

# 机械去梗对荔枝损伤及保鲜性能影响的研究

王慰祖, 陆华忠, 杨洲, 吕恩利, 范豪杰, 姚佑平

(华南农业大学工程学院, 华南农业大学南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室, 广东广州 510642)

**摘要:** 荔枝在收获季节依赖人工成串采收, 但出口的荔枝要求分成单果, 为了实现成串荔枝的去梗分离, 设计了一种机械式荔枝去梗机, 该去梗机利用梳振法将成串荔枝分成单果。使用当天采购的成串新鲜荔枝, 分别对人工去梗和4种振动频率下的去梗机去梗进行分离效率试验, 试验表明, 振动频率20 Hz时, 机械去梗效果最好, 其去梗效率约为人工去梗的3倍, 破损率低于6%。分别对人工去梗和去梗机去梗得到的荔枝果实进行损伤测试和贮藏保鲜试验, 试验表明, 机械去梗果实的弹性模量未出现明显变化, 即分离过程中机器对果实造成的机械损伤不明显, 人工去梗和20 Hz机械去梗得到的果实在保鲜过程中, 褐变指数、失重率、可溶性固形物含量等参数在大部分节点差异无显著差异性, 所以机械去梗对果实的保鲜性能影响较小。

**关键词:** 荔枝; 机械去梗; 效率; 振动频率; 弹性模量; 保鲜

文章编号: 1673-9078(2014)4-171-175

## Effects of Mechanical Stemming on Litchi Damage and Preservation Performance

WANG Wei-zu, LU Hua-zhong, YANG Zhou, LV En-li, FAN Hao-jie, YAO You-ping

(College of Engineering, South China Agricultural University, Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** Litchis are harvested by hands in bunches during harvesting seasons. However, litchis for exportation are required to be separated. In order to realize the separation of litchi bunches, a mechanical litchi stemming machine was designed, in which a combing vibration method was used. Fresh litchi bunches were purchased and on the same day, separation efficiency tests were carried out respectively by hand stemming and machine stemming under four vibration frequencies. The results showed that 20 Hz was the best vibration frequency for mechanical stemming, and the separation efficiency was about 3 times more than that of hand stemming. The damage rate of the fruits was less than 6%. The mechanical damage tests and the storage tests were conducted with the litchis separated by hands and machine. The modulus of elasticity was measured and showed no change after the fruits were separated by the machine, which indicated that no serious mechanical damage was caused by the machine during the separation process. During the preservation process, the browning index, weight loss rate and soluble solid content of litchis separated by hands and machine under the frequency of 20 Hz showed no significant difference, indicating mechanical stemming had no significant influence on the preservation of the litchis.

**Key words:** litchi; stemming machine; efficiency; vibrational frequencies; modulus of elasticity; preservation

荔枝是岭南地区的重要特色水果之一, 近年来, 随着荔枝产业的蓬勃发展, 荔枝的出口量显著增加<sup>[1-2]</sup>。然而, 我国的荔枝产业机械化程度较低, 采收几乎完全依赖人工<sup>[3]</sup>, 采收的荔枝多成串状, 而出口的

收稿日期: 2013-12-10

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项 (nycytx-32); 广东省现代农业产业技术体系建设专项 (粤财教[2009]356号); 广东省高等学校高层次人才项目 (粤财教[2011]431号)

作者简介: 王慰祖 (1979-), 男, 博士, 副教授, 主要从事果园机械的设计与相关理论研究

通讯作者: 陆华忠 (1963-), 男, 教授, 博导, 主要从事果园机械和果蔬保鲜等领域的研究

荔枝要求将荔枝分离为单果并进行包装, 这种精细包装方式也是今后高品质荔枝进入国内高端水果市场的必要条件。利用人工将成串荔枝分离成单果, 效率较慢, 在收获季节用工量很大, 这也成为了制约荔枝鲜果出口的原因之一。所以, 有必要设计一种机械式去梗机代替人工进行荔枝分离, 从而提高分离效率, 节约用工量。

研究表明, 振动法可以用于分离果实, 并已广泛用于各类水果的收获。Erdogan等<sup>[4]</sup>利用一种树干振动式收获机对杏子的机械采收进行研究, 证明振动方式可以用于杏子和树枝的分离。Sessiz等人<sup>[5]</sup>研究了气动树枝振动收获机对橄榄的收获情况, 通过试验分析振

动频率和振动时间对采净率的影响。Du 等<sup>[6]</sup>在试验台上对樱桃进行振动分离试验,表明树体的结构、分支等因素会影响振动能量的传递。Torregrosa 等<sup>[7]</sup>利用手持式振动采收机和拖拉机带动采收机对柑橘进行收获,研究频率和振动时间对采净率及果实脱落部位的影响。Savary 等<sup>[8]</sup>研究了一种树冠振动式柑橘收获机的采收过程,测试树冠部分的力分布情况,研究发现振动收获机分离果实时施加的平均力只有脱果力的18%,因为振动对果实不仅施加拉力,同时还施加弯曲和扭转力矩。因此,振动法仍是将果实与树枝分离的最有效方法。为了保持果实的完整度,研究者<sup>[4, 9]</sup>也开始注意对分离果实的受损度及落地时撞击力的影响。

基于振动分离原理,本文提出一种振动式荔枝去梗机<sup>[10]</sup>,该去梗机利用振动手的高频振动,将成串荔枝分离为单果,通过试验对比研究了人工分离和机械分离的分离效率,并研究去梗机对果实的损伤程度及对果实后续冷藏保鲜性能的影响。

### 1 荔枝去梗机结构

荔枝去梗机主要由去梗部分、传送部分、支架3部分组成。去梗部分主要由大电机、偏心轮机构、去梗台和振动手等组成;传送部分主要由小电机、传送台、传送带、带轮机构、导流壳等组成。荔枝去梗机的整体结构如图1所示<sup>[10]</sup>。

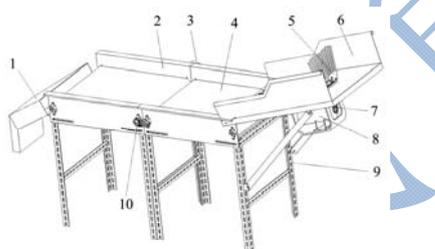


图1 荔枝去梗机结构图

Fig.1 Structure of litchi stemming machine

注: 1.导流壳, 2.传送台, 3.小电机, 4.传动带, 5.振动手, 6.去梗台, 7.偏心轮机构, 8.大电机, 9.支架, 10.带轮机构

荔枝去梗机工作时,大电机带动传动机构实现两个振动手的往复振动,操作者握住一串荔枝的树枝端部,将其果梗部分置于振动手的指杆间隙内,并向后施加一定拉力,荔枝在振动手的作用下在果蒂处断开并与树枝产生分离,分离的荔枝滚落到传送带上,传送带在小电机的带动下向前传动,并将荔枝从导流壳引导到放置于下方的收集箱内。通过调节大电机转速可以调节振动手的振动频率。

### 2 材料与方法

#### 2.1 原料

试验原料为双肩玉荷包和糯米糍两个品种的荔枝,从果园购买手工采收的成串荔枝并在当天进行去梗试验。要求试验前的荔枝未受机械损伤,无病虫害和褐变现象。

#### 2.2 脱果力测量

使用 HP-50 数字测力计(精度: 0.1 N)测量荔枝的脱果力。每组取 20 颗荔枝进行测量,取平均值为最后结果。

#### 2.3 荔枝去梗试验

分别使用人工和荔枝去梗机进行荔枝分离试验,试验时,去梗机振动手的振动频率分别设置为 15 Hz、16.7 Hz、20 Hz 和 23.3 Hz;每次试验时间为 2 min,用电子称测量分离出的荔枝单果的总质量,并计算出去梗效率;数出果实的总数量和表皮破损果实的数量,则破损率可按下式计算:

$$\text{破损率} = \frac{\text{破损果实数}}{\text{总果实数}} \times 100\% \quad (1)$$

每组试验进行三次,取三次的平均值为最后结果。

#### 2.4 荔枝弹性模量测试

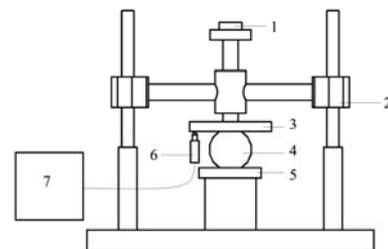


图2 弹性模量测试仪结构图

Fig.2 The modulus of elasticity tester

注: 1.负载, 2.滑块, 3.压盘, 4.荔枝, 5.支撑板, 6.位移传感器, 7.数据采集仪。

水果的弹性模量可以反映水果的机械损伤程度<sup>[4, 11]</sup>,使用自制的弹性模量测试仪测量荔枝的弹性模量,所用仪器结构图如图2所示,荔枝果实负载的作用下会发生变形,用 MA-1 型位移传感器(分辨率: 0.1 μm)可以精确测量水果受压时的变形量,则荔枝的弹性模量可以用下式表示:

$$E = \frac{0.75F(1-\mu^2)}{\delta^{3/2}\sqrt{R}} \quad (2)$$

式中, E-弹性模量, N/mm<sup>2</sup>; F-施加于果实的外力, N; μ-泊松比; δ-受载后果实变形量, mm; R-果实的半径, mm。

弹性模量在去梗试验后立刻进行, 分别取手工去梗和 16.7 Hz、20 Hz 两种振动频率时去梗机去梗得到的荔枝各 20 颗进行测试, 取平均值为最终结果。在支撑板上放置荔枝时, 总是让荔枝的果蒂部分处于水平位置。

### 2.5 荔枝的保鲜试验

去梗试验后, 将人工分离荔枝和振动手频率为 20 Hz 时机械分离得到的完好荔枝分组置于冰箱的冷藏箱中保存, 保存温度约为 6 °C。每过 48 h 取各组荔枝 15 个进行生理指标测试, 测试项目包括褐变指数、失重率和可溶性固形物含量。

采用目测法测量果实的褐变情况并进行分级。1 级果: 未发生褐变或褐变面积小于表面总面积的 1/4; 2 级果: 褐变面积为表面总面积的 1/4 至 1/2; 3 级果: 褐变面积为表面总面积的 1/2 至 3/4; 4 级果: 褐变面积大于表面总面积的 3/4; 5 级果: 完全褐变并出现腐烂。褐变指数可按下式计算<sup>[12-13]</sup>:

$$\text{褐变指数} = \frac{\sum_{i=1}^5 \text{褐变级数} \times \text{该级果数}}{\text{总果数}} \quad (3)$$

用 ALC-210.3 电子天平(精度: 1 mg)测量果实的质量, 则失重率可以按下式计算<sup>[12-13]</sup>, 并取平均值为最后结果:

$$\text{失重率} = \frac{\text{质量变化}}{\text{原质量}} \times 100\% \quad (4)$$

可溶性固形物含量利用 RHB32 折射仪直接进行测量<sup>[12-13]</sup>, 取平均值为最后结果。

### 2.6 数据分析

试验数据用 SPSS 19 进行数据处理并进行差异显著性分析 (P<0.05), 采用 Origin 8.5 绘制图表。

## 3 结果与分析

### 3.1 去梗机去梗原理

荔枝果实与树枝的连接处有明显的结合部分, 如图 3 所示。根据荔枝的脱果力测量试验结果, 如果对成熟的荔枝果实施加沿着树枝方向的拉力  $F_1$  直到果实脱离, 平均需要 19.82 N 的拉力, 这种分离方式有 24.2% 的概率会破坏荔枝表皮; 如果对果实施加力  $F_2$ , 则平均需要 3.46 N 的力即可让果实从果蒂部分断开, 这种分离方式不会破坏荔枝的表皮。果实在振动激励的作用下, 会产生各个方向的摆动<sup>[14]</sup>, 从而也能让荔枝果实具有与  $F_2$  同向的惯性力, 所以, 当荔枝果实获得的振动响应强度足够时, 果实就会从果蒂处断开,

并且保持完整。

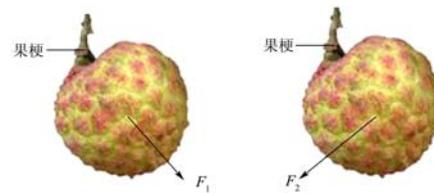


图 3 施加不同力让荔枝分离

Fig.3 Separation of the litchi fruit with different forces

### 3.2 果实出现破损的原因分析



图 4 去梗机分离的荔枝好果和坏果

Fig.4 Good fruits and damaged fruits separated by the stemming machine

去梗机通过高频振动使荔枝果实具有惯性力, 并在果蒂处最薄弱处折断, 如果振动频率不够, 有可能出现果皮被拉裂的情况, 此外, 振动手直接击中果实也可能出现损伤。图 4 显示的是好果与破损果的对比图。图中, 1 是完好的果实, 在后文中称为好果, 2 和 3 是果蒂或者部分果皮被拉裂的果实, 4 是振动手直接击中果实造成果皮开裂的果实, 在后文中 2、3、4 类型的果实都称为破损果。

### 3.3 去梗效率与破损率

表 1 不同分离方式的参数对比

Table 1 Comparison of separation parameters by different methods

分离方式	分离效率/(kg/min)		总破损率/%	
	平均值	标准差	平均值	标准差
人工分离	0.55 <sup>a</sup>	0.01	0 <sup>a</sup>	0
	0.98 <sup>b</sup>	0.021	23.80 <sup>b</sup>	4.25
去梗机分离	1.46 <sup>c</sup>	0.028	8.14 <sup>c</sup>	0.88
	1.61 <sup>d</sup>	0.019	5.71 <sup>c</sup>	0.74
	1.56 <sup>e</sup>	0.023	6.32 <sup>c</sup>	1.21

人工去梗和 4 种振动手振动频率下荔枝去梗机去梗的去梗效率与总破损率的对比如表 1 所示。可以看出, 去梗机振动手的振动频率会显著影响去梗机的分离效率和破损率, 当振动频率从 15 Hz 提升到 16.7 Hz 时, 分离效率从 0.98 kg/min 提高到 1.46 kg/min, 总破损率从 23.80% 提高到 8.14%, 二者都差异显著; 当振

动频率从 16.7 Hz 增加到 20 Hz 时, 分离效率显著提高, 平均总破损率减少但差异无显著性, 当振动频率继续增加到 23.3 Hz 时, 分离效率显著降低, 平均破损率增加但差异无显著性。

表 2 破损果各种类型出现比率对比

Table 2 Probability of occurrence of different kinds of damage

fruits		
振动频率/Hz	类型 2 和 3 比率/%	类型 4 比率/%
15	23.8 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
16.7	7.75 <sup>b</sup>	0.39 <sup>b</sup>
20	3.81 <sup>c</sup>	1.90 <sup>c</sup>
23.3	3.69 <sup>c</sup>	2.63 <sup>c</sup>

表 2 给出了不同类型破损果占总分离果实的比率, 可以看出, 在破损果中, 类型 2 和 3 出现的概率最高, 而振动频率是影响其出现几率的主要原因, 振动频率较低时, 其出现几率显著提高, 当振动频率增大到 20 Hz 以后, 其出现几率较低并且差异无显著性。类型 4 产生的原因主要是操作人员操作不当, 使得振动手指直接撞击果实造成损伤, 表 2 显示在频率较低时, 类型 4 出现几率很低, 当振动频率增大到 20 Hz 时, 其出现几率显著上升, 振动频率进一步上升到 23.3 Hz 时, 其出现几率略有调高但差异不显著, 这说明频率高会在一定程度上妨碍操作人员的操作。

综合试验结果可以看出, 振动手的振动频率为 20 Hz 左右时, 分离效率最高, 破损率最低, 其分离效率约为人工分离的 3 倍, 总破损率为 5.71%。

### 3.4 去梗单果的弹性模量

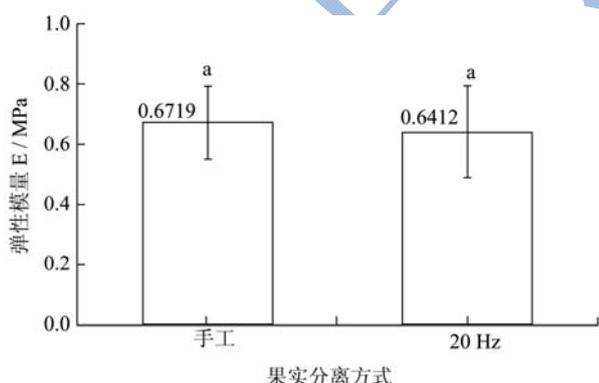


图 5 三种分离条件下的荔枝果实弹性模量

Fig.5 The modulus of elasticity under three different separation conditions

利用去梗机进行荔枝单果分离的过程中, 果实与果实之间、果实与树枝之间都难免会出现碰撞, 这些碰撞有可能对荔枝果实造成机械损伤, 从而影响荔枝的贮藏和保鲜。轻微的机械损伤从外观上难以区分, 研究表明, 通过测量果实的弹性模量可以定量反映果

实机械损伤的程度<sup>[4, 11]</sup>。

图 5 给出了手工分离和振动频率为 20 Hz 的机械分离两种分离方式下得到的糯米糍荔枝果实的弹性模量, 测试对象仅为好果。结果表明, 手工分离的果实弹性模量达到 0.6719 MPa, 振动频率 20 Hz 机械分离得到果实的弹性模量为 0.6412 MPa, 手工分离的果实的平均弹性模量略高, 但差异显著性分析结果表明二者差异不显著, 所以去梗机在分离过程中虽然造成了果实的碰撞, 但对弹性模量并未造成显著影响, 也即对果实造成明的机械损伤不明显。

### 3.5 荔枝保鲜的生理指标

褐变速度是荔枝保鲜的重要指标之一, 图 6 所示为两种分离条件下褐变指数随贮藏天数的变化图, 随着贮藏天数的增加, 褐变指数逐渐增加, 手工分离组的褐变指数和去梗机分离组的褐变指数基本同步。差异显著性分析结果显示, 在贮藏天数为 6 d 时, 两种分离方式得到果实的褐变指数有差异, 而在其它时间节点都未见显著差异。所以, 去梗机分离荔枝对荔枝贮藏时的褐变有一定影响, 结合图 5 可以看出, 机械分离造成的弹性模量的轻微降低可能是产生这种影响的原因。但总体来说, 去梗机分离对褐变指数的变化影响不大。

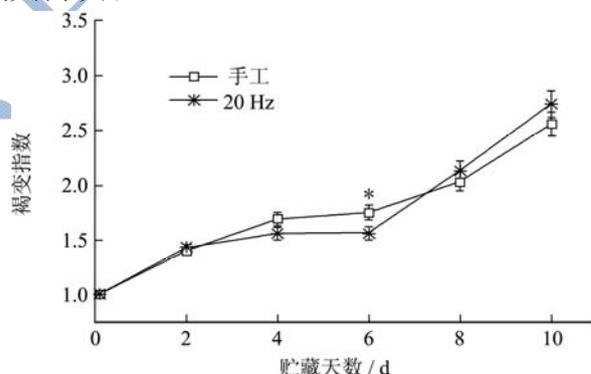


图 6 褐变指数随贮藏天数的变化

Fig.6 The effects of storage time on browning index of litchi

荔枝在贮藏过程中会由于失水等原因造成质量减少, 所以失重率可以从侧面反映荔枝的保鲜状况<sup>[16-18]</sup>。图 7 所示为两种分离条件下得到的荔枝果实的失重率随贮藏天数的变化图, 可以看出, 失重率随着时间的推移逐渐增加, 但两组的失重率变化趋势基本一致, 差异显著性分析结果表明, 在每个节点处, 两组的差异都无显著性。因此, 可以认为, 去梗机去梗对荔枝保鲜过程中的失重率没有影响。

可溶性固形物的含量可以直接反映糖的含量, 影响果实的风味和口感<sup>[12]</sup>, 图 8 所示为可溶性固形物含量随贮藏天数的变化曲线, 数据表明, 可溶性固形物

在储存期间,数值保持在 16.5%到 18.2%之间,趋势上都是在贮藏的第 6 d 达到最高,然后开始下降。差异显著性分析结果显示,在贮藏到第 4 d 时,两种分离方式得到果实的固形物含量有显著差异,而其它时间节点处的固形物含量差异都不显著,这说明去梗机的分离方式对荔枝的可溶性固形物含量的变化产生了一定影响,这种影响可能是机械分离使果实的果肉结构产生变化的结果。从长时间来看,机械分离没有加速荔枝在保鲜过程中可溶性固形物含量的流失。

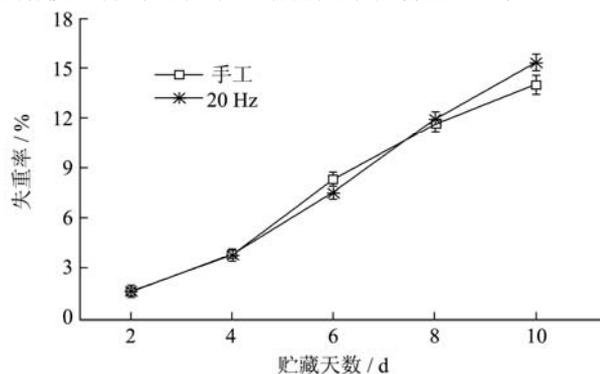


图 7 失重率随贮藏天数的变化

Fig.7 The effects of storage time on weight loss rate

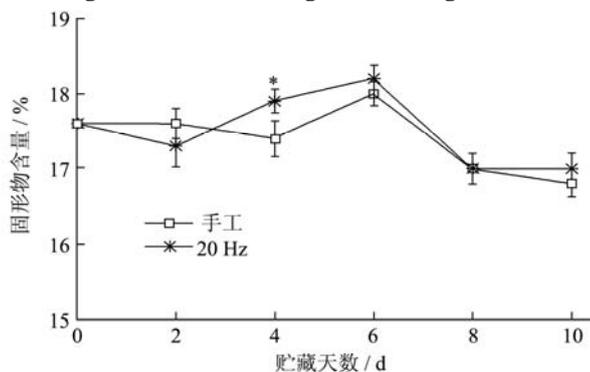


图 8 可溶性固形物含量随贮藏天数的变化

Fig.8 The effects of storage time on soluble solid content

## 4 结论

4.1 荔枝去梗机的去梗效率和破损率跟振动手的振动频率有密切关系,当振动频率在 20 Hz 左右时,去梗效率较高且破损率较低,此时的去梗效率约为人工去梗效率的 3 倍,破损率低于 6%。

4.2 荔枝去梗机分离荔枝比照人工分离荔枝,二者的弹性模量差异不显著,说明荔枝去梗机在分离荔枝时未对荔枝果实造成严重的机械损伤。

4.3 荔枝去梗机分离的荔枝在保鲜过程中,褐变指数、失重率和可溶性固形物含量等指标同人工分离荔枝的相比,在大部分时间点差异未见显著性,说明荔枝去梗机分离荔枝对荔枝的保鲜性能影响较小。

## 参考文献

- [1] 叶延琼,章家恩,吕建秋,等.广东省荔枝产业发展现状与对策分析[J].中国农学通报,2011,27(3):481-487  
YE Yan-qiong, ZHANG Jia-en, LV Jian-qiu, et al. Analysis on the Development Status and Countermeasures of Lychee Industry in Guangdong Province [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(3): 481-487
- [2] 庄丽娟.中国荔枝出口贸易现状与发展对策[J].中国热带农业,2010,1:47-50  
ZHUANG Li-juan. Current Status and Development strategies of Chinese Litchi export trade [J]. Chinese Tropical Agriculture, 2010, 1: 47-50
- [3] 王慰祖,陆华忠,杨洲,等.荔枝龙眼园机械化现状调查分析[J].农机化研究,2012,3:237-241  
WANG Wei-zu, LU Hua-zhong, YANG Zhou, et al. Investigation and Analysis on Mechanization Status of Litchi and Longan Orchards [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012, 3: 237-241
- [4] Erdogan D, Guner M, Dursun E, et al. Mechanical Harvesting of Apricots [J]. Biosystems Engineering, 2003, 85 (1): 19-28
- [5] Sessiz A, Ozcan M T. Olive Removal with Pneumatic Branch Shaker and Abscission Chemical [J]. Journal of Food Engineering, 2006, 76: 148-153
- [6] Du X Q, Chen D, Zhang Q, et al. Dynamic Responses of Sweet Cherry Trees under Vibratory Excitations [J]. Biosystems Engineering, 2012, 111(3): 305-314
- [7] Torregrosa A, Orti E, Martin B, et al. Mechanical harvesting of oranges and mandarins in Spain [J]. Biosystems Engineering, 2009, 104: 18-24
- [8] Udumala Savarya S K J, Ehsania R, Salyania M, et al. Study of Force Distribution in the Citrus Tree Canopy During Harvest Using a Continuous Canopy Shaker [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2011, 76: 51-58
- [9] Ortiz C, Blasco J, Balasch S, et al. Shock Absorbing Durfaces for Collecting Fruit During the Mechanical Harvesting of Citrus [J]. Biosystems engineering, 2011, 110: 2-9
- [10] 陆华忠,王慰祖,杨洲,等.一种荔枝龙眼去梗机:中国, 201210254859.6[P] 2012-10-31  
LU Hua-zhong, WANG Wei-zu, YANG Zhou, et al. Stemming machine for litchi and longan: China, 201210254859.6[P] 2012-10-31
- [11] Horsfield B C, Fridley R B, Claypool L L. Application of Theory of Elasticity to the Design of Fruit Harvesting and

- Handling Equipment for Minimum Bruising [J]. Transactions of the ASAE, 1972, 15(4): 746-750
- [12] Zheng X, Tian S. Effect of oxalic acid on control of postharvest browning of litchi fruit [J]. Food Chemical, 2006, 96: 519-523
- [13] Gustavo M C, Clara P Z, Laura J P F, et al. Postharvest litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) quality preservation by *Lactobacillus plantarum* [J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 59: 172-178
- [14] Upadhyaya S K, Cooke J R, Rand R H. Limb Impact Harvesting, Part I: Finite Element Analysis [J]. Transactions of the ASAE, 1981, 24(4): 856-863

现代食品科技