

农产品保鲜与食品包装

壳聚糖-香薷精油可食涂膜对樱桃的保鲜效果研究

刘雨辰, 曲梦锐, 曹恺洋, 王东营*
(河南工业大学 粮油食品学院, 郑州 450001)

摘要: **目的** 减少樱桃在贮藏过程中腐烂所造成的经济损失, 并延长樱桃收获后的保质期。**方法** 采用涂抹法将壳聚糖-香薷精油涂膜液应用于樱桃保鲜, 通过测定不同精油浓度下樱桃品质的变化, 如质量损失率、pH、多酚氧化酶活性等指标, 探究它对樱桃的保鲜效果。**结果** 添加了香薷精油的壳聚糖涂膜液, 在樱桃保鲜方面具有较好的效果, 可以有效延长樱桃的货架期。其中, 添加了质量分数为 2% 香薷精油的实验组的保鲜效果最优, 与空白对照组相比, 其质量损失率降低了 57.6%, 樱桃的硬度保持良好, pH 值提高了 56.6%, 樱桃中的过氧化物酶活性提高了 8.8%, 多酚氧化酶活性降低了 28.7%。**结论** 采用壳聚糖-香薷精油制备的涂膜液有助于减少樱桃产业在樱桃采后贮藏中的经济损失, 同时为天然保鲜材料的研发提供了理论依据。

关键词: 香薷精油; 壳聚糖; 樱桃; 保鲜

中图分类号: TB484.9; TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1001-3563(2024)21-0140-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2024.21.020

Preservation Effect of Chitosan-*Elsholtzia Ciliata* Essential Oil Coating on Cherries

LIU Yuchen, QU Mengrui, CAO Kaiyang, WANG Dongying*

(School of Cereal and Oil Food, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

ABSTRACT: The work aims to diminish the economic losses incurred due to cherry decay during storage and to prolong the post-harvest shelf life of cherries. The chitosan-*Elsholtzia ciliata* essential oil coating liquid was applied to cherry preservation. By measuring the change of cherry quality under different essential oil concentrations, such as weight rate, pH value, polyphenol oxidase activity and other indicators, the preservation effect on cherries was explored. The chitosan coating liquid added with *Elsholtzia ciliata* essential oil had a good preservation effect on cherries and could effectively extend the shelf life of cherries. The experimental group added with 2% *Elsholtzia ciliata* essential oil had the optimal the preservation effect. Compared with the blank control group, the weight loss rate was reduced by 57.6%, the cherry hardness remained well, the pH values increased by 56.6%, the peroxidase activity increased by 8.8%, and the polyphenols oxidase activity decreased by 28.7%. The coating liquid prepared from chitosan-*Elsholtzia ciliata* essential oil helps to reduce the economic losses of the cherry industry in post-harvest storage of cherries, which also provides a theoretical basis for the research and development of natural preservation materials.

KEY WORDS: *Elsholtzia ciliata* essential oil; chitosan; cherry; preservation

樱桃 (*Prunus avium* L.) 为蔷薇科多年生木本植物。自古以来, 樱桃被视为水果中的珍品, 其果实色

泽娇艳、皮薄多汁、营养丰富, 是色、香、味、形俱佳的鲜果, 为人们所喜爱^[1]。中国樱桃已有 2 000 多

收稿日期: 2024-06-08

基金项目: 国家自然科学基金 (32001744)

*通信作者

年的种植历史^[2], 且分布广泛, 主要种植在黑龙江、四川、山东、河南、甘肃、陕西、江苏等地。樱桃果实的成熟期较早, 成熟后的果实性温味甜, 具有调气活血、平肝祛热等功效。果实中所含的没食子酸、紫苏醇、花色苷具有一定的保健功效, 如抗氧化^[3]、降低心血管疾病的发生^[2]、控制糖尿病^[4]等。另一方面, 樱桃中含有丰富的营养物质^[5], 如其铁元素含量居水果首位, 因此深受消费者的喜爱。由于樱桃的采摘季节多为夏季, 天气高温多雨, 采摘后在常温下容易软化、腐烂, 每年因保鲜措施不当造成的损失率高达 40% 以上, 采后樱桃在外地销售的损失率更大^[6], 因此寻找一种高效、环保的保鲜方式尤为重要。

目前, 市面上主流的保鲜技术包括物理保鲜技术^[7] (低温等离子体技术、气调保鲜技术、 γ 射线辐射、高压静电场、磁场处理、超声波处理)、化学保鲜技术^[8] (可食膜保鲜技术、保鲜剂保鲜、化学消毒保鲜)、生物保鲜技术^[9] (甲壳胺保鲜试剂、植物源防腐剂^[10])。涂膜保鲜技术是通过浸泡、涂抹或喷涂等方式对樱桃进行涂膜处理, 在其表面形成一层薄膜, 该膜具有较好的透光性和阻隔能力, 可以防止水果的水分蒸发、抑制其呼吸作用^[11], 从而延长樱桃的保鲜时间。该技术具有价格低廉、工艺简单、环保绿色等特点, 并且可选用的基材种类较多, 主要以多糖^[12-13]、蛋白等天然来源物质为基材, 与抗氧化物质复配而成, 具有较强的定制特性。制成的膜具有较好的气体阻隔能力, 可以有效降低营养物质的流失率。吴依莎等^[14]研究了 γ -聚谷氨酸 (PGA) 和淀粉 (St) 复合涂膜对樱桃的保鲜效果, 结果表明, 当添加 PGA 与 St 的质量比为 1:2 时, 其感官评价、质量损失率、总酸含量和维生素 C 含量最佳。王让军等^[15]的研究表明, 经羧甲基壳聚糖涂膜后能明显降低樱桃果实的质量损失率, 较好地保留了樱桃的外观特性, 有效延长了樱桃的货架保鲜期。

壳聚糖 (Chitosan) 是生物界唯一的阳离子多糖, 具有良好的抗菌活性、成膜性及降解能力, 是制备保鲜膜的理想材料^[16]。近年来有研究表明, 将壳聚糖与天然产物结合可提高壳聚糖膜的抗氧化和抗菌性能, 在食物保鲜中具有较好的前景^[17-18]。香薷精油是香薷的主要药效成分, 主要存在于香薷的茎、叶、花等部位, 其所含的麝香草酚、对伞花烃和 γ -萜烯等成分具有较强的抗菌活性^[19]。此外, 香薷精油还可以直接外用^[20], 香薷成分中的含氧基团与皮肤屏障神经酰胺形成氢键, 发挥了良好的促渗作用, 可以作为透皮吸收促进剂。

本研究将香薷精油与壳聚糖复配成保鲜液, 并对樱桃进行浸泡涂膜处理, 通过测定樱桃在常温贮藏过程中的理化指标, 探讨复合保鲜液对樱桃保鲜效果的影响, 旨在为涂膜保鲜技术应用于樱桃提供理论依据, 并为天然植物精油在食品保鲜领域提供新的思路。

1 实验

1.1 材料

主要材料: 香薷 (*Elsholtzia ciliata* (Thunb.) Hyland.) 干燥全草 (江西分宜), 购于张仲景大药房郑州牡丹路店; 新鲜红灯樱桃, 购于丹尼斯百货超市郑州科学大道店; 壳聚糖 (生物试剂, 分子质量为 200 ku, 脱乙酰度 $\geq 90\%$)、吐温 80、冰乙酸、甘油、酚酞、三氯乙酸、氢氧化钠, 均为分析纯, 购于郑州轩之成化工科技有限公司。

主要仪器: PL203 精密电子天平, 上海梅特勒托利多公司; DHG-2080B 电热恒温鼓风干燥箱, 郑州生元仪器有限公司; TU-1800 紫外-可见分光光度计, 北京普析通用仪器有限公司; pH 计 FE20Plus, 上海梅特勒托利多公司; ST-Z16 质构仪, 山东盛泰仪器有限公司。

1.2 样品制备

1.2.1 香薷精油的提取

参考李秋香等^[21]的方法, 采取水蒸气蒸馏法提取香薷精油。称取 100 g 粉碎好的香薷粉末, 装于圆底烧瓶中, 加入 1 000 mL 三级水, 混匀后放于电热套中, 保持微沸状态提取 4 h, 直至无油状物馏出, 以少量正己烷萃取, 经无水硫酸钠干燥, 以氮气吹干仪去除残存的正己烷, 得到香薷精油, 密封后于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中避光保存。香薷精油的提取率约为 1.54%。

1.2.2 香薷精油-壳聚糖复合涂膜液的制备

参考曲梦锐等^[22]的制备方法, 并稍作修改。称取 15 g 壳聚糖溶解于 1 L 的冰乙酸溶液 (体积分数为 0.7%) 中, 于 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下搅拌至壳聚糖充分溶解。依次加入吐温 80 (体积分数为 0.2%)、甘油 (质量分数为 15%), 继续搅拌 30 min, 向混合液中加入香薷精油, 分别设置精油的质量分数为 0.5%、1.0%、2.0% 的实验组 (以溶液质量为基准), 以及不添加精油的纯壳聚糖组。将所有处理组采取分散均质机均质 10 min, 确保精油均匀, 并超声 10 min 进行脱泡处理, 最后将所有的保鲜液密封后于冰箱中冷藏备用。

1.2.3 樱桃涂抹保鲜实验的设计

挑选大小规格相近、表皮无破损的樱桃 500 粒, 将樱桃按组分别放进实验组和纯壳聚糖组的保鲜液中浸泡 60 s, 捞出后晾干; 以三级水为空白对照组, 将樱桃放于三级水中浸泡 60 s, 自然晾干后密封于保鲜盒中。每 100 粒樱桃为 1 组, 每盒 10 粒 (共 10 盒), 以备后续实验。依据空白对照组、0% 组、0.5% 组、1.0% 组、2.0% 组的顺序, 将对应盒子组分别命名为 Pr/A、Pr/B、Pr/C、Pr/D、Pr/E。

将处理完的樱桃在常温下密封贮藏 10 d, 在 0、2、4、6、8、10 d 时取样, 分别测定樱桃的质量损失

率、硬度、pH、多酚氧化酶、过氧化物酶及感官特性。每个指标重复测试 3 次。

1.3 项目测定

1.3.1 质量损失率

参考吴子龙等^[23]的方法,采用称量法计算樱桃的质量损失率。

1.3.2 硬度

采取质构仪对樱桃的硬度进行测定。使用孔径约为 3 mm 的球形探头,最大速率为 0.5 mm/s,最大接触力为 0.07 N。每次测量 5 颗樱桃,取其平均硬度。

1.3.3 pH

按照 GB/T 10468—1989《水果和蔬菜产品 pH 值的测定方法》测定 pH。

1.3.4 多酚氧化酶

参考贺莹等^[24]的方法测定多酚氧化酶活性。

1.3.5 过氧化物酶

参考贺莹等^[24]的方法测定过氧化物酶,将提取好的粗酶液保存在冰箱中备用,采用分光光度计于 470 nm 处确定其吸光度,每隔 1 min 读数 1 次,以 1 min 内 OD470 变化 0.01 为 1 个 POD 活力单位计算活力。

1.3.6 感官评价

由经过训练的 10 名学生组成感官评价小组,依

据评分规则进行打分,具体见表 1。

2 结果与分析

2.1 樱桃的感官评价

在贮藏期间,对采后樱桃的外观、气味、汁水、滋味等 4 个指标进行感官评价,评价结果如图 1 所示。其中,设定 2.5 分为樱桃的腐烂限值。结果表明,各处理组樱桃随着贮藏时间的延长,其感官评分逐渐降低,表明樱桃的品质逐渐下降。在贮藏 8 d 后,添加了 2.0% 香薷精油的 Pr/E 组的评分为 7.0 左右,具有较好的感官品质,显著高于其他处理组;Pr/A 组的感官评分低于 5 分,属于较差的评分区间。纵观整个贮藏时间,添加香薷精油的各处理组的感官得分下降缓慢,香薷精油浓度越高,樱桃的感官品质和保鲜效果越好。结果表明,采用 2.0% 香薷精油与壳聚糖复合涂膜处理可以延长樱桃的货架期。

2.2 樱桃质量损失率的变化

樱桃含水量丰富,因此具有一定的弹性和硬度。樱桃为非呼吸跃变型水果,采后仍保持着旺盛的呼吸作用^[25],这种蒸腾作用会损失樱桃中的水分。在贮藏期间,樱桃质量损失率的变化如图 2 所示。

由图 2 可知,樱桃的质量损失率随着贮藏时间的延长逐步上升,尤其是 Pr/A 组樱桃的质量损失情况最为

表 1 樱桃感官评定标准
Tab.1 Sensory assessment criteria of cherries

评分	外观	气味	汁水丰沛度	滋味口感
7.5~10	色泽鲜艳,有光泽	香气浓郁,明显的清香	汁水丰沛	酸甜爽口,口感浓郁
5~7.5	颜色均匀,有光泽	无明显香气,无异味	汁水适中	偏酸或偏甜,口感清淡
2.5~5	颜色呈暗红褐色,表皮无明显光泽	无香气,有异味	汁水偏少	不酸不甜,口感清淡
0~2.5	颜色暗沉,无光泽	无香气,有臭味	汁水不足	酸涩,口感寡淡

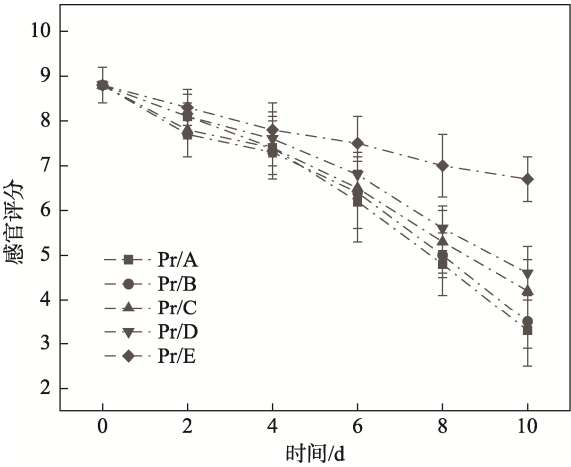


图 1 樱桃贮藏期间感官评分的变化
Fig.1 Changes in sensory scores of cherries during storage

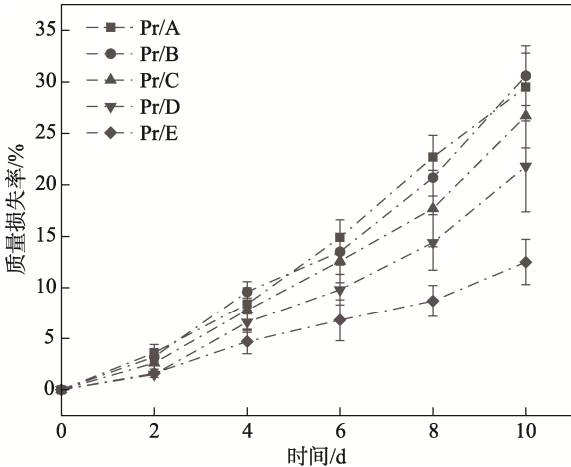


图 2 樱桃贮藏期间质量损失率的变化
Fig.2 Changes in weight loss rate of cherries during storage

显著,可以明显观察到水分随着保鲜时间的延长而减少。在贮藏 6 d 后,水分流失明显加快。相反,经 2.0% 香薷精油处理的 Pr/E 组在贮藏 8 d 后的质量损失率仅为 $(8.7\pm 1.5)\%$, Pr/A、Pr/B 组樱桃的质量损失率则高达 $(22.7\pm 2.1)\%$ 、 $(20.7\pm 1.8)\%$ 。这些数据表明,壳聚糖和香薷精油复合涂膜能有效防止樱桃的失水。这可能是由于壳涂膜在樱桃表面形成了额外的屏障,尤其是与精油组合后增强了其疏水性,从而防止水分通过气孔扩散,降低了蒸腾和呼吸速率,限制了水从樱桃表面向周围环境的转移。涂层的有益效果已在多种水果的保鲜研究中得到证实。如 Nabifarkhani 等^[26]研究表明,添加了 1% 的纳米纤维素纤维和 1% 的百里香精油的复合材料对甜樱桃果实具有较好的保水效果,降低了果实的质量损失率,延长了果实的货架期。Iftikhar 等^[27]的研究也证实,植物精油涂膜对梨具有较好的保鲜效果,经 3% 柠檬精油与瓜尔胶、壳聚糖复合而成的涂膜液处理后梨果实的质量损失率最低。

2.3 樱桃硬度的变化

樱桃采后依旧进行着呼吸作用,果实逐渐变软是成熟后向衰老转化的常见现象。这是因为樱桃中的细胞壁与中胶层成分在多聚半乳糖醛酸酶、果胶甲酯酶等的作用下发生分解,导致樱桃果实软化^[28]。因此,樱桃在贮藏期间的硬度可以作为评估果实品质的一个指标。

如图 3 所示,樱桃的硬度随着贮藏时间的增加而逐渐下降。这一现象可能是由于失水、呼吸作用或果实表面损伤,导致皮层薄壁细胞壁中层的渗透性增加。新鲜水果细胞随着含水量的减少而软化。新鲜水果的质地主要取决于其细胞内的膨压,当膨压降低时,果实可能皱缩、萎蔫,并变成糊状^[29]。值得注意的是,空白对照的 Pr/A 组、纯壳聚糖的 Pr/B 组与加了 0.5% 香薷精油的 Pr/C 组之间并无显著差异,而 Pr/E 组与其他各组间则存在显著差异。贮藏 10 d 时的 Pr/E 组樱桃的硬度与贮藏 6 d 时的 Pr/A 组相当,这可能是因低浓度的香薷精油对樱桃的保鲜效果相对较弱,无法有效延缓樱桃内部的蒸腾作用,导致樱桃细胞因缺水而收缩,从而无法维持樱桃的弹性和硬度。壳聚糖和 2% 香薷精油复合涂膜展现出较强的屏障作用,有效降低了硬度的变化速率,表明此类涂层具有保持甜樱桃的质量和质地的潜力。

2.4 樱桃贮藏期间 pH 的变化

从图 4 可以看出,在贮藏期间,樱桃的 pH 随着贮藏时间的增加而减小。在贮藏前,樱桃的 pH 为 (3.95 ± 0.42) ,经过 10 d 的贮藏后,Pr/A 组樱桃的 pH 下降了 49.7%,与 Pr/B 组樱桃的 pH 相近。Pr/E 组樱桃的 pH 仅下降了 28.1%,显著慢于 Pr/A 组,这表明较高浓度的香薷精油涂膜有助于减缓樱桃 pH 的下降

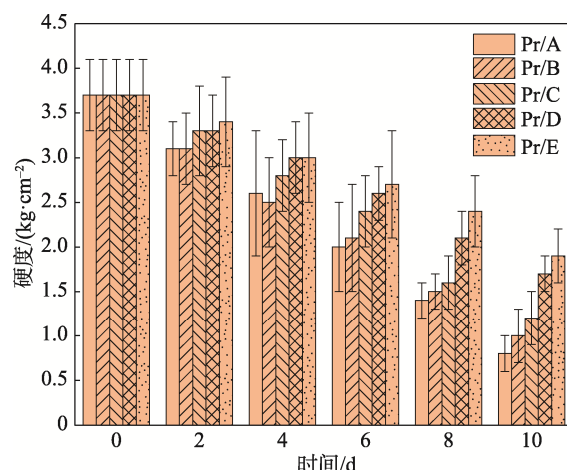


图 3 樱桃贮藏期间硬度的变化
Fig.3 Changes in hardness of cherries during storage

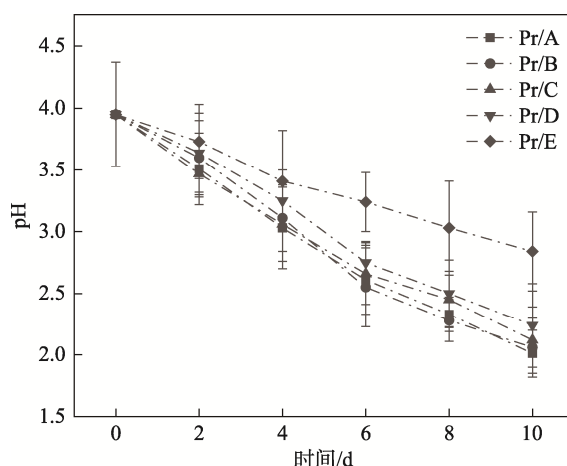


图 4 樱桃贮藏期间 pH 的变化
Fig.4 Changes in pH values of cherries during storage

速度。江爱莲等^[30]研究发现,以 1% 壳聚糖+1% 丁香精油+0.5% 茶多酚制备涂膜液保鲜圣女果,具有较好的保鲜效果。

2.5 过氧化物酶活性的变化

植物暴露在氧化应激条件下会产生大量的过氧化氢。过氧化物酶是一种由细菌产生的氧化还原酶^[31],能够有效防止植物受到过氧化氢的损害。过氧化物酶活性的高低可以反映植物细胞内过氧化氢水平。如表 2 所示,随着贮藏时间的延长,各实验组樱桃的过氧化物酶活性均呈现上升的趋势。其中,Pr/A 组樱桃的过氧化物酶活性最低,在贮藏 10 d 时仅为其他各组酶活的 94.5%、93.2%、93.5%、91.9%。Pr/E 组樱桃在贮藏 4、6 d 时的过氧化物酶活性与 Pr/D 组间无显著差异,但 2 组樱桃的过氧化物酶活性高于其他各组。这可能是由于活性涂膜液中释放的香薷精油能够增加樱桃组织中抗氧化酶的活性,这些酶直接参与 H_2O_2 的降解,从而阻碍了樱桃在贮藏中生成过氧化氢物质^[32]。

表明该涂膜有利于樱桃采摘后的贮存与保鲜。

2.6 多酚氧化酶活性变化

多酚氧化酶引起的酶促褐变是导致水果加工过程中营养价值降低的主要原因之一^[33],被认为是对新鲜农产品质量最具破坏性的酶类,多酚氧化酶活性越高,通常意味着褐变程度也越严重^[34]。由表 3 可知,随着贮藏时间的延长,各实验组樱桃的多酚氧化酶活性均呈先上升后降低的趋势。这是由于随着贮藏时间

的延长,果实的膜脂过氧化程度不断加深,造成细胞膜受损,酚类物质与 PPO 接触,从而发生酶促反应^[35]。纯壳聚糖的 Pr/B 组与空白对照的 Pr/A 组间无显著差异,表明纯壳聚糖对樱桃中多酚氧化酶活性的抑制能力较弱。添加香薷精油的 Pr/C 组、Pr/D 组和 Pr/E 组在抑制多酚氧化酶活性方面表现出不同的效果。特别是,添加 2%香薷精油的 Pr/E 组最优,在贮藏 10 d 时其多酚氧化酶活性仅为(2064.6±125.7) U/(mg·min),与贮藏 4 d 的 Pr/B 组相当。

表 2 过氧化物酶活性的变化
Tab.2 Changes in peroxidase activity

样品	过氧化物酶活性/(U·g ⁻¹ ·min ⁻¹)					
	0 d	2 d	4 d	6 d	8 d	10 d
Pr/A	1612.5±98.4 ^a	1856.8±76.5 ^c	2159.6±59.5 ^d	2378.5±69.8 ^d	2704.5±85.4 ^c	2745.9±68.7 ^b
Pr/B	1612.5±98.4 ^a	1968.7±68.9 ^{bc}	2369.7±89.5 ^c	2687.5±95.7 ^c	2951.5±79.1 ^{bc}	2904.7±82.4 ^a
Pr/C	1612.5±98.4 ^a	1891.5±86.4 ^{abc}	2487.8±93.6 ^{bc}	2578.6±91.5 ^{bc}	2856.7±81.6 ^{ab}	2947.8±96.7 ^a
Pr/D	1612.5±98.4 ^a	2018.9±83.6 ^{ab}	2578.7±78.5 ^{ab}	2744.9±81.4 ^{ab}	2998.7±95.7 ^{ab}	2936.4±82.6 ^a
Pr/E	1612.5±98.4 ^a	2078.5±86.7 ^a	2645.5±89.9 ^a	2874.5±68.7 ^a	3078.5±94.4 ^a	2987.6±93.1 ^a

注:同一列不同小写字母表明具有显著性差异(P<0.05)。

表 3 多酚氧化酶活性的变化
Tab.3 Changes in polyphenol oxidase activity

样品	多酚氧化酶活性/(U·mg ⁻¹ ·min ⁻¹)					
	0 d	2 d	4 d	6 d	8 d	10 d
Pr/A	899.6±45.8 ^a	1 559.4±69.7 ^a	2 156.7±78.1 ^a	2 457.2±96.5 ^{ab}	3 245.6±125.3 ^a	2 894.1±105.7 ^a
Pr/B	899.6±45.8 ^a	1 625.7±57.8 ^a	2 014.9±98.4 ^a	2 578.9±77.9 ^a	3 124.7±135.7 ^{ab}	2 800.6±138.4 ^a
Pr/C	899.6±45.8 ^a	1 412.9±64.5 ^b	1 856.7±84.6 ^b	2 351.4±65.9 ^b	2 951.6±130.4 ^b	2 655.1±115.2 ^a
Pr/D	899.6±45.8 ^a	1 354.6±76.2 ^{bc}	1 621.4±57.8 ^c	2 016.5±90.3 ^c	2 536.8±156.4 ^c	2 315.7±142.5 ^b
Pr/E	899.6±57.6 ^a	1 246.8±82.5 ^c	1 467.8±66.9 ^d	1 892.3±82.8 ^c	2 321.7±140.1 ^c	2 064.6±125.7 ^c

注:同一列不同小写字母表明具有显著性差异(P<0.05)。

3 结语

实验结果表明,由香薷精油制备的壳聚糖涂抹液,在樱桃保鲜方面具有较好的效果。特别是当香薷精油的质量分数为 2%时,保鲜效果最为显著,与空白对照组相比,其质量损失率降低了 57.6%,硬度保持较好,pH 提高了 56.6%,过氧化物酶活性提高了 8.8%,多酚氧化酶活性降低了 28.7%。综合上述指标及感官评分,贮藏 10 d 时樱桃的营养损失量与贮藏 4~6 d 的未处理组相当,货架期延长了近 1 倍,有效减少了樱桃因运输贮藏导致的经济损失。香薷精油-壳聚糖可食膜为樱桃保鲜技术开辟了新的思路,并且为天然保鲜材料的研发提供了理论支持,有助于减少樱桃产业在樱桃采后处理、贮藏和运输过程中的经济损失。

参考文献:

[1] 陈日益. 水果中的钻石——樱桃[J]. 健康生活, 2015(4): 43-44.
CHEN R Y. Diamond - Cherry in Fruit[J]. Health Life, 2015(4): 43-44.

[2] 郭艳, 周小魏, 吕佳欣, 等. 不同大樱桃品种营养成分分析及体外抗氧化作用研究[J]. 中国果树, 2021(9): 55-58.
GUO Y, ZHOU X W, LYU J X, et al. Study on Nutrient Composition and Antioxidant Activity of in Vitro of Different Sweet Cherry Cultivars[J]. China Fruits, 2021(9): 55-58.

[3] LÓPEZ-PARRA M M, BARRASO C, MARTÍN-MATEOS

- M J, et al. Use of Cherry as a Natural Antioxidant and Its Influence on the Physicochemical, Technological and Sensory Properties of Lamb Burgers[J]. *Measurement: Food*, 2024, 13: 100143.
- [4] GONÇALVES A C, NUNES A R, FLORES-FÉLIX J D, et al. Cherries and Blueberries-Based Beverages: Functional Foods with Antidiabetic and Immune Booster Properties[J]. *Molecules*, 2022, 27(10): 3294.
- [5] NUNES A R, GONÇALVES A C, FALCÃO A, et al. *Prunus Avium* L (Sweet Cherry) By-Products: A Source of Phenolic Compounds with Antioxidant and Anti-Hyperglycemic Properties - a Review[J]. *Applied Sciences*, 2021, 11(18): 8516.
- [6] 杨艳芬, 冯建华. 樱桃流通质量影响因素与保鲜技术[J]. *中国果菜*, 2016, 36(6): 1-3.
YANG Y F, FENG J H. Influence Factors and Fresh Keeping Technology of Cherry Circulation Quality[J]. *China Fruit Vegetable*, 2016, 36(6): 1-3.
- [7] 陈思宇, 金建, 赵世琳. 物理技术在果蔬保鲜中的应用研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2023, 44(21): 167-172.
CHEN S Y, JIN J, ZHAO S L. Progress in Application of Physical Technology in Preservation of Fruits and Vegetables[J]. *Food Research and Development*, 2023, 44(21): 167-172.
- [8] 廖兴梅, 邱叶, 王晓敏, 等. 鲜切菠萝贮藏保鲜技术研究进展与展望[J]. *西华大学学报(自然科学版)*, 2023, 42(3): 10-18.
LIAO X M, QIU Y, WANG X M, et al. Research Progress of Fresh-Cut Pineapple Preservation Technology[J]. *Journal of Xihua University (Natural Science Edition)*, 2023, 42(3): 10-18.
- [9] 吴秀兰, 任诗欣, 何俊杰, 等. 果蔬保鲜技术现状及展望[J]. *山东化工*, 2022, 51(12): 111-114.
WU X L, REN S X, HE J J, et al. Current Status and Future Trends of Postharvest Technology on Fruits and Vegetables[J]. *Shandong Chemical Industry*, 2022, 51(12): 111-114.
- [10] 王霞. 大樱桃贮藏保鲜技术研究进展[J]. *中国果菜*, 2021, 41(4): 15-18.
WANG X. Research Advances on Storage and Preservation Technologies of Cherries[J]. *China Fruit & Vegetable*, 2021, 41(4): 15-18.
- [11] PATEL D, JHA A, SHAH J. Technological Aspects of Nanoemulsions for Post-Harvest Preservation of Fruits and Vegetables[J]. *Combinatorial Chemistry & High Throughput Screening*, 2024, 27: 551-560.
- [12] SABERI RISEH R, VATANKHAH M, HASSANISAADI M, et al. Advancements in Coating Technologies: Unveiling the Potential of Chitosan for the Preservation of Fruits and Vegetables[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2024, 254: 127677.
- [13] DAI L M, WANG X Z, MAO X Y, et al. Recent Advances in Starch-Based Coatings for the Postharvest Preservation of Fruits and Vegetables[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2024, 328: 121736.
- [14] 吴依莎, 郇丹妮, 周夏, 等. γ -聚谷氨酸/淀粉复合膜对樱桃保鲜效果的影响[J]. *现代食品*, 2019, 12(23): 168-172.
WU Y S, LI D N, ZHOU X, et al. Preservative Effect of Γ - Poly Glutamic Acid/Starch Composite Film on Cherry[J]. *Modern Food*, 2019, 12(23): 168-172.
- [15] 王让军, 王都留, 张少飞, 等. 羧甲基壳聚糖涂膜对樱桃果实的保鲜效果[J]. *甘肃农业科技*, 2018, 49(8): 9-11.
WANG R J, WANG D L, ZHANG S F, et al. Application of Carboxymethyl Chitosan Coating in Preservation of Cherry[J]. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 2018, 49(8): 9-11.
- [16] STEFANOWSKA K, WOŹNIAK M, DOBRUCKA R, et al. Chitosan with Natural Additives as a Potential Food Packaging[J]. *Materials*, 2023, 16(4): 1579.
- [17] ZHANG X H, ISMAIL B B, CHENG H, et al. Emerging Chitosan-Essential Oil Films and Coatings for Food Preservation - a Review of Advances and Applications[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2021, 273: 118616.
- [18] 刘雨辰, 曲梦锐, 曹恺洋, 等. 壳聚糖-留兰香精油复合膜对酱猪肉保鲜效果的影响[J]. *肉类研究*, 2023, 37(10): 37-41.
LIU Y C, QU M R, CAO K Y, et al. Effect of Chitosan-Spearmint(*Mentha Spicata* L.) Essential Oil Composite Films on Preservation of Sauced Pork[J]. *Meat Research*, 2023, 37(10): 37-41.
- [19] 普春霞, 徐玉琪, 朱金莲, 等. 云南 7 种药食香薷属植物基于挥发油化学型的抗菌活性研究[J]. *食品科技*, 2022, 47(9): 183-189.
PU C X, XU Y Q, ZHU J L, et al. Antibacterial Activities of 7 Medicinal and Edible *Elsholtzia* Based on Different Chemotypes of Essential Oil in Yunnan[J]. *Food Science and Technology*, 2022, 47(9): 183-189.
- [20] 李秋娟, 梁亚芳, 舒娟, 等. 香薷挥发油对吴茱萸有效成分透皮吸收的影响[J]. *南京中医药大学学报*, 2024, 40(1): 26-36.
LI Q J, LIANG Y F, SHU J, et al. Study on the Effect of *Moslae Herba* Oil on the Percutaneous Absorption of Active Ingredient of *Evodia Rutaecarpa* in Vitro[J]. *Journal of*

- Nanjing University of Traditional Chinese Medicine, 2024, 40(1): 26-36.
- [21] 李秋香, 董伟, 赵国巍, 等. 香薷精油成分及其抗氧化、抗菌活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2023, 35(7): 1154-1162.
- LI Q X, DONG W, ZHAO G W, et al. Chemical Constituents, Antioxidant and Antibacterial Activities of *Elsholtzia Ciliata* Essential Oil[J]. Natural Product Research and Development, 2023, 35(7): 1154-1162.
- [22] 曲梦锐, 刘雨辰, 曹恺洋, 等. 壳聚糖与茺葶精油复合涂膜在草莓常温贮藏中的应用[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(6): 114-119.
- QU M R, LIU Y C, CAO K Y, et al. Application of Chitosan and Coriander Essential Oil Composite Coating in Ambient Storage of Strawberries[J]. Food Research and Development, 2024, 45(6): 114-119.
- [23] 吴子龙, 张浩, 王泽熙, 等. 壳聚糖-姜精油涂膜对草莓贮藏品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(22): 169-174.
- WU Z L, ZHANG H, WANG Z X, et al. The Storage Quality Effects of Chitosan and Ginger Essential Oil Composited Coating on Strawberry[J]. Food Research and Development, 2018, 39(22): 169-174.
- [24] 贺莹, 逯丽鑫, 张烨, 等. 肉桂精油/壳聚糖可食性复合膜对樱桃保鲜的影响[J]. 北方园艺, 2023(10): 87-92.
- HE Y, LU L X, ZHANG Y, et al. Effects of Cinnamon Essential Oil/Chitosan Edible Composite Film on Cherry Preservation[J]. Northern Horticulture, 2023(10): 87-92.
- [25] 张潇方. 甜樱桃采后全程冷链保鲜技术研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017: 8-12.
- ZHANG X F. Study on Whole Cold-Chain and Preservation Technology of Postharvest Sweet Cherry[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017: 8-12.
- [26] NABIFARKHANI N, SHARIFANI M, DARAEI GARMAKHANY A, et al. Effect of Nano-Composite and Thyme Oil (*Tymus Vulgaris* L) Coating on Fruit Quality of Sweet Cherry (Takdaneh Cv) during Storage Period[J]. Food Science & Nutrition, 2015, 3(4): 349-354.
- [27] IFTIKHAR A, REHMAN A, USMAN M, et al. Influence of Guar Gum and Chitosan Enriched with Lemon Peel Essential Oil Coatings on the Quality of Pears[J]. Food Science & Nutrition, 2022, 10(7): 2443-2454.
- [28] 洪理杰, 范阳, 刘秉珍, 等. 苦荞粗多糖涂膜处理对中国樱桃的保鲜效果[J]. 食品工业科技, 2021, 42(14): 296-301.
- HONG L J, FAN Y, LIU B Z, et al. Preservation Effect of Tartary Buckwheat Crude Polysaccharide Coating on Chinese Cherry[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(14): 296-301.
- [29] IQBAL S Z, HUSSAIN M, ALI H, et al. Preparation and Application of Hydroxypropyl Methylcellulose Blended with Beeswax and Essential Oil Edible Coating to Enhance the Shelf Life of Sweet Cherries[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 272: 132532.
- [30] 江爱莲, 张连钢, 李素岳, 等. 不同可食涂膜处理对圣女果保鲜效果的影响[J]. 北方园艺, 2023(9): 83-88.
- JIANG A L, ZHANG L G, LI S Y, et al. Effects of Different Edible Coating Treatments on Fresh-Keeping Effect of Cherry Tomatoes[J]. Northern Horticulture, 2023(9): 83-88.
- [31] DE OLIVEIRA F K, SANTOS L O, BUFFON J G. Mechanism of Action, Sources, and Application of Peroxidases[J]. Food Research International, 2021, 143: 110266.
- [32] LÓPEZ-GÓMEZ A, NAVARRO-MARTÍNEZ A, MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ G B. Effects of Essential Oils Released from Active Packaging on the Antioxidant System and Quality of Lemons during Cold Storage and Commercialization[J]. Scientia Horticulturae, 2023, 312: 111855.
- [33] MARRUFO-HERNÁNDEZ N A, NÁJERA H, GONZÁLEZ CHÁVEZ F, et al. Polyphenol Oxidase Inactivation from Apple Juice by Al-Based Metal-Organic Frameworks: New Anti-Browning Strategy in Fruits and Vegetables[J]. Food Chemistry, 2024, 439: 138178.
- [34] 高凯丽, 胡文忠, 刘程惠, 等. 茶树精油熏蒸处理对轻加工百合褐变及品质的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(18): 267-272.
- GAO K L, HU W Z, LIU C H, et al. Effects of Tea Tree Essential Oil Fumigation on Browning and Quality of Lightly Processed Lily Scales[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(18): 267-272.
- [35] GAO Y, KAN C N, WAN C P, et al. Quality and Biochemical Changes of Navel Orange Fruits during Storage as Affected by Cinnamaldehyde -Chitosan Coating[J]. Scientia Horticulturae, 2018, 239: 80-86.