

## 不同商用酿酒酵母对软枣猕猴桃果酒有机酸和挥发性物质的影响

温锦丽, 孙怡宁, 原鹏强, 何艳丽, 孙博位, 严一平, 谭越, 路文鹏

### Effect of Different Commercial *Saccharomyces cerevisiae* Strains on the Organic Acids and Aromatic Substances of *Actinidia arguta* Wines

WEN Jinli, SUN Yining, YUAN Pengqiang, HE Yanli, SUN Bowei, YAN Yiping, TAN Yue, and LU Wenpeng

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023100235>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### SPME-GC-MS与电子鼻结合分析不同酵母混菌发酵猕猴桃酒的挥发性香气物质

Analysis of Volatile Aroma Compounds in Kiwi Wine Co-Fermentation with Different Yeasts by SPME-GC-MS Combined with Electronic Nose

食品工业科技. 2021, 42(16): 119-128 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021010133>

#### 分离自野生猕猴桃的酿酒酵母A12-2和BL20对猕猴桃酒品质的影响

Effects of *Saccharomyces cerevisiae* A12-2 and BL20 Isolated from Wild Kiwifruit on Quality of Kiwifruit Wine

食品工业科技. 2022, 43(22): 31-38 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022010100>

#### 基于GC-IMS分析非酿酒酵母与酿酒酵母混合发酵脐橙酒挥发性香气成分

Analysis of Volatile Aroma Components of Navel Orange Wine Produced by Mixed Fermentation of Non *Saccharomyces cerevisiae* and *Saccharomyces cerevisiae* Based on GC-IMS

食品工业科技. 2023, 44(17): 139-148 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022100310>

#### CO<sub>2</sub>伤害对软枣猕猴桃风味品质的影响

Effects of CO<sub>2</sub> Injury on the Flavor Quality of *Actinidia arguta*

食品工业科技. 2023, 44(4): 378-386 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022040343>

#### 植物乳杆菌与酿酒酵母混合发酵对红枣酒挥发性风味物质的影响

Effects of Mixed Fermentation of *Lactobacillus plantarum* and *Saccharomyces cerevisiae* on Volatile Flavor Compounds of Jujube Wine

食品工业科技. 2023, 44(8): 170-179 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020070043>

#### 基于主成分分析与聚类分析的软枣猕猴桃果实品质综合评价

Comprehensive Evaluation of Fruit Quality of *Actinidia arguta* Based on Principal Component Analysis and Cluster Analysis

食品工业科技. 2024, 45(1): 247-257 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023020245>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

温锦丽, 孙怡宁, 原鹏强, 等. 不同商用酿酒酵母对软枣猕猴桃果酒有机酸和挥发性物质的影响 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(20): 240–251. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023100235

WEN Jinli, SUN Yining, YUAN Pengqiang, et al. Effect of Different Commercial *Saccharomyces cerevisiae* Strains on the Organic Acids and Aromatic Substances of *Actinidia arguta* Wines[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(20): 240–251. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023100235

· 分析检测 ·

# 不同商用酿酒酵母对软枣猕猴桃果酒有机酸和挥发性物质的影响

温锦丽<sup>1</sup>, 孙怡宁<sup>1</sup>, 原鹏强<sup>1</sup>, 何艳丽<sup>1</sup>, 孙博位<sup>1,2</sup>, 严一平<sup>1</sup>, 谭越<sup>3</sup>, 路文鹏<sup>1,\*</sup>

(1. 中国农业科学院特产研究所, 吉林长春 130112;

2. 延边大学农学院, 吉林延边 133002;

3. 集安市乡村振兴服务中心, 吉林集安 134200)

**摘要:** 为研究不同酿酒酵母对软枣猕猴桃果酒风味品质的影响, 选用了 9 种市场常见的活性干酵母酿制软枣猕猴桃果酒, 采用高效液相色谱法 (high-performance liquid chromatography, HPLC) 和顶空固相微萃取与气质联用技术 (headspace gas chromatography-mass spectrometry, HS-GC-IMS) 测定果酒的有机酸和挥发性香气物质, 并对果酒进行感官评价。结果表明, 不同酵母酿制的软枣猕猴桃果酒中有机酸含量存在明显差异, 主要有机酸是柠檬酸和奎宁酸, 酵母 NSD 有降酸作用, 其发酵软枣猕猴桃果酒的有机酸总量为 13.004 g/L。不同发酵条件下软枣猕猴桃酒的挥发性化合物组成相似, 含量上存在差异。GC-IMS 共定性出 51 种挥发性化合物, 其中包含酯类 24 种、醇类 11 种、醛类 9 种、酮类 4 种、萜烯类 2 种、酸类 1 种; 酵母 NSD 发酵的软枣猕猴桃酒样挥发性化合物总量最高, 为 75125.01  $\mu\text{g/L}$ 。主成分分析 (principal component analysis, PCA) 和正交偏最小二乘判别分析 (orthogonal partial least squares discriminant analysis, OPLS-DA) 能够有效地区分不同酵母发酵的软枣猕猴桃果酒, 并根据  $P$  值  $< 0.05$  且 VIP 值  $> 1$  筛选出了 7 种主要挥发性香气物质: 己酸乙酯、乙酸异戊酯、3-甲基-1-丁醇、2-甲基-1-丙醇、乙酸异丁酯、4-甲基-1-戊醇和己酸甲酯。感官评定结果显示, 酵母 NSD 发酵的酒样香气浓郁, 酸度适中, 口感醇厚, 滋味最佳, 感官评分最高。总体表明: 酵母 NSD 可提高软枣猕猴桃酒的风味品质, 是一种适合软枣猕猴桃果酒酿制的优良酵母。本研究为软枣猕猴桃酒的风味物质分析提供了研究思路, 研究结果为软枣猕猴桃果酒后期的风味提升提供一定理论基础。

**关键词:** 软枣猕猴桃果酒, 酿酒酵母, HPLC, HS-GC-IMS, 有机酸, 挥发性风味物质, 感官评价

中图分类号: TS262.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)20-0240-12

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023100235



本文网刊:

## Effect of Different Commercial *Saccharomyces cerevisiae* Strains on the Organic Acids and Aromatic Substances of *Actinidia arguta* Wines

WEN Jinli<sup>1</sup>, SUN Yining<sup>1</sup>, YUAN Pengqiang<sup>1</sup>, HE Yanli<sup>1</sup>, SUN Bowei<sup>1,2</sup>, YAN Yiping<sup>1</sup>,  
TAN Yue<sup>3</sup>, LU Wenpeng<sup>1,\*</sup>

(1. Institute of Special Wild Economic Animal and Plant Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130112, China;

2. Agricultural College, Yanbian University, Yanbian 133002, China;

3. Ji'an Rural Revitalization Service Center, Ji'an 134200, China)

**Abstract:** This study examined the effect of different *Saccharomyces cerevisiae* on the flavor and taste of *Actinidia arguta*

收稿日期: 2023-11-01

基金项目: 吉林省科技发展规划项目 (YDZJ202201ZYTS459)。

作者简介: 温锦丽 (1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 果树资源评价与利用, E-mail: 2275823692@qq.com。

\* 通信作者: 路文鹏 (1969-), 男, 硕士, 研究员, 研究方向: 果树栽培育种和加工利用, E-mail: 182104074@qq.com。

wine. Nine kinds of commercial *S. cerevisiae* were applied to ferment *A. arguta* wine. High-performance liquid chromatography (HPLC) and headspace gas chromatography-mass spectrometry (HS-GC-IMS) were used to determine the organic acids and volatile aroma compounds of the wines, respectively, and a sensory evaluation was performed. The results indicated that the organic acid content of the *A. arguta* wines varied significantly among different *S. cerevisiae*, with citric acid and quinic acid being the main organic acids. The *S. cerevisiae* NSD had an acid-reducing effect, and the total organic acid content of its fermented *Actinidia arguta* wines was 13.004 g/L. Fifty-one volatile compounds were identified by HS-GC-IMS, comprising 24 esters, 11 alcohols, 9 aldehydes, 4 ketones, 2 terpenes, and 1 acid, with the highest total volatile compound content in the NSD sample (75125.01  $\mu\text{g/L}$ ). There were no significant differences in the types of volatile compounds, but there were significant differences in the contents ( $P<0.05$ ). Principal component analysis (PCA) and orthogonal partial least squares discriminant analysis (OPLS-DA) effectively differentiated the *A. arguta* wines fermented by different *S. cerevisiae*. Seven key volatile aroma substances were screened out based on the  $P<0.05$  and  $\text{VIP}>1$ : ethyl hexanoate, isoamyl acetate, 3-methyl-1-butanol, 2-methyl-1-propanol, isobutyl acetate, 4-methyl-1-pentanol, and methyl hexanoate. The sensory evaluation revealed that the wine fermented by *S. cerevisiae* NSD had a strong aroma, moderate acidity, mellow taste, optimal flavor, and the highest sensory scores. Overall, the results showed that the *S. cerevisiae* NSD could improve the flavor quality of *A. arguta* wine, and it was a suitable yeast for *A. arguta* winemaking. This study would provide a research idea for analyzing the flavor substances in *A. arguta* wine, and the results offer a theoretical basis for improving the flavor of *A. arguta* wine in the future.

**Key words:** *Actinidia arguta* wine; *Saccharomyces cerevisiae*; HPLC; HS-GC-IMS; organic acids; volatile compounds; sensory evaluation

软枣猕猴桃 (*Actinidia arguta* (Sieb. et Zucc) Planch.ex Miq.) 为猕猴桃科猕猴桃属藤本植物<sup>[1]</sup>, 雌雄异株, 主要分布于我国东北、西北、华北等地区, 在俄罗斯、日本、朝鲜、美国、新西兰等地区也有分布<sup>[2]</sup>。软枣猕猴桃果实被誉为“健康之果”, 富含多种维生素、氨基酸、膳食纤维、蛋白质和矿物质等多种营养成分<sup>[3]</sup>, 此外还具有黄酮类、多糖类、三萜类等活性成分<sup>[4]</sup>, 有抗氧化、抗肿瘤、提高免疫力、美容养颜等多种功效<sup>[5-7]</sup>, 因此深受消费者喜爱。然而软枣猕猴桃属于呼吸跃变型果实, 果皮薄, 不耐贮藏, 将其加工成软枣猕猴桃酒可以消耗非商品果和产销过剩的软枣猕猴桃果, 缓解滞销矛盾, 提高产品附加值<sup>[8]</sup>。软枣猕猴桃果酒是一种新型果酒, 是以软枣猕猴桃为原料酿制成的低酒精度饮料, 保留软枣猕猴桃的营养成分, 具有抗氧化、抗衰老、提高机体免疫力等功效<sup>[9]</sup>。近年来, 关于软枣猕猴桃酒的研究主要集中在酿造工艺优化<sup>[10-11]</sup>、酵母的筛选<sup>[12-14]</sup>、抗氧化性能<sup>[15]</sup>等方面, 而关于软枣猕猴桃酒有机酸以及挥发性香气成分, 尤其是不同酵母对软枣猕猴桃酒有机酸以及挥发性香气成分的影响研究鲜有报道。

气相色谱-离子迁移光谱法 (gas chromatography-ion mobility spectrometry, GC-IMS) 是一种新型检测方法, 具有更加方便、快捷、准确的特性, 已开始应用于食品、中药、环境等多个方面, 其中在酒的挥发性物质检测方面应用广泛<sup>[16-19]</sup>。宋艺君等<sup>[20]</sup>采用 HS-GC-IMS 结合化学计量学比较了不同酒龄软枣猕猴桃酒的挥发性风味物质, 确定了不同酒龄猕猴桃酒的香气差异物质。CAO 等<sup>[21]</sup>采用 HS-GC-IMS 对山葡萄酒的挥发性风味物质进行表征, 3D 指纹图谱显示了不同酒样挥发性化合物的差异, 并结合多元统计分析筛选了影响不同酒样的关键挥发性香气物质。但利用该技术对软枣猕猴桃酒的挥发性香气成

分的相关研究报道较少。

本研究以软枣猕猴桃为原料, 选用 9 种不同商业酿酒酵母为发酵剂, 酿造软枣猕猴桃果酒, 采用高效液相色谱法和气相色谱-离子迁移光谱法对软枣猕猴桃果酒中有机酸和挥发性香气物质进行检测, 结合感官评价等方法探究不同酿酒酵母对软枣猕猴桃果酒风味的影响, 并结合多元统计分析手段探究了软枣猕猴桃果酒挥发性香气特性的差异, 为软枣猕猴桃果酒整体品质及其香气控制和提升提供了理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

软枣猕猴桃‘魁绿’于 2022 年 9 月采自中国农业科学院特产研究所软枣猕猴桃资源圃, 资源圃为山间缓坡地, 暗棕森林土, 采用 T 形架栽培, 行株距 3.5 m $\times$ 2.0 m, 雌雄株配置比例为 8:1, 选择无病虫害、无霉菌的果实作为试验用果; 酵母 CEC01、CECA、NSD、MST、BV818 安琪酵母股份有限公司; 酵母 D254、EC1118、DV10、CM 曼森食品专卖店; 甲醇精控酶 RF(食品级) 上海鼎唐国际贸易有限公司; 焦亚硫酸钾(纯度 97%) 法国 SOFRALAB 公司; 甲醇 美国 TEDIA 试剂公司; 草酸、奎宁酸、苹果酸、莽草酸、乳酸、乙酸、无水柠檬酸、琥珀酸 上海源业生物技术有限公司; 4-甲基-2-戊醇 上海联硕生物科技有限公司; 外标物正构酮 C4~C9 山东海能科学仪器有限公司。

Allegra 64R 高速冷冻离心机 美国贝克曼库特有限公司; Agilent 1200 高效液相色谱仪 德国安捷伦科技有限公司; FlavourSpec®GC-IMS 风味分析仪 德国 GAS 公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 软枣猕猴桃酒酿造 软枣猕猴桃酒酿造工艺流程(图 1)及操作要点如下:

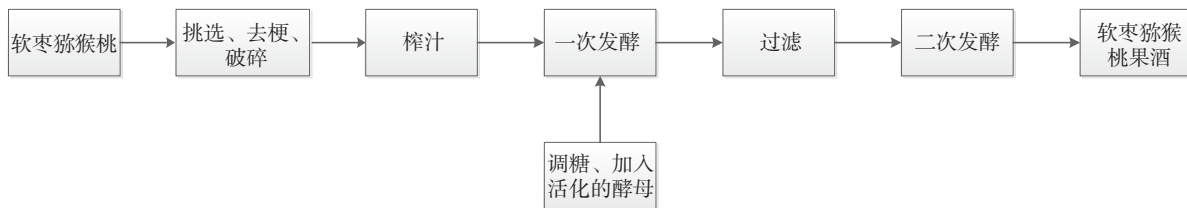


图1 软枣猕猴桃酒酿造工艺流程图

Fig.1 Fermentation flow chart for *Actinidia arguta* wine

选择成熟度一致、无病虫害、无变质的优质软枣猕猴桃果实,分别破碎入罐,按 0.1 g/L 加入焦亚硫酸钾防止氧化,搅拌均匀后静止 30 min;按 0.1%~1% 添加果胶酶以提高出汁率,常温酶解处理 12~24 h 后榨汁;用白砂糖调节软枣猕猴桃果汁的糖度至 20%;按 250 mg/L 加入活化后的酵母,启动发酵,在  $(18\pm 2)^{\circ}\text{C}$  下发酵 7 d,一次发酵结束后去除醪液底部酒泥;过滤后的发酵汁液置于  $15^{\circ}\text{C}$  下密闭放置 1 个月进行二次发酵。发酵结束后的酒样进行品质检测与分析。除不同酿造酵母外,其他条件基本一致。

**1.2.2 有机酸检测** 采用高效液相色谱法(HPLC)测定,参照 WEN 等<sup>[16]</sup>的方法并加以改进。色谱条件:色谱柱: C18-XT(4.6×250 nm, 5  $\mu\text{L}$ );柱温:  $25^{\circ}\text{C}$ ;检测波长 210 nm;流动相: pH2.3 磷酸水溶液;流速: 0.3 mL/min;进样量: 10  $\mu\text{L}$ 。样品预处理:酒样用流动相稀释两倍,用 0.22  $\mu\text{m}$  微孔滤膜过滤,备用等待进样。标准品配制:分别称取草酸 0.01030 g、奎宁酸 0.0108 g、苹果酸 0.0103 g、莽草酸 0.0100 g、乳酸 0.1 mL、冰乙酸 0.1 mL、柠檬酸 0.0103 g、琥珀酸 0.0108 g,用流动相溶解并定容至 10 mL,得到浓度分别为 1.03、1.009、1.08、1.03、1.00、10.61、10.45、1.03、1.08 g/L 的标准样品溶液,并进行梯度稀释,以峰面积(X)对质量浓度(Y)求回归方程和相关系数,绘制各种有机酸的标准曲线(表 1)。

表1 有机酸标准曲线

Table 1 Organic acid standard curves

| 名称  | 标准曲线               | $R^2$  |
|-----|--------------------|--------|
| 草酸  | $Y=15184x+28.758$  | 0.9994 |
| 苹果酸 | $Y=917.66x+19.027$ | 0.9995 |
| 莽草酸 | $Y=65935x+474.72$  | 0.9995 |
| 乳酸  | $Y=683.52x-60.731$ | 0.9997 |
| 冰乙酸 | $Y=749.42x+3.8359$ | 0.999  |
| 柠檬酸 | $Y=1487x-4.2267$   | 0.9998 |
| 琥珀酸 | $Y=752.1x+1.774$   | 0.9995 |
| 奎宁酸 | $Y=611.85x-0.598$  | 0.9998 |

**1.2.3 挥发性风味物质检测** 采用气相离子迁移色谱(GC-IMS)联用法测定<sup>[16,21]</sup>,分析条件和气相色谱条件见表 2 和表 3。样品处理:取 1 mL 软枣猕猴桃酒样,置于 20 mL 顶空进样瓶中,加入 10 mg/L 内标(4-甲基-2-戊醇)20  $\mu\text{L}$ ,  $60^{\circ}\text{C}$ 、500 r/min 孵育 10 min 后进样,每个酒样平行测定 3 次。

挥发性物质定性定量:对酒样中的挥发性化合

表2 气相-离子迁移谱单元和自动顶空进样单元的分析条件

Table 2 Analysis conditions for the gas-ion transport spectral unit and automatic headspace injection unit

| 气相-离子迁移谱单元 |                                          | 自动顶空进样单元 |                      |
|------------|------------------------------------------|----------|----------------------|
| 分析时间       | 30 min                                   | 进样体积     | 100 $\mu\text{L}$    |
| 色谱柱类型      | WAX, 长30 m, 内径0.53 mm, 膜厚1 $\mu\text{m}$ | 孵育时间     | 10 min               |
| 柱温         | $60^{\circ}\text{C}$                     | 孵育温度     | $60^{\circ}\text{C}$ |
| 载气/漂移气     | $\text{N}_2$                             | 进样针温度    | $85^{\circ}\text{C}$ |
| IMS温度      | $45^{\circ}\text{C}$                     | 孵化转速     | 500 r/min            |

表3 气相色谱条件的梯度分布

Table 3 Gradient profile of gas chromatography conditions

| 时间(min:s) | E1(漂移气) | E2(载气)     | 数据记录 |
|-----------|---------|------------|------|
| 00:00,000 | —       | 2 mL/min   | Rec  |
| 02:00,000 | —       | 2 mL/min   | —    |
| 10:00,000 | —       | 10 mL/min  | —    |
| 20:00,000 | —       | 100 mL/min | —    |
| 30:00,000 | —       | 100 mL/min | Stop |
| 30:00,020 | —       | —          | —    |

物定性主要采用软件内置的 NIST 数据库和 IMS 数据库。挥发性物质的定量通过内标物的峰体积和样品中各组分的峰体积比值,计算各个组分的质量浓度。

**1.2.4 感官评价** 感官评价方法参考《葡萄酒、果酒通用分析方法》(GB/T 15038-2006),感官评价由 10 名经过培训的评估小组组成(包括 5 女 5 男,年龄

表4 软枣猕猴桃酒感官评分标准

Table 4 Sensory evaluation standards of *Actinidia arguta* wine

| 项目  | 占比(%) | 感官评价     | 满分(分) |
|-----|-------|----------|-------|
| 颜色  | 10    | 色泽,呈现淡黄色 | 10    |
| 澄清度 | 10    | 澄清程度     | 10    |
|     |       | 协调性      | 10    |
|     |       | 浓郁度      | 5     |
| 香气  | 30    | 细腻度      | 5     |
|     |       | 延续时长     | 5     |
|     |       | 多种层次香气   | 5     |
|     |       | 平衡性与协调性  | 10    |
|     |       | 酒体与浓郁度   | 10    |
| 滋味  | 40    | 质感与结构感   | 5     |
|     |       | 层次感      | 5     |
|     |       | 口香品质与持续性 | 5     |
|     |       | 余味       | 5     |
| 典型性 | 10    | 综合评价     | 10    |
|     | 总分    |          | 100   |



23~53 岁, 平均年龄 32 岁)。从颜色、澄清度、香气、滋味和典型性 5 个方面对软枣猕猴桃酒进行感官评价, 满分 100 分, 软枣猕猴桃酒感官评分标准见表 4。

1.3 数据处理

采用 Excel 2016 对试验数据进行统计整理, 采用 SPSS 27.0 版软件进行方差分析(ANOVA), 统计学分析对试验数据进行差异性分析检查各个结果的显著性差异, 所有数据均以平均值±标准差表示。 $P<0.05$ , 认为两组之间差异显著。采用 Simca 软件进行 OPLS-DA 和 VIP 值分析; 采用 Origin 2021 软件绘制感官评价雷达图; GC-IMS 检测时用 Savitzky Golay 做平滑和降噪处理, 迁移时间归一化是将 RIP 位置设置为 1, 即实际迁移时间除以 RIP 峰值出峰时间, 得到约化迁移时间; 使用 Reporter 插件进行样品间谱图差异, 使用 Gallery Plot 插件对比指纹图谱, 直观且定量地比较不同酒样之间挥发性物质的差异; 使用免费在线数据分析平台 OmicShare 工具(<https://www.omicshare.com/tools>)进行热图分析。

2 结果与分析

2.1 不同酿酒酵母对软枣猕猴桃果酒有机酸的影响

有机酸的组分及含量在一定程度上影响着软枣猕猴桃果酒的风味、pH、化学稳定性, 从而影响果酒的品质<sup>[22]</sup>。由表 5 可知, 软枣猕猴桃果汁中的有机酸主要是柠檬酸、奎宁酸和苹果酸, 此外还有少量的乳酸、草酸和莽草酸, 这与安娇等<sup>[23]</sup>研究结果基本一致。软枣猕猴桃果酒和果汁相比, 酿制成果酒后有机酸的组成和含量都有所改变, 柠檬酸、奎宁酸、苹果酸、草酸、莽草酸均表现为下降, 乳酸含量上升, 并且发酵后新增了琥珀酸和乙酸。这表明 9 种酿酒酵母在酒精发酵过程中, 代谢消耗了部分柠檬酸、奎宁酸、苹果酸、草酸、莽草酸, 同时产生乳酸、乙酸和琥珀酸。研究表明, 在葡萄酒、梨酒的酒精发酵过程中也会产生乳酸、乙酸和琥珀酸<sup>[24-25]</sup>。

柠檬酸具有清爽的酸味, 可赋予果酒宜人的酸度与风味<sup>[26]</sup>, 在软枣猕猴桃果酒中占比最高, 占总有机酸含量的 43.8%~55.24%。DV10 酿制的软枣猕猴桃酒的柠檬酸含量最高为 7.182 g/L, 显著高于其他

8 个酒样( $P<0.05$ ); NSD 酿制的软枣猕猴桃酒样柠檬酸含量最低为 6.213 g/L。

奎宁酸是一种天然产物, 主要存在于金鸡纳树、柠檬、柑橘、苦橙、柚子等水果中, 具有苦涩味。奎宁酸在软枣猕猴桃果酒中占比较高, 占总有机酸含量的 26.76%~33.29%。奎宁酸含量在 3.947~4.432 g/L 之间, 各酒样之间无显著差异( $P>0.05$ )。

苹果酸酸味最强, 具有刺激性爽快的酸味, 稍有苦涩味, 呈味时间长<sup>[26]</sup>。9 个酒样中, DV10 酿制的软枣猕猴桃酒中苹果酸含量最高(1.324 g/L), D254 酿制的软枣猕猴桃酒含量最低(0.866 g/L)。

琥珀酸酸性较强, 除了酸味外还有类似于咸苦味的特殊味道, 可参与果酒中酯类物质的代谢及酒味的合成, 能增强果酒的醇厚感<sup>[27]</sup>。果酒发酵过程中, 琥珀酸作为三羧酸循环的中间产物, 可由柠檬酸生成  $\alpha$ -酮戊二酸, 进而合成琥珀酸<sup>[26]</sup>。因此, 发酵后的软枣猕猴桃酒中琥珀酸含量显著增加<sup>[26]</sup>。BV818 酿制的软枣猕猴桃酒中琥珀酸含量最高(2.409 g/L), 显著高于其他 8 个酒样( $P<0.05$ ), EC1118 酿制的软枣猕猴桃酒最低(0.678 g/L)。

乳酸的主要来源是酒精发酵和苹果酸-乳酸发酵(Malolactic fermentation, MLF), 酒精发酵产生 D-乳酸, MLF 发酵形成 L-乳酸<sup>[28]</sup>。乳酸酸性柔和圆润, 对果酒有利, 能改善酒体风味。9 种软枣猕猴桃酒样中, 乳酸含量在 NSD 酿制的软枣猕猴桃酒样中最高(0.670 g/L), BV818 最低(0.213 g/L); 在 D254 和 DV10 中未检测到。

乙酸是酵母菌发酵的常规代谢产物, 是酒类中主要的挥发酸, 具有强烈的酸味。乙酸可以与乙醇结合形成酒的特征香味物质乙酸乙酯<sup>[28]</sup>。9 种软枣猕猴桃酒样中, 乙酸含量在 D254 酿制的软枣猕猴桃酒样中最高(0.945 g/L), EC1118 最低(0.355 g/L); 在 NSD 中未检测到。

莽草酸作为生物合成代谢的中间产物, 存在于大量植物和微生物中, 以莽草酸为中间产物可合成分解为其他物质<sup>[29]</sup>。在软枣猕猴桃果酒中莽草酸含量较低, 其中 DV10 酿制的软枣猕猴桃酒含量最高

表 5 不同酵母菌种对软枣猕猴桃果酒有机酸的影响

Table 5 Effects of different *Saccharomyces cerevisiae* on the acid of *Actinidia arguta* wine

| 编号      | 柠檬酸/g/L                    | 琥珀酸/g/L                  | 苹果酸/g/L                   | 乙酸/g/L                    | 乳酸/g/L                    | 草酸/g/L                   | 莽草酸/g/L                  | 奎宁酸/g/L                  | 有机酸总量/g/L |
|---------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------|
| 软枣猕猴桃果汁 | 11.339                     | —                        | 2.478                     | —                         | 0.371                     | 0.085                    | 0.060                    | 7.009                    | 21.342    |
| CEC01   | 6.773±0.041 <sup>cd</sup>  | 1.130±0.124 <sup>c</sup> | 1.035±0.067 <sup>ab</sup> | 0.526±0.130 <sup>bc</sup> | 0.613±0.007 <sup>a</sup>  | 0.048±0.005 <sup>a</sup> | 0.047±0.003 <sup>a</sup> | 4.432±0.049 <sup>a</sup> | 14.604    |
| NSD     | 6.213±0.005 <sup>d</sup>   | 0.992±0.146 <sup>c</sup> | 1.094±0.086 <sup>ab</sup> | —                         | 0.670±0.087 <sup>a</sup>  | 0.043±0.003 <sup>a</sup> | 0.045±0.006 <sup>a</sup> | 3.947±0.039 <sup>a</sup> | 13.004    |
| CECA    | 6.741±0.043 <sup>cd</sup>  | 1.141±0.144 <sup>c</sup> | 1.068±0.154 <sup>ab</sup> | 0.462±0.058 <sup>c</sup>  | 0.666±0.009 <sup>a</sup>  | 0.048±0.004 <sup>a</sup> | 0.048±0.014 <sup>a</sup> | 4.231±0.073 <sup>a</sup> | 14.405    |
| BV818   | 6.520±0.087 <sup>c</sup>   | 2.409±0.052 <sup>a</sup> | 0.828±0.086 <sup>b</sup>  | 0.623±0.087 <sup>bc</sup> | 0.213±0.029 <sup>ab</sup> | 0.044±0 <sup>a</sup>     | 0.046±0.001 <sup>a</sup> | 4.204±0.404 <sup>a</sup> | 14.887    |
| MST     | 6.971±0.120 <sup>abc</sup> | 0.975±0.156 <sup>c</sup> | 1.122±0.087 <sup>ab</sup> | 0.587±0.087 <sup>bc</sup> | 0.635±0.130 <sup>a</sup>  | 0.049±0.006 <sup>a</sup> | 0.050±0.003 <sup>a</sup> | 4.263±0.03 <sup>a</sup>  | 14.652    |
| CM      | 7.107±0.09 <sup>ab</sup>   | 2.258±0.168 <sup>b</sup> | 1.001±0.144 <sup>ab</sup> | 0.793±0.058 <sup>ab</sup> | 0.591±0.144 <sup>a</sup>  | 0.043±0 <sup>a</sup>     | 0.048±0.003 <sup>a</sup> | 4.327±0.055 <sup>a</sup> | 16.168    |
| D254    | 6.857±0.028 <sup>bc</sup>  | 1.191±0.111 <sup>c</sup> | 0.866±0.044 <sup>b</sup>  | 0.945±0.058 <sup>a</sup>  | —                         | 0.041±0 <sup>a</sup>     | 0.049±0.003 <sup>a</sup> | 4.269±0.058 <sup>a</sup> | 14.218    |
| EC1118  | 6.947±0.058 <sup>abc</sup> | 0.678±0.094 <sup>c</sup> | 1.129±0.029 <sup>ab</sup> | 0.355±0.058 <sup>c</sup>  | 0.581±0.202 <sup>a</sup>  | 0.050±0.003 <sup>a</sup> | 0.049±0.003 <sup>a</sup> | 4.260±0.024 <sup>a</sup> | 14.049    |
| DV10    | 7.182±0.074 <sup>a</sup>   | —                        | 1.324±0.058 <sup>a</sup>  | 0.425±0.029 <sup>c</sup>  | —                         | 0.056±0.003 <sup>a</sup> | 0.066±0.018 <sup>a</sup> | 4.329±0.045 <sup>a</sup> | 13.378    |

注: 表内数值为平均值±标准差, 表内同列数字后不同字母表示差异达到显著水平( $P<0.05$ ), —表示未检出, 表6同。

(0.066 g/L)。

发酵过程中,草酸形成了草酸盐沉淀,因此,软枣猕猴桃酒中草酸的含量明显下降<sup>[30]</sup>。9种软枣猕猴桃酒样中,草酸含量在DV10酿制的软枣猕猴桃酒样中最高(0.056 g/L),D254最低(0.041 g/L)。

研究表明,适量的有机酸可以赋予果酒醇厚感和清爽感,影响发酵微生物的代谢过程,促进果酒老熟与澄清,与合适的酒精协调可成就果酒的典型性;但过高的有机酸使果酒有酸涩感,影响果酒的口感和品质<sup>[31]</sup>。王聪雅<sup>[32]</sup>的研究表明,不同野生软枣猕猴桃总酸含量为17.50~21.69 g/L,均以柠檬酸含量为首。WEN等<sup>[33]</sup>研究发现,不同品种软枣猕猴桃果实有机酸总量为11.06~25.66 g/L,因酸度较高,降酸成为软枣猕猴桃酒生产中的研究热点。然而,不同酵母的代谢能力有一定差异,降解酸的能力差异显著<sup>[34]</sup>。本研究发现,9种酵母酿制的酒样有机酸总量均有不同程度的降低,其中酵母CM酿制的软枣猕猴桃酒样有机酸总量最高(16.168 g/L),NSD酒样有机酸总量最低(13.004 g/L)。

## 2.2 不同酿酒酵母对软枣猕猴桃果酒挥发性化合物的影响

果酒的挥发性风味物质主要来源于果实本身、酵母发酵及陈酿等过程。香气物质是评价果酒品质必不可少的指标,这些挥发性风味物质通过富集作用,共同赋予软枣猕猴桃酒浓郁、独特的风味<sup>[16]</sup>。顶空气相色谱-离子迁移谱法(HS-GC-IMS)是分离和定量食品中挥发性香气物质的常用方法。

2.2.1 软枣猕猴桃果酒 GC-IMS 光谱对比分析 使用VOCal软件附带的Reporter插件,可对各酒样之间的谱图差异进行对比,横坐标表示归一化处理后的离子相对迁移时间(Relative drift time/RIP,无单位),纵坐标表示气相色谱的保留时间(s),颜色代表物质

的浓度,白色表示低质量浓度,红色表示高质量浓度。从图2可以看出,大多数信号峰出现的保留时间在200~800 s之间,漂移时间在1.0~1.8 s之间,这说明不同酵母酿制的软枣猕猴桃果酒的挥发性香气成分相似度较高。

为了更好地比较不同酵母对软枣猕猴桃果酒挥发性香气物质的影响,以酵母BV818为参比,其余图谱扣除酵母BV818酒样中的信号峰,得到差异谱图(图3)。蓝色区域说明该物质在此样中较酵母BV818酒样低,红色区域说明该物质在此样品中较酵母BV818酒样高。不同酵母发酵条件下,NSD、CEC01挥发性化合物浓度较高,浓度最低的是CM、DV10;MST挥发性物质浓度与CECA较为相似。可以看出,不同软枣猕猴桃猕猴桃酒样品之间的挥发性化合物含量存在差异,这反映在位置、数量和相应的峰强度上。

2.2.2 指纹图谱分析 指纹图谱能全面、直观的分析9种软枣猕猴桃酒挥发性物质组成的差异。图4中横行为各不同挥发性化合物(数字表示未定性的挥发性化合物),纵列为对应挥发性化合物在不同酒样中的含量差异。图4中的每一行显示了一个软枣猕猴桃酒样的整个信号峰,每一列显示了同一挥发性化合物在不同酒样中的信号强度,每个酒样平行测定三次,颜色越深表示峰强度越大,含量越高。如图4所示,在9种软枣猕猴桃酒样本中,共检测出65种信号峰,已定性出51种挥发性化合物,其中包含酯类24种、醇类11种、醛类9种、酮类4种、萜烯类2种、酸类1种,未定性化合物14种。其中NSD酒样的挥发性化合物最为丰富,该酒样中异丁酸乙酯、乙酸丁酯、糠醛、E-乙酸-2-己烯-1-醇酯、乙酸甲酯、月桂烯等物质含量较高;CECA酒样中乳酸乙酯等物质含量较高;BV818酒样中乙酸己酯、3-壬烯-2-酮等物质的含量较高;CM酒样中4-甲基-2-戊醇、4-甲

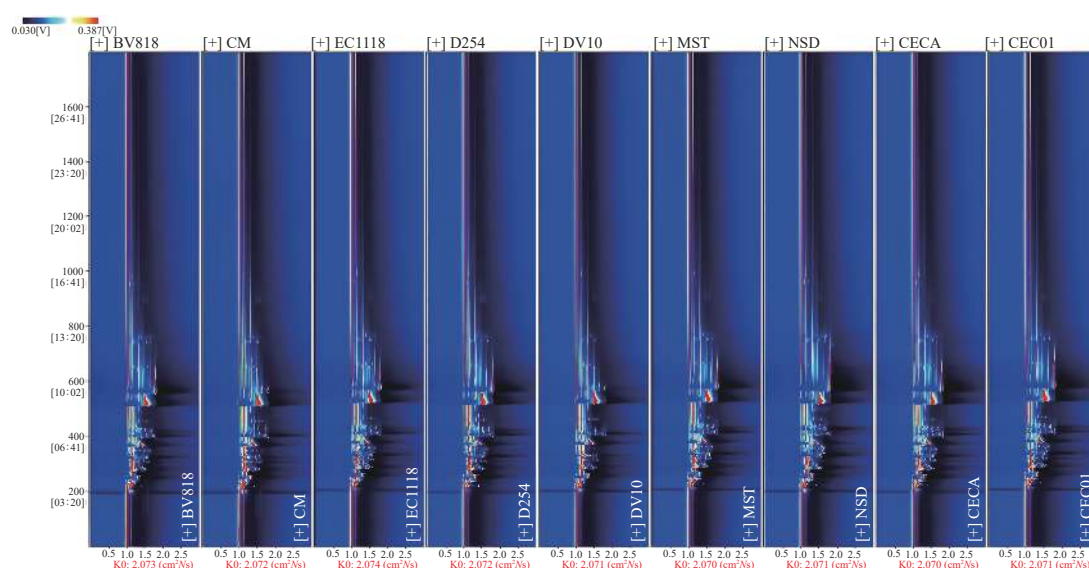


图2 9种软枣猕猴桃酒样的气相色谱离子迁移谱二维俯视图

Fig.2 GC-IMS 2D topographic of volatile compounds in nine *Actinidia arguta* wine samples



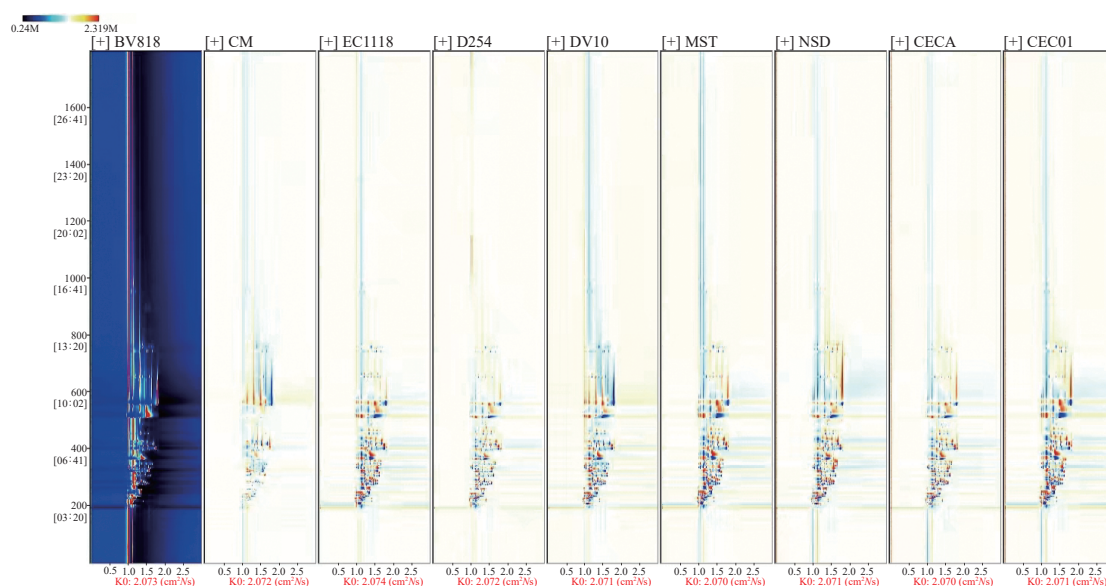


图 3 9 种软枣猕猴桃酒样的气相色谱离子迁移谱差异图

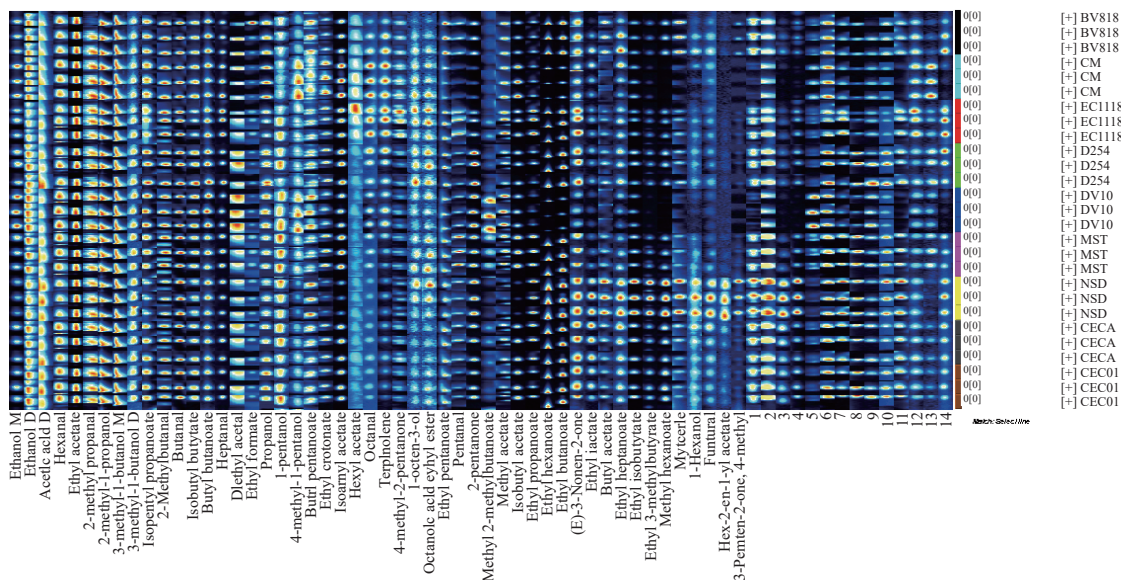
Fig.3 GC-IMS difference diagram of nine *Actinidia arguta* wine samples

图 4 软枣猕猴桃果酒指纹谱图

Fig.4 Fingerprint of volatile compounds in *Actinidia arguta* wine

基-1-戊醇、戊酸丁酯、巴豆酸乙酯、乙酸异戊酯、乙酸异丁酯、辛醛、2-甲基-丙醛、萜品油烯等物质含量较高; EC1118 酒样中丙酸乙酯、乙酸己酯、庚醛等物质含量较高; D254 酒样中丁酸异丁酯、2-戊酮等物质含量较高; DV10 酒样中乙酸甲酯、乙缩醛等物质含量较高; MST 酒样中正戊醛、2-甲基丁醛等物质含量较高; CEC01 酒样中戊酸乙酯、己醛等物质含量较高。

**2.2.3 挥发性化合物分析** 香气是果酒重要的感官特征之一。九个软枣猕猴桃酒样中检测出挥发性化合物种类相同, 但含量存在显著差异。由表 6 可知, NSD 酒样检测出的挥发性化合物含量最高为 75125.01  $\mu\text{g/L}$ , 其次挥发性化合物总含量由高到低依次为 CEC01(71387.12  $\mu\text{g/L}$ )、CECA(70640.16  $\mu\text{g/L}$ )、D254(68350.60  $\mu\text{g/L}$ )、MST(67593.55  $\mu\text{g/L}$ )、

BV818(63921.37  $\mu\text{g/L}$ )、EC1118(63503.01  $\mu\text{g/L}$ )、CM(60249.47  $\mu\text{g/L}$ )、DV10(57243.14  $\mu\text{g/L}$ )。从各类挥发性化合物在各品种中的占比来看, 醇类占比最大 38.51%~68.34%, 其次是酯类为 24.81%~53.11%。BV818、CM、EC1118、D254、DV10、MST 和 CEC01 主要是醇类化合物; 而 NSD 和 CECA 主要是酯类化合物。

果酒中的醇类化合物一部分来源于果实自身的无氧代谢, 另一部分来源于酵母菌株发酵过程中糖代谢或氨基酸代谢<sup>[35]</sup>。醇类化合物是鉴定出总含量最多的一类, 9 个酒样中醇类化合物总含量为 29060.84~39379.99  $\mu\text{g/L}$ 。醇类挥发性化合物主要是酒精味, 可赋予软枣猕猴桃酒复杂感<sup>[16]</sup>。在软枣猕猴桃酒所测的醇类物质中, 除乙醇外 3-甲基-1-丁醇(单体)的含量最多(7539.08~9100.86  $\mu\text{g/L}$ ), JIN 等<sup>[36]</sup>

表 6 不同酿酒酵母对枣农猕猴桃果酒的挥发性香气成分的影响

Table 6 Effects of different *Saccharomyces cerevisiae* on the volatile compounds of *Actinidia arguta* wine

|       |               |                           |          |                           | 挥发性化合物含量(μg/L)                |                              |                               |                              |                             |                               |                              |                              |                              |
|-------|---------------|---------------------------|----------|---------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 序号    | 物质中文名称        | 物质英文名称                    | CAS编号    | 香气描述 <sup>a</sup>         | BV818                         | CM                           | EC1118                        | D254                         | DV10                        | MST                           | NSD                          | CECA                         | CEC01                        |
| 醇类    |               |                           |          |                           |                               |                              |                               |                              |                             |                               |                              |                              |                              |
| 1     | 1-辛烯-3-醇      | 1-Octen-3-ol              | C3391864 | 水果香                       | 67.91±7.42 <sup>ad</sup>      | 86.32±1.98ab <sup>d</sup>    | 98.14±10.38 <sup>a</sup>      | 93.39±10.01 <sup>ab</sup>    | 74.60±6.32b <sup>cd</sup>   | 89.20±5.53 <sup>bc</sup>      | 84.97±7.95 <sup>bcd</sup>    | 67.49±2.59 <sup>cd</sup>     | 63.49±6.02 <sup>d</sup>      |
| 2     | 2-甲基-1-丙醇     | 2-Methyl-1-propanol       | C78831   | 微甜味                       | 2323.40±5.07 <sup>c</sup>     | 2792.21±24.49 <sup>c</sup>   | 2478.97±84.89 <sup>d</sup>    | 2403.82±49.51 <sup>bc</sup>  | 2832.68±23.81 <sup>c</sup>  | 3012.74±15.25 <sup>b</sup>    | 2128.05±70.11 <sup>f</sup>   | 2963.91±24.11 <sup>b</sup>   | 3161.95±7.42 <sup>a</sup>    |
| 3     | 1-戊醇          | 1-Pentanol                | C71410   | 苹果、香蕉、酵母、酒香香气             | 195.40±5.28 <sup>c</sup>      | 188.46±8.02 <sup>c</sup>     | 208.04±14.88 <sup>bc</sup>    | 204.13±23.61 <sup>bc</sup>   | 260.55±14.07 <sup>a</sup>   | 242.65±7.54 <sup>ab</sup>     | 225.11±4.83 <sup>abc</sup>   | 221.23±9.07 <sup>abc</sup>   | 223.69±14.71 <sup>abc</sup>  |
| 4     | 3-甲基-1-丁醇-D   | 3-Methyl-1-butanol D      | C123513  | 苦杏仁味涩味                    | 218.05±4.24 <sup>c</sup>      | 236.93±2.17 <sup>bc</sup>    | 240.67±9.00 <sup>b</sup>      | 256.09±0.64 <sup>ab</sup>    | 255.63±3.26 <sup>ab</sup>   | 266.64±4.97 <sup>a</sup>      | 274.77±12.46 <sup>a</sup>    | 263.98±6.04 <sup>a</sup>     | 256.73±8.17 <sup>ab</sup>    |
| 5     | 3-甲基-1-丁醇-M   | 3-Methyl-1-butanol M      | C123513  | 苦杏仁味涩味                    | 7539.08±25.64 <sup>c</sup>    | 9100.86±63.00 <sup>a</sup>   | 8241.33±27.07 <sup>b</sup>    | 8915.30±32.04 <sup>a</sup>   | 8688.62±33.08 <sup>ab</sup> | 8913.03±45.76 <sup>a</sup>    | 8116.28±41.59 <sup>a</sup>   | 8573.63±31.33 <sup>ab</sup>  | 8927.75±26.89 <sup>a</sup>   |
| 6     | 4-甲基-1-戊醇     | 4-Methyl-1-pentanol       | C626891  | 红酒香                       | 3245.08±63.84 <sup>cd</sup>   | 5583.04±29.92 <sup>a</sup>   | 3781.30±60.90 <sup>b</sup>    | 3645.12±127.21 <sup>bc</sup> | 5295.97±234.90 <sup>a</sup> | 3644.68±53.09 <sup>bc</sup>   | 2162.60±14.06 <sup>c</sup>   | 3125.49±62.89 <sup>d</sup>   | 3239.14±48.12 <sup>cd</sup>  |
| 7     | 4-甲基-2-戊醇     | 4-Methyl-2-pentanol       | C108112  | 水果香                       | 181.71±2.85 <sup>d</sup>      | 222.66±6.38 <sup>a</sup>     | 195.58±7.31 <sup>c</sup>      | 212.90±0.85 <sup>ab</sup>    | 213.57±1.81 <sup>ab</sup>   | 196.87±2.32 <sup>c</sup>      | 207.04±2.64 <sup>bc</sup>    | 173.75±2.25 <sup>d</sup>     | 170.32±0.95 <sup>d</sup>     |
| 8     | 乙醇-D          | Ethanol D                 | C64175   | 酒精味                       | 17572.05±144.69 <sup>c</sup>  | 18215.00±202.72 <sup>b</sup> | 15341.86±166.64 <sup>cd</sup> | 17567.80±75.31 <sup>c</sup>  | 20298.07±93.90 <sup>a</sup> | 15816.76±214.18 <sup>bc</sup> | 14886.92±144.03 <sup>c</sup> | 15860.72±192.43 <sup>d</sup> | 16063.04±193.68 <sup>d</sup> |
| 9     | 乙醇-M          | Ethanol M                 | C64175   | 酒精味                       | 682.92±10.08 <sup>f</sup>     | 770.55±40.86 <sup>f</sup>    | 632.98±45.53 <sup>d</sup>     | 743.44±55.12 <sup>e</sup>    | 957.81±22.06 <sup>c</sup>   | 636.39±54.45 <sup>c</sup>     | 461.32±22.47 <sup>c</sup>    | 598.40±30.49 <sup>d</sup>    | 630.21±35.14 <sup>c</sup>    |
| 10    | 丙醇            | Propanol                  | C71238   | 辛辣味                       | 376.91±1.21 <sup>c</sup>      | 324.06±4.09 <sup>bc</sup>    | 288.70±9.50 <sup>c</sup>      | 469.97±9.93 <sup>c</sup>     | 474.50±6.23 <sup>c</sup>    | 364.72±5.43 <sup>cd</sup>     | 375.38±5.85 <sup>c</sup>     | 390.65±6.18 <sup>bc</sup>    | 430.37±5.28 <sup>bc</sup>    |
| 11    | 正己醇           | 1-Hexanol                 | C111273  | —                         | 75.22±4.77 <sup>c</sup>       | 32.40±1.39 <sup>c</sup>      | 66.03±0.77 <sup>d</sup>       | 71.54±1.17 <sup>cd</sup>     | 27.99±0.23 <sup>c</sup>     | 69.68±1.77 <sup>cd</sup>      | 138.40±2.67 <sup>a</sup>     | 82.14±0.84 <sup>b</sup>      | 82.52±2.77 <sup>c</sup>      |
| 小计    |               |                           |          |                           | 32477.72                      | 37552.49                     | 31573.60                      | 34583.50                     | 39379.99                    | 33253.36                      | 29060.84                     | 32321.39                     | 33249.21                     |
| 占比(%) |               |                           |          |                           | 50.53                         | 61.95                        | 49.35                         | 50.37                        | 68.34                       | 48.94                         | 38.51                        | 45.52                        | 46.35                        |
| 酯类    |               |                           |          |                           |                               |                              |                               |                              |                             |                               |                              |                              |                              |
| 1     | 乙酸丁酯          | Butyl acetate             | C123864  | 水果香                       | 317.11±1.83 <sup>b</sup>      | 212.56±8.39 <sup>d</sup>     | 254.44±28.71 <sup>cd</sup>    | 289.08±26.51 <sup>bc</sup>   | 244.59±15.51 <sup>cd</sup>  | 323.15±6.27 <sup>b</sup>      | 520.28±9.27 <sup>a</sup>     | 331.24±25.20 <sup>b</sup>    | 314.60±7.40 <sup>b</sup>     |
| 2     | 丁酸丁酯          | Butyl butanoate           | C109217  | 微甜的香气、杏仁味                 | 489.68±26.05 <sup>ab</sup>    | 490.21±15.13 <sup>ab</sup>   | 536.38±29.17 <sup>a</sup>     | 508.29±28.10 <sup>a</sup>    | 535.82±10.68 <sup>a</sup>   | 409.13±14.39 <sup>d</sup>     | 476.50±11.63 <sup>abc</sup>  | 443.35±8.59 <sup>bcd</sup>   | 423.82±17.79 <sup>cd</sup>   |
| 3     | 戊酸丁酯          | Butyl pentanoate          | C591684  | 水果(苹果、覆盆子)的香气             | 459.41±4.17 <sup>c</sup>      | 564.85±9.19 <sup>a</sup>     | 382.65±20.01 <sup>ab</sup>    | 438.95±8.67 <sup>c</sup>     | 505.73±9.92 <sup>b</sup>    | 353.05±6.48 <sup>c</sup>      | 377.47±9.65 <sup>bc</sup>    | 386.48±2.84 <sup>d</sup>     | 379.23±8.66 <sup>bc</sup>    |
| 4     | 异戊酸乙酯         | Ethyl isovalerate         | C108645  | 香而飘逸带酒香的果香                | 205.99±3.80 <sup>cd</sup>     | 114.15±6.43 <sup>b</sup>     | 199.93±8.63 <sup>cd</sup>     | 242.73±3.96 <sup>bc</sup>    | 45.52±3.02 <sup>c</sup>     | 247.52±7.32 <sup>cd</sup>     | 667.27±11.78 <sup>a</sup>    | 283.15±6.66 <sup>d</sup>     | 330.24±5.55 <sup>cd</sup>    |
| 5     | 乙酸乙酯          | Ethyl acetate             | C141786  | 甜果香                       | 3871.55±16.25 <sup>c</sup>    | 3852.82±15.12 <sup>c</sup>   | 4177.83±13.29 <sup>a</sup>    | 3680.11±19.39 <sup>a</sup>   | 3683.74±14.20 <sup>d</sup>  | 3732.73±14.28 <sup>d</sup>    | 3971.39±36.27 <sup>a</sup>   | 3900.25±7.98 <sup>c</sup>    | 3730.11±22.84 <sup>d</sup>   |
| 6     | 丁酸乙酯          | Ethyl butanoate           | C105544  | 草莓味                       | 2416.96±10.40 <sup>f</sup>    | 869.17±14.17 <sup>f</sup>    | 2498.36±22.02 <sup>c</sup>    | 2732.76±28.30 <sup>cd</sup>  | 712.22±38.43 <sup>b</sup>   | 2696.11±26.80 <sup>cd</sup>   | 3802.34±33.89 <sup>a</sup>   | 2782.07±37.70 <sup>c</sup>   | 2975.37±7.61 <sup>b</sup>    |
| 7     | 巴豆酸乙酯         | Ethyl crotonate           | C623701  | 朗姆及康康克似的辛辣气息,并有菠萝、果香和肉香香气 | 388.55±7.46 <sup>c</sup>      | 807.31±8.52 <sup>a</sup>     | 462.63±7.05 <sup>b</sup>      | 463.05±5.93 <sup>b</sup>     | 432.05±5.47 <sup>bc</sup>   | 438.81±4.03 <sup>bc</sup>     | 266.68±8.16 <sup>d</sup>     | 425.59±9.73 <sup>bc</sup>    | 405.86±11.26 <sup>bc</sup>   |
| 8     | 甲酸乙酯          | Ethyl formate             | C109944  | 菠萝、朗姆酒香                   | 209.89±36.49 <sup>cd</sup>    | 174.67±1.64 <sup>d</sup>     | 282.48±41.68 <sup>abc</sup>   | 208.86±27.47 <sup>cd</sup>   | 222.62±8.32 <sup>bcd</sup>  | 327.08±11.22 <sup>a</sup>     | 294.77±12.95 <sup>abc</sup>  | 304.61±13.74 <sup>ab</sup>   | 245.69±11.24 <sup>bcd</sup>  |
| 9     | 庚酸乙酯          | Ethyl heptanoate          | C106309  | 水果香气、似康康克酒香               | 249.10±14.76 <sup>ab</sup>    | 204.74±11.49 <sup>bc</sup>   | 192.49±4.56 <sup>bc</sup>     | 198.62±5.78 <sup>bc</sup>    | 134.30±7.36 <sup>c</sup>    | 151.94±8.27 <sup>c</sup>      | 277.66±8.94 <sup>d</sup>     | 229.44±4.36 <sup>ab</sup>    | 196.01±11.37 <sup>bc</sup>   |
| 10    | 己酸乙酯          | Ethyl hexanoate           | C123660  | 曲香、菠萝香                    | 11995.40±138.68 <sup>cd</sup> | 3162.40±80.42 <sup>c</sup>   | 10543.95±100.81 <sup>d</sup>  | 12653.29±162.72 <sup>c</sup> | 2988.95±85.90 <sup>c</sup>  | 13004.99±147.83 <sup>c</sup>  | 22691.34±183.25 <sup>a</sup> | 16736.49±178.14 <sup>b</sup> | 16842.98±178.14 <sup>b</sup> |
| 11    | 异丁酸乙酯         | Ethyl isobutyrate         | C97621   | 水果香                       | 289.16±5.02 <sup>c</sup>      | 312.05±17.08 <sup>c</sup>    | 302.95±3.22 <sup>c</sup>      | 380.81±21.31 <sup>d</sup>    | 287.95±29.33 <sup>c</sup>   | 397.04±6.56 <sup>cd</sup>     | 903.83±3.90 <sup>a</sup>     | 476.68±15.23 <sup>b</sup>    | 437.78±5.58 <sup>bc</sup>    |
| 12    | 乳酸乙酯          | Ethyl lactate             | C97643   | 奶香                        | 99.19±5.47 <sup>cd</sup>      | 123.89±4.75 <sup>bc</sup>    | 111.11±9.32 <sup>bcd</sup>    | 110.51±5.37 <sup>bcd</sup>   | 61.77±2.79 <sup>d</sup>     | 89.75±0.51 <sup>cd</sup>      | 217.88±2.92 <sup>a</sup>     | 222.19±8.52 <sup>c</sup>     | 158.18±1.39 <sup>d</sup>     |
| 13    | 戊酸乙酯          | Ethyl pentanoate          | C539822  | 苹果香                       | 855.52±2.55 <sup>b</sup>      | 713.92±21.91 <sup>f</sup>    | 747.82±2.89 <sup>d</sup>      | 701.81±7.34 <sup>c</sup>     | 819.86±4.56 <sup>c</sup>    | 813.23±10.00 <sup>d</sup>     | 806.16±8.65 <sup>c</sup>     | 910.39±5.17 <sup>a</sup>     | 912.37±8.95 <sup>a</sup>     |
| 14    | 丙酸乙酯          | Ethyl propanoate          | C105373  | 苹果香                       | 491.55±4.77 <sup>c</sup>      | 425.90±2.11 <sup>c</sup>     | 818.55±5.25 <sup>a</sup>      | 370.92±8.97 <sup>f</sup>     | 273.34±1.89 <sup>b</sup>    | 539.13±8.59 <sup>d</sup>      | 635.04±7.68 <sup>a</sup>     | 583.43±3.94 <sup>c</sup>     | 418.24±5.21 <sup>c</sup>     |
| 15    | E-乙酸-2-己烯-1醇酯 | Hex-2-en-1-yl acetate     | C2497189 | —                         | 33.31±0.71 <sup>cd</sup>      | 23.68±1.38 <sup>d</sup>      | 29.88±1.66 <sup>d</sup>       | 28.51±1.76 <sup>d</sup>      | 23.43±2.66 <sup>d</sup>     | 31.10±0.67 <sup>d</sup>       | 115.86±0.42 <sup>a</sup>     | 50.33±0.52 <sup>b</sup>      | 42.72±2.74 <sup>bc</sup>     |
| 16    | 乙酸己酯          | Hexyl acetate             | C142927  | 水果香                       | 258.03±4.33 <sup>ab</sup>     | 253.62±4.40 <sup>ab</sup>    | 300.88±77.30 <sup>a</sup>     | 159.96±6.80 <sup>bc</sup>    | 136.18±6.29 <sup>c</sup>    | 158.56±9.27 <sup>bc</sup>     | 148.20±6.20 <sup>bc</sup>    | 153.86±3.40 <sup>bc</sup>    | 206.91±4.55 <sup>bc</sup>    |
| 17    | 乙酸异戊酯         | Isomyl acetate            | C123922  | 果香、香蕉味                    | 1492.59±1.34 <sup>c</sup>     | 2648.33±61.99 <sup>a</sup>   | 1799.90±37.61 <sup>c</sup>    | 2099.50±13.10 <sup>b</sup>   | 1468.68±17.94 <sup>c</sup>  | 2054.95±16.13 <sup>b</sup>    | 772.43±67.92 <sup>d</sup>    | 1741.37±38.85 <sup>cd</sup>  | 1664.79±38.52 <sup>d</sup>   |
| 18    | 乙酸异丁酯         | Isobutyl acetate          | C110190  | 生菜、覆盆子香                   | 409.27±6.17 <sup>c</sup>      | 804.63±40.49 <sup>a</sup>    | 483.34±7.68 <sup>d</sup>      | 440.27±8.95 <sup>cd</sup>    | 434.11±8.09 <sup>cd</sup>   | 671.05±5.42 <sup>b</sup>      | 112.01±6.02 <sup>c</sup>     | 534.80±24.38 <sup>c</sup>    | 626.86±4.09 <sup>b</sup>     |
| 19    | 丁酸异丁酯         | Isobutyl butyrate         | C539902  | 菠萝香                       | 234.93±2.46 <sup>cd</sup>     | 267.19±4.09 <sup>c</sup>     | 210.97±12.02 <sup>d</sup>     | 308.00±12.36 <sup>c</sup>    | 287.06±4.03 <sup>bc</sup>   | 246.53±5.95 <sup>cd</sup>     | 291.64±14.10 <sup>bc</sup>   | 283.07±8.94 <sup>cd</sup>    | 295.40±6.70 <sup>bc</sup>    |
| 20    | 丙酸异戊酯         | Isopentyl propanoate      | C105680  | 杏仁、菠萝的苦甜味                 | 331.66±2.30 <sup>bc</sup>     | 430.91±3.80 <sup>a</sup>     | 452.20±9.90 <sup>a</sup>      | 338.75±8.82 <sup>bc</sup>    | 314.17±6.67 <sup>c</sup>    | 336.02±3.76 <sup>c</sup>      | 270.43±8.03 <sup>d</sup>     | 346.52±11.67 <sup>b</sup>    | 335.52±5.23 <sup>bc</sup>    |
| 21    | 乙酸甲酯          | Methyl acetate            | C79209   | 芳香味                       | 187.01±5.00 <sup>cd</sup>     | 223.37±10.72 <sup>bc</sup>   | 252.29±17.38 <sup>b</sup>     | 218.53±12.81 <sup>bcd</sup>  | 303.60±6.27 <sup>a</sup>    | 236.12±11.64 <sup>b</sup>     | 175.14±8.14 <sup>d</sup>     | 230.44±8.24 <sup>cd</sup>    | 212.21±7.78 <sup>bcd</sup>   |
| 22    | 己酸甲酯          | Methyl hexanoate          | C106707  | 水果香气                      | 789.73±4.86 <sup>c</sup>      | 82.34±9.57 <sup>f</sup>      | 717.90±24.23 <sup>c</sup>     | 933.50±13.51 <sup>a</sup>    | 71.75±11.73 <sup>d</sup>    | 939.84±15.36 <sup>a</sup>     | 2128.08±17.49 <sup>a</sup>   | 1093.19±35.48 <sup>c</sup>   | 1245.10±26.04 <sup>b</sup>   |
| 23    | 辛酸乙酯          | Octanoic acid ethyl ester | C106321  | 水果香气,并有菠萝、苹果的香韵和白兰地酒香     | 84.44±1.28 <sup>c</sup>       | 115.63±6.47 <sup>ab</sup>    | 124.50±1.16 <sup>c</sup>      | 131.51±1.82 <sup>c</sup>     | 113.78±1.48 <sup>ab</sup>   | 120.06±2.61 <sup>ab</sup>     | 118.22±6.09 <sup>ab</sup>    | 81.20±1.69 <sup>c</sup>      | 95.63±2.91 <sup>bc</sup>     |
| 24    | 2-甲基丁酸甲酯      | Methyl 2-methylbutanoate  | C868575  | 苹果香                       | 85.05±0.83 <sup>c</sup>       | 99.30±1.09 <sup>c</sup>      | 96.18±1.70 <sup>cd</sup>      | 70.83±2.30 <sup>f</sup>      | 194.43±1.75 <sup>a</sup>    | 115.98±1.90 <sup>b</sup>      | 42.85±0.87 <sup>f</sup>      | 93.90±0.55 <sup>d</sup>      | 69.20±1.55 <sup>f</sup>      |
| 小计    |               |                           |          |                           | 26245.08                      | 16977.64                     | 25979.61                      | 27709.12                     | 14295.65                    | 28433.87                      | 40084.03                     | 32624.04                     | 32564.82                     |
| 占比(%) |               |                           |          |                           | 40.84                         | 28.0                         | 40.60                         | 40.35                        | 24.81                       | 41.85                         | 53.11                        | 45.95                        | 45.40                        |
| 醛类    |               |                           |          |                           |                               |                              |                               |                              |                             |                               |                              |                              |                              |
| 1     | 糠醛            | Furfural                  | C98011   | 焦苦及涩味                     | 70.81±1.71 <sup>c</sup>       | 50.92±1.54 <sup>bc</sup>     | 63.68±1.45 <sup>cd</sup>      | 62.19±1.49 <sup>cd</sup>     | 44.64±3.16 <sup>c</sup>     | 58.37±1.85 <sup>abc</sup>     | 123.56±0.98 <sup>a</sup>     | 90.29±0.49 <sup>b</sup>      | 70.22±1.59 <sup>c</sup>      |
| 2     | 庚醛            | Heptanal                  | C111717  | 水果香                       | 567.53±20.81 <sup>bc</sup>    | 638.29±19.64 <sup>ab</sup>   | 716.71±16.72 <sup>a</sup>     | 543.53±17.75 <sup>bc</sup>   | 483.54±14.20 <sup>c</sup>   | 558.99±3.85 <sup>bc</sup>     | 553.45±19.51 <sup>bc</sup>   | 517.42±22.96 <sup>c</sup>    | 501.07±15.81 <sup>c</sup>    |
| 3     | 己醛            | Hexanal                   | C66251   | 甜香和青草香味                   | 845.40±0.56 <sup>c</sup>      | 1055.93±10.73 <sup>cd</sup>  | 1022.77±49.63 <sup>cd</sup>   | 1133.11±35.93 <sup>bc</sup>  | 1333.65±13.63 <sup>a</sup>  | 1224.84±5.60 <sup>ab</sup>    | 1002.52±8.41 <sup>d</sup>    | 1243.08±11.96 <sup>ab</sup>  | 1288.40±20.20 <sup>a</sup>   |
| 4     | 辛醛            | Octanal                   | C124130  | 甜橙味                       | 102.80±3.99 <sup>bc</sup>     | 219.58±0.73 <sup>a</sup>     | 172.73±4.30 <sup>b</sup>      | 116.25±2.75 <sup>cd</sup>    | 129.66±6.60 <sup>c</sup>    | 84.50±0.51 <sup>c</sup>       | 54.93±3.09 <sup>c</sup>      | 78.28±0.75 <sup>cd</sup>     | 67.92±0.67 <sup>cd</sup>     |
| 5     | 正戊醛           | Pentanal                  | C110623  | 刺激性气味                     | 141.81±2.21 <sup>b</sup>      | 68.09±0.33 <sup>d</sup>      | 203.41±9.77 <sup>a</sup>      | 99.31±4.48 <sup>c</sup>      | 107.65±2.35 <sup>c</sup>    | 195.96±6.74 <sup>a</sup>      | 112.97±4.56 <sup>c</sup>     | 142.47±4.61 <sup>b</sup>     | 105.67±0.97 <sup>c</sup>     |
| 6     | 2-甲基丙醛        | 2-Methyl propanal         | C78842   | 麦芽香                       |                               |                              |                               |                              |                             |                               |                              |                              |                              |



续表 6

| 序号    | 物质中文名称        | 物质英文名称                   | CAS编号     | 香气描述 <sup>a</sup>              | 挥发性化合物含量(μg/L)            |                            |                            |                            |                           |                            |                           |                            |                            |
|-------|---------------|--------------------------|-----------|--------------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
|       |               |                          |           |                                | BV818                     | CM                         | EC1118                     | D254                       | DV10                      | MST                        | NSD                       | CECA                       | CEC01                      |
| 2     | 萜品油烯          | Terpinolene              | C586629   | 松木树脂似的气息                       | 176.78±22.16 <sup>a</sup> | 243.76±6.43 <sup>a</sup>   | 220.90±10.96 <sup>a</sup>  | 156.11±9.21 <sup>b</sup>   | 157.56±2.21 <sup>b</sup>  | 89.05±0.91 <sup>c</sup>    | 81.43±2.99 <sup>c</sup>   | 97.66±1.02 <sup>c</sup>    | 71.99±1.70 <sup>c</sup>    |
| 小计    |               |                          |           |                                | 347.24                    | 312.26                     | 361.25                     | 300.98                     | 235.94                    | 265.98                     | 328.81                    | 175.98                     | 238.98                     |
| 占比(%) |               |                          |           |                                | 0.54                      | 0.52                       | 0.56                       | 0.44                       | 0.41                      | 0.39                       | 0.44                      | 0.25                       | 0.33                       |
| 酸类    |               |                          |           |                                |                           |                            |                            |                            |                           |                            |                           |                            |                            |
| 1     | 乙酸            | Acetic acid              | C64197    | 醋香                             | 168.39±6.78 <sup>cd</sup> | 164.76±6.66 <sup>d</sup>   | 167.44±8.22 <sup>cd</sup>  | 206.06±10.58 <sup>ab</sup> | 171.22±5.25 <sup>cd</sup> | 203.80±16.74 <sup>ab</sup> | 232.53±12.86 <sup>a</sup> | 197.47±6.49 <sup>bc</sup>  | 208.65±2.60 <sup>ab</sup>  |
| 小计    |               |                          |           |                                | 168.39                    | 164.76                     | 167.44                     | 206.06                     | 171.22                    | 203.80                     | 232.53                    | 197.47                     | 208.65                     |
| 占比(%) |               |                          |           |                                | 0.26                      | 0.27                       | 0.26                       | 0.30                       | 0.30                      | 0.30                       | 0.31                      | 0.28                       | 0.29                       |
| 酮类    |               |                          |           |                                |                           |                            |                            |                            |                           |                            |                           |                            |                            |
| 1     | 4-甲基-3-戊烯-2-酮 | 3-Penten-2-one, 4-methyl | C141797   | 蜂蜜味                            | 106.52±2.13 <sup>bc</sup> | 72.21±2.78 <sup>d</sup>    | 89.84±3.61 <sup>c</sup>    | 91.11±4.22 <sup>c</sup>    | 59.45±2.10 <sup>d</sup>   | 97.06±2.96 <sup>bc</sup>   | 217.02±10.55 <sup>a</sup> | 105.28±2.87 <sup>bc</sup>  | 110.92±8.15 <sup>b</sup>   |
| 2     | 3-壬烯-2-酮      | (E)-3-Nonen-2-one        | C14309570 | 强烈的坚果香, 明显的水果香, 淡淡的桃香, 西瓜和鳄梨香韵 | 218.19±3.00 <sup>a</sup>  | 194.92±10.48 <sup>bc</sup> | 194.74±23.90 <sup>bc</sup> | 165.11±8.76 <sup>bc</sup>  | 94.93±1.90 <sup>d</sup>   | 128.21±2.12 <sup>cd</sup>  | 177.31±7.91 <sup>b</sup>  | 163.21±8.73 <sup>bc</sup>  | 157.76±21.72 <sup>bc</sup> |
| 3     | 2-戊酮          | 2-Pentanone              | C107879   | 辛辣味                            | 436.67±1.10 <sup>a</sup>  | 198.93±5.29 <sup>a</sup>   | 445.90±23.18 <sup>ab</sup> | 821.52±13.15 <sup>a</sup>  | 698.64±13.75 <sup>b</sup> | 618.64±6.56 <sup>c</sup>   | 731.68±8.62 <sup>b</sup>  | 578.87±7.01 <sup>c</sup>   | 485.67±24.92 <sup>d</sup>  |
| 4     | 4-甲基-2-戊酮     | Methyl-2-pentanone       | C108101   | 甜香、果香、青香                       | 187.24±2.86 <sup>cd</sup> | 238.92±3.77 <sup>b</sup>   | 317.15±4.94 <sup>a</sup>   | 172.32±2.64 <sup>cd</sup>  | 158.93±2.28 <sup>d</sup>  | 168.45±0.80 <sup>cd</sup>  | 161.32±0.62 <sup>cd</sup> | 181.48±12.48 <sup>ab</sup> | 195.01±13.98 <sup>c</sup>  |
| 小计    |               |                          |           |                                | 948.62                    | 704.98                     | 1047.63                    | 1250.06                    | 1011.95                   | 1012.36                    | 1287.33                   | 1028.84                    | 949.36                     |
| 占比(%) |               |                          |           |                                | 1.48                      | 1.16                       | 1.64                       | 1.82                       | 1.76                      | 1.49                       | 1.71                      | 1.45                       | 1.32                       |
| 总和    |               |                          |           |                                | 63921.37                  | 60249.47                   | 63503.01                   | 68350.60                   | 57243.14                  | 67593.55                   | 75125.01                  | 70640.16                   | 71387.12                   |

注: M: 单体; D: 二聚体; #表示香气描述参考风味数据库(<https://www.femaflavor.org>; <http://www.flavornet.org>(2023年10月7日访问))。

在‘北冰红’干酒的试验中也检测到 3-甲基-1-丁醇的含量最高, 3-甲基-1-丁醇具有苦杏仁味和涩味。含量较多的醇类物质还包括 4-甲基-1-戊醇(2162.6~5583.04 μg/L), 2-甲基-1-丙醇(128.05~3161.95 μg/L)。

酯类物质是各酒样中检测出种类最丰富的挥发性化合物, 可赋予软枣猕猴桃酒浓郁的花香和果香<sup>[37]</sup>。9 个酒样中酯类化合物总含量在 14295.65~40084.03 μg/L 之间, 其中己酸乙酯是最主要的酯类物质, 含量为 2988.95~22691.34 μg/L, 其具有曲香、菠萝香, 己酸乙酯含量排序为 NSD>CEC01>CECA>MST>D254>BV818>EC1118>CM>DV10。另外, 含量较多的酯类物质有乙酸乙酯(3683.74~4177.83 μg/L), 丁酸乙酯(712.22~3802.34 μg/L), 乙酸异戊酯(772.43~2648.33 μg/L), 己酸甲酯(71.75~2128.08 μg/L)和乙酸异丁酯(112.01~804.63 μg/L)等, 在猕猴桃酒中检测己酸乙酯、乙酸乙酯、乙酸异戊酯等物质含量也比较高<sup>[38]</sup>。

醛是基于 GC-IMS 检测测出软枣猕猴桃酒中的第三大类挥发性风味化合物, 含量在 2529.74~4907.96 μg/L 之间, 醛类物质含量占各酒样总体挥发性化合物的 4.39%~7.03%。醛类物质含量较高的有丁醛(1014.16~1274.13 μg/L), 己醛(845.4~1333.65 μg/L)等。己醛能够为软枣猕猴桃酒带来甜香和青草香味, 丁醛可带来柠檬香<sup>[39]</sup>。

酸类、酮类与萜烯类物质总浓度较少, 只占各品种样本的 0.26%~0.31%、1.16%~1.82%、0.25%~0.56%。

2.2.4 多元统计分析

2.2.4.1 主成分分析(PCA) 为了更好地区分不同酿酒酵母酿制的软枣猕猴桃酒样品之间的差异, 采用无监督多维统计分析方法(PCA)对样本进行区分。如图 5 所示, PC1 和 PC2 分别占总方差的 41.6% 和 19.8%, 累计贡献率达 61.4%, 且九组样本在二维图

上呈现出明显的分离趋势, 没有离群样本, 同一酒样本聚类良好。9 个酒样根据香气特征进行了很好的区分, 酵母 BV818 和 EC1118 酒样之间距离较近, 酵母 D254、MST、CEC01 和 CECA 距离较近, 而酵母 CM、DV10 和 NSD 距离较远, 这表明不同酵母酿制的软枣猕猴桃果酒酒样之间存在明显差异。

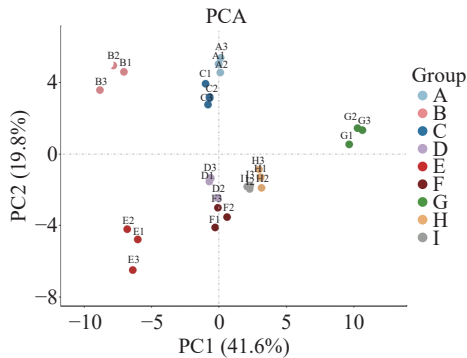


图 5 软枣猕猴桃果酒中挥发性香气物质 PCA 分析  
Fig.5 PCA analysis of volatile aroma compounds in *Actinidia arguta* wine

注: A-I 依次为酵母 BV818、CM、EC1118、D254、DV10、MST、NSD、CECA、CEC01 酿制的软枣猕猴桃果酒; 图 6~图 7 同。

2.2.4.2 正交偏最小二乘法判别分析(OPLS-DA)

OPLS-DA 是一种能够建立物质表达量与样品类别间关系模型的有效判别分析统计方法<sup>[40]</sup>。将检测得到的同一种香气成分的单体及二聚体数据合并, 以 46 个挥发性香气成分作为因变量, 不同酵母作为自变量, 通过 OPLS-DA(图 6), 可以实现 9 个酵母的软枣猕猴桃果酒样品有效区分。本次分析中的自变量拟合指数  $R^2_x=0.986$ , 因变量拟合指数  $R^2_y=0.974$ , 模型预测指数  $Q^2=0.965$ ,  $R^2$  和  $Q^2$  超过 0.5, 表明该模型拟合结果可接受<sup>[41-42]</sup>。经过 200 次置换检验, 如图 6 所示, 模型预测指数  $Q^2$  回归线与纵坐标的相交

点小于 0,所有置换检验  $R^2$  和  $Q^2$  均低于原始值,说明模型不存在过拟合,构建的 OPLS-DA 模型验证有效,因此认为该结果可用于研究不同酵母对软枣猕猴桃果酒香气的影响。

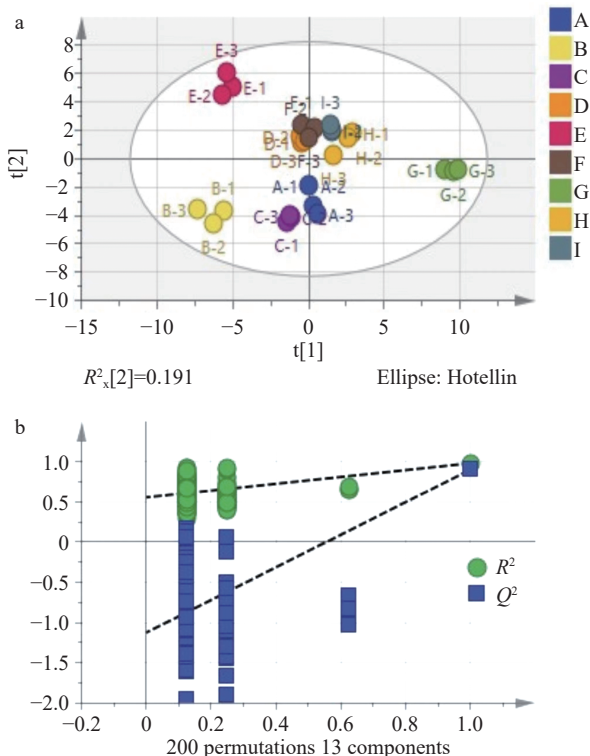


图 6 软枣猕猴桃果酒中挥发性香气物质 OPLS-DA 分析  
Fig.6 OPLS-DA analysis of volatile aroma substances in *Actinidia arguta* wine  
注:a 为不同酵母酿制软枣猕猴桃果酒的挥发性香气物质 OPLS-DA 分析结果;b 为模型交叉验证结果。

此外,将 46 种挥发性物质对软枣猕猴桃果酒

香气的贡献进行 VIP 量化分析,以  $P$  值 $<0.05$  且 VIP 值 $>1$  作为判别条件筛选特殊贡献的挥发性成分,结果显示(表 7),九个酒样中贡献度最大的化学物质有:己酸乙酯(4.085)、乙酸异戊酯(2.471)、3-甲基-1-丁醇(2.390)、2-甲基-1-丙醇(2.029)、乙酸异丁酯(1.753)、4-甲基-1-戊醇(1.701)和己酸甲酯(1.281)。结果说明,软枣猕猴桃酒香气组成复杂,多种化学物质贡献度大。

2.2.4.3 关键香气化合物聚类分析 如图 7 所示,为了更好地了解软枣猕猴桃果酒样品间的差异性和相似性,通过初步鉴定的 7 种关键香气化合物为变量对不同酵母酿制的软枣猕猴桃果酒进行聚类分析。依据 7 种关键香气化合物可将软枣猕猴桃样品分为四类:第一类为 NSD,第二类为 CM,第三类为 DV10,第四类为 D254、MST、CEC01、CECA、BV818、EC1118;其中,第四类的 BV818 和 EC1118 可分为一类,CEC01 和 CECA 可分为一类,D254 和 MST 可分为一类;该结果与上述 PCA 和 OPLS-DA 分析结果相符。因此,可初步认为 2-甲基-1-丙醇、乙酸异戊酯、乙酸异丁酯、3-甲基-1-丁醇、己酸乙酯、己酸甲酯和 4-甲基-1-戊醇为软枣猕猴桃果酒关键香气物质。

2.3 感官评价

如图 8 所示,9 种软枣猕猴桃果酒均符合优质果酒的要求,酒体澄清、透明、有光泽,呈淡黄色,具有纯正、优雅的果香和酒香,酒体协调,具有软枣猕猴桃酒的典型性。就外观(颜色和澄清度)而言,9 个酒样无明显差异。香气评分方面,酵母 NSD 发酵的酒样明显高于其他酵母发酵酒样,香气更浓郁,整体香

表 7 软枣猕猴桃果酒差异挥发性物质

| Table 7 Differential volatile compounds of <i>Actinidia arguta</i> wine |           |                     |        |        |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------|--------|--------|
| 序号                                                                      | 物质中文名称    | 物质英文名称              | $P$    | VIP    |
| 1                                                                       | 己酸乙酯      | Ethyl hexanoate     | 0.022  | 4.0852 |
| 2                                                                       | 乙酸异戊酯     | Isoamyl acetate     | 0.002  | 2.4710 |
| 3                                                                       | 3-甲基-1-丁醇 | 3-Methyl-1-butanol  | 0.005  | 2.3900 |
| 4                                                                       | 2-甲基-1-丙醇 | 2-Methyl-1-propanol | 0.0001 | 2.0290 |
| 5                                                                       | 乙酸异丁酯     | Isobutyl acetate    | 0.006  | 1.7533 |
| 6                                                                       | 4-甲基-1-戊醇 | 4-Methyl-1-pentanol | 0.016  | 1.7011 |
| 7                                                                       | 己酸甲酯      | Methyl hexanoate    | 0.009  | 1.2813 |

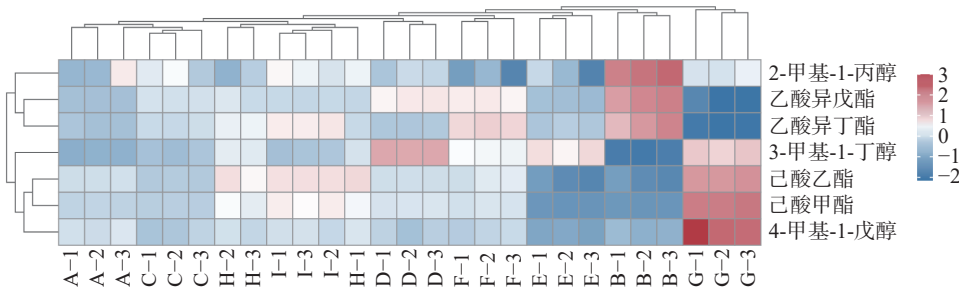


图 7 软枣猕猴桃果酒中关键香气化合物聚类热图分析

Fig.7 Cluster heat map analysis of the key aroma compounds in *Actinidia arguta* wine

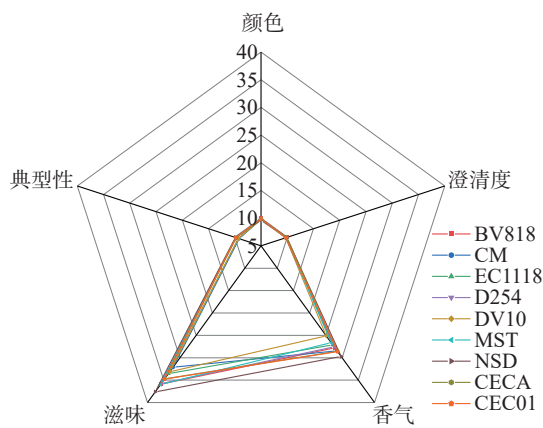


图 8 软枣猕猴桃果酒感官评价

Fig.8 Sensory evaluation results of *Actinidia arguta* wine

气评分排名第一,这与 NSD 酒样中检测到酯类、酮类、萜烯类物质及挥发性香气物质总量较高有关,能赋予酒样更明显的果香和花香;酵母 DV10 发酵的酒样香气评分最低。滋味评分方面,酵母 NSD 发酵的酒酸度适中,口感醇厚,滋味最佳。综合评价显示,酵母 NSD 酿造的软枣猕猴桃酒样整体感官品质较优。

### 3 结论

为了探究不同酵母对软枣猕猴桃果酒风味的影响,本实验采用 HPLC 测定果酒中的有机酸含量,采用 HS-GC-IMS 测定果酒中的挥发性化合物,并结合感官评价对其风味品质进行分析。结果表明,不同酵母酿制的软枣猕猴桃果酒中有机酸含量存在显著差异,主要有机酸是柠檬酸和奎宁酸。其中酵母 NSD 有降酸作用,其发酵的软枣猕猴桃果酒的有机酸总量最低,为 13.004 g/L。HS-GC-IMS 定性分析共检出 51 种挥发性化合物,其中包含酯类 24 种、醇类 11 种、醛类 9 种、酮类 4 种、萜烯类 2 种、酸类 1 种;酵母 BV818、CM、EC1118、D254、DV10、MST 和 CEC01 样品中醇类物质含量大于酯类物质;而 NSD 和 CECA 样品则结果正好相反,说明发酵酵母能明显影响软枣猕猴桃果酒风味。不同发酵条件下软枣猕猴桃酒的挥发性化合物组成相似,但含量存在显著差异 ( $P < 0.05$ ),其酵母 NSD 发酵的软枣猕猴桃酒样挥发性化合物总量最高 (75125.01  $\mu\text{g/L}$ )。PCA 和 OPLS-DA 能够有效地区分不同酵母发酵的软枣猕猴桃果酒;并根据  $P$  值  $< 0.05$  且 VIP 值  $> 1$  筛选出了 7 种主要挥发性香气物质:己酸乙酯、乙酸异戊酯、3-甲基-1-丁醇、2-甲基-1-丙醇、乙酸异丁酯、4-甲基-1-戊醇和己酸甲酯。经感官评定,酵母 NSD 发酵的酒样香气浓郁,酸度适中,口感醇厚,滋味最佳,感官评分最高。综合考虑,酵母 NSD 可提高软枣猕猴桃酒的风味品质。本研究为软枣猕猴桃酒的风味物质分析提供了研究思路,研究结果为软枣猕猴桃酒后期的风味提升提供一定理论基础。

distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

### 参考文献

- [1] 卢立媛,刘振盼,孙阳,等.软枣猕猴桃研究进展[J].特产研究,2020,4(5):89-93. [LU L Y, LIU Z P, SUN Y, et al. Research progress of kiwiberry[J]. Special Wild Economic Animal and Plant Research, 2020, 4(5): 89-93.]
- [2] 张敏,王贺新,姜鑫,等.世界软枣猕猴桃品种资源特点及育种趋势[J].生态学杂志,2017,36(11):3289-3297. [ZHANG M, WANG H X, LOU X, et al. The development status and breeding trend of hardy kiwifruit cultivars in the world[J]. Chinese Journal of Ecology, 2017, 36(11): 3289-3297.]
- [3] BARANOWSKA-WOJCIK E, SZWAJGIER D. Characteristics and pro-health properties of mini kiwi (*Actinidia arguta*) [J]. Horticulture Environment and Biotechnology, 2019, 60(2): 217-225.
- [4] HALE I L, CONNOLLY B A. *Actinidia arguta*: A new record of a naturalized introduction in connecticut [J]. Rhodora, 2014, 116 (967): 352-355.
- [5] 牛强,申健,刘悦,等.软枣猕猴桃主要活性成分及药理活性研究进展[J].食品工业科技,2019,40(3):333-338,344. [NIU Q, SHEN J, LIU Y, et al. Research progress on main active constituents and pharmacological activities of *Actinidia arguta* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(3): 333-338, 344.]
- [6] 刘青,贾东峰,黄春辉,等.软枣猕猴桃(*Actinidia arguta*)种质资源研究进展[J].北方园艺,2020,469(22):132-137. [LIU Q, JIA D F, HUANG C H, et al. Research progress on germplasm resources of *Actinidia arguta* [J]. Northern Horticulture, 2020, 469 (22): 132-137.]
- [7] 史彩虹,李大伟,赵余庆.软枣猕猴桃的化学成分和药理活性研究进展[J].现代药物与临床,2011,26(3):203-207. [SHI C H, LI D W, ZHAO Y Q. Advances in research on chemical constituents of *Actinidia arguta* and their pharmacological activities [J]. Drugs & Clinic, 2011, 26(3): 203-207.]
- [8] 孙宏策,毕云杰,时得友,等.软枣猕猴桃果品加工与贮藏保鲜研究进展[J].食品与发酵工业,2020,46(11):315-320. [SUN H L, BI Y J, SHI D Y, et al. Research process on processing and storage [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(11): 315-320.]
- [9] 温锦丽,路文鹏,曹炜玉,等.软枣猕猴桃果酒的营养成分及其品质影响因素研究进展[J].中国酿造,2023,42(7):13-18. [WEN J L, LU W P, CAO W Y, et al. Research progress on nutritional component and quality influencing factors of kiwiberry wine [J]. China Brewing, 2023, 42(7): 13-18.]
- [10] 韩丹,吴铭,汪鸿,等.软枣猕猴桃果酒发酵工艺优化[J].中国酿造,2016,35(1):145-148. [HAN D, WU M, WANG H, et al. Optimization of fermentation technology of *Actinidia arguta* wine [J]. China Brewing, 2016, 35(1): 145-148.]
- [11] 李潇卓,刘长江.软枣猕猴桃果酒酿造工艺的研究[J].食品工业科技,2014,35(3):207-210,215. [LI X Z, LIU C J. Research of fermenting process of *Actinidia arguta* wine [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(3): 207-210,215.]
- [12] 董玉影,梁成云,金铁岩.3种不同酵母对软枣猕猴桃果酒品质的影响[J].食品科技,2013,38(8):142-145. [DONG Y Y, LIANG C Y, JIN T Y. Effect of three kinds of yeasts on *Actinidia arguta* wine quality [J]. Food Science and Technology, 2013, 38(8):



142-145.]

[13] 张宝香, 秦红艳, 刘迎雪, 等. 软枣猕猴桃全浆发酵酒工艺优化及成分分析[J]. 酿酒科技, 2017(7): 65-69, 73. [ZHANG B X, QIN H Y, LIU Y X, et al. Optimization of the production technology of whole-pulp hardy kiwi wine and analysis of its components[J]. *Liquor-Making Science & Technology*, 2017(7): 65-69, 73.]

[14] 丁玉萍, 王梦泽, 刘宇欣, 等. 单菌与混菌发酵软枣猕猴桃酒品质比较[J]. 中国酿造, 2023, 42(5): 145-150. [DING Y P, WANG M Z, LIU Y X, et al. Comparison of the quality of *Actinidia arguta* fruit wine fermented by single yeast and mixed yeasts[J]. *China Brewing*, 2023, 42(5): 145-150.]

[15] 温锦丽, 曹炜玉, 何艳丽, 等. 不同酿酒酵母对软枣猕猴桃酒理化特性及抗氧化特性的影响[J]. 食品科技, 2023, 48(8): 7-14. [WEN J L, CAO W Y, HE Y L, et al. Effect of different *saccharomyces cerevisiae* on the physicochemical properties and antioxidant characteristics of kiwiberry wine[J]. *Food Science and Technology*, 2023, 48(8): 7-14.]

[16] WEN J L, WANG Y, CAO W Y, et al. Comprehensive evaluation of ten *Actinidia arguta* wines based on color, organic acids, volatile compounds, and quantitative descriptive analysis[J]. *Foods* (Basel, Switzerland), 2023, 12(18): 3345.

[17] 付勋, 张海彬, 聂青玉, 等. 猕猴桃品质指标差异分析及GC-IMS分析果汁中挥发性物质[J]. 食品科学, 2022, 43(10): 247-254. [FU X, ZHANG H B, NIE Q Y, et al. Different varieties of kiwifruit: Analysis of differences in quality indexes and volatile components in juice by gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. *Food Science*, 2022, 43(10): 247-254.]

[18] HE Y L, QIN H Y, WEN J L, et al. Characterization of key compounds of organic acids and aroma volatiles in fruits of different *Actinidia arguta* resources based on high-Performance liquid chromatography (HPLC) and headspace gas chromatography-ion mobility spectrometry (HS-GC-IMS)[J]. *Foods* (Basel, Switzerland), 2023, 12(19): 3615.

[19] HAN J J, FU C G, WAN Y L, et al. Characterizing the volatile profile and flavor of four kinds of hotpot seasonings in China using HS-GC-MS, HS-GC-IMS, and sensory evaluation[J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2023, 125(8): 2200197.

[20] 宋艺君, 庞来祥, 袁筱, 等. GC-IMS法比较不同酒龄猕猴桃酒特征香气物质差异[J]. 食品与生物技术学报, 2023, 42(2): 58-65. [SONG Y J, PANG L X, YUAN X, et al. Difference of specific aroma substances in kiwifruit wine of different ages compared by GC-IMS[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2023, 42(2): 58-65.]

[21] CAO W Y, SHU N, WEN J L, et al. Characterization of the key aroma volatile compounds in nine different grape varieties wine by headspace gas chromatography-ion mobility spectrometry (HS-GC-IMS), odor activity values (OAV) and sensory analysis[J]. *Foods*, 2022, 11(18): 2267.

[22] ROBLES A, FABJANOWICZ M, CHMIEL T, et al. Determination and identification of organic acids in wine samples. Problems and challenges[J]. *Trac-Trends Anal Chem*, 2019, 120: 14.

[23] 安娇, 刘铭, 贾佳林, 等. 软枣猕猴桃果实发育过程中糖酸组分及含量的变化[J]. 东北农业科学, 2020, 45(5): 88-91. [AN J, LIU M, JIA J L, et al. Changes of sugar and acid components and contents during fruit development of *Actinidia arguta*[J]. *Journal of Northeast Agricultural Sciences*, 2020, 45(5): 88-91.]

[24] 庞敏, 蔡松铃, 刘茜. 葡萄酒中有机酸及其分析方法的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(6): 1588-1593.

[PANG M, CAI S L, LIU Q. Research progress on the analysis methods of organic acids in wine[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2019, 10(6): 1588-1593.]

[25] 赵国群, 姚瑶, 关军锋. 发酵条件对梨醋酿造过程中有机酸的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(3): 146-150. [ZHAO G Q, YAO Y, GUAN J F. Influence of fermentation conditions on organic acids during brewing process of pear vinegar[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2014, 35(3): 146-150.]

[26] 滕达, 司静涛, 赵进, 等. 基于高效液相色谱法分析梨酒发酵前后有机酸变化[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(17): 153-159. [TENG D, SI J T, ZHAO J, et al. Detection of organic acids in pear juice and pear wine by high performance liquid chromatography[J]. *Food Research and Development*, 2023, 44(17): 153-159.]

[27] 曾竞蓝, 马胤鹏, 秦丹, 等. 果酒中有机酸的作用及检测方法研究[J]. 中国酿造, 2018, 37(6): 183-187. [ZENG J L, MA Y P, QIN D, et al. Research on effect and detection method of organic acids in fruit wine[J]. *China Brewing*, 2018, 37(6): 183-187.]

[28] 丁仁君, 夏延斌. 葡萄酒中的有机酸及检测方法研究进展[J]. 食品与机械, 2014, 30(1): 243-247. [DING R J, XIA Y B. Research progress on detection of organic acids in grape wines[J]. *Food & Machinery*, 2014, 30(1): 243-247.]

[29] 陈园, 赵淑娟. 微生物莽草酸代谢途径的研究进展[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(7): 19-23. [CHEN Y, ZHAO S J. Research progress of microbial shikimic acid metabolic pathway[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2019, 47(7): 19-23.]

[30] 向进乐, 杜琳, 刘志静, 等. 桃醋液态发酵过程中主要成分及有机酸的变化[J]. 现代食品科技, 2015, 31(5): 193-198. [XIANG J L, DU L, LIU Z J, et al. Changes in biochemical parameters and organic acid content during liquid fermentation of peach vinegar[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2015, 31(5): 193-198.]

[31] 文连奎, 赵薇, 张微, 等. 果酒降酸技术研究进展[J]. 食品科学, 2010, 31(11): 325-328. [WEN L K, ZHAO W, ZHANG W, et al. Research progress of acid-reducing techniques for fruit wine[J]. *Food Science*, 2010, 31(11): 325-328.]

[32] 王聪雅. 壳聚糖涂膜和1-MCP处理对软枣猕猴桃在贮藏期间品质及抗氧化性的比较研究[D]. 沈阳: 辽宁大学, 2020. [WANG C Y. Comparative study of chitosan coating and 1-MCP treatments on the quality and antioxidant of *Actinidia arguta* during storage[D]. Shenyang: Liaoning University, 2020.]

[33] WEN J L, WANG Y, HE Y L, et al. Flavor quality analysis of ten *Actinidia arguta* fruits based on high-performance liquid chromatography and headspace gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. *Molecules*, 2023, 28(22): 7559.

[34] 刘俊丽, 孙广玲, 黄蓉, 等. 微通氧对东方伊萨酵母在猕猴桃酒中的降酸效果[J]. 中国食品学报, 1-11[2024-07-29]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4528.TS.20230302.1113.002.html>.

[LIU J L, SUN G L, HUANG R, et al. The acid-reducing effect of micro-oxygenation on *pichia kudriavzevii* in kiwi wine[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 1-11[2024-07-29]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4528.TS.20230302.1113.002.html>.]

[35] LIN X, HU X P, WU W Y, et al. Evaluation of the volatile profile of wax apple (*Syzygium samarangense*) wines fermented with different commercial *Saccharomyces cerevisiae* strains[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2019, 28(3): 657-667.

[36] JIN Y N, SHU N, XIE S Y, et al. Comparison of 'Beibinghong' dry red wines from six producing areas based on volatile compounds analysis, mineral content analysis, and sensory evalua-

- tion analysis[J]. *European Food Research and Technology*, 2021, 247: 1461–1475.
- [37] DANMALLAM F A, PIMENOV N V. Study on prevalence, clinical presentation, and associated bacterial pathogens of goat mastitis in Bauchi, Plateau, and Edo states, Nigeria[J]. *Veterinary World*, 2019, 12(5): 638–645.
- [38] 王铁儒, 郭丽, 马曼, 等. SPME-GC-MS 与电子鼻结合分析不同酵母混菌发酵猕猴桃酒的挥发性香气物质[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(16): 119–128. [WANG T R, GUO L, MA M, et al. Analysis of volatile aroma compounds in kiwi wine co-fermentation with different yeasts by SPME-GC-MS combined with electronic nose[J]. *Food Science and Technology*, 2021, 42(16): 119–128.]
- [39] FENG T, SUN J Q, SONG S Q, et al. Geographical differentiation of Molixiang table grapes grown in China based on volatile compounds analysis by HS-GC-IMS coupled with PCA and sensory evaluation of the grapes[J]. *Food Chemistry*: X, 2022, 15: 100423.
- [40] BYLESJO M, RANTALAINEN M, CLOAREC O, et al. OPLS discriminant analysis: combining the strengths of PLS-DA and SIMCA classification[J]. *Journal of Chemometrics*, 2006, 20(8–10): 341–351.
- [41] 邵淑贤, 徐梦婷, 林燕萍, 等. 基于电子鼻与 HS-SPME-GC-MS 技术对不同产地黄观音乌龙茶香气差异分析[J]. *食品科学*, 2023, 44(4): 232–239. [SHAO S X, XU M T, LIN Y P, et al. Differential analysis of aroma components of huangguanyin oolong tea from different geographical origins using electronic nose and headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry[J]. *Food Science*, 2023, 44(4): 232–239.]
- [42] YUN J, CUI C J, ZHANG S H, et al. Use of headspace GC/MS combined with chemometric analysis to identify the geographic origins of black tea[J]. *Food Chemistry*, 2021, 360: 130033.