

农产品贮藏加工

1-MCP 对冷链运输月柿冷藏品质的影响

邓丙乾¹, 张鹏², 李江阔², 李冬³

(1.大连工业大学 食品学院, 大连 116034; 2.国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津) 天津市农产品采后生理与贮藏保鲜重点实验室, 天津 300384; 3.桂林恭城丰华园食品有限公司, 桂林 542500)

摘要: **目的** 研究 1-甲基环丙烯(1-Methylcyclopropene, 1-MCP) 处理对恭城月柿采后全程冷链保鲜体系下品质的影响。**方法** 通过对采后恭城月柿进行 1-MCP 处理, 并对照未处理的果实, 随后转入全程冷链物流运输体系, 研究不同流通环节期间柿果的色差(L 和 C)、可溶性固形物(TSS)含量、可滴定酸(TA)含量、呼吸强度、乙烯生成速率、抗坏血酸(VC)、可溶性单宁、总酚含量、果肉硬度、纤维素酶(CX)、多聚半乳糖醛酸酶(PG)和果胶酯酶(PE)活性保鲜品质的变化, 并将处理组与对照组进行对比。**结果** 在全程冷链物流保鲜体系下, A 和 B 两处理组的贮藏期分别为 49, 63 d; 与常温物流相比, 贮藏期分别延长了 27 d 和 41 d; A 处理组柿果品质改变节点为贮藏期 21~42 d; 呼吸强度、抗氧化物质和软化酶活性变化拐点分别为 34, 21, 21 d, 并于 49 d 时丧失基本流通性能; 1-MCP 处理组柿果的品质改变节点发生在贮藏期 49~56 d 内; 对总酚和 PE 影响呈极显著($P<0.01$); 与 A 处理组相比, B 处理组的 L 值、C 值、TA 含量、呼吸强度、Vc 含量、单宁含量、总酚含量、穿刺和 PE 酶活性分别高出 1.19, 1.60, 40.93, 0.90, 1.33, 2.05, 3.12, 4.3, 0.55 倍, 但对 TSS 含量和呼吸强度峰值的影响并不显著($P>0.05$)。**结论** 全程冷链保鲜体系可维持柿果的感官价值, 减缓营养物质的流失, 推迟呼吸高峰期, 降低抗氧化物质的转化及软化相关酶活性, 其中以 1-MCP 处理最佳, 是恭城月柿的最佳采后贮藏方案。

关键词: 1-MCP; 恭城月柿; 全程冷链保鲜体系; 品质

中图分类号: TS201.1; S665.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)07-0001-10

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.07.001

Effect 1-MCP on Cold Storage Quality of Persimmon after Cold Chain Transportation

DENG Bing-qian¹, ZHANG Peng², LI Jiang-kuo², LI Dong³

(1.College of Food Science, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China;

2.National Agricultural Product Preservation Engineering Technology Research (Tianjin), Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products, Tianjin 300384, China;

3.Guilin Gongcheng Fenghua Yuan Food Co., Ltd., Guilin 542500, China)

ABSTRACT: The paper aims to study effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on quality of the cold chain preservation system of Gongchengyue persimmon after harvest. The postharvest Gongchengyue persimmon was treated through 1-MCP and compared with those without treatment, and then transferred to the whole process cold chain logistics

收稿日期: 2018-12-26

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0401300); 广西科技基地和人才专项(桂科 AD17129011)

作者简介: 邓丙乾(1993—), 男, 大连工业大学硕士生, 主攻农产品贮藏与加工。

通信作者: 李江阔(1974—), 男, 博士, 国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津)副研究员, 主要研究方向为农产品安全与果蔬贮运保鲜新技术。

transportation system to study the color difference (L and C), soluble solids (TSS), titratable Acid (TA), respiration rate, ethylene production rate, ascorbic acid (VC), soluble tannin, total phenol, pulp hardness, cellulase (CX), polygalacturonase (PG) and pectin esterase (PE) changes in the preservation quality of the activity of persimmon fruit during different circulation stages, and compared with the control group. The storage periods of treatment groups A and B under the whole process of cold chain logistics preservation system were 49 d and 63 d respectively. Compared with normal temperature logistics, the storage period was extended by 27 d and 41 d, respectively. The change node for persimmon quality of treatment group A was stored for 21~42 d; the inflection points of respiratory, antioxidant and softening enzyme activities were 34, 21 and 21 d, respectively; and the basic circulation performance was lost at 49 d; the changed node of the 1-MCP treatment persimmon fruit quality during the storage period last from 49 d to 56 d; the effect on total phenol and PE was extremely significant ($P < 0.01$); compared with treatment group A, the L , C , TA, respiratory intensity, Vc, tannin, total phenol, puncture, and PE enzyme activity of treatment group B were 1.19, 1.60, 40.93, 0.90, 1.33, 2.05, 3.12, 4.3, and 0.55 times higher, respectively. However, the effect on TSS content and peak respiratory intensity was not significant ($P > 0.05$). The whole process of cold chain preservation system can maintain the sensory value of persimmon fruit, slow down the loss of nutrients, delay the peak of breathing, reduce the conversion of antioxidants and soften the related enzyme activities, among which 1-MCP treatment is the best. It is a good post-harvest storage and transportation program for Gongchengyue persimmon.

KEY WORDS: 1-MCP; Gongchengyue persimmon; whole cold chain preservation system; quality

恭城月柿又名水柿,盛产于广西壮族自治区恭城瑶族自治县,已有近千年的栽种历史,以去皮晒成柿饼后表皮有一层白霜而得名。因恭城月柿具有色泽橙红、肉厚脆嫩、皮薄味甜、果大汁多等许多良好品质,因此享有“中华名果”的盛誉^[1]。此外,恭城月柿含有丰富的营养物质,李时珍在《本草纲目》中早已提到:“柿乃脾肺血分之果也。其味甘而气甲,性涩而能收,故有健脾、涩肠、治嗽、止血之功效”,并且市场需求量大,远销海外,成为了商家结合淘宝、微商等电子商务渠道的一大商机^[2]。2017年统计数据 displays,仅恭城县内月柿种植面积可达 1.33 万 hm^2 ,产量可达 20 多万 t,为脆柿提供了良好的市场基础^[3]。目前柿果依旧受到物流发展不完善,贮藏条件技术不成熟等多方面制约,导致其市场受到了严重限制^[4]。

冷链物流即试材产地商品化处理、预冷、冷藏、运输及销售等各环节始终处于低温(0~4 $^{\circ}\text{C}$)环境条件下且无断链的特殊物流系统,能够在保证柿果不受损伤及污染的情况下最大限度保证试材的营养成分及新鲜口感^[5]。目前该技术已广泛应用于肉制品、速冻食品及奶制品行业中,而在农产品保鲜加工领域还处于极度欠缺阶段,如欧美国家农产品冷链物流流通率在 95%以上,而我国仅为 5%,每年流通损失率占比达到 20%~30%^[6],损失极为严重。此外,1-甲基环丙烯(1-Methylcyclopropene, 1-MCP)以生理效应明显、无味无毒等突出的优势已然成为当今果蔬保鲜领域的新型乙烯作用抑制剂^[7],应用广泛,已有学者在苹果^[8]、榴莲^[9]和香蕉^[10]等多种果品中进行深入研究,效果显著。脱涩后恭城月柿常温货架品质对不同浓度 1-MCP 的效应响应研究表明,1 $\mu\text{L/L}$ 的 1-MCP 处理

对货架柿果能起到最佳的保鲜效果,最长货架期可达 22 d^[11]。经学者多次研究发现,1-MCP 处理可显著抑制或延缓呼吸跃变性果实的乙烯生成速度,降低多聚半乳糖醛酸酶(PG)、果胶酯酶(PE)和纤维素酶(CX)活性,推迟柿果的软化期,从而显著延长果品的贮藏期^[12-13]。同时,1-MCP 的品种、浓度、环境温度等因素与柿果品质的好坏具有较强的关联作用^[14]。由于针对 1-MCP 对冷链物流体系下柿果的机体效应并未进行研究及模拟验证,故文中拟对采后恭城月柿进行 1-MCP 处理,并采用全程冷链物流保鲜贮藏手段,来研究冷链体系下柿果的保鲜品质、抗氧化物质含量及软化酶体系效应的变化,为采后恭城月柿冷链保鲜体系下的品质效应提供数据支持。

1 实验

1.1 材料与试剂

实验以恭城月柿为实验材料,于 2017 年 12 月 25 日采自广西省恭城县,八成熟,果实表面 80%以上呈橙黄色,果底部分为黄绿色。

采用聚乙烯微孔袋(PE,厚度为 30 μm),1 $\mu\text{L/L}$ 的 1-MCP 药包,国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津)。试剂:草酸、EDTA、氢氧化钠、无水碳酸钠、甲醇、酚类试剂、聚乙烯吡咯烷酮、DTT、亚油酸钠、福林酚等试剂,均为分析纯。

1.2 仪器与设备

仪器与设备:精准温控库,国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津);CM-700d 型手持色差计;PAL-1

便携式手持折光仪, 日本爱宕公司; 916 Ti-Touch 电位滴定仪, 瑞士万通中国有限公司; 便携式气体测定仪, 丹麦 PBI Dansensor 公司; 2010 型气相色谱仪, 日本岛津公司; TA.XT.Plus 物性仪, 英国 Stable Micro Systems 公司; 3-30K 高速冷冻离心机, 德国 Sigma 公司; TU-1810 紫外分光光度计, 北京普析通用仪器有限责任公司。

1.3 实验材料的处理

首先对采后柿果进行筛选, 将大小均一、无机械损伤的柿果平均分成 2 组, 每组 10 箱, 每箱 40 个果实, 共 800 个柿果。将每组柿果放入 PE 袋中, 一组未放 1-MCP (记为 A 组), 作为对照; 另一组 (记为 B 组) 分别放入 1 μ L/L 的 1-MCP 进行处理。随后用尼龙绳将 2 组柿果进行扎口封袋, 装入纸盒箱内, 并封口。然后将处理后的柿果进行冷链 (温度为 4 $^{\circ}$ C, 相对湿度为 80%) 长途运输, 于采收后第 3 天送至国家农产品保鲜工程技术研究中心 (天津), 并立即将实验材料放于精准温控库 ((-0.5 \pm 0.3) $^{\circ}$ C), 放置 24 h 后开箱预冷, 随后封箱检测, 以 7 d 为测定周期, 取 3 次重复实验, 对 2 组处理组柿果进行定期检测并记录。

1.4 测定项目及方法

1) 果皮色度。采用 CM-700d 型手持色差计, 在柿果赤道部位选取阴阳两点测定果皮的色度值 (L 值和 C 值), 每次随机取 6 个果进行测定。

2) 可溶性固形物含量 (Total soluble solids, TSS)。采用便携式手持折光仪测定。

3) 可滴定酸 (Titrable acid, TA)。采用自动电位滴定^[15]的方法。

4) 呼吸强度。采用静置法测定^[16]。

5) 乙烯生成速率。采用气相色谱仪程序升温法来测定。

6) 可溶性单宁。采用 Folin-Denis 比色法测定^[17]。

7) 抗坏血酸。采用钼蓝比色法测定抗坏血酸的含量^[18]。

8) 总酚含量。采用 Folin-Ciocalteu 比色法测定^[19]。

9) 硬度。采用英国产 TA.XT.Plus 物性仪测定^[20], P/2 探头 (2 mm), 测试速度为 2 mm/s, 测试深度为 10 mm。

10) 纤维素酶 (CX) 活性。采用 DNS 比色法测定^[21]。

11) 多聚半乳糖醛酸酶 (PG) 活性。同纤维素酶活性的测定方法。

12) 果胶酯酶 (PE) 活性。采用 NaOH 滴定法测定^[22]。

1.5 数据处理

所有数据均采用 Excel 2013 软件统计和绘图。通

过 SPSS 18.0 软件, 对所测 3 次平均数值采用 Duncan 新复极差法进行误差检验性分析。

2 结果与分析

2.1 1-MCP 对冷链物流体系下恭城月柿保鲜品质的影响

2.1.1 1-MCP 处理对冷链物流体系下恭城月柿果皮色泽的影响

L 值为代表柿果果皮颜色亮度强弱的指标^[23]。由图 1 可以看出, 随着时间的延长, 各处理组的 L 值均呈逐渐下降的趋势, 说明随着贮藏期的延长, 柿果果皮的亮度逐渐变暗, 影响了柿果的感官价值。其中, A 处理组下降幅度最大, B 处理组次之, 分别为 23.93% 和 9.29%, 说明 B 处理可以更有效地维持柿果果皮的亮度, 减缓商品感官价值的下降。此外, 柿果的亮度下降变化主要发生在贮藏后期 42 d 之后, 且下降幅度较大, 说明柿果颜色变化与柿果后期成熟衰老的加快具有不可忽视的联系。

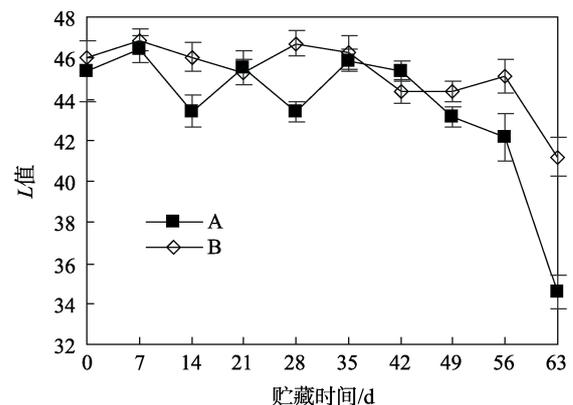


图 1 不同处理组 L 值的变化

Fig.1 Changes of L value in different treatment groups

C 值代表柿果果皮的着色程度。由图 2 数据显示, 随着贮藏期的延长, 柿果果皮的着色度呈下降的趋势, 且幅度逐渐增大。其中, 从贮藏期第 42 d 开始, A 处理组的 C 值呈极显著下降 ($P < 0.01$), 而 B 处理组则能够较好地维持稳定的着色度, 表现出良好的效果。说明在贮藏期内, 柿果果皮色素分解主要发生在贮藏后期, 且 B 处理组能更好地维持柿果的感官品质。

综上所述, 在整个贮藏期内, 柿果果皮的感官品质会随着时间的延长而逐渐下降。其中, L 值和 C 值均呈现 A 组下降幅度较大、B 组次之的相同变化趋势, 且差异性极显著 ($P < 0.01$)。说明 B 处理能够更好地减缓贮藏期内柿果果皮色素的降解速度, 保证柿果的感官价值。

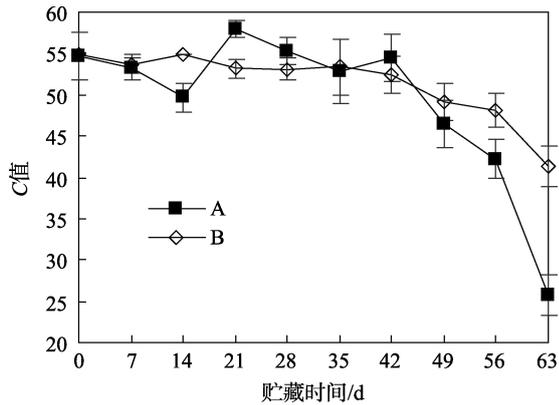


图2 不同处理组 C 值的变化

Fig.2 Changes of C value in different treatment groups

2.1.2 1-MCP 处理对冷链运输体系下恭城月柿营养物质的影响

柿果内可滴定酸含量的高低是果实风味好坏的决定性因素^[24], 见图 3。在贮藏第 0~14 d 期间, A 处理组的可滴定酸含量呈下降趋势, 随后开始上升, 并于第 35 d 时达到高峰 (0.085%), 然后大幅度下降, 降幅高达 98.4%, 呈现极显著性 ($P < 0.01$) 差异。表明 A 处理组的柿果于贮藏 35 d 前可保持绝大部分的营养物质。B 处理组则在贮藏前期呈现小幅上升趋势, 且差异性不显著 ($P > 0.05$), 随后该处理组的 TA 含量随着贮藏期的延长而缓慢下降, 于贮藏期结束时保持为 0.06%。说明 B 处理显著减缓了柿果的可滴定酸物质向次级代谢产物的转化, 避免贮藏期间 TA 营养物质的大量流失。

在贮藏 0~56 d 内, 两处理组的可溶性固形物含量均基本呈现出不同程度的下降趋势, 且 1-MCP 处理组浮动下降较大, 见图 4。A 处理组于贮藏第 42 d 时打破平稳波动的态势, TSS 含量呈现出大幅下降的趋势, 于贮藏期 63 d 时达到最低值 (16.2%), 反映了生理代谢过程中柿果营养物质的消耗下降水平。B 处理组的变化趋势与 A 处理组相似, 仅在冷链物流后进入贮藏期 0~7 d 内, 其 TSS 含量呈现小幅度上升趋势, 且显著高于 A 处理组 ($P < 0.001$)。这可能是采

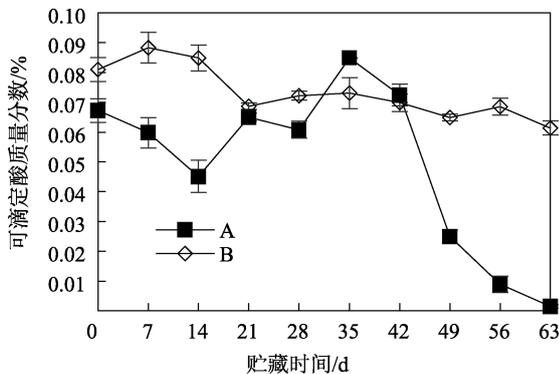


图3 不同处理组可滴定酸含量的变化

Fig.3 Changes of titratable acid content in different treatment groups

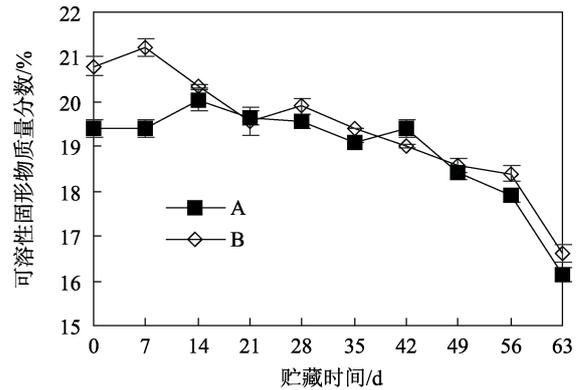


图4 不同处理组可溶性固形物含量的变化

Fig.4 Changes of soluble solids content in different treatment groups

后 1-MCP 处理显著作用于柿果, 致使冷链物流期间内其生理活动强度急剧下降, 从而减少碳水化合物的消耗所致; 在贮藏结束期第 63 d 时, 其 TSS 含量降至 16.6%, 与 A 处理组仅相差 0.4%。表明采后 1-MCP 处理对冷链物流运输及流通后贮藏期 0~7 d 内柿果的 TSS 含量具有直接或间接的保持作用, 对贮藏后期柿果营养物质的消耗并无显著影响。

2.1.3 1-MCP 处理对冷链运输体系下恭城月柿生理变化的影响

呼吸强度的大小基本代表着果实内部生长代谢活动的强弱^[25]。随着贮藏期的延长, 各处理组的呼吸强度均呈现出大体上升的趋势, 且 B 处理组均低于 A 处理组, 呈极显著 ($P < 0.01$) 差异, 见图 5。经冷链物流运输后, A 处理组贮藏时呼吸强度 (CO_2) 为 6.85 $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{h})$, 随着贮藏时间的增加呈现不稳定波动趋势, 且逐步上升, 并于贮藏 42 d 后开始稳定加强, 于贮藏期结束 (63 d) 时达到 10.67 $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{h})$, 差异性极显著 ($P < 0.01$); B 处理组果实的呼吸强度自贮藏期开始便一直保持着较低的平稳状态, 可见 1-MCP 处理能显著降低柿果贮藏期内的呼吸强度, 而在贮藏 56 d 后呈现大幅度上升趋势, 增幅达 81.13%; 贮藏期 0~56 d 内, B 处理组果实呼吸强度的增幅仅为 19.05%, 说明 1-MCP 处理能够更有效地降低呼吸强度, 并于贮藏第 56 d 后开始出现生理活动加强反应, 与 A 处理组相比呼吸高峰期被延缓了 14 d。在贮藏第 63 d 时, A 和 B 处理组的呼吸强度分别为 10.67, 9.62 $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{h})$, 差异不显著 ($P > 0.05$), 说明 1-MCP 处理并不能显著降低柿果的呼吸高峰峰值。

如图 6 所示, 各处理组乙烯的生成速率在贮藏期内明显低于采后新鲜柿果, 呈现出先下降后上升的趋势, 且维持在较低水平。说明贮藏环境等因素会明显降低柿果的乙烯生成速率, 延缓其熟化速度。冷链运输后, A 和 B 处理组的乙烯生成速率分别为 12.25, 5.26 $\mu\text{L}/(\text{kg}\cdot\text{h})$, 两者呈现出极显著差异 ($P < 0.01$)。说明 1-MCP 处理对物流过程中柿果乙烯释放速率

具有显著的抑制作用。在贮藏期内，各处理在贮藏第 7 d 时呈现大幅度下降，这可能是由于贮藏环境温度低于物流运输环境温度所致，说明柿果在低温贮藏 (-0.5 ± 0.3) °C 环境下更有利于降低其熟化速度；在贮藏第 42 d 之后，A 处理组的乙烯生成速率呈现较明显的上升趋势，而 B 处理组依旧保持在较低水平，且于贮藏 63 d 时两处理组的乙烯生成速率分别为 5.07 和 2.42 $\mu\text{L}/(\text{kg}\cdot\text{h})$ ，呈现极显著差异 ($P<0.01$)；B 处理组于贮藏 56 d 开始出现明显上升趋势，晚于 A 处理组（贮藏 14 d 时）；表明 B 处理可以更有效地降低柿果乙烯的生成速率，减缓其熟化速度，从而延长柿果贮藏期。

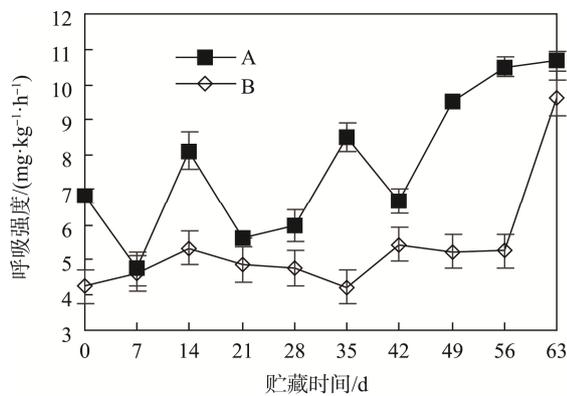


图 5 不同处理组呼吸强度的变化
Fig.5 Changes of respiratory intensity in different treatment groups

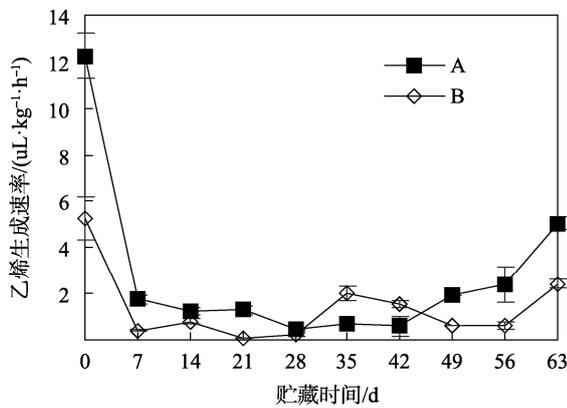


图 6 不同处理组乙烯生成速率的变化
Fig.6 Changes of ethylene production rate in different treatment groups

2.2 1-MCP 处理对冷链运输体系下恭城月柿抗氧化物质的影响

抗坏血酸含量能在一定程度上表征柿果的成熟衰老程度，见图 7a，在贮藏期内各处理组的 Vc 含量呈现先上升后下降的趋势，且 B 处理组显著高于 A 处理组 ($P<0.01$)；其中 B 处理组的 Vc 含量上升最快，A 处理组次之，且各处理组均在第 21 d 时达到

高峰，峰值分别为 40.92 和 47.45 $\text{mg}/100\text{g}$ ；在贮藏第 28 d 时，各处理组的 Vc 含量呈现极显著下降趋势 ($P<0.01$)，到贮藏期结束时，两处理组的降幅分别为 49.43%和 42.74%。此外，由上升趋势分析可看出，B 处理组的 Vc 含量快速上升期为贮藏时间 0~7 d，A 处理组则为 14~21 d，且 $B>A$ ，说明 1-MCP 处理有助于提升 Vc 的积累速度和含量值，显著提升了柿果营养价值。

单宁又名鞣质，是柿果食用涩味的主要来源，其在果肉中的含量可达到 37.75 mg/g ^[26]，成为柿果食用价值的重要指标，同时也是柿果抗氧化反应中的主要反应底物。在贮藏期内，各处理组的可溶性单宁含量

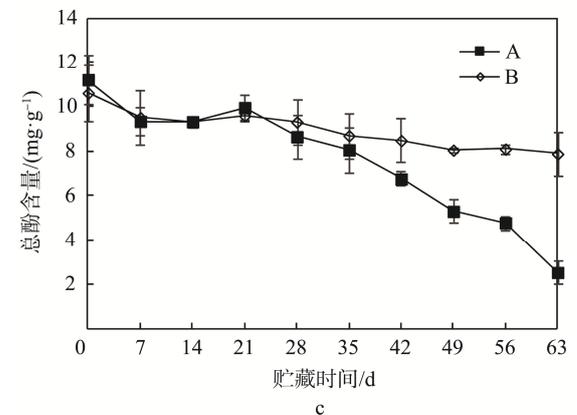
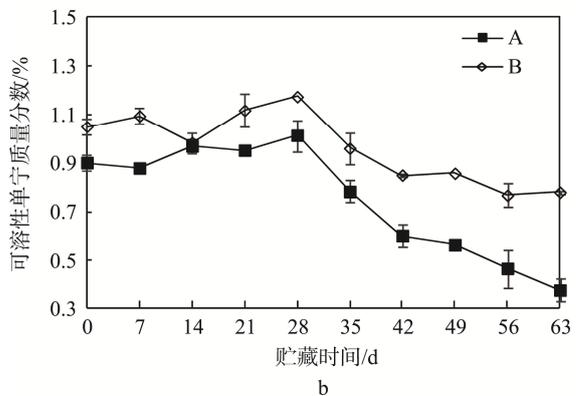
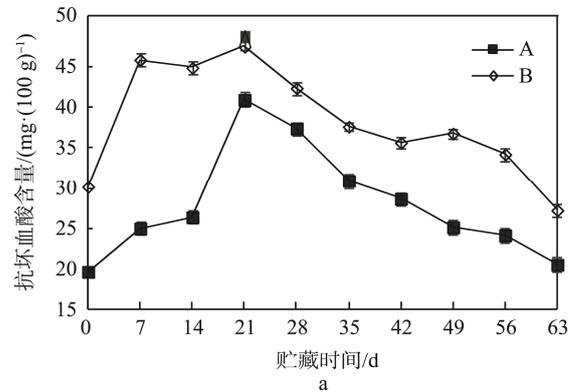


图 7 不同处理组抗坏血酸、可溶性单宁和总酚含量的变化

Fig.7 Changes of ascorbic acid, soluble tannin and total phenol in different treatment groups

基本呈现出先上升后下降的趋势,见图 7b。在贮藏第 28 d 时各处理组的单宁含量均达到峰值,质量分数分别为 0.95 % 和 1.12 %,且 B 处理组均高于 A 处理组,差异性达到极显著 ($P<0.01$) 水平;随着贮藏期的延长,各处理组的单宁含量逐渐下降,其中 A 处理组下降得最快,于贮藏第 63 d 时下降至 0.38%,B 处理组次之,降至 0.78 %,呈极显著水平 ($P<0.01$)。说明 B 处理组具有更强的抗氧化能力,能减缓抗氧化物质的转化。

总酚属于多酚类物质,其作为反应底物参与柿果内一系列的氧化反应,是柿果抗氧化能力组成的最主要成分之一。由图 7c 可知,随着贮藏期的延长,各处理组的总酚含量均呈现下降的趋势,反应了果实抗氧化能力随着衰老进程的推进而逐渐减弱的过程。结果显示,在贮藏 7~21 d 内,A 和 B 处理组的总酚物质含量持平,均保持在 9.5 ± 0.3 mg/g,说明 1-MCP 处理对贮藏前期柿果总酚物质的积累并无影响;自贮藏第 28 d 开始,A 和 B 处理组的总酚含量差异逐渐加大,在贮藏第 63 d 时,两处理组总酚含量分别降至 2.53 mg/g 和 7.88 mg/g,差异性达到极显著水平 ($P<0.01$),说明 1-MCP 处理能够显著地减缓总酚物质的下降。

2.3 1-MCP 对贮藏期间恭城月柿质地及相关软化酶活性的影响

硬度是保证柿果正常贮藏及防止营养物质快速流失的重要保障。如图 8a 所示,在整个贮藏期内,各处理的硬度随着时间的延长呈现缓慢下降的趋势,且 A 处理组下降较快,B 处理次之,差异性达极显著 ($P<0.01$) 水平;随着贮藏期的延长,A 处理组由贮藏前硬度值为 6.32 N 降至贮藏 63 d 时硬度值为 0.56 N,降幅达 91.14%,且于贮藏 49 d 时柿果已失去基本的组织结构保护作用,已不适于运输;B 处理组的果肉硬度值在整个贮藏期内均显著高于 A 处理组,且贮藏期结束时果肉硬度值为 2.78 N,总降幅为 51.12%,仍保持较强的果肉硬度,对柿果起到了一定的保护作用。说明 1-MCP 处理组对贮藏期间月柿的硬度具有一定的保持作用,减缓了柿果外部组织结构的分解速度,从而显著延长了柿果贮藏期。

细胞壁中含有大量的纤维素,由纤维素构成的骨架是柿果硬度的基础。纤维素酶 (CX) 作为一种水解酶,与柿果的软化具有十分紧密的联系,见图 8b。随着柿果的成熟衰老,A 处理组纤维素酶的活性呈现出逐渐上升的趋势,于贮藏 21 d 后呈现急速增长

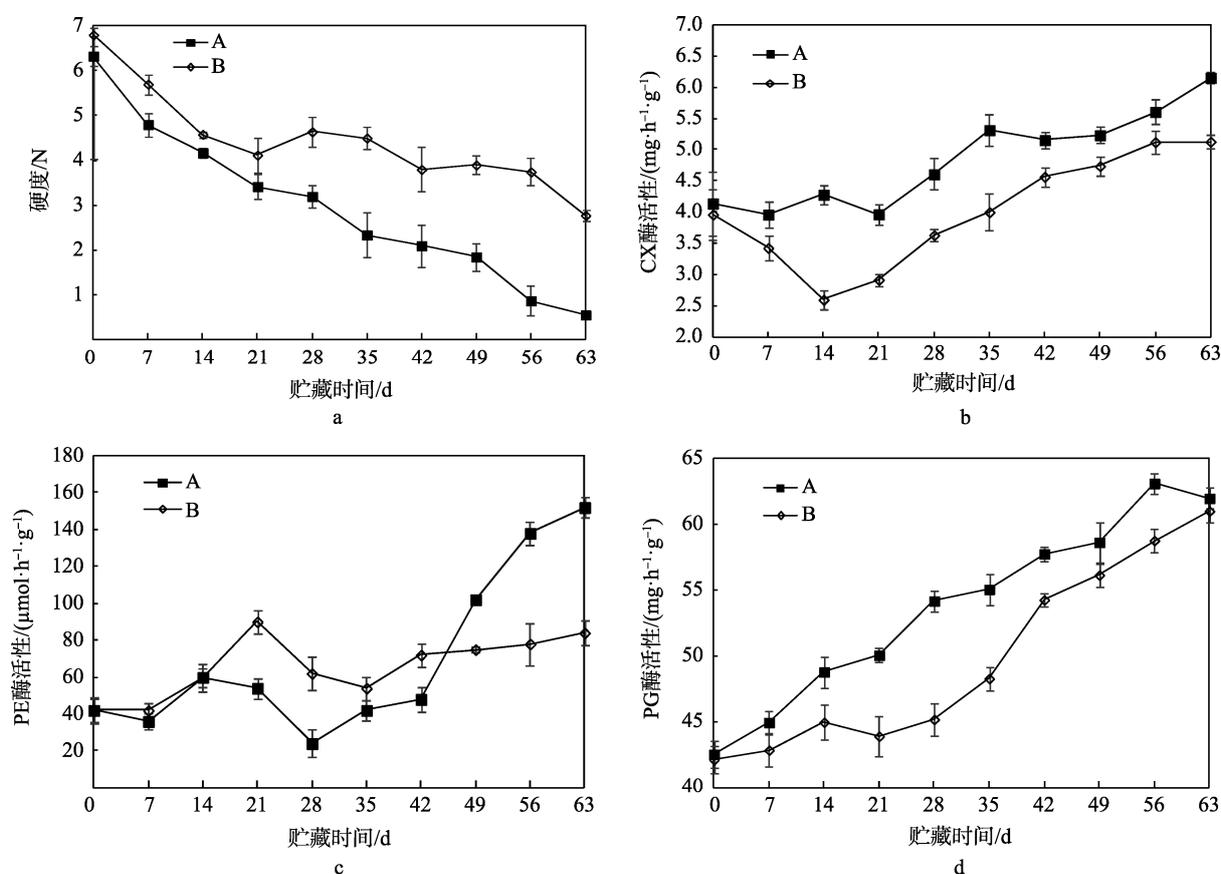


图 8 不同处理组质地、PG、CX 和 PE 的变化

Fig.8 Changes of texture, PG, CX and PE in different treatment groups

趋势,说明A处理组柿果组织纤维素于贮藏21 d开始被大量分解,造成软化加速;B处理组的CX酶活性均低于A处理组,呈显著差异($P<0.05$);酶的活性于贮藏0~14 d时呈现显著下降趋势,且于贮藏14 d后开始急速上升,于贮藏63 d上升至 $5.13 \text{ mg}/(\text{h}\cdot\text{g})$,远低于A处理组的酶活性,说明B处理能有效抑制纤维素酶活性的上升速度及水解程度,但并未延缓CX酶活性的高速上升期。

多聚半乳糖醛酸酶(PG)的主要作用是水解柿果细胞壁中的果胶物质。由图8c可知,在整个低温贮藏期内,各处理组的PG活性均呈现出逐渐上升的趋势,反映着柿果成熟软化过程中果胶成分的分解程度。其中,在贮藏期间内,A处理组的PG酶活性均高于B处理组,且差异性呈极显著水平($P<0.01$),说明1-MCP可以在一定程度上抑制柿果前期PG酶活性的增加,从而减少果胶物质的分解;A处理组由初始的 $42.53 \text{ mg}/(\text{h}\cdot\text{g})$ 上升至结束期的 $62.13 \text{ mg}/(\text{h}\cdot\text{g})$,B处理组则由初始的 $42.14 \text{ mg}/(\text{h}\cdot\text{g})$ 上升至 $61.03 \text{ mg}/(\text{h}\cdot\text{g})$,差异性不显著($P>0.05$)。说明1-MCP对柿果后期PG酶活性的强度无显著的降低作用。

果胶酯酶是通过脱除半乳糖醛酸羧基上甲醇基的方式,为多聚半乳糖醛酸酶的水解反应提供作用底物——多聚半乳糖醛酸,对果胶的降解起辅助作用^[27]。由图8d可以看出,A处理组随着贮藏期的延长活性逐渐增大,在贮藏第42 d时呈现出急速上升的趋势,由 $48.01 \mu\text{mol}/(\text{h}\cdot\text{g})$ 升至 $152 \mu\text{mol}/(\text{h}\cdot\text{g})$,升幅达到64.41%;可见贮藏后期柿果软化与PE活性呈正相关;B处理组在整个贮藏期内维持着较低酶活性的平稳状态,并在贮藏后期时不高于A处理组PE酶活性值的1/2,说明1-MCP处理组可以抑制贮藏后期PE活性的上升速度及峰值,从而延缓其软化进程。

3 讨论

感官品质是商品上市后价值得到保证的首要因素,同时也是柿果成熟衰老程度的重要指标之一。张振境等^[28]发现贮藏期间龙眼果实的L值先增加后减少,并与Vc和TSS含量呈极显著正相关;胡青素^[29]研究发现,甜柿中色泽差异主要受到5种类胡萝卜素组分含量及比例差异的影响,赤霉素等外源物质对色泽具有较显著影响。文中试验研究发现,柿果果皮的L值和C值随着贮藏时间的延长而下降,且贮藏后期下降速度加快,于贮藏期结束时,两处理组呈现出极显著差异($P<0.01$),且B处理组优于A处理组,说明1-MCP处理可以显著延缓果实感官品质的下降速度,从而有效保持柿果感官价值的效果。此外,A处理组的果皮着色度C值于贮藏第42 d开始大幅下降,且与呼吸强度、乙烯生成速率、抗氧化酶活性等多个指标的增长节点相同,说明柿果的色泽变化与其

衰老软化等活动具有一定的关联作用。

Ortiz等^[30]发现采后1-MCP处理柿果可以在贮藏后期保有较高的可溶性固形物含量,但是OZAT^[31]认为1-MCP对减缓TSS下降的效果并不显著,田长河等^[32]对“富平尖柿”进行1-MCP处理研究后发现,整个贮藏期内TSS含量的变化并不显著,对照处理组柿果的TSS含量先下降后上升,至贮藏结束时二者的TSS含量接近。文中研究结果表明,1-MCP对冷链运输体系下柿果TSS的影响并不显著,这与大部分学者研究结果一致,但其对可滴定酸含量却具有很好的维持作用,效果显著($P<0.01$),且B处理组的效果更佳。说明1-MCP可以延缓可滴定酸营养物质的分解消耗程度,从而减少柿果风味物质的流失。

1-MCP通过阻断乙烯诱导的生理反应,阻止了1-甲基环丙烷-1-羧酸(ACC)向丙二酰ACC(MACC)转化过程的恢复,同时与呼吸作用相关的酶ASC等基因的表达被阻断^[33-34],从而显著抑制了果实呼吸乙烯的释放速率和高峰峰值。文中研究结果显示,1-MCP能够有效抑制呼吸速率,延缓呼吸高峰期14 d,但对峰值大小并无显著影响;两处理组的乙烯生成速率在整个贮藏期之间均显著低于贮藏期初始值,这可能是由于低温环境对柿果造成的低温胁迫所致,这与贮藏期内的呼吸强度并未达成一致的规律,从而验证了Krammes等^[35]提出的呼吸强度不受乙烯释放速率影响的论断。

单宁、抗坏血酸和总酚是柿果抗氧化物质的主要组成部分,总占比高达94.70%。刘韬等^[36]发现柿子果肉中抗氧化物含量大小顺序为单宁>没食子酸>Vc,清除自由基能力大小依次为没食子酸>单宁>Vc;文中试验结果中研究发现,1-MCP处理对单宁、Vc和总酚含量的变化均具有显著影响,使抗氧化物质在正常分解消耗的下降趋势下始终维持在较高的含量范围内,与A处理组形成了鲜明对比,1-MCP处理延缓了柿果衰老过程中所引起的抗氧化能力衰减,延缓并降低了柿果的养护程度,保证柿果具有较好的生理品质。

孙浩等^[37]研究发现1-MCP处理可以减缓硬度、回复性和咀嚼性等质地变化,保持柿果口感。同时有研究发现,对柿果进行1-MCP处理可以抑制PG、PE和CX等活性,降低活性峰值,推迟高峰期^[38-39]。文中研究结果表明,冷链物流体系下A和B处理组柿果的贮藏时间分别延长至56 d和72 d;各处理组软化酶活性在贮藏第21 d开始逐渐增强,且1-MCP处理组对软化酶活性具有显著的抑制作用,尤其是PE酶活性,始终保持在较低水平,与A处理组呈现极显著差异;通过与硬度指标结合分析得出,1-MCP处理组在贮藏后期硬度下降得较缓慢,与PE酶活性大致相当。

4 结语

综合上述分析讨论可以看出,经冷链物流运输后 A 处理组最长贮藏期为 56 d;第 21 d,软化酶活性(PG, PE, CX)显著上升,抗氧化物质(Vc、总酚和单宁)下降,并于 42 d 后出现腐败现象,并逐渐加重。1-MCP 处理组的柿果在贮藏期结束时,仍保持着良好的品质,显著延长了柿果的贮藏时间;在贮藏 56 d 时才表现出代谢能力的增强,延缓并抑制了呼吸强度及乙烯释放速率;抗氧化物质的下降和软化酶活性的上升程度均低于 A 处理组,尤其对 PE 酶作用显著,并维持较高的果肉硬度。说明 1-MCP 处理对冷链物流后柿果保鲜品质及贮藏期具有显著的效果,是一种能够与冷链物流技术相结合从而获得更佳效果的柿子处理手段。

参考文献:

- [1] 农训学. “中华名果”——恭城月柿[J]. 农村实用技术与信息, 2004(2): 24—25.
NONG Xun-xue. Chinese Famous Fruit—Gongcheng Yue Persimmon[J]. Rural Practical Technology and Information, 2004(2): 24—25.
- [2] 占习娟. 柿果贮藏加工品质变化及控制技术的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2007.
ZHAN Xi-juan. Quality Change and Control Technology of Persimmon Fruit Storage and Processing[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2007.
- [3] 郑智敏. 广西恭城月柿上市俏销[J]. 果农之友, 2017(10): 9.
ZHENG Zhi-min. Guangxi Gongcheng Yue Persimmon Market Sales[J]. Friends of Fruit Farmers, 2017(10): 9.
- [4] 杨长林, 黄勇, 孟付德. 恭城月柿生产现状和发展前景[J]. 广西园艺, 2005(2): 16.
YANG Chang-lin, HUANG Yong, MENG Fu-de. Production Status and Development Prospect of Gongcheng Yue Persimmon[J]. Guangxi Horticulture, 2005(2): 16.
- [5] 严灿. 草莓采后全程冷链保鲜技术研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2016.
YAN Can. Study on the Whole-chain Cold Chain Preservation Technology of Strawberry after Harvest[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016.
- [6] 毋庆刚. 我国冷链物流发展现状与对策研究[J]. 中国流通经济, 2011, 25(2): 24—28.
WU Qing-gang. Research on the Status Quo and Countermeasures of China's Cold Chain Logistics Development[J]. China Circulation Economy, 2011, 25(2): 24—28.
- [7] 蒋世磊, 王瑞. 1-甲基环丙烯在果蔬采后贮运领域应用研究进展[J]. 山西农经, 2018(4): 68.
JIANG Shi-lei. Advances in the Application of 1-Methylcyclopropene in the Field of Postharvest Storage and Transportation of Fruits and Vegetables[J]. Shanxi Agricultural Journal, 2018(4): 68.
- [8] 张鹏, 陈帅帅, 李江阔, 等. 1-MCP 处理对不同成熟度富士苹果贮后货架品质和挥发性物质的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(21): 269—275.
ZHANG Peng, CHEN Shuai-shuai, LI Jiang-kuo, et al. Effects of 1-MCP Treatment on Shelf Quality and Volatile Matter of Fuji Apple Stores with Different Maturity[J]. Food Industry Science and Technology, 2018, 39(21): 269—275.
- [9] AMORNPUTTI S, KETSA S, DOORN W G V. Effect of 1-Methylcyclopropene (1-MCP) on Storage Life of Durian Fruit[J]. Postharvest Biology & Technology, 2014, 97(3): 111—114.
- [10] KETSA S, WISUTIAMONKUL A, DOORN W G V. Apparent Synergism between the Positive Effects of 1-MCP and Modified Atmosphere on Storage Life of Banana Fruit[J]. Postharvest Biology & Technology, 2013, 85(4): 173—178.
- [11] 覃慧. “恭城月柿”CO₂脱涩及保鲜剂 1-MCP 应用技术研究[D]. 南宁: 广西大学, 2017.
TAN Hui. Study on the Application Technology of 'Congcheng Yue Persimmon' CO₂ Deodorization and Preservative 1-MCP[D]. Nanning: Guangxi University, 2017.
- [12] 张宇, 饶景萍, 孙允静, 等. 1-甲基环丙烯对甜柿贮藏中冷害的控制作用[J]. 园艺学报, 2010, 37(4): 547—552.
ZHANG Yu, RAO Jing-ping, SUN Yun-jing, et al. Control Effect of 1-Methylcyclopropene on Chilling Injury in Storage of Sweet Persimmon[J]. Acta Horticultura Sinica, 2010, 37(4): 547—552.
- [13] LUO Zi-sheng. Effect of 1-Methylcyclopropene on Ripening of Postharvest Persimmon (Diospyros kaki L) Fruit[J]. LWT-Food Science and Technology, 2007, 40(2): 285—291.
- [14] 张雪丹, 辛甜甜, 李富军, 等. 1-甲基环丙烯在柿贮藏保鲜中的应用研究进展[J]. 园艺学报, 2012, 39(4): 783—792.
ZHANG Xue-dan, XIN Tian-tian, LI Fu-jun, et al. Advances in the Application of 1-Methylcyclopropene in Storage and Preservation of Persimmon[J]. Journal of Horticulture, 2012, 39(4): 783—792.
- [15] 曹建康. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
CAO Jian-kang. Physiological and Biochemical Experiments of Postharvest Fruits and Vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.
- [16] 李文生, 冯晓元, 王宝刚, 等. 应用自动电位滴定仪测定水果中的可滴定酸[J]. 食品科学, 2009, 30(4): 247—249.
LI Wen-sheng, FENG Xiao-yuan, WANG Bao-gang, et al. Determination of Titratable Acid in Fruits by Automatic Potentiometric Titrator[J]. Food Science, 2009, 30(4): 247—249.
- [17] 郑巧林. 柿果真空包装脱涩和保鲜技术的研究[D].

- 武汉: 华中农业大学, 2001: 10—11.
ZEHGN Qiao-lin. Study on the Technology of Degumming and Preservation of Persimmon Fruit Vacuum Packaging[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2001: 10—11.
- [18] 李军. 钼蓝比色法测定还原型维生素 C[J]. 食品科学, 2000, 21(8): 42—45.
LI Jun. Determination of Reduced Vitamin C by Molybdenum Blue Colorimetric Method[J]. Food Science, 2000, 21(8): 42—45.
- [19] 徐辉艳, 孙晓东, 张佩君, 等. 红枣汁中总酚含量的福林法测定[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(3): 126—128.
XU Hui-yan, SUN Xiao-dong, ZHANG Pei-jun, et al. Determination of Total Phenol Content in Jujube Juice by Folin Method[J]. Food Research and Development, 2009, 30(3): 126—128.
- [20] 付坦. 冬枣冰温保鲜技术的研究[D]. 天津: 天津商业大学, 2013: 18—19.
FU Tan. Study on the Winter Temperature Preservation Technology of Winter Jujube[D]. Tianjin: Tianjin University of Commerce, 2013: 18—19.
- [21] CHIN L H, ALI Z M, LAZAN H. Cell Wall Modifications, Degrading Enzymes and Softening of Carambola Fruit during Ripening[J]. Journal of Experimental Botany, 1999, 50(335): 767—775.
- [22] 罗自生. 柿果实采后软化过程中细胞壁组分代谢和超微结构的变化[J]. 植物生理与分子生物学报, 2005(6): 651—656.
LUO Zi-sheng. Changes of Cell Wall Component Metabolism and Ultrastructure in Persimmon Fruit during Postharvest Softening[J]. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2005(6): 651—656.
- [23] GEORGE A P, REDPATH S. Health and Medicinal Benefits of Persimmon Fruit: a Review[J]. Advances in Horticultural Science, 2008, 22(4): 244—249.
- [24] 李俊俊, 李文文, 邵远志, 等. 1-MCP对香蕉、芒果和番木瓜果实贮藏品质影响的比较研究[J]. 食品科技, 2013(5): 46—51.
LI Jun-jun, LI Wen-wen, SHAO Yuan-zhi, et al. Comparative Study on the Effects of 1-MCP on the Storage Quality of Banana, Mango and Papaya Fruits[J]. Food Science and Technology, 2013(5): 46—51.
- [25] 寇文丽, 李江阔, 张鹏, 等. 1-MCP对不同成熟度冰温贮藏磨盘柿品质和生理的影响[J]. 果树学报, 2012, 29(2): 199—204.
KUO Wen-li, LI Jiang-kuo, ZHANG Peng, et al. Effects of 1-MCP on the Quality and Physiology of Different Maturity Ice-temperature Storage of Mopanshi Persimmon[J]. Journal of Fruit Science, 2012, 29(2): 199—204.
- [26] 曾繁濠. 恭城月柿单宁提取纯化工艺优化及抗氧化活性初步研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2015.
ZENG Fan-hao. Preliminary Study on Extraction and Purification Process and Antioxidant Activity of Gongchengyue Persimmon Tannin[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2015.
- [27] 周文红, 秦小明, 覃玉, 等. 恭城月柿果胶粗酶的酶学特性初探[J]. 农业研究与应用, 2007(1): 4—6.
ZHOU Wen-hong, QIN Xiao-ming, QIN Yu, et al. Preliminary Study on Enzymatic Characteristics of Crude Enzyme from Gongchengyue Persimmon[J]. Agricultural Research and Applications, 2007(1): 4—6.
- [28] 张振境, 蔡小林, 莫天利, 等. 两种处理方式对龙眼常温贮藏的影响[J]. 中国南方果树, 2018, 47(1): 59—62.
ZHANG Zhen-jing, CAI Xiao-lin, MO Tian-li, et al. Effects of Two Treatments on Storage of Longan at Normal Temperature[J]. Journal of South China Fruits, 2018, 47(1): 59—62.
- [29] 胡青素. 套袋对甜柿果实品质及呈色机制的影响[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2010.
HU Qing-su. Effects of Bagging on the Quality and Coloration Mechanism of Sweet Persimmon Fruit[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2010.
- [30] ORTIZ G I, SUGAYA S, SEKOZAWA Y, et al. Efficacy of 1-Methylcyclopropene (1-MCP) in Prolonging the Shelf-life of "Rendaiji" Persimmon [Diospyros Kaki] Fruits Previously Subjected to Astringency Removal Treatment[J]. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 2005, 74(3): 248—254.
- [31] OZ A T. Combined Effects of 1-Methyl Cyclopropene (1-MCP) and Modified Atmosphere Packaging (MAP) on Different Ripening Stages of Persimmon Fruit during Storage[J]. African Journal of Biotechnology, 2011, 10(4): 807—814.
- [32] 田长河, 饶景萍, 冯炜. 1-MCP处理对柿果实采后生理效应的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(5): 122—126.
TIAN Chang-he, RAO Jing-ping, FENG Wei. Effects of 1-MCP Treatment on Postharvest Physiological Effects of Persimmon Fruits[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2005, 23(5): 122—126.
- [33] GOLDING J B. Application of 1-MCP and Propylene to Identify-ethylene-dependent Ripening Processes in Mature Banana Fruit[J]. Postharvest Biol Technol, 1998, 14(1): 87—98.
- [34] JIANG Y M, FU J R. Ethylene Regulation of Fruit Ripening: Molecular Aspects[J]. Plant Growth Regulation, 2000, 30(3): 193—200.
- [35] KRAMMES J G, ARGENTA L C, VIEIRA M J. Influences of 1-Methylcyclopropene on Quality of Persimmon Fruit cv 'Fuyu' after Cold Storage[J]. Acta Horticulturae, 2006, 727: 513—518.
- [36] 刘滔, 孙蓉蓉, 赵春萍, 等. 柿果中不同成分对其抗氧化活性的贡献及其协同/不协同效应研究[J]. 食品科技, 2015, 40(1): 63—67.
LIU Tao, SUN Rong-rong, ZHAO Chun-ping, et al. Contribution of Different Components of Persimmon Fruit to Its Antioxidant Activity and Its Synergis-

- tic/Disabling Effect[J]. *Food Science and Technology*, 2015, 40(1): 63—67.
- [37] 孙浩, 李天元, 高术杰, 等. 1-甲基环丙烯对冷藏期间甜柿质地的影响[J]. *食品工业*, 2016, 37(2): 145—149.
- SUN Hao, LI Tian-yuan, GAO Shu-jie, et al. Effect of 1-Methylcyclopropene on the Texture of Sweet Persimmon during Cold Storage[J]. *Food Industry*, 2016, 37(2): 145—149.
- [38] TAKESHI N, TAEKO I, TAKESHI O, et al. Effects of 1-Methylcyclopropene on Flesh Firmness during Storage of Pollination-constant and Non-astringent Cultivars of Japanese Persimmon(*Diospyros kaki*)[J]. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology*, 2005, 52 (2): 68—73.
- [39] 张宇, 饶景萍, 孙允静, 等. 1-甲基环丙烯对甜柿贮藏中冷害的控制作用[J]. *园艺学报*, 2010, 37(4): 547—552.
- ZHANG Yu, RAO Jing-ping, SUN Yun-jing, et al. Control Effect of 1-Methylcyclopropene on Chilling Injury in Sweet Persimmon Storage[J]. *Journal of Horticulture*, 2010, 37(4): 547—552.