

基于 EDEM 的榛子双层滚筒筛装置性能仿真试验

鞠鑫林, 何晓宁, 王东伟, 尚书旗, 连政国, 时延鑫, 高秀强

(青岛农业大学 机电工程学院, 山东 青岛 266041)

摘 要: 为了解决榛子脱苞后筛分效率低的问题, 针对榛子脱苞后的物料状态设计了一种双层滚筒筛。运用 EDEM 仿真软件对其工作状态进行模拟, 以滚筒转速、内外筛孔大小、螺旋叶片间距为试验因素, 以筛分率和含杂率为评价指标, 分析评估各因素对双层滚筒筛性能的影响, 以获得双层滚筒筛的最佳工作参数。结果表明: 当滚筒筛的内筛孔尺寸为 25 mm、外筛孔尺寸为 12 mm、转速为 36 r/min、螺旋叶片间距为 240 mm 时, 滚筒筛的筛分效率最佳。

关键词: 榛子; 滚筒筛; EDEM; 仿真试验

中图分类号: S226.8

文献标识码: A

文章编号: 1003-188X(2025)01-0185-04

DOI: 10.13427/j.issn.1003-188X.2025.01.029

0 引 言

榛子为榛科 榛属, 又名平榛。目前, 中国 22 个地区都有榛属植物分布, 资源丰富, 特别是东北、山西、内蒙古、山东、河南和河北辛集等地, 均分布有很大面积的榛子林^[1]。榛子营养丰富, 果仁中不仅富含蛋白质、糖类和各类维生素, 还含有人体所需的各类氨基酸^[2-3]。近年来, 榛子在中国的种植规模逐渐增大, 而用于榛子脱苞后筛分的机械发展还较为落后, 且针对榛子脱苞后榛子与苞衣碎片混杂的情况, 目前的机械存在着筛分率低或含杂率高的缺点, 无法满足榛子产业大规模发展的需求。

国内运用滚筒筛进行物料筛分的应用较多: 周鹏飞以滚筒转速、喂料速度、滚筒倾角和叶片螺距为试验因素对滚筒筛进行了试验^[4]; 柯瀚对滚筒筛转速与物料运动状态的关系进行分析^[5]; 冯常建、施昱基于 EDEM 对滚筒筛进行了仿真试验及优化^[6-7]; 方芹设计一种两级分段式滚筒筛分装置并对滚筒转速、喂入量、滚筒倾角等影响因素进行了试验分析^[8]; 胡天亮针对浆果筛分含杂率高的问题设计了一种 3 层结构滚筒筛装置^[9]。结果表明, 对于滚筒筛装置的筛分效率, 筛孔尺寸、转速和螺旋叶片间距都有较为明显的影响, 故对滚筒筛进行试验分析是较为必要的。

本文针对榛子脱苞后的混合物状态设计了一种双层滚筒筛, 并使用 EDEM 仿真软件对双层滚筒筛进行模拟试验, 对双层滚筒筛转速、筛孔尺寸等关键参数进行分析^[10], 旨在得出双层滚筒筛最佳的工作参数。

1 滚筒筛结构与工作原理

1.1 滚筒筛结构

滚筒筛采用圆柱形结构, 一端连接脱苞滚筒出口, 一端设置为苞衣出口; 设置内外两层筛网, 两层筛网上均分布筛孔及螺旋叶片, 如图 1 所示。滚筒筛因榛子形状类似椭球型, 故内筛网采用圆形筛孔。筛分效率与筛面利用系数有很大关系, 利用系数越高筛网的筛分效率越高, 因此设计采用正三角形排列的筛孔。外筛网要尽量多地将杂质筛分出去, 故选用条形的筛孔, 其能在保证榛子不会被筛出的前提下最大程度地将混合物料中的杂质筛分出去。

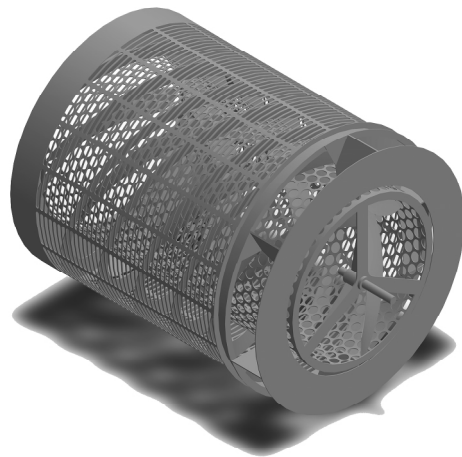


图 1 清选滚筒三维图

Fig. 1 Cleaning roller 3D diagram

收稿日期: 2022-12-11

基金项目: 山东省农业重大应用技术创新项目 (SD2019NJ001)

作者简介: 鞠鑫林 (1996-), 男, 济南人, 硕士研究生, (E-mail) xinlin96@foxmail.com。

通讯作者: 何晓宁 (1988-), 男, 山东济宁人, 讲师, 博士研究生, (E-mail) 944286200@qq.com。

1.2 工作原理

工作时,经过脱苞滚筒部分的榛子完成了脱苞,待筛分的榛子混合物(榛子、破碎后的苞衣,见图 2)由脱苞滚筒进入双层滚筒筛,进入内筛网,物料随着滚筒筛转动做回转运动,将不同的物料通过筛网分离开。其中,较大尺寸的杂质在滚筒筛内部螺旋叶片的作用下前进至苞衣出口端,榛子及较小尺寸的杂质通过内筛网上的筛孔脱离内筛网运送至外筛网,较小尺寸的杂质再经过外筛网的滚动筛分出去。最后,中间层剩余的榛子通过外筛网上的螺旋叶片运送进入收集仓。



图 2 脱苞后的榛子混合物

Fig. 2 Hazelnut mixture after defoliation

2 物料力学特性及仿真参数设置

2.1 物料力学特性

经过查找相关资料文献,仿真时各项物料的材料参数及其与其他物料的接触参数如表 1、表 2 所示。

表 1 物料力学参数

Table 1 Material mechanics parameters

物料	泊松比	剪切模量 /Pa	密度 /(kg/m ³)
榛子	0.3	1.54×10^7	700
苞衣杂质	0.4	1×10^6	230
筛网	0.3	7.9×10^{10}	7 800

表 2 物料接触参数

Table 2 Material contact parameters

接触物料	碰撞恢复系数	静摩擦因数	动摩擦因数
榛子-苞衣	0.6	0.4	0.01
榛子-筛网	0.6	0.3	0.01
榛子-榛子	0.6	0.4	0.01
苞衣-筛网	0.5	0.3	0.01
苞衣-苞衣	0.5	0.4	0.01

2.2 仿真参数设置

经过脱苞滚筒后的榛子混合物物料被送至双层滚筒筛,对脱苞滚筒出料口的榛子和破碎后的苞衣进行分类称重;选取 30 次榛子混合物,每次选取 1 kg,记录每次称重榛子与破碎苞衣的质量占比。经过测量记录得到榛子与破碎苞衣的质量占比分别是 43.8%、56.2%,按照此比例进行榛子颗粒与苞衣杂质颗粒的生成,并选取榛子和破碎苞衣各百颗进行三维尺寸的测量。榛子形状类似椭球型,且其尺寸分布符合正态分布规律,按照榛子直径的大小大致可分为 3 个尺寸等级。3 个尺寸等级的占比分别为 29.8%、37.4%、32.8%,生成如图 3 所示的 3 种不同尺寸等级榛子颗粒。破碎后的榛子苞衣形状各异,尺寸较大的苞衣碎片占比较多,其余形状各异的苞衣碎块占比较小一些,设置生成如图 4 所示的 8 种不同苞衣碎片颗粒。为保证榛子混合物料在滚筒进行充分的筛分,对滚筒进行 20 s 的 EDEM 仿真分析,设置颗粒工厂生成颗粒的时间为 10 s,时间步长设置为 Rayleigh 时间步长的 20%,数据保存的时间间隔为 0.01 s。

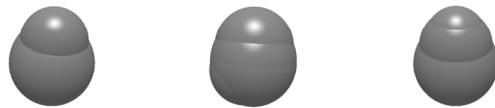


图 3 不同尺寸等级的榛子颗粒

Fig. 3 Hazelnut granules of different size grades

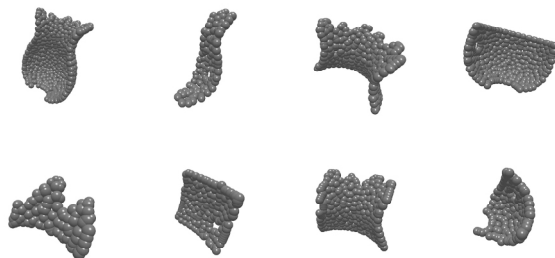


图 4 不同尺寸类型的苞衣杂质颗粒

Fig. 4 Different size types of bract coat impurity particles

3 仿真结果分析

使用 EDEM 软件按照上文中的参数设置对所设计的双层滚筒筛进行仿真试验,在双层滚筒筛苞衣出口、榛子出口和滚筒下方各设置一个收集仓,如图 5 所示。模拟筛孔大小、螺旋刀间距和不同转速对物料筛分效果的影响,验证每个结构参数对洁净率、损失率的影响,将 EDEM 仿真模拟分析的数据汇总并对数据进行分析,进而获得最佳的结构参数。双层滚筒筛的筛分效率性能指标主要是筛分率、含杂率。筛分率

是指通过双层滚筒筛筛分得到的进入中间榛子收集仓的榛子颗粒质量总和与生成的榛子颗粒质量的比值; 含杂率是指进入榛子收集仓的苞衣碎片的质量总和与进入中间榛子收集仓的混合物料质量的比值。

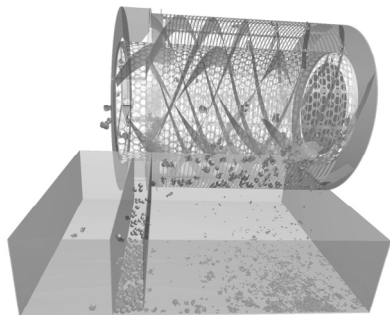


图 5 滚筒筛的筛分状态

Fig. 5 Screening state of tumbler screen

3.1 内筛孔尺寸对筛分效率的影响

内筛孔采用圆形筛孔, 其尺寸大小决定了进入滚筒筛中间层进行第二次筛选的物料大小。由于榛子跟苞衣碎片的大小不一且部分榛子与苞衣碎片的尺寸较为接近, 选择合适的内筛孔尺寸是非常必要的, 在将尽可能多的榛子送入中间层的同时筛分出较多的尺寸偏大的苞衣碎片。为了得到内筛孔尺寸对滚筒筛筛分效率的影响, 在外筛孔尺寸、转速大小、螺旋叶片间距都相等的情况下, 观察 3 种不同内筛孔尺寸下的滚筒筛筛分效率, 如图 6 所示。

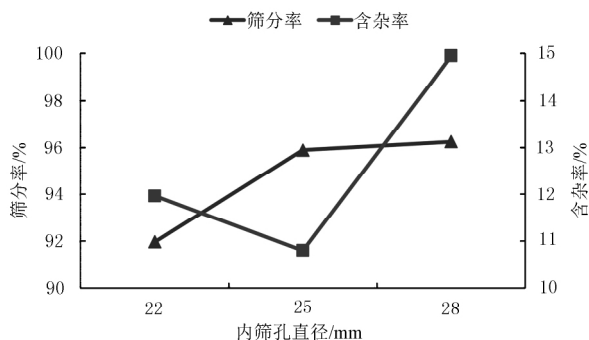


图 6 不同内筛孔尺寸下筛分率、含杂率

Fig. 6 Sieving rate and impurity rate of different inner mesh sizes

由图 6 可知: 随着内筛孔直径的增加, 筛分率呈现上升的趋势, 含杂率呈现先下降后上升的趋势。其原因是: 当内筛孔直径为 22 mm 时, 部分直径较大的榛子无法经过内筛网到达外筛网, 降低了筛分率; 随着内筛孔直径的增加, 榛子充分到达内筛网, 但当内筛孔直径为 28 mm 时含杂率较高, 内筛孔直径过大导致部分尺寸较大的杂质到达外筛网且无法被外筛网筛分出去。由此可以看出: 当内筛孔直径达到一定尺寸后, 筛分率并没有因为筛孔的尺寸增大而有显著提

高, 反而是含杂率有了较大的增加。根据筛分率和含杂率的综合考虑, 内筛孔直径为 25 mm 时, 滚筒筛的筛分效率最佳。

3.2 外筛孔尺寸对筛分效率的影响

外筛孔的尺寸大小决定了外筛网第二次筛选时的除杂率, 经过内筛网的筛分, 中间层的榛子混合物大多是榛子及与榛子尺寸相近或较小的杂质, 选择合适的外筛孔大小可以保证在将榛子留下的同时筛分掉尽可能多的杂质, 降低最终的含杂率。由于榛子跟苞衣碎片的厚度不一, 外筛孔选择条形筛孔, 将外筛孔的长度设置为 40 mm, 可设置不同的外筛孔宽度。为了得到外筛孔大小对滚筒筛筛分效率的影响, 在内筛孔大小、转速大小、螺旋叶片间距都相等的情况下, 观察 3 种不同外筛孔尺寸下的滚筒筛筛分效率, 如图 7 所示。

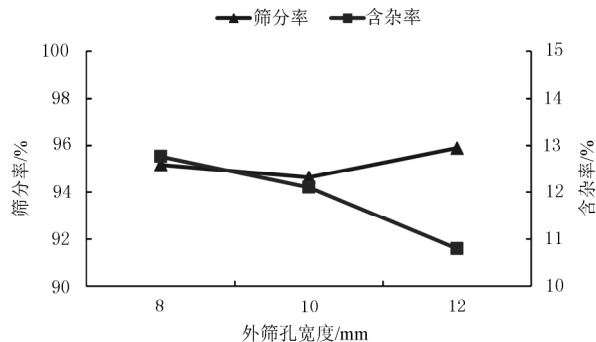


图 7 不同外筛孔尺寸下筛分率、含杂率

Fig. 7 Sieving rate and impurity rate of different outer mesh sizes

由图 7 可知: 随着外筛孔宽度的增加, 筛分率呈现较为平稳的趋势, 含杂率呈现明显下降的趋势。其原因是: 杂质虽然尺寸不一但厚度较小, 随着外筛孔的宽度增加, 通过筛网筛分出去的杂质逐渐增多, 榛子为椭球型无法通过此宽度的筛网, 故筛分率变化较为平稳而含杂率变化较大。综合考虑筛分率和含杂率, 外筛孔宽度为 12 mm 时, 滚筒筛的筛分效率最佳。

3.3 转速大小对筛分效率的影响

转速对于滚筒筛的筛分效率影响较大, 在不同的转速下物料在滚筒筛内的运动状态不同。滚筒筛转速较低时, 物料在摩擦力的作用下沿运动方向被抬起, 流动性不佳, 不利于筛网内物料的反复交替, 无法做到充分筛分, 影响筛分效率; 滚筒筛转速较高时, 物料在离心力的作用下会紧贴筛网, 不利于物料在滚筒筛内的充分流动, 导致筛分效率较低。所以, 选择合适的转速可得到较好的筛分效率。为了研究转速大小对滚筒筛筛分效率的影响, 在内筛孔大小、外筛孔大小、螺旋叶片间距都相等的情况下, 观察 6 种不同

转速下的滚筒筛筛分效率,如图 8 所示。

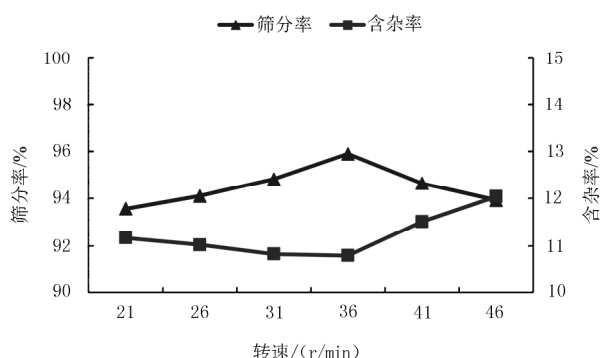


图 8 不同转速下筛分率、含杂率

Fig. 8 Sieving rate and impurity rate at different rotating speeds

由图 8 可知:随着滚筒筛转速的增加,筛分率呈现先上升后下降的趋势,含杂率呈现先下降后上升的趋势。其原因是:随着滚筒筛转速的增加,榛子和杂质的透筛率都逐渐增大,筛分率与含杂率都逐渐变优;转速大于 36 r/min 时,榛子混合物受到的离心力增大,榛子混合物与滚筒筛的接触并不充分,一些榛子及杂质还未接触到筛面,就在螺旋叶片的作用下向前运动,使得小于筛孔的物料没有充分掉落,导致筛分率减小与含杂率增大。根据筛分率和含杂率的综合考虑,滚筒筛转速为 36 r/min 时,滚筒筛的筛分效率最佳。

3.4 螺旋叶片间距对筛分效率的影响

螺旋叶片的间距决定了滚筒筛内物料的前进速度,螺旋叶片间距较小滚筒筛内的物料前进速度较慢,容易形成物料堆积造成筛分效率的降低;螺旋叶片间距较大滚筒筛内的物料前进速度较快,物料不能很好地全部完成筛选,容易造成物料没有经过充分筛选就从出料口出去的状况。所以,选择合适的螺旋叶片间距可以得到较好的筛分效率。为了研究螺旋叶片间距大小对滚筒筛筛分效率的影响,在内筛孔大小、外筛孔大小、转速都相等的情况下,观察 4 种不同螺旋叶片间距下的滚筒筛筛分效率,如图 9 所示。

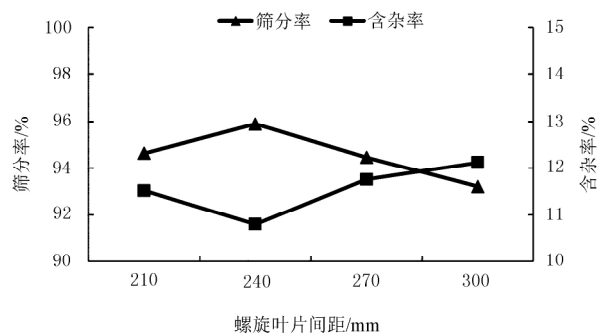


图 9 不同螺旋叶片间距下筛分率、含杂率

Fig. 9 Screening rate and impurity rate of different spiral blade spacing

由图 9 可知:随着螺旋叶片间距的增加,筛分率呈现先上升后下降的趋势,含杂率呈现先下降后上升的趋势。间距较小时,榛子混合物前进速度较慢,此时可以得到充分的筛分;当间距过大后,榛子混合物前进速度较快,物料没有经过充分的筛分就脱出滚筒筛,导致了筛分率的降低及含杂率的提高。根据筛分率和含杂率的综合考虑,螺旋叶片间距为 240 mm 时,滚筒筛的筛分效率最佳。

4 结 论

1) 随着内筛孔直径的增加,筛分率呈现上升的趋势,含杂率呈现先下降后上升的趋势;内筛孔直径为 25 mm 时,滚筒筛的筛分效率最佳。

2) 随着外筛孔宽度的增加,筛分率呈现较为平稳的趋势,含杂率呈现明显下降的趋势;外筛孔宽度为 12 mm 时,滚筒筛的筛分效率最佳。

3) 随着滚筒筛转速的增加,筛分率呈现先上升后下降的趋势,含杂率呈现先下降后上升的趋势;滚筒筛转速为 36 r/min 时,滚筒筛的筛分效率最佳。

4) 随着螺旋叶片间距的增加,筛分率呈现先上升后下降的趋势,含杂率呈现先下降后上升的趋势;螺旋叶片间距为 240 mm 时,滚筒筛的筛分效率最佳。

参考文献:

- [1] 孙俊. 榛子营养价值及辽宁地区榛子病害研究进展 [J]. 辽宁林业科技, 2014(5): 51-53.
- [2] 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.
- [3] 田文翰, 梁丽松, 王贵福. 不同品种榛子种仁营养成分含量分析 [J]. 食品科学, 2012, 33(8): 265-269.
- [4] 周鹏飞, 陈学庚, 蒙贺伟, 等. 滚筒式机收膜杂除土装置设计与试验 [J/OL]. 吉林大学学报(工学版): 1-14 [2022-12-05].
- [5] 柯瀚, 兰盛泽, 张美兰, 等. 陈垃圾滚筒筛运动模式与筛分效率优化 [J]. 浙江大学学报(工学版), 2021, 55(12): 2323-2333.
- [6] 冯常建, 毕阳, 胡文威, 等. 基于 EDEM 数值模拟的沙棘脱果滚筒筛仿真试验 [J]. 林业机械与木工设备, 2016, 44(6): 34-37.
- [7] 施昱, 王庆海, 叶伟. 基于 EDEM 软件数值模拟的滚筒筛优化设计 [J]. 环境工程学报, 2016, 10(9): 5197-5202.
- [8] 方芹, 宋世圣, 周婷, 等. 两级分段式黑水虻虫沙滚筒筛分装置设计与试验 [J]. 中国农业科技导报, 2022, 24(3): 130-139.

(下转第 204 页)

Study on the Optimization of the Operation Interface of Agricultural Machinery Based on Visual Communication Design

Wei Yamin

(Henan Vocational University of Science and Technology , Zhoukou 466000 , China)

Abstract: In recent years , with the continuous development and application of agricultural machinery intelligence , farmers have put forward higher requirements for agricultural machinery control functionality , convenience , ease of learning and good experience of human-computer interaction. However , there are a lot of " homogenization " features in various agricultural machinery APP interfaces on the market , which are difficult to meet the requirements of different agricultural machinery in the field. This paper takes " human-machine interaction behavior " as the design goal , based on visual communication technology , and takes the operation interface of cereal combine harvester as the research object to carry out relevant design research. Through analyzing the graphics , text , color and design style of the operation interface of cereal combine harvester , the results show that the optimized operation interface of agricultural machinery can significantly improve the operator's operation efficiency and working experience , and reduce the operation error rate and fatigue level. The research results can provide a reference process design model for the design of intelligent operation interface of agricultural machinery.

Key words: operator interface; visual information; interaction; grain combine harvester

(上接第 188 页)

- [9] 胡天亮 胡靖明 毕阳 等. 基于 EDEM 数值模拟的沙棘滚筒筛设计[J]. 中国农机化学报 2021 42(9) : 122-129.
- [10] 袁佳诚 杨佳 万星宇 等. 油菜联合收获机滚筒筛式复清

装置设计与试验[J]. 农业机械学报 ,2022 ,53(9) : 99-108.

Abstract ID: 1003-188X(2025) 01-0185-EA

Hazelnut Double-decker Trommel Screen Device Performance Simulation Test Based on EDEM

Ju Xinlin , He Xiaoning , Wang Dongwei , Shang Shuqi ,
Lian Zhengguo , Shi Yanxin , Gao Xiuqiang

(College of Mechanical and Electrical Engineering , Qingdao Agricultural University , Qingdao 266041 , China)

Abstract: In order to solve the problem of low sieving efficiency after hazelnut deflashing , a double-decker trommel screen was designed for the material state after hazelnut deflashing. The EDEM simulation software was used to simulate the working condition of the screen , and the drum speed , inner and outer screen hole size and spiral blade spacing were used as test factors , and the screening rate and impurity rate were used as evaluation indicators to analyse and assess the influence of each factor on the performance of the double-decker drum screen to obtain the best working parameters of the double-decker drum screen. The results show that the best screening efficiency is achieved when the inner screen hole size is 25 mm , the outer screen hole size is 12 mm , the rotational speed is 36 r/min and the spiral blade spacing is 240 mm.

Key words: hazelnut; trommel; EDEM; simulation test