

DOI:CNKI:61-1390/S.20111216.1150.026

网络出版时间:2011-12-16 11:50

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20111216.1150.026.html

不同机械伤对苹果果实贮藏效果的影响

吴主莲,周会玲,任小林,刘美迎

(西北农林科技大学 园艺学院,陕西 杨凌 712100)

【摘要】 **【目的】**研究不同机械伤处理对果实的损伤程度差异及其对果实贮藏生理的影响。**【方法】**以红富士苹果为试材,对果实进行挤压(加压速率1 mm/min)、振动(设2.5和3.3 Hz 2个频率)及跌落(设60和80 cm 2个高度)处理,以不经机械伤处理的果实为对照,处理后贮藏2个月,比较不同处理果实的损伤程度及贮藏过程中果实的呼吸强度、乙烯释放速率、硬度、可滴定酸和Vc含量。**【结果】**1)跌落处理对苹果果实的损伤程度较大,挤压和振动处理损伤程度较小;跌落处理与挤压和振动处理间有极显著差异($P<0.01$),而挤压与振动处理间无显著差异;80与60 cm跌落处理间有极显著差异($P<0.01$),3.3与2.5 Hz振动处理间无显著差异。2)机械伤处理能明显提高苹果果实的呼吸强度和乙烯释放速率,其中在试验末期以跌落处理果实的峰值较大,而挤压和振动处理果实的峰值较小。3)80 cm跌落、挤压和3.3 Hz振动处理对果实的硬度、可滴定酸含量、Vc含量影响较大,而60 cm跌落和2.5 Hz振动处理的影响较小,前三者与后两者之间有极显著差异($P<0.01$)。**【结论】**不同机械伤对果实的影响存在差异,在机械伤类型不明确的情况下,通过直接观测果实的损伤程度不能预测其耐贮性。

【关键词】 红富士苹果;机械伤;呼吸强度;乙烯释放速率;贮藏品质

【中图分类号】 S661.109⁺.3

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2012)01-0190-07

Effect of different mechanical damages on storage result of apple

WU Zhu-lian, ZHOU Hui-ling, REN Xiao-lin, LIU Mei-ying

(College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstracts: **【Objective】** Effect of mechanical injury on damages and changes of storage physiology of apple fruit was studied. **【Method】** ‘Red Fuji’ apple, the test material, was treated by compressing (1 mm/min), vibrating (2.5 and 3.3 Hz) and dropping (60 and 80 cm height) respectively, with the perfect fruit as the control. Damage by treatments was compared, and the respiration intensity, ethylene release rate, firmness, titratable acid content and Vc content were investigated during the 2 month storage. **【Result】** 1) Dropping made a bigger damage to apple fruit, while compressing and vibrating made a smaller one. There were a significant difference between dropping damage and the other two treatments ($P<0.01$), but no difference between compressing damage and vibrating damage. There was a significant difference between 80cm dropping damage and 60cm dropping damage ($P<0.01$), but no difference between 3.3 Hz vibrating damage and 2.5 Hz vibrating damage. 2) Mechanical damage made an obvious increase of respiratory intensity and ethylene release rate of fruit at the later period of storage. Dropping was higher than compressing and vibrating. 3) 80 cm dropping, compressing and 3.3 Hz vibrating produced more effects on fruit’s storage quality than 60 cm dropping and 2.5 Hz vibrating, making significant differences ($P<$

* [收稿日期] 2011-07-15

[基金项目] 国家现代苹果产业技术体系专项(nycytx-08-05-02)

[作者简介] 吴主莲(1987—),女,陕西安康人,在读硕士,主要从事园艺产品采后生理及贮藏保鲜研究。

E-mail:wuzhul.2008@163.com

[通信作者] 周会玲(1969—),女,陕西商洛人,副教授,主要从事果蔬加工工艺研究。E-mail:zhouhui ling@nwsuaf.edu.cn

0.01)。【Conclusion】 The effect on apple by different mechanical damages was different. With no clear consciousness of type of mechanical damage,the storability of apple couldn't be forecast by extent of damage.

Key words: ‘Red Fuji’ apple; mechanical damage; respiration intension; ethylene release rate; storage quality

苹果是我国北方的主要栽培水果,由于产量大、采收期比较集中,而产区却分散在不同的偏远山区,机械化水平较低,果实的采收和采后处理工作是在比较粗放的情况下完成的,致使果实机械损伤现象严重。如采收不当会对果实造成戳伤、划伤和跌落伤;采后运输过程中包装的简陋、运载工具的粗糙、运输路面的不平,则会对果实造成挤压伤、碰撞伤和振动伤;贮藏过程中包装及堆码方式的不规范也会对果实造成挤压伤,甚至是跌落碰撞伤;另外,果实装卸方式不当也会造成果实的碰撞伤、跌落伤等。挤压伤、振动伤和跌落碰撞伤在短时间内很难从外观上察觉,因而这种果实容易被带入冷库进行贮藏,然而其内部伤害已经使果实的贮藏生理发生了改变,不仅自身耐贮性下降,也会影响其他相邻正常果实的贮藏性,因此防止和减少这类机械伤,对苹果产业的发展具有重要意义。

目前,人们对果实机械伤的研究主要集中于明确某一种机械伤给果实所造成的影响,并从 2 个方面探索解决方法:一是通过研究果实力学特性和规律^[1-2],寻求减少果实受力的技术措施,以预防和减轻果实机械损伤;二是通过研究采后技术^[3-4],调节果实生理特性,降低果实对机械伤的敏感性,以减轻机械伤给果实带来的影响。但在杨梅^[5]、草莓^[6]、杏^[7]、无花果^[8]、水蜜桃^[9]、桃^[10]、橄榄^[11]等果实上的研究表明,不同果实对不同类型、不同程度机械伤胁迫的反应有差异。由此可以设想,由于挤压伤、跌落伤与振动伤是不同形式的损伤,因此可能会带给苹果果实不同的影响,然而目前关于这 3 种损伤对苹果果实影响的差异性尚不明确。鉴于此,本试验以红富士苹果为试材,研究挤压、振动和跌落对果实损伤及贮藏效果的影响,以期为深入探讨机械伤对苹果果实贮藏特性的影响提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材 料

供试材料红富士苹果采自陕西省长武县 1 个生产管理状况良好的果园,要求果实大小均匀、无病虫害、无机械损伤,采后迅速运回实验室,于 3℃冷库中贮藏 1 个月备用。

1.2 试验处理

将果实分为 3 组,进行挤压、振动和跌落处理后,分别装入 0.05 mm PE 保鲜袋中,于 3℃冷库中贮藏,以不经机械伤处理的苹果作为对照,贮藏 2 个月并定期进行观测。冷藏当天取对照果测定相关指标作为初始值,以后对所有处理果取样观察测定,每 5 d 测定 1 次果实的呼吸强度和乙烯释放速率,共测定 12 次;分别在处理后的第 5,20,35,50,60 天测定硬度、可滴定酸和 Vc 含量,共测定 5 次。

挤压处理:在 PT-8216B 型包装抗压试验机(东莞宝大仪器)上进行,加压速率为 1 mm/min,压至果实产生塑性变形为止,每处理用果 60 个,重复 3 次。

振动处理:在 Y59-1/ZF 型汽车运输模拟振动台(西安捷盛电子科技)上进行,设 2.5,3.3 Hz 2 个频率,振动时间为 3 h,每处理用果 10 kg,重复 3 次。

跌落处理:在 PT-7071 型双翼式跌落试验台(东莞宝大仪器)上进行,设 60,80 cm 2 个跌落高度,每处理用果 60 个,重复 3 次。

1.3 苹果果实的损伤程度评价

对损伤部位进行测量是生产中常用的评价机械伤的方法,本试验以损伤体积比反映机械伤的损伤程度。随机取各处理果实 20 个,在室温下放置 24 h 后,测量果实的纵、横径及损伤部位的长度、宽度和深度,按下式计算损伤体积比,重复 3 次。

损伤体积比=(伤口长×伤口宽×伤口深)/(果实横径²×果实纵径)×100%。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 呼吸强度 采用 ETONG-7001 型 CO₂ 分析仪测定,随机取各处理果实 9 个,与 CO₂ 分析仪一起放入呼吸室内,测定呼吸室内 CO₂ 的浓度变化,重复 3 次。呼吸强度单位为“mg/(kg·h)”。

1.4.2 乙烯释放速率 采用 Trace GC Ultra 型气相色谱仪测定,载气为 N₂,色谱柱为 2 m 不锈钢填充柱(乙烯专用色谱柱),柱温 70℃,进样口温度 70℃,N₂ 流速 40 kPa,H₂ 流速 35 mL/min,空气流速为 350 mL/min,氢火焰离子检测器检测,检测器温度 150℃。每次进样 1 mL,重复 3 次。

1.4.3 果肉硬度 用 GS-15 型水果质地分析仪测

定,探头直径为 1 cm,测量速率 5 mm/s,接触力为 0.1 kg。随机取各处理果实 5 个,去皮后在果实胴部测定,重复 3 次。

1.4.4 可滴定酸含量(质量分数) 用 GMK-835F 型苹果酸度计测定,随机取各处理果实 5 个,去皮取其胴部组织汁液进行测定,重复 3 次。

1.4.5 Vc 含量 采用钼蓝比色法测定^[12]。

1.5 数据处理

数据用“平均值±标准差”表示,用 Duncan’s 新复极差法进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同机械伤处理苹果果实损伤程度的比较

从图 1 可以看出,不同机械伤处理对苹果造成的损伤程度不同,其中 80 cm 跌落处理果实损伤程度最大,其次为 60 cm 跌落处理果实,挤压和振动处理果实的损伤程度较小。经 SAS 软件统计分析得知,跌落处理果实的损伤程度与挤压和振动处理有极显著差异($P<0.01$),挤压与振动处理之间差异不显著;80 与 60 cm 跌落处理果实之间有极显著差异($P<0.01$),3.3 与 2.5 Hz 振动处理果实之间差异不显著。

2.2 不同机械伤处理苹果果实呼吸强度的变化

由图 2 可以看出,挤压、振动和跌落处理均明显

增强了苹果果实的呼吸强度,并使果实在处理后形成了 2 个呼吸高峰,其中第 1 个峰值出现的时间较为集中,为处理后 5~10 d,且以 2.5 Hz 振动处理果实的峰值最小,其他处理果实的峰值均较大。第 2 个峰值出现的时间因机械伤类型而异,其中以挤压处理最早,在处理后的第 30 天出现;振动处理其次,在处理后的第 45 天出现;跌落处理最晚,在处理后的第 55 天出现;且以跌落处理峰值最大,挤压处理其次,振动处理最小。

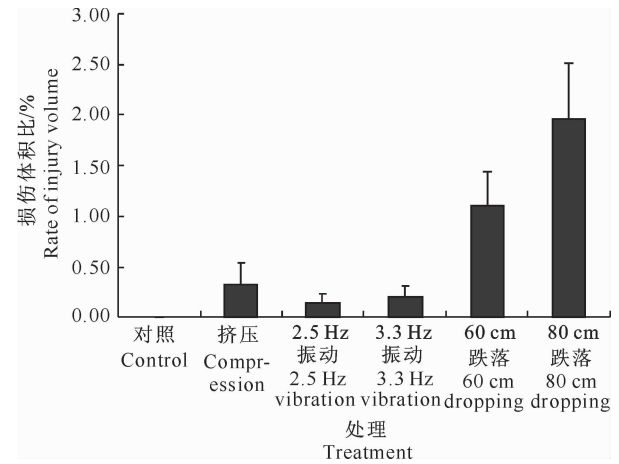


图 1 不同机械伤处理苹果果实损伤程度的比较
Fig. 1 Comparison of injury degree on mechanical damaged fruit

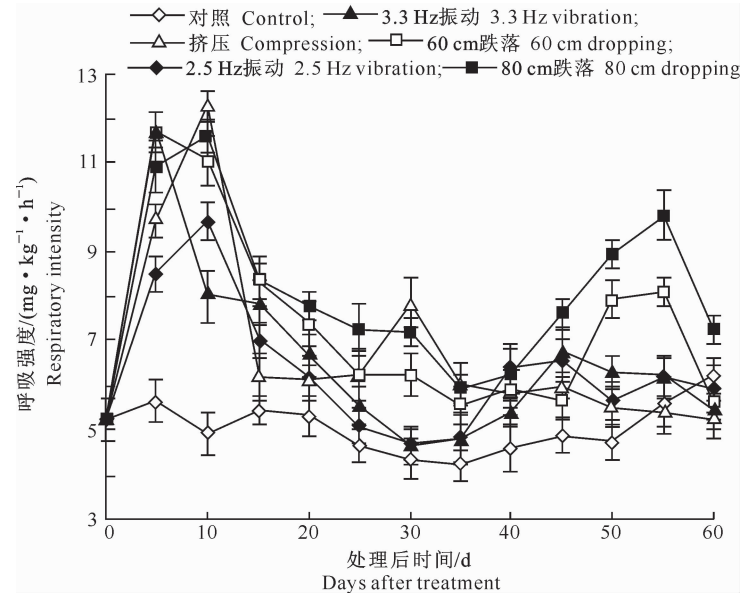


图 2 不同机械伤处理苹果果实呼吸强度的变化
Fig. 2 Changes of respiratory intensity of apple with different mechanical damages

2.3 不同机械伤处理苹果果实乙烯释放速率的变化

由图 3 可以看出,挤压、振动和跌落处理均提高

了苹果果实的乙烯释速率,并使果实在处理后形成了 2 个乙烯释放高峰,第 1 个峰值出现的时间有所

差异,跌落处理果实在处理后第 5 天出现,挤压处理果实在处理后第 10 天出现,振动处理果实在处理后第 10~15 天出现;80 cm 跌落、挤压和 3.3 Hz 振动处理果实的峰值较大,60 cm 跌落和 2.5 Hz 振动处理的峰值较小。第 2 个峰值出现的时间因机械伤类

型而异,其中以挤压处理出现最早,在处理后第 30 天出现;振动处理次之,在处理后第 35 天出现;跌落处理出现最晚,在处理后第 50 天出现。跌落处理的峰值最大,挤压处理次之,振动处理最小。

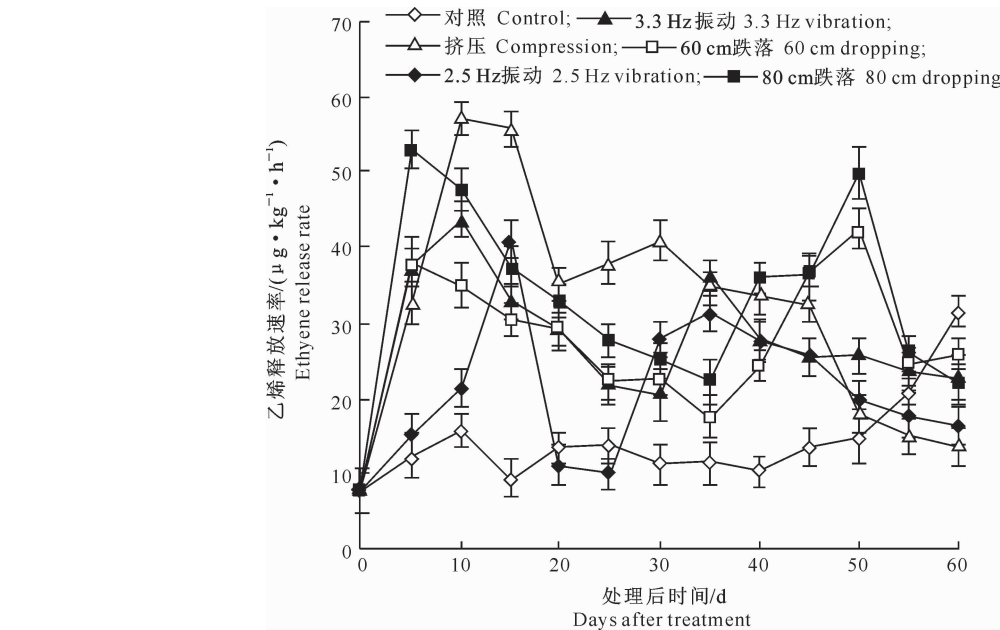


图 3 不同机械伤处理苹果果实乙烯释放速率的变化

Fig. 3 Changes of ethylene release rate of apple with different damages

2.4 不同机械伤处理苹果果实贮藏品质的比较 表 1。

不同机械伤处理苹果果实贮藏品质的比较见

表 1 不同机械伤处理苹果果实贮藏品质的比较

Table 1 Comparison of the storage quality of apple with different mechanical damages

处理 Treatment	处理后时间/d Days after treatment	硬度/(kg·cm ⁻²) Firmness	可滴定酸含量/% Titratable acid	Vc 含量/(mg·g ⁻¹) Content of Vc
对照 Control	0	7.687±0.180 a	0.49±0.01 a	0.403 2±0.008 0 a
	5	7.406±0.160 ab	0.48±0.01 a	0.398 4±0.007 5 a
	20	7.319±0.182 ab	0.45±0.01 b	0.373 2±0.008 9 ab
	35	6.999±0.156 b	0.43±0.01 bc	0.348 9±0.009 0 b
	50	6.606±0.172 bc	0.40±0.01 c	0.321 1±0.007 4 bc
	60	6.367±0.154 c	0.38±0.00 c	0.306 6±0.007 7 c
挤压 Compression	0	7.687±0.180 a	0.49±0.01 a	0.403 2±0.008 0 a
	5	7.147±0.154 b	0.43±0.01 b	0.384 8±0.007 6 ab
	20	6.927±0.133 c	0.38±0.01 c	0.297 8±0.008 7 d
	35	6.686±0.107 c	0.36±0.02 cd	0.276 1±0.008 1 d
	50	6.052±0.140 de	0.34±0.01 d	0.239 5±0.008 1 e
	60	5.455±0.180 f	0.31±0.01 de	0.212 9±0.007 0 e
2.5 Hz 振动 2.5 Hz vibration	0	7.687±0.180 a	0.49±0.01 a	0.403 2±0.008 0 a
	5	7.205±0.174 b	0.45±0.01 b	0.397 2±0.0084 ab
	20	7.087±0.140 bc	0.38±0.02 c	0.311 5±0.007 9 c
	35	6.701±0.149 c	0.37±0.01 c	0.281 8±0.007 2 d
	50	6.264±0.181 d	0.34±0.02 cd	0.271 9±0.006 9 d
	60	6.054±0.108 d	0.32±0.02 d	0.240 4±0.008 4 d

续表 1 Continued table 1

处理 Treatment	处理后时间/d Days after treatment	硬度/(kg·cm ⁻²) Firmness	可滴定酸含量/% Titratable acid	Vc 含量/(mg·g ⁻¹) Content of Vc
3.3 Hz 振动 3.3 Hz vibration	0	7.687±0.180 a	0.49±0.01 a	0.403 2±0.008 0 a
	5	7.107±0.121 b	0.39±0.01 c	0.384 8±0.009 8 ab
	20	6.901±0.145 c	0.37±0.01 c	0.296 1±0.007 9 d
	35	6.527±0.150 cd	0.36±0.01 c	0.277 4±0.009 2 d
	50	5.885±0.148 d	0.32±0.02 d	0.207 1±0.007 2 e
	60	5.656±0.141 ef	0.30±0.02 de	0.171 1±0.008 2 f
60 cm 跌落 60 cm dropping	0	7.687±0.180 a	0.49±0.01 a	0.403 2±0.008 0 a
	5	7.209±0.159 b	0.45±0.02 b	0.380 5±0.008 4 ab
	20	6.843±0.165 bc	0.39±0.00 c	0.335 6±0.009 2 c
	35	6.615±0.154 c	0.37±0.02 c	0.307 3±0.008 3 cd
	50	6.376±0.178 cd	0.34±0.02 d	0.278 3±0.008 4 d
	60	6.063±0.147 d	0.31±0.01 de	0.265 9±0.006 9 d
80 cm 跌落 80 cm dropping	0	7.687±0.180 a	0.49±0.01 a	0.403 2±0.008 0 a
	5	6.812±0.199 c	0.40±0.01 c	0.319 6±0.008 6 c
	20	6.555±0.122 d	0.36±0.01 d	0.288 5±0.007 6 d
	35	6.306±0.151 d	0.34±0.01 d	0.245 7±0.008 2 e
	50	5.667±0.145 ef	0.32±0.01 de	0.222 4±0.008 4 e
	60	5.355±0.160 f	0.28±0.02 e	0.199 6±0.007 2 e

注:同列数据后标不同小写字母者表示有极显著差异($P<0.01$)。
Note:Different small letters indicate significant difference ($P<0.01$).

由表 1 可以看出,挤压、振动和跌落处理均降低了果实的贮藏品质,处理果实的硬度、可滴定酸和 Vc 含量较对照果实下降快。至试验结束时(处理后第 60 天),机械伤处理果实的各项指标均明显低于对照果实,此时,硬度值由小到大依次为挤压、80 cm 跌落、3.3 Hz 振动、2.5 Hz 振动和 60 cm 跌落处理,前三者间无明显差异,但均与 2.5 Hz 振动和 60 cm 跌落处理有极显著差异($P<0.01$),2.5 Hz 振动与 60 cm 跌落处理之间无显著差异;可滴定酸含量由小到大依次为 80 cm 跌落、3.3 Hz 振动、60 cm 跌落、挤压和 2.5 Hz 振动处理,其中 80 cm 跌落与 2.5 Hz 振动处理间有极显著差异($P<0.01$),其他处理间无显著差异;Vc 含量由小到大依次为 3.3 Hz 振动、80 cm 跌落、挤压、2.5 Hz 振动和 60 cm 跌落处理,其中 3.3 Hz 振动处理与其他处理间均有极显著差异($P<0.01$),80 cm 跌落处理与挤压处理间无显著差异,但与 2.5 Hz 振动处理和 60 cm 跌落处理有极显著差异($P<0.01$),2.5 Hz 振动处理与 60 cm 跌落处理间无显著差异。

由表 1 还可以看出,机械伤处理后,果实各项指标的变化规律存在一定差异。处理后第 5 天时,对照仅与 80 cm 跌落处理间硬度和 Vc 含量有极显著差异($P<0.01$),而与其他处理间硬度和 Vc 含量差异不显著;对照与所有机械伤处理间的可滴定酸含量均有极显著差异($P<0.01$)。处理后第 20 天时,对照与 2.5 Hz 振动和 60 cm 跌落处理硬度无显著

差异,但与所有机械伤处理间的 Vc 和可滴定酸含量均有极显著差异($P<0.01$)。至处理后第 35 天时,各项指标在对照与所有机械伤处理之间均有极显著差异($P<0.01$)。

3 讨 论

3.1 不同机械伤对苹果果实呼吸强度和乙烯释放速率的影响

从本试验结果得出,红富士苹果经机械伤处理后,其呼吸强度和乙烯释放速率明显提高,这与申琳等^[13]的研究一致,表明机械伤加速了果实的代谢过程,缩短了果实的采后寿命。机械伤处理后,果实的呼吸强度和乙烯释放速率会大幅升高,这是果实对机械伤胁迫的快速应激反应,机械伤胁迫会诱导果实产生乙烯^[14],对呼吸跃变前或跃变早期的苹果影响比较明显,而对充分成熟果实的乙烯合成影响不明显^[15],并且乙烯通常在受伤部位邻近细胞产生^[16]。呼吸强度的提高和乙烯合成量的增加均有利于加强植物对外界伤害的抵抗力。本研究结果显示,机械伤类型和程度不同,其峰值的出现时间和大小不同,说明果实对不同伤害的反应不同,这与马海军等^[17]的研究结果相似。此外,本研究中,随着贮藏期的延长,由于果实进入衰老阶段,其呼吸强度和乙烯释放速率又会升高,且同种类型机械伤峰值出现的时间相同,峰值随损伤程度增大而增高。

3.2 不同机械伤对苹果果实贮藏品质的影响

贮藏品质是果实在贮藏过程中的外观品质、营养品质和风味品质的综合体现。本试验发现,机械伤会导致果实受伤部位发生褐变。王艳颖等^[18]研究表明,机械伤不仅可以导致苹果受伤部位果肉的褐变,也可以影响果实其他部位果肉的褐变进程。

机械伤促进了果肉硬度的下降,导致了果实的快速软化,降低了果实的食用品质。本试验结果表明,80 cm 跌落处理苹果果实的硬度下降最快;挤压和 3.3 Hz 振动处理果实的硬度在贮藏前期下降速率无差异,处理后第 35 天,前者快于后者;可见经受不同类型机械伤果实的硬度下降速率在不同时期有差异。由于影响果实硬度的因素比较多(包括细胞间结合力、细胞壁成分和细胞膨压等^[19]),因此各种机械伤处理对果实硬度影响差异性的具体机理还有待于进一步研究。

机械伤加速了果实有机酸含量的下降,降低了果实的风味品质。本研究中,与对照相比,试验结束时以 80 cm 跌落处理苹果果实的可滴定酸含量降幅最大,挤压、3.3 Hz 振动和 60 cm 跌落处理果实的可滴定酸含量均在后期开始加速下降,2.5 Hz 振动处理果实的可滴定酸含量在整个过程中变化较小。机械伤处理初期,果实呼吸水平迅速增强,有机酸作为呼吸底物之一,其含量迅速下降,因此初期机械伤处理果实的有机酸含量明显低于对照果实,并保持下降的趋势;中期,各处理果实的呼吸作用下降至较低水平,此时有机酸含量的下降速率较为缓和,各处理间没有明显差异;后期,伴随着果实衰老,果实分解代谢迅速增强,有机酸含量下降,但下降幅度又因损伤程度的不同而表现出一定差异。

机械伤也促进了果实 Vc 含量的下降,从而降低了果实的营养品质。本研究中,试验结束时 3.3 Hz 振动处理苹果果实的 Vc 含量最小,与其他处理间均有极显著差异($P<0.01$);其次为 80 cm 跌落和挤压处理,二者间无显著差异;2.5 Hz 振动和 60 cm 跌落处理的 Vc 含量变化较小,二者间也无显著差异。

本研究中,机械伤处理后,首先影响的是果实可滴定酸含量,处理后 5 d 时,所有机械伤处理果实的可滴定酸含量均极显著低于对照($P<0.01$);其次是果肉 Vc 含量,处理后 20 d 时,所有机械伤处理果实的 Vc 含量均极显著低于对照($P<0.01$);最后是果实硬度,处理后 35 d 时,所有机械伤处理果实的硬度均显著低于对照($P<0.01$)。

硬度、可滴定酸和 Vc 含量等的下降均是果实组织分解代谢的结果,其中硬度的降低主要是因为果实细胞结构发生了变化;可滴定酸含量的降低主要是由于呼吸作用对有机物消耗所致;而 Vc 含量的降低,一方面是 Vc 作为果实营养物质被呼吸消耗,另一方面 Vc 又作为抗氧化物质被氧化分解。本研究中,挤压、振动和跌落处理可能对果实的细胞结构产生了不同影响,并给果实造成了不同的氧化胁迫,但是导致这种差异性的机理还有待于进一步研究。

3.3 不同机械伤处理苹果果实损伤程度与其耐贮性的关系

在本试验中,80 cm 跌落处理果实的损伤程度最大,挤压和 3.3 Hz 振动处理较小,但以上三者均对果实贮藏品质产生了较大影响,60 cm 跌落处理果实的损伤程度虽然仅次于 80 cm 跌落处理,却与损伤程度最小的 2.5 Hz 振动处理对果实贮藏品质造成的影响无明显差异。可见,不同机械伤处理后,苹果果肉的损伤程度与其耐贮性之间并非呈正相关关系,而是因机械伤类型而异。振动处理给果实造成的外伤较小,不同强度的振动给果实造成的外伤差异不明显,但却对果实贮藏品质产生了显著影响,所以在预测不同振动伤对果实耐贮性的影响时,不能通过比较损伤大小来预测,但可以根据振动的强度参数来预测。苹果果实达到一定的跌落高度时,会给果实造成较为明显的损伤,如试验中的 60 和 80 cm 跌落处理,从试验结果来看,二者的耐贮性可以通过观测损伤大小来预测,也可以通过跌落高度直接预测。

机械伤是通过外力使果实组织结构受到破坏的,其中挤压伤是持续受恒力作用的结果,振动伤是持续反复受力的结果,而跌落伤是瞬间受力的结果,可见,挤压伤、振动伤和跌落伤是不同外力所致。有研究表明,挤压、振动和跌落对果实的损伤机理不同^[20]。因果实是一个具有生命活力的个体,在这些不同的受力损伤过程中,其生理反应可能是不同的,这会影响到机械伤处理后果实的整个贮藏生理,因此关于不同机械伤对果实贮藏生理的影响机理,还需要通过研究处理过程中果实的生理变化来进一步说明。

4 结 论

机械伤降低了红富士苹果的贮藏效果,但是挤压伤、振动伤和跌落伤对果实贮藏效果的影响不同,

较小的挤压伤和振动伤可以与较大的跌落伤产生相似的影响效果,可见挤压伤和振动伤对果实的伤害比跌落伤更大;同时,相同类型机械伤对果实贮藏效果的影响随损伤强度的增大而增强。因此,不同类型机械伤果实的耐贮性不能仅根据其损伤程度来比较和预测,同种机械伤果实的耐贮性可以通过损伤强度进行比较和预测。

[参考文献]

[1] Berardinelli A,Donati V,Giunchi A,et al. Mechanical behavior and damage of Pink Lady apples [J]. Applied Engineering in Agriculture,2006,22(5):707-712.

[2] Vursavus,Kubilay,Ozguven,et al. Determining the effects of vibration parameters and packaging method on mechanical damage in golden delicious apples [J]. Turkish Journal of Agriculture and Forestry,2004,28(5):311-320.

[3] Domingo Martinez-Romero, Salvador C, Daniel V. Forced-air cooling applied before fruit handling to prevent mechanical damage of plums (*Prunus salicina* Lindl.) [J]. Postharvest Biology and Technology,2003,28:135-142.

[4] María Serrano, Domingo Martt'nez-Romero, Salvador C, et al. Role of calcium and heat treatments in alleviating physiological changes induced by mechanical damage in plum [J]. Postharvest Biology and Technology,2004,34:155-167.

[5] 郑永华,应铁进,席玛芳,等. 振动胁迫对杨梅果实采后衰老生理的影响 [J]. 园艺学报,1996,23(3):231-234.
Zheng Y H, Ying T J, Xi M F, et al. Effect of vibration stress on postharvest aging physiology of red bayberry [J]. Acta Horticulture Sinica,1996,23(3):231-234. (in Chinese)

[6] 应铁进,茅林春,席玛芳,等. 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,1998,14(1):1-5.
Ying T J, Mao L C, Xi M F, et al. Study on physiology reaction and resistance mechanism of vibration stress of strawberry [J]. Technology Bulletin,1998,14(1):1-5. (in Chinese)

[7] 关军锋. 机械振动胁迫对杏果实生理特性的影响 [J]. 食品科学,1994(10):6-8.
Guan J F. Effect of vibration stress on physiological characteristics of apricot [J]. Food Science,1994(10):6-8. (in Chinese)

[8] 茅林春,叶立扬. 无花果果实对外伤性振动的生理反应 [J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版,2000,25(4):423-426.
Mao L C, Ye L Y. Physiology reaction of non-traumatic vibration of fig [J]. Journal of Zhejiang University: Agriculture and life Sciences,2000,25(4):423-426. (in Chinese)

[9] 肖丽娟,曾凯芳,曾凡坤. 振动胁迫对水蜜桃采后生理的影响 [J]. 保鲜与加工,2006,6(1):21-22.
Xiao L J, Zeng K F, Zeng F K. Effect of vibration stress on postharvest physiology of honey peach [J]. Preservation and Processing,2006,6(1):21-22. (in Chinese)

[10] 席林芳,应铁进,郑永华,等. 振动胁迫对桃果实衰老的影响 [J]. 园艺学报,1997,24(2):137-140.
Xi L F, Ying T J, Zheng Y H, et al. Effect of vibration stress on senescence of peach [J]. Acta Horticulture Sinica,1997,24(2):137-140. (in Chinese)

[11] 陈蔚辉,彭惠琼. 机械损伤对橄榄采后品质及其生理的影响 [J]. 食品科学,2008,29(1):329-333.
Chen W H, Peng H Q. Effect of mechanical damage on post-harvest quality and physiology of olive [J]. Food Science,2008,29(1):329-333. (in Chinese)

[12] 孙 群,胡景江. 植物生理研究技术 [M]. 陕西杨凌:西北农林科技大学出版社,2004:172-174.
Sun Q, Hu J J. Plant physiology technology [M]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University Press, 2004: 172-174. (in Chinese)

[13] 申 琳,生吉萍,罗云波. 运输中的机械损伤对贮藏初期苹果活性氧代谢的影响 [J]. 中国农业大学学报,1999,4(5):107-110.
Shen L, Sheng J P, Luo Y B. Influence of mechanical stress on the active oxygen metabolism system of apple during transport [J]. Journal of China Agricultural University, 1999, 4(5):107-110. (in Chinese)

[14] Loughheed E C, Franklin E W. Ethylene production increased by bruising of apples [J]. Hort Science,1974,9:192-193.

[15] Robitaille H A, Janick J. Ethylene production and bruise injury in apple [J]. Am Soc Hortic Sci,1973,98:411-413.

[16] Knee M, Miller A R. Mechanical injury [M]. Sheffield: Sheffield Academic Press,2002:157-179.

[17] 马海军,郑彩霞,李 猛,等. 碰伤富士苹果果实内源茉莉酸和主要保护酶活性的变化 [J]. 西北植物学报,2010,30(10):2002-2009.
Ma H J, Zheng C X, Li M, et al. Response of endogenous jasmonic acid and activities of protective enzymes in impact bruising ‘Fuji’ apples [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin,2010,30(10):2002-2009. (in Chinese)

[18] 王艳颖,胡文忠,庞 坤,等. 机械损伤对富士苹果酶促褐变的影响 [J]. 食品科学,2008,29(4):430-434.
Wang Y Y, Hu W Z, Pang K, et al. Effect of mechanical damage on enzymatic browning in ‘Fuji’ apples [J]. Food Science,2008,29(4):430-434. (in Chinese)

[19] 庄均平,陈维信,吴振先,等. 苹果采后软化进展 [J]. 中国农学通报,2004,20(4):73-77.
Zhuang J P, Chen W X, Wu Z X, et al. Advance in postharvest softening of apple fruit [J]. China Agriculture Science Bulletin,2004,20(4):73-77. (in Chinese)

[20] Zeebroeck M V, linden V V, Ramon H, et al. Impact damage of apples during transport and handling [J]. Postharvest Biology and Technology,2007,45:157-167.