

核桃壳仁混合物料气流分离系统的试验研究

朱占江^{1,2}, 康敏², 刘奎¹, 杨莉玲¹, 杨忠强¹, 祝兆帅¹

(1. 新疆农业科学院 农业机械化研究所, 乌鲁木齐 830091; 2. 南京农业大学 工学院, 南京 210031)

摘要:研究核桃破壳壳仁分离加工成套设备壳仁混合物料气流分离系统运行参数对壳仁分离效果的影响, 为实际生产中成套设备气流分离系统调节与运行参数选择提供依据。以仁中含壳率和壳中含仁率为指标, 在单因素试验的基础上, 通过正交试验确定核桃壳仁混合物料气流分离系统的运行参数。结果表明: 调节阀开度对壳仁分离效果影响最显著, 卸风板开度影响次之, 喂料速度影响最小。核桃壳仁混合物料气流分离最优运行参数为: 调节阀开度 1/2、1/4、1/8 壳仁 30°, 1/16 壳仁 15°, 两组分心木 15°; 卸风板开度 1/2 壳仁 30°, 1/4、1/8、1/16 壳仁 15°~30°, 两组分心木 30°~45°; 喂料速度 1/2、1/4、1/8、1/16 壳仁分别为 6、2、1、0.35 kg/min。在最优运行参数下, 1/2、1/4、1/8、1/16 壳仁的仁中含壳率分别为 2.26%、1.07%、3.61%、5.57%, 壳中含仁率分别为 0.88%、0.54%、3.92%、6.85%。实际生产中建议整套设备原果核桃加工生产能力控制在 600 kg/h 以内。

关键词:核桃壳仁; 分离系统; 调节阀; 卸风板; 喂料速度

中图分类号: TS223; S226.5

文献标识码: A

文章编号: 1003-7969(2022)03-0137-06

Experimental study on airflow separation system of walnut shell and kernel mixed materials

ZHU Zhanjiang^{1,2}, KANG Min², LIU Kui¹, YANG Liling¹,
YANG Zhongqiang¹, ZHU Zhaoshuai¹

(1. Institute of Agricultural Mechanization, Xinjiang Academy of Agricultural Science, Urumqi 830091, China;
2. College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

Abstract: The influence of operation parameters of the airflow separation system in the complete equipment of walnut broken and shell kernel separation on the separation effect of walnut shell and kernel was studied, so as to provide basis for the adjustment and selection of operating parameters of the airflow separation system of the complete equipment in practical production. With shell content in kernel and kernel content in shell as indexes, on the basis of single factor experiment, the operation parameters were determined by orthogonal experiment. The results showed that the angle of regulating valve had the most significant influence on the shell kernel separation effect, followed by the angle of air discharge plate and the feeding speed. The optimal operation parameters were obtained as follows: the angle of regulating valve 30° for 1/2, 1/4 and 1/8 shell kernel, 15° for 1/16 shell kernel, and 15° for two groups of diaphragm; angle of air discharge plate 30° for 1/2 shell kernel, 15°-30° for 1/4, 1/8 and 1/16 shell kernel, and 30°-45° for two groups of diaphragm; feeding speed 6, 2, 1, 0.35 kg/min for 1/2, 1/4, 1/8 and 1/16 shell kernel respectively. Under the optimal operation parameters, the shell contents in kernel

of 1/2, 1/4, 1/8 and 1/16 shell kernel were 2.26%, 1.07%, 3.61% and 5.57% respectively, and the kernel contents in shell were 0.88%, 0.54%, 3.92% and 6.85% respectively. In actual production, it was suggested that the productivity of raw walnut processed by the whole set of equipment should be

收稿日期: 2021-07-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(51865059); 乌鲁木齐市科学技术计划项目(G161010002)

作者简介: 朱占江(1983), 男, 副研究员, 硕士, 研究方向为农产品加工技术与装备(E-mail) 807305760@qq.com。

通信作者: 康敏, 教授, 博士生导师(E-mail) kangmin@njau.edu.cn。

controlled within 600 kg/h.

Key words:walnut shell and kernel; separation system; regulating valve; air discharge plate; feeding speed

核桃是我国重要的木本油料,其果仁富含蛋白质、脂肪、矿物质和维生素,可以直接食用或用来制作休闲食品、制乳、榨油等。核桃仁含油率 60% 左右,核桃油不饱和脂肪酸含量约为 90%,具有降低胆固醇、增强免疫力、延缓衰老、促进大脑神经系统发育、保护肠道的作用^[1-3]。核桃破壳后获取干净的核桃仁是实现核桃精深加工增值的基础,气流分选作为核桃破壳后壳仁分选的一种重要方法,具有成本低、对核桃仁损伤小的特点,在生产中得到应用^[4-5]。董远德等^[6]利用正交试验进行了倾斜式核桃壳仁风选机的试验研究,结果表明,风量大小和风腔长度对壳中含仁率有显著影响,风腔长度对仁中含壳率有极显著的影响,喂入量对高路仁损失率有极显著的影响。王维等^[7]通过对核桃破壳工艺路线及壳仁空气动力学特性的研究,研制出一种四工位风选式核桃壳仁分离机,经过试验获取了不同等级核桃壳仁最佳分离参数。曹成茂等^[8]利用山核桃壳与仁的含水率的区分度、力学参数与其形状系数,使壳、仁和壳仁嵌合物的悬浮速度重合区间减小,并且研究了风速均匀性和控制风速精度对复杂物料风选的影响。牛浩^[9]对设计的正压送风式核桃壳仁分离设备分离管道进行了数值模拟并开展试验,结果表明,入料流量对损失率影响最为显著,振动频率对清选率影响最大。刘奎^[10]开展了核桃工厂化破壳加工工艺与生产线设计研究,依据壳仁悬浮速度,对壳仁气流分离机构进行了设计与理论计算。朱占江等^[11]开展了核桃壳仁气流分离装置分离腔流场均匀性比较研究,对不同分离腔厚度、宽度、高度下腔体内流场分布进行了研究,使分离腔内气流分布尽可能均匀,提高壳仁分选效果。蔺建涛等^[12]开展了杏核壳仁风选机的设计与试验研究,分析杏核壳与仁在振动与气流综合作用下,沿筛面运动的条件及规律,以喂入量、风量级、曲柄转速为试验因素进行了正交试验,获得了较优的壳仁分离参数。马秋成等^[13]对莲子剥壳后混合物料的风力分选技术进行研究,对混合物料各组分的空气动力学特性进行理论分析与试验,设计制造了莲子负压壳仁分离装置,通过试验确定了装置的优化分离工艺参数。

以上坚果壳仁气流分离研究推动了核桃壳仁分离装置的设计、优化、改进以及生产应用。本研究着重根据团队研制的核桃加工成套设备,开展壳仁分

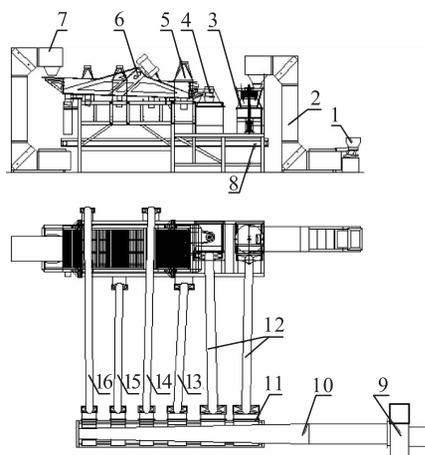
离系统各运行参数对物料分离效果的试验研究,该套设备已在新疆、云南、陕西、山西、河北等省份核桃产区得到推广应用,成套装备各等级分离机构并联,整个分离系统可对多个等级的核桃壳仁同时进行气流分离,由于成套设备分离系统调节相对复杂,因此开展针对性研究具有重要价值,可为实际生产中成套装备气流分离系统调节与运行参数选择提供指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

新新 2 核桃,产地为新疆阿克苏地区温宿县,已分级,2020 年购买后放置于冷库中冷藏,含水率为 5.00%。

核桃破壳壳仁气流分离加工成套设备,主要由一次破壳机、二次破壳机、分级振动筛、壳仁气流分离系统组成,结构如图 1 所示。气流分离系统包括分离腔、吸风管道、沉降箱、主风管道、风机等。一次破壳机采用锥篮挤压剪切方式破壳^[14],二次破壳机采用高速离心碰撞方式破壳。设备配套风机功率 22 kW,流量 22 803 m³/h。1/2 等级壳仁对应筛孔为长孔,长度与宽度分别为 43、20 mm,分上下两层,且两层筛面紧贴,下层筛面可以沿宽度方向前后调节,从而根据加工核桃几何尺寸情况改变 1/2 筛孔尺寸,1/4、1/8、1/16 3 个等级壳仁对应筛孔为圆孔,直径分别为 19、15、10 mm,碎料对应筛孔直径为 8 mm。



注:1. 振动喂料机; 2. Z 型提升机; 3. 一次破壳机; 4. 二次破壳机; 5. 分离腔; 6. 分级振动筛; 7. C 型提升机; 8. 输送机; 9. 风机; 10. 主风管道; 11. 沉降箱; 12. 分心木吸风管; 13. 1/2 等级吸风管; 14. 1/4 等级吸风管; 15. 1/8 等级吸风管; 16. 1/16 等级吸风管。

图 1 核桃破壳壳仁分离加工成套设备结构示意图

1.2 试验方法

1.2.1 核桃破壳壳仁分离工艺路线

整套设备工艺路线如图2所示,分过级的原果核桃经提升机进入一次破壳机,破壳后壳仁混合物料落入下部输送机,经输送机、提升机进入分级振动筛,由分级振动筛将破壳后的核桃壳仁混合物料按大小分为1/2、1/4、1/8、1/16壳仁4个等级,再经壳仁分离系统,将核桃壳仁分离,由出仁口和出壳口各自排出。一次破壳不完全的核桃从分级振动筛末端出料口导入二次破壳机继续破壳,再次破壳后循环以上过程,最终获得干净的尺寸约为整仁、整壳尺寸1/2、1/4、1/8、1/16 4个等级的核桃仁、核桃壳。在一次破壳机与二次破壳机一侧安装有分心木气流分离系统,当核桃破壳后壳仁混合物料从破壳机构向下降落过程中,分心木被分离。

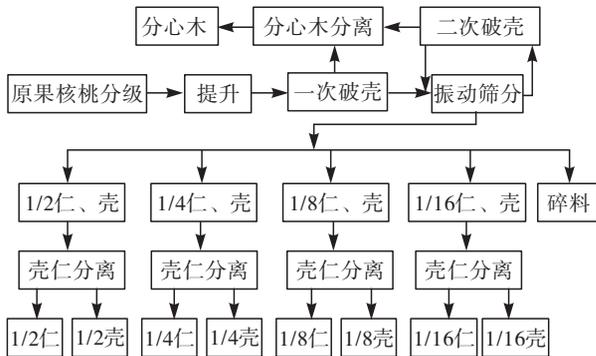


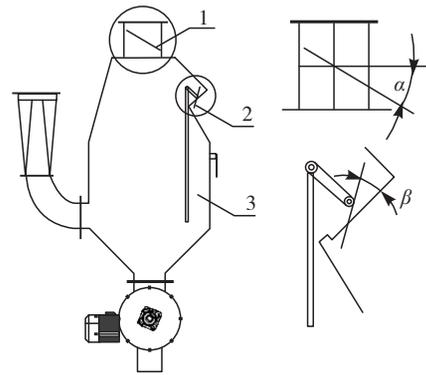
图2 核桃破壳壳仁分离工艺路线图

1.2.2 原料准备

从冷库中取出原果核桃,常温放置12 h,采用核桃破壳壳仁分离加工成套设备对核桃进行破壳壳仁分离。以设计的生产能力600 kg/h均匀喂料,首先用5 kg物料进行试机,然后取100 kg物料破壳分选,测定破壳后壳仁各组分占比,并将获得的壳仁物料对应等级混合,作为开展壳仁分离系统分离试验原料。

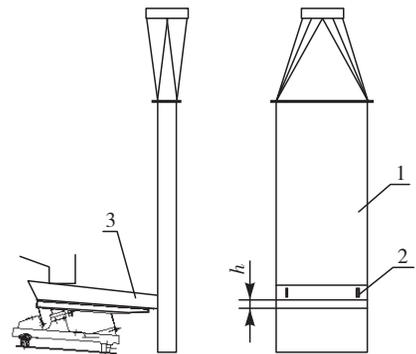
1.2.3 核桃壳仁混合物料气流分离

分离腔风速与喂料速度对设备分选效果有直接影响,而分离腔风速大小受可调节因素调节阀开度(α)、卸风板开度(β)的影响,如图3所示。选取1/2壳仁分离系统为研究对象,物料选用1/2壳仁混合物料,限料板高度(h)调至30 mm,如图4所示。试验前先将1/4、1/8壳仁分离系统调节阀开度均调节至30°,1/16壳仁分离系统调节阀开度调节至15°,卸风板开度均调节至15°~30°。两个分心木分离系统调节阀开度调至15°,卸风板开度调节至30°~45°。以上参数固定后开展相关试验,确定调节阀开度、卸风板开度和喂料速度。



注:1.调节阀;2.卸风板;3.沉降箱。

图3 沉降箱示意图



注:1.分离腔;2.限料板;3.振动给料机。

图4 分离腔示意图

1.2.4 仁中含壳率与壳中含仁率的计算

仁中含壳率为仁出口混入的核桃壳质量占仁出口物料总质量的比例,壳中含仁率为壳出口混入的核桃仁质量占壳出口物料总质量的比例。

1.2.5 数据处理

试验数据的分析处理采用Excel与SPSS19.0软件。

2 结果与分析

2.1 核桃机械破壳分选后各组分占比

测得核桃壳、仁、分心木、碎料分别占出口总物料量的46.87%、50.35%、0.75%、2.03%。根据观察,破壳分选后分心木中不含壳与仁,壳、碎料中含有一定比例的分心木,其中壳中混有的分心木一部分粘连于壳内层,一部分脱离壳在壳物料中,这里将壳中混有的分心木算为壳物料,不进行挑选。为了了解分心木实际占整核桃质量比例,随机挑选10个核桃,采用手工破壳方法,并将破壳后粘连在壳内层的分心木取出,测得分心木占比1.98%。核桃壳仁各等级物料1/2、1/4、1/8、1/16壳仁分别占出口总物料量的63.36%、19.66%、10.65%、3.55%。1/2、1/4、1/8、1/16壳分别占总壳量的75.23%、12.40%、8.52%、3.85%,1/2、1/4、1/8、1/16仁分别占总仁量的55.82%、27.50%、13.22%、3.46%。各等级物料如图5所示。

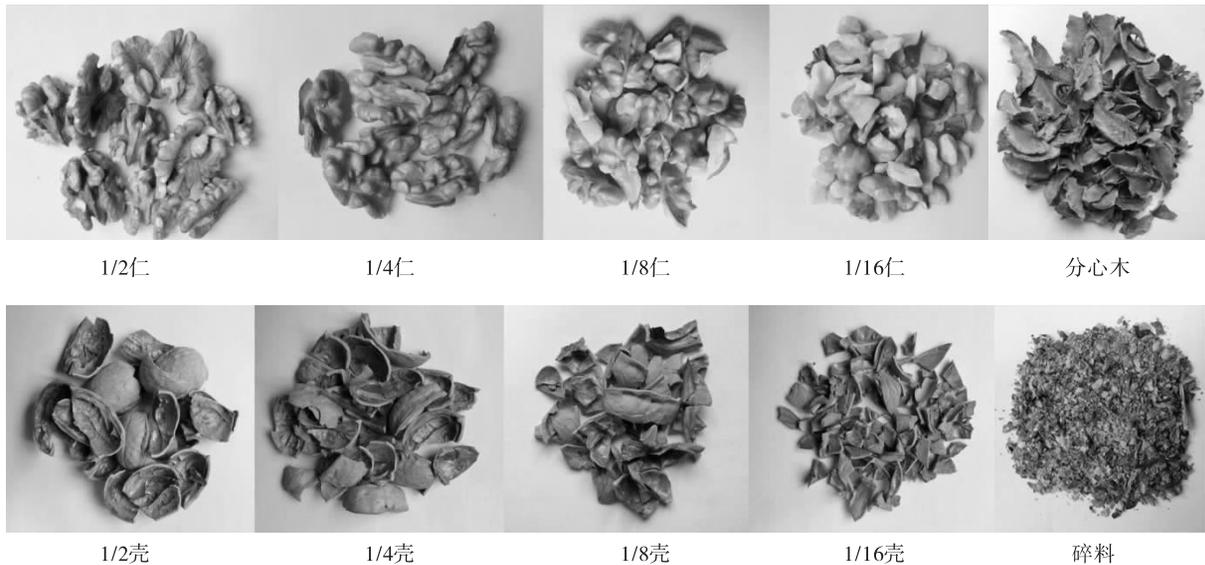


图5 核桃破壳后各等级物料

2.2 单因素试验

2.2.1 调节阀开度对壳仁分离效果的影响

足够的吸风量是保证适宜分离风速的前提^[15],每一等级沉降箱内设置的调节阀可调节主风管道内风量对各等级分离系统风量的分配,因此对壳仁分离具有重要的影响。在卸风板开度为 30° ,喂料速度为 6 kg/min 条件下,考察调节阀开度对壳仁分离效果的影响,结果见图6。

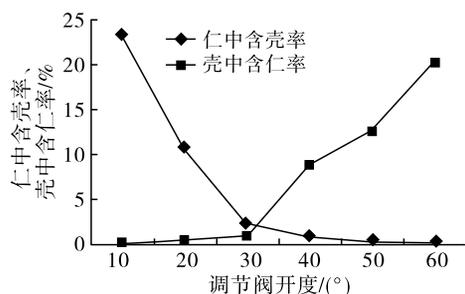


图6 调节阀开度对壳仁分离效果的影响

由图6可以看出,调节阀开度在 $10^\circ\sim 20^\circ$ 时,仁中含壳率高于 10% ,小于 10° 时风速更小,仁中含壳率更高。同理,调节阀开度大于 40° 以后,壳中含仁率大于 7% 。所以为了获得较低的仁中含壳率与较低的壳中含仁率,确定调节阀开度优选范围为 $20^\circ\sim 40^\circ$ 。

2.2.2 卸风板开度对壳仁分离效果的影响

卸风板主要为了调节对应等级分离系统内的风速,便于获得适宜的壳仁分离风速。在调节阀开度为 30° ,喂料速度为 6 kg/min 条件下,考察卸风板开度对壳仁分离效果的影响,结果见图7。由图7可以看出,卸风板开度对物料分选效果影响相对较小,当卸风板开度大于 45° 时,仁中含壳率大于 3% ,当卸风板开度小于 15° 时,壳中含仁率大于 3% 。所以

为了获得较低的仁中含壳率以及较低的壳中含仁率,确定卸风板开度优选范围为 $15^\circ\sim 45^\circ$ 。

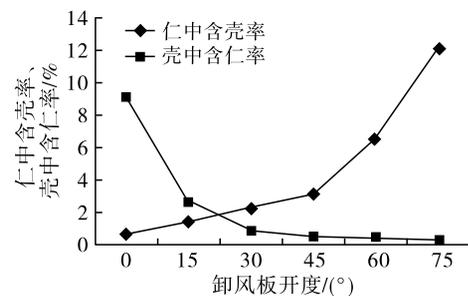


图7 卸风板开度对壳仁分离效果的影响

2.2.3 喂料速度对壳仁分离效果的影响

单位时间通过分离腔的物料量即喂料速度过大会降低壳仁分离效果,尤其是对于具有一定凹型弧面的核桃壳物料,在分选过程中存在夹带核桃仁造成壳中含仁率升高以及核桃壳叠加沉降造成仁中含壳率增加的可能。在调节阀开度、卸风板开度均为 30° 条件下,考察喂料速度对壳仁分离效果的影响,结果见图8。由图8可以看出,随着喂料速度的增加,仁中含壳率与壳中含仁率均增加,为了能够尽可能降低壳中含仁率,同时保持较低的仁中含壳率,确定喂料速度优选范围为 $5\sim 7\text{ kg/min}$ 。

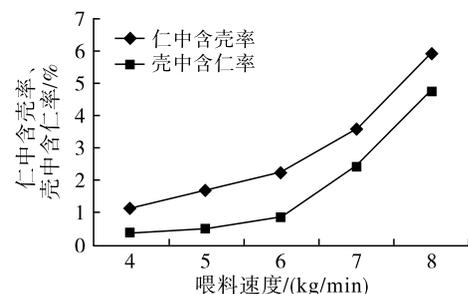


图8 喂料速度对壳仁分离效果的影响

2.3 正交试验

2.3.1 正交试验结果

根据单因素试验结果,以仁中含壳率、壳中含仁率为试验指标进行正交优化试验,正交试验因素水平见表1,正交试验设计与结果见表2,仁中含壳率与壳中含仁率方差分析分别见表3、表4。

表1 正交试验因素水平

水平	A 调节阀开度/(°)	B 卸风板开度/(°)	C 喂料速度/(kg/min)
1	20	15	5
2	30	30	6
3	40	45	7

表2 正交试验设计与结果

试验号	A	B	C	仁中含壳率/%	壳中含仁率/%
1	1	1	1	8.12	1.42
2	1	2	2	10.67	0.48
3	1	3	3	14.69	0.18
4	2	1	2	1.46	3.29
5	2	2	3	3.57	2.61
6	2	3	1	2.73	0.52
7	3	1	3	0.65	9.57
8	3	2	1	0.81	5.12
9	3	3	2	1.17	4.54

仁中含壳率

k_1	11.16	3.41	3.89
k_2	2.59	5.02	4.43
k_3	0.88	6.20	6.30
R	10.28	2.79	2.41

壳中含仁率

k_1	0.69	4.76	2.35
k_2	2.14	2.74	2.77
k_3	6.41	1.75	4.12
R	5.72	3.01	1.77

表3 仁中含壳率方差分析

方差来源	偏差平方和	自由度	均方	F	P	显著性
模型	203.548	6	33.925	22.876	0.042	*
A	182.173	2	91.087	61.420	0.016	*
B	11.739	2	5.870	3.958	0.202	
C	9.636	2	4.818	3.249	0.235	
误差	2.966	2	1.483			
总计	206.514	8				

注:*表示因素对试验指标有显著影响($P < 0.05$)。下同

表4 壳中含仁率方差分析

方差来源	偏差平方和	自由度	均方	F	P	显著性
模型	72.277	6	12.046	27.375	0.036	*
A	53.006	2	26.503	60.228	0.016	*
B	14.154	2	7.077	16.083	0.059	
C	5.117	2	2.559	5.814	0.147	
误差	0.880	2	0.440			
总计	73.157	8				

由表2可看出,影响仁中含壳率、壳中含仁率的因素主次顺序均为 $A > B > C$,即调节阀开度对两个指标的影响最大,其次为卸风板开度,喂料速度影响最小。由表3、表4可知,调节阀开度对仁中含壳率与壳中含仁率影响显著($P < 0.05$),而卸风板开度与喂料速度对仁中含壳率与壳中含仁率影响不显著($P > 0.05$)。由表2可知,仁中含壳率最优方案为 $A_3B_1C_1$,壳中含仁率最优方案为 $A_1B_3C_1$ 。对于仁中含壳率优选方案 $A_3B_1C_1$,该条件下调节阀开度最大、卸风板开度最小,故分离腔内风速最大,虽然可获得较低的仁中含壳率,但壳中含仁率较高;对于壳中含仁率优选方案 $A_1B_3C_1$,该条件下调节阀开度最小、卸风板开度最大,故分离腔内风速最小,虽然可获得较低的壳中含仁率,但仁中含壳率偏高,故两种优选方案不予采纳。采用综合平衡法,调节阀开度选为 A_2 ,对于B、C在保证较低的仁中含壳率与较低的壳中含仁率的同时考虑到设备生产率因素,选 B_2 、 C_2 ,所以最终优选方案为 $A_2B_2C_2$,即调节阀开度 30° 、卸风板开度 30° 、喂料速度 6 kg/min 作为本套设备1/2壳仁分选的最优运行参数。

2.3.2 优选方案的验证

在最优运行参数下进行5次重复试验,得到该组合参数下设备仁中含壳率均值为 2.26% ,壳中含仁率均值为 0.88% ,壳仁分选效果较好,既获得了低的仁中含壳率,又满足了低的壳中含仁率。

将其他各等级壳仁对应分离腔限料板高度调整至 $20 \sim 30 \text{ mm}$,采用同样方法开展试验依次可以获得其他各等级壳仁混合物料的最优方案,最终确定该核桃破壳壳仁分离成套设备壳仁混合物料气流分离系统优选操作参数为:调节阀开度 $1/2$ 、 $1/4$ 、 $1/8$ 壳仁 30° 、 $1/16$ 壳仁 15° ,两组分心木 15° ;卸风板开度 $1/2$ 壳仁 30° 、 $1/4$ 、 $1/8$ 、 $1/16$ 壳仁 $15^\circ \sim 30^\circ$,两组分心木 $30^\circ \sim 45^\circ$;喂料速度 $1/2$ 、 $1/4$ 、 $1/8$ 、 $1/16$ 壳仁分别为 6 、 2 、 1 、 0.35 kg/min 。各等级壳仁分离效果见表5。

表5 各等级壳仁物料分选效果 %

物料	仁中含壳率	壳中含仁率
1/2 壳仁	2.26	0.88
1/4 壳仁	1.07	0.54
1/8 壳仁	3.61	3.92
1/16 壳仁	5.57	6.85

按各等级壳仁占比计算破壳壳仁分离加工成套设备生产能力为 $560 \sim 610 \text{ kg/h}$,实际生产中建议设备生产能力控制在 600 kg/h 以内。由于各等级壳

仁物料分离系统存在相互影响,不同品种核桃以及同品种不同批次核桃破壳后各等级壳仁混合物料占比以及物料几何形态存在差异,故实际生产中优选工况并非唯一,可首先参照以上优选工况调节后再根据壳仁分离效果进行微调节。

由表 5 可以看出,1/4 壳仁分选效果最好。依据项目组研究,主要原因在于 1/4 壳与仁相对其他等级壳仁悬浮速度差异较大,同时破壳分级后 1/4 壳仁混合物料中壳占比相对 1/2 壳占比较小,利于壳仁分离,而对于 1/8、1/16 壳仁,由于其颗粒度较小,在流场中运动较为剧烈,其运动姿态变化明显,导致其迎风面积稳定性差,对壳仁分离造成了不利影响。

3 结 论

通过单因素试验和正交试验得出调节阀开度对壳仁气流分离效果影响最大,其次为卸风板开度,喂料速度影响最小。

对于新新 2 核桃,壳仁气流分离系统最优运行参数为:调节阀开度 1/2、1/4、1/8 壳仁 30°,1/16 壳仁 15°,两组分心木 15°;卸风板开度 1/2 壳仁 30°,1/4、1/8、1/16 壳仁 15°~30°,两组分心木 30°~45°;喂料速度 1/2、1/4、1/8、1/16 壳仁分别为 6、2、1、0.35 kg/min。在最优运行参数下,1/2、1/4、1/8、1/16 壳仁的仁中含壳率分别为 2.26%、1.07%、3.61%、5.57%,壳中含仁率分别为 0.88%、0.54%、3.92%、6.85%。

对于核桃破壳壳仁分离成套设备而言,实际生产中建议原果核桃喂入速度控制在 600 kg/h 以内,依据加工对象实际情况参照新新 2 核桃优选工况进行初调节,然后再根据壳仁分离效果进行微调节。

参考文献:

[1] 代增英,高克栋,冯建岭,等.核桃油的研究进展[J].江

苏调味副食品,2014(1):6-8.

- [2] 李俊南,习学良,熊新武,等.核桃的营养保健功能及功能成分研究进展[J].中国食物与营养,2018,24(5):60-64.
- [3] 缪福俊,耿树香,肖良俊,等.核桃油生物活性研究进展[J].中国油脂,2021,46(6):85-88.
- [4] 朱占江,李忠新,杨莉玲,等.核桃壳仁分离技术研究进展[J].食品工业,2014,35(2):216-219.
- [5] 刘明政,李长河,曹成茂,等.核桃分级破壳取仁及壳仁分离关键技术与装置研究进展[J].农业工程学报,2020,36(20):294-310.
- [6] 董远德,张学军,史建新.核桃壳仁风选机的设计与试验研究[J].农业机械,2012(24):156-158.
- [7] 王维,贺功民,王亚妮,等.核桃破壳取仁生产线的设计与试验[J].中国农机化学报,2016,37(4):100-103.
- [8] 曹成茂,罗坤,彭美乐,等.山核桃物料风选机理与风选性能试验研究[J].农业机械学报,2019,50(9):105-112.
- [9] 牛浩.核桃壳仁分离装置设计及试验研究[D].新疆阿拉尔:塔里木大学,2020.
- [10] 刘奎.核桃工厂化破壳加工工艺与生产线设计研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2020.
- [11] 朱占江,刘奎,刘佳,等.核桃壳仁气流分离装置分离腔流场均匀性比较研究[J].新疆农机化,2018(5):25-26,29.
- [12] 蔺建涛,史建新.杏核壳仁风选机的设计及试验[J].农产品加工(学刊),2013(23):76-78,86.
- [13] 马秋成,卢安舸,高连兴,等.莲子物料空气动力学特性与壳仁分离装置试验[J].农业工程学报,2015,31(6):297-303.
- [14] 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(增刊):146-152.
- [15] 阮竞兰,武文斌.粮食机械原理及应用[M].北京:机械工业出版社,2017:113.

·公益广告·

适度加工, 营养更丰富!

《中国油脂》宣

