

冰温贮藏及出库方式对欧李保鲜效果的影响

The effect of ice storage and delivery method on the fresh-keeping effect of plum

李静仪¹ 王增利¹ 昌萍¹ 刘欢² 王福英³

LI Jing-yi¹ WANG Zeng-li¹ CHANG Ping¹ LIU Huan² WANG Fu-ying³

(1. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083; 2. 北京农业信息技术研究中心,

北京 100097; 3. 北京市庄户人欧李产销专业合作社, 北京 101203)

(1. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing

100083, China; 2. Beijing Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097,

China; 3. Beijing Ou Li Production and Marketing Cooperative, Beijing 101203, China)

摘要:以农大七号欧李为试材,通过对不同贮藏条件(冰温 $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、冷藏 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$)下果实品质和生理生化指标的变化规律进行分析,探讨冰温贮藏对欧李果实的贮藏保鲜效果。分别测定了贮藏过程中欧李的生化指标、老化程度和抗氧化能力;同时对冰温贮藏后的欧李采用 4 种出库方式,探究其对冰温贮藏欧李营养成分的影响。试验结果表明:与 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷藏相比,冰温贮藏可以显著抑制欧李果实的呼吸速率和果实细胞膜透性的增加,延缓呼吸高峰和丙二醛的积累;有效减少果实失重率和果柄褐变率,维持果实硬度、提高好果率;显著抑制多酚氧化酶和过氧化物酶的活性,保持较高的超氧化物歧化酶活性。在不同出库方式的比较中,间接出库至 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 能保持较稳定的可滴定酸含量和较高水平的维生素 C、黄酮和总酚等营养物质。研究结果表明冰温贮藏更有利于果实品质的保持,最适宜的出库条件为间接出库至 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

关键词:冰温贮藏;保鲜效果;欧李;贮藏品质;出库方式

Abstract: “Nongda No.7” plum was used as the test material, and the changes of fruit quality and physiological and biochemical indexes under different storage conditions ($-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $4\text{ }^{\circ}\text{C}$) were analyzed to explore the effect of ice temperature storage on plum fruit storage and preservation effect. The biochemical indexes, aging degree and anti-oxidation ability of plum were explored during storage. Meanwhile, four types of delivery methods were adopted for the plums stored at ice temperature. By comparing the titratable acid, V_C , flavonoids, and total phenol contents of plums after being shipped out of the warehouse, the

nutrient components of plums stored at ice temperature were explored. The experiment results showed that, compared with cold-storage, ice-storage could significantly inhibit the increase of the respiration rate and fruit cell membrane permeability of plum fruit and delay the peak of respiration and the accumulation of malondialdehyde. Moreover, ice-storage could effectively reduce fruit weight loss and stalk browning, maintain fruit firmness, increase the rate of good fruit, significantly inhibit polyphenol oxidase activities and peroxidase, and maintain high superoxide dismutase activity. Comparing different delivery methods, indirect delivery to $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ could maintain a relatively stable titratable acid content and a higher level of nutrients, such as V_C , flavonoids and total phenols. Research shows that ice-storage is more conducive than cold-storage to the maintenance of fruit quality, and the most suitable storage condition is indirect storage to $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Keywords: ice-storage; freshness preservation effect; plum; storage quality; delivery method

欧李,又称钙果,主要分布在中国的北方地区。欧李香气浓郁,果味偏酸,风味独特且营养物质丰富,因其矿物质含量丰富,尤其是钙的含量非常高因而得名^[1-2]。欧李的成熟期集中在 7—9 月,这时期的气温较高,采后若贮藏不当,果实容易受到微生物的侵染而腐败变质^[3],在常温条件下贮藏的欧李,其果实 6 d 后开始严重失水萎蔫、表皮皱缩,贮藏 8 d 后硬度明显降低,最长只可贮藏 10 d^[4]。此外,欧李在贮藏过程中会进行呼吸作用、水分蒸发、酶解反应等一些复杂的新陈代谢活动,再加上其水分含量高,易碰伤破皮,造成汁液流失、软化的现象^[5],这些都极大地影响了欧李的经济价值。

在欧李贮藏方面,常采用 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冷藏方式。这种传

作者简介:李静仪,女,中国农业大学在读硕士研究生。

通信作者:王增利(1968—),男,中国农业大学副教授,硕士。

E-mail: wangzengli@cau.edu.cn

收稿日期:2021-03-13

统的冷藏方式虽然可以在一定程度上延长欧李的货架期,但其效果有限。此外,经过 4℃ 冷藏的水果在恢复室温后,原来的色泽和风味都发生了改变^[6-7]。张海芳^[8]通过探究贮藏温度对内蒙古“大欧李”品质的影响,发现贮藏温度越低,欧李的保鲜效果越好,而且在冰温条件下,果实的细胞组织不会受到伤害。冰温贮藏是指一种将食品贮藏在 0℃ 以下、其生物冰点以上的温区范围的技术。冰温贮藏是低温冷藏技术的延续,是一种在不冻结食品物料的前提下,利用尽可能低的温度,最大限度地抑制贮藏物料和物料内外微生物的呼吸强度及酶活性,从而抑制水果的生理代谢活动,延缓其衰老腐败进程的贮藏方法^[9]。作为一种新型贮藏方式,冰温贮藏已在蜜桃^[10]、冬枣^[11]、山楂^[12]、莲雾^[13]、葡萄^[14]、黄花梨^[15]、荔枝^[16]等相关研究中取得了良好的效果。

出库是水果由贮藏转向销售的关键环节,已有研究证明,缓慢升温的出库方式可以使冬枣^[17]、樱桃^[18]和蓝莓^[19]等水果保持更高的可滴定酸含量,减缓维生素(V_C)的损失,降低腐烂率,延长水果的货架期。课题组拟以农大七号欧李为试材,研究冰温贮藏、传统冷藏对欧李果实贮藏过程中生理生化和品质指标的变化规律,以及不同的出库方式对欧李的主要营养成分的影响。通过比较这两种贮藏条件下果实的各项指标参数和 4 种出库方式对欧李营养成分的影响,研究冰温贮藏欧李方案的可行性,以期对欧李的冰温贮藏保鲜技术和配套技术提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

欧李:农大七号,挑选着色面积在 20%~40%、果径大小为 1.5~1.8 cm、无病虫害和机械伤的果实,采摘时用剪刀将其带果柄剪下,严防碰伤,分装于两个泡沫箱,立即运回实验室,将部分表面带有泥土的果实擦拭干净,北京市平谷区南宅庄村欧李产销专业合作社;

硫代巴比妥酸:生化试剂,国药集团化学试剂有限公司;

磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、三氯乙酸:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

愈创木酚、儿茶酚:分析纯,北京百奥莱博科技有限公司;

邻苯三酚:分析纯,北京中生瑞泰科技有限公司。

1.1.2 仪器与设备

果实硬度计:GY-1 型,上海甘坛仪器有限公司;

分析天平:梅特勒 ML 型,赛多利斯科技(北京)仪器有限公司;

电导仪:DDS-307 型,上海雷磁仪器有限公司;

数显恒温水浴锅:HH-2 型,常州澳华仪器有限公司;

紫外可见分光光度计:UV2600A 型,尤尼柯(上海)仪器有限公司;

果蔬呼吸测量仪:Tlyon-1022 型,成都图拉杨科技有限公司;

冷冻离心机:Sigma 3K15 型,德国 Sigma 离心机有限公司。

1.2 方法

1.2.1 果实预处理 挑选后的果实在(10±1)℃条件下预冷 12 h 去除田间热,再在(0.0±0.5)℃条件下预冷 12 h。样品分为 3 组,每组 6 盒,每盒 300 g,样品放入 PE 保鲜盒中,分别置于(4.0±0.5)℃和(-0.5±0.5)℃冰箱中贮藏 30 d,期间每隔 5 d 取样测定各项生理和品质指标,每个处理重复 3 次。

1.2.2 果实的出库处理 取出在(-0.5±0.5)℃冰箱中贮藏 15 d 后的欧李果实,分别进行以下 4 种不同方式的处理:于 4℃ 冰箱放置 24 h,再于 10℃ 保鲜柜放置 24 h,最后转移至 25℃ 常温货架区(J-25℃);于 4℃ 冰箱放置 24 h,再转移至 10℃ 保鲜柜放置 24 h(J-10℃);直接放置于 25℃ 常温货架区(Z-25℃);直接放置于 10℃ 保鲜柜(Z-10℃)。每隔 2 d 取样测定果实各项指标,每个处理重复 3 次。

1.2.3 欧李果实冰点的测定 选用冻结法^[20-21]对欧李果实的冰点温度进行测量。选取 100 g 待测欧李果实,去核后用打浆机打浆,吸取 10.0 mL 浆液置于 15 mL 试管中,注意不要使浆液内出现气泡;将温度计的探头插于浆液中心位置,深度约液面下 5~6 cm 处,注意温度计的探头不要碰壁;将固定好的试管置于(-10±2)℃低温冷阱中,同时记录欧李浆液的温度变化。平行测量 3 次,取平均值,据此绘制欧李果实的冰点曲线图,并确定果实的冰点。

1.2.4 果实硬度、呼吸强度及好果率的测定

(1) 硬度:采用 GY-1 硬度计。

(2) 呼吸强度:采用果蔬呼吸测量仪。

(3) 好果率:参照文献^[22]。

1.2.5 丙二醛(MDA)含量和相对细胞膜通透性的测定

(1) 丙二醛含量:硫代巴比妥酸法^[23]。

(2) 相对细胞膜通透性:采用电导仪^[24]。

1.2.6 失重率和果柄褐变率的测定

$$a = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

a ——失重率,%;

m_1 ——贮前质量,g;

m_2 ——贮后质量,g。

$$b = \frac{c_1}{c_2} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

b ——果柄褐变率, %;

c_1 ——褐变果柄果数;

c_2 ——总果数。

1.2.7 可滴定酸与 V_C 含量的测定

(1) 可滴定酸含量:参照 GB/T 12456—2008, 采用酸碱滴定法。

(2) V_C 含量:采用钼蓝比色法^[25]。

1.2.8 总酚、总黄酮含量及抗氧化能力的测定

(1) 总酚含量:采用福林酚比色法^[26], 以没食子酸作为标准物质。

(2) 总黄酮含量:采用分光光度法^[27], 以芦丁作为标准物质。

(3) 抗氧化能力:抗氧化能力的测定体系包括多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)和超氧化物歧化酶(SOD)活力的测定。PPO 活性的测定采用儿茶酚比色法^[28]; POD 活性的测定采用愈创木酚法^[29]; SOD 活性的测定采用邻苯三酚自氧化法^[30]。

1.2.9 数据处理 每个指标设置 3 组平行试验, 所有数据利用 Origin 8.0 软件进行整理绘图。数据之间的差异显著性分析采用 IBM SPSS statistics 20 软件进行处理。其中 $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 欧李果实冰点的测定

由图 1 可知, 欧李的温度先随时间的延长快速下降, 之后出现过冷现象, 随后温度回升至 -1.07°C , 并在一段时间内保持不变, 此温度即为欧李的冰点温度^[31]。为了避免温度过低发生冻害^[32], 将欧李的冰温贮藏温度设定为 -0.5°C 。

2.2 贮藏温度对欧李果实生化指标的影响

2.2.1 对欧李硬度及呼吸强度的影响 控制贮藏过程中果实的呼吸强度是延长水果保鲜期的重要措施^[33]。由图 2 可知, 贮藏期间, 不同贮藏温度下的欧李均出现了

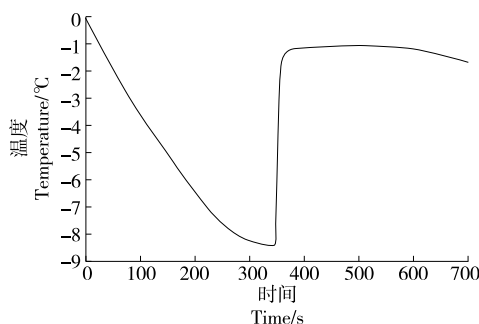


图 1 欧李的冻结曲线

Figure 1 The freezing point curve of plum

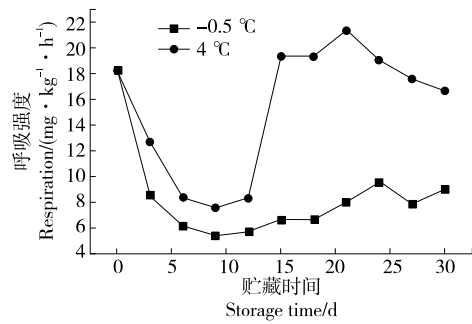


图 2 贮藏温度对欧李贮藏期间呼吸强度的影响

Figure 2 Effect of storage temperature on respiration of plum

呼吸高峰, 但呼吸高峰的峰值和出现的时间不同, 4°C 贮藏的呼吸强度在第 21 天达到峰值, 而冰温贮藏的峰值在第 24 天出现, 并且冰温贮藏的呼吸高峰显著 ($P < 0.05$) 低于 4°C 贮藏的。结果表明, 冰温贮藏能显著 ($P < 0.05$) 抑制欧李果实在贮藏期间的呼吸速率, 延缓呼吸高峰, 起到较好的采后保鲜作用。

如图 3 所示, 两个贮藏组的硬度随时间的延长均有不同程度的下降, 其中冰温组下降速率较慢且始终保持在 4°C 冷藏组之上。贮藏第 15 天, 4°C 冷藏组和冰温组的硬度分别为 $4.17, 7.60 \text{ kg/cm}^2$, 分别为新鲜样品硬度 (13 kg/cm^2) 的 32.1% 和 58.5%。这可能是因为果实内多聚半乳糖醛酶促进可溶性果胶含量的上升, 进而加快果实的萎蔫软化进程, 而低温能够抑制多聚半乳糖醛酶的活性^[34]。结果表明, 冰温贮藏可较好地保持欧李果实的硬度, 减缓果实软化。

2.2.2 对欧李丙二醛含量和细胞膜通透性的影响 丙二醛(MDA)含量与植物的衰老程度有关。通过 MDA 含量来分析膜脂氧化的程度, 可进一步分析膜系统受损程度以及植物的抗逆性^[35]。通常 MDA 含量越高, 说明植物膜受损程度越大, 样品新鲜度越差。由图 4 可知, 随着贮藏时间的延长, 两个贮藏组的 MDA 含量均都有所增加, 且时间越长, MDA 含量积累越多。冰温贮藏组的

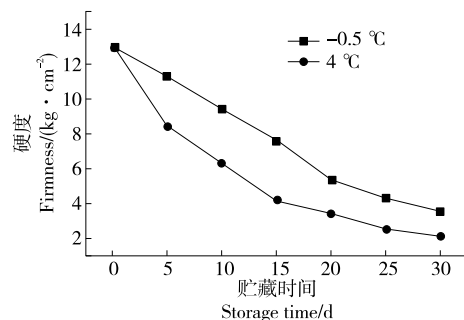


图 3 贮藏温度对欧李贮藏期间硬度的影响

Figure 3 Effect of storage temperature on firmness of plum

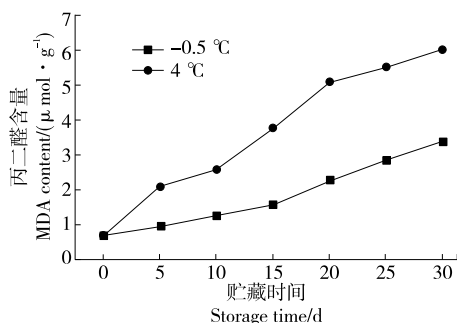


图 4 贮藏温度对欧李贮藏期间丙二醛含量的影响

Figure 4 Effect of storage temperature on MDA content of plum

MDA 含量始终处于最低水平($P<0.05$),且上升幅度较小。贮藏第 30 天,冰温组的 MDA 含量($3.38 \mu\text{mol/g}$)远低于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷藏组($6.02 \mu\text{mol/g}$)的,说明冰温贮藏对丙二醛的生成速率有较好的抑制作用。

水果的细胞膜通透性可以反映其果肉组织变化和损伤程度^[36]。细胞膜通透性越高,水果的损伤程度越大,衰老越快。由图 5 可知,在不同温度下贮藏的欧李,其细胞膜通透性均呈上升趋势,且温度越低,上升速率越慢,并存在显著性差异($P<0.05$)。因此低温可以有效抑制细胞膜通透性的上升,保护细胞膜结构,而冰温贮藏和保护细胞膜完整性,延缓果实衰败方面的效果更为明显。

2.2.3 对欧李老化指标的影响 由图 6 可知,贮藏时间越长,失重率越大;贮藏温度越低,失重速率越小。贮藏第 30 天,冰温组和 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷藏组的失重率分别为 19.8% 和 30.6%,冰温组对失重率的抑制效果要优于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷藏组($P<0.05$)。从果柄褐变率来看(图 7),冰温组对果柄褐变的抑制效果也要明显优于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷藏组($P<0.05$)。

欧李好果率的下降主要表现为果实失水严重,导致果实萎缩变形,从而失去食用价值。如图 8 所示,贮藏第 5 天,冰温组好果率为 96.7%,而 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷藏组的好果率仅为 89%,差异显著($P<0.05$)。随着时间的延长,两组的好果率持续下降,但冰温组的好果率保持效果明显优于

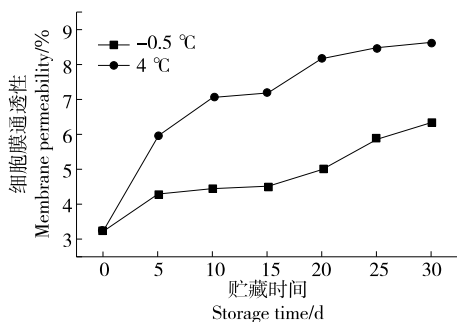


图 5 贮藏温度对欧李贮藏期间细胞膜通透性的影响

Figure 5 Effect of storage temperature on membrane permeability of plum

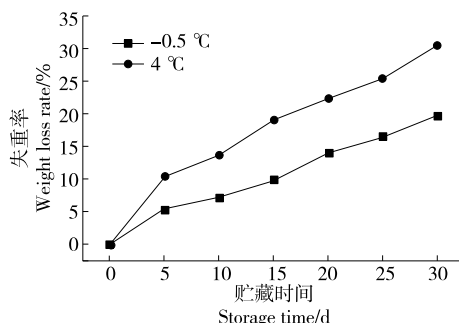


图 6 贮藏温度对欧李贮藏期间失重率的影响

Figure 6 Effect of storage temperature on weight loss rate of plum

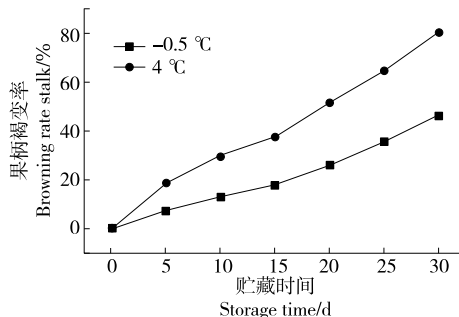


图 7 贮藏温度对欧李贮藏期间果柄褐变率的影响

Figure 7 Effect of storage temperature on browning rate of stalk of plum

$4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷藏组。贮藏第 15 天, $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷藏组的好果率为 61.2%,而且此时部分欧李果实已出现明显萎蔫现象;冰温组的好果率为 82.2%,果实的饱满度和坚硬度均有所下降,个别果实有轻微皱皮现象。贮藏第 30 天,冰温组果实也出现明显的萎蔫,其好果率为 59.1%,与 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 组贮藏第 15 天无显著性差异。而 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 组贮藏第 30 天大部分欧李果实均出现了严重萎蔫现象,好果率仅为 28.8%。从以上分析整体来看,冰温贮藏可以较好地抑制果柄的褐变,减缓呼吸速率和蒸腾作用,减少水分和营养损失,抑制霉菌等生长,从而保持较高的好果率。

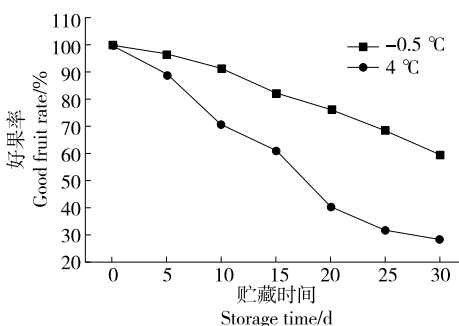


图 8 贮藏温度对欧李贮藏期间好果率的影响

Figure 8 Effect of storage temperature on good fruit rate of plum

2.2.4 对欧李抗氧化能力的影响 由图 9 可知,PPO 在低温条件下呈先下降后升高的趋势,两个处理组的 PPO 活性都在贮藏第 15 天后显著提高,从而加速与酚类物质反应,使欧李的品质下降。冰温组的 PPO 酶活在贮藏第 20 天升高后又开始缓慢下降,且冰温组的 PPO 活性一直表现为最低,与 4 °C 冷藏组差异显著 ($P<0.05$),说明冰温贮藏可以较好地延缓 PPO 酶活性的升高,抑制酶促褐变,延缓果实衰老。

由图 10 可知,4 °C 冷藏组的 POD 酶活性在贮藏前 5 d 有下降趋势,但在贮藏第 5 天后活性开始恢复,可能是温度突然下降导致 POD 酶活性下降,之后 POD 酶对 4 °C 低温产生了适应性,活性增高。冰温组的 POD 活性除贮藏第 25 天有轻微上升外,一直处于缓慢降低的状态。从贮藏第 10 天起,冰温组的酶活均保持在 4 °C 冷藏组之下 ($P<0.05$)。说明冰温贮藏对 POD 酶活性有明显的抑制作用。

由图 11 可知,欧李的 SOD 酶活性均呈先下降后升高再下降的趋势。冰温组的 SOD 酶活性一直在 4 °C 冷藏组之上,两组均在贮藏第 10 天第一次降至最小值,分别为 56.6,25.7 U/(g · min),具有显著性差异 ($P<0.05$),冰温组在贮藏第 15 天达到最大值 102.9 U/(g · min),而 4 °C 冷藏组在贮藏第 20 天才达到峰值 42.6 U/(g · min),仅为冰温组的 41.4%,为新鲜样品 [100.7 U/(g · min)]

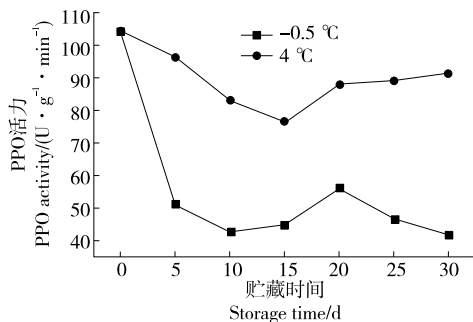


图 9 贮藏温度对欧李贮藏期间 PPO 活性的影响

Figure 9 Effect of storage temperature on PPO activity of plum

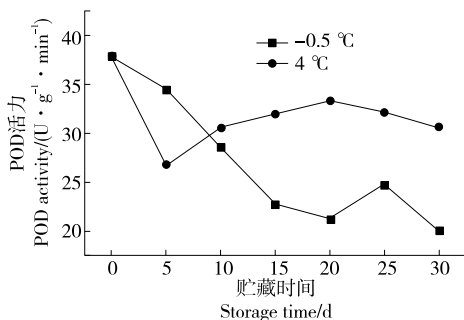


图 10 贮藏温度对欧李贮藏期间 POD 活性的影响

Figure 10 Effect of storage temperature on POD activity of plum

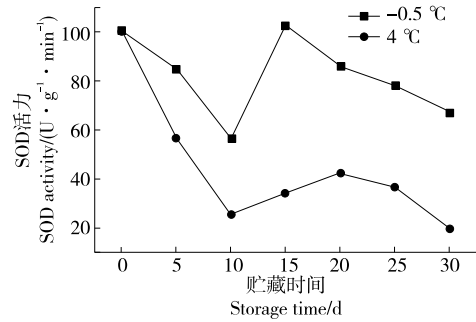


图 11 贮藏温度对欧李贮藏期间 SOD 活性的影响

Figure 11 Effect of storage temperature on SOD activity of plum

的 42.3%,也远远低于贮藏末期冰温组贮藏第 30 天的酶活性 [67.6 U/(g · min)],说明冰温贮藏可以保持较高的 SOD 酶活性,保护膜结构,减缓果实的衰老。

2.3 出库方式对冰温贮藏后的欧李主要成分的影响

2.3.1 对冰温贮藏后的欧李可滴定酸和 V_c 含量的影响

由图 12 可知,出库第 2 天,由于两间接出库组均是按同样的梯度升温,其可滴定酸含量出现一致性,均明显高于直接出库的两组的含量,到第 4 天之后,J-25 °C 组的可滴定酸含量迅速降低,说明温度升高,可滴定酸的消耗加快,而 J-10 °C 组含量仍下降缓慢,远远高于其他 3 组 ($P<0.05$),说明 J-10 °C 组可以将可滴定酸含量维持在一个较高的水平,从而保持较好的口感。

如图 13 所示,出库第 2 天,J-10 °C 组与其他 3 组有显著性差异,而 Z-10 °C 组和 J-25 °C 组无显著性差异,随着出库时间的延长,J-25 °C 的 V_c 含量下降较快,Z-10 °C 组开始显示出优异性,而 Z-25 °C 组的 V_c 损失得最快,含量远低于其他 3 组 ($P<0.05$)。从出库温度的角度来看,10 °C 的两组可以较好地抑制生理代谢活动,从而延缓 V_c 含量的下降。从出库程序来看,间接出库可以更好地延缓 V_c 的损失,尤其是 J-25 °C 组对 V_c 的保留程度明显优于 Z-25 °C 组。

2.3.2 对冰温贮藏后的欧李黄酮和总酚含量的影响

由图 14 可知,出库后欧李的黄酮含量有明显上升。Z-25 °C

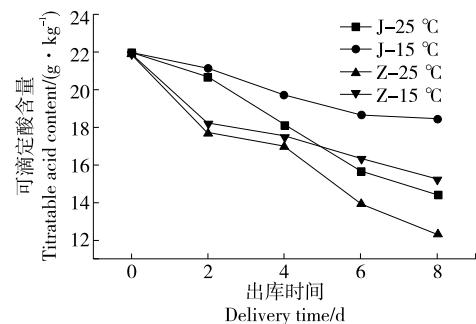


图 12 出库方式对冰温贮藏欧李可滴定酸含量的影响

Figure 12 Effect of delivery methods on titratable acid content of plum after ice temperature storage

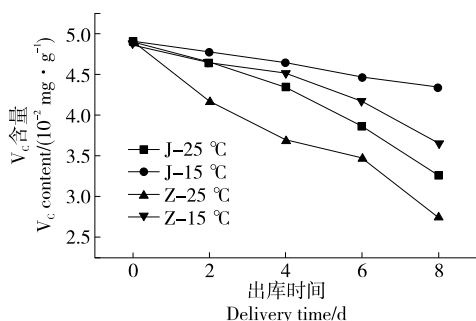

 图 13 出库方式对冰温贮藏欧李 V_C 含量的影响

 Figure 13 Effect of delivery methods on V_C content of plum after ice temperature storage

组黄酮一直下降,其他 3 组出库 2 d 后(此时环境温度都为 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$)黄酮含量先轻微上升,再开始下降,且 J-25 $^{\circ}\text{C}$ 组下降速率要比出库至 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的两组快。说明温度骤升至 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$,黄酮的消耗速率加快,而出库 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 可以明显减缓欧李的生理代谢,降低黄酮的消耗速度。

如图 15 所示,出库第 8 天,J-10 $^{\circ}\text{C}$ 组的总酚含量为 $3\ 437\text{ mg}/100\text{ g}$,是 Z-10 $^{\circ}\text{C}$ 组的 1.17 倍,J-25 $^{\circ}\text{C}$ 组的 1.31 倍,Z-25 $^{\circ}\text{C}$ 组的 1.46 倍。说明 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 是欧李出库更佳的温度,缓慢升温的间接出库方式可以更好地延缓总酚的消耗,而 J-10 $^{\circ}\text{C}$ 组的效果最好。

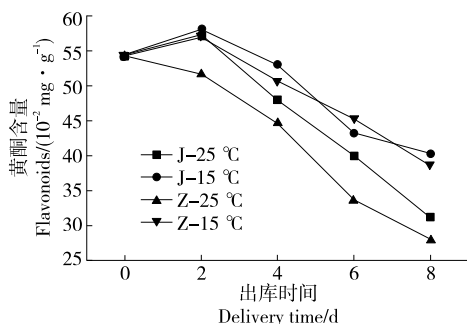


图 14 出库方式对冰温贮藏欧李黄酮含量的影响

Figure 14 Effect of delivery methods on the flavonoids of plum after ice temperature storage

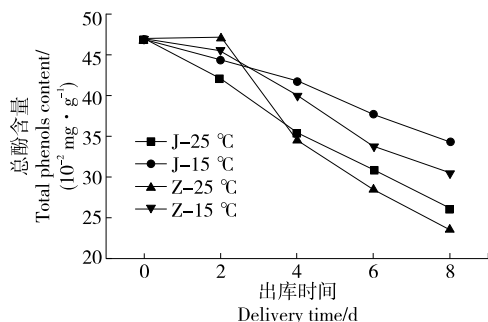


图 15 出库方式对冰温贮藏欧李总酚含量的影响

Figure 15 Effect of delivery methods on total phenols content of plum after ice temperature storage

3 结论

以农大七号欧李为试材,分析了冰温贮藏对欧李保鲜效果的影响。在理化特征方面,冰温贮藏可最大限度地抑制欧李的呼吸强度和水分损失,明显减缓硬度的下降,抑制细胞膜通透性的上升,同时可减少丙二醛的生成,更好地保持了细胞结构,减缓果实软化的过程,使欧李保持相对较高的好果率;在生物学特征方面,冰温贮藏可有效抑制多酚氧化酶和过氧化物酶的活性,并在一定程度上保持超氧化物歧化酶的活性,抑制欧李内部的氧化作用,延缓果实衰老。在对不同出库方式的比较中,间接升温的出库方式可更好地延缓冰温贮藏后欧李的新陈代谢活动,保持较稳定的可滴定酸含量和较高水平的维生素 C、黄酮和总酚等营养物质。其中,J-10 $^{\circ}\text{C}$ 组对欧李各成分的保留度更高。因此,冰温贮藏有利于欧李品质的保持,间接出库至 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 更适宜保存冰温贮藏后欧李的营养成分。

参考文献

- [1] 李治国,王有信,王玉峰,等.欧李加工品种与贮藏加工利用[J].农产品加工(学刊),2005(3):21-24.
- [2] LI Wei-dong, LI Ou, MO Chong-xun, et al. Mineral element composition of 27 Chinese dwarf cherry (*Cerasus humilis* (Bge.) Sok.) genotypes collected in China [J]. Journal of Pomology & Horticultural Science, 2014, 89(6): 674-678.
- [3] 和银霞,李卫东,叶丽琴,等.采前喷钙对贮藏期欧李果实腐烂率及糖酸含量的影响[J].食品科学,2016,37(14):247-252.
- [4] 张芳.欧李果实采后营养品质的变化及贮藏保鲜方法的研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2020:1-4.
- [5] 马建军,于凤鸣,杜彬,等.欧李叶片过氧化物酶同工酶与叶果矿质元素含量变化的关系[J].植物研究,2012,32(1):54-60.
- [6] 山根明美.冰温食品[J].日本の産業,1987,30(8):73-77.
- [7] YAMANE A. Development of controlled freezing-point storage of food[J]. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi, 1982, 29(12): 736-743.
- [8] 张海芳.欧李采后生理及保鲜技术研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2006:24-30.
- [9] 孙品,康怀彬.食品冰温贮藏技术的研究进展[J].农产品加工(学刊),2019(11):82-86.
- [10] 孟侯,刘斌,许茹楠,等.冰温贮藏对蜜桃品质评价研究[J].冷藏技术,2020,43(1):15-19.
- [11] 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):70-74,81.
- [12] 李超,王亮,赵猛,等.不同冰温温度对山楂果实生理及品质的影响[J].中国农学通报,2017,33(15):150-155.
- [13] 邓浩,尹青春,冯建成,等.莲雾在冰温贮藏中品质的变化[J].轻工科技,2018,34(5):8-10.
- [14] 张哲,张秋月,王怀文,等.冰温贮藏对采后葡萄果实品质的影响[J].食品与机械,2019,35(5):156-159.
- [15] ZHOU Ran, LI Yun-fei, YAN Li-ping, et al. Effect of edible coat-

- ings on enzymes, cell-membrane integrity, and cell-wall constituents in relation to brittleness and firmness of huanghua pears (*Pyrus pyrifolia* Nakai, cv. Huanghua) during storage[J]. Food Chemistry, 2010, 124: 569-575.
- [16] 申江, 李超, 王素英, 等. 冰温储藏对荔枝品质的影响[J]. 食品工业科技, 2011, 32(3): 360-363.
- [17] 胡慧慧, 张辉, 张文娜, 等. 冰温贮藏提高新鲜若羌冬枣的品质[J]. 现代食品科技, 2020, 36(3): 106-112.
- [18] 李慧, 万德慧, 刘志培, 等. 不同保鲜处理对汉江樱桃冰温贮藏效果的影响[J]. 湖北农业科学, 2019, 58(8): 117-120.
- [19] 薛璐, 于继男, 鲁晓翔, 等. 出库方式对冰温贮藏蓝莓货架期品质变化的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(12): 328-331, 340.
- [20] 林本芳, 鲁晓翔, 李江阔, 等. 冰温贮藏对西兰花保鲜的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(19): 312-316.
- [21] 杨慧, 赵守涣, 史冠莹, 等. 近冰温贮藏对香椿嫩芽品质及关键风味物质的影响[J]. 保鲜与加工, 2019, 19(5): 46-52.
- [22] 王亮, 张新宪, 赵迎丽, 等. 1-甲基环丙烯和乙烯吸收剂结合冰温贮藏对山楂果实品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(23): 243-249.
- [23] LI Rui-rong, ZHENG Qian-wang, LIU Jia-li, et al. Chemical composition and deterioration mechanism of pleurotus tuoliensis during postharvest storage[J]. Food Chemistry, 2020, 338: 127731.
- [24] 刘华. 蓝莓贮藏加工技术研究[D]. 金华: 浙江师范大学, 2012: 37-38.
- [25] 柳青, 刘继伟, 黄广学, 等. 钼蓝比色法测定特菜中还原型维C含量的研究[J]. 农产品加工, 2019(2): 56-59.
- [26] LIU Hui, CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo. Evaluation and comparison of vitamin C, phenolic compounds, antioxidant properties and metal chelating activity of pulp and peel from selected peach cultivars[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 63(2): 1 042-1 048.
- [27] MOHD F, MARYATI M, ASMAH R, et al. Phytochemicals and antioxidant activity of different parts of bambangan (*Mangifera pajang*) and tarap (*Artocarpus odoratissimus*) [J]. Food Chemistry, 2009, 113(2): 479-483.
- [28] 曹建康. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2013: 50-53.
- [29] JAYACHANDRAN L E, CHAKRABORTY S, RAO P S. Inactivation kinetics of the most baro-resistant enzyme in high pressure processed litchi-based mixed fruit beverage [J]. Food and Bioprocess Technology, 2016, 9(7): 1 135-1 147.
- [30] 贾红玉, 王亚森, 田晓辉, 等. 邻苯三酚自氧化法在 SOD 活性测定中的应用[J]. 河北大学学报(自然科学版), 2018, 38(3): 285-289.
- [31] 胡慧慧, 张辉, 古丽丹·塔勒达吾, 等. 冰温保鲜对新疆鲜枣贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(2): 62-67.
- [32] 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.
- [33] 朱赛赛, 张敏. 温度激化处理对采后果蔬贮藏品质影响的研究进展[J]. 食品科学, 2016, 37(5): 230-238.
- [34] 白国荣, 郭敏瑞, 卢娣, 等. 冰温贮藏对新疆吊干杏保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(13): 260-266.
- [35] 安瑞丽, 王斌, 魏长庆, 等. 不同贮藏温度对采后伽师瓜果实冷害及品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(9): 196-201.
- [36] 潘艳芳, 张继明, 李喜宏, 等. 间歇升温对树上干杏冷藏品质的影响[J]. 食品科技, 2017, 42(1): 46-49.

(上接第 113 页)

明深度方向(BIAND)对杀菌锅的最大等效应力和位移影响较大,且呈正相关。③从杀菌锅的最大等效应力样本大于条件屈服强度的频率得出杀菌锅可靠度为 96.7%,表明有裂纹的杀菌锅可靠性较好。

试验仅围绕不同工况下杀菌锅的力学特性及裂纹尺寸沿宽度、环向、深度的变化对其力学特性的影响等方面进行了研究,后续将对疲劳、杀菌中热流场分布等问题进行深入分析。

参考文献

- [1] KANNAN P, AMIRTHAGADESWARAN K S, CHRISTOPHER T, et al. A simplified approach for assessing the leak-before-break for the flawed pressure vessels[J]. Nuclear Engineering and Design, 2016, 302(Part A): 20-26.
- [2] DWIVEDI Nidhi, KUMAR Veerendra, SHRIVASTAVA Ashwani, et al. Burst pressure assessment of pressure vessel using finite element analysis: A review[J]. Journal of Pressure Vessel Technology, 2013, 135(4): 044502.
- [3] 汤占岐, 姜国平, 李瑞秋. 2 000 m³ 丙烯球罐壳体水压试验的可靠性分析[J]. 工业安全与环保, 2012, 38(5): 49-51.
- [4] 张文涛, 陈强. 基于 ANSYS 的球型储罐抗震模拟分析[J]. 中国安全生产科学技术, 2013, 9(9): 29-35.
- [5] 李文震, 黄思, 徐征南. 基于 ANSYS 软件 PDS 模块的压力容器可靠性分析[J]. 机械制造, 2018, 56(12): 14-16.
- [6] 彭翠玲, 艾华宁, 刘青松, 等. 基于 ANSYS 的压力容器可靠性分析[J]. 核动力工程, 2009, 30(1): 109-111.
- [7] 胡瀚元, 谢禹钧, 黄新. 基于有限元法的高压球罐强度可靠性分析[J]. 当代化工, 2015, 44(1): 187-189.
- [8] 唐勇, 贺小华. 基于有限元的罐体可靠性分析和设计[J]. 化工机械, 2011, 38(5): 546-549.
- [9] 陈森强, 赵辉, 张智亮. ANSYS 在大型球罐上的应用[J]. 石油和化工设备, 2008, 11(5): 19-22.
- [10] 王新敏, 李义强, 许宏伟. ANSYS 结构分析单元与应用[M]. 北京: 人民交通出版社, 2011: 237-238.
- [11] 武清奎. 结构可靠性分析及随机有限元法[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005: 129-136.
- [12] 余建星. 工程结构可靠性原理及其优化设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013: 29-34.