

# 哈密瓜物流包装件不同部位的振动建模及特性分析

doi:10.20269/j.cnki.1674-7100.2025.3004

陈慧芳<sup>1</sup> 张连文<sup>1,2</sup>

谢晓定<sup>3</sup> 张华彪<sup>1</sup>

张超<sup>2</sup> 李淳昊<sup>1</sup>

1. 天津商业大学

机械工程学院

天津 300134

2. 新疆工程学院

宣传部

新疆 乌鲁木齐 830023

3. 广州理工学院

智能制造与电气工程学院

广东 广州 510540

**摘要:** 为优化哈密瓜物流包装件防护设计, 对哈密瓜 5 层堆码包装件进行扫频振动试验, 利用 DASP V11 软件分析采集的振动信号, 获得各堆码层包装件中部和侧部的固有频率、峰值加速度、振动传递率, 分别建立峰值加速度、最大振动传递率与堆码层关系的多项式回归模型。试验结果表明, 同一堆码层在包装件中部的峰值加速度和最大振动传递率均大于侧部的; 各堆码层的峰值加速度和最大振动传递率从底层到顶层均呈现递增趋势; 峰值加速度和最大振动传递率与堆码层均表现为极显著正相关。在进行包装件防护优化设计时, 应该重点考虑包装件中部及处于顶层的包装件的缓冲优化设计。

**关键词:** 哈密瓜; 物流包装件; 堆码; 固有频率; 峰值加速度; 振动传递率; 建模分析

**中图分类号:** TB485.3; TS206

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-7100(2025)03-0029-07

**引文格式:** 陈慧芳, 张连文, 谢晓定, 等. 哈密瓜物流包装件不同部位的振动建模及特性分析 [J]. 包装学报, 2025, 17(3): 29-35.

## 1 研究背景

哈密瓜被誉为“瓜中之王”, 是新疆农业经济中极为重要的作物。它以其肥厚多汁的果肉、清脆可口的口感及丰富的营养价值而深受消费者青睐<sup>[1]</sup>。为了将这一美味送达新疆以外的广大消费者, 哈密瓜必须经过长途卡车运输, 抵达广东、上海、浙江、北京等主要消费市场<sup>[2]</sup>。但是在长时间的运输过程中, 哈密瓜会遭受持续的振动, 这不仅可能导致其表皮出现损伤, 还可能引起内部品质的下降, 从而影响哈密瓜的销售和消费者的满意度<sup>[3,4]</sup>。

物流运输振动受到国内外学者的广泛关注。学者们通过模拟随机振动、扫频振动和定频振动研究产品在运输中承受的各种环境振动, 为包装结构设计提供指导<sup>[5-9]</sup>。在模拟运输随机振动实验中, T. Fadji<sup>[10]</sup>、

王仕栋<sup>[11]</sup>、夏铭<sup>[12]</sup>、Wang L. J.<sup>[13]</sup>、纪锋<sup>[14]</sup>等研究了不同类型和结构的瓦楞纸箱、减振衬垫、托盘、筐装方式(全筐和半筐的包装方式)对瓜果的防护能力; 许增刚等<sup>[15]</sup>发现在两层堆码包装中, 顶层产品的振动主要受第一共振频率控制, 底层产品的振动受到第一和第二共振频率共同控制; M. Khodaei<sup>[16]</sup>、A. Berardinelli<sup>[17]</sup>等发现, 同一种瓜果但品种不同, 其抵抗振动损伤的能力存在较大的差异。在模拟运输扫频振动试验中, 黄祥飞<sup>[18]</sup>、F. Shahbazi<sup>[19]</sup>、程旭<sup>[20]</sup>、G. L. Barchi<sup>[21]</sup>等分别测定了梨、西瓜、密瓜、枇杷在运输过程中的固有频率, 以通过改变包装和运输方式有效避开共振频率。在模拟运输定频振动实验中, Zhou R.<sup>[22]</sup>、刘建志<sup>[23]</sup>、M. Al-Dairi<sup>[24]</sup>、Shu C.<sup>[25]</sup>等发现, 振动会加速瓜果的硬度、抗氧化物质含量、咀嚼性、可溶性固体含量等下降, 且低频振动对瓜果品质造成

收稿日期: 2024-11-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31960490)

作者简介: 陈慧芳, 女, 硕士生, 主要研究方向为物流运输包装动力学, E-mail: 1814686720@qq.com

通信作者: 张连文, 男, 教授, 博士, 主要从事农产品物流运输包装振动冲击测试与防护研究, E-mail: 623147349@qq.com

的损伤更大。上述研究通过模拟运输振动试验,探讨单果或单层包装件物流运输振动的相关问题。然而,在实际运输环境中,包装件通常是以逐层堆码方式被装载和运输,且针对同一包装件不同部位的振动特性研究相对匮乏。鉴于此,对各堆码层包装件不同部位振动特性的研究,对于优化包装件的防护设计而言,具有更为重要的实际意义。

本研究以哈密瓜和 0201 型包装瓦楞纸箱作为研究对象,通过模拟卡车运输哈密瓜在公路行驶的实际运输振动,借助 DASP V11 软件分析实验采集到的振动信号,研究哈密瓜物流堆码包装件的中部和侧部的振动特性,建立峰值加速度、最大振动传递率与堆码层数的多项式回归模型,以期为后续包装件防护优化设计提供依据。

## 2 试验部分

### 2.1 材料与仪器

材料:哈密瓜,新疆五家渠市,品种为西州密 17 号,从同一批次挑选果形大小均匀、色泽和成熟度相近、单果质量在 3.0~3.5 kg 之间<sup>[26]</sup>的哈密瓜;瓦楞纸箱,瓦楞组合为 BE 楞的七层瓦楞纸板,箱型为 0201 型,外形尺寸(长×宽×高)为 462 mm×376 mm×168 mm;缓冲材料,选用尺寸为 320 mm×110 mm~370 mm×160 mm 的泡沫网套及瓦楞组合为 BE 楞的七层瓦楞纸板。

仪器:低频振动台(DC-1000-15 型,配有 RC-3000-4 振动台控制仪)、程式恒温恒湿处理机(HT-8045A 型)及传感器等设备,苏州试验仪器总厂;DASP 智能数据采集和信号分析系统 V11、采集仪(INV3062T 型),北京东方振动和噪声技术研究所。

### 2.2 试验方法

#### 2.2.1 哈密瓜装箱

哈密瓜按照长途运输装载的实际包装要求装箱,每箱装 4 个且都套上泡沫网套,并用 4 片瓦楞纸板分隔开,如图 1 所示。选用 15 箱进行试验。

#### 2.2.2 恒温恒湿处理

按照国家标准 GB/T 4857.2—2005《包装 运输包装件基本试验 第 2 部分:温湿度调节处理》<sup>[27]</sup>,对试验材料进行恒温恒湿处理。根据运输包装件的特性及流通环境,温湿度预处理条件设定为:温度 23℃、相对湿度 50%、处理时间 8 h。预处理时间分别为 8 和 24 h 所获得的试验结果几乎一致,因此,为了提

高试验效率,选择处理时间为 8 h。将试验环境的温湿度调节至与上述预处理条件一致<sup>[28]</sup>。

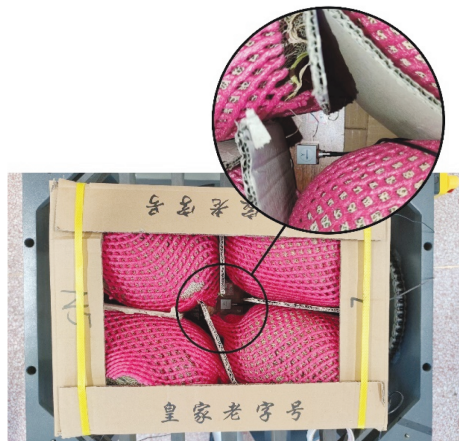


图 1 哈密瓜的装箱方式

Fig. 1 Packing method for Hami melon

#### 2.2.3 模拟运输扫频振动试验

按照国家标准 GB/T 4857.10—2005《包装 运输包装件基本试验 第 10 部分:正弦变频振动试验方法》<sup>[29]</sup>,对 5 层堆码包装件进行模拟运输扫频振动试验。将传感器固定在各层包装件的中间和侧壁位置,如图 2 所示。

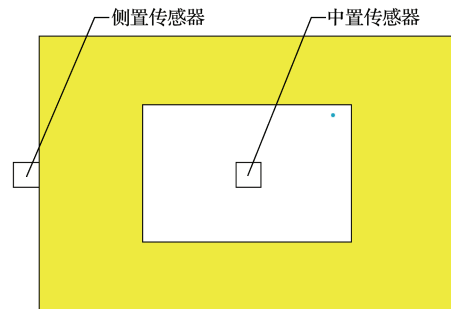


图 2 传感器布置示意图

Fig. 2 Diagram of the sensor arrangement

中置传感器和侧置传感器测得的振动信号分别表示包装件中部和侧部的振动特性。将第 1 层至第 5 层的中置传感器线路分别连接到低频振动台振动信号测试仪的第 2, 6, 7, 9, 10 通道,侧置传感器线路分别连接到低频振动台振动信号测试仪的第 12, 13, 14, 15, 16 通道。将包装件以逐层堆码方式正立置于低频振动台台面中心,使用尼龙捆扎绳进行捆包固定,以防止试验过程中出现剧烈晃动,如图 3 所示。在 DASP V11 软件中设置低频振动台的采样频率为 1024 Hz,在 5~100 Hz 之间往复扫描,扫描速率为 0.5 octave/min。重复 3 次试验,取均值。



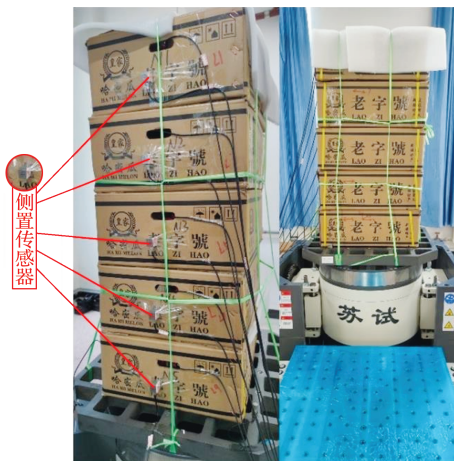


图3 5层堆码包装件扫频振动试验

Fig. 3 Sweep frequency vibration experiment of 5-layer stacked packages

### 2.3 数据处理

采用 DASP V11 软件对采集到的振动信号进行分析, 通过自谱分析获得固有频率, 通过时域分析获得峰值加速度, 通过传递函数分析获得振动传递率<sup>[30]</sup>。采用 Excel 软件对 DASP V11 导出的数据进行处理, 采用多项式回归分析方法对数据进行差异显著性分析, 最后利用 Origin 2019b 软件绘制图形。

## 3 结果与分析

### 3.1 中部和侧部的固有频率

利用 DASP V11 软件对采集到的振动信号进行自谱分析, 通过 Excel 处理导出的功率谱密度值, 最后用 Origin 2019b 软件绘制自功率谱。自功率谱能反映振动能量随频率的变化关系。包装件的固有频率对应自功率谱峰值。当低频振动台给予的外激励振动频率等于包装件固有频率时, 包装件发生共振现象。

#### 3.1.1 各层包装件中部的固有频率

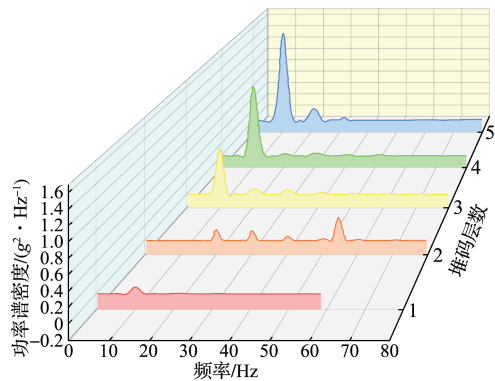
第1层~第5层包装件中部的自功率谱如图4a所示。由图可知, 第1层~第5层包装件中部的固有频率分别为9.86, 54.75, 9.75, 9.92, 10.31 Hz。

#### 3.1.2 各层包装件侧部的固有频率

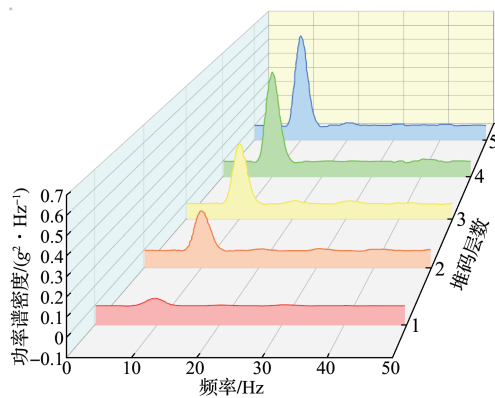
第1层~第5层包装件侧部的自功率谱如图4b所示。由图可知, 第1层~第5层包装件侧部的固有频率分别为9.60, 9.85, 9.75, 9.75, 9.83 Hz。

综上所述, 当扫频频率从9 Hz开始, 5层堆码包装件的振动强度明显增大, 到11 Hz时该现象消失。产生这种现象的原因是, 当扫频频率在9~11 Hz时, 包装件的固有频率会与扫频频率接近或相等, 导致振

动能显著增加<sup>[20]</sup>。因此, 在实际运输过程中避开产生9~11 Hz频段的路段, 或者通过改变包装方式以避开共振频率。



a) 中部



b) 侧部

图4 各层包装件的自功率谱

Fig. 4 Self-power spectrums of different layers of the packages

### 3.2 中部和侧部的峰值加速度

利用 DASP V11 软件对采集到的振动信号进行时域分析, 得到第1层~第5层包装件中部的全程时域波形, 随后从全程时域响应波形中提取峰值加速度附近时域响应波形的数据, 并导入 Excel 软件进行处理, 最终在 Origin 2019b 软件中绘制第1层~第5层包装件峰值加速度附近的时域响应波形图。

#### 3.2.1 各层包装件中部的峰值加速度

第1层~第5层包装件中部的时域响应波形如图5a所示。由图可知, 第1层~第5层包装件中部的峰值加速度分别为1.217 73g、2.715 95g、4.001 41g、4.407 89g、5.253 53g。

#### 3.2.2 各层包装件侧部的峰值加速度

第1层~第5层包装件侧部的时域响应波形如图5b所示。由图可知, 第1层~第5层包装件

侧部的峰值加速度分别为 1.341 87g、1.989 41g、2.373 65g、2.697 39g、2.788 33g。

综上所述,峰值加速度由底层到顶层呈现递增趋势,这是由于底层包装件受到上层包装件垂直方向的承载力,越往上的包装件受到的承载力越小,导致越往上的包装件位移振动幅度越大,加之越往上的包装件冲击力越大,故越往上的包装件破坏力越大,对哈密瓜造成的损伤程度也就越大<sup>[31]</sup>。因此,对产品进行装载时,需要加强上层包装件的捆包固定以增加其约束度,减小产品运输过程中的振动幅度,同时还需要改善上层包装件的缓冲设计,以提高包装件抗冲击能力,从而有效减少因振动造成的瓜果损伤。

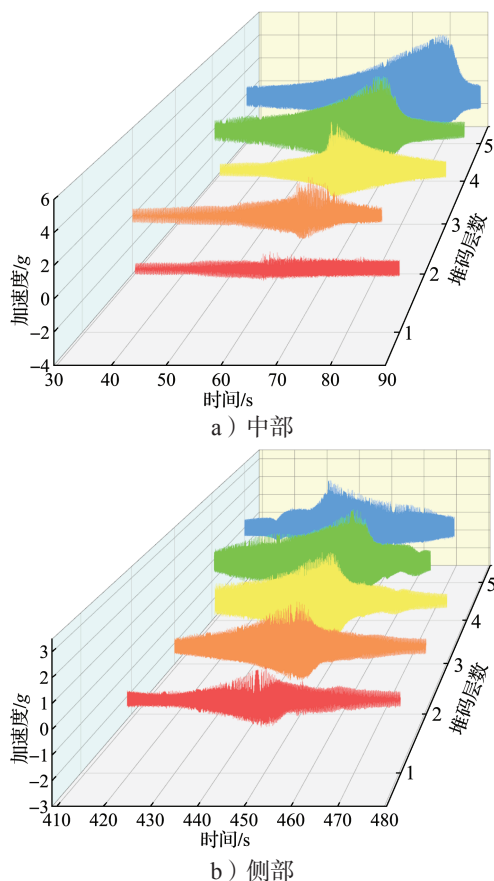


图 5 各层包装件的时域响应波形图

Fig. 5 Time-domain response plots of each packaging layer

### 3.3 中部和侧部的振动传递率

振动传递率是衡量运输车辆振动对所载包装件及其内装物影响的关键指标。它是指振动外激励通过介质传递至包装件及内装物所产生的振动加速度与原振动外激励加速度之间的比值<sup>[32]</sup>,即

$$T_{r,n} = G_n / G_0, \quad n=1, 2, \dots, 5, \quad (1)$$

式中:  $G_n$  为对应各层包装件的振动加速度;  $G_0$  为振动外激励加速度。

在 DASP V11 软件中对采集到的振动信号进行传递函数分析,获得振动传递率,并将数据导入 Excel 软件进行分析和处理,最后利用 Origin 2019b 软件绘制振动传递率随频率变化的曲线图。曲线峰值即为包装件的最大振动传递率。

#### 3.3.1 各层包装件中部的最大振动传递率

图 6a 为第 1 层~第 5 层包装件中部的振动传递率随频率的变化曲线。由图可知,第 1 层~第 5 层包装件中部的最大振动传递率分别为 18.09%、20.81%、32.79%、43.65%、54.32%。

#### 3.3.2 各层包装件侧部的最大振动传递率

图 6b 为第 1 层~第 5 层包装件侧部的振动传递率随频率的变化曲线。由图可知,第 1 层~第 5 层包装件侧部的最大振动传递率分别为 14.04%、21.90%、29.55%、34.93%、34.99%。

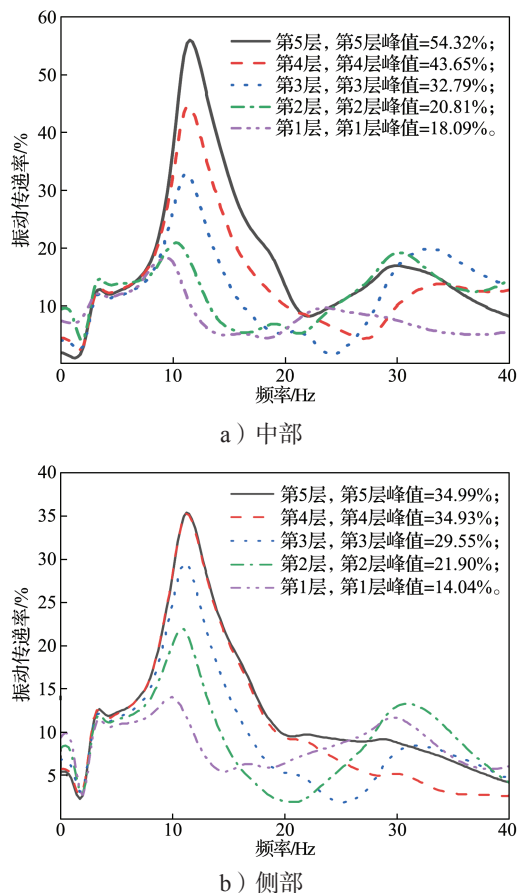


图 6 包装件振动传递率随频率的变化曲线

Fig. 6 Variation curves of the vibration transmission rate of the package with frequency

### 3.4 峰值加速度、最大振动传递率与堆码层数的关系

#### 3.4.1 峰值加速度与堆码层数的关系

根据 3.2 节得到的第 1 层~第 5 层包装件中部和侧部的峰值加速度, 利用 Origin 2019b 软件中的多项式拟合分析工具, 分别拟合出中部和侧部的峰值加速度与堆码层数关系的二次多项式回归模型<sup>[33]</sup>, 如图 7 所示。

中部峰值加速度与堆码层的二次多项式回归模型为

$$G_m^{\text{中}} = -0.156\,01n^2 + 1.912\,41n - 0.501\,83, \quad (2)$$

相关系数  $R_1^2 = 0.990\,10$ 。因此, 在包装件中部, 峰值加速度与堆码层数关系表现为极显著正相关<sup>[20, 34]</sup>。

侧部峰值加速度与堆码层数的二次多项式回归模型为

$$G_m^{\text{侧}} = -0.083\,84n^2 + 0.863\,1n + 0.571\,01, \quad (3)$$

相关系数  $R_2^2 = 0.998\,49$ 。因此, 在包装件侧部, 峰值加速度与堆码层数的关系表现为极显著正相关。

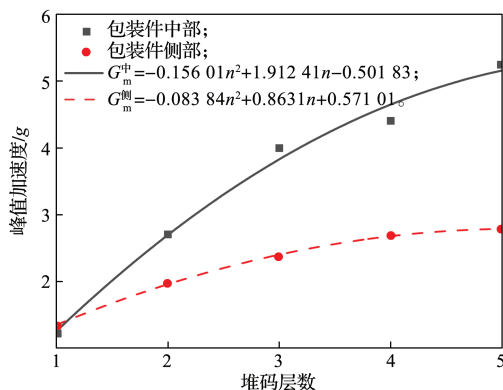


图 7 峰值加速度与堆码层数的相关性分析

Fig. 7 Correlation analysis of peak acceleration with stacked layers

由图 7 可知, 中部和侧部的峰值加速度从底层到顶层均呈现递增趋势, 且越往顶层其增量越小; 第 1 层中部和侧部的峰值加速度基本一致, 从第 2 层起中部的峰值加速度大于侧部的, 越往顶层两个部位峰值加速度的差值越大。

#### 3.4.2 最大振动传递率与堆码层数的关系

根据 3.3 节得到的第 1 层~第 5 层包装件中部和侧部的最大振动传递率, 利用 Origin 2019b 软件中的多项式拟合分析工具, 分别拟合出中部和侧部最大振动传递率与堆码层数关系的二次多项式回归模型, 如图 8 所示。

中部最大振动传递率与堆码层数的二次多项式

回归模型为

$$T_r^{\text{中}} = 0.010\,56n^2 + 0.031\,96n + 0.127\,32, \quad (4)$$

相关系数  $R_3^2 = 0.988\,49$ 。因此, 在包装件中部, 最大振动传递率与堆码层数关系表现为极显著正相关。

侧部最大振动传递率与堆码层数的二次多项式回归模型为

$$T_r^{\text{侧}} = 0.012\,76n^2 + 0.131\,52n + 0.016\,68, \quad (5)$$

相关系数  $R_4^2 = 0.991\,98$ 。因此, 在包装件侧部, 最大振动传递率与堆码层数关系表现为极显著正相关。

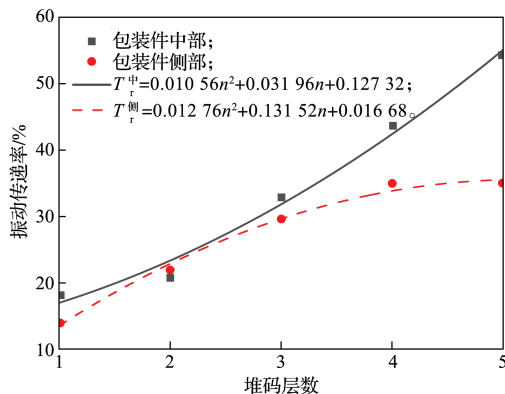


图 8 最大振动传递率与堆码层数的相关性分析

Fig. 8 Correlation analysis of vibration transfer rates with stacked layers

由图 8 可知, 各层包装件中部的最大振动传递率均大于相应侧部的; 最大振动传递率从底层到顶层均呈递增趋势, 中部的振动传递率越往上层增量越大, 侧部则越往上层增量越小, 从第 4 层开始趋于平稳; 第 2 层中部与侧部的最大振动传递率差值最小, 向两边的差值逐渐增大。

综上, 中部和侧部的峰值加速度、最大振动传递率与堆码层数的关系都为极显著正相关。所建立的模型可以较准确地预测各层包装件的峰值加速度和最大振动传递率, 为包装件防护优化设计提供理论依据。同一堆码层包装件中部的振动强度大于侧部的, 因此, 包装件中部缓冲性能要求更高。此外, 不同堆码层包装件的振动强度由底层到顶层呈现递增趋势, 因此, 处于上层的包装件缓冲性能要求更高。

## 4 结语

通过模拟运输哈密瓜物流堆码包装件振动试验, 揭示堆码包装件中部、侧部的振动强度变化规律, 并进一步用多项式回归分析方法获得峰值加速度、最大



振动传递率与堆码层数的关系,最后依据包装件的不同部位和不同堆码层的振动强度进行包装件防护优化设计。包装件中部及处于上层堆码包装件的缓冲材料性能要求更高,即防护等级更高。未来,本课题组将进一步研究包装件在车厢板前部、中部和后部位置的振动强度,以及寻求更优的集装堆码方式。

#### 参考文献:

- [1] 徐 斌,车凤斌,潘 俨,等.模拟运输振动对不同堆高哈密瓜果实质地品质的影响[J].新疆农业科学,2017,54(2): 243-253.
- [2] 周 然,王锡昌,谢 晶,等.热水结合果蜡处理抑制振动引起哈密瓜衰老的机理[J].农业工程学报,2014,30(24): 318-324.
- [3] 房世杰,徐 斌,潘 俨,等.振动对不同堆高哈密瓜果实理化品质影响差异性研究[J].新疆农业科学,2018,55(9): 1647-1655.
- [4] 曾媛媛,王锡昌,周 然,等.运输振动对哈密瓜贮藏品质的影响[J].食品与机械,2016,32(3): 141-144, 148.
- [5] 田津津,张 哲,严 雷,等.运输过程中振动条件对西红柿贮藏品质影响[J].食品工业科技,2017,38(7): 340-345.
- [6] LIPINŠKA M, TOMASZEWSKA M, KOŁOŻYŃ-KRAJEWSKA D. Identifying Factors Associated with Food Losses During Transportation: Potentials for Social Purposes[J]. Sustainability, 2019, 11(7): 2046.
- [7] 曾媛媛,周 然,蒋春啟,等.不同等级道路运输振动对哈密瓜品质的影响[J].农业工程学报,2017,33(9): 282-289.
- [8] MIR H, SHAHBAZI F. Simulated Transit Vibration Effects on the Postharvest Quality of Persimmon During Storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2022, 189: 111918.
- [9] FERNANDO I, FEI J G, STANLEY R, et al. Measurement and Evaluation of the Effect of Vibration on Fruits in Transit: Review[J]. Packaging Technology and Science, 2018, 31(11): 723-738.
- [10] FADIJI T, COETZEE C, CHEN L, et al. Susceptibility of Apples to Bruising Inside Ventilated Corrugated Paperboard Packages During Simulated Transport Damage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 118: 111-119.
- [11] 王仕栋,孙建明,刘 辉,等.基于减振包装设计的苹果贮运性能研究[J].包装学报,2022,14(6): 33-42.
- [12] 夏 铭,赵晓晓,徐昌杰,等.不同减振衬垫对模拟运输猕猴桃生理和品质影响[J].食品工业科技,2019,40(4): 276-279, 285.
- [13] WANG L J, ZHANG Q, SONG H Y, et al. Mechanical Damage of 'Huangguan' Pear Using Different Packaging Under Random Vibration[J]. Postharvest Biology and Technology, 2022, 187: 111847.
- [14] 纪 锋,李志元,尚志勇,等.运输过程中振动对哈密瓜的机械损伤和贮藏品质的影响[J].新疆农业科学,2022,59(2): 458-465.
- [15] 许增刚,曾台英.不同堆码型式物流包装件的稳定性分析[J].包装学报,2022,14(6): 43-51.
- [16] KHODAEI M, SEIILEDLOU S, SADEGHI M. The Evaluation of Vibration Damage in Fresh Apricots During Simulated Transport[J]. Research in Agricultural Engineering, 2019, 65(4): 112-122.
- [17] BERARDINELLI A, DONATI V, GIUNCHI A, et al. Damage to Pears Caused by Simulated Transport[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 66(2): 219-226.
- [18] 黄祥飞,卢立新.梨果实共振特性及振动损伤的实验研究[J].包装工程,2008,29(7): 1-3.
- [19] SHAHBAZI F, RAJABIPOUR A, MOHTASEBI S, et al. Simulated In-Transit Vibration Damage to Watermelons[J]. Journal of Agricultural Science & Technology, 2010, 12(1): 23-34.
- [20] 程 旭,杨晓清,董同力嘎.蜜瓜运输共振频率的测定及其对储藏品质的影响[J].农业工程学报,2015,31(11): 294-299.
- [21] BARCHI G L, BERARDINELLI A, GUARUIERI A, et al. PH-Postharvest Technology: Damage to Loquats by Vibration-Simulating Intra-State Transport[J]. Biosystems Engineering, 2002, 82(3): 305-312.
- [22] ZHOU R, WANG X, HU Y, et al. Reduction in Hami Melon (*Cucumis Melo* var. *Saccharinus*) Softening Caused by Transport Vibration by Using Hot Water and Shellac Coating[J]. Postharvest Biology and Technology, 2015, 110: 214-223.
- [23] 刘建志,杨晓清,杜亚楠.振动频率对蜜瓜贮藏期间质构特性和细胞的影响[J].食品工业科技,2018,39(8): 240-244.
- [24] AL-DAIRI M, PATHARE P, AL-MAHDOURI A. Impact of Vibration on the Quality of Tomato Produced by Stimulated Transport[C]//IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Purwokerto: IOP Publishing, 2020, 653: 012101.
- [25] SHU C, CAO J K, JIANG W B. Postharvest Vibration-Induced Apple Quality Deterioration Is Associated with the Energy Dissipation System[J]. Food Chemistry,

- 2022, 386: 132767.
- [26] 徐 斌, 阿塔吾拉·铁木尔, 张 婷, 等. 不同贮藏温度对西州密 25 号哈密瓜果实软化的影响 [J]. 新疆农业科学, 2022, 59(5): 1135–1143.
- [27] 中国国家标准化管理委员会. 包装 运输包装件基本试验 第 2 部分: 温湿度调节处理: GB/T 4857.2—2005[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005: 1–3.
- [28] 张连文, 杨传民, 王 勇, 等. 樱桃番茄运输包装件振动冲击性能试验 [J]. 农业机械学报, 2011, 42(3): 125–130.
- [29] 中国国家标准化管理委员会. 包装 运输包装件基本试验 第 10 部分: 正弦变频振动试验方法: GB/T 4857.10—2005[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005: 1–2.
- [30] 张连文, 杨传民, 孟宪文, 等. 圣女果运输包装件振动冲击性能实验研究 [J]. 振动工程学报, 2011, 24(1): 73–77.
- [31] 康维民, 肖念新, 蔡金星, 等. 模拟 3 自由度振动条件下水果运输振动加速度传递率及损伤研究 [J]. 农业工程学报, 2003, 19(6): 219–222.
- [32] 李文华. 缓冲包装的振动传递率 [J]. 包装工程, 1992, 13(1): 12–15.
- [33] 王磊明, 李 洋, 张 茜, 等. 不同温度下蓝莓失重率和质构特性的相关性分析 [J]. 食品研究与开发, 2018, 39(5): 171–176.
- [34] 朱元国, 范金华, 张 军, 等. 高等工程数学 [M]. 北京: 科学出版社, 2019: 288–296.

(责任编辑: 邓 彬)

## Vibration Modeling and Characteristic Analysis of Different Parts in Hami Melon Logistics Packaging

CHEN Huifang<sup>1</sup>, ZHANG Lianwen<sup>1,2</sup>, XIE Xiaoding<sup>3</sup>, ZHANG Huabiao<sup>1</sup>, ZHANG Chao<sup>2</sup>, LI Chunhao<sup>1</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China;

2. Publicity Department, Xinjiang Institute of Engineering, Urumqi 830023, China;

3. School of Intelligent Manufacturing and Electrical Engineering, Guangzhou Institute of Science and Technology, Guangzhou 510540, China)

**Abstract:** To optimize the protective design of logistics packaging for Hami melons, a sweep frequency vibration test was conducted on the 5-layer stacked packaging of Hami melons. The collected vibration signals were analyzed using the DASP V11 software to obtain the natural frequencies, peak acceleration, and vibration transmission rates of the middle and side parts of the packaging in each stacking layer. Polynomial regression models of the relationship between peak acceleration, maximum vibration transfer rate and stacking layer were established respectively. The test results show that the peak acceleration and the maximum vibration transmission rate of the same stacking layer in the middle of the package are both greater than those in the side. The peak acceleration and maximum vibration transfer rate of each stacking layer show an increasing trend from the bottom layer to the top layer. The peak acceleration and the maximum vibration transfer rate both show a significant positive correlation with the stacking layer. Therefore, when optimizing the protection design of package parts, considerations should be given to optimizing the cushioning design in the middle of the package and at the top of the packages.

**Keywords:** Hami melon; logistics packaging parts; stacking; natural frequency; peak acceleration; vibration transmission rate; modeling analysis