

不同缓冲压头下香梨静压损伤特性研究

师广强^{1,2}, 田勇浩¹, 吴建帮¹, 阳锋¹, 张存雍¹, 刘扬^{1,2}, 赵劲飞^{1,2}, 张宏^{1,2}

(1.塔里木大学 机械电气化工程学院, 新疆 阿拉尔市 843300;

2.塔里木大学 现代农业工程重点实验室, 新疆 阿拉尔市 843300)

摘要: **目的** 解决库尔勒香梨在包装、运输过程中因静压产生的香梨损伤问题。**方法** 在不同压缩速率、不同摆放位置、不同缓冲压头条件下, 利用万能试验压缩机测量分析香梨机械特性参数变化规律。**结果** 各压缩特性参数的分布规律大致相同, 生物屈服极限、破坏极限、变形能、破坏能均随着压缩速率的增大逐渐增大, 屈服极限、破坏极限在随压缩速率增大而增加的过程中有极值存在。香梨纵向部位压缩特性参数均大于横向部位压缩特性参数。在相同摆放位置下, 泡沫缓冲压头的压缩特性参数最大, 钢板压头下的特性参数最小。当速率为 30 mm/min 时, 在泡沫缓冲压头下, 香梨横向摆放时的生物屈服极限为 105.98 N, 变形能为 242 J, 破坏极限为 155.25 N, 破坏能为 582 N·mm。香梨纵向摆放时的生物屈服极限为 135.91 N, 变形能为 521 N·mm, 破坏极限为 177.07 N, 破坏能为 942 N·mm。**结论** 不同缓冲压头下的压缩特性参数曲线分布规律大致相同, 屈服极限和破坏极限在随压缩速率增大而增加的过程中有极值存在。香梨纵向摆放受到外界的机械损伤小于横向摆放所受的机械损伤, 在香梨包装、贮藏、运输过程中应考虑摆放位置, 尽可能让香梨纵向受力。当使用泡沫材质进行包装时, 香梨机械损伤最小, 在香梨包装时应考虑选用泡沫包装材质。

关键词: 香梨; 压缩速率; 缓冲压头; 机械特性

中图分类号: TS959.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)01-0051-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.01.008

Static Pressure Damage Characteristics of Korla Pear under Different Cushioning Head

SHI Guang-qiang^{1,2}, TIAN Yong-hao¹, WU Jian-bang¹, YANG Feng¹, ZHANG Cun-yong¹,
LIU Yang^{1,2}, ZHAO Jin-fei^{1,2}, ZHANG Hong^{1,2}

(1.School of Mechanic and Electrical Engineering, Tarim University, Alar 843300, China;

2.Key Laboratory of Modern Agricultural Engineering, Tarim University, Alar 843300, China)

ABSTRACT: The work aims to solve the damage of Korla pear caused by static pressure during packaging and transportation. Under the condition of different compression rates, different positions and different cushioning heads, the universal test compressor was used to measure and analyze the variation of mechanical characteristics parameters of pear. The distribution law of each compression characteristic parameter was basically the same. The yield limit, deformation energy, failure limit and failure energy of the organism all increased gradually with the increase of the compression rate, and extreme value was found out in the process of the yield limit and failure limit increasing with the increase of the compression rate. The compression characteristics of the longitudinal part of the pear were greater than those of the transverse part. At the same position, the compression charac-

收稿日期: 2019-09-17

基金项目: 兵团科技特派员创新创业计划(2019CB037)。

作者简介: 师广强(1989—), 男, 塔里木大学硕士生, 主攻农产品加工及贮藏。

通信作者: 刘扬(1990—), 男, 塔里木大学讲师, 主要研究方向为农产品加工及贮藏。

teristic parameters of the foam cushioning head were the largest, while the compression characteristic parameters of the steel plate head were the smallest. When the rate was 30 mm/min, under the foam cushioning head, the biological yield limit of pear placed horizontally was 105.98 N, the deformation energy was 242 N·mm, the damage limit was 155.25 N, and the damage energy was 582 N·mm. When placed vertically, the yield limit of pear was 135.91 N, the deformation energy was 521 N·mm, the failure limit was 177.07 N, and the failure energy was 942 N·mm. The curve distribution law of the compression characteristic parameters under different cushioning heads is roughly the same. The extreme value is found out in the process the yield limit and the failure limit increasing with the increase of the compression rate. The mechanical damage of fragrant pear placed vertically is less than that of the pear placed horizontally. In the process of packaging, storage and transportation of fragrant pear, the placement position should be considered and the fragrant pear should be subjected to longitudinal stress as far as possible. When foam material is used for packaging, the mechanical damage of fragrant pear is minimal, so foam material should be considered during packaging of fragrant pear.

KEY WORDS: pear; compression rate; cushioning head; mechanical properties

库尔勒香梨地处南疆,产于塔克拉玛干沙漠边缘,此地光照充足,沙质土壤中富含微量元素,使得香梨皮薄肉脆、清甜可口、香味浓郁,是非常优良且具有芳馨气味的多肉型梨品种^[1—4]。在包装和运输过程中容易受到外部不可抗拒的挤压力作用产生机械损伤,香梨损伤后会极大降低贮存期,严重影响香梨的质感^[5—6]。香梨的机械损伤与其受压情况密切相关,因此,研究香梨的机械特性具有重要意义。

近年来,国内外学者针对香梨包装、运输、贮藏过程中静压条件下的机械损伤等问题进行了研究。王春光^[7]研究了河套蜜瓜机械特性参数对果实损伤体积的影响,研究结果表明,屈服极限和变形能在随压缩速率增大而增加的过程中存在极值,机械特性参数大小受香梨硬度的影响较为显著。陈燕^[8]对荔枝不同部位进行了挤压试验研究,研究结果表明荔枝具有各向异性,其纵向受压部位的机械参数大于横向受压部位的机械参数。冯慧敏^[9]研究了不同种类果蔬的机械特性,发现果实内部组织细胞受力情况对机械参数值有一定影响。这些研究只针对在钢板条件下的香梨受压机械特性作了初步研究,由于在实际包装、运输、贮藏中香梨很少直接与刚性物体接触,因此文中利用与香梨直接接触的瓦楞纸、泡沫为缓冲材料,对比研究不同缓冲压头下的机械特性参数。

基于此,文中利用万能压缩试验机针对香梨在包装、运输、贮藏过程中的受力情况,进行不同缓冲压头、不同压缩速率、不同受压部位下的机械特性参数研究。研究库尔勒香梨的压缩特性可为进一步研究香梨机械损伤的机理以及指导香梨的减缓包装设计提供理论依据^[10—13]。

1 实验

1.1 材料与器材

供实验用的库尔勒香梨,2019年9月25日采

摘于塔里木大学果园。为减少外部环境因素造成香梨损伤,将采摘下来的香梨立刻运回塔里木大学现代农业重点实验室进行压缩试验,试验的香梨形状规则均匀、直径大小在71~75 mm、质量在76~81 g之间、无损伤、无病虫害,实验室温度为25℃^[14—15]。

试验器材有GY-1果实硬度计(杭州托普仪器有限公司)、万能压缩试验机(WD-D3-7型,最大力为5 kN,上海卓技仪器设备有限公司)、钢板压头、瓦楞纸缓冲压头、泡沫缓冲压头。

1.2 方法

由于香梨存在各向异性,果肉不同部位具有不同形状、不同含水率的石细胞团,这会对果肉不同部位压缩特性参数的测定结果造成差异^[16—17]。香梨纵向部位和横向部位的果肉质感、硬度不同,纵向部位较硬^[18—21],因此采用2种放置方式(见图1—2)使香梨受压,并采用不同材质的圆柱压头使香梨受压,压头的直径为10 mm,瓦楞纸和泡沫缓冲材料厚度为5 mm^[22—23]。香梨在受压过程中会出现生物屈服点、变形能、破坏点以及破坏能作为试验参数。生物屈服极限、破坏极限可直接从万能试验机测得的数据中得出,变形能、破坏能可通过采用Origin 8.0软件对力变形曲线中起始点至生物屈服点段和破坏极限点段的曲线下面积进行积分求解获得^[24]。

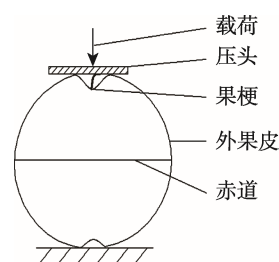


图1 香梨纵向放置

Fig.1 Longitudinal placement of fragrant pears

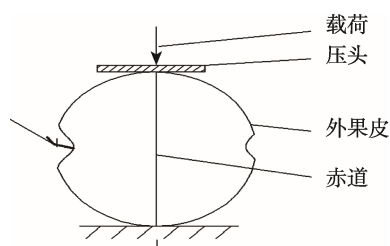


图 2 香梨横向放置

Fig.2 Horizontal placement of fragrant pears

压缩试验装置见图 3。试验选用钢板压头、瓦楞纸缓冲压头、泡沫缓冲压头，将香梨分别横向、纵向摆放在试验台上，试验前先将万能试验机预热 30 min 以减小试验误差。试验压缩速率分别为 10, 20, 30 mm/min 进行测试，每次测试重复 5 次并取平均值。边做实验边观察显示屏上曲线走向，当曲线急剧下降时试验停止。试验后使用 Excel 软件和 Origin 软件处理和分析实验数据。

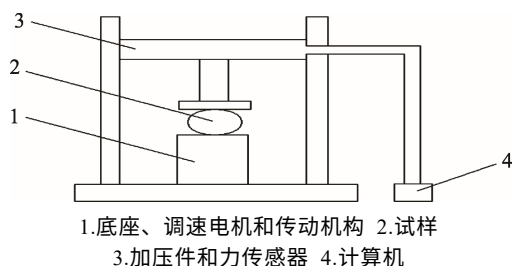


图 3 压缩试验装置

Fig.3 Compression test device

2 结果与分析

2.1 不同摆放位置和缓冲压头下香梨在不同压缩速率下力与变形的关系

不同压头下香梨的横向与纵向压缩力与变形关系曲线见图 4—9，各曲线变化大致呈非线性变化，且变化规律基本相似。从图 4—9 可以看出，随着压缩速率的增加，香梨变形逐渐增大，在 S 点之前基本呈现出线性变化，此阶段香梨以弹性变形为主， S 点前香梨内部组织细胞没有发生损坏；此阶段当受压载荷去掉后，弹性变形可以恢复，香梨不会遭到破坏。当达到第 1 个极点 S 点时，变化曲线出现下降，压力开始减小，开始下降点即为生物屈服点，香梨内部组织结构开始发生变化，细胞壁破裂。 S 点处曲线与横坐标围成的曲线面积为变形能，是香梨弹性变形吸收的最大能量。 S 点以后香梨进入塑性变形阶段，变形不可恢复，随着贮藏时间延长，香梨开始发生腐烂。当压缩速率继续增大到第 2 个极点 B 时，香梨受压急剧下降，此时香梨外部结构开始变化，表皮破裂。此

点可以观察到香梨外部结构的损伤，果实表皮处纤维素和果胶物质遭到破坏^[16]。 B 点处曲线与横坐标围成的曲线面积为破坏能，是香梨遭受永久破坏所吸收的最小能量。

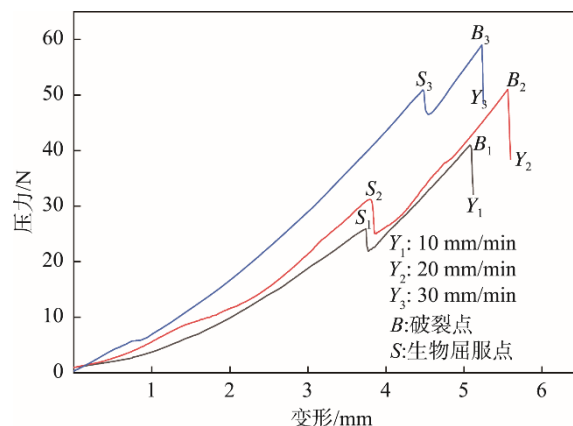


图 4 钢板压头下香梨横向压缩力与变形的关系

Fig.4 Relationship between transverse compression force and deformation of fragrant pears under steel plate head

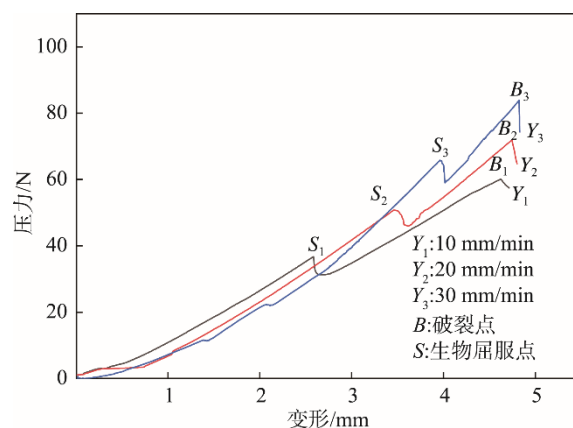


图 5 钢板压头下香梨纵向压缩力与变形的关系

Fig.5 Relationship between longitudinal compression force and deformation of fragrant pears under steel plate head

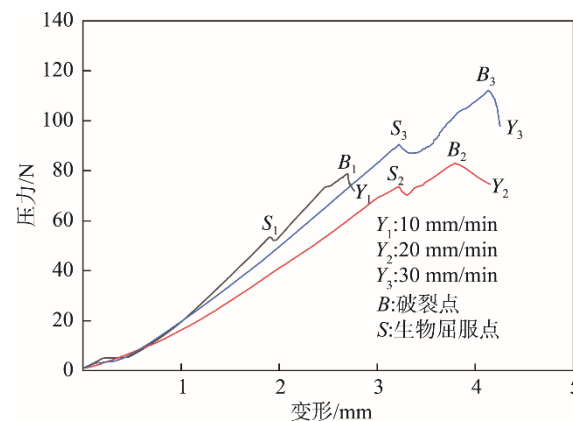


图 6 瓦楞纸缓冲压头下香梨横向压缩力与变形的关系

Fig.6 Relationship between transverse compression force and deformation of fragrant pears under corrugated cushioning head

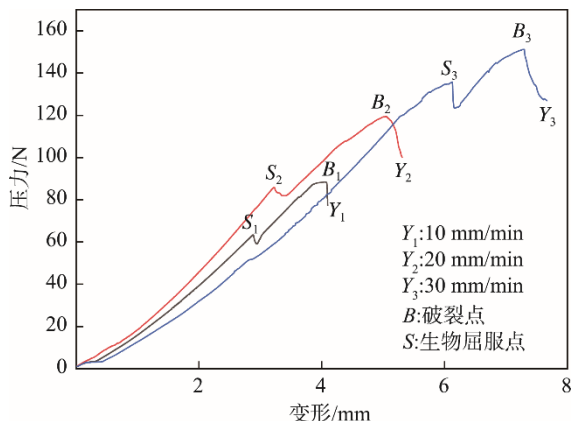


图7 瓦楞纸缓冲压头下香梨纵向压缩力与变形的关系
Fig.7 Relationship between longitudinal compression force and deformation of fragrant pears under corrugated cushioning head

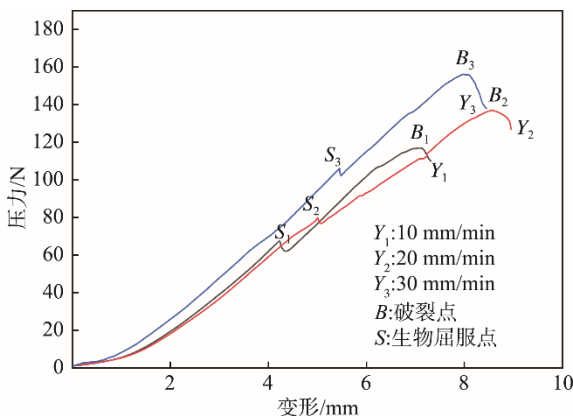


图8 泡沫缓冲压头下香梨横向压缩力与变形的关系
Fig.8 Relationship between transverse compression force and deformation of fragrant pears under foam cushioning head

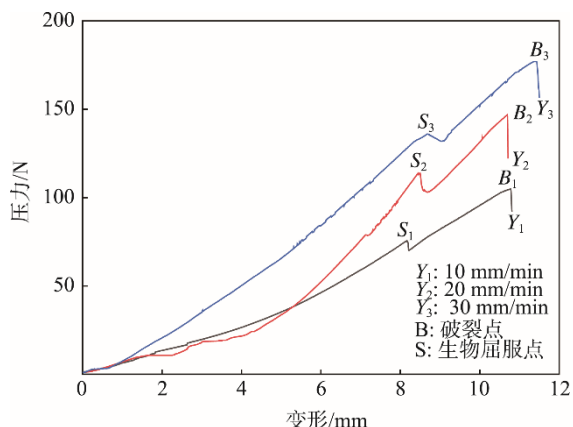


图9 泡沫缓冲压头下香梨纵向压缩力与变形的关系
Fig.9 Relationship between longitudinal compression force and deformation of fragrant pears under foam cushioning head

2.2 不同摆放位置和缓冲压头下香梨在不同速率下的特性参数测定值

由于香梨具有明显的流变特性,其压缩力下特性

参数测定值必然受压缩速率影响。钢板压头下,香梨在不同速率下的横向压缩力特性参数测定值见表1。由表1可知,随着压缩速率增加,香梨的生物屈服极限、破坏极限、变形能、破坏能逐渐增大。当压缩速率为10 mm/min时,生物屈服极限为25.85 N,变形能为38 N·mm,破坏极限为40.97 N,破坏能为80 N·mm。当压缩速率增加到30 mm/min时,生物屈服极限增加了25.06 N,变形能增加了57 N·mm,破坏极限增加了18.05 N,破坏能增加了57 N·mm。压缩速率的增加使得香梨外部受压增加,细胞内液体流动加快,细胞膨压增大,抗压力增大,同时,香梨受压时吸收的能量也相应增加。

表1 钢板压头下香梨在不同速率下的横向压缩力特性参数测定值

Tab.1 Measured values of the characteristic parameters of fragrant pears under the transverse compression force and the steel plate pressure head at different rates

压缩速率/ (mm·min ⁻¹)	生物屈服 极限/N	变形能/ (N·mm)	破坏 极限/N	破坏能/ (N·mm)
10	25.85	38	40.97	80
20	31.20	49	51.02	113
30	50.91	95	59.02	137

钢板压头下,香梨在不同速率下的纵向压缩力特性参数测定值见表2。由表2可知,随着压缩速率增加,香梨的生物屈服极限、破坏极限、变形能、破坏能逐渐增大。当压缩速率为10 mm/min时,生物屈服极限为36.70 N,变形能为42 N·mm,破坏极限为60.01 N,破坏能为132 N·mm。当压缩速率增加到30 mm/min时,生物屈服极限增加了29.08 N,变形能增加55 N·mm、破坏极限增加23.73 N、破坏能增加24 N·mm。对比表1发现,钢板压头下香梨纵向(果梗)压缩力下的机械参数均大于横向(赤道)压缩力下的机械参数。香梨纵向位置的硬度大于香梨横向位置的硬度,硬度较大的位置相比硬度小的位置变形率小,抗压能力强,因为香梨纵向部位较晚进入生物屈服点,其对应的屈服极限、变形能、破坏极限、破坏能也相应增大。

表2 钢板压头下香梨在不同速率下的纵向压缩力特性参数测定值

Tab.2 Measured values of the characteristic parameters of fragrant pears under the longitudinal compression force and the steel plate pressure head at different rates

压缩速率/ (mm·min ⁻¹)	生物屈服 极限/N	变形能/ (N·mm)	破坏 极限/N	破坏能/ (N·mm)
10	36.70	42	60.10	132
20	50.80	72	72	149
30	65.78	97	83.83	156

瓦楞纸缓冲压头下,香梨在不同压缩速率下的横向部位压缩特性测量值见表3。由表3可知,随着压

缩速率的增加, 香梨的生物屈服极限、破坏极限、变形能、破坏能逐渐增大。当压缩速率为 10 mm/min 时, 生物屈服极限为 53.42 N、变形能为 44 N·mm、破坏极限为 78.83 N、破坏能为 94 N·mm。当压缩速率增加到 30 mm/min 时, 生物屈服极限增加了 37.1 N、变形能增加了 83 N·mm, 破坏极限增加了 33.32 N、破坏能增加了 121 N·mm。对比表 2 发现, 瓦楞纸缓冲压头下, 香梨横向压缩力下的特性参数大于钢板压头下香梨横向压缩力下的特性参数。由于瓦楞纸缓冲材料的弹性模量小于钢板的弹性模量, 其变形能力大于钢板, 有助于延缓香梨的生物屈服极限、破坏极限。

表 3 瓦楞纸缓冲压头下香梨在不同压缩速率下的
横向部位压缩特性测量值

Tab.3 Measured values of compression characteristics of the transverse part of fragrant pears under corrugated cushioning head at different compression rates				
压缩速率/ (mm·min ⁻¹)	生物屈服 极限/N	变形能/ (N·mm)	破坏 极限/N	破坏能/ (N·mm)
10	53.42	44	78.83	94
20	73.52	104	82.98	149
30	90.52	127	112.15	215

瓦楞纸缓冲压头下, 香梨在不同压缩速率下的纵向部位压缩特性测量值见表 4。由表 4 可知, 随着压缩速率的增加, 香梨的生物屈服极限、破坏极限、变形能、破坏能逐渐增大。当压缩速率为 10 mm/min 时, 生物屈服极限为 63.41 N、变形能为 78 N·mm、破坏极限为 88.41 N、破坏能为 157 N·mm。当压缩速率增加到 30 mm/min 时, 生物屈服极限增加了 72.36 N, 变形能增加了 292 N·mm、破坏极限增加了 62.76 N、破坏能增加了 379 N·mm。对比表 2 与表 3 发现, 瓦楞纸缓冲压头下香梨纵向压缩力下的特性参数均大于瓦楞纸缓冲压头下香梨横向压缩力下的特性参数和钢板压头下香梨纵向压缩力下的特性参数。

表 4 瓦楞纸缓冲压头下香梨在不同压缩速率下的
纵向部位压缩特性测量值

Tab.4 Measured value of compression characteristics of the longitudinal part of fragrant pears under corrugated cushioning head at different compression rates				
压缩速率/ (mm·min ⁻¹)	生物屈服 极限/N	变形能/ (N·mm)	破坏 极限/N	破坏能/ (N·mm)
10	63.41	78	88.41	157
20	85.75	121	119.48	301
30	135.77	370	151.17	536

泡沫缓冲压头下, 香梨在不同压缩速率下的横向部位压缩特性测量值见表 5。由表 5 可知, 随着压缩速率增加, 香梨的生物屈服极限、破坏极限、变形能、破坏能逐渐增大。当压缩速率为 10 mm/min 时, 生物屈服极限为 67.41 N、变形能为 109 N·mm、破坏极限

为 117.00 N、破坏能为 373 N·mm。当压缩速率增加到 30 mm/min 时, 生物屈服极限增加了 38.57 N、变形能增加了 133 N·mm、破坏极限增加了 38.25 N、破坏能增加了 209 N·mm。对比表 1 与表 3 发现, 泡沫缓冲压头下, 香梨横向压缩力下的特性参数大于瓦楞纸和钢板缓冲压头下香梨横向压缩力特性参数。对比瓦楞纸缓冲压头, 由于泡沫缓冲材料的弹性模量小于瓦楞纸的弹性模量, 因此其变形能力大于瓦楞纸, 泡沫缓冲材料更有助于延缓香梨的生物屈服极限、破坏极限。

表 5 泡沫缓冲压头下香梨在不同压缩速率下的
横向部位压缩特性测量值

Tab.5 Measured value of compression characteristics of the transverse part of fragrant pears under the foam cushioning head at different compression rates				
压缩速率/ (mm·min ⁻¹)	生物屈服 极限/N	变形能/ (N·mm)	破坏 极限/N	破坏能/ (N·mm)
10	67.41	109	117.00	373
20	79.85	158	136.17	534
30	105.98	242	155.25	582

泡沫缓冲压头下, 香梨在不同压缩速率下的纵向部位压缩特性测量值见表 6。由表 6 可知, 随着压缩速率增加, 香梨的生物屈服极限、破坏极限、变形能、破坏能逐渐增大。当压缩速率为 10 mm/min 时, 生物屈服极限为 75.59 N, 变形能为 253 N·mm, 破坏极限为 104.96 N, 破坏能为 484 N·mm。当压缩速率增加到 30 mm/min 时, 生物屈服极限增加了 60.32 N, 变形能增加了 268 N·mm, 破坏极限增加了 72.11 N, 破坏能增加了 458 N·mm。对比表 2、表 4 与表 5 发现, 泡沫缓冲压头下, 香梨纵向压缩力下的特性参数大于香梨横向压缩力下的特性参数, 且均大于瓦楞纸和钢板压头下香梨纵向压缩力下的特性参数。

综上所述, 同种缓冲压头下, 香梨纵向部位压缩特性参数均大于横向部位压缩特性参数, 香梨纵向承受载荷能力更强。相同摆放位置下, 泡沫缓冲压头下香梨压缩力下的特性参数均大于瓦楞纸和钢板缓冲压头下香梨压缩力下的特性参数。由此可见, 泡沫缓冲材料可以更好地吸收来自外部的冲击能量, 减少外力对果实的损伤。

表 6 泡沫缓冲压头下香梨在不同压缩速率下的纵向部位
压缩特性测量值

Tab.6 Measured value of compression characteristics of the longitudinal part of fragrant pears under the foam cushioning head at different compression rates				
压缩速率/ (mm·min ⁻¹)	生物屈服 极限/N	变形能/ (N·mm)	破坏 极限/N	破坏能/ (N·mm)
10	75.59	253	104.96	484
20	113.79	312	146.89	587
30	135.91	521	177.07	942

3 结语

不同缓冲压头下压缩特性参数的曲线分布规律大致相同,生物屈服极限、破坏极限、变形能、破坏能均随着压缩速率的增大逐渐增大,屈服极限和破坏极限在随压缩速率增大而增加的过程中有极值存在。

香梨的压缩力具有各向异性,香梨纵向部位压缩特性参数均大于横向部位压缩特性参数。纵向摆放受到外界机械损伤小于横向摆放所受的机械损伤,因此,在香梨包装、贮藏、运输过程中应尽可能让香梨纵向受力。

相同摆放位置下泡沫缓冲压头的压缩特性参数>瓦楞纸缓冲压头的压缩特性参数>钢板压头下的特性参数。当使用泡沫材质进行包装时,香梨机械损伤最小,因此,在香梨包装时应考虑选用泡沫包装材质。

参考文献:

- [1] 马建江, 张萍, 薛根生. 新疆巴州库尔勒香梨发展分析与建议[J]. 北方园艺, 2016(5): 191—194.
MA Jian-jiang, ZHANG Ping, XUE Gen-sheng. Analysis and Suggestions for the Development of Korla Fragrant Pear in Bazhou Area of Xinjiang[J]. Northern Horticulture, 2016(5): 191—194.
- [2] 张峰, 李世强, 何子顺. 库尔勒香梨产业发展现状与存在问题[J]. 山西果树, 2014(5): 40—43.
ZHANG Feng, LI Shi-qiang, HE Zi-shun. Current Situation and Problems of Korla Pear Industry Development[J]. Shanxi Fruits, 2014(5): 40—43.
- [3] 兰海鹏, 唐玉荣, 王伟, 等. 自然生长状态下库尔勒香梨采摘期评价方法研究[J]. 中国农机化学报, 2014, 35(4): 165—168.
LAN Hai-peng, TANG Yu-rong, WANG Wei, et al. Research on Evaluation Methodology of Korla Pear Maturity Based on Physicochemical Index[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2014, 35(4): 165—168.
- [4] MANNUCCI A, SERRA A, REMORINI D, et al. Aroma Profile of Fuji Apples Treated with Gelatin Edible Coating during Their Storage[J]. LWT-food Science and Technology, 2017, 85: 28—36.
- [5] FADIJI T, COETZEE C, PATHARE P, et al. Susceptibility to Impact Damage of Apples Insideventilated Corrugated Paperboard Packages: Effects of Package Design[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 111: 286—296.
- [6] 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.
- [7] 杨晓清, 王春光. 河套蜜瓜机械特性与静载损伤关系的研究[J]. 农业工程学报, 2008(3): 31—37.
YANG Xiao-qing, WANG Chun-guang. Relationship between Mechanical Properties and Damage of Hetao Muskmelons under Static Compression[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008(3): 31—37.
- [8] 陈燕, 蔡伟亮, 邹湘军, 等. 荔枝鲜果挤压力学特性[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 360—364.
CHEN Yan, CAI Wei-liang, ZOU Xiang-jun, et al. Extrusion Mechanical Properties of Fresh Litchi[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(8): 360—364.
- [9] 冯慧敏, 郭玉明, 武新慧. 果蔬压缩破坏特性的试验研究[J]. 包装与食品机械, 2015, 33(3): 1—4.
FENG Hui-min, GUO Yu-ming, WU Xin-hui. Experimental Study on Compression Failure Characteristics of Fruits and Vegetables[J]. Packaging and Food Machinery, 2015, 33(3): 1—4.
- [10] 蒋依辉, 刘伟, 袁沛元, 等. 荔枝保鲜包装技术研究[J]. 包装工程, 2016, 37(15): 95—101.
JIANG Nong-hui, LIU Wei, YUAN Pei-yuan, et al. Research Progress of Fresh-keeping Packaging Technology of Litchi[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(15): 95—101.
- [11] 马加春. 功能集成包装在常温下无花果保鲜中的应用[J]. 食品科技, 2019(44): 64—70.
MA Jia-chun. Application of Function Integrated Fresh-keeping Package on Preservation of Figs at Room Temperature[J]. Food Science and Technology, 2019(44): 64—70.
- [12] 万志华, 张永林, 宋少云, 等. 包装方式对留胚米品质的影响[J]. 包装工程, 2019, 40(17): 33—37.
WAN Zhi-hua, ZHANG Yong-lin, SONG Shao-yun, et al. Effects of Packaging Ways on the Quality of Embryo Rice[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(17): 33—37.
- [13] 王丽丽. 梨果实压缩特性与品质特性关系的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2009: 5—13.
WANG Li-li. Study on the Relationship between Compressive Properties and Quality of Pear Fruits[D]. Hohhot: Inner Mongol University, 2009: 5—13.
- [14] 王俊. 梨桃各向流变特性及动态特性的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2001: 25—31.
WANG Jun. Study of Each Rheological Properties and Dynamic Characteristics of Peach and Pear[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2001: 25—31.
- [15] 张洪霞, 李大勇, 陶桂香. 果蔬的力学—流变学特性的研究进展[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2005, 17(3): 51—54.
ZHANG Hong-xia, LI Da-yong, TAO Gui-xiang. Research Progress in Mechanical Rheological Properties of Fruit and Vegetable[J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 2005, 17(3): 51—54.
- [16] 邓云, 吴颖, 李云飞. 果蔬在贮运过程中的生物力学

- 特性及质地检测[J]. 农业工程学报, 2005(4): 1—6.
DENG Yun, WU Ying, LI Yun-fei. Biomechanical Properties and Texture Detection of Fruits and Vegetables during Storage and Transportation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005(4): 1—6.
- [17] 吕胜权. 加工番茄不同受载时的机械损伤机理研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2014: 2—6.
LYU Sheng-quan. Study on Mechanical Damage Mechanism of Processed Tomato under Different Loading[D]. Shihezi: Shihezi University, 2014: 2—6.
- [18] 刘玲, 李疆, 覃伟铭. 库尔勒香梨果实石细胞发育及其对果实肉质影响初探[J]. 西北植物学报, 2005, 25(10): 1965—1968.
LIU Ling, LI Jiang, QIN Wei-ming. Stone Cell Development and Its Effects on the Sarcocarp of Kuerle Fragrant Pear[J]. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica, 2005, 25(10): 1965—1968.
- [19] 李小昱, 王为. 苹果压缩特性研究[J]. 西北农业大学学报, 1998, 26(2): 107—110.
LI Xiao-yu, WANG Wei. A Study on Compressive Properties of Apple[J]. The Journal of Northwest Agricultural University, 1998, 26(2): 107—110.
- [20] 李立民. 运输过程中机械振动对果蔬贮藏品质的影响[D]. 天津: 天津商业大学, 2016: 14—21.
LI Li-min. Effects of Mechanical Vibrations Torage Quality of Fruits and Vegetables during Transportation[D]. Tianjin: Tianjin University of Commerce, 2016: 14—21.
- [21] 高迎旺, 耿金凤, 饶秀勤. 果蔬采后内部损伤无损检测研究进展[J]. 食品科学, 2017, 38(15): 277—287.
GAO Ying-wang, GENG Jin-feng, RAO Xiu-qin. Non-invasive Bruise Detection in Postharvest Fruits and Vegetables: a Review[J]. Food Science and Technology, 2017, 38(15): 277—287.
- [22] WANG D M. Cushioning Properties of Multi-layer Corrugated Sandwich Structures[J]. Journal of Sandwich Structures and Materials, 2009, 11(1): 57—66.
- [23] TONG J, GUO Y J. Mechanical Properties of Agricultural Materials[J]. Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003(4): 141—148.
- [24] 吴杰. 库尔勒香梨的动态粘弹特性及碰压损伤机理研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011: 14—16.
WU Jie. Study on Dynamic Viscoelastic Property and Impact Bruise of Korla Pear[D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2011: 14—16.