

doi:10.3969/j.issn.1673-3142.2021.09.001

柑橘自动剥皮设备划皮机构设计与研究

蔡静^{1,2,3}, 张俊^{1,2,3}

(1. 310021 浙江省 杭州市 浙江省农业科学院食品科学研究所; 2. 310021 浙江省 杭州市 农业部果品采后处理重点实验室;
3. 310021 浙江省 杭州市 浙江省果蔬保鲜与加工技术研究重点实验室)

[摘要] 柑橘自动剥皮设备工作过程分为划皮和剥皮两部分, 针对柑橘划皮效果直接影响剥皮效率的问题, 模拟了柑橘划皮过程, 采用质构仪研究不同划皮刀具, 对不同品种、不同储藏时间的柑橘以及是否进行热烫工艺的柑橘进行划皮力学对比试验, 发现 F 型刀具划皮效果最佳。同时, 设计了一款四爪划皮装置进行柑橘划皮对比试验。最终发现中晚期成熟的新鲜柑橘经过热烫后, 划皮时橘皮外翻效果好, 橘瓣破损率低且橘皮破碎率低, 划皮效果最佳。

[关键词] 柑橘; 划皮; 力学; 机构设计

[中图分类号] S226.4 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1673-3142(2021)09-0001-05

Design and Research on Peeling Mechanism of Automatic Peeling Equipment for Citrus

Cai Jing^{1,2,3}, Zhang Jun^{1,2,3}

(1. Institute of Food Science, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences; 2. Key Laboratory of Post-harvest Processing of Fruits of The Ministry of Agriculture; 3. Key Laboratory of Research on Preservation and Processing Technology of Fruits and Vegetables of Zhejiang Province, Hangzhou City, Zhejiang Province 310021, China)

[Abstract] The operation process of citrus automatic peeling equipment was divided into two parts: cutting and peeling. Aiming at the problem that the peeling effect of citrus directly affected the peeling efficiency, the process of citrus peeling was simulated and the texture analyzer was used to study the peeling mechanics of different kinds of citrus, different storage time and whether the blanching process was carried out during the experiments. It was found that the best peeling effect was the F-type cutter. At the same time, a four-claw peeling device was designed to carry out the comparative experiment of citrus peeling. Finally, it was found that the middle and late mature fresh citrus after blanching had the best peeling effect, low broken rate of citrus petals and low broken rate of citrus peel.

[Key words] citrus; peeling; dynamics; mechanism design

0 引言

我国是全球柑橘罐头最大生产国, 向世界 60 多个国家和地区出口柑橘罐头, 出口总量占世界第一^[1-4]。柑橘罐头加工需要经过剥皮、分瓣、脱囊、灌装等工艺^[5], 传统柑橘剥皮方式依靠人工, 劳动强度大、卫生条件差、难以满足柑橘罐头产业发展需求。随着社会发展, 柑橘罐头加工产业招工难问题越来越突出, 迫切需要提高柑橘加工与生产自动化程度。

欧美国家自 20 世纪 60 年代开始对柑橘划皮和剥皮研究进行了研究, 当时的研究仅针对单个柑橘果实、仿形划皮、剥皮, 设备结构简单, 适

合家庭使用, 难以满足柑橘加工企业大规模生产使用^[6-9]。此后, 日本将柑橘 90 °C 蒸汽软化后研究出连续式柑橘剥皮设备, 该划皮装置在切线方向由固定刀片划开橘皮, 划开橘皮后的柑橘再进行剥皮, 该设备划皮时由于橘子个体差异较大, 容易划破橘肉, 造成机械损伤^[10]。在国内, 周玉林等人根据西班牙的柑橘剥皮设备发明了一款桔子剥皮机, 该机器包括划皮和剥皮两个机构, 可实现大批量桔子剥皮加工, 实现机械化连续生产^[11]。目前, 市场上已经有一些柑橘剥皮设备服务于柑橘加工企业, 设备主要通过高速旋转的刀辊在柑橘外表面划出多道破口, 或者是通过固定滚筒划出表皮破口, 设备划皮随机性较大, 不能保证柑橘划皮成功率^[12-13]; 范登峰等人设计了一款环切柑橘剥皮设备。环切压盘上的尖刺卡住柑橘顶部果皮, 托盘带动柑橘一同旋转运动, 环切刀具固

基金项目: 国家现代农业(柑橘)产业技术体系专项资金资助(CARS-27-06B)

收稿日期: 2020-12-17 修回日期: 2020-12-31

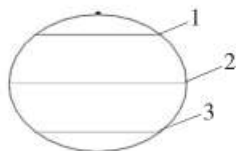
定不动,从柑橘最大果径处进行划皮,划口位置单一,只产生一道划口,能够适应一定高度的柑橘进行环切去皮^[14];张俊等人开发的柑橘剥皮设备划皮机构采用多面体倒齿刀架结构,橘子落在刀架上后,由下压板压住橘子向下运动,刀组刺入橘皮中,并在橘子向下运动时,刀组沿橘球切线方向展开,形成翘皮,目前市场上剥皮设备都参照这种结构^[15]。

目前,柑橘加工产业针对划皮工序,需要解决自动划皮效率高、通用性高、果皮外翻效果好、橘瓣破损率低等问题。本文拟定以划皮力学测试结果为基础,通过不同划皮刀头力学测试结果对比,选定刀头,再通过实际划皮动作,设计柑橘自动剥皮设备划皮装置,并通过样机划皮测试分析划皮效果。

1 力学试验

1.1 划皮原理

针对设计的柑橘自动剥皮设备中固定位置形成破口的划皮机构,参考手工剥皮路径,将完整柑橘分为上颈部、赤道及下尾部3个位置,如图1所示。在柑橘上颈部或者下尾部形成多道破口,通过挤压装置将柑橘自上而下,经过伸缩式结构通过划皮刀具组自由下落,对轧辊设备进行对转拉皮可以将破口处的橘皮顺利拉下,完成自动剥皮动作,柑橘划皮原理如图2所示。



1. 上颈部; 2. 赤道; 3. 下尾部

图1 柑橘划皮位置图

Fig.1 Location diagram of citrus peeling

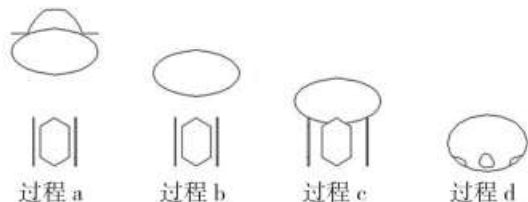


图2 柑橘划皮原理图

Fig.2 Schematic diagram of citrus peeling

1.2 力学试验

1.2.1 仪器与设备

本次力学试验拟定使用质构仪为美国FTC公司的TMS-PRO,最大量程1 000 N,最大行程

300 mm,检测精度0.015%,采用自制刀具作为划皮测试专用夹具,自制刀头外形如图3所示。

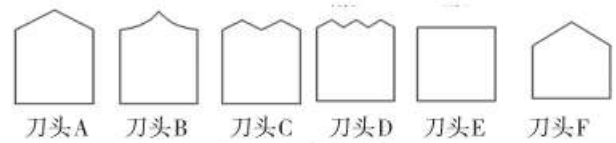


图3 刀头示意图

Fig.3 Knife head diagram

1.2.2 力学测试

设定质构仪工作时试验测试速度60 mm/min,回程速度60 mm/min,起始力0.01 N,测试最大距离40 mm,质构仪如图4所示,下压夹具为自制刀头。



图4 质构仪力学测试

Fig.4 Dynamic testing of texture meter

1.3 试验结果分析

1.3.1 不同刀头对比试验

针对6种不同刀头,从相同热烫时间、热烫温度进行对比试验,热烫时间设定为60 s,热烫温度设定为100 ℃,具体实验结果如图5所示。针对6种不同刀头新鲜柑橘进行力学测试,试验结果如图5所示。

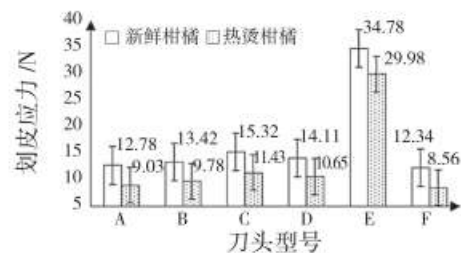


图5 不同刀头划皮试验

Fig.5 Different knife test

通过不同刀头对柑橘进行划皮试验力学性能测试,对比试验结果表明,刀头F的划皮效果最佳,采用刀头F作为设计划皮装置的零件。

1.3.2 未热烫柑橘划皮力学试验

选择2020年8月下旬成熟的温州柑橘,选取早熟、中晚熟新鲜果,储藏果时间设定为3日、7日、

15 日以及 30 日，柑橘果径选择 65~70 mm，果高 80~100 mm。将新鲜未热烫的柑橘静置于质构仪工作台，按照设定参数对柑橘进行划皮力学测试，随机选定其中 6 组试验结果。

未热烫柑橘力学试验表明，未经过热烫的温州蜜橘在自制夹具及质构仪配合作用试验下，柑橘表面形成 4 道较小划口，橘皮内翻，不利于将橘皮顺利拨开，其状态如图 6 所示。由试验结果可知，划皮试验最大作用力 12.36 N。划皮过程中，作用力随着夹具下降距离逐步增加，达到最大作用力后再缓慢递减。下降距离达到 40 mm 后，质构仪夹具返回并远离柑橘表面，作用力逐步消失，完全离开柑橘表面，作用力为零，纵坐标最高点即为最大作用力。根据 6 种刀头试验对比结果分析，刀头 F 为最佳划皮刀具，为划皮刀具组件设计奠定选型基础。



图 6 未热烫柑橘划皮破口图
Fig.6 Peeling and tearing of unheated citrus

针对刀头 F 对不同时期柑橘进行力学测试，试验结果如图 7 所示。

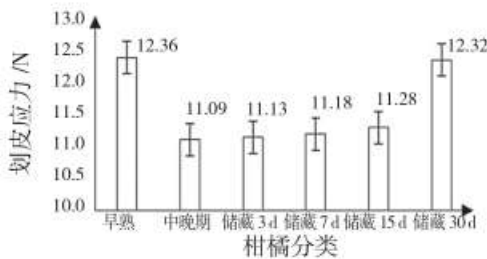


图 7 未热烫柑橘力学试验结果
Fig.7 Dynamic test results of unheated citrus

1.3.3 热烫柑橘划皮力学试验

将新鲜云南蜜橘用沸水热烫 60 s，再放置于质构仪测试平台工作面上进行划皮力学测试，F 刀头试验结果如图 8 所示。

热烫柑橘力学测试结果显示，在质构仪和自制夹具共同作用下，柑橘上颈部表面形成四道均匀划口，破口处橘皮展开面积较大且均匀，柑橘状态如图 9 所示。同时，热烫柑橘在划皮试验中

的最大作用力为 8.61 N，作用力曲线随着质构仪夹具下降距离的增加而逐步增加，到达最高点趋于平稳；质构仪夹具下降到 40 mm 后，返回并远离柑橘表面，作用力逐步降低，完全离开柑橘表面，作用力为零。根据 6 种刀头试验对比结果分析，刀头 F 为最佳划皮刀具，为划皮刀具组件设计奠定选型基础。

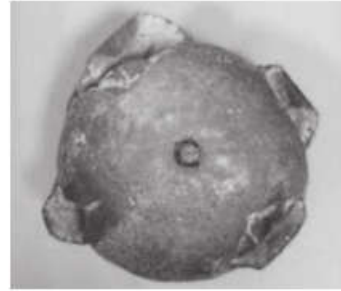


图 8 热烫柑橘划皮破口
Fig.8 Peeling and tearing of heated citrus

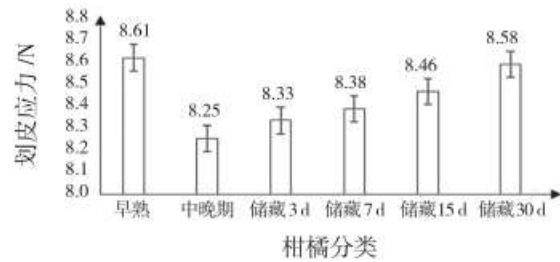
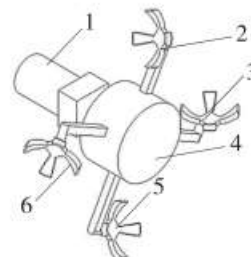


图 9 热烫柑橘力学试验结果
Fig.9 Dynamic test results of heated citrus

1.4 划皮装置设计

1.4.1 按压组件设计

柑橘划皮装置中采用下压式划皮，即通过下压柑橘橘球，通过挤压将柑橘送入划皮装置中进行划皮。通过仿形设计及稳定性需求，将压爪设计为四爪式，每个按压组件均匀分布 4 个压爪，可根据转速进行柑橘按压，辅助划皮装置对柑橘进行划皮动作。按压组件如图 10 所示。

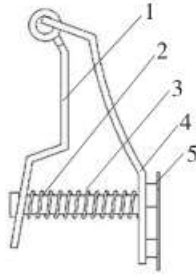


1. 驱动装置 2. 压爪 I 3. 压爪 II 4. 滚筒 5. 压爪 III 6. 压爪 IV

图 10 按压组件
Fig.10 Components for pressing

1.4.2 刀架设计

由于按压作用的柑橘受到刀头挤压会破坏橘肉,故根据挤压作用,将刀架组件设计为可调式,刀柄 I 固定,刀柄 II 处通过沿着导杆的弹簧进行挤压调节柑橘下落范围,其结构如图 11 所示。根据质构仪测试结果,设定压爪按压柑橘力为 100 N,刺穿橘皮时最大作用力为 50 N,果径 60~65 mm,柑橘所受重力约 1 N。



1. 刀柄 I 2. 导杆 3. 弹簧 4. 刀柄 II 5. 刀片

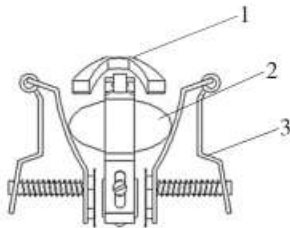
图 11 刀架组件

Fig.11 Tool rest components

设计选择弹簧钢丝直径 $d=0.8$, 弹簧中径 $D=8.5$, 总圈数 $n_1=13$, 有效圈数 $n=10$, 切变模量 $G=7\ 000\ \text{kg/mm}^2$, 弹性模量 E , 刚度 $k=Gd^4/8nD^3$, 节距 $p=1.5$, 工作载荷 $P=76\ \text{Pa}$, 旋绕比 $C=10.63$, 曲度系数 $K=53\ \text{g/mm}$, 则计算得出弹簧最大应力 $T=5.2\ \text{N}$ 。得出的选型弹簧最大应力 5.2 N, 小于质构仪划皮试验中的最小划皮应力 8.61 N, 在该划皮应力作用下, 弹簧可以进行压缩, 满足设计需求。

1.4.3 划皮组件设计

柑橘在划皮装置中主要承受自身重力、压爪的压力、刀头的压力及刀架组件中刀柄处的压力, 组件如图 12 所示。根据受力分析, 刀柄处压力直接影响后续弹簧选型及确保柑橘划皮后能否顺利落下。



1. 压爪 2. 柑橘 3. 刀架

图 12 划皮装置机构简图

Fig.12 Schematic diagram of peeling device mechanism

划皮装置采用 2 组刀具组合划皮的方式, 2 组刀具对称安装, 保持刀头垂直且刀架可调。当柑橘自由落入划皮装置后, 压爪对柑橘进行自上而下的挤压, 柑橘随即沿着刀架落入划皮切入点

处, 柑橘下端接触到刀头后即产生划皮力, 随着压爪继续下压, 刀架上的弹簧收到压力进行压缩, 柑橘随之从压缩后的组合刀架中间落下, 进入拉皮工序, 整个柑橘划皮工序完成作业, 如图 13 所示为柑橘在划皮过程中的动作示意图。

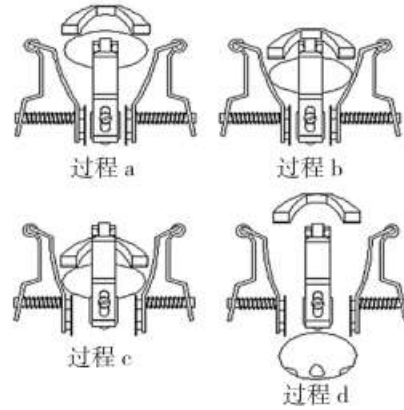


图 13 柑橘划皮动作示意图

Fig.13 Diagram of citrus peeling action

2 试验

2.1 试验方法

本研究设计了一款四爪划皮刀具的安装支座, 4 个划皮刀具分成 2 组, 分别固定安装在同一个安装板上, 安装板固定安装在 L 型抽插支架上, L 型抽插支架通过滑槽安装在支座上。划皮机构如图 14 所示。通过压爪将柑橘匀速垂直下压, 柑橘通过划皮装置上的刀具进行划皮动作, 不断挤压后, 柑橘表面产生 4 道划皮破口, 柑橘自身随着弹簧扩张自由掉落, 完成划皮动作。



图 14 柑橘划皮机构图

Fig.14 Diagram of citrus peeling mechanism

2.2 试验结果

将新鲜未热烫的柑橘随机放置到划皮组件上, 根据划皮动作进行不同成熟期的 4 道划皮破口测试, 具体试验结果如表 1 所示。

将新鲜热烫后的柑橘随机放置到划皮组件上, 根据划皮动作进行不同成熟期的 4 道划皮破口测试, 具体试验结果如表 2 所示。

表 1 未热烫柑橘划皮装置试验结果

Tab.1 Test results of peeling device for unheated citrus

时间	鲜果		储藏果			
	早熟	中晚期	3 日	7 日	15 日	30 日
划皮破口数量 / 个	3 ± 0.32	4 ± 0.37	4 ± 0.29	4 ± 0.32	4 ± 0.30	3 ± 0.29
破口橘皮外翻数量 / 个	3 ± 0.26	4 ± 0.27	4 ± 0.32	4 ± 0.36	4 ± 0.29	3 ± 0.31
划皮橘皮破碎率 / %	34.21 ± 0.42	23.22 ± 0.39	22.43 ± 0.38	26.53 ± 0.37	28.57 ± 0.36	37.06 ± 0.38
橘瓣破损率 / %	20.21 ± 0.33	18.44 ± 0.31	16.78 ± 0.31	17.98 ± 0.36	19.24 ± 0.32	23.46 ± 0.29

表 2 热烫后柑橘划皮装置试验结果

Tab.2 Test results of peeling device for heated citrus

时间	鲜果		储藏果			
	早熟	中晚期	3 日	7 日	15 日	30 日
划皮破口数量 / 个	3 ± 0.12	4 ± 0.33	4 ± 0.21	4 ± 0.22	4 ± 0.16	3 ± 0.17
破口橘皮外翻数量 / 个	4 ± 0.15	4 ± 0.13	4 ± 0.15	3 ± 0.24	3 ± 0.21	3 ± 0.22
划皮橘皮破碎率 / %	12.11 ± 0.32	9.09 ± 0.29	9.18 ± 0.26	10.21 ± 0.33	13.25 ± 0.27	18.79 ± 0.29
橘瓣破损率 / %	14.12 ± 0.22	12.33 ± 0.21	10.12 ± 0.18	11.42 ± 0.19	13.43 ± 0.13	15.68 ± 0.11

结果表明,未热烫新鲜柑橘在划皮机构上的划皮测试结果和力学测试结果基本一致,早熟期新鲜柑橘划皮破口成功率和划皮后橘皮外翻程度略低于中晚期和热烫后的柑橘,且随着柑橘储藏时间的增加,其划皮破口成功率和橘皮外翻程度效果在储藏时间不超过 15 日内变化不显著,储藏期为 30 日的柑橘在试验时橘皮破碎率和橘瓣破损率较高。

2.3 分析

通过力学测试和划皮机构对比试验发现,未热烫早期新鲜柑橘进行划皮试验时,橘瓣破损率略高于中晚期的柑橘,且划皮所需作用力也较大;随着新鲜柑橘储藏时间的增加,储藏时间 15 日内划皮试验对比结果没有明显差异,但是在储藏时间达到 30 日时,划皮效果较差,划皮后的橘皮和橘瓣破损率较高。

3 结语

通过采用质构仪及自制夹具对新鲜柑橘进行划皮力学性能测试,设计一款柑橘自动剥皮设备的四爪划皮机构。经测试,中晚熟新鲜柑橘经过热烫 60 s 后,采用 F 型刀具的划皮机构进行试验,试验结果显示橘皮外翻效果好,橘瓣破损率低且橘皮破碎率低,划皮效果最佳。F 型刀具试验时,储藏果在 3 日储藏时间内时,在进行质构仪划皮力学测试、划皮组件样机试验的结果最佳,随着储藏时间增加,划皮效果逐步变差,储藏时间越久,柑橘划皮破碎率越高,橘瓣破损率越高。

参考文献

- [1] 陈仕倩,赵文红,白卫东.我国柑橘的发展现状与展望[J].农产品加工(学刊),2008(3):21-24+32.
- [2] 程绍南.我国柑橘加工业发展现状及趋势[J].农产品加工,2007(11):15-17.
- [3] 张放.2017 年中国柑桔加工品进口统计分析[J].中国果业信息,2018,35(11):27-39.
- [4] 单杨.我国柑橘工业现状及发展趋势[J].农业工程技术(农产品加工业),2014(4):13-17.
- [5] 方修贵,黄洪舸,曹雪丹,等.柑橘加工常用技术(1)——柑橘果实的加工特性及加工产品[J].浙江柑橘,2018,35(1):37-40.
- [6] Ascari L, Ascari C. Machine for the industrial peeling of citrus fruits: US2004089166[P]. 2004-05-13.
- [7] Gonzalvo J P. Perfected machine for peeling oranges and similar fruits: US5105735[P]. 1992-04-21.
- [8] Pelanar, Sociedad Limitada. Fruit peeler:US Patent EP0350424A2[P]. 1989.
- [9] Clemente D S G. Fruit peeling machine: US5133250[P].1992-07-28.
- [10] 王振亚.基于对辊式剥皮机的柑橘果皮剥离及果肉损伤机理研究[D].武汉:华中农业大学,2016.
- [11] 周玉林,蒋世侠,欧昌豪.一种橘子剥皮机:CN209031153U[P]. 2019-06-28.
- [12] 周玉豪,欧昌豪.橘子自动剥皮装置的划皮机构:CN204444138U, [P]. 2015.
- [13] 陈红,余豹,王振亚,等.宽皮柑橘剥皮机对辊式剥皮装置工艺参数优化[J].农业工程学报,2015,31(4):293-298.
- [14] 范登峰.柑橘剥皮机去顶环切装置设计与试验研究[D].武汉:华中农业大学,2016.
- [15] 张俊,任磊,蔡静,等.一种柑橘自动输送划皮装置及方法:CN110025022A[P].2019-07-19.

作者简介 蔡静(1987-),女,机械工程专业,研究实习员,研究方向:农业智能装备与农业机器人。E-mail: caijing814@126.com