

鲜莲子去皮机设计与参数优化

徐谐庆¹ 丁为民¹ 张万里¹ 刘木华²

(1. 南京农业大学工学院, 南京 210031; 2. 江西农业大学工学院, 南昌 330045)

摘要: 鲜莲子莲皮紧紧依附在莲仁表面, 采用手工去皮成本高、效率低, 难以满足生产需求。由于缺乏对水射流去皮机理及参数的研究, 造成莲子去皮率低、损伤率高, 为此设计一款基于水射流去皮的鲜莲子去皮机。将水射流压力、水射流倾角以及带轮直径作为影响去皮效果的因素, 以去皮率、损伤率、带帽头率、开边率、掉莲率为评价指标, 采用 Design-Expert 软件进行三因素三水平的响应曲面优化试验。结果表明: 对去皮率、损伤率以及带帽头率的影响程度从大到小依次为水射流压力、水射流倾角、带轮直径; 对开边率的影响程度从大到小依次为水射流倾角、水射流压力, 带轮直径对开边率的影响非常小; 掉莲率都在 1% 左右, 与 3 个影响因素无关。优化后最佳作业参数分别为: 水射流压力 0.7 MPa、水射流倾角 18°、带轮直径 68 mm, 其指标预测值分别为: 去皮率 91.16%、损伤率 0.96%、带帽头率 2.40%、开边率 0.04%。采用优化后的参数进行验证试验, 得出去皮率为 92.63%、损伤率为 1.24%、带帽头率为 2.72%、开边率为 0.21%, 各项指标的试验结果与理论预测结果的绝对误差均小于 1.5%, 验证了模型与所优化参数的合理性。

关键词: 莲子; 去皮; 水射流; 优化设计

中图分类号: S226.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-1298(2021)01-0338-12

OSID:



Design and Parameter Optimization of Fresh Lotus Seeds Peeling Machine

XU Xieqing¹ DING Weimin¹ ZHANG Wanli¹ LIU Muhua²

(1. College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China

2. College of Engineering, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract: Lotus seed is a kind of nourishing food, which can be eaten and used medicinally. The fresh lotus seed is mainly composed of lotus shell, lotus kernel, lotus seed coat, lotus core, etc. The lotus shell is wrapped in the outside of the lotus kernel, and the lotus seed coat is tightly attached to the surface of the lotus kernel, while the lotus core grows in the inside of the lotus kernel. In order to improve the taste, the seed coat usually should be removed before eating due to the bitter astringent taste. However, the lotus seed coat is very difficult to be removed, and manual peeling is laborious. A fresh lotus seed peeling machine was designed based on water jet. To improve the operation performance of the machine, the operation parameters of the peeling machine were studied. The water jet pressure, water jet angle and the processing speed were chosen as the main factors, and the peeling rate, damage rate, with head rate, openside rate and drop rate were chosen as the main evaluation indicators. The three-factors and three-level response surface was designed by the Design-Expert software. The test results was showed as follow: considering the effect of peeling rate, damage rate and with head rate, the degree order of influence from big to small was water jet pressure, water jet angle and processing speed; considering the effect of openside rate, the degree order of influence from big to small was water jet angle, water jet pressure and processing speed, but the effect of processing speed on the openside rate was very small; these test factors had almost no effect on the drop rate, and the drop rate was almost 1%, which was perhaps caused by other unknown factors. The optimal operating parameters of the machine were as follows: the water jet pressure was 0.7 MPa, the water jet angle was 18°, and the pulley diameter was 68 mm. The predicted value was as follows: the peeling rate was 91.16%, the damage rate was 0.96%,

收稿日期: 2020-04-27 修回日期: 2020-05-20

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金项目(CX181007)

作者简介: 徐谐庆(1988—),男,博士生,主要从事农业机械装备研究,E-mail: xuxieqing@foxmail.com

通信作者: 丁为民(1957—),男,教授,博士生导师,主要从事农业机械装备研究,E-mail: wmding@njau.edu.cn

the with head rate was 2.40% , and the openside rate was 0.04% . The machine was adjusted to the optimized parameters for verification tests, the peeling rate was 92.63% , the damage rate was 1.24% , the with head rate was 2.72% , and the openside rate was 0.21% . Comparing the above results, it can be seen that the absolute errors of the experiment results and theoretical optimization results were controlled within a relatively small range, which verified the rationality of the model and the optimized parameters, these work would provide a theoretical basis for the performance improvement of fresh lotus peeling machine.

Key words: lotus seed; peeling; water jet; optimization design

0 引言

莲子为睡莲科植物的果实,具有很高的营养价值,既可食用也可药用,广泛种植于我国南方地区^[1]。莲子呈椭圆形结构,主要由莲壳、莲仁、莲皮、莲芯等构成,莲壳包裹在莲仁外面,莲皮紧紧附着在莲仁表面,莲芯则长在莲仁内部。通芯白莲主要加工工序包括莲子脱篷、剥壳、去皮、通芯、干燥等^[2],其中去皮工序尤为费时,手工去皮费时费力,难以满足生产需求。莲子当天采收、当天烘干品质最好。市场上因缺乏鲜莲子去皮设备而减少了种莲收入。因此,研制一款结构简单、成本低廉的鲜莲子去皮机对提高农民种莲收入有着重要意义。

有研究者对莲子的外形尺寸及力学特性进行了研究^[3-5],为设计莲子加工机械设备提供了参数依据。莲子主要种植于中国,国外对莲子加工机械的研究较少。目前,对果蔬去皮的主流方法有摩擦去皮法^[6-9]、化学去皮法^[10-14]、高压蒸汽去皮法^[15-18]、水射流去皮法。摩擦去皮法利用摩擦的原理将果蔬表皮去掉,该方法容易使莲子表面受到微观损伤,烘干后影响色泽,因此并未大量推广。化学去皮法是将果蔬置于较高温度的碱液中浸泡,利用化学反应达到表皮分离的目的。相关研究表明,采用化学法去皮容易改变果蔬的表皮颜色,从而影响莲子烘干后的口感及色泽。高压蒸汽去皮法应用于果蔬去皮具有较好的效果,但高温蒸汽容易将果肉表面层熟化,而且熟化层通常超过 3 mm,而莲子颗粒较小,可能导致莲子熟化从而影响品质。针对水射流去皮技术,黄文禄等^[19]研究了水射流压力及滚筒转速对莲子去皮效果的影响,研究表明,莲子去皮的水射流压力通常为 0.5 ~ 0.65 MPa。曹志强^[20]发明了一种基于水射流去皮的莲子剥壳脱皮一体机,该机采用一种往复滑动式刀片进行切壳,再利用摆动的水射流对准旋转的莲子去皮,机器的脱壳率为 95% 左右,去皮率为 92% 左右,损伤率低于 3% ,加工后的莲子品质与手工相差无异,但是该机对脱壳后未去皮的莲子不能重复加工,一台机器通常还需要配套 2 ~ 6 人进行手工去皮。随着莲子剥壳技术

的不断成熟^[21-25],多数中小型农户采用莲子剥壳机剥壳后再用手工去皮。而市场上尚未有专门针对鲜莲子去皮、且技术成熟的机械设备。综合比较果蔬去皮的各类方法,采用水射流去皮可以得到与手工加工相差无异的果蔬品质。因此本文设计一款基于水射流去皮方法、结构简单、成本较低的鲜莲子去皮机,该机对脱壳后的莲子可进行二次或者多次重复去皮,从而减少手工作业,提高去皮效率。

1 整机结构及设计指标

鲜莲子去皮机整机结构如图 1 所示,主要包括机体、传动机构、进料装置、夹持装置、去皮装置、挡水装置和出料装置等。作业时,启动机器开始按钮,莲子倒入主料斗,然后滑入进料装置,进料装置上的进料滚轮使得莲子逐个分离并通过进料溜槽落入夹持装置,去皮装置上喷嘴喷出的水射流直击在莲子表面,莲子被约束在夹持装置内,夹持装置驱动莲子绕自身轴线旋转,莲子在旋转的过程中结合水射流冲击从而完成整个去皮过程,完成去皮后,挡水装置将喷嘴喷出的水射流挡住,去皮滚轮旋转到适当位置时莲子自动落入去皮滚轮的卸料孔中从而完成卸

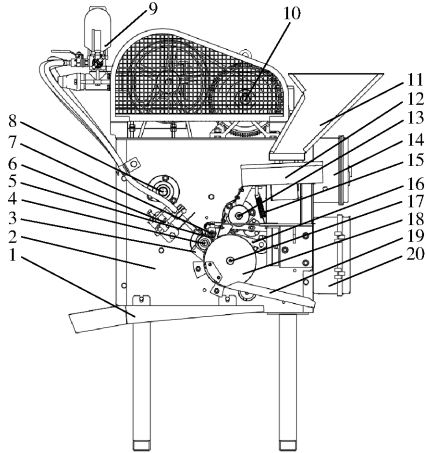


图 1 鲜莲子去皮机整机结构示意图

Fig. 1 Structural diagram of fresh lotus seed peeling machine

1. 回收槽 2. 机体 3. 挡水装置 4. 橡胶轴 5. 夹持装置 6. 去皮装置 7. 摆轮摆杆轴 8. 中转轴 9. 水泵 10. 电机 11. 主料斗 12. 进料装置 13. 进料轴 14. 电控箱 15. 弹力调节装置 16. 等速摆轮驱动装置 17. 滚轮轴 18. 去皮滚轮 19. 出料装置 20. 供油装置

料,与此同时,下一个莲子立即进入夹持装置中,莲子调整好姿态后挡水装置落下,喷嘴喷出的水射流再次击打在待去皮莲子表面,从而保证机器循环连续作业,加工过程中废水、掉落的莲子及莲子皮通过回收槽统一收集。由于缺乏相关技术标准,为满足农户使用要求,拟定的鲜莲子去皮机设计指标如表 1 所示。

表 1 鲜莲子去皮机设计指标

Tab.1 Design index of fresh lotus seed peeling machine

参数	数值	参数	数值
加工速度/(kg·h ⁻¹)	20~23	掉莲率/%	<0.5
去皮率/%	≥92	损伤率/%	<1
带帽头率/%	≤3	噪声/dB	≤85
开边率/%	<1	使用电压/V	200~220

2 关键部件设计

2.1 传动路线

设计的鲜莲子去皮机传动路线如图 2 所示,电机通过三角带带动水泵运行,水泵上的附加带轮再通过三角带带动中转轴运行,中转轴通过链条同时带动软胶轴和摆轮摆杆轴运行,并且中转轴通过另外一根链条带动进料轴运行,进料轴再通过链条带动滚轮轴运行,滚轮轴通过两个凸轮分别驱动挡水板组件以及摆轮摆杆组件运行,从而完成了整个传动过程。电机的额定转速为 1 420 r/min,通过理论计算得到滚轮轴的理论转速为 62.3 r/min,而通过转速仪器测量实际转速为 60.5 r/min,与理论值有微小的差异,这可能是带轮直径偏差造成的,滚轮轴每旋转一圈加工一个莲子,因此滚轮轴的转速决定了加工效率。

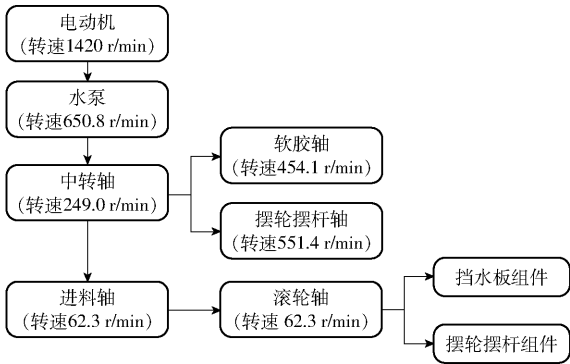


图 2 鲜莲子去皮机传动路线

Fig.2 Driving route of fresh lotus seed peeling machine

2.2 进料装置设计

进料装置主要由主料斗、副料斗、振动装置、进料滚轮和进料溜槽等组成,主料斗通过螺栓安装在机体上(如图 1 所示),主料斗的安装高度可以上下调整,从而可以调整主料斗和副料斗之间的间距。

除去主料斗的进料装置结构如图 3 所示,副料斗通过 3 个支撑脚安装在副料斗支撑架上,振动电机的偏心块高速旋转产生离心力,在离心力的作用下,支撑脚产生形变从而使得整个副料斗及其组件产生细微振动,振动频率与电机转动频率一致,振动电机的转速可以通过调速器调整,正常状态下转速在 1 500 r/min 左右时即可稳定进料,也就是振动频率为 25 Hz 为较佳的状态,副料斗呈圆柱形,安装时与水平面呈微小的夹角并且保证副料斗下料口为低点,有利于增加莲子进入下料口的概率,副料斗下料口采用不锈钢材质并弯曲成弧形结构便于莲子顺利下料,副料斗下料口的上端采用柔软的毛毡块作为夹层并通过副料斗下料口盖板以及螺栓螺母压紧,毛毡块的作用是保护莲子不受到损伤。莲子在副料斗振动的状态下均匀地进入副料斗下料口,进料滚轮的凹孔形状设计为由浅至深且中间呈弧形结构,凹孔的深度能容纳一个较大的莲子(设计参数为 17 mm),随着进料滚轮旋转莲子与进料滚轮的弧面接触,在摩擦力的作用下莲子调整到卧式姿态即莲子长轴线方向与进料滚轮轴线方向平行,当进料滚轮的凹孔刚好转到副料斗下料口的出口位置时,莲子逐渐进入凹孔的内部,随着进料滚轮的旋转最终在重力的作用下直接落入进料溜槽,最终进入到夹持装置中。

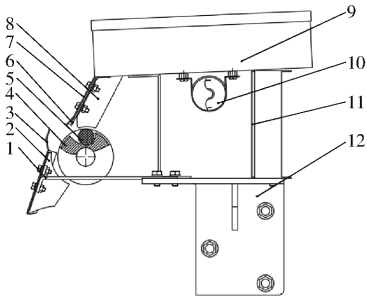


图 3 进料装置结构示意图

Fig.3 Sketch map of feeding device

1. 进料溜槽安装架 2. 进料溜槽 3. 进料溜槽盖板 4. 进料滚轮 5. 莲子 6. 毛毡块 7. 副料斗下料口盖板 8. 副料斗下料口 9. 副料斗 10. 振动电机 11. 支撑脚 12. 副料斗支撑架

振动电机产生的离心力计算公式为

$$F_c = m\omega^2 r \tag{1}$$

其中

$$\omega = 2\pi n/60$$

式中 F_c ——单个偏心块产生的离心力,N

m ——偏心块质量,kg

ω ——偏心块角速度,rad/s

r ——偏心块质心到中心的距离,m

n ——偏心块转速,r/min

偏心块的模型如图 4 所示,利用 Creo 中的质量属性功能测得偏心块质量 $m = 49.8\text{ g}$, $r = 0.0087\text{ m}$ 。

取 $n = 1\,500\text{ r/min}$ ，并将偏心块的参数代入式(1)可得 $F_c = 1.068\text{ N}$ ，本文采用的是双头振动电机，其产生的总离心力为 2.176 N 。在偏心块的激振作用下，偏心块产生的离心力与运动方向相切，偏心块旋转过程中离心力的方向也随之发生周期性变化，因此作用在副料斗上的作用力也会发生周期性变化，副料斗通过螺栓紧固安装在支撑脚上，支撑脚产生变形从而驱动副料斗组件来回摆动，摆动的幅度通常不超过 3 mm ，通过改变后面的两根支撑脚的角度则可以调节整个支撑脚在 Y 轴(以图 4 坐标为参考)方向上的刚度，从而可以调节副料斗组件的摆动幅度，而振动频率与振动电机的转速相关，经过多次试验可知稳定进料的频率通常需要大于 25 Hz ，通过转速仪测得振动电机的最高转速为 $2\,332\text{ r/min}$ ，因此将调速器调到最大振动频率(38.9 Hz)，相应地转速增加振动电机产生的离心力也会增加，振动力加大容易造成噪声增加以及振动电机使用寿命减小，因此通常状态下振动电机的频率调整为 $25 \sim 30\text{ Hz}$ ，转速为 $1\,500 \sim 1\,800\text{ r/min}$ 。



图 4 质量属性测量界面

Fig. 4 Quality attribute measurement interface

2.3 夹持装置设计

夹持装置如图 5 所示。夹持装置的夹持区间主要由去皮滚轮、软胶轴套、摆轮摆杆轴套合围而成，软胶轴套套装在软胶轴上并随着软胶轴旋转，去皮滚轮套装在滚轮轴上并随着滚轮轴旋转，摆轮摆杆轴套套装在摆轮摆杆轴上并随着摆轮摆杆轴旋转，摆轮摆杆轴由万向联轴器带动旋转，摆轮摆杆轴安装在摆轮摆杆上并且可以绕着支点旋转，弹簧一端挂接在摆轮摆杆的一端，通过调节弹簧的预紧力从而达到压紧莲子的目的。摆轮摆杆驱动装置通过凸轮带动，摆轮摆杆驱动装置向上运动时顶起摆轮摆杆组件，进料溜槽内的莲子则可以顺利进入到夹持装置中，摆轮摆杆驱动装置向下回位时，摆轮摆杆在弹簧弹力的作用下自动回位并将莲子压紧，压紧莲子时摆轮摆杆驱动装置的轴承与摆轮摆杆保持适当的间隙，从而保证最小的莲子也能被压紧，倘若莲子未被压紧，水射流会造成莲子在去皮空间内窜动，从

而易造成莲子去皮不完全和局部损伤。

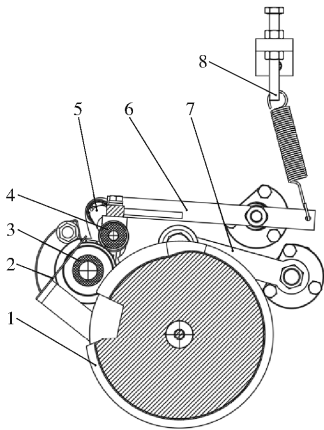


图 5 夹持装置结构示意图

Fig. 5 Structure diagram of clamping device

1. 去皮滚轮 2. 挡水板组件 3. 软胶轴套 4. 摆轮摆杆轴套
5. 万向联轴器 6. 摆轮摆杆 7. 摆轮摆杆驱动装置 8. 弹力调节装置

去皮滚轮组件通过螺栓紧固安装在滚轮轴上，其结构如图 6 所示，主要包括去皮滚轮、卸料孔盖板、毛毡带，毛毡带胶装在上皮滚轮上。去皮滚轮采用尼龙材料并利用加工中心加工而成，去皮滚轮主要由落料区间、进料区间、爬升区间、姿态调整区间以及去皮区间组成，落料区间主要为卸料孔，卸料孔两侧通过卸料孔盖板封闭，防止完成加工的莲子从两侧掉落，卸料孔要足够容纳 2 个最大的莲子，防止进料滚轮同时进 2 个莲子或者进料溜槽内滞留一个莲子时将卸料孔堵住；进料区间主要由更深且更宽大的弧形曲面构成，加大进料空间可使莲子顺利进入夹持装置，防止无序状态下滑的莲子堆积在进料溜槽导致堵料；去皮滚轮朝着逆时针方向旋转一个角度后，莲子则进入爬升区间并进入到姿态调整区间，随后摆轮摆杆组件逐渐下压，莲子逐渐被压紧，压紧后的莲子在软胶轴套、摆轮摆杆轴套以及去皮滚轮三者同向旋转的作用下绕自身轴线旋转，从而使得莲子调整到卧式姿态(即莲子长轴线方向与去皮滚轮轴线方向平行)，随后莲子进入到去皮区间，

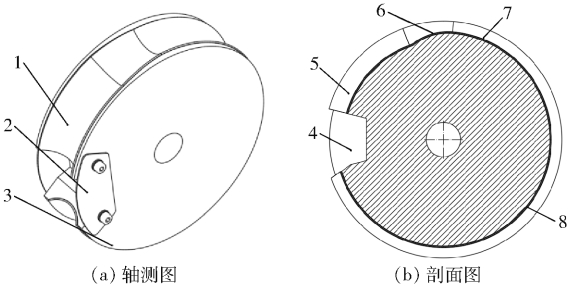


图 6 去皮滚轮组件结构示意图

Fig. 6 Sketch map of peeling roller components

1. 毛毡带 2. 卸料孔盖板 3. 去皮滚轮 4. 落料区间 5. 进料
- 区间 6. 爬升区间 7. 姿态调整区间 8. 去皮区间

此时挡水板组件打开,水射流击打在莲子表面,随着莲子绕自身轴线的旋转从而完成全方位去皮,完成去皮后莲子则进入到落料区间,进入落料区间之前,挡水板预先将水挡住,莲子在挡住水的状态下自动掉入落料区间的卸料孔内,莲子随着去皮滚轮的旋转完成卸料过程,下一个莲子则自动进入到进料区间,从而完成莲子去皮的连续作业。

弹力调节装置如图 7 所示,摆轮摆杆通过螺母紧固在支撑座上,摆轮摆杆紧固的孔采用腰形孔结构,因此可以调整支点 O 的位置,支撑座的转轴可以绕支点 O 旋转,弹簧的一端挂接在摆轮摆杆上,另一端挂接在螺栓上,螺栓通过两个螺母紧固在弹簧调节架上,通过调节螺栓的上下从而达到调整弹簧预紧力的目的。摆轮摆杆轴套压在莲子表面,假设莲子为标准椭球形,因此作业时摆轮摆杆保持静止状态,此时这两个力的力矩之和为零。根据合力矩定理:平面汇交力系的合力对于平面内任意一点之矩等于所有各分力对于该点之矩的代数和,可得

$$F_1 L_1 \sin \beta - F_s L_2 \sin \alpha = 0 \tag{2}$$

式中 F_s ——弹簧的预紧力, N

F_1 ——摆轮摆杆轴套施加在莲子表面的作用力, N

L_1 ——摆轮摆杆轴套中心到支点 O 距离, mm

L_2 ——弹簧与摆轮摆杆接触点到支点 O 的距离, mm

α ——预紧力 F_s 与 L_2 的夹角, ($^\circ$)

β ——作用力 F_1 与 L_1 的夹角, ($^\circ$)

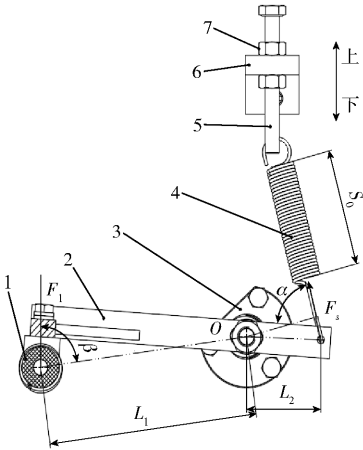


图 7 弹力调节装置示意图

Fig. 7 Sketch map of elastic adjusting device

1. 摆轮摆杆轴套 2. 摆轮摆杆 3. 支撑座 4. 弹簧 5. 螺栓
6. 弹簧调节架 7. 螺母

施加在莲子表面的作用力 F_1 加大会造成莲子与去皮滚轮上毛毡带的摩擦力加大,从而导致莲子表面产生损伤, F_1 过小则难以压住莲子,莲子容易被水射流的冲击力击飞而脱离夹持装置,计算时以 12 N

为例,摆轮摆杆的支点以摆轮摆杆的腰孔中心点 O 为基准进行计算,测量可得 $L_1 = 0.116\ 4\ \text{m}$, $L_2 = 0.041\ 6\ \text{m}$, $\alpha = 73.2^\circ$, $\beta = 82.2^\circ$,代入式 (2) 得 $F_s = 34.75\ \text{N}$,根据得出的预紧力对弹簧进行选型,所选弹簧参数为:线径 2.0 mm,中径为 16 mm,初始有效长度为 61 mm,弹性系数 K 为 1.7 N/mm。根据胡克定律,弹簧的弹力与弹簧的伸长量成正比关系,计算公式为

$$\Delta F_s = F_s - F_{s0} = K \Delta S \tag{3}$$

根据式 (2)、(3) 解得 $\Delta S = \Delta F_s / K = 20.4\ \text{mm}$ 。弹簧在初始状态时的预紧力 $F_{s0} = 0\ \text{N}$,因此设计时螺杆可调节的余量保留 0 ~ 25 mm 即可满足弹簧弹力调节要求。

弹力调节方法如图 8 所示,用弹簧秤勾住摆轮摆杆轴垂直向上拉起,当摆轮摆杆轴刚好离开莲子表面时读取弹簧秤上的数据,若读数超过 15 N 则将螺栓向下调整减小弹力,若读数小于 10 N 则螺栓向上调整增加弹力,调整完后再次以同样的方法进行检测,直到将弹力调整到 $(12 \pm 1)\ \text{N}$ 为止。



图 8 弹力调节方法测试

Fig. 8 Testing of elastic adjustment method

莲子在夹持装置中的受力分析如图 9 所示,以莲子的几何中心 O 为原点建立直角坐标系,莲子受到的力主要为水射流产生的冲击力、3 个滚轮的摩擦力以及 3 个滚轮的法向支撑力,3 个滚轮的摩擦力沿着接触点的切线方向,而 3 个滚轮的法向支撑力沿着接触点并朝向原点方向。根据力学原理,假定莲子是标准椭球形,根据力平衡原理,莲子在夹持装置中的位移为零,因此其法向合力为零,由于莲子会在摩擦力作用下产生旋转,因此切线方向的合力不为零,由于切线方向受到的力是摩擦力造成的,摩擦力的大小与法向力成正比关系,摩擦力的方向与接触点相切,其合力矩大于零。根据上述条件得到

$$\begin{cases} \boldsymbol{F}_R = \boldsymbol{F}_{1n} + \boldsymbol{F}_{2n} + \boldsymbol{F}_{3n} + \boldsymbol{F}_w + \boldsymbol{G} = 0 \\ \boldsymbol{F}_{it} = \boldsymbol{F}_{in} \mu_i \\ \boldsymbol{M}_o = (\boldsymbol{F}_{1t} + \boldsymbol{F}_{2t} + \boldsymbol{F}_{3t}) r > 0 \end{cases} \tag{4}$$

致 W 增加,从而增加去皮的覆盖区域,通常情况下喷嘴离莲子表面的距离为 25 ~ 40 mm,当水射流距离莲子超过 40 mm 后容易使得莲子表面产生白斑(水射流力离靶向物越远越容易混入空气,容易造成莲子表面受力不均匀从而造成莲子表面微观损伤,烘干后莲子表面会产生白斑)。假设 $L = 3\text{ mm}$, H 为最大的莲子长径,测得红花莲长径最大值可达 22 mm,假设 θ 取 15° ,代入式(5)得 $W > 9.8\text{ mm}$ 。

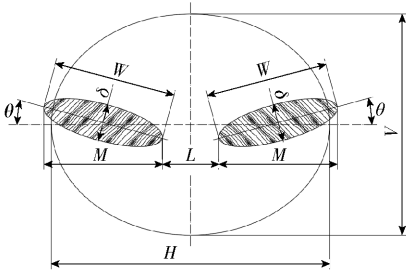


图 11 水射流作用在莲子表面示意图
Fig. 11 Water jet action on surface of lotus seed

根据上述水形的宽度设计喷嘴,水射流的速度和流量与喷嘴的入口压力相关,由于水射流速度很快而且出口处的水形很窄,出水口的当量直径为 1.3 mm,因此只有将水射流水形放大才能更好地观察喷嘴的水形以及流量,喷嘴水形检验方法如图 12 所示,喷嘴卡在卡槽处,喷嘴离壁面 460 mm,从图 12 中可以看出水射流喷出喷嘴后几乎呈扇形结构,因此当水形末端水形宽度为 120 mm 时,根据相似三角形的原理求解得距离喷嘴 35 mm 位置的水形宽度为 10.05 mm,满足要求。由于机器是两侧同时加工的,因此每个喷嘴都需要检验,若两边喷嘴的水形和流量不一致则会导致机器两侧的去皮效果不一致,喷嘴检验标准为:水泵压力为 1 MPa,检测距离为 460 mm 处的水形宽度为 $(120 \pm 5)\text{ mm}$;流量为 $(5.00 \pm 0.30)\text{ L/min}$ 。

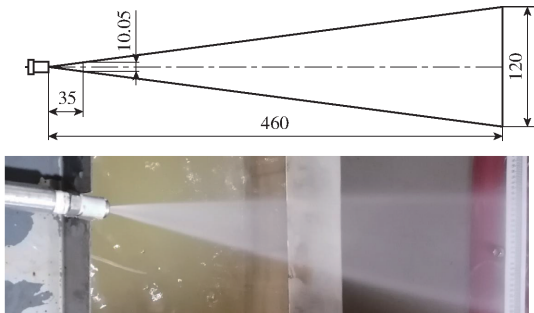


图 12 喷嘴调试示意图
Fig. 12 Sketch map of water gun commissioning

2.5 出料装置设计

出料装置如图 13 所示,主要由安装支杆、紧固螺母以及出料槽组成,出料槽采用钣金整体加工而成,出料槽的前端折弯有两个法兰,并且利用两根安

装支杆和螺母紧固安装在机体上,出料槽的一端与去皮滚轮贴合并且宽度与去皮滚轮一致,从而尽可能减少上方已经去除的莲皮掉落到出料槽中,另外一端向下倾斜并逐渐呈喇叭口增大从而增加莲皮滤除的概率,在出料槽的末端位置设置了一个凸起,利用莲子和莲皮物理特性的不同实现莲子和残余的莲皮彻底分离,莲子呈椭球颗粒状,下滑过程中遇到凸起则会跳起越过障碍,莲皮呈细小块状且柔软,随着部分水流越过凸起从缝隙中掉落,从而达到莲皮与莲子彻底分离的目的,经过试验验证,凸起高度通常在 5 ~ 7 mm,间隙为 5 ~ 8 mm 最佳,间隙过大,容易造成小莲子或碎莲子将间隙堵塞从而影响分离效果。出料槽与水平面的夹角通常为 $15^\circ \sim 20^\circ$,夹角越大,出料槽越陡,水流速度也越快,容易使得莲皮越过凸起落入收集框,夹角过小,莲子的运动速度变慢,小粒莲子或者碎莲子难以越过凸起从而容易导致莲子堆积在凸起处。

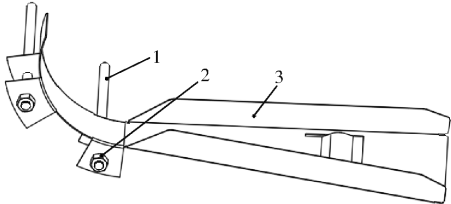


图 13 出料装置示意图
Fig. 13 Sketch map of discharging device
1. 安装支杆 2. 紧固螺母 3. 出料槽

3 试验

3.1 试验设备与材料

试验设备为设计的鲜莲子去皮机以及电子秤,于江西省广昌县兴莲机械制造有限公司进行机具试验。试验材料为当天采摘并经过人工挑选的成熟新鲜莲子,剥壳采用江西省广昌县兴莲机械制造有限公司制造的莲子剥壳机。试验于 2019 年 9 月 1—3 日完成,机器放置于调试区,并将水泵的进水管、出水管与储水缸连接。试验现场如图 14 所示。



图 14 鲜莲子去皮机试验现场
Fig. 14 Experiment site of fresh lotus seed peeling machine

3.2 试验方法与指标

在试验过程中发现影响去皮作业效果的主要因

素有水射流压力、水射流倾角和加工速度。其中水射流压力通过水泵的调压阀调整,可调范围为 0 ~ 2.5 MPa,根据莲子的成熟度去皮所需水射流压力通常分布在 0.4 ~ 1.2 MPa,而成熟莲子的去皮压力通常在 0.6 ~ 0.8 MPa;水射流倾角可通过旋转去皮装置上喷管进行调整,其调整范围通常为 0° ~ 30°。加工速度通过更换水泵上的附加带轮调整,此带轮是整机的主动力,改变带轮直径可改变加工速度,试验采用的带轮直径分别为 60、68、76 mm,其对应的滚轮轴转速理论值分别为 56.6、62.3、67.9 r/min。由于机器两侧的喷嘴精度和机械加工精度会导致机器两侧的去皮效果差异,因此试验安排时均以机器同一侧的数据作为统计依据。试验因素编码如表 2 所示。

表 2 试验因素编码
Tab.2 Coding of factors and levels

编码	因素		
	水射流压力	水射流倾角	带轮直径
	x_1/MPa	$x_2/(\text{ }^\circ)$	x_3/mm
-1	0.6	0	60
0	0.7	15	68
1	0.8	30	76

为了保证试验的准确性,每次试验用电子秤称取 4 kg 的去壳莲子作为单次试验的数据统计,测得此次试验的去壳莲子的千粒质量为 2 975 g,统计 4 kg 去壳莲子的总个数为(1 345 ± 20)个,由于样本总数保持在一个稳定的范围,试验结果采用百分比进行衡量,因此样本总数有细微的偏差对试验结果没有影响,采用称量的方式进行定量试验可以减少试验时间,统计每次试验完整去皮莲子数量 n_1 、破损莲子数量 n_2 、带帽头莲子数量 n_3 、开边莲子数量 n_4 、掉落莲子数量 n_5 、未完全去皮莲子数量 n_6 。破损的莲子与开边的莲子存在较大的区别,开边的莲子主要是由于水射流透过莲子张开的缝隙进入莲子内部产生水楔效应从而导致莲子沿着生长纹理裂开成两瓣,开边的莲子与水射流倾角存在较大的关系,因此作为评价指标时将这个指标与破损莲子区别对待。评价指标主要有去皮率 R_1 、损伤率 R_2 、带帽头率 R_3 、开边率 R_4 、掉莲率 R_5 、未去皮率 R_6 ,由于未去皮率 R_6 受到前面 5 个指标的影响比较大,因此分析时不考虑 R_6 。

3.3 试验方案与试验结果

采用 Design-Expert 三因素三水平的 Box - Behnken 响应面法进行试验安排,试验方案和试验结果如表 3 所示。

表 3 试验方案和试验结果
Tab.3 Experiment scheme and results

序号	试验因素			试验指标/%				
	x_1/MPa	$x_2/(\text{ }^\circ)$	x_3/mm	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
1	0.7	15	68	91.40	1.08	2.65	0.12	1.12
2	0.7	0	76	84.52	3.25	6.45	1.42	1.15
3	0.7	15	68	90.80	0.86	2.75	0.24	1.31
4	0.8	15	60	90.20	2.57	1.86	0.18	1.32
5	0.8	30	68	91.50	3.34	1.92	0.14	0.95
6	0.7	15	68	90.40	1.12	2.54	0.16	0.95
7	0.7	30	60	88.70	2.86	2.45	0.18	1.18
8	0.7	30	76	86.40	2.25	2.88	0.14	1.32
9	0.6	30	68	81.24	0.62	6.22	0.15	0.88
10	0.6	15	60	82.34	0.45	4.56	0.14	1.22
11	0.6	0	68	78.35	2.32	9.86	0.98	0.96
12	0.6	15	76	79.38	0.65	7.34	0.16	0.88
13	0.8	15	76	88.70	2.21	2.26	0.22	0.97
14	0.7	15	68	90.20	0.94	2.82	0.18	1.29
15	0.7	15	68	91.80	0.96	2.44	0.12	0.94
16	0.8	0	68	84.68	3.67	4.08	2.43	1.21
17	0.7	0	60	85.92	3.45	5.08	1.84	1.02

4 试验结果分析

4.1 显著性分析

应用 Design-Expert 软件对表 3 中的数据拟合并进行方差分析,得到的显著性检验结果如表 4 所示。经过检验发现掉莲率 R_5 的模型不显著,说明该指标是其它因素造成的,与这 3 个主要影响因素无关,该指标可能是进料不稳定导致,进料滚轮同时进两个莲子必然会有一颗掉落,因此该指标在此模型中不做进一步分析。 R_1 的模型显著性检验 $F = 47.21, P < 0.001$, R_2 的模型显著性检验 $F = 112.9, P < 0.001$,说明这两个指标的二次回归方程检验达到高度显著,且 R_1 的失拟项检验 $F = 2.44, P > 0.1$, R_2 的失拟项检验 $F = 2.83, P > 0.1$,这两个检验指标的失拟项均不显著,说明在试验范围内这两个模型的拟合度非常好,因此可以用此模型对水射流压力 x_1 、水射流倾角 x_2 以及带轮直径 x_3 这 3 个因素的影响效果进行分析和预测。 R_3 的模型显著性检验 $F = 62.77, P < 0.001$, R_4 的模型显著性检验 $F = 22.3, P < 0.001$,说明这两个指标的二次回归方程检验达到高度显著,但是 R_3 的失拟项检验 $F = 12.96, P < 0.05$, R_4 的失拟项检验 $F = 35.26, P < 0.05$,这两个检验指标的失拟项均显著,说明在试验范围内这两个模型的拟合度不是很好,因此用此模型来对水射流压力 x_1 、水射流倾角 x_2 以及带轮直径 x_3 这 3 个因素的影响效果进行分析和预测具有一定的参考意义。应用 Design-Expert 软件得到的回归系数,去除其中的不显著项后得到的二次多项式回归模型为

$$R_1 = 90.92 + 4.22X_1 + 1.8X_2 - 1.02X_3 - 4.1X_1^2 - 2.87X_2^2 - 1.66X_3^2 \quad (6)$$
$$R_2 = 0.99 + 0.97X_1 - 0.45X_2 - 0.12X_3 + 0.34X_1X_2 + 1.49X_2^2 + 0.47X_3^2 \quad (7)$$
$$R_3 = 2.64 - 2.23X_1 - 1.5X_2 + 0.62X_3 - 0.6X_1X_3 + 1.33X_1^2 + 1.54X_2^2 \quad (8)$$

$$R_4 = 0.16 + 0.19X_1 - 0.76X_2 - 0.05X_3 - 0.37X_1X_2 + 0.74X_2^2 \quad (9)$$

式中 X_1 ——水射流压力编码值
 X_2 ——水射流倾角编码值
 X_3 ——带轮直径编码值

表 4 显著性检验结果
Tab.4 Significance test result

方差来源	R ₁				R ₂				R ₃				R ₄				R ₅			
	平方和	自由度	F	P	平方和	自由度	F	P	平方和	自由度	F	P	平方和	自由度	F	P	平方和	自由度	F	P
模型	310.3	9	47.21	<0.001	20.52	9	112.9	<0.001	81.83	9	62.77	<0.001	7.8	9	22.3	<0.001	0	0		
x ₁	142.6	1	195.2	<0.001	7.51	1	371.9	<0.001	39.87	1	275.28	<0.001	0.3	1	7.62	0.028				
x ₂	25.8	1	35.35	<0.001	1.64	1	81.15	<0.001	18	1	124.27	<0.001	4.59	1	118.0	<0.001				
x ₃	8.32	1	11.4	0.012	0.12	1	5.83	0.047	3.1	1	21.4	0.002	0.02	1	0.51	0.497				
x ₁ x ₂	3.86	1	5.29	0.055	0.47	1	23.24	0.002	0.55	1	3.78	0.093	0.53	1	13.7	0.008				
x ₁ x ₃	0.53	1	0.73	0.421	0.078	1	3.88	0.089	1.42	1	9.78	0.017	1.00 × 10 ⁻⁴	1	2.57 × 10 ⁻³	0.961				
x ₂ x ₃	0.2	1	0.28	0.615	0.042	1	2.08	0.192	0.22	1	1.53	0.257	0.036	1	0.93	0.367				
x ₁ ²	70.91	1	97.11	<0.001	1.78 × 10 ⁻⁴	1	8.81 × 10 ⁻³	0.928	7.5	1	51.81	<0.001	1.77 × 10 ⁻³	1	0.046	0.837				
x ₂ ²	34.77	1	47.62	<0.001	9.34	1	462.5	<0.001	10.05	1	69.39	<0.001	2.31	1	59.37	<0.001				
x ₃ ²	11.62	1	15.91	0.005	0.94	1	46.37	<0.001	3.79 × 10 ⁻³	1	0.026	0.876	3.80 × 10 ⁻⁴	1	9.77 × 10 ⁻³	0.924				
残差	5.11	7			0.14	7			1.01	7			0.27	7			0.42	16		
失拟	3.3	3	2.44	0.205	0.096	3	2.83	0.171	0.92	3	12.96	0.016	0.26	3	35.26	0.003	0.30	12	0.78	0.67
误差	1.81	4			0.045	4			0.095	4			9.92 × 10 ⁻³	4			0.13	4		
总和	315.4	16			20.66	16			82.84	16			8.08	16			0.42	16		

4.2 响应曲面分析

通过表 4 的显著性检验分析可知,水射流压力、水射流倾角以及带轮直径对去皮率 R_1 均有显著性影响,且影响强弱次序为 x_1 、 x_2 、 x_3 , x_1^2 、 x_2^2 、 x_3^2 均显著,但是交互项均不显著,说明这 3 个因素对 R_1 的影响交互作用很弱。对损伤率 R_2 进行显著性分析可知这 3 个因素也均有显著性影响,且影响强弱次序为 x_1 、 x_2 、 x_3 , x_1x_2 、 x_2^2 、 x_3^2 均显著,说明水射流压力和水射流倾角对损伤率存在交互项。通过表 4 的显著性分析可知,水射流压力、水射流倾角、带轮直径对带帽头率 R_3 均有显著性影响,且影响强弱次序为 x_1 、 x_2 、 x_3 , x_1x_3 、 x_1^2 、 x_2^2 均显著,说明水射流压力和带轮直径对带帽头率存在交互项。同样可知,水射流压力、水射流倾角对开边率 R_4 有显著性影响,但带轮直径 x_3 对开边率没有显著影响,且影响强弱次序为 x_2 、 x_1 , x_1x_2 、 x_2^2 也显著,说明影响开边率的主要因素是水射流倾角,同时水射流压力和水射流倾角存在交互项。

图 15 所示为去皮率 R_1 、损伤率 R_2 、带帽头率 R_3 、开边率 R_4 的响应曲面。可以直观地看出 x_1 、 x_2 对去皮率 R_1 的影响极其显著,而带轮直径 x_3 (相当

于加工速度)对 R_1 影响小,从图 15a 中可以看出,去皮率 R_1 随着水射流压力增大而增大,但是当压力超过 0.75 MPa 后则开始逐渐减小,这是因为压力增加损伤率和开边率也提高,而去皮率 R_1 是不包含去掉皮的损伤的莲子以及开边的莲子,从而导致到了一定压力后,去皮率反而有所下降,同样通过图 15a 可明显地看出去皮率 R_1 随着水射流倾角先增大后减小,当水射流倾角为 0° 时最低,总体的水形最宽,水射流分散,作用在莲子表面的水射流有效面积减小,多余的水射流从莲子两端的切线方向穿过,随着角度的增加,水形收窄并且集中打在莲子表面,从而使得水射流不能打到莲子的两端,导致完整去皮的莲子数量减少,而水形收窄后,水形变得更厚,而水射流进入夹持装置的间隙 a 值是随着莲子大小变化而变化,当莲子偏小时 a 值减小,则水射流无法全部直接击打在莲子表面,部分水射流会击打在软胶轴套或者摆轮轴套上形成反流,从而使得去皮率下降。通过图 15d、15e、15f 可以直观地看出 x_1 、 x_2 、 x_3 对损伤率 R_2 影响均显著,从图 15d 中可以看出,损伤率 R_2 随着水射流压力增大而增大,随着水射流倾角增大先减小后增大,这是由于当水射流倾角为 0° 时,

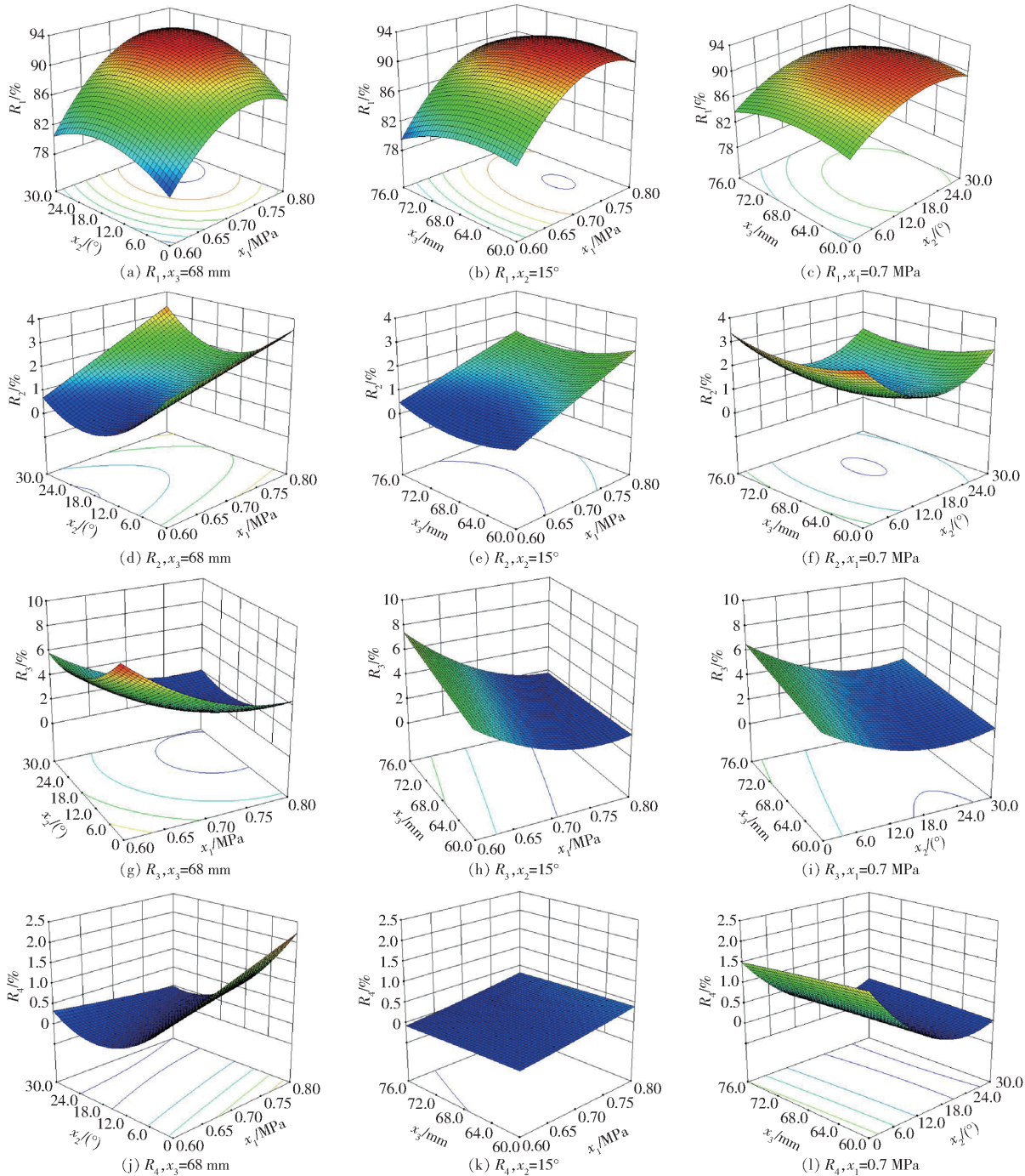


图 15 不同因素对莲子去皮性能指标的影响

Fig. 15 Influence of different factors on indicators of lotus seed peeling

水射流的水形所形成的平面刚好与莲子的两片子叶的缝隙平行,当莲子转到适当位置时水射流则通过两片子叶的缝隙进入到莲子内部形成了水楔效应,从而容易使得莲子破损或者开边,随着水射流倾角的增加,水射流的打击范围收窄,水射流集中作用在莲子表面,莲子表面局部受到的水射流冲击力过大,从而使得莲子受到的损伤增加,通过图 15f 可以看出损伤率 R_2 随着带轮直径 x_3 增加(相当于加工速度加快)而有微小减小,这是由于加工速度加快,水射流作用在莲子表面的时间减少,损伤率则会有所

下降。通过图 15g、15h、15i 可以直观地看出 x_1 、 x_2 、 x_3 对带帽头率 R_3 影响均显著,通过图 15g 可以明显的看出带帽头率随着水射流压力的增加而降低,而随着水射流倾角的增加先降低后升高,这是因为当水射流倾角为 0° 时,水射流水形更分散,作用在莲子两端的水射流冲击力减弱,随着角度的增加作用在莲子两端的水射流更加集中导致冲击力加大,去除莲子帽头的能力也就越强,当水射流倾角增加到一定程度时,水射流水形收窄,水射流的水形将难以打到莲子的两侧,因此带帽头率又会有所升高;通过

图 15h 可以看出带帽头率 R_3 随着带轮直径增加(相当于加工速度加快)有略微的增加,这是加工速度越快,水射流作用在莲子上的时间减少导致的。通过图 15j、15k、15l 可以直观地看出 x_1 、 x_2 对开边率 R_4 影响均显著,而带轮直径 x_3 对开边率的影响不显著,通过图 15j 可以看出随着水射压力的增加开边率逐渐增加,通过图 15j、15l 明显可以看出随着水射流倾角的增加开边率逐渐降低,这是由于当水射流倾角为 0° 时,水射流的水形所形成的平面刚好与莲子的两片子叶的缝隙平行,当莲子转到适当位置时水射流则通过两片子叶的缝隙进入到莲子内部形成水楔效应,从而容易使得莲子更容易开边,随着水射流倾角的增加,水射流的打击范围收窄,水射流是逐渐进入缝隙中的,因此更加不容易开边。

4.3 参数优化

去皮率 R_1 是评价整机性能的最重要指标,去皮率越高越好,而其余的指标均是越低越好。利用 Design-Expert 软件的寻优功能,设置约束条件为 $\{\max(R_1), \min(R_2), \min(R_3), \min(R_4)\}$ 综合考虑以上指标得到的最优解以及预测值为: $x_1 = 0.71 \text{ MPa}$, $x_2 = 18.58^\circ$, $x_3 = 67.18 \text{ mm}$, $R_1 = 91.80\%$, $R_2 = 1.13\%$, $R_3 = 2.06\%$, $R_4 = 0.04\%$ 。

4.4 验证试验

考虑到机器的实际情况,对影响因素进行微调,取水射流压力 $x_1 = 0.70 \text{ MPa}$ 、水射流倾角 $x_2 = 18.00^\circ$ 、带轮直径 $x_3 = 68 \text{ mm}$ 进行验证试验。每次试验同前面的试验一样称取 4 kg 去壳莲子作为试验样本,试验重复进行 3 次,试验结果取平均值,对数据进行处理与分析后,由于掉莲率与这 3 个影响因素无关,因此试验验证时将此指标排除在外,得到的试验结果如表 5 所示。

表 5 验证试验结果

Tab.5 Experiment result of verification %

检验指标	预测值	验证试验值	相对误差	绝对误差
R_1	91.16	92.63	1.6	1.47
R_2	0.96	1.24	29.2	0.28
R_3	2.40	2.72	13.3	0.32
R_4	0.04	0.21	425.0	0.17

由试验可知去皮率为 92.63% , 其与理论优化结果的相对误差小于 2% , 说明所建的模型与优化参数的可行性和准确性较高,而损伤率为 1.24% , 带帽头率为 2.72% , 开边率为 0.21% , 虽然这 3 个指标的相对误差均超过了 10% , 但是这 3 个指标的值都非常低而且其绝对误差总体来说并不太高,同样可以说明所建立的模型与优化的参数具有一定的参考价值,优化后的鲜莲子去皮机总体上达到了设计指标,基本满足作业要求。

5 结论

- (1)设计了一款基于水射流去皮原理的鲜莲子去皮机,该机利用夹持装置约束莲子并驱动莲子绕自身轴线旋转,再利用两股对称的水射流打击在旋转的莲子表面,从而完成去皮过程,加工过程中的废水、碎莲子及莲子皮可通过回收槽统一收集。
- (2)试验表明,影响鲜莲子去皮效果的主要影响因素有水射流压力、水射流倾角和加工速度(带轮直径),其主要评价指标有去皮率、损伤率、带帽头率、开边率、掉莲率。采用 Design-Expert 软件设计三因素三水平 Box - Behnken 响应面法试验,试验结果表明:对去皮率、损伤率以及带帽头率的影响程度从大到小均依次是水射流压力、水射流倾角、带轮直径;对开边率的影响程度从大到小是水射流倾角、水射流压力,而带轮直径对开边率的影响非常小;掉莲率几乎都在 1% 左右,与 3 个影响因素无关,可做进一步研究。
- (3)利用 Design-Expert 软件的寻优功能对作业参数进行优化,优化后最佳作业参数分别为:水射流压力为 0.7 MPa 、水射流倾角为 18° 、带轮直径为 68 mm ,其指标预测值分别为:去皮率为 91.16% 、损伤率为 0.96% 、带帽头率为 2.40% 、开边率为 0.04% 。采用优化后的参数进行验证试验,得出去皮率为 92.63% 、损伤率为 1.24% 、带帽头率为 2.72% 、开边率为 0.21% ,各项指标的试验结果与理论预测结果的绝对误差均小于 1.5% ,验证了模型与所优化参数的合理性,优化后的鲜莲子去皮机性能满足作业要求。

参 考 文 献

[1] 郑宝东. 莲子科学与工程[M]. 北京: 科学出版社, 2010.

[2] 徐谐庆, 饶洪辉, 李涛, 等. 全自动莲子剥壳去皮机的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2014, 30(13): 28 - 34.

XU Xieqing, RAO Honghui, LI Tao, et al. Design and experiment on automatic husking and peeling machine for lotus seeds [J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(13): 28 - 34. (in Chinese)

[3] 刘木华, 吴彦红, 夏忠义. 莲子物理机械特性试验研究(I)[J]. 江西农业大学学报, 1999, 21(3): 425 - 428.

LIU Muhua, WU Yanhong, XIA Zhongyi. Experimental studies (I) on physical and mechanical properties of lotus seed[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 1999, 21(3): 425 - 428. (in Chinese)

- [4] 赵小广,宗力,谢丽娟. 干壳莲子物理参数试验研究[J]. 食品与机械,2006,22(2):53–55.
ZHAO Xiaoguang, ZONG Li, XIE Lijuan. Testing and analyzing of physical parameters of dry white and red lotus seed[J]. Food & Machinery, 2006, 22(2): 53–55. (in Chinese)
- [5] 谢丽娟,宗力. 莲子受力有限元分析[J]. 农业机械学报,2006,37(6):94–97.
XIE Lijuan, ZONG Li. Analysis of finite element method for loaded lotus seed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(6): 94–97. (in Chinese)
- [6] 司卫东. 一种生姜脱皮装置: 201520678427.7[P]. 2016–01–20.
- [7] 宋毅,李学春,李丽萍. 生姜脱皮机: 201420431912.X[P]. 2015–02–04.
- [8] 马兴飞. 一种摩擦式马铃薯去皮机的设计[J]. 农村实用技术,2018,198(5):59–61.
- [9] 赖明全. 莲子脱衣装置及脱衣机: 200620097177.9[P]. 2007–07–18.
- [10] HUXSOLL C C, WEAVER M L, NG K C. Double-dip caustic peeling of potatoes I: laboratory-scale development[J]. American Potato Journal, 1981, 58(6): 327–338.
- [11] WEAVER M L, HUXSOLL C C, NG K C. Double-dip caustic peeling of potatoes II: studies on commercialization[J]. American Potato Journal, 1981, 58(7): 355–364.
- [12] 徐坤,肖诗明,吴兵. 马铃薯化学去皮与护色方法初步研究[J]. 绵阳经济技术高等专科学校学报,1998,15(4):27–29.
XU Kun, XIAO Shiming, WU Bing. A preliminary study on chemical methods of potato peeling and retaining colour[J]. Journal of Mianyang College of Economy & Technology, 1998, 15(4): 27–29. (in Chinese)
- [13] 陈绍光. 马铃薯化学去皮技术研究[J]. 湖南农业科学,1998(4):39–40.
- [14] 孙远明,杨幼慧,刘佩瑛. 魔芋化学去皮与护色研究[J]. 食品科学,1997,18(5):21–23.
- [15] GARROTE R L, SILVA E R, BERTONE R A. Effect of thermal treatment on steam peeled potatoes[J]. Journal of Food Engineering, 2000, 45(2): 67–76.
- [16] Peter vander Schoot,沈翔翻. 荷兰高达公司的马铃薯蒸汽去皮系统[J]. 农产品加工,2003(5):32–35.
- [17] 宗望远,朱松德,王巧华,等. 马铃薯蒸汽去皮试验研究[J]. 湖北农业科学,2002(3):18–20.
ZONG Wangyuan, ZHU Songde, WANG Qiaohua, et al. Test of potato steam peeling[J]. Hubei Agricultural Science, 2002 (3): 18–20. (in Chinese)
- [18] 陈海峰,刘晴,曾书琴. 猕猴桃蒸汽热烫去皮工艺研究[J]. 食品科技,2016,41(6):117–120.
CHEN Haifeng, LIU Qing, ZENG Shuqin. Technological on peeling kiwifruit by steam blanching [J]. Food Science and Technology, 2016, 41(6): 117–120. (in Chinese)
- [19] 黄文禄,盛中德. 莲子脱膜机之研究[J]. 农业机械学刊,2005,14(3):1–10.
HUANG Wenlu, SHENG Zhongde. The research of membrane sheller for lotus seeds [J]. Journal of Agricultural Machinery, 2005, 14(3): 1–10. (in Chinese)
- [20] 曹志强. 一种莲子剥壳脱皮一体机: 201120307309.7[P]. 2012–05–30.
- [21] 张永林,易启伟,余群,等. 多联辊刀式莲子剥壳机的结构与工作原理[J]. 农业工程学报,2008,24(12):76–79.
ZHANG Yonglin, YI Qiwei, YU Qun, et al. Structure and working principle of de-huller with multiple cutter units for lotus seeds[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(12): 76–79. (in Chinese)
- [22] 宋荣. 莲子剥壳去膜一体机的设计[J]. 机械研究与应用,2012,122(6):119–121.
SONG Rong. Design of lotus seeds decladding and intima stripping integrated machine [J]. Mechanical Research & Application, 2012, 122(6): 119–121. (in Chinese)
- [23] 朱亨银,何金成,方文熙,等. 小型鲜莲子剥壳机的设计与试验[J]. 农业工程学报,2017,33(7):28–35.
ZHU Hengyin, HE Jincheng, FANG Wenxi, et al. Design and test of small fresh lotus seed sheller[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(7): 28–35. (in Chinese)
- [24] 余群,易启伟. 鲜莲子自动化剥壳技术及设备[J]. 农机化研究, 2010, 32(6): 140–142, 145.
YU Qun, YI Qiwei. The automatic lotus seeds decladding technology and equipment[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010, 32(6): 140–142, 145. (in Chinese)
- [25] 郑传祥. 莲子脱壳机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2003, 34(5): 106–108.
ZHENG Chuanxiang. Experimental research of a lotus seed sheller[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003, 34(5): 106–108. (in Chinese)