

# 1-MCP 处理结合低温贮藏对香梨果实挥发性成分的影响

魏丽丽<sup>1</sup>, 高振正<sup>1</sup>, 蔡啸宇<sup>1</sup>, 党艳青<sup>3</sup>, 王婷婷<sup>1,2\*</sup>

(1.塔里木大学食品科学与工程学院, 新疆阿拉尔 843300) (2.南疆特色农产品深加工兵团重点实验室, 新疆阿拉尔 843300) (3.塔里木大学园艺与园林学院, 新疆阿拉尔 843300)

**摘要:** 该研究以库尔勒香梨为研究对象, 通过 1-甲基环丙烯 (1-Methylcyclopropene, 1-MCP) 处理结合低温贮藏, 采用气相色谱-质谱联用 (Gas Chromatography-Mass Spectrometry, GC-MS) 技术分析其挥发性成分的变化。结果发现, 采用 1-MCP 处理结合低温贮藏对香梨果实中挥发性成分的含量影响显著 ( $P<0.05$ ), 其中乙酸乙酯的含量变化尤为明显。贮藏初期, 香梨果实中醛类含量最高, 为 32.43  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 占总挥发性成分的 61.51%, 其次为酯类, 为 16.25  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 占总挥发性成分的 30.82%, 而醇类和萜烯类含量相对较低。随着贮藏时间延长, 香梨果实中醛类先增加后降低, 酯类、醇类和总挥发性成分持续增加, 而萜烯类的变化不显著 ( $P>0.05$ )。在贮藏最后一次取样时, 酯类为香梨果实中含量最高的挥发性成分, 1-MCP 处理和对照组中的酯类分别为 77.32  $\mu\text{g}/\text{kg}$  和 115.80  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 分别占总挥发性成分的 54.38% 和 68.27%, 而醛类成为了含量第二的挥发性成分。综上, 采用 1-MCP 处理能够显著抑制香梨贮藏过程中酯类、醇类及总挥发性成分的增加 ( $P<0.05$ ), 同时也会延缓醛类的变化趋势, 从而延长香梨的贮藏期。

**关键词:** 香梨; 1-MCP; 贮藏; 挥发性成分; 气相色谱-质谱联用

文章编号: 1673-9078(2023)12-246-252

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.12.1609

## Effect of 1-MCP Treatment Combined with Low-temperature Storage on the Volatile Components of Fragrant Pear (*Pyrus sinkiangensis* Yu) Fruit

WEI Lilei<sup>1</sup>, GAO Zhenzheng<sup>1</sup>, CAI Xiaoyu<sup>1</sup>, DANG Yanqing<sup>3</sup>, WANG Tingting<sup>1,2\*</sup>

(1.College of Food Science and Engineering, Tarim University, Ala'er 843300, China) (2.Production & Construction Group Key Laboratory of Special Agricultural Products Further Processing in Southern Xinjiang, Ala'er 843300, China) (3.College of Horticulture and Landscape Architecture, Tarim University, Ala'er 843300, China)

**Abstract:** In this study, fragrant pear fruit (*Pyrus sinkiangensis* Yu) was taken as the research object, and the changes in volatile composition of the pear fruits subjected to 1-methyl cyclo-propylene (1-MCP) treatment combined with low-temperature storage were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results showed that 1-MCP treatment combined with low-temperature storage had a significant impact on the contents of volatile components in the fragrant pear fruits ( $P<0.05$ ). Among which, the change in the content of ethyl acetate was particularly obvious. At the beginning of storage, the aldehyde content of fragrant pear fruit was the highest (32.43  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , accounting for 61.51% of the total volatile components), followed by esters (16.25  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , accounting for 30.82% of the total volatile components), with the contents of alcohols and terpenes being relatively low. With the extension of storage time, the content of aldehydes in fragrant pear fruits first increased then decreased, the contents of esters, alcohols and total volatile components continued to increase, though the content of terpenes changed insignificantly ( $P>0.05$ ). At the last sampling time of storage, esters were the most abundant volatile components in pear fruits (1-MCP treatment group and control group: 77.32  $\mu\text{g}/\text{kg}$  and 115.80  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , accounting for 54.38% and 68.27% of the total volatile components, respectively), with aldehydes being the second most abundant volatile components. In summary, 1-MCP treatment could

引文格式:

魏丽丽,高振正,蔡啸宇,等. 1-MCP 处理结合低温贮藏对香梨果实挥发性成分的影响[J].现代食品科技,2023,39(12):246-252

WEI Lilei, GAO Zhenzheng, CAI Xiaoyu, et al. Effect of 1-MCP treatment combined with low-temperature storage on the volatile components of fragrant pear (*Pyrus sinkiangensis* Yu) fruit [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(12): 246-252

收稿日期: 2022-12-25

基金项目: 兵团重大科技项目 (2017DB006); 库尔勒香梨种质创新与提质增效兵团重点实验室 2021 年度开放课题项目 (2020DA004-202104)

作者简介: 魏丽丽 (1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工与贮藏, E-mail: 2210024475@qq.com

通讯作者: 王婷婷 (1993-), 女, 硕士, 讲师, 研究方向: 农产品加工与贮藏, E-mail: tingtingwangedu@163.com

significantly inhibit the increase of esters, alcohols and total volatile components during the storage of pear fruits ( $P < 0.05$ ) and also delay the change of aldehydes, thereby prolonging the storage life of fragrant pears.

**Key words:** ragrant pear; 1-methylcyclopropene; storage; volatile compound; GC-MS

库尔勒香梨 (*Pyrus sinkiangensis* Yu) 是新疆的特色水果之一, 果实皮薄质脆肉丰, 多汁味甜, 具有独特的香气, 深受消费者的青睐<sup>[1]</sup>。挥发性成分是果实香气的主要来源, 是对果实风味评价的重要指标, 也是构成果品质量和影响消费者接受性的重要因素, 具有成分复杂、含量低的特点<sup>[2,3]</sup>。因此, 开展香梨果实中挥发性成分及特征香气的研究具有重要意义。目前, 关于香梨特征香气的研究已有文献报道, 陈计峦等<sup>[4]</sup>采用气相色谱-质谱联用 (Gas Chromatography-Mass Spectrometry, GC-MS) 分析了香梨汁的挥发性成分, 一共鉴定出 43 个化合物, 其中己酸乙酯、乙酸乙酯、乙酸己酯、己醛、丁酸乙酯和  $\alpha$ -法尼烯的相对含量较高, Yao 等<sup>[5]</sup>也发现挥发性酯是梨果肉香气的主要贡献者, 且不同品种中不同浓度的挥发性酯决定了其感官属性和消费者偏好; 古丽加依娜等<sup>[6]</sup>采用固相微萃取和静态顶空法结合 GC-MS 分析了砂梨和库尔勒香梨的挥发性成分, 发现香梨中挥发性成分总量和醛类比 3 个砂梨品种的含量高, 己醛、2-己烯醛和己酸乙酯是香梨主要的香气成分; 李芳芳等<sup>[7]</sup>分析了套袋对库尔勒香梨香气成分的影响, 发现香梨果实中醛类相对含量最大, 占 66.67%, 其次为醇类, 占 24.65%, 而酯类、烃类和酮类的相对含量较小, 并且套袋后各类香气物质的含量均有不同程度下降。从现有文献报道来看, 库尔勒香梨中主要香气成分已基本清楚。

香梨在采后贮藏期间的研究主要集中于 1-甲基环丙烯 (1-Methylcyclopropene, 1-MCP)<sup>[8,9]</sup> 处理。1-MCP 是一种乙烯抑制剂, 能抑制果实衰老, 达到保鲜作用<sup>[10]</sup>。研究发现 1-MCP 处理可以有效抑制芒果<sup>[11]</sup>、南果梨<sup>[12]</sup>、李<sup>[13]</sup>等水果的软化, 延长其货架期。由于果实挥发性成分种类及含量受品种<sup>[14]</sup>、气候<sup>[2]</sup>、生长期<sup>[15]</sup>、贮藏<sup>[16]</sup>、加工等因素影响较大, 然而目前鲜有文献报道库尔勒香梨贮藏过程中挥发性成分的变化。因此, 本研究以库尔勒香梨为研究对象, 通过 1-MCP 处理结合低温贮藏, 采用 GC-MS 技术分析香梨在贮藏过程中挥发性成分的变化, 为库尔勒香梨的贮藏保鲜提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

2021 年 9 月初, 库尔勒香梨采摘于新疆阿拉尔市

十团梨园, 采收成熟度一致、带果柄、果皮色泽基本一致、果形整齐、无机械损伤、无病虫害的果实, 装入中转箱, 并及时运回实验室。

### 1.2 试验试剂

1-MCP, 黑龙江省大地丰农业科技开发有限公司; 正构烷烃混标 ( $C_8-C_{20}$ ), 美国 Sigma 公司; 环己酮、乙醇、氯化钠等均为分析纯试剂。

### 1.3 试验仪器

7890B-7000D 气相色谱-质谱联用仪 (GC-MS), 美国 Agilent 公司; 50/30  $\mu\text{m}$  DVB/CAR/PDMS 萃取头, 美国 Supelco 公司; PC420D 恒温磁力搅拌器, 美国 Corning 公司。

### 1.4 试验方法

#### 1.4.1 样品预处理

将库尔勒香梨随机分为两组, 第一组为对照组 (CK), 每个香梨用拷白纸包果, 外套网袋后装箱; 第二组为 1-MCP 处理组 (1-MCP), 每个香梨用拷白纸包果, 外套网袋后装箱, 并在果实上方放 1 袋 1-MCP (0.50 g/袋, 有效成分含量: 0.03%), 然后放置在 4  $^{\circ}\text{C}$ , 相对湿度 90%~95% 的冷库贮藏。于 0、30、60、90、120 d 依次取样, 每次取 10 个果用于挥发性成分分析。

#### 1.4.2 顶空固相微萃取

将香梨果实去核切块后, 放入组织匀浆机中匀浆, 准确称取香梨果浆 10.0 g 至样品瓶中 (事先加入 3.0 g 氯化钠和磁力搅拌转子), 然后加入 10  $\mu\text{L}$  环己酮乙醇溶液 ( $\phi=1\%$ ) 作为内标, 封盖后在磁力搅拌器上 (300 r/min) 室温平衡 30 min, 再顶空固相微萃取 30 min, 最后进样解析 3 min。

#### 1.4.3 GC-MS 条件

##### 1.4.3.1 气相色谱条件

色谱柱: VF-WAX ms 毛细管色谱柱 (60 m  $\times$  0.25 mm  $\times$  0.25  $\mu\text{m}$ , 美国 Agilent); 载气为 He 气, 流速 1.20 mL/min; 进样口温度 250  $^{\circ}\text{C}$ , 检测器温度 240  $^{\circ}\text{C}$ ; 升温程序: 40  $^{\circ}\text{C}$  保持 3 min, 以 3  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  升到 100  $^{\circ}\text{C}$ , 然后以 5  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  升到 180  $^{\circ}\text{C}$  并保持 5 min, 再以 10  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  升到 240  $^{\circ}\text{C}$  并保持 5 min。

##### 1.4.3.2 质谱条件

电离方式为 EI; 电子能量 70 eV; 离子源温度

230 ℃; 传输线温度 270 ℃; 灯丝电流 0.20 mA; 扫描质量范围 30~550 u。

### 1.4.3.3 鉴定方法

检测到的化合物经计算机检索, 与数据库 (NIST17) 相匹配, 只选取相似指数 (SI) 高于 80 的化合物; 并采用正构烷烃混标 (C<sub>8</sub>-C<sub>20</sub>) 在相同条件下进行分析, 参照刘园等<sup>[17]</sup>的方法计算各挥发性成分的保留指数 (RI), 根据 RI 进一步鉴定化合物; 同时以环己酮为内标, 对鉴定出的化合物进行定量分析。

## 1.5 数据分析

所有处理均重复三次, 结果用  $\bar{x} \pm s$  表示, 采用

表 1 香梨挥发性成分的保留时间、分子式、中英文名称及保留指数

Table 1 Retention time, molecular formula, Chinese and English name and retention index of volatile components of fragrant pear

| 序号 | 类别  | 保留时间/min | 分子式                                            | 中文名称          | 英文名称                           | 保留指数  | 气味描述     |
|----|-----|----------|------------------------------------------------|---------------|--------------------------------|-------|----------|
| 1  | 醇类  | 22.634   | C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O               | 1-己醇          | 1-Hexanol                      | 1 317 | 微甜果香     |
| 2  |     | 24.663   | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O               | 3-己烯-1-醇      | 3-Hexen-1-ol                   | 1 352 | 浓郁青叶香    |
| 3  | 醛类  | 11.883   | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O               | 己醛            | Hexanal                        | 1 116 | 青草香      |
| 4  |     | 17.663   | C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O               | 2-己烯醛         | 2-Hexenal                      | 1 268 | 青草香      |
| 5  |     | 29.694   | C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O                | 苯甲醛           | Benzaldehyde                   | 1 493 | 苦杏仁味     |
| 6  |     | 5.742    | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>   | 乙酸乙酯          | Acetic Acid, Ethyl Ester       | <800  | 微果香      |
| 7  |     | 7.795    | C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>  | 丙酸乙酯          | Propanoic Acid, Ethyl Ester    | 864   | 菠萝香      |
| 8  | 酯类  | 10.171   | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>  | 丁酸乙酯          | Butanoic Acid, Ethyl Ester     | 1 047 | 甜果香      |
| 9  |     | 11.242   | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>  | 乙酸丁酯          | Acetic Acid, Butyl Ester       | 1 086 | 愉悦果香     |
| 10 |     | 13.883   | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>  | 戊酸乙酯          | Pentanoic Acid, Ethyl Ester    | 1 146 | 微苹果香     |
| 11 |     | 18.252   | C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>  | 己酸乙酯          | Hexanoic Acid, Ethyl Ester     | 1 243 | 菠萝与香蕉混合香 |
| 12 |     | 19.973   | C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>  | 乙酸己酯          | Acetic Acid, Hexyl Ester       | 1 275 | 浓郁果香     |
| 13 |     | 21.862   | C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>  | 2-己烯-1-醇, 乙酸酯 | 4-Hexen-1-ol, Acetate          | 1 301 | 果香       |
| 14 |     | 22.661   | C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>  | 庚酸乙酯          | Heptanoic Acid, Ethyl Ester    | 1 321 | 菠萝香      |
| 15 |     | 25.861   | C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub> | 丁酸己酯          | Butanoic Acid, Hexyl Ester     | 1 397 | 杏子香      |
| 16 |     | 26.741   | C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub> | 辛酸乙酯          | Octanoic Acid, Ethyl Ester     | 1 421 | 白兰地酒香    |
| 17 |     | 27.641   | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub> | 丁酸-2-己烯酯      | Butanoic Acid, 2-Hexenyl Ester | 1 446 | 甜青果香     |
| 18 |     | 32.701   | C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>   | 苯甲酸甲酯         | Benzoic Acid, Methyl Ester     | 1 541 | 浓郁冬青油香   |
| 19 |     | 33.911   | C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>  | 苯甲酸乙酯         | Benzoic Acid, Ethyl Ester      | 1 573 | 果香       |
| 20 | 萜烯类 | 36.164   | C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>                | $\alpha$ -法尼烯 | $\alpha$ -Farnesene            | 1 672 | 青香       |

## 2.2 香梨贮藏过程中挥发性成分的变化

采用 GC-MS 分析低温贮藏过程中不同时期香梨果实挥发性成分的变化, 总离子流色谱图见图 1, 挥发性成分含量测定结果见表 2。由香梨挥发性成分的总离子流图 (图 1) 可以看出, 贮藏初期 (第 0 天) 香梨挥发性成分的总离子流图色谱峰少且峰高也低, 随着低温贮藏时间延长, 香梨挥发性成分的总离子流图中色谱峰的数量及峰高都明显增加。

在低温贮藏过程中, 香梨中挥发性成分含量的变

化见表 2。由表 2 可以看出采用 1-MCP 处理结合低温贮藏对香梨果实挥发性成分的影响显著 ( $P < 0.05$ )。在贮藏初期 (第 0 天), 香梨果实中只检测出 19 个挥发性成分, 挥发性成分的总含量为 52.72  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 其中己醛、2-己烯醛、苯甲酸乙酯、苯甲醛、己酸乙酯、己醇、3-己烯-1-醇等化合物的含量较高, 超过了 1.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 而其余成分的含量都低于 1.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 说明贮藏初期香梨果实中主要挥发性成分为醛类, 这与文献报道的结果基本一致<sup>[4,18]</sup>。随着贮藏时间延长, 1-MCP 处理组 (1-MCP) 和对照组 (CK) 香梨果实中大部分挥发性

## 2 结果与分析

### 2.1 香梨果实中挥发性成分

在库尔勒香梨低温贮藏过程中, 通过 NIST17 数据库及 RI 对获得的未知色谱峰的鉴定, 从样品中共鉴定出 20 种挥发性成分, 其中酯类 14 种、醇类 2 种、醛类 3 种、萜烯类 1 种, 鉴定出的化合物的保留时间、分子式、中英文名称及保留指数见表 1。

成分的含量发生了显著变化 ( $P < 0.05$ )。在这些挥发性成分中, 己醇、乙酸乙酯、丙酸乙酯、丁酸乙酯、乙酸丁酯、戊酸乙酯、己酸乙酯、乙酸己酯、2-己烯-1-醇, 乙酸酯、庚酸乙酯、丁酸己酯、辛酸乙酯和丁酸-2-己烯酯的含量随着贮藏时间延长而增加, 己酸乙酯作为梨的特征挥发性成分<sup>[19]</sup>, 其变化尤为明显, 从初始的  $3.67 \mu\text{g}/\text{kg}$  (第 0 天) 增加至  $57.46 \mu\text{g}/\text{kg}$  (CK120), 成为香梨果实中含量最高的挥发性成分, 而 3-己烯-1-醇、苯甲醛、苯甲酸甲酯和苯甲酸乙酯的含量随着贮藏时间延长而减少;  $\alpha$ -法尼烯是香梨中检测出的唯一萜烯类挥发性成分, 其含量相对较低, 在贮藏过程中变化不显著 ( $P > 0.05$ ); 己醛和 2-己烯醛具有青草香味, 是香梨贮藏初期的主要挥发性成分, 它们的含量随着贮藏时间延长呈先增加后减少的趋势。

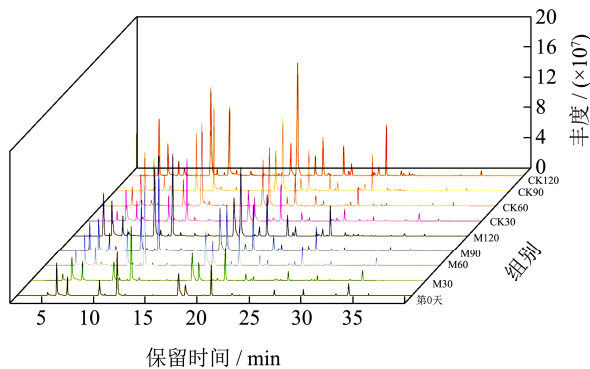


图1 低温贮藏过程中香梨挥发性成分的总离子流图

Fig.1 Total ion flow diagram of the volatile components of the fragrant pear during low-temperature storage

贮藏后期 (第 120 天) 时, (CK120) 香梨果实中挥发性成分检测出 20 个挥发性成分, 1-MCP 处理组 (1-MCP) 和对照组 (CK) 香梨中挥发性成分的总含量分别为  $142.18$  和  $169.60 \mu\text{g}/\text{kg}$ , 其含量是贮藏初期 (第 0 天) 香梨果实挥发性成分含量的 2.70 和 3.22 倍, 其中己醇、己醛、2-己烯醛、乙酸乙酯、丁酸乙酯、己酸乙酯、乙酸己酯、辛酸乙酯、2-己烯-1-醇, 乙酸酯等化合物的含量较高, 超过了  $1.0 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。在这些挥发性成分中, 乙酸乙酯、丁酸乙酯、己酸乙酯、乙酸己酯和辛酸乙酯的变化尤为明显, 在贮藏后期 (第 120 天) 它们的含量是贮藏初期 (第 0 天) 的 10 倍以上, 尤其是对照组 (CK120) 的乙酸乙酯是贮藏初期 (第 0 天) 29.85 倍。陈杨杨<sup>[20]</sup>研究了五个品种的梨果实在  $4^\circ\text{C}$  下贮藏后香气含量的变化, 其中库尔勒香梨的香气含量在贮藏后期较贮藏前期增加, 这与本试验结果相似。乙酸乙酯是一种微带果香的酯, 它的水

平升高通常与过熟和/或无氧代谢有关<sup>[21]</sup>, 说明在贮藏过程中乙酸乙酯可作为香梨果实品质监测指标。

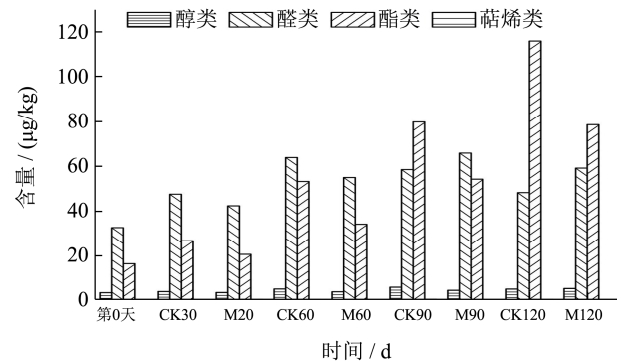


图2 香梨贮藏过程中醇类、醛类、酯类和萜烯类的含量变化

Fig.2 Content changes of alcohols, aldehydes, esters and terpenes during storage of fragrant pear

从香梨果实中检测出的挥发性成分包括醇类、醛类、酯类和萜烯类, 其中醛类和酯类的含量较高, 醇类和萜烯类含量相对较低, 说明醛类和酯类是香梨果实中主要的挥发性成分 (图 2)。在贮藏初期 (第 0 天), 香梨果实中醛类的含量最高, 占挥发性成分总量的 61.51%, 这与李芳芳等报道的结果相似<sup>[7]</sup>, 随着贮藏时间延长, 醛类含量呈先增加后降低的趋势, 然而醛类占挥发性成分总量的百分率持续下降, 在贮藏后期 (第 120 天), 1-MCP 处理组和对照组的醛类占挥发性成分总量的百分率分别降至 44.44% 和 28.32%; 酯类的含量在贮藏初期 (第 0 天) 仅次于醛类, 占挥发性成分总量的 30.82%, 随着贮藏时间延长, 酯类含量呈持续上升趋势, 在贮藏 120 d 时, 1-MCP 处理组和对照组的酯类占挥发性成分总量的百分率分别增加至 54.38% 和 68.27%; 醇类含量也随贮藏时间延长而稳定增加, 而杜林笑<sup>[22]</sup>关于 1-MCP 处理库尔勒香梨的研究中发现, 贮藏前期香梨果实的香气成分含量最高为醇类, 1.0 和 5.0  $\mu\text{L}/\text{L}$  1-MCP 处理的果实中醇类相对含量分别为 25.35%、17.62%; 在贮藏中期和贮藏末期, 1-MCP 处理组和对照组香梨果实香气成分含量最高均为醛类, 这与本研究有明显区别, 可能是因为香梨的种植地、成熟批次与采摘时间不同所致。王震等<sup>[23]</sup>在苹果低温贮藏试验中, 发现酯类、醇类和总的挥发性成分随贮藏时间延长而增加, 与本研究结果基本一致。此外, 1-MCP 处理组醇类、酯类和总挥发性成分均比对照组低 ( $P < 0.05$ ), 说明采用 1-MCP 处理能够抑制香梨贮藏过程中挥发性成分的产生及变化, 这与 Hedges 等<sup>[24]</sup>的研究结果相似。

表 2 香梨贮藏过程中挥发性成分的变化

Table 2 Changes in volatile composition during fragrant pear storage ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )

| 类别  | 化合物           | 30 d                    |                         |                         | 60 d                    |                         |                         | 90 d                    |                         |    | 120 d |    |  |
|-----|---------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----|-------|----|--|
|     |               | CK                      | I-MCP                   | CK                      | CK                      | I-MCP                   | CK                      | CK                      | I-MCP                   | CK | I-MCP | CK |  |
| 醇类  | 乙醇            | 2.19±0.16 <sup>f</sup>  | 2.47±0.19 <sup>f</sup>  | 4.21±0.22 <sup>c</sup>  | 2.96±0.37 <sup>e</sup>  | 5.33±0.35 <sup>a</sup>  | 3.84±0.51 <sup>d</sup>  | 4.64±0.26 <sup>b</sup>  | 4.75±0.40 <sup>b</sup>  |    |       |    |  |
|     | 3-己烯-1-醇      | 1.12±0.17 <sup>a</sup>  | 0.91±0.04 <sup>b</sup>  | 0.74±0.11 <sup>c</sup>  | 0.75±0.13 <sup>c</sup>  | 0.45±0.15 <sup>e</sup>  | 0.53±0.08 <sup>d</sup>  | 0.29±0.05 <sup>f</sup>  | 0.42±0.07 <sup>e</sup>  |    |       |    |  |
|     | 己醛            | 15.08±0.43 <sup>e</sup> | 24.39±0.68 <sup>c</sup> | 21.24±0.75 <sup>d</sup> | 28.71±1.50 <sup>b</sup> | 31.42±1.17 <sup>a</sup> | 34.09±2.18 <sup>a</sup> | 26.23±1.38 <sup>b</sup> | 32.13±1.76 <sup>a</sup> |    |       |    |  |
| 醛类  | 2-己烯醛         | 12.81±0.22 <sup>f</sup> | 19.04±0.63 <sup>d</sup> | 16.75±0.84 <sup>e</sup> | 22.32±0.41 <sup>c</sup> | 24.52±1.18 <sup>b</sup> | 28.63±0.88 <sup>a</sup> | 21.23±1.45 <sup>c</sup> | 25.05±1.52 <sup>b</sup> |    |       |    |  |
|     | 苯甲醛           | 4.54±0.42 <sup>a</sup>  | 3.88±0.53 <sup>a</sup>  | 4.13±0.61 <sup>a</sup>  | 3.72±0.19 <sup>ab</sup> | 2.32±0.09 <sup>c</sup>  | 2.90±0.27 <sup>b</sup>  | 0.57±0.11 <sup>e</sup>  | 1.74±0.08 <sup>d</sup>  |    |       |    |  |
|     | 乙酸乙酯          | 0.59±0.08 <sup>g</sup>  | 2.26±0.12 <sup>f</sup>  | 1.65±0.26 <sup>f</sup>  | 4.11±0.31 <sup>c</sup>  | 11.18±0.52 <sup>b</sup> | 8.28±0.32 <sup>c</sup>  | 17.61±0.44 <sup>a</sup> | 12.47±0.82 <sup>b</sup> |    |       |    |  |
| 酯类  | 丙酸乙酯          | 0                       | 0.19±0.11 <sup>d</sup>  | 0                       | 0.43±0.06 <sup>c</sup>  | 0.27±0.05 <sup>d</sup>  | 1.09±0.11 <sup>b</sup>  | 0.53±0.03 <sup>c</sup>  | 0.95±0.07 <sup>b</sup>  |    |       |    |  |
|     | 丁酸乙酯          | 0.91±0.13 <sup>i</sup>  | 2.59±0.11 <sup>g</sup>  | 1.65±0.12 <sup>h</sup>  | 6.27±0.25 <sup>e</sup>  | 3.97±0.21 <sup>f</sup>  | 8.20±0.64 <sup>d</sup>  | 18.18±0.54 <sup>a</sup> | 13.26±0.27 <sup>b</sup> |    |       |    |  |
|     | 乙酸丁酯          | 0.24±0.12 <sup>c</sup>  | 0.28±0.05 <sup>c</sup>  | 0.37±0.06 <sup>c</sup>  | 0.47±0.09 <sup>bc</sup> | 0.44±0.10 <sup>bc</sup> | 0.30±0.09 <sup>c</sup>  | 0.74±0.06 <sup>a</sup>  | 0.57±0.04 <sup>b</sup>  |    |       |    |  |
|     | 戊酸乙酯          | 0.19±0.08 <sup>f</sup>  | 0.27±0.04 <sup>e</sup>  | 0.32±0.06 <sup>e</sup>  | 0.56±0.11 <sup>c</sup>  | 0.43±0.03 <sup>d</sup>  | 0.64±0.06 <sup>c</sup>  | 1.22±0.03 <sup>a</sup>  | 0.95±0.04 <sup>b</sup>  |    |       |    |  |
|     | 己酸乙酯          | 3.67±0.35 <sup>h</sup>  | 11.38±0.41 <sup>f</sup> | 6.72±0.92 <sup>g</sup>  | 13.65±0.28 <sup>f</sup> | 41.58±1.31 <sup>b</sup> | 24.19±0.69 <sup>e</sup> | 57.46±2.02 <sup>c</sup> | 36.27±1.56 <sup>c</sup> |    |       |    |  |
|     | 乙酸己酯          | 0.59±0.11 <sup>h</sup>  | 1.23±0.09 <sup>f</sup>  | 0.94±0.07 <sup>g</sup>  | 1.65±0.05 <sup>e</sup>  | 4.13±0.27 <sup>b</sup>  | 2.58±0.15 <sup>d</sup>  | 6.82±0.32 <sup>a</sup>  | 3.66±0.21 <sup>c</sup>  |    |       |    |  |
|     | 2-己烯-1-醇, 乙酸酯 | 0.34±0.05 <sup>f</sup>  | 0.72±0.03 <sup>e</sup>  | 0.46±0.04 <sup>f</sup>  | 0.77±0.05 <sup>e</sup>  | 1.58±0.16 <sup>c</sup>  | 1.12±0.08 <sup>d</sup>  | 2.98±0.10 <sup>a</sup>  | 1.87±0.14 <sup>b</sup>  |    |       |    |  |
|     | 庚酸乙酯          | 0.18±0.04 <sup>e</sup>  | 0.31±0.11 <sup>de</sup> | 0.24±0.03 <sup>e</sup>  | 0.36±0.04 <sup>d</sup>  | 0.25±0.03 <sup>b</sup>  | 0.52±0.13 <sup>c</sup>  | 0.98±0.07 <sup>a</sup>  | 0.74±0.05 <sup>b</sup>  |    |       |    |  |
|     | 丁酸己酯          | 0.09±0.03 <sup>c</sup>  | 0.14±0.02 <sup>c</sup>  | 0.07±0.05 <sup>c</sup>  | 0.25±0.03 <sup>b</sup>  | 0.31±0.07 <sup>b</sup>  | 0.34±0.06 <sup>ab</sup> | 0.42±0.05 <sup>a</sup>  | 0.46±0.08 <sup>a</sup>  |    |       |    |  |
|     | 辛酸乙酯          | 0.71±0.12 <sup>f</sup>  | 1.37±0.15 <sup>e</sup>  | 0.96±0.13 <sup>f</sup>  | 2.64±0.36 <sup>cd</sup> | 4.04±0.23 <sup>b</sup>  | 2.91±0.10 <sup>c</sup>  | 6.68±0.31 <sup>a</sup>  | 4.15±0.12 <sup>b</sup>  |    |       |    |  |
| 烯烯类 | 丁酸-2-己烯酯      | 0.28±0.05 <sup>b</sup>  | 0.22±0.04 <sup>b</sup>  | 0.08±0.03 <sup>c</sup>  | 0.41±0.10 <sup>a</sup>  | 0.35±0.06 <sup>ab</sup> | 0.44±0.07 <sup>a</sup>  | 0.46±0.05 <sup>a</sup>  | 0.37±0.03 <sup>a</sup>  |    |       |    |  |
|     | 苯甲酸甲酯         | 0.63±0.07 <sup>a</sup>  | 0.34±0.06 <sup>b</sup>  | 0.55±0.09 <sup>a</sup>  | 0.12±0.02 <sup>c</sup>  | 0.38±0.05 <sup>b</sup>  | 0.19±0.06 <sup>c</sup>  | 0                       | 0.07±0.04 <sup>c</sup>  |    |       |    |  |
|     | 苯甲酸乙酯         | 7.83±0.26 <sup>a</sup>  | 5.25±0.43 <sup>c</sup>  | 6.44±0.35 <sup>b</sup>  | 2.64±0.19 <sup>e</sup>  | 1.37±0.14 <sup>f</sup>  | 3.76±0.11 <sup>d</sup>  | 0.42±0.05 <sup>e</sup>  | 2.53±0.17 <sup>e</sup>  |    |       |    |  |
|     | $\alpha$ -法尼烯 | 0.23±0.06 <sup>a</sup>  | 0.09±0.03 <sup>b</sup>  | 0.32±0.11 <sup>a</sup>  | 0.26±0.04 <sup>a</sup>  | 0.21±0.07 <sup>a</sup>  | 0.22±0.04 <sup>a</sup>  | 0.34±0.05 <sup>a</sup>  | 0.27±0.03 <sup>a</sup>  |    |       |    |  |

注: 每行不同的小写字母表示具有显著差异 ( $P < 0.05$ )。

### 2.3 香梨贮藏过程中挥发性成分变化的主成分分析

以第0天、1-MCP处理组(M)和对照组(CK)的样品中挥发性成分的含量为数据进行主成分分析,获得了样品的挥发性成分的主成分载荷图(图3)。在本研究中,PC-1和PC-2的累积百分率达到了99%,说明这两个主成分能够很好地解释原有数据的变化。由图3可以直观地看出,不同样品与各挥发性成分间的相关关系,样品及挥发性成分在图中所处位置及其距离远近,反应了彼此间的相关性。通过主成分分析,将众多样品和挥发性成分指标实现了区分,香梨样品主要分布载荷图的中间,苯甲醛、3-己烯-1醇、苯甲酸乙酯和苯甲酸甲酯出现在左下方,己醛和己烯醛出现载荷图的右上方,而己醇、 $\alpha$ -法尼烯和其余酯类出现在右侧中间位置。第0天和第30天(CK30和M30)样品分布在左侧中间,与苯甲醛、3-己烯-1醇、苯甲酸乙酯和苯甲酸甲酯的距离近,而随着贮藏时间延长,第120天(CK120)位于右侧下方,它与酯类(不包括苯甲酸乙酯和苯甲酸甲酯)距离近。此外,在M120处理与CK120的距离较大,而M120与CK90的距离近,说明1-MCP处理贮藏120d与对照组90d的挥发性成分组成相似,采用1-MCP处理能抑制香梨果实挥发性成分的变化。

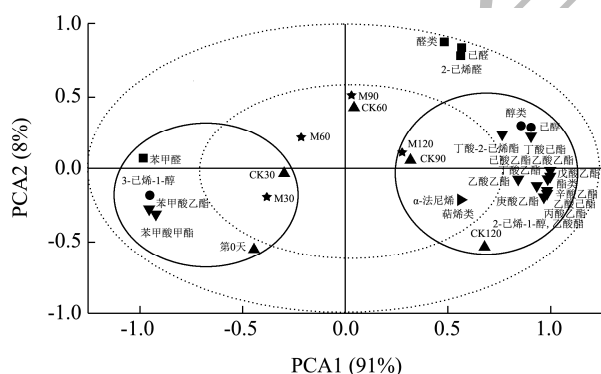


图3 香梨果实挥发性成分的主成分分析

Fig.3 Principal component analysis of the volatile components of fragrant pear fruit

### 3 结论

挥发性成分是构成果品质量的重要因素之一,然而果实挥发性成分种类及含量受品种、气候、生长期、贮藏、加工等诸多因素影响。库尔勒香梨是新疆重要的特色果品之一,目前香梨贮藏过程中理化品质方面的研究报道较多,而有关贮藏过程中挥发性成分的研究鲜有报道。本研究采用GC-MS技术分析了1-MCP

处理结合低温贮藏对香梨挥发性成分的影响,共检测出20种挥发性成分,第0天的香梨果实中己醛、2-己烯醛、苯甲酸乙酯、苯甲醛、己酸乙酯、己醇、3-己烯-1-醇等化合物的含量较高,超过了1.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,其中醛类的含量占比最高(61.51%);随着贮藏时间延长,香梨果实中醛类物质含量先增加后减少,萜烯类无明显变化,而酯类、醇类和总挥发性成分均稳定增加,尤其是酯类增加幅度最大,在贮藏第120天时,1-MCP处理组和对照组的酯类从第0天的26.55  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 分别增加至77.32和115.80  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,并成为香梨果实中占比最大的挥发性成分种类。此外,1-MCP处理能够抑制香梨果实中挥发性成分的变化,尤其对乙酸乙酯、丁酸乙酯、己酸乙酯、乙酸己酯、辛酸乙酯等酯类挥发性成分的形成抑制效果明显。综合来看,低温贮藏过程中,香梨果实会产生大量挥发性成分,形成具有成熟果实的香气,而1-MCP处理能够抑制香梨贮藏过程中挥发性成分的产生,从而延长香梨的贮藏期。此外,乙酸乙酯和己酸乙酯在香梨贮藏过程中持续增加,且增加幅度较大,可作为香梨贮藏过程中质量监测的潜在指标。

### 参考文献

- [1] 杨艳萍,李学文,苏文贵,等.1-MCP对库尔勒香梨采后果实软化的影响[J].新疆农业科学,2013,3:460-465.
- [2] CHEN Qinqin, SONG Jianxin, BI Jinfeng, et al. Characterization of volatile profile from ten different varieties of Chinese jujubes by HS-SPME/GC-MS coupled with E-nose [J]. Food Research International, 2018, 105: 605-615.
- [3] 程焕,陈健乐,周晓舟,等.水果香气物质分析及合成途径研究进展[J].中国食品学报,2016,1:211-218.
- [4] 陈计峦,江英,吴继红,等.固相微萃取GC-MS技术在梨香气成分分析中的应用研究[J].食品与发酵工业,2007,33(3): 107-110.
- [5] YAO Miaomiao, ZHOU Xin, ZHOU Qian, et al. Low temperature conditioning alleviates loss of aroma-related esters of 'Nanguo' pears by regulation of ethylene signal transduction [J]. Food Chemistry, 2018, 264: 263-269.
- [6] 古丽加依娜·多力达西,古丽米娜,韩笑,等.固相微萃取-GC-MS法和静态顶空-GC-MS法同时测定库尔勒香梨的香气成分[J].化学分析计量,2009,18(5):37-40.
- [7] 李芳芳,张虎平,何子顺,等.套袋对'库尔勒香梨'果实糖酸组分与香气成分的影响[J].园艺学报,2014,41(7):1443-1450.
- [8] Kumar S, Thakur K S. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) application and periodic cold storage on ripening of "Bartlett" pear during ambient shelf life periods [J]. Journal

- of Food Processing and Preservation, 2020, 44(6): e14467.
- [9] Guo J, Wei X, Lü E, et al. Ripening behavior and quality of 1-MCP treated d'Anjou pears during controlled atmosphere storage [J]. Food Control, 2020, 117: 107364.
- [10] 刘汝婧,李学文,张婷,等.1-MCP 处理对货架期香梨果实软化的影响[J].新疆农业大学学报,2021,44(5):375-381.
- [11] 梁敏华,邓鸿铃,梁瑞进,等.外源乙烯和 1-甲基环丙烯对'圣心'芒果采后物性和香气特征的影响[J].食品科学,2020,41(15):231-237.
- [12] 张梦媛,白琳,吕静祎,等.1-甲基环丙烯对采后南果梨果实软化的影响[J].食品科学,2018,39(17):206-211.
- [13] 陈鸥,吴雪莹,邓丽莉,等.1-甲基环丙烯处理对采后李果实硬度变化的影响机制[J].食品科学,2020,41(3):185-191.
- [14] YI Xingkai, LIU Guofeng, Mohammad M Rana, et al. Volatile profiling of two pear genotypes with different potential for white pear aroma improvement [J]. Scientia Horticulturae, 2016, 209: 221-228.
- [15] WEI Shuwei, QIN Gaihua, ZHANG Huping, et al. Calcium treatments promote the aroma volatiles emission of pear (*Pyrus ussuriensis* 'Nanguoli') fruit during post-harvest ripening process [J]. Scientia Horticulturae, 2017, 215: 102-111.
- [16] DONG Yu, ZHANG Shaoying, WANG Yan. Compositional changes in cell wall polyuronides and enzyme activities associated with melting/mealy textural property during ripening following long-term storage of 'Comice' and 'd'Anjou' pears [J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 135: 131-140.
- [17] 刘园,向思敏,王江波,等.库尔勒香梨挥发性物质及初生代谢物的GC-MS分析[J].华中农业大学学报,2020,39(1):44-52.
- [18] 向思敏,刘园,王雪其,等.基于 HS-SPME-GC-MS 方法的不同倍性库尔勒香梨果实风味相关代谢物质的变化[J].华中农业大学学报,2020,39(1):53-60.
- [19] Zlatić E, Zadnik V, Fellman J, et al. Comparative analysis of aroma compounds in 'Bartlett' pear in relation to harvest date, storage conditions, and shelf-life [J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 117(4): 71-80.
- [20] 陈杨杨.梨不同品种果实挥发性芳香物质组成特性研究[D].南京:南京农业大学,2019.
- [21] Mehinagic E, Royer G, Symoneaux R, et al. Characterization of odor-active volatiles in apples: influence of cultivars and maturity stage [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(7): 2678-2687.
- [22] 杜林笑,赵晓敏,杨洋,等.1-MCP 处理对库尔勒香梨采后储存期香气成分和品质的影响[J].现代食品科技,2018,34(7): 134-142.
- [23] 王震,彭勇,刘静润,等."鲁丽"苹果低温贮藏和货架期间品质和生理变化[J].食品科学,2023,44(17):136-143
- [24] Hendges M V, Neuwald D A, Steffens C A, et al. 1-MCP and storage conditions on the ripening and production of aromatic compounds in conference and Alexander Lucas pears harvested at different maturity stages [J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 146(6): 18-25.