

油茶果机械化脱壳装置研究现状及展望

Research status and prospect of mechanized hulling device for *Camellia oleifera* fruit

吴均毅¹ 王毅¹ 熊平原¹ 阮捷颖¹ 廖志强²

WU Junyi¹ WANG Yi¹ XIONG Pingyuan¹ RUAN Jieying¹ LIAO Zhiqiang²

(1. 仲恺农业工程学院, 广东 广州 510631; 2. 广东省特种设备检测研究院梅州检测院, 广东 梅州 514072)

(1. Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou, Guangdong 510631, China; 2. Meizhou Testing Institute of Guangdong Special Equipment Testing Institute, Meizhou, Guangdong 514072, China)

摘要:传统油茶果脱壳以人工为主,作业强度大、人力成本高、生产效率低。机械化脱壳是油茶产业现代化的必然趋势。已有油茶果脱壳装置通用性差、破壳率低、籽仁破损率高,影响油茶机械化脱壳技术推广。通过对比现有油茶果脱壳方法,分析了各脱壳装置结构及工作原理,总结了其优缺点,并对其发展方向进行了展望。

关键词:农业机械;油茶果;脱壳;破壳率

Abstract: The traditional hulling of *Camellia oleifera* fruit is mainly manual, with high work intensity, high labor cost and low production efficiency. Mechanized hulling is the inevitable trend of modernization of *Camellia oleifera* industry. The existing hulling device of *Camellia oleifera* fruit has poor universality, low hulling rate and high seed kernel breakage rate, which affects the popularization of mechanized hulling technology of *Camellia oleifera*. By comparing the existing hulling methods of *Camellia oleifera*, the structure and working principle of each hulling device were analyzed, their advantages and disadvantages were summarized, and their development direction was prospected.

Keywords: agricultural machinery; *Camellia oleifera* fruit; shelling; shell breaking rate

中国是世界上油茶分布最广、品种最多的国家,油茶籽产量稳居世界首位^[1-3]。油茶籽榨出的油含有较高的不饱和脂肪酸,营养价值丰富,具有“东方橄榄油”之称^[4-5]。截至 2020 年,中国油茶籽产量为 314.16 万 t,油

茶产业产值为 1 528.84 亿元^[6]。国家林草局于 2009 年制定《全国油茶产业发展规划(2009—2020 年)》^[7],2016 年又制定并实施了《全国大宗油料作物发展规划(2016—2020 年)》^[8],明确了中国油茶产业的发展方向。

油茶果主要由油茶壳、油茶籽和隔膜组成。新鲜采摘的油茶果含水量较高,果实坚硬,壳籽间虽有隔膜但相隔较紧密且大小不一较难脱壳。目前,中国部分地区油茶果脱壳以人工为主,机械为辅。但人工脱壳已经满足不了当今油茶产业的快速发展,而现有的油茶果脱壳装置存在能耗大、破籽率高等问题。文章拟对比现有的油茶果脱壳方法,分析各脱壳装置的工作原理及特点,总结其优缺点,以期为坚果类物料脱壳装置的研制提供依据。

1 油茶果脱壳装置现状分析

常见油茶果脱壳装置大多采用撞击式、碾搓式、挤压式、剪切式来进行有效脱壳^[9-12]。

1.1 撞击式脱壳

唐湘^[13]设计的离心撞击式油茶果脱壳装置主要由进料斗、离心甩盘、齿圈、电机等组成(图 1)。工作时,电机提供动力带动离心甩盘旋转,油茶果以一定的离心速度甩出与齿圈产生撞击,碰撞后果壳开裂实现脱壳,脱壳后沿出料板处排出。该装置能够适用于含水率低于 65% 的油茶果脱壳,脱壳率为 85.3%,籽破损率为 6.5%。Bernik 等^[14]设计的脱壳装置也采用相似的结构(见图 2)。

针对撞击式脱壳破壳率低、籽破损率高的问题,廖配等^[15]研制了二次撞击脱壳装置(图 3)。油茶果在离心力的作用下撞击导料板,受到初次撞击的油茶果沿导料板流道被抛出与外壳进行二次撞击,最终实现壳籽分离。其脱壳率为 94.10%,籽破损率为 4.22%。通过对比可知,增加撞击次数可以提高撞击力从而提升脱壳率,且转子内设计合适的圆弧结构能够适当降低油茶果的撞击速

基金项目:教育部农业农村部中国科协联合资助项目(编号:教研厅函[2022]7 号);广东省省级研究生创新计划项目(编号:2019SFKC33, 2020JGXM063);仲恺农业工程学院研究生科技创新基金(编号:KJCX2022017)

作者简介:吴均毅,男,仲恺农业工程学院在读硕士研究生。

通信作者:王毅(1974—),男,仲恺农业工程学院教授,博士。

E-mail: wangyi168_2001@163.com

收稿日期:2022-11-08 **改回日期:**2023-05-11

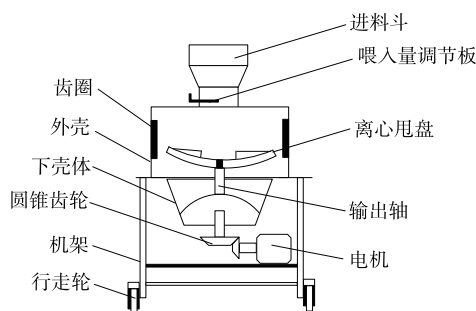


图1 离心撞击式油茶果脱壳装置结构图

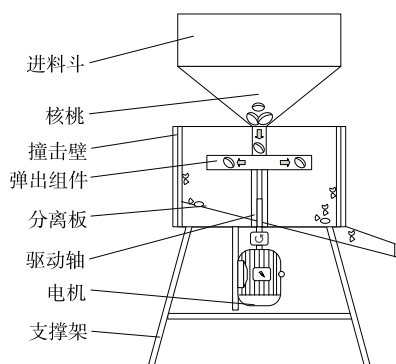
Figure 1 Structure diagram of centrifugal impact hulling device for *Camellia oleifera* fruit

图2 离心撞击脱壳装置结构简图

Figure 2 Structure diagram of centrifugal impact walnut sheller

度,降低籽破损率。李官强^[16]设计了多次碰撞脱壳装置(图4)。油茶果先经滚筒挤压产生裂纹,再在离心转盘作用下与内壁发生碰撞实现脱壳,由于脱壳室上端带有斜板,能够使油茶果发生多次撞击,但该脱壳装置在脱壳后未实现壳籽分选。王毅等^[17]设计的脱壳装置增加浮选功能,能有效分离壳籽,而且脱壳机结构简单,能够适应大小不同的油茶果,但油茶果所受冲击力较大,破损率高。撞击式脱壳,需要选取外壳较脆以及壳籽间结合力较小的果实,其结构设计可选取如下方式:果实主动撞击于脱

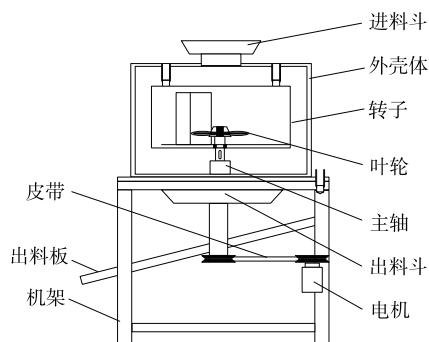


图3 二次撞击脱壳装置结构图

Figure 3 Structure diagram of secondary impact shelling device

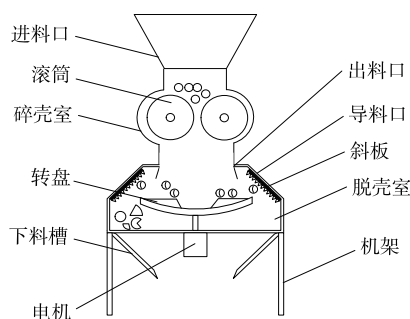


图4 多次碰撞脱壳机结构图

Figure 4 Structure diagram of multiple collision sheller

壳腔壁或脱壳部件主动撞击果实,且设计相关的试验来确定合适的撞击力,避免撞击力与果实破壳力之间不匹配。

1.2 碾搓式脱壳

1.2.1 揉搓带式脱壳装置 李阳等^[18]设计的揉搓带脱壳装置主要由分类机构、揉搓机构、输送机构、抽抛机构等组成(图5)。油茶果输送到揉搓空腔中,利用揉搓板与柔性带在油茶果上相对运动进行碾搓脱壳,脱壳率为97%,籽破损率 $\leq 5\%$ 。此装置能够减少油茶籽在脱壳过程中的破损,但在脱壳过程中间隙固定,需对油茶果进行前期分级处理才能拥有较优的脱壳率。对于难脱的油茶果,脱壳过程时间长且脱壳部分动力不足容易堆积,影响脱壳效率。王炎清^[19]设计了一款新型脱壳装置(图6),该结构与前者相似,区别在于传送带处增加了调节弹簧装置,使结实难脱的果实顺利从出料口排出,预防堵塞。

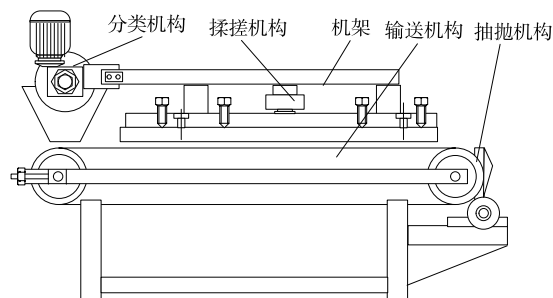


图5 揉搓带脱壳装置结构图

Figure 5 Structure diagram of kneading sheller

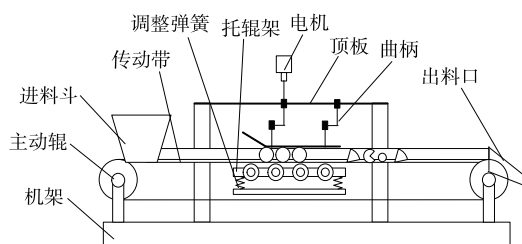


图6 新型揉搓脱壳装置结构图

Figure 6 Structure diagram of the new kneading shelling device

对于揉搓带式脱壳装置工作中不可自行调整脱壳间隙的问题,张禹鑫^[20]研制了差速揉搓式脱壳装置(图 7),其脱壳原理与上述装置相似,区别在于揉搓带呈一定角度倾斜布置,脱壳间隙的逐渐变化能够保证一定尺寸范围内的油茶果能够在脱壳区域内不同位置进行脱壳;揉搓带间增加了间隙角度调节装置,可适应不同的工作情况,其籽破损率 $\leq 3.2\%$,该装置可高效平稳地完成油茶果脱壳,降低脱壳过程中油茶籽的损伤,提高脱壳动力。Worn 等^[21]研制了适用于不同坚果物料的脱壳装置(图 8),其连杆偏心安装在旋转圆筒中,在电机带动下前夹板做往复运动,另一夹板与其形成锥形间隙且带有刻度间隙调节装置,坚果在锥形间隙中实现揉搓脱壳。

1.2.2 旋转杆、板式脱壳装置 脱壳杆呈一定扭转角度和倾斜角度安装在脱壳盘上,与脱壳腔形成楔形脱壳室,油茶果在楔形室内受到脱壳杆碾搓、挤压和油茶果之间相互碰撞实现脱壳。蓝峰等^[22]设计的脱壳装置主要由进料斗、脱壳盘、脱壳主轴、脱壳杆组成(图 9),其脱壳率为 96%,籽破损率为 2%~3%。该装置虽然可以适应大小不同的油茶果,但遇到难脱的油茶果时会发生因处理不及时造成的壳籽堆积现象,导致壳籽混合物容易与未脱和半脱的油茶果进行混合,降低脱壳清选效率。兰峰等^[23]设计了一套大处理量的脱壳装置,将原有脱壳盘扩大并安装脱壳杆,形成两层楔形空间增大了脱壳杆的碾搓挤压能力,其脱壳率为 99.2%。

汤晶宇等^[24-25]设计的脱壳装置,其结构和脱壳方式与蓝峰等^[22]设计的装置相似。区别在于脱壳前先对油茶

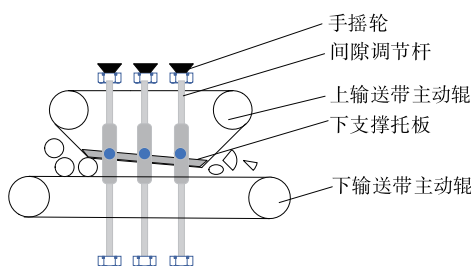


图 7 差速揉搓式脱壳装置结构图

Figure 7 Structure diagram of differential kneading sheller

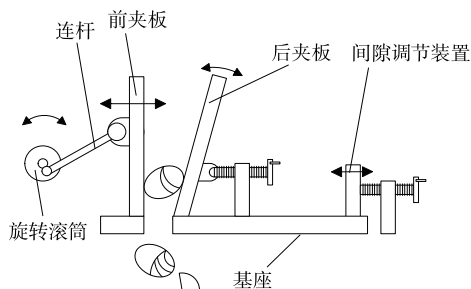


图 8 坚果脱壳装置

Figure 8 Nut sheller

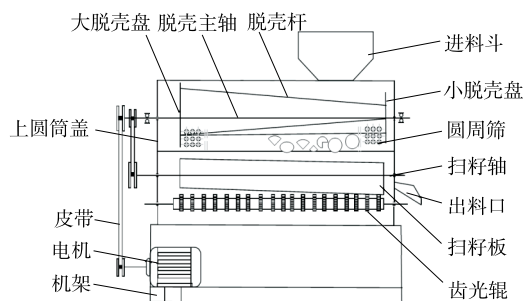


图 9 油茶果脱壳装置结构简图

Figure 9 Hulling device for squeezing and grinding *Camellia oleifera* fruit

果进行分级,分级后再进入相应通道中进行脱壳,脱壳后经过 3 层筛网分选;脱壳盘上设计了凸耳孔能够按油茶果大小来调整脱壳杆安装位置且脱壳杆加入套筒包裹,降低了脱壳过程中的油茶籽破损率。汤晶宇等^[24]设计的装置脱壳率可达 98.85%,籽破损率为 3.24%,且脱壳前的分级处理能够将大小相近的油茶果进行集中脱壳,减少脱壳不完全的情况。Fakayode 等^[26-28]采用旋转杆、板相互配合的结构分别对相应坚果类物料进行脱壳(图 10~图 12),装置的主轴与脱壳室固定,四周焊有脱壳板,区别在于脱壳板数量、长度、厚度的差异,当物料落入脱壳室中,主轴高速旋转带动脱壳板对物料进行挤压抽打脱壳,脱壳效率分别为 87.41%,74.20%,92.32%。此类装置设计时需要考虑脱壳主轴转速、脱壳杆直径、脱壳板尺寸、安装角度及材料等因素对脱壳效率的影响。

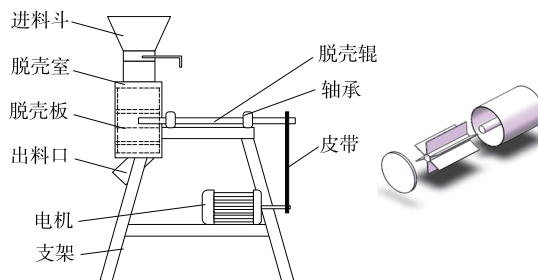


图 10 辣木籽脱壳装置结构简图

Figure 10 Structural diagram of Moringa seed hulling device

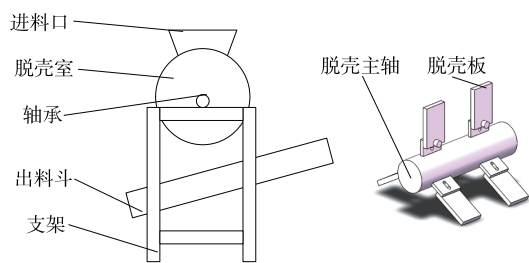


图 11 棕榈坚果脱壳装置结构简图

Figure 11 Structural diagram of palm nut sheller

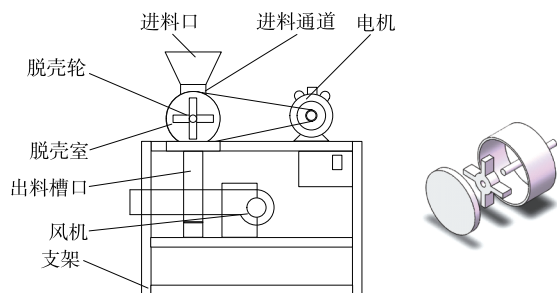


图 12 坚果脱壳装置结构简图

Figure 12 Structure diagram of nut hulling device

1.2.3 锥形辊式脱壳装置 张风等^[29]设计的三棱柱挤压辊脱壳装置(图 13),电机通过皮带轮带动三棱锥挤压辊旋转,油茶果在挤压辊和腔体间隙中受到碾搓作用实现脱壳。该装置需要 2~3 次反复碾搓才能保证完全脱壳,脱壳率较高。但导致油茶果在下方区域停留时间较长,随着处理量和时间的增加,壳籽混合物堆积在下方区域使得籽破损率增加,因此装置处理量不高(125 kg/h),脱壳率 $\geq 98\%$,籽破损率 $\leq 0.1\%$ 。李文林等^[30]设计的脱壳装置(图 14)结构与前者相似,但锥形挤压辊上加装螺旋筋能够很好地将壳籽混合物推出避免堆积,防止籽被碾碎,缩短脱壳时间。

平井敏治^[31]设计了锥形挤压辊结构对花生进行碾搓脱壳(图 15)。杨树松^[32]将脱壳装置设计成横置锥形辊结构(图 16),油茶果在横置锥形辊旋转作用下被碾搓挤压脱壳,其脱壳率 $\geq 97\%$,籽破损率 $\leq 4\%$ 。横置锥形辊脱壳装置占地面积较大,传动复杂,油茶果不易在脱壳区

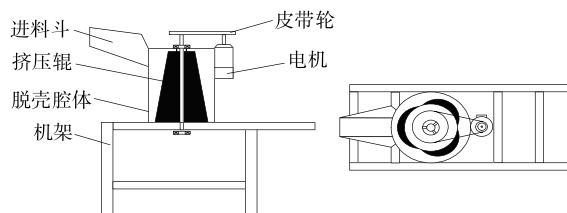


图 13 三棱锥挤压辊脱壳装置结构简图

Figure 13 Structure diagram of hulling device of triangular pyramid extrusion roller

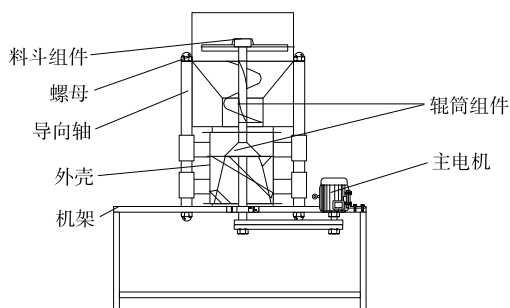


图 14 锥形脱壳装置结构简图

Figure 14 Structure diagram of conical shelling device

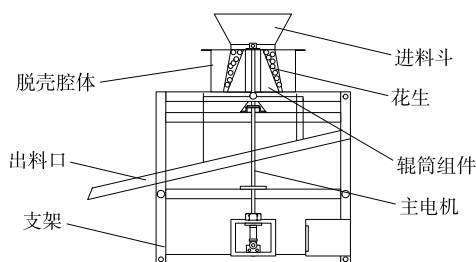


图 15 花生脱壳装置结构简图

Figure 15 Structure diagram of peanut hulling device

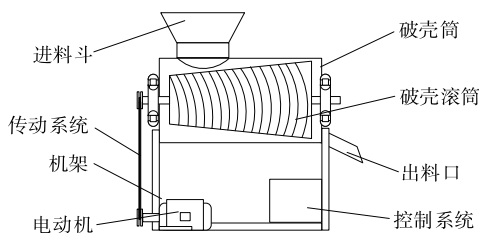


图 16 横置锥形辊脱壳装置结构简图

Figure 16 Structure diagram of horizontal conical roller sheller

域发生堆积。竖直锥形辊脱壳装置能够利用重力和螺旋筋的推动作用将油茶果快速送至分选区提高脱壳效率。对于碾搓式脱壳,最大的难点在于遇到含水量高、难脱的果实时容易出现堆积,从结构设计方面看,将脱壳辊筒四周表面设计一定数量的凸起可增加脱壳作用力,避免果实集中在底部。此方式适用于干燥、壳籽混合物破碎程度较高的果实。

1.3 挤压式脱壳

1.3.1 对辊式脱壳装置 油茶果通过压辊的间隙,受到挤压力的作用使外壳破裂,实现脱壳。如王伟等^[33-34]发明的双辊挤压式脱壳装置主要由进料斗、挤压辊、电机、皮带组成(图 17、图 18)。后者双辊间隙可调,可以适应不同尺寸的坚果。

Lim 等^[35-36]采用两组对辊结构对果实进行脱壳(图 19),果实经过第一组挤压辊间隙时被压缩使果壳破裂,大部分被脱壳;剩余未被脱壳的果实出现裂痕,再次

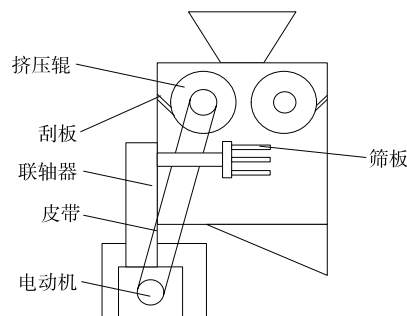


图 17 双辊挤压脱壳装置结构简图

Figure 17 Structure diagram of double-roll extrusion shelling device

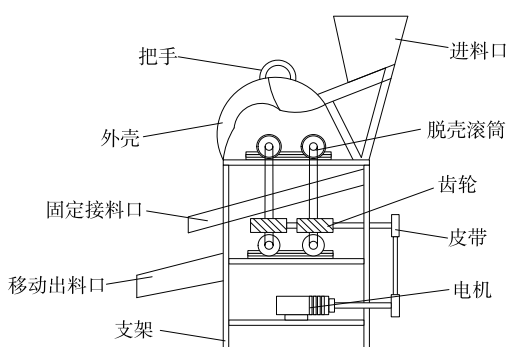


图 18 核桃脱壳装置结构简图

Figure 18 Structure diagram of walnut hulling device

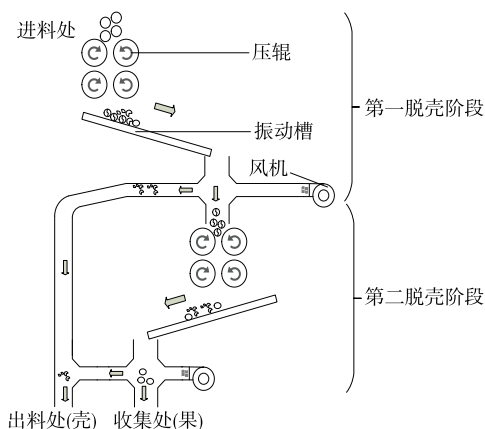


图 19 果实脱壳装置原理图

Figure 19 Schematic diagram of fruit hulling device

经过下一组挤压辊进行挤压实现完全脱壳,采用两组对辊设计目的是弥补第一组挤压辊中未脱净与漏脱的果实,以保证脱壳率。设计的对辊表面增加了螺纹,降低了脱壳过程中籽的损伤以及果实滑落的风险。杨柳君^[37]发明了一种多次挤压脱壳装置,油茶果进入两辊筒间隙中被挤压脱壳,未脱、漏脱的油茶果将经过提升机构再次进行上述脱壳动作,实现多次挤压脱壳。熊平原等^[38]设计了多辊组挤压脱壳装置,其两排滚轮脱壳部件上下排列,滚轮上均布棘刺。油茶果经过两组滚轮间隙时,棘刺将油茶果挤压破裂,通过上下滚轮组的两次处理,可以较好地保证脱壳效果,避免发生堵塞和卡死。此类装置稳定性好,具有恒定的间隙,无法满足不同尺寸果实需求^[39],脱壳时会发生大果籽破碎、小果漏脱的情况,可在破壳前进行分级处理。设计时应考虑与其他脱壳方式组合进行脱壳且挤压辊的转速、距离以及所使用的材料会对脱壳效率产生影响。

1.3.2 辊板式脱壳装置 该脱壳部件由滚筒和弧形栅板组成,滚筒表面可均布一层螺旋纹路,形成凹槽结构,油茶果在间隙中被挤压脱壳。如朱广飞等^[40-41]设计的脱壳装置主要由脱壳辊筒、弧形栅板、滚筒、进料斗、减速机等组成(图20)。后者增加了油茶果破壳状况、水分检测

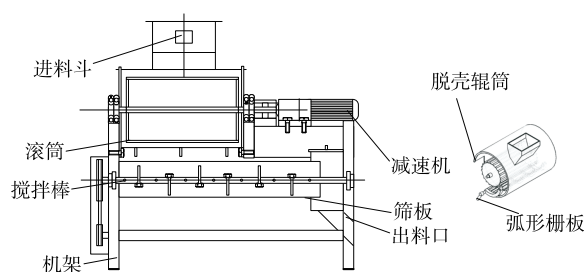


图 20 挤压式脱壳装置简图与脱壳部件结构图

Figure 20 Schematic diagram of extrusion shelling device and structural diagram of shelling parts

系统,有利于提高破壳效率和质量。杜鑫^[42]设计了一种脱壳装置(图21),其脱壳原理与上述装置相似,增加了揉搓皮带的离心挤压作用使油茶果实现壳籽彻底分离。Kim^[43]设计的脱壳装置(图22)可适用于不同尺寸的坚果,在圆柱脱壳滚筒与挡板之间被挤压脱壳。但 Iqbal 等^[44]在圆柱形脱壳滚筒的表面增加了相应数量的凸起(图23),对花生进行挤压脱壳。此类装置相比于对辊式脱壳装置区别在于脱壳板与脱壳辊筒间隙可调以满足大小不一的油茶果,既能保证较高的脱壳率,又能避免油茶果、籽与脱壳筒间隙不匹配,果实漏脱、未脱的问题。

1.3.3 复合挤压式脱壳装置 樊涛等^[45]设计了以挤压为主,抽打为辅的脱壳装置(图24),利用挤压辊筒间隙挤裂油茶果后,再经柔性打棍抽打使壳籽分离。该装置忽略

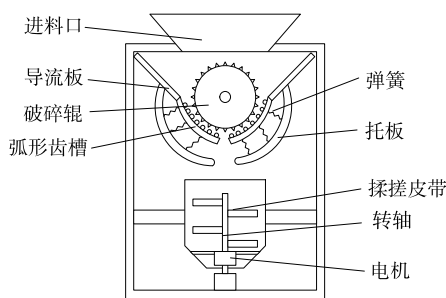


图 21 挤压式高效脱壳装置

Figure 21 Extrusion type high-efficiency sheller

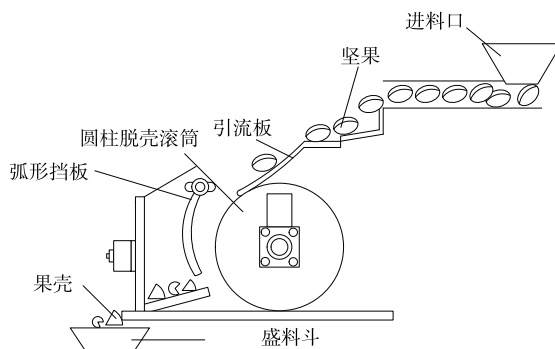


图 22 坚果物料脱壳装置

Figure 22 Nut material sheller

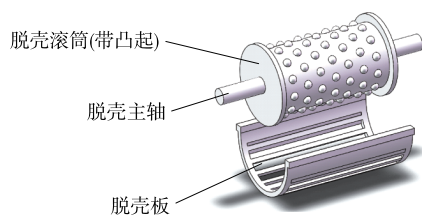


图 23 花生脱壳部件结构图

Figure 23 Structure diagram of peanut hulling parts

了油茶果大小不同的问题,无法全面脱壳。刘亮亮等^[46-47]研制的脱壳装置(图 25)的脱壳动作包括推移、施压咬合、撕扯、复位。该结构模仿人类手工剥壳,气动压剥对油茶果施加挤压力将果壳撕扯,果壳散开实现完全脱壳,整个过程未与茶籽接触且破损率低(仅 2%),但难脱的油茶果则需要分拣出来做进一步处理,脱壳不能连续进行,脱壳率较低(仅 91.5%)。上述复合式脱壳装置结构新颖,但脱壳流程过长且整体结构复杂,脱壳效率不高。对于挤压式脱壳重点在于脱壳过程的间隙不可调,导致脱壳中间隙与果子不匹配产生大果籽挤破、小果未脱的现象,此方式适合于尺寸差异不大的果实。从结构设计方面看,可借助弹簧等零件设计活动式脱壳挤压辊。

1.4 剪切式脱壳

1.4.1 滚刀切割脱壳装置 Naoki 等^[48]设计了一款切割式腰果破壳机(图 26),腰果连续放置在一对传送带之间,传送带将腰果传送到一对圆盘切割器之间进行切割,切割后腰果在分离器中去除外壳。熊平原等^[49-50]设计的油茶果滚刀撞击切割装置主要由电机、皮带轮、滚刀组件

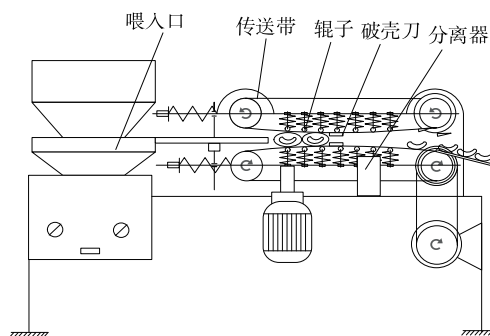


图 26 腰果破壳机结构简图

Figure 26 Structure diagram of cashew nut sheller

(刀轴、刀片)等组成(图 27)。主轴上的滚刀组件快速切割油茶果进行脱壳作业,缺点是油茶果在滚刀组件的高速旋转下,不断被反复切割,增加了油茶籽的损伤,因此将滚刀组件设计为间隙可调、刀片可摆可转的结构,可以降低油茶籽损伤,其脱壳率为 96%,碎籽率为 1.5%。设计时应注意刀片的切入角度以及深度、滚刀组件的转速对脱壳率与破籽率的影响。

1.4.2 复合剪切式脱壳装置 考虑到不同地区油茶果存在差异,陈礼东^[51]设计的以切割为主,抽打为辅的脱壳装置(图 28),利用短齿辊筒对油茶果进行浅层切割,使其表面产生裂痕而不发生破裂,开裂油茶果在橡胶板的击打作用下实现脱壳,脱壳率可达 98.85%。肖本贵等^[52]研制了一种油茶果划线破壳装置(图 29),油茶果经输送装置输送到划线工作区,可垂直移动的弹簧刀片对油茶果表面划线一周,再运输到碾轮处进行脱壳。该装置脱壳过程均在不损伤油茶籽的情况下,先对油茶果进行表面划切或切割,再选取合适的脱壳方式进行脱壳,其碎籽率较低。与滚刀切割脱壳装置进行对比,复合剪切式装置的脱壳率较优,但结构更复杂,每次脱壳需经过两道工序且处理量较低。剪切式脱壳在于滚刀的高速旋转很容易对果实进行反复切割,造成油茶籽损伤,因此适用于壳籽厚度、间距较大、果壳较硬的果实。从结构设计方面看,可将滚刀设计成可摆动和滑动的结构或降低滚刀的转速至合理范围内并结合其他脱壳方法进行脱壳作业。

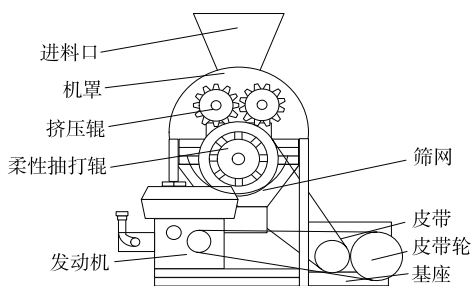


图 24 挤压抽打式脱壳装置结构简图

Figure 24 Structure diagram of extrusion-beating sheller

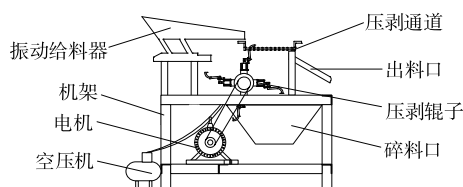


图 25 压剥式油茶果脱壳装置结构简图

Figure 25 Structure diagram of pressure peeling type camellia oleifera fruit hulling device

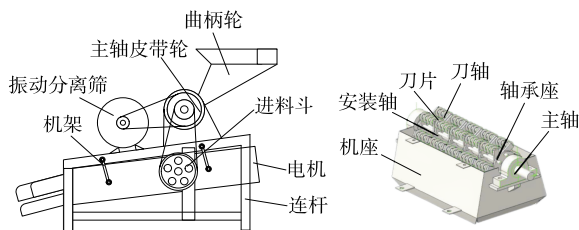


图 27 滚刀切割装置结构简图与滚刀脱壳结构

Figure 27 Structure diagram of hob cutting device and hob shelling structure

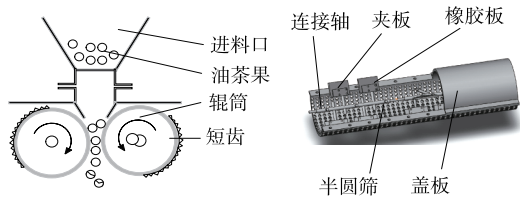


图 28 切割过程图与橡胶板脱壳结构图

Figure 28 Cutting process diagram and rubber sheet shelling structure diagram

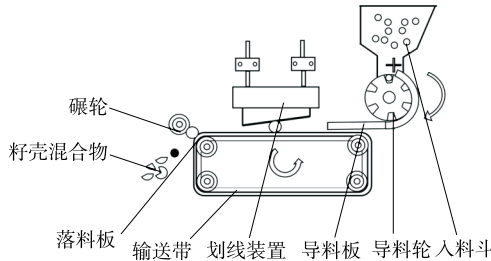


图 29 划线破壳装置结构简图

Figure 29 Structure diagram of scribing and shell breaking device

2 脱壳装置问题分析

表 1 列举了其常见的几种结构形式及影响因素与适用范围。对比各类脱壳装置最优组合参数可知,离心撞击式的籽破损率最高,挤压式的最低;碾搓式与剪切式的脱壳率较高,其次是挤压式与离心撞击式。对于离心撞击式,控制油茶果被抛出的速度为关键因素,合适的冲击力可降低碎籽率。对于碾搓式,碾搓带的间隙、转速、角度等为关键因素,能够避免外形不规则的油茶果在带中出现滑动或滚动现象而影响脱壳性能。对于挤压式,破壳间隙以及相对速度为关键因素,虽然间隙在工作中不可调,但可影响油茶果形变,相对速度差会影响裂纹的扩展速度,扩展速度快有利于脱壳,此类装置可朝果实大小及时改变破壳间隙的方向发展。对于剪切式,较少单独使用,常与其他脱壳方式结合使用。其刀片间的距离、排列方式等为关键因素,需避免切割深度过大导致油茶籽受损。结合油茶果含水量高、果实硬、壳籽较紧密且大小不一的特点,选用剪切式脱壳中的滚刀切割式与其余脱壳方式相结合的方法进行脱壳作业较合理,油茶果在受

表 1 脱壳装置常见结构形式、影响因素及适用范围

Table 1 Common structural forms, influencing factors and application scope of sheller

脱壳方式	常见脱壳结构形式	影响因素	适用范围
离心撞击式	离心撞击式、挡板撞击式	离心部件转速、结构、油茶果含水量、油茶果受撞击的位置等	外壳较脆以及壳籽间结合力较小的果实
碾搓式	揉搓带式、旋转杆式、锥形辊筒式	喂入量、油茶果含水量、对搓带间隙、转速、旋转方向、角度等	果仁较硬、干燥、壳籽混合物破碎程度较高的果实
挤压式	对辊式、辊板式、复合挤压式	双辊(辊板)距离、双辊转速等	尺寸差异不大的果实
剪切式	滚刀切割式、切割挤压式、切割碾搓式	切割深度、刀刃入切角度以及刀组间的距离、转速、排列方式等	壳籽厚度、间距较大、果壳较硬的果实

到切割时,其果壳表面会出现一道划痕,但油茶籽并不会受到损伤且能够减少仁壳间的强度,降低脱壳难度。

中国油茶果脱壳装置取得了一定突破,但脱壳装置种类与质量远不及常见的坚果类物料,如核桃、花生、板栗等,油茶果脱壳装置仍存在以下问题。

(1) 脱壳装置研发投入与油茶产业发展不匹配。国家近年来颁发了许多相关的政策与补贴,大力支持油茶产业的发展。油茶产业的发展与相应的加工设备理应同步进行,但油茶果脱壳装置的制造集中度低,市场份额小,基本都是企业和高校进行研发,较少进行大面积的示范与推广,仅进行少量样机的试制与生产。且缺乏系统的研发流程以及深入核心技术的发掘,导致油茶果脱壳装置的研制存在滞后。

(2) 脱壳效率低、壳籽分离不理想。中国油茶果品种繁多,个体差异较大。经国家审定的良种就多达 73 种,不同品种、时间采摘下的油茶果含水量、大小也不同,现

有的脱壳装置难以满足需求。

(3) 脱壳装置功能单一、通用性、适应性不高。由于油茶果为中国特有的木本油料作物,因此国外的坚果类脱壳装置在中国适应性不高。中国现有的油茶果脱壳装置功能单一,一般适用于某一品种或地区的脱壳作业,难以满足其他品种物料的脱壳处理。且缺乏快速方便更换零部件就能实现不同坚果的脱壳处理装置。

(4) 对油茶果基础特性研究缺乏。目前脱壳方式的研究主要针对机械脱壳方式,而对于非机械脱壳方式投入的研究较少。

3 结论及展望

从现有研究成果与发展经验来看,中国油茶果脱壳装置未来发展与研究重点为:① 探究油茶果基础特性。从生物特性与力学性质两方面进行探究,生物特性包括油茶果品种类型、油茶果与籽的尺寸分布规律、油茶果含

水量、油茶果密度与球度、壳厚以及籽粒饱满程度等;力学性质主要探究油茶果破壳力、破壳最佳位置、破壳裂痕产生机理、脱壳过程中的受力方式等。② 探究脱壳核心部件材料对脱壳性能的影响。目前研究缺少对脱壳核心部件更换不同材料对脱壳性能的影响规律探究。如揉搓带式脱壳装置,采用不同材料的揉搓带对油茶果表面的摩擦力均有不同;离心撞击式脱壳装置,油茶果撞击的腔体材料的不同对果实的形变量也会产生相应的影响,从而影响脱壳性能。③ 扩展坚果类物料脱壳装置的加工范围。大部分脱壳装置仅限制于单个工序的机械化作业,不能进行连续化生产。对于油茶果脱壳装置主要为单机制造,缺乏整体交互,未来可朝一体化、自动化方向发展。将上料、分级、脱壳、清选、烘干、榨油等工序相互连通实现全自动运行,一人管理多台设备,减少劳动力。结合人工智能、大数据技术,对油茶果相关的设备参数进行快速比对、统计,推动油茶产业的发展。

参考文献

- [1] 孟桂元, 韩杰斌, 詹兴国, 等. 我国油茶产业分析与发展对策[J]. 中国油脂, 2021, 46(7): 104-108, 113.
MENG G Y, HAN J C, ZHAN X G, et al. Industry analysis and development strategy of oil-tea camellia in China[J]. China Oils and Fats, 2021, 46(7): 104-108, 113.
- [2] 周新平. 中国油茶: 民族产业与创新[J]. 中国林业产业, 2021(11): 46-53.
ZHOU X P. China Camellia oleifera: National industry and innovation[J]. China Forestry Industry, 2021(11): 46-53.
- [3] 陈永忠, 杨小胡, 彭邵锋, 等. 我国油茶良种选育研究现状及发展策略[J]. 林业科技开发, 2005(4): 1-4.
CHEN Y Z, YANG X H, PENG S F, et al. Research status and development strategies of improved camellia oleifera breeding in China[J]. Journal of Forestry Engineering, 2005(4): 1-4.
- [4] 崔勇, 蓝峰, 苏子昊, 等. 油茶栽培机械化作业技术路线研究[J]. 南方农机, 2010(1): 42-45.
CUI Y, LAN F, SU Z H, et al. The study on the mechanization technology Mode of camellia oleifera planting[J]. China Southern Agricultural Machinery, 2010(1): 42-45.
- [5] 栾淑丽, 任红艳, 施润和, 等. 中国油茶种植适宜性评价及产能提升建议[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(10): 39-47.
LUAN S L, REN H Y, SHI R H, et al. Evaluation on the suitability of camellia oleifera planting and suggestion for productivity improvement china[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2021, 42(10): 39-47.
- [6] 范筱元, 杜娟, 周晓亮, 等. 中国油茶生产区比较优势分析与影响因素研究[J/OL]. 中国油脂. (2022-10-08) [2022-12-24]. <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.220608>.
FAN X Y, DU J, ZHOU X L, et al. Comparative advantage analysis and influencing factors of camellia oleifera production areas in China[J/OL]. China Oils and Fats. (2022-10-08) [2022-12-24]. <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.220608>.
- [7] 邹锡兰, 吴尚清. 国务院批准颁布《全国油茶产业发展规划(2009—2020年)》千亿油茶产业待破局[J]. 中国经济周刊, 2009(47): 45-46.
ZOU X L, WU S Q. The state council approved the promulgation of the national camellia oleifera industry development plan (2009—2020), and the 100 billion Camellia oleifera industry will be broken [J]. China Economic Weekly, 2009(47): 45-46.
- [8] 全国大宗油料作物生产发展规划(2016—2020年)[J]. 中国农业信息, 2017(1): 6-15.
National development plan of oil crops production (2016—2020) [J]. China Agricultural Informatics, 2017(1): 6-15.
- [9] 曾馥平, 宋同清. 碾米机改装成油茶脱壳机[J]. 粮油加工与食品机械, 1992(5): 20.
ZENG F P, SONG T Q. Rice milling machine converted into oil-tea sheller[J]. Cereals and Oils Processing, 1992(5): 20.
- [10] 张会娟, 谢焕雄, 王建楠, 等. 我国核桃脱壳设备概况与发展探析[J]. 中国农机化学报, 2022, 43(9): 95-101.
ZHANG H J, XIE H X, WANG J N, et al. Research overview and development analysis of walnut shelling equipment in China[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2022, 43(9): 95-101.
- [11] 刘佳, 沈晓贺, 杨莉玲, 等. 核桃破壳技术与装备研究进展[J]. 食品与机械, 2020, 36(9): 223-227, 232.
LIU J, SHEN X H, YANG L L, et al. Research progress of walnut hulling technology and equipment[J]. Food & Machinery, 2020, 36(9): 223-227, 232.
- [12] 杨忠强, 杨莉玲, 闫圣坤, 等. 杏核破壳技术及装备研究进展[J]. 食品与机械, 2016, 32(10): 230-236.
YANG Z Q, YANG L L, YAN S K, et al. Research progress on almond cracking technology and equipment[J]. Food & Machinery, 2016, 32(10): 230-236.
- [13] 唐湘. 油茶果脱壳装置设计及试验[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2015: 22.
TANG X. Design and experiment of hulling device for camellia oleifera[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2015: 22.
- [14] BERNIK R, STAJNKO D, DEMŠAR I. Comparison of the kernel quality of different walnuts (*Juglans regia* L.) Varieties shelled with modified centrifugal sheller[J]. Erwerbs-Obstbau, 2020, 62: 213-220.
- [15] 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(1): 108-112.
LIAO P, QUAN L Z, XIAO X, et al. design and experimental study of percussive shelling device for camellia oleifera fruit[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2019, 45(1): 108-112.
- [16] 李官强. 一种多次碰撞脱壳机: CN206507236U[P]. 2017-09-22.
LI G Q. A multi-impact sheller: CN206507236U[P]. 2017-09-22.
- [17] 王毅, 胡怡, 熊平原, 等. 一种油茶果的壳、籽分离装置及其方法: CN110833196A[P]. 2020-02-25.

- WANG Y, HU Y, XIONG P Y, et al. A device and method for separating shells and seeds of camellia oleifera: CN110833196A[P]. 2020-02-25.
- [18] 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.
- [19] 王焱清. 新型揉搓式油茶果破壳机: CN114424829A[P]. 2022-05-03.
- WANG Y Q. A new type of rubbing oil-tea fruit sheller: CN114424829A[P]. 2022-05-03.
- [20] 张禹鑫. 差速对搓式油茶果脱壳机脱壳受力分析与参数优化[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2022: 32.
- ZHANG Y X. Stress analysis and parameter optimization of different-speed-pair-rubbing camellia oleifera fruit sheller [D]. Harbin: Harbin University of Science and Technology, 2022: 32.
- [21] WORN J J, MITCHELL J. Nut-cracking apparatus: US2021401026 [P]. 2021-12-30.
- [22] 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]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(15): 33-39.
- [23] 兰峰, 刘涛, 苏子昊, 等. 油茶果脱壳清选成套设备的研究[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(11): 85-93.
- LAN F, LIU T, SU Z H, et al. Research on shelling and sorting complete sets of camellia oleifera [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2016, 37(11): 85-93.
- [24] 汤晶宇, 王东, 寇欣, 等. 四通道全自动油茶成熟鲜果脱壳机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2021, 52(4): 109-116, 229.
- TANG J Y, WANG D, KOU X, et al. Design and experiment of four-channel fully automatic shelling machine for ripe fresh camellia oleifera fruit[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(4): 109-116, 229.
- [25] 张钰. 基于多通道模式下油茶脱壳清选一体机的设计与研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2021: 26-27.
- ZHANG Y. Design and research of camellia shelling cleaning machine based on multi-channel mode [D]. Harbin: Harbin University of Science and Technology, 2021: 26-27.
- [26] FAKAYODE O A, AKPAN J F. Development, testing and optimization of a Moringa (Moringa oleifera) seed Dehuller[J]. Agricultural Research, 2020, 9(2): 249-261.
- [27] IBIKUNLE R A, IKUBANNI P P, AGBOOLA O O, et al. Development and performance evaluation of palm nut cracker[J]. Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, 2018 (33): 219-234.
- [28] AVIARA N A, IYILADE I J, OYENIYI S K, et al. Performance evaluation of a bush mango (irvingia gabonensis) nut cracking machine[J]. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 2019, 21(1): 156-162.
- [29] 张风, 杨志斌, 张劲夫. 油茶鲜果剥壳机机械设计原理[J]. 湖北林业科技, 2013(3): 21-23.
- ZHANG F, YANG Z B, ZHANG J F. Mechanical design principles of camellia oleifera fresh fruit hulling machine[J]. Hubei Forestry Science and Technology, 2013(3): 21-23.
- [30] 李文林, 彭宣炎, 杨博, 等. 油茶果脱壳技术与设备研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(4): 151-153, 156.
- LI W L, PENG X Y, YANG B, et al. Dehulling technology and device for oil-tea camellia fruit[J]. China Oils and Fats, 2018, 43(4): 151-153, 156.
- [31] 平井敏治. 落花生的壳剥き機: JP6600836B[P]. 2019-11-06.
- HIRAI TOSHIHARU. Peanut shell peeler: JP6600836B[P]. 2019-11-06.
- [32] 杨树松. 油茶鲜果破壳—清选机的设计与试验研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2015: 82.
- YANG S S. Design and experimental research on the camellia fresh fruit shell breaking-screening machine[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2015: 82.
- [33] 王伟. 一种油茶果脱壳装置: CN208480568U[P]. 2019-02-12.
- WANG W. A hulling device for camellia oleifera: CN208480568U [P]. 2019-02-12.
- [34] DIXIT J, RAVINDRA K. Design and development of walnut cracking machine[J]. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 2022, 24(4): 143.
- [35] LIM B Y, SHAMSUDIN R, YUNUS R. Development and testing of a Jatropha fruit shelling process for shell-free kernel recovery in biodiesel production[J]. Biosystems Engineering, 2014, 121: 46-55.
- [36] LIM B Y, SHAMSUDIN R, BAHARUDIN B T H T, et al. Performance evaluation and CFD multiphase modeling for Multistage Jatropha fruit shelling machine[J]. Industrial Crops and Products, 2016, 85: 125-138.
- [37] 杨柳君. 一种油茶果脱壳机: CN210726628U[P]. 2020-06-12.
- YANG L J. A sheller for camellia oleifera: CN210726628U [P]. 2020-06-12.
- [38] 熊平原, 王毅, 王旭东, 等. 一种自动化油茶脱壳榨油机: CN209599929U[P]. 2019-11-08.
- XIONG P Y, WANG Y, WANG X D, et al. An automatic oil press for hulling camellia oleifera: CN209599929U[P]. 2019-11-08.
- [39] 祝兆帅, 张佳喜, 杨莉玲, 等. 斜齿对辊挤压式杏核破壳装置设计及压辊强度分析[J]. 食品与机械, 2021, 37(5): 115-119, 202.
- ZHU Z S, ZHANG X J, YANG L L, et al. Design of apricot core-breaking device with squeeze-tooth-to-roller and analysis of the strength of pressing roller[J]. Food & Machinery, 2021, 37(5): 115-119, 202.
- [40] 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.
- [41] 孙小永, 李滨, 潘荣晴, 等. 油茶果脱壳分选一体机设计研究[J]. 科技创新与生产力, 2021(7): 102-104.
- SUN X Y, LI B, PAN R Q, et al. Design and research on the integrated machine of camellia oleifera fruit shelling and sorting[J]. Sci-tech Innovation and Productivity, 2021(7): 102-104.
- [42] 杜鑫. 一种油茶果装置高效脱壳分离装置: CN107822153B[P]. 2019-12-13.
- DU X. An efficient hulling and separating device for camellia oleifera: CN107822153B[P]. 2019-12-13.
- [43] KIM S Y. Nut cracking mechanism for variable-sized nuts: US7717033[P]. 2010-05-18.
- [44] IQBAL Z, JOWOWASITO G, LUTFI M, et al. Designing small-medium scale groundnut (*Arachis hypogaea* L.) shelling machine for local merchant in Tuban, East Java[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, 230(1): 012013.
- [45] 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.
- [46] 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: 1.
- LIU L L. Design and study on pressure stripping machine for camellia shelling [D]. Wuhan: Hubei University of Technology, 2017: 1.
- [47] 马君. 多通道气动刨削式油茶果破壳机设计及试验研究[D]. 武汉: 湖北工业大学, 2018: 15.
- MA J. Design and test of multi-channel pneumatic planer for camellia oleifera shelling [D]. Wuhan: Hubei University of Technology, 2018: 15.
- [48] UCHIYAMA N, HO MINH P, YAMANAKA H, et al. Force control for automatic cashew shelling considering size variance[J]. Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, 2014, 8(3): 0018.
- [49] 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 fruit[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2016, 37(5): 126-129.
- [50] 李善森. 油茶青果脱皮机及皮籽分离装置的设计研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2016: 21.
- LI S M. Design and research on dehulling machine and separating equipment of camellia oleifera [D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2016: 21.
- [51] 陈礼东. 油茶果脱蒲与分离结构设计及试验研究[D]. 北京: 中国农业机械化科学研究院, 2021: 61.
- CHEN L D. Design and experimental research on shelling and separation structure of camellia oleifera [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, 2021: 61.
- [52] 肖本贵, 胡淑芬, 邓勇杰, 等. 油茶果划线破壳装置设计[J]. 南方农机, 2021, 52(16): 17-19.
- XIAO B G, HU S F, DENG Y J, et al. Design of marking and breaking shell device for camellia oleifera fruit[J]. China Southern Agricultural Machinery, 2021, 52(16): 17-19.
- (上接第 198 页)
- [68] SANKARGANESH M, RAJESH J, KUMAR G G V, et al. Synthesis, spectral characterization, theoretical, antimicrobial, DNA interaction and in vitro anticancer studies of Cu(II) and Zn (II) complexes with pyrimidine-morpholine based Schiff base ligand[J]. Journal of Saudi Chemical Societ, 2018, 22(4): 416-426.
- [69] CHUDINOVA Y V, SHAGDAROVA B T, IL'INA A V, et al. Antibacterial effect of peptide conjugates with a quaternized chitosan derivative and its estimation by the method of atomic force microscopy [J]. Applied Biochemistry and Microbiology, 2016, 52(5): 496-501.
- [70] RONG Y, LU Z, ZHANG H, et al. Effects of casein glycomacropeptide supplementation on growth performance, intestinal morphology, intestinal barrier permeability and inflammatory responses in *Escherichia coli* K88 challenged piglets [J]. Animal Nutrition (Zhongguo Xu Mu Shou Yi Xue Hui), 2015, 1(2): 54-59.
- [71] JIANG W, LIU Y, YANG X, et al. Antioxidant and antibacterial activities of modified crab shell bioactive peptides by Maillard reaction[J]. International Journal of Food Properties, 2018, 21(1): 2 730-2 743.
- [72] BATOOL S, CHOKKAKULA S, SONG M S. Influenza treatment: Limitations of antiviral therapy and advantages of drug combination therapy[J]. Microorganisms, 2023, 11(1): 183.
- [73] YAN J, LI J H, HU Z F, et al. Enzymatic synthesis of sialyl lactosamine grafted chitoooligosaccharides [J]. Chinese Journal of Chemistry, 2023, 41(11): 1 299-1 304.
- [74] SAUVE M F, SPAHIS S, DELVIN E, et al. Glycomacropeptide: A bioactive milk derivative to alleviate metabolic syndrome outcomes [J]. Antioxidants & Redox Signaling, 2021, 34(3): 201-222.
- [75] TSUJI S, ASO Y, OHARA H, et al. Aqueous synthesis of sialylglycopeptide-grafted glycopolymers with high affinity for the lectin and the influenza virus hemagglutinin[J]. Journal of Polymer Science, 2020, 58(4): 548-556.
- [76] STADTMUELLER M N, BHATIA S, KIRAN P, et al. Evaluation of multivalent sialylated polyglycerols for resistance induction in and broad antiviral activity against influenza viruses[J]. Journal of Medicinal Chemistry, 2021, 64(17): 12 774-12 789.