

不同低温处理对樱桃冷害发生的影响

张平¹, 张鹏¹, 刘辉², 陈绍慧¹, 张秀敏³, 李江阔^{1,*}

(1. 国家农产品保鲜工程技术研究中心, 天津 300384; 2. 大连工业大学生物与食品工程学院, 辽宁 大连 116034

3. 北京食品科学研究院, 北京 100050)

摘要: 为探讨樱桃冷害发生的温度和不同低温下樱桃的冷害程度, 确定樱桃最佳贮藏温度, 防止贮藏过程中冷害造成的损失, 进行相关实验研究。本实验将‘巨红’、‘砂蜜豆’、‘拉宾斯’、‘雷尼’4个品种的樱桃分别在-0.5、-1.0、-1.5、-2.0℃进行贮藏, 测定樱桃的冷害指数、感官品质和生理指标。结果表明: 樱桃的冷害程度随着贮藏温度的降低而加剧, -2.0℃处理的樱桃全部发生冷害, 霉腐率均达到100%, 完全失去食用价值; -0.5℃处理组的冷害发生程度最小, -0.5℃处理的‘巨红’SOD、POD活性、总酚含量均高于其他品种, 而PPO活性、MDA和乙醇含量均低于其他品种, 各项感官品质和生理指标均优于其他品种。

关键词: 樱桃; 低温; 品质; 冷害

Effect of Low-Temperature Treatment on Chilling Injury in Cherry Fruits

ZHANG Ping¹, ZHANG Peng¹, LIU Hui², CHEN Shao-hui¹, ZHANG Xiu-min³, LI Jiang-kuo^{1,*}

(1. National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products, Tianjin 300384, China;

2. College of Food Science and Biotechnology, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China;

3. Beijing Academy of Food Sciences, Beijing 100050, China)

Abstract: In order to prevent cherry fruit loss caused by chilling injury during storage, the effect of low-temperature storage on chilling injury in cherry fruits was explored to determine the optimal storage temperature. Four cherry varieties including Juhong, Summit, Lapins and Rainier were measured for their chilling injury index, sensory quality and physiological index during storage at -0.5, -1.0, -1.5 or -2.0 °C. The results showed that the chilling injury increased with decreasing temperature. Moreover, all four types of cherry fruits stored at -2.0 °C revealed obvious chilling injury with a decay rate of 100%, and lost the edible value completely. However, the cherry fruits stored at -0.5 °C had the minimal chilling injury. Meanwhile, the activities of SOD and POD and the content of total phenols in Juhong at the storage condition of -0.5 °C were higher than those of other three varieties. In contrast, its PPO activity, MDA content and ethanol content were lower than other varieties although its sensory quality and physiological index were better than those of other varieties.

Key words: cherry; low temperature; quality; chilling injury

中图分类号: S662.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)12-0303-06

樱桃, 系蔷薇科李属樱亚属植物, 果实色泽艳丽, 风味独特。樱桃富含K、P、Ca、Fe等微量元素, 特别是铁的含量居水果之首^[1]; 另外它还含有丰富的VB、VC、VE、胡萝卜素等维生素, 具有极高的营养价值。但樱桃果实皮薄汁多, 樱桃果实柔软、皮薄、多汁, 多在5~6月采收, 正值高温多雨季节, 采后在常温(22℃)3~5d内, 极易出现果梗干枯和果实失水、褐变、腐烂、发霉的现象, 使果实品质变劣, 影响果实风味, 造成严重的损失。因此寻找适宜的贮藏方式,

延长樱桃的贮藏期, 减缓樱桃的衰老速度, 就显得极为重要。

低温贮藏是延缓果蔬采后成熟、抑制病原菌生长和保持品质的常规方法。低温贮藏可以降低樱桃的呼吸速率, 保持果梗新鲜, 延缓果实组织的软化以及色泽的变化, 同时能抑制微生物的滋生和生长, 避免果实发生霉烂。在一定的温度范围内, 贮藏温度越低, 保鲜效果越好, 但如果超过此温度范围, 果实就容易产生冷害斑, 凹陷, 表皮变褐等冷害症状。目前樱桃冷害

收稿日期: 2011-06-17

基金项目: 天津市农业科技成果转化与推广项目(201002020)

作者简介: 张平(1958—), 男, 研究员, 博士, 主要从事农产品贮藏保鲜研究。E-mail: zhp-0352@163.com

* 通信作者: 李江阔(1974—), 男, 副研究员, 博士, 主要从事农产品安全与贮运保鲜研究。E-mail: lijkuo@sina.com

方面的研究鲜有报道, 本实验研究不同低温下贮藏樱桃的冷害指数、各项感官品质和生理指标的变化, 为确定樱桃果实最佳贮藏温度提供理论依据。因此, 研究樱桃冷害发生机制以及确定樱桃的最佳贮藏温度就具有重要的理论价值和应用价值。

1 材料与方法

1.1 材料及其处理

实验所用樱桃品种为‘巨红’、‘砂蜜豆’、‘拉宾斯’、‘雷尼’, 于2010年6月26日采于大连市金州石河镇, 选择成熟度、颜色、果粒均匀一致, 无病虫害和机械伤的果实装箱, 运往国家农产品保鲜工程技术研究中心, 经过预冷后分别装入0.02mm PE袋中置于-0.5、-1.0、-1.5、-2.0℃低温条件贮藏。每个处理装果量为2kg/袋, 重复3次。贮藏65d后测定冷害指数、感官品质和生理指标。

1.2 试剂与仪器

酚酞、氢氧化钠、乙醇、三氯乙酸、草酸、硫酸、偏磷酸、醋酸、硫代巴比妥酸、邻苯二酚、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、核黄素、甲硫氨酸、氮蓝四唑、EDTA-Na₂、Na₂CO₃、甲醇、Folin-Ciocalteu试剂、聚乙烯吡咯烷酮均为分析纯。

TA.XT.Plus型物性仪 英国SMS公司; PAL-1型数字手持折光仪 日本Atago公司; 2010型气相色谱仪 日本岛津公司; Genesys 5型可见-紫外分光光度计 美国Thermo公司; D-37520型高速冷冻离心机 德国Eppendorf公司; BP211D型十万分之一天平 德国赛多利斯公司。

1.3 指标测定

硬度: 采用TA.XT.Plus物性仪测定; 可溶性固形物: 采用数字手持折光仪测定; 可滴定酸: 采用酸碱滴定法测定; VC含量: 采用钼蓝比色法^[2]测定; 丙二醛含量: 采用硫代巴比妥酸比色法^[3]测定; 乙醇含量: 采用气相色谱法^[4]测定; 总酚: 采用福林酚法^[5]测定; 多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)、过氧化物酶(peroxidase, POD): 参照陈建勋等^[3]方法测定; 超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD): 参照Giannopolitis等^[6]的方法。

冷害指数测定: 随机挑选50个樱桃, 观察冷害发生程度。冷害程度的评定参照Dong等^[7]的方法并稍有改进, 分为5个等级: 0级果实无冷害症状, 1级果实表皮冷害面积小于总面积15%; 2级果实表皮冷害面积占总面积15%~25%; 3级果实表皮冷害面积占总面积25%~50%; 4级果实表皮冷害面积占总面积50%~75%; 5级果实表皮冷害面积占总面积75%~100%。计算公式为: 冷害指数/% = $\sum(\text{级数} \times \text{该级果实所占的比}$

例) $\times 100 / (5 \times 50)$; 果梗新鲜指数和果肉褐变指数: 参照王春生等^[8]方法, 果肉褐变指数, 随机挑选20个果实, 纵切后观察果肉褐变程度, 分为5个等级, 0级果肉无褐变, 1级果肉褐变面积小于总面积1/10, 2级果肉褐变面积占总面积1/10~1/3, 3级果肉褐变面积占总面积1/3~2/3, 4级果肉褐变面积占总面积2/3~1, 计算公式: 果肉褐变指数/% = $\sum(\text{褐变果数} \times \text{褐变级别}) \times 100 / (\text{总果数} \times \text{最高褐变级别})$; 果梗新鲜指数测定: 分为5个等级, 0级果梗完全干枯, 1级果梗绿色面积小于总面积1/2, 2级果梗绿色面积占总面积1/2~3/4, 3级果梗绿色面积占总面积3/4~1, 4级果梗全部呈绿色, 计算公式: 果梗新鲜指数/% = $\sum(\text{各级别果数} \times \text{鲜度级别}) \times 100 / (\text{总果数} \times \text{最高褐变级别})$ 果实出汁率: 参考Dong等^[7]的方法测定, 并有所改进, 用打浆机将果实打浆后, 称量(m_0), 10000 $\times g$ 离心10min后称量(m_1), 计算公式为: 出汁率/% = $(m_0 - m_1) \times 100 / m_0$; 霉腐率/% = 霉变腐烂果数 $\times 100 / \text{总果数}$ 。

1.4 数据处理

所有数据均由Excel软件计算制作图表和DPS 9.50软件分析。

2 结果与分析

2.1 不同温度处理对樱桃冷害指数、出汁率的影响

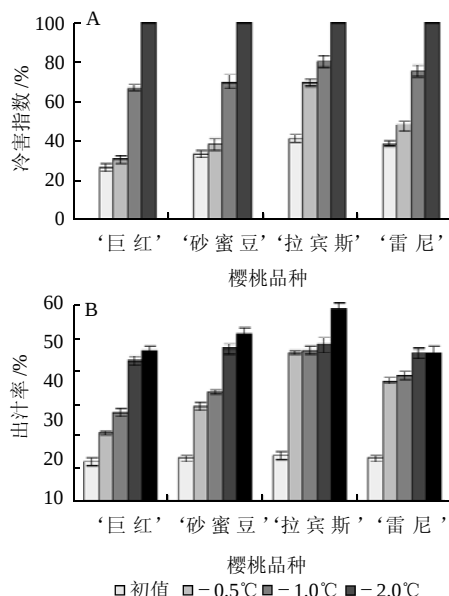


图1 4种樱桃在不同温度下果实冷害指数(A)和出汁率(B)的差异
Fig.1 Difference in chilling injury index (A) and juice yield (B) of four cherry varieties at various storage temperatures

图1A表明, 随着贮藏温度的降低, 樱桃的冷害指数逐渐增加。贮藏于-0.5℃的樱桃果实冷害指数最小, 而贮藏于-2.0℃的樱桃果实均发生严重程度的冷害。4个品种中, -0.5℃处理的‘巨红’冷害指数最小, 为26%。图1B表明, 樱桃的出汁率随着温度的降低而增大。‘巨

红’各个温度的出汁率显著低于其他品种的樱桃,‘砂蜜豆’各个温度的出汁率也显著低于‘拉宾斯’和‘雷尼’,‘拉宾斯’的出汁率最大,−0.5℃处理‘巨红’的出汁率最小,为2.1%。

2.2 不同温度处理对樱桃感官品质的影响

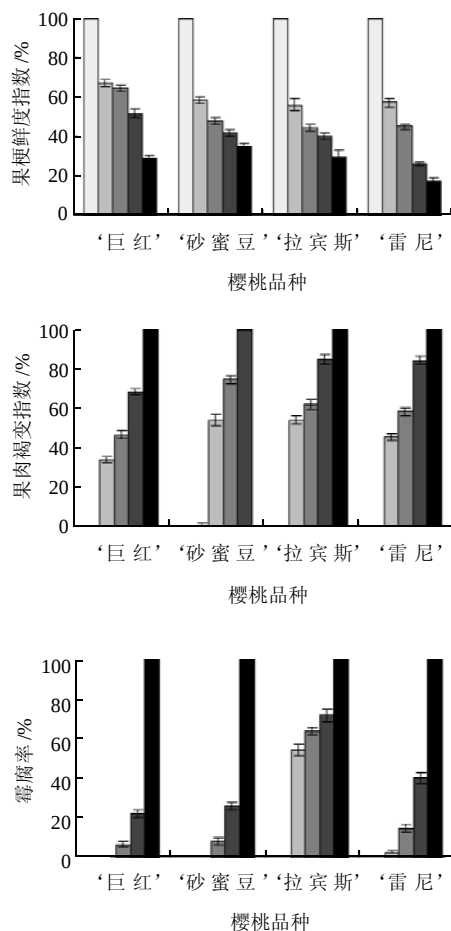


图2 4种樱桃在不同温度下果实感官品质的差异

Fig.2 Difference in sensory quality of four cherry varieties at various storage temperatures

樱桃可以根据果梗的外观变化估测果实的新鲜度^[9]。图2A表明,不同品种樱桃的果梗新鲜指数随着贮藏温度的降低而下降,贮藏于−0.5℃的樱桃果梗新鲜指数最高,而贮于−2.0℃的樱桃果梗新鲜指数最低。4个品种中,各温度处理‘巨红’的果梗新鲜指数均显著高于其他温度处理,各温度处理‘雷尼’的果梗新鲜指数均处于最低水平,−0.5℃处理‘巨红’的果梗新鲜指数最高,为67%。

樱桃褐变程度的大小是判断果实品质最直接的感官指标。图2B表明,樱桃的果肉褐变指数随着贮藏温度的降低而增大,贮藏于−0.5℃的樱桃果肉褐变指数最小,而贮于−2.0℃的樱桃全部褐变。其他3个温度处

理中,‘巨红’的果肉褐变指数均显著低于其他品种樱桃,‘拉宾斯’的褐变指数均高于其他品种,−0.5℃处理‘巨红’的果肉褐变指数最小,为3.4%。

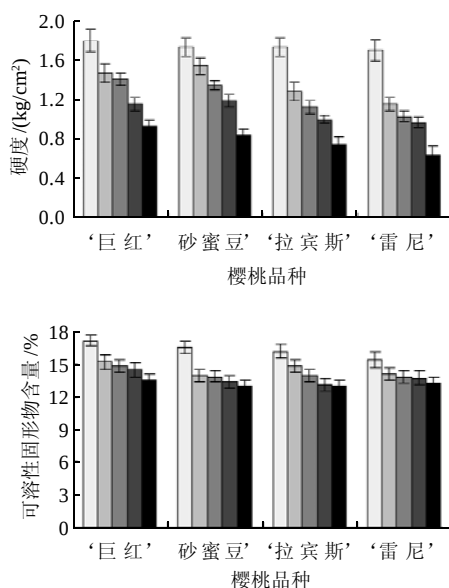
图2C表明,樱桃的霉腐率随着贮藏温度的降低而增大,贮藏于−0.5℃的樱桃霉腐率最小,而贮于−2.0℃的樱桃全部发生霉变或腐烂。4个品种中,−0.5℃处理的‘巨红’和‘砂蜜豆’均未发生霉变或腐烂,而−0.5℃处理的‘拉宾斯’霉腐率最高,为5.4%。

2.3 不同温度处理对樱桃生理品质的影响

果实硬度的变化是衡量贮藏效果的主要指标之一,其下降速度与果实的寿命密切相关^[10]。图3A表明,随着贮藏温度的降低,樱桃硬度出现明显的下降,贮藏于−0.5℃的樱桃硬度最大,而贮于−2.0℃的樱桃硬度最小。−0.5℃处理的‘巨红’硬度最大,为1.48kg/cm²。

可溶性固形物和可滴定酸含量的高低是评价果实风味的重要指标。图3B表明,樱桃的可溶性固形物含量随着贮藏温度的降低而下降。−0.5℃处理的‘巨红’可溶性固形物含量最高。图3C表明,樱桃的可滴定酸含量也随着贮藏温度的降低而下降。贮藏于−1.5℃和−2.0℃的各品种樱桃可滴定酸含量显著低于−0.5℃和−1.0℃,其中−0.5℃处理‘巨红’的可滴定酸含量最高。

VC是果实中重要营养成分之一^[11]。图3D表明,樱桃的VC含量随着贮藏温度的降低而下降,贮藏于−0.5℃的樱桃VC含量最高,而贮于−2.0℃的樱桃VC含量最低;−0.5℃处理的‘巨红’和‘砂蜜豆’VC含量显著高于‘拉宾斯’和‘雷尼’,而−0.5℃处理的‘巨红’VC含量稍高于‘砂蜜豆’。



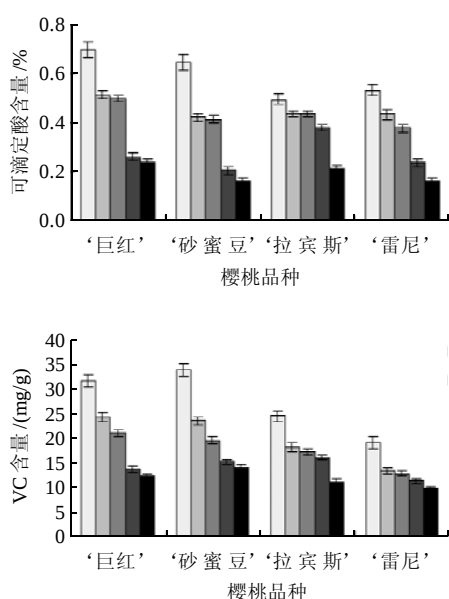


图3 4种樱桃在不同温度下果实生理品质的差异

Fig.3 Difference in physiological quality of four cherry varieties at various storage temperatures

2.4 不同温度处理对樱桃丙二醛、乙醇含量的影响

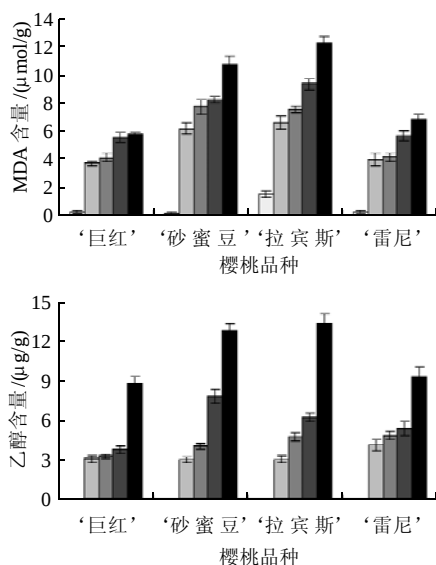


图4 4种樱桃在不同温度下果实丙二醛(A)和乙醇(B)含量的差异

Fig.4 Difference in MDA content (A) and ethanol (B) content of four cherry varieties at various storage temperatures

MDA是膜脂过氧化的主要产物之一,其含量高低可以反映细胞膜膜脂过氧化的程度^[12]。图4A表明,随着贮藏温度的降低,樱桃的丙二醛含量不断增加,贮藏于-0.5℃的樱桃丙二醛含量最低,而贮藏于-2.0℃的樱桃含量最高。-0.5℃处理的‘巨红’和‘雷尼’丙二醛含量显著低于‘砂蜜豆’和‘拉宾斯’,-0.5℃处理的‘巨红’丙二醛含量最低。

随着果实成熟衰老的进行,乙醇不断的积累^[13]。图4B表明,随着贮藏温度的降低,樱桃的乙醇含量逐渐增大,贮藏于-0.5℃的樱桃乙醇含量最低,而贮藏于-2.0℃的樱桃乙醇含量最高,极显著高于其他温度处理。-0.5℃处理的‘巨红’、‘砂蜜豆’、‘拉宾斯’的乙醇含量相差不大,但它们均显著地低于‘雷尼’。

2.5 不同温度处理对樱桃总酚、PPO活性的影响

酚类物质具有抗氧化性,参与了植物的抗冷反应^[14]。图5A表明,随着贮藏温度的降低,樱桃的总酚含量下降。贮藏于-0.5℃的樱桃总酚含量最高,而贮藏于-2.0℃的樱桃总酚含量最低。-0.5℃处理的‘巨红’总酚含量最高,其次是‘雷尼’、‘砂蜜豆’和‘拉宾斯’总酚含量最少。

多酚氧化酶(PPO)活性高低决定果蔬组织褐变程度的一个重要因素^[15]。图5B表明,樱桃的PPO活性随着贮藏温度的降低而增大,贮藏于-0.5℃的樱桃PPO活性最低,而贮藏于-2.0℃的樱桃PPO活性最高。-0.5℃处理的‘巨红’PPO活性最低。

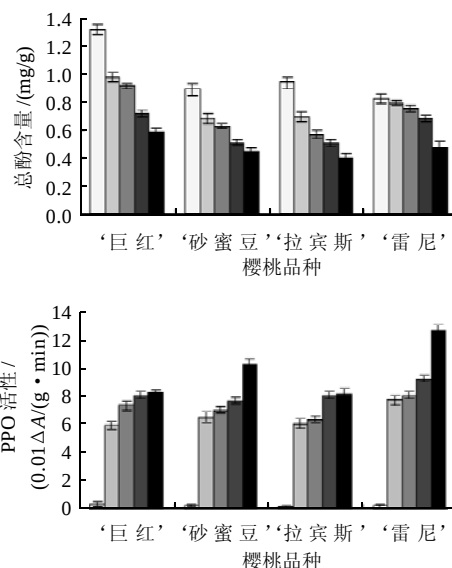


图5 4种樱桃在不同温度下果实总酚含量(A)和PPO活性(B)的差异

Fig.5 Difference in total phenol content (A) and PPO activity (B) of four cherry varieties at various temperatures

2.6 不同温度处理对樱桃SOD、POD活性的影响

低温胁迫会诱导膜脂过氧化,产生超氧阴离子自由基, SOD是植物抗氧化代谢中最为重要的一种抗氧化酶^[16]。图6A表明,樱桃SOD的活性随着贮藏温度的降低而下降,贮藏于-0.5℃的樱桃SOD活性最高,而贮藏于-2.0℃的樱桃SOD活性最低。-0.5℃处理组中,‘巨红’的SOD活性最高,其次是‘砂蜜豆’、‘拉宾斯’和‘雷尼’的SOD活性均处于较低水平。

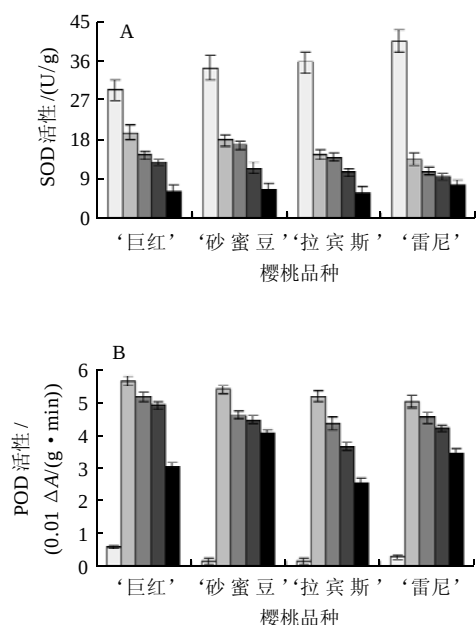


图6 4种樱桃在不同温度下果实SOD活性(A)和POD活性(B)的差异

Fig.6 Difference in SOD activity (A) and POD activity (B) of four cherry varieties at various storage temperatures

图6B表明,随着贮藏温度的降低,樱桃POD的活性逐渐降低,贮藏于 -0.5°C 的樱桃POD活性最高,而贮于 -2.0°C 的樱桃POD活性最低。 -0.5°C 处理组中,‘巨红’的POD活性最高,其次是‘砂蜜豆’、‘拉宾斯’和‘雷尼’的POD活性均处于较低水平。

3 讨论

低温冷藏是果蔬采后最有效的贮藏方法之一,低温可降低果蔬采后的呼吸作用,延缓组织衰老,延长保鲜期。但是贮藏温度并非越低越好,温度过低容易引起果实的代谢失调和紊乱,导致果蔬发生冷害,降低食用价值^[17]。虽然不同果实表现的冷害症状不完全相同,但是低温胁迫对植物组织膜系统和细胞壁结构的破坏是造成果实冷害的根本原因。细胞膜系统受到伤害是早期的冷害症状之一^[18],低温胁迫会诱导活性氧物质积累^[19-20],冷敏型植物活性氧清除酶系统活性迅速下降,导致活性氧代谢平衡失调,活性氧自由基大量积累^[19]。植物细胞中含有抗氧化物质和抗氧化酶共同构成活性氧清除系统,其中抗氧化物质包括抗坏血酸等物质,而抗氧化酶系统包括超氧化物歧化酶(SOD),低温胁迫会改变抗氧化酶的活性^[21],抗氧化酶活性的改变参与了植物的抗冷反应^[22]。SOD是清除活性氧的第一个酶,它将细胞中产生的 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 歧化为 H_2O_2 ,形成的 H_2O_2 随即被CAT、POD等酶降解,防止这些活性氧对细胞造成氧

化损伤,但低温胁迫的环境以及贮藏后期果实的衰老,SOD活性下降,产生的过氧阴离子得不到有效的清除,会造成活性氧的积累,细胞内膜系统遭到破坏,造成细胞膜通透性增加,MDA含量增加。酚具有氧化还原的性质,可以吸收、中和自由基,清除活性氧物质,是主要的抗氧化物质。多酚氧化酶(PPO)含量增加能够氧化酚类物质造成酶促褐变,降低了酚类物质的抗氧化能力。酚类物质是PPO和POD的底物,其中PPO氧化酚类参与了果实的褐变反应^[23],而在 H_2O_2 存在时,POD氧化酚类物质的反应则参与了木质素的合成过程^[24],并在果实防御反应过程中发挥了重要的作用^[25]。

在樱桃的贮藏过程中,樱桃的SOD活性、总酚随着贮藏温度的降低而下降,从而对低温条件的抵抗能力下降,同时由于SOD活性的下降,外环境低温胁迫产生的超氧阴离子不能得到有效的清除,造成活性氧积累,破坏细胞的内膜系统,MDA的含量增加,细胞膜透性增加,从而使樱桃的冷害程度加剧。在四个温度处理中, -2.0°C 处理樱桃的SOD和POD活性最低,活性氧清除能力最弱;总酚的含量最低,而PPO的活性最高,樱桃的抗冷能力最差,褐变程度也最大;MDA含量最高,冷害程度最严重。

果实的衰老通常伴随着乙醇含量的增加,当乙醇含量增加到一定程度时,果实内部会出现一系列生理变化,产生多种影响风味的次生代谢产物,甚至异味。四个温度处理中, -2.0°C 处理组的乙醇含量极显著地高于其他温度处理,樱桃的酒精味浓烈,严重地影响了樱桃原有风味。

随着贮藏温度的降低,冷害程度进一步加剧,使得樱桃的营养物质严重流失, -2.0°C 处理组的可滴定酸含量、可溶固形物含量、VC含量显著低于 -0.5°C 处理组,果梗的新鲜指数也显著低于 -0.5°C 处理组,出汁率也最大,冷害程度最大,并且各品种的霉腐率达到了100%,完全失去食用价值。

4 结论

樱桃的冷害程度随着贮藏温度的降低而加剧, -2.0°C 处理组的营养物质严重流失,全部发生冷害且霉腐率达到100%,完全失去食用价值。 -0.5°C 处理组的樱桃品质保持的最好,其中 -0.5°C 处理的‘巨红’SOD、POD活性最高,总酚含量最高,PPO活性最低,MDA和乙醇含量最低,品质保持的最好,冷害发生程度最小。

参考文献:

- [1] 施俊凤,薛梦林,王春生,等.甜樱桃采后生理特性与保鲜技术的研究现状与发展[J].保鲜与加工,2009,9(6): 7-10.

- [2] 李军. 钼蓝比色法测定还原型维生素 C[J]. 食品科学, 2000, 21(8): 42-45.
- [3] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2006.
- [4] 黄艳凤, 王永婵, 张平. 静态顶空气相色谱法快速测定葡萄中乙醇和乙醛含量的研究[J]. 保鲜与加工, 2009, 9(6): 28-30.
- [5] 徐辉艳, 孙晓东, 张佩君. 红枣汁中总酚含量的福林酚法测定[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(3): 126-129.
- [6] GIANNOPOLITIS C N, RIES S K. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants[J]. Plant Physiol, 1977, 59(2): 309-314.
- [7] DONG L, ZHOU H W, SONEGO L, et al. Ethylene involvement in the cold storage disorder of 'Flavortop' nectarine[J]. Postharvest Biology and Technology, 2001, 23(2): 105-115.
- [8] 王春生, 赵迎丽, 王华瑞, 等. 气调贮藏对玉露香梨品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2007, 7(5): 25-28.
- [9] LINKE M, HERPICH W B, GEYER M. Green peduncles may indicate postharvest freshness of sweet cherries[J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 58(2): 135-141.
- [10] 王贵禧, 韩雅珊, 于梁. 猕猴桃软化过程中阶段专一酶活性变化的研究[J]. 植物学报, 1995, 37(3): 198-203.
- [11] 乔勇进, 冯双庆, 赵玉梅. 热处理对黄瓜品质的影响[J]. 中国果菜, 2002(6): 21-22.
- [12] 吴延军, 杨莉, 王春生, 等. 冬枣采后软化衰老研究[J]. 中国农业通报, 2003, 19(3): 47-50.
- [13] 李宏卫, 冯双庆. 冬枣采后果皮成分及氧化酶活性变化与乙醇积累机理的研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(3): 165-168.
- [14] PENNYCOOKE J C, COX S, STUSHNOFF C. Relationship of cold acclimation, total phenolic content and antioxidant capacity with chilling tolerance in petunia (*Petunia × hybrida*)[J]. Environmental and Experimental Botany, 2005, 53(2): 225-232.
- [15] 马岩松, 车芙蓉, 张平, 等. 南果梨多酚氧化酶最适作用底物酶促褐变底物的分析确定[J]. 食品科学, 2000, 21(11): 11-13.
- [16] 毛兴平, 李江阔, 张鹏, 等. 采收成熟度对南果梨冷藏后货架期间生理效应的影响[J]. 保鲜与加工, 2010, 10(4): 8-12.
- [17] 赵云峰, 郑瑞生. 冷害对茄子果实贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(10): 321-325.
- [18] YOSHIDA S A. Prefatory note on responses of plants to low temperature-stress[J]. Journal of Plant Research, 1999, 112(2): 223-224.
- [19] SALA J M. Involvement of oxidative stress in chilling injury in cold-stored mandarin fruits[J]. Postharvest Biology and Technology, 1998, 13(3): 255-261.
- [20] BLOKHINA O, VIROLAINEN E, FAGERSTEDT K V. Antioxidants oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review[J]. Annals of Botany, 2003, 91(2): 179-194.
- [21] LEE D H, LEE C B. Chilling stress-induced changes of antioxidant enzymes in the leaves of cucumber: in gel enzyme activity assays[J]. Plant Science, 2000, 159(1): 75-85.
- [22] PURVIS A C, SHEWFELT R L. Does the alternative pathway ameliorate chilling injury in sensitive plant tissues? [J]. Physiologia Plantarum, 1993, 88(4): 712-718.
- [23] ROBARDS K, PRENZLER P D, TUCKER G, et al. Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits[J]. Food Chemistry, 1999, 66(4): 401-436.
- [24] GUERRA A, FERRAZ A, CORTIM A R, et al. Polymerization of lignin fragments contained in a model effluent by polyphenoloxidases and horseradish peroxidase/hydrogen peroxide system[J]. Enzyme and Microbial Technology, 2000, 26(5): 315-323.
- [25] VALENTINES M C, VILAPLANA R, TORRES R, et al. Specific roles of enzymatic browning and lignification in apple disease resistance[J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 36(3): 227-234.