

1-MCP 两次处理对寒富苹果腐烂调控及货架品质的影响

颜廷才¹, 李昂¹, 张鹏², 李江阔², 徐勇³, 李博强³

(1.沈阳农业大学 食品学院, 沈阳 110866; 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.中国科学院植物研究所资源植物重点实验室, 北京 100093)

摘要: **目的** 探求贮藏前、后施用不同浓度 1-MCP (1-甲基环丙烯) 对寒富苹果货架期的生理品质和控制病害等方面的效果, 并筛选出最佳浓度。**方法** 以寒富苹果为实验材料, 采后立即用 1-MCP (含量为 1 $\mu\text{L/L}$) 对其进行处理, 于精准温控库贮藏 6 个月后出库, 再分别用 3, 5 $\mu\text{L/L}$ 的 1-MCP 进行熏蒸处理, 以 7 d 为周期, 测定寒富苹果的腐烂率、抗病性相关酶活性、生理指标、贮藏品质等。**结果** 与对照组 (CK) 相比, 1-MCP 组能显著降低寒富苹果的腐烂率, 提高抗病性相关酶的活性, 减缓呼吸强度和乙烯释放速度, 减小可滴定酸、可溶性固形物及 Vc 的流失; 维持果实硬度。1-MCP+3 组和 1-MCP+5 组可以显著抑制果实的腐烂速率, 显著提高抗病性相关酶活性, 并有效保持醛类物质的含量, 但对于可溶性固形物、可滴定酸和 Vc 的保留效果不及 1-MCP 组。**结论** 贮藏前的 1-MCP 处理可以调控苹果的生理指标、贮藏品质等, 贮藏后的 1-MCP 处理可以显著地抑制腐烂病害的发生, 并提高抗病性相关酶的活性。贮藏前使用 1-MCP (1 $\mu\text{L/L}$) 处理, 冷藏后出库时再次使用 5 $\mu\text{L/L}$ 的 1-MCP 处理其结果最佳。

关键词: 寒富苹果; 1-甲基环丙烯; 货架; 品质

中图分类号: S661.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)11-0042-10

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.11.006

Effects of Two Treatments of 1-MCP on Rot Regulation of Hanfu Apple and Shelf Quality

YAN Ting-cai¹, LI Ang¹, ZHANG Peng², LI Jiang-kuo², XU Yong³, LI Bo-qiang³

(1.School of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China;

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

3.Key Laboratory of Plant Resources, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

ABSTRACT: The paper aims to explore effects of different concentrations of 1-MCP (1-methylcyclopropene) on physiological quality and disease control of the Hanfu apples before and after storage, and screen the optimal concentration. The Hanfu apples were used as test materials. Immediately after harvesting, they were stored in a precision temperature-controlled library with 1 $\mu\text{L/L}$ of 1-MCP for 6 months, and then fumigated with 3 $\mu\text{L/L}$ and 5 $\mu\text{L/L}$ of 1-MCP to determine the rot rate, disease-related enzyme activity, physiological index and storage quality on a 7-day cycle. Compared with the

收稿日期: 2019-03-05

基金项目: “十三五”国家重点研发计划 (2016YFD0400903)

作者简介: 颜廷才 (1977—), 男, 博士, 沈阳农业大学副教授, 主要研究方向为果品蔬菜深加工与活性物质提取。

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。

CK (control) group, the 1-MCP group can significantly reduce the rotting rate of Hanfu apples, increase their activity of disease-resistant enzymes, reduce their respiratory intensity and ethylene release rate, and slow down their titratable acid and soluble solids and loss of Vc and maintain fruit firmness. The 1-MCP+3 and 1-MCP+5 groups can significantly inhibit fruit rot, significantly increase the activity of disease-resistant enzymes and effectively maintain the content of aldehydes. But their retention of soluble solids, titratable acid and Vc was not as good as pre-storage 1-MCP group. Pre-storage 1-MCP can regulate physiological indicators and storage quality. 1-MCP can significantly inhibit the occurrence of rot disease and increase the activity of disease-resistant enzymes. Treatment with 1-MCP (1 $\mu\text{L/L}$) before storage, and treatment with 5 $\mu\text{L/L}$ of 1-MCP after refrigeration have the best result.

KEY WORDS: Hanfu apple; 1-methylcyclopropene; shelf; quality

寒富苹果是一种果形端正、多汁酥脆、果香四溢,且具有极强抗寒性、含酸量相对较高的优质苹果杂交品种,不论是鲜食还是加工都很适合^[1-2]。目前对寒富苹果的研究大多集中在品种和生长特性等方面^[3-4],寒富苹果的产量逐年增多,如果在苹果采后贮藏时期发生病害会带来重大的经济损失^[5],所以提高其贮藏保鲜技术变得更加重要。

在采后贮藏期间,苹果产生的病害主要是由病原微生物引起的,如受青霉(*Penicillium sp.*)侵染产生的青霉病,灰霉引发的灰霉病,链格孢菌(*Alternaria sp.*)引发的链格孢烂果病。1-MCP 在苹果采后贮藏中的应用十分广泛,研究结果显示,1-MCP 能通过控制乙烯合成途径来减缓乙烯诱导的果实后熟与衰老,对果实硬度的保持效果尤为显著,且在一定程度上减少了营养成分的损失,从而保持果实良好品质,并达到延长货架期的目的^[6-8]。1-MCP 还可以充当一种激发因子,增强果实中酶的活性,能有效提高果实抗病害能力^[9]。李江阔^[10]等研究表明,5 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 处理显著降低了寒富苹果的病害严重程度,抑制了苹果上菌丝体的生长和孢子的萌发。目前,对使用 1-MCP 进行一次处理的研究较多,在寒富苹果中进行 1-MCP 贮前和贮后双重处理的研究还未见报道,其对寒富苹果生理品质和腐烂病害的控制效果有待进一步研究。

文中以寒富苹果为实验材料,通过对果实的腐烂率、抗病性相关酶活性、生理指标及贮藏品质等进行测定,研究贮藏前进行 1-MCP 处理并于出库后再进行第 2 次 1-MCP 处理对寒富苹果货架期的生理品质及控病害的效果。

1 实验

1.1 材料与试剂

材料和试剂:寒富苹果,于 2017 年 10 月采自辽宁鞍山苹果示范园;微孔袋,PE 膜,平均孔径约为 5~10 μm ,孔密度为 36 个/ mm^2 ;1-MCP 药包(质量分数为 0.14%) 国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津)。

1.2 仪器与设备

仪器与设备:KF-568 电子秤,中国·凯丰集团; CheckPoint 便携式气体测定仪,丹麦 PBI Dansensor; PAL-BX/ACID5 苹果糖酸一体机,日本 ATAGO 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;2010 型气相色谱仪,日本岛津公司;916 Ti-Touch 电位滴定仪,瑞士万通中国有限公司; TA.XT.Plus 物性仪,英国 Stable Micro Systems 公司。

1.3 试验处理

挑选完好无伤的寒富苹果,在纸箱内放入微孔袋后每箱装入 10 kg 苹果(每袋 1-MCP 药包处理 10 kg 苹果,含量为 1 $\mu\text{L/L}$)。将 1 袋便携式 1-MCP 药包用蒸馏水浸湿,立即放入微孔袋中,并扎口备用(15 箱),1-MCP 作用含量为 1 $\mu\text{L/L}$,未经 1-MCP 处理的苹果作为对照组(5 箱)。将处理组和对照组都放置于精准温控库贮藏(-0.5 ± 0.3) $^{\circ}\text{C}$,6 个月后出库,于常温下存放,并立即用 1-MCP 进行处理。将出库苹果分为以下 4 组。

- 1) 未做任何处理,作为对照组(5 箱),记为 CK。
- 2) 采后贮前用 1-MCP (作用含量为 1 $\mu\text{L/L}$) 进行处理(5 箱),该处理组记为 1-MCP。
- 3) 贮后用蒸馏水浸湿 3 袋便携式 1-MCP 药包(作用含量为 3 $\mu\text{L/L}$),并迅速放入采后贮前用 1-MCP 处理过的果实微孔袋内,然后扎口存放 24 h (5 箱),该处理组记为 1-MCP+3。
- 4) 贮后用蒸馏水浸湿 5 袋便携式 1-MCP 药包(作用含量为 5 $\mu\text{L/L}$),并迅速放入采后贮前用 1-MCP 处理过的果实微孔袋内,然后扎口存放 24 h (5 箱),该处理组记为 1-MCP+5。

每次实验各处理组取出 1 箱苹果,并设定 3 次重复实验,于常温微孔袋内扎口存放,每 7 d 测定 1 次,周期为 28 d。

1.4 测定指标方法

1.4.1 腐烂率及抗病性相关酶活性测定

- 1) 腐烂率。腐烂率为腐烂数和总数的比值:

$$\text{腐烂率} = \frac{\text{腐烂苹果个数}}{\text{苹果总数}} \times 100\%$$

2) 采用愈创木酚法^[11]测定过氧化物酶(POD)。称取样品5g于预冷的研钵中,加入0.05 mol/L pH值为6.8的磷酸缓冲液,冰浴研磨成匀浆,加入缓冲液冲洗研钵,并使最终体积为20 mL,于4℃下提取30 min,然后在转速为15 000 r/min的离心机里离心10 min,上清液即为POD粗提液。酶的反应体系:2.9 mL pH值为6.8的磷酸缓冲液;1.0 mL 0.05 mol/L 愈创木酚和5 mL 酶液,于37℃下水浴保温10 min,立即加入1.0 mL 体积分数为2%的H₂O₂,以磷酸缓冲液代替酶液调零,于470 nm下测其吸光度值。

3) 采用邻苯二酚法^[11]测定多酚氧化酶(PPO)。取5g样品于预冷的研钵中,加入0.05 mol/L pH值为7.8的磷酸缓冲液(总用量20 mL),冰浴研磨成匀浆,4℃下提取30 min,4℃、3000g下离心10 min,上清液为酶提取液。取3.9 mL的磷酸缓冲液(0.05 mol/L, pH 7.8),然后加入1 mL 0.1 mol/L 儿茶酚和3 mL 酶提取液,在37℃下水浴保温10 min,迅速放入冰浴中,立即加入2 mL 的三氯乙酸(20%)终止反应,在420 nm下测吸光度值,以磷酸缓冲液代替酶液调零。重复做3次实验。

4) 采用曹建康^[12]等方法测定苯丙氨酸解氨酶(PAL)。称取5g样品置于研钵中,加入5.0 mL 提取缓冲液,在冰浴条件下研成匀浆。将匀浆全部转入离心管中,于4℃,12 000g下离心30 min。收集上清液,即为粗酶提取液,低温保存备用。取1支反应管,加入3 mL 硼酸缓冲液(50 mmol/L, pH 8.8)和0.5 mL 1-苯丙氨酸(20 mmol/L),在37℃下预保温平衡10 min,再加入0.5 mL 酶液,混合后,迅速测定一次该混合液在波长290 nm处的吸光度值,作为反应的初始值。然后将反应管置于37℃下保温60 min。保温结束时,再立即测定一次反应混合液在波长290 nm处的吸光度值,作为反应的终止值。注意均以蒸馏水作为空白对照进行调零。根据保温前后样品溶液吸光度值的变化,可计算PAL活性,重复做3次实验。

1.4.2 生理指标测定方法

1) 呼吸强度。采用曹建康等^[12]的O₂/CO₂测定仪法进行测定。

2) 乙烯生成速率。参照Luo等^[13]的方法,稍有改动。每次将3个果实置于真空干燥器内,密闭4 h后取样20 mL,用岛津2010气相色谱仪程序升温法测定。

1.4.3 营养品质指标及硬度测定方法

1) 可溶性固形物(Total Soluble Solids, TSS)含量的测定。将苹果匀浆,用4层纱布过滤,滴加0.2

mL 滤液,采用便携式手持折光仪进行测定,每个处理组取6次测定值的平均值。

2) 可滴定酸(Titrable Acid, TA)含量的测定。参考颜廷才等^[14]的方法。

3) Vc含量的测定^[14]。采用钼蓝比色法测定。

4) 硬度的测定。测试参数为深度10 mm, P/2 探头(φ2 mm), 测试速率为2 mm/s。

1.4.4 挥发性成分测定方法

采用HS-SPME和GC-MS联用法测定,将苹果去皮后采用四分法取样,破碎榨汁后离心(12 000 r/min)15 min,取8 mL 上清液于带有磁力搅拌子的15 mL 顶空瓶中,加入2.5 g NaCl 和30 μL 内标物3-壬酮后加盖封口,置于磁力加热搅拌器上(转速为550 r/min),然后将固相微萃取头插入顶空瓶的顶空部分(离液面约1 cm处),于50℃下吸附45 min后拔出萃取头,立即插入GC-MS进样口,于250℃下解吸5 min。

1.4.5 数据处理

使用Excel 2010 和Dps 7.5 进行数据处理及显著性分析。

2 结果与分析

2.1 1-MCP 双重处理对货架期间寒富苹果腐烂率的影响

1-MCP 可以抑制病斑直径的扩展速度^[15],使寒富苹果在货架期间腐烂病害的发生率降低。由图1可知,所有处理组的果实均表现出易感性,但1-MCP处理组的腐烂率显著低于对照组。货架时间为7 d时,对照组的腐烂率就高达17.14%;CK处理组与1-MCP处理组的差异性显著(P<0.05),但1-MCP处理组间的差异并不明显。货架时间为28 d时,对照组的发病

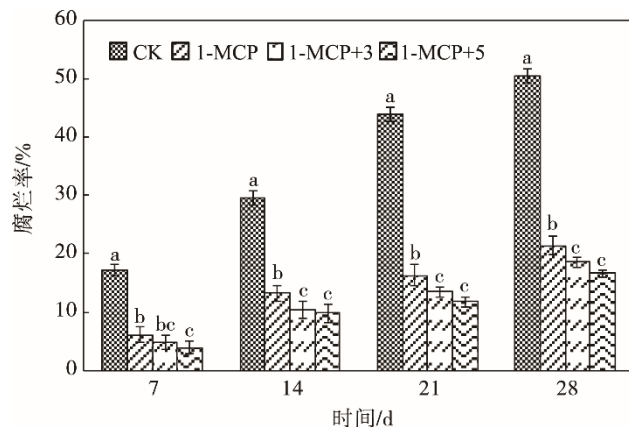


图1 不同处理对寒富苹果腐烂率的影响
Fig.1 Effects of different treatments on rotting rate of Hanfu apple

率高速上升, 高达 50.47%, 而 1-MCP 处理组的发病率相对较低, 仅为 21.42%, 1-MCP+3 处理组的发病率为 18.57%, 1-MCP+5 处理组的发病率为 16.66%, CK 处理组和 3 个 1-MCP 处理组间具有显著性差异, 且 1-MCP 处理组与 1-MCP+3, 1-MCP+5 处理组存在显著性差异, 但 1-MCP+3 与 1-MCP+5 处理组差异性不显著 ($P>0.05$)。说明采后使用 1-MCP 两次处理可以降低腐烂率, 从而减少寒富苹果腐烂病害的发生, 且在 1~5 $\mu\text{L/L}$ 范围内, 浓度越高抑制效果越好。

2.2 1-MCP 双重处理对货架期间寒富苹果防御酶活性的影响

具有催动酚类物质发生氧化和激发木质素前体产生作用的 POD 酶活性越高植物的抗病性越好^[11]。由图 2a 可看出, 在货架期间, 寒富苹果的 POD 活性随着时间的增长而增加, 但 CK 组的 POD 活性变化趋

势不同, 且在 21 d 时低于 1-MCP 处理组, 1-MCP 处理组在货架时间 14 d 后的 POD 活性则始终小于 1-MCP+3 和 1-MCP+5 处理组。货架时间 14 d 后, 1-MCP+3 和 1-MCP+5 处理组的 POD 活性显著高于其他 2 个处理组, 这说明在贮后使用 1-MCP 处理, 可以提高寒富苹果的 POD 活性, 1-MCP+5 处理提高 POD 活性的效果更好。

PPO 是一种可以将酚类物质氧化成高毒性醌类的植物防御组织相关酶, 可以杀伤侵入果实体的病原菌^[11]。由图 2b 可以看出, 在货架期间 PPO 的活性呈先上升后下降的变化曲线, 货架时间 14 d 后, 1-MCP 处理组的 PPO 活性始终高于对照组。在 14~21 d 时, 1-MCP+5 的 PPO 活性大于 1-MCP+3 处理组。说明贮后使用 1-MCP 两次处理寒富苹果可以更好地提高 PPO 的活性, 且在实验所用浓度中, 浓度与作用效果呈正比。

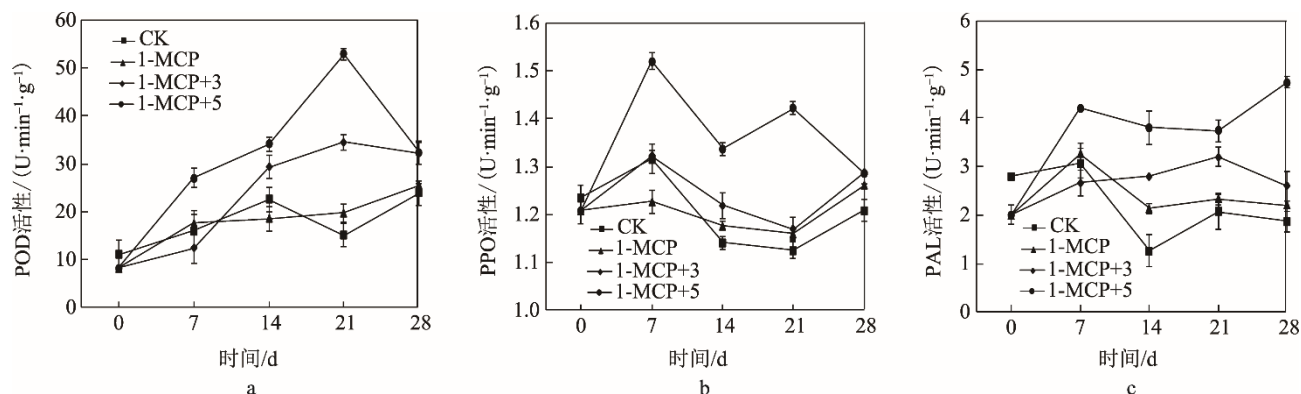


图 2 不同处理对寒富苹果防御酶活性的影响

Fig. 2 Effects of different treatments on defense enzyme activities of Hanfu apple

酚类物质合成的起始阶段为苯丙烷代谢途径, 而 PAL 在苯丙烷代谢过程中既是第 1 个关键酶, 又是次生代谢过程的限速酶, 可催化生成与植物抗病能力有关的次生产物^[11]。由图 2c 可知, 在货架时间为 0~7 d 时, 对照组和处理组的 PAL 活性都逐渐增加。货架时间 7 d 后有所下降, 但对照组的 PAL 酶活性显著低于处理组。在处理组间, 高浓度的 1-MCP 处理组的 PAL 活性显著高于低浓度处理组和贮前 1-MCP 处理组, 说明贮后再进行 1-MCP 处理可以有效提高 PAL 活性, 且在一定浓度范围内, 抗病性与用药浓度呈正相关。

2.3 1-MCP 双重处理对货架期间寒富苹果生理指标的影响

在常温货架期间, 寒富苹果表现出呼吸跃变型果实的特征(见图 3a)。对照组在货架时间 14 d 左右呼吸强度到达最高点, 出现了典型的呼吸跃变峰, 之后呼吸强度逐渐下降。在 28 d 时, 对 3 种不同 1-MCP 处理组与对照组比较发现, 各处理组果实均小于对照组果实的呼吸强度 ($P<0.05$), 对照果实在货架时间 14 d 出现呼吸跃变峰, 之后下降, 贮前 1-MCP 处理

组在 21 d 时出现呼吸高峰, 峰值仅为 15.79 $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{h})$, 表明贮前进行 1-MCP 处理能推迟呼吸高峰的出现, 且能降低呼吸高峰的数值。在货架时间为 7~21 d 时, 1-MCP+3, 1-MCP+5 处理组的呼吸强度均高于 1-MCP 处理组, 1-MCP 与 1-MCP+3, 1-MCP+5 处理组的差异性在货架时间 21~28 d 时不显著 ($P>0.05$)。表明贮前进行 1-MCP 处理能显著降低寒富苹果的呼吸强度, 贮后再加入 1-MCP 也能起到降低呼吸强度的作用, 但与贮前加入 1-MCP 不存在显著性差异。

果实的成熟和衰老与乙烯释放速率有很大关系(见图 3b), 货架期间 CK 处理组的乙烯生成速率呈现大幅上升趋势, 这是由于伴随着果实的成熟乙烯的释放速率逐渐增大。4 个处理组相较而言, 1-MCP 处理组的乙烯生成速率一直低于对照组, 说明贮前进行 1-MCP 处理可起到降低乙烯生成速率的作用。1-MCP 处理组与 1-MCP+3, 1-MCP+5 处理组相比, 在 21 d 后 1-MCP+3 和 1-MCP+5 处理组的乙烯释放率低于 1-MCP 处理组。说明加入 1-MCP 可以显著地降低寒富苹果乙烯的生成速率, 且贮后再加入 5 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 的效果显著好于贮前加入 1 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP。

2.4 1-MCP 双重处理对货架期间寒富苹果贮藏品质的影响

由图 4a 可知, 货架期间寒富苹果的硬度随时间的延长而减少。贮藏前, CK 处理组的硬度为 0.747 kg, 在 28 d 时为 0.627 kg, 下降了 16.06%。果实会随着果实的逐渐衰老而软化, 而 1-MCP 可以抑制一些使细胞壁物质降解、破坏细胞膜有关的水解酶的活性, 达到延缓软化的作用^[16]。在 28 d 时, 1-MCP 处理组果实的硬度呈小幅上升趋势, 可能是由于果实个体间存在差异, 或者是货架期间果实失水造成皱缩所

致。在 28 d 时, 1-MCP, 1-MCP+3, 1-MCP+5 处理组果实的硬度下降速率均小于 CK 组, 说明 1-MCP, 1-MCP+3, 1-MCP+5 处理组均能保持果实硬度, 处理间差异不显著。

由图 4b 可知, 寒富苹果在整个货架期间 TSS 含量的波动不大。CK 组的 TSS 含量先增加后减少, TSS 上升可能是成熟度升高或者果实个体差异所致, 后期下降是由于果实在贮藏后期呼吸作用增强, 从而增加了对底物的耗费, 使可溶性固形物含量降低, 在第 28 d 时 TSS 含量减少了 15.29%; 1-MCP 处理组维持在相对平稳的状态, 在第 28 d 时含量仅减少了 3.01%;

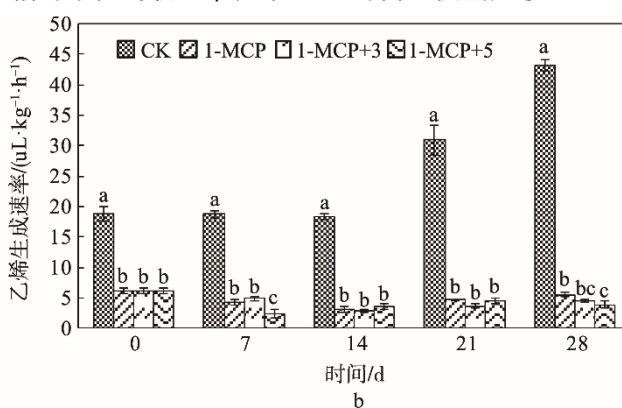
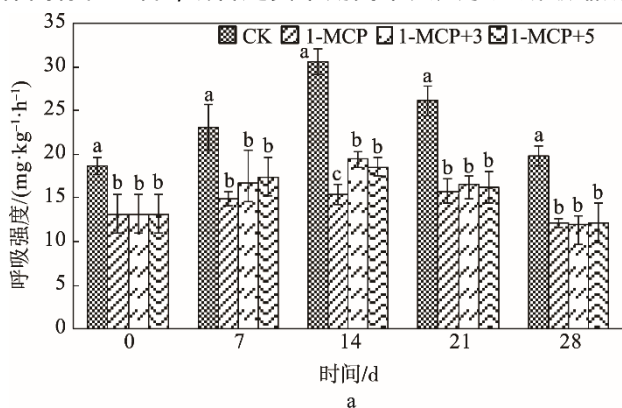


图 3 不同处理对寒富苹果生理指标的影响

Fig.3 Effects of different treatments on physiological indexes of Hanfu apple

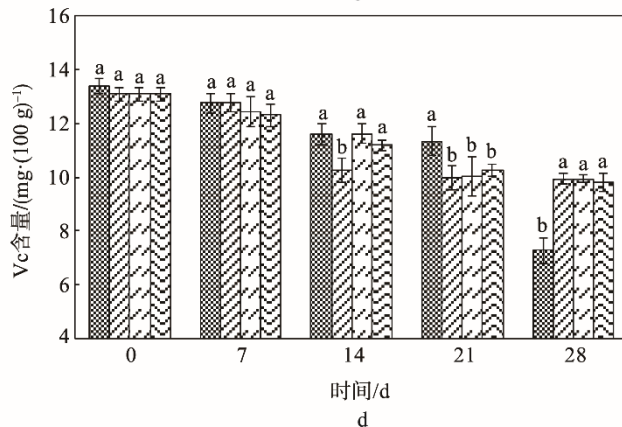
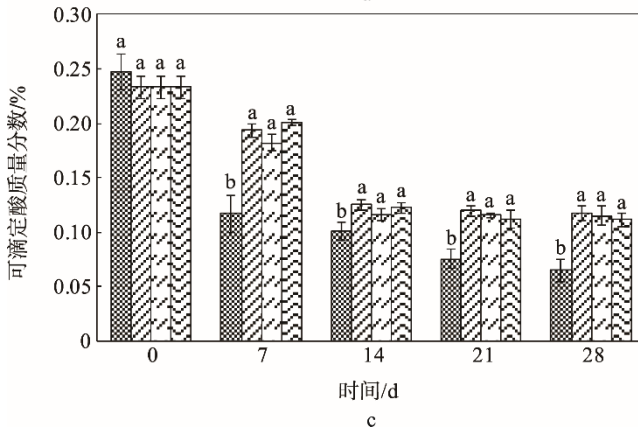
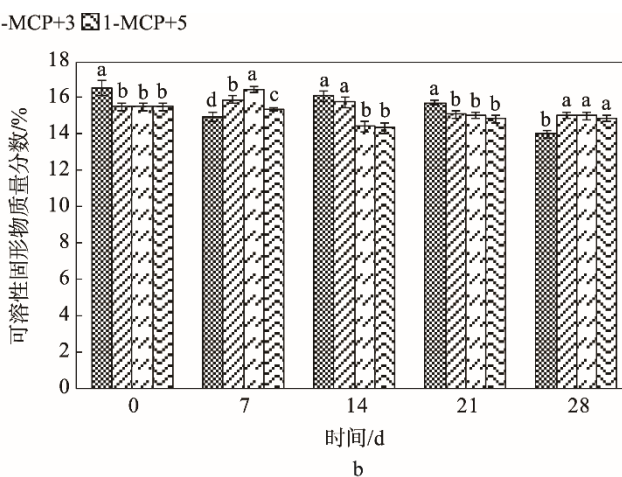
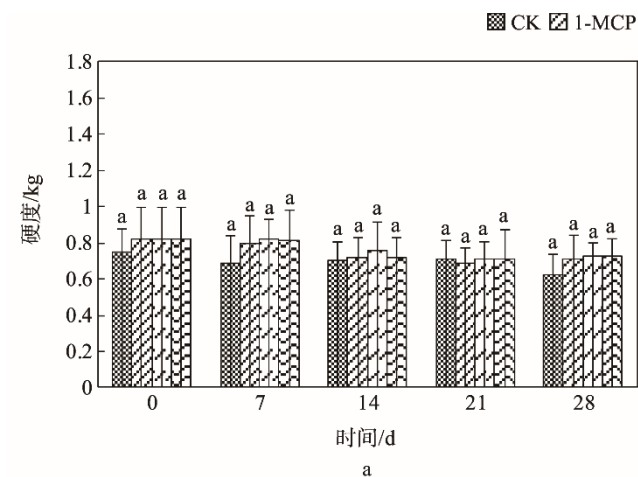


图 4 不同处理对寒富苹果硬度和营养成分的影响

Fig.4 Effects of different treatments on hardness and nutritional composition of Hanfu apple

1-MCP+3 处理组在 28 d 时减少了 3.22%。1-MCP+5 处理组呈现先下降后上升再下降的波动趋势,初始值与 28 d 时的变化率为 3.87%。贮前 1-MCP 处理组的下降幅度较其他处理组小。可知,寒富苹果的可溶性固形物含量在用 1-MCP 处理后得到了较好的保持。

由图 4c 可知,随着货架期的延长,寒富苹果中的可滴定酸含量逐渐减少。对照组与 1-MCP 处理组相比,可滴定酸含量下降得更多,在 28 d 时分别下降了 73.82%, 49.59%, 具有显著性差异。1-MCP 和 1-MCP+3, 1-MCP+5 处理组间,1-MCP 处理组在第 28 d 时相对于贮藏前下降了 49.59%, 相对于 1-MCP+3 下降了 50.69%, 相对于 1-MCP+5 处理组下降了 52.31%, 1-MCP 处理组下降得更少。1-MCP 处理降低了寒富苹果货架期间可滴定酸的分解速度。

Vc 含量反映了果实品质的好坏。此次试验中(见图 4d),随着货架时间的延长,对照组的 Vc 含量呈现下降的趋势,在 28 d 时下降了 45.74% ($P<0.05$);贮前 1-MCP 处理组呈现出下降的趋势,货架前含量为 13.39 mg/100 g, 货架时间为 28 d 时含量为 9.94 mg/100 g, 下降了 23.97%。货架时间为 28 d 时, 1-MCP+3 处理组的 Vc 含量为 9.93 mg/100 g, 下降了 24.00%。1-MCP+5 处理组在货架时间为 28 d 时含量为 9.80 mg/100 g, 下降了 25.05%。可知,1-MCP 处理对寒富苹果苹果的 Vc 含量具有更好的保持效果。

2.5 1-MCP 双重处理对货架期间寒富苹果主要挥发性成分的影响

果实的香气与挥发物的组成及含量相关。由表 1 可知,1-MCP 两次处理组苹果的醇类化合物主要有

1-己醇、1,3-辛二醇、8-十七烷醇,3 种化合物含量之和占醇类化合物总含量(质量分数)的 85%以上。其中,1-己醇被描述为青草味^[17]。1-MCP 处理组 1-己醇含量的货架初始值低于 CK 组,8-十七烷醇含量的货架初始值也低于 CK 组,1,3-辛二醇含量的货架初始值则高于 CK 组;在货架时间为 28 d 时,1-MCP, 1-MCP+3, 1-MCP+5 处理组的 1-己醇、1,3-辛二醇、8-十七烷醇含量均低于 CK 组,说明 1-MCP 对醇类物质没有保护作用。就酯类化合物组成和含量来说,贮后不同货架期时酯类化合物的种类和含量变化较大,随着贮藏时间的延长都有减少。前期乙酸己酯为主要酯类化合物,呈果香味^[17]。在货架初期,CK 处理组的乙酸己酯含量为 20 ng/mL, 1-MCP 处理组未检出乙酸己酯。在货架时间为 7 d 时,各处理组的乙酸己酯含量高低次序为:1-MCP+5 组>CK 组>1-MCP+3 处理组>1-MCP 处理组。说明 1-MCP+5 处理可以有效维持乙酸己酯的含量。在醛类化合物的组成和含量方面,己醛和 2-己烯醛含量占比最高。在货架时间为 28 d 时,各处理组主要醛类物质总量高低次序为:1-MCP+5 处理组>1-MCP+3 处理组>CK 组>1-MCP 处理组。1-MCP, 1-MCP+3, 1-MCP+5 处理组的醛类物质含量在货架末期均高于初期,这可能是因为脂肪酸受到脂肪酸的氧化酶作用,使其被氧化成醛类物质。己醛、2-己烯醛的嗅感描述分别为青草味和绿苹果味^[17],形成了寒富苹果特有的香气,1-MCP+3, 1-MCP+5 处理组的己醛和 2-己烯醛含量都有所增加,说明贮后进行 1-MCP 处理能有效地保持醛类物质含量,其中 1-MCP+3, 1-MCP+5 处理组优于 1-MCP 处理组。1-MCP+5 处理可以更好地维持乙酸己酯、己醛和 2-己烯醛的含量,保持果实香气。

表 1 寒富苹果货架期主要挥发性成分含量
Tab.1 Contents of main volatile components in shelf life of Hanfu apples ng/mL

种类	香气	CK处理组					1-MCP处理组				
		0 d	7 d	14 d	21 d	28 d	0 d	7 d	14 d	21 d	28 d
乙醛	青草味	484	264	87	248	415	339	122	248	265	248
2-己烯醛	绿苹果味	279	453	159	270	580	729	596	350	340	590
1-己醇	青草味	721	832	344	573	495	580	—	—	—	—
1,3-辛二醇	—	110	542	161	119	83	279	158	19	40	2
8-十七烷醇	—	313	425	81	74	13	221	—	21	—	—
乙酸己酯	果香味	20	27	—	—	—	—	—	—	—	—

种类	香气	1-MCP+3处理组					1-MCP+5处理组				
		0 d	7 d	14 d	21 d	28 d	0 d	7 d	14 d	21 d	28 d
乙醛	青草味		182	202	219	839		153	545	197	444
2-己烯醛	绿苹果味		1313	308	439	1263		542	558	397	1422
1-己醇	青草味		—	—	—	—		665	—	—	—
1,3-辛二醇	—		13	6	—	—		28	—	—	—
8-十七烷醇	—		—	12	—	2		—	9	—	—
乙酸己酯	果香味		8	—	—	—		33	—	—	—

3 讨论

1-MCP对苹果的保鲜作用主要体现在2个方面:减缓苹果生理指标的下降,减缓老化速度^[18];提高苹果的抗病性,防止苹果腐烂^[19]。目前关于1-MCP调控苹果生理指标的报道很多。由于1-MCP对于不同品种的果蔬腐烂病害在防控上存在差异,不同果蔬的最佳用药时间和浓度都不尽相同。文中研究表明,1-MCP两次处理能有效地降低寒富苹果的腐烂率,其中1-MCP+5的效果最佳。Jiang等^[20]在研讨中发现低剂量1-MCP处理可降低草莓的腐烂率,但在芒果炭疽病的防治中,1-MCP处理反而会加速腐败^[21]。文中实验的结果显示,贮后货架期间进行1-MCP处理可以很好地控制寒富苹果腐烂病害的发生,且5 $\mu\text{L/L}$ 的1-MCP处理效果优于3 $\mu\text{L/L}$,表明浓度越高,在一定浓度范围内抑制果腐病的效果越好。这与1-MCP处理对枣^[22]、桃^[23]、西洋梨^[24]等减少采后腐烂病害的效果相符。与李江阔等^[25]对南国梨二次1-MCP处理,其处理效果要明显好于1-MCP一次处理的研究结果一致。多酚氧化酶、过氧化物酶、苯丙氨酸解氨酶作为抗病相关酶在植物体内起着至关重要的作用^[26—27]。在苯丙烷类代谢路径中PAL是关键酶和限速酶,PPO和POD是末端酶,该途径会合成包含酚类、类黄酮类、植保素以及木质素等抑菌物质在内的中间产物,能够直接杀死侵入果实体的病原微生物^[28]。文中实验表明,在冷藏后出库时再次使用1-MCP处理可以增强寒富苹果中PPO、POD、PAL的活性,从而增加果实的抗病性,降低腐烂率。周晓婉等发现1-MCP处理会提高POD活性且苹果表现出抗灰霉病性^[28]。张帆等研究了1-MCP处理对接种果实苯丙氨酸解氨酶活性和总酚含量的影响,也得到了处理组果实的PAL活性高于对照组果实的结果^[29]。由此可见,1-MCP可以提高果实抗病性相关酶的活性,诱导防御体系的增强,达到提高果实抗病性的目的,贮后货架期间进行1-MCP两次处理可以显著降低寒富苹果的腐烂率,1-MCP+5处理组的效果更佳。

呼吸作用是寒富苹果采后进行的最重要的生理活动之一,会消耗果实体自身的营养成分,使果实更快衰老,并导致果实货架期和贮藏期缩短。造成果实的后熟和衰老的关键物质是乙烯。作为强效的乙烯作用抑制剂——1-甲基环丙烯(1-MCP),在贮藏期间能够保持苹果果实品质^[30],因此在贮藏期和货架期降低呼吸强度和乙烯生成速率尤为重要。文中研究表明,贮藏前用1-MCP处理水果可以极大地抑制呼吸强度,减缓乙烯的释放速度,这与孙希生等在‘嘎啦’苹果和‘金冠’苹果等上的研究结果相同^[31—34]。贮藏前进行1-MCP处理能显著降低寒富苹果果实的呼

吸强度,贮藏后加入1-MCP也能起到降低呼吸强度的作用,但与贮前加入1-MCP不存在显著性差异。苹果果肉的质地变化是反映果实品质变化的最直接指标。有研究表明,果实质地软化与细胞壁结构和组成成分的变化有重要联系,而果实果肉细胞壁多糖成分(果胶、纤维素等)的降解或解聚是造成果实后熟和贮藏期间果肉软化的主要原因^[35—36]。文中实验表明,1-MCP处理可以维持果实硬度,贮前1-MCP与贮后1-MCP+3,1-MCP+5处理间的差异不显著。采用1-MCP处理果实可以在抑制果实细胞壁降解酶活性的同时,推迟活性高峰的出现时间^[37],从而实现降低果实细胞壁组分分解速度、降低软化速度以更好地保持果实新鲜度的目标,这与1-MCP处理能减缓‘新红星’、‘泰山早霞’^[38—39]苹果乙烯释放速率、抑制果实软化的结果一致。在果实货架期间,淀粉的转化作用会使果实可溶性固形物在货架前期有先上升的趋势^[40],后期由于呼吸作用的消耗导致逐渐下降,1-MCP处理在一定货架期内减缓了果实可溶性固形物含量的下降,文中实验表明,贮前使用1-MCP处理对维持TSS含量可起到最好的效果。可滴定酸是水果中主要的有机酸^[41]。货架期间,果实会用有机酸类物质为基质,这也是导致货架期间可滴定酸含量下降的原因之一^[42]。文中实验表明,苹果可滴定酸含量随着货架期的延长在处理组与对照组中均表现出下降趋势,1-MCP处理组下降得更缓慢,对可滴定酸含量具有显著的保护作用,贮前进行1-MCP处理的效果略优于贮后的1-MCP+3、1-MCP+5处理组。 V_c 既是评价果蔬贮藏效果的指标,也是果蔬营养价值的标志性指标^[43]。随着货架期的延长,不同处理组 V_c 含量的下降速率大小依次为:CK组>1-MCP+5处理组>1-MCP+3处理组>1-MCP处理,果实自身生理代谢消耗及衰老会导致 V_c 含量的下降^[44],1-MCP处理可以在货架期间保持较高的 V_c 含量,但不同处理组之间差异不显著。寒富苹果在贮藏前的特征香气为己醛、2-己烯醛、8-十七烷醇、1-己醇。8-十七烷醇、1-己醇含量会随着货架期的延长而减少。随着货架期的延长,己醛、2-己烯醛含量呈上升趋势,在28 d时,醛类物质为主要挥发性成分,1-MCP+5处理组的2-己烯醛含量上升幅度最大,说明贮后进行1-MCP处理能更好地保留醛类物质。贮前1-MCP处理组的己醛、2-己烯醛总量小于CK组,说明贮前使用1-MCP对果实香气成分的形成具有抑制作用。1-MCP+3、1-MCP+5处理组果实的醛类挥发性物质含量增多,说明冷藏后出库时再次使用1-MCP对果实内部的微生物代谢活动会产生影响,使果实中的营养物质转化成相应的醛类等有利于保持寒富苹果良好风味的物质。寒富苹果在货架期间的主要特征香气成分为己醛、2-己烯醛,这与张鹏等^[45]的研究结果一致。

4 结语

通过对 11 项指标进行测定和分析后, 表明 1-MCP 双重处理对寒富苹果贮后货架品质有较好的影响。综合衡量认为, 在贮前对寒富苹果进行 1 $\mu\text{L/L}$ 的 1-MCP 熏蒸处理可以更好地保证果实品质。在贮后加入 1-MCP 进行熏蒸处理可以提高寒富苹果防御酶活性, 从而提高其抗病性, 1-MCP+5 处理组在 28 d 时将腐烂率控制为 16.66%, 其中 1-MCP+3 和 1-MCP+5 处理组间在腐烂率和防御酶活性指标方面均不存在显著性差异, 但 1-MCP+5 处理组抑制腐烂率和提高 POD, PPO, PAL 活性的效果更佳。由此可见, 1-MCP 双重调控可以达到贮前控生理、贮后控病害的目的, 且贮藏前采用 1 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 处理, 冷藏后出库时再次使用 5 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 进行处理的效果最佳。

参考文献:

- [1] 高月菊, 佟海恩, 宣景宏. 对我省发展寒富苹果的建议[J]. 北方果树, 2002, 23(3): 34.
GAO Yue-ju, TONG Hai-en, XUAN Jing-hong. Suggestions on Developing Cold Apples in Our Province[J]. Northern Fruit Tree, 2002, 23(3): 34.
- [2] 王宏, 徐贵轩, 宋哲, 等. 康平县寒富苹果生产现状存在的问题及解决对策[J]. 辽宁农业科学, 2008, 41(1): 44—45.
WANG Hong, XU Gui-xuan, SONG Zhe, et al. Problems in the Production Status of Hanfu Apples in Kangping County and Their Solutions[J]. Liaoning Agricultural Sciences, 2008, 41(1): 44—45.
- [3] 王宁, 曹后男, 宗成文, 等. 寒富苹果优良授粉品种的选择[J]. 延边大学农学报, 2010, 32(3): 191—195.
WANG Ning, CAO Hou-nan, ZONG Cheng-wen, et al. Selection of Fine Pollination Varieties of Hanfu Apple[J]. Journal of Agricultural Science Yanbian University, 2010, 32(3): 191—195.
- [4] 赵德英. ‘寒富’苹果光合生理及碳素物质代谢研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2009.
ZHAO De-ying. Photometry of Photosynthetic Physiology and Carbon Metabolism of Hanfuye Apple[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2009.
- [5] XU L, DU Y. Effects of Yeast Antagonist in Combination with UV-C Treatment on Postharvest Diseases of Pear Fruit[J]. Biological Control, 2012, 57(3): 451—461.
- [6] 朱金薇, 冯江涛, 延卫, 等. 1-甲基环丙烯在苹果贮藏保鲜中的应用研究进展[J]. 北方园艺, 2010(20): 195—198.
ZHU Jin-wei, FENG Jiang-tao, YAN Wei, et al. Advances in the Application of 1-Methylcyclopropene in Apple Storage and Preservation[J]. Northern Horticulture, 2010(20): 195—198.
- [7] WATKINS C B. The Use of 1-Methylcyclopropene (1-MCP) on Fruits and Vegetables[J]. Biotechnology Advances, 2006, 24(4): 389—409.
- [8] 王晓飞, 杨艳青, 任小林, 等. 1-MCP 对‘粉红女士’苹果果实采后生理及其品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(18): 219—223.
WANG Xiao-fei, YANG Yan-qing, REN Xiao-lin, et al. Effects of 1-MCP on Postharvest Physiology and Quality of 'Pink Lady' Apple Fruit[J]. Food Science, 2014, 35(18): 219—223.
- [9] 李辉, 林毅雄, 林河通, 等. 1-甲基环丙烯控制采后‘油(木奈)’果实腐烂与抗病相关酶诱导的关系[J]. 热带作物学报, 2015, 36(4): 786—795.
LI Hui, LIN Yi-xiong, LIN He-tong, et al. Controlling the Relationship between Fruit Rot and Disease-resistant Enzymes in Post-harvest 'oil (Munai)' with 1-mMethylcyclopropene[J]. Journal of Tropical Crops, 2015, 36(4): 786—795.
- [10] LI Jiang-kuo, LEI H, SONG H, et al. 1-Methylcyclopropene (1-MCP) Suppressed Postharvest Blue Mold of Apple Fruit by Inhibiting the Growth of Penicillium Expansum[J]. Postharvest Biology & Technology, 2017, 125: 59—64.
- [11] 周晓婉, 周会玲, 石亚莉, 等. 1-MCP 诱导苹果采后灰霉病抗性的作用机理[J]. 现代食品科技, 2016, 32(10): 211—219.
ZHOU Xiao-wan, ZHOU Hui-ling, SHI Ya-li, et al. Mechanism of 1-MCP-induced Resistance to Postharvest Gray Mold in Apples[J]. Journal of Modern Food Science, 2016, 32(10): 211—219.
- [12] 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: 48—49; 68—70.
CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Physiological and Biochemical Experiment Guidance for Postharvest Fruits and Vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 48—49; 68—70.
- [13] LUO Z S, CHEN C, XIE J. Effect of Salicylic Acid Treatment on Alleviating Postharvest Chilling Injury of 'Qingnai' Plum Fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 62(2): 115—120.
- [14] 颜廷才, 秦骅, 张鹏, 等. 1-甲基环丙烯结合 ξ -聚赖氨酸对贮后货架期富士苹果的品质及挥发性成分的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(9): 207—214.
YAN Ting-cai, QIN Hua, ZHANG Peng, et al. Effects of 1-Methylcyclopropene-bound Ruthenium-polylysine on the Quality and Volatile Constituents of Fushi Apple After Shelf Storage[J]. Food Science, 2018, 39(9): 207—214.
- [15] 周晓婉, 唐永萍, 石亚莉, 等. 1-MCP 对低温贮藏苹果灰霉病抗性的诱导作用[J]. 食品科学, 2016, 37(12): 254—260.
ZHOU Xiao-wan, TANG Yong-ping, SHI Ya-li, et al.

- Induction of 1-MCP on Resistance to Low Temperature Storage of Apple Gray Mold[J]. Food Science, 2016, 37(12): 254—260.
- [16] 郝晓玲, 王如福, 孙建斌. 1-甲基环丙烯延缓果实衰老的应用研究进展[J]. 保鲜与加工, 2012, 12(2): 46—50.
HAO Xiao-ling, WANG Ru-fu, SUN Jian-bin. Progress in the Application of 1-Methylcyclopropene to Delay Fruit Senescence[J]. Preservation and Processing, 2012, 12(2): 46—50.
- [17] 王海波, 李林光, 陈学森, 等. 中早熟苹果品种果实的风味物质和风味品质[J]. 中国农业科学, 2010, 43(11): 2300—2306.
WANG Hai-bo, LI Lin-guang, CHEN Xue-sen, et al. Flavor and Flavor Quality of Mid-early Ripe Apple Varieties[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(11): 2300—2306.
- [18] 李江阔, 林洋, 张鹏, 等. 1-甲基环丙烯处理时间对苹果贮藏效果的影响[J]. 农业机械学报, 2013, 44(8): 190—194.
LI Jiang-kuo, LIN Yang, ZHANG Peng, et al. Effects of 1-Methylcyclopropene Treatment Time on Apple Storage Efficiency[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2013, 44(8): 190—194.
- [19] LI J, LEI H, SONG H, et al. 1-Methylcyclopropene (1-MCP) Suppressed Postharvest Blue Mold of Apple Fruit by Inhibiting the Growth of *Penicillium expansum*[J]. Postharvest Biology & Technology, 2017, 125: 59—64.
- [20] JIANG Y'JOYCE D C, TERRY LA. 1-Methylcyclopropene Treatment Affects Strawberry Fruit Decay[J]. Postharvest Biology and Technology, 2001, 23(3): 227—232.
- [21] HOFMAN P J, JOBIN-DECOR M, MEIBURG G F, et al. Ripening and Quality Responses of Avocado, Custard Apple, Mango and Papaya Fruit to 1-Methylcyclopropene[J]. Animal Production Science, 2001, 41(4): 567—572.
- [22] ZHANG Z, TIAN S, ZHU Z, et al. Effects of 1-Methylcyclopropene (1-MCP) on Ripening and Resistance of Jujube (*Zizyphus jujuba* CV Huping) Fruit Against Postharvest Disease[J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 45(1): 13—19.
- [23] 刘红霞, 姜微波, 罗云波, 等. 1-MCP 及乙烯处理对损伤接种桃果实 *Penicillium expansum* 的抑制[J]. 食品工业科技, 2003, 24(增刊 1): 152—156.
LIU Hong-xia, JIANG Wei-bo, LUO Yun-bo, et al. Inhibition of *Penicillium expansum* in Inoculated Peach Fruit by 1-MCP and Ethylene Treatment[J]. Science and Technology of Food Industry, 2003, 24(1): 152—156.
- [24] SPOTTS R A, SHOLBERG P L, RANDALL P, et al. Effects of 1-MCP and Hexanal on Decay of d'Anjou Pear Fruit in Long-term Cold Storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 44(2): 101—106.
- [25] 李江阔, 张鹏, 曲一彬, 等. 1-MCP 二次处理对南果梨贮藏效果的影响[J]. 食品科技, 2009(3): 55—56.
LI Jiang-kuo, ZHANG Peng, QU Yi-bin, et al. Effects of 1-MCP Secondary Treatment on Storage of Nanguo Pear[J]. Food Science, 2009(3): 55—56.
- [26] 葛永红, 李灿婴, 王毅, 等. 硅酸钠处理对杏果实活性氧和苯丙烷代谢的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(13): 317—320.
GE Yong-hong, LI Can-ying, WANG Yi, et al. Effects of Sodium Silicate Treatment on Active Oxygen and Phenylpropanoid Metabolism in Apricot Fruits[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(13): 317—320.
- [27] 张晓晓, 周会玲, 田蓉, 等. 短波紫外线照射对苹果采后灰霉病抗性诱导作用[J]. 食品科学, 2015, 36(2): 242—249.
ZHANG Xiao-xiao, ZHOU Hui-ling, TIAN Rong, et al. Induction of Resistance to Postharvest Gray Mold Disease by Short-wave Ultraviolet Irradiation[J]. Food Science, 2015, 36(2): 242—249.
- [28] 周晓婉, 唐永萍, 石亚莉, 等. 1-MCP 对低温贮藏苹果灰霉病抗性的诱导作用[J]. 食品科学, 2016, 37(12): 254—260.
ZHOU Xiao-wan, TANG Yong-ping, SHI Ya-li, et al. Induction of 1-MCP on Resistance to Low Temperature Storage of Apple Gray Mold[J]. Food Science, 2016, 37(12): 254—260.
- [29] 张帆, 任小林, 王位涛, 等. 采后 1-MCP 处理对富士苹果灰霉病的影响[J]. 西北农业学报, 2008, 17(3): 210—214.
ZHANG Fan, REN Xiao-lin, WANG Wei-tao, et al. Effects of Post-harvest 1-MCP Treatment on Fuji Apple Gray Mold[J]. Northwest Agricultural Journal, 2008, 17(3): 210—214.
- [30] TATSUKI M, ENDO A, OHKAWA H. Influence of Time from Harvest to 1-MCP Treatment on Apple Fruit Quality and Expression of Genes for Ethylene Biosynthesis Enzymes and Ethylene Receptors[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 43(1): 28—35.
- [31] 王瑞庆, 马书尚, 武春林, 等. ‘嘎拉’苹果对不同浓度 1-MCP 处理的反应[J]. 西北植物学报, 2005, 25(2): 256—261.
WANG Rui-qing, MA Shu-shang, WU Chun-lin, et al. Response of 'Gala' Apple to Different Concentrations of 1-MCP Treatment[J]. Journal of Northwest Botanical Plant, 2005, 25(2): 256—261.
- [32] 李珊珊, 饶景萍, 孙允静, 等. 1-MCP 处理对‘秦阳’货架品质的影响[J]. 北方园艺, 2010(12): 180—183.
LI Shan-shan, RAO Jing-ping, SUN Yun-jing, et al. Influence of 1-MCP Treatment on Shelf Quality of 'Qinyang'[J]. Northern Horticulture, 2010(12): 180—183.
- [33] 金宏, 惠伟, 丁雅荣, 等. 1-MCP 对‘粉红女士’苹果冷藏期间品质变化和香气形成的影响[J]. 西北植物学报, 2009, 29(4): 754—761.

- JIN Hong, HUI Wei, DING Ya-rong, et al. Effects of 1-MCP on Quality Changes and Aroma Formation of 'Pink Lady' Apple during Cold Storage[J]. *Journal of Northwest Botanical Plant*, 2009, 29(4): 754—761.
- [34] 孙希生, 王志华, 辛广, 等. 不同处理条件下 1-MCP 对金冠苹果呼吸强度和品质的影响[J]. *果树学报*, 2004, 21(2): 141—144.
- SUN Xi-sheng, WANG Zhi-hua, XIN Guang, et al. Effects of 1-MCP on Respiratory Intensity and Quality of Golden Delicious Apple under Different Treatment Conditions[J]. *Journal of Fruit Science*, 2004, 21(2): 141—144.
- [35] 张鹏龙, 陈复生, 杨宏顺, 等. 果实成熟软化过程中细胞壁降解研究进展[J]. *食品科技*, 2010, 35(11): 62—66.
- ZHANG Peng-long, CHEN Fu-sheng, YANG Hong-shun, et al. Progress in Cell Wall Degradation During Fruit Ripening and Softening[J]. *Food Science*, 2010, 35(11): 62—66.
- [36] 潘晓倩, 申琳, 生吉萍. 苹果采后软化过程中糖类物质代谢的研究进展[J]. *中国食物与营养*, 2011, 17(11): 29—32.
- PAN Xiao-qian, SHEN Lin, SHENG Ji-ping. Research Progress of Metabolism of Carbohydrates in Apple Softening Process after Harvest[J]. *Chinese Journal of Food and Nutrition*, 2011, 17(11): 29—32.
- [37] 郭丹, 韩英群, 魏鑫, 等. 1-MCP 处理对“岳帅”苹果冷藏软化及相关生理指标的影响[J]. *食品科学*, 2017(17): 273—279.
- GUO Dan, HAN Ying-qun, WEI Xin, et al. Effects of 1-MCP Treatment on Cold-softening and Related Physiological Parameters of "Yue Shuai" Apple[J]. *Food Science*, 2017(17): 273—279.
- [38] 张锋, 张莹莹, 龚新明, 等. 1-MCP 延缓采后苹果果实后熟软化的生化机制[J]. *河北农业大学学报*, 2011, 34(4): 54—59.
- ZHANG Feng, ZHANG Ying-ying, GONG Xin-ming, et al. Biochemical Mechanism of 1-MCP Delaying Post-harvest Apple Fruit Ripening and Softening[J]. *Journal of Hebei Agricultural University*, 2011, 34(4): 54—59.
- [39] 刘美艳, 魏景利, 刘金, 等. “泰山早霞”苹果采后 1-甲基环丙烯处理对其软化及相关基因表达的影响[J]. *园艺学报*, 2012, 39(5): 845—852.
- LIU Mei-yan, WEI Jing-li, LIU Jin, et al. Effects of 1-Methylcyclopropene Treatment on the Softening and Related Gene Expression of "Taishan Zaoxia" Apple After Harvesting[J]. *Journal of Horticulture*, 2012, 39(5): 845—852.
- [40] 谢季云, 赵晓敏, 汪永琴, 等. 1-MCP 处理对不同采收期阿克苏红富士苹果贮藏品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2017(24): 292—296.
- XIE Ji-yun, ZHAO Xiao-min, WANG Yong-qin, et al. Effect of 1-MCP Treatment on Storage Quality of Aksu Red Fuji Apple in Different Harvest Periods[J]. *Food Science and Technology*, 2017(24): 292—296.
- [41] 王风霞, 陆文文, 杨利侠, 等. 低温及 1-MCP 处理对天水“花牛”苹果贮藏品质与生理变化的影响分析[J]. *食品科学*, 35(22): 346—349.
- WANG Feng-xia, LU Wen-wen, YANG Li-xia, et al. Effect of Low Temperature and 1-MCP Treatment on the Quality and Physiological Changes of Tianshui 'Hua Niu' Apples[J]. *Food Science*, 35(22): 346—349.
- [42] 王云香, 张亚楠, 曲桂芹, 等. 1-MCP 处理对苹果采后常温贮藏品质的影响[J]. *食品科学*, 2016, 37(16): 280—285.
- WANG Yun-xiang, ZHANG Ya-nan, QU Gui-qin, et al. Effects of 1-MCP Treatment on Storage Quality of Post-harvest Apples at Room Temperature[J]. *Food Science*, 2016, 37(16): 280—285.
- [43] 贾艳萍, 张鹏, 曹森, 等. 1-MCP 处理对葡萄保鲜的影响[J]. *中国食品学报*, 2016, 16(12): 185—191.
- JIA Yan-ping, ZHANG Peng, CAO Sen, et al. Effects of 1-MCP Treatment on Grape Preservation[J]. *Chinese Journal of Food Science*, 2016, 16(12): 185—191.
- [44] 陈丹生, 苏新国, 郑永华, 等. 1-甲基环丙烯对红富士苹果贮藏品质的影响[J]. *食品科学*, 2003, 24(9): 143—146.
- CHEN Dan-sheng, SU Xin-guo, ZHENG Yong-hua, et al. Effects of 1-Methylcyclopropene on the Storage Quality of Red Fuji Apples[J]. *Food Science*, 2003, 24(9): 143—146.
- [45] 张鹏, 李鑫, 李江阔, 等. 1-MCP 结合纳他霉素对富士苹果贮后货架品质和芳香物质的影响[J]. *食品科学*, 2016, 37(20): 234—240.
- ZHANG Peng, LI Xin, LI Jiang-kuo, et al. Effects of 1-MCP Combined with Natamycin on Shelf Quality and Aromatic Substances of Fushi Apple After Storage[J]. *Food Science*, 2016, 37(20): 234—240.