

梁方, 马丽筠, 郭洲, 等. 荸荠去皮机设计与试验[J]. 华中农业大学学报, 2020, 39(4): 163-168.

DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2020.04.022

荸荠去皮机设计与试验

梁方^{1,2}, 马丽筠¹, 郭洲¹, 苏文孔¹, 张国忠^{1,2}

1. 华中农业大学工学院, 武汉 430070; 2. 农业农村部长江中下游农业装备重点实验室, 武汉 430070

摘要 针对荸荠(*Eleocharis dulcis* (Burm. f.) Trin.) 外形不规则以及去皮损失大、去不净的问题, 采用平刀去顶芽、斜刀去底部、圆弧刀去侧皮的组合切削方式, 设计 1 种荸荠去皮机。通过对荸荠外形参数的测量与建模, 拟合得到荸荠外轮廓曲线, 确定刀具的结构参数范围。基于 3D 打印技术, 采用单因素试验, 确定了切削速度、底面斜刀倾角与长度、侧面圆弧刀弦长对去皮损失率与去净率的影响, 优化得到了适宜的结构参数与运动参数, 在转速为 40 r/min、底面斜刀倾角为 82°、底面斜刀长度为 14 mm、侧面圆弧刀弦长为 22 mm(直径 42.75 mm)的条件下, 去净率达到 93%, 损失率为 24.4%, 显著高于人工去皮与机械摩擦去皮。

关键词 荸荠; 铣削式去皮; 组合切削; 半自动去皮机; 外形建模; 损失率; 去净率

中图分类号 S 226.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2020)04-0163-06

荸荠(*Eleocharis dulcis* (Burm. f.) Trin.), 俗称马蹄, 属多年生浅水草本植物, 肉质洁白, 味甜多汁, 清脆可口, 具有重要的营养与药用价值^[1], 在我国主要分布在湖北、湖南、安徽、浙江、江苏、广东、广西等长江流域及以南地区^[2]。截至 2016 年, 我国荸荠种植面积约为 5 万 hm², 年产量约 75 万 t, 具有重要的经济价值^[3]。荸荠果皮中含有多种有害物质和寄生虫等^[4], 荸荠去皮是食品安全的必然要求。市场上未去皮的荸荠市价约为 10 元/kg, 去皮后约为 26 元/kg, 去皮能够显著增加荸荠附加值。成熟后的荸荠球茎呈深枣红色, 单个果实质量 30~100 g, 果皮呈黑褐色, 占单果总质量的 20%~25%。其外形呈扁圆球形, 根部内凹, 外形复杂、不规则^[5], 造成去皮损失大、去不净等问题。

目前荸荠的去皮方式主要有手工去皮、化学去皮、热力去皮、机械去皮^[6]。手工去皮是手持刀具, 采用切削方式对单个荸荠去皮, 去皮后表面平整度高, 视觉效果好, 但效率低、果肉损失率高达 40%。化学法去皮主要是采用碱液使荸荠果皮与果肉之间的胶层溶解, 从而使果皮果肉分离, 处理量大、成本低, 但处理后的废液污染环境, 且废液混在果肉里影响口感、色泽等^[7]。热力去皮法是利用高温蒸汽、热水等, 使荸荠的表皮体积受热膨胀而破裂, 从而使果

肉果皮分离, 再利用离心装置将果皮彻底去除, 去皮能力强, 果肉损失小, 但亦会影响果肉的新鲜度、口感等^[8-10]。机械去皮主要有摩擦去皮、切削去皮、组合式去皮。摩擦去皮效率高, 但去净率低, 且表面粗糙, 适用于对表面光滑度要求不高的场合^[11-12]; 切削式去皮, 采用切削原理, 利用刀具与荸荠间的相对运动去除果皮, 去净率高^[13-15]; 组合式去皮, 采用摩擦与切削方式去除荸荠顶芽、底根、侧皮, 效率高、去净率高, 但构造复杂, 荸荠自动排序是难点^[16]。

针对目前荸荠人工去皮损失大、摩擦去皮去不净的问题, 充分发挥铣削式去皮去净率高的优点, 采用平刀去顶芽、斜刀去底部、圆弧刀去侧皮的组合切削方式设计半人工半自动荸荠去皮机, 并基于荸荠外形测量与建模, 设计优化刀具结构参数与运动参数, 提高荸荠去皮去净率, 降低损失率, 旨在为荸荠机械去皮机械的研制提供参考。

1 材料与方 法

1.1 去皮原理与整机结构

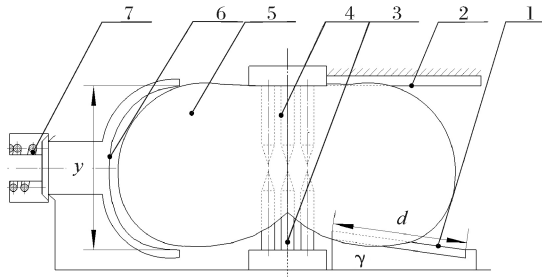
荸荠去皮原理如图 1 所示, 采用平刀去顶芽、斜刀去底部、圆弧刀去侧皮的组合方式进行去皮。荸荠通过上下插针固定, 并随着插针的旋转而旋转, 在旋转过程中荸荠在顶部平刀、底部斜刀、侧面圆弧刀

收稿日期: 2019-09-02

基金项目: 国家特色蔬菜产业技术体系专项(CARS-24); 湖北省自然科学基金项目(2018CFB343)

梁方, 博士, 讲师。研究方向: 耕整地机械装备设计及机械土壤作用关系研究。E-mail: liangfang101@sina.com

的作用下,分别去除顶部凸起芽、底部凹陷果皮以及侧边果皮。圆弧刀具底部安装有弹簧,起到仿形作用,以保证圆弧刀与荸荠紧密贴合,达到去净效果。

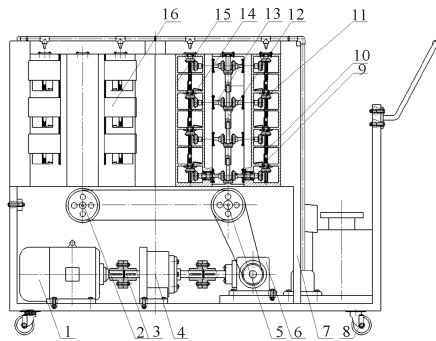


1.斜刀 Inclined blade; 2.平刀 Flat blade; 3.下插针 Bottom needle; 4.上插针 Top needle; 5.荸荠 Water chestnuts; 6.圆弧刀 Arc blade; 7.弹簧 Spring.

图 1 荸荠去皮原理图

Fig.1 Schematic diagram of peeling for water chestnut

基于上述去皮原理,设计荸荠去皮机,其结构如图 2 所示。上下插针、斜刀、平刀、圆弧刀组成去皮室,3 个去皮室组成 1 列去皮组,一共有 4 个去皮组,固定在机架上。工作中,动力通过电机输入,通过联轴器传递至变速箱,减速后经联轴器传递给 T 型转向器。T 型转向器不仅改变传动方向,而且具备 2 个输出轴,1 个输出轴将动力传动至第 1 纵向轴,驱动第 1 去皮组,并通过第 1 去皮组带轮将动力传递至第 2 去皮组;T 型转向器第 2 输出轴将动力



1.电机 Motor; 2.第 2 去皮组带轮 No.2 belt wheel; 3.联轴器 Coupling; 4.变速箱 Gearbox; 5.第 1 去皮组带轮 No.1 belt wheel; 6.T 型转向器 T-type steering gear; 7.机架 Frame; 8.行走轮 Walking wheel; 9.下插针 Bottom needle; 10.上插针 Top needle; 11.弹簧 Spring; 12.锥齿轮 Bevel gear; 13.纵向轴 Longitudinal shaft; 14.横向轴 Transverse shaft; 15.斜刀 Inclined blade; 16.去皮组 Peeling unit.

图 2 荸荠去皮机结构示意图

Fig.2 Structure of peeling machine for water chestnut

传至第 1 纵向轴对侧的第 3 纵向轴,驱动第 3 去皮组,并通过第 3 去皮组带轮将动力传递至第 4 去皮组,动力传递至纵向轴后(以第 1 纵向轴为例),经锥齿传动,驱动横向轴旋转,带动横向轴上的锥齿轮旋转,并通过啮合的锥齿轮驱动各上插针旋转,带动荸荠运动,荸荠在旋转过程中,通过斜刀、平刀、圆弧刀的切削作用去掉表皮。

其工作过程为:去皮前,手动抬起两侧的把手,开启去皮室侧门,上插针克服弹簧弹力随箱门一起上升,并将荸荠分别放入各去皮室,然后放下把手,上插针下落,插入荸荠顶部,同时,去皮室侧门关闭。去皮时,接通电源,荸荠随着插针旋转,在与斜刀、平刀、圆弧刀接触过程中,完成去皮。去皮完成后,关闭电源,抬起侧面把手,箱门开启,插针上升,取出荸荠,清扫果皮,为下次去皮做准备。

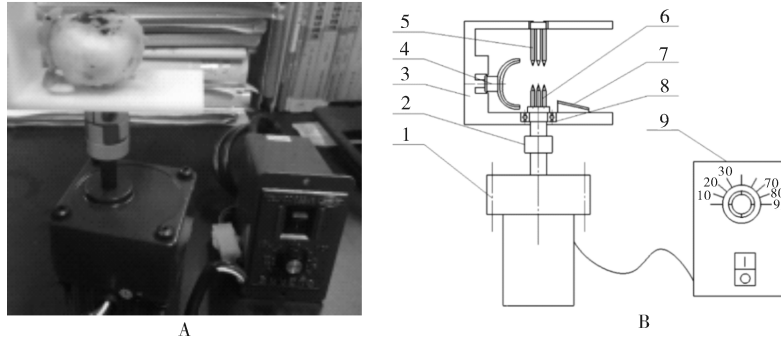
1.2 去皮试验设计

1) 去皮试验装置。试验装置如图 3 所示,其由电动机、机架、调速器、传动部件、铣削刀具、荸荠夹持装置组成。电机为单向交流 220 V、6 W 的微型减速电机,最大转速为 90 r/min,调速器的调速范围为 50%~100%。由于刀具外形不规则、去皮力不大,去皮刀具及夹持装置、上下插针均采用 3D 打印得到。试验中,将荸荠以竖直状态固定在下插针上,接通电源,利用调速器调节电机的转速,在上下插针带动下,荸荠做逆时针转动,其表面与布置的刀具接触,实现果皮去除。

2) 因素与水平。为确定试验刀具的因素与水平,对荸荠的外形特征进行测量与建模。试验中所采用的荸荠为湖北孝感荸荠。对 100 个随机大小的荸荠进行测量,测量参数如图 4 所示。

以 1/4 荸荠的横向尺寸为 OX 轴,纵向尺寸为 OY 轴,测得不同横径尺寸下对应的上下部分高度值分别为 y_1 、 y_2 ,进而利用 MATLAB 拟合得到荸荠外轮廓拟合曲线如图 5。

由图 5 可见底部凹陷部分、顶芽部分呈现锥面,且顶芽部分锥角较小,几乎接近平面。理论上刀具与荸荠外轮廓曲线完全贴合,去净率最高。由于顶芽较深,可以采用水平放置的平刀去顶芽,底部锥角较大,采用斜刀去除底部,以降低损失率。侧面采用圆弧刀具,为圆弧的一部分,测得荸荠横径均值为 42.75 mm。



A: 实物图 Physical picture; B: 示意图 Schematic diagram; 1.调速电机 Speed control motor; 2.联轴器 Coupling; 3.机架 Frame; 4.圆弧刀 Arc blade; 5.上插针 Top needle; 6.下插针 Bottom needle; 7.斜刀 Inclined blade; 8.轴承 bearing; 9.调速器 Speed controller.

图 3 去皮试验装置实物图和示意图

Fig.3 Physical picture and schematic diagram of peeling experiment device

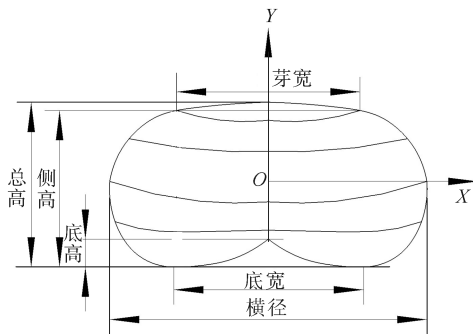


图 4 荸荠外形测量参数

Fig.4 The measured parameters of water chestnut

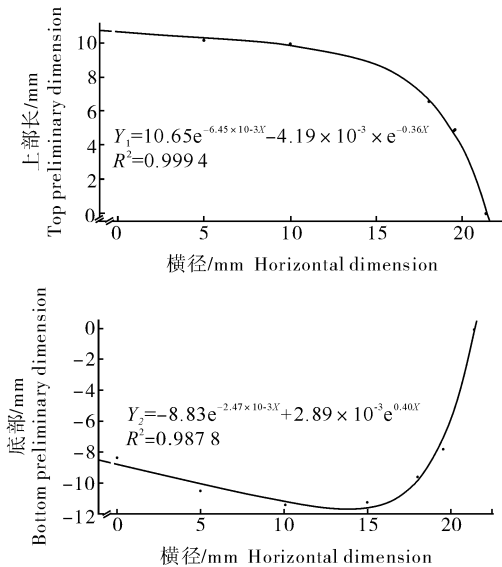


图 5 荸荠外轮廓上(A)下(B)拟合曲线

Fig.5 The fitting outer contour top (A) and bottom(B) curve of water chestnut

测得荸荠侧高 18~22 mm, 试验中取 18、20、22 mm; 底高 2~4 mm, 均值为 2.975 mm, 底宽在 26~

30 mm, 均值为 26.39 mm, 则底面斜刀与竖直方向的夹角:

$$\gamma = \arctan \frac{26.39}{2 \times 2.975} \approx 77.29^\circ$$

底面斜刀长度:

$$d = \sqrt{\left(\frac{26.39}{2}\right)^2 + 2.975^2} \approx 13.526 \text{ mm}$$

试验中取 γ 分别为 72° 、 77° 、 82° , d 取 13、14、15 mm. 转速 n 对去皮影响较大, 过快会造成荸荠崩裂, 损失率高、去净率低, 过慢既会影响效率又会影响去皮表面光滑度, 取 30、40、50 r/min. 试验因素水平表如表 2 所示.

表 2 去皮试验因素水平表

Table 2 Factors and levels of peeling experiment

水平 Levels	转速 n / (r/min) Rotary speed	斜刀倾角 γ / ($^\circ$) Inclined blade angle	斜刀长度 / mm Inclined blade length	圆弧刀弦长 λ / mm Chord lengths of the arc blade
1	30	72	13	18
2	40	77	14	20
3	50	82	15	22

3) 去皮试验方法. 采用单因素试验, 在其他因素一定的条件下, 改变荸荠转速, 确定最优转速; 再以此转速, 对底面斜刀倾角与长度的各水平进行试验, 确定最优值. 在荸荠转速、底面斜刀倾角与长度确定的条件下, 对侧面圆弧刀弦长的各水平进行试验, 最终得到去皮刀具的最优参数组合. 试验中采集去皮损失率与去净率, 分析各因素对上述 2 个指标的影响, 确定各因素的最佳水平.

去皮损失率采用以下公式计算:

$$y_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

式(1)中, y_1 为去皮损失; m_1 是试验前荸荠的质量, g; m_2 是试验后荸荠的质量, g。为防止荸荠去皮后水分损失过快, 故去皮后要立即用电子秤称质量。

去净率采用以下公式来计算:

$$y_2 = \frac{s_1 - s_2}{s_1} \times 100\% \quad (2)$$

式(2)中, y_2 是去净率; s_1 为试验前荸荠表皮面积, mm^2 ; s_2 为试验后荸荠表皮面积, mm^2 。

采用拓印法测量去净率, 将试纸覆盖在荸荠表面, 用签字笔在试纸上拓出区域形状和剩余的果皮形状, 再将纸上的图形网格化^[17], 得到面积值, 从而计算出剩余果皮的比例。

2 结果与分析

2.1 荸荠转速对去皮效果的影响

采用长度 14 mm、倾角 77° 的底面斜刀、弦长 22 mm 的侧面圆弧刀进行切削试验, 切削时间为 5 s。改变荸荠的转速, 得到不同转速下的去皮损失率与去净率如图 6 所示。

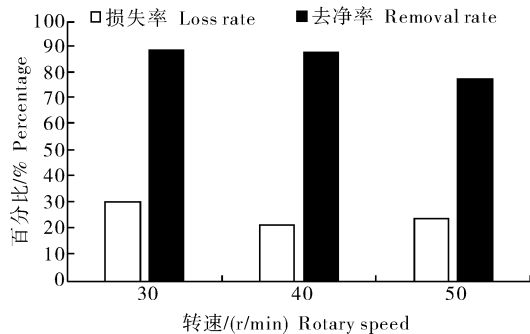


图 6 转速对去皮损失率与去净率的影响

Fig.6 Column diagram of peeling loss and removal rate under different rotary speeds

由图 6 可知, 当荸荠转速较小时, 去皮损失较大, 原因在于, 刀具与荸荠表面的接触时间长, 果皮不易及时排出, 堵塞在荸荠与刀具之间, 增加了摩擦力, 造成荸荠果肉损失。去净率随着转速的增大而降低, 随着转速的增大, 刀具与表皮接触时间减少, 容易出现漏削现象, 去净率下降较快。转速为 40 r/min 与 50 r/min 相比, 前者去净率更高但损失率反而更低, 这是由于转速过高, 增加了刀具对果肉的冲击, 而荸荠脆性较大, 造成果肉崩裂, 损失大。由于转速为 30 和 40 r/min 的去净率差异不大, 而转速为 40 r/min 时去皮损失率最小, 是去皮适宜转速。

2.2 底面斜刀倾角对去皮效果的影响

荸荠转速为 40 r/min, 底面斜刀长度为 14 mm, 试验只布置底面斜刀, 去皮时间为 5 s。改变斜刀倾斜角度, 得到不同倾角下的损失率与去净率如图 7 所示。

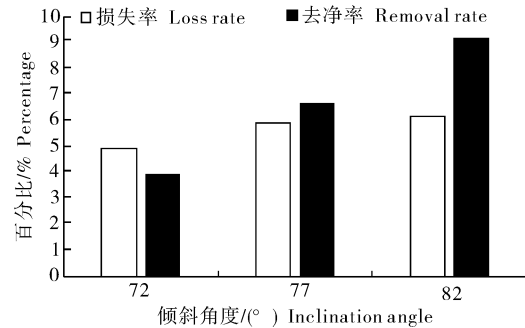


图 7 不同斜刀布置倾角下的去皮损失率和去净率

Fig.7 Column diagram of peeling loss and removal rate under different inclination angles

由图 7 可知, 去皮损失率与去净率均随着斜刀倾角的增大而增大; 倾角 72° 时, 去皮损失较小, 但去净率很低, 原因是角度过小, 刀具与荸荠底部的接触面积变小, 很难削去底面凹陷最低点附近的表皮; 倾角 82° 时, 去皮损失和去净率均最大, 因为倾角越大, 刀具与荸荠接触面积增大, 去皮越多, 损失越大。由于荸荠底部硬度较高, 去皮难度较大, 故选取 82° 倾角。

2.3 底面斜刀长度对去皮效果的影响

以荸荠转速为 40 r/min、底面斜刀布置倾角为 82° 、侧面斜刀弦长为 22 mm 为试验条件, 试验只布置底面斜刀长度, 得到不同斜刀长度下的损失率与去净率如图 8 所示。

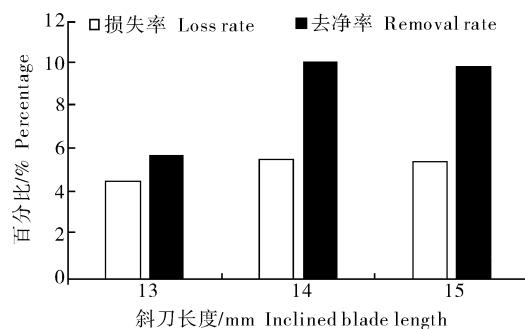


图 8 不同斜刀长度下的去皮损失率和去净率

Fig.8 Column diagram of peeling loss and removal rate under different inclined blade length

由图 8 可见, 随着底面斜刀长度的增加, 去皮损失率和去净率变化差异越来越小。斜刀长度越短,

切削的表皮越少,去皮损失小,去净率低。斜刀长度为14 mm时,去净率最高,损失率与最小值相差不大,是最优去皮斜刀长度。

2.4 侧面圆弧刀弦长对去皮效果的影响

试验时荸荠转速为40 r/min、底面斜刀长度为14 mm。布置倾角为 82° ,单个试验时间为5 s。改变圆弧刀弦长,得到不同圆弧刀弦长条件下的去皮损失率与去净率如图9所示。

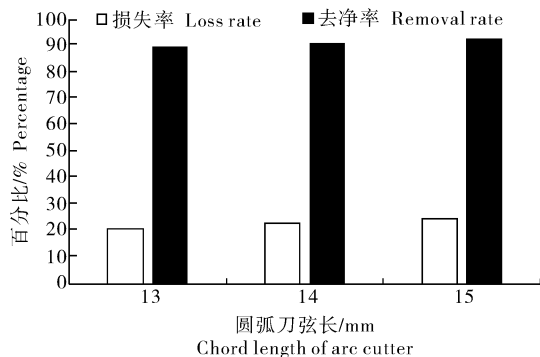


图9 不同弦长圆弧刀对去皮损失率和去净率的影响
Fig.9 Column diagram of peeling loss and removal rate under different chord lengths of the arc blade

由图9可知,去皮损失率与去净率均随侧面圆弧刀弦长的增大而增大,这是由于侧面圆弧刀的弦长越大,刃口弧线越长,刀具与荸荠侧面的接触范围越大,去净率越高,损失率越大。在弦长为22 mm时,去净率达到93%,损失率为24.4%,是适合的侧面圆弧刀参数。

3 讨论

本研究采用平刀去顶芽、斜刀去底部、圆弧刀去侧皮的切削方式设计一种切削式荸荠去皮机,与摩擦式去皮机相比,去净率更高,表面光滑,满足食用需求,且可采用增加去皮单体的方法,提高去皮效率,但该方案采用的是半人工半机械化方式,可增加自动排序功能,提高其自动化水平。

通过对荸荠外形参数的测量与建模,拟合得到荸荠外轮廓曲线,确定了刀具的结构参数范围,试验优化得到的刀具参数,除斜刀倾角,其余参数均接近理论计算值,这表明刀具形状采用果蔬廓线有助于提高去净率。

基于3D打印技术,采用单因素试验,确定了切削速度、底面斜刀倾角与长度、侧面圆弧刀弦长对去皮损失率与去净率的影响,确定了适宜的几何参数与运动参数,在转速为40 r/min、底面斜刀倾角为

82° 、底面斜刀长度为14 mm、侧面圆弧刀弦长为22 mm(直径42.75 mm)的条件下,去净率达到93%,损失率为24.4%,显著优于人工去皮。试验还表明,损失率与去净率是一对相互关联的指标,尽管不同因素对两个指标的影响程度不同,但损失率与去净率均呈现正相关性,即表皮去除越多,去净率越高,损失越大。此外,试验结果显示,荸荠底部去净率仅占整个荸荠去净率的10%,而底部损失率却占整个荸荠损失率的25%,因此,降低荸荠底部去皮损失率是减少损失的重要方面,提高荸荠去净率的关键是提高侧皮去净率。

参考文献 References

- [1] 蒋依辉,彭珊珊,钟云.荸荠的资源开发与综合利用[J].韶关学院学报(自然科学版),2005,26(12):94-97. JIANG N H, PENG S S, ZHONG Y. The exploitation and research actuality of resource of water-chestnut[J]. Journal of Shaoguan University(natural science edition), 2005, 26(12): 94-97 (in Chinese with English abstract).
- [2] 李峰,孙亚林,李明华,等.荸荠种质资源主要农艺经济性状的评估筛选[J].中国蔬菜,2017(4):48-52. LI F, SUN Y L, LI M H, et al. Screening of evaluation on main agronomic and economic characters in Chinese water chestnut germplasm resources[J]. China vegetables, 2017(4): 48-52 (in Chinese with English abstract).
- [3] 欧昆鹏,陈丽娟,郭畅,等.广西荸荠产业现状与发展建议[J].南方农业学报,2013(2):356-359. OU K P, CHEN L J, GUO C, et al. Current status of Guangxi water chestnut industrial development and its developing suggestions[J]. Journal of southern agriculture, 2013, 44(2): 356-359 (in Chinese with English abstract).
- [4] 谢丽萍,李焘,蒋翠文,等.重金属镉、汞、铜和铅在荸荠体内的累积特性研究[J].西南农业学报,2018,31(8):1712-1716. XIE Li P, LI T, JIANG C W, et al. Study on accumulation characteristics of heavy metals of cadmium, mercury, copper and lead in water chestnut[J]. Southwest China journal of agricultural sciences, 2018, 31(8): 1712-1716 (in Chinese with English abstract).
- [5] 陈丽娟,蔡炳华,江文,等.荸荠新品种特征特性及高产高效栽培关键技术[J].长江蔬菜,2011(16):117-119. CHEN L J, CAI B H, JIANG W, et al. Characteristics of new varieties of water chestnut and key cultivation techniques for high yield and high efficiency[J]. Journal of Changjiang vegetables, 2011(16): 117-119 (in Chinese with English abstract).
- [6] MAZLINAM K, ALIAA A R, HIDAVATI H. Design and development of an apparatus for grating and peeling fruits and vegetables[J]. American journal of food technology, 2010(6): 385-393.
- [7] 王丽娟.三种水果罐头原料去皮技术的研究[D].杭州:浙江大

- 学,2017.WANG L J.Study on the peeling technology of the three canned fruits[D].Hangzhou: Zhejiang University, 2017 (in Chinese with English abstract).
- [8] PINHEIRO A L,JACOMINO A P,ARRU M C D,et al.Duration of hydrothermal treatment and peeling of ‘Murcot’ tangor [J].Scientia agricola,2011,68(6):638-642.
- [9] LI X,PAN Z,ATUNGULU G G,et al.Peeling of tomatoes using novel infrared radiation heating technology[J].Innovative food science & emerging technologies,2014,21(4):123-130.
- [10] CHEMAT F,ZILL H,KHAN M.Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction [J].Ultrasonics sonochemistry,2010,18(4):813-835.
- [11] 左志平,左树桦.荸荠去皮机:中国,104473305[P].2015-04-01. ZUO Z P,ZUO S H.Chufa peeler;China,104473305 [P].2015-04-01(in Chinese).
- [12] 苏文孔.荸荠去皮机设计[D].武汉:华中农业大学,2018.SU W K. The design of the water chestnuts peeling machine[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2018 (in Chinese with English abstract).
- [13] 陈志华.一种荸荠上下去皮装置:中国,204579811[P].2015-08-26. CHEN Z H. A peeling device for water chestnut;China, 204579811[P].2015-08-26(in Chinese).
- [14] 刘晓强,甘艳平.一种马蹄去皮机:中国,106418582[P].2017-02-22.LIU X Q,GAN Y P.A horseshoe peeling machine;China,106418582[P].2017-02-22(in Chinese).
- [15] 马丽筠.铣削式荸荠去皮机设计[D].武汉:华中农业大学,2019. MA L J. The design of the water chestnuts peeling machine with the milling method[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University,2019(in Chinese with English abstract).
- [16] 丁年生.一种马蹄去皮机:中国,103202519[P].2013-07-17. DING N S. A horseshoe peeling machine; China, 103202519 [P]. 2013-07-17(in Chinese).
- [17] EMADI B,KOSSE V,YARLAGADDA P.Abrasive peeling of pumpkin[J].Journal of food engineering,2007(79):651-656.

Design and experiment of water chestnut peeler

LIANG Fang^{1,2}, MA Lijun¹, GUO Zhou¹, SU Wenkong¹, ZHANG Guozhong^{1,2}

1.College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2.Key Laboratory of Agricultural Equipment in Mid-Lower Yangtze River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430070, China

Abstract A kind of water chestnut (*Eleocharis dulcis* (Burm. f.) Trin.) peeler using the combined cutting method of flat blade to remove top bud, inclined blade to remove bottom, and arc blade to remove lateral peel was designed to solve the problems of the irregular shape, large peeling loss and uncleanness of water chestnut. By measuring and modeling the shape parameters of water chestnut, the outer contour curve of water chestnut was fitted to determine the range of structural parameters of blades. Based on 3D printing technology, the single factor experiment was used to determine the effects of rotary speed, inclination angle and length of the inclined blade, and chord length of the arc blade on loss rate and removal rate of water chestnut. The structural parameters and motion parameters were optimized. The results showed that the removal rate and the loss rate of the peeler designed was 93% and 24.4% when the rotary speed was 40 r/min, the inclination angle and length of the inclined blade were 82° and 14 mm, and chord length of the arc blade was 22 mm (42.75 mm in diameter), significantly higher than that of manual peeling and mechanical friction peeling.

Keywords water chestnut; milling peeling; combined cutting; semi automatic peeling machine; shape model; loss rate; removal rate

(责任编辑:陆文昌)