

文章编号:0253-4339(2016)04-0087-08
doi:10.3969/j.issn.0253-4339.2016.04.087

公路运输过程中机械振动对草莓贮藏品质的影响

田津津 李立民 张哲 郝俊杰 俞苏苏 李晓博

(天津商业大学天津市制冷技术重点实验室 天津 300134)

摘要 本文模拟了公路运输草莓的汽车在运输过程中的机械振动情况,研究了机械振动对草莓后期贮藏品质的影响。通过扫频振动实验,测得了所选草莓包装件的固有频率为20.5 Hz。在17 Hz、19 Hz、20.5 Hz、22 Hz以及24 Hz 5种频率下,分别进行了草莓的定频振动实验。以硬度、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、维生素C含量以及丙二醛(MDA)含量为评价指标,研究了经机械振动后的草莓在0℃、5℃以及10℃贮藏时的品质变化情况。研究发现:经过机械振动后贮藏的草莓,品质的变化是机械振动频率与贮藏温度相互耦合的结果;贮藏温度相同时,经历了固有频率振动的草莓最不易保存,在0℃下贮藏9天后,硬度降低了15.5%,而MDA含量增加了30%;在相同的振动频率下,0℃保存效果最佳。

关键词 公路运输;振动频率;草莓

中图分类号:TS255.3;S668.4

文献标识码:A

Effects of Mechanical Vibration on the Storage Quality of Strawberry during Road Transportation

Tian Jinjin Li Limin Zhang Zhe Hao Junjie Yu Susu Li Xiaobo

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

Abstract The road transport process was simulated in the vibration bench, the natural frequency of selected strawberry package was found to be 20.5 Hz by scanning frequency experiment. Fifteen same strawberry packages have been tested in the fixed frequency experiment under 17 Hz, 19 Hz, 20.51 Hz, 22 Hz and 24 Hz, respectively. After the fixed frequency experiment, strawberries in the fifteen packages were divided into three groups to be stored at 0℃, 5℃ and 10℃ respectively. The effects of mechanical vibration on the hardness and SSC, titratable acid, vitamin C and MDA contents of each group of strawberries have been analyzed. The results showed that the storage qualities of strawberry were determined by both mechanical vibration frequencies in the transport process and storage temperature. At the same storage temperature, the qualities of the strawberries suffered natural frequency vibration test are the worst. After 9 days of 0℃ storage, the strawberry's hardness has been reduced by 15.5%, while the strawberry MDA content has been increased by 30%. 0℃ is the best storage temperature for strawberries suffered same frequency vibration test.

Keywords road transport; vibration frequency; strawberry

随着人们对生鲜食品品质要求的提高,中国冷链物流正在步入快速发展期^[1-3],作为运输生鲜食品货物的专用汽车,冷藏汽车运输也得到了很大发展和应用。在汽车运输过程中,振动过程引起的机械损伤是造成果蔬损伤的主要原因^[4-5]。在我国,运输过程中果蔬损失率高达20%以上,而发达国家果蔬运输损失率低于5%,尤其是美国,运输损失率在3%以下^[6-7],而且机械损伤也不利于果蔬后期的贮藏。因此,许多学者对运输过程中机械振动对果蔬贮藏品质的影响进行了研究。刘华英等^[8]研究了机械损伤对

小白杏贮藏品质的影响,发现机械振动会加速营养物质降解和衰老过程。陈萃仁等^[9]建立了草莓果实振动损伤的预测模型。卢立新等^[10]进行了基于模拟运输条件的梨果实包装振动损伤研究,发现堆码层数对梨果实的损伤有重要影响。Barchi G L等^[11]研究发现,枇杷振动损伤的频率范围为13~25 Hz。周然等^[12]研究了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,发现运输过程中的机械振动对黄花梨的外观以及水解酶的活性均有影响。

草莓,属于浆果类植物,又名红莓、凤梨草莓、地

基金项目:国家自然科学基金(11572223)资助项目。(The project was supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 11572223).)

收稿日期:2015年11月5日

莓等,鲜美红嫩,果肉多汁,富含营养价值,是水果中的珍品^[13-16]。草莓不仅食用价值高,而且还有一定的药用价值^[17],草莓中的果胶和维生素对高血压、高血脂等疾病均有治疗效果。但是,草莓是一种易腐的水果^[18-19],尤其在采后运输过程中,极易受机械损伤而变质。在运输过程中,机械振动是造成草莓损伤的主要原因,同时也会对贮藏过程中草莓的品质造成严重影响^[20]。

本文主要研究公路运输过程中汽车机械振动对草莓果实硬度、维生素 C 含量、MDA 含量等生理指标的影响,研究结果对于在实际运输过程中,降低机械振动对草莓贮藏品质的影响具有指导意义。

1 实验设备

实验设备、仪器为:苏州仪器总厂生产的 DY-600-5 低频振动运输实验台及计算机数据采集系统;英国 Stable Micro System 公司生产的 TA.XT.Plus 物性测构仪;日本 ATOGO 公司生产的 PAL-1 型手持折光仪;三个可独立调节温度的冷库;德国 Heraeus 公司生产的 D-37520 高速冷冻离心机;日本岛津公司生产的 UV-1780 型紫外可见分光光度计;九阳打浆机;精密电子天平;若干试管和烧杯等化学仪器。

2 振动实验

2.1 草莓包装件的扫频实验

本实验所用红颜草莓于 2015 年 6 月 15 日清晨 8:00 购于天津咸阳北路菜市场,在扫频振动实验中,取尺寸为 265 mm × 150 mm × 170 mm 的三层 E 型瓦楞纸箱包装件 15 箱,内部草莓自然排放,包装件内部无阻隔,如图 1 所示。每颗草莓重 30 ~ 60 g,草莓新鲜,没有损伤,每箱可装草莓 2 kg,分别放置于 DY-600-5 低频振动运输实验台上,进行单件振动扫频实验^[21]。



图 1 草莓包装件
Fig. 1 Strawberry package

在扫频实验中,为了保证实验测试数据的准确性,将数据传感器紧固在一小块薄板上,然后将草莓包装件正立于台子上,再用专用设备将草莓包装件与振动台紧固。将振动台初始频率设定为 3 Hz,加速

度设为 5 m/s²,在 3 Hz 至 100 Hz 之间来回扫描,扫频过程的速率为 1/2 倍频程每分钟,扫频结果如图 2 所示。

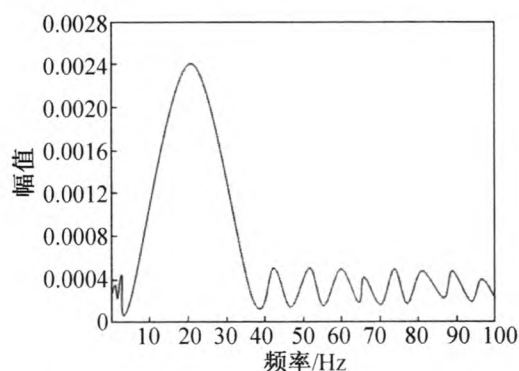


图 2 正弦扫频实验振动频率-幅值曲线图

Fig. 2 Frequency response of sinusoidal vibration

此种草莓包装箱的扫频结果几乎一致,均如图 2 所示,因此可以通过图 2 得出,所选草莓包装件的固有振动频率为 20.5 Hz。

2.2 草莓包装件的定频实验

在定频实验中,将振动实验台加速度设为 5 m/s²,然后先后设定振动实验台振动频率为 17 Hz、19 Hz、20.5 Hz、22 Hz 和 24 Hz,另外 4 种振动频率是围绕固有频率进行选择的,即较低于固有频率的振动频率(17 Hz 和 19 Hz)和较高于固有频率的振动频率(22 Hz 和 24 Hz)。实验中选择 15 箱草莓,分为五组,每组三箱,分别将五组草莓实验件置于五种振动频率下进行振动实验,每个频率振动时间设定为 2 h。

3 草莓品质测量方法

3.1 硬度测量方法

硬度测定采用英国产 TA.XT.Plus 物性测定仪测定,每次取 6 个果实在胴部去皮测定,单果重复 4 次取最大力,最后取其平均值;P/2 柱头(φ2 mm),测试速度为 2 mm/s。

3.2 可溶性固形物测量方法

采用手持测糖仪测定^[22]。

3.3 可滴定酸测量方法

可滴定酸采用酸碱滴定法测定^[23]。

3.4 维生素 C 含量测量方法

维生素 C 含量测定用 2,6-二氯酚酚滴定法^[24]。

3.5 MDA 测量方法

MDA 含量测定采用硫代巴比妥酸比色法^[25]。

4 贮藏实验

将经历了定频振动实验的 5 组草莓,每箱分别按

相同比例选取三类草莓,每类分别从包装件上层、中层、下层部位选取相同数量草莓。将同组的三类草莓分别放入设定温度为 0℃、5℃ 以及 10℃ 的冷库内进行贮藏,每天对实验中的草莓硬度、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、维生素 C 含量以及 MDA 含量品质进行监测,取三类草莓的平均值。

5 贮藏实验结果及其分析

5.1 草莓品质变化率

取相同温度下,在同一频率时草莓各品质初始值为第一天测得品质值 $Q_{初}$,最后一天测得的品质值为 $Q_{末}$,则在某一特定频率下草莓各品质的变化率为: $\zeta = |Q_{初} - Q_{末}| / Q_{初}$ 。

5.2 不同贮藏条件下草莓硬度变化

在 0℃、5℃ 以及 10℃ 三种贮藏条件下,草莓硬度随时间的变化情况分别如图 3、图 4 及图 5 所示。

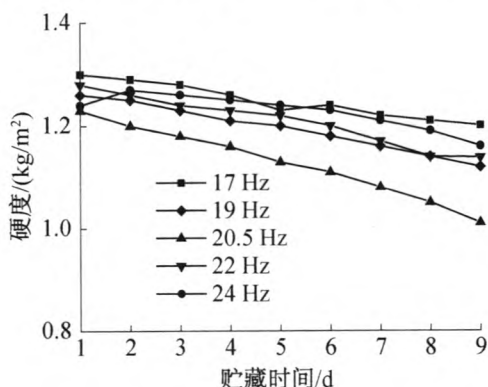


图 3 0℃ 时不同振动频率下草莓硬度变化情况
Fig. 3 Variation of strawberry hardness under different frequencies at 0℃

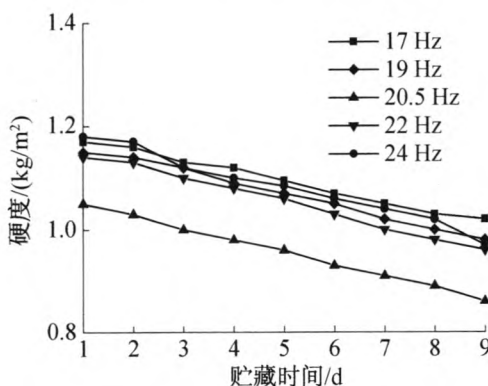


图 4 5℃ 时不同振动频率下草莓硬度变化情况
Fig. 4 Variation of strawberry hardness under different frequencies at 5℃

图 6 则反映了在不同温度情况下,草莓硬度变化率随振动频率的变化情况。

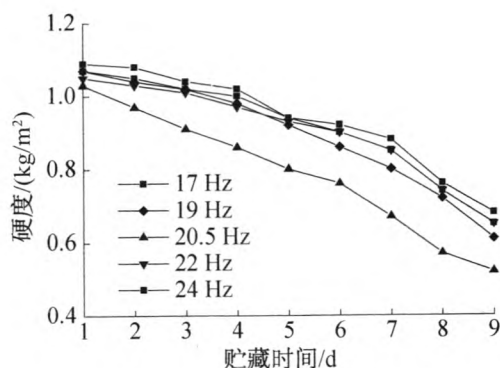


图 5 10℃ 时不同振动频率下草莓硬度变化情况
Fig. 5 Variation of strawberry hardness under different frequencies at 10℃

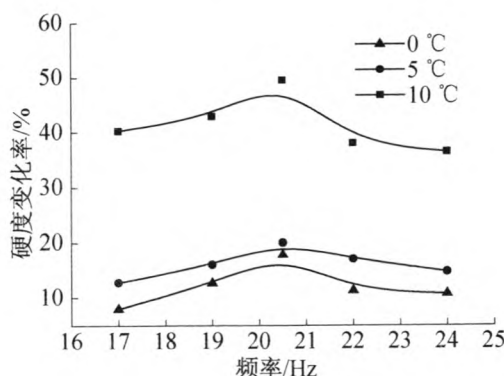


图 6 不同温度下草莓硬度变化率的情况
Fig. 6 Change of the hardness of strawberry at different temperatures

在果实硬度的测量过程中,伴随着草莓果实的衰老,草莓内部纤维素酶活性上升,同时细胞失水导致细胞膨压下降,草莓硬度随之降低。分析图 3 ~ 图 6 可以得出,经历了 17 Hz、19 Hz、20.5 Hz、22 Hz 以及 24 Hz 5 种振动的草莓,在不同温度下贮藏 9 天后,在 0℃ 时,草莓内部酶活性以及细胞内水分的散发过程都比较弱,草莓的硬度分别降低了 8%、12.7%、17.8%、11.3% 以及 10.7%;在 5℃ 贮藏时,草莓硬度值分别下降 12.8%、16%、20%、17% 和 14.7%;贮藏温度为 10℃ 时,草莓硬度值分别降低了 40.3%、42.9%、49.5%、38% 及 36.4%。可见当贮藏温度一定时,固有频率下草莓硬度下降最快,而振动频率相同时,在 0℃ 下,草莓硬度变化幅度最小,而 10℃ 贮藏时,草莓的硬度变化最剧烈。同时通过图 6 的拟合曲线不难发现,温度一定时,在固有频率附近其变化率最大,草莓硬度变化率整体呈抛物线形状。

5.3 不同贮藏条件下草莓可溶性固形物 (SSC) 变化

0℃、5℃ 以及 10℃ 三种贮藏温度下,草莓中

SSC 含量随时间的变化情况如图7、图8及图9所示。

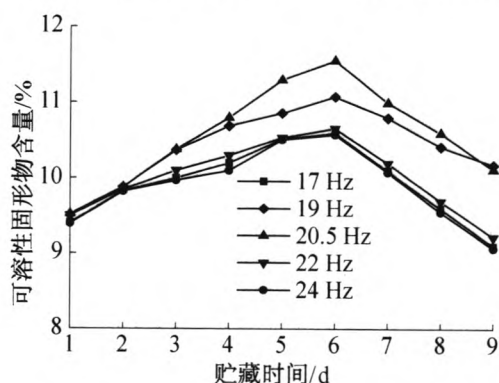


图7 0 °C时不同振动频率下草莓 SSC 变化情况
Fig.7 Variation of strawberry SSC content under different frequencies at 0 °C

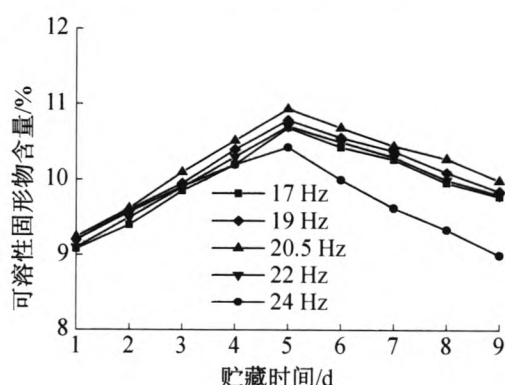


图8 5 °C时不同振动频率下草莓 SSC 变化情况
Fig.8 Variation of strawberry SSC content under different frequencies at 5 °C

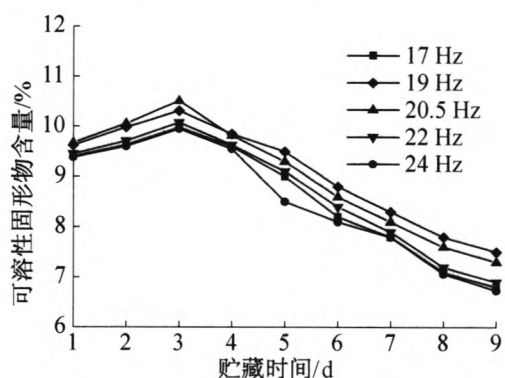


图9 10 °C时不同振动频率下草莓 SSC 变化情况
Fig.9 Variation of strawberry SSC content under different frequencies at 10 °C

SSC 主要体现的是果实的可溶性固形物含量,是反映果实成熟度及品质的标志性指标。通过分析图7、图8及图9不难发现,经历过不同频率振动的草莓,在不同贮藏条件下,SSC 含量都表现出先上升再下降的趋势,这与张桂霞等^[26]研究的草莓果实成

熟过程中 SSC 含量变化趋势一致,这是由于开始时草莓成熟度比较低,随着贮藏时间的增长,草莓的成熟度逐渐升高,含糖量上升,到后期随着贮藏时间的增长,草莓呼吸作用逐渐增强,可溶性糖消耗量增加,其含量逐渐下降。由图7可以看出,在贮藏温度一致时,相对于其它两组实验,固有频率对草莓 SSC 含量的影响最大,分析图8及图9可得出相同结论。而图7~9数据还显示,0 °C时经过6天草莓 SSC 含量达到最大值,而5 °C和10 °C时达到峰值分别需要5天和3天,可见0 °C最有利于维持草莓内部可溶性糖的含量,有利于保持草莓的风味。

5.4 不同贮藏条件下草莓可滴定酸含量变化

从图10、图11以及图12可以看出,随着贮藏时间的增长,草莓中可滴定酸含量均呈现出下降的趋势,而图13则反映了温度相同时,草莓可滴含量变化率随振动频率的变化情况。

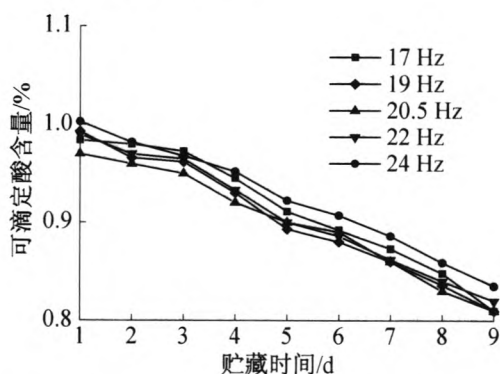


图10 0 °C时不同振动频率下草莓可滴定酸含量变化情况
Fig.10 Variation of strawberry titratable acid content under different frequencies at 0 °C

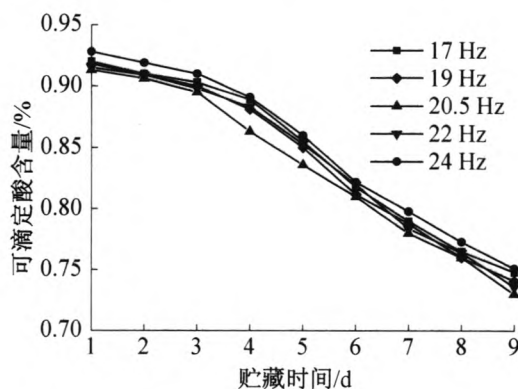


图11 5 °C时不同振动频率下草莓可滴定酸含量变化情况
Fig.11 Variation of strawberry titratable acid content under different frequencies at 5 °C

可滴定酸是草莓的重要构成性状之一,其含量直接影响着草莓的风味品质。在贮藏过程中,可滴定酸被用于草莓的代谢过程,随着贮藏时间的增长,草莓

中可滴定酸部分被呼吸作用所消耗,还有部分在细胞内部转化为糖分被消耗掉,其含量不断降低。

经历了 17 Hz、19 Hz、20.51 Hz、22 Hz 以及 24 Hz 5 种定频振动实验的草莓,在不同温度下贮藏 9 天后,在 0℃ 时,草莓代谢过程比较缓慢,其内部可滴定酸含量分别损失了 17.1%、16.6%、17.5%、16.1% 及 16.1%,差值小于 2%;5℃ 时和 10℃ 时,草莓内部可滴定酸含量损失率差值均在 7% 范围内。但是,0℃ 贮藏 9 天后,5 种频率下草莓可滴定酸含量最少降低 16.1%,而 5℃ 和 10℃ 时分别最少降低 20% 和 37.5%。可见,草莓可滴定酸含量变化过程受振动影响不是特别明显,而受贮藏温度影响较大。

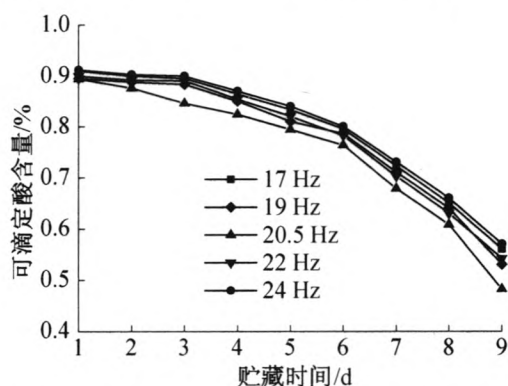


图 12 10℃ 时不同振动频率下草莓可滴定酸含量变化情况
Fig. 12 Variation of strawberry titratable acid content under different frequencies at 10 °C

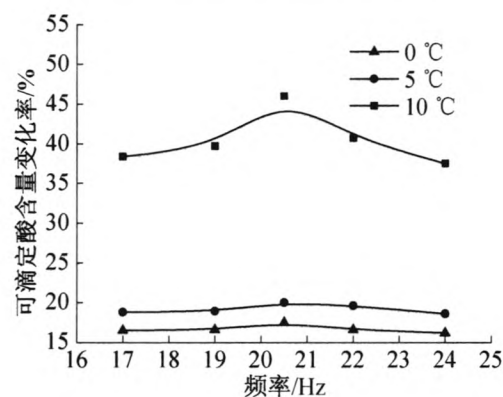


图 13 不同温度下草莓可滴定酸含量变化率的情况
Fig. 13 Change of the titratable acid content of strawberry at different temperatures

5.5 不同贮藏条件下草莓维生素 C 含量变化

维生素 C 是草莓中重要的营养物质,其含量极容易受氧化作用而损失。随着维生素 C 含量降低,草莓内部营养成分逐渐减少,草莓贮藏品质越差。

0℃、5℃ 以及 10℃ 3 种贮藏温度下,草莓中 Vc 含量随时间的变化情况如图 14、图 15 及图 16 所示。而图 17 则反映了温度不相同,草莓 Vc 含量变化率

随振动频率的变化情况。

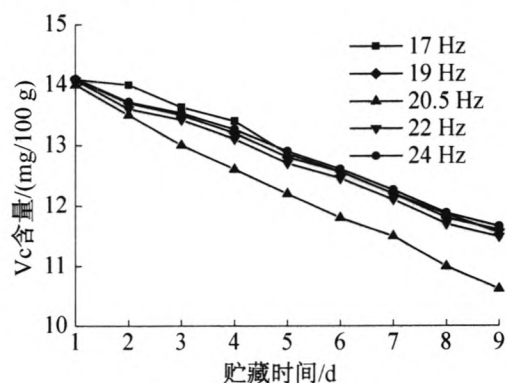


图 14 0℃ 时不同振动频率下草莓维生素 C 含量变化情况
Fig. 14 Variation of strawberry vitamin C content under different frequencies at 0 °C

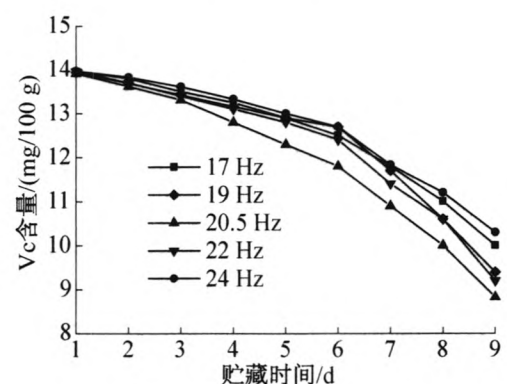


图 15 5℃ 时不同振动频率下草莓维生素 C 含量变化情况
Fig. 15 Variation of strawberry vitamin C content under different frequencies at 5 °C

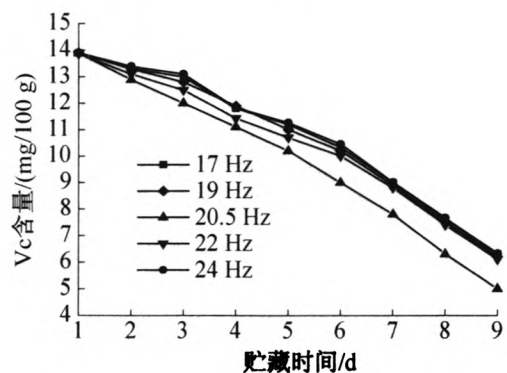


图 16 10℃ 时不同振动频率下草莓维生素 C 含量变化情况
Fig. 16 Variation of strawberry vitamin C content under different frequencies at 10 °C

经历了 17 Hz、19 Hz、20.51 Hz、22 Hz 以及 24 Hz 5 种频率振动的草莓,在不同温度下贮藏 9 天后,在贮藏温度为 0℃ 时,草莓的维生素 C 含量下降百分比为 17.6%、18.4%、24.1%、17.9% 和 17.3%,降幅较低;贮藏温度为 5℃ 时,草莓维生素 C 含量各下降 28.3%、34%、36.5%、32.5% 和 26.2%;贮藏温度为

10 ℃ 时, 草莓维生素 C 含量分别下降 54.3%、55.3%、61%、56% 以及 54%。通过分析图 12 ~ 14 数据可以得出, 在贮藏温度相同的情况下, 固有频率振动对草莓维生素 C 含量的不利影响最大, 而在不同的贮藏温度下, 0 ℃ 时草莓中维生素 C 含量下降速度最慢, 而 5 ℃ 时维生素 C 含量下降速度较快, 在 10 ℃ 时维生素 C 含量下降最快。同时通过图 17 可知, 温度一定时, 在固有频率附近, 当频率增大或者减小时, 其硬度变化率下降过程均出现减缓趋势。

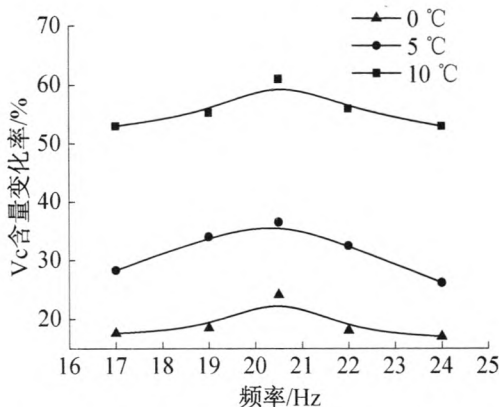


图 17 不同温度下草莓 Vc 含量变化率的情况
Fig. 17 Change of the vitamin C content of strawberry at different temperatures

5.6 不同贮藏条件下草莓 MDA 含量变化

贮藏温度为 0 ℃、5 ℃ 以及 10 ℃ 时, 草莓中 MDA 含量随时间的变化情况如图 18 ~ 图 20 所示。

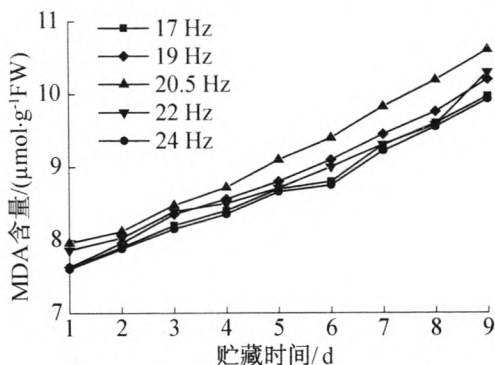


图 18 0 ℃ 时不同振动频率下草莓 MDA 含量变化情况
Fig. 18 Variation of strawberry MDA content under different frequencies at 0 °C

在草莓中, MDA 含量高低是反映草莓膜脂过氧化作用强弱的一个重要指标^[27]。MDA 含量越高, 说明草莓细胞膜系统受到的损伤越大, 细胞衰老越严重。

图 21 则反映了温度不相同, 草莓 MDA 含量变化率随振动频率的变化情况。

从图 18 ~ 图 20 可知, 随着贮藏时间的增长草莓

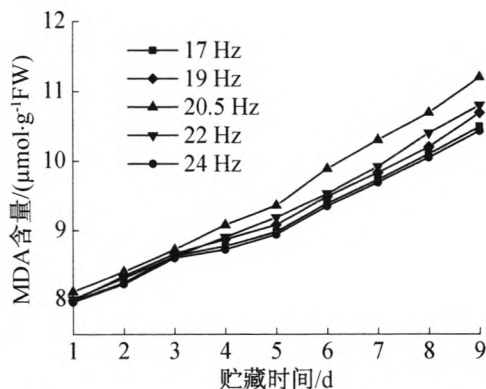


图 19 5 ℃ 时不同振动频率下草莓 MDA 含量变化情况
Fig. 19 Variation of strawberry MDA content under different frequencies at 5 °C

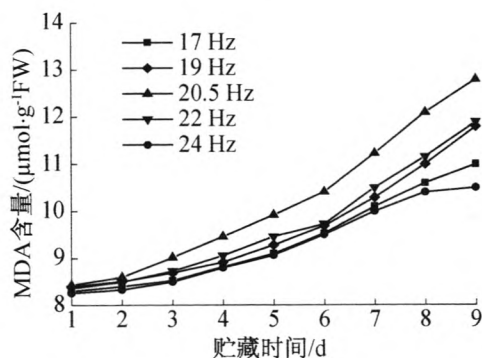


图 20 10 ℃ 时不同振动频率下草莓 MDA 含量变化情况
Fig. 20 Variation of strawberry MDA content under different frequencies at 10 °C

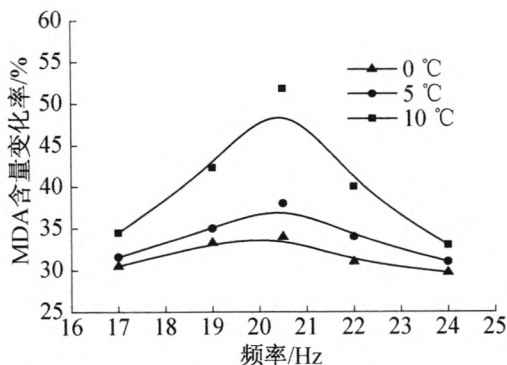


图 21 不同温度下草莓 MDA 含量变化率的情况
Fig. 21 Change of the vitamin C content of strawberry at different temperatures

中 MDA 含量不断升高。经历了 17 Hz、19 Hz、20.5 Hz、22 Hz 以及 24 Hz 五种频率振动的草莓, 在不同温度下贮藏 9 天后, 在贮藏温度为 0 ℃ 时, 草莓的 MDA 含量分别增长了 30.5%、33.6%、34%、31% 和 29.7%; 贮藏温度为 5 ℃ 时, 草莓 MDA 含量各升高 31.6%、35%、38%、34% 和 31%; 贮藏温度 10 ℃ 时, 草莓 MDA 含量分别上升 34.5%、42.3%、51.8%、

40%以及33%。可以看出,在相同贮藏温度下,经历了固有频率下机械振动的草莓中MDA含量增长最快,而当振动频率相同时,0℃时草莓中MDA含量最低且上升速度最慢,可知0℃温度最利于草莓的保鲜。同时通过图21的拟合曲线可以知道,温度一定时,随着频率的变化,草莓可滴定酸含量变化率呈现出先升后降的趋势,在固有频率时其值变化最大。

6 结论

本文通过扫频实验得到草莓包装件的固有频率为20.51 Hz,之后在17 Hz、19 Hz、20.51 Hz、22 Hz、24 Hz五种振动频率下进行了草莓定频振动实验,将经振动实验后草莓分组,并在0℃、5℃以及10℃三种温度情况下进行贮藏保存,得出以下结论:

1)草莓贮藏品质的变化,受到机械振动强度以及贮藏温度的双重影响,二者共同决定了草莓的贮藏品质。

2)经历了20.5 Hz定频振动的草莓,在0℃下贮藏9天,各品质变化量介于15.5%~30%之间,而对于5℃和10℃两个温度条件,各品质变化量分别介于16.3%~37%和45%~60%之间。

3)机械振动对草莓贮藏过程中硬度、可溶性固形物含量、Vc含量以及MDA含量的影响明显,对草莓可滴定酸含量影响较小。

4)在相同贮藏温度下,经历了20.5 Hz定频振动过程的草莓贮藏品质最差,而在17 Hz、19 Hz、22 Hz及24 Hz频率下,草莓贮藏品质的变化相差不大,可见固有频率对草莓的不利影响最大。

5)当振动频率一定时,温度越高,草莓的贮藏品质越差,0℃时草莓贮藏品质最佳。

6)通过实验拟合得到了草莓各品质指标变化率在不同振动条件下的变化曲线。

机械振动造成草莓的组织结构破坏,外观质量降低,营养成分损失,从而导致商品价值和食用品质的下降。因此在草莓及其它果蔬的运输过程中,应该避开其固有频率进行运输。

参考文献

- [1] 黄成洲,谢如鹤.我国食品冷链物流的发展与对策[J].商品储运与养护,2007,29(4):37-39. (HUANG Chengzhou, XIE Ruhe. Development and countermeasures of food cold chain logistics in China[J]. Storage Transportation & Preservation of Commodities, 2007, 29(4): 37-39.)
- [2] 张连军.浅析我国食品冷藏物流的现状与对策[J].物流技术,2006(1):102-104. (ZHANG Lianjun. Analysis

- on the current situation and countermeasures of China food reefer logistics[J]. Logistics Technology, 2006(1): 102-104.)
- [3] 刘国丰,欧阳仲志.冷藏运输市场现状及发展[J].制冷,2007,26(2):27-30. (LIU Guofeng, OUYANG Zhongzhi. The status and development of refrigeration transport market[J]. Refrigeration, 2007, 26(2): 27-30.)
- [4] Remon S, Venturini M E, Lopez-Buesa P, et al. Bulat cherry quality after long range transport: optimization of packing conditions[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2003, 35(3):425-434.
- [5] Peleg K, Hinga S. Simulation of vibration damage in produce transportation[J]. Transactions of the ASAE, 1986, 29(2):633-641.
- [6] 张懋.我国果蔬汁饮料加工现状及发展对策[J].食品与机械,2000(2):4-6. (ZHANG Min. Status and development of processing technology of fruit and vegetable in China[J]. Food & Machinery, 2000(2):4-6.)
- [7] 卢立新,王志伟.果品运输中的机械损伤机理及减损包装研究进展[J].包装工程,2004,25(4):131-134. (LU Lixin, WANG Zhiwei. Study of mechanical damage mechanism and transport packaging in fruits transportation[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(4): 131-134.)
- [8] 刘华英,张锐利,秦俊凤.机械伤害对库车小白杏贮藏品质的影响[J].塔里木大学学报,2006,24(2):14-18. (LIU Huaying, ZHANG Ruili, QIN Junfeng. Effect of mechanical injury on storage quality of kuqa apricot[J]. Journal of Tarim University, 2012, 24(2): 14-18.)
- [9] 陈萃仁,崔绍荣,方利军,等.草莓果实振动损伤的预测模型[J].农业工程学报,1997,13(3):213-216. (CHEN Cuiren, CUI Shaorong, FANG Lijun, et al. A predictive model of strawberry bruising due to vibration[J]. Transactions of the CSAE, 1997, 13(3): 213-216.)
- [10] 卢立新,黄祥飞,华岩.基于模拟运输条件的梨果实包装振动损伤研究[J].农业工程学报,2009,25(6):110-114. (LU Lixin, HUANG Xiangfei, HUA Yan. Effect of packaging methods on vibration bruising of pear fruits by simulated transport tests[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(6): 110-114.)
- [11] Barchi G L, Berardinelli A, Guarnieri, et al. Damage to loquats by vibration-simulating intrastate transport[J]. Biosystems Engineering, 2002, 82(3):305-312.
- [12] 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. (ZHOU Ran, LI Yunfei. Effects of different strengthes of transport vibration on mechanical damage and storage quality of huanghua pears[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(11): 255-259.)
- [13] 沈德绪.果树育种学[M].北京:中国农业出版社,1992.

- [14] 罗学兵,贺良明. 草莓的营养价值及保健功能[J]. 中国食物与营养, 2011, 17(4): 74-76. (LUO Xuebing, HE Liangming. Nutritional value and health function of strawberry[J]. Food and Nutrition in China, 2011, 17(4): 74-76.)
- [15] 黄连琦. 草莓的营养价值及高产高效栽培技术[J]. 上海蔬菜, 2012(4): 75-76. (HUANG Lianqi. Nutrition value and high yield and high efficiency cultivation technology of strawberry[J]. Shanghai Vegetable, 2012(4): 75-76.)
- [16] 徐放,赵鹏宇,吴小虎,等. 不同草莓保鲜方法的比较研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(3): 1237-1239. (XU Fang, ZHAO Pengyu, WU Xiaohu, et al. Comparative study of different preservation methods of strawberry[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2013, 41(3): 1237-1239.)
- [17] 盛小娜,王璋. 不同预处理方式对速冻草莓品质的影响[J]. 冷饮与速冻食品工业, 2006, 12(3): 15-16. (SHENG Xiaona, WANG Zhang. Effects of different pre-treatments on the characteristics of frozen strawberry tissues[J]. Beverage & Fast Frozen Food Industry, 2006, 12(3): 15-16.)
- [18] 高凤娟. 世界草莓生产概况[J]. 北方果树, 1998(5): 4-6. (GAO Fengjuan. Production status of strawberry in the world[J]. Beifang Guoshu, 1998(5): 4-6.)
- [19] 雷家军,望月龙也. 日本草莓栽培现状[J]. 中国果树, 2000(3): 55-56. (LEI Jiajun, WANGYUE Longye. Cultivation status of strawberry in Japanese[J]. China Fruits, 2000(3): 55-56.)
- [20] 官晖,杨晓清,宋晓宇,等. 振动对河套蜜瓜采后生理特性影响的研究[J]. 内蒙古农业大学学报, 2009, 30(1): 142-145. (GUAN Hui, YANG Xiaoqing, SONG Xiaoyu, et al. Study on the effects of vibration on postharvest physiology characteristics of hetao muskmelon[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University, 2009, 30(1): 142-145.)
- [21] 全国包装标准化技术委员会. GB/T 4857. 10—2005 包装运输包装件基本实验 第10部分: 正弦变频振动试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [22] Hernandez-munoz P, Almenar E, Valle V D, 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.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] 郝再彬. 植物生理实验[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2006.
- [26] 张桂霞,王英超,石璐. 草莓果实成熟过程中 Vc 和可溶性固形物含量的变化[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(12): 6995-6996. (ZHANG Guixia, WANG Yingchao, SHI Lu. Research on changes of Vc content and soluble solid concentration content during strawberry fruit ripening[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(12): 6995-6996.)
- [27] Chen S Y. Membrane lipid peroxidation and plant stress[J]. Chinese Bulletin of Botany, 1989, 6(4): 211-217.

通信作者简介

田津津,女,实验师,天津商业大学机械工程学院, E-mail: tianjj@tjcu.edu.cn。研究方向: 食品冷链。现在进行的研究项目有: 天津市自然科学基金重点项目(15JCZDJC34200, 14JCZDJC34600)。

About the corresponding author

Tian Jinjin, female, experiment teacher, School of mechanical engineering, Tianjin university of commerce, E-mail: tianjj@tjcu.edu.cn. Research fields: food cold-chain. The author takes on project supported by Key project of Tianjin Natural Science Foundation(No. 15JCZDJC34200& No. 14JCZDJC34600).