

1-MCP及物流方式对芒果货架品质及软化酶活性的影响

颜廷才¹, 王云舒¹, 史学群², 徐祥彬², 张 鹏³, 李江阔^{3,*}

(1.沈阳农业大学食品学院, 辽宁 沈阳 110866; 2.海南大学食品学院, 海南 海口 570228;

3.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)

摘要: 为了探讨1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)对芒果经不同物流运输后货架品质及软化酶活性的影响,以“红玉”芒果为试材,经1-MCP处理后进行运输包装,选用航空托运和快递空运两种物流方式从海南运至天津,测定不同处理芒果在常温货架期感官、质地、营养、生理及相关酶活性的变化规律。结果表明,经不同物流运输后的芒果在常温货架(25~28℃)条件下,1 μL/L 1-MCP处理能够较好地保持芒果的货架品质,抑制转黄指数和软化衰老程度的下降,延缓呼吸强度、乙烯释放量及多聚半乳糖醛酸酶(PG)和纤维素酶(CX)活性的上升,维持果实较好的可溶性固形物、可滴定酸及VC含量。不同物流运输处理比较分析得出,航空托运优于快递空运,其中果肉平均硬度、可溶性固形物、VC含量、乙烯释放量及CX活性等指标存在显著性差异。结果说明1-MCP结合航空托运是芒果电商的最佳采后处理方式。

关键词: 芒果; 1-甲基环丙烯; 物流; 品质

Influence of 1-MCP and Transportation on the Quality and Softening Enzyme Activity of Mangoes

YAN Tingcai¹, WANG Yunshu¹, SHI Xuequn², XU Xiangbin², ZHANG Peng³, LI Jiangkuo^{3,*}

(1. College of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China; 2. College of Food Science, Hainan University, Haikou 570228, China; 3. National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products (Tianjin), Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products, Tianjin 300384, China)

Abstract: This study was executed to explore effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) and transportation on the quality and activities of softening enzymes of mangoes. “Hongyu” mangoes were packaged after 1-MCP treatment, sent via either air consignment or air express from Hainan to Tianjin. Changes in sensory index, texture, nutrition, physiology and related enzyme activities of mango during subsequent storage at room temperature (25–28 °C) were examined. The results showed that 1 μL/L 1-MCP treatment maintained the quality better, inhibited the declines in yellowish index and the degree of softening, decreased the respiration rate, ethylene emission, slowed down the increase in the activities of poly galactose acid enzyme (PG) and cellulase (CX), and maintained higher levels of sugar, titratable acidity and vitamin C in the fruits. Air consignment was better than air express. The average firmness, soluble solids, vitamin C, ethylene release, CX activity and other indicators displayed significant differences. In conclusion, 1-MCP combined with air consignment is the best choice to transport postharvest mango for online retailers.

Key words: mango; 1-MCP; transportation; quality

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201606042

中图分类号: S662.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2016)06-0231-06

引文格式:

颜廷才, 王云舒, 史学群, 等. 1-MCP及物流方式对芒果货架品质及软化酶活性的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(6): 231-236. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201606042. <http://www.spkx.net.cn>

YAN Tingcai, WANG Yunshu, SHI Xuequn, et al. Influence of 1-MCP and transportation on the quality and softening enzyme activity of mangoes[J]. Food Science, 2016, 37(6): 231-236. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201606042. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2015-07-29

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2015BAD16B09); 天津市科技支撑重点项目(15ZCZDNC00140)

作者简介: 颜廷才(1977—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为果品蔬菜深加工与活性物质提取。E-mail: 55074513@qq.com

*通信作者: 李江阔(1974—), 男, 副研究员, 博士, 研究方向为农产品安全与果蔬贮运保鲜新技术。E-mail: lijkuo@sina.com

芒果以果形美观、色美肉甜、气味芳香而有“热带果王”之称^[1]，其营养价值高，富含VA、VB₁、VB₂、VC以及钙、磷、铁等矿物质^[2]。芒果果肉橙黄，嫩滑细腻，甜酸适度，香味浓郁，具有益胃、解渴、利尿、止晕等功效，对慢性气管炎有较好的祛痰止咳作用^[3]。近年来，随着网络的普及，果蔬等生鲜食品的电商销售模式日渐兴起^[4]，但由于芒果是呼吸跃变型水果，采后呼吸代谢旺盛，容易变黄、变软，芒果极不耐贮运的特性制约了其在电商方向的发展^[5-7]。因此，研究芒果的采后贮运保鲜技术是保证芒果经物流运输后仍能保持较好品质的关键。

1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)是近年来应用于果蔬保鲜中最有效的保鲜剂，其通过与植物体内乙烯受体结合的方式，阻止乙烯与受体的结合，抑制乙烯一系列生理生化反应，从而延缓了果实的成熟衰老。国内外许多研究表明，1-MCP能有效地保持苹果^[8]、番茄^[9]、蓝莓^[10]、甜瓜^[11]等水果的货架品质。目前，1-MCP在芒果保鲜上已有报道，并肯定了1-MCP所起到的生理调控作用，但1-MCP在芒果物流运输后果实的品质调控作用，以及不同物流运输对芒果品质的影响未见相关报道。本实验以“红玉”芒果为试材，经1-MCP处理后放入带通气孔的保鲜箱中，并做好防震减损的包装处理，通过航空托运和快递空运从海南运至天津，研究芒果经不同物流运输后货架品质及相关酶活性的影响，为电商运输生鲜食品提供理论支持及技术指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

“红玉”芒果于2015年5月24号采自海南芒果园，通过航空托运和快递空运运至国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津)。

1-MCP 国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津)。

1.2 仪器与设备

CM-700d分光测色计 日本柯尼卡-美能达公司；TA.XT.Plus物性测定仪 英国SMS公司；PAL-1便携式手持折光仪 日本爱宕公司；TU-1810紫外-可见分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司；3-30K高速冷冻离心机 德国Sigma公司；Check Piont便携式O₂/CO₂测定仪 丹麦PBI Dansensor公司；2010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。

1.3 方法

1.3.1 试材处理

挑选无机械损伤、无病虫害、大小适中、成熟度相近(九成熟)的芒果，称取10 kg放入聚乙烯袋(厚度为

0.02 mm)中，将便携式1 μL/L 1-MCP药剂用纯净水浸湿后放入聚乙烯袋中，立即扎口，处理24 h，以未做处理为对照。处理好后，取出芒果，装入带通气孔的保鲜箱(0.28 m×0.20 m×0.14 m)中，每个芒果间用软质瓦楞纸包裹间隔开，将装好芒果的保鲜箱放入带内衬防震泡沫的纸箱中，以减少物流运输中振动和冲击对果实造成的损伤，再经过航空托运(模拟自营物流配送模式，由专车将货物送到机场，货物到天津后，由专车送至国家农产品保鲜工程技术研究中心)和某快递公司(外包物流配送模式，选择快递上门取货，上门送货的方式运输货物)两种物流方式从海南运至天津，物流时间均为3 d。然后将盛装芒果的保鲜箱在常温(25~28 ℃)条件下存放，测定时间为在收到物流货物当天即为0 d。具体处理如下：

A处理：每个保鲜箱装入6个未做处理的芒果，用软质瓦楞纸包装，采用航空托运的方式运回天津，常温存放；B处理：每个保鲜箱装入6个经1-MCP处理后的芒果，用软质瓦楞纸包装，采用航空托运的方式运回天津，常温存放；C处理：每个保鲜箱装入6个未做处理的芒果，用软质瓦楞纸包装，采用快递空运的方式运回天津，常温存放；D处理：每个保鲜箱装入6个经1-MCP处理后的芒果，用软质瓦楞纸包装，采用快递空运的方式运回天津，常温存放。每个处理共6箱果实，每次实验选3箱果实进行重复实验。

1.3.2 指标测定

1.3.2.1 感官评价

根据赵镛等^[12]在感官评价制定的一般方法和原则，本实验采取评分法，由5位感官评价员，参照表1中的感官评价标准，对“红玉”芒果的味道、色泽、质地与组织形态4个方面进行打分，综合各位感官评价员的评分求得其平均值，作为感官评分值。

表1 “红玉”芒果果实感官评定标准

Table 1 Criteria for sensory evaluation of the mango cultivar “Hongyu”

项目	评分				
	5分	4分	3分	2分	1分
味道	与采收时口感相当或更好	接近采收时的口感	比采收时口感差	风味很淡	有异味
色泽	有青皮，有光泽	表皮较青，光泽稍差	表皮转黄，光泽稍差	表皮呈黄色，无光泽	表皮黄，颜色暗淡，无光泽
气味	果香散发浓郁诱人的香气	果香正常	果香较正常	果香很淡或有异味	发霉和酸的气味
质地与组织形态	果实饱满，硬挺，无霉点，无褶皱	果实较饱满，无霉点，开始出现褶皱	果实稍软，少数霉点，有褶皱	果实软，有霉点，有褶皱	果实软烂，表面有大片的霉斑

1.3.2.2 芒果转黄指数的测定

采用Kobiler^[13]、Jiang Yueming^[14]等方法评价芒果的转黄指数。转黄级别分为：0级，全绿；1级，果蒂转黄；2级，果蒂及果面转黄面积小于1/4；3级，果蒂及果面转黄面积在1/4~1/2之间；4级，果蒂及果面转黄面积

在1/2~3/4之间；5级，果面全部转黄。采取统计法，按下式计算：

$$\text{芒果转黄指数}/\% = \frac{\sum(\text{转黄级别} \times \text{该级别果数})}{\text{最高转黄级别} \times \text{调查总果数}} \times 100$$

1.3.2.3 色差的测定

用分光测色计测量，*a**表示红色程度（+*a*）或绿色程度（-*a*）；*b**表示黄色程度（+*b*）或蓝色程度（-*b*），用标准白板校正。

1.3.2.4 质地指标的测定

采用TA.XT.Plus物性测定仪测定^[15]，利用P/2柱头（Φ2 mm）对芒果进行穿刺，测试深度10 mm，测试速率2 mm/s，重复测定12次。

1.3.2.5 营养指标的测定

总可溶性固形物（total soluble solid, TSS）含量采用PAL-1便携式手持折光仪测定；可滴定酸含量采用自动电位滴定仪测定，参照GB/T 12456—2008《食品中总酸的测定》^[16]；VC含量采用钼蓝比色法^[17]测定。

1.3.2.6 呼吸代谢及软化酶活性的测定

呼吸强度采用静置法^[18]，用Check Piont便携式O₂/CO₂测定仪测定；乙烯释放量采用岛津2010型气相色谱仪程序升温法^[19]测定；聚半乳糖醛酸酶（polygalacturonase, PG）活性采用3,5-二硝基水杨酸比色法^[20]测定；纤维素酶（cellulase, CX）活性采用DNS比色法测定^[21]。

1.4 数据统计分析

采用Excel 2003软件对数据进行统计处理，采用SPSS 17.0软件Duncan氏新复极差法进行数据差异显著性分析，结果以 $\bar{x} \pm s$ 表示。

2 结果与分析

2.1 不同处理对芒果感官指标的影响

表2 不同处理对芒果感官指标的影响

Table 2 Effect of different treatments on sensory attributes of mango

贮藏时间/d	处理组	感官评分	转黄指数/%	<i>a*</i> 值	<i>b*</i> 值
0	A	4.75±0.23 ^a	23.33±0.76 ^b	4.29±0.13 ^a	38.36±1.26 ^{ab}
	B	4.85±0.16 ^a	3.33±0.14 ^d	2.22±0.08 ^b	34.49±1.49 ^c
	C	4.70±0.21 ^a	26.67±0.62 ^a	4.52±0.19 ^a	39.96±1.04 ^a
	D	4.85±0.12 ^a	6.67±0.27 ^c	2.39±0.09 ^b	36.26±1.15 ^{bc}
8	A	2.55±0.10 ^{bc}	80.00±3.92 ^b	6.42±0.26 ^a	41.56±1.75 ^b
	B	2.85±0.12 ^a	56.67±1.47 ^c	4.91±0.19 ^b	37.38±1.36 ^c
	C	2.45±0.10 ^c	86.67±4.32 ^a	6.58±0.25 ^a	44.93±1.88 ^a
	D	2.75±0.13 ^{ab}	60.00±2.38 ^c	5.07±0.15 ^b	38.53±1.54 ^{bc}

注：同一列肩标不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05）。下同。

从表2可以看出，货架初期，各处理芒果在味道、色泽、气味、质地与组织形态上均无显著性差异

（*P*>0.05）。随着货架期的延长，不同处理感官评价均下降，到货架期第8天，用1-MCP处理后的芒果感官评分显著高于对照组（*P*<0.05），在1-MCP处理组间航空托运的感官评分为2.85、快递空运的感官评分为2.75，但两者差异不显著（*P*>0.05），表明1-MCP+航空托运处理更好地延缓芒果感官品质下降。

芒果在货架存放期间，果皮颜色由绿色逐渐转为黄色，第0天时，对照组转黄指数为23.33%~26.67%，而经1-MCP处理的芒果，转黄指数仅在3.33%~6.67%之间，两者达到显著性差异（*P*<0.05），在1-MCP处理组间航空托运的转黄指数为3.33%、快递空运的转黄指数为6.67%，两者达显著性差异（*P*<0.05），表明1-MCP+航空托运处理更有效地减缓芒果转黄的速率。随着货架期的延长，不同处理转黄指数均显著提高，到货架期第8天时，1-MCP处理组的转黄指数显著低于对照组（*P*<0.05），但不同物流运输之间已无显著性差异（*P*<0.05）。

色差*a**值反映了芒果由绿色转向红色的过程。从表2可以看出，随货架时间的延长，各组*a**值呈上升趋势，并且经1-MCP处理的芒果与对照组之间有显著性差异（*P*<0.05）。色差*b**值体现了芒果颜色转向黄色的过程。无论是货架初期还是货架后期，对照组的芒果果皮转黄情况均呈较高状态。可见1-MCP对芒果的转黄有显著的抑制作用。不同物流运输之间，航空托运处理抑制果实转黄效果优于快递空运，但差异不显著（*P*<0.05）。

2.2 不同处理对芒果质地指标的影响

表3 不同处理对芒果质地指标的影响

Table 3 Effect of different treatments on texture properties of mango

贮藏时间/d	处理组	果皮强度/kg	破裂深度/mm	果皮脆性/(g/s)	果皮韧性/(g·s)	果肉平均硬度/g
0	A	2.71±0.10 ^b	3.80±0.17 ^b	1 523.42±46.83 ^b	2 455.38±79.09 ^b	748.83±28.87 ^c
	B	3.16±0.12 ^a	2.61±0.10 ^c	2 182.70±50.81 ^a	1 517.73±43.04 ^a	1 102.59±54.39 ^a
	C	2.67±0.10 ^b	4.04±0.13 ^a	1 439.79±46.72 ^b	2 738.74±80.68 ^b	738.79±29.06 ^c
	D	2.98±0.07 ^a	2.73±0.08 ^c	2 076.19±88.99 ^a	1 836.76±42.17 ^a	1 023.44±50.55 ^b
8	A	1.15±0.05 ^b	5.26±0.21 ^a	484.38±18.72 ^b	2 789.40±89.51 ^b	62.83±2.28 ^b
	B	1.58±0.06 ^a	4.65±0.23 ^b	556.87±27.08 ^a	1 811.77±46.83 ^b	77.70±2.81 ^a
	C	0.92±0.04 ^c	5.53±0.20 ^a	457.57±17.64 ^c	3 171.44±95.81 ^a	53.59±2.21 ^c
	D	1.48±0.07 ^a	4.78±0.16 ^b	515.77±23.92 ^{ab}	2 201.35±59.24 ^c	68.24±3.41 ^b

由表3可知，对照组和1-MCP处理组对比来看，各项指标在整个货架期均呈显著性差异（*P*<0.05）。货架后期，各组芒果的果皮强度、果皮脆性和果肉平均硬度均有大幅度降低，1-MCP处理组和对照组比较，可以看出经1-MCP处理过芒果的软化程度低，果皮强度、果皮脆性和果肉平均硬度均高于对照组，随着芒果成熟度的增加，果皮韧性明显增强，质地穿刺时果皮会出现形变，导致果皮的破裂深度增加。从表3可以看出，货架8 d时，经1-MCP处理的芒果果皮韧性在

1 181.77~2 201.35 g·s, 破裂深度为4.65~4.78 mm, 而对照组芒果果皮韧性达到了2 789.40~3 171.44 g·s, 破裂深度为5.26~5.53 mm, 表明1-MCP处理有效地降低了芒果的成熟程度, 延缓了果实的软化衰老 ($P<0.05$)。不同物流运输之间, 航空托运处理果皮强度、果皮脆性、果皮韧性和果肉平均硬度均高于快递空运, 但只有果皮韧性和果肉平均硬度有显著性差异 ($P<0.05$), 表明航空托运维持果实质地效果优于快递空运, 最佳的处理组合为1-MCP+航空托运。

2.3 不同处理对芒果营养指标的影响

表4 不同处理对芒果营养指标的影响

Table 4 Effect of different treatments on nutrient contents of mango

贮藏时间/d	处理组	TSS含量/%	可滴定酸含量/%	VC含量/(mg/100g)
0	A	11.68±0.51 ^a	1.23±0.06 ^c	34.92±1.30 ^b
	B	8.33±0.32 ^c	1.97±0.09 ^a	44.48±1.33 ^a
	C	10.58±0.35 ^b	1.11±0.05 ^c	37.42±1.44 ^b
	D	8.53±0.39 ^c	1.75±0.07 ^b	42.87±1.72 ^a
8	A	12.77±0.41 ^b	0.97±0.05 ^b	15.89±0.63 ^b
	B	9.37±0.21 ^d	1.47±0.06 ^a	28.66±1.21 ^a
	C	14.05±0.42 ^a	0.36±0.02 ^d	11.95±0.39 ^c
	D	10.40±0.34 ^c	0.61±0.03 ^c	15.53±0.44 ^b

表4表明, 各组芒果的TSS含量均随贮藏时间延长而增加, 但经1-MCP处理的芒果与对照组差异性显著 ($P<0.05$), 第0天时, 对照组TSS含量在10.58%~11.68%之间, 1-MCP处理后的芒果TSS含量只有8.33%~8.53%; 到货架第8天时, 对照组TSS含量升到12.77%~14.05%, 而经1-MCP处理的芒果TSS含量为9.37%~10.40%, 对于不同物流之间, 无论是1-MCP处理组还是对照组, 航空托运对果实TSS含量的保持效果均优于快递空运, 且差异性显著 ($P<0.05$), 说明1-MCP+航空托运最能延缓果实在货架期TSS含量的上升。

从表4可以看出, 各处理芒果的可滴定酸含量均呈下降趋势, 货架期第8天时, 可滴定酸含量B处理>A处理>D处理>C处理, 不仅对照组与1-MCP处理组有显著性差异, 航空托运和快递空运之间也存在显著性差异 ($P<0.05$), 由此可见, B处理方式可滴定酸的维持效果最好。

新鲜芒果含有大量VC, 随着芒果的成熟, VC含量逐渐下降。从表4可以看出, 芒果的VC含量总体呈下降趋势, 对照组和1-MCP处理组存在显著性差异 ($P<0.05$)。在整个货架期间, A处理和C处理VC含量分别下降54.50%和68.07%, B处理和D处理VC含量分别下降35.57%和63.77%, 可见1-MCP对芒果VC含量的减少起到明显的抑制作用, 与对照组之间存在显著性差异 ($P<0.05$)。不同物流运输之间, 在货架前期, 航空托运和快递空运之间并无显著性差异 ($P>0.05$), 但到货架后期, 无论是1-MCP处理组还是对照组, 航空托运对

果实VC含量的维持效果均好于快递空运, 且差异性显著 ($P<0.05$), 说明1-MCP+航空托运的处理组合最能有效地保持芒果的风味。

2.4 不同处理对芒果呼吸代谢及软化酶活性的影响

表5 不同处理对芒果呼吸代谢及软化酶活性的影响

Table 5 Effect of different treatments on respiration and activities of softening enzymes of mango

贮藏时间/d	处理组	呼吸强度/(mg/(kg·h))	乙烯释放量/(μL/(kg·h))	PG活性/(μmol/(g·h))	CX活性/(μmol/(g·h))
0	A	127.21±5.02 ^b	6.21±0.24 ^c	27.61±1.09 ^{ab}	5.27±0.26 ^b
	B	68.45±2.38 ^d	3.41±0.10 ^d	24.22±0.98 ^c	4.52±0.22 ^c
	C	137.38±5.50 ^a	11.60±0.40 ^a	28.45±0.85 ^a	5.39±0.24 ^a
	D	98.27±3.81 ^c	9.52±0.38 ^b	25.97±0.85 ^{bc}	4.84±0.21 ^{bc}
8	A	149.59±5.06 ^e	12.81±0.45 ^b	71.19±2.80 ^a	16.02±0.62 ^b
	B	118.40±4.33 ^e	9.79±0.39 ^e	56.57±2.17 ^c	11.51±0.36 ^d
	C	157.82±4.70 ^e	19.72±0.89 ^a	75.64±2.91 ^a	18.02±0.73 ^a
	D	131.25±5.93 ^b	12.28±0.46 ^b	65.18±1.95 ^b	14.10±0.53 ^c

在芒果衰老褐变过程中, 呼吸和乙烯释放是重要的生理生化过程, 呼吸强度和乙烯释放量也影响芒果贮藏过程中的品质。由表5可知, 在整个货架期, 芒果的呼吸强度整体呈上升趋势, 1-MCP处理组与对照组相比, 在0 d和8 d均显著抑制了呼吸强度的增长, 0 d时B处理的呼吸强度最低为68.45 mg/(kg·h), C处理的呼吸强度最高, 为137.38 mg/(kg·h); 8 d时对照组的呼吸强度上升到149.59~157.82 mg/(kg·h), 1-MCP处理组的呼吸强度只上升到118.40~131.25 mg/(kg·h), 1-MCP处理组间, 航空托运的呼吸强度低于快递空运, 且二者间存在显著性差异 ($P<0.05$)。乙烯释放量反映了芒果的成熟程度, 从表5可以看出, 在货架后期对照C处理组的乙烯释放量最高, 达到19.72 μL/(kg·h), 而经1-MCP处理后的B组乙烯释放量最低, 只有9.79 μL/(kg·h)。可见, 1-MCP处理可以减弱呼吸强度, 延缓乙烯的释放, 从而延长芒果的货架期。但不同物流快递之间也存在显著性差异 ($P<0.05$), 航空托运处理组对乙烯的抑制效果优于快递空运组。

PG和CX是芒果中重要的软化酶。从表5可以看出, 在整个货架期, 芒果PG活性总体呈上升趋势, 但在0 d时, 不同物流处理之间并无显著性差异 ($P>0.05$), 而到第8天时, 1-MCP处理后的芒果PG活性显著低于对照组 ($P<0.05$), 在1-MCP处理组间航空托运的芒果PG活性为56.57 μmol/(g·h)、快递空运的芒果PG活性为65.18 μmol/(g·h), 且两者差异性显著 ($P<0.05$)。结果表明1-MCP+航空托运处理对抑制PG活性的增大最有效。芒果果实的CX活性在整个货架期间都不断增大, 在货架前期, 1-MCP处理组的果实CX活性与对照组差异性显著 ($P<0.05$), 可以有效抑制CX活性的增大, 但航空托运和快递空运之间并无显著性差异

($P>0.05$)，到货架后期，4组处理之间均存在显著性差异($P<0.05$)，其中1-MCP+航空托运的处理方式对CX活性的抑制效果最为明显。

3 讨论与结论

1-MCP作为近年来很受欢迎的乙烯受体抑制剂，在芒果的贮藏保鲜方面已有一些研究。对1-MCP处理方式而言，邵远志等^[22]探讨了1-MCP对芒果采后贮藏品质的影响，结果表明1-MCP处理能够减缓果实中糖和VC含量的变化，抑制果实的软化速度并提高相关酶的活性，从而保持了芒果的风味及营养价值。邱松山等^[23]用1-MCP进行采后熏蒸处理紫花芒，结果表明1-MCP可以很好地延缓芒果的转黄情况与成熟衰老，有效地降低果实的呼吸强度和乙烯释放量，抑制果实过氧化物酶的活性和脂肪氧化酶的活性，延缓了芒果采后的成熟进程，有助于芒果在货架期内品质的保持。孙炳新等^[24]采取1-MCP处理结合低温贮藏的方式对“贵妃”芒果进行保鲜，该方法有效地延缓果实呼吸高峰的出现，推迟了果实的成熟和衰老，降低芒果的转黄指数及贮藏期间质量的损失，经过低温贮藏，延长了芒果的贮藏期。

对1-MCP不同处理时间而言，李敏等^[25]针对1-MCP不同处理时间对芒果品质的影响进行分析比较，实验选取1-MCP处理6、12、18 h三种熏蒸时间，发现3种处理时间均能推迟呼吸高峰的出现，降低果实呼吸强度，延缓乙烯释放量的增加，推迟TSS含量和成熟指数的上升，其中6 h处理效果差于12 h和18 h的处理效果，但12 h处理和18 h处理二者之间对芒果成熟度的影响差异并不明显，所以笔者建议使用12 h的1-MCP熏蒸处理最为理想。

对1-MCP处理不同品种芒果而言，高豪杰等^[26]研究了1-MCP对不同品种、不同采收成熟度的芒果的保鲜效果，实验选取了“红贵妃”、“台农1号”和“金煌”3种芒果，六分成熟和八分成熟两种成熟度的芒果进行比较。结果表明，“台农1号”芒果经1-MCP处理后，两种成熟度的果实TSS含量并无显著性差异，但对于“红贵妃”和“金煌”这两种芒果，六成熟果实TSS含量明显低于八成熟果实；对于同一成熟度的果实，经过相同的1-MCP处理，“台农1号”芒果在贮藏期生理品质变化最快，其病情指数、 a^* 值、TSS含量都高于其他两种芒果，且果实硬度较低，相关酶的活性较高，而“红贵妃”芒果的果实成熟衰老速度最慢。

本实验将采摘后芒果进行1-MCP处理后，经过两种物流运输后货架期的生理品质分析也表明，1-MCP有效抑制果实的转黄、质地的软化，维持了果实的营养品质，这与以往1-MCP处理芒果的保鲜效果有相似之处。但不同的是，两种物流运输方式间存在着差异，在货架

后期果皮韧性、果肉平均硬度、TSS含量、可滴定酸含量、VC含量、乙烯释放量和CX活性方面存在显著性差异，其他指标差异不显著，说明航空托运优于快递空运，差异不明显。芒果电商最佳采后处理方式为1-MCP处理后物流空运，以后可以根据电商的具体销售情况，选择适合的物流运输方式，但目前空运是首选的物流运输方式，但其和陆运的差异如何，通过不同减震、防震减损包装比较可否更好地维持芒果的品质，延长货架期，这是以后完善芒果电商保鲜处理进一步的研究设想。

1-MCP处理能够抑制芒果的转黄，提高果实的感官评分，有效地降低芒果的成熟程度，推迟果实的软化衰老，对TSS、可滴定酸及VC含量起到一定的保持作用，减弱果实的呼吸强度及乙烯释放量，并抑制了PG和CX的活性。从两种物流运输处理来看，与快递空运相比，航空托运更有效地维持了果肉硬度，保持了果实的营养品质，抑制了乙烯释放量及CX活性的增加，但在感官品质及PG活性等指标上差异不显著。因此，芒果物流运输的最适宜保鲜处理组合为1-MCP结合航空托运。

参考文献：

- [1] SIVAKUMAR D, van DEVENTER F, TERRY L A, et al. Combination of 1-methylcyclopropene treatment and controlled atmosphere storage retains overall fruit quality and bioactive compounds in mango[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2012, 92(4): 821-830. DOI:10.1002/jsfa.4653.
- [2] THAI T H, MARIE-NOELLE D. Effects of different coatings on biochemical changes of 'cat Hoa loc' mangoes in storage[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2008, 48: 150-152. DOI:10.1016/j.postharvbio.2007.09.021.
- [3] 苏小军, 蒋跃明, 于新. 芒果采后生物学及贮运保鲜技术研究进展[J]. *仲恺农业技术学院学报*, 2001, 14(1): 60-66. DOI:10.3969/j.issn.1674-5663.2001.01.012.
- [4] 刘诗雅, 冯洪炬, 向红, 等. 电商物流包装存在的问题与对策[J]. *包装工程*, 2015, 36(5): 144-148.
- [5] ALI Z M, CHIN L H, LAZAN H. A comparative study on wall degrading enzymes, pectin modifications and softening during ripening of selected tropical fruits[J]. *Plant Science*, 2004, 167(2): 317-327. DOI:10.1016/j.plantsci.2004.03.030.
- [6] DESSALEGN Y, AYALEW A, WOLDETSADIK K. Integrating plant defense inducing chemical, inorganic salt and hot water treatments for the management of postharvest mango anthracnose[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2013, 85: 83-88. DOI:10.1016/j.postharvbio.2013.05.003.
- [7] 李日旺, 黄国弟, 苏美花, 等. 我国芒果产业现状与发展策略[J]. *南方农业学报*, 2013(5): 875-878. DOI:10.3969/j.issn.2095-1191.2013.5.875.
- [8] 郭燕, 马书尚, 朱玉涵, 等. 1-MCP对不同成熟度粉红女士苹果贮藏生理和品质的影响[J]. *果树学报*, 2007, 24(4): 415-420. DOI:10.3969/j.issn.1009-9980.2007.04.002.
- [9] SU H, GUBLER W D. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on reducing postharvest decay in tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.)[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2012, 64: 133-137. DOI:10.1016/j.postharvbio.2011.06.005.

- [10] 纪淑娟, 周倩, 马超, 等. 1-MCP处理对蓝莓常温货架品质变化的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(2): 322-327. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201402063.
- [11] 马文平, 倪志婧, 任贤, 等. 1-MCP对“玉金香”甜瓜采后果实软化的作用机理[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(2): 103-108.
- [12] 赵镭, 刘文, 汪厚银. 食品感官评价指标体系建立的一般原则与方法[J]. 中国食品学报, 2008, 8(3): 121-124. DOI:10.3969/j.issn.1009-7848.2008.03.022.
- [13] KOBILER I, SHALOM Y, ROTH I, et al. Effect of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid on the incidence of side and stem end rots in mango fruits[J]. Postharvest Biology and Technology, 2001, 23: 23-32. DOI:10.1016/S0925-5214(01)00092-8.
- [14] JIANG Y M, JOYCE D C, MACNISH A J. et al. Extension of the shelf life of banana fruit by 1-methylcyclopropene in combination with polyethylene bags[J]. Postharvest Biology and Technology, 1999, 16: 187-193. DOI:10.1016/S0925-5214(99)00009-5.
- [15] 马庆华, 王贵禧, 梁丽松. 质构仪穿刺试验检测冬枣质地品质方法的建立[J]. 中国农业科学, 2011, 44(6): 1210-1217. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2011.06.016.
- [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. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2009.04.055.
- [17] 李军. 钼蓝比色法测定还原型VC[J]. 食品科学, 2000, 21(8): 42-45. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2000.08.014.
- [18] 李江阔, 张鹏, 关筱歆, 等. 1-MCP结合ClO₂处理对冰温贮藏红提葡萄生理品质的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(22): 305-310.
- [19] 朱广廉, 钟海文, 张爱琴, 等. 植物生理学实验[M]. 北京: 北京大学出版社, 1990: 37-40.
- [20] LOHANI S, TRIVEDI P K, NATH P. Changes in activities of cell wall hydrolases during ethylene-induced ripening in banana: effect of 1-MCP, ABA and IAA[J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 31(2): 119-126. DOI:10.1016/j.postharvbio.2003.08.001.
- [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: 767-775. DOI:10.1093/jxb/50.335.767.
- [22] 邵远志, 陈业渊, 高爱平, 等. 1-MCP对芒果果实贮藏品质及采后生理的影响[J]. 食品科技, 2009, 34(7): 44-47.
- [23] 邱松山, 姜翠翠. 1-甲基环丙烯处理对芒果采后成熟过程的影响[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(4): 207-211. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2010.04.035.
- [24] 孙炳新, 孙海娟, 何晓慧, 等. 1-戊基环丙烯与1-MCP处理对芒果低温贮藏品质的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 14(2): 171-179.
- [25] 李敏, 胡美姣, 高兆银, 等. 1-甲基环丙烯不同时间处理对芒果贮藏生理的影响[J]. 中国农学通报, 2007, 23(9): 573-576. DOI:10.3969/j.issn.1000-6850.2007.09.121.
- [26] 高豪杰, 贾志伟, 李雯, 等. 不同采收成熟度、不同品种的芒果果实对1-MCP处理的反应[J]. 食品科学, 2013, 34(2): 293-297.