

# 新型嘉宝果起泡酒香气成分及特征香气分析

丁吉星<sup>1</sup>, 何玉云<sup>1</sup>, 梁艳英<sup>1</sup>, 崔长伟<sup>1</sup>, 王 华<sup>1,2,3,\*</sup>, 李 华<sup>1,2,3</sup>

(1.西北农林科技大学葡萄酒学院, 陕西 杨凌 712100; 2.陕西省葡萄与葡萄酒工程技术研究中心, 陕西 杨凌 712100;  
3.西北农林科技大学合阳葡萄试验示范站, 陕西 合阳 715300)

**摘 要:** 以热带水果嘉宝果为原料, 采用新型发酵工艺酿造香气怡人的嘉宝果起泡酒。通过搅拌棒萃取法提取酒样香气成分, 利用气相色谱-质谱联用结合内标法进行定性定量分析。共检测到104种香气成分, 其中主要有酯类、醇类、有机酸类、醛酮类、萜烯类以及芳香族化合物。根据气味活性值, 从中筛选出12种特征香气成分, 其活性值由大到小依次为: 肉桂酸乙酯、反-肉桂酸乙酯、己酸乙酯、辛酸乙酯、癸酸乙酯、丁酸乙酯、乙酸异戊酯、乙酸苯乙酯、苯甲酸甲酯、里那醇、异戊酸乙酯、月桂酸。这些特征香气成分的描述词均以果香和花香为主。由30名经过葡萄酒标准香气物质培训的品尝员进行感官量化分析, 得到的实际特征香气与筛选鉴定出的香气成分的气味描述相符程度较高。验证采用新型工艺酿造的嘉宝果起泡酒具有以草莓等果香和花香为主体, 并伴随着蜂蜜和其他复杂香气的香气特征。

**关键词:** 嘉宝果; 起泡酒; 气相色谱-质谱法; 香气成分; 特征香气

## Analysis of Volatile Aroma Compounds and Aromatic Characteristics from Jaboticaba Sparkling Wine

DING Ji-xing<sup>1</sup>, HE Yu-yun<sup>1</sup>, LIANG Yan-ying<sup>1</sup>, CUI Chang-wei<sup>1</sup>, WANG Hua<sup>1,2,3,\*</sup>, LI Hua<sup>1,2,3</sup>

(1. College of Enology, Northwest A&F University, Yangling 712100, China;

2. Shaanxi Engineering Research Center for Vitis-Viniculture, Yangling 712100, China;

3. Grape and Wine (Heyang) Test Station, Northwest A&F University, Heyang 715300, China)

**Abstract:** A jaboticaba sparkling wine displaying well-defined flavor features was brewed by a unique sparkling wine fermentation process using jaboticaba fruits from the tropics as the main material. Volatile aroma compounds present in the wine were extracted by stir bar sportive extraction (SBSE) and analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Meanwhile, quantitation was carried out using an internal standard method. Totally, 104 compounds were identified. The results showed that esters, alcohols, organic acids, carbonyls, terpenes and aromatic compounds were the major volatile aroma compounds of the sparkling wine. Odor active value (OAV) analysis indicated that 12 of the 104 volatile compounds contributed to the critical characteristic aroma, which were ranked in decreasing order of active value as: ethyl cinnamate, methyl *trans*-cinnamate, ethyl caproate, ethyl caprylate, ethyl caprate, ethyl butyrate, isoamyl acetate, phenethyl acetate, methyl benzoate, linalool, ethyl isovalerate, and lauric acid. The main descriptors for all these characteristic aroma components were floral and fruity. Sensory analysis was conducted by 30 panelists who had been trained by using “Le Nez du Vin” wine aroma kit, and the actual aroma characteristics closely agreed with the descriptions of aroma components. Thus it was verified that the jaboticaba sparkling wine was dominated by delicately floral and fruity aroma together with strawberry-like aroma and other sophisticated aroma characteristics.

**Key words:** jaboticaba; sparkling wine; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); flavor compounds; characteristic aroma

中图分类号: TS255.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2014) 24-0145-06

doi:10.7506/spkx1002-6630-201424028

嘉宝果 (*Myrciaria cauliflora* Berg) 又称树葡萄、拟爱神木、拟香桃木、巴西杨梅, 为桃金娘科拟爱神木属果树, 原产于巴西南部。英文名Jaboticaba<sup>[1]</sup>或

Jaboticaba<sup>[2]</sup>。嘉宝果果实球型, 直径1.5~4 cm, 直接着生于老树枝和树干上, 具1~4颗种子<sup>[3]</sup>, 成熟时果皮呈深紫色或黑色, 果肉呈白色凝胶状<sup>[4]</sup>。果皮中含有极其丰

收稿日期: 2014-03-17

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目 (2012BAD31B07)

作者简介: 丁吉星 (1988—), 男, 硕士研究生, 研究方向为葡萄酒与果酒。E-mail: dingding9070@126.com

\*通信作者: 王华 (1959—), 女, 教授, 博士, 研究方向为葡萄与葡萄酒及食品安全与质量控制。E-mail: wanghua@nwsuaf.edu.cn

富的黄酮类、花青素和酚酸等抗氧化能力强<sup>[5]</sup>的酚类物质<sup>[9]</sup>,因此嘉宝果被用于癌症和糖尿病等多种疾病的治疗<sup>[7-8]</sup>。果实口感怡人,香气丰富特别<sup>[9]</sup>。由于鲜果不耐贮藏<sup>[10]</sup>,除鲜食外还被用来制汁、酿酒、制醋和生产果胶等<sup>[11]</sup>。这些产品价格高昂,极具开发利用价值<sup>[12]</sup>。目前有关嘉宝果的研究,酚类等活性物质研究较多,而果实及加工产品的香气研究甚少。仅有Duarte等<sup>[13]</sup>对果实进行了初步研究,显示嘉宝果果实香气比较丰富。水果起泡酒芳香清爽,口感易于接受,近年来在我国市场发展迅速。目前水果起泡酒大多参照葡萄起泡酒的工艺<sup>[14]</sup>,不仅设备要求高,过程复杂,而且其直接压榨的工艺不能有效利用嘉宝果果皮中的活性成分<sup>[15]</sup>。本实验针对嘉宝果果实特点,利用新型工艺酿造嘉宝果起泡酒,旨在考察嘉宝果果酒的香气状况和香气特征,以期生产出芳香怡人的嘉宝果起泡酒,丰富果酒酒种。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

嘉宝果果实购于四川成都市场;活性干酵母、果胶酶 法国Laffort公司;2-辛醇(纯度99.5%) 美国Sigma公司;常规试剂 天津科密欧化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

Finnigan TRACE DSQ气相色谱-质谱联用仪 美国Thermo公司;色谱柱DB-Wax (30 m×0.25 mm, 0.25 μm) 美国J&W Scientific Folsom公司;萃取磁力加热仪 美国Corning公司;搅拌棒(20 mm×0.5 mm) 德国Gerstel公司;起泡酒发酵罐(150 L) 山东泰山恒信机械有限公司;YRC-A饮料二氧化碳含量测定仪 北京杜威远大科技有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 起泡酒工艺路线

新型工艺是在“密封罐法”起泡酒的基础上进行改良,整个过程只进行一次酒精发酵,控制发酵缓慢进行,在发酵定点(残糖25 g/L)将发酵液转入密封压力罐,利用残糖密闭发酵,产生CO<sub>2</sub>并陈酿制成起泡酒。全过程严格控温:转罐密闭前温度控制在15~17℃区间,转罐密闭后温度控制在10~12℃区间。主要工艺关键点为:果实预冷处理、筛选、破碎、辅料添加、低温浸渍发酵、发酵中压榨分汁、清汁发酵、转入密封压力罐产生CO<sub>2</sub>、低温终止发酵、陈酿、等压过滤灌装(图1)。

#### 1.3.2 基本理化指标测定

还原糖含量、滴定酸、酒精度、pH值、干浸出物含量、挥发酸含量等基本指标测定按照王华<sup>[16]</sup>的方法。

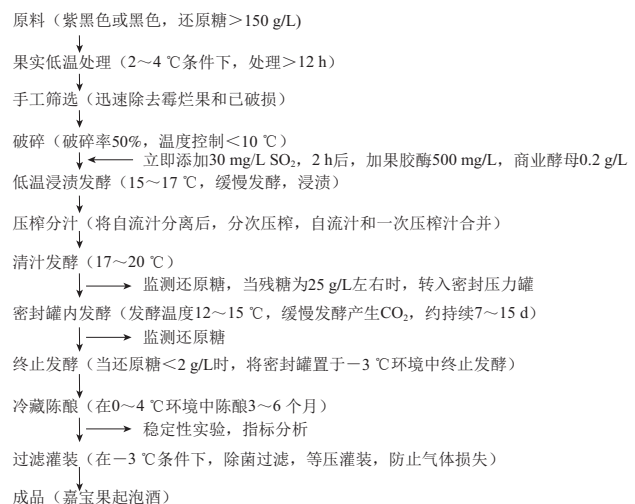


图1 嘉宝果起泡酒工艺流程图

Fig.1 Flow diagram of jaboticaba sparkling wine production

### 1.3.3 香气成分搅拌棒萃取-气相色谱-质谱(stir barsortive extraction-gas chromatography-mass spectrometry, SBSE-GC-MS)测定

#### 1.3.3.1 香气物质的提取

采用SBSE法,按照Delgado<sup>[17]</sup>的方法,并根据Song Jianqiang等<sup>[18]</sup>方法稍作改动。取10 mL酒样,置于15 mL样品瓶中,加入2 g NaCl和50 μL内标2-辛醇,放入搅拌子后用瓶塞密封,置于磁力搅拌器上,室温条件下萃取60 min,转子转速1 100 r/min。萃取结束后,用镊子将搅拌棒小心取出,色谱级蒸馏水反复冲洗后,用吸水纸吸干水分,最后放入热解吸玻璃管,待测。

#### 1.3.3.2 香气成分的GC-MS分析

色谱条件:色谱柱:DB-Wax (30 m×0.25 mm, 0.25 μm);以He为载气;流速1 mL/min。升温程序:40℃保持3 min,随后以4℃/min升至160℃,7℃/min升至230℃,保持8 min;连接杆温度设为230℃;脱附流速45 mL/min;加热阀温度245℃,脱附管温度270℃;脱附15 min;传输线温度255℃;冷阱捕集温度设为-30℃,以40℃/min升至255℃(二极解吸冷阱温度);出口分流比3:1。

质谱条件:全扫描,范围为45~450 u,每秒扫描1次;电子电离源;离子源温度230℃;电子能量设70 eV;灯丝流量设0.2 mA;检测器电压350 V。

#### 1.3.4 感官分析

香气量化分析采用Tao Yongsheng等<sup>[19]</sup>方法进行。由30名葡萄酒专业学生组成品尝小组,进行为期30 d的葡萄酒标准香气物质训练,最终要求品尝组香气特征辨别分析结果的偏差小于整体平均值的5%。品尝员在20℃条件下,对静止酒样闻香5~8 s,然后晃动酒杯闻5~10 s,两样闻香操作间隔1 min。要求用葡萄酒标准香气里的4~5个特征词汇描述样品香气特征,并用五点标度法对每一香气特征进行量化。

## 1.4 数据处理

### 1.4.1 香气成分定性定量

通过对各色谱峰对应的质谱图进行人工解析,并在质谱库(NIST 02图谱)中进行计算机检索,确定化合物分子结构,进行香气成分的定性分析。采用内标法(2-辛醇)进行半定量分析,即通过比较待测组分与内标物峰面积的比值,校正后计算出待测组分的质量浓度。按公式(1)计算:

$$\text{各组分质量浓度} = \text{各组分的峰面积} \times \text{内标物质量浓度} \times \frac{f}{\text{内标峰面积}} \quad (1)$$

式中:  $f$  为各组分对内标物的校正因子,  $f=1$ 。

### 1.4.2 特征香气成分的确定

特征香气由气味活性值(odor activity value, OAV)来确定,当OAV大于1时,确定为特征香气物质<sup>[20]</sup>。  
 $\text{OAV} = \text{香气成分浓度} / \text{香气成分阈值}$ 。

### 1.4.3 感官分析中香气量化处理

某一香气特征的最终量化强度值是综合品尝组对这一香气特征词汇的使用频率和强度平均值的信息,可以量化强度值按公式(2)计算:

$$M = \sqrt{FI} \quad (2)$$

式中:  $M$  为量化强度值%;  $I$  为强度平均值%;  $F$  为使用频率%。

## 2 结果与分析

### 2.1 基本理化指标

酿造起泡酒一般要求原料有较高的酸度、不过高的糖度,以带来清爽醇香的口感。由表1可知,嘉宝果果实酸度较高,适宜起泡酒对原料的要求。嘉宝果起泡酒压力达到0.35 MPa以上,其他各项指标均符合国家标准<sup>[21]</sup>中对起泡酒的标准要求。

表1 嘉宝果果实与嘉宝果起泡酒的基本指标

Table 1 Quality indices of jaboticaba fruits and jaboticaba sparkling wine

| 样品     | 还原糖含量/(g/L)<br>(以葡萄糖计) | 总酸含量/(g/L)<br>(以酒石酸计) | pH   | 酒精体积<br>分数/% | 干浸出物<br>含量/(g/L) | 挥发酸含量/(g/L)<br>(以醋酸计) | CO <sub>2</sub> 压<br>力/MPa |
|--------|------------------------|-----------------------|------|--------------|------------------|-----------------------|----------------------------|
| 嘉宝果果实  | 158                    | 7.9                   | 3.38 | —            | —                | —                     | —                          |
| 嘉宝果起泡酒 | 1.36                   | 8.4                   | 3.32 | 8.62         | 26.5             | 0.32                  | 0.45                       |

注:—未进行该指标的检测。

### 2.2 香气成分鉴定

嘉宝果起泡酒GC-MS总离子图见图2,经质谱库检索,鉴定出的香气物质见表2。

嘉宝果起泡酒经过GC-MS分析,共检测出110个峰,根据NIST 02谱库中标准化合物的图谱进行检索,鉴定出酯类、醇类、有机酸类、醛酮类、萜烯类和其他种类共104种香气物质。鉴定出的化合物的相对含量占有峰面积的96.19%。

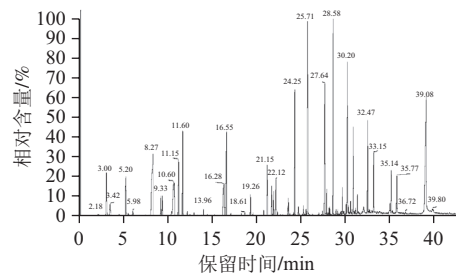


图2 嘉宝果起泡酒的GC-MS总离子图

Fig.2 GC-MS total ion chromatogram of volatile compounds in jaboticaba sparkling wine

表2 嘉宝果起泡酒中香气成分

Table 2 Volatile aroma compounds identified in jaboticaba sparkling wine

| 香气成分 | 保留时间/min | 匹配度/% | 香气化合物         | 分子式                                         | 相对分子质量 | 质量浓度/( $\mu\text{g/L}$ ) |
|------|----------|-------|---------------|---------------------------------------------|--------|--------------------------|
| 酯类   | 3.42     | 98.30 | 乙酸乙酯          | $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$            | 88     | $292.64 \pm 1.62$        |
|      | 4.44     | 95.37 | 丙酸乙酯          | $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_2$         | 102    | $35.63 \pm 0.37$         |
|      | 4.59     | 81.34 | 异丁酸乙酯         | $\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2$         | 116    | $3.46 \pm 0.61$          |
|      | 5.47     | 85.15 | 乙酸异丁酯         | $\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2$         | 116    | $67.68 \pm 2.52$         |
|      | 5.98     | 96.73 | 丁酸乙酯          | $\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2$         | 116    | $125.58 \pm 6.04$        |
|      | 6.36     | 75.99 | 2-甲基丁酸乙酯      | $\text{C}_9\text{H}_{16}\text{O}_2$         | 130    | $1.90 \pm 0.02$          |
|      | 6.72     | 81.60 | 异戊酸乙酯         | $\text{C}_9\text{H}_{16}\text{O}_2$         | 130    | $7.03 \pm 0.01$          |
|      | 8.16     | 94.57 | 乙酸异戊酯         | $\text{C}_9\text{H}_{16}\text{O}_2$         | 130    | $1222.93 \pm 51.04$      |
|      | 8.27     | 87.27 | 丙酮酸异戊酯        | $\text{C}_9\text{H}_{14}\text{O}_3$         | 158    | $1381.23 \pm 13.93$      |
|      | 9.15     | 85.23 | 巴豆酸乙酯         | $\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}_2$      | 114    | $336.18 \pm 3.91$        |
|      | 9.83     | 83.69 | 4-甲基戊酸甲酯      | $\text{C}_9\text{H}_{16}\text{O}_2$         | 130    | $4.72 \pm 0.21$          |
|      | 9.85     | 87.32 | 丙酸-2-甲基丁酯     | $\text{C}_9\text{H}_{16}\text{O}_2$         | 144    | $2.09 \pm 0.07$          |
|      | 9.88     | 87.11 | 丙酸异戊酯         | $\text{C}_9\text{H}_{16}\text{O}_2$         | 144    | $3.58 \pm 0.73$          |
|      | 9.90     | 77.21 | 丙酸-2-戊酯       | $\text{C}_9\text{H}_{16}\text{O}_2$         | 144    | $10.34 \pm 0.28$         |
|      | 11.15    | 91.72 | 己酸乙酯          | $\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$         | 144    | $908.61 \pm 5.79$        |
|      | 12.12    | 90.09 | 乙酸己酯          | $\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$         | 144    | $58.95 \pm 2.01$         |
|      | 12.88    | 84.13 | 3-己烯酸乙酯       | $\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2$         | 142    | $47.32 \pm 3.16$         |
|      | 13.29    | 80.00 | 乙酸叶醇酯         | $\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2$         | 142    | $17.70 \pm 0.46$         |
|      | 13.74    | 82.68 | 庚酸乙酯          | $\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}_2$         | 158    | $22.58 \pm 0.77$         |
|      | 14.81    | 89.49 | 乙酸庚酯          | $\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}_2$      | 158    | $14.50 \pm 1.20$         |
|      | 15.06    | 82.04 | 2-乙基己基乙酸酯     | $\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_2$      | 172    | $3.95 \pm 0.06$          |
|      | 15.51    | 76.95 | 2-甲基-2-丙烯酸戊酯  | $\text{C}_9\text{H}_{16}\text{O}_2$         | 156    | $12.54 \pm 2.31$         |
|      | 15.58    | 88.85 | 丙烯酸-2,3-环氧丙酯  | $\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}_3$         | 128    | $1.42 \pm 0.26$          |
|      | 16.55    | 98.70 | 辛酸乙酯          | $\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_2$      | 172    | $1838.92 \pm 21.05$      |
|      | 16.66    | 81.61 | 甲硫基乙酸乙酯       | $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_2\text{S}$ | 134    | $5.62 \pm 0.63$          |
|      | 17.60    | 75.42 | 2,4-己二烯酸乙酯    | $\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2$         | 140    | $2.81 \pm 0.08$          |
|      | 17.66    | 88.21 | 辛烯酸乙酯         | $\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}_2$      | 170    | $7.11 \pm 0.17$          |
|      | 19.14    | 81.37 | 2-羟基-4-甲基戊酸乙酯 | $\text{C}_9\text{H}_{16}\text{O}_3$         | 160    | $11.99 \pm 0.91$         |
|      | 20.74    | 88.85 | 苯甲酸甲酯         | $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2$            | 136    | $75.26 \pm 5.83$         |
|      | 20.95    | 78.95 | 乙硫基乙酸乙酯       | $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_2\text{S}$ | 148    | $9.66 \pm 0.95$          |
|      | 21.15    | 93.36 | 癸酸乙酯          | $\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}_2$      | 200    | $1305.22 \pm 56.7$       |
|      | 21.52    | 79.65 | 辛酸-3-甲基丁酯     | $\text{C}_{13}\text{H}_{26}\text{O}_2$      | 214    | $8.78 \pm 0.42$          |
|      | 21.64    | 86.94 | 苯甲酸乙酯         | $\text{C}_9\text{H}_{10}\text{O}_2$         | 150    | $342.37 \pm 47.02$       |
|      | 19.61    | 87.06 | 3-甲硫基丙酸乙酯     | $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_2\text{S}$ | 148    | $11.34 \pm 1.42$         |
|      | 21.88    | 95.23 | 丁二酸二乙酯        | $\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}_4$         | 174    | $328.55 \pm 4.99$        |
|      | 22.12    | 91.93 | 反-4-癸烯酸乙酯     | $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_2$      | 198    | $390.18 \pm 28.02$       |
|      | 23.53    | 89.78 | 水杨酸甲酯         | $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_3$            | 152    | $201.62 \pm 8.76$        |
|      | 23.72    | 84.66 | 苯乙酸乙酯         | $\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_2$      | 164    | $34.76 \pm 0.59$         |
|      | 24.10    | 83.96 | 水杨酸乙酯         | $\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{O}_3$      | 166    | $54.22 \pm 3.27$         |
|      | 24.25    | 94.22 | 乙酸苯乙酯         | $\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_2$      | 164    | $1841.00 \pm 78.34$      |
|      | 24.61    | 85.40 | 月桂酸乙酯         | $\text{C}_{14}\text{H}_{28}\text{O}_2$      | 228    | $31.02 \pm 10.63$        |

续表2

| 香气成分 | 保留时间/min | 匹配度/% | 香气化合物                   | 分子式                                            | 相对分子质量 | 质量浓度/(μg/L)    |
|------|----------|-------|-------------------------|------------------------------------------------|--------|----------------|
| 酯类   | 24.73    | 82.77 | 3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇甲酸酯  | C <sub>11</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub> | 182    | 33.47±4.84     |
|      | 25.25    | 80.27 | 3-苯丙酸乙酯                 | C <sub>11</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub> | 178    | 126.15±10.51   |
|      | 25.37    | 86.84 | 3-羟基月桂酸乙酯               | C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> O <sub>3</sub> | 244    | 33.10±2.54     |
|      | 27.75    | 93.06 | 2-甲氧基苯甲酸甲酯              | C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>  | 166    | 41.91±7.28     |
|      | 27.87    | 89.83 | 反-肉桂酸乙酯                 | C <sub>11</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub> | 176    | 281.03±26.88   |
|      | 28.19    | 76.16 | 3-羟基十三烷酸乙酯              | C <sub>15</sub> H <sub>30</sub> O <sub>3</sub> | 258    | 93.25±12.76    |
|      | 28.58    | 90.09 | 肉桂酸乙酯                   | C <sub>11</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub> | 176    | 2 345.56±36.85 |
|      | 30.55    | 84.88 | 酞酸二甲酯                   | C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub> | 194    | 204.84±9.25    |
|      | 31.33    | 93.65 | 酞酸二乙酯                   | C <sub>12</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub> | 222    | 227.82±3.64    |
|      | 33.15    | 98.68 | 邻苯二甲酸二异丁酯               | C <sub>16</sub> H <sub>22</sub> O <sub>4</sub> | 278    | 728.02±21.37   |
|      | 33.55    | 65.50 | 油酸二十烷醇酯                 | C <sub>38</sub> H <sub>74</sub> O <sub>2</sub> | 563    | 176.77±34.21   |
|      | 35.14    | 87.12 | 邻苯二甲酸二丁酯                | C <sub>16</sub> H <sub>22</sub> O <sub>4</sub> | 278    | 677.77±9.73    |
|      |          |       | 总计                      |                                                |        | 16 052.66      |
| 醇类   | 7.43     | 94.61 | 异丁醇                     | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O               | 74     | 28.10±2.02     |
|      | 10.05    | 82.73 | 4,6-庚二烯醇                | C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> O               | 112    | 2.10±0.67      |
|      | 10.12    | 86.02 | 5,8,11-十七烷三烯醇           | C <sub>17</sub> H <sub>30</sub> O              | 250    | 0.92±0.05      |
|      | 10.52    | 90.03 | 2-甲基-1-丁醇               | C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O               | 88     | 366.46±55.33   |
|      | 10.55    | 80.57 | 戊醇                      | C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O               | 88     | 1 368.08±25.92 |
|      | 10.68    | 87.35 | 异戊醇                     | C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O               | 88     | 462.30±2.63    |
|      | 14.40    | 85.41 | 正己醇                     | C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O               | 102    | 26.22±0.97     |
|      | 17.05    | 84.49 | 庚醇                      | C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> O               | 116    | 34.28±1.71     |
|      | 17.88    | 95.56 | 2-乙基己醇                  | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O               | 130    | 12.20±1.23     |
|      | 22.65    | 94.30 | 3-甲硫基丙醇                 | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> OS              | 106    | 24.63±0.47     |
|      | 25.71    | 93.24 | 苯乙醇                     | C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O               | 122    | 3 182.91±87.25 |
|      | 29.12    | 81.17 | 毕澄茄醇                    | C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O              | 222    | 205.99±17.92   |
|      |          |       | 总计                      |                                                |        | 5 714.18       |
| 酸类   | 21.75    | 84.57 | 3-甲基戊酸                  | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>  | 116    | 25.74±3.56     |
|      | 24.65    | 88.99 | 己酸                      | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>  | 116    | 107.95±1.03    |
|      | 27.64    | 95.66 | 辛酸                      | C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>  | 144    | 1 569.14±36.27 |
|      | 28.91    | 89.38 | 壬酸                      | C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>  | 158    | 72.08±7.05     |
|      | 30.20    | 89.61 | 癸酸                      | C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub> | 172    | 1 396.14±2.51  |
|      | 30.86    | 81.85 | 9-癩烯酸                   | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub> | 170    | 973.30±77.72   |
|      | 32.47    | 88.69 | 月桂酸                     | C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub> | 200    | 1 030.63±16.32 |
|      | 35.00    | 70.79 | 肉豆蔻酸                    | C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub> | 228    | 28.79±4.67     |
| 羰基类  |          |       | 总计                      |                                                |        | 5 203.77       |
|      | 12.44    | 91.91 | 2-辛酮                    | C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O               | 128    | 22.91±3.06     |
|      | 15.20    | 81.80 | 2-壬酮                    | C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O               | 142    | 31.34±8.28     |
|      | 15.28    | 86.83 | 壬醛                      | C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O               | 142    | 8.34±0.46      |
|      | 18.67    | 84.70 | 2-甲基四氢噻吩-3-酮            | C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> OS               | 116    | 14.00±10.53    |
|      | 24.34    | 86.17 | 大马酮                     | C <sub>13</sub> H <sub>18</sub> O              | 190    | 11.35±0.37     |
|      | 24.80    | 82.10 | 香叶基丙酮                   | C <sub>13</sub> H <sub>22</sub> O              | 194    | 23.54±0.93     |
|      | 27.29    | 82.34 | 椰子醛                     | C <sub>9</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>  | 156    | 22.24±4.36     |
|      | 35.77    | 88.32 | 7,9-二叔丁基-1-氧杂螺(4,5)癸烯二酮 | C <sub>17</sub> H <sub>26</sub> O <sub>3</sub> | 276    | 710.41±54.37   |
|      |          |       | 总计                      |                                                |        | 844.13         |
| 萜烯类  | 9.99     | 80.97 | 右旋萜二烯                   | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>                | 136    | 0.82±0.61      |
|      | 10.38    | 75.42 | 桉叶油醇                    | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O              | 154    | 145.25±23.95   |
|      | 14.23    | 64.58 | 玫瑰醚                     | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O              | 154    | 2.75±0.53      |
|      | 18.64    | 83.95 | 2-茨烯                    | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>                | 136    | 46.52±3.20     |
|      | 19.26    | 87.56 | 里那醇                     | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O              | 154    | 247.48±8.69    |
|      | 20.45    | 88.25 | 4-萜品醇                   | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O              | 154    | 19.03±1.39     |
|      | 22.30    | 80.36 | α-松油醇                   | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O              | 154    | 55.96±6.84     |
|      | 23.47    | 91.05 | β-香茅醇                   | C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O              | 156    | 103.43±2.67    |
|      | 24.02    | 86.35 | 橙花醇                     | C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O              | 154    | 18.67±6.29     |
|      | 25.41    | 90.05 | 角鲨烯                     | C <sub>30</sub> H <sub>50</sub>                | 410    | 10.37±7.38     |
|      |          |       | 总计                      |                                                |        | 650.28         |

续表2

| 香气成分 | 保留时间/min | 匹配度/% | 香气化合物              | 分子式                                            | 相对分子质量 | 质量浓度/(μg/L)    |
|------|----------|-------|--------------------|------------------------------------------------|--------|----------------|
| 其他类  | 3.49     | 87.07 | 1,1-二乙氧基乙烷         | C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>  | 118    | 76.51±8.34     |
|      | 4.27     | 77.77 | 2,4,5-三甲基-1,3-二氧戊烷 | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>  | 116    | 2.65±0.08      |
|      | 7.61     | 93.54 | 2-丙基-1,3-二氧戊烷      | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>  | 116    | 1.83±1.24      |
|      | 11.60    | 86.31 | 苯乙烯                | C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>                  | 104    | 1 189.42±52.58 |
|      | 12.38    | 60.97 | 3,5-二羟基苯甲酰胺        | C <sub>7</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>3</sub>  | 153    | 15.46±3.74     |
|      | 22.90    | 83.06 | 甘菊蓝                | C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>                 | 128    | 19.16±1.53     |
|      | 23.41    | 91.03 | 环癸烷                | C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>                | 140    | 30.15±3.35     |
|      | 25.12    | 75.39 | N-(3-甲基丁基)乙酰胺      | C <sub>7</sub> H <sub>13</sub> NO              | 129    | 38.44±2.97     |
|      | 26.93    | 87.20 | 愈创木烯               | C <sub>11</sub> H <sub>14</sub>                | 204    | 27.97±1.94     |
|      | 27.00    | 86.07 | 甲基丁香酚              | C <sub>11</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub> | 178    | 38.27±0.03     |
|      | 35.26    | 87.86 | 1,2-二棕榈精           | C <sub>35</sub> H <sub>68</sub> O <sub>3</sub> | 568    | 148.11±44.43   |
|      | 14.57    | 80.69 | 5-叔丁基联苯-2-酚        | C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> O              | 226    | 8.51±1.48      |
|      | 29.65    | 64.23 | 檀香素                | C <sub>12</sub> H <sub>16</sub> O <sub>3</sub> | 208    | 289.64±38.84   |
|      |          |       | 总计                 |                                                |        | 1 886.10       |

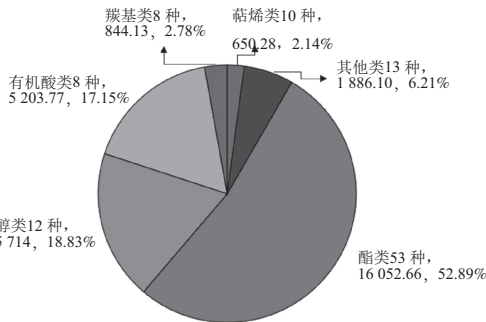


图3 香气成分比例图

Fig.3 Percentages of volatile aroma compounds in jaboticaba sparkling wine

由图3可知，检测到的酯类物质种类最多（53种），所占比例也最高，占到总含量的52.89%；其次为醇类物质，检测到12种醇占到总含量的18.83%；有机酸类与醇类相差不多，共检测到8种有机酸，占总含量的17.15%；羰基类和萜烯类物质分别占香气物质总含量的2.78%、2.14%；其他烃类和芳香族化合物，占香气物质总含量的6.21%。新型工艺生产的嘉宝果起泡酒（鉴定出物质104种，总质量浓度30 351.12 μg/L）与传统嘉宝果果酒（鉴定出物质58种，总质量浓度5 172.7 μg/L）<sup>[22]</sup>相比，香气种类和香气浓度分别高出79.31%、486.76%，香气成分更加复杂浓郁。与嘉宝果果实香气（共鉴定出45种）<sup>[9]</sup>相比，除香气提取方法的差异外，很可能是发酵和陈酿过程中产生了更多种类的香气物质，尤其是酯类。嘉宝果起泡酒香气的主要组分是酯类，其中肉桂酸乙酯占香气物质总含量的7.73%，是酯类中质量浓度最高的物质。乙酸苯乙酯（6.06%）、辛酸乙酯（6.05%）、丙酮酸异戊酯（4.55%）、癸酸乙酯（4.30%）、乙酸异戊酯（4.03%）、己酸乙酯（2.99%）含量亦较高。这些酯类是起泡酒的发酵香气，尤其是高级醇的乙酯，赋予酒复杂且明显的果香和花香<sup>[23]</sup>。醇类中苯乙醇质量浓度为3 182.91 μg/L，为酒样中检测到的质量浓度最高的化合物。



物, 占香气物质总量的10.49%, 并且占拒了12种醇类物质总和的55.7%。苯乙醇通常带来玫瑰花的气味<sup>[24]</sup>; 其次质量浓度较高的醇是戊醇, 占香气物质总量的4.51%。有机酸类物质以辛酸、癸酸、月桂酸、9-癸烯酸4种质量浓度较高, 分别占香气物质总量的5.17%、4.60%、3.40%、3.21%, 其他4种有机酸质量浓度极低。醛酮类和萜烯类物质单一物质质量浓度均很低, 在710.41  $\mu\text{g/L}$ 以下。萜烯类中里那醇质量浓度最高, 到达247.48  $\mu\text{g/L}$ 。其他烃类和芳香族化合物中苯乙烯质量浓度为最高, 占这类别14种物质总和的62.72%, 占香气物质总量的3.92%, 其次为榄香素。

### 2.3 特征香气分析

酒中的香气物质和香气特征之间有着复杂的联系。尽管OAV小于1的时候, 香气物质也会对整体香气产生一些影响<sup>[25]</sup>, 但只有香气物质的浓度高于阈值, 即OAV大于1, 才会被人类嗅觉明显地感觉出来。因此OAV是目前评价香气贡献的客观方法<sup>[26]</sup>。根据已经报道的香气物质气味描述, 并结合该物质的OAV, 才能得到理论上的特征香气成分。同时, 感官品尝分析必不可少, 可以用来验证并确定酒类的特征香气。尽管感官分析误差较大, 但通过量化方法可以提高准确度和稳定性<sup>[27]</sup>。

#### 2.3.1 特征香气成分

**表3 嘉宝果起泡酒特征香气成分OAV分析**  
**Table 3 OAV analysis of aromatic characteristics in jaboticaba sparkling wine**

| 编号 | 保留时间/min | 化合物     | 质量浓度/<br>( $\mu\text{g/L}$ ) | 阈值/<br>( $\mu\text{g/L}$ ) | OAV      | 气味描述           |
|----|----------|---------|------------------------------|----------------------------|----------|----------------|
| 1  | 28.58    | 肉桂酸乙酯   | 2 345.56                     | 1.1                        | 2 132.33 | 草莓香, 肉桂香, 奶酪味  |
| 2  | 27.87    | 反-肉桂酸乙酯 | 281.03                       | 1.1                        | 255.48   | 花香             |
| 3  | 11.15    | 己酸乙酯    | 908.61                       | 14                         | 64.9     | 青苹果, 果香, 草莓    |
| 4  | 16.55    | 辛酸乙酯    | 1 838.92                     | 250                        | 7.36     | 菠萝, 梨, 花香      |
| 5  | 21.15    | 癸酸乙酯    | 1 305.22                     | 200                        | 6.53     | 脂肪味, 果香, 舒适的腊味 |
| 6  | 5.98     | 丁酸乙酯    | 125.58                       | 20                         | 6.28     | 酸果香, 草莓, 果香    |
| 7  | 8.16     | 乙酸异戊酯   | 1 222.93                     | 200                        | 6.11     | 果香, 新鲜的香蕉味     |
| 8  | 24.25    | 乙酸苯乙酯   | 1 841                        | 650                        | 2.83     | 舒适的花香          |
| 9  | 20.74    | 苯甲酸甲酯   | 75.26                        | 30                         | 2.51     | 花香, 蜂蜜香        |
| 10 | 19.26    | 里那醇     | 247.48                       | 100                        | 2.47     | 玫瑰香, 果香, 果香    |
| 11 | 6.72     | 异戊酸乙酯   | 7.03                         | 3                          | 2.34     | 香蕉, 甜果         |
| 12 | 32.47    | 月桂酸     | 1 030.63                     | 1000                       | 1.03     | 干果, 金属, 月桂油    |

注: 香气化合物阈值和气味描述为文献参考值[28-29]。

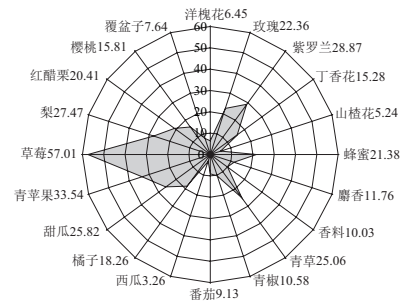
在鉴定出的104种化合物中, 根据计算, 共有12种OAV大于1, 理论上得到12种嘉宝果起泡酒的特征香气成分。其OAV及气味描述见表3。其OAV由大到小依次为: 肉桂酸乙酯、反-肉桂酸乙酯、己酸乙酯、辛酸乙酯、癸酸乙酯、丁酸乙酯、乙酸异戊酯、乙酸苯乙酯、苯甲酸甲酯、里那醇、异戊酸乙酯、月桂酸。其他质量浓度较高的香气物质, 如戊醇、丙酮酸异戊酯、苯乙烯、辛酸、癸酸、9-癸烯酸等, 由于阈值都分别较高, OAV小于1, 对香气的贡献不大。

由表3可知, 在12种特征香气成分中, 有10种酯类物质, 1种有机酸(月桂酸), 1种萜烯类物质(里那醇)。以肉桂酸乙酯的OAV最高, 达到2 132.33, 给嘉宝果起泡酒带来草莓、肉桂和奶酪香气, 是贡献最大的特征香气成分; 其次是带有花香气味的反-肉桂酸乙酯, OAV为255.48; 再次为己酸乙酯, 给起泡酒带来青苹果和草莓的香气。最低的是月桂酸, OAV为1.03, 处于可辨识的临界点, 给嘉宝果起泡酒带来干果等香气, 但影响较小。

12种特征香气成分中含有水果果香描述的有8种, 含16个描述词; 有花香描述的有5种, 含5个描述词; 含有蜂蜜香、脂肪味等其他描述词的共4种。OAV分别居第1、3、6位的肉桂酸乙酯、己酸乙酯、丁酸乙酯都带有草莓香气, 因此草莓应该是嘉宝果起泡酒最明显的香气特征。OAV为6.11的乙酸异戊酯和OAV为2.34的异戊酸乙酯都带有香蕉香气。概括言之, 嘉宝果起泡酒理论上以怡人的草莓、香蕉等果香和玫瑰等花香为主, 伴有奶酪和蜂蜜等其他复杂香气的特征香气。

#### 2.3.2 感官特征香气

香气量化强度值综合了香气强度和频率, 量化值越大, 特征香气就越明显。通过由30人组成的品尝小组的感官品尝, 共描述出特征香气20种, 计算香气量化值, 并将特征香气归类作图4。共有果香9种、花香5种、植物和香料香气4种、动物香气2种。



**图4 特征香气量化强度值图**

**Fig.4 Quantitative intensity values of aromatic characteristics**

由图4可知, 实际感官品尝描述出的20种特征香气中, 量化值在20以上共9种, 这些被看作对酒样的香气贡献较多、表现明显的特征香气。具体为: 草莓、青苹果、梨、甜瓜、红醋栗5种果香描述; 紫罗兰、玫瑰花2种花香描述; 1种植物香气描述青草; 1种动物香气描述蜂蜜。酒样在感官品尝条件下, 果香最为明显, 其次是花香, 还有青草和蜂蜜等香气。草莓的量化值最大, 即草莓香气最为明显。由此可见, 感官品尝中鉴定出的特征香气与理论上预测的特征香气相比较, 都以果香和花香为主, 特征香气中草莓香气最为明显的, 并均出现玫瑰和蜂蜜香气, 说明感官品尝和理论预测的特征香气

符合度较好。因此可以认为新型工艺生产的嘉宝果起泡酒具有以草莓为主的浓郁果香和玫瑰花等花香,并伴有蜂蜜香气。

### 3 讨论

采用新型工艺酿造的嘉宝果起泡酒。新工艺创新之处在于整个过程只进行一次酒精发酵,在发酵定点将发酵液转入密封压力罐,控制温度在10~12℃以缓慢产生CO<sub>2</sub>压力并在罐中陈酿。发酵过程简化,可操控性强。

新型工艺酿造的嘉宝果起泡酒,质量符合国家标准。通过香气成分的SBSE-GC-MS分析可知,嘉宝果起泡酒中共检测到104种香气物质,其中包括53种酯类物质、12种醇类物质、8种有机酸、8种羰基类物质、10种萜烯类物质和13种其他烃类和芳香族化合物,与其他水果起泡酒相比,香气丰富、浓郁。

根据OAV,筛选得到12种特征香气成分。由品尝员进行感官量化分析,得到的实际特征香气与筛选出的特征香气成分的气味描述相符程度较高,说明采用新型工艺酿造的嘉宝果起泡酒具有良好而独特的香气。嘉宝果起泡酒整体上具有以草莓等果香和玫瑰等花香为主体,并伴有蜂蜜和其他复杂香气的香气特征。

### 参考文献:

- [1] WU Shibao, LONG Chunlin, KENNELLY E J, et al. Phytochemistry and health benefits of jaboticaba, an emerging fruit crop from Brazil[J]. Food Research International, 2013, 54(1): 148-159.
- [2] DANNER M A, CITADIN I, ZOLET S, et al. Germplasm characterization of three jaboticaba tree species[J]. Revisia Brasileira de Fruticultura, 2011, 33(3): 839-848.
- [3] BARROS R S, FINGER F L, MAGALHAES M M. Changes in non-structural carbohydrates in developing fruit of *Myrciaria jaboticaba*[J]. Scientia Horticulturae, 1996, 66(3/4): 209-215.
- [4] COSTA A G V, GARCIA-DIAZ D F, JIMENEZ P. Bioactive compounds and health benefits of exotic tropical red-black berries[J]. Journal of Functional Foods, 2013, 5(2): 539-549.
- [5] LEITE-LEGATTI A V, BATISTA A G, VICENTE D, et al. Jaboticaba peel: antioxidant compounds, anti-proliferative and anti-mutagenic activities[J]. Food Research International, 2012, 49(1): 596-603.
- [6] CROZIER A, JAGANATH I B, CLIFFORD M N. Dietary phenolics: chemistry, bioavailability and effects on health[J]. Natural Product Reports, 2009, 26(8): 1001-1043.
- [7] BOARI L, ANNETE J, CORREA A D, et al. Chemical characterization of the jaboticaba fruits (*Myrciaria cauliflora* Berg) and their fractions[J]. Archivos Latinoamericanos de Nutricion, 2008, 58(4): 416-421.
- [8] REYNERTSON K A, WALLACE A M, ADACHI S, et al. Bioactive depsides and anthocyanins from jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*)[J]. Journal of Natural Products, 2006, 69(8): 1228-1230.
- [9] PLAGEMANN I, KRINGS U, BERGER R G, et al. Volatile constituents of jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba* (Vell.) O. Berg) fruits[J]. Journal of Essential Oil Research, 2012, 24(1): 45-51.
- [10] HUANG Dejian, OU Boxin, PRIOR R L. The chemistry behind antioxidant capacity assays[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(6): 1841-1856.
- [11] SANTOS D T, VEGGI P C, MEIRELES M, et al. Extraction of antioxidant compounds from jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) skins: yield, composition and economical evaluation[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 101(1): 23-31.
- [12] CLERICI M T P S, CARVALHO-SILVA L B. Nutritional bioactive compounds and technological aspects of minor fruits grown in Brazil[J]. Food Research International, 2011, 44(7): 1658-1670.
- [13] DUARTE W F, AMORIM J C, LAGO L A, et al. Optimization of fermentation conditions for production of the jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) spirit using the response surface methodology[J]. Journal of Food Science, 2011, 76(5): 782-790.
- [14] 李华, 王华, 袁春龙. 等. 葡萄酒工艺学[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 224-234.
- [15] SANTOS D T, MEIRELES M, ANGELA A. Optimization of bioactive compounds extraction from jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) skins assisted by high pressure CO<sub>2</sub>[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2011, 12(3): 398-406.
- [16] 王华. 葡萄酒分析检验[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010: 113-138.
- [17] DELGADO R. Development of a stir bar sorptive extraction method coupled to gas chromatography-mass spectrometry for the analysis of volatile compounds in Sherry brandy[J]. Analytica Chimica Acta, 2010, 672(1/2): 130-136.
- [18] SONG Jiangqiang, KRISTA C S, WANG Hua, et al. Influence of deficit irrigation and kaolin particle film on grape composition and volatile compounds in Merlot grape (*Vitis vinifera* L.)[J]. Food Chemistry, 2012, 134(2): 841-850.
- [19] TAO Yongsheng, LI Hua, WANG Hua, et al. Volatile compounds of young Cabernet Sauvignon red wine from Changli County (China)[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2008, 21(8): 689-694.
- [20] PENG Chuantao, WEN Yan, TAO Yongsheng, et al. Modulating the formation of Meili wine aroma by prefermentative freezing process[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(7): 1542-1553.
- [21] 全国食品工业标准化技术委员会酿酒分技术委员会. GB 15037—2006 葡萄酒[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [22] DUARTE W F, DIAS D R, OLIVEIRA J M, et al. Characterization of different fruit wines made from cacao, cupuassu, gabioba, jaboticaba and umbu[J]. LWT-Food Science and Technology, 2010, 43(10): 1564-1572.
- [23] GIL M. Characterization of the volatile fraction of young wines from the denomination of origin “Vinos de Madrid” (Spain)[J]. Analytica Chimica Acta, 2006, 563(1/2): 145-153.
- [24] 王华, 宋建强, 梁艳英, 等. 搅拌棒萃取-气相色谱-质谱联用法分析‘媚丽’桃红葡萄酒中的香气成分[J]. 食品科学, 2014, 35(2): 177-181.
- [25] 陶永胜, 彭传涛. 中国霞多丽干白葡萄酒香气特征与成分关联分析[J]. 农业机械学报, 2012, 43(3): 130-139.
- [26] MOYANO L, ZEA L, MORENO J, et al. Analytical study of aromatic series in sherry wines subjected to biological aging[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(25): 7356-7361.
- [27] KONTKANEN D, REYNOLDS A G, CLIFF M A, et al. Canadian terroir: sensory characterization of Bordeaux-style red wine varieties in the Niagara Peninsula[J]. Food Research International, 2005, 38(4): 417-425.
- [28] ANTALICK G, PERELLO M C, GILLES R. Development, validation and application of a specific method for the quantitative determination of wine esters by headspace-solid-phase micro-extraction-gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2010, 121(4): 1236-1245.
- [29] 李华. 葡萄酒品尝学[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 33-46.