# 不同冷藏温度对蜜脆苹果采后生理的影响

李倩倩，任小林*
(西北农林科技大学园艺学院，陕西 杨凌 712100)

**摘 要：**研究不同冷藏温度对蜜脆苹果贮藏期生理生化及货架期品质保持的影响。设置不同冷藏温度0℃和3℃，定期测定贮藏期间的各项生理生化指标和货架期品质指标，并在贮藏末期观察统计主要生理病害的病情指数。结果表明：3℃冷藏与0℃相比，能较好的抑制蜜脆苹果冷藏期间可滴定酸含量的下降，保持果实色泽，推迟呼吸、乙烯高峰的出现，抑制冷害的发生，具有较高的超氧化物歧化酶、过氧化物酶和过氧化氢酶活性，并能延缓货架期品质的下降，表现出较好的贮藏效果。各项测定指标表明，多数苹果品种适宜贮藏的0℃对蜜脆苹果来说并不适合，3℃更适合蜜脆苹果冷藏。

**关键词：**蜜脆苹果；冷藏温度；采后生理；品质

## Effect of Different Cold Storage Temperatures on Postharvest Physiology of Honeycrisp Apples

LI Qian-qian，REN Xiao-lin*
(College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

**Abstract：**The effects of different cold storage temperatures (0 ℃ and 3 ℃) on postharvest physiology and shelf quality of Honeycrisp apples were studied. Physiological and biochemical parameters and quality parameters were measured regularly during cold storage. Chilling injury index and bitter pit disease index were statistically observed at the end of storage. Compared to 0 ℃, 3 ℃ storage was more effective in inhibiting the decrease in titratable acid content, preserving fruit color, postponing the occurrence of respiration and ethylene production peaks, reducing chilling injury incidence and delaying quality deterioration, thus having good preservation efficiency. The various measured parameters show that although most apple varieties are suitable for storage at 0 ℃, 3 ℃ is the better storage temperature for Honeycrisp apples.

**Key words：**Honeycrisp apple；cold storage temperature；postharvest physiology；shelf quality
中图分类号：TS205.7 文献标志码：A 文章编号：1002-6630(2013)02-0288-05

蜜脆苹果(*Malus domestica* Borkh. CV. ‘Honeycrisp’)是由美国明尼苏达大学培育而成的中熟苹果新品种[1]，2001年引入陕西[2]。蜜脆果个大，果实圆锥形，色泽鲜艳，极耐贮藏，并且在贮藏过程中能保持较好的硬度和脆度[3-4]。在陕西渭北蜜脆果实成熟期为8月中下旬，正值中秋佳节到来之际，所以，这一综合性状优良的中熟苹果新品种在中国具有广阔发展空间，可以填补我国早、中熟苹果市场的空缺[5]。

研究表明，蜜脆苹果在贮藏过程中不耐低温，容易发生冷害[6]，为了减轻冷害的发生最好将果实贮藏在2.5～3.0℃环境中[7]，但缺乏系统的生理生化依据。目前，国内仅有对蜜脆苹果生产栽培技术方面的研究[8]，采后研究、尤其是采后生理的研究几乎处于空白，只有零星关于品种特性的报道。本实验立足于国内蜜脆苹果的生产和研究现状，借鉴国外研究的的经验和成果，从蜜脆的冷藏温度着手，对不同冷藏温度(0℃和3℃)对蜜脆苹果采后生理的影响做初步研究，旨为蜜脆苹果冷藏技术的发展与应用提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与处理

供试蜜脆苹果于2010年8月28日采自陕西省蒲城县三胜村农家果园。选取成熟度一致、大小适中、无机械伤和病虫害的果实，采后当天运回实验室。果实经预冷处理后用0.03mm厚的PVC保鲜袋包装，分别置于(0±0.5)、(3±0.5)℃，相对湿度85%～90%冷库中贮藏，每个处理360个果，设定3个重复。每30d测定一次(在贮藏中期适当缩短呼吸、乙烯的测定时间间隔)，货架条件为20℃常温放置7d。

收稿日期：2011-10-25
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：李倩倩(1987—)，女，硕士研究生，研究方向为园艺产品采后生理及贮藏保鲜技术。E-mail：lqq9196@163.com
*通信作者：任小林(1964—)，男，教授，博士，研究方向为园艺产品采后生理及贮藏保鲜技术。E-mail：renxl@nwsuaf.edu.cn

03-包装贮运-02.indd 288 2013-1-29 16:23:48

1.2 仪器与设备

GS-15型水果质地分析仪 南非Guss Manufacturer公司；PAL-1型数显糖度计 日本Atago公司；GMK-835F型苹果酸度计 韩国G-WON Hitech公司；CR-400型色度计 日本柯尼卡美能达公司；ETONG-7001型$CO_2$分析仪 江苏亿通电子有限公司；TRACE GC ULTRA型气相色谱仪 美国GC公司；UV-2201型紫外-可见分光光度计 日本岛津公司。

1.3 方法

1.3.1 指标测定方法

固定一定量的果实用来测定质量损失率，每次从冷库中取果后直接测定；在贮藏结束时统计冷害指数和苦痘病病情指数；每次从冷库中取果在20℃放置24h后测定上述其他指标，20℃放置7d后只测定果肉硬度、可溶性固形物和可滴定酸含量。

果肉硬度：采用水果质地分析仪测定(探头直径11mm；参数设定为：触发器阈值0.10kg；探头下降速度10mm/s；探头返回速度 10mm/s；测量速度5mm/s；测量距离，10.0mm)；可溶性固形物：用数显糖度计测定；可滴定酸含量：用苹果酸度计测定；果面色度：用色差计测定；呼吸速率：用 $CO_2$分析仪测定[9]；乙烯释放速率：用气相色谱仪测定；质量损失率：参照甘瑾等[10]的方法；冷害指数：参照都凤华等[11]的方法统计；苦痘病病情指数：参照Pesis等[12]的方法统计。

超氧化物歧化酶(superoxide dismutase，SOD)、过氧化物酶(peroxidase，POD)和过氧化氢酶(catalase，CAT)活性测定[13-14]：每次从冷库中取果在20℃条件稳定24h后去果皮，取中层果肉，用液氮速冻，置于－80℃的超低温冰箱中保存用以测定酶活性。SOD活性：以抑制NBT光化还原50%为一个酶活单位；POD活性：以1min $OD_{470}$值变化0.10为一个酶活单位；CAT 活性：以1min $OD_{240}$值变化0.10为一个酶活单位。

1.3.2 气相色谱条件

果实密闭1h后抽取气体，GDX-502色谱柱，载气为$N_2$，柱温70℃，进样口温度70℃，氢气0.7kg/cm$^2$，空气0.7kg/cm$^2$，氮气1.0kg/cm$^2$，进样量 1mL，氢火焰离子化检测器检测，检测室温度150℃。

1.3.3 数据处理

采用Excel软件对数据进行分析与作图，并用SAS专业统计软件进行显著性分析。

## 2 结果与分析

2.1 冷藏温度对蜜脆苹果呼吸速率和乙烯释放速率的影响

定期从不同低温下贮藏的蜜脆苹果中取样，置于20℃、24h后测定呼吸强度。从图1可知，在贮藏前期，0℃贮藏苹果的呼吸强度低于3℃，到贮藏105d后其呼吸强度高于3℃贮藏苹果，120d后0℃贮藏苹果的呼吸强度异常升高，比3℃贮藏的果实提前出现呼吸高峰(峰值为37.96mg/(kg·h))，这可能与0℃的果实发生冷害、引起呼吸异常上升有关。贮藏在3℃的苹果在135d时出现呼吸高峰(峰值为34.22mg/(kg·h)且低于0℃贮藏苹果的峰值，差异显著($P<0.01$)。贮藏后期，0℃贮藏苹果的呼吸强度高于3℃，表明0℃贮藏苹果已经发生了不可逆冷害。

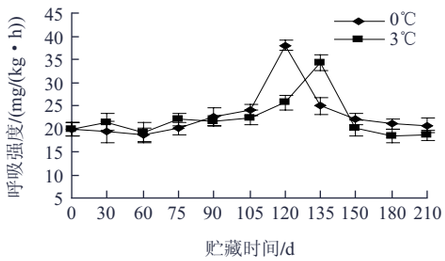



**图1 冷藏温度对蜜脆苹果呼吸强度的影响**

**Fig.1 Effect of cold storage temperature on respiratory rate of Honeycrisp apples**

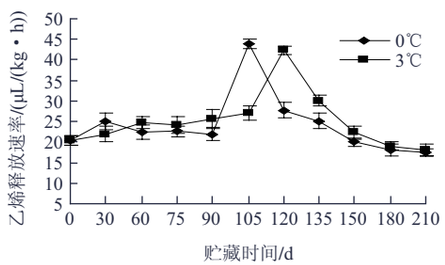



**图2 冷藏温度对蜜脆苹果乙烯释放速率的影响**

**Fig.2 Effect of cold storage temperature on ethylene production rate of 'Honeycrisp' apples**

测定乙烯的取样时间同呼吸，在20℃放置24h后开始测乙烯，将果实置于干燥器中密封1h后抽取1mL气体进行测定[15]。从图2可见，0℃和3℃贮温下的蜜脆果实都有一个乙烯释放高峰，但0℃贮藏苹果高峰的出现早于并且峰值高于3℃贮藏苹果(前者峰值为43.84μL/(kg·h)，后者为42.34μL/(kg·h)，这与0℃贮藏苹果发生冷害相关。在其他贮藏时期，3℃贮藏苹果的乙烯释放速率略高于0℃，但差异不显著。

2.2 冷藏温度对蜜脆苹果硬度的影响

果实硬度是衡量果实耐贮性的一个重要指标，蜜脆果实在整个贮藏期都能保持较好的硬度和脆度，这是它区别于其他苹果品种的一个特性。由图3可知，在贮藏初期果实的硬度为9.05kg/cm$^2$，贮藏结束时，0℃贮藏苹果的硬度为7.11kg/cm$^2$，下降了21.4%，3℃贮藏苹果的硬度为7.35kg/cm$^2$，下降了18.8%，两个贮温下差异不显著。

03-包装贮运-02.indd 289 2013-1-29 16:23:49

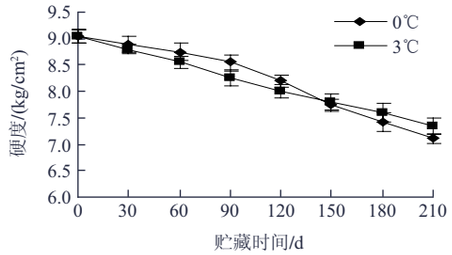



**图 3 冷藏温度对蜜脆苹果硬度的影响**

**Fig.3 Effect of cold storage temperature on firmness of Honeycrisp apples**

2.3 冷藏温度对蜜脆苹果可溶性固形物和可滴定酸含量的影响

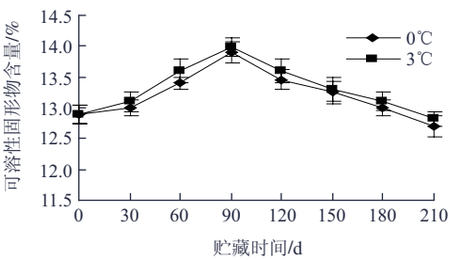



**图 4 冷藏温度对蜜脆苹果可溶性固形物含量的影响**

**Fig.4 Effect of cold storage temperature on soluble solid content of Honeycrisp apples**

由图4可以看出，在整个贮藏过程中，苹果的可溶性固形物含量呈先升高后降低的趋势。在90d 0℃贮藏苹果和3℃贮藏苹果的可溶性固形物含量均达到最大值，分别为13.9%、14.0%，后期由于呼吸作用的增强、消耗底物的增加，可溶性固形物含量随之下降。在整个贮藏期，3℃贮藏苹果的可溶性固形物含量始终高于0℃果，但二者差异不显著。

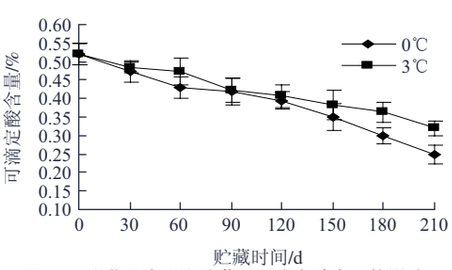



**图 5 冷藏温度对蜜脆苹果可滴定酸含量的影响**

**Fig.5 Effect of cold storage temperature on titratable acid content of Honeycrisp apples**

在贮藏过程中，果实的可滴定酸作为代谢底物被逐渐消耗或转化，随贮藏期的延长其含量逐渐降低。由图5可知，蜜脆苹果在刚入贮时酸度较高，可滴定酸含量达0.52%，在整个贮藏期，0℃贮藏苹果的可滴定酸含量下降幅度高于3℃贮藏苹果，贮藏结束时，0℃贮藏苹果的可滴定酸含量为0.25%，下降了51.9%，3℃贮藏苹果的可滴定酸含量为0.32%，下降了38.5%，二者差异显著($P<0.05$)。说明，3℃能较好地维持果实可滴定酸含量、保持果实风味。

2.4 冷藏温度对蜜脆苹果果皮色泽的影响

根据CIE(国际照明委员会)的$L^*$、$a^*$、$b^*$表色系统对色泽进行评价[16]，其中，$L^*$表示色泽明亮度，$a^*$表示红色(正值)绿色(负值)程度、$b^*$表示黄色(正值)蓝色(负值)程度。根据$C^*=(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$计算$C^*$值，$C^*$值表示色饱和度，即鲜艳程度。测定前以($L^*$=97.06、$a^*$=0.04、$b^*$=2.01)标准色度对色差计进行校准。

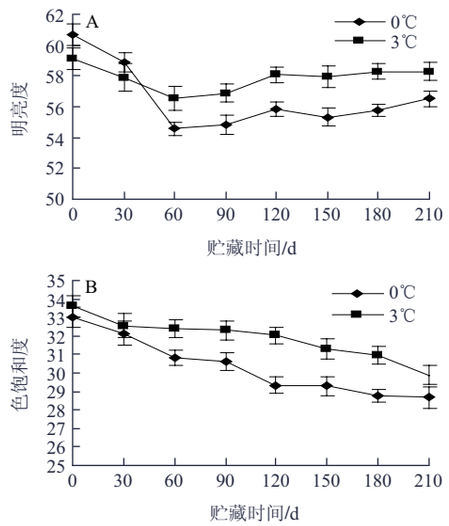



**图 6 冷藏温度对蜜脆果皮明亮度(A)和色饱和度(B)的影响**

**Fig.6 Effect of cold storage temperature on color and luster of Honeycrispnapples**

如图6所示，在贮藏初期果实的明亮度即$L^*$值有所下降，但60d以后变化极小、基本上保持平稳。果实的$C^*$值随贮藏时间的延长而不断降低，即果实的鲜艳程度下降，但整个贮藏期$C^*$值下降幅度不大，贮藏结束时，0℃贮藏苹果的$C^*$值下降了13.1%，3℃贮藏苹果的$C^*$值下降了11.0%。总的来说，0℃贮藏苹果的明亮度和色饱和度低于3℃贮藏苹果，这与0℃贮藏苹果发生冷害引起果皮褐变有关。

2.5 冷藏温度对蜜脆苹果质量损失率的影响

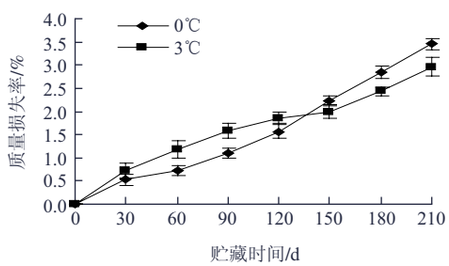



**图 7 冷藏温度对蜜脆苹果质量损失率的影响**

**Fig.7 Effect of cold storage temperature on weight loss rate of Honeycrisp apples**

从图7可以看出，在贮藏期间，果实的质量损失率不断增加。在贮藏前期3℃贮温下果实的质量损失率高于0℃贮藏苹果，但贮藏到150d后，0℃贮藏苹果的质量损失率大于3℃贮藏苹果，这与0℃果实发生冷害、细胞膜受损、失水加重有关。在贮藏后期，0℃与3℃贮温下果实的差异达极显著水平($P<0.01$)，说明0℃不适于蜜脆苹果的贮藏。

2.6 冷藏温度对蜜脆苹果生理性病害的影响

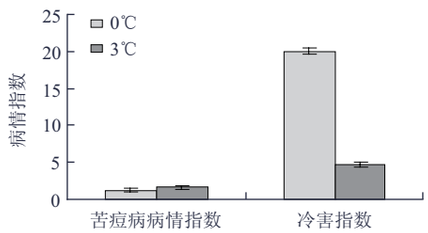
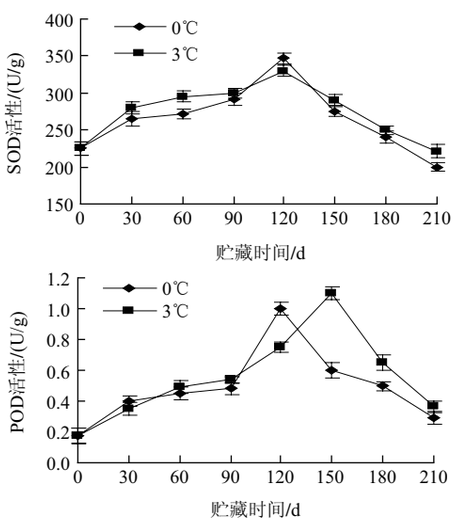



**图 8 冷藏温度对蜜脆苹果生理性病害的影响**

**Fig.8 Effect of cold storage temperature on physiological disorders of Honeycrisp apples**

蜜脆苹果在贮藏期间容易发生苦痘病和冷害。在贮藏结束时，0℃和3℃贮温下果实的苦痘病病情指数分别为1.25、1.67，二者差异不显著。冷害症状表现为：果皮褐变、果面凹陷，逐步蔓延至果肉褐变，严重时表现为烫伤水渍状腐烂。0℃贮藏苹果冷害严重，部分果实腐烂；3℃贮藏苹果冷害较轻，只有极少数果实发生果面褐变的凹陷斑、无水渍状腐烂出现，贮藏结束时，二者的冷害指数分别为20.01、4.67，差异达极显著水平($P<0.01$)。说明，适于多数苹果品种冷藏的0℃对于蜜脆苹果来说并不适合，3℃贮温基本上能将冷害控制在极低水平，3℃以上的最适贮温或3℃结合其他抑制冷害的贮藏方式仍需进一步研究。

2.7 冷藏温度对蜜脆苹果抗氧化酶活性的影响



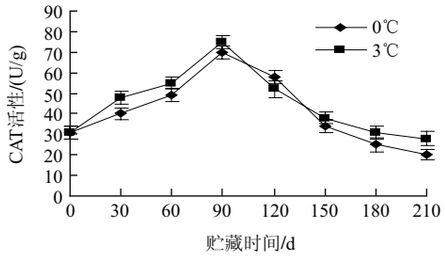




**图 9 冷藏温度对蜜脆苹果SOD、POD和CAT活性的影响**

**Fig.9 Effect of cold storage temperature on SOD, POD and CAT activities of Honeycrisp apples**

从图9可以看出，两个贮温下蜜脆苹果的SOD、POD和CAT活性的变化趋势基本相似，随着果实后熟期间自由基和活性氧的升高，3种抗氧化酶的活性都有不同程度的升高，之后由于果实衰老，3种酶活性也降低。在120d，SOD活性出现峰值，且0℃贮藏苹果的峰值大于3℃贮藏苹果，差异显著($P<0.05$)，这与0℃贮藏苹果冷害加重相关，在其他贮藏期，3℃贮藏苹果的SOD活性均高于0℃贮藏苹果，差异显著($P<0.05$)。在贮藏前期，两个贮温下蜜脆苹果的POD活性差异不显著，120d时0℃贮藏苹果的POD活性出现峰值，早于3℃贮藏苹果，但峰值低于3℃贮藏苹果，并且在150d后，0℃贮藏苹果的POD活性均低于3℃贮藏苹果，差异显著($P<0.05$)。两个贮温下的果实在相同的时间(90d)出现CAT峰值，二者差异不显著。总的来说，3℃贮藏苹果比0℃贮藏苹果具有更高的抗氧化酶活性，能更好的抵御低温伤害。

2.8 冷藏温度对蜜脆苹果货架期品质保持的影响

**表 1 冷藏温度对蜜脆苹果货架期品质保持的影响**

**Table 1 Effect of cold storage temperature on firmness, soluble solid content and titratable acid content of Honeycrisp apples**

| 贮藏时间/d | 贮后时间/d | 硬度/(kg/cm²) | | 可溶性固形物含量/% | | 可滴定酸含量/% | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0℃ | 3℃ | 0℃ | 3℃ | 0℃ | 3℃ |
| 30 | 1 | $8.89^{a}$ | $8.80^{a}$ | $13.0^{ef}$ | $13.1^{f}$ | $0.47^{a}$ | $0.48^{a}$ |
| | 7 | $8.85^{a}$ | $8.70^{a}$ | $12.9^{fg}$ | $13.0^{f}$ | $0.46^{c}$ | $0.45^{a}$ |
| 60 | 1 | $8.75^{ab}$ | $8.55^{b}$ | $13.4^{cd}$ | $13.6^{c}$ | $0.43^{ab}$ | $0.47^{b}$ |
| | 7 | $8.59^{bc}$ | $8.51^{b}$ | $13.2^{de}$ | $13.5^{cd}$ | $0.41^{bc}$ | $0.46^{bc}$ |
| 90 | 1 | $8.55^{c}$ | $8.25^{c}$ | $13.9^{a}$ | $14.0^{a}$ | $0.42^{d}$ | $0.42^{bc}$ |
| | 7 | $8.33^{d}$ | $8.15^{c}$ | $13.7^{ab}$ | $13.8^{b}$ | $0.41^{de}$ | $0.40^{bc}$ |
| 120 | 1 | $8.20^{d}$ | $8.00^{d}$ | $13.5^{bc}$ | $13.6^{c}$ | $0.40^{d}$ | $0.41^{cd}$ |
| | 7 | $7.82^{e}$ | $7.78^{e}$ | $13.2^{de}$ | $13.4^{de}$ | $0.38^{de}$ | $0.40^{d}$ |
| 150 | 1 | $7.75^{e}$ | $7.79^{e}$ | $13.3^{cd}$ | $13.3^{e}$ | $0.35^{ef}$ | $0.38^{e}$ |
| | 7 | $7.25^{g}$ | $7.53^{fg}$ | $13.0^{ef}$ | $13.1^{f}$ | $0.32^{gh}$ | $0.35^{f}$ |
| 180 | 1 | $7.42^{f}$ | $7.60^{f}$ | $13.0^{ef}$ | $13.1^{f}$ | $0.30^{fg}$ | $0.36^{f}$ |
| | 7 | $6.99^{h}$ | $7.42^{gh}$ | $12.6^{h}$ | $12.8^{g}$ | $0.27^{hi}$ | $0.34^{g}$ |
| 210 | 1 | $7.11^{gh}$ | $7.35^{h}$ | $12.7^{gh}$ | $12.8^{g}$ | $0.25^{ij}$ | $0.32^{gh}$ |
| | 7 | $6.67^{i}$ | $6.95^{i}$ | $12.3^{i}$ | $12.5^{h}$ | $0.21^{j}$ | $0.27^{h}$ |

注：肩标不同字母表示差异显著，$P<0.05$。

由表1可知，蜜脆苹果硬度在冷藏后的室温(20℃)条件下继续下降，但3℃贮藏苹果出库后硬度下降速度小于0℃

03-包装贮运-02.indd 291 2013-1-29 16:23:51

贮藏苹果，能较好的保持果实在货架期的硬度。此外，3℃贮藏果实在货架期能更好的延缓果实可溶性固形物和可滴定酸含量的下降，其下降幅度均小于0℃贮藏苹果。总的来说，3℃贮藏有利于蜜脆苹果货架期品质的保持。

## 3 讨 论

蜜脆苹果不耐低温，容易发生冷害，多数苹果品种适宜贮藏的0℃对蜜脆来说并不适合。在0℃冷藏过程中，果实容易发生冷害，部分果皮褐变、凹陷，严重者腐烂，细胞膜受损导致果实在贮藏后期的质量损失率高于3℃贮藏苹果；冷害导致果实呼吸异常，0℃贮藏苹果比3℃贮藏苹果提前出现呼吸和乙烯高峰，同时消耗大量的呼吸底物，尤其是可滴定酸含量下降快。3℃冷藏具有更好的保鲜效果，能显著抑制蜜脆苹果生理性病害尤其是冷害的发生，并且能较好的维持货架期品质，延缓硬度、可溶性固形物和可滴定酸的下降。

蜜脆果实在长期冷藏过程中能保持较好的硬度和脆度，这与多数中熟品种显著不同，甚至优于晚熟品种——富士苹果，其机理有待进一步研究。通过试验观察还得出，蜜脆果汁极不容易褐变，其抗氧化和加工特性也有待进一步研究。

**参考文献：**


[1] LUBY J, BEDFORD D. Honeycrisp™ apple[J]. Minnesota Report, 1992, 225(3): 693-697.

[2] 郭学军, 王小军, 马锋旺. 蜜脆苹果的生长习性及栽培要点[J]. 西北园艺, 2009(8): 33-34.

[3] BEAUDRY R, CONTRERAS C. A summary of ‘Honeycrisp’ storage recommendations across North America: What is best for Michigan?[R]. East Lansing, America: Michigan State University, 2009.

[4] ZHANG Yanzi, LI Pengmin, CHENG Lailiang. Developmental changes of carbohydrates, organic acids, amino acids, and phenolic compounds in ‘Honeycrisp’ apple flesh[J]. Food Chemistry, 2010, 123(4): 1013-1018.

[5] 过国南, 阎振立, 张恒涛, 等. 我国早、中熟苹果品种的生产现状、选育进展及发展展望[J]. 果树学报, 2009, 26(6): 871-877.

[6] DELONG J, PRANGE R, SCHOTSMANS W, et al. Determination of the optimal pre-storage delayed cooling regime to control disorders and maintain quality in ‘Honeycrisp’™ apples[J]. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 2009, 84(4): 410-414.

[7] ClLINE J, GARDNER J. Commercial production of ‘Honeycrisp™’ apples in Ontario[R]. Canada: Ontario Ministry of Agriculture, 2005.

[8] 郭学军. 蜜脆、红盖露苹果的生物学特性及在白水的栽培技术研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2009.

[9] 董晓庆, 饶景萍, 田改妮, 等. 草酸复合清洗剂对红富士苹果贮藏品质的影响[J]. 园艺学报, 2009, 36(4): 577-582.

[10] 甘瑾, 张弘, 马李一, 等. 漂白紫胶涂膜对苹果常温贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(4): 444-447.

[11] 都凤华, 王秀春, 郭菊曼, 等. 李子贮藏温度及冷害的研究[J]. 吉林农业大学学报, 1997, 19(3): 91-96.

[12] PESIS E, EBELER S, TONETTO S, et al. Short anaerobiosis period prior to cold storage alleviates bitter pit and superficial scald in Granny Smith apples[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2010, 90(12): 2114-2123.

[13] 田春莲, 钟晓红, 黄荣芳, 等. 三种保鲜剂对巨峰葡萄保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2006, 27(12): 761-763.

[14] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 211-218.

[15] CURRY E. Effects of 1-MCP applied postharvest on epicuticular wax of apples (*Malus domestica* Borkh.) during storage[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2008, 88(6): 996-1006.

[16] AMCN R, AMMB M. Shelf life of minimally processed apple (cv. Jonagored) determined by colour changes[J]. Food Control, 2003, 14(1): 13-20.


03-包装贮运-02.indd 292 2013-1-29 16:23:51