

分类号: TH132
学号: 20212109081

密级: 公开
单位代码: 10759

石河子大学 硕士学位论文



户用型食葵壳仁分离机的设计与试验

学位申请人

顾江伟

指导教师

姚雪东教授

刘洋 研究员

申请学位类别

专业硕士

专业名称

机械

研究领域

农业机械化工程

所在学院

机械电气工程学院

中国·新疆·石河子

2024年05月

分类号: TH132
学号: 20212109081

密级: 公开
单位代码: 10759

石河子大学 硕士学位论文



户用型食葵壳仁分离机的设计与试验

| | |
|--------|----------------|
| 学位申请人 | 顾江伟 |
| 指导教师 | 姚雪东教授 刘洋研究员 |
| 申请学位类别 | 专业硕士 |
| 专业名称 | 机械 |
| 研究领域 | 农业机械化工 |
| 所在学院 | 机械电气工程学院 |

中国·新疆·石河子

2024年05月

Design and test of household type edible sunflower seed shell and kernel separating machine

A Dissertation Submitted to
Shihezi University
In Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Mechanics

By

Gu Jiang-wei
(**Mechanical Engineering**)

Dissertation Supervisor: Prof. Xuedong Yao

Researcher: Liu Yang

May, 2024

石河子大学学位论文独创性声明及使用授权声明

学位论文独创性声明

本人所提交的学位论文是在我导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确的说明并表示谢意。

研究生签名： 顾江伟 时间： 2024年5月8日

使用授权声明

本人完全了解石河子大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文在学校图书馆保存并允许被查阅。有权自行或许可他人将学位论文编入有关数据库提供检索服务。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

研究生签名： 顾江伟 时间： 2024年5月8日

导师签名： 顾雪东 时间： 2024年5月8日

摘要

食用葵花籽富含蛋白质、氨基酸、矿物质、维生素等营养成分，市场前景广阔，深受消费者喜爱；但市面上的食葵壳仁分离机整机的完整性低、脱壳效果和壳仁分离效果不佳。针对上述问题，本文以一级（ $L \geq 20$ mm、 $W \geq 8$ mm）熟化食葵为研究对象，将壳仁分离工艺分为三步：喂料排序、脱壳、分离壳仁混合物。结合壳仁分离工艺和物料特性，分别设计喂料排序机构、自适应脱壳机构和壳仁分离机构。运用理论分析、仿真和物理试验等方法，对户用型食葵壳仁分离机进行研究与性能测试。主要在以下几个内容进行研究：

（1）对食葵及其仁和壳的物料特性进行了测定，主要包括物理特性和力学特性。使用游标卡尺测量三轴尺寸、采用浸液法测量密度、使用电子天平测量千粒重、使用悬浮速度试验台测定悬浮速度、通过改变斜面倾角测量各成分之间的静摩擦系数、使用质构仪测定泊松比、剪切模量、弹性模量、应用跌落法测定各材料之间的碰撞恢复系数。

（2）结合物料特性与壳仁分离工艺，设计了喂料排序机构，确定了取料滚筒直径和刮钉厚度，对取料过程进行分析，得出了影响喂料性能的主要因素为取料槽形状和滚筒转速；设计了自适应脱壳机构，确定了夹持轮半径、脱壳辊 V 型槽宽度、V 型槽半径等。对脱壳过程进行运动学分析，得出影响脱壳性能的主要因素为夹持轮与脱壳辊转速的比值、夹持间隙和脱壳间隙。设计了壳仁分离机构，依据物料的悬浮速度及质量分数，对风机进行了选型，对壳、仁进行运动学分析，得出影响分离的主要因素为风速和风道夹角。

（3）喂料性能的单因素试验。以多粒率为评价指标，以取料槽形状和转速为试验因素；结果表明：当取料槽形状为三角形，取料滚筒转速为 15 r/min 时，多粒率为 10.93%。脱壳性能的多目标响应曲面试验。以脱壳率和仁破碎率为评价指标，转速比、夹持间隙和脱壳间隙为试验因素；结果表明：影响脱壳率与仁破碎率的主次因素顺序均为脱壳间隙、夹持间隙、转速比；当转速比为 1、夹持间隙为 3 mm、脱壳间隙为 8 mm 时，脱壳率为 86.32%，仁破碎率为 6.88%。壳仁分离性能的仿真试验。以仁收集率和壳中含仁率为评价指标，以风道夹角和风速为试验因素，采用 CFD-DEM 耦合方法，根据风道压力云图、速度云图等分析了不同风道方案；对耦合模型进行了验证；进行正交试验及应用综合评分法确定最优参数；结果表明：影响仁收集率与壳中含仁率的主次因素均为风速、风道夹角；当风速为 6 m/s，风道夹角为 31° 时，仁收集率 89.91%，壳中含仁率 6.24%。

（4）集成整机，对整机的脱壳率、仁破碎率、仁收集率和生产率进行测试并对整机尺寸进行验证，结果表明：脱壳率为 84.35%、仁破碎率为 8.25%、仁收集率为 78.07%、生产率为 85.33 个/min、整机尺寸为 260×200×350 mm。对壳仁分离机构的结构进行优化，优化后的仁收集率为 82.52%。

关键词：食葵；物料特性；喂料；自适应脱壳；壳仁分离

Abstract

Edible sunflower seeds are rich in nutrients such as protein, amino acids, minerals, vitamins, etc., with a broad market prospect and are deeply loved by consumers; However, the integrity of the sunflower shell and kernel separator on the market is low, and the hulling and kernel separation effects are poor. In response to the above issues, this article takes primary ($L \geq 20$ mm, $W \geq 8$ mm) cooked edible sunflower seeds as the research object, and divides the shell kernel separation process into three steps: feeding sorting, hulling, and separating the shell kernel mixture. Design feeding sorting mechanism, adaptive hulling mechanism, and shell kernel separation mechanism based on the separation process of shell and kernel and material characteristics. Using theoretical analysis, simulation, and physical tests, research and performance testing were conducted on a household edible sunflower seed shell and kernel separating machine. The research mainly focuses on the following aspects:

(1) The material properties of edible sunflower seeds and their kernels and shells were measured, mainly including physical and mechanical properties. Measure the three-axis dimensions using a vernier caliper, measure the density using the immersion method, measure the weight of a thousand grains using an electronic balance, measure the suspension speed using a suspension speed test bench, measure the static friction coefficient between components by changing the slope angle, measure the Poisson's ratio, shear modulus, elastic modulus using a texture analyzer, and determine the collision recovery coefficient between materials using the drop method.

(2) Based on the material characteristics and shell kernel separation process, a feeding sorting mechanism was designed, and the diameter of the material retrieval roller and the thickness of the scraper nails were determined. The feeding process was analyzed, and the main factors affecting feeding performance were determined to be the shape of the feeding trough and the speed of the roller; Designed an adaptive hulling mechanism, determined the radius of the clamping wheel, the width of the V-groove on the hulling roller, and the radius of the V-groove. Through kinematic analysis of the hulling process, it was found that the main factors affecting the hulling performance are the ratio of the speed of the clamping wheel to the hulling roller, the clamping gap, and the hulling gap. A shell kernel separation mechanism was designed, and based on the suspension speed and mass fraction of the material, the fan was selected. Kinematic analysis was conducted on the shell and kernel, and it was found that the main factors affecting separation were wind speed and the angle between the air duct.

(3) Single factor test on feeding performance. Using the multi grain rate as the evaluation index and the shape and speed of the feeding trough as the test factors; The results show that when the shape of the feeding groove is triangular and the speed of the material retrieval roller is 15 r/min, the multi grain rate is 10.93%. Multi objective response surface testing of hulling performance. Using the hulling rate and kernel

crushing rate as evaluation indicators, the rotational speed ratio, clamping gap, and hulling gap are test factors; The results show that the main and secondary factors affecting the hulling rate and kernel crushing rate are in the order of hulling gap, clamping gap, and speed ratio; When the speed ratio is 1, the clamping gap is 3 mm, and the hulling gap is 8 mm, the hulling rate is 86.32%, and the kernel crushing rate is 6.88%. Simulation test on the separation performance of shell and kernel. Using the kernel collection rate and kernel content in the shell as evaluation indicators, and the angle and wind speed of the air duct as test factors, the CFD-DEM coupling method was used to analyze different air duct schemes based on pressure and velocity cloud maps of the air duct, and the coupling model was validated; Conduct orthogonal tests and apply comprehensive scoring methods to determine the optimal parameters; The results showed that the primary and secondary factors affecting the collection rate of kernels and the kernel content in the shell were wind speed and the angle between the air ducts; When the wind speed is 6 m/s and the angle between the air ducts is 31 °, the kernel collection rate is 89.91%, and the kernel content in the shell is 6.24%.

(4) Integrate the whole machine, test the hulling rate, kernel crushing rate, kernel collection rate, and productivity of the whole machine, and verify the size of the whole machine. The results show that the hulling rate is 84.35%, kernel crushing rate is 8.25%, kernel collection rate is 78.07%, productivity is 85.33 pieces/min, and the size of the whole machine is 260 × 200 × 350 mm. The structure of the shell kernel separation mechanism was optimized, and the optimized kernel collection rate was 82.52%.

Key words: Edible sunflower seed; Material characteristic; Feeding; Adaptive hulling; Shell-kernel separation

目录

| | |
|---------------------------|------------|
| 摘要..... | I |
| Abstract | III |
| 第 1 章 绪论..... | 1 |
| 1.1 研究背景与意义..... | 1 |
| 1.2 国内外坚果类脱壳机研究现状..... | 2 |
| 1.2.1 国内坚果类脱壳机研究现状..... | 2 |
| 1.2.2 国外坚果类脱壳机研究现状..... | 5 |
| 1.3 课题的提出..... | 6 |
| 1.4 研究目标与研究内容..... | 7 |
| 1.4.1 研究目标..... | 7 |
| 1.4.2 研究内容..... | 7 |
| 1.5 研究方法与技术路线..... | 8 |
| 1.5.1 研究方法..... | 8 |
| 1.5.2 技术路线..... | 9 |
| 1.6 本章小结..... | 9 |
| 第 2 章 物料特性的测定与总体方案设计..... | 11 |
| 2.1 试验材料..... | 11 |
| 2.2 试验仪器及设备..... | 11 |
| 2.3 食葵物理特性的测定..... | 12 |
| 2.3.1 三轴尺寸..... | 12 |
| 2.3.2 千粒重与密度..... | 14 |
| 2.4 食葵的力学特性..... | 15 |
| 2.4.1 静摩擦系数..... | 15 |
| 2.4.2 悬浮速度..... | 16 |
| 2.4.3 压缩力学特性..... | 17 |
| 2.4.4 泊松比、弹性模量和剪切模量..... | 18 |
| 2.4.5 碰撞恢复系数..... | 20 |
| 2.5 总体方案设计与工作原理..... | 21 |
| 2.5.1 设计要求..... | 21 |
| 2.5.2 喂料方案的确定..... | 21 |
| 2.5.3 脱壳方案的确定..... | 22 |

| | |
|-------------------------------|----|
| 2.5.4 壳仁分离方案的确定 | 25 |
| 2.5.5 总体方案与工作原理 | 26 |
| 2.6 本章小结 | 26 |
| 第3章 户用型食葵壳仁分离机的关键零部件的设计 | 27 |
| 3.1 喂料排序机构的设计 | 27 |
| 3.1.1 工作原理 | 27 |
| 3.1.2 取料滚筒的设计 | 28 |
| 3.2 自适应脱壳机构的设计 | 29 |
| 3.2.1 工作原理 | 29 |
| 3.2.2 夹持轮的设计 | 30 |
| 3.2.3 脱壳辊的设计 | 32 |
| 3.2.4 夹持轮与脱壳辊中心距的确定 | 36 |
| 3.2.5 自适应装置的设计 | 37 |
| 3.3 传动系统的设计 | 40 |
| 3.4 壳仁分离机构的设计 | 41 |
| 3.4.1 工作原理 | 41 |
| 3.4.2 风机的选型 | 43 |
| 3.5 本章小结 | 44 |
| 第4章 关键机构的试验与参数优化 | 45 |
| 4.1 喂料性能试验 | 45 |
| 4.1.1 试验材料及设备 | 45 |
| 4.1.2 试验因素、指标与方法 | 45 |
| 4.1.3 单因素试验与结果分析 | 46 |
| 4.2 脱壳性能试验 | 47 |
| 4.2.1 试验材料与设备 | 47 |
| 4.2.2 试验因素、指标与方法 | 47 |
| 4.2.3 单因素试验与结果分析 | 49 |
| 4.2.4 脱壳性能的多因素试验 | 52 |
| 4.2.5 参数优化与试验验证 | 56 |
| 4.3 壳仁分离仿真试验 | 56 |
| 4.3.1 模型的建立与参数设置 | 57 |
| 4.3.2 仿真结果分析 | 62 |
| 4.3.3 耦合仿真模型验证 | 64 |

| | |
|--------------------------|----|
| 4.3.4 单因素仿真试验结果分析 | 66 |
| 4.3.5 壳仁分离性能的多因素试验 | 68 |
| 4.3.6 参数优化与试验验证 | 70 |
| 4.4 本章小结 | 71 |
| 第 5 章 整机集成与性能测试 | 72 |
| 5.1 整机集成 | 72 |
| 5.2 性能测试 | 72 |
| 5.2.1 试验材料与设备 | 73 |
| 5.2.2 试验因素、指标与方法 | 73 |
| 5.2.3 试验结果与分析 | 74 |
| 5.3 本章小结 | 75 |
| 第 6 章 结论与展望 | 76 |
| 6.1 结论 | 76 |
| 6.2 展望 | 77 |
| 参考文献 | 79 |
| 致 谢 | 84 |
| 作者简介 | 85 |
| 导师评阅表 | 88 |

第1章 绪论

1.1 研究背景与意义

我国葵花种植历史悠久，葵花具有种植适用性强、产业链长、市场需求量大、经济效益高等特点，葵花按照种类可区分为食用葵花籽和油用葵花籽^[1]。我国葵花的种植面积为 100 万 hm^2 左右，产量为 250 万吨，位于世界第五位，其中，食用葵花籽年均种植面积为 65 万 hm^2 左右^[2]。随着中国经济的高速发展，国内消费市场结构出现整体升级的趋势，休闲食品的消费也随之呈现出了快速增长的态势，食葵中含有丰富的脂肪酸、氨基酸、矿物质、维生素等营养物质，也具备降低血脂、预防心脑血管疾病等功效^[3-5]。截至 2022 年，中国食用葵花籽市场规模约 300 亿元，中国瓜子炒货市场趋于蓬勃发展^[6]。

食葵不但作为传统的休闲食品深受消费者的喜爱，也作为一种重要的糕点辅料添加品^[7]。“恰恰”和“永津”等品牌的熟制食用葵花籽在市面上饱受欢迎，此类熟制食用葵花籽的加工工艺主要有：煮沸、干燥、烘烤、烘培等^[8]。为便于消费者直接食用仁，现市面上有“袋装式”食用葵花籽仁。其口味有蟹黄味、五香味、茉莉花茶味等，制造厂家为延长保质期，通常添加苯甲酸、山梨酸、丙酸等添加剂^[9]，但过量的食品添加剂会加重肝脏负担，导致代谢功能的紊乱^[10]。为减少食品添加剂的损害，食用未脱壳加工的熟制食用葵花籽，但长时间嗑食会引起“瓜子牙”、口腔卫生、“瓜子皮”垃圾等问题^[11]。

为满足消费者日常需求并解决上述问题，食用葵花籽脱壳机应运而生，现如今，葵花籽主要通过工业流水线^[12]或农户自用的脱壳设备^[13]进行脱壳。此类设备先去除食葵灰尘，再进行大小分级，分级后送入脱壳机构内进行挤压和揉搓，脱壳完毕后的壳仁混合物在气流与振动筛共同作用下实现分离^[14]。整机体积大、结构复杂、噪音大、成本高不适合家庭休闲。因此，自动化小型食用葵花籽脱壳机具有广泛的应用前景和市场^[15]，市面的小型食用葵花籽脱壳机较少，结构简单、体积小、成本低，但通常需人工喂入并且部分装置未设置壳仁分离机构^[16]，消费者使用体验差。

通过文献、考察等调研食用葵花籽种植面积、产量和消费情况，对现有的小型食葵脱壳机、工业流水线和农户自用食葵脱壳设备的优缺点进行比较，本课题为满足消费者的日常需求，解决人工喂料或人工分离壳仁、脱壳效果差、用户体验差等问题，设计一种体积小、工作效果好的户用型食葵壳仁分离机。