

基于减振包装设计的苹果贮运性能研究

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2022.06.005

王仕栋 孙建明
刘 辉 李 昭
王甜甜 申子旺
栗 倩

河南科技大学
包装工程系
河南 洛阳 471000

摘 要: 为了延长苹果货架期,设计了几种不同结构的减振包装。首先以微瓦楞纸板为主要材料,通过仿真分析与模拟试验,得出在跌落及振动条件下设计 1 的减震效果优于其他组。然后从两个方面对设计 1 进行优化,采用 A 瓦楞纸板,设计双层保护结构。通过仿真分析与模拟试验,得出在 25 ℃、相对湿度 50% 条件下优化设计组苹果贮藏 15 d,其失重率、硬度损失率、MDA 含量等降低,同时苹果成熟期延长,营养物质流失减缓,POD 活性维持较高水平,从而其货架期延长。本减振包装能为其他果品的减振包装设计提供参考。

关键词: 瓦楞纸板;减振包装;模拟物流;包装设计

中图分类号: TB485.1

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2022)06-0033-10

引文格式: 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.

虽然我国是世界上水果种类最多的国家之一,也是水果产量第一大国^[1],但是水果采后处理技术的应用滞后,流通过程中水果损耗率超过 20%^[2]。采后处理是果品规模化、产业化、商品化生产的重要工序。目前,研究人员主要通过模拟运输试验和跌落试验分析水果采后的物流损伤,为包装设计提供依据。研究表明,挤压、跌撞以及磨损等会造成水果机械损伤,机械损伤会加快水果软化,使其品质下降^[3-4]。

苹果是蔷薇科苹果亚科苹果属植物。中国统计年报数据显示,2021 年我国苹果产量约为 4597.34 万 t。

目前,苹果包装主要采用泡沫塑料制品或瓦楞纸箱,前者虽具有一定的缓冲效果,但极不环保且不易回收;后者虽价格低廉、绿色环保,但防护效果较弱。本研究基于瓦楞纸板设计苹果减振包装,并分析其贮运性能。

1 苹果减振包装设计

苹果产地与消费地分布不均,因此苹果运输方式主要为长途运输。运输中引起苹果损伤的主要形式及解决办法见表 1。

表 1 引起苹果损伤主要形式及解决办法

Table 1 Main forms of apple damage and solutions

损伤形式	造成原因	解 决 方 式
振动损伤	运输振动引起的低应力循环	改善运输环境,增加低频阻尼隔振器
冲击损伤	外力作用超过苹果自身属性	增加缓冲结构,提高机械化水平、操作人员素质
静压损伤	苹果接触区域长期受堆码压力和自身重力的作用 ^[5]	增加果品包装刚度,防止果品产生堆码接触,调整堆码方式

收稿日期:2022-09-16

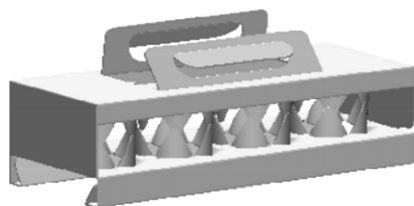
基金项目:陕西省印刷包装工程重点实验室开放课题项目(2017KFKT-01)

作者简介:王仕栋(1995-),男,甘肃白银人,河南科技大学硕士生,主要研究方向为包装系统设计,

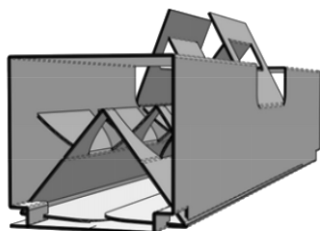
E-mail: Wshid6@163.com

通信作者:孙建明(1978-),男,山东广饶人,河南科技大学副教授,博士,硕士生导师,主要从事食品保鲜包装、智能包装研究,E-mail: sunjianming@haust.edu.cn

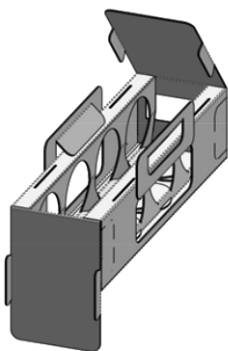
本研究针对运输过程中的振动及跌落情况设计了 3 种减振结构包装，并用苹果理化指标对包装保护效果进行评价。不同减振结构的示意图如图 1 所示，相应的截面示意图如图 2 所示。



a) 设计 1



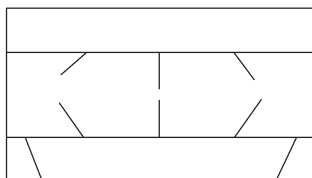
b) 设计 2



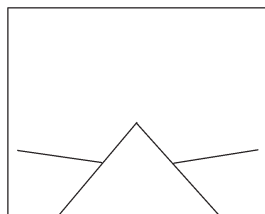
c) 设计 3

图 1 苹果减振包装

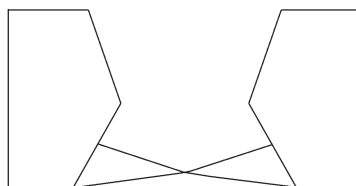
Fig. 1 Vibration reduction packaging for apples



a) 设计 1



b) 设计 2



c) 设计 3

图 2 苹果减振包装截面示意图

Fig. 2 Section map vibration reduction packaging for apples

2 仿真分析

苹果减振包装的主材料为瓦楞纸板。根据纸板自身的特性和苹果减振包装的结构设计，采用 ABAQUS 有限元分析软件进行跌落仿真试验。

2.1 参数设置

瓦楞纸板具有特殊的波纹结构，因而包装物品时具有良好的保护效果。但在 ABAQUS 有限元分析软件中无瓦楞纸板相关结构模型，故需进行模型等效建模，横向对比结构性能。包装单元各部分材料属性^[6-7]定义见表 2。

表 2 包装单元各部分材料属性

Table 2 Material properties of each part in a packaging unit

材料	密度/(kg·m ⁻³)	弹性模量/MPa	泊松比
苹果	950	7000	0.33
瓦楞纸板	200	4020	0.34
地面	1710	2.1×10^5	0.30

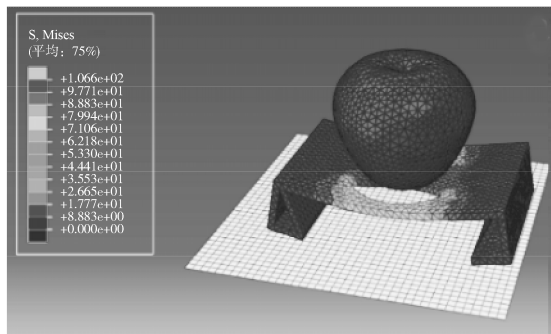
2.2 有限元模型建立

减振包装中起保护作用的主要结构是底部，故将包装简化为底部单元。跌落高度设为 0.8 m。在 SOLIDWORKS 2018 中建立单元件等效模型，并导入 ABAQUS 有限元分析软件中。苹果、减振单元件及刚性地面均采用自由网格划分，单元形式采用 C3D4。根据冲击内能第一次峰值，分析步时间设为 0.004 s，苹果、模型及地面接触位均添加表面 - 表面接触，以防作业中出现穿透现象，固定地面所有自由度，将地面与空间坐标原点进行绑定。法向接触为硬接触，约束地面为刚体，全模型施加 $g=9.8 \text{ m/s}^2$ 的重力场。根据公式 $r = \sqrt{2gh}$ ，可得包装件落地速度为 3.96 m/s。

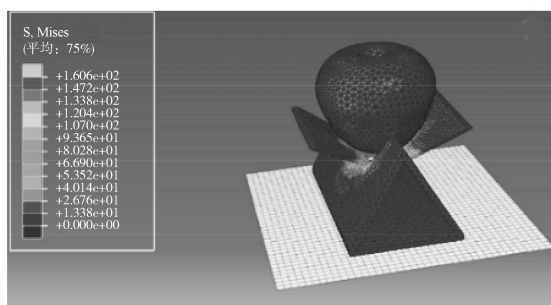
2.3 仿真结果分析

底部结构面跌落应力图如图 3 所示。由图 3 可以看出，设计 1 的应力主要集中在衬垫中部，最大应力集中在圆切口宽度最窄位置，为 106.6 MPa；设计

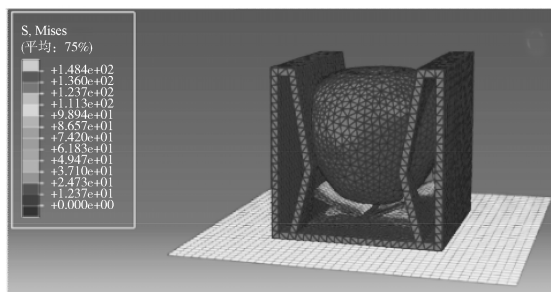
2 的应力主要集中在减振襟片与苹果接触处、襟片与三角结构连接处, 最大应力为 160.6 MPa; 设计 3 的应力主要分布在底部折叠衬垫部分, 且最大应力为 148.4 MPa。



a) 设计 1



b) 设计 2



c) 设计 3

图 3 底部结构面跌落应力图

Fig. 3 Drop stress diagram of bottom structural plane



彩图

3 模拟试验

3.1 材料与仪器

红富士苹果, 产自洛宁县, 购自水果超市, 果实无机械损伤, 大小和成熟度基本一致; 微瓦楞纸板购自东莞市厚街智盈纸箱厂。

电子天平, FA1004 型, 上海舜宇恒平科学仪器有限公司; 数显果实硬度计, GY-4 型, 浙江托普云农科技股份有限公司; 数显折光仪, LH-B55 型, 杭

州陆恒生物科技有限公司; 恒温恒湿箱, HD-100 型, 东莞市海达仪器有限公司; 纸箱纸盒切割打样机, DCZ50 型, 东莞市奥科电脑切割设备有限公司; 振动试验台, LD-50ATPP 型, 广州市番禺凡正电磁振动机厂。

3.2 试验方法

使用微瓦楞纸板对 3 种设计进行打样, 制作模型。对照组包装仅为在底部放置微瓦楞纸板, 不做其他结构性支撑。参考 GB/T 4857.5—1992《包装运输包装件跌落试验方法》, 跌落高度取 0.8 m。跌落台示意图如图 4 所示。

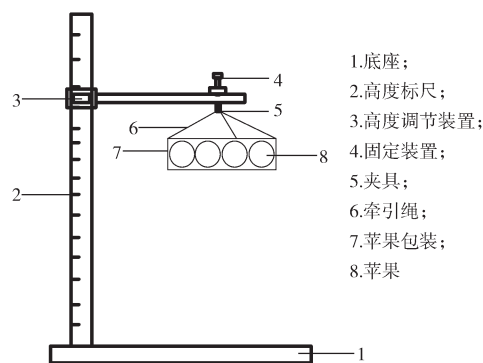


图 4 跌落台示意图

Fig. 4 Schematic of drop test apparatus

根据 GB/T 4857.23—2012《包装运输包装件基本试验 第 23 部分: 随机振动试验方法》, 钢簧减震卡车公路运输的振动强度分为 3 种严酷水平。本试验考虑极端情况, 采用严酷水平 I。为缩短振动时间, 将加速度均方根值扩大 $\sqrt{5}$ 倍, 振动时间缩短为原来的 1/5, 即模拟运输振动时间为 120 min^[8]。振动台示意图如图 5 所示。

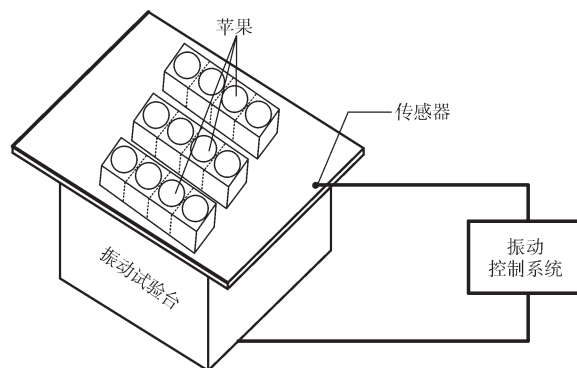


图 5 振动台示意图

Fig. 5 Schematic of vibration test apparatus

3.3 指标测定与分析方法

苹果的质量、硬度、可溶性固形物 (total soluble

solids, TSS) 含量分别采用电子天平、数显果实硬度计、数显折光仪进行检测。模拟试验完成后, 所有包装物品置于室温 25 ℃、相对湿度 50% 的条件下贮藏, 测定相关数据。每个样品平行测试 3 次, 取均值并计算标准偏差。使用 SPSS (statistical product and service solutions) 软件进行显著性分析, 用 Origin 2018 进行绘图。

3.4 结果分析

3.4.1 不同减振设计对苹果失重率的影响

经过跌落或严酷水平 I 之后, 不同减振设计对苹果失重率的影响如图 6 所示。

由图 6 可知, 经过跌落或严酷水平 I 之后, 随着贮藏时间的增加, 各组苹果的失重率均呈增势。在贮藏 3 d 时, 对照组质量下降较快, 可能是损伤部位受到外界污染而导致果肉腐烂变质, 大量消耗果肉内的营养物质, 同时由于机械振动加大了果实的呼吸作用, 加速了果实质量的下降^[9]。贮藏后期(第 6 天), 设

计 1 与其他组在失重率方面出现极显著差异($P<0.01$)。

3.4.2 不同减振设计对苹果硬度损失率的影响

本研究对经过跌落或严酷水平 I 后, 苹果胴端、萼端的硬度损失率进行分析。不同减振设计对苹果胴端、萼端的硬度损失率的影响如图 7 所示。

由图 7 可知, 经过跌落或严酷水平 I 之后, 随着贮藏时间的增加, 苹果各部位的硬度损失率逐渐增大。前期受到外界瞬时激励, 导致苹果硬度迅速下降。有学者认为外界机械胁迫引起的细胞壁水解酶活性变化是导致果品软化的重要原因^[10]。后期包装的缓冲性能减缓了苹果的成熟速率。贮藏 6 d 时, 设计 1 较其他组的胴端、萼端的硬度损失率均呈极显著差异($P<0.01$)。

3.4.3 不同减振设计对可溶性固形物含量的影响

TSS 含量是衡量果蔬成熟度和营养物质含量的重要指标。经过跌落或严酷水平 I 之后, 苹果的 TSS 含量变化如图 8 所示。

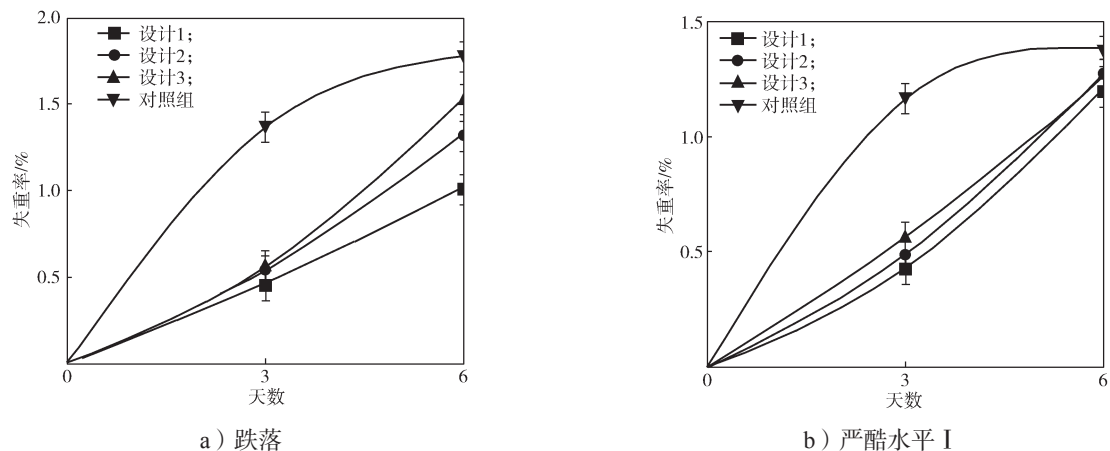
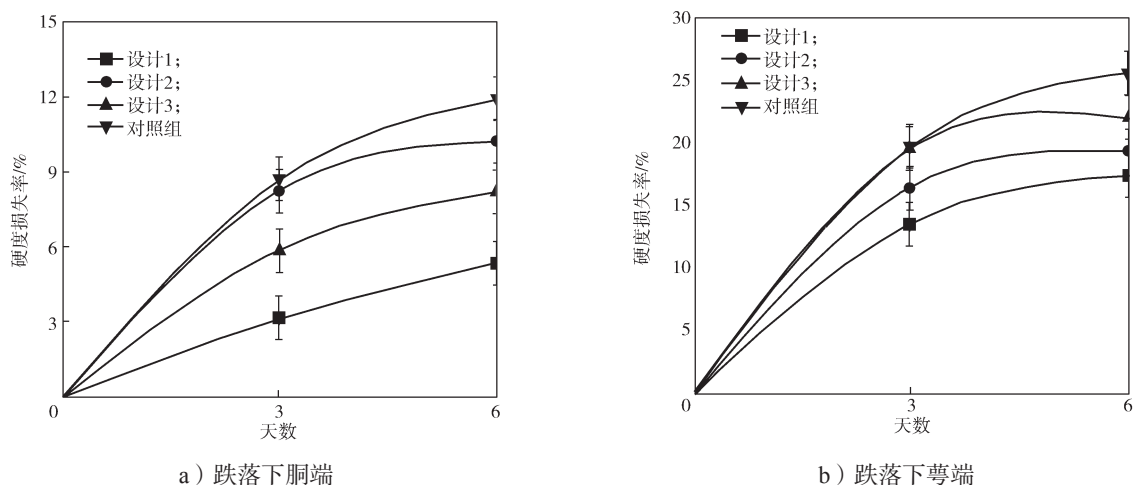


图 6 不同工况下减振设计对苹果失重率的影响

Fig. 6 Influence of vibration reduction design on weight loss rate of apple under different working conditions



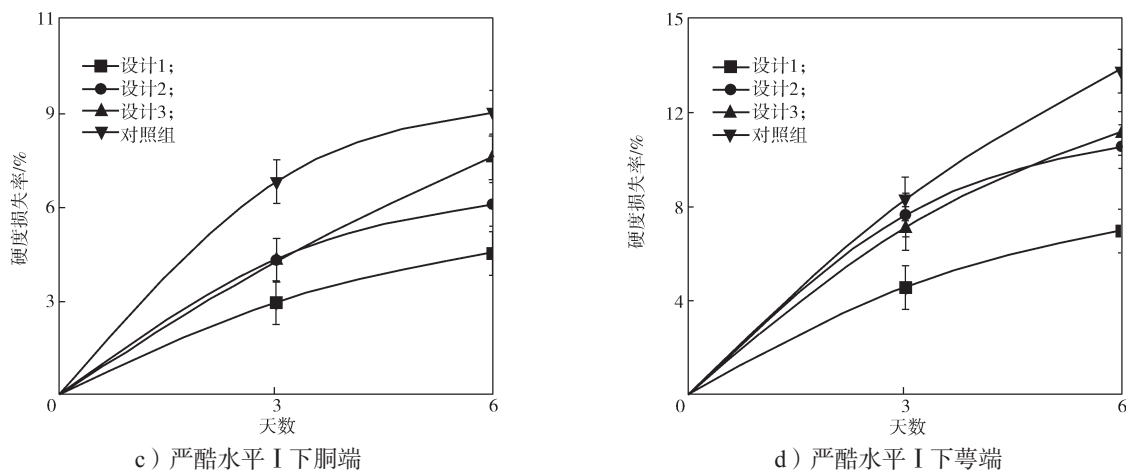


图 7 不同工况下减振设计对苹果硬度损失率的影响

Fig. 7 Influence of vibration reduction design on the hardness loss rate of apple under different working conditions

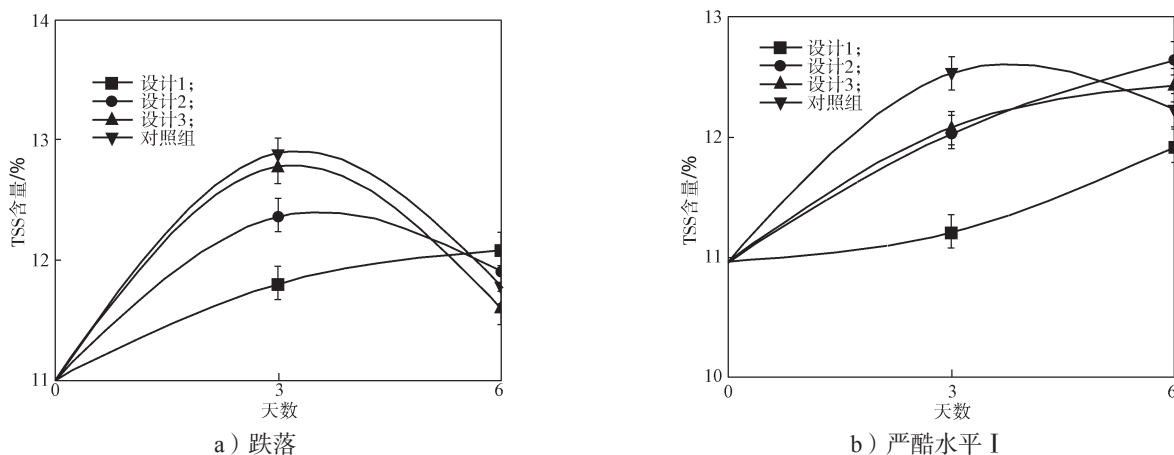


图 8 不同工况下减振设计对苹果 TSS 含量的影响

Fig. 8 Effect of vibration reduction design on TSS content of apple under different working conditions

由图 8 可知, 经过跌落后, 从贮藏第 4 天开始, 由减振设计 1 包装的苹果 TSS 含量仍保持上升趋势, 而其他组的均开始下降; 经过运输振动后, 除对照组外, 其他组的苹果 TSS 含量均呈上升趋势, 造成这种情况的原因是底部托盘的缓冲极大降低了外界冲击对果实的影响, 延缓了果实成熟。贮藏第 6 天, 采用设计 1 包装的苹果 TSS 含量与其他组呈显著性差异 ($P < 0.05$)。

综上, 在模拟物流环境中设计 1 对苹果具有良好的保护效果, 可有效降低苹果在物流环节中的失重率、硬度损失率并可有效延缓苹果成熟。因此, 本研究对设计 1 进行优化。

4 优化后减振包装对苹果品质的影响

4.1 材料与仪器

A 瓦楞纸板, 购自东莞市厚街智盈纸箱厂。

高速冷冻离心机, TGL-16 型, 四川蜀科仪器有限公司; 紫外可见分光光度计, UV759CRT 型, 上海佑科仪器仪表有限公司; 其他仪器同 3.1 节。

4.2 指标测定

丙二醛 (malondialdehyde, MDA) 含量、过氧化氢酶 (peroxidase, POD) 活性测量分别参照 Zhang X. T.^[11]、曹建康^[12] 等提出的方法。

4.3 优化设计

从两个方面对设计 1 进行优化: 一是采用具有较好缓冲效果的 A 瓦楞纸板^[13] 作为包装材料; 二是对底部托盘进行优化, 以满足包装不同果径的要求, 以及分散垂直跌落时苹果对缓冲叶片的作用力。底部托盘直接接触果品, 对果品抵御外界激励起重要作用。在模拟流通试验时, 发现个别苹果会出现跌落损伤, 因为底部缓冲叶片不足以全方位保护苹果免受垂直冲击带来的损伤。因此, 将底部支撑结构由原三角结

构优化为三角全包结构,优化前后截面如图9所示。优化设计增加了底部缓冲衬垫的宽度,使苹果受到缓冲叶片加底部瓦楞纸板双重保护。

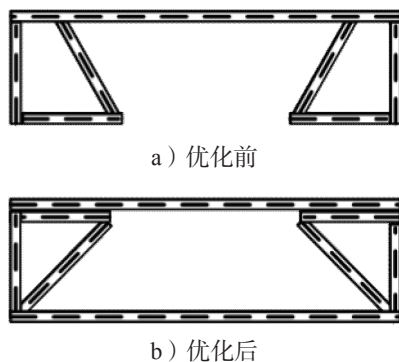


图9 优化前后底部托盘剖面示意图

Fig. 9 Schematic diagram of bottom tray profile before and after optimization

4.4 仿真分析

A瓦楞纸板参数定义如下:泊松比为0.31,弹性模量为944.9 MPa,密度为180.0 kg/m³[14],苹果和地面的参数、网格划分同第2章。跌落时优化设计的底部结构应力如图10所示。

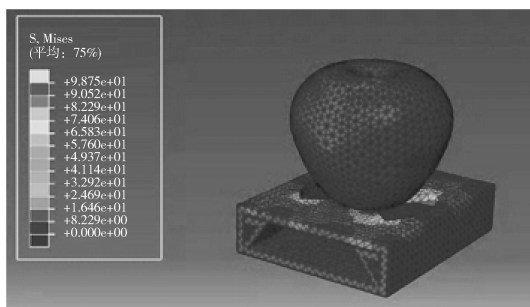


图10 优化设计的底部结构应力图

Fig. 10 Stress diagram for optimizing vibration reduction design of bottom structure

由图10可知,跌落时优化设计的底部托盘所受的最大应力为98.75 MPa,低于优化之前的设计。

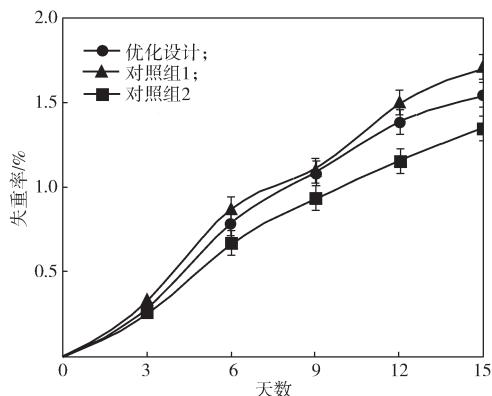
4.5 模拟试验

4.5.1 优化设计对苹果失重率的影响

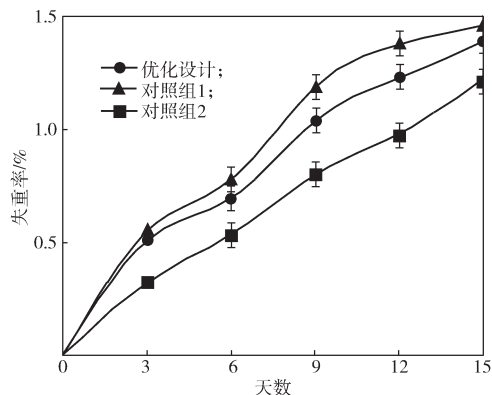
经过跌落或严酷水平I之后,不同减振包装对苹果失重率的影响如图11所示。设计1记为对照组1,仅用A瓦楞纸板进行优化的记为对照组2。

由图11可知,经过跌落或严酷水平I之后,在整个贮藏期内,各组苹果失重率均呈上升趋势,由优化设计包装的苹果失重率均低于各对照组。贮藏前期(6 d之前),各组苹果失重率上升速率较高,且优

化设计组与两对照组存在显著性差异($P<0.05$)。苹果失重率上升速率较高的主要原因是果品受到外界损伤后,呼吸作用明显增强,营养物质被大量消耗[15]。第15天,优化设计组的苹果失重率极显著低于各对照组($P<0.01$)。



a) 跌落



b) 严酷水平 I

图11 不同工况下优化设计对苹果失重率的影响

Fig. 11 Effects of optimal design on weight loss of apples under different working conditions

4.5.2 不同工况下优化设计对苹果硬度损失率的影响

优化设计对苹果不同部位硬度损失率的影响如图12所示。由图12可知,各组苹果的硬度均呈下降趋势,由优化设计包装的苹果硬度损失率始终低于两对照组。贮藏前期(3 d内),各组苹果失重率快速上升,这主要是因为外界激励远远超过果品自身属性,导致其出现物理层面的硬度下降。贮藏第15天,优化设计组的苹果硬度损失率极显著低于其他各组($P<0.01$),说明优化包装可有效保持苹果硬度,延长苹果货架期。

4.5.3 不同工况下优化设计对苹果 TSS 含量的影响

不同工况下优化设计对苹果 TSS 含量的影响如图13所示。

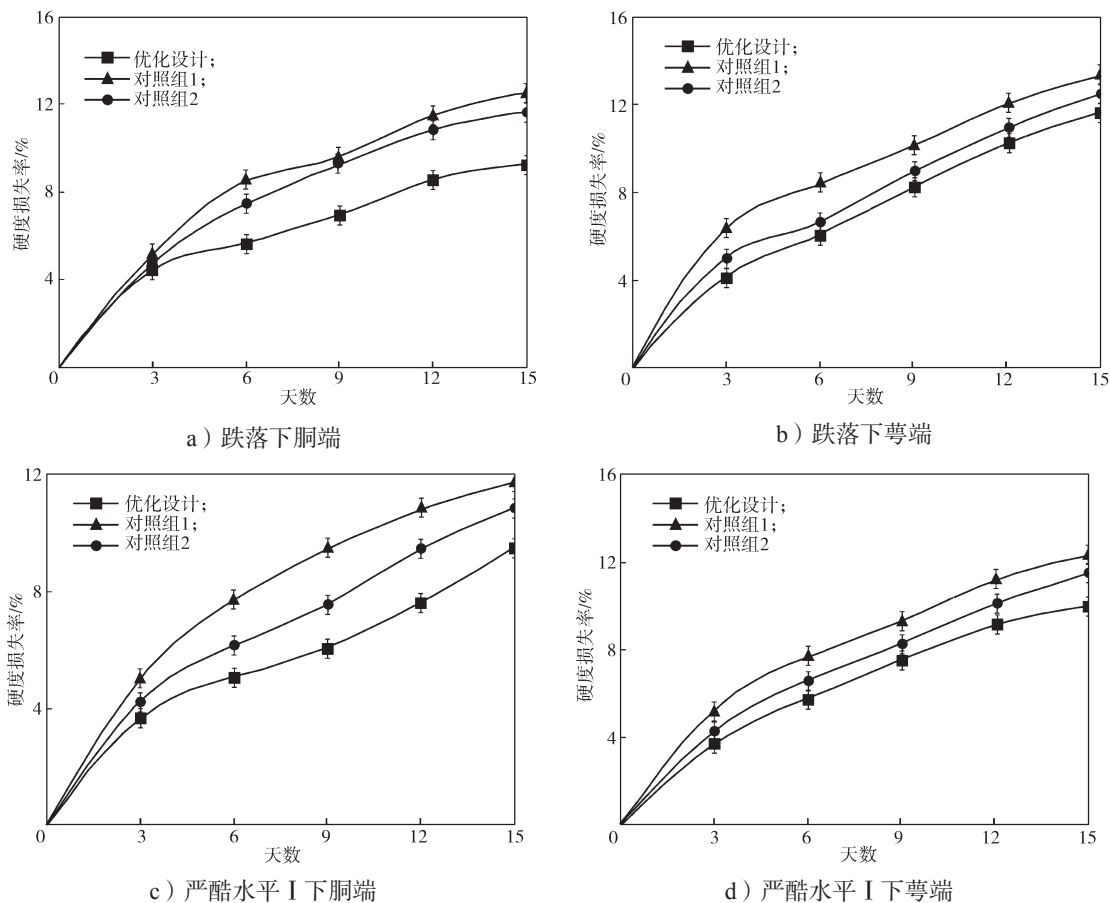


图 12 不同工况下优化设计对苹果硬度损失率的影响

Fig. 12 Influences of optimal design on hardness loss rate of apples under different working conditions

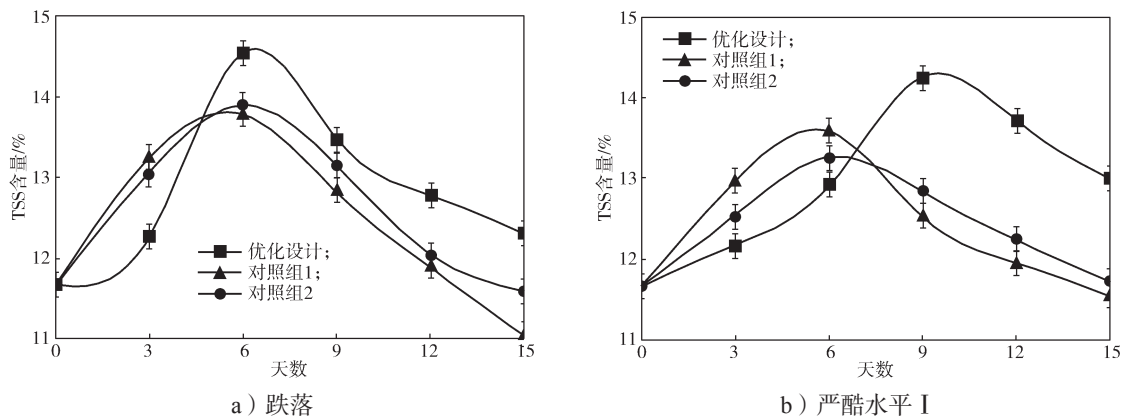


图 13 不同工况下优化设计对苹果 TSS 含量的影响

Fig. 13 Effects of optimal design on TSS content of apples under different working conditions

由图 13 可知,随着贮藏时间的增加,TSS 含量呈先上升后下降趋势。贮藏前期(3 d 内),优化设计组的苹果 TSS 含量上升速率明显低于两对照组,这说明在振动情况下,优化设计组相比对照组能屏蔽部分外界激励,延长果品成熟期。两种工况下,在贮藏第 15 天时优化设计组的苹果 TSS 含量极显著高于

对照组 ($P<0.01$)。这与程曦等^[16]模拟赛买提杏运输试验得到的结论相类似。可见,优化减振包装可有效保护苹果,延长其成熟期。

4.5.4 不同工况下优化设计对苹果 MDA 含量的影响

MDA 是常用的膜脂过氧化物指标,是自由基发生反应后的产物,不断堆积会导致果品自身机能的老

化。不同工况下优化设计对苹果 MDA 含量的影响如图 14 所示。

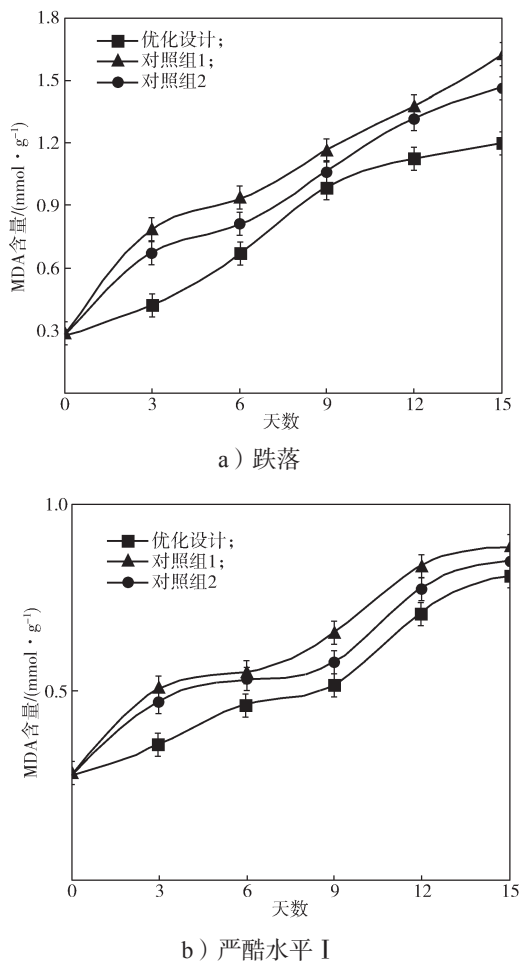


图 14 不同工况下优化设计对苹果 MDA 含量的影响
Fig. 14 Effects of optimal design on MDA content in apples under different working conditions

由图 14 可知,随着贮藏时间增加,各组的 MDA 含量均呈上升趋势,且优化设计组的 MDA 含量始终低于对照组。MDA 含量升高的主要原因是外界瞬时过载冲击导致苹果组织细胞膜发生膜脂过氧化作用。这与李逸等^[17]研究水蜜桃保鲜所得结论类似。贮藏第 15 天,优化设计组的 MDA 含量极显著低于对照组 ($P<0.01$)。

4.5.5 不同工况下优化设计对苹果 POD 活性的影响

在跌落及振动情况下苹果 POD 活性变化如图 15 所示。由图 15 可知,各组苹果 POD 活性随着贮藏时间的增加而减少。在贮藏期间,优化设计组 POD 活性均大于两对照组,贮藏前 3 d, POD 活性出现了大幅度的下降,其原因主要是物流过程中,苹果受到过量外界激励,直接导致细胞膜破裂。贮藏第 15 天,

优化设计组 POD 活性极显著高于两对照组 ($P<0.01$),说明优化设计可减少外界激励对苹果的影响,将 POD 活性维持在较高水平,以更好地催化分解苹果内的过氧化物,这与易建华等^[18]研究苹果褐变所得结论类似。

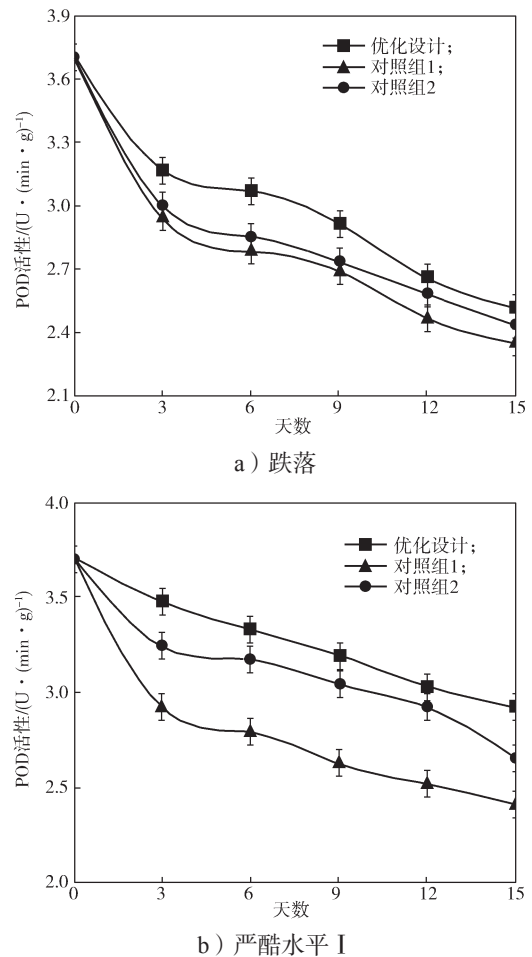


图 15 不同工况下优化设计对苹果 POD 活性的影响
Fig. 15 Influences of optimal design on apple POD activity under different working conditions

从苹果各理化指标的测定结果可知,具有双层保护的优化减振包装较其他包装,其减振保护效果更好,可有效延长苹果货架期。本设计具有一定的应用价值。

5 结论

本研究根据苹果的实际物流情况设计了 3 种减振包装,以微瓦楞纸板作为材料,通过有限元仿真分析及苹果理化指标测定,发现 3 种设计相比传统纸箱具有较好的减振效果,且设计 1 对苹果的保护效果更好。针对设计 1 底部防护不足的情况,从两个方面进行优

化,采用绿色环保、低成本的瓦楞纸板,设计具有双层结构的减振包装。通过有限元仿真分析及跌落振动试验,发现相较于设计1,优化设计在0.8 m跌落情况下所受应力减小了7.36%,其失重率、硬度损失率、MDA含量均处于较低水平,同时苹果成熟期延后,货架期更长。本研究所设计的包装采用一纸成型结构,大大降低了制造成本,可进一步推广到其他类似形状的果品包装中。

参考文献:

- [1] 颜栋勇. 我国水果出口的现状、问题及对策分析: 以苹果、梨和桃为例[J]. 对外经贸实务, 2019(8): 48-51.
YAN Dongyong. Analysis on the Present Situation, Problems and Countermeasures of China's Fruit Export: Taking Apples, Pears and Peaches as Examples[J]. Practice in Foreign Economic Relations and Trade, 2019(8): 48-51.
- [2] ZHOU J F, HE L, KARKEE M, et al. Analysis of Shaking-Induced Cherry Fruit Motion and Damage[J]. Biosystems Engineering, 2016, 144: 105-114.
- [3] HUSSEIN Z, FAWOLE O A, OPARA U L. Harvest and Postharvest Factors Affecting Bruise Damage of Fresh Fruits[J]. Horticultural Plant Journal, 2020, 6(1): 1-13.
- [4] XU F X, LIU S Y, LIU Y F, et al. Effect of Mechanical Vibration on Postharvest Quality and Volatile Compounds of Blueberry Fruit[J]. Food Chemistry, 2021, 349: 129216.
- [5] 毛星超. 水果运输缓冲包装研究现状[J]. 今日印刷, 2018(5): 65-67.
MAO Xingchao. Research Status of Fruit Transportation Buffer Packaging[J]. Print Today, 2018(5): 65-67.
- [6] 滑广军, 罗定提, 吴若梅. 基于屈曲准则的瓦楞纸板强度仿真分析[J]. 包装学报, 2010, 2(1): 18-20.
HUA Guangjun, LUO Dingti, WU Ruomei. The Simulation Analysis of Corrugated Board Strength Based on Buckling Criteria[J]. Packaging Journal, 2010, 2(1): 18-20.
- [7] 李寒东. 苹果包装件有限元分析及优化设计[J]. 印刷技术, 2016(20): 52-55.
LI Handong. Finite Element Analysis and Optimization Design of Apple Packaging[J]. Printing Technology, 2016(20): 52-55.
- [8] 王妮睿, 尤飞, 江智. 猕猴桃的模拟振动实验及特性研究[J]. 包装工程, 2020, 41(5): 172-177.
WANG Nirui, YOU Fei, JIANG Zhi. Simulated Vibration Experiment and Features of Kiwifruit[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(5): 172-177.
- [9] 潘廷跳, 石停凤, 文狄, 等. 魔芋葡甘聚糖复合膜液对樱桃番茄的保鲜效果[J]. 食品工业, 2020, 41(6): 60-63.
PAN Tingtiao, SHI Tingfeng, WEN Di, et al. Study on Preservation of Cherry Tomato by Konjac Glucomannan Composite Coating Solution[J]. The Food Industry, 2020, 41(6): 60-63.
- [10] 谢丹丹, 郭文川, 高梦杰, 等. 草莓的光学特性及其与可溶性固形物含量和含水率的关系[J]. 食品科学, 2021, 42(1): 41-46.
XIE Dandan, GUO Wenchuan, GAO Mengjie, et al. Optical Properties of Strawberry Fruit and Their Relationship with Soluble Solids Content and Moisture Content[J]. Food Science, 2021, 42(1): 41-46.
- [11] ZHANG X T, ZHANG X L, LIU X C, et al. Effect of Polysaccharide Derived from Osmunda Japonica Thunb-Incorporated Carboxymethyl Cellulose Coatings on Preservation of Tomatoes[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2019, 43(6): 14239.
- [12] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 101-105.
CAO Jiankang, JIANG Weibo, ZHAO Yumei. Experimental Instruction of Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 101-105.
- [13] 胡洋. 皇冠梨振动损伤试验与缓冲包装设计[D]. 北京: 北京林业大学, 2016.
HU Yang. Experiments of the Vibration Damage of Crown Pear Fruit and Design of the Cushion Packaging Structure[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2016.
- [14] 张晶, 钟慧敏, 钱江, 等. 一种基于复合纸板的新重型纸质包装箱[J]. 包装工程, 2015, 36(3): 22-26, 30.
ZHANG Jing, ZHONG Huimin, QIAN Jiang, et al. A New Type of Heavy Paper Packaging Box Based on Composite Cardboard[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(3): 22-26, 30.
- [15] 蒋宝. 运输振动损伤及其对果实采后生理特性与品质影响的研究进展[J]. 食品与机械, 2016, 32(12): 209-212.
JIANG Bao. Research Progress on Transport Vibration Damage and Effects of Fruits on Its Postharvest Physiology Characteristics and Quality[J]. Food & Machinery, 2016, 32(12): 209-212.

- [16] 程 曦, 王 英, 许禄鼎, 等. 模拟运输振动胁迫对赛买提杏果品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2015, 36(14): 340–344, 349.
CHENG Xi, WANG Ying, XU Luding, et al. Effect of Simulating Transportation Vibration Stress on the Quality of “Saimaiti” Apricot Fruits[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(14): 340–344, 349.
- [17] 李 逸, 王子鑫, 韩延超, 等. 可降解包装膜的制备及在水蜜桃保鲜中的应用 [J]. 包装工程, 2019, 40(23): 23–31, 10.
LI Yi, WANG Zixin, HAN Yanchao, et al. Preparation and Application of Degradable Filmin Peach Preservation[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(23): 23–31, 10.
- [18] 易建华, 董新玲, 朱振宝, 等. 褐变抑制剂对苹果多酚氧化酶抑制机理研究 [J]. 食品与机械, 2015, 31(4): 122–125.
YI Jianhua, DONG Xinling, ZHU Zhenbao, et al. Mechanism of Different Inhibitors on Apple Polyphenol Oxidase in a Model System[J]. Food & Machinery, 2015, 31(4): 122–125.

(责任编辑: 邓 彬)

Study on Storage and Transportation Performance of Apples Based on Design of Vibration Reduction Packaging

WANG Shidong, SUN Jianming, LIU Hui, LI Zhao, WANG Tiantian, SHEN Ziwan, LI Qian

(Department of Packaging Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang Henan 471000, China)

Abstract: To extend the shelf life of Apple, several different structures of vibration reduction packaging are designed. With corrugated board as the main material, simulation analysis and simulation test showed that the damping effect of Design 1 was better than that of other groups. Design 1 was then optimized in two ways, with A corrugated cardboard, design of double-layer protection structure. Simulation analysis and simulation test showed that under the condition of 25 °C and relative humidity of 50%, the optimal design group of apples was stored for 15 days, and the weight loss rate, hardness loss rate and MDA content were reduced. At the same time, the maturity period of apples was prolonged, with the loss of nutrients reduced, and the POD activity maintained at a high level, therefore, the shelf life of apples was prolonged. This vibration reduction packaging can provide reference for the design of other fruit's vibration reduction packaging.

Keywords: corrugated board; vibration reduction packaging; simulated logistics; packaging design