

桃下落冲击动力学特性及其与坚实度的相关性

王 俊¹, 腾 斌²

(1. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310029; 2 杭州市农业局, 杭州 310003)

摘 要: 随着人们对水果品质要求的提高, 水果品质检测的研究已得到重视。该文研究的重点是桃下落冲击激励后, 分析果实响应信号频谱特征, 探讨与响应频谱特性与果实物理参数的相关性。试验采用不同下落高度、质量、坚实度和贮藏时间, 测定并分析了果实的各种响应信号。试验结果分析表明, 不同下落高度对响应主频率没有较大影响, 而质量、坚实度和贮藏时间的影响则显著。经分析, 响应主频率随坚实度的增加而变大, 随质量的增加而变小, 响应主频率与质量、坚实度有较好的相关性。桃果实与响应主频率、质量有关的硬度系数与坚实度相关性也较好, 可以利用硬度系数来预测桃坚实度。

关键词: 桃; 响应频率; 动力学特性; 质量; 坚实度; 贮藏时间

中图分类号: S121; S661.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)01-0193-05

0 引 言

最近十年来, 随着人们生活水平的提高, 对水果品质提出越来越高要求, 水果品质无损检测的研究已越来越重视。质地是水果品质(如是否成熟)的重要指标之一, 而坚实度又是评价质地的最常用方法。因此坚实度的无损检测 and 预测重点研究的内容之一。桃是我国主要水果品种之一, 随着最近几年的栽培技术的提高, 栽培面积有了扩大, 产量也有了明显的提高。桃在采收后将有各种成熟等级和不同坚实度的果实相混杂, 因此如何分选分级优劣桃(如是否成熟)、以利于下一步的加工、贮藏、销售和食用, 并最终提高其经济效益, 这将是桃采后所面临一个新的课题。

果实下落冲击与撞击时间极短, 常以毫秒或微秒计。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)^[1], 已使得撞击过程及撞击特性与品质的相关性的研究成为可行, 如可获得力、速度、加速度等等撞击参数与时间的关系^[2]。

在国外, 一些学者对果实的物理特性和成熟度分级进行了研究。Michael(1987, 1988)、Chen(1993a, b)、Shmulevich(1996)、Stone(1998)、Armstrong(1990)等人对梨、桃、苹果等进行了冲击和压缩的试验, 用冲击的方法来预测果实的坚实度, 用超声脉冲响应的技术对果实进行坚实度检测等^[3-9]。他们研究认为可以采用冲击或脉冲响应来评价水果果实的物理特性和品质。在国内, 有关方面的研究报道很少, 特别是有关与桃品质相关的下落冲击动力学特性的研究报道更少。

本文拟通过研究桃下落冲击时的动力学特性响应, 研究目的在于: (1) 分析桃下落冲击的时域特征与频域特征曲线; (2) 分析桃物理特性坚实度与响应频率之间

的相关性。

1 下落冲击振动测试系统

所建立的以加速度为测量参数的测试系统如图 1 所示^[10]。下落高度为 2 cm 和 4 cm (经预备试验, 将不产生机械损伤^[10]), 传感器粘贴在水果的上表面。加速度试验传感器为 CA-YD-106, 质量为 4 g。采用高性能自触发 PCL-1800 的数据采集卡, 试验果实被激励将自触发进行数据的采集、存储。数据采集间隔 50 μ s, 每次试验采点 2000 个。在同样的工况下进行 8 次重复次。获得时域数据后, 进行快速傅立叶变换得到频域特征曲线, 获得响应频率幅值最大的频率, 称为响应主频率。

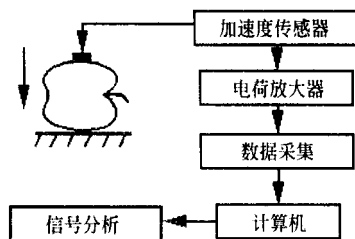


图 1 测试分析系统示意图

Fig 1 Schematic diagram of experiment and analysis system

桃品种为桃一点红, 摘自杭州乔司农场, 未成熟的桃的采摘时间为 6 月 5 日之前, 成熟的桃的采摘时间于 6 月 20 日之后, 所有试验(除贮藏试验外)都在 12 h 内完成。

由于除明暗缝外, 桃赤道位置处面颊的物理特性差异并不大^[11], 故选择面颊大处为碰撞冲击部位, 对侧面颊小处为测量部位。桃坚实度的评价部位和评价方法参见文献^[12]。

2 试验结果与分析

2.1 不同高度对桃冲击响应的影响

图 2a 与 3a 是未成熟桃二种高度下落冲击响应时域曲线, 图 2b 与 3b 是经分析所获得的频域特征曲线。对未成熟桃, 二种高度对加速度其峰值影响不大(见图 2); 对成熟桃, 下落高度高者, 其峰值加速度值小(见图

收稿日期: 2002-10-24 修订日期: 2003-10-20

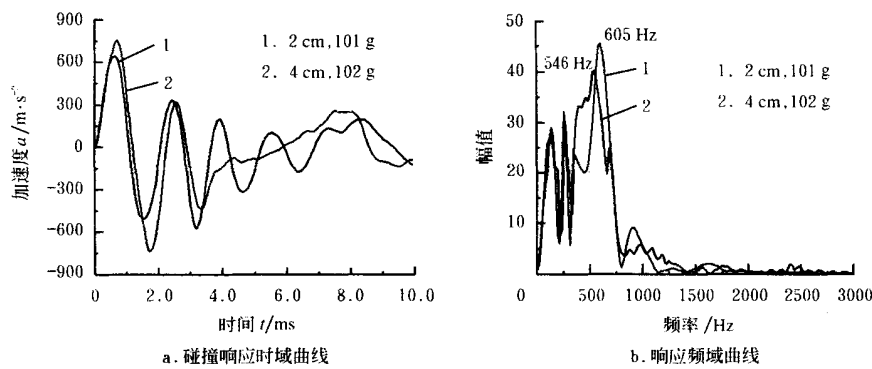
基金项目: 国家浙江省自然科学基金项目(30170533); 浙江省自然科学基金项目资助(300296)

作者简介: 王 俊, 教授, 博士生导师, 杭州 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 310029

3)。这可能是桃成熟度的提高, 坚实度降低, 弹性模量也有所降低, 果肉变得松弛, 塑性变形增加, 它的反弹能力降低。

从两图均可知, 高度对冲击响应主频率值有一定的

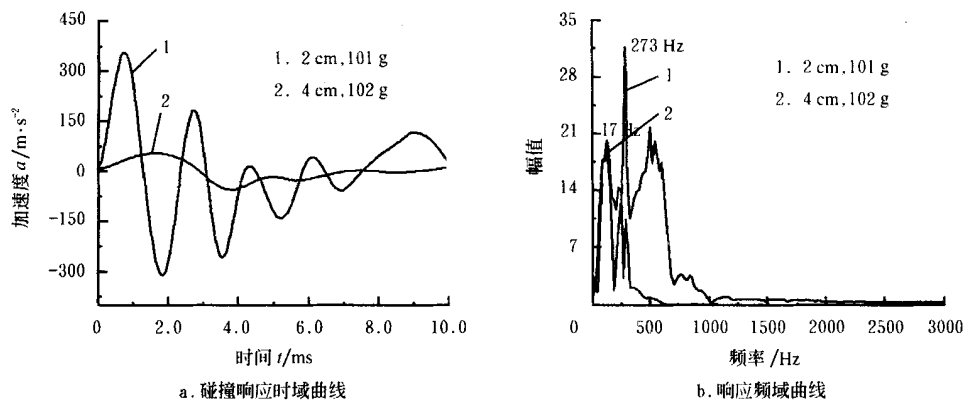
影响, 随高度增加, 响应主频率值略有下降。从两图也可知, 成熟程度(即坚实度)对响应主频率值也有较大影响。



质量为 101 g, 高度为 2 cm 的坚实度为 1.81 MPa; 高度为 4 cm 的坚实度为 1.79 MPa

图 2 未成熟桃不同高度下的典型曲线

Fig 2 Typical signal of unripe peach at two heights: a Time domain, b Frequency domain



高度为 2 cm: 果实质量 101 g, 测点坚实度 1.01 MPa; 高度为 4 cm: 果实质量 102 g, 测点坚实度 0.99 MPa

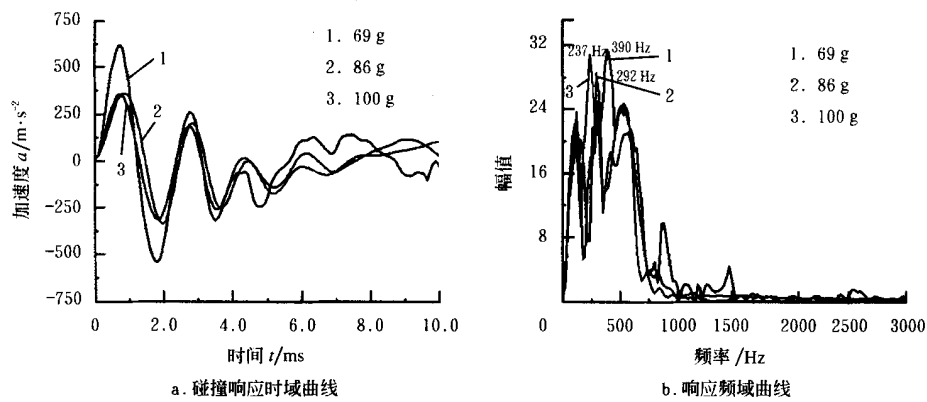
图 3 成熟桃不同高度下的典型曲线

Fig 3 Typical signal of ripe peach at two heights: a Time domain, b0 Frequency domain

3.2 不同质量对桃冲击响应的影响

图 4 是成熟桃不同质量在 2 cm 处下落冲击后所获得的响应时域和频域特征曲线。图中可知, 质量对响应

时域特征是有影响的, 质量小的其响应峰值加速度大; 质量对桃的下落冲击响应主频率值是显著影响的, 在其它物理参数相近时, 桃质量小响应主频率值大。



质量 65 g, 86 g, 100 g 的坚实度分别为 1.01 MPa, 0.99 MPa, 1.01 MPa

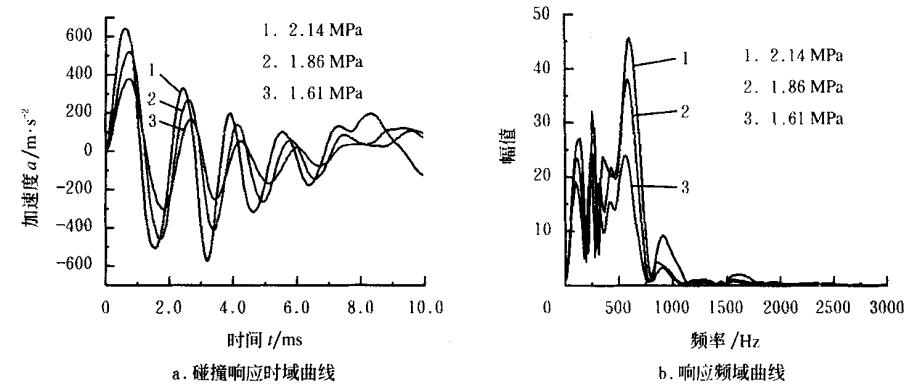
图 4 不同质量下的典型曲线

Fig 4 Typical signal of peach at three masses: a Time domain, b Frequency domain

2 3 不同坚实度对桃冲击响应的影响

图 5 是不同坚实度的下落冲击响应曲线图。图中坚实度对桃下落冲击响应的峰值加速度值有一定的影响,

其值随着坚实度的增加而增大。从频域曲线可知, 坚实度大的, 响应主频率值也大, 其对应的幅值也较高。



坚实度 1. 61 MPa, 1. 86 MPa, 2. 14 MPa; 果实的质量分别为 105 g、108 g、101 g, 下落高度 2 cm

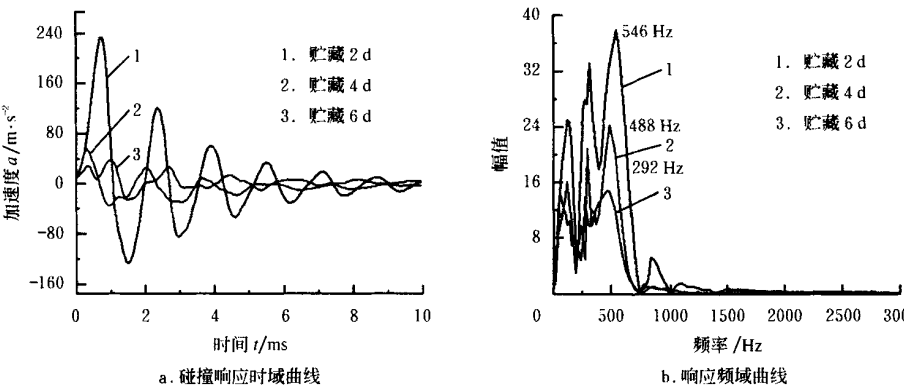
图 5 不同坚实度下典型曲线

Fig 5 Typical signal of peach at three firmness: a Time domain, b Frequency domain

2 4 贮藏时间对桃冲击响应的影响

图 6 是成熟桃在不同贮藏期间后(室温 20~ 24) 所试验所获得的响应图。图中可知, 加速度峰值随着贮藏时间的延长而降低, 相邻的波峰之间的峰值加速度差值减少, 这说明敲击响应加速度峰值的衰减变得缓慢,

曲线趋于平滑。随着贮藏时间的延长, 其响应主频率有所下降。这是因为桃在贮藏过程中, 果肉内部组织变松弛, 坚实度明显降低, 导致响应加速度和响应主频率的下降。



原采摘后坚实度为 2. 51 MPa, 2. 51 MPa, 2. 54 MPa; 质量分别为 102 g、103 g、102 g, 下落高度 2 cm

图 6 不同贮藏时间后典型曲线

Fig 6 Typical signal of peach at different storage time: a Time domain, b Frequency domain

3 冲击响应主频率值与各参数的相关性分析

3 1 对响应主频率值的影响显著水平

以果实质量(65 g、85 g、100 g, ± 2 g), 坚实度(1. 60 MPa、1. 85 MPa、2. 15 MPa, $\pm 0. 1$ MPa)、下落高度(2 cm、4 cm)、贮藏时间(0、2、4、6 d)等为因子, 分析对下落冲击响应主频率值的影响显著性, 试验重复 8 次^[4]。经 SA S 软件分析得出显著水平表 1。从表中可知, 显著水平大小依次为质量、坚实度、贮藏时间和下落高度, 其中下落高度对响应主频率值的影响为不显著。

表 1 不同因素对主频率值的影响差异

Table 1 Effects of different factors on dominant frequency				
因 素	质量	下落高度	贮藏时间	坚实度
自由度	2	1	3	2
对响应主频率值影响显著水平	0. 0043	0. 3949	0. 0154	0. 0095

3 2 冲击响应主频率值与质量的关系

图 7 是下落冲击响应主频率值与质量的关系图。图中表明了, 对同一批采摘桃的下落冲击响应主频率值是随质量增加而呈下降趋势。通过统计分析, 建立起线性

回归方程为: $f = 526.0 - 2.28m$ (f : 响应主频率值, Hz; m : 质量, g), 相关系数 $r = -0.8123$ 。回归结果表明桃质量与冲击响应主频率是有较大的线性相关性。

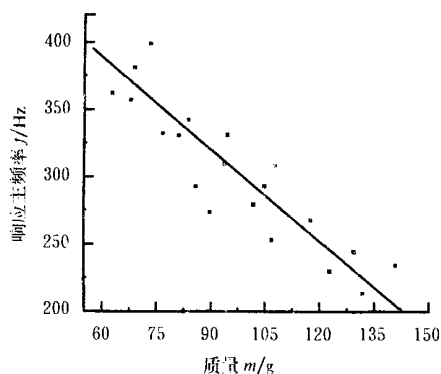


图 7 响应主频率值与质量的关系

Fig 7 Dominant frequency vs mass

3.3 冲击响应主频率值与坚实度的关系

图 8 是下落冲击响应主频率值与坚实度的关系图。图中表明了, 不同成熟度桃的下落冲击响应主频率值是随坚实度增加而增加。经统计分析, 建立线性回归方程为: $f = 137.409 + 260.448F_s$ (f : 响应主频率值, Hz; F_s : 坚实度, MPa), 相关系数 $R = 0.8945$ 。回归结果表明桃的坚实度与冲击响应主频率值是存在着线性相关性。

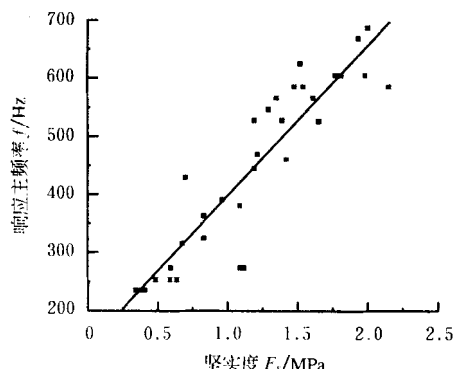


图 8 响应主频率值与坚实度的关系

Fig 8 Dominant frequency vs firmness

3.4 冲击响应主频率值与贮藏时间的关系

图 9 是下落冲击响应主频率值与贮藏时间的关系图(重复 8 次平均值)。图中表明了, 不同贮藏时间桃的响应主频率值是有差异的, 贮藏时间长的桃, 冲击响应主频率值小。

3.5 坚实度与硬度系数关系

在已有果实成熟度预测研究中, 学者们建议将质量、密度、响应主频率一起综合考虑, 提出综合指标硬度系数^[3-9]。由于桃在成熟过程中密度变化很小, 将硬度系数 S 表达成: $S = f^2 m^{2/3}$ 。建立起低高度下落的无损检测试验所获得的硬度系数跟实际测得的坚实度之间的关系(如图 10), 获得线性模型: $S = -1.656E6 + 4.434E6F_s$, 相关系数 $R = 0.856$ 。相关性较好, 表明用低高度下落的无损检测试验所获得的硬度系数来预测坚

实度是有实际意义的。

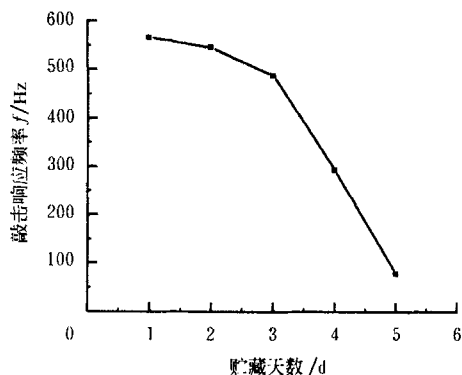


图 9 响应主频率值与贮藏时间的关系

Fig 9 Dominant frequency vs storage time

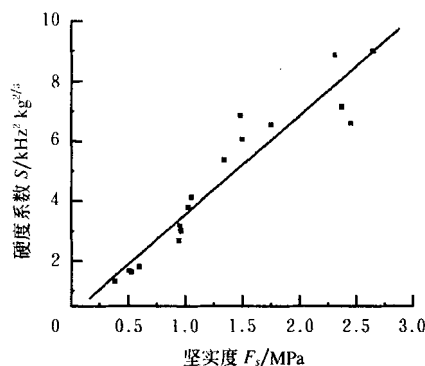


图 10 坚实度与硬度系数关系

Fig 10 Stiffness coefficient vs destructive firmness

4 结 论

对桃进行自由下落冲击试验, 获取桃受冲击作用下的响应时域和频域特征曲线, 经分析, 结论如下:

- 1) 桃质量对冲击响应主频率值有显著的影响。质量大的, 冲击响应主频率值要小, 线性相关系数 $R = -0.8123$ 。
- 2) 桃坚实度对冲击响应主频率值有显著影响。坚实度大的, 响应主频率值也大, 线性相关系数 $R = 0.8945$ 。
- 3) 贮藏时间对冲击响应主频率值也有一定的线性相关性。贮藏时间长的桃, 其冲击响应主频率值小。
- 4) 可以采用低高度下落的无损检测试验所获得的硬度系数来预测坚实度。

[参 考 文 献]

[1] 王剑平, 盖玲, 王俊. 农业物料碰撞特性试验数据采集系统[J]. 农业工程学报, 2002, 18(3): 150-153.
[2] 王剑平, 王俊, 陈善锋, 等. 黄花梨的撞击力学特性研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 32-35.
[3] Armstrong P R, Zapp H R, Brown G K. Impulsive excitation of acoustic vibrations in apples for firmness determination[J]. Transactions of the ASAE, 1990, 33(4):

- 1353- 1359
- [4] Chen H, De Baerdemaeker J. Modal analysis of the dynamic behavior of pineapples and its relation to fruit firmness[J]. Transactions of the ASAE, 1993, 36(5): 1439-1444
- [5] Chen H. Analysis on the acoustic impulse resonance of apples for nondestructive estimation of fruit quality [D]. 1993 Unpub Ph. D. diss., Dept of Agricultural Engineering, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium.
- [6] Stone M L, Armstrong P R, Chen D D, et al. Peach firmness prediction by multiple location impulse testing [J]. Transactions of the ASAE, 1998, 41(1): 115- 119
- [7] Michael J Delwiche, Tim McDonald, Stewart V Bowers. Determination of peach firmness by analysis of impact forces[J]. Transactions of the ASAE, 1988, 30(1): 249-254
- [8] Michael J Delwiche. Theory of fruit firmness sorting by impact forces[J]. Transactions of the ASAE, 1987, 30(4): 1160- 1166
- [9] Shmulevich I. Detection of fruit firmness by frequency analysis [J]. Transactions of the ASAE, 1996, 39(3): 1047- 1055
- [10] 滕 斌. 桃梨果实动力学特性的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2002, 6
- [11] 王 俊. 梨桃各向流变特性及动态特性的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2001, 6
- [12] 王 俊, 陆秋君, 王剑平. 桃子坚实度和糖度分布差异的试验研究[D]. 农业工程学报, 1999, 15(4): 248- 253

Drop impact dynamic characteristics and relationship between its characteristics and firmness for peach

Wang Jun¹, Teng Bin²

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

2 Hangzhou Agriculture Bureau, Hangzhou 310003, China)

Abstract: In recent years, there is an increasing demand for the quality of all kinds of fruits, and considerable researches on the measurement of quality of fruits have been carried out. This research is focused on the characteristics of frequency-spectrum of peach under lower height, and the correlation between response frequency and physical property parameters. The peach dynamic resonance frequencies were obtained based on the analysis of the dynamically measured frequency response of peaches drop onto plate with the drop height, the peach firmness, the peach mass and the storage day. As a result of the analysis, the dominant resonance frequencies (the response magnitude was the greatest) could be obtained and they were significantly affected by the storage days, the peach firmness, the peach mass. The drop height did not significantly affect the dominant frequency. The dominant frequency increased with the peach firmness increasing, and the dominant frequency decreased with increasing of the peach mass. The better relationship was obtained between the dominant frequency and the peach firmness or the peach mass, and the stiffness coefficient regressed on Magness-Taylor firmness had a good relationship. The peach firmness can be predicted by drop impacting method.

Key words: peach; response frequency; dynamic characteristics; mass; firmness; storage day