

# GC-MS 结合 PCA 探究不同加工方式对香梨汁风味品质影响

张芳, 詹萍, 周文杰, 王鹏, 田洪磊  
(石河子大学食品学院, 新疆石河子 832000)

**摘要:** 为探究不同加工方式对库尔勒香梨汁加工中其挥发性物质和感官品质的影响, 采用静态顶空-气相色谱-质谱联用(HS-GC-MS)技术对不同加工方式下制备的香梨汁中的挥发性成分进行分离鉴定, 并结合主成分分析技术对其挥发性成分与感官属性进行相关性分析。研究发现: 果胶酶酶解和巴氏杀菌对香梨汁挥发性物质组成影响极为显著( $p < 0.05$ ), 其中酯类物质丧失或显著降低, 而醇类、烃类和杂环类物质则明显增多。果胶酶酶解和巴氏杀菌处理使香梨汁感官品质降低, 巴氏杀菌使香梨汁异味和蒸煮味异常明显。结合主成分分析(PCA)分析得出, 乙酸乙酯、己酸乙酯、丙酸乙酯、丁酸乙酯、乙醇和壬醛与香梨汁的梨果香感官属性有很好的正相关性, 乙酸己酯与香梨汁的花青香感官属性有很好的正相关性。

**关键词:** 香梨汁; 气相色谱-质谱联用(GC-MS); 主成分分析(PCA); 挥发性物质; 感官属性

文章编号: 1673-9078(2017)12-255-261

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.12.038

## Effects of Different Processing Methods on the Flavor and Quality of Korla Pear Juice Evaluated by GC-MS Combined With PCA

ZHANG Fang, ZHAN Ping, ZHOU Wen-jie, WANG Peng, TIAN Hong-lei  
(College of Food, Shihezi University, Shihezi 832000, China)

**Abstract:** In order to explore the effects of different processing methods on the volatile substances and the sensory attributes of Korla pear juice, the volatile components of Korla pear juices under different processing methods were isolated and identified, and the correlation analysis between the volatile components and the sensory attributes were analyzed by static headspace gas chromatography-mass spectrometry (HS-GC-MS) technology combined with principal component analysis (PCA) technique. The results showed that pectinase enzymolysis and pasteurization had a significant effect on the volatile substances and the sensory attributes of pear juice ( $p < 0.05$ ), in which the esters were lost or significantly reduced, while alcohols, hydrocarbons and heterocycles significantly increased. Pectinase enzymolysis and pasteurization reduced the overall sensory quality of Korla pear juice and pasteurization made the peculiar smell and cooking smell of Korla pear juice significantly abnormal. The PCA analysis showed that there was a good positive correlation between ethyl acetate, ethyl caproate, ethyl propionate, ethyl butyrate, hexyl alcohol as well as nonanal and fruity fragrant sensory properties of Korla pear juice. There is a good positive correlation between hexyl acetate and flower fragrant sensory properties of Korla pear juice.

**Key words:** Korla pear juice; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); the principle component analysis (PCA); volatile substances; sensory quality

库尔勒香梨是蔷薇科 (*Rosaceae*)、梨亚科 (*Pomaceae*)、梨属 (*Pyrus*) 中的白梨系统<sup>[1]</sup>。新疆特殊的自然环境造就了库尔勒香梨优良的品质, 具有皮薄质脆、细嫩多汁和香味浓郁等特点。2016年新疆库尔勒香年产量达到 128.04 万 t (新疆统计公报),

收稿日期: 2017-07-06

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31571846); 国家十三五重点研发计划项目 (2016YFD0400705)

作者简介: 张芳 (1992-), 女, 硕士研究生在读, 研究方向: 食品风味化学

通讯作者: 詹萍 (1981-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品风味化学

然而由于鲜果贮藏期短、易发生顶腐病等问题而制约了香梨鲜果商品率的提升, 香梨汁加工已经成为新疆林果产业经济延伸的主要方向, 然而香梨汁加工过程中风味劣变是困扰香梨汁质量和发展的重大技术难题。

香气成分是构成鲜食果品及其加工制品品质的主要因素<sup>[2]</sup>。众多研究发现水果果实的挥发性香气物质包括 2000 余种各不相同的化合物, 从类别上大致可分为酯类、醛类、酮类、酸类和醇类等<sup>[3]</sup>, 其中梨果实中已鉴定获得的呈香物质成分有 100 余种<sup>[4]</sup>。这些挥

发性物质在鲜果加工过程中往往通过挥发或热反应及酶解等作用而使整体香味轮廓变异, 由于某些或某种成分缺少或含量改变, 整个食品香味轮廓就会偏离新鲜果蔬的原有呈香状态, 从而降低了消费者对产品的接受程度, 甚至失去了加工的意义, 通过香气呈现与劣变机理解析以探究产品香气品质控制技术, 已成为国内外学者研究关注的焦点问题。作为呼吸跃变型果实的库尔勒香梨, 其香气物质具有较高的热敏性, 香梨汁在加工过程中所经历的酶解和巴氏杀菌等重要加工环节均存在不同程度的风味劣变现象, 严重影响了产品的感官品质。而挥发性化合物是水果香味的重要贡献者, 存在于鲜果和加工过的水果中的挥发性化合物对由醛、醇、酮、酯、内酯、萜烯和其它化合物混合形成的香气有着显著性的影响<sup>[5~7]</sup>, 目前学者研究了库尔勒鲜果香梨汁中挥发性物质, 指出库尔勒香梨汁中的主要挥发性香气物质是己醛、乙酸己酯、己酸乙酯、丁酸乙酯、乙酸乙酯<sup>[8,9]</sup>, 对不同加工方式下的库尔勒香梨汁中挥发性物质的研究上未见报道。本论文结合 HS-GC-MS 与 PCA 分析技术研究不同加工方式下库尔勒香梨汁挥发性物质组成, 并结合感官评价手段分析各香梨汁样品的风味呈现差异性, 预期研究成果可为后期香梨汁呈香物质组成变化规律解析、关键加工技术手段改进提供理论依据与技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与设备

库尔勒香梨 (*Pyrus sinkiangensis* yu), 购于新疆石河子市农产品交易市场, 所有梨样本均选自完熟样本, 保存于 3 °C 冷库中; 果胶酶 (酶活力 1608 U/g), 购自诺维信 (中国) 生物技术有限公司; 实验试剂甲苯为色谱级, 购自梯希爱 (上海) 化成工业发展有限公司; 其它试剂均为国产分析纯, 购自国药集团化学试剂有限公司。

H-SBF11 低速榨汁机, 九阳股份有限公司; SHZ-B 水浴恒温振荡器, 金坛市医疗仪器厂; 气相色谱质谱联用仪 (GC-MS) 5977A-7890B, 美国 Agilent 公司; 静态顶空 (HS) 自动进样器 7697A, 美国 Agilent 公司。

### 1.2 库尔勒香梨汁样本的制备

为比较不同处理方式和巴氏杀菌时间对库尔勒香梨汁中挥发性物质变化的影响, 制备了五组不同处理条件的库尔勒香梨汁样本, 包括库尔勒香梨鲜果果汁样本 (XL0)、果胶酶酶解样本 (XL1) 和不同巴氏杀

菌时间样本 (XL2-4), 具体操作条件如下所述。XL0: 为防止库尔勒香梨果汁制汁过程中由于温度的升高而导致样本风味的损失和褐变, 将库尔勒香梨鲜果从冷库取出后, 迅速去除果核, 采用低速榨汁机 (40 r/min) 榨汁, 即可获得库尔勒香梨鲜果果汁样本, 此样本可以切实反映库尔勒香梨鲜果的初始风味品质; 在上述制备的 XL0 样品中加入 64 U 果胶酶, 充分摇匀后置于在 55 °C 下酶解 40 min, 即可获得果胶酶酶解样本 XL1; 将上述 XL1 样本在 65 °C 的条件下分别杀菌 3 min、9 min 和 15 min, 即获得不同巴氏杀菌时间样本 XL2~XL4。

### 1.3 库尔勒香梨汁样本分析方法

#### 1.3.1 HS-GC-MS 分析

HS 条件: 香梨汁样本中的挥发性物质采用静态顶空法 (HS) 进行提取, 具体操作方法为, 取 5.0 g 样品放入 15 mL 顶空瓶内, 后将顶空瓶放入顶空自动进样器中, 于 65 °C 下平衡 30 min, 定量环温度 90 °C, 传输线温度 110 °C, 同时启动仪器采集数据。

GC-MS 条件: 色谱柱为 HP-5 ms 毛细管柱 (30 m×250 μm, 0.25 μm); 采用程序升温方式, 初始温度为 40 °C, 保持 2 min, 以 4 °C/min 的速率升温至 120 °C, 保持 3 min, 以 4 °C/min 的速率升温至 160 °C, 保持 3 min, 以 4 °C/min 的速率升温至 180 °C, 保持 5 min, 以 4 °C/min 的速率升温至 200 °C, 保持 3 min; 进样口温度为 250 °C; 载气 (高纯 He) 流速 1.2 mL/min; 接口温度为 250 °C, 无分流进样。质谱条件: EI 电离源, 载气为氦气, 电子能量为 70 eV, 灯丝电流为 80 μA, 电子倍增器电压为 1000 V, 离子源温度为 200 °C。

定性分析: 分离出的未知物与 NIST library 14 相匹配 (仅选取匹配度大于 80 的鉴定结果), 以及参考相关文献进行鉴定<sup>[8-10]</sup>。

定量分析: 采用面积归一化法<sup>[11]</sup>。

#### 1.3.2 库尔勒香梨汁感官评定

为了解不同处理方式对库尔勒香梨汁风味的影响, 参照王鹏等<sup>[12]</sup>和李丽梅等<sup>[13]</sup>的方法对香梨汁样本进行感官评定, 修改如下: 选取 9 名感官评价员组成评定小组, 并对评价人员进行感官属性的培训。香气的参考标准如下: 梨果香 (压碎的梨香气), 酸香 (上海醋香), 花青香 (1 mg/mL 的苯乙醇的水溶液), 甜香 (含有 5 g 蔗糖的 100 mL 水溶液), 蒸煮味 (在 100 °C 下加热 2 min 的哈密瓜汁 100 mL) 分别从香梨汁 6 个感官属性 (详见模糊性数学模型的建立) 对香梨汁进行评估, 总分均为 100 分, 以 10 分为区分度, 对于难以辨识的则以 5 分细化其强弱属性。评定一个样品后,

要求评定人员以清水漱口,并间隔 10 min 后予以评定下一样品。待全部品评结束后,收集评定人员的评定表,进行后续统计分析。

模糊性数学模型的建立<sup>[14]</sup>:以梨果香、花青香、甜味、酸味、蒸煮味和异味为因素集,表示为 U,则  $U=\{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6\}$ ;此外,对于感官分析中各个属性权重系数的分配参照姬长英等人<sup>[14]</sup>的强制确定法,即权重集  $X=\{0.5, 0.3, 0.2, 0.2, -0.1, -0.1\}$ ,其中式中  $u_1$  为梨果香、 $u_2$  为花清香、 $u_3$  为甜味、 $u_4$  为酸味、 $u_5$  为蒸煮味、 $u_6$  为异味。

### 1.4 数据处理

方差分析 (ANOVA) 采用 SPSS 18.0 软件进行数

据处理,主成分分析(PCA)采用 SPSS 18.0 软件进行数据处理,采用 Origin 16.0 软件绘图,所有数据均进行 3 次平行试验。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理方式香梨汁样本挥发性物质分析

对不同处理条件下制备的香梨汁中的挥发性成分分离鉴定,共检测出 25 种挥发性物质,包括酯类、醇类、酸类、酮类、烃类及杂环类物质,结果见表 1 所示。

表 1 不同处理方式库尔勒香梨汁挥发性成分分析与鉴定

Table 1 Analysis and identification of volatile components of Korla pear juice samples by different treatment methods

序号	名称	RT	XL0	XL1	XL2	XL3	XL4	显著性
A1	乙酸乙酯	2.197	19.63±0.43 <sup>b</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	***
A2	3-溴-2 萘酸	2.203	0.42±0.01 <sup>a</sup>	22.50±0.74 <sup>b</sup>	33.30±0.34 <sup>c</sup>	35.59±0.65 <sup>d</sup>	0.41±0.00 <sup>a</sup>	***
A3	丙酸乙酯	3.271	1.91±0.06 <sup>b</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	***
A4	丙烯醛	4.527	0.22±0.05 <sup>b</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	***
A5	3-甲基环戊醇	5.088	- <sup>a</sup>	37.21±0.79 <sup>c</sup>	28.08±0.30 <sup>b</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	***
A6	2,2-二甲基丙醇	5.108	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	29.81±0.19 <sup>b</sup>	***
A7	丁酸乙酯	5.129	25.89±0.44 <sup>b</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	***
A8	(E)-2-己烯醛	6.53	11.05±0.24 <sup>a</sup>	13.13±0.21 <sup>b</sup>	11.32±0.10 <sup>a</sup>	15.42±0.24 <sup>c</sup>	12.94±0.17 <sup>b</sup>	***
A9	1-碘-4-壬烯	6.359	- <sup>a</sup>	0.58±0.01 <sup>b</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	***
A10	己醇	7.018	21.34±0.25 <sup>d</sup>	5.49±0.14 <sup>b</sup>	7.22±0.13 <sup>c</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	***
A11	辛酸庚酯	7.054	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	13.42±0.28 <sup>c</sup>	10.17±0.15 <sup>d</sup>	***
A12	苯甲醛	9.794	- <sup>a</sup>	0.20±0.01	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	***
A13	己酸乙酯	11.106	3.60±0.11 <sup>c</sup>	1.52±0.03 <sup>b</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	***
A14	乙酸己酯	11.563	0.51±0.02 <sup>b</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	***
A15	壬醛	14.484	2.04±0.08 <sup>c</sup>	1.56±0.06 <sup>b</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	***
A16	庚醇	14.494	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	2.15±0.04 <sup>b</sup>	1.80±0.03 <sup>c</sup>	***
A17	4-戊烯醛	22.112	- <sup>a</sup>	0.54±0.03 <sup>b</sup>	0.89±0.02 <sup>d</sup>	1.35±0.04 <sup>e</sup>	0.79±0.01 <sup>c</sup>	***
A18	癸烷	26.107	2.57±0.08 <sup>b</sup>	- <sup>a</sup>	4.84±0.09 <sup>c</sup>	13.79±0.17 <sup>e</sup>	10.23±0.15 <sup>d</sup>	***
A19	十五烷	29.728	- <sup>a</sup>	6.81±0.12 <sup>b</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	12.36±0.24 <sup>c</sup>	***
A20	甲基甲醇	32.634	2.18±0.05 <sup>b</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	***
A21	三十三烷	32.675	- <sup>a</sup>	4.27±0.06 <sup>b</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	11.36±0.10 <sup>c</sup>	***
A22	十八烷	32.676	- <sup>a</sup>	2.96±0.06 <sup>b</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	***
A23	1-壬醇	34.673	1.06±0.02 <sup>b</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	***
A24	二十八烷	35.239	- <sup>a</sup>	2.41±0.03 <sup>b</sup>	- <sup>a</sup>	6.78±0.10 <sup>c</sup>	- <sup>a</sup>	***
A25	邻苯二甲酸二异丁酯	39.389	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	3.39±0.07 <sup>b</sup>	4.07±0.02 <sup>c</sup>	5.62±0.10 <sup>d</sup>	***

注: <sup>a-e</sup>, 代表不同样品在同一物质上存在显著差异性 ( $p<0.05$ ); -, 表示未检出; RT 表示保留时间 (min); XLx, 表示不同处理香梨果汁样本; \*,  $p<0.05$ ; \*\*,  $p<0.01$ ; \*\*\*,  $p<0.001$ 。

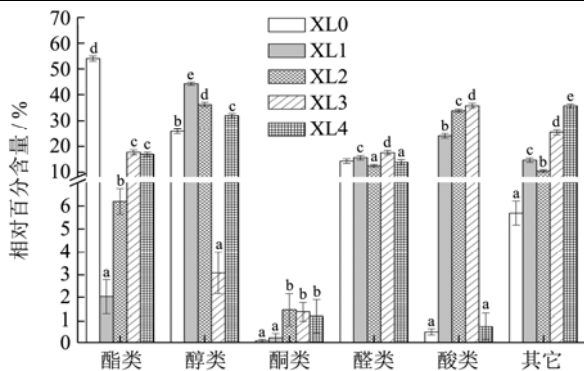


图1 不同处理方式香梨汁样本挥发性成分含量对比

Fig.1 Comparison of volatile components in Korla pear juice samples by different treatment methods

注: <sup>a-c</sup>, 代表不同样品在同一物质种类上存在显著差异性 ( $p < 0.05$ )。

从图1可以看出, 鲜果果汁样本 XL0 中酯类物质 (53.98%) 极显著高于 ( $p < 0.01$ ) 其它样本, 而醇类物质 (25.65%) 和其它类物质 (5.68%), 主要为烃类与杂环类物质) 则显著低于其它样本。与鲜果果汁样本 XL0 相比, 果胶酶酶解样本 XL1 中酯类物质呈显著下降趋势 ( $p < 0.05$ ), 由鲜果样本中的 53.98% 降低至 2.04%, 这可能是由于果胶酶酶解加热过程中造成香梨汁中大量酯类物质挥发所导致的。这一结论与 Su<sup>[15]</sup> 等人的研究较为一致, 即酶解加热过程会使果汁中部分芳香物质遭到破坏或者逸散; 果胶酶酶解样本 XL1 中醇类物质、醛类物质、酸类物质和其它物质则呈显著上升趋势 ( $p < 0.05$ ), 分别增至 44.38%、15.43%、23.88% 和 14.40%, 这可能是由于果胶酶酶解降低了果胶对果汁中芳香性物质的不利影响, 使滞留在果汁内部的部分挥发性醇类和醛类物质被释放出<sup>[16,17]</sup>。XL2-XL4 为巴氏不同杀菌时间处理样本, 其中巴氏杀菌 15 min 样本 XL4 中酯类物质 (16.93%) 和酮类物质 (1.10%) 显著增加 ( $p < 0.05$ ), 酸类物质则呈现显著降低趋势 (0.71%) ( $p < 0.05$ ), 这一结果可能是由于巴氏杀菌加热处理环节会导致香梨汁中热敏物质发生降解和消失, 同时亦会催生一些新的物质的生成<sup>[18,19]</sup>。与此同时, 对比 3 组巴氏杀菌样本 (XL2-XL4) 发现杀菌时间对香梨汁中各类物质存在显著影响 ( $p < 0.05$ ), 随着巴氏杀菌时间的延长, 香梨汁中醇类物质种类增加, 且其含量呈现先降低后增加趋势, 由 33.65% 减少到 3.01% 后增加到 31.92%; 酯类物质和其它类物质含量则呈上升趋势, 分别由原来的 6.10% 和 10.43% 增加到 16.93% 和 35.62%, 这表明巴氏杀菌使香梨汁中的挥发性组分发生了显著性变化 ( $p < 0.05$ ), 在杀菌不同时间段香梨汁中的挥发性物质组成变化也存在显著性差异 ( $p < 0.05$ )。

对比表 1 所示不同处理的香梨汁样本发现, XL0

与 XL1 和 XL2-4 样本的物质组成存在显著性差异 ( $p < 0.05$ ), 其中鲜果香梨汁样本 XL0 经果胶酶酶解后 (XL1), 丁酸乙酯、乙酸乙酯、乙酸己酯、丙酸乙酯、甲基甲醇、丙烯醛、癸烷和 1-壬醇等物质未能检出, 己醇、己酸乙酯和壬醛含量亦显著降低 ( $p < 0.05$ ), 同时亦发现了 3-甲基环戊醇、苯甲醛、4-戊烯醛、十五烷、二十八烷和三十三烷等酶解产物的存在, 查阅参考文献了解到乙酸乙酯、丙酸乙酯和丁酸乙酯具有果香味<sup>[3,16]</sup>, 乙酸己酯具有梨果香<sup>[3,20]</sup>, 苯甲醛和己醇具有花青香<sup>[21]</sup>。在巴氏杀菌初始阶段 (XL2-XL3), 己酸乙酯、壬醛、十五烷、十八烷和二十八烷等物质未检出, 查阅参考文献了解到己酸乙酯具有果香味和花清香<sup>[3]</sup>, 3-甲基环戊醇含量呈现显著降低趋势 ( $p < 0.05$ ), 然而己醇和 4-戊烯醛含量却呈现显著增加趋势 ( $p < 0.05$ ), 同时亦伴随有邻苯二甲酸二异丁酯和癸烷等新物质的生成; 当巴氏杀菌处理 9 min 时, 3-甲基环戊醇和己醇在 XL3 中未检出, 辛酸庚酯和庚醇首次出现, 随着巴氏杀菌时间进一步延长至 15 min 时, (E)-2-己烯醛、辛酸庚酯、庚醇、4-戊烯醛和癸烷含量有降低趋势 ( $p < 0.05$ )。3-溴-2-萘酸和 (E)-2-己烯醛在 5 个样本中均存在, 3-溴-2-萘酸在 5 个样本中的含量分别为 0.42%、17.47%、33.3%、35.59% 和 0.41%; (E)-2-己烯醛在 5 个样本中的含量分别为 11.05%、13.13%、11.32%、15.42% 和 12.94%, 果胶酶酶解样本 XL1 由于酶解工艺使香梨汁在 55 °C 条件下加热 40 min, 使脂氧合酶 (LOX) 酶被重新激活, 部分挥发性化合物如 (E)-2-己烯醛的含量增加<sup>[22,23]</sup>, 查阅参考文献了解到 (E)-2-己烯醛具有脂肪味和青草味<sup>[24]</sup>。

有资料表明梨果汁的主要香气物质是由酯类、醛类和醇类挥发性物质组成<sup>[25-28]</sup>, 结合表 1 和图 1 了解到库尔勒香梨经果胶酶酶解和巴氏杀菌处理后使酯类、醇类、醛类、酸类物质发生极显著性变化, 酮类物质变化显著, 固果胶酶酶解和巴氏杀菌处理是影响香梨汁加工过程中挥发性物质变化的关键操作工序。

## 2.2 不同处理香梨汁样本感官分析

由图 2 风味雷达图可以看出, 其它香梨汁样本 XL1-4 与香梨原汁样本 XL0 相比, 香梨汁在甜味、梨果香和酸味属性上呈现相对较弱趋势, 而在异味和蒸煮味相对较强。XL1 样本在感官评价中表现出较弱的梨果香属性, 这与表 1 的结论较为一致, 即可能是酶解工艺的加热处理使乙酸乙酯、乙酸己酯、丁酸乙酯和丙酸乙酯的丧失和己酸乙酯含量的降低引起的。XL1 样本在感官评价中表现出较强的花香属性, 可能是由于果胶酶酶解后使滞留在梨果皮果胶中的苯甲醛

[16,17]的产生引起的。巴氏杀菌3 min的香梨汁样本XL2与酶解香梨汁样本XL1相比,甜味、花香、梨果香和酸味属性相对较弱,蒸煮味与异味异常凸显,表明巴氏杀菌使香梨汁整体感官品质降低,这与皋香<sup>[18]</sup>和孔祥琪<sup>[29]</sup>的研究结论相一致。由图2看出不同巴氏杀菌样本XL2-XL4在花香、酸味、异味和蒸煮味属性上存在显著变化,且随着杀菌时间的延长,蒸煮味与异味属性呈现增强趋势,其中香梨汁样本XL2-4在感官评价中表现出较强的蒸煮味和异味属性,这与表1的结论较为一致,即可能是巴氏杀菌过程中庚醇、三十三烷含量的增加或苯甲醛和己醇的丧失有关。

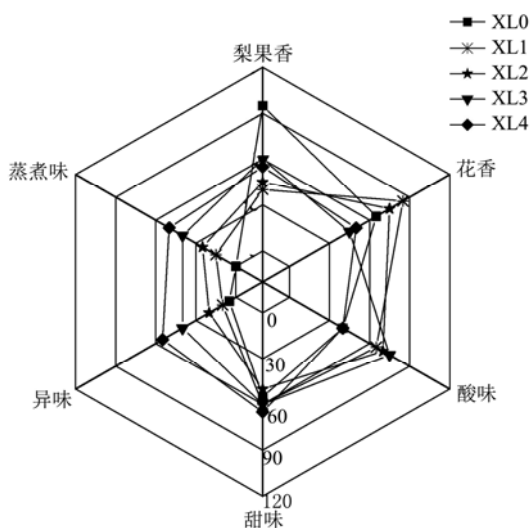


图2 不同处理香梨汁样本风味评价对比图

Fig.2 Comparison of flavor evaluation of Korla pear juice samples by different treatment methods

### 2.3 主成分分析

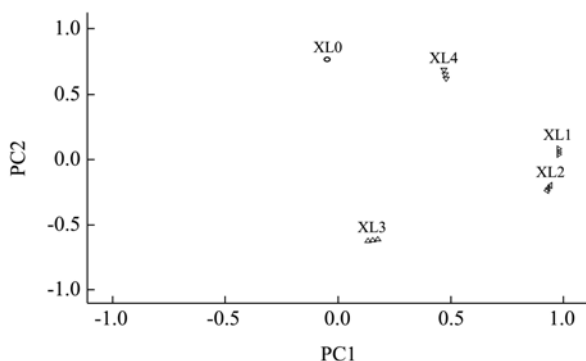


图3 不同处理制备香梨汁样本的PCA得分图

Fig.3 The PCA scores graph of Korla pear juice samples by different treatment methods

以各梨汁样本中各个物质的百分比为数据源进行主成分分析,结果如图3所示。PCA分析中PC1(41.726%)和PC2(28.561%)累计方差贡献为70.286%,能够反映样本的大部分信息,因此选取前

两个主成分(PC1-PC2)进行分析。由图3可以看出,不同处理方式制备的香梨汁样本分别聚集在PCA得分图的不同区域,其中香梨鲜果汁样本XL0位于得分图的左侧上方区域,果胶酶酶解样本XL1与巴氏杀菌15 min样本XL4位于载荷图右上方,巴氏杀菌样本XL2-3则位于载荷图右侧下方。巴氏杀菌样本XL2和果胶酶酶解样本XL1距离间隔较小,表明经果胶酶酶解后的香梨汁样本XL1和巴氏杀菌3 min样本XL2间相似性最大。XL3与XL4位于坐标轴同侧,但两样本间间隔较大,一个在右侧下方区域一个在右侧上方区域,表明其物质组成与各类物质含量相差大。为了更为明确果胶酶酶解和巴氏杀菌时间对香梨汁风味物质的影响,在上述PCA分析的基础上,对不同香梨汁样本挥发性物质与各个感官属性进行了载荷分析,结果如图4所示。

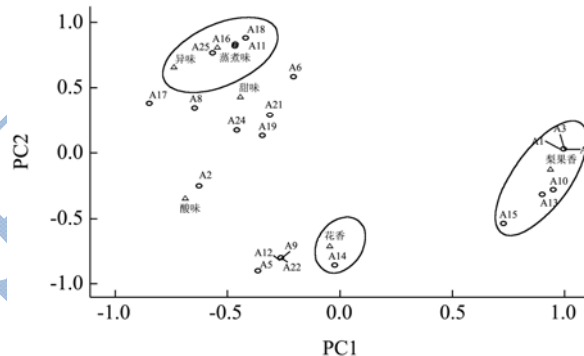


图4 不同处理制备香梨汁样本PCA载荷分析

Fig.4 The PCA load analysis of Korla pear juice samples by different treatment methods

以各梨汁样本中各个挥发性物质的百分比和各样本感官得分为数据源进行主成分分析,结果如图4所示。图4反应了香梨汁6个感官属性和香梨汁中挥发性化合物间的相关性。PCA分析中PC1(47.452%)和PC2(27.823%)累计方差贡献为75.275%,能够反映样本的大部分信息,选取前两个主成分(PC1-PC2)进行分析。在图上距离越近,说明挥发性物质与香梨感官属性的相关性越大。从图4中可以看出,A1(乙酸乙酯)、A3(丙酸乙酯)、A7(丁酸乙酯)、A10(己醇)、A13(己酸乙酯)和A15(壬醛)与香梨汁的梨果香感官属性距离较近,表明这些挥发性物质与香梨汁的梨果香很高的正相关性,这与周鑫<sup>[30]</sup>和秦改花<sup>[31]</sup>研究结论较为一致,研究指出乙酸乙酯、己酸乙酯和丁酸乙酯是梨果实中的果香型香气物质。A14(乙酸己酯)与香梨汁的花青香感官属性距离最近,表明乙酸己酯与香梨汁的花青香有很好的正相关性,这与陈计峦<sup>[3]</sup>的研究结论相一致。A18(癸烷)和A11(辛酸庚酯)、A16(庚醇)和A25(邻苯二甲酸异丁酯)聚集在蒸煮味和异味的周围,这些挥发

性物质与蒸煮味和异味呈现一定的相关性。

### 3 结论

采用 GC-MS 技术对香梨原汁及不同处理方式后的香梨汁中的挥发性成分进行分离鉴定,采用感官评价结合化学计量法进行数据分析整理,得出不同处理方式香梨汁中挥发性物质差异极显著( $p < 0.05$ )。果胶酶酶解和巴氏杀菌处理使香梨汁感官品质降低,果胶酶酶解使香梨汁的梨果香属性减弱,使花香、异味和蒸煮味属性增强;巴氏杀菌使梨果汁的花香属性减弱,使异味和蒸煮味属性增强。果胶酶处理和巴氏杀菌对香梨汁中风味物质散失影响显著,果胶酶处理后梨汁中主要呈香物质乙酸乙酯、乙酸己酯、丁酸乙酯和丙酸乙酯丧失,己醛乙酯、己醇和壬醛含量降低,苯甲醛等新物质生成;巴氏杀菌后梨汁中主要呈香物质己酸乙酯丧失。结合 PCA 分析得出,乙酸乙酯、己酸乙酯、丙酸乙酯、丁酸乙酯、己醇和壬醛与香梨汁的梨果香感官属性有很好的正相关性,乙酸己酯与香梨汁的花香感官属性有很好的正相关性。

### 参考文献

- [1] 许娟. 库尔勒香梨果实生长发育期及贮藏期生理生化特性研究[D]. 乌鲁木齐市: 新疆农业大学, 2015  
XU Juan. Studies on the physiological and biochemical characteristics of Korla fragrant pear during the periods of development and storage [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2015
- [2] Cheng, Canhong, Seal Alan, Macrae Elspeth, et al. Identifying volatile compounds associated with sensory and fruit attributes in diploid *Actinidia chinensis* (kiwifruit) using multivariate analysis [J]. *Euphytica*, 2011, 181(2): 179-195
- [3] 陈计峦. 梨香气成分分析、变化及理化特征指标的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005  
CHEN Ji-luan. Study on the aroma analysis, variation and physicochemical characteristic index of pears [D]. Beijing: China Agricultural University, 2005
- [4] 田长平. 梨种质资源风味品质评价及其代谢机理的初步研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2010  
TIAN Chang-ping. Preliminary studies on flavor quality evaluation and its metabolic mechanism of pear germplasm resources [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2010
- [5] Monica Nuzzi, Roberto Lo Scalzo, Armando Testoni, et al. Evaluation of fruit aroma quality: comparison between gas chromatography-olfactometry (GC-O) and odour activity value (OAV) aroma patterns of strawberries [J]. *Food Analytical Methods*, 2008, 1(4): 270-282
- [6] Luís Miguel Mota, Ana Aguiar, Isabel M P L V O Ferreira, et al. Volatile profiling of kiwifruits (*Actinidia deliciosa* 'Hayward') evaluated by HS-SPME and GC-IT/MS: influence of ripening, training system and storage [J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2012, 5(8): 3115-3128
- [7] Riu-Aumatell M, Castellari M, López-Tamames E, et al. Characterisation of volatile compounds of fruit juices and nectars by HS/SPME and GC/MS [J]. *Food Chemistry*, 2004, 87(4): 627-637
- [8] 陈计峦, 周珊, 王强, 等. 新疆库尔勒香梨的香气成分分析[J]. 食品科技, 2007, 2007(6): 95-98  
CHEN Ji-luan, ZHOU Shan, WANG Qiang, et al. Analysis of aroma components of Xinjiang Kuerle fragrant pear [J]. *Food Science and Technology*, 2007, 2007(6): 95-98
- [9] 涂俊凡, 秦仲麒, 李先明, 等. 砂梨和库尔勒香梨果实香气物质的 GC-MS 分析[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(15): 3186-3190  
TU Jun-fan, QIN Zhong-qi, LI Xian-ming, et al. Analysis of fruit aromatic components of *Pyrus pyrifolia* Nakai and *P. sinkiangensis* yü by GC-MS [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2011, 50(15): 3186-3190
- [10] Li Guopeng, Jia Huijuan, Wu Ruiyuan, et al. Characterization of aromatic volatile constituents in 11 Asian pear cultivars belonging to different species [J]. *African Journal of Agricultural Research*, 2012, 7(34): 4761-4770
- [11] 李健隽. 面积归一化法分析混合气体中各组分含量[J]. 计量与测试技术, 2012, 39(4): 86-88  
LI Jian-jun. Analysis the content of each component in mixed gas with area normalization method [J]. *Journal of Measurement & Testing Technology*, 2012, 39(4): 86-88
- [12] 王鹏, 周文杰, 田洪磊, 等. 基于 GC-MS 结合 PCA 技术探究  $\beta$ -葡萄糖苷酶对蟠桃汁增香效果的研究[J]. 现代食品科技, 2017, 33(2): 197-204  
WANG Peng, ZHOU Wen-jie, TIAN Hong-lei, et al. Effects of  $\beta$ -glycosidase on the aroma enhancement of flat peach juice using GC-MS Combined with PCA [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2017, 33(2): 197-204
- [13] 李丽梅, 李雪梅, 关军锋, 等. 北方 23 个梨品种鲜榨梨汁的理化特性分析和感官评价[J]. 食品与机械, 2013, 29(2): 44-48, 53  
LI Li-mei, LI Xue-mei, GUAN Jun-feng, et al. Analysis of physical and chemical features and sensory evaluation of freshpear juice from twenty-three cultivars in North China [J]. *Food and Machinery*, 2013, 29(2): 44-48, 53

- [14] 姬长英.感官模糊综合评价中权重分配的正确制定[J].食品科学,1991,12(3):9-11  
JI Chang-ying. Correct development of weight assignment in sensory fuzzy comprehensive evaluation [J]. Food Science, 1991, 12(3): 9-11
- [15] S K Su, R C Wiley. Changes in apple juice flavor compounds during processing [J]. Journal of Food Science, 1998, 63(4): 688-691
- [16] Samuel Lubbers, Nicolas Decourcelle. Influence of aroma compounds on the mechanical properties of pectin gels [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(5): 1277-1280
- [17] Lundgren B, Pangborn R M, Daget N, et al. An interlaboratory study of firmness, aroma, and taste of pectin gels [J]. Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie, 1986, 19(1): 66-76
- [18] 皋香.菠萝蜜主要风味成分及其在果汁加工中的变化研究[D].海口:海南大学,2014  
GAO Xiang. Studies on major flavor compounds in jackfruit and jackfruit juice during key processing units [D]. Haikou: University of Hainan, 2014
- [19] 张弛.柑橘汁加工中关键单元操作对香气成分影响的研究[D].武汉:华中农业大学,2007  
ZHANG Chi. Studies on the aroma components in citrus juice during key processing units [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2007
- [20] 牛云蔚.樱桃酒的特征风味及品质调控研究[D].无锡:江南大学,2012  
NIU Yun-wei. Study on characteristic flavor and directional control of cherry wine [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012
- [21] 乔宇.柑橘汁香气活性化合物的鉴定及其在加工和储藏中的变化[D].武汉:华中农业大学,2008  
QIAO Yu. Identification of aroma active compounds of citrus juices and aroma variation during processing and storage [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2008
- [22] HSIEH R J. Contribution of lipoxygenase pathway to food flavors [C]// ACS symposium series (USA), 1994
- [23] In-Sook Kim, Werner Grosch. Partial purification of a lipoxygenase from apples [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1979, 7(2): 243-246
- [24] Beaulieu John C, Stein-Chisholm R E. HS-GC-MS volatile compounds recovered in freshly pressed 'wonderful' cultivar and commercial pomegranate juices [J]. Food Chemistry, 2016: 643-656
- [25] 董萍.南果梨香气成分分析及其在采后贮藏过程中的变化[D].沈阳:沈阳农业大学,2011  
DONG Ping. Analysis of Nanguo pear aroma components and its variation during storag [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2011
- [26] 辛广,张博,李铁纯.固相微萃取气质联用分析圆黄梨和黄金梨香气成分[J].食品科学,2008,29(10):505-507  
XIN Guang, ZHANG Bo, LI Tie-chun. Analysis of aromatic constituents of Yuanhuang pear and Whangkumbae pear [J]. Food Science, 2008, 29(10): 505-507
- [27] Haruyasu Shiota. Changes in the volatile composition of La France pear during maturation [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1990, 52(3): 421-429
- [28] L F Russell, H A Quamme, J I Gray. Qualitative aspects of pear flavor [J]. Journal of Food Science, 1981, 46(4): 1152-1158
- [29] 孔祥琪.番木瓜果汁香气成分及其在热杀菌后的变化研究[D].海口:海南大学,2016  
KONG Xiang-qi. Studies on aroma compounds in papaya (*Carica papaya* L.) juice and aroma variation after thermal sterilization [D]. Haikou: Hainan University, 2016
- [30] 周鑫.冷藏及1-MCP处理对南果梨酯类香气影响的分子机制及香气“唤醒”研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2015  
ZHOU Xin. Research on the effects and molecular mechanism of refrigeration and 1-MCP treatment on aroma-related esters of Nanguo pears and regulation measures [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2015
- [31] 秦改花.梨果实挥发性芳香物质组成及其形成特性分析[D].南京:南京农业大学,2012  
QIN Gai-hua. Analysis on volatile aroma constituent and its formation characteristics of pears [J]. Nanjing: Nanjing Agricultural College, 2012