

引用格式:

肖本贵, 赖曲芳, 胡淑芬, 刘木华, 邓勇杰, 张庐陵, 刘斌. 基于锥形针的油茶果破壳性能试验[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2021, 47(6): 720–726.

XIAO B G, LAI Q F, HU S F, LIU M H, DENG Y J, ZHANG L L, LIU B. Experimental of expanding shell breaking property of *Camellia oleifera* fruits[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2021, 47(6): 720–726.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



基于锥形针的油茶果破壳性能试验

肖本贵^{1,2}, 赖曲芳¹, 胡淑芬^{1,2*}, 刘木华^{1,2}, 邓勇杰^{1,2}, 张庐陵¹, 刘斌^{1,2}

(1.江西农业大学工学院, 江西 南昌 330045; 2.江西省现代农业装备重点实验室, 江西 南昌 330045)

摘 要: 针对机械破壳后油茶果果壳破开不规则而导致果壳和茶籽难以分选的问题, 提出一种基于锥形针的油茶果裂瓣破壳方法: 锥形针插入油茶果壳的顶部, 油茶果壳沿生物裂瓣裂开, 形成裂口, 裂口逐渐增大(裂口长度达到 5 mm 以上视为破开), 随后锥形针上移回位, 完成油茶果的破壳。对比分析油茶果破壳穿刺预试验结果, 选取锥形针锥角角度(30°、45°、60°)、锥形针插入果壳的深度(5、8、11 mm)和采摘后存放时间(2、5、8 d)进行单因素试验, 考察油茶果的破壳力和裂口长度, 结果随着锥形针锥角角度和插入深度的增大, 油茶果破壳力和裂口长度也随之增大; 随着存放时间的增长, 破壳力减小, 裂口长度增大。以油茶果裂口长度和破壳力为评价指标, 进行 3 因素 3 水平的正交试验, 结果表明: 锥形针锥角角度为 60°、锥形针插入果壳深度为 11 mm、存放时间为 8 d 时, 油茶果裂口长度平均为 5.4 mm, 破壳力平均为 83.8 N。

关 键 词: 油茶果; 锥形针; 破壳; 破壳性能

中图分类号: S226.4

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2021)06-0720-07

Experimental of expanding shell breaking property of *Camellia oleifera* fruits

XIAO Bengui^{1,2}, LAI Qufang¹, HU Shufen^{1,2*}, LIU Muhua^{1,2}, DENG Yongjie^{1,2}, ZHANG Luling¹, LIU Bin^{1,2}

(1.College of Engineering, Jiangxi Agricultural University, Nanchang, Jiangxi 330045, China; 2.Jiangxi Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment, Nanchang, Jiangxi 330045, China)

Abstract: In order to solve the problem that it is difficult to separate the shell and tea seed due to the irregular shell breaking after mechanical shell breaking of *Camellia oleifera* fruit, a shell breaking method of *Camellia oleifera* fruit based on conical needle is proposed. The conical needle acts on the top area of *Camellia oleifera* fruit shell. With the conical needle inserted into the top area of *Camellia oleifera* fruit, the *Camellia oleifera* fruit shell splits along the biological valve on the top of *Camellia oleifera* fruit, forming a crack, and the crack gradually increases (if the crack size reaches more than 5 mm, it is considered to be completely broken), and then the conical needle moves back to the original position to complete the shell breaking of *Camellia oleifera* fruit. Through the comparative analysis of pre-test, the conical angle of conical needle (30°, 45°, 60°), the depth of conical needle inserted into the shell (5, 8, 11 mm) and the storage days after picking (2, 5, 8 d) are selected as influencing factors to conduct single factor test. The results showed that the cracking force and cracking size of camellia fruit increased with the increase of cone angle and insertion depth. With the increase of storage time, the cracking force decreases and the crack size increases. The orthogonal test with three factors and three levels were carried out. The results showed that when the cone needle angle was 60°, the cone needle insertion depth was 11 mm and the storage time

收稿日期: 2021-03-30

修回日期: 2021-07-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(32060362); 科学技术部重点研发计划子课题(2018YFD1000603-3); 江西省科学技术厅项目(20192BBF60049)

作者简介: 肖本贵(1996—), 男, 江西赣州人, 硕士研究生, 主要从事农业机械装备研究, 228876301@qq.com; *通信作者, 胡淑芬, 硕士, 副教授, 主要从事农业机械装备研究, 812225371@qq.com

was 8 d, the average crack size was 5.4 mm and the average breaking force was 83.8 N.

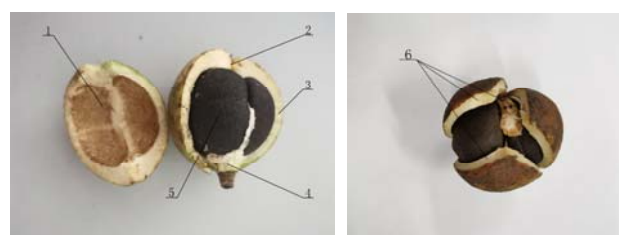
Keywords: *Camellia oleifera* fruits; conical needle; breaking shell; breaking property

油茶果通常在每年的 10 至 11 月集中采收, 如不及时进行脱壳、清选、干燥处理, 极易霉变、腐烂^[1]。提高油茶果机械化加工效能显得至关重要。有关核桃、花生等油料作物的果壳破壳技术已经较为成熟^[2-3]。坚果类的破壳有挤压式^[4]、击打式^[5]、撞击式^[6]、揉搓式^[7]等破壳方法, 其中挤压式破壳因其结构简单、易操作、性能优良等优点适用于硬壳而韧性较强的核桃破壳, 可为油茶果破壳机械的研究提供参考。

目前油茶果破壳研究试验中的主流破壳方法有间隙挤压揉搓法^[8-11]、多滚刀撞击切割法^[12]、离心抛摔撞击法^[13]、柔性辊抽打法^[14-15]、碾搓法^[16-17]、气动刨削法^[18]等。现有的油茶果破壳装置均采用强制破壳方式, 破壳过程中容易将茶籽击伤、击碎, 同时还会导致大茶果易破壳而小茶果破壳不完全, 甚至不能破壳, 因而影响茶籽的品质和出油率。为了优化现有的油料作物破壳加工设备, 结合油茶果的生物特性和力学性能^[19-22], 笔者提出一种基于锥形针破壳的油茶果破壳方法: 锥形针安装在可上下移动的导向柱机架, 通过曲柄机构带动锥形针上下移动, 由锥形针将外力转化为内应力, 使油茶果壳沿着油茶果特有的生物裂瓣结构裂开, 保证油茶果壳破开后的完整性, 利于提高后期油茶籽壳的清选效率, 简化油茶果加工工艺流程。

1 油茶果锥形针的破壳原理

油茶果的结构如图 1 所示, 主要由油茶果壳和油茶籽组成^[23]。油茶果壳分为顶部、中部和蒂部,



内部组成

生物裂瓣

1 油茶果壳; 2 顶部; 3 中部(腹部); 4 蒂部; 5 油茶籽;

6 生物裂瓣。

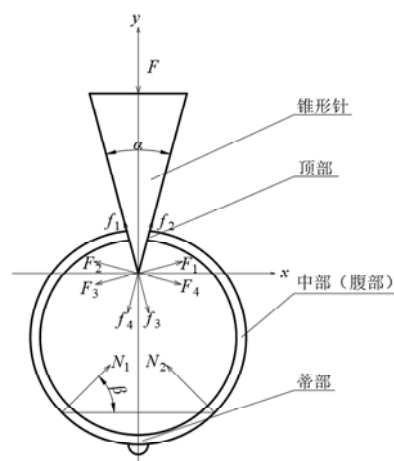
图 1 油茶果的结构

Fig. 1 Biological structure of *Camellia oleifera* fruit

顶部的厚度最大, 为 5~10 mm, 蒂部厚 3~6 mm, 中部(腹部)的果壳最薄, 为 1.0~2.8 mm。生物裂瓣分布于油茶果顶部与蒂部之间, 裂瓣从顶部开裂, 形成类似花瓣的结构, 呈现为“Y”形裂瓣, 也有的呈现为“十”字形裂瓣, 每瓣大小、形状相近。

油茶果破壳时, 对锥形针施加外力, 使其匀速下行, 作用于油茶果壳的顶部区域, 随着锥形针插入油茶果顶部区域(该区域也是油茶果生物裂瓣裂缝聚集区域), 油茶果壳沿其生物裂瓣裂开, 形成裂口, 裂口逐渐增大(裂口长度达到 5 mm 以上视为破开), 随后锥形针上移回到原位, 完成油茶果的破壳。

油茶果破壳过程大致分为 3 个阶段: 第一阶段, 锥形针下行至接触到油茶果壳表面; 第二阶段, 锥形针继续下行至插入到油茶果内部预定深度; 第三阶段, 锥形针从油茶果内部预定深度向上作回程运动至油茶果壳上方预定高度。破壳过程中油茶果受力较为复杂。为便于分析, 忽略次要因素的影响, 分析油茶果接触锥形针到锥形针插入油茶果内部预定深度这一过程的力学变化(图 2), 建立坐标系联立方程求解。分别以锥形针和油茶果为研究对象, 进行受力分析。



F 为施加的外力, 也是质构仪所测得的破壳力; F_1 、 F_2 为油茶果对锥形针的作用力; F_3 、 F_4 为 F_1 、 F_2 的反作用力; f_1 、 f_2 为油茶果对锥形针的摩擦力; f_3 、 f_4 为锥形针对油茶果的摩擦力; N_1 、 N_2 为支撑件对油茶果的作用力; α 为锥形针的锥角角度; β 为支撑件作用点与油茶果中心点之间的连线和水平面的夹角。

图 2 锥形针破壳油茶果的受力

Fig. 2 The force of *Camellia oleifera* fruit broken by conical needle

锥形针受力平衡方程为:

$$\sum F_x = F_1 \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - f_1 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) - F_2 \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + f_2 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 0 \quad (1)$$

$$\sum F_y = F_1 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) + f_1 \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + F_2 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) + f_2 \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - F = 0 \quad (2)$$

对油茶果进行受力分析, 由于 $F_1 = -F_3, F_2 = -F_4$; $f_1 = -f_3, f_2 = -f_4$, 油茶果的受力平衡方程为:

$$\sum F_x = -F_3 \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + f_3 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) + F_4 \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - f_4 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) + N_1 \cos \beta - N_2 \cos \beta = 0 \quad (3)$$

$$\sum F_y = -F_3 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) - f_3 \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - F_4 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) - f_4 \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + N_1 \sin \beta + N_2 \sin \beta = 0 \quad (4)$$

由锥形针和油茶果的受力平衡方程可知, 对 $F = (F_1 + F_2) \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) + (f_1 + f_2) \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ 进行单调性分析可知, 锥形针锥角角度 α 范围在 $0^\circ \sim 90^\circ$, F 随着锥形针锥角角度 α 的增大而增大。

2 油茶果锥形针破壳试验

2020 年 10 月 17 日, 采摘“赣无”系列含水率为 55%~65% 的油茶鲜果, 利用德国 GOM 公司 ATOS Triple Scan II 三维扫描仪(精度 0.007 mm)测量油茶鲜果的三维长度; 选用直径 25~30 mm 的油茶果进行锥形针(图 3)在加载速率 1 mm/s 条件下的破壳试验。试验开始时, 先将锥形针紧固在质构仪的探头上, 选择加载程序, 对质构仪进行调零, 将油茶果顶部朝上、蒂部朝下垂直放置在质构仪载



图 3 不同锥角角度的锥形针

Fig.3 Conical needles with different cone angles

物台的工作区域, 锥形针向下运动, 按照预定的插入深度从油茶果的顶部区域插入, 达到预定的插入深度后, 锥形针向上作回程运动, 达到预定高度后停止运动。

对油茶果破壳影响因素的初步分析可知, 锥形针锥角角度、锥形针插入果壳的深度和采摘后的存放时间是油茶果的果壳裂口长度以及破壳力大小的影响因素, 因而通过单因素法和多因素正交试验, 确定最佳参数组合。

2.1 单因素试验

选取 15 个直径 25~30 mm 油茶鲜果, 将其分成 3 组, 每组 5 个, 在锥形针插入深度 8 mm、存放 2 d 时, 分别选取锥形针锥角角度 30° 、 45° 、 60° 进行试验。重复 5 次。测定油茶果破壳过程中的最大破壳力和破壳后的裂口长度。

选取 15 个直径 25~30 mm 油茶鲜果, 将其分成 3 组, 每组 5 个, 在锥形针锥角角度为 60° 、油茶果存放 5 d 时, 分别选取插入深度为 5、8、11 mm 进行试验。重复 5 次。测定油茶果破壳过程中的最大破壳力和破壳后的裂口长度。

选取 15 个直径 25~30 mm 油茶鲜果, 将其分成 3 组, 每组 5 个, 在锥形针锥角角度为 60° 、插入深度为 11 mm 时, 分别选取存放 2、5、8 d 进行试验。重复 5 次。测定油茶果破壳过程中的最大破壳力和破壳后的裂口长度。

从表 1 可以看出, 在其他因素保持不变的情况下, 在一定锥角范围内, 随着锥形针锥角角度的增大, 破壳力和裂口长度也随之增大; 在其他因素保持一定的情况下, 在一定插入深度范围内, 随着插入深度的增大, 破壳力和裂口长度也随之增大; 在其他因素保持一定的情况下, 在一定存放时间范围内的, 随着存放时间的延长, 破壳力减小, 裂口长度增大。

表 1 单因素试验的油茶果的裂口长度和破壳力

Table 1 Crack size and shell breaking force of <i>Camellia oleifera</i> fruit in single factor test								
锥形针锥角 角度/(°)	裂口长度/mm	破壳力/N	插入深度/mm	裂口长度/mm	破壳力/N	存放时间/d	裂口长度/mm	破壳力/N
30	0.3	64.5	5	3.2	46.2	2	3.8	155.0
45	1.4	88.1	8	4.5	90.3	5	5.3	121.5
60	2.9	115.7	11	5.3	121.5	8	5.7	85.3

2.2 正交试验

考虑 3 个影响因素的主效应，确定如表 2 所示

表 2 正交试验因素及水平

Table 2 Factor level of orthogonal test			
水平	锥形针锥角角度/(°)	插入深度/mm	存放时间/d
1	30	5	2
2	45	8	5
3	60	11	8

的正交水平表。每组试验重复 3 次，结果取平均值。选用 $L_9(3^4)$ 正交表进行试验。试验中以油茶果顶部裂口长度和破壳力作为破壳效果的评价指标。

试验结果及分析如表 3 所示。利用 Excel 软件对正交试验结果进行极差分析和方差分析。

表 3 正交试验油茶果壳的裂口长度和破壳力

Table 3 The crack size and breaking force of <i>Camellia oleifera</i> shell were tested by orthogonal test						
试验号	锥形针锥角角度/(°)	插入深度/mm	存放时间/d	裂口长度/mm	破壳力/N	
1	30	5	2	0.0	29.2	
2	30	8	5	0.5	51.2	
3	30	11	8	2.4	67.0	
4	45	5	5	2.1	38.6	
5	45	8	8	2.4	52.8	
6	45	11	2	3.2	109.2	
7	60	5	8	4.8	36.8	
8	60	8	2	2.9	115.7	
9	60	11	5	5.3	121.5	
裂口长度	K_1	2.9	6.9	6.1		
	K_2	7.7	5.8	7.9		
	K_3	13.0	10.9	9.6		
	R	10.1	5.1	3.5		
破壳力	K_1	147.4	104.6	254.1		
	K_2	200.6	219.7	211.3		
	K_3	274.0	297.7	156.6		
	R	42.2	64.3	32.5		

从表 3 裂口长度极差分析可以看出，影响裂口各因素的主次顺序依次为锥形针锥角角度、插入深度、存放时间。锥形针锥角角度的 3 个水平比较，锥形针锥角角度为 60°时，裂口长度均值最大，为 13 mm；插入深度的 3 个水平比较，插入深度为 11 mm 时，裂口长度均值最大，为 10.9 mm；存放时间的 3 个水平比较，存放时间为 8 d 时，裂口长度均值最大，为 9.6 mm。裂口长度最优的因素水平组合为

锥形针锥角角度 60°、插入深度 11 mm、存放 8 d。

从表 3 破壳力极差分析可以看出，影响破壳力各因素的主次顺序依次为插入深度、锥形针锥角角度、存放时间。插入深度的 3 个水平比较，插入深度为 11 mm 时，破壳力均值最大，为 91.3 N；锥形针锥角角度的 3 个水平比较，锥形针锥角角度为 60°时，破壳力均值最大为 99.2 N；存放时间的 3 个水平比较，存放时间为 5 d 时，破壳力的指标均值最大，

为 84.7 N。破壳力最优的因素水平组合为锥形针锥角角度 60°、插入深度 11 mm、存放时间 2 d。

运用 Excel 对正交试验结果进行方差分析, 结果列于表 4 和表 5。

从表 4 可以看出, 显著水平 0.05 下, 锥形针锥角角度和插入深度的 F 值大于临界值, 存放时间的 F 值小于临界值; 显著水平 0.01 下, 锥形针锥角角

度的 F 值大于临界值, 插入深度和存放时间的 F 值均小于临界值。由此可知, 对于油茶果裂口长度, 锥形针锥角角度的影响极显著, 插入深度的影响显著, 存放时间的影响不显著, 影响裂口长度的因素主次依次为锥形针锥角角度、插入深度、存放时间, 较优组合为锥形针锥角角度 60°、插入深度 11 mm、存放时间 8 d。

表 4 裂口长度的方差分析

Table 4 Analysis of variance for opening size						
变异来源	SS	df	MS	F	F 临界值	显著性
锥形针锥角角度	16.67	2	8.34	117.39	$F_{0.05}=19.00$	**
插入深度	4.89	2	2.45	34.38	$F_{0.01}=99.00$	*
存放时间	2.17	2	1.09	15.27		
误差	0.14	2	0.07			
总变异	24.13	8				

“*”示在 0.05 水平差异显著; “**”示在 0.01 水平差异显著。

表 5 破壳力方差分析

Table 5 Variance analysis of shell breaking force						
变异来源	SS	df	MS	F	F 临界值	显著性
锥形针锥角角度	2693.93	2	1346.96	25.87	$F_{0.05}=19.00$	*
插入深度	6291.07	2	3145.54	60.41	$F_{0.01}=99.00$	*
存放时间	1592.24	2	796.12	15.29		
误差	104.15	2	52.07			
总变异	10 681.39	8				

“*”示在 0.05 水平差异显著。

从表 5 可以看出, 显著水平 0.05 下, 锥形针锥角角度和插入深度的 F 值大于临界值, 存放时间的 F 值小于临界值; 显著水平 0.01 下, 锥形针锥角角度、插入深度、存放时间的 F 值均小于临界值。对于油茶果破壳力, 锥形针锥角角度和插入深度的影响显著, 存放时间的影响不显著, 影响破壳力的因素主次依次为插入深度、锥形针锥角角度、存放时间, 较优组合为锥形针锥角角度 60°、插入深度 11 mm、存放时间 2 d。

综合来看, 以油茶果裂口长度和破壳力为评价指标时, 锥形针锥角角度 60°、锥形针插入果壳深度 11 mm 以及存放 8 d 为最优参数。经试验验证, 锥形针锥角角度 60°、插入深度 11 mm、存放 8 d 可以取得较好的破壳效果, 在此参数下的裂口长度平均为 5.4 mm, 破壳力平均为 83.8 N。

3 结论

选用“赣无”系列含水率为 55%~65%的油茶果进行锥形针破壳试验, 分析锥形针锥角角度、锥形针插入果壳的深度、采摘后的存放时间 3 个关键因素对油茶果裂口长度和破壳力的影响。单因素试验结果表明, 其他因素保持不变的情况下, 锥形针锥角角度在一定范围内时, 随着锥形针锥角角度的增大, 裂口长度和破壳力也随之增大; 锥形针插入深度在一定范围内时, 随着插入深度的增大, 裂口长度和破壳力也随之增大; 存放时间在一定范围内时, 随着存放时间的增大, 裂口长度也随之增大, 破壳力却随之减小。

正交试验结果表明, 影响裂口长度因素主次依次为锥形针锥角角度、插入深度、存放时间, 最佳参数为: 锥形针锥角角度 60°、插入深度 11 mm、存

放 8 d; 影响破壳力因素主次依次为插入深度、锥形针锥角角度、存放时间, 最佳参数为: 锥形针锥形角度 60°、插入深度 11 mm、存放 2 d。综合分析, 以油茶果裂口长度和破壳力为评价指标时, 锥形针锥角角度为 60°、锥形针插入果壳深度 11 mm 以及存放 8 d 为最优参数。验证试验表明, 在此参数下的裂口长度平均为 5.4 mm, 破壳力平均为 83.8 N。

参考文献:

- [1] 王少斌, 张亮, 彭慧, 等. 油茶的采摘贮藏管理[J]. 湖北林业科技, 2016, 45(6): 85–86.
WANG S B, ZHANG L, PENG H, et al. Picking and storage management of *Camellia oleifera*[J]. Hubei Forestry Science and Technology, 2016, 45(6): 85–86.
- [2] LIU M Z, LI C H, ZHANG Y B, et al. Advances and recent patents about cracking walnut and fetching kernel device[J]. Recent Patents on Mechanical Engineering, 2015, 8(1): 44–58.
- [3] GHAFARI A, CHEGINI G R, KHAZAEI J, et al. Design, construction and performance evaluation of the walnut cracking machine[J]. International Journal of Nuts & Related Sciences, 2011, 2(1): 11–16.
- [4] 王维, 贺功民, 田智辉, 等. 变间距挤压式核桃破壳机的研制[J]. 中国农机化学报, 2014, 35(6): 174–176.
WANG W, HE G M, TIAN Z H, et al. Development of the variable pacing extrusion walnut shell breaking machine[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2014, 35(6): 174–176.
- [5] 高警, 郑甲红, 安碾粮, 等. 偏心击打式核桃破壳机的设计与试验[J]. 食品与机械, 2014, 30(5): 133–136.
GAO J, ZHENG J H, AN N L, et al. Design and test of walnut shell breaking machine with eccentric impact mode[J]. Food and Machinery, 2014, 30(5): 133–136.
- [6] 王晓暄, 史建新, 周军. 离心式核桃二次破壳机的设计与实验研究[J]. 新疆农业科学, 2013, 50(6): 1115–1121.
WANG X X, SHI J X, ZHOU J. Design and test of centrifugal secondary broker for walnuts[J]. Xinjiang Agricultural Science, 2013, 50(6): 1115–1121.
- [7] 刘明政, 李长河, 张彦彬, 等. 柔性带剪切挤压核桃破壳机理分析与性能试验[J]. 农业机械学报, 2016, 47(7): 266–273.
LIU M Z, LI C H, ZHANG Y B, et al. Shell crushing mechanism analysis and performance test of flexible-belt shearing extrusion for walnut[J]. Transaction of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(7): 266–273.
- [8] 杨树松, 李立君, 高自成, 等. 基于挤压揉搓方法的油茶果破壳性能的试验研究[J]. 农机化研究, 2015, 37(9): 173–175.
YANG S S, LI L J, GAO Z C, et al. Experimental research on cracking performance of *Camellia oleifera* fruit based on flexible rubbing method[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015, 37(9): 173–175.
- [9] 朱广飞, 任嘉嘉, 王振, 等. 油茶果脱壳机的设计与工作参数优化[J]. 农业工程学报, 2016, 32(7): 19–27.
ZHU G F, REN J J, WANG Z, et al. Design of shelling machine for *Camellia oleifera* fruit and operating parameter optimization[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(7): 19–27.
- [10] 李阳, 王勇, 邓腊云, 等. 揉搓型油茶果分类脱壳分选机的脱壳和清选效果研究[J]. 湖南林业科技, 2015, 42(2): 38–42.
LI Y, WANG Y, DENG L Y, et al. Research on the effect of *Camellia oleifera* fruit sheller and sorting machine [J]. Hunan Forestry Science & Technology, 2015, 42(2): 38–42.
- [11] 蓝峰, 崔勇, 苏子昊, 等. 油茶果脱壳清选机的研制与试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(15): 33–39.
LAN F, CUI Y, SU Z H, et al. Design and test on shelling and sorting machine of *Camellia oleifera* fruit[J]. Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(15): 33–39.
- [12] 熊平原, 王毅, 吴卓葵, 等. 油茶青果脱壳装置研究与设计[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(5): 126–129.
XIONG P Y, WANG Y, WU Z K, et al. Research and design on shelling machine of green *Camellia oleifera* fruit[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2016, 37(5): 126–129.
- [13] 唐湘, 谢方平, 李旭, 等. 油茶果脱壳装置设计及试验[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2014, 40(6): 665–668.
TANG X, XIE F P, LI X, et al. Design and test of dehulling machine for *Camellia oleifera* fruit shelling device[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2014, 40(6): 665–668.
- [14] 曲振兴, 樊涛, 胡景阳, 等. 油茶果脱壳机试验分析[J]. 林业机械与木工设备, 2017, 45(12): 33–35.
QU Z X, FAN T, HU J Y, et al. Test analysis of *Camellia oleifera* fruit peel equipment[J]. Forestry Machinery and Woodworking Equipment, 2017, 45(12): 33–35.
- [15] 樊涛, 吴兆迁, 曲振兴, 等. 油茶果脱青皮机的设计

- [J]. 林业机械与木工设备, 2011, 39(10): 35–36.
- FAN T, WU Z Q, QU Z X, et al. Design of green *Camellia* fruit peeling machines[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2011, 39(10): 35–36.
- [16] 张浩新, 熊平原, 王毅, 等. 油茶籽脱壳筛分一体机传动系统设计[J]. 机械研究与应用, 2016, 29(5): 124–126.
- ZHANG H X, XIONG P Y, WANG Y, et al. Research on transmission system of *Camellia oleifera* seed shelling and screening machine[J]. Mechanical Research and Application, 2016, 29(5): 124–126.
- [17] 刘浩, 王焱清, 袁博. 油茶果脱壳与清选关键技术及工艺研究[J]. 湖北工业大学学报, 2015, 30(1): 65–68.
- LIU H, WANG Y Q, YUAN B. On the key technology and process of shelling and cleaning of *Camellia* fruit[J]. Journal of Hubei University of Technology, 2015, 30(1): 65–68.
- [18] 王焱清, 马君, 熊韧. 多通道气动刨削式油茶果破壳机设计[J]. 湖北农业科学, 2018, 57(12): 100–105.
- WANG Y Q, MA J, XIONG R. Design on multichannel pneumatic planer for *Camellia oleifera* shelling[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2018, 57(12): 100–105.
- [19] 薛强, 郭京臣, 杨硕, 等. 油茶鲜果静压力学特性试验[J]. 沈阳农业大学学报, 2020, 51(5): 593–598.
- XUE Q, GUO J C, YANG S, et al. Experimental study on the static pressure characteristic of the fresh fruit of *Camellia oleifera*[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2020, 51(5): 593–598.
- [20] 薛忠, 王槊, 范建新, 等. 澳洲坚果冲剪破壳试验研究[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2019, 39(2): 93–97.
- XUE Z, WANG S, FAN J X, et al. Performance evaluation of new developed impacting and shearing machine for *Macadamia nut* treatment[J]. Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition), 2019, 39(2): 93–97.
- [21] 潘佰强. 核桃机械化脱壳的力学特性分析[J]. 广西农业机械化, 2017(4): 28–31.
- PAN B Q. Mechanical properties analysis of walnut mechanical shelling[J]. Guangxi Nongye Jixiehwa, 2017(4): 28–31.
- [22] 王京, 高连兴, 刘志侠, 等. 花生荚果力学特性研究[J]. 农机化研究, 2017, 39(1): 182–186.
- WANG J, GAO L X, LIU Z X, et al. Experimental study on peanut pods mechanical property[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2017, 39(1): 182–186.
- [23] 庞月兰, 杨春, 陈三弟, 等. 油茶制作方法及其配方的试验研究[J]. 农业与技术, 2017, 37(4): 42–43.
- PANG Y L, YANG C, CHEN S D, et al. Experimental study on preparation method and formula of *Camellia oleifera*[J]. Agriculture and Technology, 2017, 37(4): 42–43.

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 吴志立