

1-MCP 处理对早熟苹果常温贮藏生理及品质的影响

冯云霄¹, 何近刚¹, 程玉豆¹, 李丽梅¹, 李学营², 冯建忠², 关军锋¹

(1. 河北省农林科学院遗传生理研究所, 河北石家庄 050051)

(2. 河北省农林科学院石家庄果树研究所, 河北石家庄 050051)

摘要: 早熟苹果货架期很短, 极不耐贮藏。本研究以冀苹 3 号、6-25、4-25 和嘎拉 4 个早熟苹果品种(系)为材料, 分析了 1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)处理对苹果果实在常温贮藏(25℃)条件下呼吸速率、乙烯生成速率及果实品质的变化。与对照相比, 1-MCP 处理能够显著降低果实呼吸速率, 减少乙烯释放, 延缓果实硬度下降, 保持较高的可溶性固形物含量(冀苹 3 号除外)与可滴定酸含量。进一步研究表明, 1-MCP 处理较对照可显著降低冀平 3 号和 6-25 苹果贮藏期间果肉褐变, 经过 14 d 贮藏, 1-MCP 处理的冀平 3 号和 6-25 苹果果肉褐变发病率分别为 0 和 17.78%, 显著低于对照(冀平 3 号 CK 为 87.78%、6-25 CK 为 90.48%)。但 1-MCP 处理对 4 个早熟苹果品种腐烂无显著影响。由此可见, 1-MCP 处理能够有效延缓早熟苹果的成熟衰老进程, 保持果实内在品质, 进而有效改善了早熟苹果常温贮藏期保鲜效果, 延长了货架期。

关键词: 苹果; 1-甲基环丙烯; 贮藏; 品质

文章编号: 1673-9078(2019)12-130-136

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.12.017

Effects of 1-MCP Treatment on the Physiology and Quality of Early-maturing Apples Stored at Ambient Temperature

FENG Yun-xiao¹, HE Jin-gang¹, CHENG Yu-dou¹, LI Li-mei¹, LI Xue-ying², FENG Jian-zhong², GUAN Jun-feng¹

(1. Institute of Genetics and Physiology, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051, China)

(2. Shijiazhuang Pomology Institute, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051, China)

Abstract: Early-maturing apple cultivars have a short shelf-life and can't be stored long. In this study, four early-maturing apple cultivars (lines), 'Jiping 3', '6-25', '4-25' and 'Gala', were used as the research fruits. The effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on the respiration rate, ethylene production rate and fruit quality of the early maturing apples stored at ambient temperature (25℃) were investigated. Compared with the control group, 1-MCP treatment effectively inhibited the rate of respiration, reduced the release of ethylene, delayed the decrease of fruit firmness, and maintained the soluble solid content (except for the Jiping 3) and titratable acid content. Further studies revealed that 1-MCP treatment reduced significantly the flesh browning in 'Jiping3' and '6-25' apples, compared with the control group. After 14 days of storage, the incidence of flesh browning in the 1-MCP-treated 'Jiping3' and '6-25' fruits were zero and only 17.78%, respectively, which were significantly lower than that for the control group ('Jiping3'CK: 87.87%; '6-25'CK: 90.48%). However, 1-MCP treatment had no significant effect on the decay of four early-maturing apple varieties. Thus, the 1-MCP treatment can effectively delay the ripening and aging process of early-maturing apples, maintain their fruit quality, delay the fruit ripening and senescence, thereby effectively improving the preservation of the early-maturing apples stored at ambient temperature and prolonging the shelf life.

Key words: apple; 1-methylcyclopropene (1-MCP); storage; quality

早熟苹果品种具有上市早、效益高的特点, 采后

收稿日期: 2019-06-11

基金项目: 河北省现代农业产业技术体系(HBCT 2018100207); 河北省农林科学院创新工程项目(2019-2-01)

作者简介: 冯云霄(1979-), 女, 助理研究员, 研究方向: 果品贮藏保鲜与加工研究

通讯作者: 关军锋(1966-)男, 博士, 研究员, 研究方向: 果实品质与贮藏加工技术研究

及早进行常温贮存和销售, 但果实在采收时正处高温季节, 采后常温贮运和货架期间成熟衰老速度快, 易发生果肉软化和褐变现象, 货架期较短。因此, 针对早熟苹果存在的这些问题开展研究, 如何延长货架期, 显得尤为重要。乙烯是调控果实成熟衰老过程的重要因子^[1], 通过阻断乙烯合成或其信号转导途径, 可以延缓果实衰老进程, 达到保鲜效果。1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)是一种乙烯受体抑

制剂,其可以通过与乙烯竞争结合受体蛋白,阻断乙烯信号转导,同时反馈抑制乙烯生成,进而达到延缓果实成熟衰老的目的^[2-11]。谢季云^[12]对不同采收期阿克苏红富士苹果研究发现,1-MCP处理对不同采收期果实在贮藏期间品质的影响差异显著。李玉梅^[13]采用大帐控温1-MCP处理和纸箱式1-MCP处理对“天汪一号”和“金冠”苹果处理发现,箱式1-MCP处理能有效抑制天汪一号果实的呼吸速率和乙烯释放速率,保持果实较好品质,但效果不及大帐控温1-MCP处理;箱式1-MCP处理反而促进金冠苹果的乙烯释放和呼吸速率,降低果实品质。王云香^[11]对“红富士”和“黄元帅”两个品种苹果研究发现,1-MCP处理对不同品种苹果不同品质指标的影响不同。尽管,1-MCP处理调节苹果采后品质的研究有一些报道,但1-MCP应用效果受品种、采收期、处理方式^[11-13]等因素影响,且在早熟苹果常温短期贮藏中的应用效果鲜有报道。因此,本研究以冀苹3号、6-25、4-25、嘎拉4个早熟苹果品种(系)为材料,通过分析测定常温贮藏期间苹果生理和品质指标,明晰1-MCP处理对早熟苹果的保鲜效果,以期为苹果采后常温流通和货架销售提供一定的理论依据和技术指导。

1 材料与方法

1.1 材料

3个新选育品种冀苹3号、6-25号和4-25号(河北省农林科学院石家庄果树研究所选育)及嘎拉苹果均于2018年8月4日采自河北省行唐基地果园,采后当天运回实验室,当晚散去田间热后,次日晨进行1-MCP处理。1-MCP商品制品为聪明鲜(Smart Flesh, SF;美国生产,登记证号LS20100129,每小药包含1-MCP有效成分0.014%,重量0.625 g;包装用薄膜(PE, 15 μm 微孔膜)由国家农产品保鲜工程中心(天津)提供。

1.2 方法

1.2.1 处理方法

每个品种设2组处理,每组处理设3个重复,一组将约12 kg苹果果实放入预先铺设微孔膜的瓦楞纸箱中,排除袋内空气,加放1包聪明鲜(SF)后,迅速扎口包装作为1-MCP处理;直接进行扎口包装(不放进聪明鲜)者作为对照(CK)。各处理在室温条件(25 $^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$)下放置24 h,然后打开保鲜膜,常

下(25 $^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$)贮藏14 d,分别于处理后0 d、7 d和14 d测定生理和品质指标。

1.2.2 测定方法

1.2.2.1 呼吸速率和乙烯释放速率测定

将果实置于密闭容器内,抽取上部密闭气体,采用金坛市科析仪器有限公司生产的HWF-1红外线分析仪测定果实二氧化碳含量,换算成呼吸速率;用GC-9790 II型气相色谱仪(浙江福立分析仪器有限公司生产)测定乙烯含量,测定条件为:柱箱温度90 $^{\circ}\text{C}$,汽化室温度140 $^{\circ}\text{C}$,FID温度200 $^{\circ}\text{C}$;载气 N_2 流量30 mL/min,氢气流量30 mL/min,空气流量300 mL/min,结果以乙烯释放速率表示。

1.2.2.2 硬度及可溶性固形物含量(Soluble solid content, SSC)测定

采用GY-4型硬度计(浙江托普仪器有限公司生产),随机选取果实赤道部位相对两点,去皮后进行测定,SSC使用PAL-1型手持数字糖度仪(日本生产)测定。

1.2.2.3 可滴定酸含量

采用酸碱滴定法测定^[12]。

1.2.2.4 果肉褐变和腐烂率

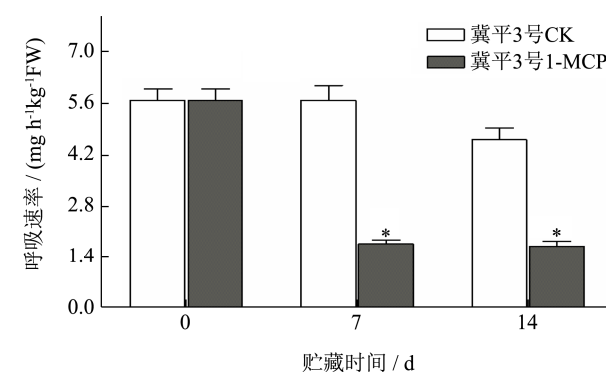
按照果肉褐变果(或腐烂果)数占总果数的百分比计算。

1.3 数据分析

采用SPSS 17.0软件进行不同处理间Duncan检验,显著水平设置为 $p<0.05$,采用Graphpad prism 5软件对数据进行做图。

2 结果与讨论

2.1 1-MCP处理苹果呼吸速率、乙烯释放速率的影响



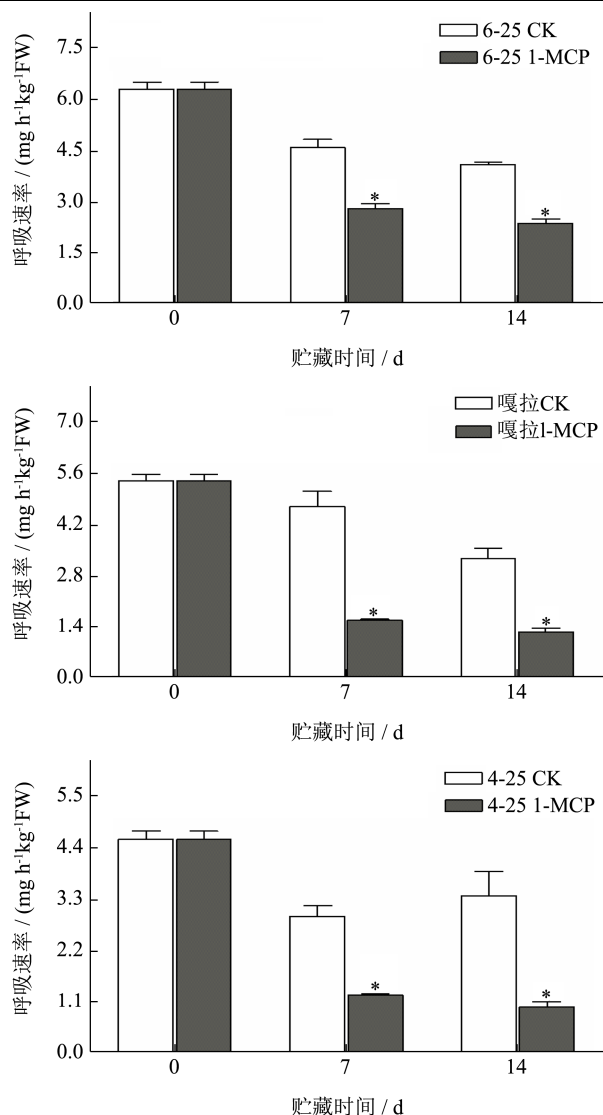


图1 1-MCP 处理对4个苹果品种果实呼吸速率的影响

Fig.1 Effect of 1-MCP treatment on the respiration rate of fruit in four apple cultivars

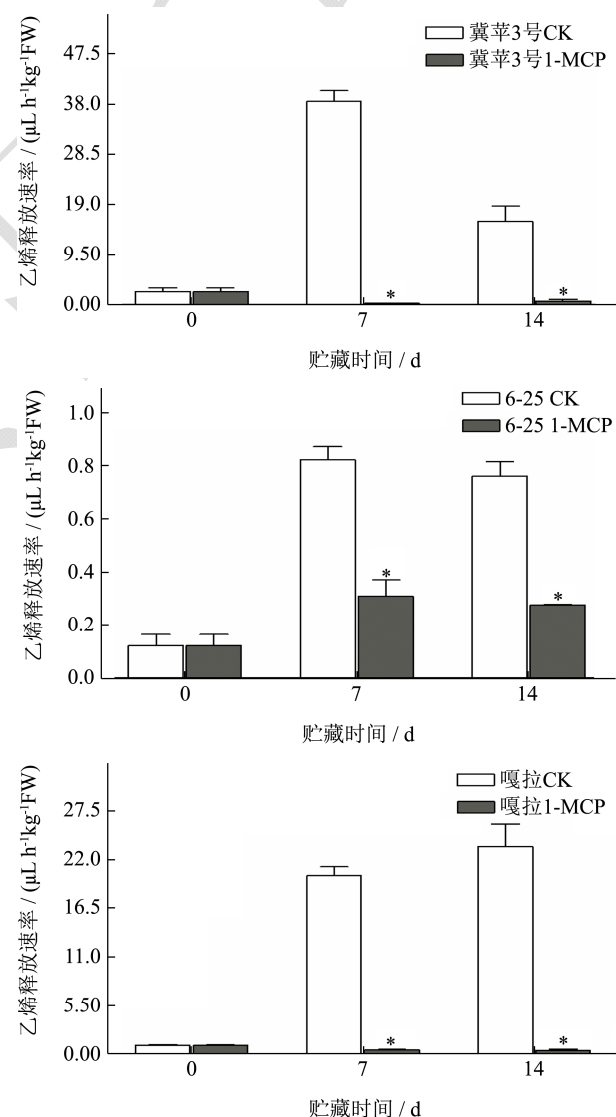
注: *表示不同处理在相同贮藏时间差异显著 ($p < 0.05$)。

以下各图、表相同。

果实采收后仍在进行呼吸和新陈代谢等一系列生理活动, 乙烯在这一过程中扮演着重要的角色。前人研究表明, 1-MCP 能够阻遏乙烯生理作用的发挥, 延缓果实衰老进程, 抑制乙烯的生物合成过程^[14,15]。张锋等^[16]在新红星、富士苹果上的研究表明 1-MCP 处理可以抑制果实常温贮藏期间的呼吸强度和乙烯释放速率。Li^[4]在新红星、程顺昌^[7]在寒富苹果上的研究发现, 1-MCP 处理能较好的抑制苹果贮藏过程中的呼吸强度和乙烯释放量, 推迟呼吸峰、乙烯释放高峰的出现。李江阔^[17]对 0 °C 贮藏后转入货架期红富士苹果研究发现, 1-MCP 可以显著抑制货架期间果实呼吸强度

和乙烯产生速率。

本研究中, 1-MCP 处理能够降低 4 个早熟苹果果实的呼吸速率和乙烯释放速率, 处理初期, 呼吸速率以 6-25 最高[6.59 mg/(h·kg FW)]、4-25 最低[4.68 mg/(h·kg FW)], 随着贮藏时间延长, 4 个品种苹果果实呼吸速率均呈下降趋势。与 CK 相比, 1-MCP 处理能够显著降低果实的呼吸速率(图 1)。不同苹果品种间乙烯释放速率差别较大。在未进行处理的对照果实中, 冀苹 3 号和 6-25 2 个品种乙烯释放速率呈现为先升后降的趋势, 嘎拉与 4-25 为增长趋势; 冀苹 3 号乙烯释放速率最高, 6-25 苹果乙烯释放速率最低。与 CK 相比, 1-MCP 处理能够显著抑制果实乙烯释放(图 2)。这与前人研究相似, 表明 1-MCP 处理可以通过抑制果实的呼吸作用和乙烯释放过程延缓早熟苹果果实的成熟衰老。



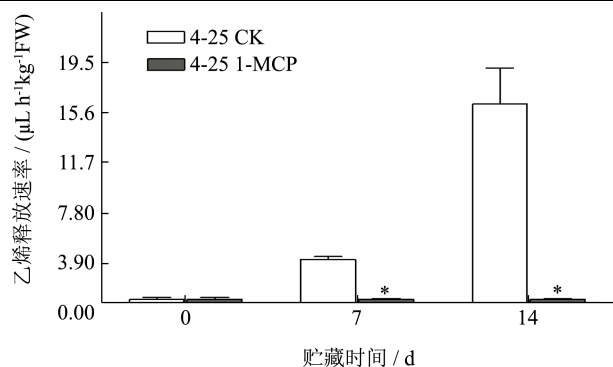


图2 1-MCP 处理对4个苹果品种乙烯释放率的影响

Fig.2 Effect of 1-MCP treatment on the ethylene production rate of fruit in four apple cultivars

2.3 1-MCP 处理对苹果硬度的影响

果实采后品质与生理活动密切相关。硬度影响口感,是衡量果实品质的重要指标之一,随着贮藏期延长,衰老进程推进,果实软化加剧。常温贮藏期间,未处理的对照中,4个品种苹果硬度均呈下降趋势,下降幅度因品种而异,贮藏至14 d时,6-25、冀苹3号、嘎拉和4-25的硬度分别下降了66.67%、59.97%、18.18%和29.74%,果实明显软化。与对照相比,1-MCP处理具有较高的硬度(图3),这与Niu^[5]在新红星苹果、李江阔^[17]在红富士苹果上的研究结果一致,谢季云^[12]通过使用1-MCP对不同成熟度苹果进行熏蒸处理,发现1-MCP处理能延缓冷藏期3个采收期果实硬度下降,且对不同采收期果实硬度的影响差异显著。李玉梅^[13]采用大帐控温1-MCP处理和纸箱式1-MCP处理对‘天汪一号’和‘金冠’苹果处理发现,箱式1-MCP处理能有效保持‘天汪一号’果实较高硬度,但效果不及大帐控温1-MCP处理;箱式1-MCP处理反而降低金冠苹果硬度。王云香^[11]对‘红富士’和‘黄元帅’两个品种苹果研究发现,1-MCP处理对两个品种苹果采后常温贮藏中的硬度无影响。本研究发现,1-MCP处理能延缓4个早熟苹果品种硬度下降趋势(图3)。

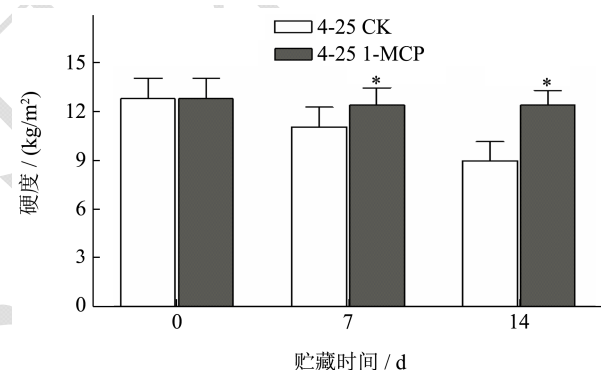
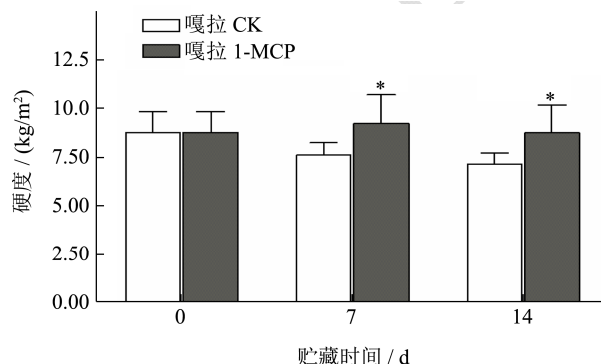
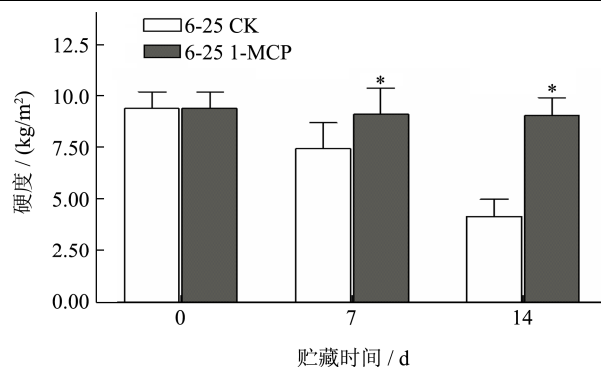
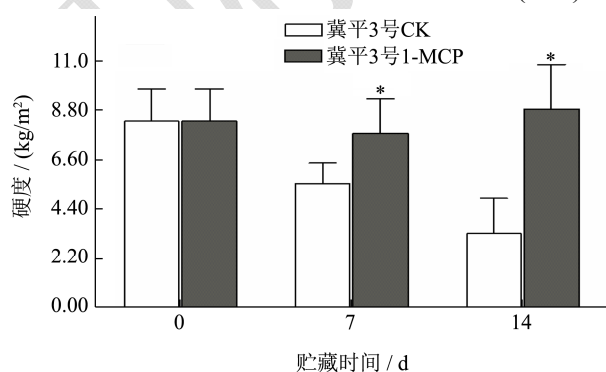
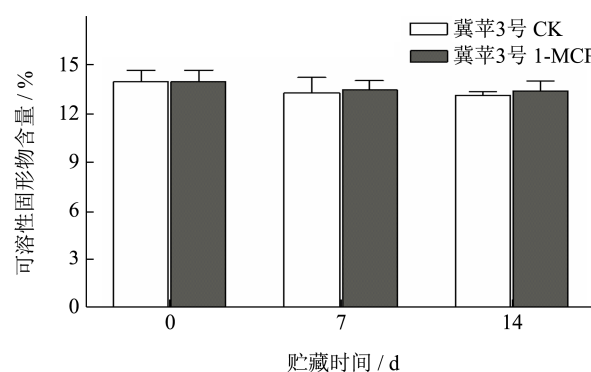


图3 1-MCP 处理对4个苹果品种硬度的影响

Fig.3 Effect of 1-MCP treatment on the flesh firmness of fruit in four apple cultivars

2.4 1-MCP 处理对苹果可溶性固形物含量、可滴定酸含量的影响



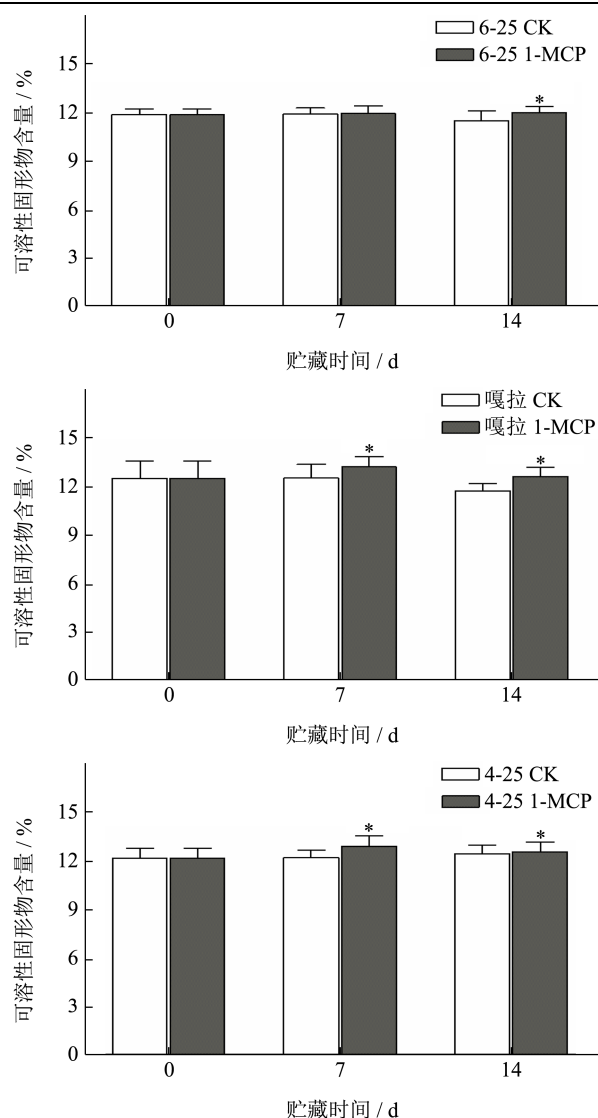


图4 1-MCP处理对4个苹果品种SSC的影响

Fig.4 Effect of 1-MCP treatment on the SSC of fruit in four apple cultivars

可溶性固形物和可滴定酸含量是果实内在品质重要指标,其含量的高低影响果实风味。贮藏期间,1-MCP处理除对冀草3号苹果SSC无显著影响外,可保持6-25(14 d)、嘎拉(7 d和14 d)和4-25(7 d和14 d)3个品种的SSC(图4)。4个苹果品种果实可滴定酸含量均呈下降趋势,与CK相比,1-MCP处理可显著抑制4个品种果实可滴定酸含量降低(图5)。Li^[4]研究发现,1-MCP处理能保持新红星苹果贮藏期间较高的可溶性固形物、可滴定酸含量。王云香^[11]在“红富士”和“黄元帅”苹果上的研究发现,1-MCP延缓可滴定酸含量的下降,但对可溶性固形物含量无影响。李玉梅^[13]对“天汪一号”和“金冠”苹果研究发现,1-MCP处理能有效保持“天汪一号”苹果较高的可滴定酸和可溶性固形物含量,但促进“金冠”苹果可溶性固形物含量的降低。本试验结果表明,1-MCP处理除对

冀草3号苹果可溶性固形物含量无显著影响外,可保持6-25(14 d)、嘎拉(7 d和14 d)和4-25(7 d和14 d)3个品种的可溶性固形物含量(图4),显著抑制4个品种果实可滴定酸含量降低(图5)。进一步说明,1-MCP处理对果实风味物质的作用效果受品种影响。

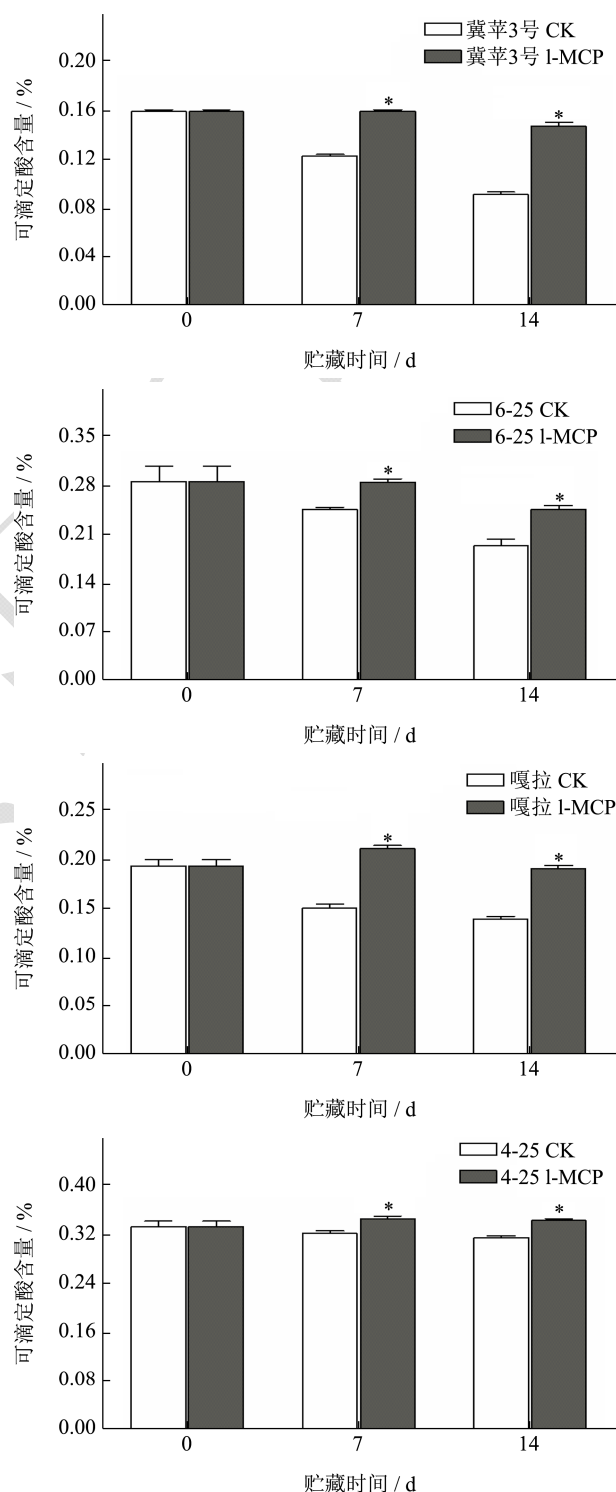


图5 1-MCP处理对4个苹果品种可滴定酸含量的影响

Fig.5 Effect of 1-MCP treatment on TA content of fruit in four apple cultivars

2.6 1-MCP 处理对苹果果肉褐变、腐烂率的影响

表 1 1-MCP 处理对 4 个品种苹果果肉褐变率 (%) 的影响

Table 1 Effect of 1-MCP treatment on the flesh browning ratio (%) of fruit in four apple cultivars

贮藏 天数/d	处理	冀苹 3 号	6-25	嘎拉	4-25
7	CK	27.78±4.81	58.89±8.39	0	0
	1-MCP	0*	9.21±3.57*	0	0
14	CK	87.78±10.72	90.48±8.25	0	0
	1-MCP	0*	17.78±1.92*	0	0

表 2 1-MCP 处理对 4 个品种苹果腐烂率 (%) 的影响

Table 2 Effect of 1-MCP treatment on the decay ratio (%) of fruit in four apple cultivars

贮藏 天数/d	处理	冀苹 3 号	6-25	嘎拉	4-25
14	CK	16.92±2.66	13.69±1.03	0	0
	1-MCP	11.45±3.26	11.25±1.77	0	0

果肉褐变是影响苹果商品价值的重要因素之一, 1-MCP 通过抑制乙烯的生成, 延缓果实衰老和生理病害的发生^[18], 常温贮藏 7 d 时, 未进行处理的对照中, 冀苹 3 号与 6-25 果实出现果肉褐变, 褐变率分别为 27.78% 与 58.89%, 至 14 d 时, 褐变率加重, 分别达 87.78% 与 90.48%; 与 CK 相比, 1-MCP 处理的冀苹 3 号苹果未出现果肉褐变, 6-25 苹果果肉褐变率显著降低。嘎拉与 4-25 苹果 14 d 内未出现果肉褐变 (表 1)。果实腐烂严重影响果实商品价值。常温贮藏 14 d 时, 冀苹 3 号、6-25 出现腐烂, 1-MCP 处理对冀苹 3 号、6-25 果实腐烂无显著影响; 嘎拉、4-25 苹果, 常温贮藏 14 d 内未出现腐烂现象 (表 2)。

表 3 冀苹 3 号、6-25 苹果 7 项生理品质的相关性分析

Table 3 Correlation coefficient of 7 physiology and fruit quality indices of Jiping 3 and 6-25 apple fruits

项目	硬度	可溶性固形物	可滴定酸	果肉褐变	腐烂率	呼吸速率
可溶性固形物	-0.218					
可滴定酸	0.768**	-0.648*				
果肉褐变	-0.629*	-0.446	-0.207			
腐烂率	-0.309	-0.138	-0.353	0.358		
呼吸速率	0.254	0.408	0.478	0.064	-0.472	
乙烯释放速率	-0.451	-0.521	-0.018	0.682*	-0.033	0.535

注: *和**分别表示 0.05 和 0.01 显著水平。

3 结论

1-MCP 能够显著降低 4 个早熟苹果品种果实的呼

李江阔^[17]研究表明, 1-MCP 处理能显著抑制富士苹果贮后货架期间果实腐烂发生。张帆^[19]发现 1-MCP 处理能够降低富士苹果感染灰霉病果实发病的严重程度, 在一定程度上提高果实对灰霉病的抵抗能力。1-MCP 处理还可显著减少凯斯凯德梨和丽江雪桃果肉褐变^[20,21]。本研究表明, 常温 (25 °C) 贮藏 14 d 内, 嘎拉、4-25 苹果未发生腐烂和果肉褐变现象, 1-MCP 处理能够减轻 6-25、抑制冀苹 3 号苹果果实果肉褐变发生, 但对腐烂无影响 (表 1、2)。结合呼吸、乙烯的分析结果, 进一步证实 1-MCP 能够有效延缓常温贮藏早熟苹果果实成熟衰老, 减缓生理病害的发生。

2.7 冀苹 3 号、6-25 苹果 7 项生理品质指标的相关性分析

对发生果肉褐变、腐烂现象的冀苹 3 号、6-25 苹果 7 项生理品质指标相关分析表明, 2 种苹果果实果肉褐变与果实乙烯释放速率有显著性正相关关系、相关系数为 0.682, 与硬度为显著性负相关关系, 相关系数为 -0.629; 硬度与可滴定酸为极显著正相关关系, 相关系数为 0.768, 可滴定酸与可溶性固形物为显著负相关关系, 相关系数为 -0.648。冀苹 3 号、6-25 苹果在采后常温货架期间, 伴随着后熟衰老进程的推移, 果实乙烯释放速率升高, 硬度下降, 可滴定酸含量降低, 果肉褐变发生。进而表明, 冀苹 3 号、6-25 苹果果肉褐变为采后衰老过程中的一种生理性病害。冀苹 3 号、6-25 苹果在常温货架期间发生腐烂现象, 经相关性分析表明, 2 种苹果果实腐烂与乙烯释放速率无显著性相关关系。因此, 1-MCP 能够通过阻断乙烯合成或其信号转导途径延缓果实衰老进程进而减少冀苹 3 号、6-25 种苹果果实果肉褐变发生, 但对腐烂发生无显著影响。

吸速率, 减少乙烯释放, 延缓果实硬度下降, 保持较高 SSC (冀苹 3 号除外) 与可滴定酸含量, 减少冀苹 3 号、6-25 苹果果肉褐变。上述研究结果表明, 1-MCP

处理能够有效保持早熟苹果品种果实内在品质, 延缓成熟衰老进程, 抑制褐变。因此, 该处理可作为延长早熟苹果货架的技术手段。

参考文献

- [1] 殷学仁,张波,李鲜,等. 乙烯信号转导与果实成熟衰老的研究进展[J]. 园艺学报, 2009, 36(1): 133-140
YIN Xue-ren, ZHANG Bo, LI Xian, et al. Ethylene signal transduction during fruit ripening and senescence [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2009, 36(1): 133-140
- [2] Deell J R, Lum G B, Ehsani-Moghaddam B, et al. Effects of multiple 1-methylcyclopropene treatments on apple fruit quality and disorders in controlled atmosphere storage [J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 111: 93-98
- [3] Tomic N, Radivojevic D, Milivojevic J, et al. Effects of 1-methylcyclopropene and diphenylamine on changes in sensory properties of 'Granny Smith' apples during postharvest storage [J]. Postharvest Biology & Technology, 2016, 112: 233-240
- [4] Li F J, Min D D, Song B C et al. Ethylene effects on apple fruit cuticular wax composition and content during cold storage [J]. Postharvest Biology and Technology, 2017, 134: 98-105
- [5] Niu J P, Hou Z, OU Z F, et al. Comparative study of effects of resveratrol, 1-MCP and DPA treatments on postharvest quality and superficial scald of 'Starkrimson' apple [J]. Scientia Horticulturate, 2018, 240: 516-521
- [6] 魏宝东,冷俊颖,程顺昌,等. 1-甲基环丙烯及其结构类似物处理对寒富苹果贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(12): 281-284
WEI Bao-dong, LENG Jun-ying, CHENG Shun-chang, et al. Effect of 1-MCP and its structural analogue on Hanfu apple quality during storage at ambient temperature [J]. Food Science, 2012, 33(12): 281-284
- [7] 程顺昌,冷俊颖,任小林,等. 不同环丙烯类乙烯抑制剂对苹果常温贮藏保鲜效果的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 269-273
CHENG Shun-chang, LENG Jun-ying, REN Xiao-lin, et al. Effect of different 1-substituted cyclopropenes as ethylene inhibitors on postharvest physiology of apple stored at ambient temperature [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28 (6): 269-273
- [8] Saquet A A, Almeida D P F. Ripening physiology and biochemistry of 'Rocha' pear as affected by ethylene inhibition [J]. Postharvest Biology and Tecnology, 2017, 125: 161-167
- [9] Karagiannis E, Michailidis M, Karamanoli K, et al. Postharvest responses of sweet cherry fruit and stem tissues revealed by metabolomic profiling [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2018, 127: 478-484
- [10] 李莹,任亚梅,马学敏,等. 1-MCP 处理结合不同贮藏条件对苹果常温货架品质的影响[J]. 北方园艺, 2014, 11: 137-143
LI Ying, REN Ya-mei, MA Xue-min, et al. Effects of 1-MCP treatment with different storage conditions on quality of apple during shelf life at room temperature [J]. Northern Horticulture, 2014, 11: 137-143
- [11] 王云香,张亚楠,曲桂琴,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. Effect of 1-Methylcyclopropene treatment on postharvest quality of apple fruit stored at ambient temperature [J]. Food Science, 2016, 37(16): 280-285
- [12] 谢季云,赵晓敏,王永琴,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, 38(24): 292-295, 307
XIE Ji-yun, ZHAO Xiao-min, WANG Yong-qin, et al. Effects of 1-MCP treatment on storage quality of Aksu Fuji apple in different harvest time [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(24): 292-295, 307
- [13] 李玉梅,颜敏华,杨昕臻,等. 不同 1-MCP 处理方式对元帅系苹果常温贮藏效果的影响[J]. 保鲜与加工, 2016, 16(3): 27-31
LI Yu-mei, XIE Min-hua, YANG Xin-zhen, et al. Different facilities condition of 1-MCP treatment on storage effect of delicious apple at ambient temperature [J]. Storage and Process, 2016, 16(3): 27-31
- [14] 李富军,翟衡,杨洪强,等. 1-MCP 对苹果果实贮藏期间乙烯合成代谢的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(5): 734-738
LI F J, ZHAI H, YANG H Q, et al. Effects of 1-MCP on ethylene metabolism during apple fruit storage [J]. Chinese Journal of Agricultural Sciences, 2004, 37(5): 734-738
- [15] Huber D J. Suppression of ethylene responses through application of 1-Methylcyclopropene: a powerful tool for elucidating ripening and senescence mechanisms in climacteric and nonclimacteric fruits and vegetables [J]. Hort Science: A publication of the American Society for Horticultural Science, 2008, 43(1): 106-111

(下转第 101 页)