

# 不同气体成分对甜樱桃果实采后生理及品质的影响

姜爱丽, 田世平, 徐 勇, 汪 沂, 范 青

(中国科学院植物研究所, 北京 100093)

**摘要:**研究了甜樱桃(*Prunus avium* L.)品种“红灯”在气调(CA, controlled atmosphere)、自发气调(MA, modified atmosphere)和普通冷藏(CK)条件下果实的生理变化、褐变指数、风味品质和耐藏性。结果表明,与CK相比,CA和MA贮藏均能有效地减少果实腐烂和褐变,保持果实硬度和颜色,降低果肉中乙烯和乙醇含量,抑制多酚氧化酶和过氧化物酶的活性,减慢丙二醛含量上升的速率。但是,甜樱桃果实在CA条件下的贮藏效果明显地好于MA,贮藏时间是MA的1.5~2倍。在CA贮藏中又以高CO<sub>2</sub>浓度处理组合的效果更佳。

**关键词:** 樱桃; 贮藏; 生理学; 风味

## Effects of Different Atmospheres on Postharvest Physiology and Quality of Sweet Cherry

JIANG Ai-li, TIAN Shi-ping, XU Yong, WANG Yi, FAN Qing

(Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093)

**Abstract:** The changes in physiological characteristics, quality and storability of sweet cherry (*Prunus avium* L.) (cv. Hongdeng) stored in controlled atmospheres (CA), in modified atmosphere (MA) and in air (CK) were investigated in this study. The results showed that CA and MA treatments significantly inhibited fruit rot and flesh browning, kept firmness and fruit color, reduced ethylene and ethanol content in pulp, slowed down the increase of polyphenol oxidase (PPO) and peroxidase (POD) activity and malondialdehyde (MDA) content in comparison with CK. Meanwhile, CA treatments showed a better benefit of reducing ethylene and ethanol contents, inhibiting PPO and POD activities, declining rot rate and browning index compared to MA. The fruits could be stored in CA conditions for 60 days without any off-flavor. The sweet cherries kept in CA with 5% O<sub>2</sub> + 10% CO<sub>2</sub> showed a better storability than that in CA with 5% O<sub>2</sub> + 5% CO<sub>2</sub>.

**Key words:** Sweet cherry; Controlled atmosphere; Physiology; Storability

甜樱桃经济价值很高,但极不耐贮藏,严重地影响了果实的鲜销期。国外的许多研究表明,采用气调贮藏能有效地抑制甜樱桃果实的呼吸代谢,延长贮藏时间<sup>[1-4]</sup>。用高浓度CO<sub>2</sub>处理可明显地减少甜樱桃贮藏期间褐腐病的发生<sup>[5]</sup>。但是,我国对甜樱桃果实采后气调贮藏生理、病理和保鲜技术方面的研究报道很少,国外的研究又主要集中在‘Bing’、‘Lambert’、‘Rainier’、‘Napoleon’等晚熟硬质品种上<sup>[1,3,6,7]</sup>。随着甜樱桃栽培面积的不断扩大和产量的快速增加,生产上越来越需要适合于我国甜樱

桃品种的贮藏保鲜技术。本文主要研究我国自己培育的优良甜樱桃早熟品种“红灯”在不同气调贮藏条件下的生理代谢、风味品质及耐贮藏性,分析和比较“红灯”果实在不同贮藏条件下褐变衰老的原因,确定合理的贮藏方法、气体指标,以及在不同贮藏条件下适宜的贮藏时间。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

供试果实为大连市金州区农业良种示范场果园

收稿日期:2001-03-05

基金项目:国家科技部“九五”攻关项目(99-010-01-03);中科院青年科学家创新项目资助

作者简介:姜爱丽(1971-),女,辽宁大连人,在职硕士,工作单位是大连市金州区农业良种示范场,从事果蔬采后生理研究。通讯作者为田世平, Tel: 010-62591431-6463; Fax: 010-82594675; E-mail: shiping@public.east.cn.net

的甜樱桃品种“红灯”,栽培条件良好,九成熟时采收。选成熟度、颜色、果个均匀一致,无病虫害和机械伤的果实装箱,预冷后立即用 2~5℃ 冷藏车运往北京中国科学院植物研究所。

### 1.2 贮藏方法

CA 贮藏采用意大利的 FC-701 型气调箱,设定两组气体指标,CA-I:5% O<sub>2</sub> + 5% CO<sub>2</sub> 和 CA-II:5% O<sub>2</sub> + 10% CO<sub>2</sub>。气调箱可自动调控 O<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 浓度,并 24h 监控和显示气调箱内的气体指标。箱内的相对湿度为 95% 左右。MA 贮藏是将果实装入 0.04 mm 厚的低密度聚乙烯塑料薄膜袋(220 mm × 300 mm),每袋装果 500 g,密封包装,每处理 40 袋。CK 是将果实装入 0.04 mm 厚的普通塑料袋(550 mm × 600 mm,不扎口),每袋装果 5 kg。各种处理的贮藏温度均为 1℃。

### 1.3 检测指标及方法

每 9d 取样一次,CA 处理每次取 10 kg,重复 3 次;MA 处理每次取 2.5 kg;CK 每次取样 2.5 kg,分析测定果实生理指标、品质指标,并进行果实的鲜食品质评价。

**1.3.1 气体含量测定** MA 袋中的 O<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 浓度变化用上海生产的 CYES-II 型气体测定仪测定。

**1.3.2 生理指标的测定** 过氧化物酶(POD)和多酚氧化酶(PPO)的样品提取参照蒋跃明的方法<sup>[8]</sup>:取 20 g 果肉,加 1 g PVPP 于 20 ml 0.2 mol/L 柠檬酸-磷酸缓冲液(pH=4.0)中,冰浴研磨,4℃ 冰冻离心机 13000r/min 离心 30 min,取上清液测定酶活。PPO 活性测定参照谭兴杰的方法<sup>[9]</sup>,加以改进:3.5 ml 反应体系中含 0.5 ml 酶液,3 ml 0.5 mol/L 的邻苯二酚溶液(用 0.2 mol/L pH=4.0 的柠檬酸-磷酸缓冲液配成)。反应温度为 30℃,加酶液后 5 s 开始扫描 10 s 内 A<sub>398nm</sub> 值的变化,酶活性以  $\Delta OD_{398nm} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$  表示,重复 3 次。POD 活性测定参照蒙盛华的方法<sup>[10]</sup>,加以改进:2 ml 0.1% mol/L 愈创木酚(用 0.2 mol/L pH=4.0 的柠檬酸-磷酸缓冲液配成),加 0.5 ml 酶液,在 30℃ 水浴中平衡 5 min,加 1 ml 0.08% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,1 min 后扫描 1 min 内 A<sub>460nm</sub> 值的变化,酶活性以  $\Delta OD_{460nm} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$  表示,重复 3 次。丙二醛(MDA)含量的测定参照陈贵等的方法<sup>[11]</sup>。果肉乙烯和乙醇含量用 GC-9A 型气相色谱测定,取样和测定方法参照 Tian 等改进的方法<sup>[12]</sup>。

**1.3.3 褐变指数确定** 是按果肉褐变的程度分为 5 级:0 级 = 无褐变;1 级 = 褐变面积 < 1/10;2 级 =

褐变面积在 1/10~1/3;3 级 = 褐变面积在 1/3~2/3;4 级 = 褐变面积 > 2/3。然后按下面公式计算褐变指数:褐变指数 =  $[\sum(\text{数量} \times \text{级数}) \times 100] / (\text{最高级数} \times \text{总数})$ 。

**1.3.4 品质指标测定** 硬度的测定是将果实缝合线左右两侧去皮后用探头直径为 8mm 的硬度计测定,每处理每次做 20 次重复。果面颜色变化用日本产色度计(CR-100/CR-110)测定,并参照 Holcroft 等<sup>[13]</sup>的方法,进行果皮亮度、颜色饱和度、色度的比较分析。可溶性固形物含量用美国产 ABBE 析糖仪(MARK-II 型)测定;可滴定酸含量用氢氧化钠滴定法测定。同时,观测统计果实的腐烂率。

**1.3.5 鲜食品质** 鲜食品质根据品评组人员的口感打分,分为 5 个等级。5 分:风味浓,与采收时的口感相当或更好;4 分:风味正常,接近采收时的口感;3 分:风味较正常,比采收时的口感稍差;2 分:风味淡,与采收时口感差异较大;1 分:风味很淡或有异味。

### 1.4 数据的差异性分析

该研究进行了两年(1999~2000 年)的试验,两年的实验结果基本一致。本文采用 2000 年数据。所有的数据用 SPSS 软件进行统计处理,采用 ANOVA 进行邓肯式多重差异分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 MA 贮藏气体含量的变化

MA 贮藏中的 O<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 浓度变化如图 1 所示,贮藏前期 O<sub>2</sub> 浓度下降很快,而 CO<sub>2</sub> 浓度则迅速升高,到第 9 d 时,袋内的 O<sub>2</sub> 浓度下降到 10.2%,CO<sub>2</sub> 浓度上升为 5.0%,以后保持相对平稳的变化。这说明甜樱桃果实贮藏前期的呼吸强度较大,使袋内的 O<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 浓度比例迅速改变,CO<sub>2</sub> 浓度的提高对果实的生理代谢有抑制作用。但到 36 d 时,O<sub>2</sub> 浓度降至 5.4%,CO<sub>2</sub> 浓度达到 9.2%,这种变化可能是与 36 d 时果实腐烂增加有关。

### 2.2 不同贮藏方法对甜樱桃 POD 和 PPO 活性及 MDA 含量的影响

贮藏在不同条件下的甜樱桃果实 POD 活性变化如图 2-A 所示,在 CK 中的甜樱桃果实 POD 活性在 9 d 和 18 d 时均显著地高于 CA 和 MA 处理的果实(P=0.05),之后迅速下降。在 MA 中果实的 POD 活性在 27 d 时最高,然后下降。CA 中果实的 POD 活性在贮藏前期基本上保持较低的水平,到 45 d 时达到高峰,但贮藏在 10% CO<sub>2</sub> 浓度中(CA-II)的果实的 POD 活性比在 5% CO<sub>2</sub> 浓度中(CA-I)的要低。这说明 CA

贮藏对抑制甜樱桃果实 POD 活性和延缓果实衰老十分有利,而且高 CO<sub>2</sub> 浓度的气调贮藏效果更好。

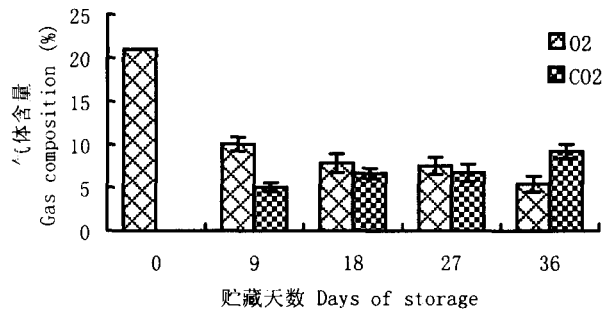


图 1 MA 包装甜樱桃贮藏期间袋内 O<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 浓度的变化  
Fig.1 Changes of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> concentration in MA during storage periods

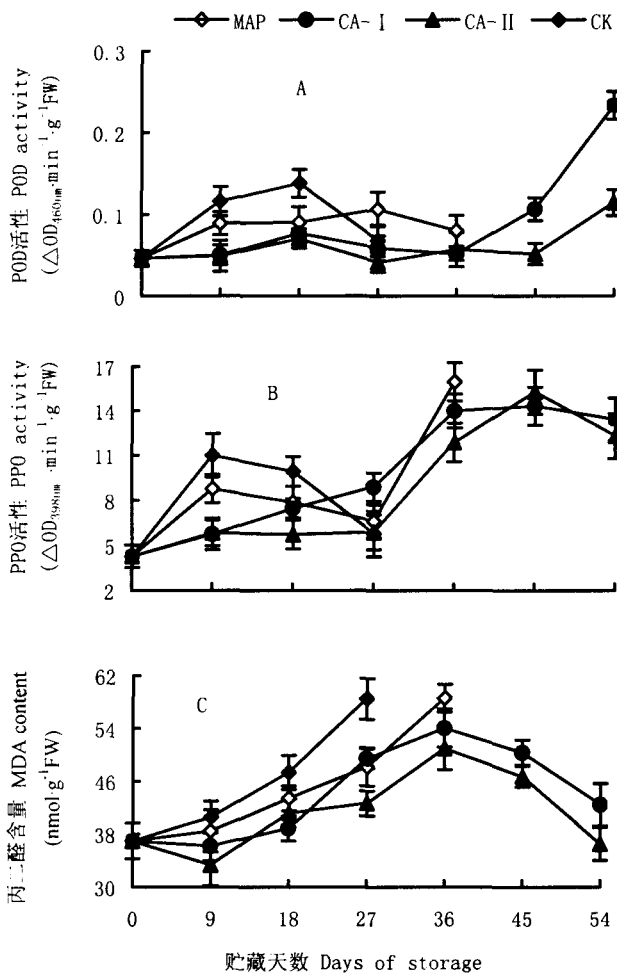


图 2 甜樱桃在不同贮藏条件下果实过氧化物酶和多酚氧化酶活性及丙二醛含量的变化  
Fig.2 Changes in POD and PPO activity and MDA content of sweet cherry fruits stored in different conditions

贮藏前期 PPO 活性在 CK 的果实中呈快速上升的趋势(图 2-B)。MA 处理的果实 PPO 活性在贮藏前期较 CA 处理的高,到 36 d 时达到最高值。CA-II 中果实 PPO 活性贮藏前期基本上保持不变,27 d 后开始上升。表明 CA 处理对贮藏前期果实 PPO 活性有显著的抑制效果(P=0.05)。

与 CA 和 MA 处理相比,CK 果实中的 MDA 含量在贮藏前期一直保持较高的增长(图 2-C),27 d 时达到 58.49 nmol·g<sup>-1</sup>FW,分别比 MA、CA-I 和 CA-II 高 21.4%,18.3%和 37.2%。CA 和 MA 处理的果实 MDA 含量在 36 d 时达到高峰,以后逐渐下降。但 CA 处理中果实的 MDA 含量则保持一个相对较低的水平,特别是高 CO<sub>2</sub> 浓度的 CA-II 组合。

### 2.3 不同贮藏方法对果肉乙烯和乙醇含量的影响

在贮藏期间各处理中甜樱桃果实乙烯释放量变化不大,但 MA 和 CA 处理中果实乙烯含量都显著地低于 CK(图 3-A)。贮藏在 MA 和 CA-I 中的果实乙烯含量在 36 d 和 45 d 时略有上升,而 CA-II 处理一直保持较低的乙烯含量。

由图 3-B 可知,CA 贮藏对于抑制果实乙醇产生的作用是显著的,高 CO<sub>2</sub> 浓度指标的 CA-II 比 CA-I 的效果更好。在贮藏初期 CK 和 MA 果实的乙醇含量均显著高于 CA 处理(P=0.05),但 27 d 后迅速下降。CA 处理中的果实乙醇含量一直在 130~295 μl/kg 之间,均低于 0 d 时含量。

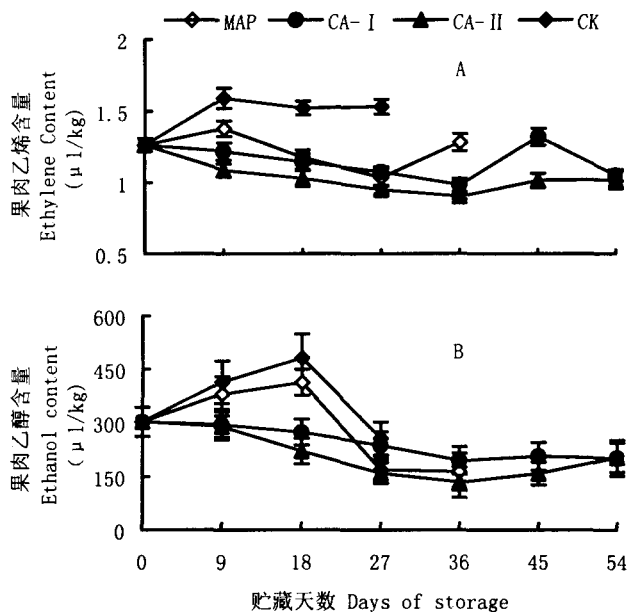


图 3 不同贮藏条件对甜樱桃果肉乙烯和乙醇含量的影响  
Fig.3 Effects of different storage conditions on ethylene and ethanol contents in pulp of sweet cherry

## 2.4 不同贮藏方法对果实褐变和腐烂的影响

不同贮藏方法对果实褐变和腐烂的影响如表 1, 18 d 时 CK 果实的褐变指数和腐烂率已高达 28.6% 和 30.3%, 而 MA 和 CA 处理中的果实没有出现任何褐变和腐烂。36 d 时, MA 的褐变指数和腐烂率逐渐升高, 为 35.1% 和 12.7%, 此时在 CA 中果实的褐变指数和腐烂率均较低。

## 2.5 不同贮藏方法对甜樱桃果实风味品质的影响

甜樱桃果实的硬度在贮藏前期均有上升的趋势, 然后迅速下降, 但不同贮藏方法对于保持果实硬度的作用有显著差异(表)。当贮藏 18 d 和 27 d 时, MA、CA-I 和 CA-II 的硬度分别比 CK 高 50.0%、59.6%、111.5% 和 78.4%、189.2%、256.8%。45d 和 54d 时, CA-II 的硬度分别是 CA-I 的 2.73 倍和 2.78 倍。

如表所示, 不同贮藏方法对可溶性固形物含量影响不大。pH 值在整个贮藏过程中略呈上升的趋势, 可滴定酸含量则逐渐下降, 但不同贮藏方法对 pH 值和可滴定酸变化的影响是不一样的, 尤以 CK 的变化速度最快。

## 2.6 不同贮藏方法对甜樱桃果皮颜色变化的影响

随着贮藏时间的延长, 果实的亮度、颜色饱和度和色度变化均呈下降趋势。但 CK 和 MA 处理中 3 种颜色指标下降的速度比 CA 贮藏快(图 4)。CA 条件下果实亮度、颜色饱和度和色度在贮藏过程中均极显著地高于同期的 CK 和 MA ( $P=0.01$ )。同时, 到 45 d 和 54 d 时, 在 CA-II 中果实的颜色饱和度显著高于在 CA-I 中的果实 ( $P=0.05$ ), 说明高  $CO_2$  浓度处理组合能更好地保持果实原有的颜色。

表 不同贮藏方法对甜樱桃果实褐变指数、硬度、腐烂率和品质的影响<sup>1)</sup>

Table Effects of different storage methods on browning indices, firmness, rot rate and quality

处理 Treatments	贮藏时间 Days of storage	褐变指数 Browning indices	硬度 Firmness (kg/cm <sup>2</sup> )	腐烂率 Rot rate (%)	鲜食品质 Fresh quality indices	可溶性固形物含量 SSC (%)	pH 值 pH value	可滴定酸 Titratable acidity (%)
MA	0	0 h	0.59 fg	0 h	4.0 c	17.8 d	4.10 k	0.56 a
	9	0 h	0.72 de	0 h	3.8 cd	18.0 bc	4.12 k	0.53 bc
	18	0 h	0.78 cd	0 h	3.5 e	17.6 e	4.22 hi	0.46 e
	27	21.3 e	0.66 f	3.9 e	3.1 f	17.5 e	4.27 fg	0.43 e
	36	35.1 c	0.27 h	12.7 c	2.5 g	17.3 f	4.38 c	0.43 e
CA-I	0	0 h	0.59 fg	0 h	4.0 c	17.8 d	4.10 k	0.56 a
	9	0 h	0.79 cd	0 h	5.0 a	18.0 bc	4.18 j	0.51 cd
	18	0 h	0.83 c	0 h	5.0 a	18.2 a	4.25 gh	0.49 d
	27	0 h	1.07 b	0 h	4.4 b	17.6 e	4.32 de	0.46 e
	36	10.6 g	0.54 g	0 h	3.6 de	17.6 e	4.35 cd	0.46 e
	45	22.2 e	0.37 h	2.7 f	2.9 f	17.3 f	4.38 c	0.45 e
CA-II	0	0 h	0.59 fg	0 h	4.0 c	17.8 d	4.10 k	0.56 a
	9	0 h	0.78 cd	0 h	5.0 a	18.1 ab	4.21 ij	0.54 ab
	18	0 h	1.10 b	0 h	5.0 a	18.2 a	4.27 fg	0.51 cd
	27	0 h	1.32 a	0 h	5.0 a	17.9 cd	4.29 ef	0.50 d
	36	0 h	0.99 b	0 h	4.6 b	17.6 e	4.36 c	0.49 d
	45	13.0 g	1.01 b	1.3 g	4.0 c	17.3 f	4.38 c	0.47 e
CK	0	0 h	0.59 fg	0 h	4.0 c	17.8 d	4.10 k	0.56 a
	9	9.6 g	0.73 de	5.2 d	3.6 de	17.9 cd	4.32 de	0.51 cd
	18	28.6 d	0.32 h	30.3 b	2.9 f	17.1 f	4.42 b	0.43 e
	27	73.8 a	0 i	100 a	1.0 h	17.0 f	4.48 a	0.40 f

<sup>1)</sup>同一竖栏中数字后面的不同字母表示显著性达到  $P<0.05$  水平 Values within a column followed by unlike letters are significantly different ( $P<0.05$ )

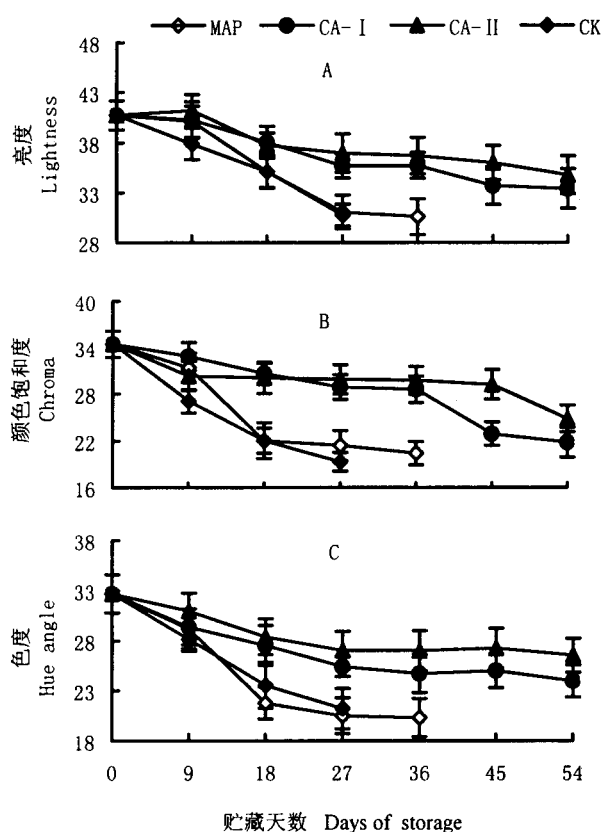


图 4 甜樱桃果实不同贮藏条件下果皮颜色的变化  
Fig.4 Changes in external color of sweet cherry fruits stored in different conditions

### 3 讨论

气调贮藏(CA)有利于减缓果胶的分解、抑制果实的成熟衰老进程、保持果实硬度、色泽和风味品质<sup>[1,4,6,13,14]</sup>。与其它核果类果实相比,甜樱桃对高 $\text{CO}_2$ 浓度的忍耐力较强<sup>[4,6]</sup>,我们以前的试验结果表明,“红灯”果实在10%~25% $\text{CO}_2$ 中贮藏30d不会产生任何伤害<sup>[5]</sup>。本文采用的CA与MA和普通冷藏(CK)相比的结果也表明,较高 $\text{CO}_2$ 浓度的CA处理可有效地延长甜樱桃果实的贮藏时间,保持风味品质,降低褐变和腐烂,比MA贮藏能更有效地保持果实原有的颜色、减慢果实硬度和可滴定酸含量下降的速率,延长贮藏时间。而且,10% $\text{CO}_2$ 浓度的CA处理的效果好于5% $\text{CO}_2$ 浓度的处理。说明在一定范围内提高 $\text{CO}_2$ 浓度对于甜樱桃的贮藏是十分有利的。贮藏前期“红灯”果实所表现出硬度上升的现象,在杏和桃子等其它果实贮藏过程中也出现过<sup>[15,16]</sup>,Taylor等认为这种现象是由于低温使果胶溶酶活性下降以及含糖量的增加引起果胶稳固性增强,从而形成紧密的交连骨架造成的<sup>[15]</sup>。

多酚氧化酶(PPO)能催化酚类物质氧化形成褐色的醌类物质,在果蔬褐变中起重要作用<sup>[4,9,17,18]</sup>。我们在实验中发现,伴随着PPO活性的升高,甜樱桃果实均不同程度地出现褐变,但是随着褐变程度的加深,PPO活性则有所下降。在不同贮藏方法中PPO活性的变化均呈先升后降的趋势,CK处理中PPO活性出现的高峰最早,但高峰值却比MA和CA处理的低,而CK处理在PPO活性最高峰以后果实褐变是最严重的,这说明褐变并不完全是由PPO酶促反应引起的,可能还有其他氧化反应或衰老进程与褐变紧密相关。这与我们以前对“冬雪蜜”桃果肉褐变与PPO酶的研究结果相吻合<sup>[19]</sup>,同时也支持了Amiot和Larrigaudiere在苹果和梨果实上的结论<sup>[20,21]</sup>。

POD除了有清除植物体内自由基而减轻伤害的作用外,还与果实的成熟和衰老密切相关<sup>[4,10]</sup>。从本文结果可知,CK处理的果实在贮藏初期POD活性上升较快,果实的衰老也随之加深。而CA贮藏前期(36d前)果实POD活性基本上保持不变,45d以后活性才迅速上升,其中CA-I处理的活性显著高于CA-II处理,这不仅说明POD活性与果实的衰老程度密切相关,而且高 $\text{CO}_2$ 浓度能更有效地延缓衰老。值得一提的是,我们在实验中还发现甜樱桃果实中POD的活性比桃和龙眼果实要低得多<sup>[19]</sup>,这可能也是甜樱桃采后果实容易衰老的原因之一。

MDA是膜质过氧化作用的产物,能影响细胞膜结构,其含量的增多是果实衰老的标志<sup>[11,22,23]</sup>。CA和MA处理可以明显减少MDA的积累,尤其是高 $\text{CO}_2$ 浓度的CA-II处理,其MDA的含量上升的幅度最小。该结果进一步说明高 $\text{CO}_2$ 浓度有利于保护细胞膜结构,降低膜质过氧化的程度和延缓果实衰老。

通常认为,甜樱桃属于非呼吸跃变型果实,成熟果实采后用乙烯处理不引起呼吸的明显加快<sup>[3]</sup>。但是,Hantmann认为甜樱桃果实的成熟和衰老与乙烯有关<sup>[2,24]</sup>。我们的实验结果表明,CK处理的果实乙烯含量要显著高于CA和MA处理,MA处理的果实贮藏前期果肉乙烯含量也较高,CA中10% $\text{CO}_2$ 浓度处理比5% $\text{CO}_2$ 浓度处理能更有效地降低乙烯含量。这些结果也说明乙烯产生与甜樱桃的成熟和衰老有关,而且高 $\text{CO}_2$ 浓度可以显著地抑制甜樱桃果实乙烯的合成。乙醇是果实在无氧呼吸中产生的主要代谢产物,但是,甜樱桃果实在10% $\text{CO}_2$

的 CA 条件下比在 5% CO<sub>2</sub> 中生成的乙醇含量低的事实说明,10% CO<sub>2</sub> 不会加重甜樱桃果实的无氧呼吸,同时也证明甜樱桃果实对高浓度 CO<sub>2</sub> 具有较强忍耐力。

#### References:

- [ 1 ] Chen P M, et al. Effect of low oxygen and temperature on quality retention of 'Bing' cherries during prolonged storage. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 1981,106: 533 - 535.
- [ 2 ] Hartmann C. Biochemical changes in harvested cherries. Postharvest Biol. Technol. 1992,1: 231 - 240.
- [ 3 ] Li S L, et al. Effects of ethephon respiration and ethylene evolution of sweet cherry (*Prunus avium* L.) fruit at different development stages. Postharvest Biol. Technol. 1999,4:235 - 243.
- [ 4 ] Remón S, et al. Use of modified atmosphere to prolong the postharvest life of Burlat cherries at two different degrees of ripeness. J. Sci. Food Agric. 2000,80:1545 - 1552.
- [ 5 ] Tian S P, et al. Evaluation the use of high CO<sub>2</sub> concentrations and cold storage to control of *Monilinia fructicola* on sweet cherries. Postharvest Biol. Technol. 2001,22:53 - 60.
- [ 6 ] Ke D Y, et al. External and internal factors influence fruit tolerance to low-oxygen atmospheres. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 1992,117: 913 - 918.
- [ 7 ] Lidster P D, et al. Effects of a delay in storage and calcium chloride dip on surface disorder incidence in 'Van' cherry. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 1979,104: 298 - 300.
- [ 8 ] Jiang Y M, et al. Enzymatic browning of banana during low temperature. Acta Phytophysiological Sinica, 1991,17(2):157 - 163. (in Chinese).  
蒋跃明,等. 香蕉低温酶促褐变. 植物生理学报,1991,17(2): 157 - 163.
- [ 9 ] Tan X J, et al. Studies on enzymatic browning of Litchi chinensis pericarp by polyphenol oxidase. Acta Phytophysiological Sinica,1987,13 (2):197 - 203. (in Chinese)  
谭兴杰,等. 荔枝果皮多酚氧化酶酶促褐变的研究. 植物生理学报,1987,13 (2):197 - 203.
- [ 10 ] Meng S H, et al. Changes of peroxidase activity and protein and relationship between respiration and ethylene of Chinese gooseberries during controlled atmosphere storage. Acta Horticulturae Sinica,1982,9(1): 27 - 30. (in Chinese)  
蒙盛华,等. 中华猕猴桃在气调贮藏中过氧化物酶活性和蛋白的变化及乙烯与呼吸的关系. 园艺学报,1982,9 (2): 27 - 30.
- [ 11 ] Chen G, et al. Solvent for extraction malondialdehyde in plant as an index of senescence. Plant Physiology Communications, 1991,27 (1): 44 - 46. (in Chinese)  
陈 贵,等. 提取植物体内 MDA 的溶剂及 MDA 作为衰老指标的探讨. 植物生理学通讯,1991,27 (1): 44 - 46.
- [ 12 ] Tian S P, et al. The correlation of some physiological properties during ultra low oxygen storage in nectarine. Acta Hort. 1996, 374: 131 - 140.
- [ 13 ] Holcroft D M, et al. Controlled atmosphere-induced changes in pH and organic acid metabolism may affect color of stored strawberry fruit. Postharvest Biol. Technol. 1999,17: 19 - 32.
- [ 14 ] Tian S P. Effects of ultra-low oxygen treatment on ethanol, acetaldehyde and methanol contents of sweet cherries during low temperature storage. Plant Physiol. Communication, 2000, 36: 201 - 204. (in Chinese)  
田世平. 冷藏条件下超低氧处理对甜樱桃果实中乙醇、乙醛和甲醇含量的影响. 植物生理学通讯, 2000, 36(3): 201 - 204.
- [ 15 ] Taylor M A, et al. Effect of harvest maturity on substances internal conductivity, soluble solids and gel breakdown in cold stored 'Songold' plums. Postharvest Biol. Technol. 1995, 5: 285 - 294.
- [ 16 ] Bonghi C, et al. Peach fruit ripening and quality in relation to picking time, hypoxic and high CO<sub>2</sub> short-term postharvest treatments. Postharvest Biol. Technol. 1999,16:13 - 222.
- [ 17 ] Mayer A M, et al. Polyphenol oxidases in plant. Phytochemistry, 1979,18: 193 - 215.
- [ 18 ] Dong J H. Browning and polyphenol oxidase of several tropic fruits J. Tropic Crop Research, 1990, (2): 92 - 99. (in Chinese)  
董建华. 几种热带水果的褐变与多酚氧化酶. 热带作物研究,1990,(2):92 - 99.
- [ 19 ] Tian S P, et al. Changes in enzymatic activating and quality attributes of dongxue peaches in response to controlled atmosphere conditions. Scientia Agricultura Sinica, 2001, 34 (6):656 - 667. (in Chinese)  
田世平,等. 冬雪蜜桃在气调冷藏期间品质及相关酶活性的变化. 中国农业科学,2001,34(6):656 - 667.
- [ 20 ] Amiot M J, et al. Phenolic composition and browning susceptibility of various apple cultivars at maturity. J. Food Sci. 1992,57: 958 - 962.
- [ 21 ] Larrigaudiere C, et al. Relationship between enzymatic browning and internal disorders in controlled-atmosphere stored pears. J. S. Food Agric. 1998,78:232 - 236.
- [ 22 ] Lysim Y Y, et al. (ed). Hu W Y, et al. (Translation). Plant Senescence Procedure and Regulation. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press,1983:7 - 8. (in Chinese)  
莱谢姆 Y Y,等著. 胡文玉,等译. 植物衰老过程和调控. 沈阳: 辽宁科学技术出版社,1983:7 - 8.
- [ 23 ] Chen S Y. Injury of membrane lipid peroxidation. Plant Physiology Communications, 1991,(2): 84 - 90 (in Chinese)  
陈少裕. 膜质过氧化对植物细胞的伤害. 植物生理学通讯, 1991(2): 84 - 90.
- [ 24 ] Hartmann C. Ethylene and ripening of a non-climacteric fruit: the cherry. Acta Hort. 1989,258:89 - 96.