

# 多酚类物质与果汁口味关系

## Study on the relationship between polyphenolic compounds and the taste of fruit juice samples

贺增洋<sup>1,2</sup> 李玉秀<sup>1,3</sup> 朱庆生<sup>4</sup> 宁 勇<sup>1,2</sup> 朱晓兰<sup>1,3</sup>

HE Zeng-yang<sup>1,2</sup> LI Yu-xiu<sup>1,3</sup> ZHU Qing-sheng<sup>4</sup> NING Yong<sup>1,2</sup> ZHU Xiao-lan<sup>1,3</sup>

(1. 安徽中烟—中国科大先进技术研究院化学与燃烧联合实验室, 安徽 合肥 230066;

2. 安徽中烟工业有限责任公司技术中心, 安徽 合肥 230088; 3. 中国科学技术大学烟草与

健康研究中心, 安徽 合肥 230052; 4. 安徽建筑大学经济与管理学院, 安徽 合肥 230601)

(1. Joint Lab of Chemistry & Combustion, IATUSTC-CTAIC, Hefei, Anhui 230066, China; 2. Technology Center, China Tobacco Anhui Industrial Co., Ltd., Hefei, Anhui 230088, China; 3. Research Center of Tobacco and Health, University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui 230052, China; 4. School of Economics and Management, Anhui Jianzhu University, Hefei, Anhui 230601, China)

**摘要:**目的:研究不同果汁中多酚类物质的含量与组成,以及多酚类组分与果汁口味之间的内在关系。方法:以 14 种浓缩果汁样品为对象,通过乙醇超声提取, HPLC-MS/MS 法分析了果汁样品中 15 种多酚类物质的含量,利用相关分析、聚类分析等方法以及果汁 7 种口味(甜、酸、苦、咸、鲜、涩和辣)强度值,建立果汁感官评价体系及其分类,探索了果汁中多酚类物质与口味之间的联系。结果:14 种果汁从口感上分为四类,分别是甜味、酸甜味、苦味和苦涩味。果汁样品中总多酚物质、总酚酸类物质、总黄酮类物质、绿原酸类物质和游离酚酸类物质的含量均与口味中的涩味得分显著正相关。结论:不同果汁中多酚类物质组成和含量差异很大,口感为苦味和涩味果汁多酚含量较高,多酚物质尤其是游离酚酸类物质是影响果汁涩味的关键因素。

**关键词:**果汁;多酚物质;口味;聚类分析;感官评价;涩味

**Abstract:** Objective: This study aimed to clarify the content and distribution of polyphenols in fruit juice samples and explore the intrinsic connection of the content of polyphenols with the taste of fruit juice. Methods: 15 kinds of polyphenols in fruit juice samples were determined by HPLC-MS/MS following ethanol ultrasonic-assisted extraction. Various statistical methods such as

correlation and cluster analysis, were used to establish the sensory evaluation system of fruit juice with the values of different tastes, including sweetness, sourness, bitterness, salty, umami, astringency and piquancy. Lastly, the relationship between the content of polyphenols and sensory evaluation was explored by correlation analysis. Results: 14 types of fruit juices were divided into four categories owing to their taste, namely sweet, sour-sweet, bitter and bitter-astringent. There was significant positive relationship between the content of total polyphenols, phenolic acids, flavonoids, chlorogenic acids, free phenolic acids and value of astringency. Conclusion: The contents of polyphenol varied greatly in different fruit juices, and those with bitter and astringent taste often had high content of polyphenol. However, those with sweet taste had low content of polyphenol. Polyphenolic compounds, especially the free phenolic acids were the key substances affecting taste of astringency of fruit juice.

**Keywords:** fruit juices; polyphenol; taste characteristic; cluster analysis; sensory evaluation; astringency

酚类物质是水果及其加工制品中重要的生物活性物质<sup>[1-2]</sup>,不仅具有很高的营养价值,同时也是引起味觉苦味和涩味的物质,与水果及其加工制品的营养、保健功能和感官品质等密切相关。果汁中的多酚类物质主要包括酚酸类、黄酮类以及少量的芪类和木酚素<sup>[3]</sup>。常见的酚酸类物质有羟基苯甲酸的羟基化衍生物、苯乙酮及苯乙酸的衍生物和苯丙烯酸、香豆素类、肉桂酸类的衍生物。大多数果汁中还存在一种重要的肉桂酸类衍生物——绿原酸,是由咖啡酸和奎尼酸缩合形成的酯。酚酸类物质占饮食中多酚的 1/3,在所有的植物中都存在,在酸味的

**基金项目:**中国科大—安徽中烟《化学与燃烧》联合实验室项目(编号:202034000034025)

**作者简介:**贺增洋,男,安徽中烟工业有限责任公司工程师,博士。

**通信作者:**朱晓兰(1972—),女,中国科学技术大学副研究员,博士。E-mail: zxl8906@ustc.edu.cn

朱庆生(1971—),男,安徽建筑大学副教授,硕士。

E-mail: compine@163.com

**收稿日期:**2021-12-13 **改回日期:**2022-03-11

水果中含量更高。黄酮类化合物是指分子结构上具有  $C_6-C_3-C_6$  特点的一类多酚化合物,包括黄酮类、黄酮醇类、黄烷酮类、黄烷醇类、查耳酮类及花色素类等,直接影响植物和水果的颜色和味道<sup>[4]</sup>。芪类目前最被广泛研究的是白藜芦醇,在植物中起到抗真菌和抗病毒的作用;木酚素则主要存在于全谷物和杂豆类食物的种皮当中,水果中较为少见<sup>[5]</sup>。多酚类物质具有很多药理特性,包括抗炎、抗氧化、抗癌、抗菌和抗动脉粥样硬化等活性<sup>[6-7]</sup>。

水果中的多酚物质不仅具有很高的药用价值,也是水果成熟度的重要指标之一,其种类及含量与新鲜水果及其加工制品(如果汁、果酒等)的风味、色泽及稳定性密切相关<sup>[8-9]</sup>。多酚类物质对果汁的口味容易造成不良影响,其中的酚酸类物质与口腔黏膜或唾液蛋白结合并生成沉淀,引起粗糙折皱的收敛感和干燥感即涩味,而且多酚物质的存在影响果汁的色泽,酚酸物质中大量的酚羟基在多酚氧化酶存在的条件下,容易氧化成深色的醌类物质,使果汁产品颜色加深。此外,多酚物质的存在还影响果汁的澄清度,游离酚酸在酸性条件下会发生自缩合现象,产生沉淀,稳定性变差。有些水果如苹果、葡萄、柿子、猕猴桃、黑莓、山楂、枇杷、石榴、橄榄等酚酸类物质含量较高,尤其在果实的果皮和果核中,因此不同种类水果所生产的果汁在酚类物质含量和组成上存在较大差异,如葡萄和红葡萄酒等富含白藜芦醇,番茄、桃、樱桃、蓝莓、芒果、甜橙等含有儿茶素,葡萄、柿蒂、石榴等含有没食子酸等<sup>[10-11]</sup>。研究拟采用 HPLC-MS/MS 法检测常见的 14 种果汁中多酚物质的含量,依据味觉的 7 个因素(酸、甜、苦、咸、鲜、涩和辣)对果汁样品进行感官评价,通过聚类分析和轮廓图法对果汁口感进行分类和差异性分析,并就果汁中多酚物质的含量与其口味中涩味和苦味进行相关性分析,以期为果汁中口物质研究提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

桑葚、番茄、葡萄、百香果、蓝莓、菠萝蜜、无花果、梨汁、杏子、苹果、樱桃、杨桃、草莓和甜橙 14 种浓缩果汁:广东省茂名市德威圣科技有限责任公司;

乙腈、甲醇、甲酸:色谱级,美国天地有限公司;

没食子酸、新绿原酸、儿茶素、绿原酸、表儿茶素、对羟基苯甲酸、咖啡酸、丁香酸、阿魏酸、阿魏酸-d3(内标物)、芦丁、根皮苷、香豆素、槲皮苷、白藜芦醇和肉桂酸等标准品:纯度>99.5%,北京迪马工业有限公司;

其余常规试剂:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

液相色谱仪—质谱联用仪:Agilent 1100 系列/4000 QTRAP 型,配备 ZORBAX SB-C<sub>18</sub> 超高压柱(4.6 mm×100 mm,3.5 μm),美国 Agilent 公司;

循环水式真空泵:SHZ-D(III)型,巩义市豫华仪器有限公司;

真空干燥箱:ZK-82B 型,上海市实验仪器总厂;

电子天平:AEG-220 型,日本 Shimadzu 公司;

氮气吹干仪:BF2000 型,北京八方世纪有限公司;

离心机:LG10-2.4A 型,北京医疗器械公司;

数控超声仪:KQ-100DB 型,江苏昆山市超声仪器有限公司。

### 1.3 果汁样品中多酚物质的 HPLC-MS/MS 分析方法

1.3.1 样品前处理 依据文献[4,12-13],采用 HPLC-MS/MS 法分析果汁样品中多酚物质含量,具体前处理:准确称取 1 g 浓缩果汁样品于 5 mL 的离心管中,先后加入 200 μL 内标液(阿魏酸-d3,质量浓度 100.0 μg/mL)和 5 mL 的乙醇,超声 20 min,0.45 μm 微膜过滤后用氮吹仪浓缩至 1 mL,用 HPLC-MS 检测。

1.3.2 色谱—质谱条件 分析柱为 ZORBAX SB-C<sub>18</sub> 超高压柱(4.6 mm×100 mm,3.5 μm);流动相:0.1%的甲酸水溶液(A 相)和甲醇(B 相)。采用梯度洗脱,洗脱条件为:0~4 min,10% B;4~25 min,10%~100% B;25~26 min,100%~10% B;26~30 min,保持 10% B。柱温 35 ℃,流速 0.3 mL/min;进样量为 5 μL。质谱条件:电离方式为电喷雾离子化正负离子模式(ESI);离子源温度 110 ℃;毛细管电压为 4.0 kV;雾化气压力为 205.8 kPa;干燥气温度为 350 ℃;干燥气流速为 10 L/min;采用实时多反应检测模式(MRM)。

1.3.3 定量标准溶液的配制 称取没食子酸、新绿原酸、儿茶素、绿原酸、表儿茶素、对羟基苯甲酸、咖啡酸、丁香酸、阿魏酸、阿魏酸-d3、芦丁、根皮苷、香豆素、槲皮苷、白藜芦醇和肉桂酸标准品各 25.0 mg,加入乙醇溶解并定容 25 mL,摇匀,得到一级混合标准溶液,放入 4 ℃ 冰箱备用。取各储备液适量,用乙醇配置 0.05,0.10,0.20,0.40,2.00,5.00,10.00,20.00,40.00,100.00 μg/mL 系列混合标准溶液。阿魏酸-d3 标准品为内标物,每种混标中均加入内标物阿魏酸-d3,最终浓度为 20 μg/mL。

### 1.4 果汁样品感官的评价

对收集的 2020 年生产的 14 个不同种类浓缩果汁样品,摇匀后取 10 mL 用矿泉水按 1:3 稀释,由 7 名经过品评培训的专业人员组成评定小组对浓缩果汁样品的口味特征进行评价<sup>[14]</sup>。采取 10 分制,对味觉的 7 个因素(酸、甜、苦、咸、鲜、涩和辣)的得分按照感官评价评分表(见表 1)评分。最后按 7 种味觉特征有相同权重计算出感官评定综合得分,其中,单项得分高于 4 分则认定为某种口味果汁,如苦味或酸味或甜味果汁。感官评定综合得分≥12 分的认定为果汁风味较浓郁样品。

### 1.5 数据处理方法

采用 Excel 和 Origin Pro 9.0 软件对数据进行相关图表处理,采用 IBM SPSS Statistics 软件进行相关性分析、

聚类分析和回归分析,聚类方法采用瓦尔德法,即离差平方和法<sup>[15]</sup>。

2 结果与分析

2.1 果汁样品的多酚类物质

采用 HPLC-MS/MS 法对 14 个不同种类的果汁样品中多酚类物质进行了检测,结果如表 2 所示。对羟基苯甲酸、绿原酸、香豆素和丁香酸是果汁中存在最广泛的多酚物质,其中香豆素和对羟基苯甲酸几乎在所有果汁样品均有检出。含量最高的是绿原酸类,桑葚果汁不仅绿原酸类(绿原酸和新绿原酸)含量高达 684.7  $\mu\text{g/g}$ ,而且多酚类物质含量和种类也最丰富,多酚总量高达 1 202.8  $\mu\text{g/g}$ ,草莓、甜橙和杨桃中多酚种类较少,酚酸类和黄酮类含量都比较低,含量最低的草莓果汁总量仅有 41.3  $\mu\text{g/g}$ ,因此,不同品种果汁的酚类物质组成和含量显

表 1 果汁样品感官评价评分表

Table 1 The sheet of sensory evaluation score of fruit juice samples

| 项目            | 评价          | 分值    |
|---------------|-------------|-------|
| 甜、酸、苦、鲜、咸、涩、辣 | 具有显著的某种味觉特征 | 4~5   |
|               | 具有明显的某种味觉特征 | 3~4   |
|               | 有某种味觉特征     | 2~3   |
|               | 无明显的某种味觉特征  | 1~2   |
|               | 感觉不出某种味觉特征  | 0     |
|               | 具有固有的水果滋味   | 10~12 |
|               | 具有较好的水果滋味   | 7~10  |
| 7 种味觉总和       | 水果滋味不明显     | 4~6   |
|               | 无水果滋味       | 2~4   |
|               | 有明显异味       | 0~2   |

表 2 HPLC-MS/MS 法测定的果汁类样品中多酚类物质含量<sup>†</sup>

Table 2 The contents of 16 polyphenols in juice fruit by HPLC-MS/MS method

|      |                   |                   |                  |                  |                   |                     |                  |                  |                  | $\mu\text{g/g}$ |
|------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|---------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| 果汁样品 | 没食子酸 <sup>a</sup> | 新绿原酸 <sup>a</sup> | 绿原酸 <sup>a</sup> | 儿茶素 <sup>b</sup> | 表儿茶素 <sup>b</sup> | 对羟基苯甲酸 <sup>a</sup> | 咖啡酸 <sup>a</sup> | 丁香酸 <sup>a</sup> | 阿魏酸 <sup>a</sup> |                 |
| 桑葚   | 56.2              | 397.7             | 287.0            | 10.4             | 9.1               | 4.9                 | 62.5             | 86.9             | 79.7             |                 |
| 番茄   | 38.8              | 3.9               | 20.0             | 10.4             | 8.4               | 1.0                 | 44.6             | 48.6             | 39.0             |                 |
| 葡萄干  | —                 | 5.2               | 0.6              | 4.1              | 4.0               | 1.2                 | 19.7             | 13.2             | 21.8             |                 |
| 百香果  | 8.9               | 31.5              | 70.2             | —                | —                 | 1.4                 | 21.8             | 27.5             | 48.7             |                 |
| 蓝莓   | —                 | 3.8               | 5.3              | 5.1              | 4.5               | 2.9                 | 28.1             | 29.2             | —                |                 |
| 菠萝蜜  | —                 | 103.8             | 122.0            | 3.6              | —                 | 1.8                 | 22.9             | 23.3             | 65.3             |                 |
| 无花果  | —                 | 5.9               | 26.0             | —                | —                 | 11.1                | 27.8             | 25.7             | 77.5             |                 |
| 杏子   | —                 | 22.5              | 83.2             | —                | —                 | 1.2                 | 9.3              | 1.9              | —                |                 |
| 苹果   | —                 | 16.3              | 248.6            | —                | —                 | 1.0                 | 14.6             | 3.7              | —                |                 |
| 梨汁   | —                 | 2.9               | 46.7             | —                | —                 | 1.1                 | 3.6              | 4.1              | —                |                 |
| 樱桃   | —                 | 117.1             | 10.4             | 1.2              | 1.6               | 1.0                 | 22.6             | —                | 2.3              |                 |
| 杨桃   | —                 | —                 | 38.5             | 3.8              | —                 | —                   | —                | 2.1              | —                |                 |
| 草莓   | —                 | —                 | —                | —                | —                 | —                   | —                | —                | —                |                 |
| 甜橙   | —                 | —                 | 41.2             | 4.6              | —                 | 17.9                | —                | —                | —                |                 |

| 果汁样品 | 芦丁 <sup>b</sup> | 香豆素 <sup>a</sup> | 根皮苷 <sup>b</sup> | 白藜芦醇 | 槲皮苷 <sup>b</sup> | 肉桂酸 <sup>a</sup> | 总酚酸类( $Y_1$ ) | 总黄酮类( $Y_2$ ) | 多酚总量( $Y$ ) |
|------|-----------------|------------------|------------------|------|------------------|------------------|---------------|---------------|-------------|
| 桑葚   | 132.8           | 17.8             | —                | 15.4 | 0.1              | 42.3             | 1 035.0       | 152.4         | 1 202.8     |
| 番茄   | 27.6            | 11.3             | —                | 5.4  | 0.1              | 6.9              | 214.1         | 46.5          | 266.0       |
| 葡萄干  | 2.1             | 10.4             | —                | 11.7 | 2.4              | 5.1              | 77.2          | 12.6          | 101.4       |
| 百香果  | 2.5             | 10.4             | —                | —    | —                | 18.6             | 239.0         | 2.5           | 241.5       |
| 蓝莓   | —               | 48.1             | —                | 2.5  | —                | —                | 117.4         | 9.6           | 129.4       |
| 菠萝蜜  | 14.4            | 14.2             | —                | —    | —                | 43.9             | 397.2         | 18.0          | 415.2       |
| 无花果  | 1.5             | 17.1             | —                | —    | —                | 55.3             | 246.4         | 1.5           | 247.9       |
| 杏子   | 2.6             | 14.0             | 2.5              | —    | —                | —                | 132.1         | 5.0           | 137.2       |
| 苹果   | —               | 10.9             | 8.2              | —    | —                | —                | 295.1         | 8.2           | 303.3       |
| 梨汁   | 22.5            | 11.0             | —                | —    | 0.5              | —                | 69.4          | 23.0          | 92.3        |
| 樱桃   | 25.0            | 11.0             | —                | —    | 16.4             | 1.2              | 165.6         | 44.2          | 209.8       |
| 杨桃   | 3.8             | 13.7             | —                | —    | —                | 15.6             | 69.9          | 7.5           | 77.4        |
| 草莓   | —               | 13.8             | —                | —    | —                | 27.5             | 41.3          | 0.0           | 41.3        |
| 甜橙   | —               | 16.6             | —                | —    | —                | —                | 75.7          | 4.6           | 80.3        |

<sup>†</sup> “—”为未检出,“a”为酚酸类多酚,“b”为黄酮类多酚。

著不同。研究<sup>[8]</sup>表明,多酚物质是水果的味道、颜色和营养特性的物质基础,直接影响水果及其加工食品的口味和质量。酚类物质不仅是不同种类果汁的特征性组分,而且可以通过不同品种果汁的多酚物质组成和含量建立指纹图谱对果汁样品进行溯源和甄别真伪<sup>[16-17]</sup>。

## 2.2 果汁样品的感官评价及轮廓图分析

如图 1 所示,桑葚、百香果、番茄、葡萄、菠萝蜜、苹果和樱桃 7 种果汁样品总得分在 12 分以上,属于果味比较浓郁样品。其中桑葚口味丰富,苦味、涩味和辣味得分都比较高,分别为 5.86,4.86,5.43,其次是百香果,酸味非常突出(6.29)。从单一味觉特征来看,大多数果汁样品如苹果汁、草莓汁、杨桃、樱桃、杏汁和梨汁等具有明显的甜

味,其中杏子、梨汁、樱桃、杨桃和苹果甜味单项得分均高于 5,而部分果汁中酸味得分同时也比较高,口感上属于甜酸型<sup>[18]</sup>。

为进一步比较 14 种果汁的不同味觉特征,对不同样品的味觉特征进行了轮廓图分析。由图 2 可知:① 甜味是所有浓缩果汁中最普遍的口味,9 种果汁(草莓、梨、杏子、樱桃、苹果、番茄、杨桃、菠萝蜜和葡萄)都有明显的甜味,得分较高。葡萄虽然甜度得分与其他果汁接近,但同时有一定的苦味,口感更加丰富。② 同为甜味果汁,但不同果汁口味上仍有差别。樱桃、草莓、梨和杏均是明显以甜味为主的果汁,甜味得分占总得分 60% 以上。番茄和苹果则是酸甜味特征明显的果汁,其中苹果甜味更明显,

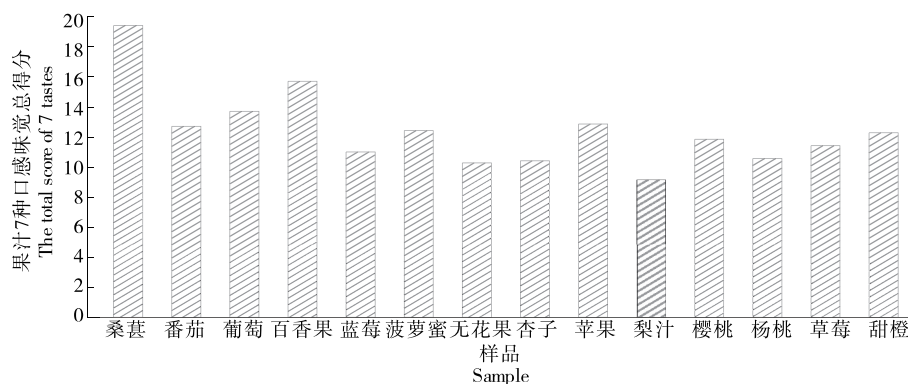


图 1 果汁样品感官评价总得分图

Figure 1 The total score of sensory evaluation of fruit juice samples

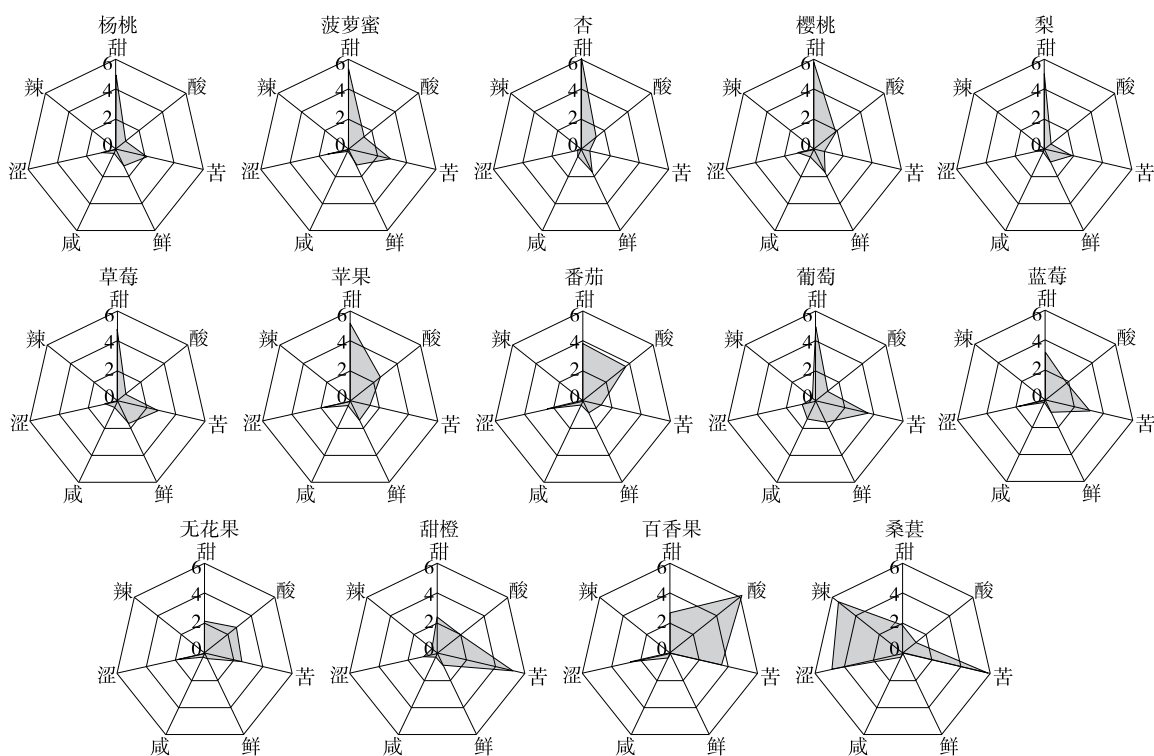


图 2 果汁样品感官评价轮廓图

Figure 2 The outline diagram of sensory evaluation of fruit juice samples



而番茄甜度降低,但同时酸味得分更高,风味更浓郁。

③ 有5种果汁(蓝莓、无花果、甜橙、百香果和桑葚)口感苦味比较明显,桑葚是苦、涩和辣三味都很突出的样品,因此与其他果汁样品差异非常显著。百香果是唯一以酸味为主要味道的果汁(酸味得分占总得分约50%),与无花果果汁整体形状一定程度相似,但无花果果汁酸味、甜味、苦味和涩味分值均有下降,蓝莓、甜橙与这两种果汁相比,酸味有减少而苦味略有加强,同时有较明显的甜味,口味层次更丰富。总体来说,14种果汁可粗分成两大类,即甜味和苦味,细分成4种类型,分别为甜味果汁(杨桃、草莓、樱桃、菠萝蜜、梨汁和杏子)、甜酸味果汁(苹果和番茄)、苦味果汁(无花果、蓝莓、甜橙和百香果)和苦涩味果汁(桑葚)。

### 2.3 果汁样品聚类分析

依照7项味觉特征对14个不同果汁样品进行聚类分析,由图3可知,当组间距离为15时,14个果汁样品可以划分为两个类组:甜味组和苦味组。当组间距离为6时,14个果汁样品被划分为4个类组,第一类是甜味果汁(样品为杏、樱桃、菠萝蜜、杨桃、梨汁、草莓、番茄和苹果,其中番茄和苹果属于甜中带酸口味),第二类为单独的葡萄果汁样品,属于甜中略有苦味,第三类是苦味果汁(样品为蓝莓、无花果、甜橙和百香果),第四类为单独的桑葚果汁样品,属于苦中有涩味和辣味口味。葡萄果汁虽然归属为甜味果汁(甜味得分5.0),但是同时其苦味得分也较高(3.57),因此聚类分析时与纯甜味果汁、甜酸味果汁的距离要略远。桑葚果汁因为苦、涩和辣3种口味都很突出,虽归属为苦味,但与其他4种口味果汁的距离较远。这与2.2中轮廓图分析结果基本一致。

### 2.4 果汁样品的多酚物质含量与口感特征的关系

许多果汁具有苦味和涩味,单纯的苦味或涩味是不适合的,但在调节味觉和丰富食品的风味等方面有着有益的贡献。如前所述,苦味和涩味果汁(如桑葚)中多酚含量较多,酸味果汁(如菠萝蜜、番茄、苹果和无花果)次之,而纯甜味果汁中多酚含量都普遍较低。从分析结果来看,果汁中含量最高的化合物是绿原酸类(绿原酸和新绿原酸),绿原酸具有抗菌、抗病毒、增高白血球、抗肿瘤、

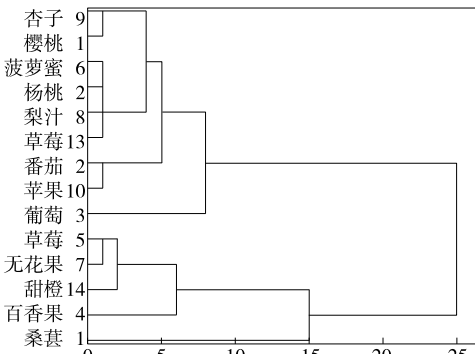


图3 基于7项味觉特征的14种不同果汁样品使用沃德联接的谱系图

Figure 3 The tree diagram of 7 taste characteristics indexes of 14 different fruit juice samples using Ward connection

降血压、降血脂、清除自由基和兴奋中枢神经系统等作用,是一类重要的生物活性物质<sup>[6]</sup>。

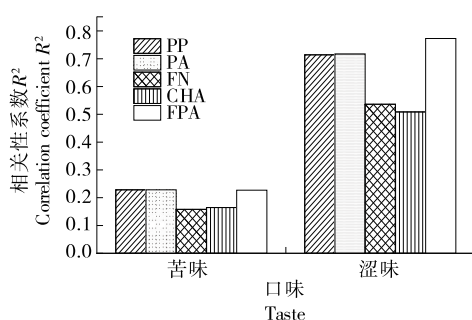
对果汁多酚物质的总含量、酚酸类含量、黄酮类含量、绿原酸类含量和游离酚酸类含量与口感中的苦味和涩味得分进行了相关性分析,如表3和图4所示,多酚类物质的总含量、总酚酸类、总黄酮类、绿原酸类和游离酚酸类与果汁口感特征中的涩味得分均存在不同程度的相关关系,相关系数 $R^2$ 大小为游离酚酸类>总酚酸类>多酚类物质总量>总黄酮类>绿原酸类,游离酚酸类相关性最强,总酚酸类与总多酚类次之,而总黄酮类与绿原酸类最弱。研究<sup>[8]</sup>表明,酚类物质是水果及其加工制品中引起味觉苦味和涩味的物质,尤其是酚酸类物质易与口腔黏膜结合引起粗糙折皱的收敛感和干燥感即涩味,试验也进一步证明了其与涩味的密切关系。

酚酸类和黄酮类多酚在构成骨架上相差很大<sup>[5]</sup>:酚酸类主要是羟基苯甲酸和羟基肉桂酸及其衍生酯;黄酮类多酚(包括儿茶素、表儿茶素、根皮苷、槲皮苷和芦丁)是分子结构上具有2-苯基色原酮结构( $C_6-C_3-C_6$ )的多酚化合物,其中的羧酸基团已形成缩合苷元结构;而绿原酸类(含绿原酸和新绿原酸)是咖啡酸和奎尼酸缩合形成的酯,也不存在游离的羧酸基团。因此,多酚物质中含游

表3 果汁样品的多酚类物质含量与口味中苦味和涩味分值的相关性

Table 3 The correlation analysis between the contents of polyphenols and taste score of sensory evaluation of fruit juice samples

| 多酚物质           | 苦味( $X_1$ )               |         | 涩味( $X_2$ )                |         |
|----------------|---------------------------|---------|----------------------------|---------|
|                | 相关方程                      | $R^2$   | 相关方程                       | $R^2$   |
| 多酚总量( $Y$ )    | $Y = 14.02 + 89.46X_1$    | 0.228 1 | $Y = -89.41 + 203.54X_2$   | 0.713 1 |
| 总酚酸类( $Y_1$ )  | $Y_1 = 19.05 + 77.68X_1$  | 0.228 3 | $Y_1 = -71.43 + 177.14X_2$ | 0.716 5 |
| 总黄酮类( $Y_2$ )  | $Y_2 = -3.085 + 10.12X_1$ | 0.158 2 | $Y_2 = -16.37 + 23.96X_2$  | 0.536 1 |
| 绿原酸类( $Y_3$ )  | $Y_3 = -3.435 + 46.96X_1$ | 0.164 6 | $Y_3 = -56.67 + 106.23X_2$ | 0.508 7 |
| 游离酚酸类( $Y_4$ ) | $Y_4 = 10.09 + 29.47X_1$  | 0.227 0 | $Y_4 = -28.91 + 69.98X_2$  | 0.772 9 |



PP. 多酚总量 PA. 总酚酸类 FN. 总黄酮类 CHA. 绿原酸类  
FPA. 游离酚酸类

图 4 不同种类的多酚物质与果汁口感中的  
苦味和涩味相关性比较

Figure 4 The comparison of relativity between the types  
of polyphenolic compounds with value of bit-  
terness and astringency

离羧酸基团的酚酸类物质(包括没食子酸、对羟基苯甲酸、咖啡酸、阿魏酸、丁香酸、肉桂酸、对香豆酸等)对口中涩味的贡献更大,绿原酸类与黄酮类多酚则相对影响较小。相比涩味,多酚类物质与苦味也有类似的规律,但相关性明显减弱,可能是由于苦味的物质基础不仅有多酚类物质,还包括生物碱和氨基酸等物质<sup>[10]</sup>。刘文旭等<sup>[19]</sup>曾研究表明,草莓、黑莓和蓝莓小浆果中的多酚物质含量与其抗氧化能力存在显著性相关。因此,多酚类物质不仅是果汁抗氧化性的物质基础,同时也是果汁口感特征中引起涩味的主要物质基础,尤其是游离酚酸类物质。

### 3 结论

不同水果果汁的多酚物质的组成和含量差别很大,其中苦味和涩味果汁含量较高而纯甜味果汁含量最低。依据口感差异,并采用轮廓图结合聚类分析法将 14 种果汁分为甜味、酸甜味、苦味和苦涩味四类。在此基础上,相关分析结果表明果汁中总多酚物质含量、总酚酸含量、总黄酮含量、绿原酸类含量和游离酚酸类含量均与口感中涩味显著正相关。其中,多酚类物质尤其是游离酚酸类是引起果汁口感中涩味的物质基础。

### 参考文献

- [1] 蔡霄英, 龚茵茵. 食用花卉中的多酚类成分机生物活性研究进展[J]. 食品与机械, 2018, 34(11): 178-182, 189.  
CAI X Y, GONG Y Y. Polyphenols composition and biological activity in the edible flowers[J]. Food & Machinery, 2018, 34(11): 178-182, 189.
- [2] 李浩, 彭喜洋, 吴萍莹, 等. 植物多酚对肠道微生态影响的研究进展[J]. 食品与机械, 2019, 35(6): 222-227.  
LI H, PENG X Y, WU P X, et al. Progress on effects of plant polyphenols on intestinal microecology[J]. Food & Machinery, 2019, 35(6): 222-227.
- [3] 颜才植, 叶发银, 赵国华, 等. 食品中多酚形态的研究进展[J]. 食

品科学, 2015, 36(15): 249-254.

- YAN C Z, YE F Y, ZHAO G H, et al. A review of studies on free and bound polyphenols in foods[J]. Food Science, 2015, 36(15): 249-254.
- [4] PARETS L, ALECHAGA E, NUNEZ O, et al. Ultrahigh pressure liquid chromatography atmospheric pressure photoionization-tandem mass spectrometry for the determination of polyphenolic profiles in the characterization and classification of cranberry-based pharmaceutical preparations and natural extracts [J]. Analytical Methods, 2016, 8(5): 4 363-4 378.
- [5] 梁进欣, 白卫东, 杨娟, 等. 植物多酚的研究进展[J]. 农产品加工, 2020(11): 85-91.  
LIANG J X, BAI W D, YANG J, et al. Research progress on plant polyphenols[J]. Farm Products Processing, 2020(11): 85-91.
- [6] 陈颖茵. 植物提取物在化妆品中的应用概况与展望[J]. 云南化工, 2021, 48(6): 8-11.  
CHEN Y Y. Application and prospect of plant extracts in cosmetics[J]. Yunnan Chemical Technology, 2021, 48(6): 8-11.
- [7] WANG W, JUNG J, TOMASINO E, et al. Optimization of solvent and ultrasound-assisted extraction for different anthocyanin rich fruit and their effects on anthocyanin compositions[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 72(2): 229-238.
- [8] 林晓丽, 韩文凤, 郭红英, 等. 水果中酚类物质研究进展[J]. 食品与发酵科技, 2018, 54(3): 82-84.  
LIN X L, HAN W F, GUO H Y, et al. Research progress on phenolic substances in fruit [J]. Food and Fermentation Science & Technology, 2018, 54(3): 82-84.
- [9] KELLY N P, KELLY A L, OMAHONY J A. Strategies for enrichment and purification of polyphenols from fruit-based materials[J]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 83(1): 248-258.
- [10] 汤泽波, 冯涛, 庄海宁. 大宗水果风味物质的研究进展[J]. 中国果菜, 2020, 40(6): 1-9, 22.  
TANG Z B, FENG T, ZHUANG H N. Research progress of flavor compounds in bulk fruits[J]. China Fruit & Vegetable, 2020, 40(6): 1-9, 22.
- [11] 龚晓, 张有捷, 李赤翎, 等. 几种柑橘类水果功能性营养物质测定与比较分析[J]. 食品与机械, 2012, 28(2): 36-39.  
GONG X, ZHANG Y J, LI C L, et al. Determination and comparative analysis of functional nutrients in several citrus fruits[J]. Food & Machinery, 2012, 28(2): 36-39.
- [12] 黄彪, 何伟, 吴建鸿, 等. UPLC-MS/MS 同时测定铁皮石斛茎、叶、花中酚类组分的含量[J]. 食品科学, 2021, 42(10): 262-268.  
HUANG B, HE W, WU J H, et al. Simultaneous determination of phenolic components in dendrobium officinale stem, leave and flower by ultra-high performance liquid[J]. Food Science, 2021, 42(10): 262-268.
- [13] 包莉圆, 钟海雁, 王蔚婕, 等. 南山茶饼中乙醇提取物 5 个多酚化合物的分离纯化[J]. 食品与机械, 2017, 33(4): 133-138.  
BAO L Y, ZHONG H Y, WANG W J, et al. Isolation, purification and identification of extracts from seed of Camellia Semiserrata Chi[J]. Food & Machinery, 2017, 33(4): 133-138.

(下转第 17 页)

- tives[J]. LWT, 2018, 96: 350-356.
- [7] 张天学. 热处理对青稞淀粉结构和性质的影响[D]. 广州: 华南理工大学, 2016: 28.
- ZHANG T X. Effect of heat treatment on structure and Properties of Barley starch [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2016: 28.
- [8] 孙彩玲, 田纪春, 张永祥. TPA 质构分析模式在食品研究中的应用[J]. 实验科学与技术, 2007(2): 1-4.
- SUN C L, TIAN J C, ZHANG Y X. Application of TPA texture analysis model in food research[J]. Experimental Science and Technology, 2007(2): 1-4.
- [9] 徐琳娜, 王宇凡, 张文斌. 预处理条件对食味计评价江南地区粳米品质的影响[J]. 食品与机械, 2021, 37(1): 44-48.
- XU L N, WANG Y F, ZHANG W B. Effects of pretreatment conditions on the evaluation of the taste quality of japonica rice in Jiangnan area with rice taste analyzer[J]. Food & Machinery, 2021, 37(1): 44-48.
- [10] 毕仕林. 升温速率和浸泡温度对米饭食味品质的影响及机制剖析[D]. 无锡: 江南大学, 2020: 31-32.
- BI S L. Effects of heating rate and soaking temperature on rice taste quality and mechanism analysis [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020: 31-32.
- [11] 余世锋, 杨秀春, MENAGER L, 等. 直链淀粉、蛋白质及脂类对大米粉热特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(4): 38-42.
- YU S F, YANG X C, MENAGER L, et al. Influence of linear starch, protein and lipid on rice powder thermal characteristics[J]. Food & Fermentation Industry, 2009, 35(4): 38-42.
- [12] 吴焱, 袁嘉琦, 张超, 等. 粳稻脂肪含量对淀粉热力学特性及米饭食味品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(4): 1-7, 29.
- WU Y, YUAN J Q, ZHANG C, et al. Effects of fat content in japonica rice on thermodynamic properties of starch and eating quality of rice[J]. Journal of the China Cereals and Oils Society, 2021, 36(4): 1-7, 29.
- [13] 曹先梅. Wx 基因近等基因系水稻稻米淀粉性质差异及其对后期氮肥的响应[D]. 扬州: 扬州大学, 2017: 38-39.
- CAO X M. Differences in starch properties and response to late nitrogen fertilizer in rice with Wx near-isogenic line[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2017: 38-39.
- [14] 闫舒, 李洪岩, 王静. 蒸谷米加工工艺及品质的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(18): 166-174.
- YAN S, LI H Y, WANG J. Research progress on processing technology and Quality of steamed Rice[J]. Food Research and Development, 2021, 42(18): 166-174.
- [15] 张园园, 朱小琳, 杨玉民, 等. 超高压糙米饭的制备及质构分析[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(3): 102-106.
- ZHANG Y Y, ZHU X L, YANG Y M, et al. Preparation and texture analysis of ultra-high pressure brown rice[J]. Grain & Fat, 2021, 34(3): 102-106.
- [16] 王涛. 米粉加工专用稻米后熟机理的研究[D]. 青岛: 青岛农业大学, 2010: 42.
- WANG T. Study on post-ripening mechanism of special rice for rice flour processing [D]. Qingdao: Qingdao Agricultural University, 2010: 42.
- [17] 何梦. 蒸煮条件对米制品品质的影响[D]. 上海: 上海交通大学, 2019: 38.
- HE M. Effects of cooking conditions on the quality of rice products[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2019: 38.
- [18] PIENIAZEK F, SANCHO A, MESSINA V. Texture and color analysis of lentils and rice for instant meal using image processing techniques[J]. Food Processing and Preservation, 2016, 40(5): 969-978.
- [19] HAN J A, LIM S T. Effect of presoaking on textural, thermal, and digestive properties of cooked brown rice[J]. Cereal Chemistry, 2009, 86(1): 100-105.
- (上接第 12 页)
- [14] 柴鹏飞, 李林洁, 刘静, 等. 基于聚类分析的浓缩苹果汁风味品质分析与评价[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(2): 94-101.
- CHAI P F, LI L J, LIU J, et al. Analyzing and evaluating the flavor quality of concentrated apple juice based on the method of cluster analysis[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(2): 94-101.
- [15] 公丽艳, 孟宪军, 刘乃侨, 等. 基于主成分与聚类分析的苹果加工品质评价[J]. 农业工程学报, 2014, 30(13): 276-285.
- GONG L Y, MENG X J, LIU N Q, et al. Evaluation of apple quality based on principal component and hierarchical cluster analysis [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(13): 276-285.
- [16] 郑妍. 几种果汁中酚类物质的 UPLC 分析及其指纹图谱构建[D]. 郑州: 中国农业科学院, 2018: 6-10.
- ZHENG Y. Determination of phenolic compounds in selected fruit juices by UPLC and construction of fingerprint[D]. Zhengzhou: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2018: 6-10.
- [17] FRANQUET-GRIELL H, CHECA A, NUEZ O, et al. Determination of polyphenols in Spanish wines by capillary zone electrophoresis. Application to wine characterization by using chemometrics[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(34): 8 340-8 349.
- [18] 郑丽静, 聂继云, 闫震. 糖酸组分及其对水果风味的影响研究进展[J]. 果树学报, 2015, 32(2): 304-312.
- ZHENG L J, NIE J Y, YAN Z. Advances in research on sugars, organic acids and their effects on taste of fruits[J]. Journal of Fruit Science, 2015, 32(2): 304-312.
- [19] 刘文旭, 黄午阳, 曾晓雄, 等. 草莓、黑莓、蓝莓中多酚类物质及其抗氧化活性研究[J]. 食品科学, 2011, 32(23): 130-133.
- LIU W X, HUANG W Y, ZENG X X, et al. Phenolic content and antioxidant capacity of strawberry, blackberry and blueberry[J]. Food Science, 2011, 32(23): 130-133.