

运输过程中机械振动对猕猴桃贮藏品质的影响

Effect of mechanical vibration during the transportation process on the storage quality of kiwi fruit

张 哲 张治权 毛 力 田津津

ZHANG Zhe ZHANG Zhi-quan MAO Li TIAN Jin-jin

郝俊杰 李立民 毛义琼

HAO Jun-jie LI Li-min MAO Yi-qiong

(天津商业大学天津市制冷技术重点实验室, 天津 300134)

(Key Laboratory of Refrigeration Technology of Tianjin, Tianjin University of commerce, Tianjin 300134, China)

摘要:根据实际运输情况,研究了运输过程中振动频率和振动加速度对猕猴桃贮藏品质的影响。通过测定猕猴桃在 10, 20, 30, 40, 50 Hz 5 种振动频率以及 2.5, 5.0, 7.5 m/s² 3 种振动加速度下硬度、可溶性固形物、可滴定酸、V_C、丙二醛(MDA)的含量变化来评定其品质变化,以确定振动频率和振动加速度对猕猴桃贮藏品质的影响。结果表明,随着试验进行其硬度、可滴定酸、V_C含量均下降,可溶性固形物、MDA 含量均上升。研究发现在 20 Hz 的振动频率、2.5 m/s² 的振动加速度下猕猴桃损伤最小。

关键词:振动;猕猴桃;品质

Abstract: Based on the actual situation in the transport process, the effects of mechanical vibration frequencies and acceleration on the storage quality of kiwi fruit was investigated. The change processes of storage quality of kiwi fruit were studied under five vibration frequencies of 10, 20, 30, 40, 50 Hz and three vibration accelerations of 2.5, 5.0 and 7.5 m/s². Moreover the effects of mechanical vibration on the hardness, the content in internal soluble solids, titratable acid, V_C, and MDA of each group of kiwi fruit have been analyzed. The results indicated that the hardness, titratable acid, V_C were decreased whereas the content in internal soluble solids and MDA were increased during the time of experiment. It was also found that 20 Hz vibration frequencies and 2.5 m/s² vibration accelerations was the least loss damage condition for kiwi fruit storage quality during the transportation process.

基金项目:国家自然科学基金(编号:11572223);天津市自然科学基金重点项目(编号:14JCZDJC34600, 15JCZDJC34200);天津商业大学大学生创新创业训练计划项目(编号:201610069022)

作者简介:张哲(1975-),男,天津商业大学教授,博士。
E-mail: zhangzhe@tjcu.edu.cn

收稿日期:2016-09-13

Keywords: vibration; kiwi fruit; quality

果蔬在运输过程中,往往会受到机械振动的作用^[1-3],这样会导致果蔬机械损伤的产生,而机械损伤也正是造成果蔬采后损耗的主要因素之一^[4-6]。在中国,果蔬在采摘后运输的过程中,损失率高达 30%,而在发达国家,果蔬采后损失率处于 5% 以下,美国仅为 1%~2%^[7]。运输过程中机械损伤引起的耐贮性下降,是造成果蔬采后损失的主要原因^[8-9]。减少机械振动对果蔬采后的损耗,已经被越来越多的研究者所关注。

中国一些学者针对振动对果蔬运输过程的影响做了一些研究。卢立新等^[10]建立了水晶梨的力学特性与非线性粘弹性塑性模型。王善荣等^[11]通过振动模拟试验,运用所建立起来的模型得出了水蜜桃果实的阻尼、刚度以及共振频率等一系列的基本动态参数。在国外, O' Brien 等^[12-13]研究了运输过程中包装、摆放方式对果蔬损伤情况的影响。Berardinelli 等^[14]把梨作为研究对象,研究了运输车厢的前、中、后 3 个不同位置的振动状况对梨果实的影响。

目前对于运输过程中振动频率对果蔬影响的试验研究,仅限于单一的定频试验^[15-16],未进行全面多频率的试验,因此没有确定合理的果蔬运输振动条件。本试验拟以猕猴桃为研究对象,采用多频率振动的试验方法,以可溶性固形物、可滴定酸、V_C、MDA 为考察指标,确定猕猴桃运输过程中最佳的振动条件,为降低在实际运输过程中机械振动对猕猴桃的损伤提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

猕猴桃:2015 年 9 月 2 日采购于天津批发市场,其全部

为新鲜、成熟度均一的金魁猕猴桃，挑选中等大小、无病虫害、无机械伤进行试验；

紫外分光光度计：UV-1780 型，日本岛津公司；

物性测试仪：TA.XT.PLUS 型，英国 Stable Micro System 公司；

低频运输试验台：DY-600-5 型，苏州实验仪器总厂。

1.2 方法

1.2.1 试验台简介 振动试验在 DYS-600-5 低频振动试验台上进行，整个振动系统由振动台、振动控制系统以及数据收集系统三大部分组成。

1.2.2 振动处理 根据中国公路运输条件车辆的实际振动情况，振动频率试验设定在 10,20,30,40,50 Hz 5 种频率下。进行猕猴桃包装件的定频振动试验，振动时间设定为 30 min，将振动后的猕猴桃放在两个冷库中进行贮藏，温度均设定为(0.0±0.5)℃，贮藏 12 d。猕猴桃包装件采用 E 型瓦楞纸箱包装，猕猴桃在箱体内部自然排放，每箱 5 kg，包装件内部无阻隔。振动加速度试验设定振动台频率为 10 Hz，选取 12 箱相同猕猴桃果实，4 箱 1 组，3 组振动加速度分别设定为 2.5,5.0,7.5 m/s²，持续 30 min 后放在 0,5,10℃的冷库内贮藏，在此期间对猕猴桃的硬度、可滴定酸含量、可溶性固形物含量、V_c 含量和丙二醛含量进行定期测量。

1.3 猕猴桃品质测量方法

1.3.1 硬度 硬度测定采用 TA.XT.PLUS 型物性测定仪测定，每次取 6 个在胴部去皮测定，每个果实重复 4 次取最大力，最后取这 6 个果实的平均值作为结果；P/2 柱头(Ø 2 mm)，测试速度为 2 mm/s。

1.3.2 可溶性固形物 采用手持测糖仪测定^[17]。

1.3.3 可滴定酸 采用酸碱滴定法^[18]测定。

1.3.4 V_c 含量 采用 2,6-二氯酚酚滴定法^[19]测定。

1.3.5 MDA 含量 采用硫代巴比妥酸比色法^[20]测定。

2 结果与分析

2.1 振动频率对猕猴桃品质的影响

2.1.1 对硬度的影响 由图 1 可知，经历了 20 Hz 和 30 Hz 振动过程的猕猴桃果实在前期下降速度较快，8 d 以后其下

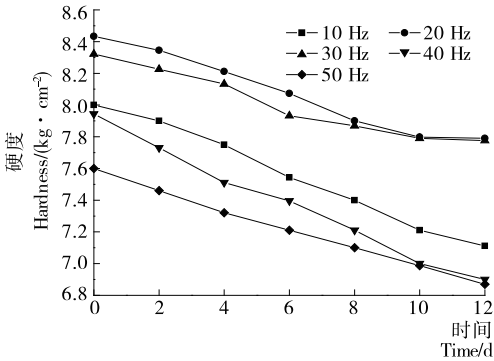


图 1 0℃时不同振动频率下猕猴桃硬度变化情况

Figure 1 Changes of hardness of kiwi fruit under different vibration frequencies at 0 °C

降过程趋于平缓。经历了 10,40,50 Hz 振动的 3 种猕猴桃果实，其硬度均呈现出平缓下降的趋势。贮藏 12 d 后，5 种果实硬度大小关系为 20 Hz>30 Hz>10 Hz>40 Hz>50 Hz。20 Hz 时猕猴桃果实硬度状况均优于其它几组。在 20 Hz 以上的高频段振动对微器官损伤大，而低频振动会造成表层组织的损害，由此产生图 1 的结果，这点与潘见等^[21]的研究结果相同。上述的损伤造成猕猴桃在 10,40,50 Hz 频段后期硬度变化率加大，出现加速下降的趋势。

2.1.2 对可溶性固形物含量的影响 由图 2 可知，在 5 种振动频率下的猕猴桃果实，其可溶性固形物含量均呈现出逐渐上升的趋势，但是上升程度各不相同。贮藏 12 d 后，10,20,30,40,50 Hz 振动的猕猴桃果实可溶性固形物上升率分别为 7.3%，5.5%，5.7%，6.9%，7.0%；变化率大小为 10 Hz>50 Hz>40 Hz>30 Hz>20 Hz。可溶性固形物作为果实汁液中溶质的百分含量，在受到振动作用时由于果肉间相互产生力的作用，使猕猴桃中产生更多的颗粒^[22]。在 10 Hz 及高频段猕猴桃中的颗粒会产生得更多，20 Hz 时可溶性固形物反而增加的较小，这主要是由于在低频 10 Hz 情况时，振动能量较高，猕猴桃果实由于挤压而损伤严重。

2.1.3 对可滴定酸含量的影响 由图 3 可知，5 种频率下的猕猴桃果实，其可滴定酸含量均呈现出下降的趋势。经历

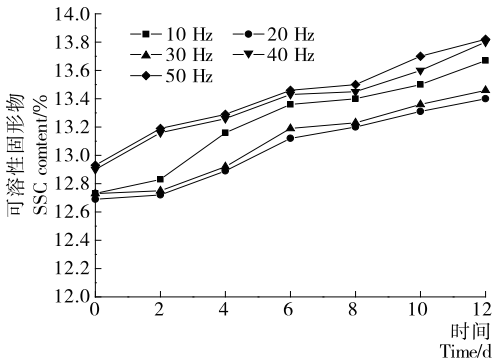


图 2 0℃时不同振动频率下猕猴桃可溶性固形物含量变化情况

Figure 2 Changes of SSC content of kiwi fruit under different vibration frequencies at 0 °C

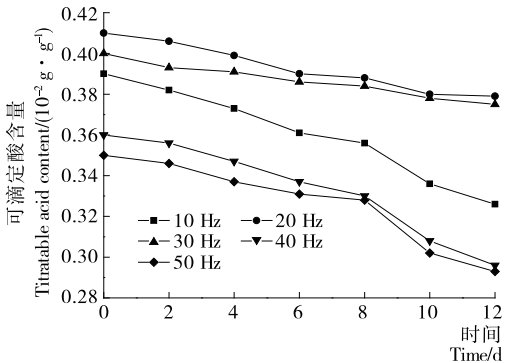


图 3 0℃时不同振动频率下猕猴桃可滴定酸含量变化情况

Figure 3 Changes of titratable acid content of kiwi fruit under different vibration frequencies at 0 °C

10,20,30,40,50 Hz 振动的猕猴桃果实可滴定酸含量下降率分别为 16.40%,7.50%,6.25%,17.70%,16.30%。

在贮藏过程中,猕猴桃可滴定酸含量的大小关系为 20 Hz>30 Hz>10 Hz>40 Hz>50 Hz。振动频率在固有频率范围内(40~50 Hz)时,可滴定酸含量降低较快,而在 20,30 Hz 频率时可滴定酸含量降低的较慢。

2.1.4 对 V_C 含量的影响 由图 4 可知,贮藏期间经历了 5 种频率下的猕猴桃果实 V_C 含量均呈现出下降的趋势。贮藏期 12 d 后,经历 10,20,30,40,50 Hz 振动的猕猴桃果实 V_C 含量下降率分别为 11.0%,3.5%,3.7%,9.9%,10.1%。同时发现,在贮藏过程中,经历了 5 种振动过程的猕猴桃 V_C 含量大小关系为 20 Hz>30 Hz>40 Hz>50 Hz>10 Hz。 V_C 在贮藏过程中损失严重,下降率较明显^[23-24]。在高频率段(40,50 Hz)由于振动剧烈以及低频段(10 Hz)能量集中的原因,对猕猴桃损伤较大,造成这些频率段时下降速率很大。

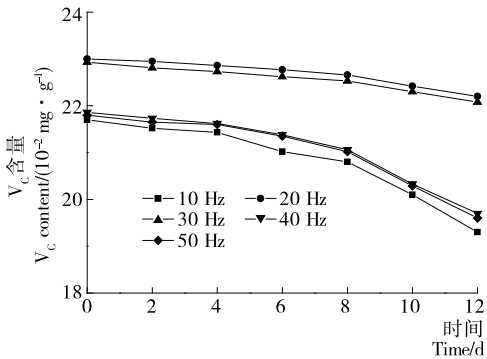


图 4 0 °C 时不同振动频率下猕猴桃 V_C 含量变化情况
Figure 4 Changes of V_C content of kiwi fruit under different vibration frequencies at 0 °C

2.1.5 对 MDA 含量的影响 由图 5 可知,经过 5 种频率振动的猕猴桃果实 MDA 含量均呈现出上升的趋势。贮藏 12 d 后,经历 10,20,30,40,50 Hz 振动的猕猴桃果实 MDA 含量上升率分别为 23.0%,23.1%,22.1%,18.0%,19.1%。振动胁迫作用下,MDA 含量总是具有升高趋势^[25-26],但在 20 Hz 时猕猴桃渗透率最低,这主要是由于猕猴桃果实内 MDA 含量在高于和低于 20 Hz 时上升率均较大。所有频段猕猴桃

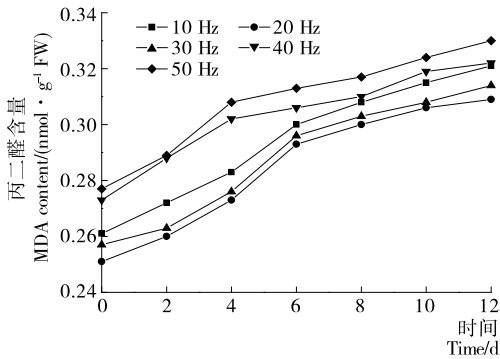


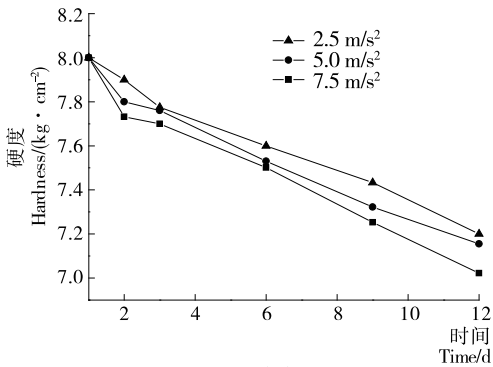
图 5 0 °C 时不同振动频率下猕猴桃 MDA 含量变化情况
Figure 5 Changes of MDA content of kiwi fruit under different vibration frequencies at 0 °C

的 MDA 含量曲线最后均趋于稳定,而在 20 Hz 时猕猴桃的 MDA 含量曲线率先达到稳定转折点。

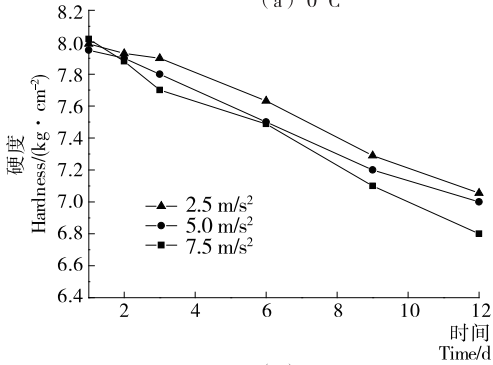
综合图 1~5 可知,经历了 10,40,50 Hz 振动的猕猴桃,其变质速度较 20 Hz 和 30 Hz 快,而 20 Hz 情况下变质最慢,这是因为低频(10 Hz)时,一个振动能量集中的阶段,果实相互间以及果实与包装间碰撞挤压严重,而当频率升高至 40 Hz 和 50 Hz 时,接近固有频率,包装件达到了振动的峰值状态,果实受损程度增大。

2.2 振动加速度对猕猴桃品质的影响

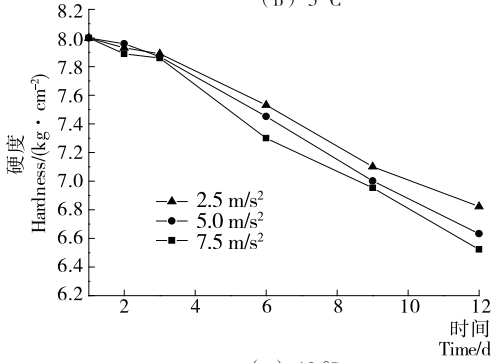
2.2.1 对硬度的影响 经历了振动加速度损伤过程的猕猴桃果实,在 0,5,10 °C 下进行贮藏时,各组猕猴桃果实硬度均呈现出逐渐下降的趋势,见图 6。贮藏 12 d 后,0 °C 时 2.5,5.0,7.5 m/s² 3 组硬度下降率分别为 10.0%,10.6%,12.2%;5 °C 时分别为 11.7%,11.9%,15.2%;10 °C 分别为 14.7%,17.1%,18.5%。综合研究发现 2.5 m/s² 的猕猴桃果实经历



(a) 0 °C



(b) 5 °C



(c) 10 °C

图 6 不同振动加速度下猕猴桃硬度变化情况
Figure 6 Changes of hardness of kiwi fruit under different vibration accelerations

了贮藏过程后,其硬度下降率最低,5.0 m/s² 次之,7.5 m/s² 最差。而且在 3 种贮藏温度条件下,3 组猕猴桃果实硬度下降情况前期基本相等,这是由于在该温度下振动加速度的不同对前期猕猴桃硬度的影响较小,其硬度下降过程基本是在后期完成的,贮藏 1~3 d 猕猴桃果实硬度变化不大。

2.2.2 对可溶性固形物含量的影响 经历了加速度试验贮藏的猕猴桃,虽然加速度不同,但是在后期贮藏过程中,其可溶性固形物均呈现上升趋势,见图 7。贮藏 12 d 后,0℃ 时 2.5、5.0、7.5 m/s² 3 组猕猴桃可溶性固形物分别上升了 3.34%、3.97%、4.00%;5℃ 时分别上升了 5.10%、6.06%、6.27%;10℃ 时分别上升了 5.96%、6.67%、7.90%。

2.2.3 对可滴定酸含量的影响 经历了加速度试验的猕猴桃,其可滴定酸都呈现下降趋势,见图 8。贮藏 12 d 后,0℃ 时 2.5、5.0、7.5 m/s² 3 组猕猴桃可滴定酸分别下降了 0.6%,

0.9%,0.9%;5℃ 时分别下降了 7.80%,7.89%,7.20%;10℃ 时分别下降了 14.6%,15.7%,15.3%。其中加速度为 2.5 m/s² 的猕猴桃果实内部可滴定酸含量始终保持较高水平。

2.2.4 对 V_C 含量的影响 在 0、5℃ 贮藏过程中,前 1~3 d 猕猴桃果实 V_C 含量下降最快,3~12 d 较为平缓。贮藏 12 d 后,0℃ 时 2.5、5.0、7.5 m/s² 3 组猕猴桃 V_C 下降率分别为 15.16%、16.55%、18.81%,见图 9(a);5℃ 时分别为 12.58%、15.74%、20.63%,见图 9(b)。在 10℃ 贮藏过程中,前 1~2 d V_C 含量下降均比较缓慢,而 2~3 d 时,V_C 的下降速度都有明显提高,其中 7.5 m/s² 的下降最快,3~12 d V_C 含量变化又趋于平缓。2.5、5.0、7.5 m/s² 3 组猕猴桃果实,V_C 下降率分别为 18.13%、20.50%、24.49%。在 3 种温度下贮藏,2.5 m/s² 的 V_C 含量下降率最低,其次是 5.0 m/s²,最差是 7.5 m/s²。

2.4.5 对 MDA 含量的影响 在 0℃ 下贮藏时,猕猴桃 MDA

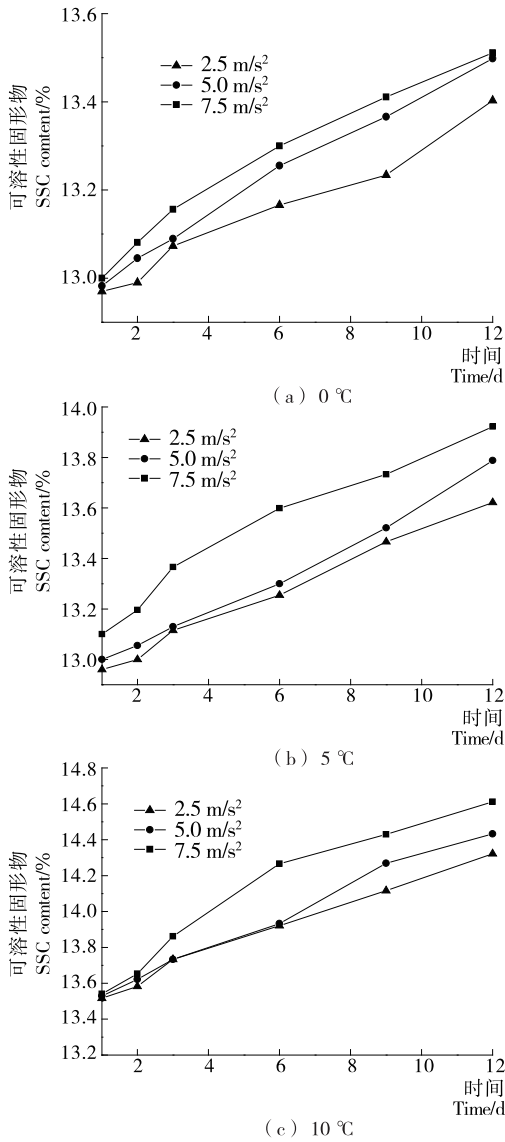


图 7 不同振动加速度下猕猴桃内部可溶性固形物含量变化情况

Figure 7 Changes of SSC content of kiwi fruit under different vibration accelerations

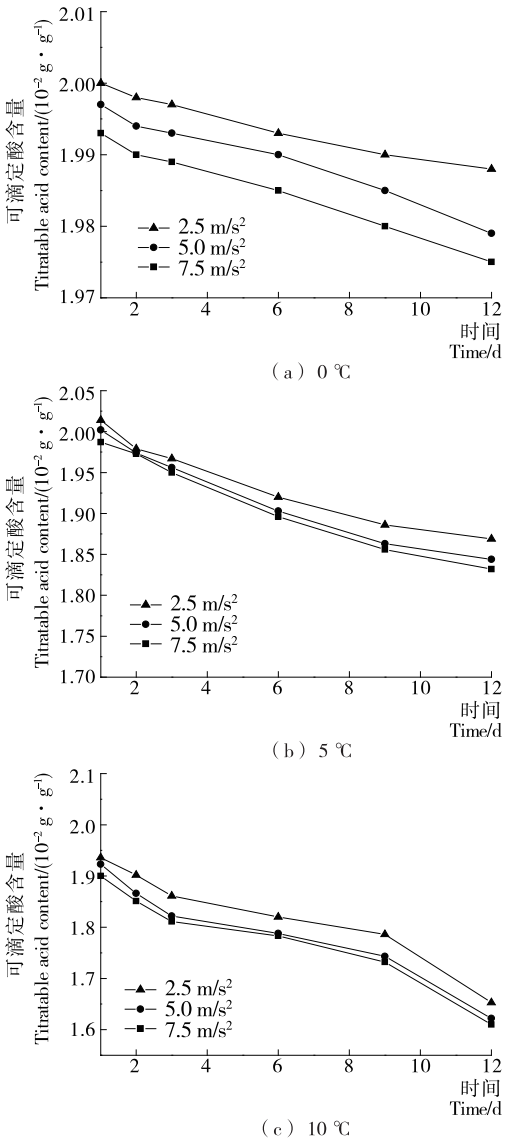


图 8 不同振动加速度下猕猴桃内部可滴定酸含量变化情况

Figure 8 Changes of titratable acid content of kiwi fruit under different vibration accelerations

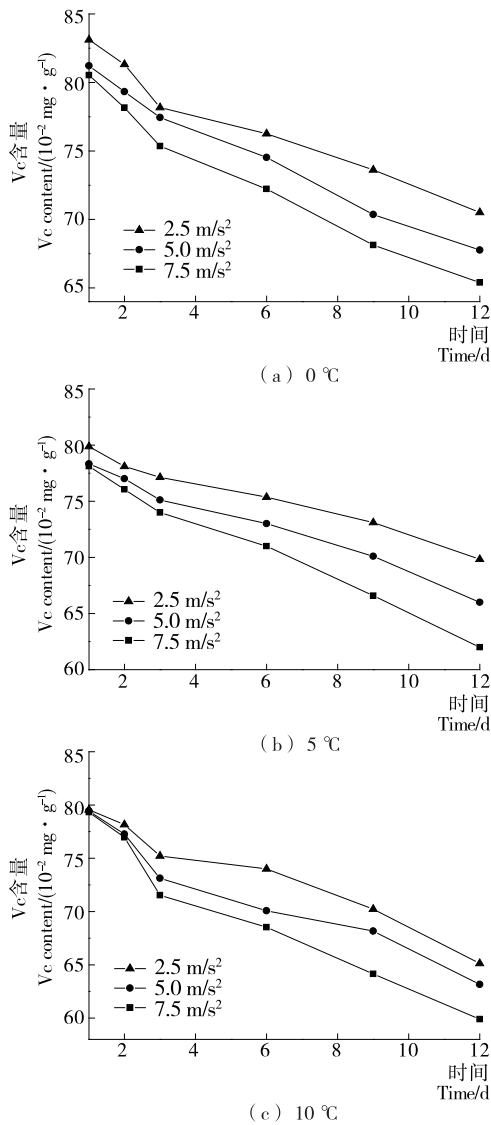


图 9 不同振动加速度下猕猴桃内部 V_c 含量变化情况
Figure 9 Changes of V_c content of kiwi fruit under different vibration accelerations

呈现出缓慢积累的态势,贮藏 12 d 后,2.5,5.0,7.5 m/s^2 3 组猕猴桃果实 MDA 含量分别增长了 5.1%,5.3%,6.8%,而整个贮藏期间加速度小的果实内部 MDA 含量低,加速度大的果实内部 MDA 含量高,见图 10(a)。贮藏 12 d 后,5 °C 时 2.5,5.0,7.5 m/s^2 3 组猕猴桃果实 MDA 含量分别增长了 15.0%,18.2%,20.0%,见图 10(b);10 °C 时分别增长了 27%,26%,36%,见图 10(c)。可见,前期振动加速度越大,越不利于后期果实的贮藏保质。各组果实内部 MDA 的含量与果实经历的振动加速度大小成正比,即经受振动加速度越小,果实内部 MDA 含量越少,而加速度越大,内部 MDA 含量也越大。

3 结论

通过在 5 种振动频率和 3 种振动加速度下的振动试验,将经振动试验后的猕猴桃进行贮藏保存,得出以下结论:

(1) 振动使果实表面之间产生反复的挤压、摩擦以及冲

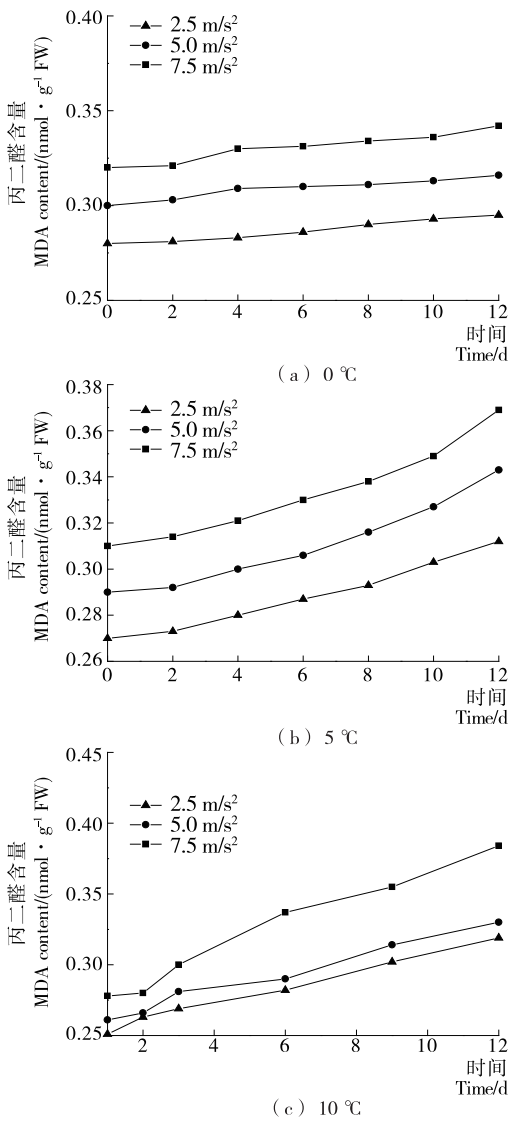


图 10 不同振动加速度下猕猴桃内部 MDA 含量变化情况
Figure 10 Changes of MDA content of kiwi fruit under different vibration accelerations

撞,猕猴桃在此作用下硬度下降,而振动频率的变化引起猕猴桃呼吸强度、果实内糖酸以及酶活性的变化,造成果实内可滴定酸、可溶性固形物及 V_c 含量下降,MDA 含量的增加。通过试验发现当猕猴桃包装件处于 20~30 Hz 的振动频率范围内时,各品质参数的变化均较小,猕猴桃可以保持很好的品质。

(2) 通过 3 个温度条件下的贮藏试验,可以发现低温贮藏有利于果实的保存。振动加速度的增大会造成果胶酯酶、纤维素酶等一系列相关酶活性的增加,从而造成可滴定酸、可溶性固形物及 V_c 含量下降,MDA 含量的增加,且随着振动加速度增大变化率增大。研究发现在较低的振动加速度下(2.5 m/s^2)猕猴桃的贮运品质最好。

参考文献

[1] 王艳颖, 胡文忠, 庞坤. 机械损伤对富士苹果抗氧化酶活性的影响[J]. 食品与机械, 2007, 23(5): 26-30.

[2] 郭叶.“徐香”猕猴桃贮藏期间生理品质研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2013; 3-4.

[3] 牛润新. 番茄贮藏振动力学模型与模态分析[J]. 合肥: 安徽农业大学, 2004; 22-25.

[4] 陈善锋, 周亦斌, 王俊, 等. 梨的下落碰撞冲击加速度特性研究[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2003, 29(3): 339-342.

[5] 陆秋君, 王俊, 周亦斌, 等. 黄花梨的动态特性试验研究[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2001, 27(3): 330-334.

[6] 王剑平, 王俊, 陈善锋, 等. 黄花梨的撞击力学特性研究[J]. 农业工程学报, 2001, 27(3): 330-334.

[7] 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.

[8] 何靖柳, 刘继, 秦文, 等. 贮藏处理后红阳猕猴桃的品质变化[J]. 食品工业科技, 2014, 35(8): 318-322.

[9] 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.

[10] 卢立新, 王志伟. 基于准静态压缩的果实黏弹性模型[J]. 农业工程学报, 2005, 21(12): 30-33.

[11] 王善荣, 陈元生. 水蜜桃动态机械性能的试验研究[J]. 食品科学, 1998, 19(12): 57-60.

[12] O'BRIEN H, CLAYPOOL L, LEONARD S J. Effect of mechanical vibration on fruit damage during transportation[J]. Food Technology, 1963(12): 106-109.

[13] JONES C S, HOLT J E, SCHOOL D. A model to predict damage to horticultural produce during transport[J]. J. Agric. Engng. Res, 1991, 50(4): 259-272.

[14] BERARDINELLI A, DONATI V, GIUNCHI A, et al. Damage to pears caused by simulated transport[J]. Journal of Food Engineering, 2005(66): 219-226.

[15] 周德志, 卢立新. 水蜜桃动态松弛特性与模型表征[J]. 包装工程, 2005, 26(6): 12-13.

[16] SING A, SING Y. Effect of vibration during transportation of the quality of tomatoes[J]. Gricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, 1992, 23(2): 70-72.

[17] HERNANDEZ-MUNOZ P, ALMENAR E, DEL V V, et al. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry quality during refrigerated storage[J]. Food Chemistry, 2008, 110(2): 428-435.

[18] 张宪政, 陈风玉, 王荣富. 植物生理学实验技术[M]. 沈阳: 辽宁科学出版社, 1994: 45-46.

[19] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 62-63.

[20] 郝再彬. 植物生理实验[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2006: 36-37.

[21] 潘见, 陈元生, 李国文, 等. 草莓生物损伤力学研究: 振动频率对组织损伤的影响[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 1988(3): 65-69.

[22] 张旭伟, 徐明磊, 李红艳, 等. 番茄果实可溶性固形物的作用及研究概况[J]. 科技资讯, 2011(15): 160-161.

[23] 林桂荣, 郭泳, 付亚文, 等. 新鲜果蔬维生素 C 测定方法研究[J]. 北方园艺, 1995(2): 7-9.

[24] JIAO B, CASSANO A, DRIOLI E. Recent advances on membrane processes for the concentration of fruit juices: A review[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 63(3): 303-324.

[25] 应铁进, 茅林春. 草莓果实对机械振动胁迫的生理反应与抗性机制研究[J]. 科技通报, 1998(1): 1-5.

[26] 李正国, 苏彩萍, 王贵禧. 振动胁迫对猕猴桃果实成熟衰老生理的影响[J]. 农业工程学报, 2000, 16(4): 142-143.

(上接第 47 页)

[11] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 白酒产品中塑化剂风险评估结果解读[EB/OL]. [2014-06-27]. <http://www.nhfp.gov.cn/zhuzhan/zcjd/201406/db4c766638fd496a94907-ddb267fcf73.shtml>.

[12] 刘沛, 刘元宝, 王灿楠, 等. 膳食暴露评估模型及其构建方法[J]. 中华预防医学杂志, 2007, 41(6): 502-504.

[13] US Environmental Protection Agency. Assigning values to non-detected/non-quantified pesticide residues in human health food exposure assessments [EB/OL]. [2000-03-13]. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.132.678&rep=rep1&type=pdf>.

[14] 战王绪卿, 吴永宁, 陈君石. 食品污染监测低水平数据处理问题[J]. 中华预防医学杂志, 2002, 36(4): 278-279.

[15] 国家食品安全风险评估中心. 食品安全风险评估数据需求及采集要求[EB/OL]. [2013-12-16]. <http://www.cfsa.net.cn:8033/UploadFiles/news/upload/2013/2013-12/16147e14-2445-475e-8efa-946e83383897.pdf>.

[16] 刘元宝, 王灿楠, 吴永宁, 等. 膳食暴露定量评估模型及其变异性 and 不确定性研究[J]. 中国卫生统计, 2008, 25(1): 7-9, 14.

[17] BARKER N. A practical introduction to the bootstrap using the SAS system [EB/OL]. [2005-9-16]. www.lexjansen.com/phuse/2005/pk/pk02.pdf.

[18] 苏中华, 郝伟, 湛红献, 等. 中国五地区饮酒情况及相关问题调查 I: 普通人群的饮酒状况[J]. 中国心理卫生杂志, 2003, 17(8): 536-539.

[19] 郝伟. 国内五城市饮酒情况及相关问题调查[D]. 长沙: 湖南医科大学, 1997: 1-2.

[20] 周旭辉, 苏中华, 邓慧琼, 等. 湖南省四地区农村居民饮酒行为调查[J]. 中国药物依赖性杂志, 2006, 15(4): 303-308.

[21] 周旭辉, 苏中华, 邓慧琼, 等. 湖南省怀化地区城乡饮酒吸烟状况及其影响因素研究[J]. 中国行为医学科学, 2006, 15(4): 352-354, 371.

[22] 陈志军, 宋雯, 李培武, 等. 中国花生中镉含量调查与膳食风险评估[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(2): 237-244.

[23] 宋雯, 陈志军, 朱智伟, 等. 南方 6 省稻米总汞含量调查及其膳食暴露评估[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(5): 817-823.