

低温驯化结合冰温贮藏对猕猴桃品质的影响

范思仪^{1a}, 陈爱强^{1b}, 张倩倩^{1a}, 刘朴², 关文强^{1a*}

(1.天津商业大学 a.天津市食品与生物技术重点实验室 b.天津市制冷技术重点实验室, 天津 300134; 2.河南省果然风情果业股份有限公司, 河南 南阳 474550)

摘要: **目的** 研究不同低温驯化处理方式结合冰温贮藏对猕猴桃品质的影响, 为猕猴桃贮藏保鲜提供新技术。**方法** 将猕猴桃在冰温 (-0.5 ± 0.2) °C、快速驯化 (4 °C 驯化 48 h) 结合冰温和慢速驯化 (10 °C 驯化 24 h 后再 4 °C 驯化 24 h) 结合冰温的条件下贮藏 180 d, 定期测定猕猴桃相关指标。**结果** 贮藏结束时, 对照组可滴定酸 (Titratable Acid, TA) 含量为 0.733%、维生素 C (Vitamin C, VC) 含量为 208.7 mg/kg、硬度为 0.692 N, 而慢速驯化组的 TA 含量为 1.053%、VC 含量为 259.4 mg/kg、硬度为 1.119 N。与对照组相比, 低温驯化结合冰温贮藏能够降低质量损失率、冷害率及腐烂率, 抑制可溶性固形物 (Soluble Solids, TSS)、丙二醛 (Malondialdehyde, MDA) 含量的增加, 脂氧合酶 (Lipoxygenase, LOX) 活性的上升和自由水的损失, 以及保持了过氧化物酶 (Peroxidase, POD) 的活性。**结论** 慢速驯化比快速驯化处理能够更有效地保持冰温贮藏猕猴桃的品质, 延长采后贮藏保鲜的时间。

关键词: 冰温; 低温驯化; 猕猴桃; 品质; 贮藏保鲜

中图分类号: TB485; TS255.3 文献标志码: A 文章编号: 1001-3563(2024)03-0062-10

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2024.03.008

Effect of Low Temperature Domestication Combined with Ice Temperature Storage on Kiwifruit Quality

FAN Siyi^{1a}, CHEN Aiqiang^{1b}, ZHANG Qianqian^{1a}, LIU Pu²,
GUAN Wenqiang^{1a*}

(1. a. Tianjin Key Laboratory of Food Biotechnology, b. Tianjin Key Laboratory of Refrigeration Technology, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China; 2. Henan Guoran Fengqing Fruit Industry Co., Ltd., Henan Nanyang 474550, China)

ABSTRACT: The work aims to study the effects of different low temperature domestication treatments combined with ice temperature storage on the quality of kiwifruit to provide a new technology for kiwifruit storage. The kiwifruit was stored at ice temperature (-0.5 ± 0.2) °C, rapid domestication (48 h at 4 °C) combined with ice temperature and slow domestication (24 h at 10 °C followed by 24 h at 4 °C) combined with ice temperature for 180 days, and relevant indexes of kiwifruit were measured periodically. At the end of storage, the titratable acid (TA) content of the control group was 0.733%, the vitamin C (VC) content was 20.87 mg/100 g, and the hardness was 0.692 N. In the slow domestication group, the TA content was 1.053%, the VC content was 25.945 mg/100 g, and the hardness was 1.119 N. Compared with the control group, low temperature domestication combined with ice temperature storage could reduce the rate of weight loss, cold damage and decay, inhibit the increase of soluble solids (TSS), malondialdehyde (MDA) content, lipoxygenase

收稿日期: 2023-10-07

基金项目: 国家重点研发计划 (2022YFD1600704)

*通信作者

(LOX) activity and the loss of free water, and maintain peroxidase (POD) activity. In conclusion, slow domestication is more effective than fast domestication treatments in maintaining the quality of kiwifruit stored at ice temperature and prolonging the postharvest storage freshness.

KEY WORDS: ice temperature; low temperature domestication; kiwifruit; quality; storage

猕猴桃风味优美、营养丰富, 富含维生素 C、膳食纤维和多种矿物^[1], 近年来我国猕猴桃种植规模和产量持续增长, 连续多年稳居全球首位, 在全球猕猴桃产业中占有重要地位^[2]。猕猴桃果实是呼吸跃变型水果, 在常温条件下贮藏, 容易出现失水萎缩、果肉软化和腐烂等问题, 贮藏期短, 影响销售^[3]。目前猕猴桃主要的采后保鲜方法为低温冷藏结合 1-MCP 处理。然而, 1-MCP 处理不当会造成猕猴桃后熟障碍^[4], 而且猕猴桃在低温冷藏过程中有冷害现象发生^[5]。因此, 研究适当的贮藏方法, 对保持猕猴桃采后品质、延长贮藏时间具有重要意义。

冰温贮藏指将贮藏温度降于 0℃至其冰点之间, 在保持果蔬组织细胞不冻结状态条件下, 可以更有效地抑制呼吸代谢作用, 降低衰老速率, 避免有害微生物的滋生, 延长果蔬的贮藏期^[6-7], 近年来在生鲜农产品贮藏保鲜中应用研究逐渐增多。然而果蔬在低温贮藏过程中若贮藏温度超过了自身对低温的敏感程度就易导致冷害现象发生, 影响品质^[5]。低温驯化通过在果蔬贮藏前采用一次或多次短时间降温, 可以使果蔬更好地适应低温环境, 比直接进行低温贮藏的效果更好^[8]。周玉飞等^[9]研究发现, 果蔬在经过一段时间的低温锻炼后, 可以提高抗寒性。李江阔等^[10]研究发现低温锻炼后冰温贮藏可有效降低磨盘柿乙烯释放速率的上升, 抑制了淀粉酶活性和可溶性果胶含量的升高, 保持了果实硬度。Li 等^[11]研究发现低温驯化后再冰温贮藏的皇冠梨比直接冰温的含有更高的可溶性固形物, 降低了果皮组织中 MDA 含量, 显著降低了抗氧化酶活性, 提高了果实品质。关于低温驯化结合冰温贮藏对猕猴桃品质影响的研究还未见报道。

本文通过研究不同低温驯化方式结合冰温贮藏对猕猴桃品质和生理生化变化规律的影响, 确定合适的低温驯化方法, 完善猕猴桃冰温贮藏技术, 为实际生产应用提供理论支撑和技术方法。

1 实验

1.1 材料与试剂

主要材料: “海沃德”猕猴桃, 采摘自陕西省宝鸡市岐山县永红合作社猕猴桃基地, 采摘后套泡沫网并放置于纸箱 (36 cm×25.5 cm×20.8 cm) 中, 每箱质量约为 5 kg, 即时通过德邦快递运送到实验室。

主要试剂: 三氯乙酸、三氯化铁、磷酸 (质量分数为 85%)、无水乙醇、4,7-二苯基-1, 10-菲咯啉、硫代巴比妥酸、冰醋酸、无水醋酸钠、愈创木酚、过氧化氢、聚乙烯吡咯烷酮 K30、聚乙二醇 6000、亚油酸钠、磷酸钠, 分析纯, 天津市鑫桥化工贸易有限公司。

1.2 仪器与设备

主要仪器和设备: PAL-BX/ACID1 型糖酸一体机, 日本 ATAGO 公司; TA-XT Plus 质构仪, 英国 Stable Micro System 公司; Evolution 201 型紫外分光光度仪, 美国 Thermo Scientific 公司; Check Point III 便携式顶空分析仪, 丹麦 Ametek Mocon 公司; ES-100 乙烯气体分析仪, 意大利 FCE 公司; CR-400 色彩色差计, 日本帕尼卡美能达公司; H1850R 台式高速冷冻离心机, 长沙湘仪离心机仪器有限公司; NMI20-025V-1 核磁共振分析仪, 上海纽迈电子科技有限公司; 冰温实验中试库, 日本大青工业株式会社; GQB-700KB 温度梯度箱, 天津捷盛东辉保鲜科技有限公司; MX100 数据采集器, 上海松导加热传感器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 试材的处理

选取大小、色泽一致, 无任何机械损伤和病虫害、成熟度统一的果实进行分装, 装入打孔的 PE 保鲜自封袋 (240 mm×170 mm) 后封口。每袋装 4 个果实, 然后按照表 1 中 3 种方式处理, 每个处理共 300 个果实。

表 1 低温驯化结合冰温贮藏猕猴桃处理条件
Tab.1 Conditions of kiwifruit treatments for low temperature domestication combined with ice temperature storage

实验组名称	实验条件
对照	冰温库 (-0.5±0.2)℃贮藏
快速驯化	4℃冷库 48 h→冰温库 (-0.5±0.2)℃贮藏
慢速驯化	10℃冷库 24 h→4℃冷库 24 h→冰温库 (-0.5±0.2)℃贮藏

贮藏期间每 20 d 取鲜样测定相关指标, 同时留样保存于-80℃冰箱中用于后续指标的测定。贮藏结束统计腐烂率和冷害率。

1.3.2 果实温度的测定

将 T 型热电偶与 MX100 数据采集器连接, 利用二级标准温度计对热电偶进行标定。将 2 根热电偶分别插入猕猴桃中心处和二分之一半径处, 每隔 5 s 测定各组驯化期间果肉和果心温度, 并绘制成猕猴桃果实温度随时间的变化曲线。

1.3.3 指标测定

1) 冰点测定。根据尚海涛等^[12]的方法稍作改进。将温湿度记录仪的探头插入猕猴桃中心部位, 放到-30℃的冰箱中, 记录每 10 s 的温度变化, 猕猴桃完全冻结后导出温度记录仪中的数据, 根据温度曲线确定猕猴桃冰点。

2) 冷害率。参考 Dantas 等^[13]的方法。贮藏结束时, 随机取 50 个果实, 置于 20℃、5 d, 用于冷害率的统计, 冷害果实判断依据为皮下木质化, 果肉水渍化、木质化状态。每个处理重复 3 次, 根据式 (1) 计算。

$$A = \frac{G_1}{G_2} \times 100\% \quad (1)$$

式中: A 为冷害率, %; G_1 为冷害果实数; G_2 为总果实数量。

3) 腐烂率。参考刘娜等^[14]的方法。贮藏结束时随机选取 50 个果实, 记录腐烂果数。腐烂果实判断依据为流水, 腐化, 出现霉变状态。每个处理重复 3 次, 根据式 (2) 计算。

$$L = \frac{C_1}{C_2} \times 100\% \quad (2)$$

式中: L 为腐烂率; C_1 为腐烂果实数; C_2 为总果实数。

4) TSS 和 TA 含量。采用糖酸一体机测定, 猕猴桃果实去皮后沿赤道方向横切, 取约 5 g 果肉, 挤压成汁。可滴定酸需要将果汁稀释 50 倍, 滴入糖酸一体机, 测量 3 次, 将测量读数的平均值作为该样品的 TSS 和 TA 含量。

5) 维生素 C。参考曹森等^[15]的方法稍加修改, 取 1 g 猕猴桃果肉样品加入 5 mL 质量浓度为 50 g/L 的 TCA 溶液。在冰浴下研磨, 定容后过滤。取 1.0 mL 提取液于试管中, 加入 1.0 mL TCA, 使用紫外分光光度计测定波长 532 nm 处的吸光度值。

6) 质量损失率。采用称量法^[16]测定, 利用电子天平测量并按式 (3) 计算。

$$M = \frac{m_0 - m_i}{m_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中: M 为质量损失率, %; m_0 为猕猴桃初始质量, g; m_i 为贮藏第 i 天时的猕猴桃质量, g。

7) 硬度。参考 Burdon 等^[17]的方法稍加修改, 利用质构仪对果肉赤道位置进行硬度测定。使用 P2 探头 (直径为 2 mm) 测量硬度, 样品被穿透至 10 mm,

单位为 N。

8) 丙二醛。参考曹建康等^[16]的硫代巴比妥酸方法进行测定。

9) POD 活性和 LOX 活性。参考曹建康等^[16]的方法, 分别用愈创木酚法和亚油酸钠法。

10) 水分分布。采用低场核磁共振测定, 利用 CPMG 序列拟合反演得到猕猴桃果肉弛豫时间 T_2 数据。取 2 g 猕猴桃样品, 放置于核磁管中心。采样点数为 1 440 464, 采样频率为 200 kHz, 回波个数为 18 000, 累加次数为 4 次, 重复时间为 100 ms。

1.4 数据处理

采用 SPSS 16.0 软件进行方差分析, 用 Duncan 法进行多重比较, $P < 0.05$ 表示存在显著性差异。

2 结果与分析

2.1 猕猴桃冰点和冰温贮藏温度的确定

测试果实冰点是确定其冰温贮藏温度的基础条件, 猕猴桃冻结过程中的温度变化曲线如图 1 所示。温度变化曲线表明猕猴桃的冰点为-2.1℃, 考虑到冰温库的温差和温度安全余度, 本研究猕猴桃冰温贮藏条件为温度设定-0.5℃, 实际贮藏温度 (-0.5±0.2)℃。

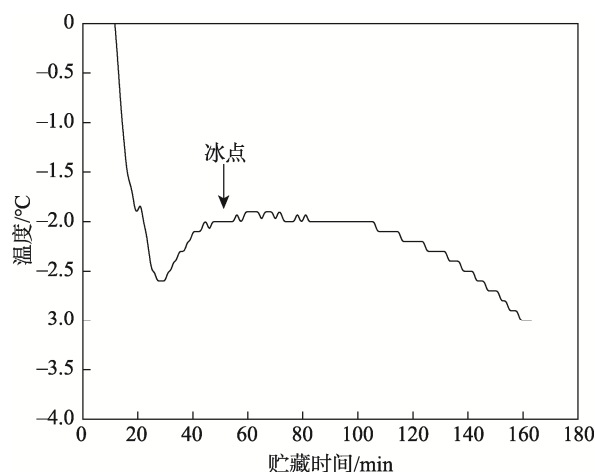


图1 猕猴桃温度变化曲线
Fig.1 Temperature change profile of kiwifruit

2.2 猕猴桃驯化过程中果实温度变化

低温驯化期间及冰温贮藏初期降温过程中, 猕猴桃果心和果肉温度随时间的变化如图 2 所示。驯化过程中猕猴桃果实温度不断降低且各部分降温速率不同, 果肉部分降温较快, 果心部分降温较慢。从放入冷库开始测量, 对照组经过 6.5 h、快速驯化组 67.4 h、慢速驯化组 67.5 h 后, 猕猴桃果心温度降至-0.5℃, 达到冰温贮藏温度。

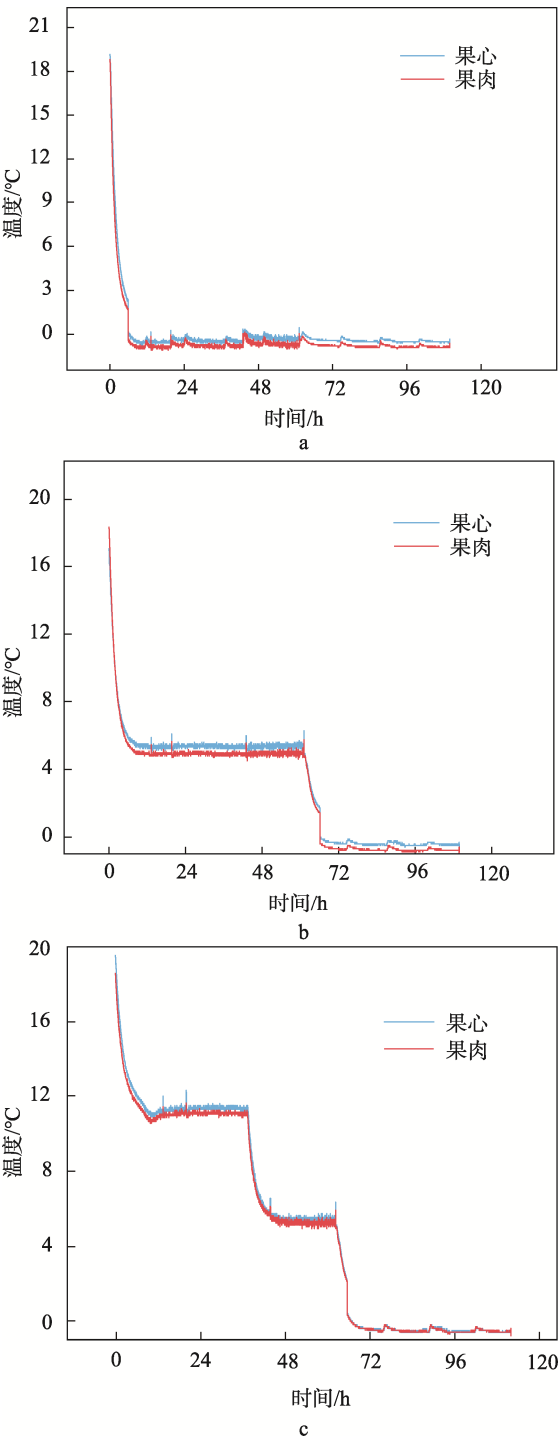


图 2 在对照组 (a)、快速驯化 (b) 和慢速驯化 (c) 过程中猕猴桃各部位温度的变化
Fig.2 Temperature changes in various parts of control (a), fast domestication (b) and slow domestication (c) kiwifruit

2.3 猕猴桃冷害率和腐烂率的变化

冷害率能够反映冷藏果实冷害现象的程度。冰温贮藏 80 d 时, 猕猴桃开始出现冷害。如图 3a 所示, 贮藏 180 d 时, 慢速驯化组猕猴桃果实冷害率为 28.67%, 显著低于对照组 (39.67%) 和快速驯化组 (33.33%) ($P<0.05$)。如图 3b 所示, 贮藏 180 d 时,

对照组猕猴桃果实的腐烂率为 22.33%, 而快速驯化和慢速驯化组的腐烂率分别为 17.33%和 12.24%。可以看出, 低温驯化使果实适应低温环境, 提高抗寒性, 有效降低冰温贮藏猕猴桃冷害和腐烂的发生, 且慢速低温驯化优于快速低温驯化。

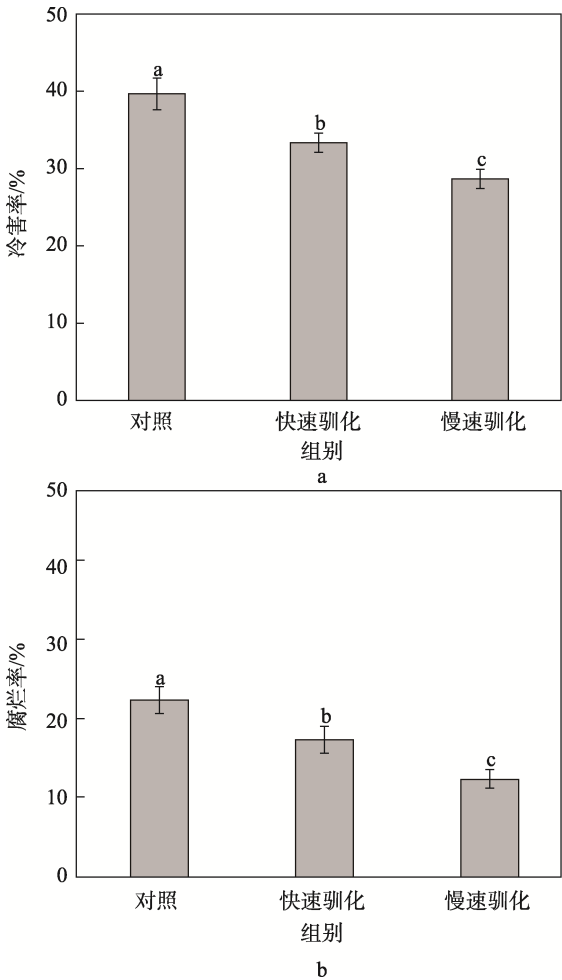


图 3 贮藏 180 d 时猕猴桃果实的冷害率 (a) 和腐烂率 (b)
Fig.3 Cold injury (a) and decay (b) of kiwifruit after 180 days of storage
注: 同一贮藏时间, 不同组别小写字母不同表示差异显著 ($P<0.05$), 下同。

2.4 猕猴桃 TSS 和 TA 含量的变化

TSS 和 TA 含量是评价猕猴桃风味和食用品质的关键指标, 二者作为呼吸基质, 也是合成 ATP 的主要来源^[18]。由图 4a 可知, 猕猴桃的 TSS 含量明显上升, 低温驯化组始终低于对照组。贮藏 80 d 后, 慢速驯化组的 TSS 含量显著低于对照组的 ($P<0.05$)。贮藏到第 180 天时, 对照、快速驯化和慢速驯化组的 TSS 含量分别上升了 81.86%、73.88%和 62.82%。说明随着猕猴桃的后熟, 淀粉的转化使得 TSS 含量增加, 低温驯化减缓了这种代谢作用, 抑制了 TSS 含量的升高。由图 4b 可知, 伴随着呼吸作用, TA 含量

明显下降,低温驯化组始终高于对照组。贮藏 120 d 后,慢速和快速驯化组的 TA 含量均显著高于对照组的 ($P < 0.05$)。以上结果表明低温驯化能够抑制呼吸作用,减少 TSS 和 TA 的损失。

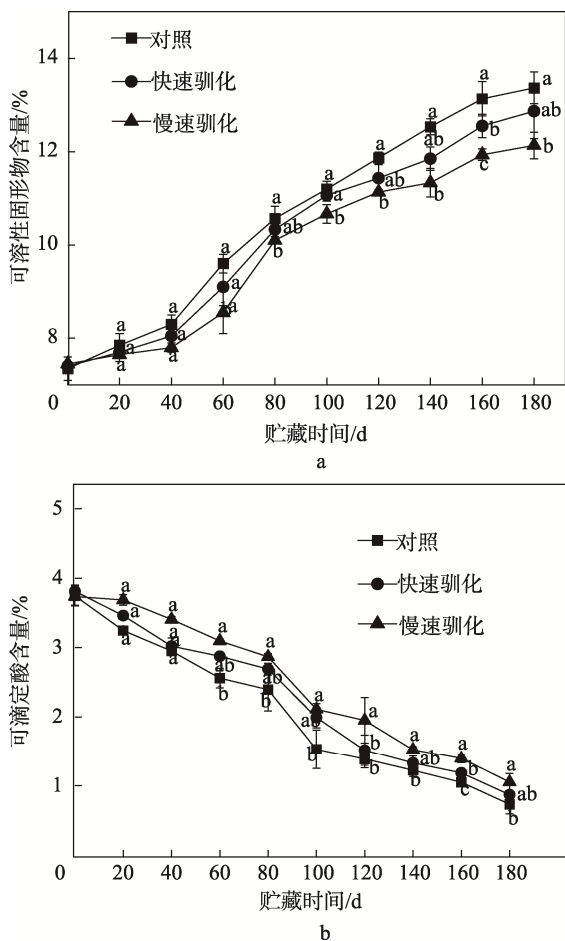


图4 猕猴桃贮藏过程中 TSS (a) 和 TA 含量 (b) 的变化
Fig.4 Soluble solids (a) and titratable acid content (b) changes of kiwifruit during storage

2.5 猕猴桃 VC 含量的变化

果实中 VC 含量与氧化应激防御和抑制膜退化有关,其减少是组织衰老的表现^[19]。如图 5 所示,猕猴桃 VC 含量明显下降,在贮藏前 100 d 各组 VC 含量下降速度迅速,100 d 后下降的速度趋于平缓。除了第 60 天,低温驯化组的 VC 含量都显著高于对照组的 ($P < 0.05$),其中慢速驯化组 VC 含量最高。慢速驯化降低了猕猴桃体内酶反应的速率,从而减缓了 VC 的氧化分解。这与低温驯化葡萄柚有助于延缓抗坏血酸下降的结果相似^[20]。

2.6 猕猴桃质量损失率和硬度的变化

由于自身呼吸代谢消耗和蒸发作用,果实贮藏过程中会产生质量损失^[21]。猕猴桃贮藏期间质量损失率呈逐渐增加的趋势(图 6a)。对照组猕猴桃的质量损

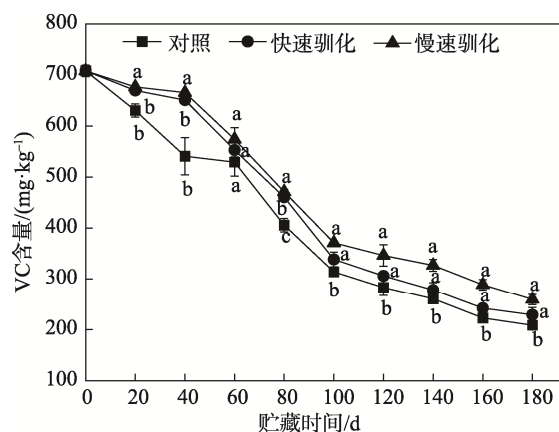


图5 低猕猴桃贮藏过程中 VC 含量的变化
Fig.5 Vitamin C content change of kiwifruit during storage

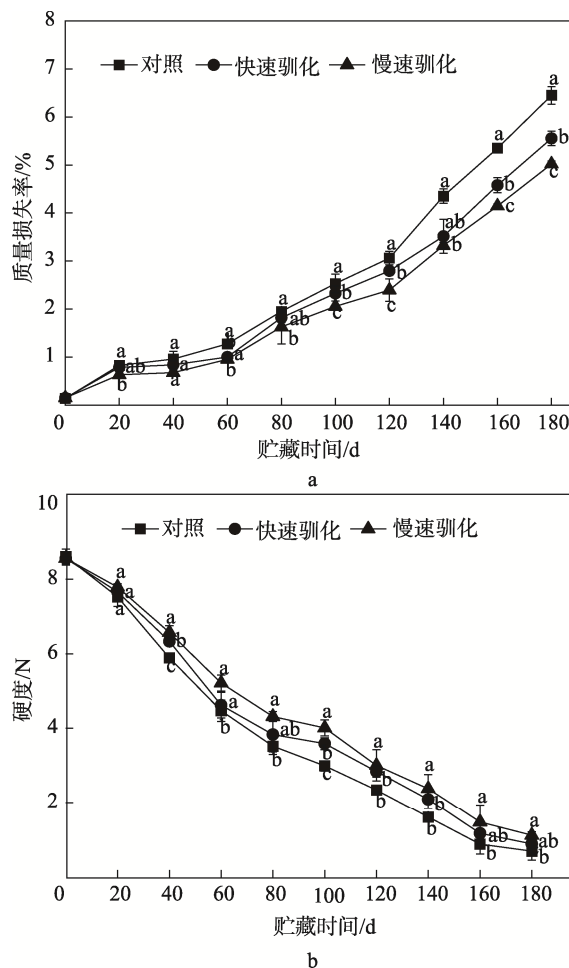


图6 猕猴桃贮藏过程中质量损失率 (a) 和硬度 (b) 的变化
Fig.6 Weight loss rate (a) and hardness (b) changes of kiwifruit during storage

失率大于低温驯化组的,且质量损失率增加的速度也大于低温驯化组。贮藏到 60 d 后,慢速驯化组与对照组差异显著 ($P < 0.05$)。可能是因为慢速驯化降低了猕猴桃的新陈代谢,减少了呼吸底物的消耗,有利于猕猴桃水分的保持。硬度指果实抗压力的强弱,

是衡量贮藏效果的重要指标^[22]。各组猕猴桃硬度变化如图 6b 所示, 随贮藏时间的增加硬度呈下降趋势, 其中对照组下降速度最快, 而低温驯化组下降缓慢。贮藏 180 d 时, 对照组、快速驯化组和慢速驯化组硬度分别下降至 0.69、0.89、1.12 N。其中慢速驯化组的硬度保持了较高水平, 相比对照组差异显著 ($P<0.05$)。说明随着猕猴桃成熟, 果胶分解, 导致果实细胞间失去结合力, 硬度下降, 慢速驯化对猕猴桃软化有更好的延缓作用。这与蔡琰等^[23]对水蜜桃的研究结果是一致的。

2.7 猕猴桃丙二醛含量和 LOX 活性的变化

逆境胁迫会破坏活性氧的平衡, 导致膜脂过氧化现象的发生, 膜脂过氧化产生的 MDA, 通常用于评估膜损伤的程度^[24]。由图 7a 可知, 猕猴桃贮藏期间 MDA 含量整体均有所增加, 其中对照组 MDA 含量上升最快, 随着贮藏时间的推移, 对照组的 MDA 含量一直高于各驯化组。80 d 后, 慢速驯化组的 MDA 含量显著低于对照组的 ($P<0.05$), 说明慢速驯化能够抑制 MDA 含量的增加, 减少细胞膜的损伤。LOX

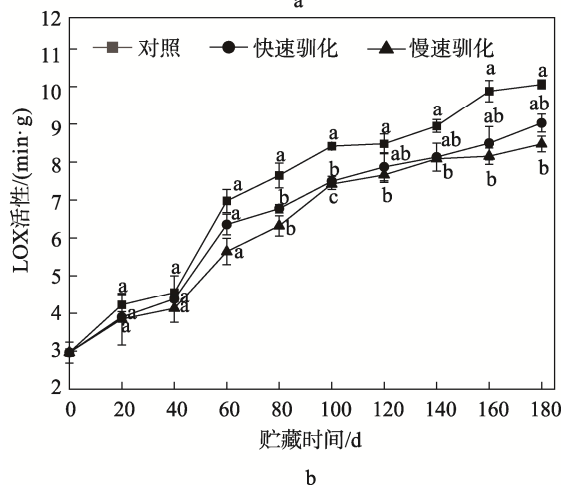
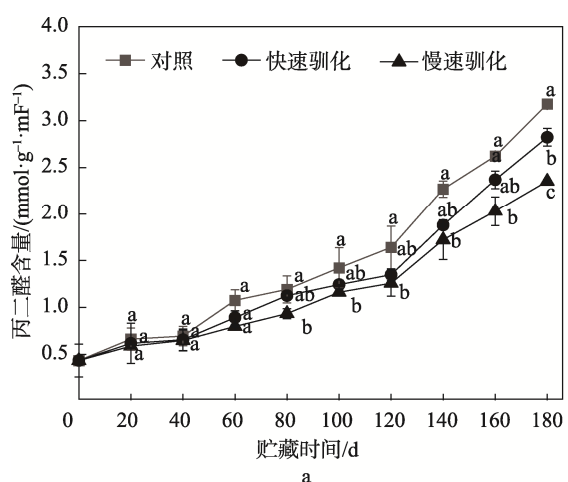


图 7 猕猴桃贮藏过程中丙二醛含量 (a) 和 LOX 活性 (b) 的变化

Fig.7 Malondialdehyde content (a) and LOX activity (b) changes of kiwifruit during storage

能够导致不饱和脂肪酸氧化, 破坏果实细胞膜完整性, 加速果实衰老^[25]。图 7b 可知, 贮藏期间, 猕猴桃 LOX 活性整体呈上升趋势, 对照组 LOX 活性始终高于低温驯化组, 且慢速驯化组低于快速驯化组。贮藏 60 d 后, 慢速驯化组与对照组存在显著性差异 ($P<0.05$), 说明慢速驯化能够有效抑制 LOX 活性的增加, 对保持细胞膜的完整性具有一定作用。

2.8 猕猴桃 POD 活性的变化

POD 是果实处于逆境胁迫时酶促防御系统的关键酶之一, 可以催化 H_2O_2 , 清除自由基, 从而提高植物的自身抗逆性^[26]。如图 8 所示, 在贮藏前 100 d 所有处理组 POD 活性呈上升趋势, 并在 100 d 达到峰值, 随后呈下降趋势, 对照组 POD 活性始终低于低温驯化组。在贮藏后期, POD 活性下降, 可能是果实衰老, 导致清除自由基的能力下降。贮藏 80 d 后, 慢速驯化组 POD 活性显著高于对照组 ($P<0.05$), 说明慢速驯化有利于 POD 活性的保持。

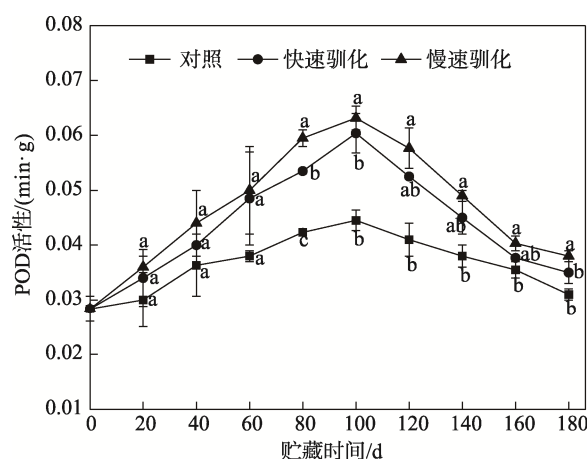


图 8 猕猴桃贮藏过程中 POD 活性的变化
Fig.8 POD activity change of kiwifruit during storage

2.9 猕猴桃水分分布的变化

如图 9 所示, 随着贮藏时间延长, 3 种贮藏条件下猕猴桃内各状态水分流动性逐渐增大, 慢速驯化组贮藏至 40 d 过程中, 结合水弛豫面积 A_{21} 整体基本保持不变, 但其他组贮藏至 40 d 过程中, 出现上升, 说明存在自由水和不易流动水向结合水的转化现象。主要原因可能是猕猴桃的细胞壁降解酶在低温胁迫下受到抑制, 减缓了果胶、糖类等物质的解聚, 各种酶的活性加速了猕猴桃进行生理代谢, 从而使结合水含量增加^[27]。不易流动水弛豫面积 A_{22} 是先升后降的趋势, 3 个处理组都在第 100 天达到峰值, 可能是因为猕猴桃果肉水分流失严重, 组织结构开始收缩, 自由水向组织内部迁移, 并与大分子基团结合引起的^[28]。此后细胞膜结构被破坏, A_{22} 迅速降低, 慢速驯化组下降最缓

慢,说明慢速驯化可以减少不易流动水的散失,维持猕猴桃正常的生理活动。自由水弛豫面积 A_{23} 表现为整体下降的趋势,慢速驯化组下降趋势相对稳定,对照组下降趋势最为迅速,这可能是因为慢速驯化组抑制了活性氧代谢,降低了自由基对膜结构的伤害,所以减少了水分的流失。随着贮藏时间的延长,膜结构的完整性被破坏,导致水分从液泡迁移到细

胞质,最终迁移到环境。因此,自由水峰面积的比例降低,而结合水峰面积比例增加。

3 讨论

低温冷藏是目前使用最广泛的果蔬保鲜方法,但贮藏温度如果超过了自身对低温的敏感程度就会引起果实代谢失调和紊乱,产生冷害现象,造成品质劣变^[29]。冷害的发生与膜脂过氧化和抗氧化酶的活性密切相关^[30]。低温胁迫会导致 LOX 活性升高,引起膜脂过氧化,导致膜脂分解,促进 MDA 积累,破坏膜结构,造成溶质渗漏,还降低 POD 等抗氧化酶的活性,最终造成冷害的出现^[31]。本实验结果表明,低温驯化在一定程度上抑制了冰温贮藏过程中猕猴桃 LOX 活性的增加,降低了 MDA 含量上升的速率,保持了 POD 活性。说明低温驯化能够有效降低冰温贮藏猕猴桃膜脂过氧化速率,保持细胞膜的完整性,提高与耐寒性有关抗氧化酶的活性,从而降低了猕猴桃的冷害率,这与逐步降温处理芒果和“徐香”猕猴桃抑制 LOX 活性和 MDA 含量,保持 POD 活性,从而减轻冷害现象的研究结果一致^[32-33]。本实验还发现低温驯化处理除了能够有效抑制猕猴桃冷害发生程度外,还对提高猕猴桃的品质有积极的作用,可以降低腐烂率,抑制 TSS 的上升,以及 TA 和 VC 含量的降低,这与低温驯化提高冷藏葡萄柚保鲜效果的研究结果相似^[20]。

冰温贮藏等冷藏技术会引起水分的迁移流失,致使细胞膨压降低,造成果实的软化^[34]。冰温贮藏前进行低温驯化可调控果蔬组织的水分状态,从而使果蔬逐步适应低温,减轻低温胁迫。在本实验中,随着贮藏期增加,各处理组猕猴桃内各状态水分流动性逐渐增大,而 A_{22} 初期上升末期下降, A_{23} 均呈下降趋势, A_{21} 均呈上升趋势。其中慢速驯化组的猕猴桃水分流失最缓慢,这可能是因为逐步降温使猕猴桃更好地适应冰温的环境,增加了组织对水分的束缚能力,从而延缓质量损失率的上升和硬度的下降。这与低温驯化处理深州蜜桃减缓水分流失的研究结果一致^[35]。从水分变化相关角度揭示低温驯化结合冰温贮藏猕猴桃保鲜的机理还需要进一步深入研究。

4 结语

与直接冰温贮藏相比,低温驯化后再结合冰温贮藏的猕猴桃,能够提升保鲜效果,更有效地保持猕猴桃品质。低温驯化结合冰温贮藏可以延缓猕猴桃硬度的降低,减少质量损失率,减缓丙二醛含量和 LOX 活性的升高,维持较高的 POD 活性,降低冷害率和腐烂率,延缓猕猴桃 TSS 含量的升高、TA 和 VC 含量的降低。猕猴桃组织中不同状态的水分子存

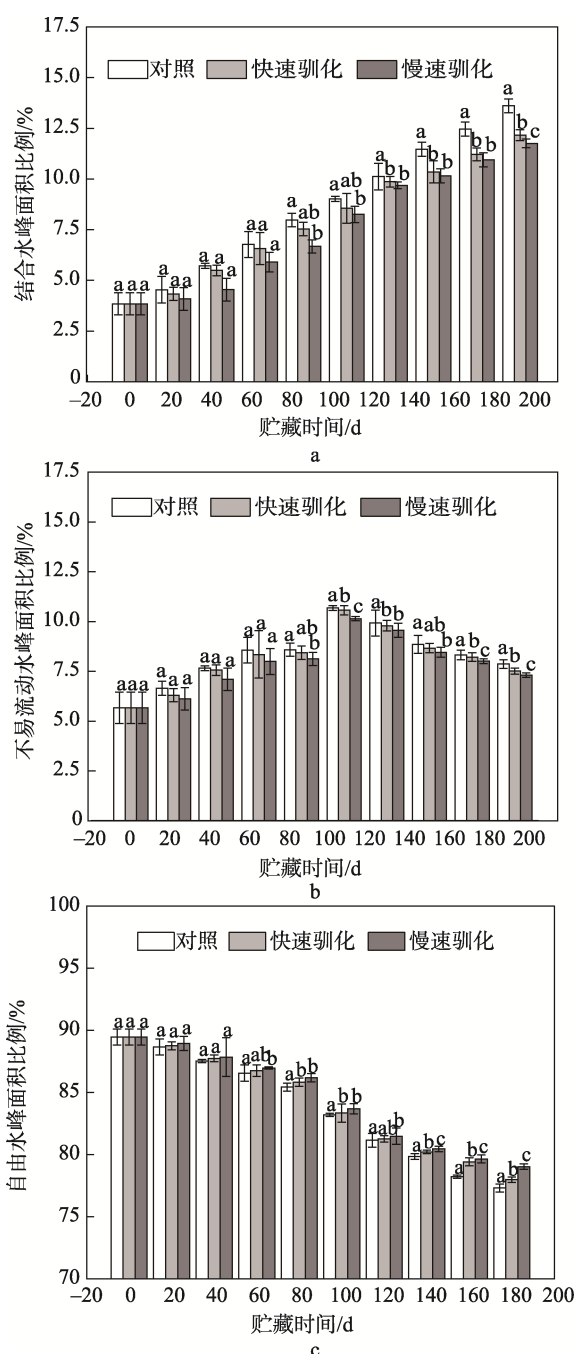


图9 不同处理组猕猴桃结合水(a)、不易流动水(b)和自由水(c)峰面积比例随贮藏时间的变化

Fig.9 Changes in peak area ratios of bound (a), immobile (b) and free (c) water with storage time in kiwifruit from different treatment groups

在相互转化现象,低温驯化后再冰温贮藏的猕猴桃各状态水分流失比直接冰温贮藏缓慢。在不同驯化方式的冰温贮藏处理组中,慢速驯化(10℃驯化24 h后再4℃驯化24 h)处理对猕猴桃各方面品质都有较好的保持,可以有效提高猕猴桃的食用价值和商品价值。

参考文献:

- [1] 熊金梁,陈爱强,刘婧,等. 温度波动对猕猴桃在4℃下货架贮藏品质的影响[J]. 包装工程, 2021, 42(19): 69-76.
XIONG J L, CHEN A Q, LIU J, et al. Effect of Temperature Fluctuation on the Quality of Kiwifruit during 4℃ Shelf Storage[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(19): 69-76.
- [2] 方金豹,钟彩虹. 新中国果树科学研究70年——猕猴桃[J]. 果树学报, 2019, 36(10): 1352-1359.
FANG J B, ZHONG C H. Fruit Scientific Research in New China in the Past 70 Years: Kiwifruit[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(10): 1352-1359.
- [3] 阚积红,贺可伦. 猕猴桃保鲜贮藏技术研究进展[J]. 中国果菜, 2019, 39(6): 23-26.
KAN J H, HE K L. Research Progress on Preservation and Storage Technology of Kiwifruit[J]. China Fruit & Vegetable, 2019, 39(6): 23-26.
- [4] 王玉萍,饶景萍,李萌,等. 1-MCP对‘徐香’猕猴桃冷藏期间冷害与果实品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(11): 93-99.
WANG Y P, RAO J P, LI M, et al. Effects of 1-MCP on Chilling Injury and Quality of 'Xuxiang' Kiwifruit during Cold Storage[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2013, 41(11): 93-99.
- [5] 郭乐音,裴哗哗,赵倩兮,等. 低温贮藏对“翠香”猕猴桃冷害和品质的影响[J]. 食品工业, 2020, 41(3): 175-179.
GUO (L /Y)Y, PEI H H, ZHAO Q X, et al. Effect of Low Temperature Storage on Chilling Injury and Quality of Postharvest "Cuixiang" Kiwifruit[J]. The Food Industry, 2020, 41(3): 175-179.
- [6] 范新光,梁畅畅,郭风军,等. 近冰温冷藏过程中果蔬采后生理品质变化的研究现状[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(18): 270-276.
FAN X G, LIANG C C, GUO F J, et al. Research Process on Postharvest Physiological Changes of Fruits and Vegetables during near Freezing Point Storage[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(18): 270-276.
- [7] 宋健飞,刘斌,吴子健,等. 冰温及冰温气调贮藏对冬枣品质的影响[J]. 制冷学报, 2016, 37(5): 70-74.
SONG J F, LIU B, WU Z J, et al. Effect of Ice Temperature and Air Controlling Ice Temperature(ACIT) on Quality of Winter Jujube[J]. Journal of Refrigeration, 2016, 37(5): 70-74.
- [8] 宋秀香,鲁晓翔,陈绍慧,等. 冰温结合低温驯化对绿芦笋贮藏品质的影响[J]. 北方园艺, 2013(1): 157-161.
SONG X X, LU X X, CHEN S H, et al. Effect of Cold Acclimation Combined with Ice-Temperature on Quality of Green Asparagus Officinalis[J]. Northern Horticulture, 2013(1): 157-161.
- [9] 周玉飞,曾长英,陈新,等. 低温驯化对木薯耐寒性形态、生理特性的影响[J]. 热带农业科学, 2011, 31(6): 31-36.
ZHOU Y F, ZENG C Y, CHEN X, et al. Effects of Cold Acclimation on Morphological, Physiological Characteristics of Cassava (Manihot Esculenta Crantz)[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2011, 31(6): 31-36.
- [10] 李江阔,梁冰,张鹏,等. 冰温结合低温驯化对磨盘柿软化生理的影响[J]. 北方园艺, 2014(3): 123-126.
LI J K, LIANG B, ZHANG P, et al. Effect of Cold Acclimation Combined with Ice-Temperature Storage on Several Softening Physiology of Mopan Persimmon[J]. Northern Horticulture, 2014(3): 123-126.
- [11] LI D, CHENG Y D, DONG Y, et al.. Effects of Low Temperature Conditioning on Fruit Quality and Peel Browning Spot in 'Huangguan' Pears during Cold Storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2017, 131: 68-73.
- [12] 尚海涛,凌建刚,朱麟,等. 葡萄冰点测定及冰温贮藏实验的研究[J]. 制冷学报, 2014, 35(5): 55-60.
SHANG H T, LING J G, ZHU L, et al. Study on the Freezing Points and Ice Temperature Storage of Grape[J]. Journal of Refrigeration, 2014, 35(5): 55-60.
- [13] DANTAS T F L D, PEREIRA L M, DINIZ M L B T, et al. Cold Damage Affects the Quality of Noni Fruits (Morinda Citrifolia L.)[J]. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 2023, 47: 1-12.
- [14] 刘娜,石小玉,顾光福,等. 不同采收期猕猴桃果实冷藏前后品质特性评价[J]. 食品与发酵工业, 2022,

- 48(11): 213-220.
- LIU N, SHI X Y, GU G F, et al. Evaluation of the Quality Characteristics of Kiwifruit in Different Harvest Time before and after Cold Storage[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(11): 213-220.
- [15] 曹森, 吉宁, 马超, 等. 1-MCP 结合哈茨木霉菌对樱桃番茄贮藏的保鲜效果[J]. 食品工业科技, 2019, 40(1): 262-268.
- CAO S, JI N, MA C, et al. Effects of 1-MCP Combined with *Trichoderma Harzianum* on Preservation of Cherry Tomato[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(1): 262-268.
- [16] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
- CAO J K, JIANG W B, ZHAO Y M. Guidance on Postharvest Physiological and Biochemical Experiments of Fruits and Vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.
- [17] BURDON J, PIDAKALA P, MARTIN P, et al. Softening of 'Hayward' kiwifruit on the Vine and in Storage: The Effects of Temperature[J]. Scientia Horticulturae, 2017, 220: 176-182.
- [18] 李艳杰, 孙先鹏, 郭康权, 等. 臭氧、保鲜剂对猕猴桃贮藏保鲜效果的比较[J]. 食品科技, 2009, 34(2): 45-48.
- LI Y J, SUN X P, GUO K Q, et al. Comparison of the Storage Effect on Kiwi Fruit between Ozone and Preservative[J]. Food Science and Technology, 2009, 34(2): 45-48.
- [19] ZHANG Y, WANG K, XIAO X, et al. Effect of 1-MCP on the Regulation Processes Involved in Ascorbate Metabolism in Kiwifruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2021, 179: 111563.
- [20] CHAUDHARY P R, JAYAPRAKASHA G K, PORAT R, et al. Low Temperature Conditioning Reduces Chilling Injury while Maintaining Quality and Certain Bioactive Compounds of 'Star Ruby' Grapefruit[J]. Food Chemistry, 2014, 153: 243-249.
- [21] LIU Y X, SANG Y Y, MA Y Y, et al. Influences of Ice-Temperature Storage on Cell Wall Metabolism and Reactive Oxygen Metabolism in Xinjiang (Diaogan) Apricot[J]. Postharvest Biology and Technology, 2021, 180: 111614.
- [22] 李圆圆, 罗安伟, 李琳, 等. 采前氯吡脞处理对‘秦美’猕猴桃贮藏期间果实硬度及细胞壁降解的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(21): 273-278.
- LI Y Y, LUO A W, LI L, et al. Effect of Preharvest 1-(2-Chloropyridin-4-Yl)-3-Phenylurea Treatment on Fruit Firmness and Cell Wall Degradation of 'Qinmei' Kiwifruit during Cold Storage[J]. Food Science, 2018, 39(21): 273-278.
- [23] 蔡琰, 余美丽, 邢宏杰, 等. 低温预贮处理对冷藏水蜜桃冷害和品质的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 334-338.
- CAI Y, YU M L, XING H J, et al. Effects of Low Temperature Conditioning on Chilling Injury and Quality of Cold-Stored Juicy Peach Fruit[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(6): 334-338.
- [24] 康慧芳, 乔勇进, 刘晨霞, 等. 气调贮藏对“徐香”猕猴桃采后保鲜效果影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(2): 279-282.
- KANG H F, QIAO Y J, LIU C X, et al. Effect of Controlled Atmosphere Storage on Postharvest Preservation of Xuxiang Kiwifruit[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(2): 279-282.
- [25] 刘璐, 鲁晓翔, 陈绍慧, 等. 低温驯化对冰温贮藏猕猴桃品质的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(5): 301-305.
- LIU L, LU X X, CHEN S H, et al. Effect of Cold Acclimation Combined with Ice-Temperature Storage on the Quality of Cherry[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(5): 301-305.
- [26] 王春红, 孟泉科, 刘兴华, 等. 1-MCP 处理对猕猴桃中抗坏血酸含量及其品质、生理的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 14(5): 134-141.
- WANG C H, MENG Q K, LIU X H, et al. Effect of 1-MCP Treatment on Ascorbic Acid Content and Its Quality, Physiological of Actinidia Chinensis[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2014, 14(5): 134-141.
- [27] 陈毅, 顾莹, 宋平, 等. 利用低场核磁共振分析蓝莓贮藏过程中水分含量及迁移变化[J]. 农业工程学报, 2022, 38(17): 321-328.
- CHEN Y, GU Y, SONG P, et al. Analysis of the Moisture Content and Migration Changes of Blueberries during Storage by Low-Field Nuclear Magnetic Resonance[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022, 38(17): 321-328.
- [28] 冯爱博, 杨光, 贺亮, 等. 低场核磁共振技术对不同

- 贮藏条件下雷竹笋水分迁移规律的研究[J]. 食品与发酵科技, 2018, 54(1): 18-23.
- FENG A B, YANG G, HE L, et al. Study on the Migration of Bamboo Shoots with Different Storage Conditions by Low-Field Magnetic Resonance Spectroscopy[J]. Food and Fermentation Sciences & Technology, 2018, 54(1): 18-23.
- [29] 于继男, 薛璐, 鲁晓翔, 等. 温度驯化对蓝莓冰温贮藏期间生理品质变化的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(22): 265-269.
- YU J N, XUE L, LU X X, et al. Effect of Cold Acclimation on Quality of Blueberry Fruits during Ice-Temperature Storage[J]. Food Science, 2014, 35(22): 265-269.
- [30] 薛锡佳, 李佩艳, 宋夏钦, 等. 草酸处理减轻术亡果采后果实冷害的机理研究[J]. 园艺学报, 2012, 39(11): 2251-2257.
- XUE X J, LI P Y, SONG X Q, et al. Mechanisms of Oxalic Acid Alleviating Chilling Injury in Harvested Mango Fruit under Low Temperature Stress[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2012, 39(11): 2251-2257.
- [31] YANG Q Z, ZHANG Z K, RAO J P, et al. Low-Temperature Conditioning Induces Chilling Tolerance in 'Hayward' Kiwifruit by Enhancing Antioxidant Enzyme Activity and Regulating Endogenous Hormones Levels[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2013, 93(15): 3691-3699.
- [32] 杨青珍, 饶景萍, 王玉萍. '徐香'猕猴桃采收后逐步降温处理对果实冷害、品质和活性氧代谢的影响[J]. 园艺学报, 2013, 40(4): 651-662.
- YANG Q Z, RAO J P, WANG Y P. Effects of Different Cooling Modes on Chilling Injury, Quality and Active Oxygen Metabolism in Harvested 'Xuxiang' Kiwifruits[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2013, 40(4): 651-662.
- [33] LI X P, ZHANG Z Q, DAI H F, et al. Effects of Low Temperature Preconditioning on Membrane-Lipid Peroxidation during Cold Storage of Mango Fruits[J]. Journal of South China Agricultural University, 2000, 21(15): 15-17.
- [34] CIRILLI M, BELLINCONTRO A, DE SANTIS D, et al. Temperature and Water Loss Affect ADH Activity and Gene Expression in Grape Berry during Postharvest Dehydration[J]. Food Chemistry, 2012, 132(1): 447-454.
- [35] 许茹楠. 深州蜜桃冰温贮藏最佳工艺及水分迁移的实验研究[D]. 天津: 天津商业大学, 2019.
- XU R N. Experimental Study on the Best Storage Technology and Water Migration of Shenzhou Peach at Ice Temperature[D]. Tianjin: Tianjin University of Commerce, 2019.