

黄花梨的撞击力学特性研究

王剑平¹, 王 俊¹, 陈善锋², 陆秋君¹

(1. 浙江大学; 2. 山东理工大学)

摘 要: 农产品在收获、分级、包装、运输和加工中将发生机械损伤, 而碰撞是导致机械损伤的主要原因之一。该文以黄花梨为试验对象, 进行了不同下落高度、不同梨质量和坚实度等对碰撞参数指标如力峰值、到达力峰值时间、碰撞总时间、力峰值/到达力峰值时间的比值等影响的碰撞特性试验。试验表明 3 个试验因子对力峰值/到达力峰值时间的比值、损伤体积和力峰值的影响大都为显著。碰撞参数指标内部之间的相关性不尽相同。碰撞损伤预测模型可采用 $V = \beta_0 + \beta_1 h + \beta_2 m + \beta_3 f$ 来表达。

关键词: 梨; 碰撞; 损伤; 模型; 力学特性

中图分类号: O 313.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2002)04-0032-04

水果在采收、分级、包装、运输、贮藏和加工等作业环节中都不可避免地受到载荷(力)的作用, 这将导致果实变形、造成机械损伤。我国水果生产在世界上占据重要的位置。从 1993 年开始, 我国水果总量已跃居世界第 1 位。由于在作业环节中受载荷后淤伤, 从而导致变质腐烂的水果高达 30%~40%, 每年的损失达数百亿人民币^[1]。

黄花梨是我国传统的果品之一, 具有香甜多汁, 爽脆可口的特点, 深受消费者欢迎。由于黄花梨具有肉质松脆、石细胞少、液汁多的特点, 在采摘、分级、包装、运输、加工、销售等环节中极易因碰撞而造成机械损伤, 因此有必要对其碰撞特性进行研究。

近年来, 随着测试技术手段的提高和计算机应用(尤其是与计算机联接的数据采集技术在近年来可达到采集每秒 $10^5 \sim 10^6$ 次以上, 撞击时间为极短, 常以毫秒或微秒计), 已使得研究撞击过程及撞击特性与品质的相关性成为可行, 如可获得力、速度、加速度等等撞击参数与时间的关系。本文拟通过对黄花梨的撞击试验, 获得有关果实的撞击特性。

1 试验设备及方法

1.1 试验设备

试验设备和数据采集系统的详细介绍见文献[2]。果实自由下落至刚性金属平板上。采用高性能自触发 PCL-1800 的数据采集卡, 实验果实与平板刚碰撞瞬间自触发进行数据的采集、存储。数据采集间隔 $50 \mu s$, 每次试验采点 2 000 个。所采用的力试验传感器为 CL-YD-302, 加速度试验传感器为 CA-YD-106。

由于果实朝向对梨的坚实度值影响很小^[3], 因此碰撞后果实另一侧的坚实度作为该果实的坚实度值。坚实度测量在 Instron 万能试验机上完成。采用刺入方法,

刺入过程中计算机自动采集、记录刺入力和刺入深度。刺入探针直径为 5 mm, 每次试验刺入深度为 10 mm。选取刺入过程中所需最大力来计算坚实度。将最大力值除以探头断面面积即为坚实度值(N/mm² 或 Pa)。

黄花梨从校内园艺系试验果园采摘, 采摘和试验时间为 2000 年 7 月 21~25 日和 8 月 10~15 日完成(成熟度经有关教授及试验园内果农联合评定: 前期为未成熟梨, 后期成熟梨)。采摘时标定果实在果树上的朝向(南即朝阳面, 北即背阳面和东、西即 2 侧面)。采摘后的黄花梨经挑选剔除有果病和外形不对称的个体。所有碰撞试验采摘当天内完成。

将碰撞后的梨放置在冰箱里, 在 20℃ 下保存 24 h 后, 受损部位将变褐, 沿碰撞点从中切开, 观察和测量变褐体积即为损伤体积^[4]。

2 结果与分析

2.1 梨不同碰撞面碰撞的规律性

图 1 为梨中部(近“赤道”)各朝向面的碰撞特性曲线图。从图 1 可知, 同一梨中不同撞击面的碰撞特性曲线基本相同的。这与梨朝向对梨机械特性影响很小的结论相一致^[3]。

比较图 1a 与 1b 也可知, 未成熟梨(坚实度值高)在碰撞中的力峰值比成熟梨的力峰值要高, 到达力峰值的时间和碰撞总时间要略短些。

2.2 梨不同高度碰撞的规律性

由图 2 可知, 下落高度不同, 碰撞曲线有差异。下落高度增加, 力峰值明显增大。

图 2a 可知, 对于未成熟的梨, 随高度的增加, 碰撞总时间和到达力峰值时间略有缩短; 由图 2b 可知, 成熟梨随下落高度的增加, 虽碰撞力峰值同样是增大的, 但碰撞时间差异不大。

同样, 比较图 2a 与 2b 也可知, 在相同高度和梨质量下, 坚实度低(越成熟), 力峰值下降。

从细胞壁的构成来看, 未成熟梨含有大量果胶质^[4], 从而有较强的抗冲击能力, 但这种能力会因外载强度不同而发生缓变和骤变, 高度低时, 碰撞力小, 抵抗能力缓慢变小, 碰撞时间长; 高度增加, 碰撞力增大, 抵

收稿日期: 2002-02-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(30170533); 浙江省自然科学基金项目(300296)

作者简介: 王剑平, 博士, 副教授, 杭州市华家池 浙江大学农业工程与食品科学学院, 310029 Email: jpwang@zju.edu.cn

抗能力急剧减小, 碰撞时间变短; 成熟梨中果胶质已变为可溶性果胶, 甚至是果胶酸, 因而不具备这种能力, 另

外在碰撞中有塑性变形或易导致机械损伤, 所以碰撞时间较为平均。

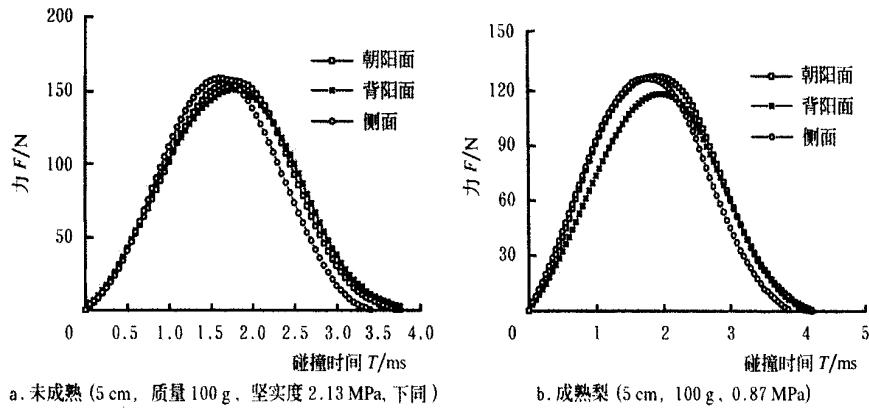


图 1 梨各朝向碰撞曲线图

Fig 1 Impact curves obtained from different locations around pear

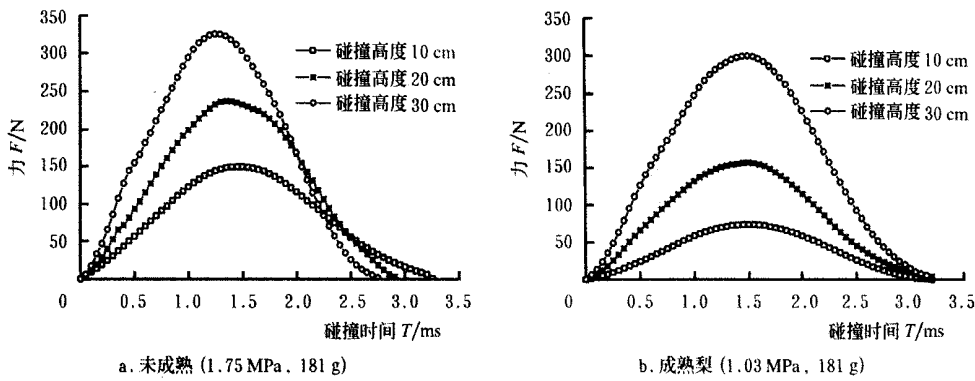


图 2 不同高度碰撞示意图

Fig 2 Impact curves obtained from different dropping heights

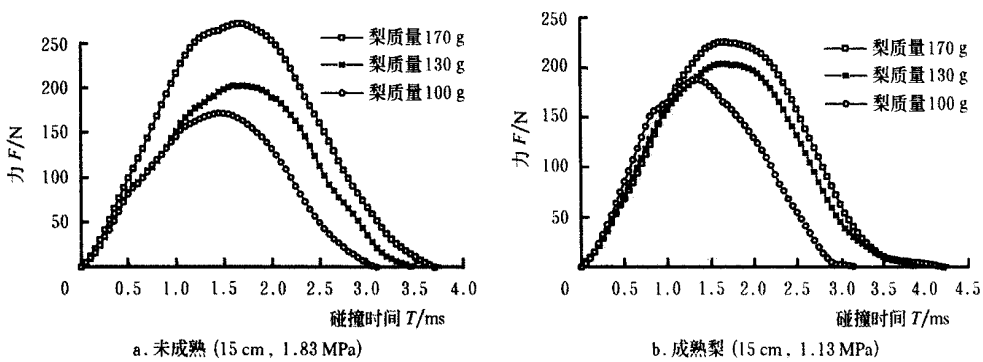


图 3 不同质量梨的碰撞示意图

Fig 3 Impact curves obtained from different pear masses

2 3 梨不同质量碰撞的规律性

由图 3 可知, 对于未成熟的梨, 随质量的增加, 碰撞力峰值明显增大, 碰撞总时间略有增加; 成熟梨随高度的增加, 碰撞力峰值同样是增大的, 但相互间差异不大, 碰撞总时间随质量增加相应延长。

质量大的梨, 撞击钢板时接触面大, 抵抗力大, 撞击过程缓慢; 质量小的梨, 接触面小, 抵抗力小, 因而撞击过程相对迅速。

2 4 碰撞参数间的相关性分析

在下落高度为 15、20、30、45、60、75 cm, 梨质量分 110 g、150 g、180 g 三等级 (± 3 g), 坚实度分 1 MPa、1.60 MPa、2.40 MPa 三等级 (± 0.12 MPa) 的条件下, 重复试验 5 次, 获各试验指标平均值 (其标准差小于 8%)。

将试验所获得的碰撞参数指标如力峰值、到达力峰值时间、碰撞总时间、力峰值/到达力峰值时间的比值和

损伤体积等平均值间的关系采用 SA S 软件进行相关性分析, 结果见表 1。

表 1 试验碰撞参数间的相关性

Table 1 Correlation among all measured impact parameters

相关因素	损伤体积 V	碰撞总时间 T	到达力峰值时间 T_p	力峰值 F_p	F_p/T_p 值
损伤体积 V	1.00				
碰撞总时间 T	-0.170	1.00			
到达力峰值时间 T_p	-0.56	0.73	1.00		
力峰值 F_p	0.757	-0.097	-0.169	1.00	
F_p/T_p 值	0.723	-0.345	-0.528	0.913	1.00

力峰值、力峰值/到达力峰值时间的比值与损伤体积的相关性很大, 且为正相关, 表明梨的碰撞与该二指标有关; 这二指标值越大, 损伤越大。这在今后更深入探讨机械损伤产生的原因时应注意。损伤体积与碰撞总时间、到达力峰值时间二指标相关性较小, 且为呈负相关。力峰值与碰撞总时间之间、力峰值与到达力峰值时间之间几乎不相关。力峰值/到达力峰值时间的比值与碰撞总时间相关性较小, 与到达力峰值时间有一定相关性(二者均为负相关), 而与力峰值间的相关性较大。

2.5 显著性分析

同样将 2.4 节下试验所获得的碰撞参数指标如力峰值、到达力峰值时间、碰撞总时间、力峰值/到达力峰值时间的比值等与试验因素间的关系采用 SA S 软件进行显著性分析。结果见表 2。

表 2 试验因子对碰撞参数指标影响的 F 值和显著性

Table 2 Correlation for four factors vs all measured impact parameters

	碰撞总时间 T	到达力峰值时间 T_p	力峰值 F_p	F_p/T_p 值	损伤体积 V
下落高度 h	1.29	3.09	849.06*	1045.68*	861.00*
质量 m	2.18	4.67	36.20*	61.01*	42.8*
坚实度 f	0.55	1.79	1.89	54.20*	17.7*
朝向	0.12	1.55	0.25	1.42	0.31

* 显著水平 $p < 0.05$ 。

从表中可知, 各试验因子对碰撞参数指标的影响不尽相同。3 试验因子对碰撞总时间、到达力峰值时间的影响均呈不显著。下落高度和质量对力峰值的影响为显著。比较 F 值, 下落高度对力峰值的影响更大。3 试验因子对力峰值/到达力峰值时间的比值和损伤体积的影响均为显著, 其中下落高度对该二指标的影响更为明显, 而坚实度对二指标的影响相对小些。

朝向对试验所获得的碰撞参数指标如力峰值、到达力峰值时间、碰撞总时间、力峰值/到达力峰值时间的比值等均呈不显著。

2.6 损伤体积与力峰值的关系

从表 1 可知, 力峰值与损伤体积的线性相关性最大, 本文探讨了力峰值与损伤体积关系。在下落高度为

15、20、30、45、60、75 cm, 梨质量 100~196 g、坚实度 0.96~2.48 MPa 的条件下, 试验 97 次, 获各机械损伤值。

将试验值机械损伤对加速度峰值进行线性回归, 模型结果见图 4。其线性回归方程为: $V = -3.774 + 0.03129F_p$ (相关系数 $R^2 = 0.7570$)。

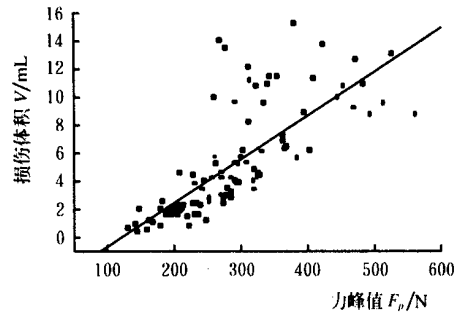


图 4 损伤与力峰值关系图

Fig. 4 Curve of impact bruise vs peak force

2.7 黄花梨碰撞损伤预测模型

同样在 2.6 节试验条件下, 试验获各机械损伤值。将试验值机械损伤对试验变量下落高度、梨质量、梨坚实度进行线性回归, 模型结果见表 3, 表中第一栏为方程表达形式, β 为系数项, 下标区分各个参数。

表 3 碰撞机械损伤预测模型

Table 3 Forecasting model of mechanical damage to pear by impact

模 型	系数及显著水平			R^2
	系数	系数值	系数显著水平	
$V = \beta_0 + \beta_1 h + \beta_2 m + \beta_3 f$	β_0	-8.18		0.8866
	β_1	0.16	0.0001	
	β_2	0.0551	0.0001	
	β_3	0.112	0.0275	

注: h —下落高度, cm; m —质量, g; f —坚实度, MPa; V —损伤体积, mL。

从表 3 中可知, 模型 $R^2 = 0.8866$, 是一个较可信的回归模型。从参数的显著性水平可知, 在回归模型中, 下落高度和梨质量对损伤的影响显著, 坚实度系数的显著性水平为 0.0275, 对损伤的影响相对较小些。但在回归模型中这些系数均不能被剔除。

3 结 论

1) 下落高度、黄花梨质量和坚实度不同, 梨的碰撞特性将不同。

2) 黄花梨坚实度、下落高度和梨质量等对碰撞参数指标如力峰值、到达力峰值时间、碰撞总时间、力峰值/到达力峰值时间的比值等影响的显著性不尽相同。3 试验因子对力峰值/到达力峰值时间的比值、损伤体积和力峰值的影响大都为显著。

3) 碰撞参数指标如力峰值、到达力峰值时间、碰撞总时间、力峰值/到达力峰值时间的比值和损伤体积等

间的相关性不尽相同。

4) 碰撞损伤预测模型可采用 $V = \beta_0 + \beta_1 h + \beta_2 m + \beta_3 f$ 表达。

[参 考 文 献]

- [1] 商业部 我国果品销售和出口情况汇编[R], 1998
 [2] 陈善锋 桃梨碰撞特性试验研究[D]. 杭州: 浙江大学,

2001.

- [3] 王 俊, 杜尧舜, 王剑平等 梨的各向机械特性差异研究[J] 农业机械学报, 2000, 31(6): 58~ 60
 [4] Brusewitz H, McCollum T G, Zhang X. Impact bruise resistance of peaches Trans of the ASAE, 1991, 34(3): 962~ 965
 [5] 许 方. 梨树生物学[M]. 北京: 科学出版社, 1992 62~ 64

Impact Characteristics of Huanghua Pear

Wang Jianping¹, Wang Jun¹, Chen Shanfeng², Lu Qiujun¹

(1. College of Agricultural Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China;

2 Shandong University of Technology, Zibo 255012, China)

Abstract Bruises occur during harvesting, handling, grading, and transporting. The conditions necessary for pears to possess a high resistance to bruising remain unknown. It would be useful to know the variability of pear bruise resistance in relation to dropping height, mass, firmness and location around the fruit. The effects of dropping height, mass, firmness, fruit dropping orientation on bruise volume and various impact parameters (contact time, time to peak force, peak force, F/T) were determined for pears. Most of the impact parameters changed with dropping height, mass and firmness of fruit. The bruise volume could be predicted by multiple regression model based on dropping height, mass and firmness of pear.

Key words: pear; impact; bruising; model; dynamics characteristics

《农业工程学报》编辑部提请作者提高论文英文摘要的写作质量

编辑部为积极配合科协“提高学术期刊论文英文摘要写作质量及开展英文摘要达标荐优活动”(见 114 页“通知”), 请作者进一步提高论文摘要的写作质量。编辑部已于 2002 年 10 月聘请一在京加拿大籍老师, 审查修改拟发表论文的英文摘要。每期出刊后编辑部将向《中国学术期刊文摘》选送一篇优秀英文摘要。择优标准主要有: (1) 论文优秀; (2) 摘要包含目

的、方法、结果和结论四要素, 内容独立完整, 符合摘要写作的形式要求, 每篇要有 10 个左右完整句子组成; (3) 语句简练符合英文的表达习惯等。编辑部将综合审稿人意见、标准衡量及外教审查意见等遴选。选出的优秀英文摘要将在上报的同时, 也将在《农业工程学报》上公布, 供广大作者学习参考。

(本 刊)