

不同预冷温度对甜樱桃果实保鲜效果的影响

彭丽, 高姗, 熊思国, 蒋旭, 姜爱丽, 陈晨

(1.大连民族大学 a.生命科学学院 b.生物技术与资源利用教育部重点实验室, 辽宁 大连 116600;
2.SGS-CSTC 通标标准技术服务有限公司(大连), 辽宁 大连 116600)

摘要: **目的** 探究不同预冷温度对采后甜樱桃果实生理品质的影响, 找出最适宜的预冷温度, 进而推动甜樱桃产业化发展。**方法** 本实验分别将采后甜樱桃分别预冷至 15、12、9、6、3、0 °C 后回温至室温, 以不进行预冷处理为对照组, 比较 6 种处理方式果实预冷和回温过程中的温度变化, 并分别测定回温后果实的色差、呼吸强度及乙烯释放量、硬度、可溶性固形物(TSS)、风味、感官评价, 总酚、类黄酮、花色苷、维生素 C(Vc)、可溶性蛋白、丙二醛(MDA)含量以及超氧阴离子产生速率(O_2^-)。**结果** 不同预冷温度均可较好地保持果实外观及风味, 能够降低甜樱桃果实呼吸强度与乙烯释放量, 抑制果实 TSS、MDA 含量和 O_2^- 产生速率的上升, 延缓甜樱桃果实硬度的下降, 从而保持甜樱桃果实的外观品质, 且有利于维持甜樱桃果实中的 Vc、可溶性蛋白和花色苷含量, 以 0 °C 预冷效果最佳, 感官评分最高。**结论** 预冷能够有效维持甜樱桃果实采后的品质, 达到增加甜樱桃果实经济价值的作用。

关键词: 甜樱桃; 预冷温度; 营养物质; 抗氧化能力

中图分类号: TB485.2 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2023)07-0104-11

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.07.012

Effects of Different Precooling Temperature on the Preservation of Sweet Cherry

PENG Li, GAO Shan, XIONG Si-guo, JIANG Xu, JIANG Ai-li, CHEN Chen

(1. a. College of Life Science b. Key Laboratory of Biotechnology and Resource Utilization of the Ministry of Education, Dalian Minzu University, Liaoning Dalian 116600, China; 2. SGS-CSTC General Standard Technical Service Co., LTD., (Dalian), Liaoning Dalian 116600, China)

ABSTRACT: The work aims to study the effect of different precooling temperature on the physiological quality of post-harvest sweet cherry and find out the most appropriate precooling temperature, so as to promote the industrial development of sweet cherry. In this experiment, the postharvest sweet cherries were precooled to 15, 12, 9, 6, 3 and 0 °C and then rewarmed to room temperature. With the sweet cherries not precooled as the control group, the temperature changes of sweet cherries treated by six methods during the process of precooling and rewarming were compared. The color difference, respiratory intensity, ethylene release, hardness, soluble solids (TSS), flavor, sensory evaluation, contents of total phenols, flavonoids, anthocyanins, vitamin C (Vc), soluble protein, Malondialdehyde (MDA) and superoxide anion production rate (O_2^-) of the cherries were measured before and after rewarming. Different precooling temperature could better maintain the appearance and flavor of cherry, reduce the respiratory intensity and ethylene release, inhibit the increase of TSS, MDA content and O_2^- production rate and delay the decrease of hardness, so as to maintain the appearance quality of sweet cherry and make for keeping the content of Vc, soluble protein and anthocyanin in sweet cherry. When the pre-

收稿日期: 2022-09-29

基金项目: 大连市科技创新基金(2020JJ27SN109); 大连民族大学 2022 年研究生创新立项项目(0103-202201)

作者简介: 彭丽(1998—), 女, 硕士生, 主攻采后生物学与技术。

通信作者: 姜爱丽(1971—), 女, 博士, 教授, 主要研究方向为采后生物学与技术。

cooling temperature was 0 °C, the effect was the best and the sensory score was the highest. Precooling can effectively maintain the postharvest quality of sweet cherry and increase the economic value of sweet cherry.

KEY WORDS: sweet cherry; precooling temperature; nutrient substance; oxidation resistance

甜樱桃 (*Prunus avium* L.) 是蔷薇科樱属植物, 是落叶果树中成熟较早的水果之一, 被称为“春果第一枝”^[1]。甜樱桃果实色泽鲜艳、酸甜可口, 而且富含营养物质如酚类化合物及生物碱、谷胱甘肽等, 具有良好的抗氧化性能, 深受人们喜爱^[2-3]。由于甜樱桃果实皮薄多汁, 采收自高温高湿季节, 采后极易脱梗、软化、腐烂变质, 极大地限制采后流通和销售, 降低其商品价值^[4-5]。

预冷是延缓果蔬衰老、保持采后品质的重要方式^[6]。研究表明, 甜樱桃采后立即预冷可有效保持其品质^[7], 但是最佳预冷温度并未明确指出, 这极大地限制了甜樱桃产业发展。研究发现草莓 0 °C 预冷后 4 °C 贮藏, 保鲜品质最好^[8], 在荔枝预冷中, 喷雾温度为 5 °C 时预冷效果最佳^[9], 果蔬采后进行预冷有利于维持果实品质已取得积极效果, 这些温度可能适合肉果类的保鲜贮藏, 但温度没有明确指出, 对甜樱桃不同温度预冷和预冷完成后回温对甜樱桃外观品质的影响未见报道。Mostafa 等^[10]发现哈密瓜采后使用 5 °C 的冷空气进行预冷只要 45 min 就能达到所需的 10 °C 贮藏温度, 而用 10 °C 和 15 °C 冷空气进行预冷时则分别需要 105 min 和 165 min。在甜樱桃果实预冷中如果无须预冷至冰温^[11]也能达到相同的保鲜效果, 这将极大地提高甜樱桃产业化发展, 且甜樱桃果实预冷完成后进行货架销售或者消费者购买后往往会出现回温, 影响甜樱桃果实的风味和口感。因此, 本文基于课题组前期研究, 以耐贮运、抗裂果能力较强、果肉脆硬的极晚熟甜樱桃品种“晚红珠”为实验材料, 将其预冷至不同温度后回温至室温, 通过测定比较甜樱桃果实回温前后的色差、呼吸强度、乙烯含量、硬度、可溶性固形物 (TSS) 含量、风味、感官评分和抗氧化能力等指标; 探讨不同预冷温度对甜樱桃果实品质的影响, 并深入测定甜樱桃果实的抗氧化指标, 以提高甜樱桃在采后预冷效率, 最大限度地保持甜樱桃果实的外观品质和营养价值, 进而推动甜樱桃的产业化发展。

1 实验

1.1 材料与试剂

主要材料: 甜樱桃采于辽宁省大连市大连金王农业专业合作社, 品种为“晚红珠”甜樱桃; 选无病虫害、机械伤、成熟度相近 (采收时硬度为 6.5 ~ 7.5 N, TSS 为 10% ~ 12%) 的果实, 采后 3 h 内运至实验室。

主要试剂: 酚酞、丙酮、乙醇、磷酸、氯化钾、聚乙烯吡咯烷酮 (PVP)、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠

等试剂均购于天津科密欧化学试剂有限公司; 邻苯二酚 (分析纯) 购于天津大茂化学试剂厂。

1.2 仪器与设备

主要仪器与设备: PL203 型电子天平, 上海 Mettler Toledo 公司; TA.XT Plus 型质构仪, 英国 Stable Micro Systems 公司; F-940 气体分析仪, 美国 Felix 公司; SX620 HS 相机, 日本 Canon 公司; CR-400 色差仪, 日本 Konica Minolta 公司; PEN 3 型电子鼻, 日本 Insent 公司; PAL-1 数显折射仪, 日本 ATAGO 公司; WS2Y-1 温湿度仪器, 北京天建华仪科技发展有限公司; KQ5200DB 数控超声波清洗器, 昆山市超声仪器公司; UV-2600 紫外分光光度计, 日本 Shimadzu 公司; TGL-20M 高速台式冷冻离心机, 湖南湘仪离心机仪器有限公司; T25 基本型高剪切分散匀浆机, 德国 IKA 工业设备公司。

1.3 方法

1.3.1 样品处理

将无病虫害、机械伤甜樱桃随机装入 14 个无盖泡沫箱中, 每个泡沫箱 1.5 kg, 每 2 箱为 1 组。将温湿度记录仪传感器探头放置在泡沫箱的果实中部, 泡沫箱放置在温度为 (0±1) °C、相对湿度为 85% 的冷库中分别预冷至 15、12、9、6、3、0 °C, 以不做预冷处理即室温放置作为对照组 (CK)。通过温湿度记录仪显示屏实时记录甜樱桃的箱内温度, 当达到设定温度时将一箱取出前扣盖封箱, 置于室温条件下, 监测箱内温湿度变化, 待箱内温度和室温达到一致时 (25 °C 左右) 开箱, 另外一箱从冷库取出后直接用于指标测定, 预冷和回温完成后对箱内甜樱桃果实随机选取 30 个 (10 个为一组重复 3 次) 进行色差、呼吸强度、乙烯释放量、硬度、TSS、电子鼻等测定, 其中对照组为甜樱桃果实运至实验室时和放置 12 h 后分别进行指标测定。

1.3.2 测定指标和方法

硬度测定选用直径为 5 mm 的圆柱形探针 TA.XT Plus 型质构仪, 以穿刺速度为 1 mm/s 进行测定, 穿刺深度为 3 mm, 取第 1 个峰的峰高表示硬度值, 单位为 N, 每个处理均随机测定 10 个果实, 且重复 3 次。

TSS 含量值使用数显折射仪对“晚红珠”甜樱桃果实的可溶性固形物 (TSS) 进行测定: 取 10 个甜樱桃果实切碎置于试管中匀浆, 测定浆液的 TSS 值, 结果以 % 表示, 重复 3 次。

色差测定使用色差仪对随机挑选的 10 个果实的亮度

(L^* 值)、红色指数(a^* 值)进行测定。 L^* 值越高表示亮度越高,褐变程度越低; a^* 值表示红绿色值越高颜色越红。

感官评价参考赵镭等^[12]的方法略做改动。采取百分制评分法(详见表1),选择经过培训的5名食品

表1 甜樱桃的感官评分
Tab.1 Sensory score of sweet cherry

感官指标	描述	评分
果皮颜色	鲜红色	9~10
	深红色	7~8
	暗红色	5~6
	表面积1/2以下变为紫黑色	3~4
	紫黑色	1~2
果皮光泽度	光亮	9~10
	略微黯淡	7~8
	黯淡	5~6
	非常黯淡	3~4
	黯淡无光	1~2
果实褐变程度	无光泽度	9~10
	表面积1/4以下褐变	7~8
	表面积1/3以下褐变	5~6
	表面积1/3以上褐变	3~4
	表面积1/2以上褐变	1~2
果柄干缩程度	果柄鲜绿,水分饱满	9~10
	果柄绿色,部分失水	7~8
	果柄干枯较严重	5~6
	果柄干枯严重	3~4
	果柄完全干枯	1~2
果实萎缩程度	饱满	9~10
	轻微萎缩	7~8
	萎缩较为严重	5~6
	萎缩严重	3~4
	完全萎缩	1~2
味道	口感香甜,较浓的樱桃味	9~10
	口感酸甜	7~8
	口感略酸	5~6
	风味很淡	3~4
	有异味	1~2
气味	果香散发浓郁诱人的香气	9~10
	果香正常	7~8
	果香较正常	5~6
	果香很淡或有异味	3~4
	发霉和酸腐的气味	1~2
质地与组织状态	果实完整,硬挺,有弹性,表面无小斑点	9~10
	果实有弹性,表面无斑点	7~8
	果实消软,表面有少量斑点	5~6
	果实软,表面出现连片的斑点	3~4
	果实软烂,表面有大片的霉斑	1~2
总体可接受度	非常喜欢	17~20
	较喜欢	13~16
	中度喜欢	9~12
	轻度反感	5~8
	非常反感	1~4

生物工程专业的学生,从甜樱桃的颜色、光泽度、果实褐变程度、果柄干缩程度、果实干枯程度、味道、气味、质地与组织状态、总体可接受度等几个方面对甜樱桃的品质进行感官评分(满分为100分)。

呼吸强度和乙烯释放量检测为将甜樱桃果实称量后放置于(550 mL)带有胶塞的密闭容器中1 h,然后使用F-950气体分析仪进行气体成分分析以计算呼吸强度和乙烯释放量。

电子鼻采用便携式PEN3型分析甜樱桃的气味特征。将10 g切碎的果实样品放在40 mL的顶空瓶中,然后加盖静置30 min。处理的纯空气用作载体气体清洁传感器阵列,使信号响应返回归零。在测量阶段,以300 mL/min的流速将顶部空间气体泵入传感器阵列,引起传感器电导的变化(电子鼻传感器代表的物质种类及性能描述见表2)。传感器响应被定义为电导 G/G_0 的比率(G_0 和 G 分别是传感器暴露于气体样品之前和之后的电导)。选择检测过程中稳定后的第58秒到第60秒的 G/G_0 值。

表2 电子鼻传感器代表的物质种类及性能描述
Tab.2 Material type and performance description represented by E-nose sensor

序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	芳香成分,苯类
2	W5S	灵敏度大,对氮氧化合物很灵敏
3	W3C	对芳香成分灵敏,氨类
4	W6S	主要对氢化物有选择性
5	W5C	短链烷烃芳香成分
6	W1S	对甲基类灵敏
7	W1W	对硫化物灵敏
8	W2S	对醇类、醛酮类灵敏
9	W2W	芳香成分,对有机硫化物灵敏
10	W3S	对长链烷烃灵敏

总酚采用Fan等^[13]福林酚法进行测定。取1 g样品,用10 mL体积分数为0.5%的乙酸与体积分数为70%的丙酮进行提取,低温下避光放置24 h,离心30 min。取0.5 mL样液,加入2 mL稀释10倍的福林酚试剂和 Na_2CO_3 溶液,于50℃水浴锅中放置5 min,测定其在760 nm处的吸光度。

类黄酮含量的测定参考Valcarcel等^[14]方法进行。上清液的制备方法与类黄酮相同,向3.5 mL上清液中加入0.25 mL $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 溶液和0.25 mL NaNO_2 溶液,静置5 min,加入1 mL浓度为1 mol/L的NaOH溶液,读取其在510 nm处的吸光值。

Vc含量采用Wang等^[15]方法稍作改动进行测定。取1 g樱桃样品,加入5 mL草酸-EDTA溶液,在低温下离心5 min,收集上清液。取0.5 mL上清液,依次

加入 0.5 mL 去离子水、2 mL 草酸-EDTA 溶液、0.5 mL 偏磷酸-乙酸溶液、1 mL 硫酸溶液和 2 mL 钼酸铵溶液后混合均匀; 在 30 °C 的水浴锅中加热 15 min, 然后取出冷却至室温; 在 760 nm 波长下测定吸光值, 重复 3 次, 取平均值, 单位为 mg/g。

可溶性蛋白质含量参考姜爱丽等^[16]方法进行测定, 即采用 Bradford 牛血清白蛋白比色法。取 2 g 样品, 加入 5 mL 蒸馏水, 于 4 °C、12 000 r/min 下离心 20 min。向 1 mL 上清液中加入 5 mL 考马斯亮蓝 G-250 溶液, 摇匀后放置 2 min, 在 595 nm 处测定吸光值, 以牛血清蛋白为标准品绘制标准曲线。

花青素含量参照 Tabakoglu 等^[17]方法稍作修改进行测定。取 1 g 样品, 加入 10 mL 乙醇溶液和 HCl 溶液($V_{乙醇}:V_{HCl}=17:3$)混合溶剂, 室温超声 10 min, 在 4 °C、13 000 r/min 下离心 15 min, 取 2 个 3 mL 上清液, 分别各加入 5 mL 浓度为 0.025 mol/L、pH 为 1.0 的氯化钾溶液和 pH 为 4.5、浓度为 0.4 mol/L 的乙酸钠溶液, 室温平衡 30 min 后, 以去离子水做空白对照, 分别测定 510 nm 和 700 nm 处吸光度值。

采用硫代巴比妥酸法测定 MDA 含量^[18], 略有改动。将果实组织用 10 mL 三氯乙酸溶液匀浆, 在 4 °C、10 000 r/min 下离心 15 min。取上清液分别在 450、532 和 600 nm 处测定吸光度。MDA 质量摩尔浓度 $=6.45 \times (A_{532} - A_{600}) - 0.56 \times A_{450}$, 单位为 $\mu\text{mol/g}$ 。

超氧阴离子产生速率(O_2^-)测定参考曹建康等^[19]的方法测定。称取甜樱桃粉末 2.0 g, 加入提取的缓冲液中, 在水浴条件下磨匀成浆, 离心取上清液, 加入 pH 为 7.8 的磷酸缓冲液以及浓盐酸羟胺钠溶液, 混匀于 25 °C 下保温 1 h 后加入 1.0 mL 浓度为 17 mmol/L 的对氨基苯磺酸钠溶液和 1.0 mL 浓度为 7 mmol/L 的 α -萘胺溶液。混匀再次保温 20 min 后, 在紫外波长为 530 nm 条件下进行吸光度测定。

1.4 数据统计分析

使用 SPSS24.0 软件进行实验数据分析, 用 LSD 法对数据进行差异显著性分析 ($P < 0.05$ 表示显著差异, $P < 0.01$ 为极显著性差异), 采用 Origin 2018 统计软件绘图。

2 结果与分析

2.1 不同预冷温度及回温过程中甜樱桃果实箱内温度的变化

温湿度传感器可以实时监测甜樱桃果实预冷和回温过程中泡沫箱内的温湿度变化, 一定程度上反映出果实的温度。由图 1a 可知, 温度越低预冷所需要的时间越长, 而不预冷的处理组果实温度始终维持在室温温度 (25 °C 左右)。甜樱桃预冷至 15、12、9、6、3、0 °C 分别需要 1.6、1.7、1.87、2.7、2.8、3.4 h, 预冷温度越低, 蓄冷时间越长、能耗越高; 而预冷完成后放置在室温条件下时, 不同预冷温度回温至室温的时间也不一样, 预冷温度越低, 回温时间越长 (图 1b), 从 15、12、9、6、3、0 °C 回温至室温分别需要 15.83、16.67、20.1、21.6、21.9、23.7 h。

2.2 不同预冷温度及回温对甜樱桃果实硬度和 TSS 的影响

硬度是衡量甜樱桃果实的成熟情况和消费者的可接受度的重要指标之一^[20]。预冷维持了甜樱桃果实的硬度, 对照组果实硬度下降速度较快, 15、12、9 °C 处理组在回温后果实硬度呈下降趋势; 而 6、3、0 °C 处理组在回温后仍能保持较高的硬度, 尤其是 0 °C 处理组回温后效果明显 (图 2a)。由此可知, 预冷处理延缓了果肉组织软化, 预冷温度越低越能延缓甜樱桃果实硬度的下降, 从而保持了甜樱桃果实较高的硬度。

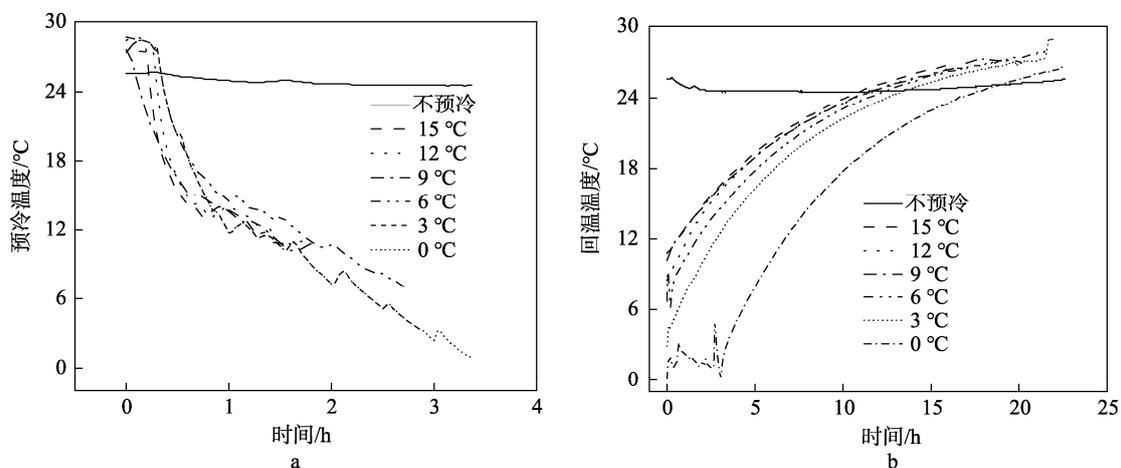


图 1 不同预冷温度及回温过程中甜樱桃果实箱内预冷和回温温度的变化
Fig.1 Changes of precooling and rewarming temperature in sweet cherry box during the process of precooling and rewarming at different temperature

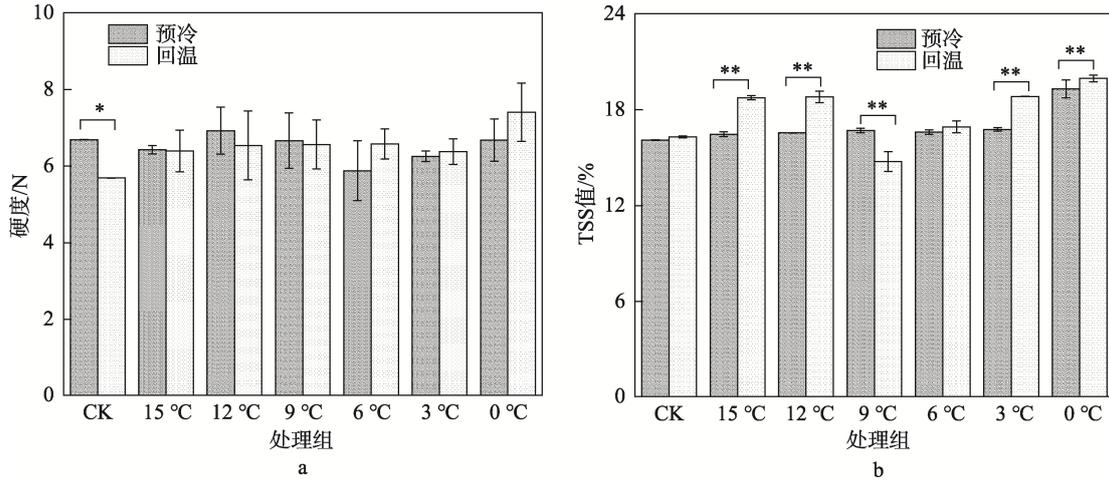


图2 不同预冷温度及回温对甜樱桃果实硬度和 TSS 的影响
 Fig.2 Effects of different precooling temperature and rewarming temperature on hardness and TSS of sweet cherry

可溶性固形物含量 (TSS) 是影响果实食用口感的重要因素之一。由图 2b 可知, 对照组的 TSS 含量始终保持在 16% 左右, 而处理组在回温后 TSS 含量基本呈现上升趋势, 其中 0 °C 回温后甜樱桃果实的 TSS 含量极显著 ($P < 0.01$) 地高于预冷完成后甜樱桃果实的, 且相较于其他预冷温度。0 °C 处理组预冷和回温后的 TSS 含量最高, 说明预冷有利于提高甜樱桃果实的 TSS 含量, 保持甜樱桃果实良好的食用口感。

2.3 不同预冷温度及回温对甜樱桃果实 L^* 和 a^* 的影响

甜樱桃果实果皮颜色直接反映其成熟度和品质^[21]。 L^* 代表甜樱桃果实在预冷和回温后的亮度, 不同温度预冷和回温后对甜樱桃亮度的影响如图 4a 所示, 预冷和回温后亮度呈现极显著差异 ($P < 0.01$)。 a^* 表示红色指数, 一定程度上反应了果实的成熟情况。由图 3b 可知, 甜樱桃果实对照组红色指数上升, 采后逐渐后熟, 而预冷处理组在回温后红色指数随着温度的降低数值下降。其中 15 °C 预冷和回温后的 a^*

变化不显著 ($P > 0.05$), 0 °C 预冷处理组在回温后可以维持较低的数值, 延缓了采后果实的后熟, 说明预冷可以维持甜樱桃果实较好的外观品质, 且预冷温度越低, 保鲜效果越好。

2.4 不同预冷温度及回温处理对甜樱桃果实呼吸强度和乙烯含量的影响

在果实采后过程中, 呼吸强度随着组织的退化和损伤而升高, 能够反映果实的生理状况^[22]。由图 4a 可知, 甜樱桃果实对照组呼吸强度最高, 而处理组在预冷完成后呼吸强度始终维持在较低值, 尤其是 12 °C 和 9 °C 处理组。但甜樱桃回温后果实的呼吸强度急剧上升, 6 °C 回温前后上升速度最明显, 呈现极显著差异 ($P < 0.01$), 而 15 °C 在预冷和回温后的呼吸强度始终维持在较低值。由图 4b 可知, 对照组果实的乙烯含量在回温后迅速上升, 而 15、12、9 °C 处理组的乙烯含量在回温前后始终维持在较低值, 其中 15、12、0 °C 处理组在回温后乙烯含量呈现降低的现象, 说明 15、12、0 °C 预冷能降低乙烯峰值, 以此延缓甜樱桃果实的后熟衰老进程。

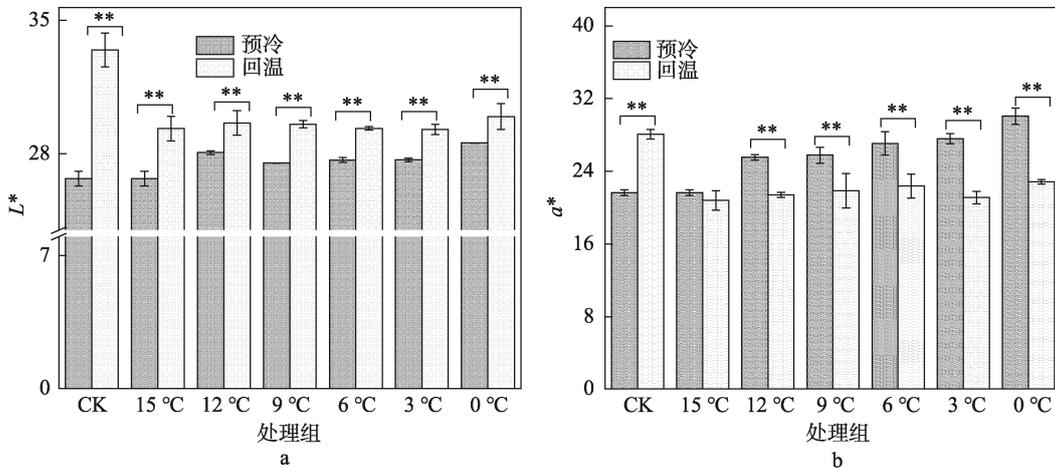


图3 不同预冷温度及回温对甜樱桃果实 L^* 和 a^* 的影响
 Fig.3 Effects of different precooling temperature and rewarming temperature on fruit L^* and a^* of sweet cherry

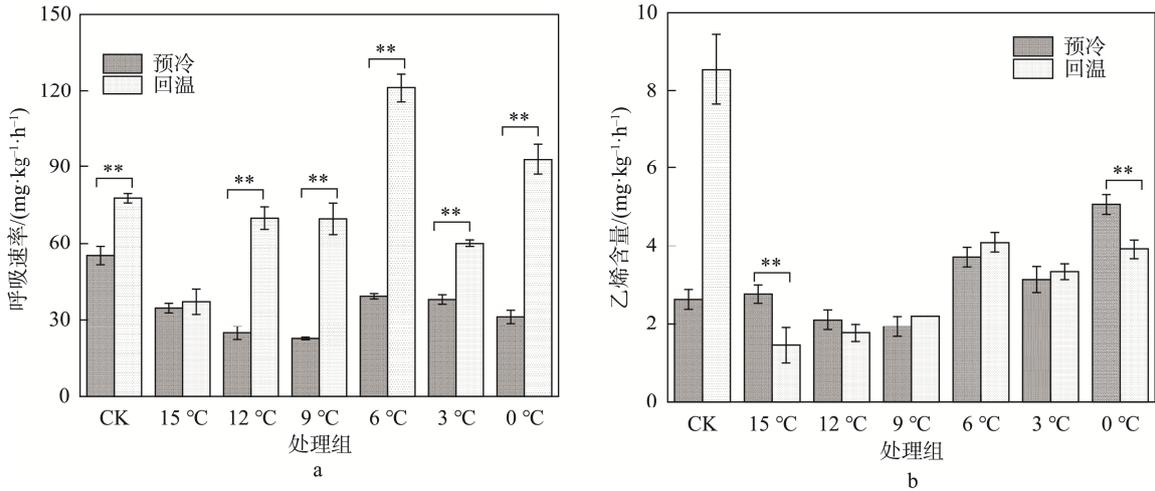


图 4 不同预冷温度及回温对甜樱桃果实呼吸强度和乙烯含量的影响
 Fig.4 Effects of different precooling temperature and rewarming temperature on respiratory intensity and ethylene content of sweet cherry

2.5 不同预冷温度及回温处理对甜樱桃果实风味物质的影响

甜樱桃果实采后由于细胞内部由于发生一定的生理变化, 导致水果中的营养物质降解, 直接影响水果风味和品质的改变。罗枫等^[23]将感官评价作为判别樱桃品质优劣的一项重要依据, 使用电子鼻对预冷至不同温度及回温至室温的处理组果实风味进行对比。由图 5a 可知, 随着预冷温度的降低, 甜樱桃果实的不良风味物质, 如硫化氢和甲烷类物质增加, 其中 15 °C 处理组的不良风味远低于其他处理组的; 而回温后 3 °C 和 0 °C 处理组的甲烷和硫化氢类不良风味物质高于其他处理组的 (图 5b), 15 °C 处理组的不良风味物质始终较其他处理组小。综上说明预冷对甜樱

桃果实的风味物质有影响。

2.6 不同预冷温度及回温处理对甜樱桃果实感官品质的影响

新鲜水果的外观品质能够直接影响消费者的购买欲望^[24], 不同预冷温度对甜樱桃果实感官品质的影响见图 6。感官评价从甜樱桃果实的颜色、光泽度、果实褐变程度、果柄干缩程度、质地与组织状态和总体可接受度等方面综合评分。由图 6 可知, 对照组果实放置一段时间后感官评分呈现极显著差异 ($P<0.01$), 处理组预冷和回温后感官评分的差别较小, 0 °C 处理组预冷完成和回温后感官评分最高, 说明 0 °C 处理组有利于维持甜樱桃的口感, 更受大家喜爱。

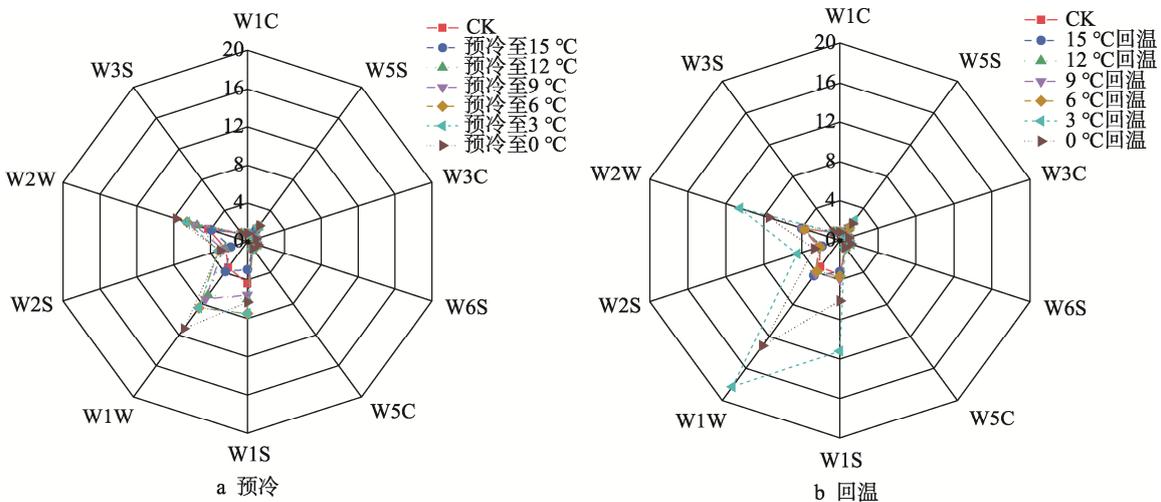


图 5 不同预冷温度及回温对甜樱桃果实风味预冷后和回温的影响
 Fig.5 Effects of different precooling temperature and rewarming temperature on flavor of sweet cherry after precooling and rewarming

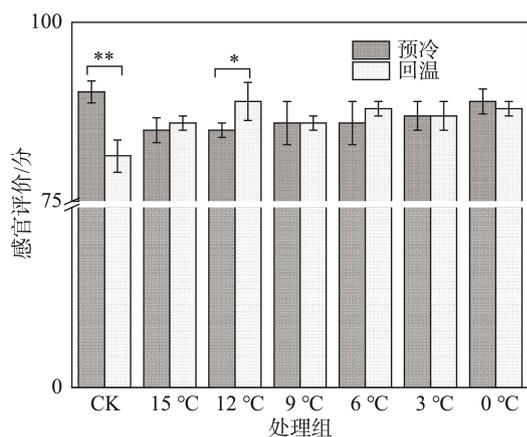
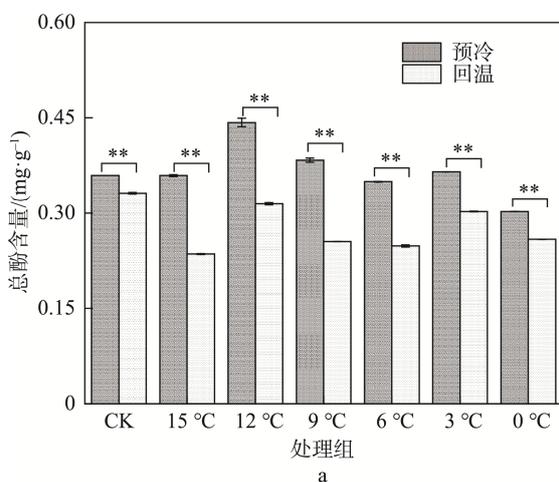


图6 不同预冷温度及回温对甜樱桃果实感官品质的影响

Fig.6 Effects of different precooling temperature and rewarming temperature on sensory quality of sweet cherry



2.7 不同预冷温度及回温处理对甜樱桃果实总酚和类黄酮含量的影响

植物中多酚类物质含量对甜樱桃果实的风味品质具有重要影响,可以作为衡量樱桃果实风味品质的主要指标^[25]。甜樱桃中的生物活性化合物包括酚类和黄酮类化合物,前期研究表明其变化与甜樱桃果实的成熟度有关。由图 7a 可知,预冷后的甜樱桃果实总酚含量高于回温后,且 12 °C 的总酚含量高于其他预冷温度,在回温后仍能保持较高的总酚含量。由图 7b 可知,12 °C 预冷处理组甜樱桃果实类黄酮含量最高,对照组随着时间推移果实类黄酮含量降低,处理组回温后的类黄酮含量普遍高于预冷完成后的。其中预冷至 12 °C 的处理组回温前后仍能保持较高的类黄酮含量,说明甜樱桃果实预冷至 12 °C 有利于提高其酚类物质含量,延缓果实衰老,提高抗氧化能力。

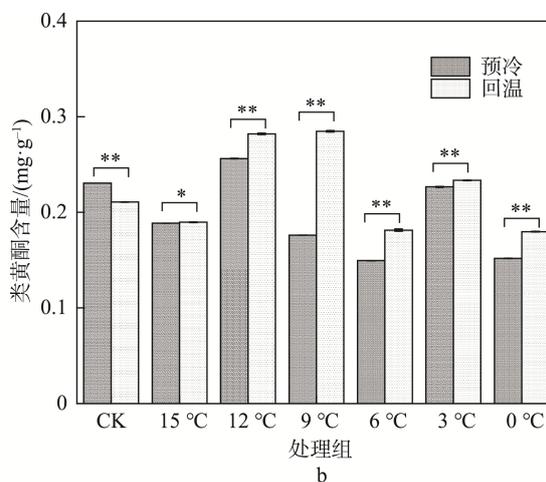


图7 不同预冷温度及回温对甜樱桃果实总酚和类黄酮的影响

Fig.7 Effects of different precooling temperature and rewarming temperature on total phenols and flavonoids of sweet cherry

2.8 不同预冷温度及回温处理对甜樱桃果实 Vc、可溶性蛋白和花色苷含量的影响

由图 8a 可以看出,甜樱桃果实随着预冷温度的降低其 Vc 含量上升,其中 0 °C 处理组的 Vc 含量最高,而回温后的 Vc 含量极显著 ($P < 0.01$) 下降,0 °C 处理组可以维持甜樱桃果实 Vc 含量。由图 8a 可以看出,对照组果实可溶性蛋白含量随着时间的推移急剧下降,而处理组受预冷温度的影响差别不大,其中预冷至 0 °C 的可溶性蛋白含量高于其他预冷温度的。花青素是自然界中广泛存在的一种多酚类聚合物,具有很强的抗氧化能力,花青素含量和分布主要影响甜樱桃的果皮颜色,而花青素的积累与果实品质和成熟度紧密相关。由图 8c 可知,甜樱桃果实中的花青素含量在预冷至 3 °C 时最高,但是回温后花色苷含量极显著 ($P < 0.01$) 降低,而预冷至 12 °C 和 0 °C 处理组的

甜樱桃果实在回温后呈现上升趋势。

果实的营养物质含量是影响消费者选择甜樱桃的重要指标,果实采后随着成熟衰老和营养物质的损耗,会严重影响果实的口感和风味。结果表明,甜樱桃果实预冷可以显著延缓果实营养物质含量的损耗,减少营养流失,预冷完成后的甜樱桃果实营养物质含量高于回温至室温的,且预冷至 0 °C 可以较好地维持甜樱桃果实的营养品质。在日常生活中可以将甜樱桃果实进行预冷后再食用,可以很好地增加其风味品质。

2.9 不同预冷温度及回温处理对甜樱桃果实 MDA 含量和 O_2^- 的影响

果实采后随着衰老容易引发细胞膜脂质过氧化,加剧内部细胞的破损,从而导致组织体内的自由基代谢失衡,使得大量的活性氧积累^[26]。MDA 含量总体随着预冷温度的下降而上升(图 9a),而预冷至 0 °C

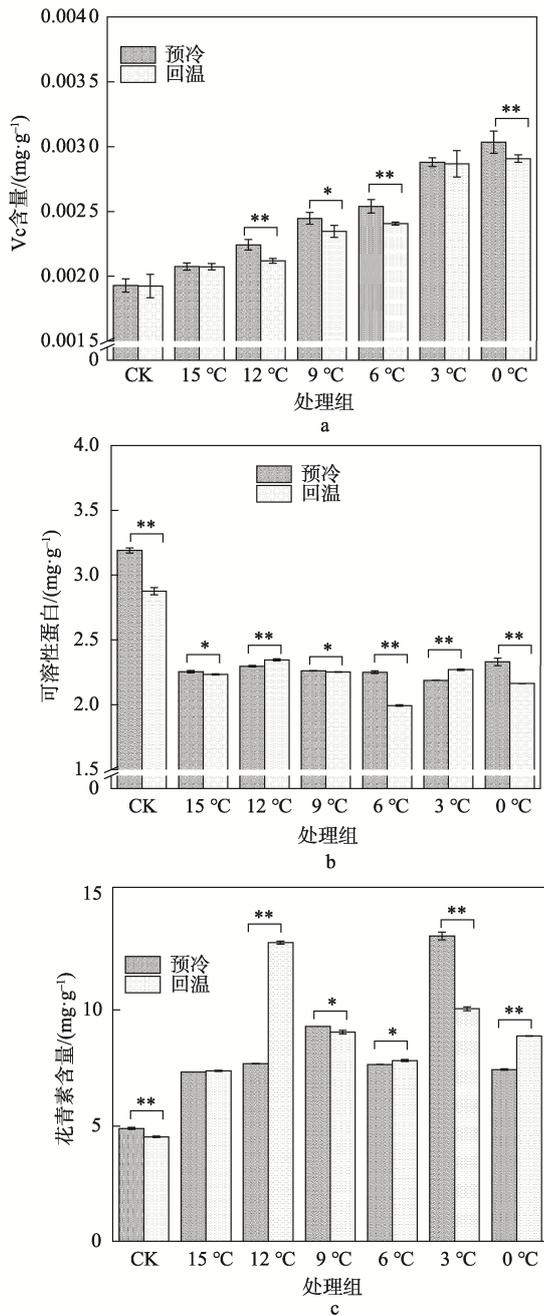


图 8 不同预冷温度及回温对甜樱桃果实 Vc、可溶性蛋白和花青素含量的影响
Fig.8 Effects of different precooling temperature and rewarming temperature on the contents of Vc, soluble protein and anthocyanin in sweet cherry

时 MDA 含量最低, 说明预冷至 0 °C 可以有效抑制 MDA 的积累, 但是在甜樱桃果实回温至室温后 MDA 含量显著 ($P < 0.01$) 上升, 回温至室温不能很好地保持细胞膜的完整性及膜透性。结果表明预冷至 0 °C 处理在一定程度上可以防止甜樱桃氧化损伤的发生。Wang 等^[15]研究也发现类似结果, 预冷处理对果实中 MDA 的积累有明显地抑制作用, 可以有效减少甜樱桃果实氧化损伤的发生。由图 9b 可知, O₂⁻在预冷和

回温后变化较大, 其中预冷至 9、6 和 3 °C 的 O₂⁻显著低于回温后的, 而 15 °C 的处理组在回温前后变化不显著 ($P > 0.05$); 0 °C 处理组甜樱桃果实在回温后 O₂⁻呈现下降趋势, 说明预冷至 0 °C 有利于维持甜樱桃果实的细胞膜完整性, 延缓了果实衰老。

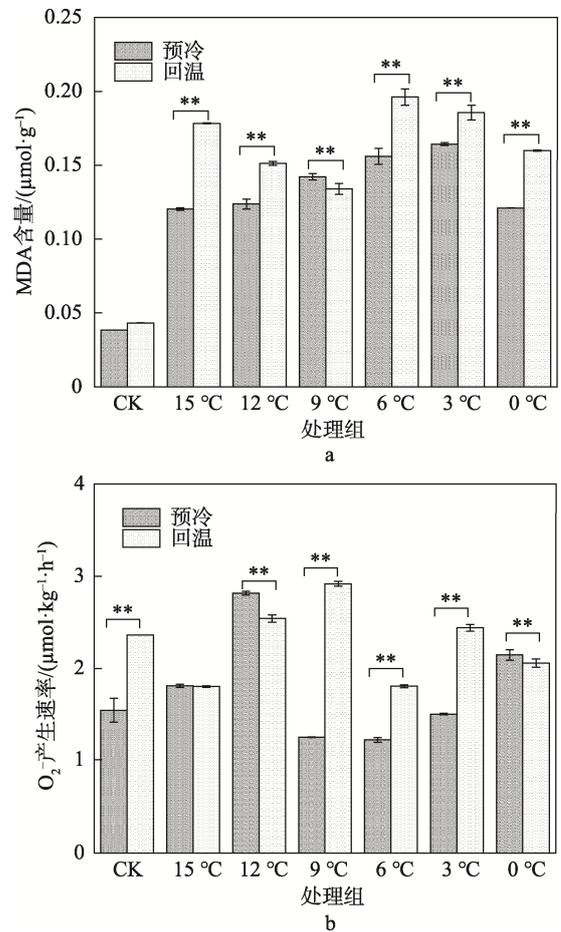


图 9 不同预冷温度及回温对甜樱桃果实 MDA 和 O₂⁻ 产生速率的影响
Fig.9 Effects of different precooling temperature and rewarming temperature on MDA and O₂⁻ production rate of sweet cherry

3 讨论

果蔬采后存在大量的田间热, 以及呼吸作用是果蔬采后生命活动中重要的生理过程, 消耗果实中大量的有机物质, 这都会造成贮藏和运输期间果实品质的降低^[27]。采后进行预冷可有效维持果蔬流通及贮藏品质, 从而减少损耗, 是果蔬采后维持品质的重要环节^[28]。甜樱桃采收多在高温高湿季节, 又由于甜樱桃属于非呼吸跃变型果实, 在采后及贮藏期间呼吸代谢增强, 有机物质消耗分解, 易引起甜樱桃丧失风味; 使得可溶性蛋白及 Vc 含量均呈下降趋势, 营养价值降低。甜樱桃果实果肉中含有丰富的酚类物质、蛋白质、花色苷和 Vc 等营养物质。通过本研究可知, 预冷能有

效保持甜樱桃果实的品质, 预冷的保鲜效果要优于不预冷的^[29], 甜樱桃果实采后预冷是通过冷激的方法, 诱发甜樱桃自身的抗性, 以提高甜樱桃的保鲜效果和抗逆性能, 且预冷至 0 °C 的效果最好, 保持了果实较高的硬度和 TSS 的含量(图 2)。预冷能使甜樱桃保持较高的硬度, 可能是预冷产生的冷应激诱导 Ca^{2+} 进入细胞, 作为细胞中的信使诱导果实产生抗性从而增强细胞壁功能^[30], 且增加了甜樱桃果实的风味和口感(图 5 和图 6), 延缓了果实 V_c 含量的下降和花青素的积累(图 3 和图 8), 这与王宝刚等^[31]的研究结果相似。0 °C 预冷甜樱桃果实品质最佳, 生活中购买甜樱桃后尽量放置于冷藏室预冷后品尝口感最佳, 且有利于维持甜樱桃果实的外观品质。

果蔬采后在成熟和衰老进程中依然进行各种生理生化代谢, 其中会产生活性氧等副产物, 随着活性氧的不断产生易造成组织代谢失衡, 使细胞质膜系统受到损伤^[32]。甜樱桃果实的成熟和衰老过程实质上是细胞膜脂过氧化引发细胞膜透性增加, MDA 是细胞膜脂过氧化的副产物, 一定程度上能够反映氧化胁迫的程度和膜结构的完整性^[33]。如图 9 所示, 预冷至 0 °C 处理的甜樱桃的 MDA 含量低于其他预冷温度的, 其效果优于预冷至 15、12、9、6、3 °C 处理组的, 这可能是预冷至 0 °C 处理更有效地抑制了细胞膜脂过氧化, 保护了甜樱桃果实的膜完整性和稳定性, 避免细胞受损。

4 结语

研究不同预冷温度及回温至室温对甜樱桃果实的温度、色差、呼吸强度、乙烯含量、感官评价、总酚、类黄酮、花色苷、 V_c 、可溶性蛋白、MDA 含量和 O_2^- 等指标的影响。可以得出: 预冷比不预冷更能维持甜樱桃果实的外观品质, 可以一定程度上延缓甜樱桃果实的成熟软化, 且预冷至不同温度及回温至室温对甜樱桃果实的保鲜效果有明显区别。

综上所述, 甜樱桃果实预冷均能有效抑制甜樱桃果实采后后熟软化, 能达到增加甜樱桃果实经济价值的作用。其中 0 °C 预冷保鲜效果最好, 且回温后仍能保持良好的外观品质。

参考文献:

[1] 焦中高, 刘杰超, 王思新. 甜樱桃采后生理与贮藏保鲜[J]. 果树学报, 2003, 20(6): 498-502.
JIAO Zhong-gao, LIU Jie-chao, WANG Si-xin. Advances of Research on Postharvest Physiology and Storage Technology of Sweet Cherry[J]. Journal of Fruit Science, 2003, 20(6): 498-502.

[2] 杨艳芬. 大樱桃采后生理与贮藏保鲜技术研究进展

[J]. 北方园艺, 2009(11): 122-124.
YANG Yan-fen. Research Advances in Postharvest Physiology and Storage Technology of Cherry[J]. Northern Horticulture, 2009(11): 122-124.

[3] 梁惜雯, 徐冬颖, 陈晨, 等. 草酸、水杨酸、茉莉酸甲酯处理对甜樱桃采后贮藏品质的影响[J]. 包装工程, 2022, 43(7): 18-25.
LIANG Xi-wen, XU Dong-ying, CHEN Chen, et al. Effects of Oxalic Acid, Salicylic Acid and Methyl Jasmonate on Postharvest Storage Quality of Sweet Cherry[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(7): 18-25.

[4] KIRAKOSYAN A, SEYMOUR E M, NOON K R, et al. Interactions of Antioxidants Isolated from Tart Cherry (*Prunus Cerasus*) Fruits[J]. Food Chemistry, 2010, 122(1): 78-83.

[5] 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进展[J]. 保鲜与加工, 2009, 9(6): 7-10.
SHI Jun-feng, XUE Meng-lin, WANG Chun-sheng, et al. Research Status and Development of Post-Harvest Physiology Characteristics and Storage Techniques of Sweet Cherry[J]. Storage and Process, 2009, 9(6): 7-10.

[6] SARRON E, COCHET N, GADONNA-WIDEHEM P. Effects of Aqueous Ozone on *Pseudomonas Syringae* Viability and Ice Nucleating Activity[J]. Process Biochemistry, 2013, 48: 1004-1009.

[7] 魏然, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 冷激处理在甜樱桃采后保鲜中的应用及展望[J]. 现代园艺, 2019, 42(23): 6-8.
WEI Ran, HU Wen-zhong, JIANG Ai-li, et al. Application and Prospect of Cold Shock Treatment in Postharvest Preservation of Sweet Cherry[J]. Xiandai Horticulture, 2019, 42(23): 6-8.

[8] JI E P, HYE M K, SEUNG J H. Changes in Marketability of Strawberry 'Maehyang' for Export as Affected by Harvest Time of the Day and Temperature of Precooling and Storage[J]. Protected Horticulture and Plant Factory, 2020, 29(2): 153-160.

[9] CHEN M L, LV E L, GAN L. Experimental Optimization Of Litchi Spray Pre-Cooling Process Parameters[J]. Materials Science, 2020(2): 6-8.

[10] MOSTAFA M A, EISSA A, HASSAN A. Monitoring of Change in Cantaloupe Fruit Quality Under Pre-Cooling and Storage Treatments[J]. Environmental Science Journal of Food Processing and Technology, 2015, 6(12): 2-6.

[11] 任杰, 张素丽, 冷平, 等. 不同处理对甜樱桃近生物冰点贮藏效果研究[J]. 中国农业大学学报, 2009, 14(2): 75-80.

- REN Jie, ZHANG Su-li, LENG Ping, et al. Effects of Different Treatments on Controlled Biological Freezing-Point Storage of Sweet Cherries[J]. Journal of China Agricultural University, 2009, 14(2): 75-80.
- [12] 赵镛, 刘文, 汪厚银. 食品感官评价指标体系建立的一般原则与方法[J]. 中国食品学报, 2008, 8(3): 121-124.
- ZHAO Lei, LIU Wen, WANG Hou-yin. General Guidance and Method for Establishing Index System of Food Sensory Evaluation[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2008, 8(3): 121-124.
- [13] FAN L L, SHI J Y, ZUO J H, et al. Methyl Jasmonate Delays Postharvest Ripening and Senescence in The Non-Climacteric Eggplant (*Solanum melongena* L.) Fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 120: 76-83.
- [14] VALCARCEL J, REILLY K, GAFFNEY M. Antioxidant Activity, Total Phenolic and Total Flavonoid Content in Sixty Varieties of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Grown in Ireland[J]. Potato Research, 2015, 58(3): 221-244.
- [15] WANG Q, DING T, ZUO J H, et al. Amelioration of Postharvest Chilling Injury in Sweet Pepper by Glycine Betaine[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 112: 114-120.
- [16] 姜爱丽, 胡文忠, 孟宪军, 等. 外源水杨酸处理对采后蓝莓果实苯丙烷代谢的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(6): 334-337
- JIANG Ai-li, HU Wen-zhong, MENG Xian-jun, et al. Effects of Exogenous Salicylic Acid Treatment on Phenylpropanoid Metabolic System of Postharvest Blueberry Fruits[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(6): 334-337
- [17] TABAKOGLU N, KARACA H. Effects of Ozone-Enriched Storage Atmosphere on Postharvest Quality of Black Mulberry Fruits (*Morus nigra* L.)[J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 9(2): 276-281.
- [18] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 164-167.
- LI He-sheng. Principles and Techniques of Plant Physiological Biochemical Experiment[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 164-167.
- [19] 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 Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Guidance on Postharvest Physiological and Biochemical Experiments of Fruits and Vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.
- [20] 彭丽, 孙兴盛, 梁惜雯, 等. 不同浓度 1-MCP 熏蒸处理对“龙成 2 号”软枣猕猴桃品质的影响[J]. 包装工程, 2022, 43(5): 68-75.
- PENG Li, SUN Xing-sheng, LIANG Xi-wen, et al. Effects of Different Concentrations of 1-MCP Fumigation on the Quality of "Longcheng No.2" Soft Date Kiwifruit[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(5): 68-75.
- [21] GONCALVES B, SILVA A P, MOUTINHO-PEREIRA J, et al. Effect of Ripeness and Postharvest Storage on the Evolution of Colour and Anthocyanins in Cherries (*Prunus Avium* L.) [J]. Food Chemistry, 2007, 103(3): 976-984.
- [22] GARDE-CERDÁN T, PORTU J, LÓPEZ R, et al. Effect of Methyl Jasmonate Application to Grapevine Leaves on Grape Amino Acid Content[J]. Food Chemistry, 2016, 203: 536-539.
- [23] 罗枫, 鲁晓翔, 张鹏, 等. 砂蜜豆樱桃货架期品质及挥发性物质的分析[J]. 现代食品科技, 2016, 32(2): 235-245.
- LUO Feng, LU Xiao-xiang, ZHANG Peng, et al. Analysis of Shelf-Life Quality and Volatile Substances of *Prunus Persica*[J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(2): 235-245.
- [24] WU Y, DENG Y, LI Y F. Changes in Enzyme Activities in Abscission Zone and Berry Drop of 'Kyoho' Grapes under High O₂ or CO₂ Atmospheric Storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(1): 175-179.
- [25] 王贤萍, 段泽敏, 戴桂林, 等. 甜樱桃主要栽培品种多酚含量的测定与品质分析[J]. 中国农学通报, 2011, 27(13): 173-176.
- WANG Xian-ping, DUAN Ze-min, DAI Gui-lin, et al. Polyphenol Quantitative Analysis and Quality Evaluated in Fruit of Sweet Cherry Cultivars[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(13): 173-176.
- [26] 李燕, 刘贵珊, 何建国, 等. 预冷方式对长枣保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(23): 261-268.
- LI Yan, LIU Gui-shan, HE Jian-guo, et al. Effect of Precooling Treatments on Postharvest Preservation of 'Lingwu Long' Jujube[J]. Food Science, 2022, 43(23): 261-268.
- [27] YAN J, SONG Y, LI J, et al. Forced-Air Precooling Treatment Enhanced Antioxidant Capacities of Apricots[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2018, 42(1).
- [28] POONLARP P. Improving Shelf Life, Maintaining Quality, and Delaying Microbial Growth of Broccoli in

- Supply Chain Using Commercial Vacuum Cooling and Package Icing[J]. *Horticulturae*, 2021, 7(11): 506-506.
- [29] 王宝刚, 侯玉茹, 李文生, 等. 自动自发气调箱贮藏对甜樱桃品质及抗氧化酶的影响[J]. *农业机械学报*, 2013, 44(1): 137-141
- WANG Bao-gang, HOU Yu-ru, LI Wen-sheng, et al. Effects of Auto-MA Box on Qualities and Antioxidative Enzymes in Sweet Cherry Fruit during Storage[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013, 44(1): 137-141
- [30] GU S T, DONG Y X, ZHOU F H, et al. Cold Shock Treatment Maintains Quality and Induces Relative Expression of Cold Shock Domain Protein (CSDPs) in Postharvest Sweet Cherry[J]. *Scientia Horticulturae*, 2020(262): 109058.
- [31] 王宝刚, 李文生, 侯玉茹, 等. 常温运输后甜樱桃不同温度贮藏品质变化研究[J]. *包装工程*, 2015, 36(9): 28-32.
- WANG Bao-gang, LI Wen-sheng, HOU Yu-ru, et al. Study on Storage Quality Changes of Sweet Cherry at Different Temperatures after Normal Temperature Transportation[J]. *Packaging Engineering*, 2015, 36(9): 28-32.
- [32] YANG Zhen-feng, CAO Shi-feng, SU Xin-guo, et al. Respiratory Activity and Mitochondrial Membrane Associated with Fruit Senescence in Postharvest Peaches in Response to UV-C Treatment[J]. *Food Chemistry*, 2014, 161: 16-21.
- [33] LIU K, YUAN C, CHEN Y, et al. Combined Effects of Ascorbic Acid and Chitosan on the Quality Maintenance and Shelf Life of Plums[J]. *Scientia Horticulturae*, 2014, 176(11): 45-53.

责任编辑: 曾钰婵