

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2024.80793

平磨式留胚碾米机的设计与试验

任洪忱¹ 徐爱迪¹ 孙冰华² 金德海¹ 李菁¹ 孙大明¹ 闫景凤¹

(1. 黑龙江省农业机械工程科学研究院, 黑龙江 哈尔滨 150081;

2. 河南工业大学粮油食品学院, 河南 郑州 450001)

摘要: [目的] 解决留胚米加工中保留胚芽难度大, 营养与感官及适口性兼顾难等问题。[方法] 提出平磨带主动碾磨与柔性刀组被动碾磨结合的平磨式留胚碾米机设计技术方案, 利用米粒在平面内滚动磨削的方式达到精量层层碾磨的目的, 采用多道柔性加工与适度碾磨原则相结合的加工方法, 以保证高留胚粒率与良好米白度。以东北地区所产粳稻为试验原料, 以留胚粒率与米白度作为作业质量指标, 进行正交试验。[结果] 加工留胚米的较佳工艺参数为: 平磨线速度 8 m/s, 刀组橡胶弹簧负荷 548.8 N, 碾磨次数 3, 其中第 1 次碾磨采用 180 目平磨带, 第 2 和第 3 次碾磨采用 240 目平磨带。[结论] 采用优化工艺加工后成品米留胚粒率达到 89.9%, 米白度达到 40.1%。

关键词: 稻谷; 胚芽; 留胚粒率; 留胚碾米机; 平磨

Design and test of flat grinding type germ-remained rice milling machine

REN Hongchen¹ XU Aidi¹ SUN Binghua² JIN Dehai¹ LI Jing¹ SUN Daming¹ YAN Jingfeng¹

(1. Heilongjiang Academy of Agricultural Machinery Engineering Sciences, Harbin, Heilongjiang 150081, China;

2. College of Food Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450001, China)

Abstract: [Objective] To address the challenges of retaining the germ in rice with remained germ, balancing nutrition, sensory qualities, and palatability. [Methods] A technical design proposal for a flat grinding type germ-remained rice milling machine is introduced, which combines active grinding with a flat grinding belt and passive grinding with a flexible blade group. The milling process involves rolling and grinding the rice grains on a flat surface to achieve precise, layer-by-layer grinding. The approach employs multiple flexible processing stages combined with appropriate grinding to ensure a high germ-remained rate and good whiteness of the rice. Northeast China-produced japonica rice is used as the test material, with germ-remained rate and rice whiteness as the quality indicators in orthogonal experiments. [Results] The optimal processing parameters for rice with remained germ are flat grinding belt speed of 8 m/s, rubber spring load of 548.8 N on the blade group, and three grinding times. The first time uses a 180 mesh flat grinding belt, and the second and third ones use a 240 mesh flat grinding belt. [Conclusion] After applying the optimized process, the final product achieves a germ-remained rate of 89.9% and a whiteness of 40.1%.

Keywords: rice; germ; germ-remained rate; germ-remained rice milling machine; flat grinding

近年中国稻谷加工行业科技水平取得了显著进步, 但过度加工现象突出, 不仅造成营养物质损失和粮食资源严重浪费, 还导致城乡居民膳食纤维和微量营养素摄入不足, 已成为危害中国公众健康的重大问题^[1-2]。开展稻谷适度加工及产品增值关键技术研发, 提升加工产品

的营养均衡性, 对于改善居民膳食结构、提高国民饮食营养健康水平意义重大, 符合国家粮食安全战略和《“健康中国 2030”规划纲要》要求^[3-4]。

相关研究^[5]表明, 约 60% 稻米营养成分在占米粒质量 3% 左右的胚芽中。稻米胚芽中含有丰富优质蛋白质、

基金项目: 国家重点研发计划(编号: 2021YFD2100900)

通信作者: 任洪忱(1982—), 男, 黑龙江省农业机械工程科学研究院正高级农艺师, 学士。E-mail: 120127539@qq.com

收稿日期: 2024-08-09 改回日期: 2025-04-29

引用格式: 任洪忱, 徐爱迪, 孙冰华, 等. 平磨式留胚碾米机的设计与试验[J]. 食品与机械, 2025, 41(5): 77-82.

Citation: REN Hongchen, XU Aidi, SUN Binghua, et al. Design and test of flat grinding type germ-remained rice milling machine[J]. Food & Machinery, 2025, 41(5): 77-82.

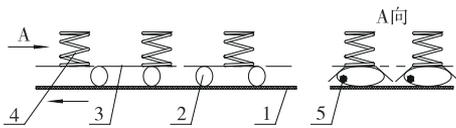
不饱和脂肪酸、维生素和矿物质等营养物质。留胚米是保留全部或大部分米胚的大米,是一种通过在加工过程中保留胚芽使稻谷大部分营养物质得以保留,同时适度碾白兼顾良好食用口感的营养米。随着社会的进步与人们对营养健康认知的提高,留胚米越来越受到消费者的欢迎^[6-7]。

留胚碾米机即是糙米碾磨成留胚米的碾米机^[8]。李爽等^[9]认为,留胚米需要用专门的留胚米机才能生产,仅通过原有设备的工艺参数调整或设置很难达到成品要求。留胚米加工既要考虑商品的感官性状,又要注重其内在的价值。张宁等^[10]研究发现,传统碾米机在加工过程中米粒承受的碾磨压力大,会导致胚芽脱落和碎米多等问题。王显仁等^[11]研究发现,在弯、剪状态下谷粒更容易破碎。张义记^[12]认为,碎米多、留胚粒率低是现有留胚碾米机存在的主要问题,同时碾白过程中会产生灰尘和米糠等,不及时清理会影响机器的正常使用,使得碾白后的米质量不高。留胚粒率低、碎米率高、产品感官差、口感差、加工成本高及由此造成的留胚米市场占有率低等问题是目前留胚米加工业主要“卡脖子”问题。研究拟提出一种平磨带主动碾磨与柔性刀组被动碾磨结合的多道精碾平磨技术方案,并设计留胚碾米机样机,以期解决留胚米加工中较难兼顾高留胚粒率与良好感官及适口性的难题。

1 平磨式留胚碾米机设计

1.1 加工原理

平磨式留胚碾米机基本加工原理:通过平磨部件对平面滚动米粒的主动磨削及柔性刀组“多切线包覆式”被动磨削联合作用,实现米粒表面的精量层碾,针对性设计的平面碾磨结构使位于米粒腹面基部位置的胚芽受力较轻,米胚保留量得以保证,同时也减小了加工中对米粒的弯、剪作用力以降低碎米量;采用多道柔性加工与适度碾磨原则相结合的加工方式,避免暴力碾磨造成胚芽脱落,保证高留胚粒率,并通过多道、精量碾磨获得良好米白度与食用口感,解决了留胚米加工中较难兼顾高留胚粒率与良好感官及适口性的问题。加工原理如图 1 所示。



1. 平磨(板)带 2. 米粒 3. 上磨削件 4. 柔性件 5. 米胚

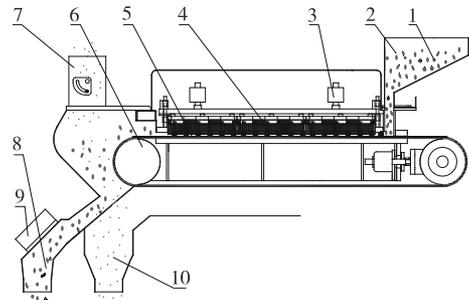
图 1 平磨式留胚碾米机原理示意图

Figure 1 Principle of flat grinding type germ-remained rice milling machine

1.2 整机设计

如图 2 所示,平磨式留胚碾米机主要由喂料斗、碾米室、升降机构、负压除糠系统、检测系统等部分构成。

其主要工作流程为:糙米原料经喂料斗自流进入碾米室,根据原料粒径通过刀组升降机构调节碾米室高度,采用适度加工原则,将碾米室高度确定在一个适当的范围,既要尽可能减少可食用胚乳及外层营养成分的流失,又要兼顾米品外观及适口性。米粒下方回转平磨带运动状态下对米粒有拖动作用,使其向前运动,同时也对米粒进行主动磨削;米粒上方柔性碾米刀组相对静止状态,在米粒运动时,米粒与刀组部件间的相互作用,使碾米刀组对米粒有被动碾磨作用,在主、被动碾磨联合作用下,实现对米粒滚动磨削,米粒表面被层层剥离,糠粉经负压除糠系统排出机体,小颗粒碎米由出杂口排出,米品由出米口排出,并经检测系统对米品质量进行在线检测。



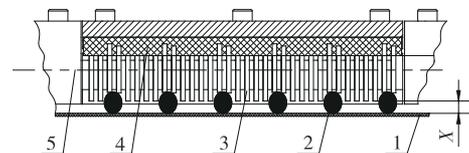
1. 糙米原料 2. 喂料斗 3. 刀组升降机构 4. 柔性碾米刀组
5. 碾米室 6. 平面磨削带组 7. 负压除糠系统 8. 出米口 9. 检测系统 10. 出杂口

图 2 平磨式留胚碾米机结构图

Figure 2 Structure of flat grinding type germ-remained rice milling machine

1.3 碾米室结构及其关键部件设计

1.3.1 碾米室结构构成 平磨式留胚碾米机采用柔性分层剥离的加工方式,以避免加工过程对米粒产生刚性碾压^[13]。如图 3 所示,碾米室由平磨带、刀组框架及多单元柔性碾米刀组合围的长条区域构成^[14]。



1. 平磨带 2. 米粒 3. 柔性碾米刀组件 4. 橡胶弹簧 5. 刀组框架 X. 碾米室高度

图 3 平磨式留胚碾米机碾米室示意图

Figure 3 Rice milling room of flat grinding type germ-remained rice milling machine

1.3.2 多单元碾米刀组设计 留胚米加工重在加工过程的“柔”,以防止米胚的脱落或被破坏。为实现这一目的,柔性碾米刀组件核心部件采用多片单体薄片致密排布,薄片上部安装弹性部件,米粒经过时,薄片弹性退让,在适度弹力作用下实现柔性碾磨。多组薄片作用在米粒上,使米粒处于动态“多切线包覆式”结构中,既保证了对米粒碾磨的全面性,又使米胚基本处于特殊结构保护中。薄片间留有间隙,主要目的是消除相邻薄片间相互作用力,利于薄片弹性退让,同时方便为刀具、米品风力降温、为糠粉排出提供通道。

米粒的向前运动依靠平磨带拖动,由于主、被动碾磨部件间存在线速差,对糙米表层产生层碾作用^[15]。在平磨带对米粒的主动碾磨与柔性刀组对米粒弹性被动碾磨联合作用下,米粒呈单层滚动磨削状态,实现了仿形、层层精量碾磨效果,磨削结构对每一个米粒进行表皮单体柔性碾磨,能有效避免米粒间的不良作用力,最大限度保护米胚。

薄片的规格样式依据平磨技术原理要求和原料糙米物性进行设计。根据平面加工原则,与米粒接触面的薄片边为直边,出于兼顾加工效果与薄片安装难度考虑,直边长度可按碾磨两粒糙米设计,参考设计值13 mm;如图3所示,薄片在碾米时有弹性退让的过程,碾米后有弹性复位的过程,相邻薄片竖直方向相对运动,为保障退让与复位两动作的顺畅,薄片米粒接触面相邻两侧也以直边为佳;薄片米粒接触面对边为与弹性部件接触边,为保证弹力均匀,亦以直边为佳,因此,薄片样式以矩形薄片为最佳;理论上薄片越薄,碾磨后的米粒表面感官越好,但需要考虑薄片刚度问题,综合考虑薄片适宜厚度为0.5~1.0 mm,选择锰钢、高速钢等硬度与耐磨性好的材质。

1.3.3 弹性部件设计计算 为保障各刀片单体与弹性部件的接触与弹力控制,薄片上部安装的弹性部件选择截面为矩形的橡胶弹簧,材质选择天然橡胶(NR),硬度60 HS。弹簧弹力负荷是影响碾米效果的因素之一。

如图4所示,单条橡胶弹簧对刀组弹力负荷可由式(1)求得。

$$F = A_L \times E_a \frac{\Delta h}{h}, \quad (1)$$

式中:

F ——弹力负荷, N;

A_L ——承载面积, mm^2 ;

E_a ——压缩橡胶弹簧表观弹性模数, MPa;

Δh ——压缩橡胶弹簧变形量, mm;

h ——橡胶弹簧截面高, mm。

式(1)中各变量数值通过设计赋值及式(2)~式(5)计

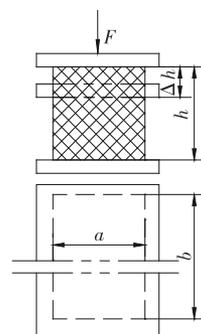


图4 橡胶弹簧弹力计算简图

Figure 4 Calculation of rubber spring elasticity

算获得:

$$E_a = i \times G, \quad (2)$$

$$i = 3.6 \times (1 + 2.22S^2), \quad (3)$$

$$G = 0.117 \times e^{0.034H}, \quad (4)$$

$$S = \frac{ab}{2(a+b)h}, \quad (5)$$

式中:

i ——表征几何形状影响系数;

G ——剪切弹性模数, MPa;

S ——橡胶弹簧承载截面积与自由面积之比;

H ——橡胶肖氏硬度, HS;

取 $a=h=6 \text{ mm}$, $b=140 \text{ mm}$, 计算得 F 与 Δh 间的关系式为:

$$F = 686\Delta h. \quad (6)$$

试验确定压缩橡胶弹簧变形量 Δh 值并通过式(6)计算求得弹力负荷 F 。

1.4 其他部件设计

碾米机除糠系统的研究与改进创新,有利于提高碾米机工作性能^[16]。平磨式留胚碾米机的除糠系统采用负压形式,接入碾米风网或负压风机,在碾磨末端,米粒、糠粉、碎米等物料经碾磨带拖动呈瀑布状进入出米口,在出米口上部糠粉被负压吸入回收管路;在柔性碾米刀组件上部,负压风力将碾米室内碾磨产生的部分糠粉,进入刀具的糠粉,经刀具薄片间隙吸入回收管路,此处负压风力另一重要作用是对米品及刀具的降温作用,有防止刀具升温损坏、米品升温劣变的作用,确保加工过程环保性、安全性。

刀组升降机构能够调节多组排布的柔性碾米刀组升降,以方便安装、检修、维护等操作,也用来调节碾米室高度。可预设多组调节数据,根据加工米品情况通过控制系统完成一键设定,作业中通过监测实调,也可通过触屏微量微调或手动调节。

碾米机出米口流出的米样呈瀑布状经过检测系统,

由工业摄像头、LED 光源、玻璃窗等组成的采样装置进行采样,经嵌入式微处理器与留胚米数据库进行比对,并经算法优化处理,将采集的米样信息载入到 PLC 可编程序控制器,PLC 控制伺服驱动装置,对碾米室、平磨带等工作参数进行调整。

2 质量评价指标与作业参数

2.1 主要评价指标

留胚米质量评价指标主要有两个——留胚粒率和米白度,前者注重米品营养性,后者注重米品感官及适口性,质量评价指标要符合国家标准。

2.1.1 留胚粒率 留胚粒率按式(7)计算,其中留胚粒是指糙米经碾白后,米胚为完整米胚 50% 及以上的米粒,包括全胚粒、平胚粒和半胚粒。

$$P = \frac{m_1}{m} \times 100\%, \quad (7)$$

式中:

P ——留胚粒率,%;

m ——样品质量,g;

m_1 ——留胚粒质量,g。

2.1.2 米白度 采用日本 Kett 公司生产的 C-300 型白度计进行检测。

2.2 主要作业参数

基于前期研究,影响平磨式留胚碾米机作业效果的主要参数有平磨线速度、碾磨区长度、碾磨次数、平磨带目数、刀组弹力负荷及碾米室高度,其中碾米室高度根据原料不同需要差异化调节,预调时根据糙米原料粒径下调 0.5~0.8 mm;留胚米加工需经过多道碾磨,第一遍碾磨开糙时的平磨带需稍粗糙一些,后续碾磨均需要精碾,根据经验,一次碾磨开糙采用 180 目砂带,后续作业碾磨带目数根据试验确定。

3 试验与分析

3.1 自变量与因变量的确定

以改善留胚米碾米工艺为出发点进行试验设计,探索调控留胚粒率与碾白度的留胚米加工工艺、不同碾制工艺所制取产品的品质变化规律^[17],通过对适碾加工结果进行检测以及量化评价的方式^[18],获得较优加工工艺参数。

影响平磨式留胚碾米机作业效果的主要参数中,碾磨区长度和碾磨次数两项参数存在显著直接关联,碾磨区长度大,所需碾磨次数少,反之则所需碾磨次数多,如图 5 所示,试验样机碾磨区长度固定为 840 mm,通过试验确定所需碾磨次数;橡胶弹簧变形量 Δh 直接反映刀组弹力负荷 F 大小。综上,以平磨线速度、橡胶弹簧变形量

Δh 、后续作业碾磨带目数、碾磨次数 4 项作业参数作为自变量设计四因素三水平正交试验。

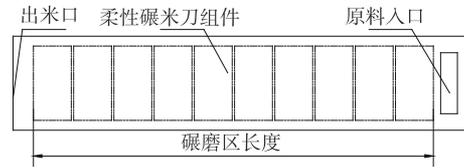


图 5 刀具组件排列图

Figure 5 Arrangement of tool assembly

3.2 试验及结果分析

试验地点在黑龙江省五常市小山子镇某米企,试验原料采用经砻谷机脱壳加工后的五常稻花香 2 号糙米,试验重复 3 次取平均数值。

通过预试验及前人^[13]研究成果确定试验因素及其水平见表 1,试验结果见表 2。

表 1 因素水平表

Table 1 Factor levels

水平	A 平磨线速度/ ($m \cdot s^{-1}$)	B 橡胶弹簧 变形量/mm	C 碾磨 次数	D 碾磨带 目数
1	7	0.8	2	200
2	8	1.0	3	240
3	9	1.2	4	300

表 2 正交试验结果

Table 2 Results of orthogonal test

试验号	A	B	C	D	留胚粒 率/%	米白 度/%
1	1	1	1	1	91.8	30.2
2	1	2	2	2	87.7	39.2
3	1	3	3	3	78.5	41.5
4	2	1	2	3	89.9	40.1
5	2	2	3	1	85.7	40.6
6	2	3	1	2	86.1	40.2
7	3	1	3	2	85.2	42.0
8	3	2	1	3	85.3	32.6
9	3	3	2	1	82.4	41.5
留胚粒率	k_1	86.67	88.97	87.73	86.63	
	k_2	87.23	86.90	87.33	87.00	
	k_3	84.30	82.33	83.13	84.57	
	极差	2.93	6.64	4.60	2.43	
米白度	k_1	36.97	37.43	34.33	37.43	
	k_2	40.30	37.47	40.27	40.47	
	k_3	38.70	41.07	41.37	38.07	
	极差	3.33	3.64	7.04	3.04	

由表2可知,四因素影响留胚粒率的排序为B>C>A>D,较优组合为A₂B₁C₁D₂;影响米白度的排序为C>B>A>D,较优组合为A₂B₃C₃D₂。分析以上数据,兼顾两项评价指标,确定较优工艺组合为A₂B₁C₂D₂,按此工艺组合测定平均留胚粒率为89.9%,平均米白度为40.1%,碾米效果如图6所示。



图6 碾米效果

Figure 6 Grinding effects

将因素B水平1(0.8)代入式(6)求得弹力负荷为548.8 N。

3.3 样机性能综合分析评价

按平磨线速度8 m/s、刀组橡胶弹簧负荷548.8 N,第1次平磨带180目,第2和第3次平磨带240目设定,设备正常工作后,碾米测试,计时120 s,称量计时时间内米加工量,换算计时时间内生产率,同样方法共测试5次,计算平均生产率为1 033.2 kg/h。生产率测试数据见表3。

表3 生产率测试表

Table 3 Production efficiency tests

试验号	工作时间/s	加工量/kg	生产率/(kg·h ⁻¹)
1	120	35.14	1 054.2
2	120	34.23	1 026.9
3	120	34.42	1 032.6
4	120	33.95	1 018.5
5	120	34.46	1 033.8
平均值		34.44	1 033.2

表4为试验样机与行业知名日本佐竹留胚米机及国产留胚米机主要性能指标的对比情况,通过对比可见,试验样机性能优良。

4 结论

以较好保留稻米胚芽,同时兼顾良好感官及适口性为目标,以留胚米加工装备的高效化、自动化、节能化、环保化为重点设计的平磨式留胚碾米机,经综合测试,以糙米为原料,加工效率1 000 kg/h以上,成品米留胚粒率达到89.9%,感官与适口性良好,满足设计要求。该设备加工留胚米较佳加工工艺参数为平磨线速度8 m/s,刀组压

表4 国内外同类设备对比表

Table 4 Comparison of similar equipment in China and abroad

厂家/型号	生产率/(kg·h ⁻¹)	留胚粒率/%	主电机功率/kW
试验样机	1 033.2	89.9	11.0
日本佐竹/NDB15A	350~600	>80	5.5
国内某企业/TB-400	400	>80	5.5
国内某企业/PYMJ18	800~1000	≥80	11.0

缩橡胶弹簧弹力负荷548.8 N,碾磨次数3(第1次碾磨采用180目平磨带,第2和第3次碾磨采用240目平磨带)。

参考文献

[1] 陈思思,樊琦.我国稻谷过度加工造成营养物质损失浪费的研究[J].粮食与油脂,2020,33(7):10-13.
CHEN S S, FAN Q. Research on nutrient loss and waste during rice over processing in China[J]. Cereals & Oils, 2020, 33(7): 10-13.

[2] 杨健,张星灿,华苗苗,等.稻米全产业链可追溯关键技术研究进展[J].粮油食品科技,2020,28(2):43-48.
YANG J, ZHANG X C, HUA M M, et al. Progress in key technologies for traceability of rice industry chain[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2020, 28(2): 43-48.

[3] 朱晓华,张燕,朱媛媛.健康中国战略:从理论构想到实践推动[J].经济地理,2023,43(12):1-12.
ZHU X H, ZHANG Y, ZHU Y Y. Healthy China strategy: from theoretical conception to practical promotion[J]. Economic Geography, 2023, 43(12): 1-12.

[4] 陆元超,王丽丽,余宁翔,等.稻谷新陈度检测技术研究进展[J].中国粮油学报,2024,39(5):207-215.
LU Y C, WANG L L, YU N X, et al. Research progress in detection technology of rice freshness[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2024, 39(5): 207-215.

[5] 朱天仪,陈凤香.留胚米储藏稳定性研究[J].粮食与油脂,2023,36(7):90-93,98.
ZHU T Y, CHEN F X. Study on storage stability of rice with remained germ[J]. Cereals & Oils, 2023, 36(7): 90-93, 98.

[6] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会.留胚米:GB/T 42227—2022[S].北京:中国标准出版社,2022:12.
State Administration for Market Regulation, Standardization Administration. Germ-remained milled rice: GB/T 42227—2022 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2022: 12.

[7] 丁俭,李玉鹏,钱明继,等.营养米制品加工新技术研究进展及产业现状[J].食品与机械,2024,40(12):225-231.
DING J, LI Y P, QIAN M J, et al. Research progress and industry status of novel processing technology of nutritious rice

- products[J]. *Food & Machinery*, 2024, 40(12): 225-231.
- [8] 中华人民共和国农业农村部. 留胚米加工技术规范: NY/T 4276—2023[S]. 北京: 中国农业出版社, 2023: 4.
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Technical specification for embryo rice processing: NY/T 4276—2023[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2023: 4.
- [9] 李爽, 寇淮, 徐贤, 等. 稻米适度加工现状与前景分析[J]. *粮食流通技术*, 2012(4): 32-34.
LI S, KOU H, XU X, et al. Present situation and prospect analysis of rice appropriate processing[J]. *Grain Distribution Technology*, 2012(4): 32-34.
- [10] 张宁, 曹宪周, 王鑫宇, 等. 碾米机离散元模拟参数测定[J]. *食品与机械*, 2023, 39(1): 95-100.
ZHANG N, CAO X Z, WANG X Y, et al. Determination of discrete element simulation parameters of rice milling machine [J]. *Food & Machinery*, 2023, 39(1): 95-100.
- [11] 王显仁, 师清翔, 倪长安. 水稻谷粒的压弯剪力学性能试验 [J]. *农机化研究*, 2012, 34(2): 141-144.
WANG X R, SHI Q X, NI C A. Study on compression, bending and shearing properties of rice grain[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2012, 34(2): 141-144.
- [12] 张义记. 碾米机的现状与发展趋势[J]. *农机化研究*, 2020, 51(10): 28, 33.
ZHANG Y J. The current situation and development trend of rice mills[J]. *China Southern Agricultural Machinery*, 2020, 51(10): 28-33.
- [13] 蔡健荣, 程欣, 白峻文, 等. 基于悬浮切削原理的胚芽米加工试验研究[J]. *包装与食品机械*, 2023, 41(4): 1-6.
CAI J R, CHEN X, BAI J W, et al. Experimental study of germ rice processing based on suspension cutting[J]. *Packaging and Food Machinery*, 2023, 41(4): 1-6.
- [14] 任洪忱, 金德海, 赵志刚. 一种留胚碾米机碾米室结构设计 [J]. *农机使用与维修*, 2019(12): 14-15.
REN H C, JIN D H, ZHAO Z G. A structural design of embryo-retaining milled equipment rice mill room[J]. *Agricultural Machinery Using & Maintenance*, 2019(12): 14-15.
- [15] 王子啸, 王旺平, 宋少云. 基于 ADAMS 的胶辊砻谷机脱壳效率影响参数仿真分析[J]. *食品与机械*, 2023, 39(12): 83-87.
WANG Z X, WANG W P, SONG S Y. Simulation analysis of the influencing parameters on the shelling efficiency of rubber roller husker based on ADAMS[J]. *Food & Machinery*, 2023, 39(12): 83-87.
- [16] 庞晓霞, 阮竞兰. 碾米机排糠装置的研究近况[J]. *包装与食品机械*, 2014, 32(5): 50-52.
PANG X X, RUAN J L. Research status of bran discharge device for rice mill[J]. *Packaging and Food Machinery*, 2014, 32(5): 50-52.
- [17] 焦悦. 适碾范围内粳米留胚率控制碾制工艺及品质研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2023: 40-42.
JIAO Y. Study on the milling process and quality of japonica rice embryo retention rate control within the suitable milling range[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2023: 40-42.
- [18] 刘金凤. 大米适度加工检测技术及其应用分析[J]. *科学技术创新*, 2020(13): 170-171.
LIU J F. Moderate processing testing technology for rice and its application analysis[J]. *Scientific and Technological Innovation*, 2020(13): 170-171.