

## 机械损伤对富士苹果生理生化变化的影响\*

王艳颖<sup>1,3</sup>, 胡文忠<sup>1</sup>, 庞坤<sup>2</sup>, 朱蓓薇<sup>3</sup>, 范圣第<sup>1</sup>

1(大连民族学院生命科学学院, 辽宁大连, 116600) 2(中国科学院大连化学物理研究所, 辽宁大连, 116023)

3(大连工业大学生物与食品工程学院, 辽宁大连, 116034)

**摘 要** 研究了富士苹果受到机械损伤后在 5℃ 和 18℃ 2 种贮藏温度下呼吸强度、可溶性固形物、乙烯释放量、果肉硬度、苯丙氨酸解氨酶活性和木质素含量的变化。结果表明:富士苹果受到机械损伤后,呼吸强度、乙烯释放量均明显提高,而且随着温度的升高而显著地升高;可溶性固形物含量和果肉硬度均快速下降;苯丙氨酸解氨酶活性略低于对照,但在贮藏初期也逐渐上升;木质素含量在贮藏前期快速下降,后期又逐渐上升。在贮藏过程中,除了木质素含量外,受伤果的其他各项指标都显示了上升、下降的反复趋势,说明受伤组织具有提高代谢水平,同时也促进了愈伤组织的形成,实现自我修复的功能。实验结果显示,低温贮藏有利于保持苹果的贮藏品质。

**关键词** 机械损伤,富士苹果,生理生化

富士(Fuji)苹果是 1980 年代初从日本引进我国的优良品种,具有果肉硬脆、可溶性固形物含量高、品质好、耐贮藏等优点,目前已成为我国第一大苹果主要栽培品种<sup>[1]</sup>。近年我国富士苹果产量逐年递增,质量不断提高,但苹果在采后包装、运输、贮藏到消费者手中的整个过程都不可避免地受到如挤压、振动、碰撞等机械损伤,尤其近年鲜切加工业的兴起,给苹果带来人为的机械伤害,这种不同程度的机械损伤破坏了果实天然的组织结构,从而导致果实生理代谢的紊乱,引发一系列不利于贮藏的生理生化反应,例如乙烯的产生<sup>[2]</sup>、呼吸速率的增加和呼吸途径的改变<sup>[3]</sup>、膜脂分解代谢加剧<sup>[4]</sup>、愈伤组织的形成和次生代谢的变化等<sup>[5]</sup>,从而加速了营养成分的损失<sup>[6]</sup>,加快了苹果衰老的进程,导致苹果的商品价值和食用品质的下降。同时,机械损伤给微生物侵染提供了机会,使苹果腐烂增加,造成苹果在贮运过程尤其是贮藏后期的损失相当严重<sup>[7]</sup>。目前,国内外有关机械损伤对采后富士苹果生理代谢的影响报道很少,本研究通过人工模拟机械伤害对采后富士苹果受伤前后的呼吸强度、乙烯释放量和酶活性等生理生化反应进行研究,以期探索果蔬受到机械伤害后对外界胁迫环境的生理反应机制。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料及处理

第一作者:硕士研究生,工程师(胡文忠教授为通讯作者)。

\* 国家自然科学基金项目(No. 30571302),辽宁省教育厅高等学校科研基金(No. 2005L057)资助项目。

收稿日期:2007-04-26, 改回日期 2007-06-13

供试材料:2006 年 10 月末采自瓦房店松树镇朝阳村果园,选用色泽一致、大小均匀、无病虫害和无机械损伤的富士苹果为试验材料,采后当天运至实验室,并贮藏在 1℃、相对湿度 90%~95%的冷库中备用。

机械损伤处理方法:将苹果置于离地面 50 cm 高处,采用自由落体跌至理石地面上,每个果实正反面各产生 1 处机械伤,以不经跌落的果实为对照,分别贮藏在 5℃ 和 18℃ 2 种温度下。每 1~2 d 取样测定相关指标,每次取 3~5 个果实进行分析。

### 1.2 主要仪器设备

便携式速显糖度计(PAL-1,日本);果实硬度计(510-5FHR-5 型,日本);气相色谱仪(GC-2010 型,日本岛津公司);电子天平(梅特勒-托利多仪器上海有限公司);电热恒温水浴锅(DK-S26 型,上海精宏实验设备有限公司);电热恒温鼓风干燥箱(DHG-9053A 型,上海精宏实验设备有限公司);高速冷冻离心机(BR4i 型,法国 Jouan);匀浆机(T-25 型,德国 IKA);紫外可见分光光度计(UV-2100 型,尤尼柯上海仪器有限公司);制冰机(SiM-F140 型,日本三洋);组合式气调库(大连冷冻机股份有限公司);紫外可见分光光度计(Lambda 25 型,美国 Perkin Elmer);超低温冰箱(MDF-382E 型,日本三洋)。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 果实可溶性固形物含量

随机选取 3~5 个果实,取适量果肉研磨成匀浆,用便携式速显糖度计测定其含量(%)。

### 1.3.2 呼吸强度的测定

参照吴友根<sup>[8]</sup>的气相色谱法并修改:在密闭良好的容器中装入 1 kg 苹果,在贮藏条件下密封放置 1 h,然后用微量注射器抽取 1 mL 气体试样,注入气相色谱(GC-2010 型)进行检测。 $\text{CO}_2$  标样从纯  $\text{CO}_2$  钢瓶( $\text{CO}_2$  纯度为 99.995%)中抽取并稀释,标样系列稀释浓度包括:5、10、15、20、25  $\mu\text{L}/\text{mL}$ 。

仪器与色谱条件:日本岛津 GC-2010 型气相色谱仪,1.8 m $\times$ 0.25 mm 填充柱;TCD 检测器,He 为载气(流量为 55.8 mL/min),柱温为 35 $^{\circ}\text{C}$ ,进样口温度 120 $^{\circ}\text{C}$ ,检测器温度为 120 $^{\circ}\text{C}$ 。每处理重复测定 3 次。

### 1.3.3 乙烯含量的测定

参照 Jiang(1994)和 Jin 方法的气相色谱法<sup>[9,10]</sup>并修改。在密闭良好的容器中装入 1 kg 苹果,在贮藏温度条件下放置 1 h,然后抽取 1 mL 气体试样,注入气相色谱(GC-2010)进行检测。乙烯标样从纯乙烯钢瓶(纯度 $\geq 99.9\%$ )中抽取并稀释,标样系列稀释浓度包括:2、4、6、8、10  $\mu\text{L}/\text{mL}$ ,做乙烯标准曲线。

气相色谱条件为:采用岛津 GC-2010 气相色谱仪,氢火焰离子化检测器 FID, DB-17 毛细管柱(0.25 mm $\times$ 30 m),载气  $\text{N}_2$ (流量为 11.8 mL/min), $\text{H}_2$  为燃烧气(流量为 47 mL/min),空气为助燃气(流量为 400 L/min),进样口温度:60 $^{\circ}\text{C}$ (乙烯为气体,进样口温度不需太高)柱温为 40 $^{\circ}\text{C}$ ,检测器温度为 200 $^{\circ}\text{C}$ 。每处理重复测定 3 次。

### 1.3.4 苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性的测定

参照《植物生理实验》的方法<sup>[11]</sup>并略作修改:取 5 g 左右的果肉,加 20 mL 的 5 mmol/L 巯基乙醇硼酸缓冲液、0.5 g 聚乙烯吡咯烷酮(PVPP)、少量石英砂在研钵中研磨。匀浆抽气过滤,滤液在 10 000 r/min、4 $^{\circ}\text{C}$  离心 15 min,上清液为酶粗提液。在 0.2 mL 酶液中加入 1 mL 0.02 mol/L 苯丙氨酸、2 mL 蒸馏水,总体积为 4 mL。对照为不加底物,多加 1 mL 蒸馏水。反应液置恒温水浴 30 $^{\circ}\text{C}$  中保温,0.5 h 后用紫外分光光度计在 290 nm 处测定吸光度。以每小时在 290 nm 处吸光度变化 0.01 所需酶量为一个单位(相当于每毫升反应混合物合成 1  $\mu\text{g}$  肉桂酸)。

### 1.3.5 果实硬度

随机选取 3~5 个果实,在每个果实的不同部位去除果皮后,用装有 5 mm 探头的果实硬度计测定果肉的硬度,取其平均值。

### 1.3.6 木质素含量的测定

参照 Morrison(1972)法<sup>[12]</sup>并修改。1 g 果肉组织与预冷的 4 mL 体积分数 95%乙醇研磨,4 $^{\circ}\text{C}$  下 12 000 $\times g$  离心 10 min,沉淀物用体积分数 95%乙醇冲洗 3 次,再用乙醇:正己烷体积比=1:2 冲洗 3 次,然后加 1 mL 2 mol/L NaOH 中止反应。再加 2 mL 冰醋酸和 0.1 mL 7.5 mol/L 羟胺盐酸,离心,取上清 0.5 mL,用冰醋酸定容至 10 mL,280 nm 下测定样品吸光值,样品重复测定 3 次。木质素含量以  $\text{OD}_{280}/\text{g}$  (鲜重)表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 机械损伤对富士苹果可溶性固形物含量的影响

如图 1 所示,对照果实的可溶性固形物含量随着贮藏期的增加略有下降的趋势。因为富士苹果在采后仍进行着旺盛的呼吸和新陈代谢作用,有机物不断分解以提供生命活动所需的能量,导致可溶性固形物含量逐渐下降。而苹果一旦受到机械损伤,可溶性固形物含量急速下降,然后出现上升、下降的反复过程,但 5 $^{\circ}\text{C}$  贮藏的可溶性固形物含量下降和上升的幅度较大,且贮藏后期含量较高。这可能是因为苹果受到机械伤害后,伤呼吸迅速增加,需要消耗大量的营养成分,导致可溶性固形物含量快速下降,随着受伤处果肉营养成分的大量消耗,周围完好果实的营养成分快速补充到受伤部位,以提高伤处的营养来加强伤处自身的修复能力。随着可溶性固形物含量上升和下降,伤处果肉就反复不断地修复,来提高自身抵抗外界伤害的能力,而且在低温时这种修复能力进行得较慢且较强。

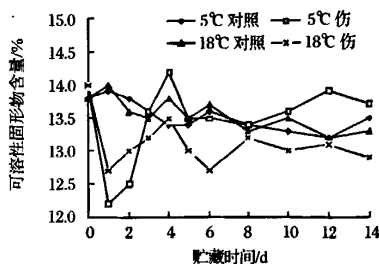


图 1 机械损伤对富士苹果可溶性固形物含量的影响

### 2.2 机械损伤对富士苹果呼吸强度的影响

受机械损伤的富士苹果在不同贮藏温度下呼吸强度的变化如图 2 所示。富士苹果是呼吸跃变型果实<sup>[13]</sup>,在贮藏过程中,呼吸强度呈现先上升后下降的趋势,而且随着温度的升高,呼吸强度显著提高,18 $^{\circ}\text{C}$  贮藏的富士苹果呼吸强度是 5 $^{\circ}\text{C}$  贮藏的 3 倍左右,差

异分析表明达极显著性差异 ( $P < 0.01$ )。这说明低温能降低果实的呼吸强度,减少有机物的消耗,有利于保持贮藏品质。所以,采后的富士苹果适合于在低温下贮藏。受机械损伤后的富士苹果呼吸强度明显提高,而且与对照果一样随着温度的升高,呼吸强度极显著地提高。另外,在2种贮藏温度下,受伤果的呼吸强度都经过上升、下降的反复过程,两者都出现2次峰值,且18℃贮藏的第一次峰值是5℃贮藏时的3倍左右,18℃贮藏的第二次峰值低于第一次峰值,而5℃贮藏后期的呼吸强度有逐渐升高的趋势。实验结果表明:机械伤促进了果实的呼吸强度,这与相关的报道是一致的<sup>[14~16]</sup>,而温度是导致呼吸强度升高的最主要因素。另外,呼吸强度的升高加快了伤害部位的新陈代谢,大量的呼吸底物被消耗,随后呼吸强度不断降低,随着呼吸底物的不断减少,邻近伤害部位的有机酸、还原糖等有机物可能不断转移过来以补充减少的呼吸底物,或者伤害部位的淀粉等有机物不断分解以提供呼吸代谢的底物,从而导致呼吸强度的再次升高。呼吸强度升高、下降的过程是生物体提高自身生理活性,对抗逆境的一种自我保卫作用。

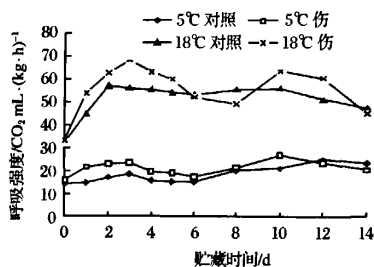


图2 机械损伤对富士苹果呼吸强度的影响

### 2.3 机械损伤对富士苹果苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性的影响

苯丙氨酸解氨酶是普遍存在于高等植物中的苯丙氨酸代谢途径中的关键酶和限速酶<sup>[17]</sup>,它能催化L-苯丙氨酸脱氨产生大量次生代谢物质,如木质素、各种酚类化合物。而机械损伤能诱发苯丙烷类代谢途径产生木质素、各种酚类、类黄酮等主要的次生代谢物质。

机械损伤对富士苹果苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性的影响如图3所示。对照果的PAL活性在5℃贮藏前期显示逐渐上升、后期平稳的趋势,而在18℃贮藏前期逐渐上升、后期大幅度下降的趋势,到第10天PAL活性达到高峰,是同期5℃贮藏时1.4倍,这是因为采后的富士苹果仍然进行正常的新陈代谢活动,

酶活性逐渐提高,而且随着温度的升高而增大,但在贮藏后期,果实又逐渐衰老,PAL活性下降,而在贮藏期间低温抑制了PAL的活性。机械损伤使苹果受伤部位的PAL活性低于对照果,这与相关的报道是不同的<sup>[14,17]</sup>,但在贮藏过程中PAL活性也是显示了上升、下降的反复趋势,而5℃贮藏的PAL活性上升、下降的幅度较大,到贮藏后期大幅度上升。实验结果表明:植物在遭受伤害时,苯丙烷类代谢被激活,促使PAL活性上升以产生较多植保素、木质素来减轻伤害。当合成较多次生代谢物后,它们会反馈抑制PAL活性,从而减少营养物质的消耗,有利于伤口的愈合<sup>[17]</sup>。

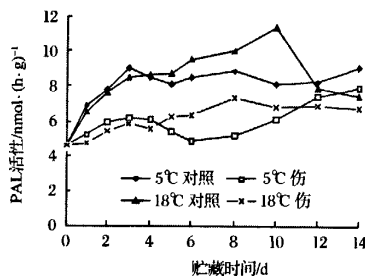


图3 机械损伤对富士苹果PAL活性的影响

### 2.4 机械损伤对富士苹果乙烯释放量的影响

受机械损伤的富士苹果在不同贮藏温度下乙烯释放量的变化如图4所示。对照果在18℃贮藏过程中呈现先上升后下降的趋势,而在5℃贮藏过程中略显上升的趋势,但是18℃贮藏的乙烯释放量极显著地高于5℃贮藏的乙烯释放量 ( $P < 0.01$ )。说明低温极显著地抑制了苹果的乙烯释放量,延迟了苹果的后熟而有利于苹果的长期贮藏。受到损伤后的富士苹果乙烯释放量明显升高,这与相关报道是一致的<sup>[14,15]</sup>,18℃贮藏的乙烯释放量前期快速上升后期又逐渐下降,第4天达到峰值106.3  $\mu\text{L}/\text{kg} \cdot \text{h}$ ,比同期对照样品多26.2  $\mu\text{L}/\text{kg} \cdot \text{h}$ ,而5℃贮藏的乙烯释放量贮藏前期也明显高于对照,然后出现下降再上升的过程,但幅度较小。实验结果表明,机械损伤能明显地诱导受伤果乙烯的产生,但低温也能抑制受伤果的乙烯释放,阻止了受伤果的快速老化。

### 2.5 机械损伤对富士苹果木质素含量的影响

对照果在贮藏过程中木质素含量呈先上升后下降的趋势,图5所示,除了贮藏末期,5℃贮藏的木质素含量大于18℃贮藏的木质素含量,这与吴锦程<sup>[18]</sup>报道的结果是一致的。这是因为采后的苹果仍要合成一部分有机物,随着贮藏期的延长,体内的有机物

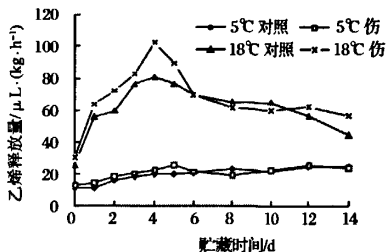


图4 机械损伤对富士苹果乙烯释放量的影响

不断分解以维持自身新陈代谢的需要,而且温度越高,有机物分解速度越快,导致木质素含量前期上升后期下降。受到机械损伤的富士苹果在2种贮藏温度下木质素含量前期下降后期上升,但在贮藏初期和末期都高于对样品,而在5℃贮藏的木质素含量下降和上升的幅度较小。实验结果表明,机械损伤能快速诱发木质素、各种酚类等主要次生代谢物质的生成,这些物质主要集中在伤口及其邻近部位,参与愈伤组织的形成<sup>[19]</sup>,这些愈伤组织有利于保护组织免于脱水和防止病菌入侵,往往在受伤后立即开始形成。随着受伤组织不断自愈、不断衰老的进行,木质素含量经历了上升和下降的过程,而且低温减慢了受伤果实的生理代谢进程。

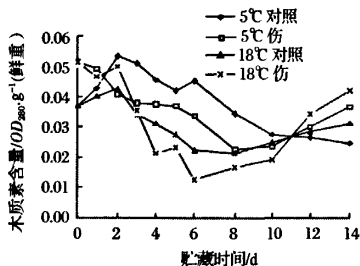


图5 机械损伤对富士苹果木质素含量的影响

## 2.6 机械损伤对富士苹果果肉硬度的影响

对照果的果肉硬度在5℃贮藏初期缓慢增大后期趋于平稳,而18℃贮藏前期有缓慢增大后期略显下降的趋势,如图6所示。这是因为采后的苹果含水量较高,5℃贮藏水分不易散失,硬度变化不大,而18℃贮藏时水分较易蒸发,而且温度升高,纤维素含量增加较多(待发表),导致苹果硬度呈缓慢增大的趋势,说明低温有利于保持苹果的硬度。而机械损伤导致苹果硬度急剧下降,达极显著差异( $P < 0.01$ )水平。在贮藏期间受伤果的果肉硬度都显示了上升和下降的反复趋势,而5℃贮藏的果肉硬度比18℃贮藏的变化速度较缓慢。实验结果表明,机械损伤破坏了

细胞膜的结构,促进了果实的软化,从而导致果肉硬度大幅度下降。随着愈伤组织的不断形成<sup>[19]</sup>,果肉硬度又呈现了微弱的上升趋势,而且愈伤组织在低温下进行得比较缓慢,说明受伤的果实在低温下贮藏仍然是比较有利的。

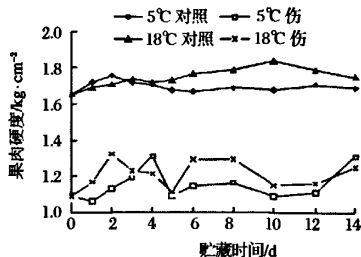


图6 机械损伤对富士苹果果肉硬度的影响

## 3 讨论

采后的富士苹果仍然是一个能进行正常代谢活动的有序生命体,而机械损伤破坏了果肉组织的有序结构,造成生理代谢紊乱,引发一系列非正常的生理反应。研究发现,富士苹果受到机械损伤后果实内源乙烯释放量上升,呼吸强度明显提高,消耗了大量的呼吸底物,可溶性固形物含量快速下降,导致果肉硬度快速降低。而且乙烯释放量和呼吸强度均随温度的升高而显著提高。苯丙氨酸解氨酶(PAL)是苯丙烷类代谢途径中的第一个关键酶,代谢产生大量次生代谢物质,如木质素等,有利于愈伤组织的形成,起到修补伤口的作用。实验结果表明,机械损伤使PAL在贮藏初期显示了上升的趋势,木质素含量也明显上升,这有助于受伤组织的愈伤。许多植物在遭受伤害时,植物的防卫系统特别是苯丙烷类代谢被激活,PAL活性迅速上升,因此PAL活性可以作为植物抗逆境能力的一个生理指标<sup>[20,21]</sup>。

本研究发现,受伤组织在贮藏过程中各项生理指标基本都随贮藏期的延长呈现上升和下降的反复趋势,尤其是在低温下,各种生理代谢速度较缓慢,从而有利于保持果实的贮藏品质,这可能是果实对外界不良环境的一种适应机制,是对抗逆境的一种自我保护作用。这些现象与Bostok报道<sup>[22]</sup>的受损伤细胞诱导邻近未受损伤组织细胞的非正常生理过程,以使损伤的组织细胞向正常生理过程回归的现象是一致的。

## 参考文献

- 1 牛锐敏,饶景萍,韩新花,等.不同采收期对红富士苹果贮

- 藏品质的影响[J]. 西北农业学报, 2006, 15 (3): 171-174
- 2 Agar I T, Massantini R, Hess Pierce B, et al. Postharvest CO<sub>2</sub> and ethylene production and quality maintenance of fresh-cut kiwifruit slices[J]. J Food Sci, 1999, 64: 433~440
  - 3 Watada A E, Ko N P, Minott D A. Factors affecting quality of fresh-cut horticultural products [J]. Postharvest Biol Technol, 1996, 9: 115~125
  - 4 Brecht J K. Physiology of lightly processed fruits and vegetables [J]. Hort Science, 1995, 30: 18~22
  - 5 Babic I, Amiot M J, Nguyen C, et al. Accumulation of chlorogenic acid in shredded carrots during storage in an oriented polypropylene film [J]. J Food Sci, 1993, 58: 840~841
  - 6 Leea J Y, Parka H J. Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents [J]. Lebensm-Wiss U-Technol, 2003, (36): 323~329
  - 7 胡新宇, 宁正祥, 向波, 等. 水果贮藏保鲜技术的进展[J]. 沈阳农业大学学报, 2000, 31(6): 590~594
  - 8 吴友根, 陈金印, 庞会忠. 气相色谱法对翠冠梨中二氧化碳含量的检测[J]. 江西农业大学学报, 2003, 25(2): 178~180
  - 9 Jang, W B, Mayak S, Halevy A H. The mechanism involved in ethylene-enhanced ethylene synthesis in carnations[J]. Plant Growth Regul. 1994, 14: 133~138
  - 10 Jin C H, Kashiwagi T, Mizuno M, et al. Structural changes in the cell wall pectic polysaccharides accompanied by softening of apple (*Malus pumila* Mill) cultivars Fuji and Kinsei[J]. Food Preserva Sci, 1999, 25: 293~300
  - 11 郝再彬, 苍晶, 徐仲. 植物生理实验[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004, 80~81
  - 12 Morrison I M. A semi-micro method from the determination of lignin and its use in predicting the digestibility of forage crops[J]. J Sci Food Agric, 1972, 23: 455~463
  - 13 石建新, 赵迎丽, 赵猛, 等. 红富士苹果采后生理研究[J]. 山西农业科学, 1999, 27(2): 61~64
  - 14 席玛芳, 邵启明, 丁颖. 内伤胁迫柑果实的生理反应[J]. 江西农业大学学报, 1996, 18(3): 312~314
  - 15 侯建设, 席玛芳, 余挺, 等. 温度、机械伤和采收期对小白菜的采后生理的影响[J]. 食品与发酵工业, 2002, 28(10): 40~43
  - 16 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, 1(5): 107~110
  - 17 李正国, 高雪, 樊晶, 等. 奉节脐橙果实苯丙氨酸解氨酶活性及其基因表达与果皮褐变的关系[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2006, 32(3): 381~386
  - 18 吴锦程, 唐朝晖, 陈群, 等. 不同贮藏温度对枇杷果肉木质化及相关酶活性的影响[J]. 武汉植物学研究 2006, 24(3): 235~239
  - 19 潘永贵, 施瑞城. 采后果蔬受机械伤害的生理生化反应[J]. 植物生理学通讯, 2000, 36(6): 568~572
  - 20 Smith B G, Rubery P H. Modifications of wound-induced changes in phenylalanine ammonia-lyase activity in potato tuber tissue [J]. Plant Science Letters, 1979, 15(1): 29~33
  - 21 Brown G E. Changes in phenylalanine ammonia-lyase, soluble phenolics and lignin in injured orange exocarp [J]. Proceedings of the Annual Meeting of the Florida State Horticulture Society, 1991, 103: 234~237
  - 22 Bostock R M. Perspectives on wound healing in resistance to pathogens. Annual Review of phytopathology, 1989, 27: 343~371

## Effect of Mechanical Damage on the Physiology and Biochemistry in Fuji Apple

Wang Yanying<sup>1,3</sup>, Hu Wenzhong<sup>1</sup>, Pang Kun<sup>2</sup>, Zhu Beiwei<sup>3</sup>, Fan Shengdi<sup>1</sup>

1(Dalian Nationalities University, College of Life Science, Dalian, 116600, China)

2(Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Science, Dalian, 116023, China)

3(Dalian Polytechnic University, School of Biological & Foodstuff Engineering, Dalian, 116034, China)

**ABSTRACT** The changes of respiration rate, soluble solids, ethylene production, flesh hardness, the activity of phenylalanine ammonia-lyase and the content of lignin of Fuji apples by mechanical damage at 5°C and 18°C storage were investigated. The results showed that the respiratory rate and ethylene production were increased obviously and this increase was also significantly with temperature increasing. The content of soluble solids and flesh hardness declined rapidly; the activity of phenylalanine ammonia-lyase was lower than that of control and increased gradually during initial storage; the content of lignin dropped rapidly during earlier storage and increased gradually during the later storage. The other parameters showed increasing and reducing cycles except the content of lignin during storage. The conclusion was that the injured tissue raised metabolism and promote self-repaired function. The results showed low-temperature was better to maintaining the quality of apples.

**Key words** Fuji apple, mechanical damage, physiology and biochemistry