

1.8t 全自动油茶青果脱壳机设计与试验

王东^{1,2,3} 寇欣^{1,2,3} 曲振兴^{1,2,3} 范志远^{1,2,3} 向文博^{1,2,3} 薛晨阳^{1,2,3} 汤晶^{2,2,3*}

(1.国家林业和草原局哈尔滨林业机械研究所, 黑龙江哈尔滨, 150086

2. 国家林业和草原局林业机电工程重点实验室, 黑龙江哈尔滨, 150086;

3.国家林业和草原局林业装备工程技术研究中心, 黑龙江哈尔滨, 150086)

摘要: 针对油茶青果机械脱壳中存在的处理量低、脱净率低和茶籽破碎率高等问题, 设计了一种四通道油茶青果脱壳机, 该机通过对油茶果进行四通道分级, 使一定大小范围内的油茶果进入相应的脱壳滚筒内, 通过油茶果与脱壳套筒、滚筒壁之间的相互撞击, 油茶果之间的碰撞、挤压和搓擦脱壳。为验证该机是否达到预期脱壳效果, 以茶果脱净率、茶籽破损率为评价指标, 以脱壳盘扭转角、喂入量、脱壳杆直径为试验因素, 设计三因素三水平正交旋转组合试验, 试验结果表明: 脱壳盘扭转角为 24.84° 、喂入量为 1845.47kg/h 、脱壳杆直径为 25.02mm 时, 脱壳效果最优。调整脱壳盘扭转角为 25° 、喂入量为 1845kg/h 、脱壳杆直径为 25mm , 对脱壳机进行 3 次参数组合试验, 试验结果取 3 次试验平均值, 经计算, 脱净率为 98.32% , 茶籽破损率为 2.33% 。

关键词: 油茶青果; 脱壳机; 设计; 试验

Design and Experiment of a 1.8t Fully Automatic *Camellia oleifera* Fruit Shelling Machine, China

Abstract: Aiming at the problems of low processing capacity, low de-purification rate and high breakage rate in the in the process of shelling fruits of *Camellia oleifera*, a four-channel *Camellia oleifera* fruit shelling machine was designed. The *camellia oleifera* fruit within the size range enters the corresponding shelling drum, and the *Camellia oleifera* fruit is shelled by colliding with the shelling sleeve and drum wall, the shelling of *Camellia oleifera* fruit is realized by collision, extrusion and rubbing. In order to verify whether themachine achieves the expected shelling effect, taking the shelling rate of *Camellia oleifera* fruit and the breakage rate of *Camellia oleifera* fruit as the evaluation indicators, and taking the torsion angle of the shelling disc, the feeding amount, and the diameter of the shelling rod as experimental factors, the orthogonal rotation combination was carried out. The test results show that when the torsion angle of the shelling disc is 24.84° , the feed rate is 1845.47kg/h , and the diameter of the shelling rod is 25.02mm , the shelling effect is the best. Three parameter combination tests were carried out on the torsion angle of the shelling disc is 25° , the feed rate is 1845kg/h and the diameter of the shelling rod is 25mm . The test results were taken as the average values of the three tests. After calculation, the net removal rate was 98.32% and the damage rate of tea seeds was 2.33% .

Key words: *Camellia oleifera* fruit; sheller; design; experiment

第一作者简介: 王东(1990—), 男, 工程师, 硕士, 主要从事营林机械技术装备应用研究, E-mail: 1617292023@qq.com。

*通讯作者: 汤晶宇(1980—), 男, 研究员, 硕士, 主要从事营林机械技术装备及其智能化理论与应用的研究, E-mail: hljtjy@163.com。

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金“1.8t 全自动油茶鲜果籽壳清选设备开发”(项目编号: CAFYBB2019SZ011)

油茶是世界四大木本食用油料作物，截止 2020 年我国油茶种植面积达 6800 万亩^[1]。油茶除具有食用功能和保健功能外，在化工、医药、化妆品、生物有机肥、饲料等方面应用广泛，且具有“不与农争地，不与人争粮”的独特优势，对推进国土绿化、乡村振兴、保障粮油安全等具有重要意义^[2]。目前，机械脱壳采用的原理主要有撞击法、剪切法、挤压法、碾搓法、搓撕法和仿形法等^[1]。陈礼东等^[5]依据剪切和撞击原理设计了一台油茶果脱壳机；胡一飞等^[6]模仿人工剥壳设计了一台油茶果分级脱壳机；廖配等^[7]采用撞击原理设计了一种油茶果破壳装置。此外，李阳^[8]、郭传真^[9]、张凤等^[10]、杨树松等^[11]、熊平原等^[12]、刘亮亮^[13]、王焱清等^[14]均对油茶果脱壳装置做过相关研究。

近几年，国内油茶脱壳机械虽发展迅速，但市面上绝大多数油茶果脱壳机械普遍存在脱净率低、茶籽破碎率高等问题。针对上述问题，本文设计了一种四通道油茶果脱壳机，对该机的关键部件进行了设计，为验证该机是否达到预期设计效果，采用回归分析和响应曲面分析法，对该机进行了试验验证，对影响脱壳效果的关键因素进行了参数优化，以期为实际生产提供参数指导。

1 油茶果物理特性研究

1.1 油茶果

油茶果主要由油茶壳、油茶籽和隔膜构成，形态呈球形和纺锤形，刚采摘的油茶鲜果表皮颜色以褐绿色为主，堆沤后表皮颜色会逐渐加深，直径在 40-50mm 范围以内的叫大果；20-25mm 范围内的叫小果，一枚油茶果一般由 1-5 粒油茶籽构成，如图 1 所示。



图 1 油茶果

Fig. 1 *Camellia oleifera* Fruit

1.2 油茶果、籽粒径分布

以安徽油茶基地种植的油茶果为试验对象，选取位于尺寸密集分布区间的油茶籽作为试验的样本，样本容量为 1000，部分试验样本如图 2 所示。定义油茶果胸径、横径与油茶籽横向、纵向、径向尺寸如图 3 所示。



图 2 部分试验样本

Fig. 2 Partial Test Samples

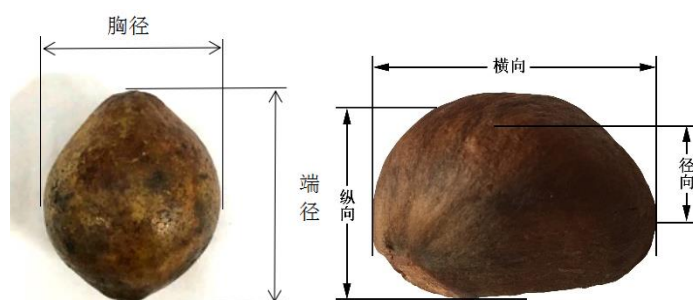


图3 油茶果胸径、横径与油茶籽横向、纵向、径向尺寸

Fig. 3 Chest diameter, transverse diameter of *Camellia oleifera* Fruit and transverse, longitudinal, and radial dimensions of *Camellia oleifera* seeds

油茶果粒径尺寸统计结果如图4所示。由图4可知：油茶果胸径在20-25mm内分布最多，端径在25-30mm内分布最多，30-35mm内胸径和端径分布相近。由油茶果粒径统计结果可知，油茶果粒径分布差异较大，脱壳前需对油茶果进行分级。

油茶籽横向、纵向、径向尺寸统计结果如图5所示。由图5可得：油茶籽各个方向的尺寸分布不均且分布广泛，整体差异化明显；纵向尺寸在10-20mm之间占比87%，横向尺寸在7-13mm之间占比95%，径向尺寸在5-11mm之间占比86%。

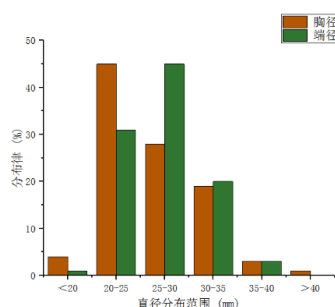
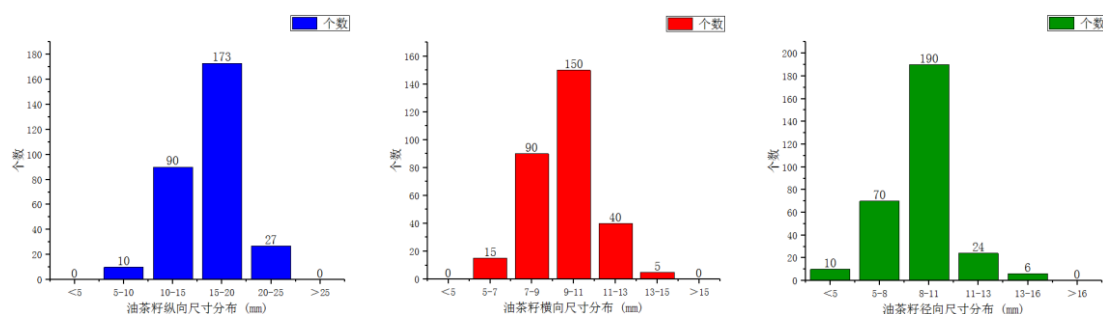


图4 油茶果粒径分布范围

Fig. 4 Range of particle size distribution of *Camellia oleifera* fruit

(a) 纵向尺寸

(b) 横向尺寸

(c) 径向尺寸

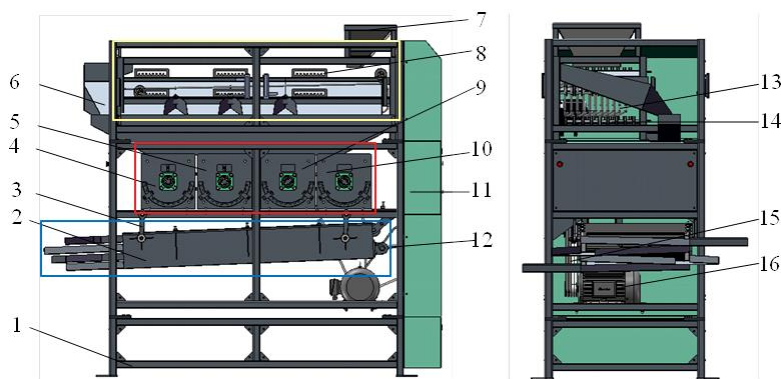
图5 油茶籽尺寸分布图

Fig. 5 Size distribution of *Camellia oleifera* seeds

2 脱壳机结构设计

油茶青果脱壳机主要由机架、分级装置、脱壳装置、粗选装置、电机、传动元件和电控元件等组成，如图6所示。油茶果的分级主要是在分级装置中完成的，相邻的两根橡胶导轨带前窄后宽，待分级的油茶果随着导轨带的转动完成分级。脱壳装置由四级脱壳滚筒组成，分级后的油茶果分别进入对应的脱壳滚筒中脱壳。脱壳后产生的壳籽混合物经粗选装置筛选，得到半脱及未脱的油茶果、较大的壳籽混合物、相对

较小的壳籽混合物和壳籽碎渣。



1. 机架; 2. 振动筛; 3. 摇杆; 4. 四级脱壳滚筒; 5. 三级脱壳滚筒; 6. 超大果导板; 7. 进料口; 8. 多豁口板; 9. 二级脱壳滚筒; 10. 一级脱壳滚筒; 11. 电控箱; 12. 轴承套连杆; 13. 导轨带; 14. 导轨轮; 15. 传动带; 16. 主电机

图 6 油茶青果脱壳机

Fig. 5 *Camellia oleifera* Fruit Shelling Machine

2.1 工作原理

油茶果经进料口进入分选装置落在导轨带上并随其不断转动,按照由小到大的顺序依次掉落在分级板上,分级装置可按实际工作需要调节卡槽完成多级分级。分级后的油茶果从各级脱壳进料口进入脱壳装置内,多通道脱壳装置由四级脱壳滚筒组成,每级脱壳滚筒都是单独的脱壳通道,在滚筒内部,脱壳杆左旋 25° 安装在脱壳盘上,在脱壳滚筒内部形成楔形间隙,有利于为脱壳作业提供空间,脱壳杆上设有套筒,用来缓冲脱壳杆对油茶籽的冲击力,降低茶籽破损率,脱壳主轴转动带动脱壳杆绕轴旋转,油茶果随着脱壳杆在滚筒内做旋转运动,油茶果受到击打、揉搓以及茶果与茶果之间的挤压和摩擦,在这一系列的复杂运动中发生破壳,最终完成脱壳作业。脱壳后形成的油茶壳与油茶籽的混合物,从栅条的缝隙中排出,掉落的多通道粗选装置上,经过粗选装置层层筛分后,形态尺寸相近的壳籽混合物进入到清选装置,做进一步的精细化清选处理,而尺寸较大的油茶壳和一些碎小残渣则排出粗选装置外,进而完成油茶果的脱壳工作和壳籽初步分离工作。基于工作原理制定的工作流程图如图 7 所示。

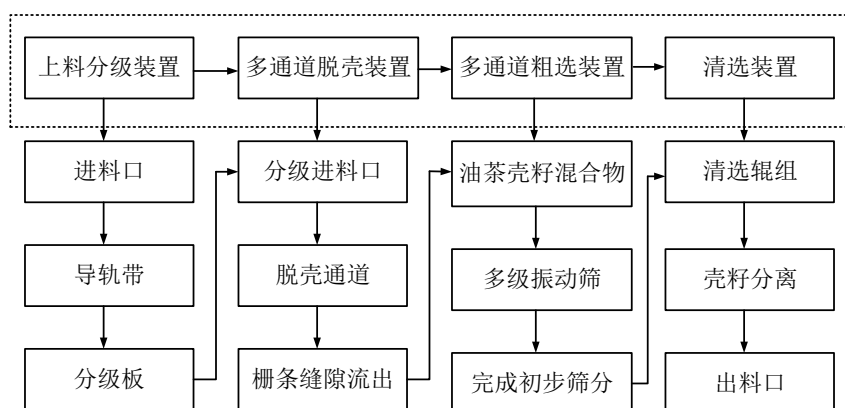


图 7 油茶青果脱壳机工作流程

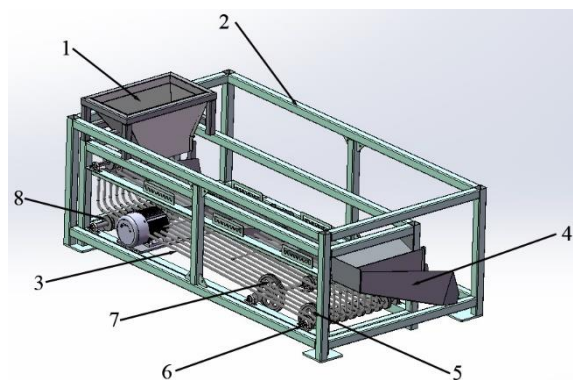
Fig. 7 *Camellia oleifera* Fruit shelling machine workflow

2.2 关键部件设计

2.2.1 分级装置设计

一般来说,油茶果在脱壳时所需的撞击力 F 与油茶果的大小呈正比,即油茶果越大所需的撞击力 F 值就越大。当一定大小的撞击力 F 对中等大小的油茶果具有最佳脱壳效果时,同一脱壳筒内较小的油茶果破籽率会大幅上升,较大的油茶果脱净率会大幅下降。所以,在脱壳前对油茶果进行分级,使一定大小范围内的油茶果与合适的撞击力 F 相匹配,是获得较高脱净率和较低破籽率的前提条件。

本机分级装置主要由进料口、机架、橡胶导轨带和导轨轮等组成,分级装置结构如图 8 所示。分级装置单独设计有分级电机,可接民用 220V 电压。分级装置设计有 11 根橡胶导轨带,每根导轨带与 4 个导轨轮配套,导轨带安装于导轨轮上。分级底板上设计有挡板,可按照需要利用挡板进行多级分级。橡胶导轨带整体呈扇形渐变分布,油茶果随橡胶导轨带转动而移动时,直径在 18-25mm 的油茶果经分级底板进入到一级脱壳滚筒中进行脱壳;直径在 25-30mm 的油茶果经分级底板进入到二级脱壳滚筒中进行脱壳;直径在 30-40mm 的油茶果经分级底板进入到三级脱壳滚筒中进行脱壳;直径在 40-50mm 的油茶果经分级底板进入到四级脱壳滚筒中进行脱壳,直径大于 50 的油茶果经由导板进入到四级滚筒中进行脱壳。



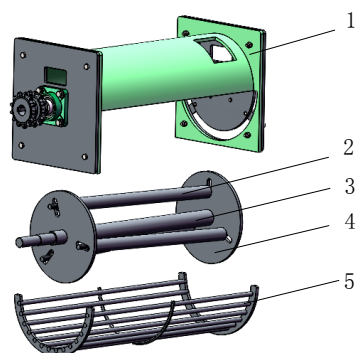
1.分级装置进料口; 2.机架; 3.橡胶导轨带; 4.导板; 5.动力带轮; 6.传动轴; 7. 传动带轮; 8.导轨轮

图 8 分级装置

Figur. 8 Classification device

2.2.2 脱壳滚筒设计

脱壳滚筒主要由脱壳滚筒上组件、脱壳杆、脱壳主轴、脱壳盘、弧形栅条筛等构成,如图 9 所示。脱壳主轴直径设计为 35mm,脱壳杆每侧的脱壳盘上均开有 3 个的耳槽,相邻耳槽孔夹角为 120° ,耳槽长、宽尺寸分别为 60mm、18mm。为了更好的处理来自分级装置的尺寸大小不一的油茶果,需要调整各级滚筒内脱壳杆顶部到耳槽孔下端的距离,从一级到四级的距离分别是 0mm、10mm、20mm、30mm。脱壳滚筒底部设计有栅条筛,每级圆弧栅条间隙小与各级脱壳滚筒的油茶果尺寸相匹配。为了保证脱壳效果达到最优,使设备更具有普适性,还可针对不同地区不同品种的油茶果,对每级脱壳通道的脱壳间隙做出适当的改变。



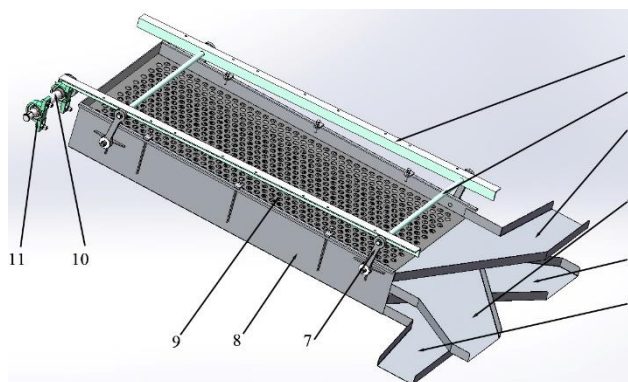
1.脱壳滚筒上组件；2.脱壳杆；3.脱壳主轴；4.脱壳盘；5.弧形栅条筛

图 9 脱壳滚筒

Fig. 9 Shelling drum

2.2.3 粗选装置设计

粗选装置主要由振动筛筛体、筛网、振动筛支撑轴和摆杆等组成，如图 10 所示。脱壳机工作时，主电机带动小带轮，小带轮带动大带轮，由于偏心轮与大带轮同轴，而振动筛连接于偏心轮的另一端，从而带动振动筛作摇摆运动。振动筛呈 4° 倾角，有利于油茶果脱壳后产生的壳籽混合物中快速移动实现快速筛选。壳籽混合物经三层筛网的筛选后，一级输出口输出大壳、半脱及未脱油茶果，进而进行二次脱壳；二级输出口输出较大的壳籽混合物，配合一级清选机进行壳籽清选，避了一级清选机对较小茶籽造成破损；三级输出口输出较小的壳籽混合物，配合二级清选机实现精细化清选；四级输出口输出脱壳过程中产生的壳籽碎渣，避免碎渣部分参与清选。



1. 机架；2. 振动筛支撑轴；3. 一级输出口；4. 二级输出口；5. 三级输出口；6. 四级输出口；7. 摆杆；8. 振动筛筛体；9. 筛面；10. 振动筛传动轴；11. 轴承座

图 10 粗选装置

Fig. 10 Roughing device

3 脱壳性能试验

3.1 试验对象与设备

以安徽油茶基地种植采摘的油茶鲜果的油茶鲜果为试验对象，试验设备包括油茶青果脱壳机、数显转速表、变频器和电子秤等。



图 11 试验对象与设备
Fig. 11 Test objects and equipment

3. 2 试验因素与指标

脱壳试验选取喂入量、脱壳盘扭转角度、脱壳杆直径作为试验因素，试验水平与因素编码值如表 1 所示。采用响应面分析法（RSM）来设计脱壳试验，采用 Box-Behnken Design（BBD）中心组合的设计原理，试验数据分析采用 Design-Expert 软件。脱壳试验时设置固定的脱壳转速为 400r/min，每组试验油茶果总质量为 100kg。试验选取脱净率 y_1 和破损率 y_2 为试验指标，脱净率 $y_1 = (W_w + W_s + W_p) / (W_w + W_s + W_p + W_b) \times 100\%$ ，破损率 $y_2 = (W_s + W_p) / (W_w + W_s + W_p) \times 100\%$ ，式中： W_w 为完整的油茶籽质量(kg)； W_p 为破碎的油茶籽质量(kg)； W_s 为损伤的油茶籽质量(kg)； W_b 为未完全脱开的油茶果质量(kg)。

表 1 试验水平与因素编码
Tab. 1 Experimental levels and factor codes

编码	A: 脱壳盘扭转角 (°)	B: 喂入量 (kg/h)	C: 脱壳杆直径 (mm)
-1	20	1700	20
0	25	1800	23
1	30	1900	26

3. 3 试验结果与分析

试验通过调整上料机的电机转速改变油茶果喂入量，调整脱壳通道两侧脱壳盘与辊轴间衔接位置的角度调整脱壳盘扭转角，脱壳杆直径的调整策略是选取三组不同直径的脱壳杆。试验方案与结果如表 2 所示。

表 2 试验方案与结果
Table. 2 Experimental program and results

试验编号	A	B	C	y_1 (%)	y_2 (%)
1	1	0	-1	97.19	5.26
2	1	0	1	97.79	3.75
3	0	1	-1	95.45	3.63
4	1	1	0	94.12	3.79
5	0	1	1	93.23	1.74
6	-1	0	-1	97.94	4.36

7	0	-1	-1	99.41	5.14
8	0	0	0	98.13	2.35
9	0	0	0	98.32	3.25
10	0	-1	1	98.18	2.48
11	-1	0	1	94.04	1.24
12	0	0	0	98.05	2.84
13	-1	-1	0	98.81	3.47
14	0	0	0	97.71	2.02
15	1	-1	0	99.37	3.67
16	-1	1	0	91.29	1.26
17	0	0	0	98.35	2.24

3.3.1 脱净率回归分析

脱净率方差分析如表 3 所示，根据表 2 的试验数据可得脱净率的回归方程为：

$$y_1 = 98.11 + 0.7238A - 2.52B - 0.8437C + 0.0325AB + 1.13AC - 0.2475BC - 1.29A^2 - 1.46B^2 - 0.0835C^2$$

表 3 为脱壳试验脱净率的方差分析结果，由表 3 可得：该模型的 P 值<0.0001，即模型显著性极高，且失拟项不显著，R²=0.9886，说明回归数学模型与真实试验模型之间的拟合精度较高，适用于分析脱净率，各影响因素对脱净率的影响程度强弱依次是 B、C、A。

表 3 脱净率方差分析结果

Tab. 3 Results of ANOVA for stripping rate

方差来源	平方和	自由度	均方	F	P	显著性
模型	83.10	9	9.23	67.43	<0.0001	**
A	4.19	1	4.19	30.61	0.0009	**
B	50.80	1	50.80	371.04	<0.0001	**
C	5.70	1	5.70	41.60	0.0004	**
AB	0.0042	1	0.0042	0.0309	0.8655	
AC	5.06	1	5.06	36.97	0.0005	**
BC	0.2450	1	0.2450	1.79	0.2228	
A ²	6.99	1	6.99	51.05	0.0002	**
B ²	8.99	1	8.99	65.64	<0.0001	**
C ²	0.0294	1	0.0294	0.2144	0.6574	
残差	0.9585	7	0.1369			
失拟项	0.6928	3	0.2309	3.48	0.1300	
纯误差	0.2657	4	0.0664			
总值	84.05	16				

注：*表示影响显著（P<0.05）；**表示影响极显著（P<0.01）。

3.3.2 脱净率响应 分析

利用响应面分析软件得到脱壳盘扭转角、喂入量和脱壳杆直径对脱净率影响的响应面分析结果如图 12 所示。由图 12a 可知，当喂入量一定时，脱净率随着脱壳盘扭转角的增大呈先上升后降低的趋势，这是因为随着脱壳盘扭转角的增大油茶果与脱壳通道间发生碰撞摩擦的概率增大，油茶果之间、油茶果与脱壳通道之间发生碰撞的次数增多，当脱壳盘扭转角增大到一定角度时，楔形腔的推力使得油茶果加快脱离脱壳进程，所以脱净率会呈先增大后降低的趋势；当脱壳盘扭转角一定时，脱净率随着喂入量的增大呈降低趋势，这是因为在有限的脱壳空间内，油茶果的破壳力处于较理想的状态，伴随着油茶果的不断填充，内部空间出现积压，茶果与茶果之间的碰撞力度会逐渐减弱，所以脱净率逐渐降低。

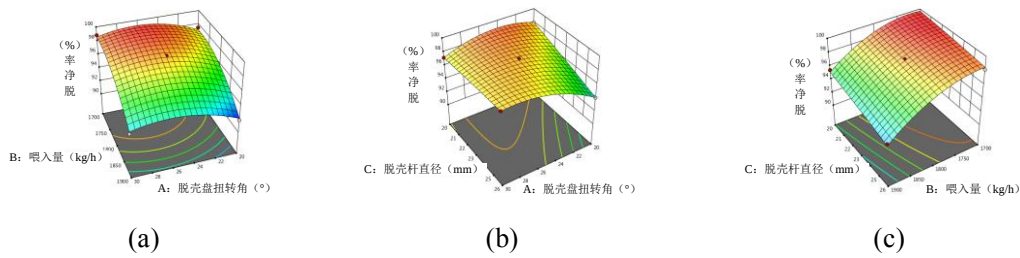


图 12 各因素对脱净率影响的响应曲面

Fig. 12 Response surface of the effect of each factor on the rate of decontamination

如图 12b 所示，当脱壳杆直径一定时，脱净率随脱壳盘扭转角的增大呈先上升后降低的趋势，这是因为随着脱壳盘扭转角度增大使得脱壳滚筒内部的楔形空间增大，茶果与茶果、茶果与脱壳滚筒之间具备多次碰撞的条件，使得脱净率升高，当脱壳盘扭转角度增大到一定值时，油茶果受到较大的推力，加快排出脱壳通道，所以脱净率会呈先上升后下降的趋势；当脱壳盘扭转角一定时，脱净率随着脱壳杆直径的增大缓慢的提高，但提高的趋势不明显，说明当喂入量一定时，改变轴套的直径对油茶果脱净率的影响有限。

如图 12c，当脱壳杆直径一定时，脱净率随着喂入量的增大呈下降趋势，这是因为脱壳腔内，油茶果的破壳力处于较理想的状态，随着油茶果喂入量的不断增大，脱壳腔内油茶果堆积，使得油茶果之间、油茶果与脱壳通道的碰撞力度逐渐减弱，所以脱净率会呈逐渐下降的趋势；当喂入量一定时，随着脱壳杆直径的增大，脱净率呈逐渐下降的趋势，但下降的趋势不明显，说明当喂入量一定时，改变脱壳杆直径对油茶果脱净率的影响有限。

3.3.3 破损率回归分析

由表 2 的试验结果，可得破损率的回归方程型为：

$$y_2 = 2.54 + 0.7675A - 0.5425B - 1.15C + 0.5825AB + 0.4025AC + 0.1925BC + 0.4562A^2 + 0.0512B^2 + 0.6563C^2$$

表 4 为茶籽破损率的方差分析结果，模型的 P 值在极显著范围内，且失拟项不显著，R2=0.9556，由以上分析可得该模型适用于分析脱壳试验的破损率。从上述回归方程中可得各个试验因素对破损率的影响，影响程度大小依次是 C、A、B。

表 4 破损率方差分析结果
Tabl. 4 Results of ANOVA for breakage rate

方差来源	平方和	自由度	均方	F	P	显著性
模型	22.64	9	2.52	16.73	0.0006	**
A	4.71	1	4.71	31.34	0.0008	**

B	2.35	1	2.35	15.66	0.0055	**
C	10.53	1	10.53	70.07	<0.0001	**
AB	1.36	1	1.36	9.03	0.0198	*
AC	0.6480	1	0.6480	4.31	0.0765	
BC	0.1482	1	0.1482	0.9859	0.3538	
A ²	0.8765	1	0.8765	5.83	0.0465	*
B ²	0.0111	1	0.0111	0.0736	0.7940	
C ²	1.81	1	1.81	12.06	0.0104	*
残差	1.05	7	0.1503			
失拟项	0.0618	3	0.0206	0.0832	0.9657	
纯误差	0.9906	4	0.2477			
总值	23.69	16				

注：*表示影响显著（P<0.05）；**表示影响极显著（P<0.01）。

3.3.4 破损率响应 分析

脱壳盘扭转角、喂入量和脱壳杆直径对破损率影响的响应面分析结果如图 13 所示。由图 13a 可知，当喂入量一定时，茶籽破损率随着脱壳盘扭转角的增大呈现下降后上升的趋势，这是因为随着脱壳盘扭转角的增大，脱壳滚筒内部的楔形空间逐步增大，腔内油茶籽的碰撞概率降低，茶籽破损率随之降低，当脱壳盘扭转角增大到一定值时，楔形空间内油茶籽受到的撞击逐渐增大，所以茶籽破损率呈先下降后上升的趋势。当脱壳盘扭转角一定时，随着喂入量的逐渐增大，破损率呈逐渐下降的趋势，这是因为随着喂入量的增大，油茶果在脱壳腔内逐渐增加，油茶果得到充分脱壳，脱壳腔内壳籽混合物填充充分，茶籽碰撞几率降低，所以破损率会呈下降趋势。

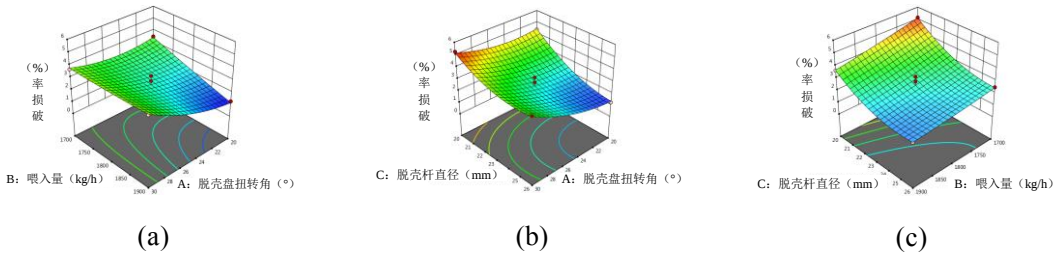


图 13 各因素对破损率影响的响应曲线

Fig. 13 Response curve of the effect of each factor on breakage rate

由图 13b 可知，当脱壳杆直径一定时，破损率随着脱壳盘扭转角的增大呈先下降后升高的趋势，这是因为随着脱壳盘扭转角的增大，楔形腔空间逐渐增大，茶籽碰撞概率降低，破损率随之降低；当脱壳盘扭转角增大到一定值时，脱壳杆与茶籽的碰撞概率增加，茶籽破损率随之增大。由图 13c 可知，当脱壳杆直径一定时，随着喂入量的增大破损率呈下降趋势，这是因为随着喂入量的增大，油茶果在脱壳腔内逐渐增加，油茶果得到充分脱壳，脱壳腔内壳籽混合物填充充分，茶籽碰撞几率降低，所以破损率会呈下降趋势。

3.3.5 参数优化

通过对脱壳试验的响应面分析可知，为了使油茶果脱壳机达到最佳工作状态，即脱净率达到最高，破损率最低，需要对目前的试验数据做参数优化处理，从而实现改变油茶脱壳机工作质量不佳的现状，为此

建立如下目标函数:

$$\begin{cases} \max Y_1 \\ \min Y_2 \\ 20 \leq A \leq 30 \\ 1700 \leq B \leq 1900 \\ 20 \leq C \leq 26 \end{cases}$$

通过设置脱净率最大、破损率最小,在 Design-expert 中计算得最优解为 $A=24.84$ 、 $B=1845.47$ 、 $C=25.02$,脱净率为 98.49%,破损率为 2.28%。

调整脱壳盘扭转角为 25° 、喂入量为 1845kg/h 、脱壳杆直径为 25mm ,对脱壳机进行 3 次参数组合试验,试验结果取 3 次试验平均值。经计算,脱净率为 98.32%,茶籽破损率为 2.33%。通过脱壳试验的进一步验证,可以证明脱壳试验的响应面分析模型可行。

4 结论

(1) 设计了四通道油茶青果果脱壳机,对该机分级、脱壳和粗选装置进行了设计,该机可以适用于不同大小、品种的油茶果脱壳,现场试验结果表明该机脱壳效果较佳,具有较高的脱净率和较低的茶籽破损率。

(2) 分析了油茶果的物理特性,对油茶果粒径和油茶籽尺寸进行测量和统计,得出油茶果的粒径分布范围较广,同一品种的油茶果粒径尺寸分布范围差异性明显。

(3) 以脱壳盘扭转角、喂入量、脱壳杆直径为试验因素,以脱净率和茶籽破损率为试验指标开展脱壳性能试验,试验结果表明,当脱壳盘扭转角为 24.84° ,喂入量为 1745.47kg/h ,脱壳杆直径为 25.02mm 时,脱壳机达到最佳脱壳效果。调整脱壳盘扭转角为 25° 、喂入量为 1845kg/h 、脱壳杆直径为 25mm ,对脱壳机进行 3 次参数组合试验,试验结果取 3 次试验平均值。经计算,脱净率为 98.32%,茶籽破损率为 2.33%。

参考文献

- [1] 朱广飞. 油茶果脱蒲机的研制及其工艺参数优化试验[D].中国农业机械化科学研究院,2016.
- [2] 黄凤洪.油茶产业发展的新亮点——精深加工[J].经济,2009(10):65-66.
- [3] 刘浩. 油茶果脱壳机设计及优化[D].湖北工业大学,2015.
- [4] 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.
- [5] 陈礼东. 油茶果脱蒲与分离结构设计及试验研究[D].中国农业机械化科学研究院,2021.
- [6] 胡一飞. 多通道油茶果分级破壳机设计及分级清选自动化研究[D].湖北工业大学,2020.
- [7] 廖配,全腊珍,肖旭,等. 撞击式油茶果破壳装置的设计及试验[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2019, 45(01):110-114.
- [8] 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.
- [9] 郭传真. 油茶果皮籽分离装置的设计与试验研究[D].武汉:华中农业大学,2011.
- [10] 张风,杨志斌,张劲夫,等. 油茶鲜果剥壳机机械设计原理[J]. 湖北林业科技, 2013(3).
- [11] 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(9):173-175.
- [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(5).
- [13] 刘亮亮. 压剥式油茶果破壳机的设计与试验[D].武汉:湖北工业大学,2017.
- [14] 王焱清,马君,熊初. 多通道气动刨削式油茶果破壳机设计[J]. 湖北农业科学, 2018(12).