

机械破壳机结构、工作原理及应用

Structure, working principle and application of mechanical shell breaker

何 婷 张 睿 任广跃 段 续 李才云 李亚春

HE Ting ZHANG Rui REN Guang-yue DUAN Xu LI Cai-yun LI Ya-chun

(河南科技大学食品与生物工程学院, 河南 洛阳 471023)

(College of Food and Biological Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471023, China)

摘要:脱壳率和碎仁率是带壳物料破壳的 2 个关键指标, 机械破壳则是提高上述关键指标的重要途径之一。文章分析了常见的带壳物料机械破壳方式、机械破壳类型、机械破壳原理及发展现状, 总结了机械破壳设备的优缺点, 并对目前机械破壳应用过程中所存在的问题提出了建议。

关键词:带壳物料; 坚果; 脱壳机械; 脱壳率

Abstract: Shelling rate and kernel breaking rate are the two key indicators of shelled materials, and mechanical shelling is one of the important methods to improve these key indicators. In this paper, the common mechanical shelling methods, mechanical shelling types, mechanical shelling principles and development status of shelling materials were analyzed. The advantages and disadvantages of mechanical hulling equipment were summarized, and suggestions were made for the problems existing in the current application of mechanical hulling.

Keywords: shell material; nut; shelling machinery; shelling rate

脱壳是带壳物料加工过程中的一道关键工序, 影响其后续的加工环节, 其中坚果脱壳尤为突出。坚果是闭果的一个分类, 壳较坚硬, 如花生、葵花子、核桃、榛子、杏仁等^[1]。Prussia 等^[2]针对间隙较大的坚果运用高速撞击原理, 研究了坚果高速运动撞击破壳的方法; Oluwale 等^[3]采用撞击法研制出了离心力剥壳机。文章拟对破壳机的结构、工作原理及其研究进展进行分析, 以期对机械破壳在带壳类物料中的应用提供依据。

1 机械破壳机的基本结构

机械破壳是带壳物料破壳的主要方式, 而破壳机的

关键结构是决定破壳效率和破碎率的关键因素之一。目前, 机械破壳机的核心结构主要有立锥式、对辊式、多辊式、离心撞击式、柔性带挤压式和挤压式 6 种(见图 1):

① 立锥式破壳机主要是通过内外辊筒间隙相对运动对物料进行脱壳, 并能适应不同物料特性和尺寸特征; ② 对辊式破壳机的主动辊和从动辊相对运动, 辊表面有若干弧形凸起, 增加了对物料的抓取能力; ③ 多辊式破壳机由破壳辊与多根辅助破壳辊构成间断性挤压; ④ 离心撞击式破壳机主要由进料口、破壳装置、出料口、转动装置组成, 由破壳装置旋转脱壳盘高速旋转产生足够大的离心力; ⑤ 柔性带挤压式破壳机的传送带将物料传输到上挤压托与托板间隙破壳, 需要调节脱壳间隙和楔形角度以适应不同物料; ⑥ 挤压式破壳机由碾压辊、传送装置、V 形槽组成, 物料进入两辊间挤压实现壳仁分离。

2 机械破壳机的工作原理

大部分带壳物料其壳质量占总质量比重较大, 加工过程中影响完整果仁的提取。因此, 壳、仁分离技术是进行精加工之前的一个重要环节, 分离技术的优劣直接影响后序加工产品的质量。目前壳仁分离一般通过机械外力作用使坚果破裂, 如表 1 所示, 目前主要利用离心力、挤压力、摩擦力、剪切力 4 种作用力, 采用撞击、挤压、碾搓、撕搓、切割、剪切、揉搓、摩擦 8 种机械方式, 进而实现撞击、滚、搓、揉、挤、切割等操作。其中, 撞击法、挤压法、切割法适用于壳仁间隙较大的坚果, 摩擦法适用于千粒重较小的物料。

3 机械破壳在带壳物料中的应用

3.1 在稻谷、荞麦及亚麻籽等物料脱壳中的应用

如表 2 所示, 机械破壳机对带壳物料去壳的效果随喂料角度、脱壳间隙、转速的变化而变化, 随着参数的增大, 稻谷等物料的脱壳效果呈下降趋势。与手工、化学、激光等破壳方式相比, 机械破壳的效率较高、成本较低。

基金项目:河南省重大科技专项(编号:221100110800)

作者简介:何婷, 女, 河南科技大学在读硕士研究生。

通信作者:任广跃(1971—), 男, 河南科技大学教授, 博士。

E-mail: guangyueyao@163.com

收稿日期:2022-11-18 **改回日期:**2023-05-04

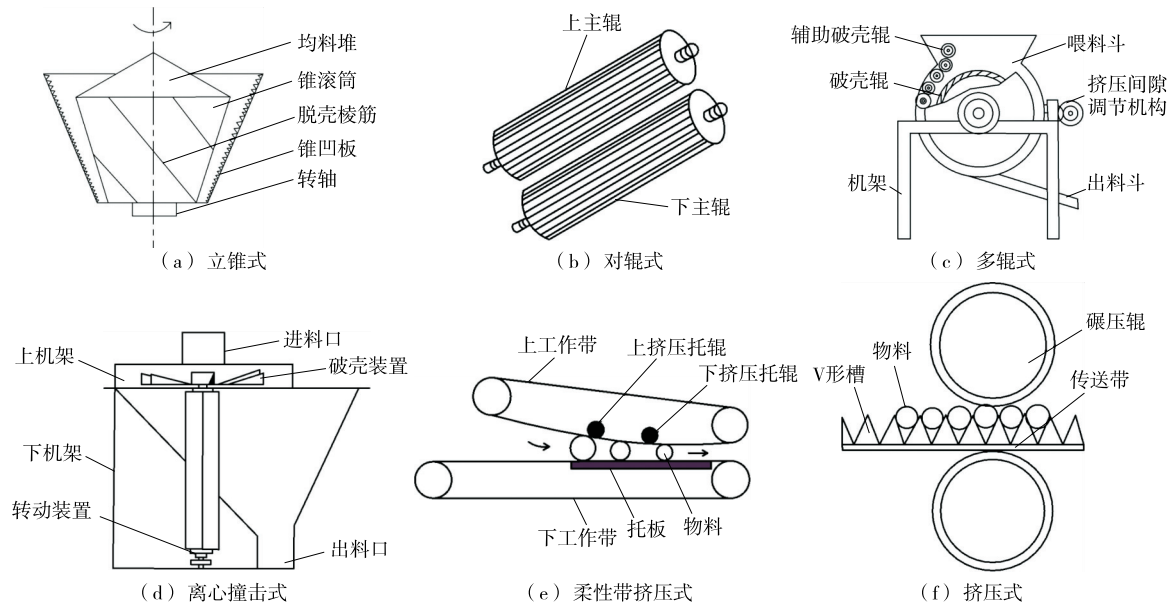


图 1 机械破壳机核心结构

Figure 1 Key basic structure of mechanical shell breaker

表 1 机械破壳类型及原理

Table 1 Types and principles of mechanical shell breakers

类型	原理	适用物料	文献
切割法	① 利用刀划痕来切割待破壳的籽粒外壳,同时运用揉、搓等作用来完成剥壳;② 直接利用刀片切割开果壳,实现外壳与籽仁的分离	壳仁间隙大的物料	[4]
撞击法	在离心力作用下物料高速运动撞击到挡板上,脱离挡板后,壳、仁具有不同弹性形变而破裂,达到脱壳目的	壳、仁间隙较大,结合力小,外壳较脆的物料	[4-5]
挤压法	通过挤压力作用使物料破壳	外壳脆、壳仁间隙大的物料	[4,6]
碾搓法	一般通过碾压和搓擦的方法,典型应用是物料在固定磨片和运动磨片间受到强烈的碾搓作用,外壳撕裂而脱壳	外壳硬度低,果仁不易碎的物料	[4,6]
剪切法	在刀架和转鼓间受到相对运动的刀板的剪切力作用,外壳被切割	主要适用带绒棉籽	[7-8]
摩擦法	籽粒与籽粒间,籽粒与机构间的擦离作用	千粒重较小的物料	[8]
撕搓法	利用相对转动的橡胶辊筒对籽粒进行撕搓	外壳柔韧性较高的物料	[6,8]
揉搓法	基于揉搓机理,主要由两块带齿的揉搓部件和定位挡板组成	外壳较脆的物料	[9-10]

通过建立机械模型对破壳机关键结构或参数进行优化研究,建立适当的三维数字模型和运用相关软件^[12,14]成为研究的有效辅助工具。由于带壳物料种类复杂,不同物料及实际破壳机脱壳的预测结果需进一步研究,建立精确的三维数字模型更有助于提高物料的脱壳率和碎仁率。

3.2 机械破壳在坚果中的应用

3.2.1 撞击法机械破壳 利用仿真软件对破壳机的工作性能进行优化获得最优结构参数^[21],其中转速^[22]、物料投喂量^[23]、冲击力及含水率等也是影响物料破壳的重要因素。由表 3 可知,核桃、榛子通过撞击法进行破壳,对破壳机关键结构进行设计优化可达到脱壳目的。杏仁由于韧性较大,需足够的冲击力才能使核壳与仁分离,而采

用撞击法的原理不易控制破壳参数,杏仁的壳仁不能有效分离^[32]。撞击方式通常不会使籽粒出现渗油或者仁和壳黏附的现象,但撞击力过大,壳仁破碎与壳粘连在一起,撞击力过小则达不到破碎的目的^[33]。

3.2.2 挤压法机械破壳 该方法原理为坚果受到破壳机施加的挤压力使果壳周围产生局部压力而破裂。对辊式挤压辊不仅可以调节间距还能一次性投入较多的坚果,可提高脱壳效率;将传统挤压辊进行优化,在辊表面设置浅窝坑、小角度螺旋卡槽,可减少滑辊,增加挤压稳定性。坚果脱壳会出现脱壳不完全或者漏剥,而二次剥壳结合力变小,不能施加过大的力,因此使用 PVC 工作带相向运动且在最优间距和上下速度差下,产生上下剪切力和挤压力而达到破壳目的;可调节式脱壳机,通过调节式的

表 2 机械破壳在稻谷、荞麦及亚麻籽等物料中的应用

Table 2 Application of mechanical crusher in crushing rice, buckwheat and flaxseed

物料	方法	研究内容	结论	文献
稻谷	挤压法、摩擦法	胶辊砻谷机工作参数	辊间压力与线速差是影响稻谷脱壳率的两个重要因素,进机流量是影响脱壳率的主要因素,而快辊线速对脱壳率的影响相对较小	[11]
稻谷	挤压法、摩擦法	动力学仿真	运用 EDEM 仿真模拟大米输送过程获得速度、运动轨迹数据,得到米粒绕碾辊螺旋前进的规律	[12]
稻谷	剪切法	谷粒脱壳的影响因素	谷粒在砻谷区域的运动方式随喂料角度的变化而变化;有效的脱壳方式为通过胶辊对稻壳的剪切作用解除小穗轴的连接和内外稃互锁;谷粒脱壳率随喂料角度的增加线性下降	[13]
稻谷	摩擦法、挤压法	对胶辊砻谷机的主要工作参数进行优化	提出了砻谷工艺效果评价系数计算公式,通过仿真验证了评价及仿真方法的有效性;参数虚拟正交优化试验获得最优工作参数为轧距 0.7 mm、线速差 3.2 m/s、快辊转速 1 250 r/min	[14]
苦荞麦	挤压法、揉搓法	脱壳试验机	确定最优间隙、压强、转速工作组合参数,但整仁率为 31.8%,脱壳率为 88.1%,主要是因为脱壳室压力动态调整机构不灵活	[15]
荞麦	撞击法、摩擦法	脱壳机性能参数	当剥壳间隙接近 5.0 mm 时,出米率较高,相对碎米率较低,但随着速度的增加,碎米率呈二次函数递升,且剥壳间隙周向误差对碎米率的影响显著	[16]
亚麻籽	摩擦法、碾搓法	设计脱壳机及壳仁分离设备仿真	根据亚麻籽特征设计脱壳设备;通过对分离风道仿真选取 50 mm 气道宽度;先进行风选再进行高压静电风选的效果较好	[17]
亚麻籽	碾搓法	影响脱壳率和损失率的相关参数	亚麻籽含水率、沙盘转速、沙盘间隙对脱壳率和损失率有显著影响	[18]
小麦	揉搓法、摩擦法	脱皮转子优化设计	有限元分析转子模型最大变形量,通过施加变形补偿验证离心载荷下的变形得到抑制,稳定性提高	[19]
薏仁	撕搓法、挤压法	设计脱壳关键部件及仿真分析	对脱壳核心机构进行设计、建模,验证可装配性,及薏仁在脱壳机中受力和运动仿真分析,提高脱壳率,减少破碎率	[20]

表 3 撞击法机械破壳在坚果中的应用

Table 3 Application of mechanical sheller impact method in nuts

物料	研究内容	结论	文献
核桃	新型核桃二次破壳机	撞击速度是影响破壳率和损失率最重要的因素,同时是否再次与撞击桶、离心板或其他核桃发生碰撞也会影响其损失率	[24]
核桃	仿生敲击破壳方式	当含水率为 14.55%~16.35%,直径为 18~22 mm(沿缝合线方向)时,破壳率为 99.41%,果仁损伤率为 6.25%,生产率为 94.93 kg/h,且破壳机参数的准确性与稳定性较好	[25]
核桃	含水率、冲击力对核桃开裂的影响	当含水率为 16%,设计的离心式冲击破碎机产生冲击力为 1.01 J,速度 11 m/s 时,破壳效果最佳	[26]
核桃	基于 FEM 的工程模拟撞击	获得壳体、填料和内核的最大等效应力值分别为 7.1,5.1,0.336 MPa,碰撞时的最大反作用力为 996 kN	[27]
榛子	二次碰撞破碎榛壳、壳仁分选吸式层选机	使榛子果仁更好地脱离壳体,有利于壳仁分离	[28]
油茶果	四通道全自动脱壳机设计	该脱壳机的脱净率为 98.85%、茶籽破损率为 3.24%,达到预期设计目标	[29]
葵花籽	V 形槽、离心橡胶棒设计仿真	V 形槽的角度为 45°,大、小 V 形槽高度分别为 5.8,4.7 mm,橡胶棒分布下的脱壳效果较好	[30]
花生	不同转速下撞击破壳	破碎率与转速回归方程,最小破碎临界转速与时间变换回归函数	[31]

双层多滚轮,可提高效率和解决脱壳不完全问题。其具体应用见表 4。

3.2.3 刀片切割法机械破壳 腰果壳含有黏性的壳液,果壳液中含有 90%左右的腰果酸且易脱酸为腰果酚,其反应得到的衍生物性能优越具有良好的加工性,可用于耐化学药品的工业涂料、合成橡胶、绝缘材料等^[45],对于这一类坚果物料,因其化学特性和形态导致脱壳困难,使

用切割法脱壳时影响切割脱壳的因素有:推果速度和切割弹簧装置推进距离以及推进时坚果的状态。其具体应用见表 5。

3.2.4 剪切法机械破壳 破壳前对核桃进行力学特性分析(刚度、内力、形变),是提高破壳率和破壳机设计的有效途径,其具体应用详见表 6。

3.2.5 揉搓法机械破壳 张禹鑫^[59]利用差速对搓式破

表 4 挤压法机械破壳在坚果中的应用

Table 4 Application of mechanical sheller extrusion method in nuts

物料	研究内容	结论	文献
核桃	核桃破壳试验及影响核桃破壳的主要因素	挤压力的大小取决于破壳板间隙、硬度和摩擦系数,破壳效果与破壳机结构和物料有关,此外,还与喂料速度有关	[34]
核桃	设计上料机构、破壳机构、传动机构	核桃破壳率可达 100%,整仁率为 77.58%	[35]
核桃	设计对辊挤压式核桃破壳装置	当挤压辊 I 转速为 95 r/min,挤压辊 II 转速为 75 r/min,挤压间隙为 33 mm 时,破壳效果较好	[36]
核桃	破壳及脱壳系统理论分析与试验研究	得到理想脱壳率和整仁率的最优参数	[37]
核桃	柔性带差速挤压脱壳系统分析	上下带间距和速度差分别为 14 mm、0.19m/s,张紧力为 231 N 时,脱壳率为 98%,整仁率为 93.7%	[38]
榛子	设计一种双层多滚轮可调式榛子脱壳机	能对不同大小的榛子进行脱壳	[39]
榛子	沙辊上设置均料件以及榛壳筛分件	脱壳均匀干净,榛仁收集便捷,脱壳装置便于清理和维护,能耗少	[40]
榛子	设计一对呈一定角度的圆柱滚筒和振动分筛机械	能适应不同尺寸的榛子,使榛子脱壳向自动化、机械化发展	[41]
杏核	关键部件结构优化设计	研制出有浅窝坑定位、螺旋卡槽双点挤压和揉搓功能的新机型,且壳仁分离快,粉尘污染减缓	[42]
杏核	机具关键部位设计与仿真	当破壳间隙为 8.5 mm、喂料速度为 350 kg/h,差速比为 1.75 时,杏核破壳试验样机的破壳效果达到最佳	[43]
杏核	主动辊设置若干个弧形凸起	弧形凸起的齿顶高度为大小杏核之间的厚度差,可适应不同大小杏核,使杏核受到挤压破壳	[44]

表 5 刀片切割法机械破壳在坚果中的应用

Table 5 Application of blade cutting method of mechanical sheller in nuts

物料	研究内容	结论	文献
腰果	影响腰果切果状态的因素	腰果尺寸与性质、投料方式、导轨材质、推果速度等,对腰果脱壳整仁率有较大影响	[46]
腰果	推果速度、切刀装置中弹簧压缩距离及进果时腰果的状态	当刀口距离为 9.1 mm,推果速度为 19.8 r/min,弹簧压缩距离为 16.70 mm,采用趴着头部方式进果时,整仁率为 69.76%	[47]
腰果	灰色神经网络对不同刀具参数下腰果整仁率的预测	灰色神经网络的收敛速度较快,预测值与真实值吻合较好,平均误差为 11.24%	[48]
腰果	对梳平组件、分离组件、筛选装置、开壳装置进行研究	自动对腰果进行破壳与果、壳分离,实现梳平推挤腰果,单个腰果分离朝向开壳,筛分果与壳,效率提高	[49]
腰果	设计可调节破壳刀具及筛分	操作简单,能耗少,稳定性好,破壳率高,但需要分级	[50]
榛子	设计连续剥壳装置	切割刀装置切割后再经压盘挤压,达到连续将榛子和榛仁分离的目的	[51]
板栗	对板栗物理机械特性、剥壳力学进行设计分析及剥壳机结构设计	可满足于不同成熟度和不同尺寸的板栗剥壳,在节省加工成本的同时降低了能耗、提高了效率	[52]
板栗	脱壳关键零部件优化和仿真	优化后转盘、刀具工作时的最大应力分别降低了 22.3%和 50.0%	[53]

表 6 剪切法机械破壳在坚果中的应用

Table 6 Application of mechanical sheller shearing method in nuts

物料	研究内容	结论	文献
扁桃	脱壳过程中加载损伤分析	确定脱壳机最优组合参数,其脱壳率为 97.68%,破损率为 6.85%	[54]
花生	滚筒凹板筛式脱壳机破碎仿真分析	一定条件下,滚筒速度增加,破碎率增大;间隙增大,破碎率减少;随着喂入量的增大,破碎率呈先增后减趋势	[55]
橡胶籽	运用 EDEM 对组合式脱壳机构进行模拟	脱壳率与整仁率实测值与仿真值相差分别为 4.42%,5.14%	[56]
核桃	物料力学特性分析、脱壳机设计	当挤压角度为 0°~44°时,核桃可进入挤压空间;挤压辊间距为 23 mm,当 α_0 为 20°时核桃开裂,当 α_0 为 15°时核桃断裂	[57]
核桃	设计机械破壳装置	核桃壳破裂率为 98%,核桃仁破碎率为 2.9%,核仁外露率为 70%,提高了核桃壳的破裂率,降低了核桃仁的破碎率	[58]

壳机得到了高脱壳率和低破碎率,并分析了物料的物理特性(胸径、端径、含水率、摩擦因数)和力学特性(弹性模量、临界破壳力、破壳变形率、撕裂临界力)。汤晶宇等^[60]分析了锥结构式对油茶果的主要影响因素,包括滚筒转速、脱壳区间形式与材料、滚筒锥角与脱壳筒间隙等,提出了锥结构式设备除了通过受力分析来计算影响破壳因素的合理取值范围外,还需确认其他因素对破壳装备设计参数的影响。

4 结论

机械脱壳是大多带壳物料破壳的有效方法之一,操作简单、物料处理量大,能够按照设想到达破壳关键部位。但现有机械脱壳法脱壳率低,果仁损失率高、籽仁的破碎率高、通用性差且成本偏高、脱壳机稳定性差、适应性不强,破壳方式单一,工艺水平较低且耗能高。为提高脱壳效率,降低破损率,建议:① 研制机械破壳的辅助技术,如激光法、化学法、微波法、真空法等原理,以提高脱壳率和破碎率;② 优化机械破壳结构设计,进一步完善和提高机械脱壳机理;③ 研发新型联合机械破壳机构,充分利用离心力、挤压力、摩擦力、剪切力等作用力,将撞击、挤压、剪切、揉搓、摩擦等两种以上机械方式融为一体,以适应多种带壳物料;④ 精确、高效、低耗及自动化是机械破壳机未来的发展方向,且计算机人工智能自动化的开发有助于机械破壳机在带壳物料中的发展。随着机械破壳在带壳物料破壳方面研究的不断深入,机械联合破壳技术将更加成熟,破壳效果将更显著,应用范围也将更加广泛。

参考文献

[1] 刘亚娜, 杨小红, 耿阳阳, 等. 不同野生榛子果实特性及营养成分分析[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(1): 117-122.

LIU Y N, YANG X H, GENG Y Y, et al. Analysis of fruit characteristics and nutritional composition of different wild hazelnuts[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(1): 117-122.

[2] PRUSSIA S E, VERMA B P. Apparatus for cracking edible nuts: US4467710A[P]. 1984-08-01.

[3] OLUWOLE F A, ABDULRAHIM A T. Evaluation of some centrifugal impaction devices for shelling bambara groundnut[J]. International Commission of Agricultural Engineering, 2007, 9: 1-14.

[4] 吕小莲, 吕小荣, 张孝琼. 坚果剥壳机具的研究现状与分析[J]. 食品工业科技, 2011, 32(8): 485-488.

LU X L, LU X R, ZHANG X Q. Research and analysis of nuts shelling machines[J]. Science and Technology Industry, 2011, 32(8): 485-488.

[5] 李晓霞, 郭玉明. 带壳物料脱壳方法及脱壳装备现状与分析[J]. 农产品加工(学刊), 2007(4): 83-86.

LI X X, GUO Y M. Actuality of the decladding method and sheller of shell fruit[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2007(4): 83-86.

[6] 宋建双, 刘翠红, 刘洪旭, 等. 坚果剥壳方法的研究与应用现状[J]. 农业科技与装备, 2014(6): 42-43.

SONG J S, LIU C H, LIU H X, et al. Research and application status of the nuts shelling methods[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2014(6): 42-43.

[7] 姚会玲, 陈伟超, 张瑞洋, 等. 棉籽剥壳机的研究现状及发展对策[J]. 粮食与食品工业, 2011, 18(4): 49-51.

YAO H L, CHEN W C, ZHANG R Y, et al. Research actuality and developing countermeasures of cotton seeddrinding machine [J]. Cereal and Food Industry, 2011, 18(4): 49-51.

[8] 杜文华. 带壳物料脱壳技术研究初探[J]. 太原师范学院学报(自然科学版), 2003(1): 58-61.

DU W H. Study on the hulling technology of fruit[J]. Journal of Taiyuan Teachers College (Natural Science Edition), 2003(1): 58-61.

[9] 张荣荣, 李小昱, 王为. 基于揉搓方法的板栗破壳性能的试验研究[J]. 农业工程学报, 2007(5): 177-179.

ZHANG R R, LI X Y, WANG W. Experimental research on cracking performance of Chinese chestnut based on flexible rubbing

- method[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007(5): 177-179.
- [10] 马秋成, 陈强, 卢安舸, 等. 核桃定向破壳装置设计及试验[J]. 江西农业大学学报, 2022, 44(2): 473-485.
- MA Q C, CHEN Q, LU A G, et al. Design and test of walnut directional shell breaking device [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2022, 44(2): 473-485.
- [11] 伍毅, 阮少兰. 胶辊磨谷机工作参数对稻谷脱壳率的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2011(11): 1-3.
- WU Y, RUAN S L. Effect of operating parameters of rubber huller machine on paddy shelling rate[J]. Cereal & Feed Industry, 2011(11): 1-3.
- [12] 史艳花, 张国全, 黄志平, 等. 基于外碾削立式碾米机的离散元法仿真分析[J]. 农机化研究, 2015, 37(5): 54-57.
- SHI Y H, ZHANG G Q, HUANG Z P, et al. Simulation analysis of the outer vertical milling machine grinding cut discrete element method[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015, 37(5): 54-57.
- [13] 陈沛瑛. 胶辊磨谷机内稻谷脱壳特性研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2020: 18-38.
- CHEN P Y. Study on the hulling mechanism of paddy grain in an rubber roll huller[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2020: 18-38.
- [14] 李阳. 基于稻谷力学特性胶辊磨谷机工作参数优化[D]. 郑州: 河南工业大学, 2019: 67-71.
- LI Y. Optimization of working parameters of rubber roller husker based on mechanical characteristics of rice[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2019: 67-71.
- [15] 朱新华, 范维果, 李泽, 等. 苦荞麦非热脱壳机试验研制[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(12): 146-155.
- ZHU X H, FAN W G, LI Z, et al. Test and development of an non-thermal tartary buckwheat huller[J]. Journal of China Agricultural University, 2017, 22(12): 146-155.
- [16] 陈伟, 杜文亮, 政东红, 等. 荞麦剥壳机性能参数试验研究[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(7): 107-114.
- CHEN W, DU W L, ZHENG D H, et al. Experimental study and parameter analysis on buckwheat huller [J]. Journal of China Agricultural University, 2017, 22(7): 107-114.
- [17] 丁进锋. 亚麻籽脱壳分离系统关键技术及设备研究[D]. 北京: 中国农业机械化科学研究院, 2016: 31-96.
- DING J F. Study on the critical technology of flaxseed dehulling and separation and dehull equipment [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, 2016: 31-96.
- [18] 丁进锋, 赵敏敏, 曹有福, 等. 亚麻籽脱壳机脱壳性能试验研究[J]. 农机化研究, 2017, 39(1): 158-164.
- DING J F, ZHAO F M, CAO Y F, et al. Experiment on shelling machine of flaxseed [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2017, 39(1): 158-164.
- [19] 薛旭东, 赵知辛, 王琨. 小麦脱皮机转子预弯工艺及优化设计[J]. 中国农机化学报, 2020, 41(3): 104-108.
- XUE X D, ZHAO Z X, WANG K. Pre-bending technology and optimum design of the rotor in wheat peeler[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2020, 41(3): 104-108.
- [20] 陈万程. 砂盘式薏仁脱壳机设计研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2016: 14-45.
- CHEN W C. Research and design of coix seed huller featured of abrasive and rubber discs [D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2016: 14-45.
- [21] 郝建军, 聂庆亮, 马璐萍, 等. 锥盘式花生种子脱壳装置研制[J]. 农业工程学报, 2020, 36(17): 27-34.
- HAO J J, NIE Q L, MA L P, et al. Development of cone disc type shelling mechanism for peanut seeds [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(17): 27-34.
- [22] 张远东, 王东伟, 何晓宁, 等. 基于 Workbench LS-dyna 的花生荚果脱壳受力仿真研究[J]. 花生学报, 2022, 51(1): 66-71.
- ZHANG Y D, WANG D W, HE X Y, et al. Simulation study on peanut pod shelling force based on Workbench LS-Dyna [J]. Journal of Peanut Science, 2022, 51(1): 66-71.
- [23] 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 [J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2014, 40(6): 665-668.
- [24] 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]. Xinjing Agricultural Sciences, 2013, 50(6): 1115-1121.
- [25] 丁冉, 曹成茂, 詹超, 等. 仿生敲击式山核桃破壳机的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(3): 257-264.
- DING R, CAO C M, ZHAN C, et al. Design and experiment of bionic-impact type pecan shell breaker [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(3): 257-264.
- [26] SHAHBAZI F. Effects of moisture content and impact energy on the cracking characteristics of walnuts[J]. International Journal of Food Engineering, 2014, 10(1): 149-156.
- [27] CELIK H K, CAGLAYAN N, RENNIE A E W. Nonlinear FEM based high-speed shell shattering simulation for shelled edible agricultural products: Pecan fruit shattering[J]. Journal of Food Process Engineering, 2017, 40(5): 1-8.
- [28] 甘肃省林业科学研究院. 一种用于榛子壳仁分选的吸式层选机: CN202121958974.2[P]. 2022-04-05.
- Gansu Research Academy of Forestry Science and Technology. A suction type layer sorter for hazelnut shell kernel sorting: CN202121958974.2[P]. 2022-04-05.
- [29] 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.
- [30] 杨发展, 李全满, 尹海龙, 等. 葵花籽精准高效碾压破壳脱壳技术装备研发[J]. 机械研究与应用, 2017, 30(3): 94-95, 98.
- YANG F Z, LI Q M, YIN H L, et al. Research and equipment development of precise and efficient shell breaking/shelling technology of sunflower seeds [J]. Mechanical Research & Application, 2017, 30(3): 94-95, 98.
- [31] 杨然兵, 尚书旗. 花生果实撞击试验及分析[J]. 农机化研究, 2010, 32(9): 176-178, 183.
- YANG R B, SHANG S Q. The crash test and analysis of peanut[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010, 32(9): 176-178, 183.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] 李忠新, 杨军, 杨莉玲, 等. 核桃破壳取仁工艺及关键设备[J]. 农机化研究, 2008(12): 27-29, 89.
- LI Z X, YANG J, YANG L L, et al. Walnut exuviating takes the kind craft and the key equipment [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008(12): 27-29, 89.
- [35] 程国梁, 郑甲红, 王超. 二次挤压式核桃破壳机[J]. 食品与机械, 2022, 38(2): 64-67.
- CHENG G L, ZHENG J H, WANG C. Secondary extrusion walnut shell breaker[J]. Food & Machinery, 2022, 38(2): 64-67.
- [36] 何义川, 王序俭, 曹肆林, 等. 对辊挤压式核桃破壳装置的设计与试验研究[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(9): 350-352.
- HE Y C, WANG X J, CAO S L, et al. Design and experimental study of walnut shell breaking device with roll extrusion [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2012, 40(9): 350-352.
- [37] 刘明政. 核桃剪切挤压柔性破壳取仁的机理分析与实验研究[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2015: 89-105.
- LIU M Z. Mechanization analysis and experimentation research of walnut shearing-extrusion flexible shell-crushing [D]. Qingdao: Qingdao University of Technology, 2015: 89-105.
- [38] 刘明政, 李长河, 张彦彬, 等. 柔性带差速挤压核桃脱壳性能试验[J]. 农业机械学报, 2016, 47(9): 99-107.
- LIU M Z, LI C H, ZHANG Y B, et al. Performance test of walnut shelling using flexible-belt and differential velocity extrusion[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(9): 99-107.
- [39] 甘肃省林业科学研究院. 一种双层多滚轮间隙可调式榛子脱壳机: CN202121959210.5[P]. 2022-04-05.
- Gansu Research Academy of Forestry Science and Technology. A double-layer multi-roller gap adjustable hazelnut hulling machine: CN202121959210.5[P]. 2022-04-05.
- [40] 铁岭市清河区兴农农机制造有限公司. 新型高效榛子脱壳机: CN201520165613.0[P]. 2015-07-22.
- Tieling Qinghe District Xingnong Agricultural Machinery Manufacturing CO. New high efficiency hazelnut hulling machine: CN201520165613.0[P]. 2015-07-22.
- [41] 张振兴, 王家兴, 李海龙, 等. 榛子剥壳筛选设备结构设计[J]. 科技经济市场, 2020(12): 27-28.
- ZHANG Z X, WANG J X, LI H L, et al. Hazelnut shelling and screening equipment structure design [J]. Science & Technology Economy Market, 2020(12): 27-28.
- [42] 韩闰劳, 左志刚, 赵宗朝. 对辊挤压式杏核破壳机关键部件的优化设计[J]. 机械研究与应用, 2020, 33(5): 139-141, 144.
- HAN R L, ZUO Z G, ZHAO Z C. Optimization design for the key components of twin-roll extrusion apricot shell breaker [J]. Mechanical Research & Application, 2020, 33(5): 139-141, 144.
- [43] 祝兆师. 斜齿对辊挤压式杏核破壳机的设计与试验[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2021: 37-45.
- ZHU Z S. Design and experiment of extrusion type apricot stone breaking machine with oblique tooth and counter rollers [D]. Wulumuqi: Xinjiang Agricultural University, 2021: 37-45.
- [44] 锦州俏牌机械有限公司, 锦州俏牌生物科技有限公司. 对辊式不分级杏核脱壳机: CN201621423772.7[P]. 2017-09-12.
- Jinzhou Pretty Brand Machinery CO, Jinzhou Pretty Brand Biotechnology Co. Non-graded apricot kernel hulling machine of roller type: CN201621423772.7[P]. 2017-09-12.
- [45] 刘义军, 朱德明, 黄茂芳. 腰果加工利用的研究进展[J]. 农产品加工(学刊), 2013(22): 43-45.
- LIU Y J, ZHU D M, HUANG M F. Advances in research on processing technology of anacardium occidentale linn [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2013(22): 43-45.
- [46] 刘义军, 黄晖, 张帆, 等. 腰果脱壳机机械性能测试研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(10): 74-76.
- LIU Y J, HUANG H, ZHANG F, et al. Mechanical performance test of cashew nut sheller[J]. Food & Machinery, 2016, 32(10): 74-76.
- [47] 刘义军, 陈民, 周延德, 等. 一种全自动腰果脱壳机的脱壳试验研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(7): 92-94, 103.
- LIU Y J, CHEN M, ZHOU Y D, et al. Experimental study on shelling of a kind of self-designed and manufactured cashew nut sheller[J]. Food & Machinery, 2017, 33(7): 92-94, 103.
- [48] 宫杰, 付云飞, 黄晖, 等. 基于灰色神经网络的腰果自适应破

- 壳刀具的整仁率预测[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(6): 113-117.
- GONG J, FU Y F, HUANG H, et al. Prediction of whole-kernel rate of adaptive cashew shelling cutter based on grey neural network[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2016, 37(6): 113-117.
- [49] 张旭. 一种智能化腰果自动开壳去壳设备: CN202110905735.9 [P]. 2021-10-01.
- ZHANG X. An intelligent cashew nuts automatic shelling and shelling equipment: CN202110905735.9[P]. 2021-10-01.
- [50] 中国热带农业科学院农产品加工研究所. 一种腰果破壳方法: CN201410671134.6[P]. 2015-04-01.
- Institute of Food Science and Technology CAAS. A cashew nut shelling method: CN201410671134.6[P]. 2015-04-01.
- [51] 李双红. 一种用于榛子的连续剥壳装置: CN202011499900.7[P]. 2021-04-06.
- LI S H. A continuous shelling device for hazelnuts: CN202011499900.7[P]. 2021-04-06.
- [52] 马士龙. 板栗剥壳机的设计与试验[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2018: 10-53.
- MA S L. Design and experimental study of chestnut peel removing shelling machine[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2018: 10-53.
- [53] 李强, 刘俊凤, 汪卓, 等. 板栗去壳机优化设计及实验研究[J]. 蚌埠学院学报, 2022, 11(5): 25-28, 44.
- LI Q, LIU J F, WANG Z, et al. Optimization design and experimental study of chestnut sheller [J]. Journal of Bengbu University, 2022, 11(5): 25-28, 44.
- [54] 石鑫, 杨豫新, 乔园园, 等. 薄皮扁桃低损伤脱壳分析与试验[J]. 中国农机化学报, 2022, 43(9): 81-87.
- SHI X, YANG Y X, QIAO Y Y, et al. Analysis and experiment of low damage shelling of thin shelled almond[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2022, 43(9): 81-87.
- [55] 张远东, 王东伟, 尚书旗, 等. 滚筒凹板筛式花生脱壳结构仿真试验研究[J]. 农机化研究, 2023, 45(3): 152-158.
- ZHANG Y D, WANG D W, SHANG S Q, et al. Simulation test study on peanut shelling structure of roller concave sieve [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2023, 45(3): 152-158.
- [56] 赵乐然, 王涛. 组合式橡胶籽脱壳机构设计与试验[J]. 食品与机械, 2022, 38(4): 114-120.
- ZHAO L R, WANG T. Design and test of combined rubber seed shelling machine[J]. Food & Machinery, 2022, 38(4): 114-120.
- [57] LI C H, ZHANG Y B, JIA D Z, et al. Semi-theoretical analyses on mechanical performance of flexible-belt shearing extrusion walnut shell crushing[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2016, 32(4): 459-467.
- [58] 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.
- [59] 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: 10-68.
- 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: 10-68.
- [60] 汤晶宇, 张禹鑫, 吴昊, 等. 立锥结构式油茶脱壳机技术分析研究[J]. 林业机械与木工设备, 2021, 49(6): 21-24.
- TANG J Y, ZHANG Y X, WU H, et al. Technical analysis and research on cone-structured camellia shelling machine[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2021, 49(6): 21-24.
-
- (上接第 214 页)
- [44] BRCLJ A, MTKK B, PEDA C, et al. High-pressure homogenization on food enzymes[J]. Innovative Food Processing Technologies, 2021: 293-314.
- [45] 韩荣伟, 王加启, 郑楠. 热处理对牛乳成分的变化影响及热损标识物的选择[J]. 中国食物与营养, 2011, 17(7): 22-29.
- HAN R W, WANG J Q, ZHENG N. Effect of heat treatment on milk and determination of heat indicators in milk [J]. Food and Nutrition in China, 2011, 17(7): 22-29.
- [46] 周玲, 徐广新. 乳制品中碱性磷酸酶检测的影响因素及控制措施[J]. 中国乳业, 2021(9): 102-105.
- ZHOU L, XU G X. Influencing factors and control measures of the determination of alkaline phosphatase in dairy products[J]. China Dairy, 2021(9): 102-105.
- [47] FULIAS A, VLASE G, VLASE T, et al. Thermal degradation of B-group vitamins: B₁, B₂ and B₆ [J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2014, 118(2): 1 033-1 038.
- [48] 赵新淮. 乳品化学[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 189-208.
- ZHAO X H. Dairy chemistry [M]. Beijing: Science Press, 2007: 189-208.
- [49] VELÁZQUEZ-ESTRADA R M, HERNÁNDEZ-HERRERO M M, RÜFER C E, et al. Influence of ultra high pressure homogenization processing on bioactive compounds and antioxidant activity of orange juice[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2013, 18: 89-94.
- [50] ZHOU L. High-pressure homogenization effect on the stability and bioaccessibility of bioactive phytochemicals and vitamins in the food matrix [M]. Elsevier: Innovative Food Processing Technologies, 2021: 359-368.
- [51] AMADOR-ESPEJO G G, GALLARDO-CHACON J J, NYKAENEN H, et al. Effect of ultra high-pressure homogenization on hydro-and liposoluble milk vitamins[J]. Food Research International, 2015, 77: 49-54.
- [52] SHARABI S, OKUN Z, SHPIGELMAN A. Changes in the shelf life stability of riboflavin, vitamin C and antioxidant properties of milk after (ultra) high pressure homogenization: Direct and indirect effects [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2018, 47: 161-169.