

# 桃果实冷害机理及其防治措施研究进展

辛甜甜<sup>1</sup>, 辛力<sup>2</sup>, 李富军<sup>1</sup>

(1. 山东理工大学 农业工程与食品科学学院, 山东 淄博 255049; 2. 山东省果树研究所, 山东 泰安 271000)

**摘要:**综述了桃果实在低温贮藏条件下冷害的症状与发生机理,从温度、气调、化学物质处理方面总结了冷害的防治措施,并提出以后研究的方向,为下一步研究提供参考。

**关键词:**桃;冷害;机理;防治;综述

**中图分类号:**S 662.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2011)12-0166-04

冷害是指一些冷敏性的植物或植物器官、组织冰点以上的不适低温下产生的伤害,是逆境伤害的一种。冷害会引起果蔬的抗病性和耐贮性下降,进而导致果蔬腐烂和品质劣变,是限制果蔬长期贮藏的主要因素。桃属于典型的呼吸跃变型果实,在采后2~3 d内可迅速软化腐烂,失去食用价值。虽然低温贮藏可以降低其采后呼吸速率、减少乙烯生成,延长贮藏期,但桃果实对低温较敏感,低温下易发生冷害,因而探索低温贮藏中桃果实的冷害机理及控制方法非常重要。

## 1 冷害症状

冷害症状因果蔬的品种和类型而异,常见症状有果实表面凹陷或呈水渍状,果肉果皮褐变,表皮下干缩至海绵状,果实不能正常后熟等<sup>[1]</sup>。桃果实的冷害症状常见为果肉褐变,果实少汁、质地木质化或粉质化、未成熟果实不能正常软化后熟(总称为絮败),原有风味变淡或丧失,果肉红变,严重时果肉组织分离形成空腔<sup>[24]</sup>。发生冷害的桃果,在果实后熟过程中外观往往表现良好,消费者在食用时才被发现<sup>[2]</sup>。

## 2 桃果实冷害发生条件

据报道,桃在2.2~7.6℃条件下更容易出现冷害症状,尤其是褐变现象<sup>[2]</sup>。张培正等发现肥城桃在0℃和3℃下贮藏都可导致果肉发生冷害褐变,但3℃条件下褐变早于0℃条件<sup>[3]</sup>。王贵禧等研究发现“大久保”桃在5℃下贮藏15 d即发生冷害,而0℃冷藏30 d才开始产生轻微冷害症状<sup>[6]</sup>。马书尚等也发现5℃下贮藏的“秦光2号”油桃和“秦王”桃比0℃下贮藏的出现果肉褐变的时间早,褐变率高<sup>[7]</sup>。

## 3 桃果实冷害发生机理

目前比较认可的冷害机理假说是“膜脂相变假说”,低温引起细胞膜物理相变,构成膜的脂类由液晶态结构变为凝胶态,改变了膜流动性,使电子传递、能量转换、酶代谢等发生变化。同时,膜脂相变引起膜收缩,导致膜透性增大,细胞分室作用破坏而引起新陈代谢异常。

越来越多的研究结论也逐渐形成了生物氧毒害的活性氧学说,认为低温胁迫下产生大量的活性氧自由基,而超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)等保护酶不能及时清除过多的自由基,引发、加剧了细胞膜脂过氧化,并导致膜系统结构和功能的破坏,膜差别透性的丧失<sup>[8-9]</sup>。细胞膜相变后,导致一系列不良反应,致使果蔬品质劣变。例如桃果实的组织褐变,絮败和风味变淡等。

冷害相关基因的表达对冷害也产生影响。美国加州大学的Ogundwin等人从4 261条单基因中筛选了13个基因,通过试验初步确定其中12个基因可控制桃果实对冷害的敏感性或抗性,但是还需要更多的试验证实这些基因与冷害相关<sup>[10]</sup>。

### 3.1 褐变机理

果肉褐变是桃果实冷害主要症状之一。这种低温褐变主要是酶促褐变,即多酚氧化酶(PPO)催化内源酚类物质氧化为醌类物质,醌类聚合并与细胞内氨基酸结合,产生黑色或褐色色素沉淀。正常果实组织中,酚类物质一般以游离状态或糖苷、糖酯形式存在于液泡中,PPO存在于质体中,酚类物质与PPO的区域化分布阻止了酶与底物相互接触,避免了酶促褐变的发生。冷害果中膜脂发生相变,透性增大,区域化被打破,使内源酚类物质与PPO相接触,从而导致褐变发生<sup>[11]</sup>。如陆振中等发现,冷害诱导的中华寿桃褐变与PPO活性的上升和峰值出现的时间相关,酶活性低,峰值出现时间晚,褐变就延迟<sup>[12]</sup>。而张培正等研究发现,PPO活性与冷害诱导的肥城桃果实褐变率没有明显相关性,不是限制肥城桃果实低温褐变的直接原因,而酚类物质含量与褐变程度呈正相关,即褐变程度越高,酚类物质

第一作者简介:辛甜甜(1988-),女,山东安丘人,在读硕士,研究方向为果蔬采后生理。E-mail: xintiantian@163.com。

责任作者:李富军(1977-),男,山东安丘人,博士,副教授,现主要从事果蔬采后生理与贮藏保鲜技术研究工作。E-mail: lifujun@sdu.edu.cn。

基金项目:山东省水果产业技术体系资助项目;泰安市科技发展规划资助项目(20083024)。

收稿日期:2011-03-31

含量越大<sup>[3]</sup>。此结果说明不同桃品种褐变发生的机理可能有差异。

### 3.2 絮败机理

桃果实后熟过程中表现出的果肉少汁发绵、木质化或粉质化,不能正常成熟、软化总称为絮败。絮败是桃冷害最为常见的症状。絮败的果实中可溶性果胶减少,不溶性果胶明显增加,果胶物质总量提高。由于不溶性果胶形成凝胶束缚了大量水分,导致果肉汁液不断减少<sup>[1]</sup>。

低温引起膜相变导致酶代谢异常,引起桃果实絮败的酶主要是果胶甲酯酶(PE)和多聚半乳糖醛酸酶(PG)。正常情况下,内切 PG 外切 PG 和 PE 协同作用,催化果胶降解,果实软化<sup>[13]</sup>。PE 与 PG 的代谢异常则导致果胶正常降解受阻,形成凝胶,产生絮败。多数研究表明,在发生冷害的桃果实中,PE 活性上升,PG 活性下降,使得 PE 作用下形成的大量低甲酯化果胶质不能被 PG 降解,导致果胶凝胶化,发生絮败<sup>[14-16]</sup>。用 NO 熏蒸肥城桃后,降低了果实冷藏期间 PE 活性,提高了 PG 活性,则有效避免了果实絮败,减轻了果实冷害<sup>[17]</sup>。

也有研究发现某些冷害桃中 PE 活性下降或者其活性变化与果实絮败不甚相关<sup>[18-19]</sup>,但现有研究结果大都认为 PG 活性呈下降趋势<sup>[20]</sup>,这可能与桃果种类差异有关。

### 3.3 风味劣变机理

发生冷害的桃果实风味、香气会变淡甚至丧失。果实风味改变可能是因为糖和有机酸等风味物质的底物发生代谢异常所致<sup>[11]</sup>。桃果的特征香气成分主要为酯类物质,主要通过包括  $\alpha$ -氧化、 $\beta$ -氧化、 $\gamma$ -氧化和脂氧合酶(LOX)途径在内的脂肪酸代谢途径合成。如 LOX 途径的主要产物即为桃果中内酯类香气成分<sup>[21-22]</sup>。发生冷害的桃果实中,酶代谢异常,因此推测冷害果实香气物质变化的原因可能是与香气物质合成有关的酶(例如 LOX)活性变化异常。其它可能的原因还包括:原有香气物质挥发;合成香气物质的前体物质损失或转化;冷害导致有害或异味物质的产生等<sup>[1]</sup>。冷害桃果风味劣变应该是许多因素综合作用的结果,目前尚不明确其具体机理,需要进一步的探索研究。

## 4 防治措施

### 4.1 温度调节

4.1.1 适温贮藏 各种果蔬的冷害临界温度不同,由于种类的差别,冷害在 0 ~ 15 °C 范围内均可发生<sup>[23]</sup>。若将果蔬置于临界温度以外,可有效防止冷害发生。因此研究并掌握各品种和类型果蔬的冷害临界温度及其最适贮藏温度很有必要。桃在高温下易腐烂变质,在 -1 °C 下即可能发生冻害,其冷害危险温度为 2.2 ~ 7.6 °C,因此在 0 ~ 1 °C 下贮藏为宜。

4.1.2 间歇升温 间歇升温是在低温贮藏过程中,用

1 次或多次短期升温处理来中断冷害。间歇升温处理可有效减轻冷害,目前应用较为广泛。适时适度的间歇升温可以有效防止“柏山”蜜桃果实糠化,减轻冷害,贮藏后桃果实多汁<sup>[16]</sup>。但是间歇升温对桃果实的贮藏有一定的副作用,可加快果实软化。冷藏期间每隔 9 d 加温 1 次(20 °C, 24 h)能明显减轻“白凤”桃果实冷害,但显著加速了软化过程<sup>[24]</sup>。在 0 °C 下贮藏肥城桃,间隔 15 d 进行(20 ± 1) °C 回温 24 h,贮期回温 2 次,较好地保持果实品质风味。但是较 0 °C 恒温贮藏,果实硬度下降<sup>[3]</sup>。最近有研究表明,NO 结合间歇升温处理能显著抑制肥城桃贮藏过程中冷害的发生,并且 NO 处理可以缓解由间歇升温所引起的果实软化加快的副作用,保持了果实的硬度<sup>[4]</sup>。

4.1.3 延迟预冷 延迟预冷是指果实采后先在室温下放置一段时间后再置于低温下贮藏。果实在室温下可启动后熟过程,保持相对较高的 PG 酶活性,从而减轻后期低温贮藏中冷害的发生<sup>[3]</sup>。将“Flavorcrest”、“Elegant Lady”和“O Henry”等几种桃果采后于 20 °C 下延迟冷藏 24 ~ 48 h,可显著减轻果实冷害,延长货架期至 2 周,虽然果实产生一定程度的失重和软化,但不影响品质。美国加州许多企业已应用此技术贮藏桃果,提高了经济效益<sup>[25]</sup>。目前延迟预冷已是许多国家桃贮运的常规技术。

4.1.4 热激处理 即贮前用高于成熟季节的温度短时间处理果实。热处理方式有热水处理、热蒸气处理、热空气处理 3 种,是一种简单有效的减轻冷害的方法。“白凤”桃果实冷藏前在 35 °C 放置 42 h 可明显减轻果实的冷害,但果实软化加快<sup>[24]</sup>。“Flavorcrest”桃果实贮前热处理结合气调贮藏可以明显地缓解果实的冷害,防止絮败的发生,并且热处理时桃果实加速软化的副作用被气调技术减轻<sup>[26]</sup>。而采用热水预处理以及热空气预处理中华寿桃都能较好保持果实品质和硬度,未发现加速软化。但热水预处理过度会降低其抑制果肉褐变的效果甚至加重褐变<sup>[12,27]</sup>。可见热处理可以减轻桃果实冷藏期间冷害的发生,但由于品种以及试验处理的温度、时间以及其它条件的不同,使得热处理对部分品种的桃产生副作用,如加速软化、褐变等。考虑到热处理作为一种无公害安全的处理技术,可针对不同桃品种进一步建立适宜的贮前热处理结合冷藏技术工艺,以最大限度地提高贮藏品质,减轻冷害的发生。

4.1.5 逐步降温 低温贮藏前对果实采用逐步降温(冷锻炼)的方法使其适应低温条件,可减轻或避免冷害发生。目前生产上成功地应用逐渐降温的方法解决了鸭梨冷害冷藏问题<sup>[23]</sup>。将“大久保”桃采后先在 8 °C 下经过 9 d 冷锻炼,然后在 0 °C 下冷藏,可使果实保持一定的硬度和可溶性固形物含量(SSC),且组织电导率和出汁率较稳定,出库后能够正常后熟软化,在预防冷害的同时较好地保持了桃的品质<sup>[28]</sup>。

4.1.6 冷激处理 冷激处理是在贮前将果实进行极

短时间的低温处理<sup>[29]</sup>。采后黄桃用 0℃ 的冰水浸泡 30 min, 然后置于 (0±1)℃ 下贮藏, 可以抑制黄桃果实的呼吸强度, 降低 PG 活性, 保持硬度, 降低丙二醛 (MDA) 含量和电解质渗出率<sup>[30]</sup>。0℃ 冷空气处理“秦光 2 号”油桃 3.5 h 可明显延迟油桃的后熟衰老, 推迟乙烯释放高峰和呼吸高峰, 提高 SOD、CAT、POD 的活性, 保持果肉硬度, 减轻冷害发生<sup>[31]</sup>。冷激处理在其它果实上也有应用: 0℃ 冰水处理“红灯”樱桃可明显降低樱桃的冷害指数和冷害发生率, 保持果实质量<sup>[32]</sup>。

4.1.7 冰温贮藏 冰温贮藏即在 0℃ 以下果实冻结点以上的温度范围内进行贮藏保鲜。通过冰点测定, 确定桃果实的最适贮藏温度, 对于减少高温腐烂衰老和低温冷害冻害都有重要意义, 已经在菠菜、草莓等品种保鲜上取得了显著效果<sup>[33]</sup>。冰温贮藏能大大降低“绿化 9 号”水蜜桃的呼吸强度, 推迟呼吸高峰的到来, 很好地保持桃的水分和硬度, 贮藏 30 d 后好果率为 92%<sup>[34]</sup>。目前对于冰温贮藏对桃果实冷害的其它相关研究报道还不多。

## 4.2 气调贮藏

气调技术是通过改变环境中的气体成分, 来提高果蔬贮藏效果。通常情况下是降低贮藏环境中氧气的浓度, 提高二氧化碳浓度, 近些年也有高氧浓度气调的研究。气调贮藏对果蔬冷害的效果受产品种类、气体成分的浓度、处理时间和温度等因素影响。有些果实采用低氧、高二氧化碳气调贮藏可以减轻冷害, 如油梨、葡萄柚、梅、番木瓜、桃等; 而有些则会加重冷害, 如黄瓜、石刁柏、灯笼椒等<sup>[23]</sup>。

合理的气调参数可减轻桃果实冷害的发生。张培正等发现, 肥城桃适宜的气体指标为 5% O<sub>2</sub> + 5% CO<sub>2</sub>, 在此气体浓度以及 0℃ 贮藏温度下, 结合间歇升温处理可延长肥城桃贮藏期达 70 d, 货架期 5 d, 保持果实良好食用品质, 果肉不褐变<sup>[9]</sup>。冯志宏等人首次将变动气调(DCA, 在不同的贮藏时期控制不同的气体指标, 以适应果实从健康向衰老过程中对气体成分适应性的不断变化)应用于“大久保”桃气调保鲜, 取得良好效果。结果表明 DCA 比普通气调贮藏更能保持果实硬度, 减轻果肉组织伤害, 降低果实冷敏感性, 提高贮藏品质<sup>[35]</sup>。

## 4.3 化学物质处理

4.3.1 NO 熏蒸 NO 可以延缓果实的成熟衰老, 朱树华等采用 NO 熏蒸肥城桃, 可以延缓果实软化, 有效避免果实絮败, 缓解低温贮藏对桃果实的冷害作用。但 NO 处理具有时效性, 对果实的作用随着时间延长而逐渐解除<sup>[17]</sup>。

4.3.2 1-MCP 处理 1-MCP 是乙烯作用抑制剂, 在 0℃ 冷藏中用 1-MCP 熏蒸肥城桃能显著降低乙烯产生速率, 延迟果实衰老, 降低 LOX 活性, 提高 SOD 活性, 延迟 LOX 和 SOD 活性峰值的出现, 并且能够提高果实硬度, 减少失重和冷害的发生<sup>[37]</sup>。

4.3.3 水杨酸处理 在“北京 24 号”桃贮藏前用 1

mmol/L 水杨酸(SA)浸泡 5 min, 显著降低了果实冷害指数、腐烂指数和 MDA 含量, 维持了果实硬度<sup>[38]</sup>。

4.3.4 钙处理 钙处理在延缓果蔬采后衰老方面的作用已有很多报道, 但有关钙处理减轻果蔬冷害方面的研究较少。有研究表明钙处理可提高桃果实 POD 活性, 从而提高桃果实对低温胁迫的抗性, 也有报道说明钙可维持细胞膜的完整性和稳定性, 减轻细胞膜透性, 从而减轻冷害发生<sup>[6, 39]</sup>。用 62.5 mmol/L 氯化钙处理“Andross”桃, 可有效保持果实硬度, 减轻冷害症状, 但高浓度的钙乳液和丙酸钙处理可使桃果实产生中毒症状<sup>[40]</sup>。

4.3.5 茉莉酸甲酯处理 近年来的研究表明, 采用适当浓度的外源茉莉酸甲酯(MeJA)处理可显著减轻芒果、葡萄柚及西葫芦等冷敏果蔬的低温冷害<sup>[39]</sup>。据报道在低温贮藏下 MeJA 可通过提高 POD 活性, 减少多酚化合物含量来减轻久保桃果实褐变, 从而减轻冷害的发生<sup>[41]</sup>。

4.3.6 多胺处理 多胺(PAs)是生物体代谢过程中产生的具有生物活性的低分子量脂肪含氮碱, 常见的有腐胺、尸胺、精胺和亚精胺。有研究表明, 内源和外源多胺均可稳定细胞膜, 延缓果实衰老<sup>[39]</sup>。在 0℃ 下采用外源腐胺对“秦光 2 号”油桃处理, 结果表明, 处理果冷害比未处理果延迟 10 d 发生, 冷害发生率和冷害指数下降, SOD、POD、CAT 活性均提高, LOX 活性受抑, 使细胞膜伤害减轻<sup>[42]</sup>。对多胺在桃果冷害中的作用机理及其防治效果值得进一步深入研究。

## 5 展望

桃果实的冷害问题一直是贮藏界备受关注的难题之一, 其冷害机理已经有比较系统的认识, 也找到了多种减轻冷害的方法。但仍有许多问题值得继续关注: 继续深入研究冷害发生的机理, 尤其是外界因子对桃果实冷害的调控机制, 为冷害控制技术奠定基础; 深入研究冷害的分子生物学机理, 实现利用基因技术手段调控果实冷害的发生过程; 深入研究不同的品种桃果实冷害发生机理与条件, 有针对性的开发其减轻冷害、提高品质的贮藏技术措施; 研究 2 种或者 2 种以上方法综合应用对桃果实冷害的作用, 以减轻某一种处理对果实的副作用; 开发安全有效、方便实用的新技术, 来减少果蔬冷害的发生; 利用基因工程手段培育抗冷害耐低温的新品种。

## 参考文献

- [1] 于建娜. 桃采后低温贮藏冷害发生机理及防治措施[J]. 塔里木大学学报, 2004, 16(4): 32-35.
- [2] Lurie S, Crisosto C H. Chilling injury in peach and nectarine[J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 37(3): 195-208.
- [3] 张培正, 李坤, 施小培, 等. 间歇变温对肥城桃品质及酚类物质代谢的影响[J]. 食品科学, 2002, 23(7): 127-129.
- [4] Zhu L Q, Zhou J, Zhu S H. Effect of a combination of nitric oxide treatment and intermittent warming on prevention of chilling injury of 'Feicheng' peach fruit during storage[J]. Food Chemistry, 2010, 121(1): 165-170.

[5] 张培正, 李坤, 施小培, 等. 温度和气体成分对肥城桃果实贮藏效果的影响[J]. 食品科学, 2002, 23(9): 112-114.

[6] 王贵禧, 王友升, 梁丽松. 不同贮藏温度模式下大久保桃果实冷害及其品质劣变研究[J]. 林业科学研究, 2005, 18(2): 114-119.

[7] 马书尚, 唐燕, 武春林, 等. 1-甲基环丙烯和温度对桃和油桃贮藏品质的影响[J]. 园艺学报, 2003, 30(5): 525-529.

[8] 王艳颖, 胡文忠, 刘程惠, 等. 低温贮藏引起果蔬冷害的研究进展[J]. 食品科技, 2010, 35(1): 72-76.

[9] 周 娴, 郁志芳, 杜传来, 等. 几种林果低温贮藏的冷害及其调控研究进展[J]. 南京林业大学学报, 2004, 28(3): 105-110.

[10] Ogundwin E A, Marí C, Forment J, et al. Development of chill peach genomic tools and identification of cold-responsive genes in peach fruit[J]. Plant Molecular Biology, 2008, 68(4-5): 379-397.

[11] 王友升, 王贵禧. 冷害桃果实品质劣变及其控制措施[J]. 林业科学研究, 2003, 16(4): 465-472.

[12] 陆振中, 徐莉, 王庆国. 热水预处理对中华寿桃采后品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(7): 183-188.

[13] 邵兴锋, 屠康. 桃果实絮败机理及减缓措施[J]. 果树学报, 2005, 22(2): 149-153.

[14] Ben-Arie R, Sonogo L. Pectolytic enzyme activity involved in woolly breakdown of stored peaches[J]. Phytochemistry, 1980, 19: 2553-2555.

[15] Artes F, Cano A, Fernandez-Trujillo J P. Pectolytic enzyme activity during intermittent warming storage of peaches[J]. Journal of Food Science, 1996, 61(2): 311-313, 321.

[16] 王淑琴, 皮钰珍, 颜廷才. 间歇升温防止冷藏桃果实糠化的研究[J]. 食品工业科技, 2009, 30(4): 207-309.

[17] 朱树华, 刘孟臣, 周杰. 一氧化氮熏蒸对采后肥城桃果实细胞壁代谢的影响[J]. 中国农业科学, 2006, 39(9): 1878-1884.

[18] Buescher R W, Furmanski R J. Role of pectinesterase and polygalacturonase in the formation of wooliness in peaches[J]. Journal of Food Science, 1978, 43: 264-266.

[19] 吕昌文, 齐灵, 修德仁, 等. 桃波动温度贮藏及其机理研究[J]. 华北农学报, 1994, 9(1): 75-80.

[20] 茅林春, 张上隆. 果胶酶与桃果实冷害的关系[J]. 植物生理学通讯, 2000, 36(3): 266-271.

[21] 宋丽娟, 李雄伟, 陈琳, 等. 果实香气合成与遗传控制研究概述[J]. 果树学报, 2008, 25(5): 708-713.

[22] 陈建中, 葛水莲, 朱海侠, 等. 乙醇处理对大久保桃挥发性芳香物质的影响[J]. 湖北农业科学, 2009, 48(6): 1409-1413.

[23] 李富军, 张新华. 果蔬采后生理与衰老控制[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004: 208.

[24] 茅林春, 王阳光, 张上隆. 热处理减缓桃果实的采后冷害[J]. 浙江大学学报, 2000, 26(2): 137-140.

[25] Crisosto C H, Garner D, Andris H L, et al. Controlled delayed

cooling extends peach market life[J]. Hort Technology, 2004, 14(1): 99-104.

[26] Murray R, Lucangeli C, Polenta G, et al. Combined pre-storage heat treatment and controlled atmosphere storage reduced internal breakdown of ‘Flavorcrest’ peach[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 44(2): 116-121.

[27] 陆振中, 徐莉, 王庆国. 热空气处理对中华寿桃贮藏品质的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 375-379.

[28] 王贵禧, 王友升, 梁丽松. 不同贮藏温度模式下大久保桃果实冷害[J]. 林业科学研究, 2005, 18(2): 114-119.

[29] 赵志磊, 顾玉红, 赵玉梅, 等. 冷激处理对芒果贮藏冷害及相关酶的影响[J]. 河北农业大学学报, 2007, 30(4): 27-30.

[30] 陈留勇, 孔秋莲, 孟宪军, 等. 冷激处理对黄桃保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技, 2003, 24(11): 67-69.

[31] 熊兴森, 饶景萍, 戴思琴, 等. 冷激处理对油桃贮藏品质和抗氧化酶活性的影响[J]. 西北植物学报, 2006, 26(3): 473-499.

[32] 朱丽霞, 魏东. 冷激处理对櫻桃果实抗冷性和贮藏品质的影响[J]. 贵州农业科学, 2009, 37(11): 167-169.

[33] 王海宏, 周慧娟, 乔勇进, 等. 桃贮藏保鲜技术研究现状与发展趋势[J]. 保鲜与加工, 2009(2): 10-14.

[34] 赵朝辉, 李里特. “绿化9号”水蜜桃的冰温贮藏[J]. 中国农业大学学报, 1999, 4(2): 77-81.

[35] 冯志宏, 赵迎丽, 闫根柱, 等. 变动气调贮藏保持大久保桃品质的研究[J]. 园艺学报, 2010, 37(2): 207-212.

[36] Singha S P, Singha Z, Swinny E E. Postharvest nitric oxide fumigation delays fruit ripening and alleviates chilling injury during cold storage of Japanese plums (*Prunus salicina* Lindell) [J]. Postharvest Biology and Technology, 2009, 53(3): 101-108.

[37] 李富军, 翟衡, 杨洪强, 等. 1-MPC 和 AVG 对肥城桃果实采后衰老的影响[J]. 果树学报, 2004, 21(3): 272-274.

[38] 陈双建, 王利军, 刘庆昌, 等. 贮藏前外源水杨酸处理对桃果冷胁迫的影响[J]. 中国农学通报, 2006, 22(9): 219-224.

[39] 冯志宏, 王春生. 降低桃果实冷敏性的研究进展[J]. 食品科学, 2009, 30(9): 230-234.

[40] Manganaris G A, Vasilakakis M, Diamantidis G, et al. The effect of postharvest calcium application on tissue calcium concentration, quality attributes, incidence of flesh browning and cell wall physicochemical aspects of peach fruits[J]. Food Chemistry, 2007, 100(4): 1385-1392.

[41] Meng X H, Han J, Wang Q, et al. Changes in physiology and quality of peach fruits treated by methyl jasmonate under low temperature stress[J]. Food Chemistry, 2009, 114(3): 1028-1035.

[42] 张海燕, 饶景萍, 戴思琴, 等. 外源腐胺对油桃采后生理及其相关酶活性的影响[J]. 植物生理学通讯, 2007, 43(6): 1061-1064.

Research Progress of Peach on Chilling Injury Mechanism and Controlling Measures

XIN Tian-tian<sup>1</sup>, XIN Li<sup>2</sup>, LI Fu-jun<sup>1</sup>

(1. School of Agricultural and Food Engineering Shandong University of Technology, Zibo, Shandong 255049; 2. Shandong Institute of Pomology, Tai'an, Shandong 271000)

**Abstract:** This paper summarised the chilling injury symptoms and mechanism of peach during low temperature storage, and the measures for preventing and controlling chilling injury from temperature, controlled atmosphere storage and chemical substances treatments and suggested the directions of further study.

**Key words:** peach; chilling injury; mechanism; control; review