文章编号:1673-1689(2007)03-0010-04

缓冲包装结构对箱装苹果振动损伤与动力学特性的影响

李春飞， 卢立新， 宋妹妹
(江南大学 机械工程学院,国家轻工业包装制品质量监督检测中心,江苏 无锡 214122)

摘 要: 振动是引起果品运输损伤的主要因素之一,而对果品采用合理的缓冲包装是有效降低与控制果品运输损伤的关键。采用目前果品运输中常用的 6 种缓冲结构对苹果实施包装,进行箱装苹果的振动试验,分析缓冲包装结构形式对果品损伤与振动传递率的影响。结果表明,同一种缓冲包装结构中中间层苹果的损伤率最大,底层苹果的损伤率次之,顶层苹果损伤率最小;采用瓦楞纸板衬垫、发泡塑料网作缓冲包装时,均可有效地降低苹果损伤率,且发泡塑料网对苹果的整体保护特性优于瓦楞纸板衬垫,瓦楞纸板隔档对苹果的损伤率有一定影响。不同的缓冲包装能不同程度地降低包装箱内苹果振动传递率。

关键词: 箱装果品;损伤;缓冲包装;振动传递率;苹果
中图分类号: TB 485.3 **文献标识码**: A

Effect of Cushion Packaging Construction on Vibration Bruising and Dynamic Property of Apples

LI Chun-fei, LU Li-xin, SONG Shu-mei
(School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, China National Control and Test Center for Packaging Quality, Wuxi 214122, China)

Abstract: Effect of cushion packaying construction on apple vibration bruising were investigated in detail. Effects of six different kinds of cushion packaging construction used commonly on the vibration bruising and transmissibility of apples were conducted. The results indicated: for any one kind of cushion packaging construction, the apple bruising ratios of middle layers were higher than that of the bottom and top layer, and the bottom more than that of the top layer. The cushion materials of corrugated paperboard pad and foam net could effectively reduce the vibration bruising of apples, the whole protection property of foam net to apples was better than that of corrugated paper board pad, and the partition of corrugated paperboard also had a certain effect on the vibration bruising of apples. Different cushion packaging could reduce the vibration transmissibility of apples on different degree.

Key words: fruits; bruising; cushion packaging; vibration transmissibility; apples

收稿日期:2006-07-25.
基金项目:国家"十五"重大科技专项项目(2001BA804A23).
作者简介: 李春飞(1981-),男,江苏连云港人,包装工程硕士研究生.研究方向:产品运输包装.
通讯作者: 卢立新(1966-),男,江苏宜兴人,教授,主要从事农产品、食品保鲜包装与储运技术、包装工艺与设备研究. Email:Lulx@sytu.edu.cn

万方数据

目前,减少果蔬采后损耗已成为全世界农产品业关心的主要问题之一。据有关部门保守估计,我国果蔬每年损失率为 30%～40%,约为 800 亿元。果品在运输包装过程中存在着振动、冲击、挤压等多种载荷形式的作用。而苹果的迅速商品化使运输中的振动损伤成为损耗的主要因素之一[1]。

运输方式、路面条件、运输工具的悬吊系统以及包装结构等都会使果品受到振动的损害。国内外学者对水果的运输振动及其损伤作了较多的研究[2-8],张蕾等[9]研究了不同的缓冲包装结构对果品品质的影响。但这些研究仅限于振动强度、包装箱对果品整体损伤的影响、包装箱振动加速度的传递规律,而对于不同的缓冲包装结构对果品的动力学特性及其损伤影响的研究则很少。

通过模拟振动试验,采用美国 MTS 公司的 MTS891.02B 包装振动试验机,分析不同的缓冲包装结构对苹果的动力学特性及其损伤的影响,并探讨果品的动力学特性及其与损伤之间的关系,为改善果品的运输包装技术、优化果品减损包装设计提供科学依据。

1　试验材料与方法

1.1　试验材料

水果:试验材料选用红富士苹果,产地为中国山东,采摘后立即采用保护包装并运往实验室;选用形状规则、表面无损伤的苹果作为试验样品;质量在 162～226 g 之间,苹果的坚实度范围为 0.55～0.80 MPa。

苹果包装箱采用 0201 型纸箱,其材料与制成衬垫和隔档的材料相同,均采用 C 型瓦楞纸板,瓦楞形状为 UV 形;其基本参数是楞高 3.4～3.8 mm,楞数 1.27 个/cm,计算厚度为 4 mm。

在包装箱内,放置 4 层苹果,每层 6 个,采用 A、B、C、D、E、F 6 种不同的缓冲包装结构和形式进行试验。

A:包装箱的上下面放置衬垫,每层苹果之间无衬垫及隔档;

B:包装箱的上下面及每层苹果之间均放置衬垫;

C:包装箱的上下面及每层苹果之间放置衬垫,同一层苹果之间使用隔档隔开;

D:苹果外套发泡塑料网,包装结构形式同 A;

E:苹果外套发泡塑料网,包装结构形式同 B;

F:苹果外套发泡塑料网,包装结构形式同 C。

1.2　试验仪器与设备

研究中所用振动试验系统如图 1 所示。振动试验仪器采用美国 MTS 公司的 MTS891.02B 包装振动试验机。压电式加速度传感器的型号分别为 CA－YD－139T 和 CA－YD－127(响应频率均为 15 kHz),采用 DLF-4 电荷电压滤波积分放大器和 INV306D 智能信号采集处理分析仪,应用激励自触发进行数据的采集、存储,数据采集频率为 40 Hz。

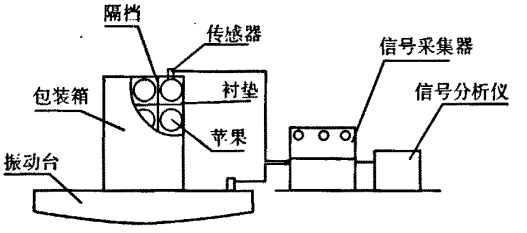


图 1　振动试验系统

Fig. 1　Schematic of vibration testing system

苹果坚实度的测定采用 Lloyd 公司的 LRX PLUS 型万能材料试验机,精度 0.5%。

1.3　试验方法

1)试验前先测定苹果试样的质量,测出不同部位试样直径,求出平均值即为试样的等效球径。用万能材料试验机测定试样坚实度[10]。

2)采用正弦定频振动试验。国家标准规定,定频振动试验的振动频率为 4 Hz,振动加速度为 $(0.75\pm0.25)\ g$ [11]。试验中的振动频率为 4 Hz,振动时间为 120 min。

3)试验时,将包装箱在自然状态下放在振动台面上,用强力胶分别将加速度传感器固定在振动台面、包装箱内顶层苹果上,测定两组加速度变化曲线。由于试验时间较长,试验过程中仅测定 3 个时段的加速度曲线,即试验刚开始的 5 min、试验中间的 5 min 以及试验结束之前的 5 min 3 个时段。

2　结果与分析

试验结束后,将苹果在室温条件下放置 24 h,根据文献[10]的方法测定、计算苹果的损伤体积。定义苹果的损伤率 u 为每个苹果的损伤体积与其总体积之比;同理,每一层苹果损伤的总体积与该层苹果的总体积之比即为该层苹果的损伤率 U;每一箱苹果的损伤总体积与该箱中苹果总体积的比定义为该箱苹果的总损伤率 U_T。

万方数据

2.1 不同缓冲包装结构对果品损伤的影响

试验结果表明，不同的缓冲包装结构对果品的损伤有着重要的影响。采用同一种缓冲包装结构时，各层果品的损伤情况亦不相同。得到采用不同缓冲包装结构时各层果品的损伤率 U 的变化规律，如图2所示。

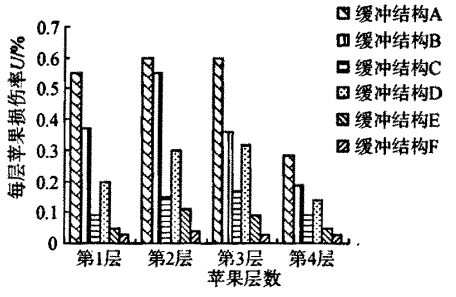


图2 不同缓冲包装结构对苹果损伤的影响

Fig. 2 Effect of cushion packaging construction on apples bruising

由图2结果发现，在相同的振动工况下，采用缓冲包装结构E和F，可以大大地减少果品损伤、保护果品，此时苹果的损伤率仅为采用缓冲包装结构A和B时苹果损伤率的10%左右。这主要是因为包装箱内衬垫和隔档吸收了大量的振动能量，发泡塑料网对保护果品也起到了一定的缓冲作用。文献[6]采用了苹果包装箱系统简化模型，以单列果柱(6层)来研究振动作用下包装箱内各层苹果的损伤特性与规律，研究发现苹果的损伤量中层大于底层大于顶层。从6种不同缓冲包装结构对苹果损伤影响的试验结果看，同一种缓冲包装结构中中间两层果品的损伤率较大，且大于底层苹果的损伤率，而底层苹果的损伤率大于顶层苹果的损伤率。这一结果与文献[6]的研究结果较为吻合。

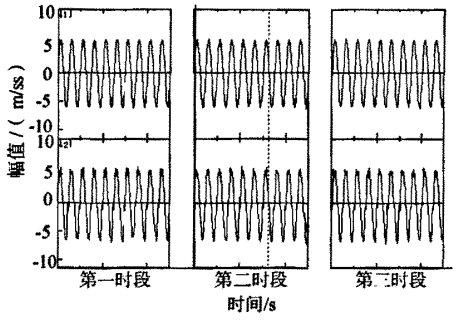
同时，从缓冲包装效果看，采用瓦楞纸板衬垫、发泡塑料网作缓冲包装时，均可有效地控制苹果损伤率，且发泡塑料网对苹果的整体保护特性优于瓦楞纸板衬垫，瓦楞纸板隔档对苹果的损伤率也有一定的影响。6种缓冲包装结构中，缓冲包装结构F，即苹果外套塑料网，并有衬垫和隔档时对苹果的保护特性最好。

另外，由于果品本身与传统的"脆性"机电产品不同，采用不同的缓冲包装结构将导致产品产生不同的损伤率，在消费者可接受的前提下，可以采用科学的缓冲包装结构控制果品的损伤率。

2.2 箱装果品的振动传递特性与损伤之间的关系

运输工具的振动将会引起包装箱内果品的振动，振动外力的加速度及其引起的包装箱内苹果的振动加速度的大小对果品的损伤有重要影响。文中定义包装箱内顶层苹果的振动加速度与振动外力的加速度的比值为果品传递率 T_r，其大小反映了不同的缓冲包装结构对振动外力的隔振能力。

箱装苹果在正弦定频振动试验中得到典型的两组加速度曲线，如图3所示。



1. 振动试验台的加速度；2. 包装箱顶层苹果的振动加速度

图3 箱装苹果正弦定频振动试验部分 $a-t$ 曲线

Fig. 3 The part $a-t$ curve of apples under sine vibration

由于果品本身的粘弹特性，曲线中存在一些不光滑的部分，但整体规律基本一致。从试验结果可知，在整个试验过程中，当试验中测定振动试验台的加速度为6.10 m/s²时，包装箱顶层苹果均以大于振动试验台的加速度振动。计算得到加速度的比值 T_r 与包装箱内苹果的损伤率 U_T，如表1所示。

表1 不同缓冲包装结构加速度的比值 T_r 与苹果损伤率 U_T

Tab. 1 The acceleration ratio and bruising ratios of different cushion packing

缓冲包装结构	加速度的比值 T_r	苹果损伤率 U_T/%
A	2.73	0.50
B	2.54	0.36
C	2.44	0.24
D	2.06	0.12
E	1.36	0.073
F	1.31	0.032

从表中数据可以得出，当振动试验台的加速度一定时，采用缓冲包装结构A，即4层苹果之间不加衬垫隔档时，加速度比值为2.73，此时苹果损伤率为0.504%；而采用缓冲包装结构F即苹果外套塑料网，并有衬垫和隔档时，加速度比值为1.31，苹果损伤率仅为0.032%，这主要是因为纸板衬垫和隔档起到了很好的隔振效果，吸收了大量的能量。分

万方数据

析可知，振动加速度比值越低，缓冲包装结构对果品的保护性能越好，其隔振效果越佳，包装箱内果品的损伤率越低。从而可以说明，对于果品类具有粘弹特性的产品，在一定外界激励的条件下，顶层苹果以大于振动台的加速度振动，采用合适的缓冲包装结构可以有效地减小因振动传递至顶层苹果上的振动加速度，控制果品的损伤率。

3　结　语

通过实验手段研究 6 种不同的缓冲包装结构对包装箱内 4 层苹果振动传递率与损伤的影响，结果表明，在一定的外界激励条件下，采用不同的缓冲包装结构对包装箱内顶层果品振动加速度和果品的损伤有较大的影响。

1）同一种缓冲包装结构中中间层果品的损伤率最大，底层苹果的损伤率次之，顶层苹果的损伤率最小。

2）从缓冲包装效果看，采用苹果外套发泡塑料网、瓦楞纸板衬垫和隔档作缓冲包装结构，可以有效地控制苹果的损伤率。并且发泡塑料网对苹果的整体保护特性优于瓦楞纸板衬垫。

3）不同的缓冲包装能不同程度地降低包装箱内苹果的振动传递率。振动加速度比值越低，缓冲包装结构对苹果的保护性越好。

参考文献(References)：

[1] 孙一源，余登苑. 农业生物力学及农业生物电磁学[M]. 北京：中国农业出版社，1996：238－243.

[2] Singh S P, Xu M. Bruising in apples as a function of truck vibration and packaging[J]. **Applied Engineering in Agriculture**, 1993, 9(5): 455－460.

[3] Vursavus K, Ozguven F. Determining the effects of vibration parameters and packaging method on mechanical damage in golden delicious apples[J]. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, 2004, 28(5): 311－320.

[4] Chonhenchob V, Singh S P. Packaging performance comparison for distribution and export of papaya fruit[J]. **Packaging technology and science**, 2005, 18: 125－131.

[5] 孙骊，吴竞爽，仇农学，等. 苹果振动损伤的规律及其评价[J]. 西北农业大学学报，1994，22(1)：78－83.
SUN Li, WU Jin-shuang, QIU Nong-xue, et al. The law of apples damage caused by vibrating and its damage evaluation [J]. **Acta Univ Agric Boreali-occidentalis**, 1994, 22(1): 78－83. (in Chinese)

[6] 李小昱，王为. 苹果运输振动损伤初探[J]. 西北农业大学学报，1998，26(4)：20－24.
LI Xiao-yu, Wang Wei. Simulation of vibration damage in apples transportation[J]. **Acta Univ Agric Boreali-occidentalis**, 1998, 26(4): 20－24. (in Chinese)

[7] 康维民，肖念新，蔡金星. 水果运输包装在模拟振动实验中的加速度传递[J]. 包装工程，2003，24(4)：72－73，76.
KANG Wei-min, XIAO Nian-xin, CAI Jin-xing. Studies of the Transferred acceleration of the simulative vibration of transport fruits[J]. **Packaging Engineering**, 2003, 24(4): 72－73, 76. (in Chinese)

[8] 卢立新，王志伟. 果品运输中的机械损伤机理及减损包装研究进展[J]. 包装工程，2004，25(4)：131－134，141.
LU Li-xin, WANG Zhi-wei. Study of mechanisms of mechanical damage and transport packaging in fruits transportation [J]. **Packaging Engineering**, 2004, 25(4): 131－134, 141. (in Chinese)

[9] 张蕾，张琳. 三种不同缓冲包装结构对油桃品质的影响[J]. 包装工程，2005，26(6)：25－27.
ZHANG Lei, ZHANG Lin. Study on three cushion packaging of nectarine[J]. **Packaging Engineering**, 2005, 26(6): 25－27. (in Chinese)

[10] 卢立新. 跌落损伤脆值及损伤边界[J]. 包装工程，2005，26(6)：1－4，11.
LU Li-xin. Dropping bruise fragility and bruise boundary[J]. **Packaging Engineering**, 2005, 26(6): 1－4; 11. (in Chinese)

[11] 山静民. 包装测试技术[M]. 北京：印刷工业出版社，1999：126－127.

（责任编辑：秦和平，朱明）

万方数据