4	木板	138	700

表 3 橡胶果脱壳正交试验结果的极差分析
Table 3 Range analysis of rubber fruit shell orthogonal test results

试验号	A	B	C	脱壳率/%
1	1	1	1	14.1
2	1	2	2	26.9
3	1	3	3	31.4
4	1	4	4	40.1
5	2	1	2	53.0
6	2	2	1	33.5
7	2	3	4	74.5
8	2	4	3	62.6
9	3	1	3	42.3
10	3	2	4	70.8
11	3	3	1	12.0
12	3	4	2	31.8
13	4	1	4	55.0
14	4	2	3	53.9
15	4	3	2	39.6
16	4	4	1	7.4
k ₁	28.1	41.1	16.8	
k ₂	55.9	46.3	37.8	
k ₃	39.3	39.4	47.6	
k ₄	40.0	35.5	60.1	
R	27.8	10.8	43.3	

果壳最高脱壳率组合为 A₂B₂C₄,即板面材料为钢板,摩擦速度为 46 mm/s,压力为 700 N 时脱壳率最大。这个组合在 16 个试验点中没有出现,现增加最优组合的脱壳率试验,结果脱壳率为 81.8%。

原因可归结为:① 由于钢板较硬,在压力作用下变形较小,与橡胶果壳的接触面积较小,对橡胶果壳的压应力较大,所以橡胶果在钢板下的脱壳率较高。而橡胶板最软,形变最大,所以第 1 列(板面材料)中 A₁和 A₂所得结果的平均值差别较大。此外板面材料的不同也会引起摩擦系数的变化,木板的摩擦系数大于钢板,但是综合考虑选择强度较高的钢板较为合适;② 摩擦速度越大带给橡胶果的能量越多,但是相同行程下碾搓时间也会变短。从节约能量和增加机器寿命角度考虑,可以适当降低摩擦速度,但摩擦速度不能过低,以免脱壳时间过长。取 46 mm/s 左右较为合适;③ 压力越大,脱壳

率越高,是因为压力越大,作用在橡胶果壳上的压应力越大,而且摩擦力也会增加,所以该因素对脱壳率的影响最大。但压力不能过大,否则将损伤果仁。取 700 N 较为合适。

4 结论

- (1) 随着摩擦板摩擦速度增大,脱壳率呈现先增大后降低的趋势。挤压压力越大脱壳率越高,二者呈现较好的线性关系。但压力不能过大,以免损伤果仁,不利于后续橡胶果仁价值的利用。摩擦板面材料为钢板时的脱壳率明显高于其他 3 种材料,进一步优化设计脱壳机时应使用硬度较高的钢板或更高硬度的材料进行碾搓。也可在摩擦表面增加花纹以增大摩擦系数。
- (2) 对于橡胶果壳脱壳率的主要影响因素从大到小依次为挤压压力、摩擦板面材料、摩擦板摩擦速度。橡胶果壳最高脱壳率组合为摩擦板面材料为钢板,摩擦速度 46 mm/s,挤压压力 700 N,该条件下脱壳率为 81.8%。
- (3) 试验结果为后续研制高效率的橡胶果脱壳机械提供基础数据。由于机器设计优化后面向工业生产,所以本次试验未将橡胶果本身的尺寸大小和球度等作为影响因素,而是统一面向各种物理特性的橡胶果。对于本试验未涉及到的影响因素,可在后续的研究中加以补充。

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,2000,25(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].热带作物学报,2013(2):46-49.

(上接第 93 页)

- (2) 分离器结构对分离器分离效果有较大影响。其中,将出口由顶部圆口改为侧面切向方口可以改善分离效果,但靠近筒体中心的气流出现紊乱,不利于颗粒分离;筒体加高则不利于分离性能的提高;分离器筒径变小对分离效果影响较小,能改善气流流动稳定性;内部装置螺旋导流叶片则能够大大提高分离性能,并且流动均匀稳定。因此,分离器内部装有螺旋导流叶片的结构是一个较优方案。
- (3) 进风方式对不同结构分离器的分离效果影响不同。对于糖粉分离器,采用进口通入空气方式和出口抽吸空气方式均有较好的分离效果;对于传统 Stairmand 分离器,采用进口通入空气的方式,较出口抽吸空气方式有更好的分离效果。因此,糖粉分离器具有较为宽泛的使用条件,有利于糖粉分离器的安装和制造。
- (4) 内部装有螺旋导流叶片的糖粉分离器能够满足制糖工业要求,解决了糖粉收集效果不佳的难题,对提高糖粉收集、增加制糖效率有一定的指导作用。

参考文献

[1] 冯春亚,卢锦华,王盛,等.一种糖厂糖粉收集方法[J].甘蔗糖业,2014(4):27-31.

[2] 方召,白卫东.粉尘收集系统结构和主要参数的探讨[J].食品与

[3] 王震,张曦,陶琳丽,等.橡胶籽资源的潜在开发利用价值研究[J].云南农业大学学报:自然科学,2015(4):642-647.

[4] BALKOSE D, EGBUCHUNAM T O, OKIEIMEN F E. Thermal behaviour of metal soaps from biodegradable rubber seed oil[J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2010, 101(2): 795-799.

[5] 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.

[6] 王云.一种橡胶籽脱壳设备:中国,CN202035457U[P].2011-11-16.

[7] 李君,陆华忠,杨洲,等.刀豆脱壳机构的设计与试验[J].农业工程学报,2013,29(1):26-32.

[8] OLUWOLE F A, ABDULRAHIM A T, OUMAROU M B. Development and performance evaluation of impact bambara groundnut sheller[J]. International Agrophysics, 2007, 21(3): 269-274.

[9] 张黎骅,徐中明,苟文,等.滚筒一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.

[10] 阮竞兰,向光波,程相法.胶辊砻谷机性能参数试验与优化[J].农业工程学报,2011,27(5):353-357.

[11] 朱立学,张日红,韦鸿钰,等.碾搓式银杏脱壳机的设计与试验[J].食品与机械,2008,24(4):86-88,123.

[12] 刘平,肖诗明,巩发永,等.新型碾搓式葵花籽脱壳机[J].食品与机械,2010,26(3):100-101,116.

[13] 张琪琪,王涛,孙丽莹.橡胶子粒的物理特性测定[J].湖北农业科学,2015(18):4 519-4 524.

[14] 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.

机械,2010,26(2):86-88.

[3] 薛晓虎,孙国刚,时茗显.旋风分离器内颗粒浓度分布特性的数值分析[J].机械工程学报,2007,43(12):26-33.

[4] 万国军,孙国刚,魏耀东.压力对旋风分离器内颗粒浓度分布影响的模拟[J].石油学报,2008,24(6):689-696.

[5] 李奎,金俊卿,陈坤,等.基于 FLUENT 软件分析旋风分离器的结构优化[J].天然气与石油,2014,32(3):71-75.

[6] 赵学观,徐丽明,高连兴,等.基于 Fluent 的大豆脱粒机旋风分离器模拟与优化[J].农业机械学报,2014,45(S1):80-87.

[7] 黄兴华,王道连,王如竹,等.旋风分离器中气相流动特性及颗粒分离效率的数值研究[J].动力工程,2004,24(3):436-441.

[8] 梁绍青,王铨健.旋风分离器流场数值模拟及其涡结构识别[J].煤炭学报,2014,39(S1):262-266.

[9] ANSYS Inc. FLUENT 6.2 UDF manual[M]. Lebanon: Fluent Inc., 2005: 3-5.

[10] 文媛媛.基于 FLUENT 的混合器内部流场数值模拟[J].过滤与分离,2010,20(1):26-30.

[11] 王江云,毛羽,刘美丽,等.用改进的 RNG k-ε 模型模拟旋风分离器内的强旋流动[J].石油学报,2010,26(1):8-13.

[12] 王海刚,刘石.不同湍流模型在旋风分离器三维数值模拟中的应用和比较[J].热能动力工程,2003,18(4):337-341.

[13] 蒋梦婷,王博,陈言信,等.旋风分离器内高速旋转流场的数值计算方法选择[J].环境工程学报,2012,6(8):2 736-2 744.