

# 不同果汁中有机酸的组成及差异性分析

李佳秀,张春岭,刘慧,吕真真,刘杰超,焦中高\*

(中国农业科学院郑州果树研究所,郑州 450009)

**摘要:**【目的】建立果汁中有机酸的液相色谱分析指纹图谱数据库,为果汁质量控制和科学评价提供依据。【方法】以6类水果53个品种为材料,采用高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)的外标法对果汁中的6种有机酸进行组分检测,通过主成分分析和聚类分析研究了果汁的异同性。【结果】樱桃、苹果、梨果汁的主要有机酸是苹果酸,桃汁的主要有机酸是苹果酸和奎宁酸,蓝莓汁的主要有机酸是枸橼酸,石榴汁的主要有机酸是苹果酸、枸橼酸和草酸,草酸是石榴汁中独有的有机酸。不同种类果汁具有相似的有机酸组成,同一种类果汁有机酸组分相同,但含量不同。主成分分析和聚类分析可直观反映不同种类、不同品种果汁中有机酸的构成特点,可将除石榴汁和梨汁外不同种类果汁进行区分和聚类。【结论】通过果汁有机酸的液相色谱指纹图谱,利用果汁中有机酸组成、含量及相互比值,通过主成分分析和聚类分析可以区分和鉴别不同种类果汁,为不同种类果汁的鉴别和质量控制提供了理论依据。

**关键词:** 果汁;有机酸;高效液相色谱;主成分分析;聚类分析

中图分类号: S66 文献标志码: A 文章编号: 1009-9980(2017)09-1192-12

## Composition and variability of organic acid in different fruit juices

LI Jiaxiu, ZHANG Chunling, LIU Hui, LÜ Zhenzhen, LIU Jiechao, JIAO Zhonggao\*

(Zhengzhou Fruit Research Institute, CAAS, Zhengzhou 450009, Henan, China)

**Abstract:** 【Objective】Organic acids are important nutrients and flavor substances in fruits and their processing products. Determination and analysis of the composition and contents of organic acids in fruits and their processing products can not only contribute to identifying their flavor characteristics and nutritional value, but can also be used for quality control and identification of adulteration of fruit processing products. The composition and contents of organic acids in different fruit juices were analyzed and researched, and the organic acid HPLC fingerprint database of fruit juices was established to provide a basis for quality control and scientific evaluation of fruit juices. 【Methods】Six fruit species, a total of 53 cultivars of fruit, were taken as test materials, the high performance liquid chromatography method was used to determine the organic acids of fruit juices after all the fruits were made into juice. The HPLC system contained a quaternary pump, an autosampler, and a photodiode array detector with an Ultimate® AQ-C18 (4.6 mm×250 mm, 5 μm) column. Chromatography separation was performed at 30°C, the mobile phase consisted of a 0.02 mol·L<sup>-1</sup> (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> buffer solution (pH=2.40) using an isocratic elution procedure with a flow rate of 1.0 mL·min<sup>-1</sup>, the injected sample volume was 10 μL, and absorbance was measured at 210 nm. Quantification was calculated by an external standard method. The chemometric methods (principal component analysis and cluster analysis) using SAS 9.3 statistical software was used to evaluate differences among the fruit juices from different fruit species. 【Results】Eight organic acids could be successfully separated under the above experimental conditions. All the calibration curves for these organic acids displayed a good linear relationship, the relative standard deviation of precision was 0.24%–1.73%, and

收稿日期: 2017-02-20 接受日期: 2017-06-03

基金项目: 河南省基础与前沿技术研究计划项目(152300410139)

作者简介: 李佳秀,女,在读硕士研究生,研究方向为果品加工与安全。E-mail:1262697033@qq.com

\*通信作者 Author for correspondence. Tel: 0371-65330950, E-mail: jiaozhonggao@caas.cn

the spiked recoveries were between 88.33% and 103.55%. There were 4–5 organic acids identified in all the fruit juices. Four organic acids of malic acid, shikimic acid, citric acid and fumaric acid were identified in cherry juices; malic acid was the most abundant acid, accounting for more than 90% of the total organic acid content, with levels ranging between 6 666.12 and 14 189.78 mg · L<sup>-1</sup>. Five organic acids of quinic acid, malic acid, shikimic acid, citric acid and fumaric acid, were identified in peach, apple, blueberry and pear juices, but the relative contents of the five organic acids were extremely different in the fruit juices from different fruit species. Malic acid and quinic acid were established to be the major organic acids in peach juices, accounting for 28.44%–45.46% and 35.73%–57.92%, respectively. Among the five peach juices, the content of malic acid in peach juices of ‘Huangjinmi 3’ and ‘Zhongtao 6’ was highest, and quinic acid was the second dominant acid, while the content of quinic acid was highest in the rest of the peach juices, and malic acid was the second dominant acid. In apple and pear juices, except for the juice of the ‘Huangguan’ pear, which was with a higher citric acid than malic acid, malic acid was the predominant organic acid, accounting for 51.84%–88.30% and 32.40%–68.30%, respectively. Citric acid, accounting for 73.83%–85.99%, was the most abundant organic acid followed by quinic acid in blueberry juices, regardless of the cultivars. In all the juice samples studied, oxalic acid was only found in pomegranate juices, but the content of oxalic acid in different cultivars of pomegranate juices was quite different and the variation coefficient of oxalic acid was up to 90.26%. The contents of oxalic acid in the four pomegranate juices of ‘Yushizi’ ‘Dabenzi’ ‘Qiuyan’ and ‘Tongpi’ were significantly higher than in the rest of the pomegranate juices. The composition of organic acids was similar in juices of different fruit species, and the composition of organic acids was the same in juices of the same fruit species, but the contents of organic acids were different. Three principal components were extracted from the data by means of principal component analysis according to the eigenvalues being greater than 1, the first three principal components accounted for 71.98% of the total variance, which could basically reflect the information of the six original organic acids. Except for pomegranate juices and pear juices, the distribution of the juices from the same fruit species in the score plots was relatively concentrated. The result of cluster analysis was consistent with the result of principal component analysis. Principal component analysis and cluster analysis visually reflected the constitutive characteristics of organic acids in different fruit juices. All the fruit juices, except for pomegranate and pear juices, could almost be distinguished and clustered by the principal component analysis and cluster analysis. 【Conclusion】Using the composition, contents and ratio of organic acids in fruit juices, differentiation and identification for different fruit juices could be realized by means of principal component analysis and cluster analysis, which could provide a theoretical basis for the identification and quality control of different kinds of fruit juices.

**Key words:** Fruit juice; Organic acid; High performance liquid chromatography; Principal component analysis; Cluster analysis

有机酸是水果及其加工制品中重要的风味物质与营养成分,具有促进食欲、帮助消化的功能。水果及制品的有机酸组成及含量是决定质量品质的重要指标之一,不同水果具有不同的有机酸组成和含量,即同一类水果的不同品种之间的有机酸组成和含量也各不相同,因此可以用水果和制品中的有机酸组成和含量指纹谱来进行质量控制和掺假鉴别。林耀

盛等<sup>[1-2]</sup>用高效液相色谱(high performance liquid chromatography, HPLC)研究了不同青梅加工产品的有机酸谱及青梅腌制过程有机酸谱,发现青梅在加工过程中尽管总有机酸含量变化很大,但特征组成谱比较稳定,因此可用于青梅产品的质量控制在掺假鉴别。辛若竹等<sup>[3]</sup>、丁梅等<sup>[4]</sup>通过研究山葡萄酒及山葡萄露酒中有机酸组成与含量,不仅可鉴别山葡

萄酒真伪,而且可限量鉴定其山葡萄汁含量。刘峰等<sup>[5]</sup>通过研究梨汁中枸橼酸和L-苹果酸的含量之比来鉴别是否添加外源有机酸。关于果汁中有机酸组成及含量已有较多研究<sup>[6-15]</sup>,但大多侧重于方法学研究或针对某一种果汁,不能进行不同种类果汁之间的差异鉴别。笔者为解决这一问题,以6个种类共53个品种的水果为试验材料制汁,采用HPLC法测定不同水果汁的有机酸组成,并通过化学计量学分

析法探索其共性与差异性,以期建立不同水果及相同水果不同品种间的有机酸组成高效液相指纹图谱库,用于果汁质量控制与鉴别。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料与试剂

试验采用的6类果品共53个品种的水果样品见表1,经制汁后于-80℃保存备用。

表 1 水果样品来源

Table 1 Sources of fruit collected

水果类别 Fruit species	品种 Cultivar	来源 Source
樱桃 Cherry	布鲁克斯、萨米脱、莫莉、春绣、艳阳、早大果、黄蜜、红灯、早红珠、23-24、红艳 Brooks, Summit, Bigarreau Moreau, Chunxiu, Sunburst, Zaodaguo, Huangmi, Hongdeng, Zaohongzhu, 23-24, Hongyan	中国农业科学院郑州果树研究所大樱桃示范基地 Large Cherry Demonstration Base of Zhengzhou Fruit Research Institute, CAAS
桃 Peach	中蟠1号、黄金蜜3号、中桃4号、中桃5号、中桃6号 Zhongpan 1, Huangjinmi 3, Zhongtao 4, Zhongtao 5, Zhongtao 6	中国农业科学院郑州果树研究所桃资源圃 Peach Resources Garden of Zhengzhou Fruit Research Institute, CAAS
苹果 Apple	华硕、华星、华瑞、富士、96-1-24、秦冠、华美、北之幸、珊夏、金冠、乔纳金、粉红女士、北斗、新红星 Huashuo, Huaxing, Huarui, Fuji, 96-1-24, Qinguan, Huamei, Beizhixing, Sansa, Golden Delicious, Jonagold, Pink Lady, Beidou, Starkrimson	中国农业科学院郑州果树研究所苹果资源圃 Apple Resources Garden of Zhengzhou Fruit Research Institute, CAAS
蓝莓 Blueberry	花红、花牛 Huahong, Huaniu 蓝丰、杜克、奥尼尔、北陆、灿烂 Bluecrop, Duke, O'Neal, Northland, Britewell	市售 Purchase 江苏省连云港 Lianyungang, Jiangsu province
石榴 Pomegranate	玉石籽、蒙自石榴、突尼斯软籽、大笨籽、大红袍、秋艳、铜皮、淮北软籽2号 Yushizi, Mengzi, Tunisruanzi, Dabenzi, Dahongpao, Qiuyan, Tongpi, Huaibeiruanzi 2	中国农业科学院郑州果树研究所干果试验基地 Dried Fruit Test Base of Zhengzhou Fruit Research Institute, CAAS
梨 Pear	红宝石、红香酥、早白蜜、砂梨、黄冠梨 Hongbaoshi, Hongxiangsu, Zaobaimi, Sand pear, Huangguan pear	中国农业科学院郑州果树研究所梨资源圃 Pear Resources Garden of Zhengzhou Fruit Research Institute, CAAS
	金地球梨、砀山梨、红梨 Jindiqiu pear, Dangshan pear, Red pear	市售 Purchase

酒石酸、奎宁酸、莽草酸、乳酸、富马酸、草酸、苹果酸、枸橼酸标准品购自美国Sigma公司;甲醇(色谱纯)购自河北四友卓越科技有限公司;磷酸(分析纯)购自天津市致远化学试剂有限公司;磷酸氢二铵(分析纯)购自天津市科密欧化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

1525 高效液相色谱仪(配有2707自动进样器,2998二极管阵列检测器,美国Waters公司)、电子天平(北京赛多利斯仪器系统有限公司)、KQ3200DE型数控超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司)、PHS-3C型pH计(上海仪电科学仪器股份有限公司)、Milli-QAcademic超纯水机(苏州赛恩斯仪器有限公司)。

### 1.3 方法

1.3.1 样品制备 樱桃、桃、苹果、蓝莓、梨→去核或

梗→打浆→灭酶(沸水浴,5 min)→冷却→加果胶酶(0.1%,50℃,40 min)→冷却→离心→过滤→果汁。

石榴→去皮、取籽→打浆→灭酶(沸水浴,5 min)→冷却→加果胶酶(0.1%,50℃,40 min)→冷却→离心→过滤→果汁。

果汁前处理:取果汁2 mL定容至10 mL,经0.22 μm微孔滤膜过滤后进样。

1.3.2 色谱条件 色谱柱:Ultimate<sup>®</sup> AQ-C18(4.6 mm×250 mm,5 μm);流动相:0.02 mol·L<sup>-1</sup>的磷酸氢二铵(磷酸调节pH 2.4);检测波长:210 nm;流速:1.0 mL·min<sup>-1</sup>;柱温:30℃;进样量:10 μL。

1.3.3 标准溶液制备 分别准确称取草酸、酒石酸、奎宁酸、苹果酸、莽草酸、乳酸、枸橼酸和富马酸标准品,用流动相配制成质量浓度100~6 150 mg·L<sup>-1</sup>的标准品储备液,再稀释成不同质量浓度梯度的标

准溶液,并利用储备液配制有机酸的混合标准溶液。

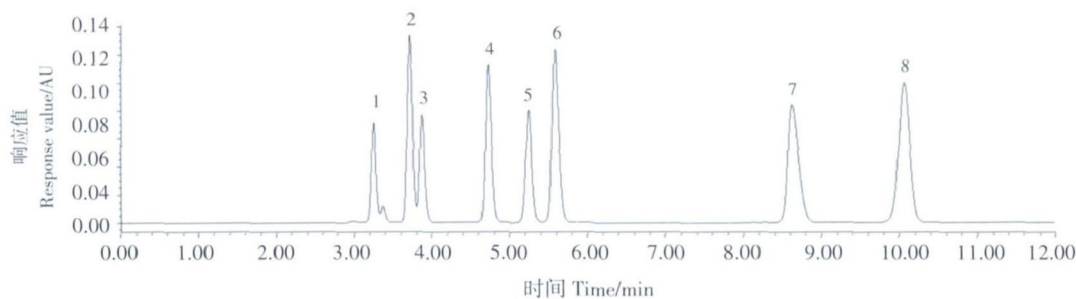
1.3.4 测定的线性相关性、精密度和回收率试验分别吸取不同质量浓度梯度的有机酸标准品溶液进样,按信噪比(S/N)3:1确定检出限,以有机酸质量浓度( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )为横坐标,分析峰面积为纵坐标,绘制标准曲线。

取有机酸混合标准品溶液,按1.3.2色谱条件连续进样6次,计算各有有机酸峰面积的相对标准偏差(relative standard deviation, RSD),考察仪器的精密度。

每个类别水果各取1个品种的果汁样品(樱桃汁取‘红灯’、桃汁取‘中蟠1号’、苹果汁取‘华星’、石榴汁取‘蒙自石榴’、蓝莓汁取‘奥尼尔’、梨汁取‘早白蜜’),共6类果汁,每类果汁分成4份样品,其中1份作本底,另外3份根据果汁中各有有机酸含量分别添加适量的不同浓度的8种有机酸标准品溶液(标准品的添加量见表2),进样检测,记录色谱图,根据标准品的加入量和检出量计算回收率。

回收率/ $\%$ =(加标后测得含量-本底含量)/标准品加入量 $\times 100$

1.3.5 样品测定 分别对预处理后的6类水果的53个不同品种的水果汁中的有机酸进行HPLC定性、定量分析,进样量为10  $\mu\text{L}$ ,根据保留时间定性,外标法定量。每个样品3次重复。



1. 草酸;2. 酒石酸;3. 奎宁酸;4. 苹果酸;5. 莽草酸;6. 乳酸;7. 枸橼酸;8. 富马酸。

1. Oxalic acid; 2. Tartaric acid; 3. Quinic acid; 4. Malic acid; 5. Shikimic acid; 6. Lactic acid; 7. Citric acid; 8. Fumaric acid.

图1 有机酸标准品 HPLC 色谱分析

Fig. 1 HPLC chromatogram of standard substances of organic acids

下8种有机酸分离良好。

2.1.2 有机酸的线性相关性、精密度和回收率 从表3可以看出,8种有机酸在相应的线性范围内相关系数均在0.999 5以上,说明线性关系良好。精密度试验中8种有机酸的相对标准偏差为0.24%~

表2 标准品的添加量( $n=3$ )  
Table 2 Additive amounts of standard substances ( $n=3$ )  
 $\rho/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$

组分 Component	樱桃 Cherry	桃 Peach	苹果 Apple	石榴 Pomegr- anate	蓝莓 Blueberry	梨 Pear
草酸 Oxalic acid	81.5	81.5	81.50	326.00	81.50	81.50
酒石酸 Tartaric acid	635.0	635.0	635.00	635.00	635.00	635.00
奎宁酸 Quinic acid	550.0	2 200.0	2 200.00	550.00	1 650.00	1 100.00
苹果酸 Malic acid	4 000.0	1 500.0	3 500.00	2 500.00	400.00	3 000.00
莽草酸 Shikimic acid	27.5	27.5	11.00	22.00	27.50	220.00
乳酸 Lactic acid	1 100.0	1 100.0	1 100.00	1 100.00	1 100.00	1 100.00
枸橼酸 Citric acid	693.0	693.0	462.00	6 930.00	9 240.00	693.00
富马酸 Fumaric acid	11.4	11.4	1.14	2.85	1.14	2.85

1.3.6 数据处理 采用Microsoft Excel 2003软件对试验结果进行初步分析;用SPSS 17.0进行方差分析;用SAS 9.3软件进行主成分分析和聚类分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 方法建立

2.1.1 标准工作曲线的建立 按1.3.2色谱条件对混合标准品溶液进样,得到混合有机酸标准品的色谱图(图1)。比较8种标准品溶液,可看出在此条件

1.73%,表明所用仪器精密度良好。

从表4可以看出,6类果汁的8种有机酸回收率为88.33%~103.55%,有较高回收率,符合检测标准规范。可见此方法准确度较高,可用于不同果汁中有机酸含量的检测。

表3 8种有机酸的标准曲线方程

Table 3 Regression equations for eight organic acids

组分 Component	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient, $R^2$	线性范围 Linear range/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	最低检出限 Detection limit/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	相对标准偏差 RSD/%
草酸 Oxalic acid	$y=6\ 965.6x-5\ 156.7$	1	2.500~1 000	0.156 0	0.24
酒石酸 Tartaric acid	$y=900.69x+2\ 070.1$	0.999 9	25.000~1 350	1.250 0	1.73
奎宁酸 Quinic acid	$y=270.08x+13\ 612$	0.999 8	102.500~6 150	4.100 0	1.44
苹果酸 Malic acid	$y=440.39x+12\ 062$	0.999 5	77.500~6 150	3.100 0	0.90
莽草酸 Shikimic acid	$y=27\ 762x-1\ 863.3$	1	0.440~160	0.050 0	1.48
乳酸 Lactic acid	$y=205.8x+682.27$	0.999 9	41.600~2 600	2.600 0	0.51
枸橼酸 Citric acid	$y=591.73x-9\ 634.4$	0.999 9	12.000~4 620	4.800 0	0.95
富马酸 Fumaric acid	$y=68\ 515x+3\ 734.3$	1	0.065~260	0.032 5	0.95

表4 加标回收率试验( $n=3$ )Table 4 Results of spiked recoveries ( $n=3$ )

组分 Component	樱桃 Cherry	桃 Peach	苹果 Apple	石榴 Pomegranate	蓝莓 Blueberry	梨 Pear	%
草酸 Oxalic acid	90.89±6.17	96.76±2.53	96.43±5.30	88.35±2.29	98.72±4.19	97.01±6.92	
酒石酸 Tartaric acid	100.13±3.59	102.26±4.20	97.16±6.72	98.87±7.50	102.56±2.69	97.01±2.22	
奎宁酸 Quinic acid	100.93±6.09	90.26±4.96	92.64±4.91	95.27±8.52	94.15±6.24	99.42±3.79	
苹果酸 Malic acid	102.14±3.08	99.95±6.85	97.50±6.63	98.05±6.64	96.05±5.26	94.31±7.60	
莽草酸 Shikimic acid	103.55±1.20	101.93±1.04	101.92±2.28	102.91±1.33	103.23±1.24	99.25±9.24	
乳酸 Lactic acid	90.43±0.38	102.10±3.52	88.33±1.38	93.82±7.72	97.60±8.65	101.33±6.40	
枸橼酸 Citric acid	99.87±3.09	97.48±3.52	93.73±7.08	94.15±2.93	90.22±2.12	96.89±5.84	
富马酸 Fumaric acid	97.37±5.58	89.40±5.52	96.36±6.08	95.42±1.55	99.53±3.18	96.59±9.75	

## 2.2 果汁样品有机酸含量测定

由表5可知,草酸是石榴汁中特有的有机酸,其他5类果汁不含草酸,石榴汁和樱桃汁中也不含奎宁酸,不同果汁中有机酸组成及含量存在较大差异。桃、苹果、梨、蓝莓汁中均检出奎宁酸、苹果酸、莽草酸、枸橼酸和富马酸5种有机酸,但在不同种类果汁间的相对含量存在较大差异。11个品种的樱桃汁中鉴定出苹果酸、莽草酸、枸橼酸和富马酸4种有机酸,其含量高低依次为苹果酸>枸橼酸>莽草酸>富马酸,苹果酸是樱桃汁的主要有机酸,占总有机酸的90.47%~97.83%,最低含量为6 666.12  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,最高可达14 189.78  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。樱桃汁中的富马酸变异系数最大,为59.39%;苹果酸变异系数最小,为20.06%。变异系数越大,表明该有机酸在不同樱桃汁中的含量差异越大。其中,‘红灯’中苹果酸和富马酸的含量显著高于其他樱桃品种。桃汁中5种有机酸含量高低依次为奎宁酸>苹果酸>枸橼酸>莽草酸>富马酸,其中奎宁酸、苹果酸分别占总酸的35.73%~57.92%、28.44%~45.46%,说明奎宁酸与苹果酸是桃汁中的主要有机酸。除了‘中桃4号’,其余4个品种的桃汁中奎宁酸含量无显著性差异,而

这4种桃汁中奎宁酸的含量显著高于‘中桃4号’。此外,‘中桃6号’中苹果酸含量显著高于其他桃汁品种。苹果汁和梨汁中以苹果酸含量最高,分别占检测到有机酸总量的51.84%~88.30%和32.40%~68.30%。苹果汁中,‘华瑞’和‘96-1-24’的奎宁酸含量显著高于其他品种,而奎宁酸含量在这2个品种间无显著性差异。‘粉红女士’中苹果酸的含量最高,达7 050.01  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,显著高于其他苹果汁品种;梨汁中,‘黄冠梨’和‘砀山梨’的奎宁酸含量显著高于其他梨汁品种,‘早白蜜’中苹果酸和莽草酸含量最高,显著高于其他梨汁品种。蓝莓汁中以枸橼酸含量最高,占检测到有机酸总量的73.83%~85.99%。‘杜克’和‘奥尼尔’中奎宁酸含量无显著性差异,但显著高于其他3个蓝莓汁品种。‘北陆’中苹果酸含量最高,显著高于其他蓝莓汁品种。此外,‘北陆’中枸橼酸含量最高,达10 552.57  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,显著高于其他蓝莓汁品种。石榴汁中的主要有机酸为苹果酸、枸橼酸和草酸。在供试的6类果汁中,仅石榴汁检测到草酸,但草酸含量在不同品种石榴汁之间差异较大,变异系数为90.26%。其中‘玉石籽’‘大笨籽’‘秋艳’‘铜皮’4个品种的石榴汁的草酸含

表5 不同果汁中有机酸含量(n=3)  
Table 5 Organic acid content of different fruit juices (n=3)

$\rho$ (mg·L<sup>-1</sup>)

水果类别 Fruit species	品种 Cultivar	编码 Code	草酸 Oxalic acid	奎宁酸 Quinic acid	苹果酸 Malic acid	莽草酸 Shikimic acid	枸橼酸 Citric acid	富马酸 Fumaric acid
樱桃 Cherry	布鲁克斯 Brooks	yt-1	-	-	8 578.84±108.66 ef	37.21±0.66 b	178.17±2.93 h	3.85±0.08 f
	萨米脱 Summit	yt-2	-	-	10 673.67±92.04 b	30.15±1.00 d	270.88±2.40 g	2.46±0.04 i
	莫莉 Bigarreau Moreau	yt-3	-	-	6 666.12±330.35 g	20.71±1.32 g	673.86±4.38 b	7.61±0.14 c
	春绣 Chunxiu	yt-4	-	-	8 317.78±249.65 f	42.37±1.58 a	177.45±2.06 h	3.74±0.01 f
	艳阳 Sunburst	yt-5	-	-	8 944.61±192.77 de	28.73±0.83 de	177.41±1.22 h	2.70±0.06 h
	早大果 Zaodaguo	yt-6	-	-	9 790.50±376.56 c	25.38±1.46 f	552.86±4.89 d	6.37±0.06 d
	黄蜜 Huangmi	yt-7	-	-	9 213.59±444.83 d	31.89±0.94 c	465.28±1.67 e	4.78±0.07 e
	红灯 Hongdeng	yt-8	-	-	14 189.78±504.56 a	27.80±0.70 e	797.20±5.95 a	12.32±0.21 a
	早红珠 Zaohongzhu	yt-9	-	-	8 836.33±315.85 def	24.27±0.72 f	613.92±7.54 c	9.25±0.06 b
	23-24	yt-10	-	-	11 163.76±256.26 b	41.02±0.17 a	296.39±0.67 f	3.12±0.02 g
	红艳 Hongyan	yt-11	-	-	9 373.32±130.45 cd	36.79±1.34 b	167.79±1.11 i	2.87±0.05 h
	平均值 Mean		-	-	9 613.48±1 928.90	31.48±7.06	397.38±231.45	5.37±3.19
	标准差 Standard deviation		-	-	1 928.90	7.06	231.45	3.19
	变异系数 CV/%		-	-	20.06	22.44	58.24	59.39
桃 Peach	中蟠1号 Zhongpan1	t-1	-	3 108.67±38.25 a	1 526.47±21.08 e	28.58±0.04 c	690.45±1.42 e	12.82±0.12 d
	黄金蜜3号 Huangjinmi3	t-2	-	3 146.70±112.68 a	3 525.31±77.61 b	30.96±0.62 b	1 033.29±6.54 d	18.64±0.24 a
	中桃4号 Zhongtao4	t-3	-	2 818.64±41.19 b	2 673.83±18.44 c	25.79±0.36 d	1 112.11±11.80 c	14.93±0.57 c
	中桃5号 Zhongtao5	t-4	-	3 226.09±81.79 a	2 587.77±11.83 d	31.54±0.85 b	1 208.17±18.75 b	14.42±0.43 c
	中桃6号 Zhongtao6	t-5	-	3 086.62±55.27 a	3 878.60±43.82 a	33.20±0.68 a	1 622.05±49.11 a	17.30±0.20 b
	平均值 Mean		-	3 077.34±154.06	2 838.40±917.19	30.01±2.88	1 133.22±335.80	15.62±2.33
	标准差 Standard deviation		-	154.06	917.19	2.88	335.80	2.33
	变异系数 CV/%		-	5.01	32.31	9.61	29.63	14.92
苹果 Apple	华硕 Huashuo	pg-1	-	2 400.69±48.28 b	3 402.49±67.57 j	10.53±0.10 f	257.41±2.80 c	1.54±0.01 d
	华星 Huaxing	pg-2	-	1 990.58±31.85 d	3 666.30±17.94 h	13.52±0.04 b	432.17±1.81 b	1.69±0.01 b
	华瑞 Huarui	pg-3	-	2 461.15±7.70 a	3 401.69±18.63 j	10.91±0.08 e	245.42±0.80 d	1.22±0.03 f
	富士 Fuji	pg-4	-	2 027.97±6.47 c	5 069.43±22.61 f	8.84±0.05 h	142.71±4.16 h	1.69±0.03 b
	96-1-24	pg-5	-	2 454.90±11.70 a	3 306.42±0.76 k	9.96±0.03 g	605.42±0.43 a	1.00±0.02 g
	花红 Huahong	pg-6	-	672.34± 7.71 i	2 512.79±8.72 m	6.08±0.02 j	144.97±0.53 h	1.41±0.01 e
	花牛 Huaniu	pg-7	-	1 329.89±12.11 e	2 267.44±10.9 n	17.97±0.07 a	132.65±3.23 i	2.52±0.02 a
	秦冠 Qinguan	pg-8	-	866.30±24.41 g	5 807.17±27.73 c	12.31±0.11 c	172.35±2.12 e	0.02±0.00 n
	华美 Huamei	pg-9	-	522.11±5.39 k	3 034.25±1.54 l	10.58±0.07 f	136.48±0.91 i	0.32±0.01 h
	北之幸 Beizhixing	pg-10	-	574.17±10.84 j	5 432.23±19.61 d	11.27±0.33 d	171.31±2.37 e	1.58±0.04 c
	珊夏 Sansa	pg-11	-	604.06±13.29 j	5 127.92±7.44 e	7.51±0.05 i	120.21±1.15 j	0.20±0.00 j
	金冠 Golden delicious	pg-12	-	754.98±6.86 h	6 712.09±48.32 b	5.03 ±0.13 l	162.39±0.68 f	0.26±0.00 i
	乔纳金 Jonagold	pg-13	-	504.65±12.10 k	3 491.16±24.46 i	3.64±0.01 n	117.03±0.43 j	0.03±0.00 mn
	粉红女士 Pink Lady	pg-14	-	773.55±19.89 h	7 050.01±35.38 a	4.50±0.21 m	156.04±4.70 g	0.05±0.00 m
	北斗 Beidou	pg-15	-	532.04±15.17 k	4 978.58±20.89 g	5.34±0.07 k	172.49±3.90 e	0.12±0.00 k
	新红星 Starkrimson	pg-16	-	918.23±1.75 f	3 077.61±25.42 l	11.25±0.2 d	133.02±0.89 i	0.08±0.00 l
平均值 Mean		-	1 211.73±771.03	4 271.10±1 477.30	9.33±3.82	206.38±131.98	0.86±0.81	
标准差 Standard deviation		-	771.03	1 477.30	3.82	131.98	0.891	
变异系数 CV/%		-	63.63	34.59	40.95	63.95	94.44	

表 5(续) Table 5(Continued)

 $\rho/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$ 

水果类别 Fruit species	品种 Cultivar	编码 Code	草酸 Oxalic acid	奎宁酸 Quinic acid	苹果酸 Malic acid	莽草酸 Shikimic acid	枸橼酸 Citric acid	富马酸 Fumaric acid
蓝莓 Blueberry	蓝丰 Bluecrop	lm-1	-	1 231.26±17.19 b	437.40±11.12 d	18.88±0.37 d	8 956.57±116.09 c	0.80±0.02 d
	杜克 Duke	lm-2	-	1 652.46±25.38 a	532.41±15.10 b	21.88±0.30 c	9 466.66±135.27 b	0.86±0.03 c
	奥尼尔 O'Neal	lm-3	-	1 658.56±85.46 a	474.14±6.61 c	32.77±0.32 a	7 607.48±139.35 d	1.11±0.02 b
	北陆 Northland	lm-4	-	1 229.50±36.93 b	620.57±11.24 a	18.56±0.24 d	10 552.57±132.32 a	2.77±0.06 a
	灿烂 Britewell	lm-5	-	1 208.36±13.90 b	289.61±8.86 e	25.05±0.20 b	9 354.94±69.22 b	0.53±0.00 e
	平均值 Mean	-	-	1 396.03±237.06	470.83±122.66	23.43±5.84	9 187.64±1 062.92	1.21±0.89
	标准差 Standard deviation	-	-	237.06	122.66	5.84	1 062.92	0.89
	变异系数 CV/%	-	-	16.98	26.05	24.94	11.57	73.70
石榴 Pomegranate	玉石籽 Yushizi	sl-1	2 825.14± 32.35 d	-	2 536.83±9.41 e	19.87±0.14 e	1 224.12±0.70 f	0.72±0.01 h
	蒙自石榴 Mengzi	sl-2	272.77± 2.85 f	-	2 323.61±8.52 g	29.28±0.04 b	5 663.52±7.81 a	3.58±0.02 b
	突尼斯软籽 Tunisruanzi	sl-3	512.08± 0.66 e	-	4 237.74±7.84 a	10.31±0.07 h	1 149.07±16.08 g	4.20±0.004 a
	大笨籽 Dabenzi	sl-4	3 234.81± 0.71 b	-	2 752.50±16.25 d	19.77±0.17 f	1 601.33±5.75 d	1.22±0.02 e
	大红袍 Dahongpao	sl-5	167.31± 0.57 g	-	3 077.93±15.06 c	22.75±0.07 c	3 763.84±3.81 c	1.00±0.01 f
	秋艳 Qiuyan	sl-6	2 886.80± 4.92 c	-	2 221.46±14.00 h	13.78±0.11 g	967.23±3.04 h	1.33±0.03 d
	铜皮 Tongpi	sl-7	3 492.43± 7.30 a	-	2 447.56±5.72 f	20.96±0.19 d	1 298.40±7.61 e	0.91±0.01 g
	淮北软籽 2 号 Huaibeiruanzi 2	sl-8	169.02± 4.89 g	-	4 106.57±60.83 b	52.57±0.24 a	4 774.92±4.49 b	1.83±0.02 c
	平均值 Mean	-	1 695.04± 1 529.89	-	2 963.02±792.48	23.66±12.99	2 555.31±1 882.62	1.85±1.31
	标准差 Standard deviation	-	1 529.89	-	792.48	12.99	1 882.62	1.31
变异系数 CV/%	-	90.26	-	26.75	54.89	73.67	71.03	
梨 Pear	红宝石 Hongbashi	l-1	-	856.65±21.09 e	1 830.44±9.59 e	44.80±0.08 h	1 346.21±6.66 b	1.63±0.01 g
	红香酥 Hongxiangsu	l-2	-	675.62±3.00 f	2 135.05±37.05 d	121.65±0.17 d	177.76±0.38 h	15.97±0.25 a
	早白蜜 Zaobaimi	l-3	-	1 178.58±18.41 b	3 081.53±24.20 a	194.51±0.41 a	650.23±0.76 e	2.96±0.02 d
	砂梨 Sand pear	l-4	-	1 007.51±2.51 c	2 380.92±62.03 c	120.18±0.75 e	1 054.20±11.71 c	9.11±0.11 b
	金地球梨 Jindiqiu pear	l-5	-	969.77±24.18 d	1 623.01±14.89 g	46.63±0.26 g	557.52±0.15 f	2.18±0.01 f
	黄冠梨 Huangguan pear	l-6	-	1 273.43±5.59 a	1 312.04±0.24 h	69.20±0.06 f	1 393.47±6.90 a	1.58±0.01 g
	砀山梨 Dangshan pear	l-7	-	1 275.06±11.42 a	2 523.22±43.70 b	170.40±1.39 b	338.75±2.59 g	2.47±0.02 e
	红梨 Red pear	l-8	-	573.95±8.27 g	1 684.43±3.83 f	142.35±0.05 c	669.09±3.04 d	3.76±0.06 c
	平均值 Mean	-	-	976.32±263.52	2 071.33±574.44	113.72±55.93	773.40±448.46	4.96±5.08
	标准差 Standard deviation	-	-	263.52	574.44	55.93	448.46	5.08
变异系数 CV/%	-	-	26.99	27.73	49.18	57.99	102.38	

注：“-”表示未检出；同一类水果中同列不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。Note: “-” indicates not detected; In the same fruit species, different small letters in the same column indicate significant differences ( $P < 0.05$ ).

量显著高于其他品种。

### 2.3 化学计量学分析

2.3.1 主成分分析 主成分分析是将多指标简化为少量综合指标的一种统计分析方法,本研究利用主成分分析对不同果汁进行区分和聚类。研究以供试

的 53 种果汁作为样本单元,将果汁的 6 个有机酸含量指标作变量,利用 SAS9.3 软件进行主成分分析,得到主成分的特征值和贡献率(表 6)、主成分载荷矩阵(表 7)、主成分得分图(图 2)。由表 6 可以看出,根据特征值大于 1 提取主成分,可提取前 3 个主成分

表 6 主成分的特征值及其贡献率

Table 6 Eigenvalues, proportion and cumulative proportion of principal components

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	方差贡献率 Proportion/%	累积方差贡献率 Cumulative proportion/%
Prin1	1.748 591 35	29.14	29.14
Prin2	1.558 629 91	25.98	55.12
Prin3	1.011 756 10	16.86	71.98
Prin4	0.895 366 42	14.92	86.91
Prin5	0.618 550 83	10.31	97.21
Prin6	0.167 105 38	2.79	100.00

表 7 主成分载荷矩阵

Table 7 Principal component loading matrix

变量 Variable	主成分 Principal component		
	Prin1	Prin2	Prin3
草酸 Oxalic acid(X1)	-0.260 213	-0.406 123	0.348 977
奎宁酸 Quinic acid(X2)	0.641 672	0.120 699	-0.267 279
苹果酸 Malic acid(X3)	-0.508 574	0.491 270	-0.211 475
莽草酸 Shikimic acid(X4)	0.211 115	0.209 932	0.860 202
枸橼酸 Citric acid(X5)	0.305 446	-0.519 931	-0.141 283
富马酸 Fumaric acid(X6)	0.352 182	0.514 538	0.046 329

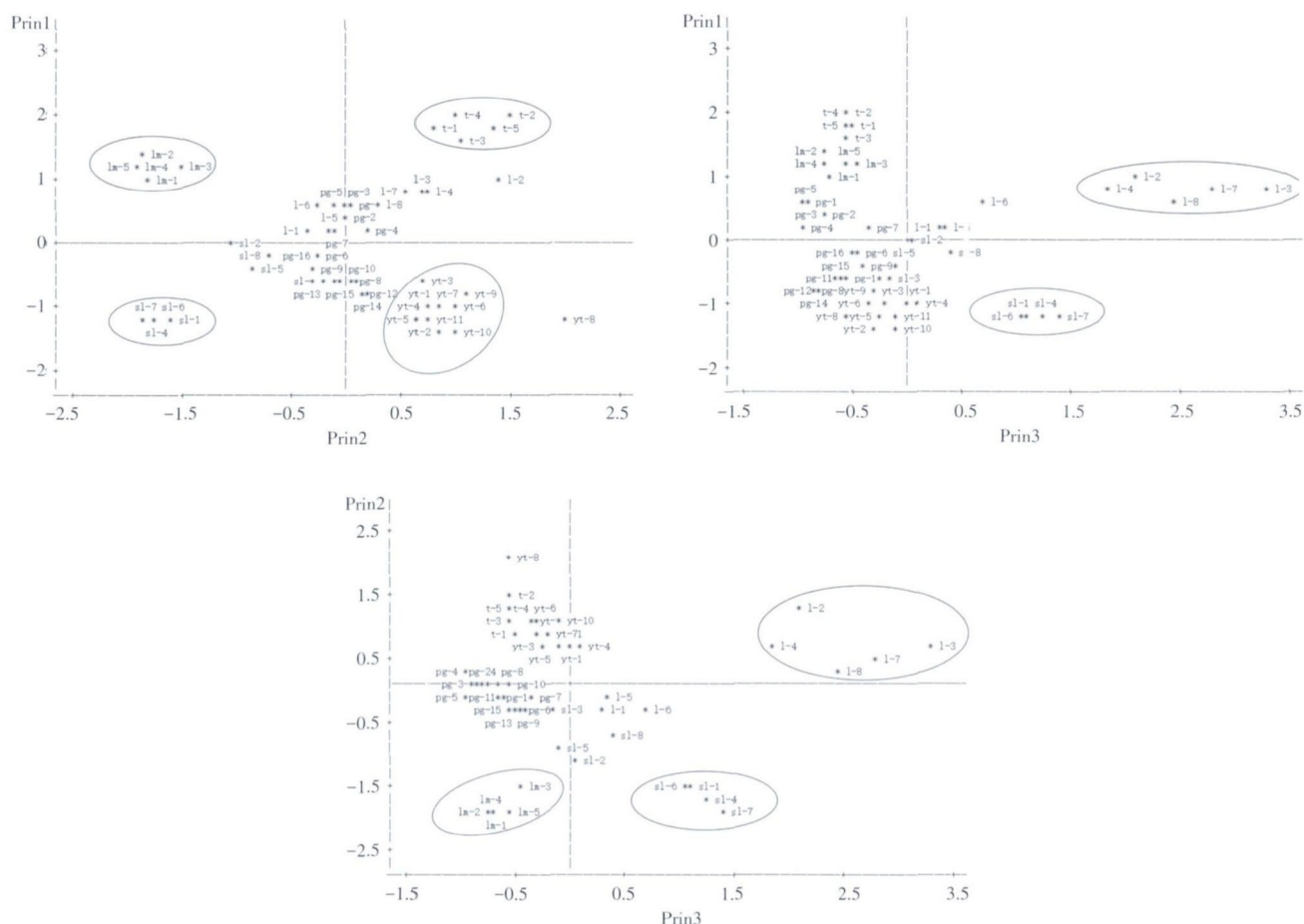


图 2 主成分分析的得分图

Fig. 2 Score plots obtained from the principal component analysis

(Prin1, Prin2, Prin3), 前3个主成分的累计方差贡献率为71.98%, 基本可以反映原来6个有机酸指标的信息。由表7主成分载荷矩阵可以写出前3个主成分的表达式:

$$\text{Prin1} = -0.260\ 213X_1 + 0.641\ 672X_2 - 0.508\ 574X_3 + 0.211\ 115X_4 + 0.305\ 446X_5 + 0.352\ 182X_6;$$

$$\text{Prin2} = -0.406\ 123X_1 + 0.120\ 699X_2 + 0.491\ 270X_3 + 0.209\ 932X_4 - 0.519\ 931X_5 + 0.514\ 538X_6;$$

$$\text{Prin3} = 0.348\ 977X_1 - 0.267\ 279X_2 - 0.211\ 475X_3 + 0.860\ 202X_4 - 0.141\ 283X_5 + 0.046\ 329X_6.$$

3个表达式中, Prin1、Prin2、Prin3分别指第一主成分、第二主成分、第三主成分; X1、X2、X3、X4、X5、X6分别指草酸、奎宁酸、苹果酸、莽草酸、枸橼酸、富马酸。

可以看出, 第一主成分反映的主要指标有奎宁酸(X2)和苹果酸(X3), 且奎宁酸和苹果酸分别与第



一主成分呈正相关和负相关;第二主成分反映的主要指标有草酸(X1)、苹果酸(X3)、枸橼酸(X5)和富马酸(X6),且草酸和枸橼酸与第二主成分呈负相关,苹果酸和富马酸与第二主成分呈正相关;第三主成分反映的主要指标是莽草酸(X4),且莽草酸与第三主成分呈正相关。由图2可以看出,除了石榴汁和梨汁,其他同一类水果的果汁样品在分布上相对比较集中,10种樱桃汁(除了yt-8)、5种桃汁、5种蓝莓汁分别单独聚为一类,4种石榴汁(sl-1、sl-4、sl-6、sl-7)单独聚为一类,部分石榴汁和梨汁与苹果汁聚为一类。在得分图中,样品在主成分上的正得分值越大,表明与该主成分呈正相关的有机酸在该样品中含量越高,与该主成分呈负相关的有机酸在该样品中含量越低;若样品在主成分上的负得分值越大,表明与该主成分呈正相关的有机酸在该样品中含量越低,与该主成分呈负相关的有机酸在该样品中含量越高。樱桃汁在第一主成分上有较高的负得分值,在第二主成分上有较高正得分值,而蓝莓汁在第一主成分上有较高正得分值,在第二主成分上有

较高的负得分值,说明樱桃汁中苹果酸含量较高,而蓝莓汁中枸橼酸含量较高;桃汁在第一、第二主成分的正方向的得分值都较高,说明桃汁中奎宁酸和富马酸含量较高;石榴汁处于第一主成分的负方向,同时在第二主成分有较高负得分值,说明石榴汁中草酸含量较高,其中sl-1、sl-4、sl-6、sl-7 4种石榴汁的得分值最高,说明这4种石榴汁草酸含量最高;梨汁处于第三主成分的正方向而苹果汁处于第三主成分的负方向,说明梨汁中莽草酸含量较高,而苹果汁中莽草酸含量较低。这些结果证明,主成分分析能反映出不同类型果汁间有机酸组成和含量的差异性,及同一类水果汁间有机酸组成和含量的相似性。

2.3.2 聚类分析 以53种果汁为研究对象,以每个样品各有机酸含量组成原始数据矩阵,用SAS9.3统计分析软件进行聚类分析。由图3可以看出,聚类分析结果与主成分分析结果一致。当欧氏距离为0.5时,所有果汁可以聚为6类,5种蓝莓汁、5种桃汁分别单独聚为一类,yt-8单独聚为一类,梨汁l-2、l-3、l-4、l-7、l-8聚为一类,石榴汁sl-1、sl-4、sl-6和

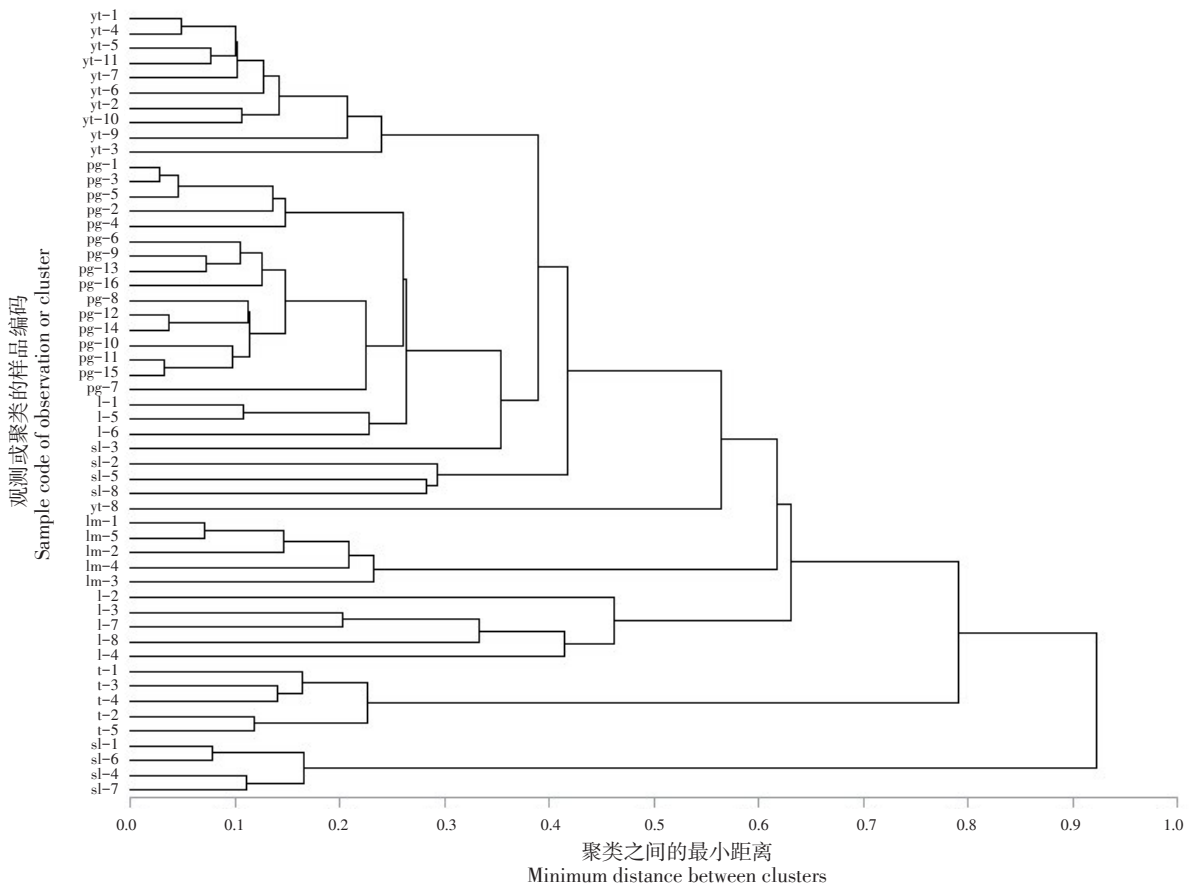


图 3 53 种果汁的树状聚类分析

Fig. 3 The cluster analysis dendrogram of 53 fruit juices

sl-7聚为一类,其余所有果汁聚为一类,这一类主要由4个小类组成,樱桃汁、3个石榴汁分别为一小类,石榴汁sl-3单独为一类,其余3个梨汁与所有苹果汁聚为一类。聚类分析结果证明,不同类型的水果汁的有机酸组成具有内在明显差异性,而同一水果汁的不同品种间的有机酸组成具有相似性。

### 3 讨论

如果不人为添加,果汁中有机酸的组成与含量主要与所用水果原料有关,原料果实的遗传背景、栽培条件等因素都可对其产生影响<sup>[16]</sup>。Ballistreri等<sup>[17]</sup>对24种甜樱桃的研究表明,苹果酸是樱桃果实中的主要有机酸,占总酸的98%以上。魏国芹等<sup>[18]</sup>、Cao等<sup>[19]</sup>的研究结果也表明苹果酸是樱桃果实中的主要有机酸。本研究通过对樱桃汁中有机酸组成进行分析证实,樱桃汁中最主要的有机酸仍为苹果酸,其含量可占总有机酸的90%以上,远高于其他5类果汁,而且不含奎宁酸和草酸,从而可方便地使其与其他果汁区别开。苹果酸和奎宁酸在桃汁中含量较高,为主要有机酸,其次为枸橼酸。其中,‘黄金蜜3号’和‘中桃6号’桃汁中苹果酸的含量最高,其次是奎宁酸,其余桃汁中奎宁酸的含量高于苹果酸含量。靳志飞等<sup>[20]</sup>对8个贵州地方桃品种果实的研究也发现,桃果实中苹果酸的含量最高,但‘白花桃’果实中有机酸含量以奎宁酸为主。庞荣丽等<sup>[21]</sup>、Sandín-España等<sup>[22]</sup>的研究表明,桃果实中的主要有机酸为苹果酸,其次为枸橼酸。苹果酸是苹果汁中最主要的有机酸,这与梁俊等<sup>[23]</sup>、郭燕等<sup>[24]</sup>、杨巍等<sup>[25]</sup>对苹果果实的研究结果相符,同时也间接证明水果原料是影响果汁中有机酸组成的决定因素。蓝莓汁中最主要的有机酸是枸橼酸,也与魏鑫等<sup>[26]</sup>、徐玉涛等<sup>[27]</sup>对蓝莓果实的研究结果相一致。梨汁中除了‘黄冠梨’以枸橼酸为主要有机酸,其余梨汁均以苹果酸为主要有机酸,其次为枸橼酸和奎宁酸,高海燕等<sup>[6]</sup>的研究结果也表明,梨汁中的主要有机酸为苹果酸和枸橼酸,以苹果酸含量最高。石榴汁是供试6类果汁中唯一检测到草酸的果汁,同时还不含奎宁酸,从而使其极易与其他果汁区别开来。Hasnaoui等<sup>[28]</sup>、Legua等<sup>[29]</sup>的研究也表明石榴汁中含有草酸,但含量均较低,与本研究中‘蒙自石榴’‘突尼斯软籽’‘大红袍’‘淮北软籽’4个品种的石榴汁类似。苹果汁与梨汁的有机酸组成比较接近,但梨汁中莽

草酸含量较高,为供试6类果汁中最高;而苹果汁中莽草酸含量最低,其平均含量仅为梨汁的8.2%。因此可通过对莽草酸含量的分析来实现对苹果汁和梨汁的鉴别。

主成分和聚类分析是近些年用于样品之间的区别和聚集最普遍的方式。采用主成分分析和聚类分析法对本研究所得数据进行分析,可以将除了石榴汁、梨汁外大部分的同一种类果汁聚为一类,达到区分不同种类果汁的目的,该方法不仅可以综合反映同一种类不同品种果汁间的相似关系,而且可以全面反映不同种类果汁间的差异,使分析结果更为直观、客观。楚刚辉等<sup>[30]</sup>利用主成分分析和聚类分析法可以将8批树莓果汁与5种伪品较好的区分开;张晓丽等<sup>[31]</sup>的研究表明,同步荧光法结合主成分分析法可对橙汁样品进行聚类并识别,效果良好。说明主成分分析和聚类分析可以较好地用于果品样品间的区分和聚类。

### 4 结论

不同种类水果果汁中具有独特的有机酸组成和含量;同一种类不同品种间果汁中的有机酸组分相同,但含量存在较大差异,果汁中有机酸组分和含量表现出一定同源性。可利用果汁中主要有机酸的组成、含量及有机酸含量间比值来鉴别果汁类型和控制果汁质量。

#### 参考文献 References:

- [1] 林耀盛,刘学铭,钟炜雄,王思远,杨春英,唐秋实. 青梅有机酸谱特性分析及其应用研究[J]. 现代食品科技, 2014, 30(9): 280-285.  
LIN Yaosheng, LIU Xueming, ZHONG Weixiong, WANG Siyuan, YANG Chunying, TANG Qiushi. Chromatographic characterization of organic acids in *Prunus mume* and its application[J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(9): 280-285.
- [2] 林耀盛,刘学铭,钟炜雄,陈智毅,王思远,杨荣玲,杨春英,赵晓丽. 青梅腌制过程中主要成分和有机酸谱变化[J]. 食品科学技术学报, 2013, 31(4): 42-47.  
LIN Yaosheng, LIU Xueming, ZHONG Weixiong, CHEN Zhiyi, WANG Siyuan, YANG Rongling, YANG Chunying, ZHAO Xiaoli. Changes of dominant composition and organic acid profile of *Prunus mume* during pickling process[J]. Journal of Food Science and Technology, 2013, 31(4): 42-47.
- [3] 辛若竹,丁梅,卜丽伟. 有机酸指纹图谱快速鉴定山葡萄酒及葡萄酒原汁含量的方法研究[J]. 酿酒科技, 2013(9): 102-106.

- XIN Ruozhu, DING Mei, BU Liwei. Research on rapid identification of original juice content in mountain grape wine and its blending wine by organic acid fingerprints[J]. *Liquor-making Science & Technology*, 2013(9): 102-106.
- [4] 丁梅, 辛若竹, 卜丽伟, 郭赫宇. 有机酸鉴定山葡萄酒及山葡萄露酒真伪的方法研究[J]. *中国食物与营养*, 2013, 19(8): 23-28.
- DING Mei, XIN Ruozhu, BU Liwei, GUO Heyu. Research on the identification of the authenticity of mountain wine and grape wine [J]. *Food and Nutrition in China*, 2013, 19(8): 23-28.
- [5] 刘峰, 李劲彤, 李森, 李巧玲. 梨汁中外源性有机酸掺伪检测[J]. *食品工业*, 2015, 36(10): 273-276.
- LIU Feng, LI Shaotong, LI Sen, LI Qiaoling. Determination of exogenous organic acids in adulteration pear juice[J]. *The Food Industry*, 2015, 36(10): 273-276.
- [6] 高海燕, 王善广, 胡小松. 利用反相高效液相色谱法测定梨汁中有机酸的种类和含量[J]. *食品与发酵工业*, 2004, 30(8): 96-100.
- GAO Haiyan, WANG Shanguang, HU Xiaosong. Study on determination of kinds and contents of organic acids in pear juice by high performance liquid chromatography[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2004, 30(8): 96-100.
- [7] 陆敏, 张绍岩, 张文娜, 冯俊霞. 高效液相色谱法测定沙棘汁中 7 种有机酸[J]. *食品科学*, 2012, 33(14): 235-237.
- LU Min, ZHANG Shaoyan, ZHANG Wenna, FENG Junxia. Simultaneous determination of seven organic acids in seabuckthorn juice by HPLC[J]. *Food Science*, 2012, 33(14): 235-237.
- [8] 孔祥虹, 付兴隆, 姚秉华, 何强, 张磊. 固相萃取-反相高效液相色谱法同时测定浓缩果汁中的 11 种有机酸[J]. *食品科技*, 2010, 35(7): 291-295.
- KONG Xianghong, FU Xinglong, YAO Binghua, HE Qiang, ZHANG Lei. Simultaneous determination of 11 organic acids in concentrated juices using SPE-reverse-phase high performance liquid chromatography[J]. *Food Science and Technology*, 2010, 35(7): 291-295.
- [9] 陈意光, 邓穗兴, 柯振华, 覃芳芳, 叶嘉荣, 邹树丹, 郭克文. 高效液相色谱法同时测定果汁中 13 种有机酸和白藜芦醇[J]. *现代食品科技*, 2010, 26(12): 1387-1390.
- CHEN Yiguang, DENG Suixing, KE Zhenhua, QIN Fangfang, YE Jiarong, ZOU Shudan, GUO Kewen. Determination of 13 kinds of organic acids and resveratrol in fruit juice by HPLC[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2010, 26(12): 1387-1390.
- [10] 胡小露, 刘卉, 鲁宁, 刘佳, 高学玲. HPLC 法同时测定蓝莓汁及其发酵酒中 9 种有机酸[J]. *食品科学*, 2012, 33(16): 229-232.
- HU Xiaolu, LIU Hui, LU Ning, LIU Jia, GAO Xueling. Determination of 9 organic acids in blueberry juice and wine by HPLC[J]. *Food Science*, 2012, 33(16): 229-232.
- [11] 韩晓鹏, 牟德华, 赵英莲, 李艳. HPLC 法检测树莓果汁和果酒中的有机酸[J]. *酿酒科技*, 2015(5): 107-110.
- HAN Xiaopeng, MOU Dehua, ZHAO Yinglian, LI Yan. Detection of organic acids in raspberry fruit juice and raspberry wine by high-performance liquid chromatography[J]. *Liquor-Making Science & Technology*, 2015(5): 107-110.
- [12] SCHERER R, RYBKA C P, BALLUS C A, MEINHART A D, FISHO J T, GODOY H T. Validation of a HPLC method for simultaneous determination of main organic acids in fruits and juices[J]. *Food Chemistry*, 2012, 135(1): 150-154.
- [13] CHINNICI F, SPINABELLI U, RIPONI C, AMTI A. Optimization of the determination of organic acids and sugars in fruit juices by ion-exclusion liquid chromatography[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2005, 18(2/3):121-130.
- [14] CHEN J Y, ZHANG H, MATSUNAGA R. Rapid determination of the main organic acid composition of raw Japanese apricot fruit juices using near-infrared spectroscopy[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(26): 9652-9657.
- [15] CUNHA S C, FERNANDES J O, FERREIRA I M P L V O. HPLC/UV determination of organic acids in fruit juices and nectars[J]. *European Food Research and Technology*, 2002, 214(1): 67-71.
- [16] 陈发兴, 刘星辉, 陈立松. 果实有机酸代谢研究进展[J]. *果树学报*, 2005, 22(5): 526-531.
- CHEN Faxing, LIU Xinghui, CHEN Lisong. Advances in research on organic acid metabolism in fruits[J]. *Journal of Fruit Science*, 2005, 22(5): 526-531.
- [17] BALLISTRERI G, CONTINELLA A, GENTILE A, AMENTA M, FABRONI S, RAPI SARDA P. Fruit quality and bioactive compounds relevant to human health of sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars grown in Italy[J]. *Food Chemistry*, 2013, 140(4): 630-638.
- [18] 魏国芹, 孙玉刚, 孙杨, 杨兴华. 甜樱桃果实发育过程中糖酸含量的变化[J]. *果树学报*, 2014, 31(增刊): 103-109.
- WEI Guoqin, SUN Yugang, SUN Yang, YANG Xinghua. Changes of sugar and acid constituents in sweet cherry during fruit development[J]. *Journal of Fruit Science*, 2014, 31(Suppl.): 103-109.
- [19] CAO J P, JIANG Q, LIN J Y, LI X, SUN C D, CHEN K S. Physicochemical characterisation of four cherry species (*Prunus* spp.) grown in China[J]. *Food Chemistry*, 2015, 173: 855-863.
- [20] 靳志飞, 杨家全, 陈红, 安华明. 八个贵州地方桃品种果实甜酸风味品质分析[J]. *植物科学学报*, 2015, 33(1): 90-97.
- JIN Zhifei, YANG Jiaquan, CHENG Hong, AN Huaming. Analysis of sweet and sour flavor in eight local peach cultivars from Guizhou and evaluation of their flavor quality[J]. *Plant Science Journal*, 2015, 33(1): 90-97.
- [21] 庞荣丽, 方金豹, 郭琳琳, 谢汉忠. 水果果实中主要有机酸提取条件的优化[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(13): 2625-2633.
- PANG Rongli, FANG Jinbao, GUO Linlin, XIE Hanzhong. Extraction conditions optimization of main organic acids from fruits[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(13): 2625-2633.

- [22] SANDÍN-ESPAÑA P, MATEO-MIRANDA M, LÓPEZ-GOTI C, CAL A D, ALONSO-PRADOS J L. Development of a rapid and direct method for the determination of organic acids in peach fruit using LC-ESI-MS[J]. Food Chemistry, 2016, 192: 268-273.
- [23] 梁俊, 郭燕, 刘玉莲, 李敏敏, 赵政阳. 不同品种苹果果实中糖酸组成与含量分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2011, 39(10): 163-170.  
LIANG Jun, GUO Yan, LIU Yulian, LI Minmin, ZHAO Zhengyang. Analysis of contents and constituents of sugar and organic acid in different apple cultivars[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2011, 39(10): 163-170.
- [24] 郭燕, 梁俊, 李敏敏, 赵政阳. 高效液相色谱法测定苹果果实中的有机酸[J]. 食品科学, 2012, 33(2): 227-230.  
GUO Yan, LIANG Jun, LI Minmin, ZHAO Zhengyang. Determination of organic acids in apple fruits by HPLC[J]. Food Science, 2012, 33(2): 227-230.
- [25] 杨巍, 高文民, 马海仲, 王柏松, 和阳, 吕春晶, 魏潇, 张素敏. 前处理对‘澳洲青苹’苹果果实中有机酸组成与含量的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(10): 139-143.  
YANG Wei, GAO Wenmin, MA Haizhong, WANG Baisong, HE Yang, LÜ Chunjing, WEI Xiao, ZHANG Sumin. Optimization of pretreatment conditions for determination of organic acid contents in ‘Granny Smith’ apple fruit pulp by liquid chromatography[J]. Food Science, 2015, 36(10): 139-143.
- [26] 魏鑫, 魏永祥, 刘成, 王兴东, 杨玉春, 孙斌. 高效液相色谱法测定4个蓝莓品种果实中糖酸组分及含量[J]. 中国果树, 2013(3): 64-67.  
WEI Xin, WEI Yongxiang, LIU Cheng, WANG Xingdong, YANG Yuchun, SUN Bin. Determination of sugar and organic acid contents in four blueberry varieties by HPLC[J]. China Fruits, 2013(3): 64-67.
- [27] 徐玉涛, 李珂珂, 王贺新, 陈丽荣, 弓晓杰. 高效液相色谱法对蓝莓果实中8个有机酸含量的测定[J]. 食品科学, 2015, 36(18): 127-131.  
XU Yutao, LI Keke, WANG Hexin, CHEN Lirong, GONG Xiaojie. Determination of eight organic acids in blueberries by HPLC[J]. Food Science, 2015, 36(18): 127-131.
- [28] HASNAOUI N, JBIR R, MARS M, TRIFI M, KAMAL-ELDIN A, MELGAREJO P, HERNANDEZ F. Organic acids, sugars, and anthocyanins contents in juices of Tunisian pomegranate fruits[J]. International Journal of Food Properties, 2011, 14(4): 741-757.
- [29] LEGUA P, MEGAREJO P, MARTÍNEZ J J, MARTÍNEZ R, HERNÁNDEZ F. Evaluation of Spanish pomegranate juices: organic acids, sugars, and anthocyanins[J]. International Journal of Food Properties, 2012, 15(3): 481-494.
- [30] 楚刚辉, 周晓花, 丁晓丽. 喀什树莓果汁的红外指纹图谱及化学模式识别[J]. 食品科技, 2013, 38(3): 285-290.  
CHU Ganghui, ZHOU Xiaohua, DING Xiaoli. Fingerprint infrared spectrum on bramble fruit juice in Kashgar and its chemical pattern recognition[J]. Food Science and Technology, 2013, 38(3): 285-290.
- [31] 张晓丽, 毛立新, 范三红. 同步荧光法结合主成分分析法鉴别橙汁品质[J]. 食品科学, 2015, 36(18): 162-166.  
ZHANG Xiaoli, MAO Lixin, FAN Sanhong. Synchronous fluorescence spectroscopy combined with principal component analysis to identify orange juice quality[J]. Food Science, 2015, 36(18): 162-166.

## 欢迎订阅2018年《中国生态农业学报》

《中国生态农业学报》由中国科学院遗传与发育生物学研究所和中国生态经济学会主办,中国科学院主管,科学出版社出版。系中国期刊方阵双效期刊、中国科技精品期刊、百种中国杰出学术期刊、中文核心期刊、RCCSE中国权威学术期刊,为中国学术期刊综合评价数据库、中国期刊全文数据库、中国学术期刊文摘、中国科学引文数据库、中国科技论文与引文数据库、CNKI中国期刊全文数据库源刊,并被国际农业生物学文摘(CABI)、美国化学文摘(CA)、哥白尼索引(IC)、美国乌利希国际期刊指南等国际数据库及检索单位收录。荣获第三届、四届全国农业优秀期刊一等奖和首届北方优秀期刊奖,中国北方优秀期刊,连续多届获得河北省优秀期刊奖。

主要报道全球环境变化与农业、农业生态系统与生态农业理论基础、农田生态系统与农业资源、生态农业模式和技术体系、农业生态经济学、农业环境质量及环境保护、农业有

害生物的综合防治等领域创新性研究成果。适于从事农业生态学、生态学、生态经济学以及环境保护等领域科技人员、高等院校有关专业师生,农业及环境管理工作者和基层从事生态农业建设的技术人员阅读与投稿。

国内外公开发行,国内刊号CN13-1315/S,国际刊号ISSN1671-3990。月刊,国际标准大16开本,160页,每期定价35元,全年420元。邮发代号:82-973,全国各地邮局均可订阅。

地址:(050022)河北省石家庄市槐中路286号中科院遗传发育所农业资源研究中心《中国生态农业学报》编辑部

电话:0311-85818007

传真:0311-85815093

网址:<http://www.ecoagri.ac.cn>

E-mail: [editor@sjziam.ac.cn](mailto:editor@sjziam.ac.cn)



公众微信号: zgstnyxb