

## 五种红心猕猴桃酒理化特性及挥发性风味化合物研究

敖红艳<sup>1</sup>, 尹礼国<sup>2</sup>, 李岑<sup>3</sup>, 朱文优<sup>2</sup>, 汤翠<sup>4</sup>, 张毅<sup>5</sup>, 邱树毅<sup>1</sup>, 闫岩<sup>1\*</sup>

(1.贵州大学酿酒与食品工程学院,贵州省发酵工程与生物制药重点实验室,贵州贵阳550025;2.固态发酵资源利用四川省重点实验室,四川宜宾644000;3.贵州大学生命科学学院,贵州贵阳550025;4.六盘水农业农村局,贵州六盘水553002;5.六盘水凉都猕猴桃产业股份有限公司,贵州六盘水553001)

**摘要:**为探究红心猕猴桃酒理化特性、挥发性风味化合物及酚类化合物含量,该研究选取市面上常见的5种红心猕猴桃酒,采用常规分析方法测定其理化指标、总酚和总黄酮,分别采用顶空固相微萃取(HS-SPME)、固相萃取(SPE)和液液萃取(LLE),结合气相色谱-质谱(GC-MS)分析挥发性风味化合物,并对挥发性酚类含量和气味活性值(OAV)进行分析。结果表明,红心猕猴桃酒的pH值为3.46~3.81,可溶性固形物含量为9.00~14.90 °Bx,总酸含量为4.41~14.89 g/L,还原糖含量为6.05~9.04 g/L,总酚含量为51.39~296.48 mg/L,总黄酮含量为257.84~897.23 mg/L。三种提取方法结合GC-MS共鉴定出118种挥发性风味化合物,HS-SPME提取出的挥发性风味化合物数量最多(86种),SPE对挥发性酚类的提取效率最高,LLE提取损失较大。SPE结合GC-MS鉴定出7种挥发性酚类化合物,其中2,6-二甲氧基苯酚,丁香酚和愈创木酚的平均含量较高,分别为25.99 μg/L、18.97 μg/L和17.64 μg/L。丁香酚的OAV最高,其范围为1~9,是猕猴桃果酒的关键挥发性酚类物质。

**关键词:**红心猕猴桃酒;气相色谱-质谱;挥发性风味化合物;挥发性酚类化合物;理化性质

中图分类号:TS262.7

文章编号:0254-5071(2025)09-0133-08

doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2025.09.020

引文格式:敖红艳,尹礼国,李岑,等.五种红心猕猴桃酒理化特性及挥发性风味化合物研究[J].中国酿造,2025,44(9):133-140.

## Physicochemical properties and volatile flavor compounds of five kinds of red-fleshed kiwifruit wines

AO Hongyan<sup>1</sup>, YIN Ligu<sup>2</sup>, LI Cen<sup>3</sup>, ZHU Wenyu<sup>2</sup>, TANG Cui<sup>4</sup>, ZHANG Yi<sup>5</sup>, QIU Shuyi<sup>1</sup>, YAN Yan<sup>1\*</sup>

(1. Guizhou Province Key Laboratory of Fermentation Engineering and Biopharmacy, School of Liquor and Food Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Solid-state Fermentation Resource Utilization Key Laboratory of Sichuan Province, Yibin 644000, China; 3. College of Life Sciences, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 4. Liupanshui Agricultural and Rural Bureau, Liupanshui 553002, China; 5. Liupanshui Liangdu kiwifruit Co., Ltd., Liupanshui 553001, China)

**Abstract:** To investigate the physicochemical properties, volatile flavor compounds and phenolics compound contents in red-fleshed kiwifruit wine, selecting five commercially available red-fleshed kiwifruit wines as research objects, the physicochemical indexes, total phenols and total flavonoids were detected by conventional methods, the volatile flavor compounds were detected by headspace solid-phase microextraction (HS-SPME), solid-phase extraction (SPE), and liquid-liquid extraction (LLE) in combination with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Additionally, the content of volatile phenolic compounds and their odor activity values (OAV) were analyzed. The results showed that the pH values of the red-fleshed kiwifruit wines were 3.46-3.81, soluble solids contents were 9.00-14.90 °Bx, total acidity were 4.41-14.89 g/L, reducing sugars were 6.05-9.04 g/L, total phenol contents were 51.39-296.48 mg/L, and total flavonoid contents were 257.84-897.23 mg/L. A total of 118 volatile flavor compounds were identified using the three pretreatment methods. HS-SPME extracted the highest number of volatile flavor compounds (86), SPE had the highest extraction efficiency for volatile phenols, and LLE had significant extraction losses. 7 volatile phenolics compounds were identified by SPE combined with GC-MS, among which 2,6-dimethoxyphenol, eugenol, and guaiacol had higher average contents of 25.99 μg/L, 18.97 μg/L, and 17.64 μg/L, respectively. The OAV of eugenol was the highest, ranging from 1 to 9, which was the key volatile phenolics compound in kiwifruit wine.

**Key words:** red-fleshed kiwifruit wine; gas chromatography-mass spectrometry; volatile flavor compound; volatile phenolics compound; physicochemical property

猕猴桃 (*Actinidia chinensis* Planch.) 又称阳桃、羊桃、藤梨,属猕猴桃科 (*Actinidiaceae*) 猕猴桃属 (*Actinidia*) 植物果实,富含维生素C、各种必需氨基酸、膳食纤维等多种营养物质,被誉为“水果之王”<sup>[1]</sup>。贵州因其独特的多山地形

和多样化的生态环境,被认定为全球高品质猕猴桃最佳产区之一<sup>[2]</sup>。如今猕猴桃已经发展为贵州优势水果,对促进农民增收、乡村振兴等方面具有一定积极作用<sup>[3]</sup>。猕猴桃主要分为绿心、黄心、红心三大类,红心猕猴桃因其诱人的颜

收稿日期:2024-12-24

修回日期:2025-04-22

基金项目:贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2021]一般137);固态发酵资源利用四川省重点实验室开放基金项目(2021GTJC01);贵州省科技计划项目(黔科合基础-ZK[2023]一般093)

作者简介:敖红艳(2000-),女,硕士研究生,研究方向为食品工程。

\*通讯作者:闫岩(1987-),男,副教授,博士,研究方向为食品风味化学与感知科学。

色和良好的风味,商品价值普遍高于绿心及黄心猕猴桃<sup>[4]</sup>。红心猕猴桃有良好的营养和口感,可以开发出红心猕猴桃果酱、果脯、果酒等精深加工产品,以提高其经济效益,而猕猴桃酒在保留了水果原有的营养成分的同时进一步增强了风味。因此,红心猕猴桃酒成为最具潜力的深加工产品,有乐观的市场前景。

在挥发性风味化合物的研究中,气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)占据着重要地位,通常与顶空固相微萃取(headspace solid phase microextraction, HS-SPME),固相萃取(solid-phase extraction, SPE),液液萃取(liquid-liquid extraction, LLE),搅拌棒吸附萃取(stir bar sorptive extraction, SBSE)等提取方法联用。HS-SPME-GC-MS是目前应用最多的联用技术,具有操作简单、高效、成本低等优点<sup>[5]</sup>。SPE可以在富集目标物质的同时除去部分杂质,在多种基质中的应用均表现出较强的有效性和选择性<sup>[6]</sup>。LLE可以提取具有不同挥发性和极性的化合物,具有操作容易掌握,成本低等优点<sup>[7]</sup>。

挥发性风味化合物在果酒中起着举足轻重的作用,在塑造猕猴桃酒香气特征和消费者接受度方面起至关重要的作用<sup>[8]</sup>。猕猴桃酒挥发性风味化合物主要包括酯类、醇类、酸类、酯类、醛类、挥发性酚类、萜烯类、硫化物等<sup>[9-10]</sup>。其中,挥发性酚类作为果酒中常见的关键成分,其浓度变化对香气的影响呈现显著的双面性。挥发性酚类在较低浓度下赋予果酒烟熏、烘烤等香气,但是在高浓度下表现为令人不愉悦的气味<sup>[11]</sup>。4-乙基苯酚和4-乙基愈创木酚的总含量 $<400 \mu\text{g/L}$ 时,具有香料、烟熏的芳香,有利于提高葡萄酒香气的复杂性;当总含量 $>620 \mu\text{g/L}$ 时,产生腥臭味,显著降低葡萄酒的风味品质<sup>[12]</sup>。有研究表明,酚类化合物具有一定的生理活性。丁香酚有抑菌、麻醉、解热、抗氧化、促进透皮吸收等多种活性<sup>[13]</sup>。愈创木酚可用于慢性气管炎的多痰咳嗽治疗,多与其他镇咳平喘药合用<sup>[14]</sup>。然而,目前关于猕猴桃酒中挥发性酚类的研究较少。尽管已有研究关注到挥发性酚类在果酒中的作用,但对于猕猴桃酒这一特定品类,其挥发性酚类的种类、含量以及对风味和健康益处的影响仍需进一步深入研究。

目前关于猕猴桃酒的研究主要集中于绿心猕猴桃作为原料,红心猕猴桃在中国的培育晚于绿心猕猴桃,其酿造的红心猕猴桃果酒,尤其是商业化生产的果酒鲜有研究。因此,本研究选取了市面上具代表性且常见的五种红心猕猴桃酒作为研究对象,通过解析其理化指标和挥发性化合物,并定量分析挥发性酚类化合物,旨在为红心猕猴桃酒的生产 and 品质控制提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

5种市面上常见的红心猕猴桃酒(编号和酒精度分别为:SY 12.5%vol、YK 15%vol、LL 22%vol、MNH-1 5.5%vol、

MNH-2 12%vol):市售;愈创木酚、苯酚、4-乙基-2-甲氧基苯酚、对甲基苯酚、4-乙基苯酚、丁香酚、2,6-二甲氧基苯酚、乙醇、二氯甲烷、苯酚- $d_6$ (内标)(均为色谱纯):上海麦克林科技有限公司;C<sub>7</sub>~C<sub>40</sub>正构烷烃混合物:Sigma-Aldrich(上海)贸易有限公司;无水硫酸钠、氯化钠(均为分析纯):北京国药化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

GCMS-8890/5977B气相色谱质谱联用仪:美国安捷伦科技有限公司;PAL system多功能自动进样器:德国Gerstel公司;Varioskan Flash超微量全波长读数酶标仪、Sorvall ST 8冷冻离心机:美国Thermo Fisher Scientific公司;雷磁pHS-25型pH计:上海仪电科学仪器股份有限公司;TD10手持式折光计:荣美电子有限公司;UltraScan VIS色度计:中国信联创作电子有限公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 基本理化指标的测定

pH值:采用pH计测定;可溶性固形物含量:采用手持式糖度计测定;总酸含量:参考GB/T 15038—2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》中电位滴定法测定;还原糖含量:采用3,5-二硝基水杨酸法测定<sup>[15]</sup>;颜色参数明亮度L\*值、红绿度a\*值、黄蓝度b\*值的测定:采用UltraScan VIS色度仪测定;总酚含量:采用福林酚试剂法测定<sup>[16]</sup>;总黄酮含量:采用比色法测定<sup>[17]</sup>。

#### 1.3.2 挥发性风味物质提取方法

##### (1)顶空固相微萃取法

参考ANTALICK G等<sup>[18]</sup>的方法并加以改动进行测定。取5 mL猕猴桃酒样于20 mL的顶空小瓶,加入1.5 g氯化钠,并用聚四氟乙烯衬里的瓶盖紧紧密封小瓶,装入多功能自动进样装置。样品在50 °C下平衡15 min,用SPME萃取头提取35 min。随后分析物在GC进样中解吸端口在250 °C下通过无分裂模式解吸5 min,用于GC-MS分析。

##### (2)固相萃取法

参考LING M等<sup>[19]</sup>的方法并加以改动进行测定。用10 mL甲醇、10 mL二氯甲烷和10 mL乙醇水活化SPE小柱。取酒样40 mL,加200  $\mu\text{L}$ 内标,通过活化后的SPE小柱。用10 mL超纯水冲洗小柱,去除糖和极性化合物,挥发性风味化合物用25 mL二氯甲烷洗脱。含目标化合物的有机相用无水硫酸钠干燥,在氮气流下浓缩至250  $\mu\text{L}$ ,用于GC-MS分析。

##### (3)液液萃取法

参考LAN Y B等<sup>[20]</sup>的方法并加以改动进行测定。将250 mL的猕猴桃酒样品等分,每个馏分分别用二氯甲烷(50 mL、30 mL、30 mL)提取3次,在250 mL烧瓶中磁力搅拌20 min。然后将混合物在2~4 °C、5 000 r/min离心15 min。分离组合有机相中的挥发物,用无水硫酸钠干燥,浓缩至250  $\mu\text{L}$ ,用于GC-MS分析。

### 1.3.3 挥发性风味物质测定

GC-MS条件:采用DB-Wax色谱柱(60 m×0.25 mm×0.25 μm)。载气为高纯氦气(He),流速1.0 mL/min。程序升温条件为:初始柱温40 ℃保持1 min,然后以4 ℃/min速度升至150 ℃,最后以8 ℃/min速度升至230 ℃,并保持15 min。采用电子电离(electron ionization, EI)源,电子能量70 eV,离子源温度设定为230 ℃,四极杆温度维持在150 ℃,扫描范围m/z 29~500。进样口温度250 ℃,扫描方式为全扫描监测模式。

定性定量分析:挥发性风味化合物的保留指数(retention indexes, RI)根据正构烷烃(C<sub>7</sub>~C<sub>40</sub>)在DB-WAX色谱柱上的线性保留时间计算,根据保留时间进行化合物定性,以200 μL苯酚-d<sub>6</sub>(50 mg/L)作内标物质,采用外标法定量。

### 1.3.4 气味活度值的计算

气味活度值(odor activity value, OAV)是评价香气化合物对果酒整体香气贡献程度的指标,是由单一香气物质浓度除以该物质阈值得到<sup>[21]</sup>。一般认为OAV≥1的挥发性香气物质对猕猴桃果酒香气具有贡献作用,是关键香气物质。

### 1.3.5 统计分析

所有数据均为3次重复实验的平均值。使用Origin 2021

进行统计分析,用SPSS 26.0统计软件对数据进行显著性分析,使用Microsoft Excel 2016数据进行线性回归分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同红心猕猴桃酒的理化指标分析

红心猕猴桃酒的pH、可溶性固形物、总酸、还原糖和色差值测定结果见表1。由表1可知,5种红心猕猴桃酒的pH值为3.46~3.81,与葡萄酒、梅子酒的pH值一致<sup>[22-23]</sup>。果酒中的可溶性固形物主要包括果实本身所含的可溶性糖和添加的蔗糖<sup>[24]</sup>,本实验测得的红心猕猴桃酒可溶性固形物含量为9.00~14.90 °Brix。红心猕猴桃酒总酸含量为4.41~14.89 g/L,平均含量为9.35 g/L,与张莉等<sup>[25]</sup>报道绿心猕猴桃酒总酸含量(10.62~15.00 g/L)相比可知,红心猕猴桃酒中的平均总酸含量较低。红心猕猴桃酒的还原糖为6.05~9.04 g/L,与赵子贤等<sup>[26]</sup>报道猕猴桃酒还原糖含量(1.82~3.75 g/L)相比,红心猕猴桃酒中的还原糖含量较高。颜色是消费者对果酒期望的重要感官特征,提供味觉和风味感官特征的视觉指导,影响消费者偏好<sup>[27]</sup>。红心猕猴桃酒的颜色参数结果显示,所有红心猕猴桃酒的颜色特征相似,显示a\*值>0, b\*值>0, L\*值范围为24~30。这表明酒体颜色较深,呈黄色,略带红色。

表1 五种红心猕猴桃酒的基础理化指标

Table 1 Basic physicochemical indicators of five kinds of red-fleshed kiwifruit wines

酒样	pH值	可溶性固形物/ °Brix	总酸/ (g·L <sup>-1</sup> )	还原糖/ (g·L <sup>-1</sup> )	颜色参数		
					L*值	a*值	b*值
SY	3.46±0.01e	14.90±0.10a	14.89±0.14a	9.04±0.13a	26.52±0.10d	2.36±0.10a	2.88±0.04d
YK	3.66±0.01c	14.50±0.00b	9.01±0.043c	7.17±0.13c	27.58±0.01c	1.74±0.03c	4.38±0.05c
LL	3.81±0.00a	11.03±0.06d	4.41±0.066e	7.74±0.07b	28.51±0.25b	2.20±0.15b	5.58±0.44a
MNH-1	3.64±0.01d	9.00±0.00e	7.63±0.082d	7.68±0.10b	28.91±0.18a	0.87±0.02e	4.84±0.17b
MNH-2	3.79±0.01b	12.53±0.06c	10.81±0.094b	6.05±0.04d	24.62±0.01e	1.21±0.05d	0.19±0.03e

注:同列小写字母不同表示差异显著(P<0.05)。

### 2.2 不同红心猕猴桃酒的总酚和总黄酮分析

总酚和黄酮类物质是果酒的主要抗氧化成分,具有清除自由基、延缓细胞衰老、改善心脑血管疾病等功效<sup>[28]</sup>。因

此,分析比较了五种红心猕猴桃酒的总酚和总黄酮的含量,结果见图1。

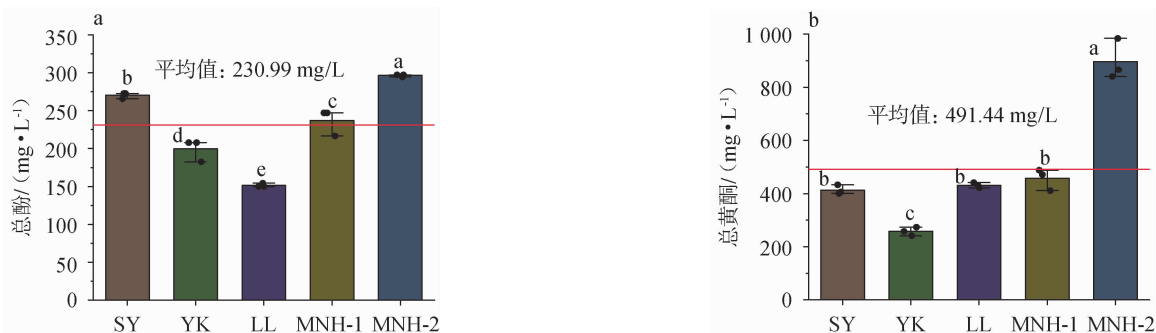


图1 五种红心猕猴桃酒总酚(a)、总黄酮(b)含量差异

Fig. 1 Differences in total phenols (a) and total flavonoids (b) of five kinds of red-fleshed kiwifruit wines

由图1可知,测试的红心猕猴桃酒总酚含量为151.39~270.47 mg/L,研究的五种红心猕猴桃酒的总酚含量均存在显著差异( $P<0.05$ ),MNH-2样品的总酚含量最高为296.48 mg/L,LL样品的总酚含量最低为151.39 mg/L。与WANG Z N等<sup>[29]</sup>报道的徐香和红阳猕猴桃果酒的总酚(2 372 mg/L和1 664 mg/L)相比,样品总酚含量较低。五种红心猕猴桃酒的总黄酮平均含量为491.44 mg/L,其中MNH-2总黄酮的含量为897.23 mg/L,显著高于其他四种红心猕猴

桃酒( $P<0.05$ )。与SUN W S等<sup>[30]</sup>报道的猕猴桃果酒的总黄酮相比,红心猕猴桃总黄酮平均含量(82.41~143.78 mg/L)高于徐香猕猴桃果酒。

### 2.3 三种提取方式结合GC-MS分析挥发性风味化合物

该部分采用三种不同挥发性风味化合物提取方式,选择目前市面上最常见的一款红心猕猴桃酒(MNH-1)为研究对象,解析不同前处理方法(LLE、SPE和HS-SPME)对猕猴桃酒挥发性风味化合物数量测定的影响,结果见表2。

表2 三种前处理方法检出的挥发性风味化合物比较  
Table 2 Comparison of volatile flavor compounds detected by three pretreatment methods

序号	化合物	保留指数	前处理			序号	化合物	保留指数	前处理		
			SPME	SPE	LLE				SPME	SPE	LLE
1	乙醛	701	+			60	二氢-2-甲基-3(2H)-噻吩酮	1 551		+	+
2	二甲基硫	748	+			61	辛醇	1 561	+		
3	甲酸乙酯	825	+			62	异丁酸	1 564		+	+
4	2-甲基呋喃	866	+			63	丙二酸二乙酯	1 574		+	+
5	乙酸乙酯	887	+			64	5-甲基呋喃醛	1 582	+	+	+
6	1,1-二乙氧基乙烷	894	+			65	5-甲基-2-乙酰基呋喃	1 593	+	+	+
7	异戊醛	915	+			66	4-萜烯醇	1 612	+	+	
8	2,5-二甲基呋喃	953	+			67	2-甲基苯甲醛	1 622		+	
9	丙酸乙酯	957	+			68	2-糠酸乙酯	1 628	+	+	+
10	异丁酸乙酯	967	+			69	丁二酸甲乙酯	1 632	+	+	+
11	乙酸丙酯	974	+	+		70	苯甲酸甲酯	1 634	+	+	+
12	3-戊酮	978	+	+		71	丁酸	1 637		+	
13	乙酸异丁酯	1 014	+			72	癸酸乙酯	1 643	+		
14	仲丁醇	1 025	+			73	$\gamma$ -丁内酯	1 643		+	+
15	丁酸乙酯	1 041	+			74	薄荷脑	1 651	+		
16	正丙醇	1 045	+		+	75	苯乙醛	1 655	+	+	
17	2-甲基丁酸乙酯	1 057	+			76	苯甲酸异丁酯	1 660		+	
18	异戊酸乙酯	1 077	+			77	1-壬醇	1 666	+		
19	乙酸丁酯	1 080	+			78	2-甲基丁酸	1 670		+	
20	正己醛	1 094	+			79	苯甲酸乙酯	1 672	+	+	+
21	异丁醇	1 107	+	+	+	80	丁二酸二乙酯	1 682	+	+	+
22	2-甲基-2-丁烯醛	1 109	+	+		81	柠檬醛	1 688	+		
23	乙酸异戊酯	1 132	+	+	+	82	水杨醛	1 689		+	
24	3-戊烯-2-酮	1 139	+	+		83	2-噻吩甲醛	1 702		+	
25	戊酸乙酯	1 149	+	+		84	$\alpha$ -松油醇	1 705	+	+	
26	正丁醇	1 151	+		+	85	3-甲硫基丙醇	1 723	+	+	+
27	月桂烯	1 167	+			86	胡椒酮	1 743	+	+	
28	水芹烯	1 172	+			87	香茅醇	1 767	+		
29	松油烯	1 184	+			88	2(5H)-呋喃酮	1 767		+	
30	1,4-桉叶素	1 195	+			89	正癸醇	1 769	+		
31	丙酸 2-甲基丁酯	1 199	+			90	戊二酸二乙酯	1 780		+	
32	异戊醇	1 218	+	+	+	91	4-甲基苯乙酮	1 791		+	
33	桉叶油醇	1 224	+	+	+	92	苯乙酸乙酯	1 797	+		
34	正己酸乙酯	1 238	+		+	93	乙酸苯乙酯	1 825	+		
35	正戊醇	1 252	+			94	$\beta$ -大马士酮	1 837	+		

续表

序号	化合物	保留指数	前处理			序号	化合物	保留指数	前处理		
			SPME	SPE	LLE				SPME	SPE	LLE
36	苯乙烯	1 260	+			95	月桂酸乙酯	1 847	+		
37	丙酮酸乙酯	1 268		+	+	96	2-(4-甲基苯基)丙-2-醇	1 851	+	+	
38	3-羟基-2-丁酮	1 301			+	97	己酸	1 858	+	+	
39	3-甲基-1-戊醇	1 325	+			98	香叶基丙酮	1 862	+		
40	庚酸乙酯	1 337	+			99	愈创木酚	1 871		+	+
41	乳酸乙酯	1 341	+			100	苯甲醇	1 885	+	+	+
42	正己醇	1 355	+	+	+	101	3-苯丙酸乙酯	1 897	+		
43	反式-3-己烯-1-醇	1 366		+		102	苯乙醇	1 915	+	+	+
44	1,3-丙二醇单乙醚	1 376		+	+	103	十二醇	1 970	+	+	
45	壬醛	1 401	+			104	苯酚	2 004	+	+	+
46	反式-2-己烯醇	1 407	+			105	辛酸	2 030	+	+	+
47	2-羟基-3-甲基丁酸乙酯	1 426		+		106	2-吡咯甲醛	2 032			+
48	辛酸乙酯	1 435	+	+		107	DL-泛酰内酯	2 034			+
49	醋酸	1 452	+		+	108	苹果酸二乙酯	2 039	+	+	+
50	糠醛	1 469	+	+	+	109	十四酸乙酯	2 040	+		
51	2-乙基己醇	1 491	+			110	4-乙基-2-甲氧基苯酚	2 058	+	+	
52	癸醛	1 503	+			111	对甲基苯酚	2 086		+	
53	2-乙酰基呋喃	1 512	+	+		112	4-异丙基苯甲醇	2 108			+
54	3-羟基丁酸乙酯	1 522		+	+	113	4-乙基苯酚	2 182		+	
55	2-甲硫基乙醇	1 533		+		114	丁香酚	2 198		+	+
56	苯甲醛	1 534	+	+		115	2,6-二甲氧基苯酚	2 269		+	
57	2,3-丁二醇	1 542	+		+	116	丁二酸单乙酯	2 368			+
58	(2R,3R)-(-)-2,3-丁二醇	1 544			+	117	5-羟甲基糠醛	2 515			+
59	芳樟醇	1 549	+			118	香兰素	2 595		+	+

注：“+”表示检出。

由表2可知,共检测出118种挥发性风味化合物,包括38种酯类,23种醇类,16种萜烯类,6种酮类,13种醛类,6种酸类,7种挥发性酚类和9种其他类化合物。

由表2可知,HS-SPME提取出的挥发性风味化合物明显多于SPE和LLE,三种提取方法中共有的挥发性风味化合物有19种,主要包括酯类、醇类、酸类、醛类、挥发性酚类以及其他类,其中酯类和醇类最多。三种提取方法中共同含有的酯类有乙酸异戊酯、2-糠酸乙酯、丁二酸甲乙酯、苯甲酸甲酯、苯甲酸乙酯、丁二酸二乙酯和苹果酸二乙酯。猕猴桃酒中的酯类主要来源于酯化反应,以及发酵过程中酵母和某些微生物的代谢<sup>[31]</sup>。酯类是猕猴桃酒水果香和花香的贡献者,如乙酸异戊酯为酒体带来果香<sup>[32]</sup>。醇类主要通过糖代谢或氨基酸分解产生<sup>[33]</sup>。三种提取方式共同含有的醇类有异丁醇、异戊醇、桉叶油醇、正己醇、3-甲硫基丙醇、苯甲醇和苯乙醇。异戊醇和苯乙醇是猕猴桃酒主要醇类物质,赋予了猕猴桃酒苹果香和玫瑰花香<sup>[34]</sup>。酸类主要来自浆果中氨基酸的转化和酒精发酵,能够有效中和酒体的刺激性苦香,同时增强甜香感知,从而显著改善酒体的香气平衡<sup>[35]</sup>。辛酸赋予酒体明显的酸香和奶酪香气特征。在

对猕猴桃酒进行的三种不同提取方式的分析中,均检测到了苯酚,是猕猴桃酒中较为稳定存在的挥发性酚类,具有类似药的香气<sup>[36]</sup>。

比较了HS-SPME、SPE、LLE三种前处理方法结合GC-MS鉴定的挥发性风味化合物种类,结果见图2。由图2可知,HS-SPME特别有利于挥发性风味化合物的分析,但是对于一些高沸点挥发性风味化合物的提取有缺陷<sup>[37]</sup>。HS-SPME对红心猕猴桃酒中挥发化合物的提取效率最高,共鉴定出86种化合物,包括酯类29种,醇类19种,萜烯类13种,酮类2种,醛类11种,酸类3种,挥发性酚类2种以及其他类7种。SPE是对HS-SPME萃取技术的补充,能够提取挥发性低的化合物<sup>[38]</sup>。SPE共检测出60种挥发性风味化合物,包括酯类17种,醇类10种,萜烯类5种,酮类5种,醛类8种,酸类5种,挥发性酚类7种以及其他类3种。结果表明,SPE能够检测出较多的挥发性酚类,酸类和酮类。相比之下,LLE的耗时长以及使用大量的有机溶剂,在进行浓缩的时候会导一些易挥发化合物的损失。LLE共鉴定出41种挥发性风味化合物,其中酯类14种,醇类11种,萜烯类3种,酮类3种,醛类4种,酸类3种,挥发性酚类2种以及其他类1种。

HS-SPME和LLE提取出2种挥发性酚类化合物,SPE能够提取7种挥发性酚类化合物,SPE对挥发性酚类的提取效率较高,因此后续实验选择SPE作为提取方法解析红心猕猴桃酒中的挥发性酚类化合物。

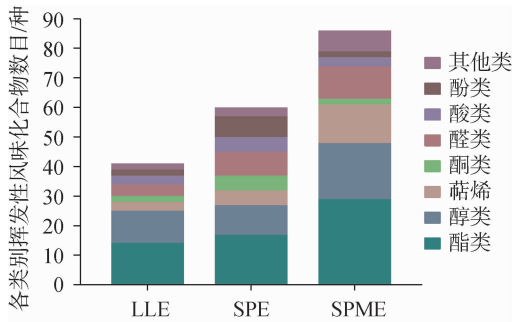


图2 三种前处理方法测定红心猕猴桃酒中的挥发性风味化合物种类对比  
Fig. 2 Comparison of volatile flavor compounds types detected in red-fleshed kiwifruit wines by three pretreatment methods

#### 2.4 挥发性酚类化合物的定量和OAV分析

挥发性酚类不仅对酒的色泽和口感产生影响,还具有一定的抗氧化、抗炎、镇痛以及抗菌作用<sup>[9]</sup>。由于SPE能够提取出更多种类的挥发性酚类,采用SPE结合GC-MS测定五种红心猕猴桃酒中的挥发性酚类化合物,结果见表3。

由表3可知,定量出了7种挥发性酚类化合物,分别是愈创木酚、苯酚、4-乙基-2-甲氧基苯酚、对甲基苯酚、4-乙基苯酚、丁香酚和2,6-二甲氧基苯酚。在五种红心猕猴桃酒中,挥发性酚类化合物的平均质量浓度范围为2.15~25.99 μg/L,平均质量浓度最高的前三个化合物是2,6-二甲氧基苯酚,丁香酚和愈创木酚,质量浓度分别为25.99 μg/L, 18.97 μg/L, 17.64 μg/L。其次为4-乙基-2-甲氧基苯酚和4-乙基苯酚,质量浓度分别为10.70 μg/L和8.97 μg/L。对甲基苯酚(平均质量浓度2.15 μg/L)是7种挥发性酚类化合物中最低。

表3 五种红心猕猴桃酒中挥发性酚类化合物的含量

Table 3 Concentrations of volatile phenolic compounds contents in five kinds of red-fleshed kiwifruit wines

化合物	质量浓度/(μg·L <sup>-1</sup> )					平均质量浓度/(μg·L <sup>-1</sup> )
	SY	YK	LL	MNH-1	MNH-2	
2,6-二甲氧基苯酚	25.25±0.14b	23.57±0.97bc	18.18±0.41e	20.07±1.18cd	42.89±4.26a	25.99±1.39
丁香酚	56.39±1.71a	11.70±0.42c	7.61±0.66d	5.21±0.55e	13.95±1.24b	18.97±0.92
愈创木酚	23.67±1.96b	9.56±0.67c	1.69±0.11d	8.91±1.25c	44.39±4.96a	17.64±1.79
4-乙基-2-甲氧基苯酚	7.49±0.09b	7.75±0.21b	5.57±0.11d	6.18±0.14bc	26.49±2.12a	10.70±1.53
4-乙基苯酚	10.87±0.64b	6.95±0.27c	2.87±0.33d	8.23±0.33c	15.96±1.57a	8.97±0.61
苯酚	0.94±0.02c	2.14±0.13b	0.84±0.12c	2.80±0.37b	10.22±0.70a	3.40±0.26
对甲基苯酚	2.01±0.21b	4.68±0.26a	1.06±0.01c	1.03±0.05c	1.97±0.02b	2.15±0.11

注:同列小写字母不同表示差异显著(P<0.05)。

为进一步探究挥发性酚类对红心猕猴桃酒风味的影响,对其OAV进行计算,结果见表4。

表4 五种红心猕猴桃酒挥发性酚类化合物的气味阈值和气味活性值  
Table 4 Odor threshold and odor activity values of volatile phenolic compounds in five kinds of red-fleshed kiwifruit wines

化合物	香气属性 <sup>a</sup>	香气阈值/(μg·L <sup>-1</sup> )	OAV				
			SY	YK	LL-1	MNH-1	MNH-2
丁香酚	花香	6 <sup>[41]</sup>	9	2	1	1	2
愈创木酚	烟熏	9.5 <sup>[44]</sup>	2	1	<1	1	5
2,6-二甲氧基苯酚	烟熏	570 <sup>[44]</sup>	<1	<1	<1	<1	<1
4-乙基-2-甲氧基苯酚	烟熏	70 <sup>[45]</sup>	<1	<1	<1	<1	<1
4-乙基苯酚	香料	440 <sup>[44]</sup>	<1	<1	<1	<1	<1
苯酚	药香	300 <sup>[36]</sup>	<1	<1	<1	<1	<1
对甲基苯酚	辛辣	81.5 <sup>[46]</sup>	<1	<1	<1	<1	<1

注:a香气属性参考风味数据库(<https://www.femaflavor.org>; <http://www.thegoodscentscompany.com>)。

由表4可知,在检测的红心猕猴桃酒中OAV均>1的酚类化合物为丁香酚,丁香酚具有花香,是苹果酒、葡萄酒和

杏子酒的重要香气化合物<sup>[40-42]</sup>。该研究五种猕猴桃酒中丁香酚OAV范围是1~9,对猕猴桃果酒香气具有贡献作用,是关键香气物质。愈创木酚在四种红心猕猴桃酒中的OAV均>1,赋予了红心猕猴桃酒烟熏香<sup>[19]</sup>。其他5种挥发性酚类化合物的OAV<1,表示对猕猴桃果酒风味影响较小。由于挥发性酚类化合物结构相似,可能会通过相互作用影响红心猕猴桃酒的香气<sup>[43]</sup>。

### 3 结论

本研究分析五种红心猕猴桃酒的理化指标和挥发性风味化合物,重点解析了挥发性酚类化合物含量及其对红心猕猴桃酒的香气贡献。结果表明,不同猕猴桃酒的pH、可溶性固形物、总酸含量、还原糖、总酚含量和总黄酮含量存在明显差异。采用HS-SPME、SPE和LLE三种提取方法结合GC-MS对红心猕猴桃酒中的挥发性风味化合物进行鉴定,三种提取方法鉴定出118种挥发性风味化合物,包括38种酯类,23种醇类,16种萜烯类,6种酮类,13种醛类,6种酸类、7种挥发性酚类和9种其他类化合物。其中SPE检测出最多种类的挥发性酚,分别是愈创木酚、苯酚、4-乙基-2-甲

氧基苯酚、对甲基苯酚、4-乙基苯酚、丁香酚和2,6-二甲氧基苯酚。其中,2,6-二甲氧基苯酚平均质量浓度最高为25.99  $\mu\text{g/L}$ ,丁香酚的OAV最高(1~9)。通过对红心猕猴桃酒中的挥发性酚类进行定性定量分析,为红心猕猴桃酒中挥发性酚类化合物的调控提供了理论支持。

#### 参考文献:

- [1] QI Y, LIU M, YANG K, et al. Effect of skin maceration treatment on aroma profiles of kiwi wines elaborated with *Actinidia deliciosa* "Xuxiang" and *A. chinensis* "Hortl6A"[J]. *J AOAC Int*, 2019, 102(2): 683-685.
- [2] 邵宇,冷云星. 贵州猕猴桃产业发展的现状、存在问题及对策[J]. 耕作与栽培, 2016(5): 66-68.
- [3] 刘春波,齐兴源,林蜀云,等. 贵州省猕猴桃生产机械化发展现状及建议[J]. 南方农机, 2023, 54(15): 66-68.
- [4] HUANG J, LI H, WANG Y, et al. Evaluation of the quality of fermented kiwi wines made from different kiwifruit cultivars[J]. *Food Biosci*, 2021, 42: 101051.
- [5] CASTRO R, NATERA R, DURÁN E, et al. Application of solid phase extraction techniques to analyses volatile compounds in wines and other enological products[J]. *Eur Food Res Technol*, 2008, 228(1): 1-18.
- [6] ZHONG W, CHEN T, YANG H, et al. Isolation and selection of non-*Saccharomyces* yeasts being capable of degrading citric acid and evaluation its effect on kiwifruit wine fermentation[J]. *Fermentation*, 2020, 6(1): 25.
- [7] SÁNCHEZ-PALOMO E, ALAÑÓN M E, DÍAZ-MAROTO M C, et al. Comparison of extraction methods for volatile compounds of Muscat grape juice[J]. *Talanta*, 2009, 79(3): 871-876.
- [8] LI N, WANG Q Q, XU Y H, et al. Increased glycosidase activities improved the production of wine varietal odorants in mixed fermentation of *P. fermentans* and high antagonistic *S. cerevisiae*[J]. *Food Chem*, 2020, 332: 127426.
- [9] CHARAPITSA S, SYTOVA S, KAVALENKA A, et al. The study of the matrix effect on the method of direct determination of volatile compounds in a wide range of alcoholic beverages[J]. *Food Control*, 2021, 120: 107528.
- [10] HONG L, FU G, LIU T, et al. Functional microbial agents enhance ethanol contents and regulate the volatile compounds in Chinese *Baijiu* [J]. *Food Biosci*, 2021, 44: 101411.
- [11] KENNISON K R, GIBBERD M R, POLLNITZ A P, et al. Smoke-derived taint in wine: The release of smoke-derived volatile phenols during fermentation of Merlot juice following grapevine exposure to smoke[J]. *J Agr Food Chem*, 2008, 56(16): 7379-7383.
- [12] CABONI P, SARAIS G, CABRAS M, et al. Determination of 4-ethylphenol and 4-ethylguaiacol in wines by LC-MS-MS and HPLC-DAD-fluorescence[J]. *J Agr Food Chem*, 2007, 55(18): 7288-7293.
- [13] 易灏森,余润宇,杨芷彤,等. 丁香酚的药理作用研究进展[J]. 现代药物与临床, 2024, 39(6): 1625-1630.
- [14] 黄蕴利,黄永光,郭旭. 白酒中的主要生物活性功能成分研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(15): 375-379.
- [15] HU L, CHEN X, LIN R, et al. Quality improvement in apple ciders during simultaneous Co-fermentation through triple mixed-cultures of *Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia kudriavzevii*, and *Lactiplantibacillus plantarum* [J]. *Foods*, 2023, 12(3): 655.
- [16] DAVIDOVIĆ S M, VELJOVIĆ M S, PANTELIĆ M M, et al. Physicochemical, antioxidant and sensory properties of peach wine made from redhaven cultivar[J]. *J Agr Food Chem*, 2013, 61(6): 1357-1363.
- [17] HAN X, PENG Q, YANG H, et al. Influence of different carbohydrate sources on physicochemical properties and metabolites of fermented greengage (*Prunus mume*) wines[J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2020, 121: 108929.
- [18] ANTALICK G, PERELLO M C, DE REVEL G. Development, validation and application of a specific method for the quantitative determination of wine esters by headspace-solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry[J]. *Food Chem*, 2010, 121(4): 1236-1245.
- [19] LING M, CHAI R, XIANG X, et al. Characterization of key odor-active compounds in Chinese Dornfelder wine and its regional variations by application of molecular sensory science approaches[J]. *Food Chemistry: X*, 2023, 17: 100598.
- [20] LAN Y B, XIANG X F, QIAN X, et al. Characterization and differentiation of key odor-active compounds of 'Beibinghong' icewine and dry wine by gas chromatography-olfactometry and aroma reconstitution[J]. *Food Chem*, 2019, 287: 186-196.
- [21] GROSCH W. Evaluation of the key odorants of foods by dilution experiments, aroma models and omission[J]. *Chem Senses*, 2001, 26(5): 533-545.
- [22] 李雨陶,何怀华,曹圆,等. 贺兰山东麓不同红葡萄品种与葡萄酒花色苷组分分析[J]. 中国酿造, 2024, 43(5): 47-52.
- [23] ZHANG M, ZHONG T, HEYGI F, et al. Effects of inoculation protocols on aroma profiles and quality of plum wine in mixed culture fermentation of *Metschnikowia pulcherrima* with *Saccharomyces cerevisiae*[J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2022, 161: 113338.
- [24] ZHANG L, LU W, YUAN Y, et al. Physicochemical characterization of pineapple peel wine[J]. *Earth Environ Sci*, 2020, 546(4): 042075.
- [25] 张莉,肖静,胡鸿飞,等. 4个品种猕猴桃发酵酒品质评价[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2024, 52(4): 146-154.
- [26] 赵子贤,杨金雨,汪梦诗,等. 12种国产主栽猕猴桃品种果酒风味物质特征分析[J]. 食品科学, 2025, 46(8): 178-188.
- [27] CHEN X, PENG M, WU D, et al. Physicochemical indicators and sensory quality analysis of kiwi wines fermented with different *Saccharomyces cerevisiae*[J]. *J Food Process Preserv*, 2022, 46(11): e17132.
- [28] ZHANG A, ZENG L, BO H, et al. Sulphite-corrected, non-phenolic and phenolic antioxidant capacities of fruit wines profiled by differential Folin-Ciocalteu assay[J]. *Int J Food Sci Technol*, 2021, 57(2): 1259-1272.
- [29] WANG Z, FENG Y, YANG N, et al. Fermentation of kiwifruit juice from two cultivars by probiotic bacteria: Bioactive phenolics, antioxidant activities and flavor volatiles[J]. *Food Chem*, 2022, 373: 131455.
- [30] SUN W S, FENG S N, BI P F, et al. Simultaneous inoculation of non-*Saccharomyces* yeast and lactic acid bacteria for aromatic kiwifruit wine production[J]. *Food Microbiol*, 2024, 123: 104589.
- [31] SUMBY K M, GRBIN P R, JIRANEK V. Microbial modulation of aromatic esters in wine: Current knowledge and future prospects[J]. *Food Chem*, 2010, 121(1): 1-16.
- [32] LI S, BI P, SUN N, et al. Characterization of different non-*Saccharomyces* yeasts via mono-fermentation to produce polyphenol-enriched

- and fragrant kiwi wine[J]. **Food Microbiol**, 2022, 103: 103867.
- [33] LIU S X, LOU Y, LI Y X, et al. Aroma characteristics of volatile compounds brought by variations in microbes in winemaking[J]. **Food Chem**, 2023, 420: 136075.
- [34] 赵宁, 魏新元, 樊明涛, 等. SPME-GC-MS结合电子鼻技术分析不同品种猕猴桃酒香气物质[J]. **食品科学**, 2019, 40(22): 249-255.
- [35] WU Y S, HOU Y X, CHEN H, et al. "Key Factor" for *Baijiu* quality: research progress on acid substances in *Baijiu*[J]. **Foods**, 2022, 11(19): 2959.
- [36] SHI J, TONG G, YANG Q, et al. Characterization of key aroma compounds in tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) by means of sensory-directed flavor analysis[J]. **J Agr Food Chem**, 2021, 69(38): 11361-11371.
- [37] MARÍN-SAN R S, RUBIO-BRETÓN P, PÉREZ-ÁLVAREZ E P, et al. Advancement in analytical techniques for the extraction of grape and wine volatile compounds[J]. **Food Res Int**, 2020, 137: 109712.
- [38] WANG L L, GAO M X, LIU Z P, et al. Three extraction methods in combination with GC×GC-TOFMS for the detailed investigation of volatiles in Chinese herbaceous aroma-Type *Baijiu*[J]. **Molecules**, 2020, 25(19): 4429.
- [39] FARINA L, BOIDO E, CARRAU F, et al. Determination of volatile phenols in red wines by dispersive liquid-liquid microextraction and gas chromatography-mass spectrometry detection[J]. **J Chromatogr A**, 2007, 1157(1-2): 46-50.
- [40] KORENIKA A-MJ, PREINER D, TOMAZ I, et al. Aroma profile of monovarietal pet-nat ciders: The role of croatian traditional apple varieties[J]. **Horticulturae**, 2022, 8(8): 689.
- [41] MAYR C M, GEUE J P, HOLT H E, et al. Characterization of the key aroma compounds in Shiraz wine by quantitation, aroma reconstitution, and omission studies[J]. **J Agr Food Chem**, 2014, 62(20): 4528-4536.
- [42] PU X, YE P, SUN J, et al. Investigation of dynamic changes in quality of small white apricot wine during fermentation [J]. **LWT-Food Sci Technol**, 2023, 176: 114536.
- [43] LI C, TANG C, ZENG X, et al. Exploration of carbonyl compounds in red-fleshed kiwifruit wine and perceptual interactions among non-volatile organic acids[J]. **Food Chem**, 2024, 448: 139118.
- [44] LOPEZ R, AZNAR M, CACHO J, et al. Determination of minor and trace volatile compounds in wine by solid-phase extraction and gas chromatography with mass spectrometric detection[J]. **J Chromatogr A**, 2002, 966(1-2): 167-177.
- [45] YAN C, ZHANG Q, WANG J, et al. Characteristics of four yeasts and the effects of yeast diversity on the fermentation of *Baijiu*[J]. **Food Biosci**, 2023, 56: 103094.
- [46] FRANITZA L, GRANVOGL M, SCHIEBERLE P. Characterization of the key aroma compounds in two commercial rums by means of the sensomics approach[J]. **J Agr Food Chem**, 2016, 64(3): 637-645.