沙棘叶提取物对沙棘果实的保鲜效果

宋晶晶，王月丽，张亚南，王学庆，姜蕾，库尔班江·艾买提，吴江超*

（喀什大学生命与地理科学学院，新疆喀什 844000）

摘要：为探究沙棘叶提取物对沙棘果实的保鲜效果，该研究以新鲜沙棘果实为研究对象，以无菌蒸馏水为对照，采用不同质量浓度沙棘叶提取物（5.0、10.0、15.0、20.0 g·L^{-1}）浸泡处理，在 4 ℃下贮藏 9 d，测定贮藏期间沙棘果实的外观、感官品质、营养成分、酶指标及抗氧化指标的变化。结果表明，整个贮藏期间质量浓度为 15.0 g·L^{-1} 的处理组保鲜效果最佳，贮藏 9 d 后，与对照组相比，色差值、失重率、腐烂率和丙二醛（Malondialdehyde，MDA）含量比对照组分别降低了 12.92%、25.46%、40.62%、28.31%；感官评分、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、Vc 含量、硬度分别比对照组增加 21.5%、11.6%、13.6%、68.9%、12.7%；超氧化物歧化酶（Superoxide Dismutase，SOD）、过氧化物酶（Peroxidase，POD）、过氧化氢酶（Catalase，CAT）活性及 DPPH 自由基、ABTS 自由基清除率是对照组的 1.83、1.96、1.38、1.51、1.15 倍。综合可知，质量浓度为 15.0 g·L^{-1} 的沙棘叶提取物能有效延缓沙棘贮藏期间的品质劣变，可有效延长沙棘果的贮藏期，具有较高的实用性和经济价值,，为沙棘果保鲜提供理论基础。

关键词：沙棘鲜果；沙棘叶；提取物；保鲜效果

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2026.9.0908

The Preservation effect of Seabuckthorn Leaf extract on Sea Buckthorn Fruit

SONG Jingjing, WANG Yueli, ZHANG Yanan, WANG Xueqing, JIANG Lei, KUERBANJIANG Aimaiti, WU Jiangchao*

(College of Life and Geographic Sciences, Kashi University, Kashi 844000, China)

Abstract: To investigate the preservation effect of sea buckthorn leaf extract on sea buckthorn fruits, fresh sea buckthorn fruits were used as the research object in this study. With sterile distilled water as the control, the fruits were soaked in sea buckthorn leaf extracts of different mass concentrations (5.0, 10.0, 15.0, and 20.0 g Ł$^{-1}$) and stored at 4 ℃ for 9 days. Changes in the appearance, sensory quality, nutritional components, enzyme indexes, and antioxidant indexes of the sea buckthorn fruits during storage were determined. The results showed that the treatment group with a mass concentration of 15.0 g Ł$^{-1}$ exhibited the best fresh-keeping effect throughout the storage period. After 9 days of storage, compared with the control group, the color difference value, weight loss rate, rot rate, and malondialdehyde (MDA) content were reduced by 12.92%, 25.46%, 40.62%, and 28.31%, respectively; the sensory score, soluble solid content, titratable acid content, vitamin C content, and hardness were increased by 21.5%, 11.6%, 13.6%, 68.9%, and 12.7%, respectively; the activities of superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), and catalase (CAT), as well as the scavenging rates of DPPH free radicals and ABTS free radicals, were 1.83, 1.96, 1.38, 1.51, and 1.15 times those of the control group, respectively. In conclusion, it is indicated that the sea buckthorn leaf extract with a mass concentration of 15.0 g Ł$^{-1}$ can effectively delay the quality deterioration of sea buckthorn during storage, prolong the storage period of sea buckthorn fruits, and has high practicality and economic value, which provides a theoretical basis for the preservation of sea buckthorn fruits.

Key words: fresh seabuckthorn fruit; sea buckthorn leaves; extract; preservation effect

沙棘（*Hippophae rhamnoides* L.）隶属胡颓子科沙棘属，属于多刺落叶灌木或小型乔木[1]。这植物广泛分布于欧亚大陆温带、寒温带及亚热带高海拔山区。我国作为全球沙棘资源极最丰富的国家，沙棘种植量占世界总量的93%以上[2]。其中中国沙棘亚种占比约 85%，主要分布于高海拔、低纬度、强紫外线辐射环境，为沙棘的次生代

收稿日期：2025-06-29；修回日期：2025-10-05；接受日期：2025-10-15

基金项目：喀什地区科技计划项目（KS2022067；KS2024003）；大学生创新创业训练计划项目（202510763003）

作者简介：宋晶晶（1996-），女，硕士，讲师，研究方向：食品营养与安全，E-mail：sjj@ksu.edu.cn

通讯作者：吴江超（1985-），男，硕士，副教授，研究方向：农产品精深加工，E-mail：wujiangchao2008@163.com

谢（黄酮）的积累提供了天然环境优势[3]。其中，沙棘果实中含有近 200 种营养成分和生物活性成分，包括有机酸类、糖类、类胡萝卜素、维生素（A、C、E）、矿物质（Ca、Fe、Mg、Na）等，被国家卫生健康委员会纳入“药食同源”水果目录[4,5]。作为药食同源植物，沙棘的根、茎、叶、花及种子均富含营养物质和生物活性成分[6]。

沙棘叶中富含多酚[7-9]、类黄酮、精油[10]、类胡萝卜素[11]、生育酚、糖和抗坏血酸[12]等多种营养物质，具有清除体内自由基、α-糖苷酶抑制活性、抗菌、抗疲劳等生物活性[8,13,14]。植物提取物中因含有不饱萜烯、醇类、醛类、酸类、酚类及不饱和脂肪族等生物活性物质，具备良好的抗菌、杀菌与抗氧化性能，用于各类食品保鲜贮藏时，不易残留且无毒副性作用，属于天然、安全可靠的植物源添加剂[15,16]。孙思胜等[17]采用不同浓度的复方丹参提取物浸泡结合 1.5%壳聚糖涂膜处理，较好的保持了采后‘巨玫瑰’葡萄果实的贮藏品质；陈迪新等[18]研究发现 0.3 mg mL^{-1} 质量浓度蒲公英黄酮提取物浸泡处理玉露香梨果，能够在一定程度上演唱鲜切玉露香梨果的货架期，提高产品品质；陈勇杏等[19]采用质量浓度为 12.5 mg mL^{-1} 的黄岑提取物处理可以减少果实营养物质消耗，保持较好的果实品质。在不少沙棘产地大量沙棘叶在果实采摘后被丢弃，将沙棘叶用于保鲜，能变废为宝，一方面极大节省成本，另一方面可降低化学保鲜剂的使用量，沙棘叶天然环保，符合当下消费者对绿色产品的需求。

沙棘果实采摘后极易腐烂变质，这主要是由于其生理特性和外界环境因素共同作用的结果，沙棘果实具有皮薄多汁的特点，使其在采摘、运输和贮藏过程中极易受到损伤，从而导致果实腐烂变质。沙棘保鲜问题一直是限制沙棘产业进一步发展的难题。因此，如何有效的延长沙棘果实的保鲜期，保持其品质及营养价值，是沙棘产业发展中需要解决的关键问题之一。传统的保鲜方法，如低温贮藏、气调贮藏以及使用化学保鲜剂，虽然能在一定程度上延长沙棘果实的保鲜期，但各自存在的弊端也不容忽视[20]。目前已有的研究主要集中在有关沙棘叶活性成分分析方面，对于沙棘叶提取物在贮藏保鲜方面的研究尚未报道。因此，该研究采用不同质量浓度沙棘叶提取物对沙棘果实进行浸泡处理，探讨其中沙棘果实的贮藏过程中感官评价、失重率、腐烂率、色泽、硬度、可溶性固形物、可滴定酸、Vc 含量、丙二醛含量、氧化酶活性、抗氧化活性的变化来明确保鲜效果，以期为沙棘果实的保鲜提供理论参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

沙棘、沙棘叶均采摘于新疆喀什地区塔什库尔干县，经新疆理化所鉴定为胡颓子科（Elaeagnaceae Juss.）沙棘属（*Hippophae* L.）植物沙棘（*Hippophae rhamnoides* L.）鲜果、叶，于冰温条件下寄送至实验室。无水乙醇、氢氧化钠、草酸、酚酞等化学试剂均为分析纯，采购于天津市致远化学试剂有限公司。MDA 含量试剂盒、DPPH、ABTS 测试试剂盒，采购于南京建成生物工程研究所。SOD、POD 和 CAT 活性检测试剂盒，采购于北京索莱宝生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

NR60CP 色差仪，深圳市三恩驰科技有限公司；RE-52AA 旋转蒸发器，上海亚荣生化仪器厂；ENS-iPRO 质构仪，北京盈盛恒泰科技有限公司；LE-204E 电子分析天平，梅特勒-托利多(上海)有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 沙棘叶提取物的制备

（1）挑选：选取已干燥、叶面完整、无发霉、无损伤的叶片；

（2）粉碎、过筛：去除沙棘叶叶梗，将叶片粉粹，过 60 目筛，备用；

（3）提取：参考程芸等[21]的方法，略有改动。称取 30 g 沙棘叶粉末，加入 300 mL 70%的乙醇溶液，搅拌均匀，将混合物置于功率 120 W、温度 50 ℃的超声波提取仪器中，处理 30 min，提取结束后，将混合物在 4 000 r min^{-1} 离心 10 min，取上清液，再使用旋转蒸发仪对上清液进行减压蒸馏使乙醇充分挥发，制得沙棘叶提取液，将其存于 4 ℃冰箱，备用。

1.3.2 沙棘鲜果分组及处理

（1）清洗：将沙棘鲜果用无菌蒸馏水清洗去除杂质，取出果实拭干表面水分；

（2）分组：果实随机分为 5 组，每组果实质量为 150 g；

（3）保鲜处理：沙棘叶提取液用无菌蒸馏水依次稀释至不同质量浓度 5.0、10.0、15.0、20.0 g Ł$^{-1}$，把果实分别置于质量浓度为 5.0、10.0、15.0、20.0 g Ł$^{-1}$ 的沙棘叶提取物中，室温下浸泡 20 min，以无菌蒸馏水浸泡的沙棘果实作为对照，将浸泡后的沙棘果取出自然沥干，放在 4 ℃冰箱冷藏，分别在 0、3、6、9 d 时测定相关指标，设三组重复。

1.4 指标的测定

1.4.1 沙棘果实感官评价及处理前后形态学观察

在沙棘果贮藏期间，每隔 3 d 取一次样，开展感官评价。参考马祥臣等[22]的感官评分标准，并略微修改。从实验室中挑选 15 名食品专业的人员，针对贮藏过程中的沙棘果，依据色泽、气味、质地、汁液流失等这四项指标进行打分。最终取这 15 位感官评价人员评分的平均值作为样品的感官得分，总分为 100 分，具体评分标准见表 1。

表 1 感官评分表

Table 1 Sensory Rating Form

评价标准	感官品质	分值
色泽（30 分）	色泽鲜亮，均匀一致，呈现典型沙棘果色泽，无变色、斑点等异常	25~30 分
	色泽较鲜亮，略有不均匀，或存在少量轻微变色、斑点	15~24 分
	色泽暗淡，不均匀，变色，斑点明显	0~14 分
气味（25 分）	具有浓郁、纯正的沙棘果特有清香，无异味	20~25 分
	香气较淡，或稍有杂味但不影响整体香气特征	10~19 分
	香气微弱，有明显酸败、腐臭异味	0~9 分
质地（25 分）	果实饱满，软硬适中，富有弹性无软烂、干瘪果实	20~25 分
	果实较饱满，质地略软，存在少量软烂、干瘪果实	10~19 分
	果实干瘪、软烂严重，失去正常质地	0~9 分
汁液流失（20 分）	基本无汁液流失，果实表面干爽	16~20 分
	有少量汁液渗出，果实表面稍湿	8~15 分
	汁液流水明显，果实表面湿润，甚至有积液现象	0~7 分

1.4.2 果实品质指标测定

1.4.2.1 沙棘果实失重率的测定

采用称重法，每隔 3 d 测量沙棘果的质量，采用公式（1）计算[23]：

$$D=\frac{M_0-M_1}{M_0}\times 100\% \quad (1)$$

式中：

D——失重率，%;

M_0——贮藏前沙棘果实质量，g;

M_1——贮藏后沙棘果实的质量，g。

1.4.2.2 沙棘果实腐烂率的测定

从贮藏 0 d 开始，每次取样计数失水皱缩、表皮出现明显菌斑或表皮破裂的果实数量为腐烂的果实数并剔除，在实验过程中，按照设定的每隔 3 d，仔细分离出腐烂的沙棘果实，并准确计数，采用公式（2）计算。

$$A=\frac{W_1}{W_0}\times 100\% \quad (2)$$

式中：

A——腐烂率，%;

W_0——沙棘果实总数量，g;

W_1——腐烂的沙棘果实数量，g。

1.4.2.3 沙棘果实色度的测定

借助色差仪测定沙棘果实色度，每个果实不同位置测量三次，取平均值作为该果实的测量结果，计算样品的总色差 ΔE，采用公式（3）计算[24]：

$$\Delta E=\sqrt{(\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2} \quad (3)$$

式中：

$\Delta L=L-L_0$，$\Delta a=a-a_0$，$\Delta b=b-b_0$;

L、a、b——待测样品的实测值;

L_0、a_0、b_0——对照组的数值。

1.4.2.4 沙棘果实硬度的测定

参考 Nguyen 等[25]的方法，采用 ENS-iPRO 型质构仪测定沙棘果实的硬度。

1.4.2.5 沙棘果实可溶性固形物含量的测定

称取 5 g 沙棘果实样品放入研钵中，用研钵搅拌成均匀的浆状，将浆状样品过滤，过滤后的样品按照 GB/T 2637-2014《水果、蔬菜制品可溶性固形物含量的测定--折射仪法》[26]，各组随机取出 3 个果实，重复三次。

1.4.2.6 沙棘果实可滴定酸含量的测定

采用氢氧化钠滴定法[27]测定，各组随机取出 3 个果实，重复三次。

1.4.2.7 沙棘果实中 Vc 含量的测定

根据 GB 5009.86-2025《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定（2,6–二氯靛酚滴定法）》[28]的测定方法，定各组随机取出 3 个果实，重复三次。

1.4.3 沙棘果实中丙二醛含量的测定

根据丙二醛含量测试试剂盒说明书测定。

1.4.4 沙棘果实抗氧化酶活性测定

SOD、POD、CAT 活性按照试剂盒说明书测定，单位为 U g^{-1}[29]。

1.4.5 沙棘果实抗氧化活性测定

1.4.5.1 DPPH 自由基清除能力的测定

参考 Zeljković 等[30]的方法稍作修改。将 3.0 mL 0.2 mmol L^{-1} DPPH 溶液与 1.0 mL 样品混合，避光处反应 30 min 后，以无水乙醇为对照组，测定 517 nm 波长处的吸光值。DPPH 自由基清除率按式（4）计算。

$$S=(1-\frac{A_1-A_2}{A_0})\times 100\% \quad (4)$$

式中：

A_0——以蒸馏水代替样品测吸光度值;

A_1——以 DPPH 溶液与样品反应测吸光度值;

A_2——以无水乙醇代替 DPPH 溶液测吸光度值。

1.4.5.2 ABTS 阳离子自由基清除能力的测定

参考 Zhou 等[31]的方法稍作修改。移取 1.0 mL 样品，加入 3.0 mL ABTS 溶液，避光处反应 30 min 后，以蒸馏水作空白，用无水乙醇作对照，测定 734 nm 波长处的吸光度值。ABTS 自由基清除率按式（4）计算。

1.5 数据处理

该试验采用 Excel、SPSS 27.0 对数据进行处理和分析，采用 Origin 2024 作图，均进行 3 次重复试验，结果用“平均值±标准差”表示。

2 结果分析

2.1 不同质量浓度沙棘叶提取物对沙棘果实感官评价的影响

感官评价是评价果蔬外观色泽、形态大小、质地口感、香气风味等外在品质特征，直观反映其可接受程度的

重要方式。由图 1 所示，在贮藏过程中沙棘果各处理组的感官评分都持续降低，但不同质量浓度浸泡处理组的保鲜效果均明显优于对照组。当贮藏时间为 9 d 时感官评分下降至 64.6 分果皮颜色暗淡且出现腐烂迹象，汁液渗出严重，果香味完全消失。质量浓度为 5.0、10.0、15.0、20.0 g Ł$^{-1}$ 处理组在贮藏 9 d 时感官评分分别为 67.6 分、73.3 分、78.5 分、65.7 分，其中，15.0 g Ł$^{-1}$ 处理组感官评分值最高，效果最显著。综合分析，沙棘叶提取物在一定程度上能对沙棘果起到保鲜的作用，能够延长沙棘果的保鲜期。

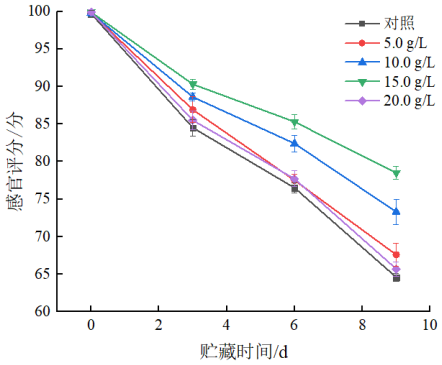

图 1 不同质量浓度沙棘叶提取物对沙棘果实感官评分的影响

Fig.1 Effects of different concentrations of sea buckthorn leaf extract on sensory evaluation of sea buckthorn fruit

2.2 不同质量浓度沙棘叶提取物对沙棘果实失重率的影响

果蔬的失重率是评估果蔬采摘后保鲜效果最为直观的指标，也是衡量保鲜剂保水效果的关键指标[29]。由图 2 所示，随着贮藏时间的增加，不同质量浓度处理组和对照组的失重率都呈现上升状态。在贮藏时间相同时，不同质量浓度处理组与对照组之间存在一定差异，其中，20.0 g Ł$^{-1}$ 处理组的失重率上升最为明显，在贮藏后期的 9 d，达到最高值，其次是对照组和 10.0 g Ł$^{-1}$ 处理组，而 5.0 g Ł$^{-1}$ 和 15.0 g Ł$^{-1}$ 处理组的失重率上升相对比较慢。由此可见，各不同质量浓度处理组失重率均低于对照组，这说明不同质量浓度处理对沙棘果实的失重情况有显著影响，在一定程度上改变了沙棘果实失重的速率，尽管 20.0 g Ł$^{-1}$ 处理组在后期失重率最高，但在前期也对失重有一定延缓作用。综合分析，在整个贮藏期内 5.0 g Ł$^{-1}$ 和 15.0 g Ł$^{-1}$ 处理组能更好的控制果实失重率上升，可认为这两个处理组在该实验条件下为相对较优的处理质量浓度，能更有效地控制沙棘果实水分损失，保持沙棘果实的重量。

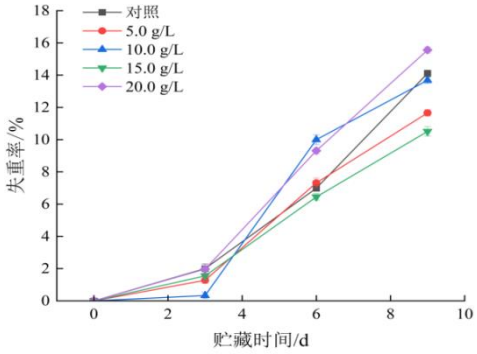

图 2 不同质量浓度沙棘叶提取物对沙棘果实失重率的影响

Fig.2 The effect of different concentrations of sea buckthorn leaf extract on the weight loss rate of sea buckthorn fruit

2.3 不同质量浓度沙棘叶提取物对沙棘果实腐烂率的影响

腐烂率直接反应了不同贮藏时间的保鲜效果。根据相关研究，沙棘叶提取物中的多酚类化合物具有抗氧化和抑菌作用，对大肠杆菌、霉菌、金黄色葡萄球菌等都有抑菌作用[30]，这些能有效的抑制微生物生长，减慢果实腐烂速度。由图3所示，随着贮藏时间的延长对照组沙棘果实腐烂率上升速度最快，在贮藏末期达到了最高值12.85%，而 5.0、10.0、15.0、20.0 g Ł$^{-1}$ 质量浓度处理的沙棘果的腐烂率分别为 9.18%、10.63%、7.63%、11.83%。5.0 g Ł$^{-1}$ 处理组腐烂率上升趋势相对较慢，但与对照组相比，差异性未达到显著水平，10.0 g Ł$^{-1}$ 处理组在贮藏中后期腐烂率低于对照组，且存在显著性差异。在整个贮藏期间，15.0 g Ł$^{-1}$ 处理组腐烂率上升的速度较缓，有效控制了腐烂

率，20.0 g Ł$^{-1}$ 处理组 3~9 d 腐烂率上升较快，但腐烂率低于对照组。由此可见，各个不同质量浓度处理组对沙棘果腐烂都有一定的控制作用，综合分析，整个贮藏期 15.0 g Ł$^{-1}$ 处理组在贮藏期内大部分时间腐烂率控制的较好，效果稳定，对延缓沙棘果腐烂率有显著作用，可作为相对最优处理条件。

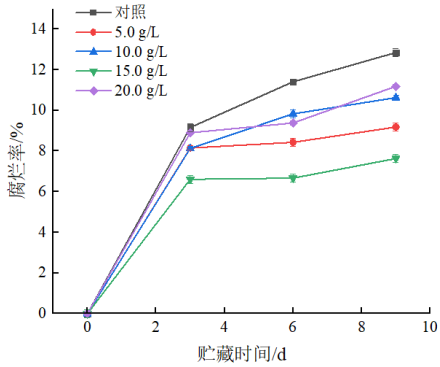

图 3 不同质量浓度沙棘叶提取物对沙棘果实腐烂率的影响

Fig.3 The effect of different concentrations of sea buckthorn leaf extract on the decay rate of sea buckthorn fruit

2.4 不同质量浓度沙棘叶提取物对沙棘果实色泽的影响

果实的色泽是影响果实的外观和品质，试验将 0 d 时的色差值作为空白，样品的色差与它进行对比得到贮藏后期的结果。由图 4 所示，随着沙棘果贮藏时间的延长，各处理组沙棘果的色差值都呈现出上升的趋势，色泽逐渐发黄。贮藏前期各处理组色差值上升趋势平缓，贮藏后期 3~9 d 对照组色差值呈现持续上升趋势，5.0 g Ł$^{-1}$ 处理组上升幅度在前期相对缓慢，后期与对照组趋势相近，整体上颜色变化程度略低于对照组，10.0、15.0 g Ł$^{-1}$ 处理组的色差值差异不大，均呈现出低于其他处理组的色差值，20.0 g Ł$^{-1}$ 处理组色差值与对照组相互接近，均显著高于其他处理组，说明沙棘叶提取物质量浓度过高会促进果实内氧化反应快速发生和果实品质下降，导致色差上升快。综合分析，10.0、15.0 g Ł$^{-1}$ 处理组对沙棘果实的色泽保持有更明显的效果。

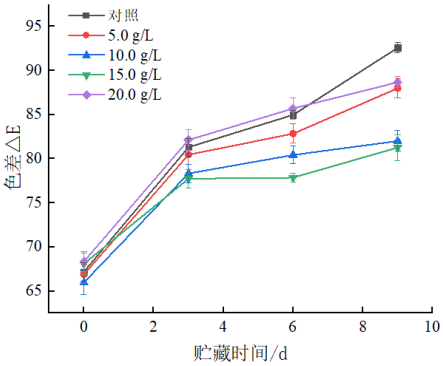

图 4 不同质量浓度沙棘叶提取物对沙棘果实色泽的影响

Fig.4 The effect of different concentrations of sea buckthorn leaf extract on the color of sea buckthorn fruit

2.5 不同质量浓度沙棘叶提取物对沙棘果实硬度的影响

质地是在果蔬品质及采摘后保质期方面不容忽视的重要影响因素之一[32]。由图 5 所示，果实的硬度随贮藏时间延长而降低。沙棘果在采摘后的硬度常常会受到物理化学变化的影响，这种变化在采摘后仍会持续，导致果实软化。整体上，随着贮藏时间的延长，各处理组硬度降低。对照组的硬度从 0 d 的 0.55 N 降至 9 d 的 0.48 N，各不同质量浓度处理组也呈下降趋势，15.0 g Ł$^{-1}$ 处理组在 9 d 硬度为 0.51 N，相对下降较缓。综合分析，15.0 g Ł$^{-1}$ 沙棘叶提取物处理组表现相对最优，更有利于沙棘鲜果的贮藏，其在贮藏后期下降较缓，能较好维持果实抵抗外力能力，利于保持果实形态。说明该质量浓度处理能使果实内部结构在贮藏中维持相对稳定状态，保证果实口感。

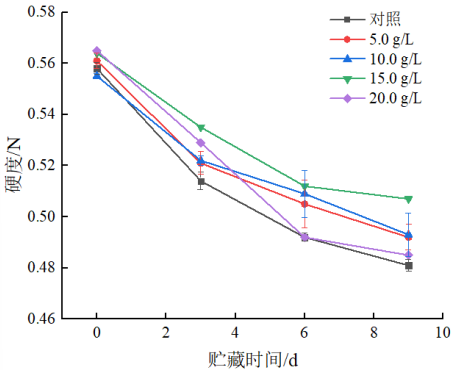

图 5 不同质量浓度沙棘叶提取对沙棘果硬度的影响

Fig.5 The effect of extracting seabuckthorn leaves with different concentrations on the hardness of seabuckthorn fruits

2.6 不同质量浓度沙棘叶提取物对沙棘果实可溶性固形物含量的影响

沙棘果实中可溶性固形物含量是衡量其糖含量的关键指标[31]。由图 6 所示，不同质量浓度处理组对沙棘果实可溶性固形物含量的影响结果来看，在贮藏前期各处理组沙棘可溶性固形物含量相互靠近，差异不太明显。随着贮藏时间的增加，各处理组可溶性固形物含量均显示下降趋势，在此过程中，对照组下降的速度较快，15.0 g L^{-1} 处理组可溶性固形物含量在多数时间点高于其他处理组，尤其是在贮藏 6~9 d 时，与对照组相比有明显差异。5.0、10.0、20.0 g L^{-1} 处理组与对照组相比整体结果不如 15.0 g L^{-1} 处理组稳定，在贮藏 9 d 时对照组可溶性固形物为 7.23%，而 15.0 g L^{-1} 处理组可溶性固形物含量是 8.06%，5.0、10.0、20.0 g L^{-1} 处理组可溶性固形物含量在贮藏末期均高于对照组，这可能是对照组贮藏过程中沙棘果实的细胞结构或者代谢途径较快，导致可溶性固形物消耗加快。结果表明，不同质量浓度处理在一定程度上延缓了沙棘果实可溶性固形物含量的下降，综合分析，15.0 g L^{-1} 理组在保持沙棘可溶性固形物含量方面表现最优，能较好地保持沙棘品质，这可能是由于该处理质量浓度在抑制果实生理变化，延缓代谢进程等方面发挥了积极的作用。

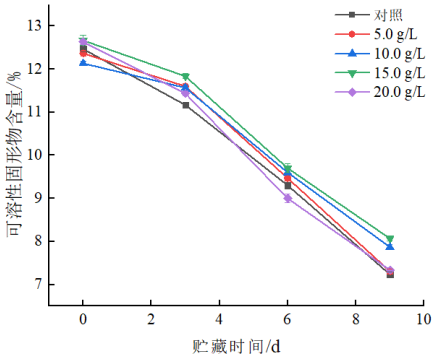

图 6 不同质量浓度沙棘叶提取物对沙棘果实可溶性固形物含量的影响

Fig.6 The effect of different concentrations of seabuckthorn leaf extract on the soluble solids content of seabuckthorn fruit

2.7 不同质量浓度沙棘叶提取物对沙棘果实可滴定酸含量的影响

可滴定酸含量是决定沙棘果实风味品质的关键要素之一，果实酸度跟果实的呼吸代谢密切相关。由图 7 所示，随着贮藏时间的延长，各处理组的沙棘果实可滴定酸含量都在降低，不同质量浓度沙棘叶提取物处理组与对照组相比较，可滴定酸含量下降速度均存在差异，特别是对照组的下降速度最明显，加速了沙棘果实贮藏 3 d 后可滴定酸含量的下降，与对照组相比，5.0、10.0、15.0 g L^{-1} 处理组酸度显著高于对照组，特别是 15.0 g L^{-1} 处理组果实的酸度显著高于对照组，在贮藏 9 d 时，沙棘果的酸度值为 3.35%，对照组的酸度值为 2.94%。综合分析，15.0 g L^{-1} 处理组保持可滴定酸含量效果最好，这表明适宜沙棘叶提取质量浓度浸泡处理组能有效延缓可滴定酸含量下降，这是因适宜质量浓度的天然植物提取物浸泡果实后，会在果实表面形成气体屏障，该屏障具备一定的渗透性，会提高 CO_2 浓度，调节沙棘果的呼吸强度，从而减少可滴定酸的消耗，显著提升沙棘果实的保鲜效果[33]。

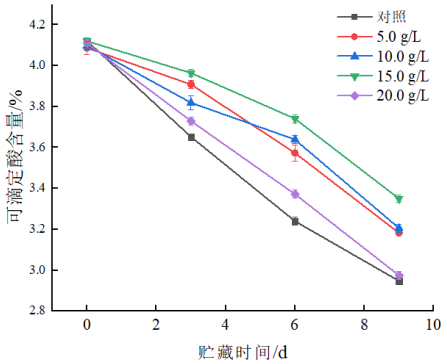

图 7 不同质量浓度沙棘叶提取物对沙棘果实可滴定酸含量的影响

Fig.7 The effect of different concentrations of seabuckthorn leaf extract on the titratable acid content of seabuckthorn fruit

2.8 不同质量浓度沙棘叶提取物对沙棘果实 Vc 含量的影响

Vc 是沙棘果实最重要的营养指标之一，它是对人体极为重要的抗氧化剂，在增强免疫力、促进胶原蛋白合成方面发挥着关键作用，由图 8 所示，随着沙棘果贮藏时间的增加，各个处理组的 Vc 含量都呈现出下降状态，说明贮藏过程中沙棘果实 Vc 会逐渐流失。可以从图中看出，对照组的 Vc 含量下降最为明显，相比之下，所有浸泡沙棘叶提取物的处理组均抑制了沙棘果实中 Vc 含量的损失，贮藏前期，4 个处理组 Vc 含量下降较快，在 6 d 时 15.0 g Ł-1 处理组下降到 45.61.07 mg/100 g，对照组下降到 32.44 mg/100 g，两处理组存在显著差异。贮藏 9 d 时，15.0 g Ł-1 处理组的 Vc 含量为 44.27 mg/100 g，比对照组高 50.59%，差异较显著。15.0 g Ł$^{-1}$ 处理组在整个贮藏期间，Vc 含量下降幅度相对最小，在各个时间点的 Vc 含量普遍高于其他处理组，说明该质量浓度沙棘叶提取物维持沙棘果实 Vc 含量效果较好。沙棘叶提取液可能具有抑制 Vc 降解的作用，从而延缓 Vc 的流失。20.0 g Ł$^{-1}$ 处理组前期 Vc 含量下降较快，后期下降速度有所减缓，这可能是因为质量浓度过高，打破果实生理平衡干扰细胞代谢，使果实自我调节能力受影响，从而不利于维持 Vc 含量稳定。综合分析，不同质量浓度沙棘叶提取物对沙棘果实 Vc 含量的保持均有一定的作用。

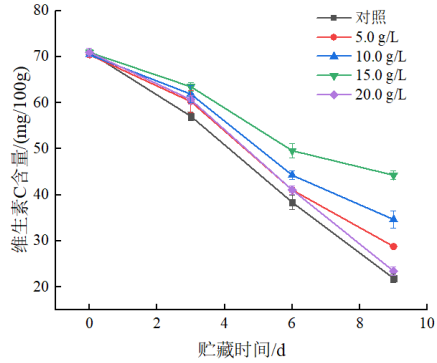

图 8 不同质量浓度沙棘叶提取物对沙棘果实 Vc 含量的影响

Fig.8 The effect of different concentrations of seabuckthorn leaf extract on the vitamin C content of seabuckthorn fruit

2.9 不同质量浓度沙棘叶提取物对沙棘果实丙二醛含量的影响

丙二醛是作为膜脂质过氧化分解的最终产物，会加重细胞膜的氧化损伤，是果实贮藏生理研究中的关键指标[34]。由图 9 所示，随着贮藏时间的增长，沙棘果实中丙二醛含量呈上升趋势，在贮藏从 3 d 开始，5.0、10.0、15.0 g Ł$^{-1}$ 处理组丙二醛含量上升趋势低于对照组。在贮藏 9 d 时，5.0、10.0、15.0 g Ł$^{-1}$ 处理组沙棘果丙二醛含量分别为 4.78、4.34、4.23 nmol g^{-1}，而对照组和 20.0 g Ł$^{-1}$ 处理组丙二醛含量达到 5.90、6.14 nmol g^{-1}。综合分析，15.0 g Ł$^{-1}$ 丙二醛含量最低果实新鲜度较高，表明适宜质量浓度沙棘叶提取物处理能够有效控制脂质氧化，减少沙棘果肉中丙二醛的积累，从而延缓细胞膜的损伤，这可能是因为沙棘叶富含绿原酸、槲皮素等生物活性成分增强了沙棘果实整体的抗氧化能力，延缓了脂质过氧化过程，从而减少了丙二醛积累[35,36]。

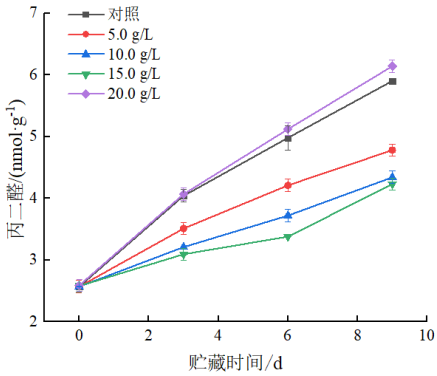

图 9 不同质量浓度沙棘叶提取物对沙棘果实丙二醛含量的影响

Fig.9 The effect of different concentrations of seabuckthorn leaf extract on the content of malondialdehyde in seabuckthorn fruit

2.10 不同质量浓度沙棘叶提取物对沙棘果实抗氧化酶活性的影响

2.10.1 对沙棘果实抗氧化 SOD 活性的影响

SOD 作为一种抗氧化酶，能够清除果实内的自由基和活性氧，减轻活性氧对果蔬细胞组织的损伤和破坏[37]。由图 10 所示，从 0 d 开始，对照组、处理组 SOD 的活性呈上升后下降趋势，对照组、5.0、20.0 g L^{-1} 沙棘叶提取物处理组在 3 d 时达到活性最高值，随后缓慢下降，15.0、20.0 g L^{-1} 沙棘叶提取物处理组在 6 d 时达到活性最高值，整个贮藏期内处理组沙棘果的 SOD 活性始终高于对照组。综合分析，15.0 g L^{-1} 处理组表现最优，贮藏 9 d 时，SOD 活性是对照组的 1.39 倍，说明 15.0 g L^{-1} 处理组在抑制氧化应激和延缓果实腐败方面效果最为显著，有助于延长红沙棘鲜果的保鲜期。实验结果表明，可通过提高沙棘果贮藏过程中 SOD 的活性，延缓沙棘果的衰老。

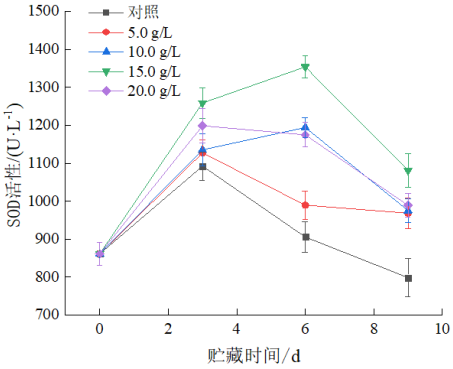

图 10 不同质量浓度沙棘叶提取对沙棘果 SOD 活性的影响

Fig.10 The effect of different concentrations of seabuckthorn leaf extraction on SOD activity in seabuckthorn fruit

2.10.2 对沙棘果实抗氧化 POD 活性的影响

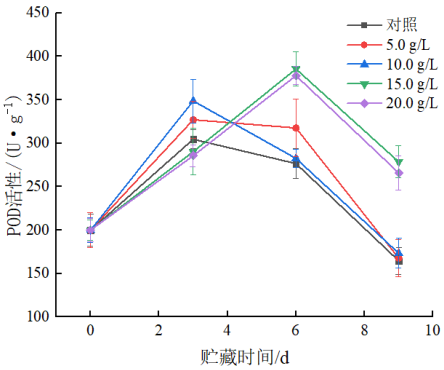

图 11 不同质量浓度沙棘叶提取对沙棘果 POD 活性的影响

Fig.11 The effect of different concentrations of seabuckthorn leaf extraction on POD activity in seabuckthorn fruit

POD 作为植物体内存在的一种氧化还原酶，能够有效清除果实内的自由基，降低自由基对果蔬细胞组织的损伤和破坏，引起果蔬颜色和风味发生劣变[38,39]。由图 11 所示，不同处理条件下 POD 的变化趋势都呈先升高，达

到一个峰值后又逐渐降低。从 0 d 开始，对照组、处理组 POD 的活性呈上升趋势，对照组、5.0、10.0 g Ł$^{-1}$ 沙棘叶提取物处理组在 3 d 时达到活性最高值，随后缓慢下降，15.0、20.0 g Ł$^{-1}$ 沙棘叶提取物处理组在 6 d 时达到活性最高值，随后下降，整个贮藏期内处理组沙棘果的 POD 活性始终高于对照组。综合分析，15.0 g Ł$^{-1}$ 处理组表现最优，贮藏 9 d 时，POD 活性是对照组的 1.88 倍，说明 15.0 g Ł$^{-1}$ 处理组在贮藏期间能延缓 POD 活性的降低，使沙棘果在贮藏结束时仍保持较高的活性。

2.10.3 对沙棘果实抗氧化 CAT 活性的影响

CAT 为催化 H_2O_2 分解的酶，存在于植物组织中，分解自身积累的过氧化氢，减少植物体的氧化损伤[40]。由图 12 可知，贮藏前期 CAT 活性提高对果实起到保护作用，而贮藏后期由于果实衰老进程启动使得 CAT 活性降低，因此贮藏期间沙棘果实 CAT 活性呈先上升后下降的趋势。在 3 d 时，对照组、5.0、10.0 g Ł$^{-1}$ 沙棘叶提取物处理组活性达到最高值，15.0、20.0 g Ł$^{-1}$ 沙棘叶提取物处理组在 6 d 时达到活性最高值，随后下降，整个贮藏期内处理组沙棘果的 CAT 活性始终高于对照组。综合分析，15.0 g Ł$^{-1}$ 处理组表现最优，表明在此处理组可以维持较高的 CAT 活性，降低组织损伤程度。

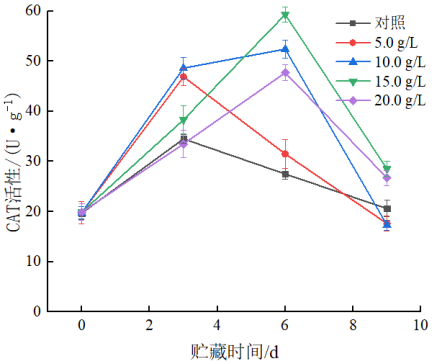

图 12 不同质量浓度沙棘叶提取对沙棘鲜果 CAT 活性的影响

Fig.12 The effect of different concentrations of seabuckthorn leaf extraction on CAT activity in seabuckthorn fruit

2.11 不同质量浓度沙棘叶提取物对沙棘果实抗氧化性的影响

DPPH 和 ABTS 自由基清除能力是评价抗氧化活性的两个重要指标[28]。随着贮藏时间延长，沙棘果 DPPH 自由基清除率、ABTS 阳离子自由基清除率整体呈下降趋势。由图 13 可知，15.0 g Ł$^{-1}$ 处理组与其他 4 组相比 DPPH 自由基清除率、ABTS 阳离子自由基清除始终保持较高水平。整个贮藏阶段，沙棘叶提取物质量浓度为 15%条件下的 2 种抗氧化活性指标（DPPH 自由基、ABTS 阳离子自由基清除率）均显示出最高值，这表明随着沙棘叶提取物质量浓度逐渐升高，抗氧化活性也随之升高，但沙棘叶提取物质量浓度为 20%时，抗氧化活性反而降低，这一结果表明适宜质量浓度的沙棘叶提取物能够提升抗氧化活性；15.0 g Ł$^{-1}$ 处理组 DPPH 自由基清除率平均比对照组高 15.05%，15.0 g Ł$^{-1}$ 处理组 ABTS 阳离子自由基清除率平均比对照组高 11.12%；以上结果表明沙棘液提取物有助于提高沙棘贮藏过程中的抗氧化能力，可有效延缓氧化进程。

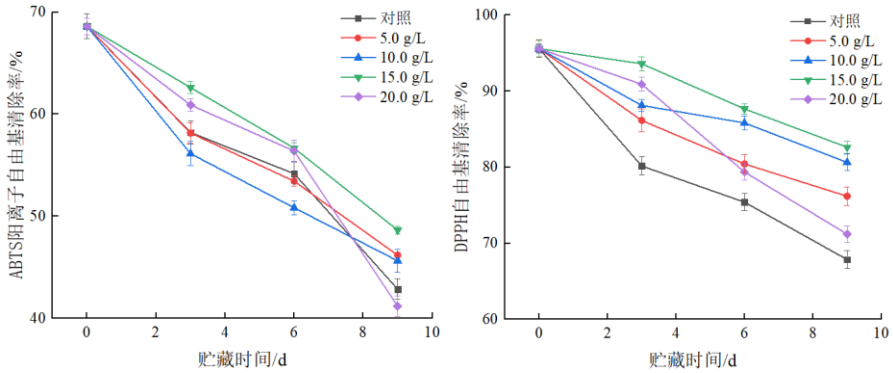

图 13 不同质量浓度沙棘叶提取对沙棘鲜果 DPPH 自由基清除率、ABTS 阳离子自由基清除率的影响

Fig.13 The effect of different concentrations of seabuckthorn leaf extraction on the DPPH, ABTS cationic free radical scavenging rate of seabuckthorn fruit

3 结论

该研究通过测定浸泡不同质量浓度的沙棘鲜果的各项指标，实验数据显示，适宜质量浓度沙棘鲜果在贮藏过程中，能显著提高果实的保鲜效果，延缓果实衰老，维持果实的品质。其中 15.0 g L^{-1} 处理组表现最优，能显著减缓各项指标变化速率，有效降低果实失重率，强力防止果实腐烂；5.0 g L^{-1} 处理组可有效降低果实的失重率、防止果实腐烂，同时高效控制了果实硬度的变化；10.0 g L^{-1} 处理组能最大限度地延缓了可滴定酸、Vc 含量的下降，有效抑制丙二醛含量的上升；而 20.0 g L^{-1} 处理组虽然显著延缓了 Vc、可溶性固形物含量的下降，但是对于其他指标无显著提升效果。不同质量浓度的沙棘叶提取物均能提高沙棘果实的 SOD，延缓 POD、CAT 活性的降低，使 MDA 含量处于较低的水平，有可能可能是 3 种酶协同作用分解 H_2O_2，减轻细胞膜的损伤，维持细胞的完整性；随着贮藏时间的延长，MDA 不断积累，细胞膜透性增加。不同质量浓度沙棘叶提取物也有可能调节了抗氧化物质的含量，使抗氧化酶与抗氧化物质共同作用而提高抗氧化性，降低果实的脂膜化，提高果实的保鲜效果，保持其良好的品质。综合考虑，该研究认为 15.0 g L^{-1} 处理组最能高效控制果实生理变化过程，适合采摘后沙棘果实的贮藏保鲜。沙棘叶提取物属于天然物质，相较于化学合成保鲜剂，它在来源上更加绿色、安全，符合消费者健康食品的追求趋势。此研究可为沙棘鲜果保鲜效果提供了重要参考，并为应用于果蔬保鲜中提供了理论依据。

参考文献

[1] 任婧楠,贾潇,张智锋,等.新鲜沙棘果汁和沙棘原浆的风味和营养品质分析[J].食品科学,2024,45(4):164-170.

[2] 李月,刘青,王悦,等.沙棘叶的应用及现代研究进展[J].中国中药杂志,2021,46(6):1326-1332.

[3] HAO J M, JIANG Y M, BI Y, et al. Antioxidant and stress resistance properties of flavonoids from Chinese sea buckthorn leaves from the *Qinghai-Tibet Plateau* [J]. Antioxidants, 2024, 13(7): 763.

[4] 钟心,尤飞,周振亚,等.我国沙棘产业发展现状与对策建议[J].世界林业研究,2021,34(3):102-106.

[5] WANG K W, XU Z Z, LIAO X J. Bioactive compounds, health ben efits and functional food products of sea buckthorn: areview [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2022, 62(24): 6761-6782.

[6] 王璇,张志伟,陈志玺,等.沙棘果食品开发利用研究进展与发展对策[J].保鲜与加工,2024,24(1):75-82.

[7] LYU X G, WANG X, WANG QL, et al. Encapsulation of sea buck thorn (*Hippophae rhamnoides* L.) leaf extract via an electrohydrody namic method [J]. Food Chemistry, 2021, 365: 130481.

[8] MA X Y, MOILANEN J, LAAKSONEN O, et al. Phenolic com pounds and antioxidant activities of tea-type infusions processed from sea buckthorn (*Hippopha ërhamnoides*) leaves [J]. Food Chem istry, 2019, 272: 1-11.

[9] TIAN Y, LIIMATAINEN J, ALANNE A L, et al. Phenolic com pounds extracted by acidic aqueous ethanol from berries and leaves of different berry plants [J]. Food Chemistry, 2017, 220: 266-281.

[10] YUE X F, SHANG X, ZHANG Z J, et al. Phytochemical composi tion and antibacterial activity of the essential oils from different parts of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) [J]. Journal of Food and Drug Analysis, 2017, 25(2): 327-332.

[11] POP R M, WEESEPOEL Y, SOCACIU C, et al. Carotenoid compo sition of berries and leaves from six Romanian sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) varieties [J]. Food Chemistry, 2014, 147: 1-9.

[12] KANAYAMA Y, SATO K, IKEDA H, et al. Seasonal changes in abiotic stress tolerance and concentrations of tocopherol, sugar, and ascorbic acid in sea buckthorn leaves and stems [J]. Scientia Horti culturae, 2013, 164: 232-237.

[13] CHO H, CHO E, JUNG H, et al. Antioxidant activities of sea buckthorn leaf tea extracts Compared with green tea extracts [J]. Food Science and Biotechnology, 2014, 23(4): 1295-1303.

[14] MASOODI K Z, WANI W, DAR Z A, et al. Sea buckthorn(*Hippopha ërhamnoides* L.)inhibits cellular proliferation, wound healing and decreases expression of prostate specific antigen in prostate cancer cells in vitro [J]. Journal of Functional Foods, 2020, 73: 104102.

[15] SORIANO J M, VILANOVAS, ROMEROC, et al. Characterization and mapping of NBS-LRR resistance gene analogs in apricot (*Prunus armeniaca* L.) [J]. Theoretical & Applied Genetics, 2005, 110(5): 980-989.

[16] 老莹,胡文忠,冯可,等.天然抑菌剂的抑菌机理及其在果蔬保鲜中的应用[J].食品与发酵工业,2018,44(9):288-293.

[17] 孙思胜,韩露,吴娟,等.复方丹参提取物结合壳聚糖涂膜对‘巨玫瑰’保鲜的影响[J].北方园艺,2025,18:69-77.

[18] 陈迪新,张洋,左培杰,等.蒲公英黄酮提取物对鲜切玉露香梨果的保鲜效果[J].江苏农业学报,2024,40(5):944-951.

[19] 陈勇杏,华燕,郭磊,等.黄芩提取物对百香果采后贮藏品质的影响[J].包装工程,2024,45(3):99-106.

[20] 林玲娜.蓝莓贮藏保鲜技术研究综述[J].甘肃农业科技, 2018,49(6):81-87.

[21] 程芸,梁佳豪,郦淑瑶,等.石榴叶提取物对樱桃果实的保鲜效果[J].食品安全导刊,2022,2:134-137.

[22] 马祥臣,张萍,马雨佳,等.枸杞枝条提取物对圣女果的贮藏保鲜效果研究[J].食品安全质量检测学报,2024,15(8):11-21.

[23] YAN Y S, DUAN S Q, ZHANG H L, et al. Preparation and characterization of -konjac glucomannan and pullulan composite films for strawberry preservation [J]. Carbohydrate Polymers, 2020, 243: 116446.

[24] GAO L, LIU P A, LIU L L, et al. K-carrageenan based pH-sensing films incorporated with anthocyanins and betacyanins extracted from purple sweet potatoes and peels of dragon fruits [J]. Process Biochemistry, 2022, 12: 463-480.

[25] NGUYEN V T B, NGUYEN D H H, NGUYEN H V H. Combination effects of calcium chloride and nano-chitosan on the postharvest quality of strawberry(Fragaria x-ananassa Duch.) [J]. Postharvest Biology and Technology, 2020, 162: 111103.

[26] NY/T 2637-2014.水果、蔬菜制品可溶性固形物含量的测定--折射仪法[S]

[27] VELICKOVA E, WINKELHAUSEN E, KUZMANOVAS, et al. Impact of chitosan-beeswax edible coatings on the quality of fresh strawberries(*Fragaria ananassa cv Camarosa*)under commercial storage conditions [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 52(2): 80-92.

[28] GB 5009.86-2025.食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定[S].

[29] 丁真真,张甜,刘艳全,等.无花果叶提取物对不同品种青皮核桃保鲜效果的影响[J].食品工业科技,2023,44 (11):343-349.

[30] ZELJKOVIĆ S Ć, TOPĞAGIĆ A, POŽGAN F, et al. Antioxidant activity of natural and modified phenolic extracts from *Satureja montana* L [J]. Industrial Crops and Products, 2015, 76: 1094-1099.

[31] ZHOU L, XIE M H, YANG F, et al. Antioxidant activity of high purity blueberry anthocyanins and the effects on human intestinal microbiota [J]. LWT-Food Sci Technol, 2020, 117: 100621.

[32] 罗益,薛波,陶择,等.外源褪黑素处理对金丝绞瓜贮藏品质和抗氧化能力的影响[J].食品工业科技,2024,45(12):294-301.

[33] 姜加良,王雪丽,韩颖,等.银杏叶提取物/阿拉伯胶复合涂膜对草莓保鲜效果的影响[J].中国食品添加剂,2023,34(2):211-218.

[34] 张高鹏,曲珈莹,侯雪宁,等.不同高氧预处理时间对枸杞鲜果贮藏保鲜作用比较[J].现代食品科技,2023,39(7):130-137.

[35] SOUSA-GALLAGHER M J, MAHAJAN P V. Integrative mathematical modelling for MAP design of fresh-produce: Theoretical analysis and experimental validation [J]. Food Control, 2013, 29(2): 444-445.

[36] 胡凯雪,邱秋萍,刘顺枝,等.近冰温贮藏对嘉宝果采后品质和抗氧化活性的影响[J].食品科学,2024,45(11):258-266.

[37] 王斯彤,王聪雅,刘怡菲,等.不同保鲜处理对软枣猕猴桃贮藏及抗氧化性的影响[J].沈阳农业大学学报,2022,53(3):302-308.

[38] 刘晨霞,乔勇进,黄宇斐,等.温度对核桃贮藏生理品质的影响[J].食品与发酵科技,2018,54(4):42-47.

[39] HENRIQUE COUTINHO DE BARCELOS COSTA, É RICA SAYURI SIGUEMOTO, TIAGO AUGUSTO BULHO, et al. Effect of microwave-assisted processing on polyphenol oxidase and peroxidase inactivation kinetics of a ɕai-berry (*Euterpe oleracea*) pulp [J]. Food Chemistry, 2020, 341(P2): 128287

[40] GAYOSSO-GARCIA SANCHO L E, YAHIA E M, MARTINEZ-TELLEZ M A, et al. Effect of maturity stage of *Papaya maradol* on physiological and biochemical parameters [J]. American Journal of Agricultural and Biological Sciences, 2010, 5(2): 194-203.