

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250226008

引用格式: 黄裕兵, 李晓飞, 李艳梅, 等. 基于顶空固相微萃取气相色谱-质谱技术的非靶向代谢分析苗家米酒挥发性风味物质[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(11): 50–57.

HUANG YB, LI XF, LI YM, *et al.* Non-targeted metabolic analysis of volatile flavor substances in Miao rice wine based on headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(11): 50–57. (in Chinese with English abstract).

# 基于顶空固相微萃取气相色谱-质谱技术的非靶向 代谢分析苗家米酒挥发性风味物质

黄裕兵<sup>1</sup>, 李晓飞<sup>1</sup>, 李艳梅<sup>1</sup>, 陈菊<sup>2\*</sup>

(1. 贵州省天然产物研究中心, 贵州医科大学中药功效成分发掘与利用全国重点实验室, 贵阳 550014;

2. 贵州省农业科学院辣椒研究所, 贵阳 550006)

**摘要:** **目的** 探究 6 种苗家米酒挥发性风味物质的组成差异, 比较其挥发性风味品质。**方法** 借助顶空固相微萃取气相色谱-质谱技术对 6 种苗家米酒(MJ1~MJ6)挥发性风味物质进行分析, 利用主成分分析比较香气品质。**结果** 本研究共检测出 99 种挥发性风味物质, 各样本所含物质含量和组成存在明显差异, 其中癸酸乙酯、异丁醇、己酸乙酯、乙酸异戊酯等 11 种共有物质构成了苗家米酒的基本风味。MJ1~MJ6 分别含特有物质 12、7、4、7、4 和 11 种。不同样本中含量最多的前 3 种物质有所不同, 但主要为酯类。从物质大类来看, 6 种苗家米酒挥发性风味物质以酯类和醇类为主。主成分分析显示, 醇类、芳香类、酯类、烯炔类、酸类和其他类物质是影响米酒风味品质的关键因素, 其中米酒 MJ6 的香气品质最佳。**结论** 本研究明确了 6 种苗家米酒香气物质特点和差异, 为苗家米酒相关产业发展提供了重要参考。

**关键词:** 苗家米酒; 非靶向代谢; 挥发性化合物; 共有物质; 综合评价

## Non-targeted metabolic analysis of volatile flavor substances in Miao rice wine based on headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry

HUANG Yu-Bing<sup>1</sup>, LI Xiao-Fei<sup>1</sup>, LI Yan-Mei<sup>1</sup>, CHEN Ju<sup>2\*</sup>

(1. State Key Laboratory of Discovery and Utilization of Functional Components in Traditional Chinese Medicine, Natural Products Research Center of Guizhou Province, Guiyang 550014, China;

2. Guizhou Pepper Research Institute, Guiyang 550006, China)

**ABSTRACT: Objective** To explore the compositional differences in the volatile flavor substances of 6 kinds of Miao rice wines and compare their volatile flavor qualities. **Methods** Volatile compounds of 6 kinds of Miao rice wines (MJ1–MJ6) were analyzed by headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry,

收稿日期: 2025-02-26

基金项目: 贵州省科技计划项目(黔科合基础-ZK[2024]一般 535, 黔科合基础 MS[2025]124, 黔科合成果-LC[2024]010)

第一作者: 黄裕兵(1987—), 男, 助理研究员, 主要研究方向为中药制剂物质基础研究。E-mail: huangyubing@gmc.edu.cn

\*通信作者: 陈菊(1992—), 女, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为农产品加工及风味品质研究。E-mail: juchen0924@163.com

and the aroma qualities were compared using principal component analysis. **Results** A total of 99 kinds of volatile flavor substances were detected in the study, with significant differences in content and composition among the samples, among which 11 kinds of common substances such as ethyl decanoate, isobutanol, ethyl hexanoate and isoamyl acetate constituted the basic flavor of Miao rice wine. MJ1 to MJ6 contained 12, 7, 4, 7, 4 and 11 kinds of unique substances, respectively. The top 3 most abundant substances varied from sample to sample, but were mainly esters. In terms of substance categories, esters and alcohols dominated the volatile flavor substances of 6 kinds of Miao rice wines. Principal component analysis showed that alcohols, aromatics, esters, olefins, acids and other substances were the key factors affecting the aroma quality of rice wine, with the best aroma quality being obtained for rice wine MJ6. **Conclusion** This study clarifies the characteristics and differences of the aroma substances of 6 kinds of Miao rice wines, and provides an important reference for the development of the Miao rice wine industry.

**KEY WORDS:** Miao rice wine; non-targeted metabolism; volatile compounds; common substances; comprehensive evaluation

## 0 引言

米酒是中国传统的发酵酿造酒<sup>[1]</sup>, 在药酒泡制领域占据着重要地位, 其独特的溶媒特性使其成为中草药活性成分的理想提取剂<sup>[2]</sup>。米酒性温味辛, 具有温中散寒、活血养血并促进血液重分布等作用<sup>[3]</sup>。苗家米酒, 作为米酒中别具一格的品类, 深深扎根于苗族人民的文化与生活之中。它不仅是苗族人日常饮用的佳酿, 更是在祭祀、节庆等重要活动中承载着特殊的文化寓意, 是苗族文化传承的鲜活见证<sup>[4]</sup>。传统苗家米酒以糯米或大米为原料, 通过自然发酵后蒸馏制成的低度米酒, 不仅富含氨基酸、维生素等营养成分, 更因挥发性风味物质的多样性而备受关注<sup>[5]</sup>。而不同的米酒由于酿造原料、工艺、发酵微生物群落以及陈酿条件的差异, 会产生丰富多样的挥发性风味物质, 这些物质构成了米酒独特的风味指纹图谱<sup>[1,4-5]</sup>。研究苗家米酒挥发性风味物质, 不仅有助于揭示其独特风味的形成机制, 还能为其酿造工艺的优化和质量控制提供科学依据。然而, 目前苗家米酒的挥发性风味物质组成及其形成机制仍缺乏系统性研究, 尤其缺乏多组学技术结合的代谢层面解析。

挥发性化合物(volatile compounds, VOCs)是食品风味的物质基础, 其含量影响食品的感官品质<sup>[6]</sup>。传统气相色谱-质谱技术分析虽能实现靶向 VOCs 的定量检测, 但对复杂基质中未知/痕量组分的覆盖不足<sup>[7]</sup>。近年来, 顶空固相微萃取气相色谱-质谱技术(headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)的非靶向代谢组学技术凭借其高通量、高灵敏度的优势, 逐渐成为解析食品风味形成机制的重要工具<sup>[8-9]</sup>。HS-SPME 操作简便、无需有机溶剂, 能高效萃取复杂样品中的挥发性成分; GC 具备强大的分离能力, 可将 VOCs 有效分离; MS 则凭借精准的定性能力, 为化合物的鉴定提供关键信息<sup>[10-11]</sup>, 这种联用技术已经广泛应用于

各类食品风味分析中, 为深入剖析食品的风味组成提供了有力工具。例如, XIAO 等<sup>[12]</sup>采用 HS-SPME-GC-MS 对来自 4 个不同地区(重庆、广东、湖南和江西)的 4 种腐乳的挥发性风味成分进行测定; 杨帅等<sup>[13]</sup>借助 HS-SPME-GC-MS 针对贵州不同产地糟辣椒的挥发性风味物质开展了检测分析, 结果表明, 糟辣椒中酸类、醇类以及萜烯类化合物含量处于较高水平; 苏伟等<sup>[14]</sup>通过电子舌结合 GC-MS 对黑糯米酒的风味物质进行分析, 结果表明主要风味物质为 2-甲基丙醇、2,3-丁二醇、1,3-丁二醇、丙三醇、苯乙醇, 其含量随发酵时间呈动态变化。

目前, 针对苗家米酒挥发性风味的研究相对较少, 且多集中于单一品种或发酵过程<sup>[1,4-5]</sup>。本研究选取 6 种苗家米酒, 旨在运用 HS-SPME-GC-MS 非靶向代谢分析方法, 全面系统地剖析其挥发性风味物质的多样性和共性, 为建立苗家米酒风味物质数据库奠定基础, 也有助于挖掘不同苗家米酒独特风味背后的关键成分, 为苗家米酒的风味化学研究提供新的数据和见解, 推动苗族米酒产业的标准化、科学化发展, 助力苗族传统米酒文化的传承与创新。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

#### 1.1.1 样品

从贵州苗族聚居地不同家庭作坊及小型酒厂收集 6 种具有代表性的苗家米酒样品分别命名为 MJ1~MJ6。收集后将样品置于低温、避光环境保存, 立即运回实验室进行分析。

#### 1.1.2 试剂

2-辛醇(色谱纯, 北京索莱宝科技有限公司)。

### 1.2 仪器与设备

DVB/CAR/PDMS 萃取纤维(50/30  $\mu\text{m}$ , 美国 Supelco 公司); 7890B/7000D GC/MS 联用仪、HP-5MS UI 毛细管柱

(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)(美国安捷伦有限公司); BSA423S 型电子天平[精度为 0.0001 g, 塞多利科学仪器(北京)有限公司]。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 样品前处理

实验方法参考陈菊等<sup>[11]</sup>的方法并稍加优化, 具体如下: 准确称取 5.0 g(精确至 0.0001 g)米酒至容积为 20 mL 的固相微萃取瓶中, 向该瓶内精准加入 20 μL 质量浓度为 1 μg/μL 的 2-辛醇作为内标物。随后, 立即使用配备聚四氟乙烯衬里的硅橡胶盖子对采样瓶进行密封处理, 以防止样品挥发和外界杂质干扰。将样品瓶放置于温度恒定为 60 °C 的磁力搅拌器上, 进行 8 min 的热平衡操作, 然后将老化处理的 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头通过隔垫插入样品瓶内, 并缓慢推出纤维头, 使纤维头与样品液面保持约 5 mm 的距离, 顶空吸附 40 min 后, 快速移出萃取头, 并迅速将萃取头插入 GC-MS 进样口(250 °C)热解析 5 min。

#### 1.3.2 检测条件

GC 条件: 采用 HP-5MS UI 毛细管柱(30 m×250 μm, 0.25 μm); 载气为高纯 He(纯度 99.999%), 流速 1.2 mL/min, 不分流; 进样口温度 250 °C; 升温程序为起始温度 40 °C, 保留 2 min, 以 3 °C/min 升至 85 °C(保留 1.5 min), 再以 2.5 °C/min 升至 152 °C, 之后以 20 °C/min 升至 200 °C, 最后以 8 °C/min 升至 280 °C, 保留 1 min。

MS 条件: 电离源为电子轰击(electron impact, EI)、电离能量 70 eV、发射电流 34.6 μA、离子源温度 230 °C、四极杆温度 150 °C、接口温度 280 °C、调谐文件 stune.u、扫描方式设为 SCAN 模式进行定性分析、离子碎片的扫描范围  $m/z$  30~550 amu。

#### 1.3.3 挥发性物质的定量分析

根据 HS-SPME-GC-MS 定性结果, 通过内标 2-辛醇进行物质的半定量分析其含量, 按式(1)计算:

$$C_i = \frac{A_i}{B} \times \frac{m_B}{m} \quad (1)$$

式中:  $C_i$  为  $i$  物质的浓度, μg/g;  $A_i$  为  $i$  物质的峰面积;  $B$  为内标物峰面积;  $m_B$  为内标物的添加量, g;  $m$  为样品质量, g。

### 1.4 数据处理

利用 Excel 2007 软件作数据分析、SPSS 19.0 进行综合评价分析、Origin 2021 软件和维恩图在线制作软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 6 种苗家米酒挥发性风味物质分析

运用 HS-SPME-GC-MS 对 6 种米酒的挥发性风味物质进行测定, 结果如图 1 所示。在这些样品中, 共鉴定出 99 种挥发性风味物质, 涵盖了多种化学类别, 具体包括

34 种酯类、16 种烯炔类、14 种芳香类化合物、9 种烷烃类、9 种醇类、5 种醛类、2 种酮类、1 种酸类以及 9 种其他物质。定量分析结果显示, 在 MJ1、MJ4、MJ5 和 MJ6 这 4 种米酒样品中, 含量最多的 3 种挥发性物质均为癸酸乙酯、棕榈酸乙酯和十四酸乙酯, 这 3 种物质的总含量分别占这 4 个样品挥发性物质总含量的 59.18%、52.98%、55.79% 和 52.30%, 其中癸酸乙酯赋予米酒果香味<sup>[15]</sup>, 并且该化合物具有较低阈值(0.2 mg/L)<sup>[15]</sup>, 这使得它在米酒的风味表现中尤为突出。通过进一步计算, 癸酸乙酯在 MJ1~MJ6 中的香气活性值(odor activity value, OAV)分别为 314、1970、138、1625、1391 和 1571, 可见 OAV 均远远大于 1, 故癸酸乙酯对米酒的挥发性风味具有极其重要的贡献。棕榈酸乙酯赋予米酒脂肪味、腐败味、水果味<sup>[15]</sup>, 其阈值为 1.5 mg/L; 而十四酸乙酯(阈值为 2 mg/L)则赋予米酒椰子、蜂蜡香味道<sup>[15]</sup>。计算结果显示, 除 MJ3 外的其他 5 个样品中, 这两种化合物的 OAV 均大于 10, 表明这两种物质对米酒的挥发性风味的呈现也具有重要贡献。MJ2 含量最多的 3 种物质为癸酸乙酯、月桂酸乙酯和辛酸乙酯, 这 3 种物质的总含量占其总挥发性物质的 64.58%。而在 MJ3 中, 含量最多的 3 种物质则是癸酸乙酯、辛酸乙酯和 2-苯乙醇, 它们的总含量占 MJ3 挥发性物质总量的 61.30%。这些数据进一步揭示了不同米酒样品中主要挥发性成分的分布差异, 为理解米酒风味特征的多样性提供了重要依据。

从挥发性物质的化学组成分析来看, 酯类化合物在 6 种米酒样品的挥发性成分中呈现出显著的占比优势(图 2A)。具体而言, MJ1~MJ6 中酯类物质的相对含量分别为 84.41% (MJ1)、78.45% (MJ2)、41.48% (MJ3)、82.70% (MJ4)、78.20% (MJ5) 和 71.28% (MJ6)。值得注意的是, 除 MJ3 样品外, 其余 5 种米酒中酯类物质的占比均超过总挥发性物质的 70%, 这一现象充分说明酯类化合物是构成米酒特征香味的主要组分。进一步分析发现, MJ1~MJ6 样品中酯类物质的种类数量也最为丰富(图 2B)。在挥发性成分的次类别分布方面, 除 MJ4 样品外, 醇类物质在其他样品中均表现为第二大类挥发性成分, 其相对含量分别为 5.79% (MJ1)、10.11% (MJ2)、33.55% (MJ3)、6.68% (MJ5) 和 8.05% (MJ6)。值得注意的是, MJ4 样品中第二大类挥发性成分并非醇类, 而是其他类物质, 其占比达到 6.78%。MJ1~MJ2 分别检测出 49 种、35 种、27 种、47 种、41 种和 43 种挥发性物质(图 2B), 具体来看, MJ1 样品中鉴定出的 49 种挥发性成分, 包括酯类(23 种)、醇类(5 种)、烷烃类(7 种)、芳香类(4 种)、醛类(4 种)、烯炔类(1 种)、酮类(1 种)、酸类(1 种)及其他类(3 种); MJ2 样品检测到的 35 种挥发性物质中酯类(15 种)和醇类(5 种)占主导, 同时含有烯炔类(4 种)、醛类(3 种)、芳香类(3 种)、烷烃类(2 种)、酸类(1 种)及其他类(2 种); MJ3 样品检出的 27 种挥发性成分





的风味物质组成特征: MJ1、MJ2、MJ3、MJ4、MJ5 和 MJ6 分别含有 12 种、7 种、4 种、7 种、4 种和 11 种特有挥发性成分(图 3A)。这些特有物质的存在可能是造成不同米酒样品风味差异的关键因素, 为苗家米酒的风味多样性提供了物质基础。MJ1 样品鉴定出的 12 种特有挥发性物质中以十七烷(4.37  $\mu\text{g/g}$ )含量最高(图 3C), 这些物质赋予 MJ1 橙子香气味<sup>[15]</sup>、丁香<sup>[18]</sup>、烟熏味<sup>[19]</sup>、李子香、冬青叶香味<sup>[15]</sup>等香气。MJ2 样品的 7 种特有物质中辛酸异戊酯(8.42  $\mu\text{g/g}$ )含量最为突出(图 3C), 风味分析显示, 这些物质赋予其水果香、青草香、果甜香等味道<sup>[20-21]</sup>。MJ3 的特有物质是 2,3-丁二醇、(2,2-二乙氧基)乙基-苯、草蒿脑和 3-羟基-2-丁酮, 其中 3-羟基-2-丁酮是其含量最多的特有物质(0.66  $\mu\text{g/g}$ ), 这些物质赋予 MJ3 类似橡皮的化学味<sup>[15]</sup>、青草香<sup>[22]</sup>、略香的刺激味<sup>[23]</sup>。9-癸酸乙酯、2-癸酸甲丁酯、2-苯基戊烷、二甲醚、苯并呋喃、1-苯基-1-丙炔和 2-甲基苯并呋喃是 MJ4 的特有物质(图 3C)。4-乙炔基甲苯、 $\beta$ -柏木烯、反-菖蒲烯和间伞花烃是 MJ5 的特有挥发性物质(图 3C), 这些物质赋予 MJ5 花香味、木香味等风味<sup>[24]</sup>。MJ6 的特有挥发性物质为  $\alpha$ -松油醇、蒈、萜、甲酸苯甲酯、月桂烯、2-表- $\alpha$ -柏木萜烯、 $\gamma$ -蛇床烯、 $\delta$ -杜松烯、去氢白菖烯、萜烯和 2-戊酰呋喃(图 3C), 这些物质赋予其甜紫丁香味、铃兰香味、木香味、药草香、辛香<sup>[19,25]</sup>。MJ4-MJ6 含量最高的特有物质分别为二甲醚(10.18  $\mu\text{g/g}$ )、 $\beta$ -柏木烯(7.77  $\mu\text{g/g}$ )和  $\delta$ -杜松烯(10.22  $\mu\text{g/g}$ )(图 3C)。

### 2.3 米酒的香气综合品质评价

为深入剖析 6 种米酒样品的整体香气特征, 本研究基于醇类、芳香类、醛类、酮类、酯类等 9 个指标对其开展主成分分析。依据特征值筛选原则, 本研究选取了特征值大于 1 的 3 个成分作为主成分<sup>[26-27]</sup>, 以提取米酒样品的关键信息。如表 1 所示, 这 3 个主成分的特征值分别为 4.302、2.539 和 1.367, 其方差贡献率分别为 47.797%、28.212%和 15.190%, 累计方差贡献率达 91.199%。这一结果表明, 所

提取的 3 个主成分能够有效保留原始 9 个风味指标 91.199%的信息量, 充分满足数据分析的可靠性要求。基于此, 本研究采用这 3 个主成分构建综合评价模型, 用于系统比较 6 种米酒样品的整体香气品质特征。

表 1 主成分的特征值及方差贡献率  
Table 1 Eigenvalues and contribution rates of principal components

主成分	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
PC1	4.302	47.797	47.797
PC2	2.539	28.212	76.009
PC3	1.367	15.190	91.199

主成分对整体的影响程度可借助主成分载荷矩阵中的变量予以体现<sup>[28-30]</sup>。数据经过旋转处理后, 各因子呈现出明显的两极分化态势, 这一特性有助于更为精准地明确各因子的实际内涵。3 个主成分的载荷矩阵详见表 2。综合分析表 1 和表 2 的数据可知, 第 1 主成分的方差贡献率为 47.797%, 该主成分主要反映了醇类、芳香类、酯类、烯炔类、酸类以及其他类物质的相关信息, 提示这些物质在挥发性风味成分中占据重要地位, 其高载荷表明它们对米酒的整体风味特征具有显著影响。第 2 主成分的方差贡献率为 28.212%, 其主要体现了醛类、酮类和烷烃类物质的信息, 表明这些物质虽然在总挥发性成分中的占比相对较低, 但它们对米酒的风味特征同样具有不可忽视的作用。

在对各指标数据进行标准化处理之后, 对 3 个主成分进行评分, 分别用  $F_1$ 、 $F_2$  和  $F_3$  代表这 3 个主成分的得分, 主成分得分的计算方式为载荷( $U_i$ )与 9 个变量标准值( $X_i$ )乘积的加合值, 具体计算如公式(1)~(3):

$$F_1 = U_{1i}X_1 + U_{1i}X_2 + U_{1i}X_3 + U_{1i}X_4 + U_{1i}X_5 + U_{1i}X_6 + U_{1i}X_7 + U_{1i}X_8 + U_{1i}X_9 \quad (1)$$

$$F_2 = U_{2i}X_1 + U_{2i}X_2 + U_{2i}X_3 + U_{2i}X_4 + U_{2i}X_5 + U_{2i}X_6 + U_{2i}X_7 + U_{2i}X_8 + U_{2i}X_9 \quad (2)$$

$$F_3 = U_{3i}X_1 + U_{3i}X_2 + U_{3i}X_3 + U_{3i}X_4 + U_{3i}X_5 + U_{3i}X_6 + U_{3i}X_7 + U_{3i}X_8 + U_{3i}X_9 \quad (3)$$

表 2 主成分的载荷矩阵  
Table 2 Loading matrix of principal components

指标	PC1		PC2		PC3	
	载荷( $U_{1i}$ )	因子得分系数	载荷( $U_{2i}$ )	因子得分系数	载荷( $U_{3i}$ )	因子得分系数
醇类	0.409	0.849	-0.318	-0.506	-0.084	-0.098
芳香类	0.419	0.869	-0.123	-0.196	0.369	0.431
醛类	0.203	0.422	0.484	0.771	0.373	0.436
酮类	-0.120	-0.248	0.506	0.806	-0.400	-0.468
酯类	0.403	0.835	0.249	0.397	-0.150	-0.175
烷烃类	0.200	0.414	0.564	0.899	0.103	0.120
烯炔类	0.403	0.836	-0.090	-0.144	0.292	0.341
酸类	-0.326	-0.676	0.073	0.116	0.477	0.558
其他	0.361	0.749	-0.026	-0.042	-0.461	-0.539

在主成分分析中,主成分得分的高低直接反映了该主成分对整体数据的贡献程度。得分越高,表明该主成分在数据中的重要性越高。为了更全面地评估米酒样品的香气品质,本研究以第 1、第 2 和第 3 主成分的特征值分别除以特征值总和,作为权重数,构建了一个综合评价模型。该模型的表达式为:  $F_{\text{总}}=0.524 \times F_1+0.309 \times F_2+0.167 \times F_3$ , 具体得分情况见表 3。从表 3 可知 6 种米酒样品的综合评分从高到低依次为: MJ6、MJ4、MJ1、MJ5、MJ2 和 MJ3。这一结果表明,在所分析的米酒样品中, MJ6 的香气品质最为出色,紧随其后的是 MJ4,而 MJ3 的香气品质相对较弱。通过这一综合评价模型,可以有效地对不同米酒样品的香气品质进行排序和比较,为米酒的品质评估提供了一个科学且量化的依据。

表 3 综合得分  
Table 3 Comprehensive score

样品	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_{\text{总}}$	排名
MJ6	3.06	-0.64	1.62	4.04	1
MJ4	0.58	2.32	-0.93	1.97	2
MJ1	-1.79	1.43	0.76	0.40	3
MJ5	0.80	-0.06	-0.51	0.23	4
MJ2	0.16	-1.83	-0.77	-2.44	5
MJ3	-2.81	-1.22	-0.16	-4.19	6

### 3 结 论

本研究运用 HS-SPME-GC-MS 非靶向代谢分析技术,对 6 种苗家米酒挥发性风味物质进行研究,通过主成分分析比较其风味品质。结果显示,6 种苗家米酒共检测出 99 种挥发性风味物质,数量在不同样品(MJ1~MJ6)中分别为 49 种、35 种、27 种、47 种、41 种和 43 种,物质组成差异明显。其中共有物质有 11 种,构成苗家米酒基本风味,体现传统酿造工艺共性;同时各有特有物质, MJ1~MJ6 分别含 12 种、7 种、4 种、7 种、4 种和 11 种,与原料、工艺及地域环境有关,赋予米酒独特风味。物质含量上, MJ1、MJ4、MJ5 和 MJ6 含量前 3 为癸酸乙酯、棕榈酸乙酯和十四酸乙酯; MJ2 是癸酸乙酯、月桂酸乙酯和辛酸乙酯; MJ3 是癸酸乙酯、辛酸乙酯和 2-苯乙醇。从大类看,6 种米酒的挥发性物质主要为酯类和醇类物质。主成分分析表明,醇类、酯类等 6 类物质贡献率较高,是影响风味品质的关键。综合评定得出米酒 MJ6 香气品质最佳。本研究为苗家米酒品质评价、工艺优化和特色产品开发提供了依据,也为传统发酵食品风味研究提供了方法参考。

### 参考文献

[1] 屠婷瑶, 向玲, 王红梅, 等. 不同地区发酵型米酒挥发性风味化合物研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(20): 176-185.

- TU TY, XIANG L, WANG HM, *et al.* Study on volatile flavor compounds of fermented rice wine in different regions [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2024, 15(20): 176-185.
- [2] 温承坤, 陈孝, 王奕芳, 等. 米酒功能性成分研究进展[J]. *中国酿造*, 2019, 38(12): 5-8.
- WEN CK, CHEN X, WANG YF, *et al.* Research progress on functional components of rice wine [J]. *China Brewing*, 2019, 38(12): 5-8.
- [3] LEE J, LEE Y, HA J, *et al.* Simultaneous determination of four bioactive compounds in Korean rice wine (makgeolli) by solvent extraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry [J]. *International Journal of Food Properties*, 2018, 21(1): 1-10.
- [4] 姜华勇, 潘卫东, 王道平. 两种西江苗家米酒香气成分研究[J]. *酿酒科技*, 2013(7): 60-61.
- LOU HY, PAN WD, WANG DP, *et al.* Study on the flavoring components in two kinds of Xijiang Miao's rice wine [J]. *Liquor-Making Science & Technology*, 2013(7): 60-61.
- [5] 杨玉玲, 李术钗, 王佳佳, 等. 传统苗家米酒发酵工艺优化及挥发性风味物质分析[J]. *中国酿造*, 2023, 42(11): 237-242.
- YANG YL, LI SC, WANG JJ, *et al.* Fermentation process optimization and volatile flavor substance analysis of traditional Miao rice wine [J]. *China Brewing*, 2023, 42(11): 237-242.
- [6] WANG YH, ZHAO JW, XU F, *et al.* GC-MS, GC-O and OAV analyses of key aroma compounds in Jiaozhi steamed bread [J]. *Grain & Oil Science and Technology*, 2020, 3(1): 13-21.
- [7] YANG Y, AI L, MU Z, *et al.* Flavor compounds with high odor activity values (OAV>1) dominate the aroma of aged Chinese rice wine (Huangjiu) by molecular association [J]. *Food Chemistry*, 2022, 383: 132370.1-132370.12.
- [8] FU LJ, TIAN J, LIU L, *et al.* Analysis of volatile components in tremella fuciformis by electronic nose combined with GC-MS [J]. *Journal of Food Quality*, 2020(2): 1-9.
- [9] 李嘉灏, 曾瑶英, 熊玉帛, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 及电子舌对预制梅菜扣肉关键性风味与过熟味评价分析[J]. *食品工业科技*, 2024, 45(21): 234-245.
- LI JH, ZENG YY, XIONG YB, *et al.* Evaluation and analysis of key flavor and warmed-over flavor of pre-prepared steamed pork with preserved vegetable based on HS-SPME-GC-MS combined with electronic tongue [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2024, 45(21): 234-245.
- [10] 王进, 陈涛, 王新杰, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 技术对不同产地 9 种黄酒挥发性香气成分差异分析[J]. *中国酿造*, 2024, 43(12): 161-166.
- WANG J, CHEN T, WANG XJ, *et al.* Difference of volatile aroma components of 9 kinds of Huangjiu from different producing areas by HS-SPME-GC-MS [J]. *China Brewing*, 2024, 43(12): 161-166.
- [11] 陈菊, 孙小静, 黄裕兵, 等. 基于顶空固相微萃取-气相色谱-质谱的糟辣椒挥发性物质非靶标代谢组学分析[J]. *食品科学*, 2024, 45(13): 181-189.
- CHEN J, SUN XJ, HUANG YB, *et al.* Non-target metabolomics analysis of volatile compounds in fermented hot pepper based on headspace solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Food Science*, 2024, 45(13): 181-189.
- [12] XIAO ZB, SUN ZY, FENG T, *et al.* Comparison of volatile flavor components in four kinds of Chinese fermented black soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill) by HS-SPME-GC/MS and chemometrics [J]. *Food*

- Science and Technology Research, 2011, 17(4): 319–326.
- [13] 杨帅, 吴拥军, 李岑. 基于 HS-SPME-GC-MS 解析糟辣椒挥发性风味组分特征[J]. 中国调味品, 2024, 49(8): 155–162.  
YANG S, WU YJ, LI C. Analysis of characteristics of volatile flavor components of fermented chili based on HS-SPME-GC-MS [J]. China Condiment, 2024, 49(8): 155–162.
- [14] 苏伟, 齐琦, 赵旭, 等. 电子舌结合 GC/MS 分析黑糯米酒中风味物质[J]. 酿酒科技, 2017(9): 102–106.  
SU W, QI Q, ZHAO X, *et al.* Analysis of flavoring substances in black glutinous rice wine by electronic tongue combined with GC/MS [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2017(9): 102–106
- [15] 李媛媛, 李德美, 张亚东, 等. 赤霞珠干红葡萄酒在不同产区香气特征的差异[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(6): 256–262, 268.  
LI YY, LI DM, ZHANG YD, *et al.* Comparative study of aroma characteristics of cabernet sauvignon dry red wine in different sub-regions [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(6): 256–262, 268.
- [16] 王军喜, 叶俊杰, 赵文红, 等. HS-SPME-GC-MS 结合 OAV 分析酱油鸡特征风味活性物质的研究[J]. 中国调味品, 2020, 45(9): 160–164, 177.  
WANG JX, YE JJ, ZHAO WH, *et al.* Identification of characteristic flavor active compounds in soy sauce marinated chicken by HS-SPME-GC-MS and odor activity value (OAV) [J]. China Condiment, 2020, 45(9): 160–164, 177.
- [17] 郑捷, 何立蓉, 王维君, 等. 烟熏香糟鲤鱼烟熏过程风味物质的变化[J]. 食品工业, 2011, 32(3): 1–4.  
ZHENG J, HE LR, WANG WJ, *et al.* Study on volatile odor compounds of marinated and smoked carp [J]. The Food Industry, 2011, 32(3): 1–4.
- [18] 李少辉, 赵巍, 刘松雁, 等. SDE-GC-MS 结合 OPLS-DA 分析不同生态区谷子品种香气特征[J]. 中国农业科学, 2023, 56(13): 2586–2596.  
LI SH, ZHAO W, LIU SY, *et al.* Aroma characteristics of foxtail millet varieties from different ecological regions by analysis of SDE-GC-MS combined with OPLS-DA [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2023, 56(13): 2586–2596.
- [19] 孙优兰, 黄永光, 唐东亚, 等. 基于香气活性值及感官属性对金银花尾酒酿造风味食醋特征的分析[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(15): 10.  
SUN YL, HUANG YG, TANG DY, *et al.* Analysis of flavor characteristics of vinegar brewed by honeysuckle tail liquor based on odor activity value and sensory attributes [J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(15): 10.
- [20] 施友志, 潘勇, 杜甫, 等. 基于 SHS/GC-IMS、OAV 值结合多元统计学的不同品种雪茄烟叶特征香气构成差异解析[J]. 分析测试学报, 2023, 42(6): 674–683.  
SHI YZ, PAN Y, DU F, *et al.* Identification and discrimination of characteristic aroma components of different cigar leaves based on static headspace/gas chromatography-ion mobility spectrometry combined with relative odor activity value and multivariate statistical analysis [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2023, 42(6): 674–683.
- [21] 刘发洋, 李璐, 游奇, 等. 基于 OAV 分析多粮浓香型调味酒陈酿过程中风味物质的变化[J]. 中国酿造, 2023, 42(5): 237–242.  
LIU FY, LI L, YOU Q, *et al.* Changes of flavor substances of multi-grain strong-flavor flavouring liquor during the aging process based on OAV [J]. China Brewing, 2023, 42(5): 237–242.
- [22] 顾赛麒, 吴娜, 张晶晶, 等. MMSE-GC-O 结合 OAV 法鉴定蒸制崇明地区中华绒螯蟹中关键气味物质[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(3): 877–888.  
GU SQ, WU N, ZHANG JJ, *et al.* Characterization of key odor compounds in steamed Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) farmed in Chongming region by monolithic material sorptive extraction-gas chromatography-olfactometry and odor activity value methods [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2014, 5(3): 877–888.
- [23] 王少磊, 金晓丽, 王灵红. 不同等级基础酒风味组分的主成分分析和 OAV 值分析[J]. 酿酒, 2022, 49(1): 79–82.  
WANG SL, JIAN XL, WANG LH. Principal component analysis and OAV analysis of flavor components in different grades of basic liquor [J]. Liquor Making, 2022, 49(1): 79–82.
- [24] 岳翠男, 秦丹丹, 李文金, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 和 OAV 鉴定浮梁红茶关键呈香物质[J]. 食品工业科技, 2022, 43(9): 251–258.  
YUE CN, QIN DD, WANG WJ, *et al.* Identification of key aroma components in Fuliang black tea based on HS-SPME-GC-MS and OAV [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(9): 251–258.
- [25] 徐志强, 熊文, 冯俊俏, 等. 春黄菊干花特征香气成分鉴定及香气协同作用变化评估[J]. 现代食品科技, 2023, 39(1): 291–299.  
XU ZQ, XIONG W, FENG JQ, *et al.* Identification of characteristic aroma components and evaluation of the synergism among aromas in dried flowers of anthemideae [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(1): 291–299.
- [26] 陈菊, 陆敏, 黄正连, 等. 基于主成分和聚类分析贵州黔东南红酸汤品质的综合评价[J]. 中国酿造, 2023, 42(6): 146–150.  
CHEN J, LU M, HUANG ZL, *et al.* Comprehensive evaluation of southeast Guizhou red sour soup quality based on principal component analysis and cluster analysis [J]. China Brewing, 2023, 42(6): 146–150
- [27] 罗密, 尹旺, 邓仁菊, 等. 基于主成分分析和聚类分析对不同品种甘薯淀粉与粉条品质的综合评价[J]. 食品工业科技, 2025, 46(4): 246–257.  
LUO M, YIN W, DENG RJ, *et al.* Comprehensive evaluation of starch and noodles quality of different sweet potato varieties based on principal component analysis and cluster analysis [J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(4): 246–257.
- [28] 冯莹莹, 董立强, 马亮, 等. 基于主成分及聚类分析的东北南部地区优质粳稻品质的综合评价[J]. 食品科学, 2024, 45(18): 17–24.  
FENG YY, DONG LQ, MA L, *et al.* Comprehensive quality evaluation of high-quality japonica rice varieties in Southern Regions of Northeast China using principal component analysis and cluster analysis [J]. Food Science, 2024, 45(18): 17–24.
- [29] 张腊腊, 韩明虎, 胡浩斌, 等. 基于主成分分析的苹果品质综合评价[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(3): 209–213.  
ZHANG LL, HAN MH, HU HB, *et al.* Comprehensive evaluation of apple quality based on principal component analysis [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2020, 48(3): 209–213.
- [30] 李伟, 郜海燕, 陈杭君, 等. 基于主成分分析的不同品种杨梅果实综合品质评价[J]. 中国食品学报, 2017, 17(6): 161–171.  
LI W, GAO HY, CHEN HJ, *et al.* Evaluation of comprehensive quality of different varieties of bayberry based on principal components analysis [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 17(6): 161–171.

(责任编辑: 于梦娇 安香玉)