

气调包装与 1-MCP 结合抑制苹果蜡质成分降低

董晓庆, 饶景萍^{*}, 朱守亮, 杨青珍

(西北农林科技大学园艺学院, 杨凌 712100)

摘要: 为了探讨红富士苹果在贮藏过程中主要蜡质成分特别是与油腻相关的蜡质成分变化, 以及贮藏过程中果实主要品质指标的变化规律, 研究了聚氯乙烯袋 (PVC) 自发气调包装 (MAP) 与 1-甲基环丙烯 (1-MCP) 结合处理 (MAP+1-MCP) 对(0±1)°C 冷藏过程中红富士苹果蜡质成分和果实贮藏品质的影响。结果表明: 在贮藏过程中, 对照 (不做任何处理) 的蜡质总量一直降低, MAP 和 MAP+1-MCP 处理的在贮藏一个月后升高, 随后贮藏的过程中降低。所有处理和对照中, 二十九烷和二十七烷含量降低, 十六烷酸和 9,12-十八碳二烯酸含量升高, 二十九-10-醇和二十九-10-酮含量先降低再升高。MAP 和 MAP+1-MCP 能够抑制蜡质总量和其他成分相应的变化。MAP 和 MAP+1-MCP 均能延缓果实硬度的下降、可溶性固形物和可滴定酸的降解速度, 降低固酸比率和失重率, 抑制呼吸速率和乙烯释放速率, 且可以抑制苹果贮藏后期油腻的发生。无论从对蜡质成分的影响, 还是对果实贮藏品质的影响来看, MAP+1-MCP 的效果优于 MAP。PVC 气调包装结合 1 μL/L 1-MCP 是较为理想的长时间保鲜红富士苹果的处理方式。研究结果可为生产上科学有效的长期贮藏红富士苹果、解决贮藏后期果实油腻问题提供参考。

关键词: 贮藏, 包装, 果实, 苹果, 1-甲基环丙烯, 蜡质成分

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.16.034

中图分类号: S661.1; TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-16-0269-09

董晓庆, 饶景萍, 朱守亮, 等. 气调包装与 1-MCP 结合抑制苹果蜡质成分降低[J]. 农业工程学报, 2013, 29(16): 269—277.

Dong Xiaoping, Rao Jingping, Zhu Shouliang, et al. Combination of modified atmosphere packaging and 1-methylcyclopropene treatment suppress decreasing of wax composition of apples during cold storage[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(16): 269—277. (in Chinese with English abstract)

0 引言

和大部分高等植物一样, 苹果表面覆盖着一层连续的疏水性表皮层, 这层疏水性表皮层由角质层和蜡质层组成。蜡质渗透或沉积在角质矩阵中, 是植物抵抗外部环境的最主要部分^[1-2]。蜡质的主要作用是防止水分损失^[3]、降低蒸腾^[4]、防止机械损伤和微生物的侵入^[5-6]、调节器官的融合^[7]以及作为植物鉴定的生化指标^[8]等。

植物表皮蜡质是覆盖在植物表面最外层, 不溶于水而溶解于有机溶剂的一类混合物的总称。表皮蜡质的成分通常由长链脂肪酸及其衍生物、烷烃、醛、酮、初级醇、次级醇和酯等组成^[9]。除此

之外, 有些物种的表皮角质蜡通常含有三萜类和甾醇^[2,10-11]。据报道, 不同的苹果品种在生长、贮藏及随后的货架期中蜡质成分不同^[1,12-14]。同时蜡质成分也受外部环境如水、热、光、套袋等的影响^[15-16]。

1-甲基环丙烯 (1-methylcyclopropene, 1-MCP) 是一种乙烯抑制剂^[17], 它通过强烈地竞争乙烯受体, 推迟果实的成熟和软化^[18]。自发气调包装 (modified atmosphere packaging, MAP) 是利用不同透气性的包装袋产生一定的气调环境条件, 从而调节产品的代谢以达到提高保鲜效果的方法。自发气调包装在涩柿^[19]、核桃^[20]、油桃^[21]、枸杞^[22]、磨盘柿^[23]、番茄^[24]、长把梨^[25]、华红苹果^[26]等果实上的保鲜效果非常显著, 能够降低果实的腐烂率、延缓果实软化和延长贮藏期。

红富士苹果是国内栽培面积最大的苹果品种之一。2011年, 苹果面积 220 万 hm^2 , 总产量 3 500 万 t, 而红富士苹果占整个苹果产量的 70%^[27]。红富士苹果质地脆、红色, 含糖量高, 固酸比高, 货架期长, 适合于东亚和东南亚人的口味。但是在采后贮藏后期和货架期间, 果实表面存在油腻化现象, 油腻化在一定程度上影响到其外观质量。

收稿日期: 2013-04-22 修订日期: 2013-07-17

基金项目: 国家现代苹果产业技术体系建设专项 (nycyt08-05-02); 国家科技支撑计划 (2013BAD19B04)

作者简介: 董晓庆 (1980—), 女 (汉族), 山东梁山人, 博士生, 研究方向为园产品采后生理与贮藏保鲜。杨凌 西北农林科技大学园艺学院, 712100。Email: xiaoqingdong09@163.com

*通信作者: 饶景萍 (1957—), 女 (汉族), 陕西城固人, 教授, 博士生导师, 研究方向为园产品采后生理与贮藏保鲜。杨凌 西北农林科技大学园艺学院, 712100。Email: dq0723@163.com

本实验室前期重点探讨了红富士苹果表面的蜡质成分以及和油腻相关的几个主要蜡质成分, 及采前和采后 1-MCP 处理对主要蜡质成分的影响。本文在此基础上进一步探讨采后 MAP 以及 MAP 与 1-MCP 结合处理对红富士苹果果实在 $(0\pm 1)^\circ\text{C}$ 贮藏中主要蜡质成分和果实品质变化的影响, 以期在生产上贮藏红富士苹果, 解决贮藏后期油腻问题提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试品种为红富士苹果 (*Malus domestica* Borkh. 'Red Fuji'), 于 2009 年 10 月 13 日采自陕西省洛川市一农家果园, 果实约九成熟时采收, 所有果实都采自树冠外围。采收后将单个果实包在泡沫网袋内放于纸箱内, 立即运到西北农林科技大学采后处理实验室。挑选大小适中, 色泽相近, 无机械伤和病虫害, 果形端正, 成熟度一致的果实, 用蒸馏水冲洗 1 min, 在常温下 (约 $17\sim 20^\circ\text{C}$) 使其自然干燥, 然后置于 $(0\pm 1)^\circ\text{C}$ 的冷库中预冷。随后果实被随机分成 3 组, 进行如下处理: 第 1 组不做任何处理直接放在纸箱内 (纸箱大小: $38\text{ cm}\times 33\text{ cm}\times 28\text{ cm}$) (Control), 第 2 组放在 0.03 mm 的 PVC 袋内 (购于天津国家农产品保鲜工程技术研究中心, 在 20°C 和 $1.01\times 10^5\text{ Pa}$ 下, 透气参数为 $6.80\times 10^3\text{ mL}/\text{m}^2\cdot\text{d}(\text{O}_2)$ 和 $4.30\times 10^4\text{ mL}/\text{m}^2\cdot\text{d}(\text{CO}_2)$, 长 \times 宽为 $65\text{ cm}\times 65\text{ cm}$) 扎口密封放于纸箱内 (MAP)。第 3 组先密封在 360 L 的气调箱中用 $1\ \mu\text{L}/\text{L}$ 1-MCP (SmartFreshTM, 0.14% 活性成分, AgroFresh Inc.) 于 $(0\pm 1)^\circ\text{C}$ 下处理 24 h, 然后放于 0.03 mm 的 PVC 袋内扎口密封后放于纸箱内 (MAP+1-MCP) ($1\ \mu\text{L}/\text{L}$ 1-MCP 处理: 向盛有 20 mL 蒸馏水的 100 mL 的三角瓶内加入 0.418 g 1-MCP 粉末 (SmartFreshTM, 0.14% 活性成分, AgroFresh Inc.), 密封三角瓶, 使其在搅拌器上振荡 30 min, 立即把三角瓶放于盛有苹果的 360 L 的气调箱中, 密封气调箱)。每个处理 3 个重复, 每重复用果 10 kg。处理后置于 $(0\pm 1)^\circ\text{C}$ 下贮藏。

1.2 蜡的提取

表皮蜡的提取参考 Yin 等的方法^[28], 把整个苹果放在 1 000 mL 的烧杯中 (每个烧杯一个苹果, 每个处理用果 12 个)。在常温下, 于数控超声波清洗器 (KQ-500DE 型, 昆山市超声仪器有限公司) 内用 600 mL 的三氯甲烷/甲醇 (体积比: 3:1) 超声提取 30 s (频率: 500 kHz, 温度: 35°C , 超声电功率: 500W), 每样提取 3 次。提取以后对 3 次的提取液混合、过滤, 然后转移到预先称质量 (约

45 g) 的聚四氟乙烯收集瓶内, 在稳定的氮气流中蒸发至干。对干燥的样品重新称量, 保存在 -20°C 无氧的环境中用于 GC-MS 分析。

1.3 蜡含量的确定

蜡的含量通过质量分析来计算。计算公式如下: 蜡质量浓度 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) = $(W_1 - W_0)/A$ 。其中 A 代表 12 个果实的表面积, cm^2 , W_1 代表收集瓶和蜡的质量, μg ; W_0 代表原收集瓶的质量, μg 。果实表面积计算方法参考 Yuan^[29]。

1.4 原生蜡的分离

蜡样品通过原样和衍生化进行。蜡可溶有机质经双层柱层 (硅胶: 氧化铝=3:1) 族成分分离法分离, 分别以正己烷、二氯甲烷和甲醇做冲洗剂, 依次得到非极性馏分、弱极性馏分和极性馏分。由于弱极性馏分只含有少量的物质, 不再进行进一步的分析。非极性馏分和极性馏分分别在旋转蒸发器上进行浓缩用于分析。非极性馏分 (每样品 0.1 mg) 溶解在 1 mL 的正己烷中 (内含有 $9\ \mu\text{g}$ 的正十七烷作为内标) 直接进行 GC-MS 分析。由于极性馏分包括大量的脂肪酸及其衍生物, 这部分馏分 (每样品 0.1 mg) 在进行 GC-MS 分析之前, 先溶解在 1 mL 的甲醇溶液中 (内含有 $4.5\ \mu\text{g}$ 的正十七烷酸作为内标), 经过甲醇甲酯化 24 h (三氟化硼作为催化剂), 用水洗去三氟化硼再经乙醚萃取后进行 GC-MS 分析。

1.5 蜡的成分分析

蜡成分分析用 GC-MS (6890N GC/5973N MS, 安捷伦科技公司, 美国) 进行。进样量 1 mL。气相色谱 6 890 N: 其气化室温度 250°C , 美国 J&W (安捷伦公司) HP-5 ($30\text{ m}\times 0.25\text{ mm}\times 0.25\ \mu\text{m}$) 弹性石英毛细管柱中, 程序升温: 以 $4^\circ\text{C}/\text{min}$ 的速度从 80°C 升高到 290°C , 在 290°C 恒温 30 min, 高纯 He (99.99%) 作载气, 载气流量 1.2 mL/min, 线速度 40 cm/s。质谱 5973N: 四极杆质谱仪, 离子源为 EI 源, 线速度 230°C , 四极杆温度 150°C , 离子源温度 230°C , 离子源电离能 70 eV。谱库为 NIST02L (USA)。

1.6 品质生理指标的测定

果肉硬度采用意大利 FT-327 型 (探头直径 11 mm, 测定深度 8 mm, Fruit TestTM, McCormick 公司) 硬度计测定^[30]; 可溶性固形物采用手持测糖仪 (WYT-4 型, 福建泉州万达实验仪器设备) 测定^[30], 可滴定酸含量用酸碱滴定法测定^[22], 固酸比用可溶性固形物含量与可滴定酸含量的比值表示^[22], 每个处理随机取样 6 个, 用于测定硬度、可溶性固形物和可滴定酸, 进而计算固酸比; 呼吸速率用 TEL-7001 型 CO_2 分析仪 (上海金泉仪器有限公司) 测定^[30]: 将干燥器放入 $(0\pm 1)^\circ\text{C}$ 的贮果冷库中, 每个

处理随机取 8 个苹果（单果质量 150~300 g），放入 8.735 L 的干燥器中，同时放入 CO₂ 分析仪，密封，每 20 min 记录 1 次。乙烯释放量用 TRACE GC ULTRA（赛默飞世尔科技，美国）型气相色谱仪测定^[30]。载气为 N₂，GDX-502 色谱柱（2 m×3 mm），柱温 70℃，进样口温度 70℃，氢气 0.7 kg/cm²，空气 0.7 kg/cm²，氮气 1.0 kg/cm²，进样量 1 mL，氢火焰离子化检测器检测，检测室温度 150℃。呼吸速率和乙烯释放含量分别用 mg/(kg·h)和 μL/(kg·h)表达；失重率采用称重法^[30]测定，每个处理用果 18 个。

1.7 数据分析

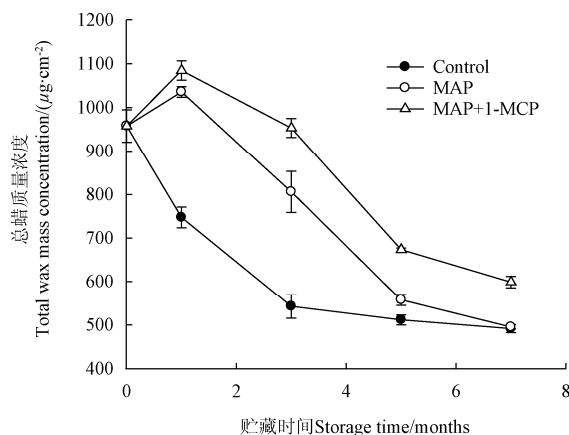
数据采用 Sigmpot 软件进行分析，并用 SAS9.2 专业统计软件进行最小差异显著性检验（LSD， $P \leq 0.05$ ）。数据用“平均值±平均标准误”表示。

2 结果与分析

2.1 不同处理对红富士苹果蜡质总量的影响

不同处理红富士苹果(0±1)℃贮藏过程中的蜡质总量变化如图 1 所示。MAP 和 MAP+1-MCP 处理都对蜡质总量的降低有所抑制。抑制效果 MAP+1-MCP>MAP>对照。对照果在贮藏 7 个月的过程中蜡质总量一直下降，其中前 3 个月内急剧下降，从 (957.97±37.11) μg/cm² 降低到 (542.51±26.96) μg/cm² (平均下降 4.62 μg/(cm²·d))，在随后的贮藏过程中下降较缓慢（平均下降 0.42 μg/cm²/d）。MAP 和 MAP+1-MCP 处理的在贮藏的第 1 个月蜡质含量略微升高，分别为 (1035.85±12.08) μg/cm² 和 (1084.64±22.20) μg/cm² (升高了 8.13% 和 13.22%)。在随后的冷藏中，MAP 和 MAP+1-MCP 处理蜡质含量一直降低，但 MAP 降低的速率大于 MAP+1-MCP ($p < 0.05$)。贮藏 7

个月时，与对照的相比，MAP+1-MCP 处理的红富士苹果蜡质质量浓度多 21.83%，差异显著 ($p < 0.05$)。



注：Control 为对照组，MAP 为自发气调包装组，MAP+1-MCP 为 1-MCP 处理后再自发气调包装组，下同。

Note: Control means control group; MAP means modified atmosphere packaging group; MAP+1-MCP means 1-MCP treatment first and then modified atmosphere packaging. The below is same.

图 1 不同处理对冷藏期间红富士苹果蜡质总量的影响
Fig.1 Effect of different treatments on total wax of ‘Red Fuji’ apple during storage at (0±1)℃

2.2 不同处理对红富士苹果二十九烷和二十七烷的影响

研究证明二十九烷是非极性蜡质中的主要成分^[1,10,14]。由图 2a 可知，不同处理的红富士苹果蜡质中二十九烷含量在(0±1)℃贮藏过程中都有所下降，在贮藏 7 个月达到最低。其中对照下降的最快（下降了 74.55%），MAP 处理的其次（下降了 56.72%），MAP+1-MCP 下降最慢（下降了 29.42%）。在整个贮藏过程中，MAP+1-MCP 处理与对照差别显著 ($p < 0.05$)。

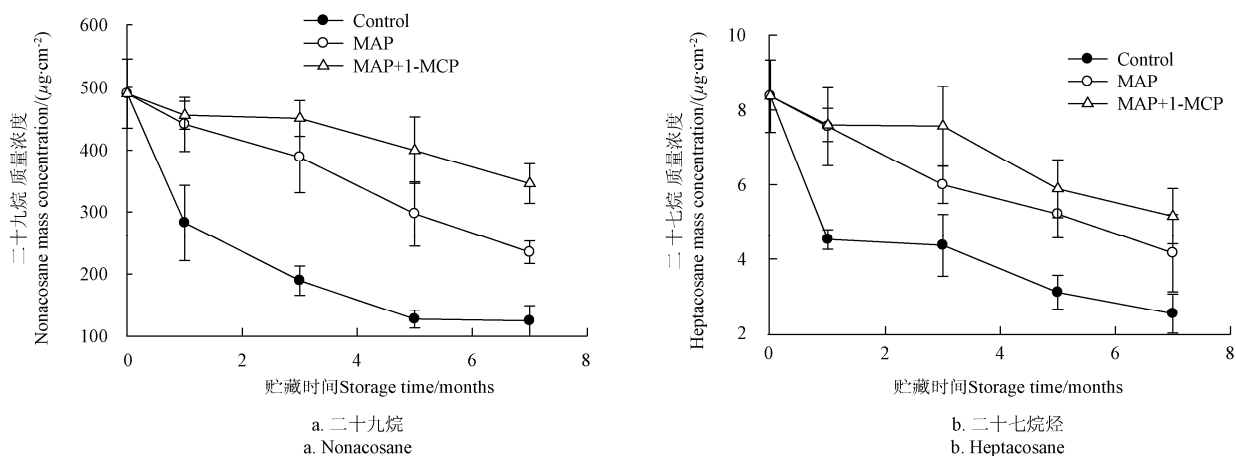


图 2 不同处理对冷藏期间红富士苹果蜡质二十九烷和二十七烷的影响
Fig.2 Effect of different treatments on nonacosane and heptacosane in cuticular wax of ‘Red Fuji’ apple during storage at (0±1)℃

不同处理红富士苹果(0±1)°C贮藏7个月,二十七烷的变化与二十九烷的变化趋势相似,其含量也是逐渐降低(图2b),但是MAP及MAP+1-MCP能显著抑制二十七烷的下降速度。在(0±1)°C贮藏7个月后,和对照相比,MAP和MAP+1-MCP处理的二十七烷含量分别高63.68%和102.63%,差异显著($p<0.05$),MAP+1-MCP和MAP之间差异不显著($p>0.05$)。

2.3 不同处理对红富士苹果十六烷酸和9,12-十八碳二烯酸的影响

十六烷酸(软脂酸)也叫棕榈酸,是蜡质极性成分中含量最高的饱和脂肪酸^[14]。在第1个月的贮藏过程中,各处理十六烷酸含量略微降低,从贮藏第2个月直到结束又明显地升高。采收时质量浓度是 $5.29 \mu\text{g}/\text{cm}^2$,在(0±1)°C贮藏7个月后,对照果实、

MAP和MAP+1-MCP的十六烷酸质量浓度分别为(12.45 ± 1.61)、(8.12 ± 1.31)和(6.65 ± 1.0) $\mu\text{g}/\text{cm}^2$,处理的均低于对照,差异显著($p<0.05$),MAP+1-MCP和MAP之间也呈显著差异($p<0.05$)。其含量为MAP+1-MCP<MAP<对照(图3a)。

9,12-十八碳二烯酸也叫亚油酸,是蜡质极性成分中含量最高的不饱和脂肪酸^[14]。由图3b可以看出各处理的十八碳二烯酸上升幅度都比对照要低。上升幅度为MAP+1-MCP<MAP<对照。在(0±1)°C贮藏期内,对照的含量一直升高,而处理的在贮藏5个月内基本上不变。贮藏7个月后,MAP处理的含量升高,与采收时相比,提高了5.5倍,MAP+1-MCP处理的略微升高(升高了41.82%),而对照果实在整个过程中升高了13倍,两两之间差异显著($p<0.05$)。

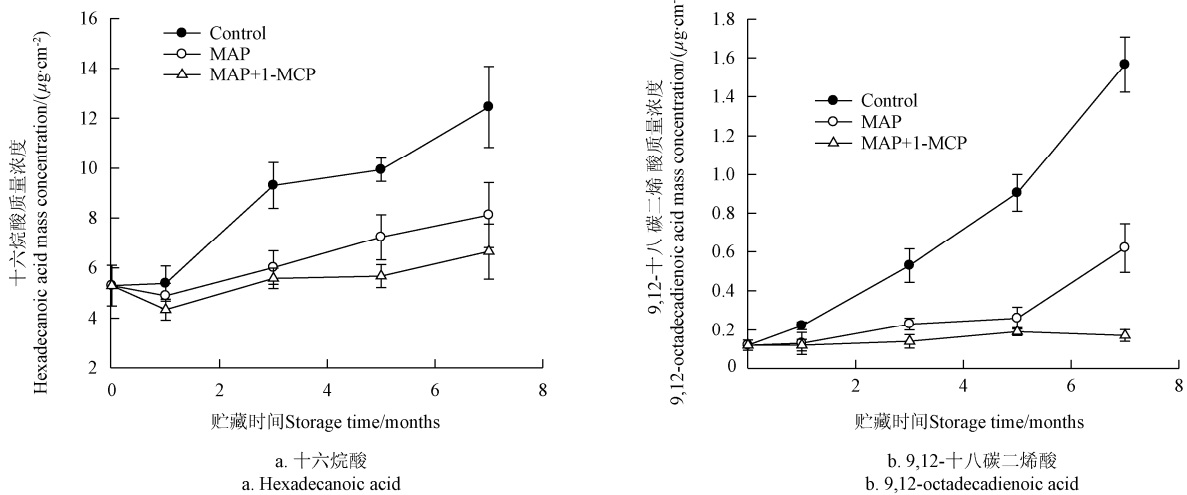


图3 不同处理对冷藏期间红富士苹果蜡质十六烷酸和9,12-十八碳二烯酸的影响

Fig.3 Effect of different treatments on hexadecanoic acid and 9,12-octadecadienoic acid in cuticular wax of 'Red Fuji' apple during storage at (0±1)°C

2.4 不同处理对红富士苹果二十九-10-醇和二十九-10-酮的影响

二十九-10-醇和二十九-10-酮是红富士苹果蜡质极性成分的主要成分^[1,14,31]。不同处理红富士苹果(0±1)°C贮藏过程中,二十九-10-醇和二十九-10-酮含量的变化趋势相同。在(0±)°C贮藏的前3个月,不同处理的果实二十九-10-醇和二十九-10-酮的含量都降低,但是MAP和MAP+1-MCP处理的降低较快,对照降低的相对较慢。贮藏3~7个月,各处理的含量都上升(图4a和4b),且对照升高的最快,MAP和MAP+1-MCP处理的含量明显低于对照,差异显著($p<0.05$),MAP+1-MCP与MAP之间呈显著差异($p<0.05$)。

2.5 不同处理对红富士苹果贮藏品质的影响

从图5a可以看出,各处理红富士苹果硬度均

下降。但是与对照相比,各处理延缓了红富士苹果贮藏期间硬度的下降速度,尤其MAP+1-MCP对硬度的保持效果最好($p<0.05$),各处理对硬度的保持效果:MAP+1-MCP>MAP>对照,MAP+1-MCP和MAP与对照相比差异显著($p<0.05$),MAP+1-MCP与MAP之间也呈显著差异水平($p<0.05$)。

图5b显示,各处理果实的可溶性固形物变化相似,随着贮藏时间的延长先增加而后降低,都是在贮藏一个月后达到最大,随后由于呼吸消耗的加强,可溶性固形物含量逐步下降,但处理果下降幅度显著小于对照果($p<0.05$)。各处理间对可溶性固形物的保持效果:MAP+1-MCP>MAP>对照,MAP+1-MCP与MAP之间差异显著($p<0.05$)。

如图5c所示,苹果中的可滴定酸含量随着贮

藏时间的延长而不断降低，其中对照果的可滴定酸含量降低速度高于处理果。对照果的可滴定酸质量分数从 0.38% 下降到 0.10%，下降了 73.68%，MAP 和 MAP+1-MCP 处理果的可滴定酸质量分数分别下降了 56.26% 和 44.74%，差异显著 ($p < 0.05$)。

各处理对固酸比的影响如图 5d 所示。红富士苹果在 $(0 \pm 1)^\circ\text{C}$ 贮藏过程中固酸比均升高，各处理果实的固酸比低于对照。贮藏 7 个月时，MAP 处理的固酸比比对照低 31.09%，而 MAP+1-MCP 处理的比对照低 54.98% ($p < 0.05$)。

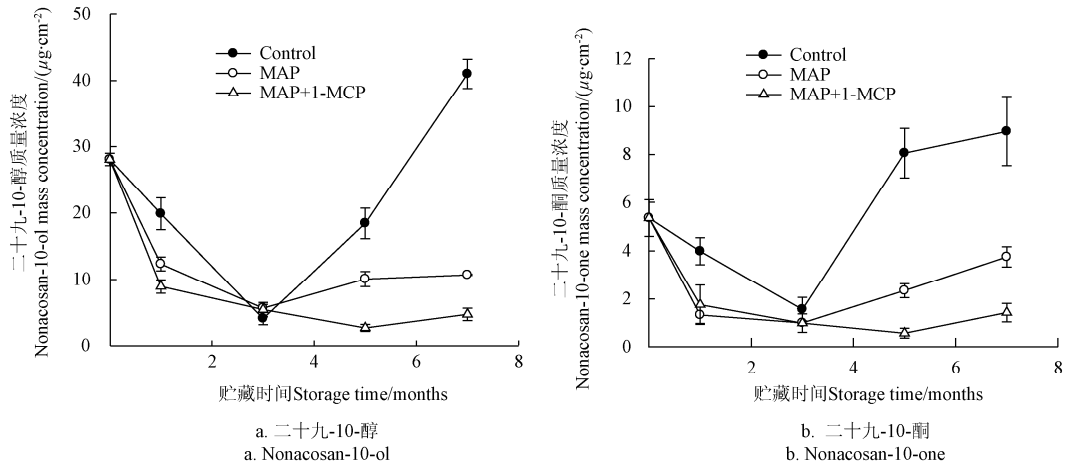


图 4 不同处理对冷藏期间红富士苹果蜡质二十九-10-醇和二十九-10-酮的影响
Fig.4 Effect of different treatments on nonacosan-10-ol and nonacosan-10-one in cuticular wax of 'Red Fuji' apple during storage at $(0 \pm 1)^\circ\text{C}$

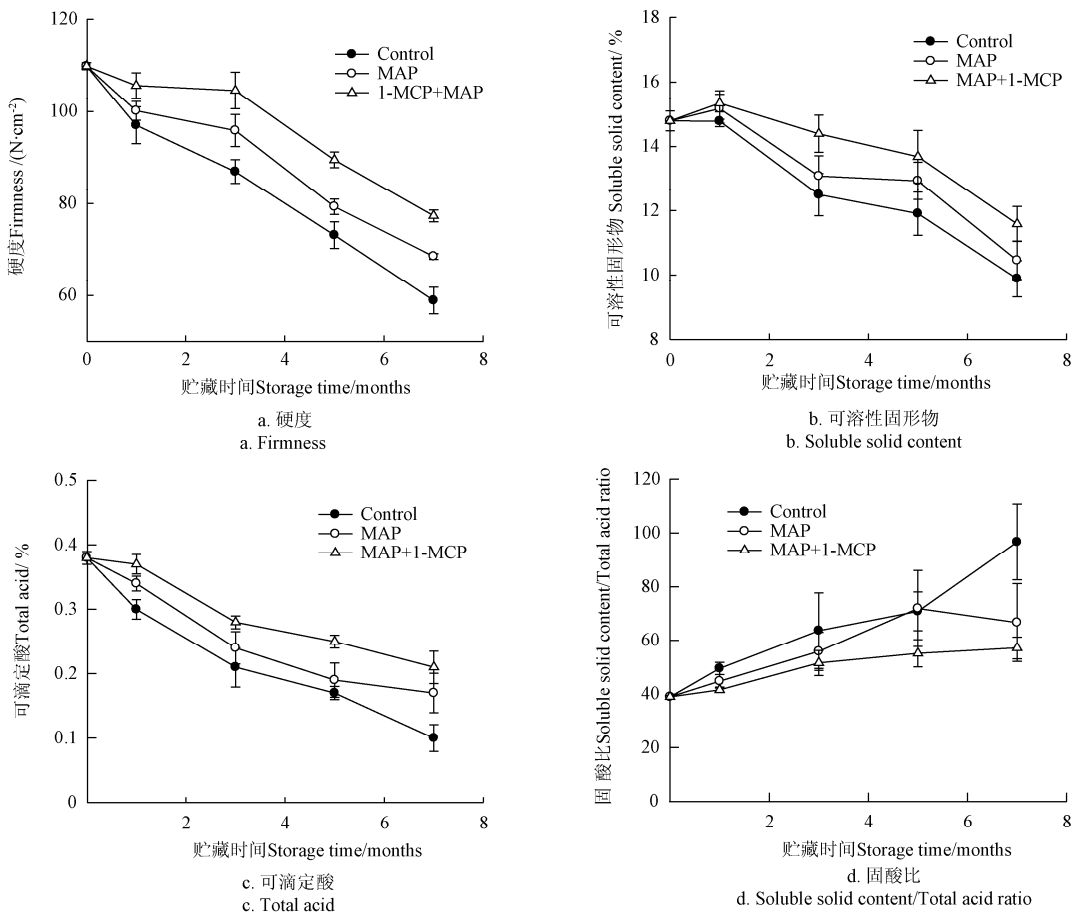
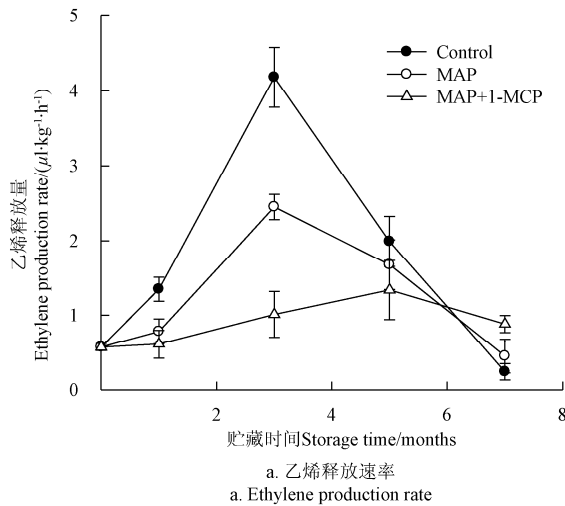


图 5 不同处理对冷藏期间红富士苹果硬度、可溶性固形物、可滴定酸和固酸比的影响
Fig.5 Effect of different treatments on firmness, SSC, TA and SSC/TA ratio of 'Red Fuji' apple during storage at $(0 \pm 1)^\circ\text{C}$

2.6 不同处理对红富士苹果乙烯释放速率和呼吸速率的影响

由图 6a 可以看出, 对照果实和 MAP 处理果实的乙烯释放高峰出现在处理后 3 个月, 而 MAP+1-MCP 处理在贮藏后 5 个月出现 (峰值为 $(1.34 \pm 0.40) \mu\text{L}/(\text{kg} \cdot \text{h})$), 推迟了 2 个月, 对照果实和 MAP 处理的峰值分别为 (4.18 ± 0.40) 和 $(2.45 \pm 0.17) \mu\text{L}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ 。MAP 和 MAP+1-MCP 处理的乙烯释放最高峰比对照最高峰分别降低



了 41.39% 和 67.94%, 各处理之间差异显著 ($p < 0.05$)。

图 6b 显示, 对照和 MAP 处理果实呼吸高峰出现在处理后 3 个月, 而 MAP+1-MCP 处理在贮藏后 5 个月出现。对照和 MAP 处理果实呼吸峰值相当 ($6 \text{ mg}/(\text{kg} \cdot \text{h})$), 两者之间没有差别 ($p > 0.05$)。MAP+1-MCP 处理呼吸高峰为 $(5.05 \pm 0.50) \text{ mg}/(\text{kg} \cdot \text{h})$, 比对照和 MAP 处理的呼吸峰值低 33.61%, 差异显著 ($p < 0.05$)。

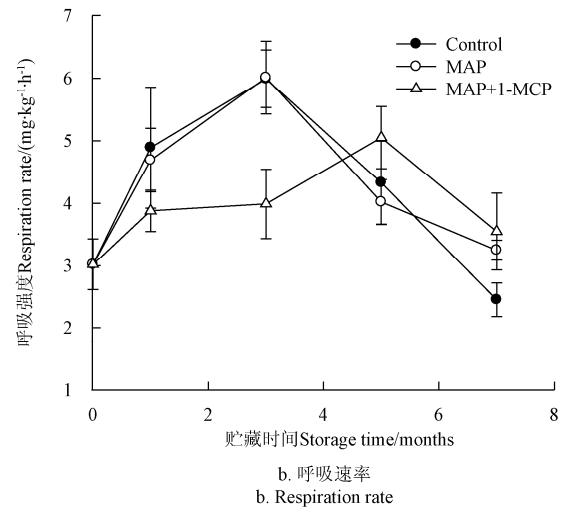


图 6 不同处理对冷藏期间红富士苹果乙烯释放速率和呼吸速率的影响

Fig.6 Effect of different treatments on ethylene release and respiration rate of 'Red Fuji' apple during storage at $(0 \pm 1) ^\circ\text{C}$

2.7 不同处理对红富士苹果失重率的影响

从图 7 可以看出, 贮藏期间各处理和对照的失重率都呈不断增加的趋势。贮藏结束时, 对照的失重率为 4.22%, 而 MAP 和 MAP+1-MCP 处理的失重率为 2.26% 和 1.17%, 显著的低于对照 ($p < 0.05$)。

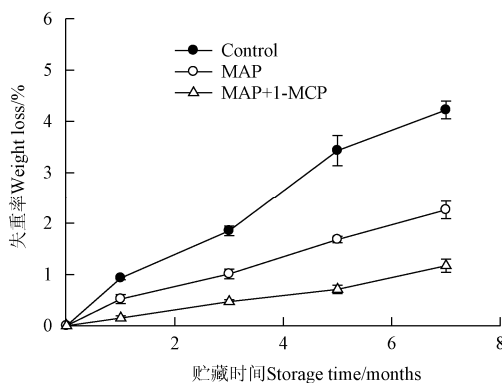


图 7 不同处理对冷藏期间红富士苹果失重率的影响

Fig.7 Effect of different treatments on weight loss of 'Red Fuji' apple during storage at $(0 \pm 1) ^\circ\text{C}$

3 讨论

本研究结果表明, 红富士苹果在 $(0 \pm 1) ^\circ\text{C}$ 的贮藏过程中蜡质总量降低。相关的研究也报道了, 在低

温贮藏过程中一些苹果品种的表皮蜡降低^[1,14]。本试验结果中 MAP 以及 MAP 和 1-MCP 结合可以抑制蜡质含量的降低。MAP 和 MAP+1-MCP 处理, 在贮藏一个月后, 能使蜡质含量暂时升高, 其中 MAP+1-MCP 结合处理的效果比单独 MAP 处理好, 差异显著 ($p < 0.05$)。我们以前的研究也证明, $1 \mu\text{L}/\text{L}$ 1-MCP 单独处理红富士苹果 24 h, 也可以抑制蜡质含量的降低^[14]。但是与 MAP 相比, 效果稍弱于于 MAP, 且远低于 MAP+1-MCP 处理 ($p < 0.05$)。

碳氢化合物、脂肪酸、二十九-10-醇 (次级醇) 和二十九-10-酮 (酮) 是红富士苹果蜡质的主要成分^[1,2,10-14]。研究证明 C29 同系物是苹果果皮蜡质^[1,2,13,14]及其他物种如甜樱桃^[31]、瓦勒迈杉^[32]和亚洲梨^[28]中最富有的成分。在 $(0 \pm 1) ^\circ\text{C}$ 贮藏过程中, 红富士苹果蜡质中二十九烷和二十七烷含量降低, MAP 以及 MAP 和 1-MCP 结合可以抑制其降低。脂肪酸是表皮蜡中特别富有的成分, 大部分脂肪酸起源于碳 16 到碳 18 自由脂肪酸的延长^[9]。在采后 $(0 \pm 1) ^\circ\text{C}$ 的贮藏过程中, 红富士苹果蜡质十六烷酸和 9,12-十八碳二烯酸的含量都极大的升高。采后 $(0 \pm 1) ^\circ\text{C}$ 贮藏 7 个月, 对照红富士苹果蜡质中的十六烷酸和 9,12-十八碳二烯酸的含量分别提高了 11 倍和 13

倍。Song and Bangerth^[12]也报道金冠苹果蜡质中的十六烷酸和 9,12-十八碳二烯酸含量也提高了。MAP 以及 MAP+1-MCP 处理抑制红富士苹果表皮蜡质中十六烷酸和 9,12-十八碳二烯酸的升高, 其中 MAP+1-MCP 的抑制效果最好, 两者之间差异显著 ($p < 0.05$)。

次级醇二十九-10-醇是一些植物表皮蜡质中含量很高的一个成分^[1,31-32,33]。基于二十九-10-醇在三个苹果品种中的含量不同, Veraberbeke 等^[33]证明它在解释苹果表面特征方面起着重要作用。例如, 艾尔斯塔苹果由于完全不含有二十九-10-醇, 其表面是粗糙的。Veraberbeke 等^[33]也进一步推测, 一些苹果品种中二十九-10-醇的升高可能有助于表面油腻感的提高。

果实贮藏后期, 往往可发现蜡质降解现象, 俗称“走糖”, 即油腻现象。油腻现象是果实成熟和贮藏过程中的一个生理化学现象。其和果实表皮的蜡质成分变化有一定的关系^[1,14], 尤其是蜡质成分中的极性成分^[14]。十六烷酸、9,12-十八碳二烯酸、次级醇二十九-10-醇和二十九-10-酮占极性蜡成分的 60%^[14], 其和苹果果实的油腻相关^[10,14]。油腻通常发生在较成熟的果实和较长的贮藏过程中^[18]。试验结果表明, MAP 以及 MAP 和 1-MCP 结合均可显著 ($p < 0.05$) 抑制这些蜡成分的提高, 抑制果实油腻现象的发生。

MAP 和 MAP+1-MCP 均可延缓果实硬度、可溶性固形物、可滴定酸的下降、抑制冷藏期间果实呼吸强度和乙烯释放量, 降低果实贮藏过程中的失重率。本试验显示 0.03 mm 的 PVC 袋可以较好的保鲜红富士苹果。相似的结果在其它苹果上^[26]及其他果实上^[20,25]得到了证明。如果 0.03 mm 的 PVC 袋与 1 μ L/L1-MCP 结合处理效果更好, 王志华在新红星苹果^[26]、张鹏在磨盘柿^[23]上也进行了相似的报道。

MAP 以及 MAP 与 1-MCP 结合能够抑制蜡质总量的降低, 同时也降低了果实的失重率。其中果实表面的蜡质就是防止果实失水的一个天然屏障。植物表面的蜡质则可以减少非气孔性失水, 但目前还不十分清楚蜡质防止水分散失的机制^[3]。Baur 等^[34]提供的证据指出, 当可溶性物质通过极性通道由角质酯形成的表皮框架时, 蜡质作为表皮基质的填充物增加了扩散路径的长度或曲折性。水分通过人工膜的研究表明蜡质中的烃、醇、醛能有效的阻止水分的运动, 然而, 酸仅能轻微的限制水分的透性, 蜡质中三萜聚合物没有此作用, 而且烃、醇、醛、酯在排斥水分和表皮之间的相互作用水平比其它蜡质成分要强^[34]。蜡质总量和其组成成分与果实的水分散失有着重要的联系。更具体详细的关系和机理还

有待进一步研究。

4 结 论

1) 在贮藏过程中, 对照红富士苹果表皮蜡质总量始终降低, MAP 和 MAP+1-MCP 处理蜡质总量先升高再降低。所有处理中, 二十九烷和二十七烷含量降低, 十六烷酸和 9,12-十八碳二烯酸含量升高, 二十九-10-醇和二十九-10-酮含量先降低后升高。

2) MAP 和 MAP+1-MCP 能够延缓果实硬度和可溶性固形物的下降, 降低固酸比, 抑制呼吸和乙烯释放速率, 降低失重率, 抑制苹果贮藏过程中油腻现象的发生。

3) 总体上来说, MAP 和 MAP+1-MCP 对红富士苹果均起到了较好的保鲜效果, 抑制了蜡质成分相应的变化。而 MAP 和 1-MCP 两者的结合对红富士苹果蜡质成分和果实品质的影响好于 MAP, 且远远好于对照的果实。因此将 1-MCP 和自发气调包装结合保鲜红富士苹果是一个非常实用的技术。

[参 考 文 献]

- [1] Curry E. Effects of 1-MCP applied postharvest on epicuticular wax of apples (*Malus domestica* Borkh.) during storage[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2008, 88(6): 996—1006.
- [2] Verardo G, Pagani E, Geatti P, et al. A thorough study of the surface wax of apple fruits[J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2003, 376(5): 659—667.
- [3] Riederer M, Schreiber L. Protecting against water loss: analysis of the barrier properties of plant cuticles[J]. *Journal of Experiment Botany*, 2001, 52(363): 2023—2032.
- [4] Leide J, Hildebrandt U, Reussing K, et al. The developmental pattern of tomato fruit wax accumulation and its impact on cuticular transpiration barrier properties: Effects of a deficiency in β -ketoacyl-coenzyme a synthase (LeCER6)[J]. *Plant Physiology*, 2007, 144(3): 1667—1679.
- [5] Marcell L M, Beattie G. Effect of leaf surface waxes on leaf colonization by *Pantoea agglomerans* and *Clavibacter michiganensis*[J]. *Molecular Plant-Microbe Interaction*, 2002, 15(12): 1236—1244.
- [6] Markstadter C, Federle W, Jetter R, et al. Chemical composition of the slippery epicuticular wax blooms on *Macaranga* (Euphorbiaceae) ant-plants[J]. *Chemoecology*, 2000, 10(1): 33—40.
- [7] Sieber P, Schorderet M, Ryser U, et al. Transgenic Arabidopsis plants expressing a fungal cutinase show alterations in the structure and properties of the cuticle and postgenital organ fusions[J]. *Plant Cell*, 2000, 12(5): 721—737.
- [8] Muckensturm B, Foechterlen D, Reduron J-P, et al. Phytochemical and chemotaxonomic studies of *Foeniculum vulgare*[J]. *Biochemical systematics and ecology*, 1997, 25(4): 353—358.
- [9] Jetter R, Kunst L, Samuels A L. Composition of plant cuticular waxes[C]//Annual Plant Reviewers, *Biology of the Plant Cuticle*, Riederer M, Müller C. Oxford: Blackwell, 2008, 23: 145—181.

- [10] Belding R D, Blankenship S M, Young E, et al. Composition and variability of epicuticular waxes in apple cultivars[J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1998, 123(3): 348–356.
- [11] Maarseveen C V, Jetter R. Composition of the epicuticular and intracuticular wax layers on *Kalanchoe daigremontiana* (Hamet et Perr. de la Bathie) leaves[J]. *Phytochemistry*, 2009, 70(7): 899–906.
- [12] Song J, Bangerth F. Fatty acids as precursors for aroma volatile biosynthesis in pre-climacteric and climacteric apple fruit[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2003, 30(2): 113–121.
- [13] Bringe K, Schumacher C F A, Schmitz-Eiberger M, et al. Ontogenetic variation in chemical and physical characteristics of adaxial apple leaf surfaces[J]. *Phytochemistry*, 2006, 67(2): 161–170.
- [14] Dong X, Rao J, Huber D J, et al. Wax composition of 'Red Fuji' apple fruit during development and during storage after 1-methylcyclopropene treatment[J]. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 2012, 53(4): 288–297.
- [15] Shepherd T, Griffiths D W. The effects of stress on plant cuticular waxes[J]. *New Phytologist*, 2006, 171(3): 469–499.
- [16] 李永才, 尹燕, 陈松江, 等. 采前套袋对苹果梨表皮蜡质结构和化学组分的影响[J]. *中国农业科学*, 2012, 45(17): 3661–3668.
Li Yongcai, Yin Yan, Chen Songjiang, et al. Effects of preharvest bagging treatment on the micro-structure and chemical composition of cuticular wax in pingguoli pear fruit[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(17): 3661–3668. (in Chinese with English abstract)
- [17] Sisler E C. The discovery and development of compounds counteracting ethylene at the receptor level[J]. *Biotechnology Advances*, 2006, 24(4): 357–367.
- [18] Watkins C B. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables[J]. *Biotechnology Advances*, 2006, 24(4): 389–409.
- [19] 李丽萍, 韩涛, 刘佳阳, 等. 单果真空包装对冷藏涩柿品质和有关生化变化的影响[J]. *农业工程学报*, 1998, 3(1): 233–237.
Li Liping, Han Tao, Liu Jiayang, et al. Changes of quality and related enzymes activity of individual air-evacuated packaging astringency persimmon during cold storage[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 1998, 3(1): 233–237. (in Chinese with English abstract)
- [20] 马惠玲, 宋淑亚, 马艳萍, 等. 自发气调包装对核桃青果的保鲜效应[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(2): 262–267.
Ma Huiling, Song Shuya, Ma Yanping, et al. Effects of modified atmosphere package on preservation of green walnut fruit[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2012, 28(2): 262–267. (in Chinese with English abstract)
- [21] 高慧, 饶景萍. 自发气调贮藏对油桃采后生理及相关酶活性变化的影响[J]. *园艺学报*, 2005, 32(1): 91–93.
Gao Hui, Rao Jingping. Effect of MA storage on postharvest physiology and enzymatic activity of nectarines[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2005, 32(1): 91–93. (in Chinese with English abstract)
- [22] 王瑞庆, 冯建华, 魏雯雯, 等. 1-MCP 处理和气调包装对枸杞鲜果低温贮藏品质的影响[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(19): 287–292.
Wang Ruiqing, Feng Jianhua, Wei Wenwen, et al. Effect of 1-methylcyclopropene and modified atmosphere packaging on quality retention during cold-temperature storage of *Lycium barbarum* fruit[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2012, 28(19): 287–292. (in Chinese with English abstract)
- [23] 张鹏, 李江阔, 孟宪军, 等. 1-MCP 和薄膜包装对磨盘柿采后生理及品质的影响[J]. *农业机械学报*, 2011, 42(2): 130–133.
Zhang Peng, Li Jiangkuo, Meng Xianjun, et al. Effects of 1-MCP and film packaging treatments on postharvest physiology and quality of Mopan Persimmons[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2011, 42(2): 130–133. (in Chinese with English abstract)
- [24] Sabir F K, Agar I T. Effect of 1-methylcyclopropene and modified atmosphere packaging on postharvest life and quality in tomatoes[J]. *Journal of Food Quality*, 2011, 34(2): 111–118.
- [25] 李富军, 张新华, 孙希生, 等. 包装厚度对长把梨货架期间 CO₂ 伤害的影响[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(2): 290–293.
Li Fujun, Zhang Xinhua, Sun Xisheng, et al. Effects of different packaging thickness on carbon dioxide injury to pears (*Pyrus bretschneideri* Rehd C.V.changba) during shelf life[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2009, 25(2): 290–293. (in Chinese with English abstract)
- [26] 贾晓辉, 佟伟, 王文辉, 等. 1-MCP、MAP 对苹果冷藏期间品质及保鲜效果的影响[J]. *食品科学*, 2011, 32(8): 305–308.
Jia Xiaohui, Tong Wei, Wang Wenhui, et al. Effects of 1-MCP and modified atmosphere packaging (MAP) treatment on fresh-keeping and quality of 'Huahong' apples during cold storage[J]. *Food Science*, 2011, 32(8): 305–308. (in Chinese with English abstract)
- [27] USDA Foreign Agricultural Service, 2011. Global Agricultural Information Service. China – Peoples Republic of, Fresh Deciduous Fruit Annual[Z]. http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Fresh%20Deciduous%20Fruit%20Annual_Beijing_China%20-%20Peoples%20Republic%20of_12-2-2011.pdf (accessed 03/07, 2012).
- [28] Yin Y, Bi Y, Chen S J, et al. Chemical composition and antifungal activity of cuticular wax isolated from Asian pear fruit (cv. Pingguoli)[J]. *Scientia Horticulturae*, 2011, 129(4): 577–582.
- [29] Yuan K J, Sun R H, Yang H A. A new method for measuring and calculating surface areas of apple fruits[J]. *Journal of Biomathematics*, 1995, 10(4): 159–163.
- [30] 董晓庆, 饶景萍, 田改妮, 等. 草酸复合清洗剂对红富士苹果贮藏品质的影响[J]. *园艺学报*, 2009, 36(4): 577–584.
Dong Xiaoqing, Rao Jingping, Tian Gaini, et al. Effects of oxalic acid compound cleaning agent on storage quality of fruits of apple 'Red Fuji'[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2009, 36(4): 577–582. (in Chinese with English abstract)
- [31] Peschel S, Frchus R, Schreiber L, et al. Composition of the cuticle of developing sweet cherry fruit[J]. *Phytochemistry*, 2007, 68(7): 1017–1025.
- [32] Dragota S, Riederer M. Epicuticular wax crystals of

- Wollemin nobilis: morphology and chemical composition[J]. *Annals of Botany*, 2007, 100(2): 225–231.
- [33] Veraverbeke E A, Lammertyn J, Saevels S, et al. Changes in chemical wax composition of three different apple (*Malus domestica* Borkh.) cultivars during storage[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2001, 23(3): 197–208.
- [34] Baur P, Marzouk H, Schönherr J. Estimation of path lengths for diffusion of organic compounds through leaf surfaces[J]. *Plant Cell Environ*, 1999, 22(3): 291–299.

Combination of modified atmosphere packaging and 1-methylcyclopropene treatment suppress decreasing of wax composition of apples during cold storage

Dong Xiaoqing, Rao Jingping^{*}, Zhu Shouliang, Yang Qingzhen
(College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: Modified atmosphere packaging (MAP) is a very useful method in postharvest storage for fruits and vegetables by altering the gaseous environment of the stored commodities. 1-methylcyclopropene (1-MCP) is a potent inhibitor of ethylene action, and has been extensively researched in a variety of horticultural crops, especially climacteric fruits. Greasiness is a problem for apples following their prolonged storage. At present, the storage quality and physiology property of fruits and vegetables treated with MAP or a combination of MAP and 1-MCP have been studied, however, there are few reports about the effects of MAP or a combination of MAP and 1-MCP on the wax composition of an apple during storage. The objective of this study was to study the changes of primary wax composition during storage and the relationship of wax composition and greasiness and the quality of apple fruit during storage after treatment with MAP and MAP+1-MCP. The effects of MAP of 0.03 mm polyvinyl chloride bags and a combination of MAP and 1 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP were investigated on total wax and primary wax components. Included were nonacosane and heptacosane which were saturated hydrocarbons representing the predominant component (95%) of nonpolar wax components, hexadecanoic acid, the most abundant saturated fatty acid, and 9,12-octadecadienoic acid, the most abundant polyunsaturated fatty acid of polar wax components, and nonacosan-10-ol (secondary alcohol) and nonacosan-10-one (ketone), the latter two of which have a relationship with fruit greasiness. Wax composition of “Red Fuji” apples (*Malus domestica* Borkh. ‘Red Fuji’) was investigated by gas chromatography-mass spectrometry. Analyses of fruit quality during storage at $(0\pm 1)^\circ\text{C}$ for seven months included firmness, soluble solid content (SSC), titratable acid (TA), SSC/TA ratio, respiration rate, ethylene release, and weight loss. Wax was extracted using chloroform/methanol (3:1,v/v), and eluted stepwise with n-hexane (heptadecane as an internal standard) for nonacosane and heptacosane and methanol (deuterated heptadecanoic acid as internal standard) for hexadecanoic acid, 9,12-octadecadienoic acid, nonacosan-10-ol, and nonacosan-10-one. The results indicated that total wax of the control fruit declined during storage and fruit treated with MAP and MAP+1-MCP increased during the first month and then declined over first to seven months, In all treatments, nonacosane and heptacosane declined, while hexadecanoic acid and 9,12-octadecadienoic acid increased. Nonacosan-10-ol and nonacosan-10-one declined, followed by an increase over seven months storage at $(0\pm 1)^\circ\text{C}$. Nonacosan-10-ol and nonacosan-10-one of the control fruit and MAP-treated fruit declined during the first three months and then increased, but fruit treated with MAP+1-MCP declined during the five months and then increased. Changes in total wax and primary wax components were delayed or suppressed in fruit subject to MAP and MAP+1-MCP treatments, especially for MAP+1-MCP-treated fruit. Compared with the control, MAP and MAP+1-MCP delayed the decline in flesh firmness, TA and SSC and reduced ethylene and respiration rates and weight loss. MAP and MAP+1-MCP treatments suppressed development of apple greasiness, presumably due to altered wax composition, but did not alter fruit flavor. MAP+1-MCP was more effective than MAP for suppressing changes in wax composition and maintaining storage quality. The results of this study indicate that a combination MAP/1-MCP treatment was the most effective for maintaining the quality of “Red Fuji” apple fruit during long-term storage.

Key words: storage, packaging, fruits, apple, 1-MCP, wax composition

(责任编辑: 郭海枫)