

果品物流运输包装件堆码振动传递性能的实验研究

王璐璐, 刘美华, 张连文, 潘道津, 孟宪文

(天津商业大学, 天津 300134)

摘要: 以贵妃富士苹果为测试对象,模拟了其在实际运输过程中的振动载荷,进行了运输包装单件扫频振动实验,测出了其固有频率;对10层堆码进行扫频振动传递性能实验,分别测出了底层、中间层(第6层)和顶层运输包装件的固有频率、最大响应加速度和振动传递率。最后探讨了最大响应加速度、振动传递率随时间的变化规律,分析了固有频率和振动传递率峰值与堆码高度之间的关系,研究了其在模拟振动条件下的损伤规律,找出了现有包装的不足,提出了合理的包装设计方案。

关键词: 运输包装; 振动传递性能; 固有频率; 振动传递率

中图分类号: TB485.1; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)19-0005-06

Research on Vibration Transmission Property of Fruit Logistics Packaging

WANG Lu-lu, LIU Mei-hua, ZHANG Lian-wen, PAN Dao-jin, MENG Xian-wen

(Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China)

Abstract: The vibration loads on fruit during transportation were simulated using apple as the object. Sweep frequency vibration tests were carried out on single packaging and the natural frequency was measured. Frequency sweep vibration tests were carried out on 10 layers of the package to study the vibration transmission property. The natural frequency, maximal respond acceleration and vibration transmission rate of the bottom, the middle (the sixth layer) and the top layer were determined. The changing rules of maximal respond acceleration and vibration transmission rate with time were discussed. The relation among natural frequency, peak vibration transmission rate, and stack height was analyzed. The damage rule of fruit under simulated vibration condition was studied. The shortage of current package was found and reasonable packaging scheme was put forward.

Key words: transport package; vibration transmission property; natural frequency; vibration transmission rate

果品运输过程中,振动是引起包装件破损的主要原因之一^[1]。车辆动力机械的振动和各种路况所引起的随机振动,使包装箱内果品受到振动、摩擦、冲击等多种载荷的作用,从而引起果品组织发生伤害,机械损伤是果蔬贮运过程中腐烂变坏的主要原因之一。据估计,由于运输过程中机械损伤造成的果蔬采后损失达25%~45%^[2],因此开展水果运输振动方面的研究具有现实意义。国内对此相关方面的研究始于20世纪80年代,潘见^[3]以简化的粘弹塑性模型为基础,分析计算了循环载荷下草莓的累积塑性变形,并实验考察了振动频率对累积塑性损伤的影响;孙骊等人^[4-5]对苹果进行了模拟振动试验,用回归分析的方法,得出了振动加速度、振动时间、振幅承载重量等因素与果品损伤之间的关系;李小昱^[6]通过对苹果振动

损伤模拟试验发现,加缓冲材料可使苹果损伤体积减小50%;陈萃仁等人^[7]进一步分析了包装材料、包装方式以及成熟度对草莓损伤的影响,并通过非线性回归分析,建立了果实振动损伤的数学模型;康维民等人^[8-9]从疲劳损伤角度,研究了振动损伤与振动频率、振动加速度之间的关系,探讨了梨在一定频率下振动至失去商品性时的振动次数与振动积累加速度的关系;张蕾、张琳^[10-11]以油桃为研究对象,探讨了不同的缓冲包装结构对其采后生理品质的影响。

上述研究主要针对单级容器的包装情况。在实际运输过程中,货车、卡车等运输工具的车厢结构多为多级装载容器形式,车厢上产生的振动加速度被增幅,并传递到顶部的容器。因此,研究多级装载包装容器的振动特性更具实际价值。笔者从模拟实际运

收稿日期: 2012-06-08

作者简介: 王璐璐(1988—),女,黑龙江人,天津商业大学包装工程专业本科生。

通讯作者: 刘美华(1963—),女,辽宁丹东人,博士,天津商业大学副教授,主要研究方向为实验力学。

输过程中振动载荷特性出发,以贵妃富士苹果为对象,研究其在运输过程中的堆码振动传递性能,并探讨贵妃苹果包装件在模拟振动条件下的损伤规律,找到现有包装的不足并改善现有包装件的质量,防止流通环节过程中的破损。

1 实验

1.1 被测样品的选择及设备

试验样品选用山东产的贵妃富士苹果包装件,见图1。包装箱为0300型纸箱,外形尺寸为:470 mm×

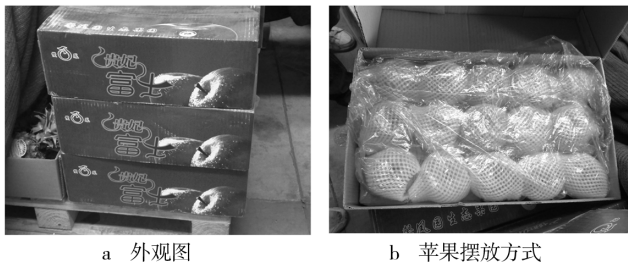


图1 贵妃富士苹果包装件
Fig. 1 Fuji apples packaging piece

280 mm×170 mm(见图2)。箱及苹果的质量为7.3

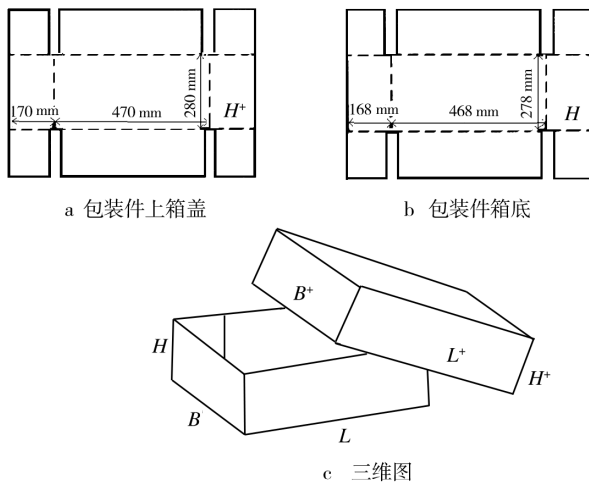


图2 包装件纸箱展开示意图

Fig. 2 Expansion schematic diagram of the packaging box

kg,包装件内置2层苹果,中间用一层瓦楞纸板隔开,每层15个苹果,一箱共30个苹果,苹果形状规则、表面无损伤。

1.2 设备

振动模拟测试在苏州试验仪器总厂生产的DY-600-5-05电动振动系统上进行。该振动系统由DY-600电动台、SA1-5功率放大器、SC-0505水平滑台、FJ-1000台体风机及振动控制仪组成;硬件接口箱和

Dactron 振动控制系统软件为振动台和包装件提供动力学补偿,产生所需的电信号;用北京东方振动和噪声技术研究所研制的DASP信号采集与分析系统进行信号采集处理与分析。

整个振动测试系统连接示意图见图3。

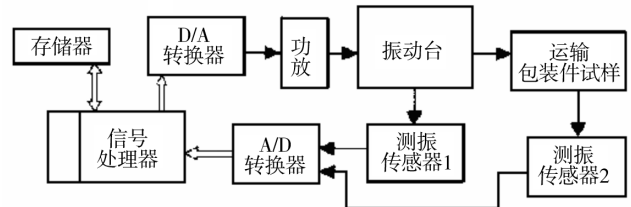


图3 振动实验仪器连接示意图
Fig. 3 Schematic diagram of instrument connection of the vibration experiment

1.3 方法及过程

试验前将缓冲材料放在THS-AOC-100AS恒温恒湿试验机中预处理48 h,预处理条件为:温度20℃、湿度65%。实验所选定的温湿度处理条件为:温度20℃,相对湿度65%,处理时间为48 h。振动台试验参数设置:一般频率为3~100 Hz,试验的起始频率为3 Hz,终止频率为200 Hz。激励加速度在2~3 Hz时是0.05 g,在4~5 Hz时是0.2 g,在6~200 Hz时是0.5 g。扫频速度为3.5倍频程/min,振动台工作一次完成2次扫频,其时间为200 s。

将实验样品放置在振动实验台台面上,实验样品底面中心与实验台台面中心的水平距离在10 mm以内。在固定加速度传感器时,为了保证加速度传感器在包装件内平行于振动方向,可将加速度传感器预先固定在一块木板上,然后将小木板埋于苹果中间,并将实验样品用尼龙绳固定在实验台面上,并保证在振动过程中实验样品不会发生剧烈晃动,见图4。测试



图4 包装件10层堆码示意图
Fig. 4 Schematic diagram of ten packaging pieces stacking

针对底层、中间层(第6层)、顶层进行。

2 结果与分析

各通道的自功率谱见图5。通道1采集的是振动台台面在振动时不同频率的能量;通道2采集的是底层贵妃富士包装件在振动时不同频率的能量;通道3采集的是中间层贵妃富士包装件在振动时不同频率的能量;通道4采集的是顶层贵妃富士包装件在振动时不同频率时的能量。当包装件的固有频率等于振

动台台面的振动频率时会发生共振,此时出现自功率谱曲线的峰值,由此来判断贵妃富士包装件的固有频率。经过多次测量,对以上3个功率谱文件图(图5)进行比较可知:顶层、中间层、底层贵妃富士包装件的自功率谱曲线的峰值分别出现在11.72,10.74,10.01 Hz。这与Slaughter等人^[12]对堆码在托盘上的纸箱装梨进行振动试验后得出的结论相符。

各层贵妃富士包装件与振动台面的时域文件图见图6,可以读出各层贵妃富士包装件发生共振的时间点,其中,底层包装件在第141 s发生共振,共振加

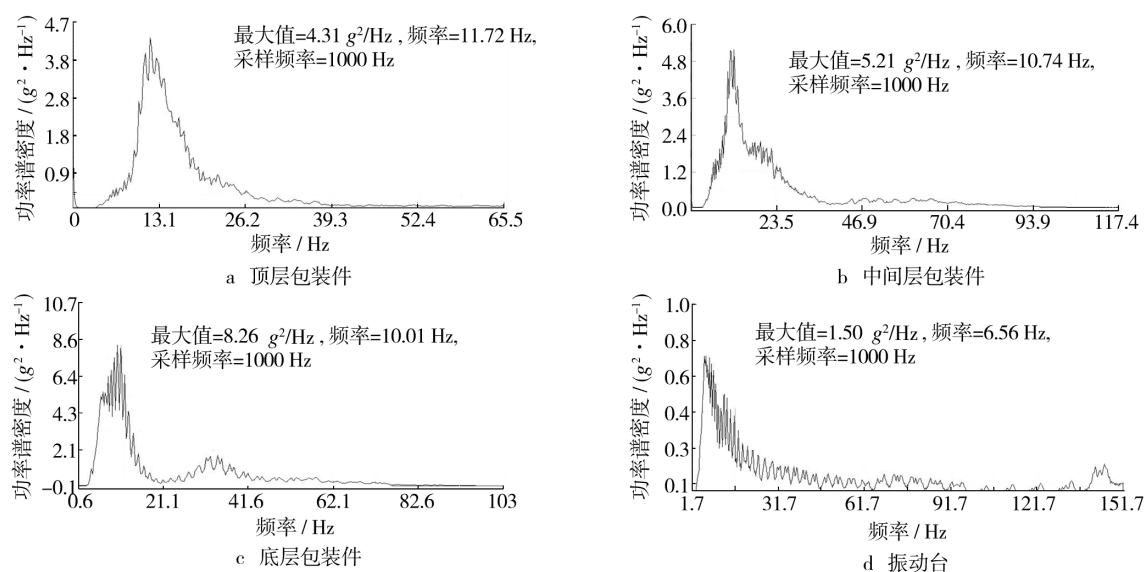


图5 各层包装件与振动台的自功率谱

Fig. 5 The power spectrum of different layers and vibration table

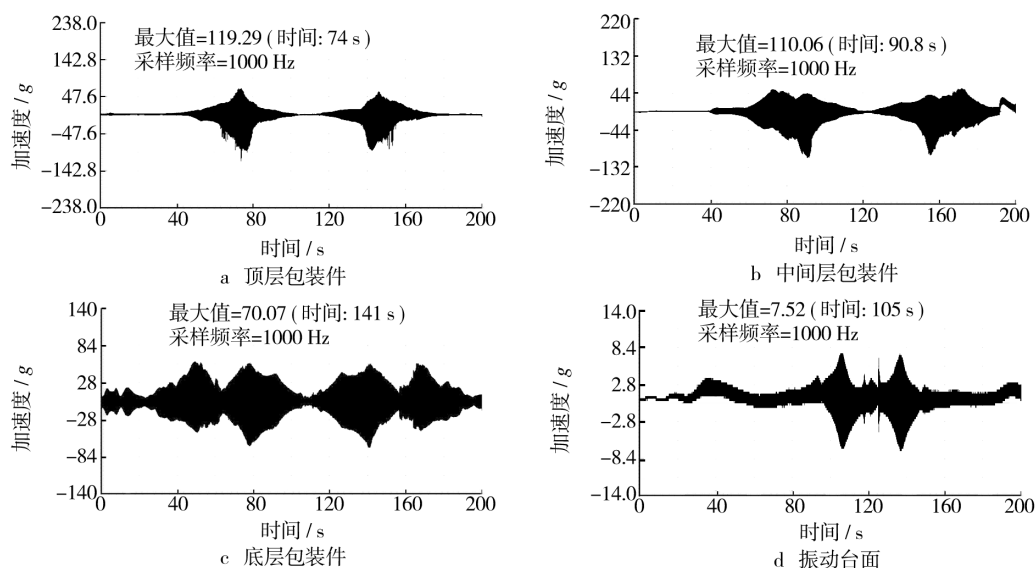


图6 各层包装件与振动台面的时域图

Fig. 6 Time domain chart of different layers and vibration table

速度为 0.07 g;中间层包装件在第 90.8 s 发生共振,共振加速度为 1.10 g;顶层包装件在第 74 s 发生共振,共振加速度为 1.19 g。在共振发生的时间点附近的几个时间点,读取各层贵妃富士包装件的响应加速度,并找出相对应时间下振动台的激励加速度,具体数据见表 1—3。

由表 1—3 可知:在共振频率点左边,响应加速度随时间的推移而增加,在共振频率点右边,响应加速

度随时间的推移而减少。

各层贵妃富士包装件在不同时间下的加速度值见图 7,底层、中间层、顶层贵妃富士包装件的最大响应加速度分别为 0.07 g,1.10 g,1.19 g,响应加速度由底层到顶层呈现递增趋势。这与李小昱和王为对苹果进行运输振动模拟试验,研究各层包装箱的加速度传递情况,认为振动时各层包装箱的加速度由下向上递增的规律相同。

表 1 不同时间下顶层贵妃富士包装件的加速度值

Tab.1 The acceleration value of the top packaging piece under different time

时间/s	60	64	68	72	74	76	80	84	88
包装件加速度/g	0.1547	0.3094	0.5474	0.833	1.1929	0.8925	0.3213	0.1666	0.1428
振动台加速度/g	0.0132	0.0116	0.0142	0.0182	0.0161	0.0178	0.0203	0.0252	0.0267

表 2 不同时间下中间层贵妃富士包装件的加速度值

Tab.2 The acceleration value of the intermediate layer packaging piece under different time

时间/s	76	80	84	88	90.8	92	96	100	104
包装件加速度/g	0.420	0.427	0.518	0.686	1.1006	0.9707	0.418	0.261	0.187
振动台加速度/g	0.0178	0.0203	0.0252	0.0267	0.0271	0.0355	0.0314	0.041	0.0655

表 3 不同时间下底层贵妃富士包装件的加速度值

Tab.3 The acceleration value of the bottom layer packaging piece under different time

时间/s	128	132	136	140	141	144	148	152	156
包装件加速度/g	0.42	0.427	0.518	0.686	0.7007	0.49	0.364	0.273	0.147
振动台加速度/g	0.0309	0.0335	0.0652	0.0425	0.0374	0.0282	0.0243	0.0204	0.0198

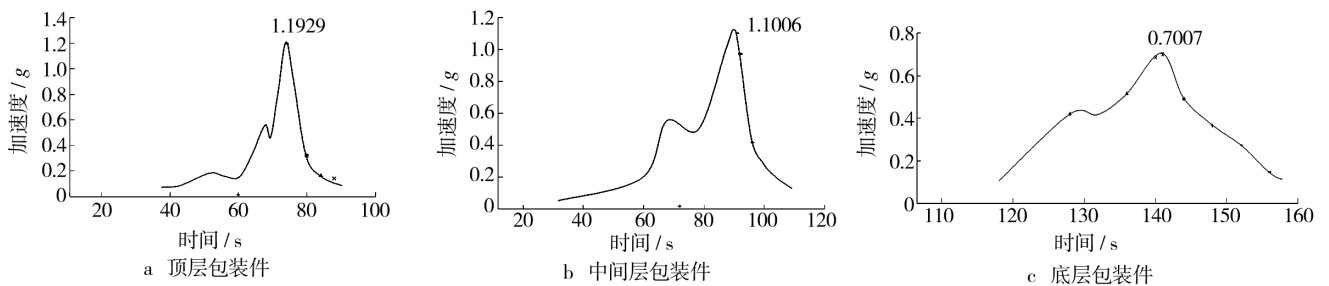


图 7 包装件响应加速度随时间变化的曲线

Fig. 7 The relation between packaging piece acceleration and time

根据表 1—3,可以得到各层贵妃富士包装件振动响应加速度与激励加速度随时间变化的曲线,见图 8。在共振的时候,响应加速度大于激励加速度,并且包装件得到最大响应加速度。

振动传递率用来描述运输工具的振动所引起包装内的产品的振动响应,是指振动外力通过缓冲系统传到包装内产品上的力与振动外力的比,亦即产品上

响应振动加速度与外部激励加速度的比值:

$$T_r = \frac{G_n}{G_0} \quad (1)$$

式中: G_n 为包装内产品上的振动响应加速度; G_0 为外部振动激励加速度。根据表 2—4,可以作出各层贵妃富士包装件的传递率随时间变化的曲线图,见图 9。

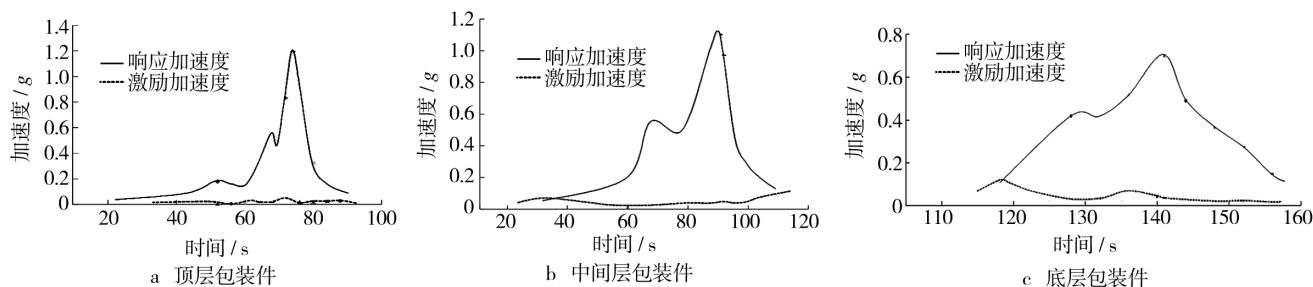


图8 包装件响应加速度与激励加速度随时间变化的对比

Fig. 8 The comparison of response acceleration and prompting acceleration change with time for different layer of packaging piece

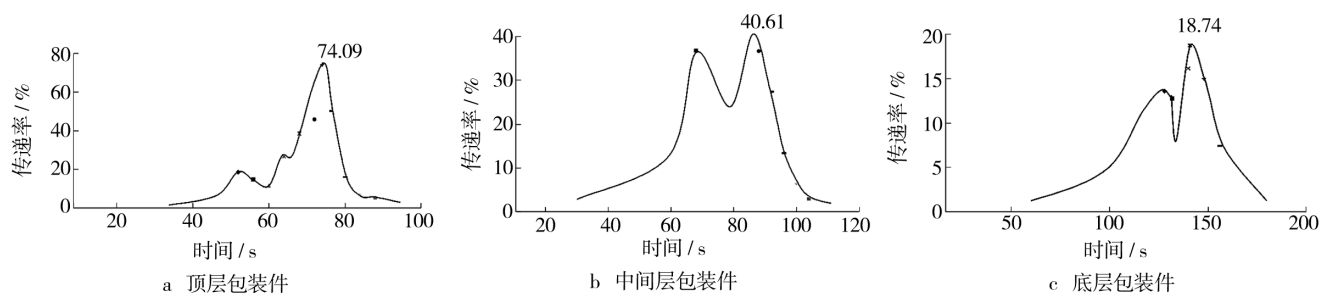


图9 各层包装件传递率随时间的变化曲线

Fig. 9 The relation between transmissibility and time for different layer packaging piece

根据图9可知,底层、中间层、顶层贵妃富士包装件的最大传递率值分别为18.74%,40.61%,74.07%。最大传递率从底层到顶层呈现递增趋势。通过对以上不同层贵妃富士包装件的振动传递率的比较,发现顶层贵妃富士包装件的传递率图形曲线要比底层贵妃富士包装件的传递率图形曲线陡,且顶层贵妃富士包装件的传递率最大值也大于底层包装件的。

在不同时间下,各层贵妃富士包装件的传递率曲线见图10,底层、中间层、顶层贵妃富士包装件振动

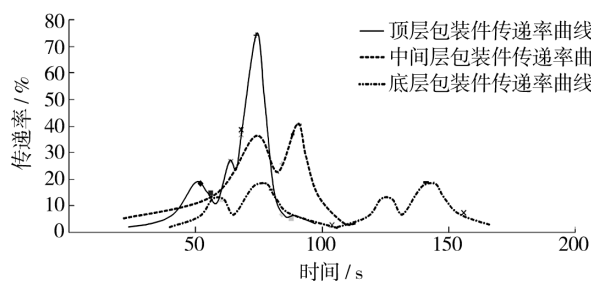


图10 不同时刻各层贵妃富士包装件的传递率曲线

Fig. 10 The transmission rate curve of different layer packaging piece under different time

传递率,均在第90s这一时间附近具有极大值,其值

分别为18.74%,40.61%,74.09%。由此可见该时刻的传递率,从底层到顶层呈现递增趋势。

3 结论

1) 底层、中间层、顶层贵妃富士包装件的固有频率分别为10.01,10.74,11.72 Hz,因此,可以判定固有频率从底层到顶层呈现递增趋势。

2) 底层贵妃富士包装件的最大响应加速度出现在141s,其值为0.70g;中间层贵妃富士包装件的最大响应加速度出现在90.8s,其值为1.10g;顶层贵妃富士包装件的最大响应加速度出现在74s,其值为1.19g。响应加速度由底层到顶层呈现递增趋势。

3) 从响应加速度与激励加速度对比曲线可看出,共振时的响应加速度大于激励加速度。在共振的时候,包装件得到最大响应加速度。

4) 顶层贵妃富士包装件的传递率曲线要比底层贵妃富士包装件的传递率曲线陡,且传递率最大值也大于底层包装件的,其最大传递率值分别为18.74%,40.61%,74.07%。传递率从底层到顶层呈现递增趋势。

5) 底层、中间层、顶层贵妃富士包装件振动传递率,均在第 90 s 这一时间附近具有极大值。由此可见,该时刻的传递率从底层到顶层呈现递增趋势。

参考文献:

- [1] ZHANG Lian-wen, LIU Mei-hua, MENG Xian-wen, et al. Vibration and Impact Performance Tests on Cherry Tomato Transport Packages[J]. The 17th International Packaging Conference Proceeding, 2010, 10(14): 434—439.
- [2] 周然, 李云飞. 不同强度的运输振动对黄花梨的机械损伤及贮藏品质的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(11): 255—259.
ZHOU Ran, LI Yun-fei. Effects of Different Strengthes of Transport Vibration on Mechanical Damage and Storage Quality of Huanghua Pears[J]. Agricultural Engineering, 2007, 23(11): 255—259.
- [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—32.
- [4] 潘见. 草莓振动损伤的流变力学初探[J]. 生物力学, 1990, 5(7): 63—7.
PAN Jian. Preliminary Studies on Rheological Mechanics of the Vibration Bruise of Strawberry Exactly[J]. Journal of Biomechanics, 1990, 5(7): 63—70.
- [5] 孙骊, 仇农学, 吴竞爽, 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, QIU Nong-xue, WU Jing-shuang, et al. The Law of Apple Damage Caused by Vibrating and Its Damage Evaluation[J]. Acta Univ Boreali-occidentalis, 1994, 22(1): 78—83.
- [6] 孙骊, 仇农学, 吴竞爽. 运输中振动参数对苹果损伤的影响[J]. 西北农业大学学报, 1996, 24(3): 84—8
SUN Li, QIU Nong-xue, WU Jing-shuang. The Effect of Vibrative Parameter on Apple Damage in Transportation [J]. Acta Univ Boreali-occidentalis, 1996, 24(3): 84—86.
- [7] 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 Apple Transportation[J]. Acta Univ Boreali-occidentalis, 1998, 26(4): 20—24.
- [8] 陈萃仁, 崔绍荣, 方利军, 等. 草莓果实振动损伤的预测模型[J]. 农业工程学报, 1997, 13(3): 213—216.
CHEN Qui-ren, CUI Shao-rong, FANG Li-jun, et al. A Predictive Model of Strawberry Bruising Due to Vibration[J]. Transactions of the CSAE, 1997, 13(3): 213—216.
- [9] 康维民, 肖念新, 蔡金星. 水果卡车运输模拟振动的研究[J]. 包装工程, 2003, 24(2): 32—33.
KANG Wei-min, XIAO Nian-xin, CAI Jin-xing. Studies on thr Simulative Vibration of Transport Fruits by Truck[J]. Packaging Engineering, 2003, 24(2): 32—33.
- [10] 康维民, 肖念新, 蔡金星, 等. 稳定振动条件下梨的振动损伤研究[J]. 农业机械学报, 2004, 35(3): 105—108.
KANG Wei-min, XIAO Nian-xin, CAI Jin-xing, et al. Study on Pear Scathe under Stationary Vibration Condition[J]. Thansactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2004, 35(3): 105—108.
- [11] 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 Packagings of Nectarine [J]. Packaging Engineering, 2005, 26(6): 25—27.
- [12] PELEG K, HINGA S. Simulation of Vibration Damage in Produce Transportation[J]. Transaction of the ASAE, 1986, 29(2): 633—62.