

陆滢, 管维良, 陈山乔, 等. 马尾松-虎耳草复合精油保鲜处理对阳光玫瑰葡萄贮藏期内品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(3): 346–355. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040155

LU Ying, GUAN Weiliang, CHEN Shanqiao, et al. Effects of *Pinus masoniana* and *Saxifraga stolonifera* (L.) Meerb. Essential Oils Preservative Treatment on the Storage Quality of Shine Muscat Grapes[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(3): 346–355. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040155

· 贮运保鲜 ·

马尾松-虎耳草复合精油保鲜处理对阳光玫瑰葡萄贮藏期内品质的影响

陆 滢¹, 管维良^{1,2}, 陈山乔³, 孙志栋^{2,*}, 蔡路昀^{1,2,*}

(1. 浙江大学宁波科创中心, 生物系统工程与食品科学学院, 浙江宁波 315100;

2. 浙大宁波理工学院生物与化学工程学院, 浙江宁波 315100;

3. 宁波市农业科学研究院, 浙江宁波 315100)

摘 要: 本研究采用马尾松-虎耳草复合精油- β -环糊精包合物加载的保鲜纸和保鲜片两种精油装载形式研究其对阳光玫瑰葡萄在低温和常温贮藏过程中品质的影响。结果表明, 马尾松-虎耳草精油保鲜纸比保鲜片更有效维持了贮藏期内阳光玫瑰葡萄的品质, 且精油保鲜纸处理结合低温贮藏效果最优。马尾松-虎耳草精油保鲜纸有效抑制阳光玫瑰葡萄失重率增加, 低温贮藏 5 周后葡萄失重率为 0.36%, 显著低于对照组 (0.81%, $P < 0.05$), 维持葡萄贮藏期间的色泽和硬度, 减缓果实中可溶性固形物含量、酸度和还原糖含量的下降, 低温贮藏 5 周后葡萄的可溶性固形物含量和酸度分别显著高于对照组 1.65% 和 0.13% ($P < 0.05$), 有效抑制多酚氧化酶活性和过氧化物酶活性的上升, 并抑制果实中丙二醛含量的上升, 低温贮藏 5 周后葡萄丙二醛含量为 0.88 nmol/g, 显著低于对照组 (3.25 nmol/g, $P < 0.05$)。综上所述, 马尾松-虎耳草精油保鲜纸在常温和低温贮藏下均可起到维持阳光玫瑰葡萄贮藏期间品质的作用, 且精油保鲜纸使用便利, 具有产业化前景。

关键词: 阳光玫瑰葡萄, 马尾松-虎耳草复合精油, 保鲜纸, 贮藏品质, 抗氧化活性

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)03-0346-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040155

本文网刊:



Effects of *Pinus masoniana* and *Saxifraga stolonifera* (L.) Meerb. Essential Oils Preservative Treatment on the Storage Quality of Shine Muscat Grapes

LU Ying¹, GUAN Weiliang^{1,2}, CHEN Shanqiao³, SUN Zhidong^{2,*}, CAI Luyun^{1,2,*}

(1. Ningbo Innovation Center, College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Ningbo 315100, China;

2. College of Biological and Chemical Engineering, NingboTech University, Ningbo 315100, China;

3. Ningbo Academy of Agricultural Sciences, Ningbo 315100, China)

Abstract: In this work, *Pinus masoniana* and *Saxifraga stolonifera* (L.) Meerb. essential oils were employed to develop preservative materials (i.e., preservative paper and preservative tablet), and effects of the preservative material treatments on Shine Muscat grapes under different temperatures (room temperature and low temperature) were also investigated. The results showed that the preservative paper was more effective than the preservative tablet to maintain the quality of the Shine Muscat in storage time. In addition, grapes treated with the preservative paper under low-temperature storage exhibited the optimum quality among all. *Pinus masoniana*-*Saxifraga stolonifera* (L.) Meerb. essential oils preservative

收稿日期: 2022-04-18

基金项目: 余姚市科技计划项目 (2020NS01)。

作者简介: 陆滢 (1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品贮藏加工, E-mail: lu_ying_2021@163.com。

* 通信作者: 孙志栋 (1963-), 男, 硕士, 教授级高级工程师, 研究方向: 农产品贮藏加工, E-mail: zdsun.cn@163.com。

蔡路昀 (1981-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 农产品贮藏加工, E-mail: cailuyun@zju.edu.cn。

paper effectively inhibited the weight loss rate, maintained the color and hardness, slowed down the decrease of total soluble solids, acidity and reducing sugar. After storage for 5 weeks under low temperature with the preservative paper, the weight loss rate of the grapes was 0.36%, significantly lower than that of the control group (0.81%, $P<0.05$), the total soluble solids and acidity were 1.65% and 0.13% significantly higher than those of the control group ($P<0.05$), respectively. In addition, the increase of the activities of polyphenol oxidase, peroxidase and malondialdehyde content in grapes were effectively inhibited by the preservative paper, the malondialdehyde content was 0.88 nmol/g, significantly lower than that in the control group (3.25 nmol/g, $P<0.05$). In conclusion, *Pinus masoniana* and *Saxifraga stolonifera* (L.) Meerb. essential oils preservative paper plays the role of maintaining the quality of the Shine Muscat during storage. Besides, preservative paper is convenient to use and has the prospect of industrialization.

Key words: Shine Muscat; *Pinus masoniana* and *Saxifraga stolonifera* (L.) Meerb. essential oils; preservation paper; storage quality; antioxidant activity

阳光玫瑰葡萄(*Vitis labrusca*×*V. vinifera*, Shine Muscat), 青绿色, 果肉脆嫩, 有玫瑰香气, 商品价值高, 然而贮藏过程易发生果梗干枯褐变、果实软化以及发霉腐烂等现象^[1-2]。目前阳光玫瑰葡萄主要采用低温高湿贮藏、气调保鲜和臭氧保鲜等物理保鲜结合 SO₂、1-甲基环丙烯(1-MCP)等化学保鲜剂的方式进行采后保鲜^[3]。但这些物理保鲜方式往往技术要求高且能耗大, 而化学保鲜剂在果蔬表面残留存在潜在毒性, 有一定的食品安全隐患。

近年来, 天然植物萃取精油显示对果蔬有高效的广谱抑菌保鲜效果^[4-6]。植物精油主要通过破坏微生物的细胞壁和细胞膜、抑制核酸合成、紊乱线粒体功能、改变细胞透性和抑制酶活性等发挥抑菌作用^[7-10]。马尾松(*Pinus masoniana*)精油和虎耳草(*Saxifraga stolonifera* (L.) Meerb.)精油由天然植物萃取, 马尾松精油中的 α -蒎烯、 β -蒎烯、 β -石竹烯和双环大根香叶烯等物质有良好的抑菌活性、抗氧化活性和挥发性, 虎耳草精油中的黄酮类物质、萜类和酚酸类物质也有良好的抗氧化和抑菌作用, 因此植物精油可以挥发附着到果蔬表面发挥抑菌保鲜作用^[11-13]。目前研究表明, 马尾松松针提取物能够有效抑制柑橘意大利青霉^[12]、苹果腐败菌^[14]、竹子霉菌^[15]和葡萄霜霉病菌^[16]等; 虎耳草精油对小麦全蚀病菌、番茄早疫病菌和葡萄霜霉病菌有良好的抑菌活性^[17]。因此马尾松-虎耳草复合精油可能在阳光玫瑰葡萄的霉变腐烂、软化皱缩等方面有潜在的应用价值。

植物精油环糊精包合物有改善精油稳定性、保护精油有效成分和缓释精油等作用^[18-20]。以植物精油环糊精包合物形式装载的保鲜纸和保鲜片能够在果蔬保鲜中发挥长效抑菌抗氧化的功效^[18, 21]。其次, 保鲜纸和保鲜片使用方便, 技术要求低, 农民在果蔬采收预冷后随手放入保鲜纸或保鲜片后密封装箱即可。目前还未有马尾松-虎耳草复合精油环糊精包合物对阳光玫瑰葡萄的保鲜品质的相关研究, 且以保鲜纸和保鲜卡装载精油环糊精包合物具有使用便利的优势, 适合在葡萄种植户中进行推广, 具有产业化前景。

本研究采用马尾松-虎耳草精油开发天然安全高效的阳光玫瑰葡萄缓释精油保鲜纸和保鲜片, 并且探究其在常温(25 ℃)和低温(4 ℃)两种贮藏温度下对

阳光玫瑰葡萄品质的保鲜效果, 以期阳光玫瑰葡萄采后贮藏保鲜提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

阳光玫瑰葡萄 采摘于浙江省宁波市余姚市, 可溶性固形物含量为 18.5%~19%; 马尾松精油、虎耳草精油 江西芳麟香精有限公司; 聚乙烯(PE)保鲜袋(0.03 mm) 广州齐铭塑料制品有限公司; 保鲜纸 大连蓝塞斯无纺布制品有限公司; 3, 5-二硝基水杨酸试剂(DNS 试剂) 北京索莱宝科技有限公司; 淀粉、氯化钙、硫酸铝钾(食品级) 河南瑞仁生物工程有限公司; 其他化学试剂 国药集团化学试剂有限公司。

PAL-BX/ACID 2 数字手持数显折光仪 日本 ATAGO 公司; CT3 4500 质构仪 美国 Brookfield 公司; CI60 便携式色差仪 美国 X·rite 公司; 5425R 高速冷冻离心机 德国 Eppendorf 公司; SPARK 全波长扫描多功能酶标仪 瑞士 Tecan 公司; Alpha 1-4 LSC 冷干机 德国 CHRIST 公司; DHG-9146A 电热鼓风干燥箱 上海精宏实验设备有限公司; TDP-6 单冲压片机 上海天凡药机制造厂。

1.2 实验方法

1.2.1 精油保鲜纸和精油保鲜片的制备 马尾松精油-虎耳草精油- β -环糊精包合物和精油保鲜纸的制备参考岳淑丽等^[21]的制备方法。采用沉淀法制备马尾松精油-虎耳草精油- β -环糊精包合物。在 100 mL 蒸馏水中加入 20 g β -环糊精, 加热至 70 ℃ 溶解。分别量取 1.5 mL 的马尾松精油和虎耳草精油溶解于 30 mL 无水乙醇中, 逐滴沿壁滴入 β -环糊精溶液中, 70 ℃、700 r/min 搅拌 2 h, 于 4 ℃ 沉淀 24 h, 抽滤, 烘箱 50 ℃ 干燥 4 h, 即得精油包合物粉末。将制备好的马尾松精油-虎耳草精油- β -环糊精包合物粉末以 1:40 的比例溶于 0.02 g/mL 的聚乙烯醇(PVA)溶液中, 每张保鲜纸(20 cm×30 cm)涂抹 32 mL, 多次反复均匀涂布, 最后自然晾干待用。保鲜片的制备采用压片法, 将制备好的马尾松精油-虎耳草精油- β -环糊精包合物粉末与淀粉(粘合剂)、氯化钙(赋形剂)、硫酸铝钾(缓释剂)等按 16:2:1:1 比例均匀混

合,进行冷冻干燥 72 h,再放入压片机中压片(1 g,直径 1.5 cm 的圆形),得到保鲜片。

1.2.2 样品处理 挑选果穗大小重量相近(600 ± 50 g)、无机械损伤、无病虫害的阳光玫瑰葡萄,将采摘后的阳光玫瑰葡萄装入内衬有聚乙烯(PE)保鲜袋的塑料筐中,置于 4 ℃ 冷库敞口预冷 15 h。分别设置保鲜纸组(马尾松-虎耳草精油缓释保鲜纸)、保鲜片组(马尾松-虎耳草精油缓释保鲜片)和对照组,每组设置 4 筐葡萄,每筐 3 穗葡萄。保鲜纸组为每筐放入一张保鲜纸后包装袋密封,保鲜片组为每筐放入 1 片保鲜片后包装袋密封,对照组不放入保鲜片或保鲜纸直接包装袋密封。本研究设置两个贮藏温度(25 ℃ 和 4 ℃),相对湿度 $50\%\pm 5\%$ 。常温贮藏组(25 ℃)每隔 2 d 检测相关指标,共测定 8 d;低温贮藏组(4 ± 0.5 ℃)每隔一周检测相关指标,共测定 5 周。

1.2.3 指标测定

1.2.3.1 失重率 阳光玫瑰葡萄贮藏期间的失重率按下列公式进行计算:

$$\text{失重率}(\%) = (\text{初质量} - \text{末质量}) / \text{初质量} \times 100$$

1.2.3.2 色泽 果皮色泽使用色差仪测定,测定部位为阳光玫瑰葡萄果粒的赤道部位。同时进行贮藏期间葡萄和贮藏第 0 d 葡萄的总色泽差异值 ΔE 评价。

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2}$$

式中: L^* 、 a^* 、 b^* 分别为贮藏期间葡萄的亮度、红绿值和黄蓝值, L_0 、 a_0 、 b_0 分别为贮藏第 0 d 葡萄的亮度、红绿值和黄蓝值。

1.2.3.3 硬度 果皮硬度使用质构仪测定,测定部位为阳光玫瑰葡萄果粒的赤道部位。质构仪探头型号为 P/2,直径 2 mm,测定参数为最小感知力 5 g,测试速度 2 mm/s。

1.2.3.4 可溶性固形物含量和酸度 阳光玫瑰葡萄的可溶性固形物含量和酸度都采用 PAL-BX/ACID 2 数字手持数显折光仪测定,其酸度以酒石酸的含量来表示。

1.2.3.5 还原糖含量 阳光玫瑰葡萄中的还原糖含量的测定参考曹建康等^[22]报道的 3,5-二硝基水杨酸法。称取 0.5 g 样品,加入 45 mL 蒸馏水研磨成匀浆,80 ℃ 水浴 30 min,冷却后 10000 r/min 离心 10 min。取 250 μ L 上清、750 μ L DNS 试剂和 750 μ L 蒸馏水,混匀,沸水浴 5 min,冷却后取 20 μ L 上清和 180 μ L 蒸馏水加入酶标板中,在 540 nm 处测吸光值,重复 3 次取平均值。

1.2.3.6 多酚氧化酶(PPO)和过氧化物酶(POD)的测定 阳光玫瑰葡萄中的 PPO 及 POD 的测定均采用曹建康等^[22]报道的方法。称取 5.0 g 样品,加入 5 mL 提取缓冲液,冰浴研磨匀浆,于 4 ℃、12000 r/min 离心 30 min,收集上清液即为酶提取液。PPO 采用邻苯二酚比色法测定。在酶标板中加入 10 μ L 酶提取

液,再按 4:1 加入 0.1 mol/L、pH5.5 醋酸缓冲液和 50 mmol/L 邻苯二酚溶液共 200 μ L,混匀后在 420 nm 处测吸光值,重复 3 次取平均值。POD 采用愈创木酚比色法测定。在酶标板中加入 75 μ L 50 mmol/L 愈创木酚溶液和 65 μ L 酶提取液,再加入 85 μ L 0.06 mol/L H_2O_2 溶液,混匀后在 470 nm 处测吸光值,重复 3 次取平均值。

1.2.3.7 丙二醛含量(MDA) 阳光玫瑰葡萄中的 MDA 含量的测定采用曹建康等^[22]报道的硫代巴比妥酸比色法。称取 1.0 g 样品,加入 10 mL 10% 三氯乙酸溶液,研磨至匀浆,于 4 ℃、4000 r/min 离心 10 min,其上清液为丙二醛提取液。取 2 mL 丙二醛提取液,对照管为 2 mL 10% 三氯乙酸溶液,再加入 2 mL 0.6% 硫代巴比妥酸溶液,混匀后沸水浴 15 min,冷却后再次离心,取上清液分别在 450、532、600 nm 处测吸光值,重复三次取平均值。

1.3 数据处理

运用 Origin 8.0 进行图形处理,运用 SPSS 25.0 软件进行数据统计分析,采用 Duncan 事后检验进行数据差异显著性分析,显著性水平设置为 0.05。

2 结果与分析

2.1 贮藏期内阳光玫瑰葡萄失重率的变化

失重率可反映果蔬新鲜度^[23]。阳光玫瑰葡萄失重主要是由于果实蒸腾作用引起的水分损失和呼吸作用引起的干物质消耗^[24]。两种贮藏温度下,对照组的失重率始终高于保鲜处理组,并且随着贮藏时间的增加,差异更加显著($P<0.05$,图 1A、B)。常温贮藏 8 d 后,保鲜处理组葡萄失重率在 2% 左右,而对照组阳光玫瑰葡萄的失重率超过 5%,保鲜处理组与对照组差异显著($P<0.05$,图 1A)。胡还甫等^[25]的研究同样表明缙草精油能抑制夏黑葡萄在常温贮藏中的失重。马尾松-虎耳草精油可能通过挥发到果蔬表面并抑制表面微生物的活性,减弱微生物活动导致的果实腐败,进而减轻了果实的呼吸代谢,从而延缓葡萄失重^[26]。在常温贮藏期内,保鲜纸和保鲜片均能抑制葡萄失重且无显著差异($P>0.05$,图 1A)。这可能是由于常温下精油分子运动较为活跃^[27],保鲜纸和保鲜片中的精油释放速率相当。

在低温贮藏期内,保鲜纸组的阳光玫瑰葡萄失重率显著低于保鲜片组和对照组($P<0.05$,图 1B)。这可能是由于保鲜片的压片处理使精油环糊精包合物之间致密, β -环糊精包合物中精油释放相对受阻。石泽栋等^[18]研究发现 4 ℃ 下牛至精油微胶囊中精油释放率低于 25 ℃ 下的释放率。因而低温下保鲜片中精油释放速率低于保鲜纸。总体来说,植物精油保鲜纸可有效减少阳光玫瑰葡萄在贮藏期间的水分损失,这对维持阳光玫瑰葡萄贮藏期内的品质至关重要。低温贮藏结合保鲜纸处理 5 周后,葡萄失重率为 0.36%,因此低温贮藏结合马尾松-虎耳草精油保鲜纸更有利于延缓阳光玫瑰葡萄失重状况。

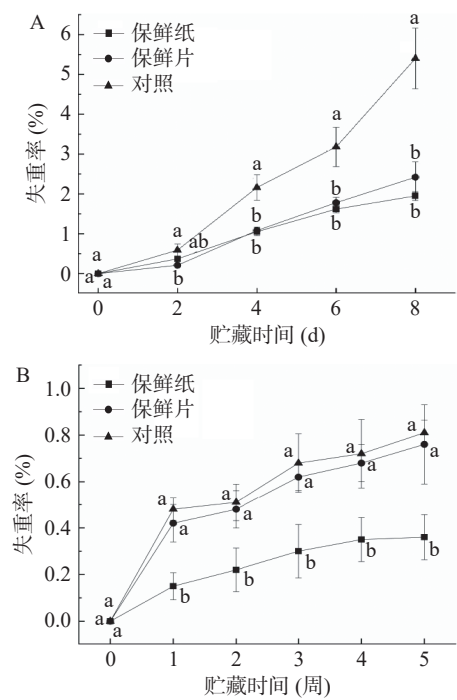


图 1 常温贮藏(A)和低温贮藏(B)下阳光玫瑰葡萄失重率的变化

Fig.1 Changes of weight loss rate of Shine Muscat under room temperature storage (A) and low temperature storage (B)

注: 不同小写字母表示同一贮藏时间下不同处理间存在显著差异($P<0.05$); 图 2~图 8 同。

2.2 贮藏期内阳光玫瑰葡萄色泽的变化

色泽直接反映了阳光玫瑰葡萄的外观品质和新鲜程度。常温贮藏 8 d 时,保鲜纸处理组中阳光玫瑰葡萄的亮度高于对照组,但差异不显著($P>0.05$,表 1)。在冷藏 5 周后,保鲜纸组和保鲜片组葡萄的亮度值分别为 49.21 和 48.74,显著高于同时期对照组的亮度值 46.10($P<0.05$,表 2),表明保鲜处理能延缓阳光玫瑰葡萄亮度的下降。 ΔE 能反映不同贮藏时间阳光玫瑰葡萄色泽相较于贮藏前葡萄色泽的变化程度。总体来看,保鲜处理组色泽变化较小,但与对照组相比不存在显著差异($P>0.05$,表 1、表 2)。PPO

表 1 常温贮藏下阳光玫瑰葡萄色泽的变化

Table 1 Changes of color of Shine Muscat under room temperature storage

指标	时间(d)	组别		
		保鲜纸组	保鲜片组	对照组
L^*	0		42.33±1.65	
	2	42.93±1.88 ^a	45.66±2.24 ^a	43.27±1.49 ^a
	4	42.67±0.42 ^b	42.89±1.09 ^b	44.54±0.58 ^a
	6	43.28±1.53 ^a	42.63±1.59 ^a	44.02±0.67 ^a
	8	43.77±1.66 ^a	42.37±0.83 ^a	42.56±1.34 ^a
ΔE	2	1.65±0.66 ^a	3.14±1.59 ^a	4.09±1.00 ^a
	4	1.35±0.60 ^a	1.86±0.98 ^a	2.79±0.67 ^a
	6	2.56±0.95 ^a	1.95±1.29 ^a	3.11±1.40 ^a
	8	1.50±0.81 ^a	1.46±1.08 ^a	2.07±0.81 ^a

注: 同行不同小写字母表示相同贮藏时间不同组别间差异显著($P<0.05$); 表 2 同。

和 POD 是植物体内促发酶促褐变反应导致阳光玫瑰葡萄果皮褐变的主要酶^[28],马尾松-虎耳草精油可能是通过抑制葡萄中 PPO 和 POD 这些酶的活性来减轻葡萄果皮的褐变(详见 2.6),从而维持葡萄果粒在贮藏期间的色泽。然而阳光玫瑰葡萄色泽的变化与果实多酚含量、氧化酶活性、叶绿素降解等因素相关,贮藏期间葡萄色泽的变化及马尾松-虎耳草精油对果实色泽的影响还需进一步研究^[29]。

表 2 低温贮藏下阳光玫瑰葡萄色泽的变化

Table 2 Changes of color of Shine Muscat under low temperature storage

指标	时间(周)	组别		
		保鲜纸组	保鲜片组	对照组
L^*	0		46.57±1.59	
	1	46.7±1.03 ^a	47.03±1.32 ^a	47.97±1.38 ^a
	2	46.03±0.71 ^a	45.33±2.22 ^a	47.12±1.01 ^a
	3	45.92±0.64 ^a	47.42±2.61 ^a	46.51±1.06 ^a
	4	46.69±0.56 ^b	46.62±0.76 ^b	48.16±0.52 ^a
ΔE	5	49.21±1.60 ^a	48.74±1.15 ^a	46.10±1.22 ^b
	1	1.09±0.46 ^b	0.96±0.44 ^b	2.28±0.27 ^a
	2	2.34±0.45 ^a	2.78±1.90 ^a	2.72±0.54 ^a
	3	2.04±0.96 ^a	1.51±1.01 ^a	2.72±1.30 ^a
	4	1.39±0.42 ^a	1.44±0.51 ^a	2.14±0.72 ^a
	5	2.83±1.05 ^a	2.78±0.60 ^a	3.10±1.20 ^a

2.3 贮藏期内阳光玫瑰葡萄硬度的变化

果实硬度是新鲜水果最重要的品质指标之一,阳光玫瑰葡萄的硬度是消费者评价质量等级的关键因素^[30-31]。由图 2 可知,贮藏期内,阳光玫瑰葡萄硬度总体呈波动下降的趋势。保鲜纸处理组的阳光玫瑰葡萄的硬度变化幅度小,明显抑制了阳光玫瑰葡萄硬度的下降。常温贮藏 8 d 后,保鲜纸组阳光玫瑰葡萄的硬度与对照组无显著差异($P>0.05$,图 2A)。低温贮藏 4 周后,保鲜纸组阳光玫瑰葡萄的硬度显著高于对照组($P<0.05$,图 2B),随着贮藏时间的延长,保鲜纸中精油挥发量减少,维持阳光玫瑰葡萄硬度的作用逐渐减弱,第 5 周保鲜纸处理组阳光玫瑰葡萄的硬度与对照组无显著性差异($P>0.05$,图 2B)。因此常温贮藏和低温贮藏结合保鲜纸处理均能明显抑制阳光玫瑰葡萄硬度的下降。葡萄采后在贮藏过程中持续失水,细胞膨压降低造成机械结构特性改变,失水胁迫破坏了果实采后正常生理代谢^[32],进而促进呼吸作用和细胞衰老,影响果实耐贮性。而植物精油中的萜烯类物质和酚类物质可能在维持葡萄硬度方面发挥了主要作用^[33-34],它们直接抑制了果实细胞壁中降解酶活性,从而维持了葡萄贮藏期间的硬度。

2.4 贮藏期内阳光玫瑰葡萄可溶性固形物含量和酸度的变化

阳光玫瑰葡萄中的可溶性固形物含量主要是可溶性糖类物质和其他如有机酸、维生素和矿物质等可溶性物质,可溶性固形物含量是判断葡萄适时采收和贮藏品质的重要指标^[35]。如图 3 所示,阳光玫瑰

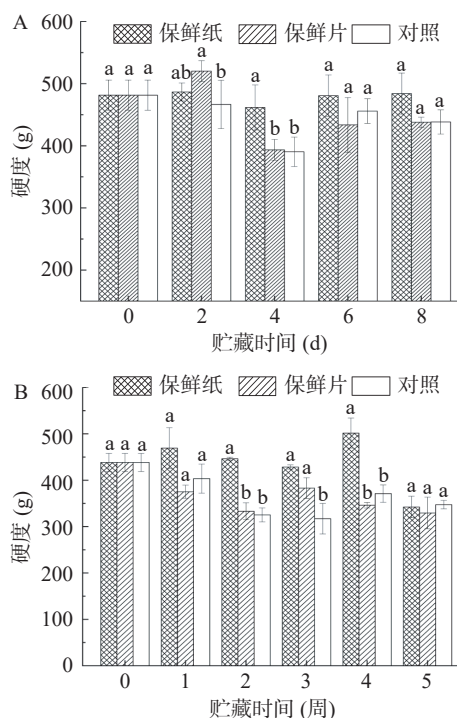


图2 常温贮藏(A)和低温贮藏(B)下阳光玫瑰葡萄硬度的变化

Fig.2 Changes of hardness of Shine Muscat under room temperature storage (A) and low temperature storage (B)

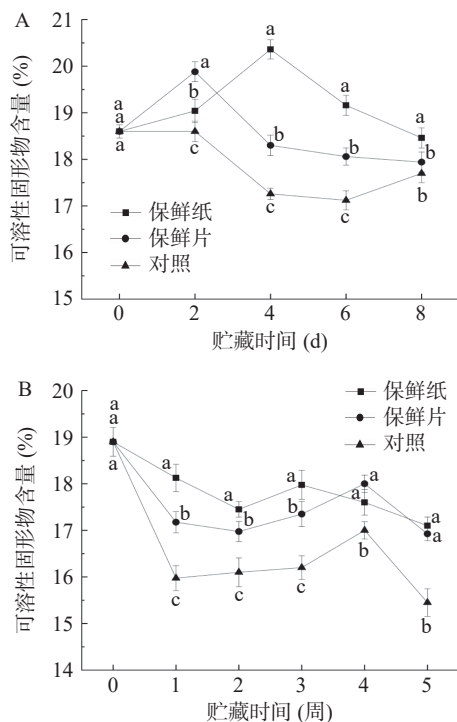


图3 常温贮藏(A)和低温贮藏(B)下阳光玫瑰葡萄可溶性固形物含量的变化

Fig.3 Changes of total soluble solids of Shine Muscat under room temperature storage (A) and low temperature storage (B)

葡萄采收时的可溶性固形物含量在 18.5%~19% 左右。随着贮藏时间的延长,葡萄的可溶性固形物含量总体呈下降趋势,这可能是因为葡萄果实衰老和呼吸等生命活动以及微生物生长繁殖消耗了可溶性营养物质^[36-37]。而常温贮藏前期葡萄的可溶性固形物含

量有上升趋势,可能是葡萄成熟度提高,果实中淀粉和纤维素等物质转换为可溶性糖^[38]。低温贮藏期间葡萄中可溶性固形物含量变化主要呈现下降-上升-下降的趋势。低温贮藏中期葡萄的可溶性固形物含量上升可能是由于葡萄适应低温环境后呼吸代谢受低温抑制,呼吸代谢消耗的可溶性物质低于淀粉和纤维素等物质转化为可溶性糖的含量,导致可溶性固形物含量略有上升。低温贮藏后期果实衰老导致营养物质的消耗速率加快可溶性固形物含量再次下降。

可滴定酸主要为葡萄中的酒石酸和苹果酸等多种有机酸,反映葡萄的风味品质和营养价质^[25]。如图 4 所示,保鲜处理组阳光玫瑰葡萄的酸度在贮藏期内总体呈波动下降的趋势。Wu 等^[39]研究发现葡萄成熟过程中酸度一般呈下降趋势。葡萄中有机酸参与主体代谢,在贮藏过程中作为呼吸底物被代谢^[40]。常温贮藏前 4 d 和低温贮藏前 2 周,葡萄酸度的下降趋势可能与葡萄成熟过程中有机酸作为呼吸底物被代谢有关,并且对照组阳光玫瑰葡萄的酸度值始终低于保鲜处理组,其下降速率也显著高于保鲜处理组($P<0.05$)。常温贮藏 4~6 d 对照组酸度上升,可能是由于该时间段失重率快速上升(图 1A),葡萄失水较快,导致酸含量相对上升^[36],低温贮藏中期各组葡萄酸度有上升趋势可能也与此相关。贮藏后期由于果实衰老代谢增强和微生物生长繁殖消耗果实内有机酸,酸度进一步下降。

两种贮藏温度下,对照组葡萄的可溶性固形物含量在贮藏期间均低于保鲜处理组。低温贮藏 5 周

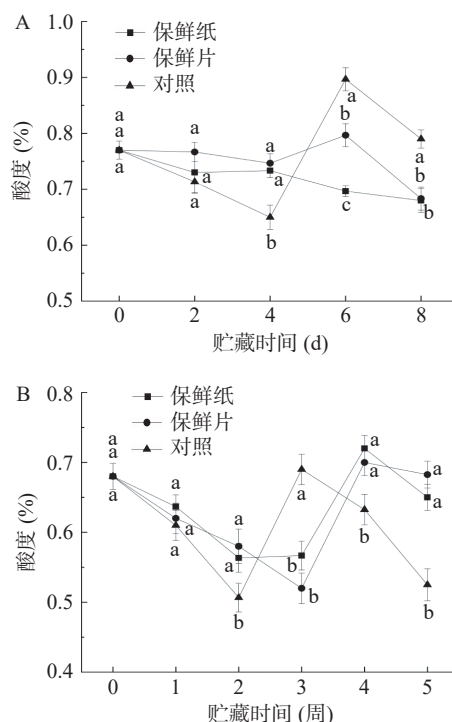


图4 常温贮藏(A)和低温贮藏(B)下阳光玫瑰葡萄酸度的变化

Fig.4 Changes of acidity of Shine Muscat under room temperature storage (A) and low temperature storage (B)

后,对照组的可溶性固形物含量为 15.5%,显著低于保鲜处理组($P<0.05$,图 3B);同样低温贮藏 5 周后,对照组葡萄的酸度显著低于保鲜处理组葡萄的酸度($P<0.05$,图 4B),而保鲜纸组与保鲜片组葡萄的酸度无显著差异($P>0.05$,图 4B)。许泽文等^[41]将柠檬草精油应用于巨峰葡萄保鲜也得到了类似的结果,柠檬草精油有效减缓了巨峰葡萄中可滴定酸的下降。这可能是由于植物精油中黄酮类和酚酸类等抑菌成分通过破坏微生物细胞膜来抑制其生长繁殖,从而降低了可溶性固形物和有机酸等营养物质的分解代谢,减缓了果实中可溶性固形物和有机酸的下降,延长了果实贮藏时间^[32]。此外,植物精油抑制果实失水一定程度上避免了细胞原生质脱水引起水解酶活性的增强,减缓了可溶性固形物和有机酸等营养物质的水解过程。

2.5 贮藏期内阳光玫瑰葡萄还原糖含量的变化

还原糖能为果实内多种物质的合成提供糖基供体^[25]。常温贮藏下,阳光玫瑰葡萄中还原糖呈现先上升后下降的趋势。常温贮藏第 2 d 还原糖含量上升可能是由于葡萄成熟度提高,果实中淀粉和有机酸等物质转化为还原糖。而贮藏后期由于阳光玫瑰葡萄呼吸代谢和微生物生长繁殖消耗还原糖导致其含量下降。低温贮藏前 2 周三组阳光玫瑰葡萄的还原糖含量均呈下降趋势,从第 3 周开始,三组葡萄的还原糖含量均有所上升,这与低温贮藏组可溶性固形物含量变化相似,可能与低温抑制葡萄呼吸代谢有关,呼吸代谢消耗还原糖速率低于淀粉和纤维素等物质转化为还原糖的速率导致其含量上升。

不同贮藏温度下保鲜纸和保鲜片处理组的还原糖含量始终高于对照组。常温贮藏 8 d 后,对照组的还原糖含量显著低于保鲜纸组和保鲜片组($P<0.05$,图 5A)。与葡萄中可溶性固形物发生变化的原因相似,可能是植物精油中的抑菌成分抑制了微生物的生长繁殖并减轻了致腐微生物对果实的胁迫,进而抑制了果实的呼吸代谢,延缓了果实中还原糖含量的下降^[26]。

2.6 贮藏期内阳光玫瑰葡萄 PPO 和 POD 活性的变化

PPO 和 POD 是与葡萄氧化褐变有关的氧化酶,贮藏期内 PPO 和 POD 活性的变化能反映葡萄抗氧化体系的变化和对抗环境胁迫的变化^[27]。贮藏期内葡萄中 PPO 活性总体呈现波动上升趋势。贮藏期内保鲜纸组的阳光玫瑰葡萄的 PPO 活性始终低于对照组。常温贮藏第 8 d 时,保鲜纸组葡萄的 PPO 活性显著低于保鲜片处理组和对照组($P<0.05$,图 6A)。酚类物质是 PPO 参与的酶促反应的底物,植物精油中的活性成分可能与 PPO 活性中心竞争结合从而抑制 PPO 的活性^[42]。此外有研究表明果实中有机酸类物质的变化可以改变果实内体系的 pH 并实现对 PPO 活性的调控^[43]。葡萄贮藏期间有机酸含量降低,体系 pH 接近 PPO 最适 pH,进而诱发 PPO 活性增加。因此马尾松和虎耳草精油通过抑制有机酸含

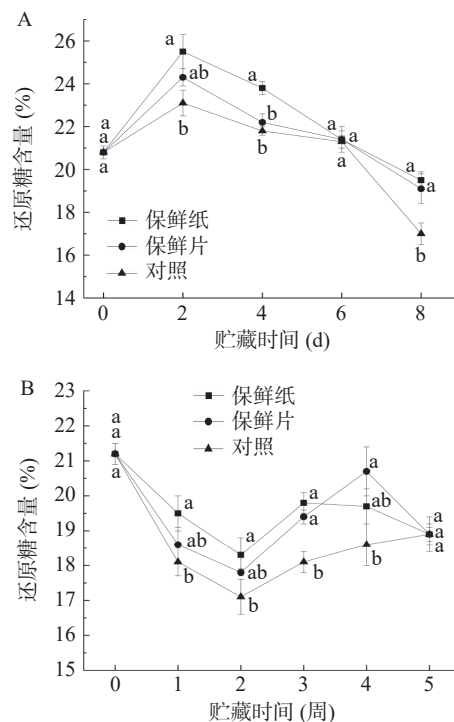


图 5 常温贮藏(A)和低温贮藏(B)下阳光玫瑰葡萄还原糖含量的变化

Fig.5 Changes of reducing sugar of Shine Muscat under room temperature storage (A) and low temperature storage (B)

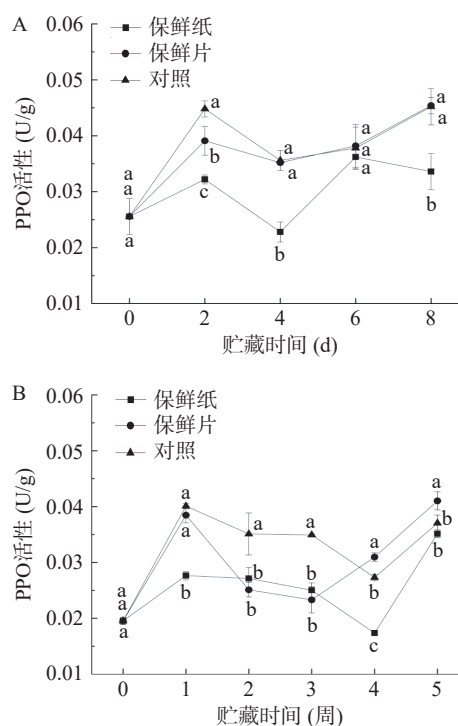


图 6 常温贮藏(A)和低温贮藏(B)下阳光玫瑰葡萄 PPO 活性的变化

Fig.6 Changes of PPO activity of Shine Muscat under room temperature storage (A) and low temperature storage (B)

量的下降(图 4A)和酚类物质作用,从而抑制了 PPO 活性的增加。

低温贮藏期内葡萄 PPO 活性呈现升高-下降-升高的趋势。低温贮藏第 1 周 PPO 活性升高可能是葡萄适应低温环境胁迫,组织细胞氧化防御作用增

强^[44]。当葡萄适应低温环境后 PPO 活性逐渐降低。而随着贮藏时间的延长,葡萄果实衰老或受到微生物胁迫,膜脂过氧化程度加深,PPO 活性再次上升。基于葡萄中 PPO 的变化与酸度的变化有相关性,低温贮藏期内葡萄 PPO 活性呈现升高-下降-升高的趋势可能也受到了果实中有机酸代谢的影响。低温贮藏前期保鲜处理组葡萄中 PPO 活性始终低于对照组,而低温贮藏后期保鲜片处理组 PPO 活性高于对照组,可能是保鲜片在低温贮藏后期精油释放更加微弱,无法继续抑制 PPO 活性的增加。

POD 是果蔬组织中重要的氧化还原酶,与果实组织中的许多代谢变化和反应有关^[45]。POD 能清除果实细胞中的过氧化氢,避免过氧化氢的积累引起细胞膜脂过氧化损害,从而对细胞起到保护作用^[46]。贮藏期内葡萄中 POD 活性总体呈上升趋势。常温贮藏 6 d 后,保鲜处理组的 POD 活性均显著低于对照组($P<0.05$,图 7A),植物精油有效抑制了 POD 活性的升高。低温贮藏组中,保鲜纸组和保鲜片组也明显抑制了 POD 活性的上升,保鲜纸组的 POD 活性始终显著低于对照组($P<0.05$,图 7B)。陈楚英等^[47]将白薇醇提物作用于脐橙果实也得到了类似的结果。POD 可能与 PPO 被抑制的原因相同,也同样受到了植物精油中酚类物质的抑制和果实中有机酸含量这两方面的影响^[48]。

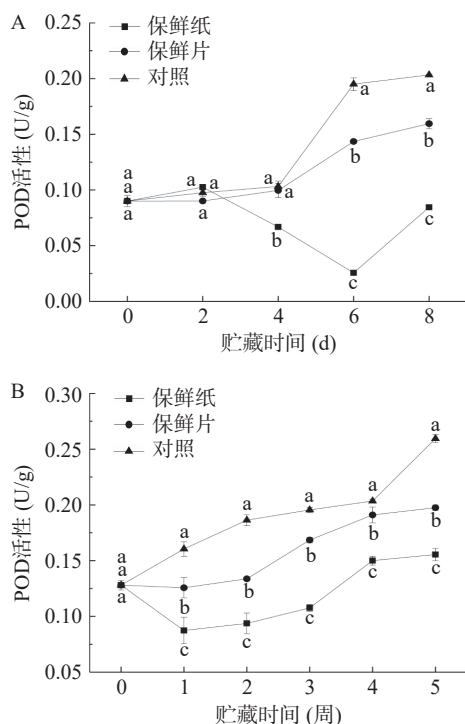


图 7 常温贮藏(A)和低温贮藏(B)下阳光玫瑰葡萄 POD 活性的变化

Fig.7 Changes of POD activity of Shine Muscat under room temperature storage (A) and low temperature storage (B)

2.7 贮藏期内阳光玫瑰葡萄丙二醛含量的变化

MDA 是膜脂过氧化作用的主要产物之一,阳光玫瑰葡萄中 MDA 的积累会对细胞质膜和细胞器造

成损伤,能反映植物组织衰老和细胞膜脂过氧化的程度^[49-50]。在贮藏期间,MDA 含量总体呈上升趋势。对照组的 MDA 含量始终高于保鲜处理组,贮藏后期保鲜纸处理与对照组差异更加显著($P<0.05$,图 8A 和图 8B)。这可能是因为精油中的 β -石竹烯、 α -蒎烯和酚类物质等抗氧化成分发挥作用^[11],清除果实内氧自由基,进而减缓膜脂过氧化作用,有效抑制了 MDA 的积累。低温贮藏组保鲜纸处理显著减缓了葡萄中 MDA 含量的上升,贮藏 2 周后,保鲜纸组葡萄中 MDA 含量显著低于保鲜片组和对照组($P<0.05$,图 8B)。这可能是由于保鲜片的缓释效果不及保鲜纸,或是保鲜片装载的植物精油释放不充分,因此保鲜片只在贮藏初期起明显作用,而保鲜纸的长效缓释能延长至贮藏终点。

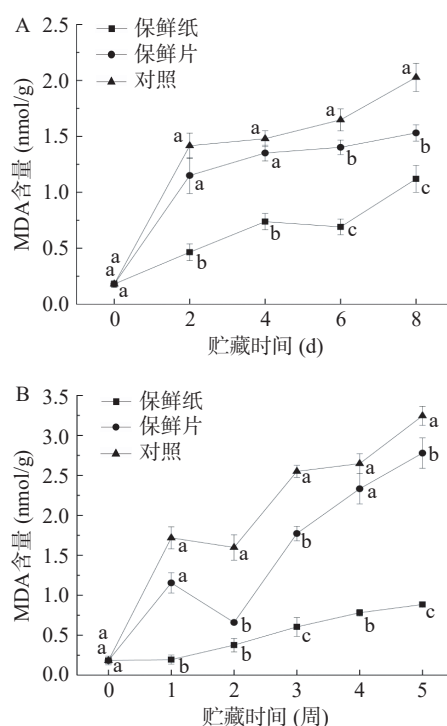


图 8 常温贮藏(A)和低温贮藏(B)下阳光玫瑰葡萄 MDA 含量的变化

Fig.8 Changes of MDA content of Shine Muscat under room temperature storage (A) and low temperature storage (B)

3 结论

研究表明,马尾松-虎耳草精油保鲜处理能抑制葡萄代谢速度,延缓果实衰老,维持葡萄采后品质,增强了阳光玫瑰葡萄的耐贮藏能力。阳光玫瑰葡萄采用低温贮藏和植物精油保鲜纸相结合的采后保鲜方法能更好地维持其贮藏期间的品质,良好地抑制阳光玫瑰葡萄失重,低温贮藏 5 周后葡萄失重率为 0.36% 显著低于对照组(0.81%, $P<0.05$),维持较好的色泽和较高的硬度;减缓可溶性固形物含量、酸度和还原糖含量的下降,低温贮藏 5 周后葡萄的可溶性固形物含量和酸度分别显著高于对照组 1.65% 和 0.13% ($P<0.05$),抑制了阳光玫瑰葡萄的营养消耗,保留更多的营养物质,从而提高葡萄的耐贮性;有效抑制

PPO 和 POD 活性的上升并抑制 MDA 含量的上升, 低温贮藏 5 周后葡萄丙二醛含量为 0.88 nmol/g 显著低于对照组(3.25 nmol/g, $P<0.05$), 延缓了葡萄的衰老。且当低温贮藏条件缺乏时, 保鲜纸处理对阳光玫瑰葡萄在常温贮藏过程的品质维持起到一定的作用。常温贮藏 8 d 后, 保鲜纸处理的葡萄失重率为 1.95% 显著低于对照组(5.4%, $P<0.05$), 且葡萄中可溶性固形物含量和还原糖的含量均显著高于对照组($P<0.05$), 并有效抑制了 PPO 和 POD 活性的上升并抑制 MDA 含量的上升。虽然马尾松-虎耳草保鲜纸能提升贮藏期内阳光玫瑰葡萄品质的稳定性, 然而马尾松-虎耳草精油对阳光玫瑰葡萄抑菌作用以及两者之间是否有协同增效作用还需进一步研究。特别是天然植物精油对果蔬保鲜的具体机制还需深入研究。

参考文献

- [1] 滕林, 王泽彬, 集贤, 等. 葡萄采后生物保鲜技术研究进展[J]. *保鲜与加工*, 2021, 21(9): 144–150. [TENG L, WANG Z B, JI X, et al. Research progress on postharvest biological preservation technology of grape[J]. *Storage and Process*, 2021, 21(9): 144–150.]
- [2] YAMADA M, YAMANE H, SATO A, et al. New grape cultivar 'Shine Muscat'[J]. *Bulletin of the National Institute of Fruit Tree Science*, 2008(7): 21–38.
- [3] 张家国, 李宁, 郭风军. 葡萄采后保鲜技术的研究进展[J]. *中国果菜*, 2019, 39(9): 20–24, 52. [ZHANG J G, LI N, GUO F J. Research progress on postharvest preservation technology of grape[J]. *China Fruit & Vegetable*, 2019, 39(9): 20–24, 52.]
- [4] 龙娅, 胡文忠, 李元政, 等. 植物精油对果蔬霉菌的抑制及在果蔬保鲜中的应用[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(6): 311–317. [LONG Y, HU W Z, LI Y Z, et al. Inhibition of plant essential oil on mold of fruits and vegetables and its application in preservation of fruits and vegetables[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(6): 311–317.]
- [5] BATIHA G E S, HUSSEIN D E, ALGAMMAL A M, et al. Application of natural antimicrobials in food preservation: Recent views[J]. *Food Control*, 2021, 126: 108066.
- [6] FALLEH H, BEN JEMAA M, SAADA M, et al. Essential oils: A promising eco-friendly food preservative[J]. *Food Chemistry*, 2020, 330: 127268.
- [7] 吕明珠, 于爽, 朱恩俊. 肉桂精油对红提葡萄保鲜效果的影响[J]. *食品科学*, 2016, 37(6): 272–277. [LÜ M Z, YU S, ZHU E J. Efficacy of cinnamon essential oil for preservation of red globe table grapes[J]. *Food Science*, 2016, 37(6): 272–277.]
- [8] BOUARAB CHIBANE L, DEGRAEVE P, FERHOUT H, et al. Plant antimicrobial polyphenols as potential natural food preservatives[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2019, 99(4): 1457–1474.
- [9] ROMANAZZI G, LICHTER A, GABLER F M, et al. Recent advances on the use of natural and safe alternatives to conventional methods to control postharvest gray mold of table grapes[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2012, 63(1): 141–147.
- [10] SÁNCHEZ-GONZÁLEZ L, PASTOR C, VARGAS M, et al. Effect of hydroxypropylmethylcellulose and chitosan coatings with and without bergamot essential oil on quality and safety of cold-stored grapes[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2011, 60(1): 57–63.
- [11] 郝文凤, 田玉红, 张倩, 等. 艾纳香与马尾松精油的成分分析及抗氧化研究[J]. *中国调味品*, 2021, 46(3): 34–39, 44. [HAO W F, TIAN Y H, ZHANG Q, et al. Component analysis and antioxidant activity of the essential oil from *Blumea balsamifera* (L.) DC. and *Pinus massoniana*[J]. *China Condiment*, 2021, 46(3): 34–39, 44.]
- [12] 杨书珍, 蒋丹丹, 范刚, 等. 松针提取物对柑橘青霉菌的抑制作用及活性成分分析[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(1): 65–69. [YANG S Z, JIANG D D, FAN G, et al. Analysis of the antifungal activity of pine needle extracts and their active components against citrus blue mold[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2016, 32(1): 65–69.]
- [13] 卢玉栋, 范敏, 覃贝妮, 等. 虎耳草有效成分的提取及其生物活性的研究[J]. *福建师范大学学报(自然科学版)*, 2018, 34(4): 68–74. [LU Y D, FAN M, QIN B N, et al. Study on extraction and biological activity of the effective components of *Saxifraga stolonifera*[J]. *Journal of Fujian Normal University (Natural Science Edition)*, 2018, 34(4): 68–74.]
- [14] 贺莹, 冯彩平, 杭伟, 等. 松针提取物对导致苹果腐败的细菌的抑制作用研究[J]. *安徽农业科学*, 2014, 42(23): 7986–7987. [HE Y, FENG C P, HANG W, et al. Study on inhibition effects of pine needle extracts on bacteria in apple[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2014, 42(23): 7986–7987.]
- [15] YAN J, NIU Y, WU C, et al. Antifungal effect of seven essential oils on bamboo[J]. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 2021, 4(3): 552–561.
- [16] 陈娇, 代光辉, 顾振芳, 等. 58 种植物提取液对葡萄霜霉病菌的抑菌活性筛选研究[J]. *天然产物研究与开发*, 2002(5): 9–13. [CHEN J, DAI G H, GU Z F, et al. Inhibition effect of 58 plant extracts against grape downy mildew (*Plasmopara viticola*) [J]. *Natural Product Research and Development*, 2002(5): 9–13.]
- [17] 张知侠. 虎耳草精油化学成分及其抑菌活性[J]. *西北农业学报*, 2016, 25(10): 1536–1540. [ZHANG Z X. Chemical constituents and antibacterial activity of essential oil from *Saxifraga stolonifera*[J]. *Acta Agriculture Boreali-occidentalis Sinica*, 2016, 25(10): 1536–1540.]
- [18] 石泽栋, 蒋雅萍, 孙英杰, 等. 牛至精油微胶囊的制备、表征及在杏贮藏期的抑菌效果[J]. *食品科学*, 2021, 42(11): 186–194. [SHI Z D, JIANG Y P, SUN Y J, et al. Preparation and characterization of oregano essential oil microcapsules and its effect on quality preservation of apricot fruit during storage[J]. *Food Science*, 2021, 42(11): 186–194.]
- [19] CAI L L, LIM H, NICHOLAS D D, et al. Bio-based preservative using methyl-beta-cyclodextrin-essential oil complexes for wood protection[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, 147: 420–427.
- [20] CHANG H T, LIN C Y, HSU L S, et al. Thermal degradation of linalool-chemotype *Cinnamomum osmophloeum* leaf essential oil and its stabilization by microencapsulation with beta-cy-

- clodextrin[J]. *Molecules*, 2021, 26(2): 409.
- [21] 岳淑丽, 万达, 张义珂. 肉桂精油微胶囊抗菌纸的研制及对圣女果的保鲜效果研究[J]. *包装工程*, 2015, 36(13): 47-51. [YUE S L, WAN D, ZHANG Y K. Development of microcapsule antibacterial paper made of cinnamon oil and its application for preservation of cherry tomato[J]. *Packaging Engineering*, 2015, 36(13): 47-51.]
- [22] 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, 2013. [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, 2013.]
- [23] PEREIRA E, BROCO E SILVA R G, SPAGNOL W A, et al. Water loss in table grapes: Model development and validation under dynamic storage conditions[J]. *Food Science and Technology*, 2018, 38(3): 473-479.
- [24] 张鹏, 袁兴铃, 王利强, 等. 1-MCP 处理对“阳光玫瑰”葡萄货架品质的影响[J]. *包装工程*, 2021, 42(7): 19-27. [ZHANG P, YUAN X L, WANG L Q, et al. Effect of 1-MCP treatment on shelf quality of "Sunshine Muscat" grapes[J]. *Packaging Engineering*, 2021, 42(7): 19-27.]
- [25] 胡还甫, 吴德智, 柳宁, 等. 缙草精油对夏黑葡萄保鲜作用的研究[J]. *湖北农业科学*, 2021, 60(2): 130-133. [HU H F, WU D Z, LIU N, et al. Research on fresh keeping effect of *Valeriana officinalis* L. essential oil on Summer Black grape[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2021, 60(2): 130-133.]
- [26] LIU Y, LI Y, BI Y, et al. Induction of defense response against *Alternaria* rot in Zaosu pear fruit by exogenous L-lysine through regulating ROS metabolism and activating defense-related proteins[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2021, 179: 111567.
- [27] 林晓雨, 王玉峰, 王建清, 等. 牛至精油保鲜纸的制备及在杏保鲜中的应用[J]. *中国果菜*, 2016, 36(8): 1-5. [LIN X Y, WANG Y F, WANG J Q, et al. Preparation and application of oregano essential oil preservative paper[J]. *China Fruit & Vegetable*, 2016, 36(8): 1-5.]
- [28] EUGENIA MOLERO DE AVILA M, VICTORIA ALARCON M, URIARTE D, et al. Histochemical and immunohistochemical analysis of enzymes involved in phenolic metabolism during berry development in *Vitis vinifera* L[J]. *Protoplasma*, 2019, 256(1): 25-38.
- [29] WATANABE T, NAKAMURA N, OTA N, et al. Estimation of changes in mechanical and color properties from the weight loss data of "Shine Muscat" fruit during storage[J]. *Journal of Food Quality*, 2018: 6.
- [30] LAUREANO J, GIACOSA S, RÍO SEGADÉ S, et al. Effects of continuous exposure to ozone gas and electrolyzed water on the skin hardness of table and wine grape varieties[J]. *Journal of Texture Studies*, 2016, 47(1): 40-48.
- [31] 康慧芳, 乔勇进, 王晓, 等. 不同保鲜剂处理对“巨峰”葡萄货架期品质的影响[J]. *保鲜与加工*, 2020, 20(6): 6-13. [KANG H F, QIAO Y J, WANG X, et al. Effects of different preservatives treatment on shelf-life quality of 'Jufeng' grape[J]. *Storage and Process*, 2020, 20(6): 6-13.]
- [32] 谢林君, 成果, 周咏梅, 等. 阳光玫瑰冬葡萄贮藏期果实实质特性变化研究[J]. *南方园艺*, 2021, 32(1): 14-20. [XIE L J, CHENG G, ZHOU Y M, et al. Changes of fruit parenchyma of winter grape of Sunshine Rose during storage[J]. *Southern Horticulture*, 2021, 32(1): 14-20.]
- [33] 鲁玲, 康宁波, 刘贵珊, 等. 真空预冷结合微孔膜包装对鲜枸杞贮藏品质的影响[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(10): 245-252. [LU L, KANG N B, LIU G S, et al. Storage quality of fresh *Lycium barbarum* by vacuum precooling and microporous membrane packaging[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2021, 37(10): 245-252.]
- [34] 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. [LAO Y, HU W Z, FENG K, et al. Application of natural antimicrobial agents on fruits and vegetables preservation and its mechanism[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2018, 44(9): 288-293.]
- [35] 张晓锋, 姜玉穗, 尚泓泉, 等. 不同保鲜处理对“阳光玫瑰”葡萄贮藏品质及生理生化的影响[J]. *河南农业大学学报*, 2019, 53(5): 698-703. [ZHANG X F, LUO Y S, SHANG H Q, et al. Effects of different preservatives treatments on storage quality and physiological-biochemical index of Shine Muscat grape[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2019, 53(5): 698-703.]
- [36] 谢林君, 成果, 周咏梅, 等. 贮藏温度对阳光玫瑰葡萄采后贮藏品质的影响[J]. *中国果菜*, 2020, 40(11): 1-7, 58. [XIE L J, CHENG G, ZHOU Y M, et al. Effect of storage temperature on postharvest storage quality of Shine Muscat grape[J]. *China Fruit & Vegetable*, 2020, 40(11): 1-7, 58.]
- [37] 集贤, 张平, 朱志强, 等. SO₂ 不同保鲜处理对醉金香葡萄贮藏效果的影响[J]. *包装工程*, 2020, 41(7): 1-9. [JI X, ZHANG P, ZHU Z Q, et al. Effects of different SO₂ preservation treatments on "Zuijinxiang" grape during storage[J]. *Packaging Engineering*, 2020, 41(7): 1-9.]
- [38] 刘振通, 张鹏, 李江阔, 等. 生物保鲜纸对无核寒香蜜葡萄不同冷藏期的货架品质及风味物质的影响[J]. *食品科学*, 2017, 38(7): 238-246. [LIU Z T, ZHANG P, LI J K, et al. Effect of biological preservative paper on shelf quality and flavor substances of Suffolk Red seedless grapes at different cold storage periods[J]. *Food Science*, 2017, 38(7): 238-246.]
- [39] WU Y, ZHANG W, SONG S, et al. Evolution of volatile compounds during the development of Muscat grape 'Shine Muscat' (*Vitis labrusca* × *V. vinifera*) [J]. *Food Chemistry*, 2020, 309: 125778.
- [40] 冯文婕, 阙斐, 陈岭, 等. 茶多酚-壳聚糖复合涂膜液对草莓保鲜效果的研究[J]. *现代农业科技*, 2016(22): 260-262. [FENG W J, QUE F, CHEN L, et al. Study on effects of coating composite of tea polyphenol-chitosan on preservation for strawberry[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2016(22): 260-262.]
- [41] 许泽文, 李环通, 王绮漳, 等. 柠檬草精油成分分析、抑菌性及对巨峰葡萄保鲜研究[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(1): 51-59. [XU Z W, LI H T, WANG Q T, et al. Analysis of volatile components, antibacterial activity and perseveration on Kyoho grapes of lemongrass essential oil[J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(1): 51-59.]
- [42] 白宇皓, 李超, 杨志国, 等. 梨多酚氧化酶特性与酶促褐变抑

- 制研究进展[J]. *食品科技*, 2022, 47(2): 75–81. [BAI Y H, LI C, YANG Z G, et al. Advances in polyphenol oxidase properties and enzymatic browning inhibition of pear[J]. *Food Science and Technology*, 2022, 47(2): 75–81.]
- [43] 刘军平, 孙悦芳, 禹凯博, 等. 有机酸对葛根多酚氧化酶活性的抑制及其护色效应[J]. *南昌大学学报(理科版)*, 2019, 43(6): 550–555. [LIU J P, SUN Y F, YU K B, et al. Effect of organic acids on the polyphenol oxidase activity and color protection of kudzu root[J]. *Journal of Nanchang University (Natural Science)*, 2019, 43(6): 550–555.]
- [44] ARORA A, SAIRAM R K, SRIVASTAVA G C. Oxidative stress and antioxidative system in plants[J]. *Current Science*, 2002, 82(10): 1227–1238.
- [45] LOPEZ-MIRANDA S, HERNANDEZ-SANCHEZ P, SERRANO-MARTINEZ A, et al. Effect of ripening on protein content and enzymatic activity of Crimson Seedless table grape[J]. *Food Chemistry*, 2011, 127(2): 481–486.
- [46] 姚依妮, 孙建明, 李昭, 等. 植物精油在果蔬保鲜中的研究进展[J]. *轻工科技*, 2021, 37(5): 17–18, 21. [YAO Y N, SUN J M, LI Z, et al. Research progress of plant essential oil in preservation of fruits and vegetables[J]. *Light Industry Science and Technology*, 2021, 37(5): 17–18, 21.]
- [47] 陈楚英, 彭旋, 陈玉环, 等. 21种药用植物提取物对柑橘青霉病抑菌作用的筛选及白薇醇提取物对脐橙青霉病的防治效果[J]. *植物保护学报*, 2016, 43(4): 614–620. [CHEN C Y, PENG X, CHEN Y H, et al. Screening of antifungal activity of extracts from 21 species of medicinal plants against *Penicillium italicum* of citrus fruits and the efficacy of *Cynanchum atratum* ethanol extracts for control[J]. *Journal of Plant Protection*, 2016, 43(4): 614–620.]
- [48] 周向军, 杨金龙, 路宛如. 莴笋多酚氧化酶、过氧化物酶的特性及抑制作用研究[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(5): 166–170, 74. [ZHOU X J, YANG J L, LU W R. Properties and inhibitions of polyphenoloxidase and peroxidase from *Asparagus plettuce*[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(5): 166–170, 74.]
- [49] 朱志强, 高丕生, 张平, 等. 不同保鲜剂结合冰温对玫瑰香葡萄贮藏品质和生理生化的影响[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(5): 333–337. [ZHU Z Q, GAO P S, ZHANG P, et al. Effects of different preservatives combined with controlled freezing-point on the storage quality and physiological-biochemical index of Muscat Hamburg grape[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2013, 34(5): 333–337.]
- [50] 魏宝东, 谷佰宇, 张鹏, 等. 不同保鲜膜对“阳光玫瑰”葡萄贮藏品质的影响[J]. *包装工程*, 2021, 42(15): 39–48. [WEI B D, GU B Y, ZHANG P, et al. Effect of different fresh-keeping film on the storage quality of "Shine-Muscat" grape[J]. *Packaging Engineering*, 2021, 42(15): 39–48.]