

荔枝定向去核剥壳机设计与试验^{*}

李长友¹ 马兴灶¹ 程红胜^{1,2} 陈震¹ 卿艳梅¹
(1. 华南农业大学工程学院, 广州 510642; 2. 农业部规划设计研究院, 北京 100125)

摘要: 基于荔枝的物性特征和柔性去核刀具,设计了一种自动定向、去核、剥壳和分离一体联动的荔枝定向去核剥壳机,在不同的工况条件下考证其去核剥壳后果肉的完整率和果汁损失率,结果表明:在定向对辊直径为 72 mm、对辊间隙为 2 mm、转速为 93 r/min、荔枝纵径比等效直径长为 1.3 mm 以上时,定向成功率超过 90%;在刀管内径为 10 mm、果顶余量为 2 mm、刀轴转速为 12 r/min 时,去核成功率为 80%;在进料口间距为 16 mm、出料口间距为 20 mm、剥壳辊倾角为 0°、主轴转速为 15 r/min 时,剥壳成功率为 100%,灯笼状果肉的完好率超过 80%。

关键词: 荔枝 定向 去核 剥壳 设计 试验

中图分类号: S226.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)08-0093-08

引言

荔枝的鲜销期很短,在高温、高湿环境下极易腐烂,采收后及时加工对发展荔枝产业至关重要,而产后加工面临的突出问题之一是缺少适应规模化生产、高效的去核剥壳机械化设备。现有的圆盘式水果脱壳机^[1],脱壳过程中果汁流失严重。采用螺旋槽轧辊差速剪切和冲击破碎外壳分离果肉方法,设计的 6LBT-250 型龙眼鲜果剥壳脱核机^[2],难以得到完整的果肉。有生产应用的荔枝剥壳去核打浆成套设备^[3],其实际工艺过程是采用滚齿夹持剥壳,回转打浆后分离果核的工艺技术,解决了剥壳打浆问题,由于得到的产品是果浆,所以,限制了其应用范围。为了拓展荔枝加工利用途径,探索保持荔枝灯笼状果肉的去核剥壳技术方案,研究人员针对荔枝的物性特征^[4-7]、运动学及机械动力学参数^[8-10],机构优化^[11-12]等进行了较为系统的研究。针对柔性果的破裂特性,破坏力、破坏能、应变量与壳厚、不同压缩位置几何平均径的函数关系^[13],压缩应变特征,固有频率及坚实度模型^[14-16]进行了大量的试验及理论研究。定向、去核、剥壳、分离装置及关键技术也取得了一些研究进展^[17-21],有了荔枝去核剥壳同步完成的一体化机构发明专利^[22-23],但要形成能够产业化应用的成套技术产品,还需要针对荔枝果体的几何特征,完成机械系统的设计和技术方案的可行性评价。为此,本文在现有研究的基础上,设计一种集定向、去核、剥壳和分离一体联动

的荔枝定向去核剥壳机,在不同的工况条件下考证其去核剥壳后果肉的完整率和果汁损失率。

1 荔枝定向去核剥壳机总体设计

设计目标是要获得完整的灯笼状果肉,单台设备能够实现定向、去核、剥壳和分离一体联动,其工艺流程如图 1 所示。

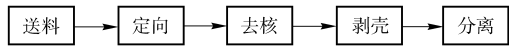


图 1 荔枝去核剥壳工艺流程

Fig. 1 Process of litchi denucleating and decortivating technology

1.1 总体设计

荔枝定向去核剥壳机结构如图 2 所示。主要包括定向送料定位机构、去核机构、剥壳分离机构和驱动机构。送料定位机构设计在上部,去核机构设计在中部,剥壳机构设计在下部。

1.2 设计原理

荔枝定向去核剥壳机的工作原理如图 3 所示。用 1 台电动机,通过凸轮、外槽轮、齿轮、传动链及传动带向各运动组件提供转动和往复运动的动力。送料辊、去核刀、刀轴、剥壳对辊、托辊、拨盘连续转动;由拨盘上的拨销间歇地拨动外槽轮转动,再由外槽轮驱动拨料盘间歇转动。拨盘每转 1 圈,拨动外槽轮旋转 1/4 圈,间歇 3/4 圈;料夹固定在外槽轮上,料夹有 4 个工作位置,依次是取料位、去核位、卸料位和空置位,取料位和卸料位以料盘的盘心为上、下

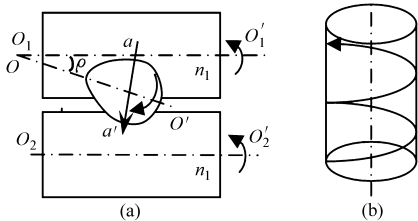


图 5 荔枝定向喂料原理图

Fig.5 Principle of litchi directional feed

一螺旋曲线,如图 5b 所示。由于荔枝径向转动与对辊转动相互抵消,这就使荔枝在对辊表面的实际运动是沿果顶方向旋转、前移,实现了定向喂料。

2.3 定向送料机构设计

定向送料机构如图 6 所示。定向辊为圆柱形对辊并平行安装在机架上,通过齿轮使其作同向转动,直径为荔枝球径的 3~4 倍,两辊之间的安装间隙小于荔枝球径的 1/3,保证荔枝在送料过程中无损伤且在对辊外圆柱面上单颗单列排序。拨料轮的结构如图 7 所示。拨料轮拨齿相间 90°均布,凹槽口径大于荔枝的外接圆直径。拨料轮安装在两定向辊末端荔枝出口处,把排序后的荔枝逐个拨入去核装置,通过外槽轮机构完成间歇传动并实现与去核装置联动。

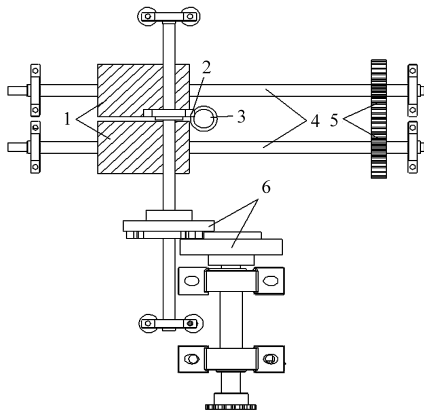


图 6 定向机构

Fig.6 Directional feeding mechanism

1. 送料辊 2. 拨料轮 3. 导管 4. 送料辊轴 5. 传动齿轮 6. 外槽轮机构

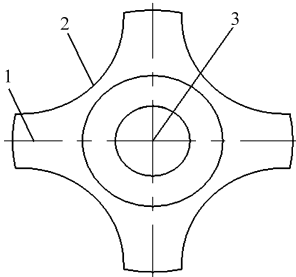


图 7 拨料轮结构图

Fig.7 Structure of sub-materials grasp

1. 拨齿 2. 凹槽 3. 驱动轴

2.4 去核机构设计

2.4.1 柔性去核刀具设计

荔枝的果核通过蒂部的海绵组织与果肉果皮相接,为了获得纯净的灯笼状果肉,去核过程不仅需要切除蒂部的海绵组织,同时刀具还要适应不同大小果核的去核要求,据此,设计了柔性去核刀具如图 8 所示。

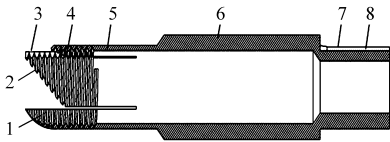


图 8 去核刀结构简图

Fig.8 Structure of denuciating cutter

1. 刀爪 2. 刀刃 3. 刀头 4. 螺牙 5. 切槽 6. 刀身 7. 刀柄 8. 键槽

去核刀主要由刀爪、切槽、刀头、刀身和刀柄组成,切槽位于两个刀爪之间,沿刀刃背部直线延伸至刀身。在进刀过程中,刀刃刀尖切开果皮,随刀爪旋入果体内,并抓取果核。由于刀爪两侧开有切槽,能够根据果核的大小张开并夹持果核,这样不仅适应了不同大小果核的抓取要求,也保证了刀具的抓取力,提高了去核的可靠性。

2.4.2 去核机构设计

去核机构的结构如图 9 所示。主要由去核组件、料盘组件和圆盘外槽轮驱动组件构成。去核刀轴的结构如图 10 所示。刀轴是一个中空的圆柱凸轮轴,沿中心轴线方向加工有通孔,在轴中部外圆柱表面上设计了由左旋和右旋耦合槽与过渡圆弧槽构成的封闭滑槽。机架上的固定拨销的销头嵌在刀轴的封闭滑槽内,刀轴一端通过滑键与锥齿轮联接,另一端与滑动轴承配合,在锥齿轮的驱动下,沿轴线方向做往复滑移和旋转运动。料盘组件由料盘、料夹和顶夹板组成,由外槽轮组件完成间歇传动并实现与定向送料机构和剥壳机构的联动。

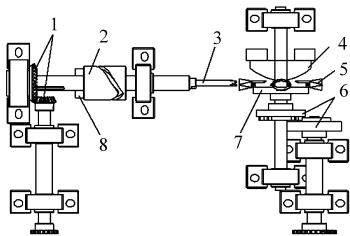


图 9 去核机构

Fig.9 Denuciating mechanism

1. 传动锥齿轮 2. 去核刀轴 3. 去核刀 4. 顶夹板 5. 料夹 6. 外槽轮机构 7. 料盘 8. 拨销

2.4.3 去核原理

去核原理如图 11 所示。外槽轮组件驱动去核刀轴,往复运动 1 次,料盘转动 90°并停留 1/4 周期。

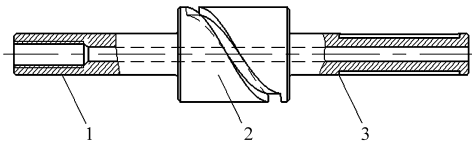


图 10 刀轴结构

Fig. 10 Structure of camshaft

1. 支承轴 2. 圆柱凸轮 3. 滑键槽

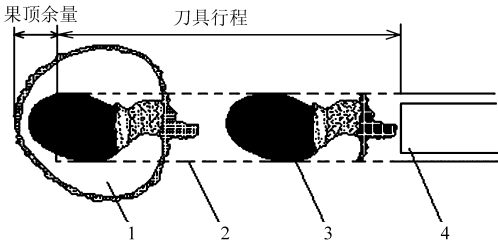


图 11 去核原理图

Fig. 11 Principle of denuculation

1. 荔枝 2. 去核刀 3. 果核 4. 顶杆

进刀过程中,去核刀从荔枝蒂部旋转切入果体,切断果蒂及绵状组织并将果核旋入刀管。退刀过程中,果核随刀具一起向后运动,在退刀行程末端,被顶杆顶出,落入果核收集箱,实现果核与果体分离。

2.5 剥壳机构设计

剥壳机构及原理如图 12 所示。主要由对辊、托辊和进料导槽组成。对辊材料为柔性胶辊,与果皮外表面的平均摩擦因数为 0.65,对辊直径设计为荔枝果体外界圆直径的 2~3 倍,选取对辊安装间隙为 2 mm。

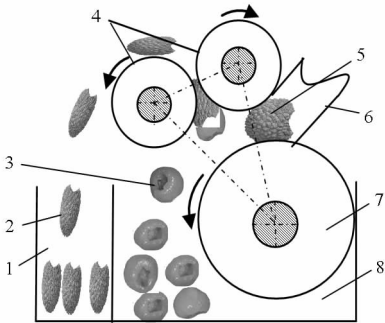


图 12 剥壳机构

Fig. 12 Decortivating mechanism

1. 果壳箱 2. 果壳 3. 果肉 4. 对辊 5. 无核果体 6. 进料导槽 7. 托辊 8. 果肉箱

托辊的作用是在喂料过程中与对辊一起夹持荔枝喂入剥壳对辊之间,直径设计为对辊的 1.3~2 倍,但外缘的线速度与对辊外缘的线速度相同。对辊挤出果肉后,落入托辊表面,随着托辊的转动滑落到果肉箱,完成分送果肉。

3 荔枝去核剥壳样机试验

在图 13 所示的试验样机上,针对定向送料机

构、去核机构、剥壳机构在不同工况参数下,对不同品种的荔枝作业效果试验考证。

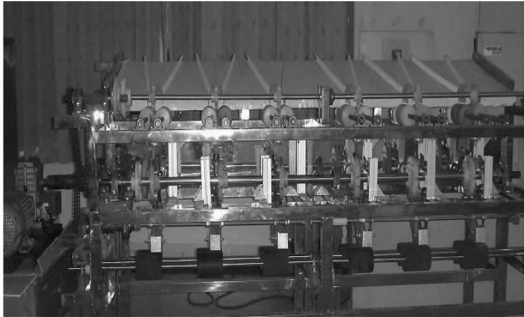


图 13 试验样机

Fig. 13 Test prototype

3.1 定向效果评价试验

试验装置的定向对辊直径为 72 mm,对辊间隙为 2 mm,转速为 93 r/min。荔枝结构特征参数与定向成功率如表 1 所示。

表 1 荔枝结构特征参数与定向成功率

Tab. 1 Structure characteristic parameters and directional success rate of litchi

序号	纵径 d_1/mm	横径 d_2/mm	棱径 d_3/mm	等效直径 d/mm	$d_1 - d$ /mm	定向成 功率/%
1	32.0	33.5	31.6	32.6	-0.6	<10
2	30.3	30.8	31.6	30.8	-0.5	<10
3	32.4	33.8	32.0	32.7	-0.3	<20
4	33.1	32.5	32.0	32.5	0	≤20
5	33.5	32.8	33.4	33.2	0.3	>35
6	33.7	32.4	32.0	32.7	1.0	≥45
7	32.4	31.5	30.4	31.4	1.0	≥45
8	33.1	31.4	31.7	32.1	1.0	≥45
9	33.8	32.0	31.7	32.5	1.3	≥90
10	33.2	31.1	31.3	31.9	1.4	>90

注: $d = \sqrt[3]{d_1 d_2 d_3}$, 纵径 d_1 为果顶到果蒂尺寸,棱径垂直于横径。

由表 1 看出,定向效果明显受荔枝结构特征的影响,实现机械定向的基本物性条件是荔枝的纵径要大于其等效直径,纵径越大机械定向效果越好。纵径与等效直径之差大于 1.3 mm 时,定向成功率达 90% 以上,而当荔枝纵径尺寸与等效径之差为零获负值时,定向效果极差。表明荔枝纵径与等效径之差是影响机械定向成功率的关键参数之一。

3.2 去核效果评价试验

荔枝果核大小,形状差异较大,径向剖面为不规则圆,在此取果核的等效直径为定性尺寸,试验样品的果核等效直径 d_h 为 6.4~14.2 mm。

为评价去核刀管内径、果顶余量、转速对去核效果的影响,按照表 1 中的果核横径、等效直径和刀头

的扩张范围及其扩张过程施加在果核上的抓取力^[4,10],设定的柔性刀管直径,果顶余量及刀轴的实际转速如表 2 所示,每组试验随机抽取 100 颗荔枝,重复 10 次取平均值,选用 L₉(3⁴) 正交表安排试验。

表 2 去核试验因素水平
Tab.2 Experimental scheme of denucleating

水平	因素		
	刀管内径	果顶余量	刀轴转速
	<i>a</i> /mm	<i>b</i> /mm	<i>c</i> /(r·min ⁻¹)
1	8	2	6
2	9	3	9
3	10	4	12

注:果顶余量为去核刀远止点到果顶外缘的距离。

以去核成功率、果肉果汁损失率、果核破碎率为评价指标。

去核试验为多指标正交试验,在此,采用综合加权评分法将 3 个指标的试验结果转换为单一指标,按照该 3 个指标的重要性,设定去核成功率、果肉果汁损失率、果核破碎率的权重分别为 0.7、0.2、0.1。

表 3 去核正交试验结果
Tab.3 Results of orthogonal experiment of denucleating

试验号	因素			指标 y_{ij}^{**}			综合加权
	刀管内径 <i>A</i>	果顶余量 <i>B</i>	刀轴转速 <i>C</i>	去核成功率/%	果肉、果汁损失率/%	果核破碎率/%	评分 y_j^* /%
1	1	1	1	50	9.92	25	29.235
2	1	2	2	55	11.85	20	20.000
3	1	3	3	45	9.18	10	21.566
4	2	1	2	70	8.47	20	64.204
5	2	2	3	65	9.26	15	55.038
6	2	3	1	55	9.45	10	37.276
7	3	1	3	80	8.26	10	97.500
8	3	2	1	85	10.63	10	72.484
9	3	3	2	75	6.99	5	68.485

表 4 去核方差分析结果
Tab.4 Results of analysis of variance of denucleating

方差来源	平方和	自由度	均方和	<i>F</i>	显著性
<i>A</i>	4 686.210	2	2 343.107	909.457	0.001
<i>B</i>	704.373	2	352.187	136.698	0.007
<i>C</i>	208.750	2	104.376	40.513	0.024
误差	5.153	2	2.576		
总和	29 710.990	9			

对综合加权评分结果进行方差分析结果如表 4 所示。由表 4 看出,3 个因素对荔枝去核效果影响程度由大到小的顺序为 *A*、*B*、*C*,即刀管内径对去核效果影响最大,果顶余量次之,刀轴转速影响最小;各组试验去核成功率差异较大,主要原因是各批次荔枝果核尺寸差异较大,果核形态差异也较大。荔枝去核效果最佳的组合方案是:*A*₃*B*₁*C*₃,即在刀管内

并采用式(1)所示的综合加权平均值来评价去核综合效果,即式(1)所示的加权平均值越大,去核时的果肉、果汁损失率及果核破碎率越小,效果越好。

$$\begin{cases} y_{2j}^* = -y_{2j} \\ y_{3j}^* = -y_{3j} \end{cases} \quad (j=1,2,\cdots,9) \quad (1)$$

各指标的同数量级、无量纲的评分值为

$$y_{ij}^{**} = 100 \frac{y_{ij}^* - y_{imin}^*}{y_{imax}^* - y_{imin}^*} \quad (i=1,2,3) \quad (2)$$

式中 y_{ij}^{**} ——第 *i* 个指标第 *j* 号试验的评分值

y_{ij}^* ——第 *i* 个指标第 *j* 号试验的指标值

y_{imax}^* 、 y_{imin}^* ——第 *i* 个指标的最大值和最小值

把各项指标的加权评分相加得到综合加权评分值,即

$$y_j^* = \sum_{i=1}^3 W_i y_{ij}^{**} \quad (j=1,2,\cdots,9) \quad (3)$$

式中 y_j^* ——第 *j* 号试验的综合加权评分值

W_i ——第 *i* 个指标的权值

得到去核正交试验结果如表 3 所示。

径为 10 mm,果顶余量为 2 mm,刀轴转速为 12 r/min 时效果最佳,去核成功率为 80%,表明选择合理的参数能够获得较好的去核效果。

3.3 剥壳效果评价试验

进料口间距、出料口间距、主轴转速及剥壳辊倾角是剥壳试验的主要影响因素,为了确定各影响因素的主次关系,得到最优的因素水平组合。每组试验随机取 100 个试样,选用 L₉(3⁴) 正交表安排试验。以剥壳成功率、果肉果汁损失率和果肉完整性为评价指标^[4]。利用进行剥壳试验,测定去核后的果体在不同条件下的剥壳成功率、果肉果汁损失率和果肉完整性。正交试验的因素与水平如表 5 所示。

根据各项指标的重要性,设定剥壳成功率、果肉果汁损失率、果肉完整性的权重分别为 0.6、0.2、

表 5 剥壳试验因素水平

Tab.5 Experimental scheme of decortication

水平	因素			
	进料口	出料口	剥壳辊	主轴转速
	间距 d/mm	间距 e/mm	倾角 $f/(\text{^\circ})$	$g/(\text{r}\cdot\text{min}^{-1})$
1	16	20	0	9
2	17	21	10	12
3	18	22	20	15

表 6 剥壳正交试验结果

Tab.6 Results of orthogonal experiment of decortication

试验号	因素				指标 y_{ij}^{**}			综合加权
	进料口间距 D	出料口间距 E	剥壳辊倾角 F	主轴转速 G	剥壳成功率/%	果肉果汁损失率/%	果肉完整性/%	评分 $y_j^*/\%$
1	1	1	1	1	100	21.74	0.84	81.17
2	1	2	2	2	95	33.64	0.83	62.67
3	1	3	3	3	80	23.87	0.89	78.49
4	2	1	2	3	90	35.82	0.93	70.09
5	2	2	3	1	85	31.67	0.84	63.62
6	2	3	1	2	30	66.63	1.00	20.00
7	3	1	3	2	75	41.34	0.87	51.37
8	3	2	1	3	50	59.15	0.93	27.47
9	3	3	2	1	60	32.92	0.87	58.34
T_1	222.33	202.63	128.64	203.13				
T_2	153.71	153.76	191.10	134.04				
T_3	137.18	156.83	193.48	176.05				
X_1	74.11	67.54	42.88	67.71				
X_2	51.24	51.25	63.70	44.68				
X_3	45.73	52.27	64.49	58.68				
R	28.38	16.29	21.61	23.03				
较优	D_1	E_1	F_3	G_1				

为验证最佳组合,从正交试验结果中选取最好的组合 $D_1E_1F_1G_1$ 与直观分析最佳组合 $D_1E_1F_3G_1$ 进行比较试验,每组试验选取 100 个荔枝,每个试验重复 3 次取平均值。对比试验结果如表 7 所示。

表 7 2 组合试验验证结果

Tab.7 Verified results of two compounding test

组合	剥壳成功率/%	果肉果汁损失率/%	果肉完整性/%
$D_1E_1F_1G_1$	100	20.32	87
$D_1E_1F_3G_1$	100	22.74	85

从试验结果表 7 中可知,组合 $D_1E_1F_1G_1$ 工艺条件下的剥壳效果优于组合 $D_1E_1F_3G_1$,即在进料口间距为 16 mm,出料口间距为 20 mm,剥壳辊倾角为 0°,主轴转速为 15 r/min 时剥壳效果最佳。

3.4 讨论

不同品种的荔枝果体的几何尺寸差异较大,同品种荔枝的外形特征也存在差异,实现机械自动定向的条件是荔枝的纵径要大于等效直径,且纵径越

0.2。剥壳正交试验结果如表 6 所示。

由表 6 可以看出:①综合剥壳效果最佳组合为 $D_1E_1F_1G_1$,即在进料口间距为 16 mm,出料口间距为 20 mm,剥壳辊倾角为 0°,主轴转速为 5 r/min 时最好。②从单因素看,以 $D_1E_1F_3G_1$ 效果最好。③4 个因素对荔枝剥壳效果影响程度由大到小的顺序为 D 、 G 、 F 、 E ,即进料口间距对剥壳效果影响最大,主轴转速次之,剥壳辊倾角、出料口间距影响最小。

大定向效果越好,所以,荔枝去核剥壳前应按其结构特征进行前期分选处理。影响去核效果的因素很多,除果核自身差异较大外,刀具的结构尺寸和运动参数也有较大的影响,为降低果肉果汁损失率和果壳破碎率,应深一步拓展柔性刀具的适应范围。

在定向对辊直径为 72 mm,对辊间隙 2 mm、转速 93 r/min,荔枝的纵径比等效直径长 1.3 mm 以上时,定向成功率超过 90%;在刀管内径为 10 mm,果顶余量为 2 mm,刀轴转速为 12 r/min 时,去核成功率为 80%;在进料口间距为 16 mm,出料口间距为 20 mm,剥壳辊倾角为 0°,主轴转速为 15 r/min 时,剥壳成功率为 100%,灯笼状果肉的完好率超过 80%。证实了本文提出的设计方案的有效性。

4 结论

(1) 基于荔枝的物性特征,设计了一种集自动调整姿态、定向、去核、剥壳、分离一体联动的荔枝去核剥壳机,实现了利用同一套动力,在同一时刻完成送料、定位、去核、剥壳的全部作业过程。

(2) 在定向对辊直径为 72 mm,对辊间隙 2 mm、转速 93 r/min,荔枝的纵径比等效直径长1.3 mm 以上时,定向成功率达 90% 以上。

(3) 以果核的等效直径为定性尺寸,针对去核机构的正交试验结果表明,在刀管内径为 10 mm,果顶余量为 2 mm,刀轴转速为 12 r/min 时的去核率为 80%。选择合理的操作参数,能够获得较好的去核效果。

(4) 对设计的相向对辊、托辊剥壳装置正交试验的结果显示,在进料口间距为 16 mm,出料口间距为 20 mm,剥壳辊倾角 0°,剥壳对辊间隙 2 mm,主轴转速为 15 r/min 时的剥壳效果较好,剥壳成功率 100%,进料口间距对剥壳效果影响最大,主轴转速次之,剥壳辊倾角、出料口间距影响较小。

参 考 文 献

1 戴晓红.全自动龙眼加工联动线[J].包装与食品机械,1998(1):37-39.
Dai Xiaohong. Linkage for the full-auto longganprocessor [J]. Packaging and Food Machinery, 1998(1):37-39. (in Chinese)

2 李明,邓干然,连文伟,等.龙眼鲜果剥壳脱核机的试验研究[J].农业工程学报,1999,15(2):213-217.
Li Ming, Deng Ganran, Lian Wenwei, et al. Experimental research on decorticating and pitting machine of fresh longan [J]. Transactions of the CSAE,1999,15(2):213-217. (in Chinese)

3 张林泉,龚丽,苏建.荔枝果肉果汁深加工前处理工艺及设备[J].食品与机械,2005,21(2):44-45.
Zhang Linquan, Gong Li, Su Jian. Technology and equipment of pulp and syrup of litchi pretreatment before deep processing [J]. Food & Machinery, 2005,21(2):44-45. (in Chinese)

4 程红胜.荔枝果肉机械剥取机理及关键技术的研究[D].广州:华南农业大学,2010.
Cheng Hongsheng. Study on mechanism of mechanical stripping for litchi pulp [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2010. (in Chinese)

5 陈震.荔枝果肉切离剥取机理及关键技术的研究[D].广州:华南农业大学,2012.
Chen Zhen. Study on mechanism and key technology of litchi flesh stripping based on cutting separation type [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2012. (in Chinese)

6 程红胜,李长友,鲍彦华,等.荔枝果壳摩擦系数测量试验研究[J].延边大学农学报,2009,31(3):209-213.
Cheng Hongsheng, Li Changyou, Bao Yanhua, et al. Research on measurement of litchi shell friction coefficient [J]. Journal of Agricultural Science Yanbian University,2009,31(3):209-213. (in Chinese)

7 徐凤英,陈震,李长友,等.基于果壳孔隙率测定的荔枝干燥仿真[J].农业机械学报,2013,44(11):190-194.
Xu Fengying, Chen Zhen, Li Changyou, et al. Simulation of litchi drying based on its shell porosity determination [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2013,44(11):190-194. (in Chinese)

8 陈震,徐凤英,李长友,等.荔枝力学特性参数测试研究[J].农机化研究,2008(9):127-130.
Chen Zhen, Xu fengyong, Li Changyou, et al. Test on the characteristic parameter of litchi's mechanics [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008(9):127-130. (in Chinese)

9 程红胜,李长友.荔枝果核力学特性分析及试验[J].农机化研究,2009(12):138-140.
Cheng Hongsheng, Li Changyou. Analysis and experimental study on mechanical properties of litchi core [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009(12):138-140. (in Chinese)

10 卿艳梅,曹玉华,李长友,等.龙眼鲜果剥壳力学特性[J].农业工程学报,2010,26(5):122-126.
Qing Yanmei, Cao Yuhua, Li Changyou, et al. Mechanical properties of fresh longan hulling [J]. Transactions of the CSAE,2010,26(5):122-126. (in Chinese)

11 王旭东,李长友,张韶回,等.荔枝去核机的设计[J].农业机械学报,2005,36(1):167-170.
Wang Xudong, Li Changyou, Zhang Shaohui, et al. Design of litchi denucleating machine [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2005,36(1):167-170. (in Chinese)

12 程红胜,李长友,鲍彦华,等.荔枝柔性去核刀具的设计与试验[J].农业工程学报,2010,26(8):123-129.
Cheng Hongsheng, Li Changyou, Bao Yanhua, et al. Design and experiment for flexible cutter of litchi denucleating machine [J]. Transactions of the CSAE,2010,26(8):123-129. (in Chinese)

13 Koyuncu M A, Ekinci K, Savran E. Cracking characteristics of walnut [J]. Biosystems Engineering, 2004, 87(3):39-45.

14 Singh Krishna K, Sreenivasula Reddy B. Post-harvest physico-mechanical properties of orange peel and fruit [J]. Journal of Food Engineering,2006,73(2):112-120.

15 Chen H, De Baerdemaeker J. Finite element based modal analysis of fruit firmness [J]. Transaetions of the ASAE,1993,36(6):1827-1833.

16 Jamal Nourain, Ying Yibin, Wang Jianping, et al. Finite element models of watermelon and their applications [J]. Transactions of the CSAE,2005,21(1):17-22.

17 徐凤英,陈震,李长友,等.荔枝红外干燥均匀性与果壳孔隙分形色变研究[J].农业机械学报,2014,45(1):222-227.
Xu Fengying, Chen Zhen, Li Changyou, et al. Uniformity of moisture content shell pore fractal and discoloration of litchi during infrared drying [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2014,45(1):222-227. (in Chinese)

18 程红胜,李长友,张晓立,等.荔枝去核剥壳机凸轮机构建模及运动仿真[J].山西农业大学学报:自然科学版,2009,29(6):509-524.
Cheng Hongsheng, Li Changyou, Zhang Xiaoli, et al. Modeling and kinematics simulation of cam mechanism in litchi denucleating and decorticating machine [J]. Journal of Shanxi Agricultural University: Natural Science Edition, 2009, 29(6): 509-524. (in Chinese)

19 阳尧端,邓剑锋.苧麻机械剥制试验与工艺参数优化[J].农业工程学报,2009,25(8):93-98.
Yang Yaoduan, Deng Jianfeng. Experiment on ramie peeling machine and process parameters optimization [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(8): 93-98. (in Chinese)

20 曹玉华,李长友,张增学,等.蓖麻蒴果剥壳装置关键部件改进设计与试验[J].农业工程学报,2012,28(18):16-22.
Cao Yuhua, Li Changyou, Zhang Zengxue, et al. Improvement design and test to key components of castor capsule hulling device [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(18): 16-22. (in Chinese)

21 王旭东,朱立学,刘江涛,等.荔枝物理参数和机械特性的试验研究[J].农机化研究,2007(2):132-134.
Wang Xudong, Zhu Lixue, Liu Jiangtao, et al. Experimental research on physical and mechanical property of litchi fruit [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007(2): 132-134. (in Chinese)

22 李长友,陈震,程红胜.荔枝去核剥壳机:中国,ZL 2006101022272[P].2008-04-23.

23 徐凤英,陈震,李长友,等.一种荔枝除核去皮机:中国,ZL 201110309329.2[P].2013-08-28.

Design and Experiment of Litchi Denucleating and Decorticating Machine

Li Changyou¹ Ma Xingzao¹ Cheng Hongsheng^{1,2} Chen Zhen¹ Qing Yanmei¹
(1. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China
2. Chinese Academy of Agricultural Engineering, Beijing 100125, China)

Abstract: In order to obtain the complete lanterns litchi pulp and improve the postpartum processing quality and commodity value of litchi, a kind of litchi denucleating and decorticating machine was designed based on physical characteristics of litchi and flexible denucleating cutter. The machine integrated functions of automatic directing, denucleating and decorticating, as well as separating. The pulp integrity rate and juice loss rate after denucleating and decorticating were investigated under different working conditions. The results showed that the directional success rate was over 90% , while the diameter of directional roller was 72 mm, the gap between roller was 2 mm, and the rotational speed was 93 r/min, as well as the longitudinal diameter was 1.3 mm longer than the equivalent diameter of litchi. When the inner diameter of cutter was 10 mm, the distance between denucleating cutter edge and the top of litchi was 2 mm, and the cutter shaft speed was 12 r/min, the denucleating success rate was 80% . Meanwhile, when the feeding hole spacing was 16 mm, the discharging hole spacing was 20 mm, and the decorticating roller angle was 0°, as well as the spindle speed was 15 r/min, the decorticating success rate was 100% , and the integrity rate of lanterns litchi pulp was more than 80% . The results provided a reference for expanding the processing and utilization way of litchi, and showed that the developed denucleating and decorticating equipment could be industrialized and widespreaded.

Key words: Litchi Directing Denucleating Decorticating Design Experiment