

包装方式对哈密瓜跌落过程中缓冲作用的影响

才美慧^{1,2}, 李斌², 马越¹, 赵晓燕¹, 张超¹

(1. 北京市农林科学院蔬菜研究中心, 果蔬农产品保鲜与加工北京市重点实验室, 农业部蔬菜产后处理重点实验室, 农业部华北地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室, 北京 100097)

(2. 沈阳农业大学食品学院, 辽宁沈阳 110866)

摘要: 研究包装方式对哈密瓜跌落过程中缓冲作用的影响。分别采用不同层数(3、5和7层)瓦楞纸箱和不同填充物(珍珠棉、散装珍珠棉、气泡柱、瓦楞纸和气泡膜)对哈密瓜进行包装, 考察其在跌落过程中, 加速度最大值的变化情况。结果表明, 7层瓦楞纸箱在跌落过程中, 加速度最大值显著低于3层和5层的瓦楞纸箱, 比3层和5层分别降低了3.6%和2.1%, 缓冲能力最强, 加速度最大值与瓦楞纸箱厚度和边压强度呈负相关, 相关系数分别为-0.987和-0.994; 在5种填充物中, 散装珍珠棉的加速度最大值比珍珠棉、气泡柱、瓦楞纸和气泡膜加速度最大值分别降低了27.1%、23.2%、11.5%和3.9%, 对哈密瓜的缓冲能力最强, 主要原因是散装珍珠棉之间还有空隙, 并且该填充物价格低廉, 透气性强, 利于哈密瓜呼吸产生水分的散失, 适宜作为哈密瓜的长途运输的填充物。

关键词: 哈密瓜; 瓦楞纸箱; 包装; 填充物; 层数; 加速度

文章编号: 1673-9078(2017)11-201-205

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.11.028

Effect of Packaging on the Buffering Capacities of Hami Melon during Dropping Process

CAI Mei-hui^{1,2}, LI Bin², MA Yue¹, ZHAO Xiao-yan¹, ZHANG Chao¹

(1. Beijing Vegetable Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences; Beijing Key Laboratory of Fruits and Vegetable Storage and Processing; Key Laboratory of Vegetable Postharvest Processing, Ministry of Agriculture; Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops (North China), Beijing 100097, China)

(2. Food College, Shenyang Agriculture University, Shenyang 110866, China)

Abstract: The effect of packaging on the buffering capacities of hami melon during dropping process was evaluated. The hami melon was packaged by the 3, 5, and 7-layer corrugated carton, or filled by 5 different fillers. And the gravity acceleration of the packaged melon was measured during the dropping process. The 7-layer corrugated carton presented the lowest acceleration, 3.6% and 2.1% lower than the 3-layer and 5-layer corrugated carton, respectively. The acceleration presented the negative correlation with its thickness and edgewise compressive strength with the correlation of -0.987 and -0.994, respectively. The bulk pearl cotton presented the lowest acceleration, being of 27.1%, 23.2%, 11.5% and 3.9% lower than the EPE pearl cotton, bubble column, corrugated paper and bubble film, respectively. The strongest buffering capacity of the bulk EPE pearl cotton was caused by the porous structure. Moreover, the porous structure facilitated the air circulation of the Hami melon. Hence, the bulk EPE pearl cotton is a potential package for the Hami melon.

Key words: Hami melon; corrugated carton; packaging; filler; layer; acceleration

瓦楞纸箱广泛应用于各类产品的包装, 不仅具有包装和承载作用, 还可以起到缓冲作用, 保护产品的完整性^[1]。瓦楞纸箱的包装方式是影响其缓冲作用主要因素, 包装方式涉及到瓦楞纸箱的层数、结构, 瓦楞纸箱内部的填充物等多个方面。研究显示不同层数的瓦楞纸箱对被包装的苹果具有不同的缓冲作用, 三层瓦楞纸箱的缓冲作用低于五层瓦楞纸箱^[2]。瓦楞纸箱的结构也对缓冲作用具有一定的影响, 瓦楞纸板的瓦楞越大, 材料使用效率越高, 缓冲能力越高, 但其边压及承压能力降低^[3]。瓦楞纸箱内部的填充物琳琅满目, 不同填充物的缓冲能力、重量、价格和便利性均有所差别^[4,5]。Fadiji 等^[6]和高德等^[7]发现发泡聚乙烯质构较硬, 对果品的缓冲作用影响不显著, 具有良好的保温性能; 张蕾等^[8]比较了3种填充物的结构对油

收稿日期: 2017-06-14

基金项目: 现代农业产业技术体系 (GARS-25、GARS-26); 北京市农林科学院科技创新能力建设专项 (KJXC20170205); 果蔬农产品保鲜与加工北京市重点实验室 (Z141105004414037)

作者简介: 才美慧 (1993-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工

通讯作者: 张超 (1978-), 男, 副研究员, 主要从事农产品深加工的研究

收稿日期: 2017-06-14

桃品质的影响, 研究结果发现在相同的共振频率震动处理后, 具有弹簧性结构的填充物对油桃保护最佳, 具有最低的最大加速度。卢立新^[9]通过冲击力-时间的数据, 比较填充物对嘎拉苹果的跌落损伤脆值的影响。目前, 市场上常用的瓦楞纸箱包括 3、5 和 7 层, 填充物包括珍珠棉、气柱袋、瓦楞纸、气泡膜和散装珍珠棉等, 系统开展纸箱层数和填充物类型对果品缓冲作用的研究还鲜有报道。

哈密瓜 (*Cucumis melo* var. *saccharinus*), 葫芦科植物, 是甜瓜的一个转变。味甜, 果实大, 以哈密所产最为著名, 史料记载, 清朝康熙年间, 哈密王把甜瓜作为礼品向朝廷进贡, “哈密瓜”便由此得名。目前, 哈密瓜主产于新疆、甘肃、海南和广西等地, 需要进行长途运输达到消费者手中, 因而包装方式对哈密瓜品质的影响就显得格外重要。鉴于包装方式的复杂性, 本文选择考察瓦楞纸箱层数 (3、5 和 7 层) 和内部填充物 (珍珠棉、气柱袋、瓦楞纸、气泡膜和散装珍珠棉) 对哈密瓜跌落过程中缓冲作用的影响, 同时对包装方式的成本和特性进行评价, 旨在筛选出性价比高的包装方式, 为哈密瓜的长途运输提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料

西周密 25 号: 新疆鄯善县, 1.5~2.5 kg; 瓦楞纸箱: 河北省纸箱企业订做的 3 种瓦楞纸箱, 尺寸为 260 mm×150 mm×180 mm, 分别为 3 层 A 型、5 层 AB 及 7 层 ABE 型瓦楞纸箱; 填充物: 气泡膜、珍珠棉、充气柱、瓦楞纸和散装珍珠棉, 河北省包装材料厂。

1.2 仪器与设备

GDS-225 高低温湿热试验箱: 北京雅士林环境仪器有限公司; PL3002 电子天平: 梅特勒-托利多仪器有限公司; 测厚仪: 瑞典 Lorentzen & Wettre; 压缩试验仪: 瑞典 Lorentzen & Wettre; 耐破度仪: 瑞典 Lorentzen & Wettre; DT-178A 加速度记录仪: 深圳华盛昌机械实业有限公司。

1.3 瓦楞纸箱样品厚度的测量

在经恒温恒湿处理后, 切取足够大的瓦楞纸板 20 个。接通测厚仪电源, 打开数显表, 铜板纸调整测量面进行调零, 测量样品时保证试样与厚度仪测量平面平行, 待显示器数据稳定后读取并记录数据。

1.4 瓦楞纸箱边压强度的测量

从四种瓦楞纸箱上分别取尺寸 2.5 cm×10 cm 的样品 10 个, 用压缩试验仪测试瓦楞纸板的边压强度, 显示屏上显示的数值就是被测试样压溃的最大压力值。边压强度的换算公式为:

$$R=F \times 1000/L$$

式中: R 为瓦楞纸板的边压强度, 用 N/m 表示; F 是试样压溃时读取的力值; L 是试样长边的尺寸, 单位是 mm。

1.5 瓦楞纸箱耐破强度的测量

将耐破度仪压力机示数置零, 升起夹具, 将预处理后的瓦楞纸板放入夹紧; 转动齿轮箱上方的手柄, 活塞运行使试样爆破, 记录压力计示数。

1.6 包装方式对缓冲作用的影响



图 1 不同瓦楞纸箱层数 (a) 和填充物 (b) 包装哈密瓜示意图

Fig.1 Sketch maps of hami melon packaged by the 3, 5, and 7-layer corrugated carton (a) and different fillers (b)

使用胶带将加速度记录仪与哈密瓜中绑在一起, 然后用珍珠棉包裹放入 3 层、5 层和 7 层瓦楞纸箱中 (图 1a), 胶带封口, 将瓦楞纸箱从 1 m 高度处跌落 15 次, 加速度记录仪采集频率 50 ms/次, 记录跌落过程中加速度变化情况。再将哈密瓜用 5 种填充物包裹置于 3 层瓦楞纸箱中, 保证哈密瓜无法自由移动 (图 1b), 同上述条件进行跌落试验。

加速度数据选择哈密瓜垂直于地面的跌落方向, 汇总各次跌落过程数据, 进行排序, 绘制加速度与数量的曲线, 对数量点进行归一化处理, 获得加速度与时间曲线, 并进一步使用 GaussAmp 函数进行拟合。

1.7 数据统计分析

跌落试验重复 9 次, 实验结果以 9 次试验的统计结果表示, 显著性分析采用 Duncan 新负级差法获得。图像绘制采用 Origin 8.0 软件 (美国 Origin Lab Corporation 公司) 绘制。

2 结果与讨论

2.1 瓦楞纸箱层数对其边压强度和耐破强度的影响

表 1 3、5 和 7 层瓦楞纸箱的特性

层数	3 层	5 层	7 层
厚度/mm	4.09±0.02 ^a	6.47±0.04 ^b	8.37±0.04 ^c
边压强度/(kN/m)	3.01±0.16 ^c	4.63±0.14 ^b	8.14±0.20 ^a
正面耐破强度/kPa	799±56.4 ^D	838±61.7 ^{CD}	1202±51.5 ^B
反面耐破强度/kPa	802±35.4 ^D	904±74.3 ^C	1228±80.5 ^A
耐破强度均值/kPa	801±45.9 ^D	871±74.5 ^C	1215±67.1 ^{AB}

注：表中不同小写字母表示同一行数据差异性显著 ($p<0.05$)，不同大写字母表示所有数据差异性显著 ($p<0.05$)。

边压强度和耐破强度是表征瓦楞纸箱物理性能的主要指标^[10]。表 1 显示瓦楞纸箱层数对其对边压强度和耐破强度的影响。边压强度指的是沿瓦楞方向承受边压载荷的能力^[11]，在 23 °C 和 50% RH 条件下，可以发现边压强度 3 层<5 层<7 层，7 层瓦楞纸板承受边压载荷的能力最强。

瓦楞纸箱平均耐破强度随层数的增加而提高，瓦楞纸箱层数与耐破强度呈正相关，7 层瓦楞纸箱的耐破强度最大，比 3 层和 5 层分别提高了 51.7% 和 39.5%。7 层瓦楞纸箱正面与反面耐破强度有显著性差异，其原因可能是受到反面纸质量的影响^[12]。从实际应用上来看，受哈密瓜本身性质及形状的限制，箱内还需放置其它填充材料支撑，不一定要求外包装纸箱材料边压强度和耐破强度都较高^[10]，且 7 层瓦楞纸箱相应的成本最高，需根据包装需求综合考虑，避免材料的浪费。

2.2 瓦楞纸箱层数对哈密瓜跌落过程中缓冲作用的影响

瓦楞纸箱广泛应用于哈密瓜的长途运输^[13]。研究通过哈密瓜跌落过程中重力加速度的变化表征其受到的冲击力，结果显示跌落试验未引起哈密瓜和瓦楞纸箱的破损，图 2 是 3 种瓦楞纸箱跌落过程中加速度变化趋势，可以发现 7 层瓦楞纸箱包装的跌落加速度最小，显著低于 3 层和 5 层，缓冲能力最强，而 3 层和 5 层瓦楞纸箱的加速度相似。卢立新^[9]将嘎拉苹果跌落时典型试样的冲击力-时间数据转化为加速度-时间曲线，与本文包装后的哈密瓜跌落过程中受到的加速度曲线相似。Bundit 等^[14]发现甜罗望子跌落试验下的最大损伤发生在泡沫网中，瓦楞纸箱中损伤最小。

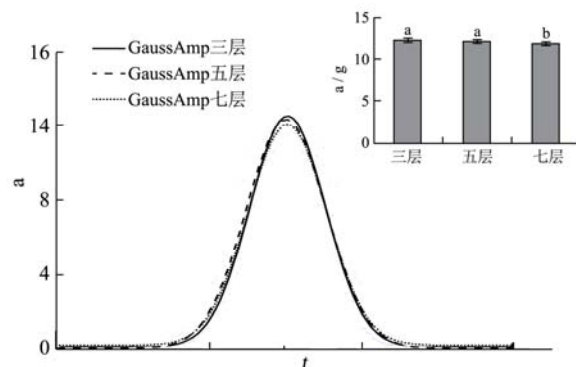


图 2 3、5 和 7 层瓦楞纸箱跌落过程中加速度的变化

Fig.2 Acceleration of the 3, 5, and 7-layer corrugated carton during the dropping

注：图中不同小写字母表示差异性显著 ($p<0.05$)。

2.3 填充物抗压缩能力的比较

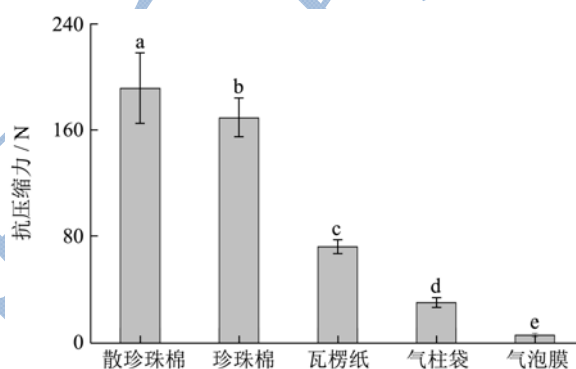


图 3 填充物抗压缩能力的比较

Fig.3 Comparison of anti-compression capacity of the different fillers

注：图中不同小写字母表示差异性显著 ($p<0.05$)。

图 3 比较 5 种填充物在压缩 10 mm 时的抗压缩力，抗压缩力的排序为：散装珍珠棉>珍珠棉>瓦楞纸>气柱袋>气泡膜，因而，散装珍珠棉的抗压缩能力最强。

2.4 填充物对哈密瓜跌落过程中缓冲作用的影响

图 4 显示填充物对跌落过程中的瓦楞纸箱加速度的影响，加速度的顺序分别为珍珠棉>气泡柱>瓦楞纸>气泡膜>散装珍珠棉。珍珠棉会使哈密瓜受到更大的冲击，气泡膜和散装珍珠棉次之，散装珍珠棉使哈密瓜受到冲击力最小，缓冲能力最强，其最大加速度值比珍珠棉、气泡柱、瓦楞纸和气泡膜分别下降了 27.1%、23.2%、11.5% 和 3.9%，原因可能在于期间存在的空隙。与本文结果相似，李春飞^[15]研究发现箱装苹果振动加速度比值越低，缓冲包装对苹果保护效果

越好。Wang 等^[16]发现有弹性的瓦楞纸板衬垫能增加耐压性及缓冲性,并降低加速度传递率。一定范围内,填充物的厚度增加,缓冲效果越好^[17]。此外,填充物的复原性、压缩蠕变性^[18]及环境温湿度^[19]等都会影响其防振能力。

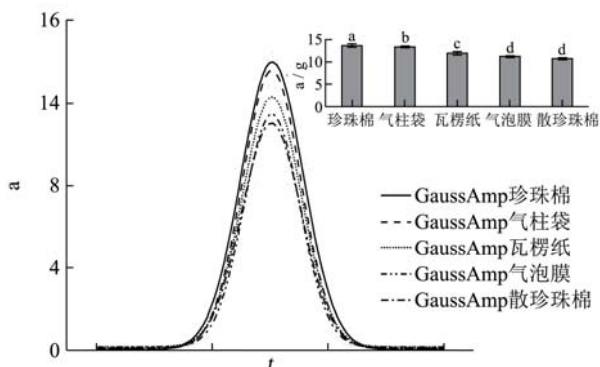


图4 5种填充物对瓦楞纸箱跌落过程中加速度的影响

Fig.4 Effects of the 5 fillers on the acceleration during the dropping

注: 图中不同小写字母表示差异性显著 ($p < 0.05$)。

2.5 包装方式与其加速度的相关性分析

表2 瓦楞纸箱样品的跌落加速度与其特性的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of the acceleration and properties of corrugated carton

相关性	厚度	边压强度	耐破强度	抗压缩力
加速度	-0.987	-0.994	-0.964	0.029

影响哈密瓜跌落过程中加速度的因素应该包括填充物类型、填充方式和填充密度等,表2对瓦楞纸箱跌落加速度与包装形式中的关键指标进行相关性分析。结果显示跌落加速度与厚度、边压强度和耐破强度的相关系数分别为-0.987、-0.994和-0.964,均呈现负相关性,证明瓦楞纸箱的厚度、边压强度和耐破强度越大跌落加速度越小,抗压缓冲效果越强。所以,瓦楞纸箱可以降低跌落时的冲击力,该缓冲能力且与瓦楞纸箱的厚度和层数成正比。5种填充物的抗压缩能力与跌落过程中加速度的相关性系数为0.029,呈弱相关关系,因而填充物的抗压缩力不是影响其缓冲能力的主要因素。

2.6 填充物成本分析

表3比较5种填充物的成本及其重量,可以发现起泡膜、珍珠棉的成本最低,散装珍珠棉和气柱袋的成本居中,瓦楞纸的成本最高。填充物给瓦楞纸箱带来的质量中,瓦楞纸最重,其它的4种填充物比较相似。综合分析,散装珍珠棉具有价格适中、质量轻便的优点,并且缓冲效果比珍珠棉、气泡柱、瓦楞纸和

气泡膜分别提高了27.1%、23.2%、11.5%和3.9%。并且,散装珍珠棉之间具有较多空隙,便于空气流通,可以带走由哈密瓜呼吸产生的水汽,避免表面微生物繁殖。因此,散装珍珠棉是包装哈密瓜的最佳填充物。

表3 填充物的成本和重量分析

Table 3 Analysis of the cost and weight of the 5 fillers

填充物	成本/(元/箱)	质量/(kg/箱)
气泡膜	0.4	0.25
珍珠棉	0.4	0.25
散装珍珠棉	0.9	0.20
气柱袋	0.9	0.20
瓦楞纸	2.3	0.40

注: 表中质量代表缓冲材料与瓦楞纸箱质量的总和。

3 结论

通过对3种瓦楞纸箱的物理性能和缓冲能力对比,发现7层瓦楞纸箱在跌落过程中加速度最大值最低,比3层和5层分别降低了3.6%和2.1%;5种填充物中散装珍珠棉的加速度最大值最低,比珍珠棉、气泡柱、瓦楞纸和气泡膜分别降低了27.1%、23.2%、11.5%和3.9%,且价格低廉,可以加快果实呼吸产生水汽的散失,为哈密瓜的长途运输提供保障。

参考文献

- [1] 张艳伟,崔国华,王磊磊.瓦楞纸箱纸板抗压及堆码强度计算研究[J].中国包装,2008,28(3):77-78
ZHANG Yan-wei, CUI Guo-hua, WANG Lei-lei. Study on calculation of compression and stacking strength of corrugated box [J]. China Packaging, 2008, 28(3): 77-78
- [2] Fei L, Ishikawa Y, Kitazawa H, et al. Impact damage to apple fruits in commercial corrugated fiberboard box packaging evaluated by the pressure-sensitive film technique [J]. Journal of Food Agriculture & Environment, 2010, 8(2): 218-222
- [3] 滑广军,谢勇.蜂窝纸板与瓦楞纸板边压强度有限元分析[J].包装工程,2009,30(5):1-2
HUA Guang-jun, XIE Yong. Finite element analysis of honeycomb and corrugated fiberboard side compression strength [J]. Packaging Engineering, 2009, 30(5): 1-2
- [4] 李萍,王若伊,林顿,等.果蔬运输振动损伤及其减振包装设计[J].食品工业科技,2013,34(5):353-357
LI Ping, WANG Ruo-yi, LIN Dun, et al. Vibration damage and anti-vibration packaging of fruits and vegetables during transportation [J]. Science & Technology of Food Industry, 2013, 34(5): 353-357
- [5] 刘继飞,韩雪山,陈志强.外包装瓦楞纸箱对缓冲性能的影响

- 响研究[J].包装工程,2015,1:111-115
- LIU Ji-fei, HAN Xue-shan, CHEN Zhi-qiang. Influence of outer box corrugated paperboard on cushioning properties [J]. Packaging Engineering, 2015, 1: 111-115
- [6] Fadiji T, Coetzee C, Pathare P, et al. Susceptibility to impact damage of apples inside ventilated corrugated paperboard packages: Effects of package design [J]. Postharvest Biology and Technology, 2016: 111: 286-296
- [7] 高德,卢富德.聚乙烯缓冲材料多自由度跌落包装系统优化设计[J].振动与冲击,2012,31(3):69-72
- GAO De, LU Fu-de. Optimization design of MDOF package cushioning system made of polyethylene [J]. Journal of Vibration & Shock, 2012, 31(3): 69-72
- [8] 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
- [9] 卢立新.跌落损伤脆值及损伤边界[J].包装工程,2005,26(6):1-4
- LU Li-xin. Dropping bruise fragility and bruise boundary [J]. Packaging Engineering, 2005, 26(6): 1-4
- [10] 陈希荣.《运输包装用单瓦楞纸箱和双瓦楞纸箱》标准解读[J].印刷技术,2008,24:40-43
- CHEN Xi-rong. Interpretation of "standard for single corrugated boxes and double corrugated boxes for transport packaging" [J]. Printing Technology, 2008, 24: 40-43
- [11] 周媛.瓦楞纸板的结构增强与配比技术研究[D].无锡:江南大学,2007
- ZHOU Yuan. Research on structural strengthen and the technology of choosing components of corrugated board [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2007
- [12] 余小平,楼柳燕.瓦楞纸箱戳穿强度与耐破强度的相关分析与应用[J].检验检疫学刊,1997,3:15-17
- SHE Xiao-ping, LOU Liu-yan. Correlation analysis and application of puncture strength and bursting strength of corrugated boxes [J]. Journal of Inspection and Quarantine, 1997, 3: 15-17
- [13] Hung D V, Nakano Y, Tanaka F, et al. Preserving the strength of corrugated cardboard under high humidity condition using nano-sized mists [J]. Composites Science & Technology, 2010, 70(14): 2123-2127
- [14] Bundit J, Dolhathai R, Sherpaul S, et al. Post-harvest damage and performance comparison of sweet tamarind packaging [J]. Journal of Food Engineering, 2008, 88(2): 193-201
- [15] 李春飞,卢立新,宋妹妹.缓冲包装结构对箱装苹果振动损伤与动力学特性的影响[J].食品与生物技术学报,2007,26(3):10-13
- LI Chun-fei, LU Li-xin, SONG Shu-mei. Effect of cushion packaging construction on vibration bruising and dynamic property of apples [J]. Journal of Food Science & Biotechnology, 2007, 26(3): 10-13
- [16] Wang D. Impact behavior and energy absorption of paper honeycomb sandwich panels [J]. International Journal of Impact Engineering, 2009, 36(1): 110-114
- [17] 李小昱,王为.缓冲材料降低苹果碰撞损伤的研究[J].西北农林科技大学学报自然科学版,1998,3:47-51
- LI Xiao-yu, WANG Wei. Study on reducing apple's collision damage by buffer material [J]. Journal of Northwest Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition), 1998, 3: 47-51
- [18] 刘乘,王宝霞.几种常用缓冲材料的性能研究[J].包装工程,2005,26(6):85-86
- LIU Cheng, WANG Bao-xia. Research on properties of several cushion materials [J]. Packaging Engineering, 2005, 26(6): 85-86
- [19] 方婷.缓冲包装材料缓冲性能的研究[D].天津:天津科技大学,2013
- FANG Ting. Research on properties of cushioning packaging materials [D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2013