

籽瓜挖瓤机设计与试验*

黄晓鹏¹ 同长虹² 万芳新¹

(1. 甘肃农业大学工学院, 兰州 730070; 2. 兰州城市学院培黎工程技术学院, 兰州 730070)

【摘要】 基于矩形循环图法,设计了一种籽瓜挖瓤机。上瓜机构采用改进的摆动凸轮机构,插瓜架转位机构选择两圆销四槽轮机构,挖瓤刀升降机构选取平底式直动从动件盘形凸轮机构与改进的杠杆传动。以试验机为基础进行籽瓜挖瓤正交试验,确定了适合籽瓜挖瓤的工艺参数:挖刀类型为半圆形挖刀、挖刀转速为 240 r/min、挖刀安装角度为 15°。重复试验表明:该挖瓤机挖净率在 98% 以上,籽粒洁净率在 98% 以上,损失率在 2% 以内,破碎率小于 1%。

关键词: 籽瓜挖瓤机 矩形循环图法 正交试验 设计

中图分类号: S233.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)01-0090-05

Design on Seed Melon Pulp-excavated Machine

Huang Xiaopeng¹ Tong Changhong² Wan Fangxin¹

(1. Engineering College, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

2. Peili College of Engineering & Technology, Lanzhou City University, Lanzhou 730070, China)

Abstract

Based on rectangle circulating chart method, a seed melon pulp-excavated machine was designed. Improved swinging cam was used for feeding melon mechanism, a 2-round pin and 4-grooved wheel mechanism were chosen to realize precise indexing motion of a plug melon saddle, and flat-bottom tappet disc cam mechanism with improved rod gear mechanism was used for lifting tool saddle. The orthogonal experiment was done and the optimum parameters of digging was discovered as follows: the type of digging tool is hemicycle, the speed of digging tool is 240 r/min and the installation angle of digging tool is 15°. Replicated tests showed the cleaning rate is more than 98%, grain seedless rate is more than 98%, loss rate is less than 2% and broken rate is less than 1%, respectively.

Key words Seed melon pulp-excavated machine, Rectangle circulating chart method, Orthogonal experiment, Design

引言

籽瓜除瓜子外,瓜瓤可以制作果脯,瓜汁可制作营养丰富的保健饮料,瓜皮外层的青皮可制药材^[1]。因此对籽瓜的综合加工利用,是一项亟待解决的课题,它将产生巨大的经济效益,并能改善生态环境。

籽瓜的综合加工中,清洗、分级、去皮等工序已有成熟的机械设备,取籽制汁工序也有几种已定型

的加工机械,如北京市食品机械研究所研制的 QZ-1 型西瓜取籽机和浙江金华市农机所研制的 6QZ-20 型西瓜取籽制汁机等。但它们均需用手工挖瓤喂入。钟逸岩^[2]应用共轭切削原理,研制出一种挖瓤机,平均生产率为 6 000 kg/h,为手工挖瓤工效的 1.2 倍。其缺点是设备的体积过大、机构润滑不便,结构不封闭,不符合食品加工的卫生条件,同时传动效率较低,不符合高效节能的要求。

由此可见,挖瓤工序是籽瓜综合加工利用中的

收稿日期: 2010-03-07 修回日期: 2010-03-23

* 甘肃省教育厅基金资助项目(06A010)

作者简介: 黄晓鹏,副教授,博士,主要从事机械装备制造与材料摩擦磨损研究, E-mail: hxpsword@163.com

一个薄弱环节。为此本文通过设计与试验,研制一种籽瓜挖瓢机,以提高生产率,实现生产过程的机械化。

1 总体设计

1.1 工作要求

根据分析研究,籽瓜挖瓢可分为4个过程:上瓜并切为两个半瓜、插瓜架将半瓜转动到挖瓢位置、挖刀旋转实现挖瓢、瓜瓢与瓜皮分离。其机构分别为上瓜机构、插瓜架转位机构、挖瓢刀架升降机构和瓢皮分离装置。

因此,籽瓜挖瓢机含有4个执行机构。其中挖刀的转动由专门电动机驱动,属于独立驱动装置。而上瓜机构、插瓜架转位机构、刀架升降机构属于集中驱动传动系统,这些机构的运动动作顺序及时序有严格的配合协调要求,必须予以综合协调考虑。其特点是:①各执行机构的运动呈现周期性变化,每隔一定时间,其执行机构的位移、速度和加速度便重复一次,完成一个工作循环。②各执行构件的动作必须按时序要求相互协调,才能正常工作。

1.2 结构组成与特点

籽瓜挖瓢机的总体结构如图1所示,主要由上瓜机构、插瓜架转位机构、挖瓢刀升降机构和传动系统组成。

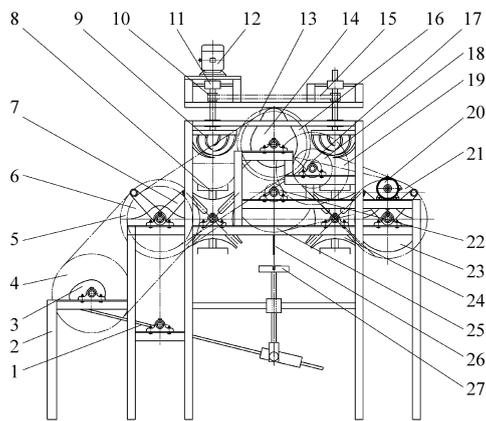


图1 籽瓜挖瓢机结构图

Fig. 1 Sketch of pulp-excavated machine for a seed melon

1. 摆杆 2. 机架 3. 盘形凸轮 4. 带轮 1 5. 带轮 2 6. 带轮 3
7. 两圆销-四槽轮 1 8. 插瓜架 9. 挖刀 10. 挖刀架 11. 凸缘联轴器
12. 电动机 1 13. 齿轮 1 14. 平底式盘形凸轮 15. 齿形带
16. 带轮 4 17. 齿轮 2 18. 带轮 5 19. 带轮 6 20. 电动机 2
21. 带轮 7 22. 齿轮 3 23. 拨盘 24. 两圆销-四槽轮 2
25. 带轮 8 26. 切刀 27. 托架

上瓜机构设计的关键是保证上瓜动作与转位机构协调动作。根据系统运动的总体设计要求,在槽轮转动一周中,要求上瓜2次。因此,上瓜机构采用

改进的摆动凸轮机构。其中,采用杠杆传动对升程 h 放大3倍。

转位机构的功能是转动插瓜架,在转位机构转动时完成插瓜,并夹持籽瓜转动完成切瓜,然后将切完的半籽瓜转位到垂直位置后停留2 s以便挖刀完成挖瓢操作,随后转位到水平偏下位置自动完成瓢皮分离。槽轮机构具有结构简单、实现转位准确可靠的优点,因此,经过与其他机构比较后决定选择两圆销四槽轮机构^[3]。插瓜架越多,挖瓢机的工作效率就越高,根据实际情况,在插瓜轮圆周上可以布置1~4个插瓜架。根据籽瓜的轮廓尺寸并综合挖瓢操作所需的时间等因素,本设计选择两个插瓜架互成180°布置。

从对挖瓢过程的分析可知,完成刀架升降运动的传动机构应该满足:刀架上下往复直线运动;刀架升降装置必须与机器中其他机构的运动时间和动作协调;刀架在最高位和最低位均有一定时间的停歇,即具有确定时间的双停程;上、下行程和停程的总时间受工作效率及总传动装置的制约,转位机构转一周,升降机构完成两次升降。为此,挖瓢刀升降机构选取平底式直动从动件盘形凸轮机构与改进的杠杆传动结合实现上述功能。

1.3 工作过程

如图1所示,籽瓜先由导轨送至上瓜机构的托架27上。电动机20的动力经传动系统传至盘形凸轮3,盘形凸轮带动摆杆1绕凸轮轴摆动。当凸轮3转过推程角时,从动件(托架27)以简谐运动推动瓜上升,完成送瓜过程,而固定在机架2上的切刀26将籽瓜切为两半。与此同时,电动机20的动力经传动系统传至两圆销-四槽轮7和24。当槽轮转动时,插瓜架8带动两个半瓜分别通过两边的两圆销-四槽轮旋转到上方竖直位置,保持水平位置上的两个半瓜间歇静止。此时,挖刀架10在平底盘形凸轮14的带动下(动力由电动机20经传动系统提供)向下运动;而电动机12通过凸缘联轴器11带动挖刀9转动,再通过齿形带带动另一把挖刀转动。当凸轮14转过回程角时刀架在重力作用下使刀架下移,同时挖刀旋转实现同步挖瓢;当凸轮14转过近停程角时,挖刀架10停止在最低点不动(近停程),以保证挖净率。当凸轮转过推程角时又推动挖刀架上升,完成了一次挖瓢操作。同时转位机构的槽轮旋转,将瓜皮与瓜瓢送入分离导轨,进入后续的分离装置。在槽轮转动一周中,上瓜2次,即完成对两个籽瓜的挖瓢操作。

为使各机构同步协调,根据工作过程中的运动要求,制定了籽瓜挖瓢机的运动循环,如表1所示。

表1 矩形循环

Tab.1 Rectangle circulating chart

机构	拨盘转角/rad									
	$0 \sim \frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2} \sim \pi$	$\pi \sim \frac{7}{5}\pi$	$\frac{7}{5}\pi \sim \frac{33}{20}\pi$	$\frac{33}{20}\pi \sim 2\pi$	$0 \sim \frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2} \sim \pi$	$\pi \sim \frac{7}{5}\pi$	$\frac{7}{5}\pi \sim \frac{33}{20}\pi$	$\frac{33}{20}\pi \sim 2\pi$
上瓜机构	推程 上瓜1	回程 (空回)		停止		推程 上瓜1	回程 (空回)		停止	
瓜架转位机构	插瓜 切瓜	转至 正上方		停止		插瓜 切瓜	转至 正上方		停止	
刀架升降机构		停止	推程	远停程	回程		停止	推程	远停程	回程
挖刀		空转		挖瓢 (第一瓜)			空转		挖瓢 (第二瓜)	
时间/s	0~0.50	0.50~1.00	1.00~1.45	1.45~1.70	1.70~2.00	2.00~2.50	2.50~3.00	3.00~3.45	3.45~3.70	3.70~4.00

2 试验研究

2.1 试验方案

试验目的是找到籽瓜挖瓢的最佳工艺参数,即保证籽瓜低破损率、籽瓜挖瓢干净的情况下生产率最高,耗费的能量最少。

为了对籽瓜挖瓢机进行定量的分析研究,本文确定籽瓜试挖瓢试验结果的指标为挖净率,挖净率定义为挖掉的瓜瓢质量占实际的瓜瓢质量的百分比,计算公式为

$$K_j = \frac{G - (G_1 + G_2)}{G - G_1} \times 100\%$$

式中 G ——籽瓜总质量

G_1 ——挖净后的瓜皮质量

G_2 ——残留在瓜皮上的瓜瓢质量

为了使试验的结果具有可比性和可重复性,每次试验的原材料籽瓜预先经过分级处理,尽量使其初始状况基本相同,所以,被挖瓢的籽瓜自身的性质是一个固定的因素。由理论分析可知,影响籽瓜挖瓢效果的因素有凸轮转速、挖刀升降行程、挖刀转速、挖刀形状、挖刀半径、挖刀安装角度等。在挖瓢机构协调设计后,凸轮转速和挖刀升降行程为定值,同时,籽瓜分级处理后,对不同等级的籽瓜配用不同规格的挖刀。鉴于以上的原因,本次试验中影响试验指标的因素是挖刀转速、挖刀类型和挖刀安装角度以及它们之间的交互效应。

试验因素水平如表2所示。

选用 $L_{27}(3^{13})$ 的正交表来安排试验,试验参数条件和试验结果见表3。

2.2 试验数据分析

(1) 数据分析

由极差分析可知, $R = \bar{K}_{\max} - \bar{K}_{\min}$, 故由试验结果分析因素的主次顺序依次为 C 、 A 、 $(A \times C)_2$ 、 $(A \times$

$C)_1$ 、 B 、 $(B \times C)_1$ 、 $(B \times C)_2$ 、 $(A \times B)_1$ 、 $(A \times B)_2$, 根据表中数据初步得出较优水平组合为 $C_3A_2B_3$ 。

表2 因素水平

Tab.2 Factor levels

水平	因素		
	挖刀转速 $A/r \cdot \min^{-1}$	挖刀安装 角度 $B/(^\circ)$	挖刀类型 C
1	200	5	球面挖刀
2	240	10	翼形挖刀
3	280	15	半圆形挖刀

为了得到最优的水平组合,对数据进行方差分析^[4-5],结果如表4所示。

从表4的结果可以看出,因素 C 对试验结果指标的影响是高度显著的,因素 A 和因素 B 和 $(A \times C)$ 对试验结果指标的影响是较显著的,其他因素对试验结果指标的影响相对较小。由于试验结果指标是籽瓜的挖净率,数据越大说明挖瓢的效果越好,通过试验数据分析可知,最好的籽瓜挖瓢参数为 $C_3A_2B_3$,与极差分析结果相一致,即挖刀类型为半圆形挖刀、挖刀转速为 240 r/min、挖刀安装角度为 15° 。可以看出,该水平组合即为试验 18,其挖净率达到了 98.5%。

(2) 验证试验

为了验证该工艺参数的科学性与合理性,选取了上述试验中挖瓢效果较好的试验条件做重复试验。以表3中的试验数据为依据,选取试验号为 9、12、15、17、18、27 的试验条件做多次重复试验。试验结果如表5所示。从表5可知:最好的工艺参数条件是挖刀类型为半圆形挖刀、挖刀转速为 240 r/min、挖刀安装角度为 15° ,与正交试验分析吻合。以此参数进行挖瓢操作,挖净率最高,且籽粒洁净率在 98% 以上,损失率在 2% 以内,破碎率小于 1%。

表 3 正交试验方案和试验数据

Tab.3 Orthogonal experimental scheme and the tested data

试验序号	A	B	(A×B) ₁	(A×B) ₂	C	(A×C) ₁	(A×C) ₂	(B×C) ₁	(B×C) ₂	挖净率/%
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	84.2
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	88.3
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	93.7
4	1	2	2	2	1	1	1	2	3	82.3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	1	92.6
6	1	2	2	2	3	3	3	1	2	94.6
7	1	3	3	3	1	1	1	3	2	89.4
8	1	3	3	3	2	2	2	1	3	91.8
9	1	3	3	3	3	3	3	2	1	97.0
10	2	1	2	3	1	2	3	1	1	98.0
11	2	1	2	3	2	3	1	2	2	90.2
12	2	1	2	3	3	1	2	3	3	94.5
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	96.1
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	91.2
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	96.2
16	2	3	1	2	1	2	3	3	2	96.5
17	2	3	1	2	2	3	1	1	3	93.7
18	2	3	1	2	3	1	2	2	1	98.5
19	3	1	3	2	1	3	2	1	1	91.5
20	3	1	3	2	2	1	3	2	2	91.4
21	3	1	3	2	3	2	1	3	3	94.3
22	3	2	1	3	1	3	2	2	3	85.4
23	3	2	1	3	2	1	3	3	1	89.8
24	3	2	1	3	3	2	1	1	2	95.8
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	92.7
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	95.4
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	97.6
$\overline{K_1}$	90.4	91.8	91.8	92.8	90.7	91.3	91.0	93.5	93.4	
$\overline{K_2}$	95.0	91.6	93.1	92.8	91.6	94.6	92.4	91.9	92.8	
$\overline{K_3}$	92.7	94.7	93.2	92.4	95.8	92.2	94.7	92.7	91.9	
R	4.6	3.1	1.4	0.4	5.1	3.3	3.7	1.6	1.5	

表 4 试验数据方差分析

Tab.4 Variance analysis of tested data

方差来源	离差平方和	自由度	平均离差平方和	F 值	临界值	显著性	优方案
A	93.407	2	46.704	16.795	$F_{0.05}(2,8) = 4.46$		A ₂
B	56.467	2	28.233	10.153	$F_{0.01}(2,8) = 8.65$		B ₃
C	134.183	2	67.092	24.126	$F_{0.05}(4,8) = 3.84$	* *	C ₃
A×B	12.537	4	3.134	1.127	$F_{0.01}(4,8) = 7.01$		
A×C	115.395	4	28.849	10.374			
B×C	21.361	4	5.340	1.920			
误差	22.250	8	2.781				
总和	455.6	26					

表5 验证试验数据
Tab.5 Verifiable testing data

挖刀转速 $A/\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$	挖刀安装 角度 $B/(\circ)$	挖刀 类型 C	挖净率 /%
200	15	半圆形挖刀	96.9
240	5	球面挖刀	97.5
240	10	球面挖刀	95.3
240	10	半圆形挖刀	95.8
240	15	球面挖刀	96.8
240	15	半圆形挖刀	98.3
280	15	半圆形挖刀	97.4

3 结论

(1) 基于矩形循环图法,设计了一种籽瓜挖瓤

机。主要由上瓜机构、插瓜架转位机构、挖瓤刀升降机构和传动系统组成。上瓜机构采用改进的摆动凸轮机构,插瓜架转位机构选择两圆销四槽轮机构,挖瓤刀升降机构选取平底式直动从动件盘形凸轮机构与改进的杠杆传动,很好地实现了在挖瓤操作中的运动协调。

(2) 以挖净率为试验指标,进行了正交试验,确定了籽瓜挖瓤机的最优参数组合为:挖刀类型为半圆形挖刀、挖刀转速为 240 r/min、挖刀安装角度为 15°。重复试验表明:该挖瓤机机挖净率在 98% 以上,籽粒洁净率在 98% 以上,损失率在 2% 以内,破碎率小于 1%。

参 考 文 献

- 赵多勇,李应彪,翟金兰,等. 籽瓜系列产品的开发现状与存在问题[J]. 北方园艺,2008(4):100~102.
Zhao Duoyong, Li Yingbiao, Zhai Jinlan, et al. The present status of research and problems of seed-using watermelon products[J]. Northern Horticulture, 2008(4):100~102. (in Chinese)
- 钟逸岩,杨自萍,孟刚. 籽瓜挖瓤机的研究[J]. 农业工程学报,1993,9(1):57~63.
Zhong Yiyan, Yang Ziping, Meng Gang. A study on the removing pulp machine of seed water melon [J]. Transactions of the CSAE, 1993,9(1):57~63. (in Chinese)
- 同长虹,孟刚,李俊文,等. 籽瓜挖瓤机中插瓜架的转位机构设计[J]. 机械研究与应用,2008,21(4):84~86.
Tong Changhong, Meng Gang, Li Junwen, et al. Indexing mechanism design of the tool saddle in pulp-excavated machine [J]. Mechanical Research & Application, 2008, 21(4):84~86. (in Chinese)
- 陈魁. 试验设计与分析[M]. 北京:清华大学出版社,1996:399.
- 吴贵生. 试验设计与数据处理[M]. 北京:冶金工业出版社,1997:234.

(上接第 15 页)

参 考 文 献

- Lyon D. Knock and cyclic dispersion in a spark ignition engine, petroleum based fuels and automotive applications [C]// Proceedings of IMech E, International Conference on Petroleum Based Fuels and Automotive Applications, 1986, 25~26; 105~116.
- Tong H Y, Hung W T, Cheung C S. Development of a driving cycle for Hong Kong[J]. Atmospheric Environment, 1999, 33(15):2323~2335.
- 陈浩,刘兵,王金华,等. 火花点火发动机燃用天然气掺氢混合燃料循环变动研究[J]. 内燃机学报,2009,27(1):18~24.
Chen Hao, Liu Bing, Wang Jinhua, et al. Study of cycle-by-cycle variations of a spark ignition engine fueled with natural gas/hydrogen blends [J]. Transactions of CSICE, 2009, 27(1):18~24. (in Chinese)
- Rankin D D. Lean combustion [M]. London: Elsevier, 2008.
- Shudo T, Nabetani S, Nakajima Y. Analysis of the degree of constant volume and cooling loss in a spark ignition engine fueled with hydrogen [J]. International Journal of Engine Research, 2001, 2(1):81~92.
- Shudo T. Improving thermal efficiency by reducing cooling losses in hydrogen combustion engines [J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2007, 32(17):4285~4293.
- Hoard J, Rehagen L. Relating subjective idle quality to engine combustion [C]. SAE Paper 970035, 1997.
- Ma F, Wang Y, Liu H, et al. Effects of hydrogen addition on cycle-by-cycle variation in a lean burn natural gas spark-ignition engine [J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2008, 33(2):823~831.
- 汪硕峰,纪常伟,张攀,等. 混氢对稀燃汽油机怠速性能的影响试验[J]. 农业机械学报,2010,41(7):1~5,14.
Wang Shuofeng, Ji Changwei, Zhang Bo, et al. Effect of hydrogen enrichment on the performance of a lean-burn gasoline engine at idle [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(7):1~5,14. (in Chinese)