

D-VCNa 结合 1-MCP 对杏梅贮藏品质及特性的影响

许丽敏^{1,2}, 韩艳文¹, 姜微波², 王宝刚^{1,3}, 李文生¹, 王云香¹

(1.北京市林业果树科学研究所, 北京 100093; 2.中国农业大学 食品科学与营养工程学院, 北京 100083; 3.果蔬农产品保鲜与加工北京市重点实验室, 北京 100097)

摘要: **目的** 探索异抗坏血酸钠 (D-VCNa) 结合 1-甲基环丙烯 (1-MCP) 处理, 对杏梅贮藏期间品质、生理及其抗氧化能力的影响, 为延缓杏梅果实采后品质下降、延长贮藏期提供理论依据。**方法** 以杏梅为实验材料, 采用 D-VCNa 与 1-MCP (密闭熏蒸 24 h) 结合处理杏梅果实, 并置于温度为 (4±1) °C、相对湿度为 85%~90% 的条件下贮藏, 测定贮藏期间不同处理组杏梅果实的各项生理生化指标及抗氧化能力。**结果** D-VCNa 处理对果实硬度影响不大, 然而 1-MCP 单独处理及结合处理均可明显抑制果实硬度的下降, 其中又以结合处理效果最好; D-VCNa 和 1-MCP 单独处理及两者结合处理均有效延缓了杏果实品质的下降; 在贮藏后期, 处理果实均保持了较高的多酚含量和抗氧化能力。此外, 处理组提高了果实抗氧化系统相关酶 POD 和 SOD 活性, 在贮藏前期抑制了 PPO 活性。**结论** D-VCNa 结合 1-MCP 处理可以有效保持杏梅的贮藏品质, 提高其抗氧化能力, 延长其货架期。

关键词: 杏梅; 异抗坏血酸钠; 1-甲基环丙烯; 品质; 采后生理

中图分类号: TS255.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)15-0028-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.15.005

Effects of D-VCNa Combined with 1-MCP Treatment on Storage Quality and Characteristics of Apricot Fruit

XU Li-min^{1,2}, HAN Yan-wen¹, JIANG Wei-bo², WANG Bao-gang^{1,3}, LI Wen-sheng¹, WANG Yun-xiang¹

(1.Beijing Academy of Forestry and Pomology Sciences, Beijing 100093, China;

2.College of Food Science and Nutrition Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

3.Beijing Key Laboratory of Fruits and Vegetable Storage and Processing, Beijing 100097, China)

ABSTRACT: The work aims to investigate the effects of D-VCNa combined with 1-MCP treatment on the quality, physiology and oxidation resistance of apricot fruits during the storage, so as to provide theoretical basis for delaying the postharvest quality loss and prolonging the storage period of apricot fruits. With apricot fruits as the experimental material, they were treated with D-VCNa and 1-MCP (confined fumigation for 24 h) and stored at (4±1) °C, 85%~90% RH. The physiological and biochemical indices and antioxidant capacity of different treatment groups during the storage were determined. The results showed that the fruit firmness was almost unaffected by D-VCNa, but the decline of fruit firmness was greatly delayed by 1-MCP, or by combining with D-VCNa; and the effect of 1-MCP combined with D-VCNa treatment was the best. The decline in quality of apricot fruit was effectively delayed by D-VCNa, 1-MCP alone or their combination. All treatments could maintain higher polyphenol content and antioxidant capacity at the later stage of storage. Furthermore, the activity of POD and SOD of fruit antioxidant system was improved by the treatment groups and the activity of PPO was inhibited at the early stage of storage. D-VCNa combined with 1-MCP treatment can effectively maintain the storage quality, improve the antioxidant capacity and prolong the shelf life of apricot fruits.

收稿日期: 2018-02-26

基金项目: 公益性行业 (农业) 科研专项 (201303075); 北京市农林科学院科技创新能力建设专项 (KJCX20170206)

作者简介: 许丽敏 (1989—), 女, 中国农业大学硕士生, 主攻果蔬贮藏保鲜技术。

通信作者: 王宝刚 (1979—), 男, 博士, 副研究员, 主要研究方向为果品物流及贮藏保鲜技术。

KEY WORDS: apricot; sodium isoascorbate; 1-MCP; quality; postharvest physiology

杏梅又名梅杏、穿枝红、杏李等,是杏与李子杂交种的后代,外观更接近于杏,是近几年颇具发展潜力的核果类果实^[1]。杏梅具有良好的医疗功效,在中草药中具有重要地位^[2-3]。杏梅是呼吸跃变型水果,其采后贮藏寿命有限^[4]。杏梅果采收期处于炎热的夏季,较高的呼吸速率和快速的成熟进程是导致杏梅贮藏寿命短的一个重要原因^[5]。如果不及时采取有效的贮藏保鲜手段,极易发生失水、软化、腐烂等现象,最终导致严重的经济损失。目前杏梅的贮藏保鲜方法单一,主要集中在低温贮藏方面。低温贮藏能够减弱果实的呼吸,减少乙烯释放量,延长果实的采后寿命^[6]。低温贮藏不利于保持果实的良好风味,且杏梅果实对低温较敏感,容易损坏杏梅果肉组织^[7]。低温贮藏时结合保鲜剂处理,如结合腐胺^[8]、1-甲基环丙烯(1-MCP)^[9]等处理可以在一定程度上缓解或抑制冷害的发生。异抗坏血酸钠(D-VCNa)作为食品行业中重要的天然抗氧化保鲜剂,广泛应用于鲜切果蔬、罐头食品、肉制品及饮料中^[10]。它能够抑制果蔬的褐变,清除果实中多余的自由基,保护果实膜组织免受损坏^[11]。1-MCP是一种新型的化学保鲜剂,作为一种乙烯受体抑制剂,可与乙烯竞争其受体结合位点,从而抑制乙烯诱导的生理效应。1-MCP具有安全、高效的特点,已经应用于苹果^[12]、桃子^[13]、鳄梨^[14]、芒果^[15]等多种水果的贮藏保鲜。

文中将 D-VCNa 与 1-MCP 结合处理杏梅果实,研究低温贮藏条件下两者结合处理对杏梅果实采后贮藏品质及生理特性的影响,为延长其贮藏期,提高贮藏品质提供一定的理论依据。

1 实验

1.1 材料与试剂

主要材料:杏梅,购自北京锦绣大地农副产品批发市场,果实平均可溶性固形物含量为 10.8%,平均硬度为 11.2 kg/cm²。

主要试剂:异抗坏血酸钠,食品级,湖南奥驰生物科技有限公司;1-MCP, EthylBloc®商品粉剂,美国 ROHM and HAAS 公司;氢氧化钠,福林-酚试剂, Na₂HCO₄, NaH₂CO₄, 邻苯二酚,愈创木酚,核黄素,均为分析纯,北京索莱宝科技有限公司。

1.2 处理方法

杏梅果实运回实验室后,挑选无病虫害且大小均一的杏梅作为实验材料。将挑选好的果实分成 4 组,在温度为 (4 ± 1) °C,相对湿度为 85%~90%的环境

下,分别进行 D-VCNa 熏蒸(质量分数为 1.0%)、1-MCP(浓度为 1.0 μL/L)熏蒸、D-VCNa(1.0%)结合 1-MCP(1.0 μL/L)熏蒸处理,以及空白对照。

1) D-VCNa(1.0%)处理。将杏梅在真空条件下置于 D-VCNa(1.0%)中浸泡 2 min,取出晾干。

2) 1-MCP(1.0 μL/L)处理。将杏梅果实置于 1 m³ 的密闭塑料薄膜帐中,称取 1.6 g 质量分数为 0.14%的 1-MCP 于小烧杯中,放入密封好的大帐,加入 5 mL 水,熏蒸 24 h。

3) D-VCNa(1.0%)结合 1-MCP(1.0 μL/L)熏蒸处理。将杏梅在真空条件下置于 D-VCNa(1.0%)溶液中浸泡 2 min,取出晾干,再置于 1-MCP(1.0 μL/L)的密闭大帐中熏蒸 24 h。

所有处理组果实均采用整筐套袋,置于温度 (4 ± 1) °C,相对湿度为 85%~90%的条件下贮藏。贮藏 30 d,每隔 5 d 取样测定果实硬度、呼吸速率、乙烯释放量、可溶性固形物(SSC)含量、可滴定酸(TA)含量等指标,并预留样品,将样品置于低温冰箱(-20 °C)保存,用于后续实验。

1.3 各项指标测定

1) 果实硬度。采用 GY-3 型果实硬度计(测头直径为 8 mm),参照马琳等^[16]的方法进行测定,以 kg/cm²表示。

2) 可溶性固形物含量。采用 PAL-1 数显糖度仪进行测定。

3) 可滴定酸含量。参照曹建康等^[17]的方法(酸碱中和法),以蒸馏水作为空白对照。

4) 多酚含量。采用福林-酚法,参考 Xue 等^[18]的方法,以没食子酸计,单位为 mg/g。

5) 呼吸强度。采用气相色谱法进行测定^[6],以 CO₂计,单位为 mL/(kg·h)。

6) 乙烯释放率。采用气相色谱法进行测定^[6],果实乙烯释放率以 C₂H₄计,单位为 mL/(kg·h)。

7) 抗氧化能力。参考 Davarynejad 等^[19]的方法进行测定。

8) 多酚氧化酶(PPO)活性。参考 Zauberman 等^[20]的方法进行测定。

9) 过氧化物酶(POD)活性。参考 Srivastava 等^[21]的方法进行测定。

10) 超氧化物歧化酶(SOD)活性。参考 Prochazkova 等^[22]的方法进行测定。

1.4 数据处理与分析

数据采用 Excel 2016 软件进行统计、绘图,应用 SPSS 17.0 软件对数据进行方差分析(ANOVA),利

用邓肯式多重比较对差异显著性进行分析。 $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 D-VCNa 结合 1-MCP 处理对杏梅贮藏品质的影响

杏梅的贮藏品质主要从果实的硬度、SSC 含量、TA 含量、多酚含量来体现。D-VCNa 和 1-MCP 处理对杏梅贮藏品质的影响见图 1。由图 1a 可知, 杏梅在 4 °C 贮藏期间硬度呈逐渐下降的趋势。D-VCNa

单独处理果实的硬度与对照果实差异不显著 ($P > 0.05$), 然而 1-MCP 单独处理和 1-MCP+D-VCNa 处理均明显抑制了果实硬度的下降, 而且结合处理的效果更好, 两者差异显著 ($P < 0.05$)。贮藏至第 10 天时, 与贮藏初期相比, 对照组果实的硬度下降了 60.8%, 然而 1-MCP 单独处理和 1-MCP+D-VCNa 处理的果实硬度分别是同期对照组果实的 2.0 倍和 2.4 倍。贮藏至第 30 天时, 1-MCP 处理和 1-MCP+D-VCNa 处理的果实硬度仍高于对照组果实第 10 天时的硬度。由此可见, 1-MCP 处理和 1-MCP+D-VCNa 处理显著延缓了果实硬度的下降。

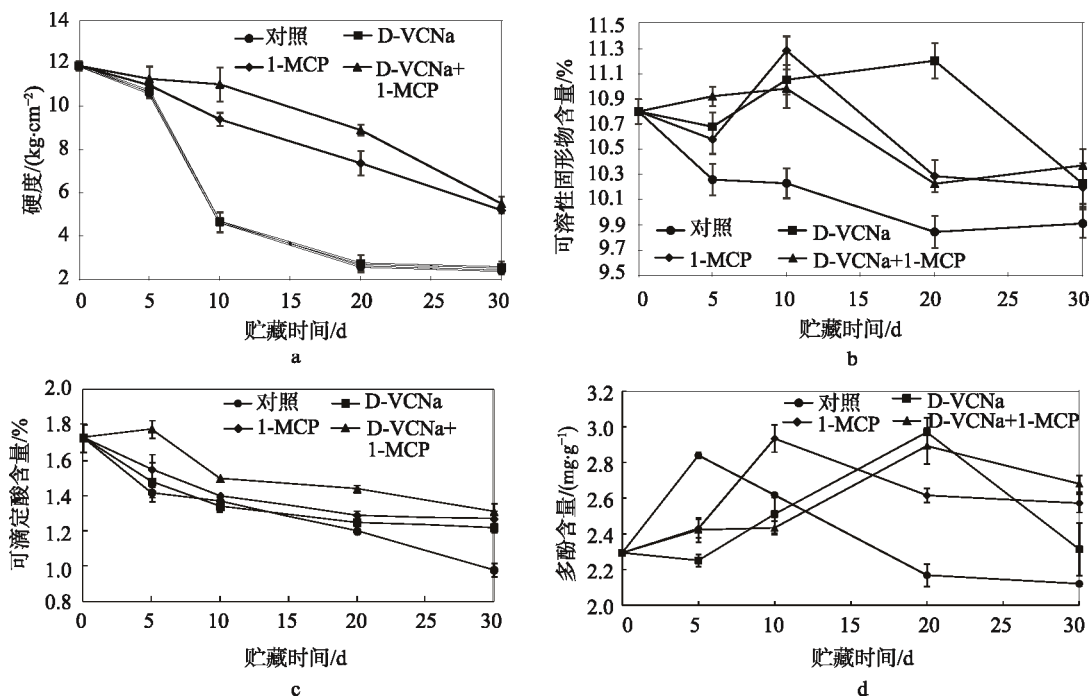


图 1 D-VCNa 和 1-MCP 处理对杏梅贮藏品质的影响

Fig.1 Effects of D-VCNa and 1-MCP treatment on storage quality of apricot fruit

在整个贮藏期间, 对照组果实的 SSC 含量呈现缓慢下降趋势, 见图 1b。与对照果实相比, 处理组果实均维持了较高的 SSC 含量, 保持了果实较高的营养品质。1-MCP 单独处理和 1-MCP+D-VCNa 处理的果实, 其 SSC 含量在第 10 天达到最大值, 10 d 后逐渐下降。D-VCNa 处理果实的 SSC 含量峰值出现在第 20 天, 20 d 后 SSC 含量迅速下降。

杏梅果实在低温 (约 4 °C) 贮藏期间, TA 含量呈现逐渐下降的趋势, 见图 1c。与对照组相比, 不同处理组均表现出延缓果实 TA 含量下降的作用。贮藏至第 30 天时, 对照组果实 TA 含量已下降至 1.0% 以下, 与贮藏初期相比下降了 43.4%, 而处理组果实的 TA 含量均保持在 1.2% 以上, 其中结合处理组效果最好。结合处理组的果实在整个贮藏期间 TA 含量下降缓慢, 且保持着较高水平, 1-MCP 单独处理组的效果次之, 最后是 D-VCNa 单独处理组。

多酚类化合物是果实中重要的抗氧化成分, 是反

映果实品质的重要指标之一^[23]。贮藏过程中, 杏梅总酚含量呈先上升后下降的趋势, 见图 1d。对照组果实总酚含量的最大值出现在第 5 天, 5 d 后总酚含量开始下降。1-MCP 单独处理、D-VCNa 单独处理及结合处理均推迟了总酚含量峰值的出现。具体来说, 1-MCP 处理果实的总酚含量最大值出现在第 10 天, 而 D-VCNa 单独处理及结合处理均出现在第 20 天。在贮藏后期, 与对照组果实相比, 处理组果实保持了较高的总酚含量。在第 20 天时, 对照组果实总酚含量已经下降至 2.17 mg/g; 与对照组相比, 1-MCP 单独处理、D-VCNa 单独处理及结合处理的果实总酚含量分别高出了 20.7%, 36.9%, 33.2%。

2.2 D-VCNa 结合 1-MCP 处理对杏梅呼吸强度及乙烯释放速率的影响

杏梅属于典型的呼吸跃变型果实, 贮藏期间, 杏梅果实的呼吸强度呈先上升后下降又上升的趋势, 见

图 2a。对照组果实的呼吸高峰比较明显, 出现在第 15 天左右。贮藏第 30 天时, 果实出现腐烂, 导致呼吸强度再次升高。处理组果实第 25 天时出现了呼吸高峰, 且峰值低于对照组的峰值, 说明 D-VCNa

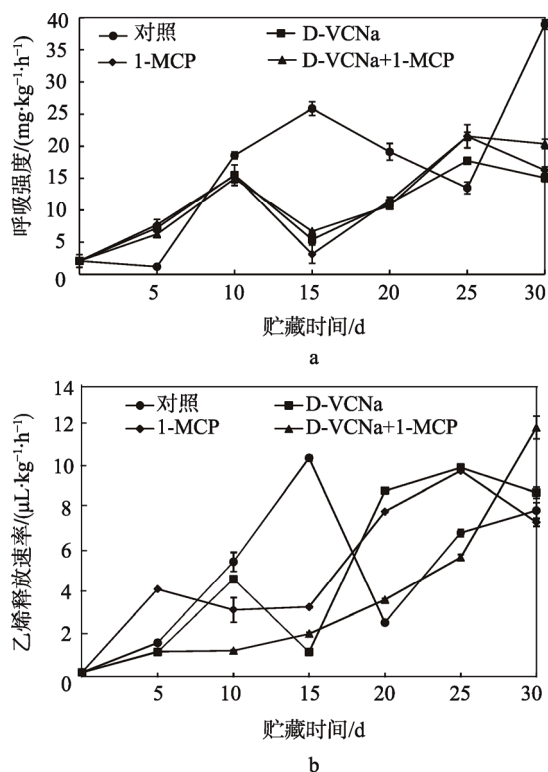


图 2 D-VCNa+1-MCP 处理对杏梅果实呼吸强度及乙烯释放速率的影响

Fig.2 Effects of D-VCNa+1-MCP treatment on respiration rate and ethylene evolution rate of apricot fruit

和 1-MCP 单独处理及结合处理均有利于推迟果实呼吸高峰的出现。研究还发现, 不同处理对果实呼吸强度的影响没有显著性差异 ($P>0.05$), 尤其在贮藏前期, 处理组果实的呼吸强度呈现相似的变化趋势。

乙烯作为植物生长调节因子之一, 可以诱导果实的成熟和衰老^[24]。对照组果实在低温贮藏条件下, 乙烯释放速率呈先上升后下降的趋势, 贮藏至 20 d 以后, 乙烯的释放速率又开始呈上升趋势, 见图 2b。对照组果实在第 15 天时达到了乙烯释放速率的高峰, 分别是同时期 D-VCNa、1-MCP 及结合处理果实乙烯释放速率的 8.6, 3.0, 5.0 倍。D-VCNa 和 1-MCP 处理果实的乙烯释放速率高峰出现在第 25 天, 结合处理果实的乙烯释放速率高峰在贮藏期间没有出现。说明不同处理均有效抑制了乙烯的产生, 其中以结合处理的效果最好。

2.3 D-VCNa 结合 1-MCP 处理对杏梅抗氧化特性的影响

DPPH 自由基清除能力可用来表示果实抗氧化能力, 抗氧化能力能够在一定程度上反映果实的营养价值。果实在不同贮藏期, DPPH 自由基清除能力不同, 呈现先上升后下降的趋势, 见图 3a。对照组果实在第 5 天时 DPPH 自由基清除能力最强, 而处理组果实自由基清除率最高值均出现在第 10 天, 而且在贮藏后期, 与对照组果实相比, 处理组果实仍然保持了较高的抗氧化能力。D-VCNa 单独处理组效果最好, 在第 20 天时, 其 DPPH 自由基清除率分别为 1-MCP 单独处理、D-VCNa+1-MCP 处理的 1.4 和 1.3 倍。

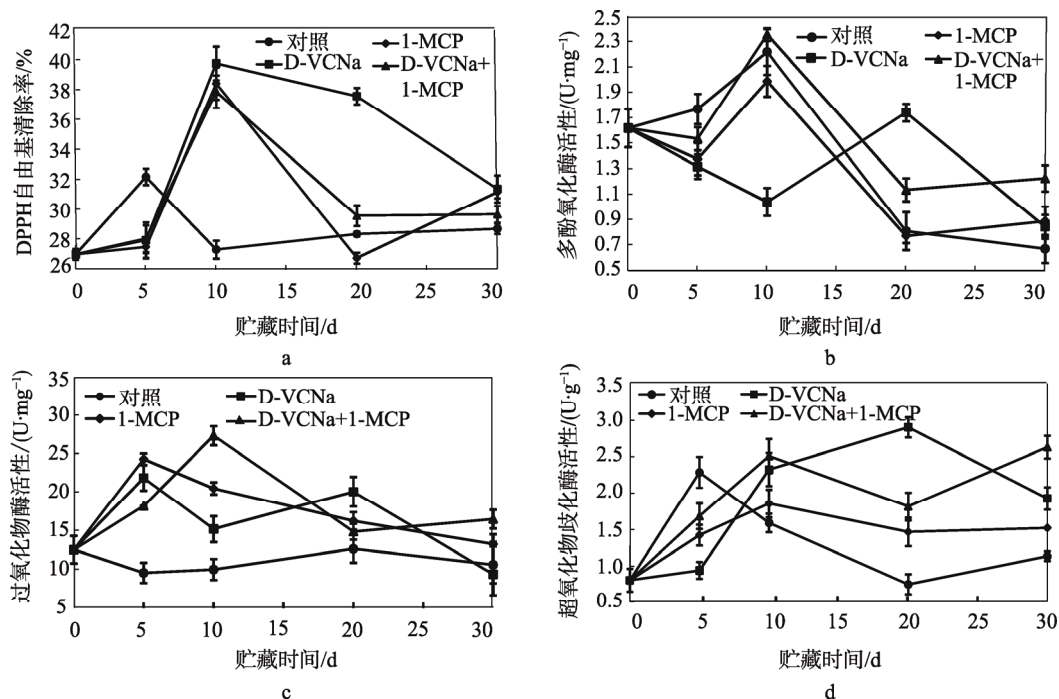


图 3 D-VCNa+1-MCP 处理对杏梅抗氧化特性的影响

Fig.3 Effects of D-VCNa+1-MCP treatment on antioxidant capacity of apricot fruit

多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)是植物果实体内的抗氧化酶类。杏梅在贮藏过程中, PPO活性呈先上升后下降的趋势, 见图3b。与对照组果实相比, 在贮藏前期, D-VCNa和1-MCP单独处理及两者结合处理均抑制了果实PPO活性, 其中以D-VCNa处理的抑制效果最为显著。贮藏至第5天时, D-VCNa和1-MCP单独处理及两者结合处理果实的PPO活性与对照组相比, 分别降低了25.4%, 22.0%, 13.0%。贮藏至第10天时, D-VCNa处理组的PPO活性仅为对照组果实的46.8%, 这与D-VCNa用于鲜切果实防止其发生褐变的结果一致^[25], 即D-VCNa处理有效抑制了果实中的PPO活性。D-VCNa处理果实在贮藏后期, 其PPO活性有上升趋势, 第20天时PPO活性明显增加, 这可能与外源异抗坏血酸钠的作用变弱有关。

与对照组相比, 各处理均提高了果实POD的活性, 见图3c。1-MCP处理和结合处理的果实在贮藏过程中, 其POD活性呈先上升后下降的趋势。贮藏前期, 处理组果实POD活性显著高于对照组果实($P<0.05$)。贮藏第5天时, D-VCNa和1-MCP处理及结合处理果实的POD活性分别为对照组果实的2.3, 2.5, 1.9倍, 贮藏至第10天时, 3种处理分别为对照组果实POD活性的1.5, 2.1, 2.7倍。即使在贮藏后期, 处理组果实仍然保持了较高的POD活性。

SOD是植物体中重要的抗氧化酶。贮藏期间, 杏梅果实SOD活性呈先上升后下降趋势, 见图3d。贮藏至第5天时, 对照组果实的SOD活性最大, 分别为同时期D-VCNa、1-MCP处理及结合处理果实的2.4, 1.6, 1.4倍。与对照组相比, 处理组果实SOD活性在贮藏前期受到了抑制, 但是贮藏至10d后, 处理组果实的SOD活性均显著高于对照组。不同处理对果实SOD活性的影响效果也不一样, 1-MCP单独处理及结合处理均在第10天出现一个SOD活性的峰值, 而D-VCNa处理的SOD活性则在第20天达到最大值, 为对照组果实的3.9倍, 为1-MCP单独处理及结合处理的2.0和1.6倍。

3 讨论

杏梅果实属于呼吸跃变型果实, 伴随呼吸高峰的到来, 果实迅速衰老软化。与常温相比, 低温贮藏条件下果实软化的速度明显放缓。1-MCP可以有效降低果实内部可溶性果胶的含量, 进而抑制了果实的软化^[26-28]。同时, 乙烯可以调节杏梅果实的成熟衰老, 因此抑制乙烯的生物合成能够有效地延缓其成熟、衰老进程^[29]。1-MCP处理是延长跃变型水果贮藏期的有效手段, 作为外源的有机化合物, 它能竞争性结合乙烯受体, 从而抑制乙烯发挥生理作用^[30], 达到延缓其成熟进程、提高贮藏品质的目的。实验中, 3种处

理果实均延缓了果实SSC和TA含量的下降。原因可能是该处理抑制了呼吸强度及乙烯的产生, 延缓了果实成熟衰老进程, 降低了对营养物质的消耗。

多酚是一种具有功能活性的化合物, 它不仅参与果实自身的生理代谢, 而且具有抗氧化、抗菌消炎、抗病毒等多种生物活性, 是水果营养价值的重要评价指标。实验中, 3种处理均延缓了果实中多酚含量的下降, 保持了果实在贮藏后期较高的抗氧化活性。有关果蔬中酚类物质含量与抗氧化活性及它们之间的相关性有过报道, 苹果、石榴、香蕉、葡萄等水果果皮、果核和果肉中的总酚与抗氧化活性成正相关关系^[31]。在贮藏前期, 杏梅果实抗氧化活性与果实多酚含量也呈现一定的相关性。贮藏10d之前, 处理组果实多酚含量逐渐上升, 果实的抗氧化活性也呈增强趋势。水果中总多酚含量并不一定与其抗氧化能力相关, 因为其他生物活性物质, 比如小分子硫醇类的谷胱甘肽也会参与氧化还原反应中^[32-33]。贮藏后期, 杏梅的多酚含量与抗氧化活性没有呈正相关, 也表明了这一点。如D-VCNa单独处理及结合处理水果的多酚含量在第20天达到最大值, 但其抗氧化能力最大值却均出现在第10天。与对照组果实相比, 1-MCP单独及结合处理均提高了果实的抗氧化活性。有研究表明, 将1-MCP应用于杏梅的贮藏保鲜, 能够解释1-MCP处理对果实抗氧化水平的影响, 或许有利于解释除抑制乙烯作用外的其他作用机理^[34]。

文中实验结果表明, 1-MCP、D-VCNa单独处理及结合处理均显著提高了果实POD和SOD的活性; 不同处理对果实PPO活性的影响比较复杂, 在贮藏前期, 处理抑制了PPO的活性, 而在贮藏后期, 不同处理均提高了果实PPO的活性。果实的衰老与活性氧的积累有关, 这些活性氧包括超氧化物自由基、单线态氧、过氧化氢以及羟基自由基等^[35]。在果实采后衰老过程中, 果实细胞内活性氧代谢平衡会遭到破坏, 从而导致果实品质下降, 影响果实的可销售性^[36]。

1-MCP和D-VCNa处理延缓果实衰老可能与其提高果实抗氧化系统相关酶的活性有关。研究报道, 1-MCP处理显著提高了梨果实中SOD、POD、过氧化氢酶(CAT)和抗坏血酸过氧化物酶(APX)的活性^[37]。Vilaplana等^[38]也观察到1-MCP诱导了苹果果实中SOD和CAT活性的上升。该实验中1-MCP提高了杏梅果实PPO活性, 这与Zhang等^[39]的研究结果一致。D-VCNa处理也显著提高了果实的POD和SOD活性。

4 结语

D-VCNa(1%)结合1-MCP(1 μ L/L)处理杏梅, 显著抑制了果实软化, 延缓了果实可滴定酸含量的减少, 保持了果实较高的可溶性固形物含量, 降低了果

实乙烯释放量及呼吸强度。3种处理均延缓了果实中多酚含量的下降,保持了果实在贮藏后期较高的抗氧化活性,也显著提高了果实 POD 和 SOD 的活性,抑制了果实贮藏前期 PPO 活性,在贮藏后期诱导了 PPO 活性。其中两者结合处理的效果最好。

参考文献:

- [1] 刘遵春, 包东娥. “金光杏梅”叶片净光合速率与生理生态因子的关系[J]. 西北植物学报, 2008, 28(3): 564—568.
LIU Zun-chun, BAO Dong-e. Relationship between Net Photosynthetic Rate and Its Physio-ecological Factors in 'Jinguang' Plum[J]. Journal of Northwest Botanical Research, 2008, 28(3): 564—568.
- [2] 曹建康, 谈小芳, 王敏, 等. 1-甲基环丙稀(1-MCP)真空渗透处理对货架期杏果实采后生理和品质的影响[J]. 食品工业科技, 2008(4): 254—257.
CAO Jian-kang, TAN Xiao-fang, WANG Min, et al. Effects of Vacuum-infiltration of 1-Methylcyclopropene (1-MCP) on Post-harvest Physiology and Quality of Apricot Fruit during Shelf Life[J]. Science and Technology of Food Industry, 2008(4): 254—257.
- [3] 张加延. 杏的营养成分与医疗保健作用[C]// 中国园艺学会干果分会成立大会暨第二届全国干果生产与科研进展学术研讨会论文集, 2001.
ZHANG Jia-yan. Apricot Nutrition and Health Care Role[C]// Chinese Horticultural Society Dried Fruit Branch Conference and the Second National Proceeding of Fruit Production and Research Progress Symposium, 2001.
- [4] 杨婷婷, 朱璇, 向玉洁, 等. 采收成熟度对杏果实贮藏品质的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(7): 227—282.
YANG Ting-ting, ZHU Xuan, XIANG Yu-jie, et al. Impact of Harvest Maturity on Storage Quality of Apricot Fruits[J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(7): 227—282.
- [5] 王伟, 张有林. 减压处理对采后杏果实软化的生理控制效应[J]. 西北植物学报, 2008, 28(1): 131—135.
WANG Wei, ZHANG You-lin. Control of Hypobaric Treatment on Softening of Postharvest Apricot Fruits[J]. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica, 2008, 28(1): 131—135.
- [6] 马琳. 壳寡糖复合其他保鲜剂对杏果贮藏品质的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2015.
MA Lin. Effects of Chitosan Oligosaccharides in Combined with Other Preservative Agents on Post-harvest Quality of Apricot Fruits[D]. Beijing: China Agricultural University, 2015.
- [7] STANLEY J, MARSHALL R, OGWARO J. Postharvest Storage Temperatures Impact Significantly on Apricot Fruit Quality[J]// Acta Horticulturae, 2010, 880: 525—532.
- [8] KOUSHESHSABA M, ARZANI K, BARZEGAR M. Postharvest Polyamine Application Alleviates Chilling Injury and Affects Apricot Storage Ability[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(36): 8947—8953.
- [9] SALVADOR A, ARNAL L, MONTERDE A. Reduction of Chilling Injury Symptoms in Persimmon Fruit cv. 'Rojo Brillante' by 1-MCP[J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 33(3): 285—291.
- [10] 曹晓伟, 胡景辉, 高莉, 等. 食品添加剂异抗坏血酸钠母液回收工艺研究[J]. 中国高新技术企业, 2017(4): 82—83.
CAO Xiao-wei, HU Jing-hui, GAO Li, et al. Study on the Recovery of Sodium Isoascorbate Mother Liquid from Food Additives[J]. China High-tech Enterprise, 2017(4): 82—83.
- [11] 陈迪新, 赵梁怡, 杨英军, 等. 银杏叶提取液结合异抗坏血酸钠对鲜切砀山梨贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(11): 243—248.
CHEN Di-xin, ZHAO Liang-yi, YANG Ying-jun, et al. Effect of Ginkgo Biloba Leaf Extract Combined with Sodium Ascorbate on Storage Quality of Fresh-cut Dangshan Pear[J]. Food Science, 2017, 38(11): 243—248.
- [12] MATTHEIS J, FELICETTI D, RUDELL D R. Pithy Brown Core in 'd'Anjou' Pear (*Pyrus communis* L.) Fruit Developing during Controlled Atmosphere Storage at pO₂ Determined by Monitoring Chlorophyll Fluorescence[J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 86: 259—264.
- [13] LIU H, JIANG W, ZHOU L. The Effects of 1-Methylcyclopropene on Peach Fruit (*Prunus persica* L. cv. Jiubao) Ripening and Disease Resistance[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2005, 40(1): 1—7.
- [14] HERSHKOVITZ V, SAGUY S I, PESIS E. Postharvest Application of 1-MCP to Improve the Quality of Various Avocado Cultivars[J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 37(3): 252—264.
- [15] SINGH R, DWIVEDI U N. Effect of Ethrel and 1-Methylcyclopropene (1-MCP) on Antioxidants in Mango (*Mangifera indicavar. Dashehari*) during Fruit Ripening[J]. Food Chemistry, 2008, 111(4): 951—956.
- [16] 马琳, 许丽敏, 姜微波, 等. 不同贮藏温度对杏梅贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(21): 337—340.
MA Lin, XU Li-min, JIANG Wei-bo, et al. Effects of Storage Temperature on Post-harvest Quality of *Prunus armeniaca* L. Fruit during Storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(21): 337—340.
- [17] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Fruit and Vegetable Postharvest Physiological and Biochemical Experimental Guidance[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.

- [18] XUE Z, FENG W, CAO J, et al. Antioxidant Activity and Total Phenolic Contents in Peel and Pulp of Chinese Jujube (*Ziziphus Jujuba* Mill) Fruits[J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2009, 33(5): 613—629.
- [19] DAVARYNEJAD G, ZAREI M, ARDAKANI E. Influence of Putrescine Application on Storability, Postharvest Quality and Antioxidant Activity of Two Iranian Apricot (*Prunus armeniaca* L.) Cultivars[J]. *Notulae Scientia Biologicae*, 2013, 5(2): 345—352.
- [20] ZAUBERMAN G, RONEN R, AKERMAN M. Post-harvest Retention of the Red Colour of Litchi Fruit Pericarp[J]. *Scientia Horticulturae*, 1991, 47(1): 89—97.
- [21] SRIVASTAVA M K, DWIVEDI U N. Delayed Ripening of Banana Fruit by Salicylic Acid[J]. *Plant Science*, 2000, 158(1): 87—96.
- [22] PROCHAZKOVA D, SAIRAM R K, SRIVASTAVA G C. Oxidative Stress and Antioxidant Activity as the Basis of Senescence in Maize Leaves[J]. *Plant Science*, 2001, 161(4): 765—771.
- [23] 刘佳伟, 徐康, 杨效登, 等. 豇豆种子及豆芽多酚类物质的含量及抗氧化性比较分析研究[J]. *齐鲁工业大学学报*, 2017, 31(2): 41—46.
LIU Jia-wei, XU Kang, YANG Xiao-deng, et al. Comparison Research on the Contents and Antioxidant Property of the Phenolic Compounds in Seeds and Sprouts of Cowpea[J]. *Journal of Qilu University of Technology*, 2017, 31(2): 41—46.
- [24] 韩艳文, 池明, 樊晓岚, 等. 不同降温方式下晚采鸭梨 PAL 基因相对表达与果心褐变的关系[J]. *食品科学*, 2018(1): 1—10.
HAN Yan-wen, CHI Ming, FAN Xiao-lan, et al. Effects of PAL Gene Relative Expression on Fruit Browning in Late-harvest Pear under Different Cooling Methods[J]. *Food Science*, 2018(1): 1—10.
- [25] 陈迪新, 赵梁怡, 杨英军, 等. 银杏叶提取液结合异抗坏血酸钠对鲜切砀山梨贮藏品质的影响[J]. *食品科学*, 2017, 38(11): 243—248.
CHEN Di-xin, ZHAO Liang-yi, YANG Ying-jun, et al. Effect of Ginkgo Biloba Leaf Extract Combined with Sodium Ascorbate on Storage Quality of Fresh-cut Dangshan Pear[J]. *Food Science*, 2017, 38(11): 243—248.
- [26] LIGUORI G, WEKSLER A, ZUTAHY Y. Effect of 1-Methylcyclopropene on Ripening of Melting Flesh Peaches and Nectarines[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2004, 31(3): 263—268.
- [27] LIU H, JIANG W, ZHOU L, WANG Y. The Effects of 1-Methylcyclopropene on Peach Fruit (*Prunus persica* L. cv. Jiubao) Ripening and Disease Resistance[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2005, 40(1): 1—7.
- [28] LOHANI S, TRIVEDI P K, NATH P. Changes in Activities of Cell Wall Hydrolases during Ethylene-induced Ripening in Banana: Effect of 1-MCP, ABA and IAA[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2004, 31(2): 119—126.
- [29] FAN X, ARGENTA L, MATTHEIS J P. Inhibition of Ethylene Action by 1-Methylcyclopropene Prolongs Storage Life of Apricots[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2000, 20(2): 135—142.
- [30] SISLER E C, SEREK M. Inhibitors of Ethylene Responses in Plants at the Receptor Level: Recent Developments[J]. *Physiologia Plantarum*, 1997, 100(3): 577—582.
- [31] 王志远, 李清彪, 杨翠娴. 八种水果中的多酚含量及其抗氧化性[J]. *天然产物研究与开发*, 2008, 19(6): 1040—1043.
WANG Zhi-yuan, LI Qing-biao, YANG Cui-xian. Study on Polyphenol Content and Antioxidant Activity in Eight Kinds of Fruit[J]. *Natural Product Research and Development*, 2008, 19(6): 1040—1043.
- [32] GAZDIK Z, REZNICEK V, ADAM V, et al. Use of Liquid Chromatography with Electrochemical Detection for the Determination of Antioxidants in Less Common Fruits[J]. *Molecules*, 2008, 13(11): 2823—2836.
- [33] GAZDIK Z, KRŠKA B, ADAM V, et al. Electrochemical Determination of the Antioxidant Potential of Some Less Common Fruit Species[J]. *Sensors*, 2008, 8(12): 7564—7570.
- [34] EGEA I, FLORES F B, MARTÍNEZ-MADRID M C. 1-Methylcyclopropene Affects the Antioxidant System of Apricots (*Prunus armeniaca* L. cv. Búlida) during Storage at Low Temperature[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2010, 90(4): 549—555.
- [35] WISE R R, NAYLOR A W. Chilling-enhanced Photooxidation the Peroxidative Destruction of Lipids during Chilling Injury to Photosynthesis and Ultrastructure[J]. *Plant Physiology*, 1987, 83(2): 272—277.
- [36] HODGES D M, LESTER G E, MUNRO K D. Oxidative Stress: Importance for Postharvest Quality: Oxidative Stress: Postharvest Fruits and Vegetables[J]. *Hort Science*, 2004, 39(5): 924—929.
- [37] LARRIGAUDIÈRE C, VILAPLANA R, SORIA Y. Oxidative Behaviour of Blanquilla Pears Treated with 1-Methylcyclopropene during Cold Storage[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2004, 84(14): 1871—1877.
- [38] VILAPLANA R, VALENTINES M C, TOIVONEN P. Antioxidant Potential and Peroxidative State of Golden Smooth Apples Treated with 1-Methylcyclopropene[J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2006, 131(1): 104—109.
- [39] ZHANG Z, TIAN S, ZHU Z, et al. Effects of 1-Methylcyclopropene (1-MCP) on Ripening and Resistance of Jujube (*Zizyphus jujube* cv. Huping) Fruit against Postharvest Disease[J]. *LWT-food Science and Technology*, 2012, 45(1): 13—19.