

挤压式杏核破壳机试验研究

Experimental study on Apricot stone extrusion breaking machine

朱占江^{1,2} 李忠新^{1,2} 杨莉玲^{1,2} 刘奎^{1,2}

ZHU Zhan-jiang^{1,2} LI Zhong-xin^{1,2} YANG Li-ling^{1,2} LIU Kui^{1,2}

买合木江·巴吐尔^{1,2} 杨忠强^{1,2}

MAIHEMUJIANG Batuer^{1,2} YANG Zhong-qiang^{1,2}

(1. 新疆农业科学院农业机械化研究所, 新疆 乌鲁木齐 830091;

2. 新疆特色林果装备工程技术研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830091)

(1. Institute of Agricultural Mechanization Xinjiang Academy of Agricultural Science, Urumqi, Xinjiang 830091, China;

2. Xinjiang Research Center of Equipment for Characteristic Wood's Fruit, Urumqi, Xinjiang 830091, China)

摘要:针对当前杏核破壳生产率低、碎仁率高的问题,设计一种杏核破壳机,对其结构及杏核破壳受力情况进行介绍。以明星杏杏核为试验材料,选取喂料速度、破壳间隙、主动辊转速 3 个因素对杏核破壳进行正交试验分析。结果表明:破壳间隙对破壳效果的影响极显著,喂料速度、主动辊转速对破壳效果影响不显著;当喂料速度 400 kg/h、破壳间隙在 9 mm、主动辊转速 400 r/min 时,破壳率为 99.65%,整仁率为 96.87%,破壳效果最好。相同喂料速度与主动辊转速条件下,其他品种杏核的破壳试验,验证表明当破壳间隙小于杏核厚度约 2 mm 时,破壳率在 98% 以上,整仁率在 95% 以上。

关键词:杏核;破壳;挤压;影响因素

Abstract: In this paper, a pricot stone breaking machine was designed to solve the current problem of low productivity and high rate of broken kernels in apricot stone breaking processing. The structure and stress situation of the machine had been analyzed. Various related factors were analyzed, and three primary factors including feeding speed, interspace of breaking device and rotating speed of active roll were focused on. Moreover, these three factors were selected for orthogonal experiments, using the Star apricot stone as material. The results showed that the clearance of breaking device had a significant effect on stone breaking efficiency, while the

speeds of feeding and rotating of active roll were no obvious influence. The breaking rate and entire kernel rate of the material reached to 99.65% and 96.87%, respectively, when the feeding speed was 400 kg/h, and the rotating speed of active roll was 400 r/min, using the 9 mm interspace of breaking device. This breaking effect was better than those in the other cases. Furthermore, other kinds of apricot stones were tested using this mechain at the same feeding and rotating speeds, leaving the interspaces of breaking device at 2 mm less than the thickness apricot stone, and it was found that their breaking and kernel rates could be up to more than 98% and 95%, respectively.

Keywords: apricot stone; breaking; extrusion; influencing factor

杏仁系蔷薇科杏的种子,分为甜杏仁和苦杏仁。甜杏仁可直接食用或用于食品加工,而苦杏仁主要用作药物。杏仁含有丰富的蛋白质、不饱和脂肪酸、维生素、矿物质等多种营养成分,具有化痰、止咳、润肺、清热、养颜、通便等功效^[1-2],有良好的药用价值与保健作用。

杏作为新疆林果传统主栽树种,2015 年,新疆杏树栽植面积 1.324×10^5 hm²,总产量 1.2816×10^6 t^[3],居中国首位,主要分布在南疆三地州。随着新疆“短平快”项目的实施,去核机、烘干机得到推广应用,新疆每年产出大量杏核待加工。根据项目组考察,目前区内杏核破壳主要依靠人工砸取,生产率仅 3 kg/h 左右,成本达 4 元/kg,且杏仁破损严重。中国近几年对杏核破壳的研究很少,刘军^[4]对杏核破壳最佳截面进行了研究,结果表明杏核破壳最佳截面在椭圆截面的最小回转半径处,挤压破壳范围约占杏核长轴的 30%;曹永政等^[5]对杏核厚度、杏仁厚度、杏壳厚度、杏壳与杏仁间隙分布进行了分析,对杏核破壳所需变形量进行了研究;王静

基金项目:自治区科研院所改革与发展专项(编号:2016D04007);新疆农业科学院重点实验室项目(编号:xjnkkl-2016-008);乌鲁木齐市工程技术研究中心项目(编号:H141212001)

作者简介:朱占江,男,新疆农业科学院农业机械化研究所助理研究员。

通讯作者:李忠新(1958—),男,新疆农业科学院农业机械化研究所研究员。E-mail:zzj_hao@126.com

收稿日期:2016-06-22

等^[6-8]对杏核开口影响因素、施力位置与方式等方面进行了研究。但对其他坚果破壳的研究较多,李忠新等^[9-12]对核桃破壳加工影响因素、破壳方式等进行了研究,范修文等^[13-14]对巴达木破壳设备与工作参数进行了研究,麦贤豪等^[15-16]对橡胶果破壳工艺技术设备进行了研究,这些研究工作对杏核破壳机的设计提供了有价值的参考。然而,杏核与其他坚果存在一定的差异,现有杏核破壳机多以机械碾压、冲撞的方式破壳,生产率低、碎仁率高。课题组根据杏核特性设计出一种斜齿对辊挤压式杏核破壳机,依据试验结果确定了设备的最优工作参数,为实现杏核机械化、规模化加工提供良好条件。

1 杏核破壳机主要结构及杏核破壳受力分析

1.1 主要结构

该机采用对辊碾搓挤压方式实现杏核破壳。设备主要由机架、调节机构、破壳主动辊与被动辊、双层振动筛、摆臂、偏心传动机构等组成(见图1)。破壳辊由主动辊与被动辊组成,主动辊固定,被动辊可通过调节机构进行调整,以根据物料情况增大或缩小破壳间隙。主动辊5与被动辊4传动齿轮齿数不同,从而运动过程中两辊之间产生速度差。压辊圆周表面开有斜齿槽,碾搓破壳主要由主动辊与被动辊之间存在速度差以及压辊圆周表面斜齿槽产生,增大破壳过程中剪切力,提高设备破壳效果。双层振动筛7主要通过偏心块儿与摆臂作用而产生往复振动,实现破壳杏核与未破壳杏核的分离,未破壳杏核经破壳间隙调节后进行二次破壳。

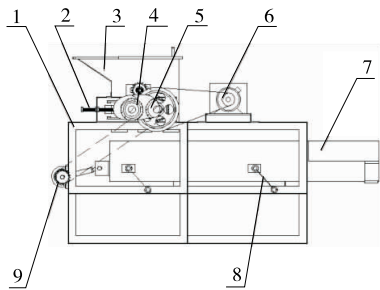


图1 杏核破壳机结构示意图

Figure 1 Structure diagram of Apricot stone breaking machine

1.2 杏核破壳受力分析

杏核呈扁心状,壳坚硬,工作过程中,杏核经喂料斗进入破壳区域,力作用于厚度面进行挤压破壳,杏核受到一对相对旋转的挤压辊给予的正压力 N_1 、 N_2 ,以及摩擦力 F_1 、 F_2 的作用,同时受到自身重力 G 的作用, A_1 、 A_2 为杏核挤压破壳的起始点,其与挤压辊中心的连线构成挤压角 α_1 、 α_2 ,杏核在工作区域内初始受力情况见图2。此时:

$$\begin{cases} N_1 = N_2; \\ F_1 = F_2; \\ \alpha_1 = \alpha_2, \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} F_1 = \mu N_1 = \text{tg}\varphi N_1; \\ F_2 = \mu N_2 = \text{tg}\varphi N_2, \end{cases} \quad (2)$$

式中:

μ ——杏核与挤压辊间的摩擦系数;

φ ——杏核与挤压辊间的摩擦角, ($^\circ$)。

要使杏核能顺利进入挤压间隙,竖直方向必须满足:

$$F_1 \cos\alpha_1 + F_2 \cos\alpha_2 + G > N_1 \sin\alpha_1 + N_2 \sin\alpha_2, \quad (3)$$

由于杏核的重量远小于自身受到的力,故忽略不计,即:

$$F_1 \cos\alpha_1 + F_2 \cos\alpha_2 > N_1 \sin\alpha_1 + N_2 \sin\alpha_2, \quad (4)$$

将式(1)、(2)代入式(4)中,得到: $\alpha < \varphi$,即要实现杏核破壳需满足挤压角小于摩擦角。

杏核破壳所受 N_1 、 N_2 、 F_1 、 F_2 水平方向分力对杏核进行挤压, N_1 、 N_2 、 F_1 、 F_2 竖直方向分力对杏核进行剪切。挤压力能使杏壳发生形变并最终破裂,剪切力能使破裂处的裂纹进一步扩大,碎壳间发生相对错动和滑移,从而实现杏核的碾搓挤压破壳。

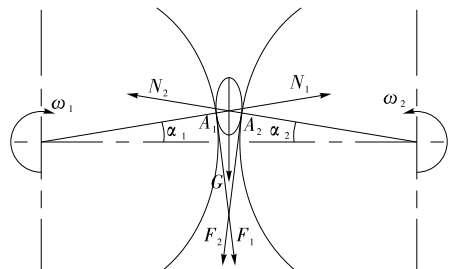


图2 杏核破壳受力分析图

Figure 2 Stress analysis diagram of Apricot stone breaking

2 影响杏核破壳的因素分析

2.1 杏核性质对破壳效果的影响

2.1.1 杏核几何尺寸 新疆杏核主栽品种有明星杏、赛买提杏、小白杏、黑叶杏、胡安娜杏、木牙格杏、策勒黄等,不同品种杏的杏核尺寸存在差异,同一品种的杏核尺寸也存在一定的差异。一次破壳时以厚度尺寸较大的杏核作为杏核破壳间隙调整的依据,一次破壳后对未破壳杏核调小间隙进行二次破壳。

2.1.2 杏核含水率与表面情况 杏核含水率直接影响杏核外壳强度、弹性、塑性,含水率偏低,杏仁在破壳过程易损伤,含水率偏高,杏核不易破壳,因此要选取适当含水率。一般杏核含水率在5%~10%时均能取得较好的破壳效果。同时,课题组产地加工调研时发现,杏核表面情况对破壳效果也有直接的影响,杏去核后,少部分杏核表面黏连杏肉,破壳时,杏肉容易黏连破壳辊,所以破壳时需把黏连杏肉的杏核去除。

2.2 破壳机结构对破壳效果的影响

2.2.1 破壳辊转速及表面处理对破壳效果的影响 设备采用对辊挤压的方式实现破壳,被动辊转速约为主动辊转速的1.5倍,两辊之间的速度差为0.5倍的主动辊转速,当主动辊转速提高时,两辊间的速度差增大,从而使杏核所受剪切力增大,为进一步提高杏核所受挤压与剪切力,破壳辊圆周面开有斜齿形沟槽。主动辊与被动辊两辊间速度差要适宜,否

则易造成杏仁的损伤。以明星杏为试验材料,在喂料速度为 400 kg/h、破壳间隙为 9 mm 条件下进行单因素试验,结果(见图 3)表明,随着主动辊转速的增加,破壳率、整仁率均不断增加,当主动辊转速超过 250 r/min 时,破壳率稳定在 99% 以上。整仁率在 350 r/min 时达到最大,随着转速的增加,呈现逐渐降低的趋势,因此,选定破壳辊转速优选范围为 200~400 r/min。

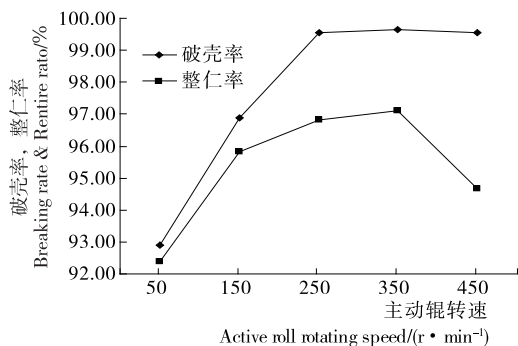


图 3 主动辊转速对破壳效果的影响

Figure 3 Effect of active roll rotating speed on breaking

2.2.2 破壳间隙对破壳效果的影响 破壳间隙对杏核破壳效果影响较大。破壳过程杏壳变形量不能大于壳仁之间的间隙,所以杏核厚度与破壳间隙之差应小于壳仁间隙。当喂料速度 400 kg/h、破壳辊转速 400 r/min 时,通过单因素试验可知(见图 4),破壳率随着破壳间隙的变大而逐渐降低,整仁率随着破壳间隙的变大逐渐增高,破壳间隙过小整仁率偏低,过大破壳率偏低。破壳间隙为 9 mm 左右时,取得较好的破壳效果。当间隙大于 9 mm 后破壳率呈现明显下降趋势,而整仁率较为稳定。因此,选定破壳间隙优选范围为 7~11 mm。

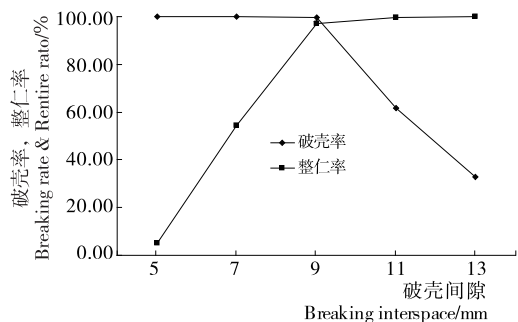


图 4 破壳间隙对破壳效果的影响

Figure 4 Effect of breaking interspace on breaking

2.3 喂料速度对破壳效果的影响

喂料速度越高,单位时间内通过破壳辊间的杏核量越多,生产率越高。当生产率过大时,杏仁破损率增高。喂料速度应控制在额定生产率范围内,在保证破壳效果的同时,保证生产率。取破壳间隙 9 mm、主动辊转速 400 r/min 开展单因素试验(见图 5),通过试验可知,喂料速度增大的过程,破壳率与整仁率逐渐变小,破壳率变化幅度较小,当喂料速度达到 350 kg/h 时,整仁率呈现明显减小趋势。因此,喂料速度优选方案 200~400 kg/h。

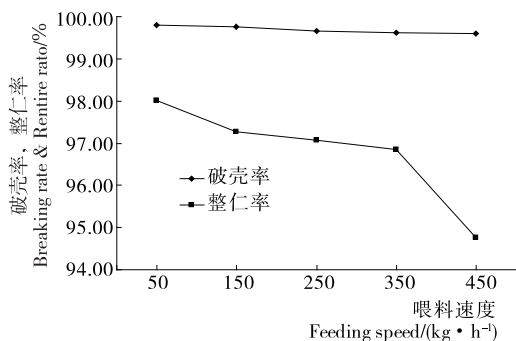


图 5 喂料速度对破壳效果的影响

Figure 5 Effect of feeding speed on breaking

3 影响杏核破壳效果主要因素的正交试验

以新疆皮山县自然晾干后的同批次的明星杏杏核为试验材料,试验前挑拣出杏核尺寸明显偏小的。随机选取 50 颗杏核进行几何参数测定,见表 1。由表 1 可知,杏核厚度与杏仁厚度差 6.38 mm,杏壳厚度 1.0~1.8 mm,壳仁间隙约为 2.78~4.38 mm,所以挤压杏核变形量应控制在 4.38 mm 以内,可避免严重破损杏仁。

表 1 明星杏杏核物理参数

Table 1 Physics parameters of Star apricot stone mm

杏核			杏仁			杏壳	
长	宽	厚	长	宽	厚	厚度面壳厚	棱面壳厚
25.44	20.59	11.42	16.21	11.22	5.04	1.0~1.8	2.5~4.5

采用卤素快速水分测定仪测得试验所用材料含水率为 5.9%。结合影响杏核破壳因素的分析,选取 3 个主要因素:喂料速度、破壳间隙、主动辊转速进行三因素三水平正交试验,其中各参数数据选取依据单因素试验分析而定,试验因素及水平见表 2。由于破壳率 Y_1 与整仁率 Y_2 对于杏核破壳最为重要,所以将 Y_1 、 Y_2 做为试验指标。

表 2 正交试验因素及水平

Table 2 Orthogonal test factors and levels

水平	A 喂料速度 / (kg · h ⁻¹)	B 破壳间隙 / mm	C 主动辊转速 / (r · min ⁻¹)
1	200	7	300
2	300	9	350
3	400	11	400

4 试验结果与分析

4.1 正交试验结果与方差分析结果

通过对明星杏杏核破壳试验,获得正交试验结果与方差分析结果见表 3~5。

由表 3 可知,破壳率最优方案为 $A_1B_1C_3$,整仁率最优方案为 $A_1B_3C_1$;影响破壳率与整仁率的因素主次顺序均为 B、C、A。由表 4 可知,间隙 B 对破壳率与整仁率有极显著影响 ($P < 0.01$),而喂料速度与主动辊转速对破壳率、整仁率影响不

表3 正交试验结果

Table 3 Results of orthogonal test

试验号	A	B	C	破壳率/%	整仁率/%
1	1	1	1	99.92	56.25
2	1	2	2	99.65	94.12
3	1	3	3	64.71	99.92
4	2	1	2	99.96	53.33
5	2	2	3	99.68	96.67
6	2	3	1	56.67	99.89
7	3	1	3	99.95	53.33
8	3	2	1	99.62	96.43
9	3	3	2	62.50	99.90
破壳率	K_1	88.09	99.94	85.40	
	K_2	85.44	99.65	87.37	
	K_3	87.36	61.29	88.11	
	R	2.66	38.65	2.71	
整仁率	K_1	83.43	54.30	84.19	
	K_2	83.30	95.74	82.45	
	K_3	83.22	99.90	83.31	
	R	0.21	45.60	1.74	

表4 破壳率方差分析结果[†]

Table 4 Results of variance analysis for breaking rate

方差来源	偏差平方和	自由度	均方	F值	Pr>F	显著性
A	11.287	2	5.643	0.985	0.504	
B	2 965.142	2	1 482.571	258.825	0.004	* *
C	11.764	2	5.882	1.027	0.493	
模型	2 988.194	6	498.032	86.946	0.011	*
误差	11.456	2	5.728			
总和	2 999.650	8				

[†] * 表示因素对试验指标有显著影响($P<0.05$); * * 表示因素对试验指标有极显著影响($P<0.01$)。

表5 整仁率方差分析结果[†]

Table 5 Results of variance analysis for kernel rate

方差来源	偏差平方和	自由度	均方	F值	Pr>F	显著性
A	0.068	2	0.034	0.013	0.987	
B	3 813.691	2	1 906.845	756.591	0.001	* *
C	4.542	2	2.271	0.901	0.526	
模型	3 818.300	6	636.383	252.502	0.004	* *
误差	5.041	2	2.520			
总和	3 823.341	8				

[†] * * 表示因素对试验指标有极显著影响($P<0.01$)。

显著($P>0.05$)。至于破壳率、整仁率优选方案,在 B_1 条件下虽然破壳率最好,但整仁率明显偏低,在 B_3 条件下整仁率最好,但破壳率偏低,故不予采纳。采用综合平衡法结合表3、4,破壳间隙选为 B_2 ,而对于A、C在保证破壳率、整仁率的同时考虑到生产效率的问题,选 A_3 、 C_3 。所以最终优选方案为 $A_3B_2C_3$,即喂料速度400 kg/h,破壳间隙9 mm,主动辊转速400 r/min。

4.2 最优方案的验证

对于最优方案 $A_3B_2C_3$,经过5次重复实验,该参数下设备破壳率均值99.65%,整仁率96.87%,破壳效果较好。在喂料速度与主动辊转速不变的情况下,对新疆主栽的其他杏品种小白杏、赛买提杏、黑叶杏杏核分别进行了破壳试验,试验表明当破壳间隙比杏核厚度小约2 mm时,破壳率在98%以上,整仁率在95%以上,均获得较好的破壳效果。

5 结论

(1) 采用对辊挤压式杏核破壳机进行杏核破壳,生产效率高,可以获得较好的破壳率和整仁率,破壳性能良好。

(2) 通过试验可知破壳间隙对杏核破壳率、整仁率影响最大,而喂料速度、主动辊转速对破壳率、整仁率影响较小。

(3) 对于明星杏杏核当喂料速度400 kg/h,破壳间隙9 mm,主动辊转速400 r/min时可以取得最佳的破壳效果。在同样喂料速度与主动辊转速条件下,通过对其它品种杏核的破壳试验验证表明,当破壳间隙小于杏核厚度约2 mm时,均取得较好的破壳效果。

参考文献

- [1] 肖朝霞, 蒋萌蒙, 王向军. 杏仁的功能性及其药理研究进展[J]. 农产品加工, 2011(11): 71-73.
- [2] 冯小雨, 刘敏, 葛红娟, 等. 杏仁营养成分分析[J]. 吉林医药学院学报, 2016, 37(2): 86-88.
- [3] 新疆维吾尔自治区统计局. 新疆统计年鉴[Z]. 北京: 中国统计出版社, 2015: 383.
- [4] 刘军. 新疆杏核破壳最佳截面的探讨[J]. 工程力学, 2006, 23(3): 168-172.
- [5] 曹永政, 牟仁生, 于宴同. 杏核破壳取仁机理的研究[J]. 粮油加工, 2010(10): 176-178.
- [6] 王静. 杏核机械开口的试验研究及有限元分析[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2014: 15-20.
- [7] 韩汝涛. 仁用杏杏核开口机的研制[D]. 石家庄: 河北科技大学, 2014: 11-16.
- [8] 樊丁宇, 廖康, 张大海, 等. 小白杏杏核开口压力的线性回归建模及验证[J]. 新疆农业科学, 2010, 47(3): 466-471.
- [9] 李忠新, 刘奎, 杨莉玲, 等. 锥篮式核桃破壳装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2012, 43(S1): 146-152.
- [10] 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.
- [11] 周军, 史建新. 气爆式核桃破壳试验研究[J]. 中国农机化学报, 2015, 36(2): 116-119.
- [12] 赵奎鹏, 郑甲红, 王亚妮, 等. 挤压式核桃破壳机的正交试验研究[J]. 农机化研究, 2016(2): 153-157.
- [13] 范修文, 曾勇, 兰海鹏, 等. 圆锥式巴旦木破壳分离机的设计[J]. 塔里木大学学报, 2015, 27(2): 86-89.
- [14] 吐鲁洪, 阿依木妮莎. 巴旦木破壳机的试验研究[J]. 农机化研究, 2011(3): 166-169.
- [15] 麦贤豪, 王涛, 林勇. 橡胶果剥壳机设计[J]. 食品与机械, 2014, 30(6): 112-114.
- [16] 赵嫫, 王涛, 何焯亮. 橡胶果脱壳装置的设计[J]. 食品与机械, 2016, 32(3): 119-121.