DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20260506001
引用格式: 吕水燕, 黄荻舒, 陈高健, 等. 气相色谱-串联质谱法分析不同贮藏年限桂花陈酿酒挥发性风味成分[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(18): 164–172.
Lv Shuiyan, Huang Dishu, Chen Gaojian, et al. Analysis of volatile flavor components in *Osmanthus fragrans*-aged liqueur at different storage durations by gas chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(18): 164–172. (in Chinese with English abstract).

气相色谱-串联质谱法分析不同贮藏年限桂花陈酿酒挥发性风味成分

吕水燕[1], 黄荻舒[2], 陈高健[2], 郑　燕[2], 李爱平[3], 汤丽昌[2*]

(1. 玉林市科技开发实验中心, 玉林　537000; 2. 北海市公共检验检测中心, 北海　536000; 3. 桂林义江酒业有限公司, 桂林　541000)

摘　要: 目的　基于气相色谱-串联质谱法(gas chromatography-tandem mass spectrometry, GC-MS/MS)探究不同贮藏时间对桂花陈酿酒挥发性风味组分的影响规律。**方法**　以穿山岩洞藏桂花陈酿酒为研究对象, 选取灌装初期、贮藏 2 年、贮藏 3 年 3 组样品, 采用 GC-MS/MS 法对不同贮藏时期桂花陈酿酒的挥发性风味成分进行定性检测与对比分析。**结果**　随着贮藏时间的延长, 桂花陈酿酒中挥发性风味物质种类整体呈先增后减趋势: 灌装初期、贮藏 2 年和贮藏 3 年分别检出 29 种、32 种和 27 种。醇类物质检出种类全程稳定, 但含量随贮藏延长而降低; 酯类、醛酮类物质种类呈先升后降的变化趋势, 而酸类物质在贮藏 2 年时增加 1 种后保持稳定; 其他类随着贮藏期的延长逐渐减少至 3 年时完全消失。在陈酿过程中, 酒体中不稳定、低沸点风味成分逐渐消减, 风味组分不断重塑, 香气层次逐步趋于平缓协调。**结论**　本研究揭示了桂花陈酿酒在洞藏陈酿过程中挥发性风味物质的演变规律, 明确了不同类别风味组分对贮藏时间的差异性响应, 使得酒体香气结构更加简化, 可为该类特色果露酒的合理陈酿周期把控与品质稳定生产提供参考依据。

关键词: 桂花陈酿酒; 贮藏期; 挥发性风味物质; 气相色谱-串联质谱法
中图分类号: TS207.3　　**文献识别码:** A　　**文章编号:** 2095–0381(2026)18–0164–09

Analysis of volatile flavor components in *Osmanthus fragrans*-aged liqueur at different storage durations by gas chromatography-tandem mass spectrometry

LV Shui-Yan[1], HUANG Di-Shu[2], CHEN Gao-Jian[2], ZHENG Yan[2], LI Ai-Ping[3], TANG Li-Chang[2*]

(1. *Yulin Science and Technology Development Experimental Center*, *Yulin* 537000, *China*; 2. *Beihai Public Inspection and Testing Center*, *Beihai* 536000, *China*; 3. *Guilin Yijiang Jiuye*, *Co*., *Ltd*., *Guilin* 541000, *China*)

收稿日期: 2026-05-06
基金项目: 广西壮族自治区市场局科研课题项目(GSJKJZC2025-16)
第一作者: 吕水燕(1999—), 女, 硕士, 主要研究方向为食品、药品质量检测及应用开发。E-mail: 3525046068@qq.com
***通信作者:** 汤丽昌(1986—), 男, 硕士, 副主任药师、一级品酒师, 主要研究方向为食品、药品质量控制及方法研究开发。E-mail: 363471255@qq.com

ABSTRACT: Objective　To investigate the effects of different storage durations on the volatile flavor components of *Osmanthus fragrans*-aged liqueur by gas chromatography-tandem mass spectrometry (GC-MS/MS). **Methods**　Taking Chuanshanyan cave-aged *Osmanthus fragrans*-aged liqueur as the research object, 3 groups of samples were selected: initial bottling stage, after 2 years of storage durations and after 3 years of storage durations. GC-MS/MSwas used to qualitatively detect and compare the volatile flavor components of the *Osmanthus fragrans*-aged liqueur at different storage durations. **Results**　With increasing storage durations, the total number of volatile flavor compounds in the *Osmanthus fragrans*-aged liqueur showed an initial increase followed by a decrease: 29 kinds of compounds were detected at the initial bottling stage, which increased to 32 kinds of after 2 years of storage durations, and further decreased to 27 kinds of after 3 years of storage durations. The number of alcohol species remained stable across all 3 stages, but their content gradually decreased with prolonged storage. The numbers of ester and aldehyde both exhibited an initial increase followed by a decline, with esters decreasing significantly after 3 years of storage, and acids increasing by one species at the 2-year stage and then remaining stable. Other compounds gradually diminished during storage and completely disappeared after 3 years. During the aging process, unstable and pungent flavor components gradually diminished. **Conclusion**　This study reveals the evolution patterns of volatile flavor compounds in *Osmanthus fragrans*-aged liqueur during cave aging, clarifies the differential responses of various flavor components to the storage duration, and makes the aroma structure of structure more streamlined and coordinated. It can provide a reference for controlling reasonable storage durations and ensuring stable quality production of this type of characteristic fruit liqueur.

KEY WORDS: *Osmanthus fragrans*-aged liqueur; storage duration; volatile flavor substances; gas chromatography-tandem mass spectrometry

0　引　言

桂花[*Osmanthus fragrans*(Thunb.)Lour.], 又称木犀、甜橄榄、山桂、岩桂、九里香[1], 为多年生的芳香木本植物, 是我国十大传统名花之一, 兼具观赏价值、经济价值与食用开发价值[2]。桂花分布范围广泛, 在广西、湖北、江苏、浙江、四川等地均有规模化种植与资源分布[3]; 其中广西桂林因“桂”得名, 桂花种植历史悠久、种质资源丰富, 是国内重要的桂花特色产区[4]。桂花香味独特, 细腻醇厚, 在各类食品加工过程中不易挥发散失, 可有效为酒、茶、糕、糖、膏等产品赋予独特的天然花香风味, 是极具开发前景的食用芳香原料[1,5–6]。

桂花的香气特征与食药价值, 与其丰富的化学成分密切相关。现代研究表明, 桂花中富含萜类、醇类、酯类、醛酮类等挥发性香气成分, 是其独特花香风味的物质基础; 同时还含有黄酮类、酚类、多糖等多种非挥发性的活性物质[7–9], 具有抗氧化[10–11]、抗肿瘤[12–13]、抗炎[14]、抗抑郁[15]、神经保护[16]等多种药理活性, 在食品加工与医药健康领域均具有良好的开发前景。桂花酒作为桂花资源传统应用的经典载体[6,17], 其风味品质与贮藏过程中的成分变化, 一直是露酒类风味研究的重要方向之一。

桂花在我国传统食品加工中应用底蕴深厚, 市面桂花酒多以简单浸提工艺生产, 风味层次较为单一[18]。本研究在传承传统工艺的基础上加以创新, 选取 18°穿山岩洞藏桂花陈酿酒为研究对象, 采用分步基酒制备、桂花风味预陈化与天然溶洞洞藏陈酿相结合的特色工艺制备, 区别于传统桂花酒的单一浸提或单步发酵模式, 形成了独特的陈酿型风味体系, 成品口感温润协调、花香持久。目前, 针对此类采用分步酿造与洞藏陈酿工艺的特色桂花陈酿酒, 其挥发性风味物质的系统研究仍较为缺乏。

酒类挥发性风味物质不仅是衡量产品品质、消费者认可度与市场竞争力的重要因素, 其组成差异与动态变化规律还能反映出原料、酿造工艺、环境及贮藏过程等对酒体风味的调控作用[19–21]。酒类风味物质的分析测定方法有很多, 其中气相色谱-串联质谱技术(gas chromatography-tandem mass spectrometry, GC-MS/MS)凭借其高灵敏度、高分离度的特点, 广泛应用于酒类挥发性风味物质的定性定量分析, 能够系统揭示不同贮藏阶段的风味成分演变规律, 为酒体的品质评价与工艺优化提供数据支撑[22–23]。

本研究运用 GC-MS/MS 分析桂花陈酿酒在灌装初期、贮藏 2 年和贮藏 3 年 3 个关键阶段的挥发性风味物质组成与变化特征, 旨在明确洞藏陈酿过程中关键风味物质的演变规律, 为优化贮藏工艺、稳定产品风味提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　材料、试剂与仪器

穿山岩洞藏桂花陈酿酒: 批号: 20220926、20240815、20250918, 桂林义江酒业有限公司。各批次样品采用相同

原料配比及生产工艺，贮藏容器为陶坛(1000 L/坛)，以封坛泥密封，置于天然溶洞中陈酿(环境温度 21~24 ℃，相对湿度 65%~85%)。

XSE205DU 电子天平[Max 81 g/220 g, *d*=0.01 mg/0.1 mg, 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司]；GCMS-TQ8050 NX 气相色谱-三重四极杆串联质谱联用仪(日本岛津公司)；Agilent DB-WAX 毛细管色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm, 美国 Agilent 公司)。

1.2 挥发性成分的测定

采用 GC-MS/MS 检测桂花陈酿酒中的挥发性风味成分，每个样品重复进样 6 次，结果选取代表性图谱。

色谱条件：色谱柱：Agilent DB-WAX 毛细管色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)；柱流量：1.0 mL/min；进样量：1 μL；分流进样模式，分流比：20:1，载气控制为恒线速度模式；进样口温度：250 ℃；升温程序：初始温度 40 ℃保持 5 min，以 15 ℃/min 速率升至 60 ℃，再以 5 ℃/min 速率升至 150 ℃，继续以 15 ℃/min 速率升至 250 ℃，保持 5 min，总运行时长 36 min。

质谱条件：离子源温度 250 ℃；接口温度 250 ℃；Q3 全扫描模式，质量扫描范围 5~500 *m*/*z*；采集时间区间为 4.00~36.00 min。

1.3 数据处理

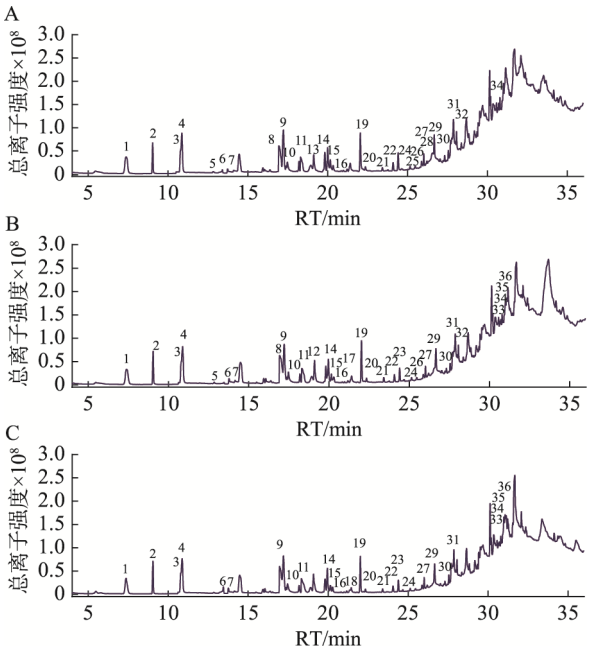
采用仪器自带 GC-MS PostRun Analysis 数据处理系统进行色谱峰积分处理，通过 NIST 17 质谱数据库检索比对，并结合色谱保留时间(retention time, RT)对未知挥发性化合物进行定性分析，匹配度大于等于 80%的鉴定结果予以确认。各组分以峰面积表示其含量，通过比较不同贮藏阶段同一组分的峰面积变化反映其含量差异。利用 GraphPad Prism 10 软件对测定数据进行整理统计和绘图。

2 结果与分析

2.1 不同贮藏阶段酒体总离子流色谱图分析

分别将灌装初期、贮藏 2 年、贮藏 3 年的桂花陈酿酒样品按照给定的色谱条件进行操作，以 RT 为横坐标(*X*, min)，总离子流强度作为纵坐标(*Y*, $\times10^8$)，得到不同贮藏阶段桂花陈酿酒挥发性物质的总离子流色谱图(total ion chromatogram, TIC)如图 1 所示。

由图 1 可见，3 个时期样品的主要色谱峰分布与 RT 基本一致，说明贮藏时间未改变酒体中挥发性成分的基本组成类型。在 5~25 min 的中低 RT 区间检出的物质以醇、短链酯、醛酮及内酯类为主，3 组样品色谱轮廓差异较小，表明该区间的挥发性组分受贮藏时间的影响相对有限。在 25~35 min 高 RT 区间，随贮藏时间延长，TIC 基线出现不同程度的抬升，可观察到更多低强度的色谱信号，这可能与多种高沸点、低挥发性组分共流出叠加，进而造成总离子响应改变。由于酒样基质复杂，部分组分存在色谱共流出现象，仅依靠 RT 难以实现准确定性。为此，本研究提取各色谱峰的质谱碎片信息(图 2)，通过与 NIST 17 质谱库进行比对(匹配度大于等于 80%)进行定性鉴定。



注：A：灌装初期；B：贮藏 2 年；C：贮藏 3 年。1. 2-甲基-1-丙醇，2. 4-甲基己基乙酸酯，3. 2-甲基-1-丁醇，4. 3-甲基-1-丁醇，5. 2,3-二氢-1,4-二氧杂环己二烯，6. 3-羟基-2-丁酮，7. 羟基丙酮，8. *α*-当归内酯，9. 丙二酸，10. 2-乙酰基呋喃，11. 甲酸，12. 2,4-二羟基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮，13. 2-乙氧基-2-羟基乙酸乙酯，14. 5-甲基糠醛，15. 4-环戊烯-1,3-二酮，16. 1,2-丙二醇，17. *γ*-丁内酯，18. 苯乙醛，19. 糠醇，20. 丁二酸二乙酯，21. 5-甲基-2-呋喃甲醇，22. *γ*-巴豆酰内酯，23. 1,2-环戊二酮，24. 顺式-1,2-环己二醇，25. 甲基环戊烯醇酮，26. 2-(甲氨基)乙酸乙酯，27. 呋喃酮，28. 2-甲氧基-N-(2-甲氧基乙基)-N-甲基乙胺，29. 2-苯乙醇，30. 2,5-二甲酰基呋喃，31. 2H-吡喃-2,6(3H)-二酮，32. 异麦芽醇，33. 5-羟基麦芽酚，34. 2-(乙氧基羰基氨基)乙酸乙酯，35. 丁二酸单乙酯，36. 糠酸。

图 1 桂花陈酿酒在不同贮藏阶段的 TIC

Fig.1 TIC of *Osmanthus fragrans*-aged liqueur at different storage durations

2.2 挥发性风味物质的成分分析

由表 1 可知，本研究共从不同贮藏阶段的桂花陈酿酒中共定性检出 36 种挥发性化合物，涵盖醇类、酯类、醛酮类、酸类等多类物质。贮藏过程中酒体挥发性组分处于动态转化状态，部分醛酮类、酯类及其他类物质逐渐消失，同时也有少量新的风味组分生成。整体来看，贮藏过程中部分挥发性物质的种类与含量存在不同程度差异，部分化合物仅在单个或两个贮藏阶段检出，这一变化与图 1 中 TIC 谱的特征相互印证。

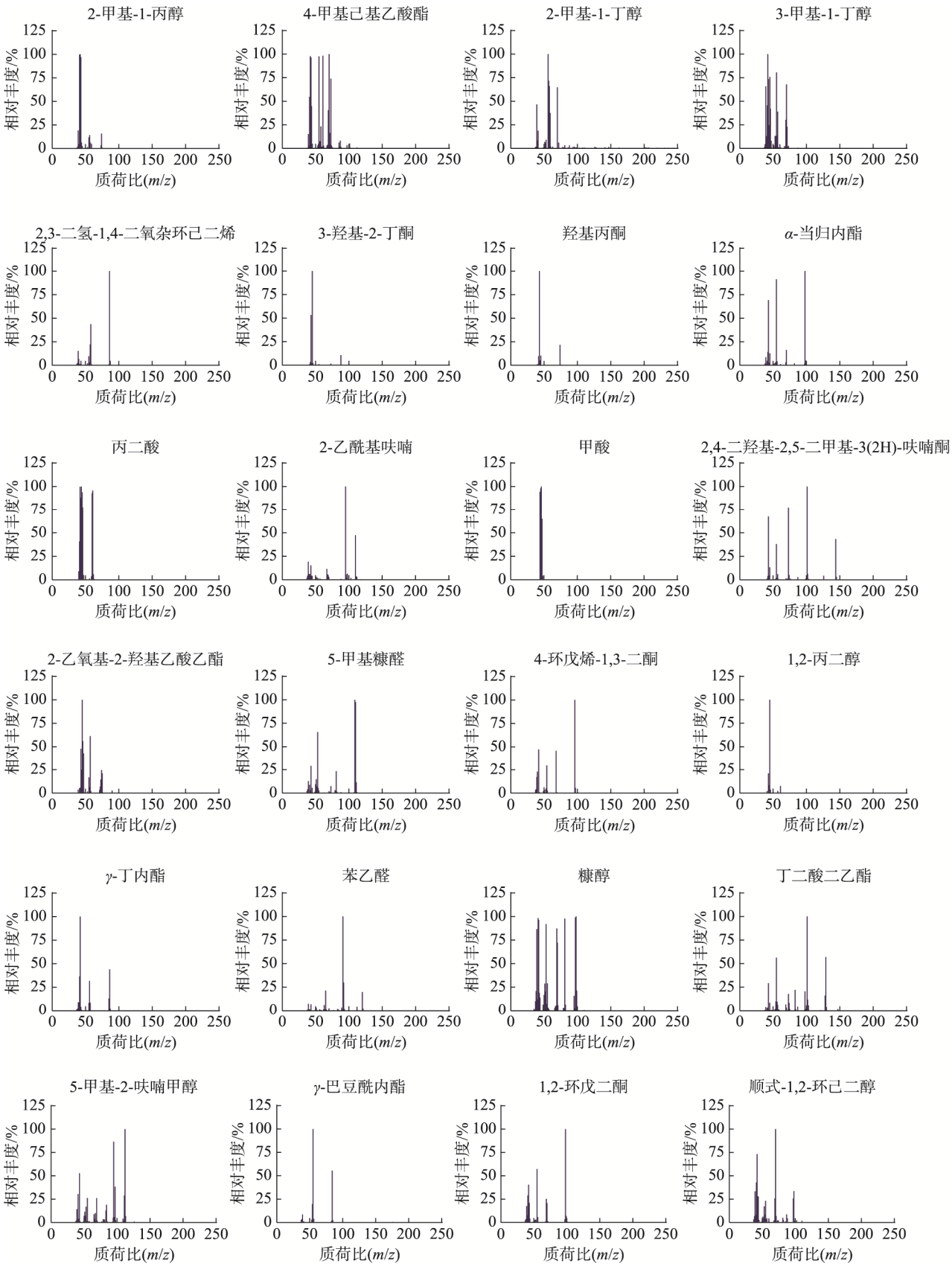


图 2　桂花陈酿酒挥发性组分的质谱图

Fig.2　Mass spectra of volatile components in *Osmanthus fragrans*-aged liqueur

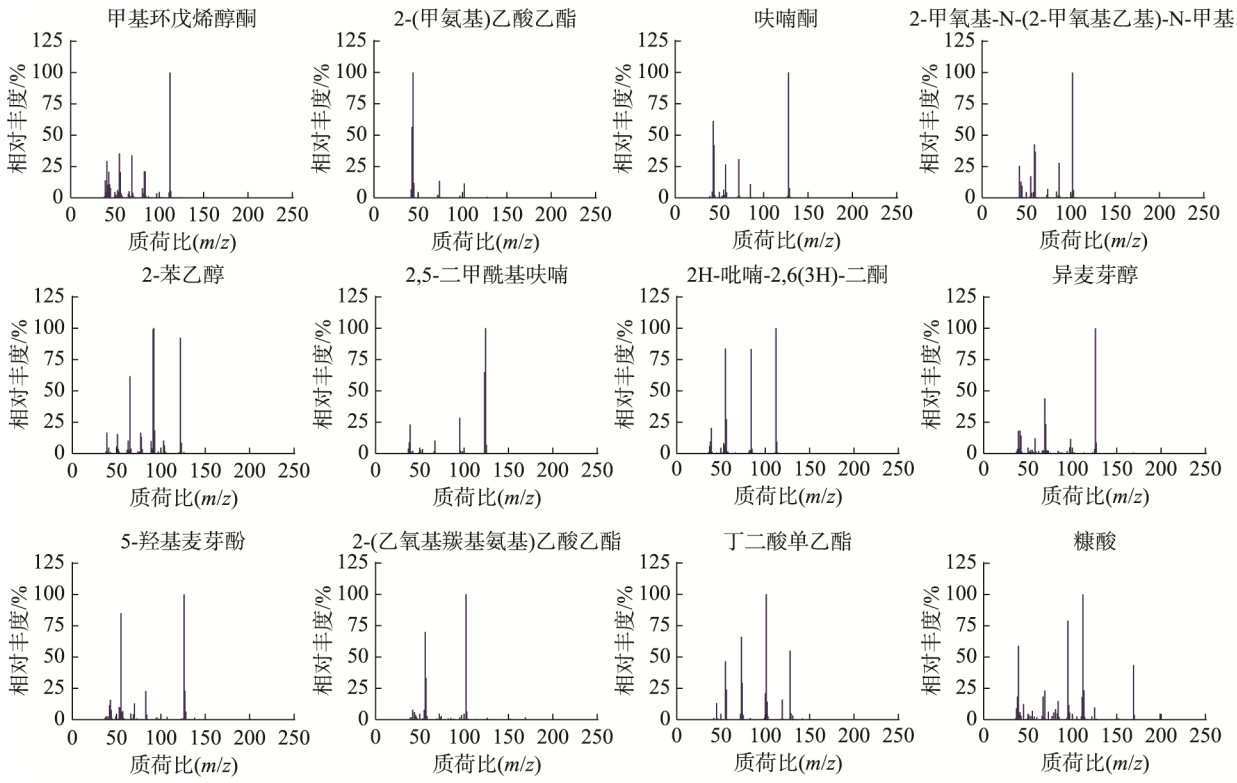


图 2(续) 桂花陈酿酒挥发性组分的质谱图

Fig.2 Mass spectra of volatile components in *Osmanthus fragrans*-aged liqueur

酒类中的醇、酯、醛、酸等挥发性物质通过组合效应与协同作用, 共同塑造酒体风味与感官品质[24−25]。醇类通常构成酒体风味的骨架, 可为酒体赋予植物清香与果香气息[26]。由表 1 可知, 醇类是桂花陈酿酒中十分重要的一类挥发性组分, 在各个贮藏阶段均有较多组分被检出, 总峰面积处于较高水平。2-甲基-1-丙醇、2-甲基-1-丁醇、3-甲基-1-丁醇是酒体中常见的高级醇类香气组分, 在全部贮藏时期均可检出, 适量存在时可赋予酒体醇厚感和麦芽香气, 丰富香气层次[27]。另外, 2-苯乙醇在贮藏期间均有检出, 含量虽有所下降但依然维持在较高水平, 赋予酒体玫瑰与蜂蜜的甜香, 提升了酒体的风味层次感[28]。糠醇具有焦糖和烘焙气息[29], 其峰面积在贮藏过程中呈先升后降趋势。1,2-丙二醇在各阶段均有检出, 同样呈现先升后降的变化规律。随贮藏时间延长, 醇类总相对峰面积呈逐步下降趋势, 但检出种类变化幅度不大, 说明高级醇骨架组分整体稳定性较好, 仅发生缓慢消耗。部分醇类物质的相对含量随贮藏发生波动, 反映贮藏环境下酒体内部发生微弱的物质转化。

酯类通常作为酒体花香味与水果香气的主要贡献成分[30−31], 其物质组成随贮藏变化呈现出一定的差异。由表 1 可知, 酯类是桂花陈酿酒中种类最为丰富的一类香气物质, 在各贮藏阶段均占有重要比例。丁二酸二乙酯具有熟苹果和花香气味, 是葡萄酒、红枣果酒等酒种中重要的香气活性成分, 在贮藏过程中呈持续下降趋势[32−33]。γ-丁内酯被报道为清香型白酒新酒与陈酒的差异性香气物质[34], 具有焦糖奶油香味, 在本研究中仅在贮藏 2 年时检出。此外, α-当归内酯在灌装初期和贮藏 2 年均有检出, 但贮藏 3 年时消失; 1,2-环戊二酮在灌装初期未检出, 贮藏 2 年时出现并持续至贮藏 3 年。总体来看, 不同酯类化合物在贮藏过程中呈现各异的变化趋势, 可能与陈酿过程中酯类物质的水解及再酯化有关, 但具体机制尚需进一步验证。

除了醇类和酯类, 醛酮类、酸类及其他类化合物同样参与了酒体风味构成。在桂花陈酿酒中检出 5-甲基糠醛、2-乙酰基呋喃、糠醇、糠酸、羟基丙酮等美拉德反应特征产物, 表明酒体在蒸馏或陈酿过程中经历了美拉德反应。其中, 糠醇赋予酒体焦糖甜香和微苦底韵[35], 羟基丙酮具有焦糖香气[36], 这些化合物的存在与变化从不同侧面反映了酒体在贮藏过程中的风味演变。酮类组分以乙偶姻(3-羟基-2-丁酮)为代表, 该物质可带来奶油、甜润香气, 是发酵来源的重要风味物质[37]。

整体来看, 醇类、酯类为风味演变的主要贡献组分, 醛酮和酸类等物质也同步参与了动态演变, 各组分相互作用、协同演变, 体现了洞藏陈酿工艺对风味优化的塑造与提升作用。

2.3 主要风味组分含量变化对比

不同贮藏阶段的桂花陈酿酒风味物质的的比例及种类的差异分别见表 2 和表 3。由表 2 可知, 桂花陈酿酒在贮藏过程中挥发性物质的种类数量发生了较为明显的变化。从不同阶段来看, 种类数量呈现先升后降的趋势, 灌装初期为 29 种, 贮藏 2 年升至 32 种, 贮藏 3 年降至 27 种。

酯类和醛酮类在贮藏过程中均呈先升后降趋势, 酯类种类由灌装初期的 7 种增至贮藏 2 年的 8 种, 贮藏 3 年降至 5 种, 变化幅度更为显著, 而醛酮类种类在 10~12 种之间, 波动幅度相对较小, 表明长期贮藏过程中部分酯类物质发生了水解或挥发而消失。醇类(8 种)在整个贮藏过程中种类数量维持不变, 酸类(2 种→3 种→3 种)在贮藏 2 年时增加 1 种

表 1　不同贮藏阶段的桂花陈酿酒所含挥发性成分

Table 1　Volatile components in *Osmanthus fragrans*-aged liqueur at different storage durations

序号	RT/min	化合物	CAS	相对峰面积		
				灌装初期	贮藏 2 年	贮藏 3 年
1	7.387	2-甲基-1-丙醇	78-83-1	$(3.71\pm0.35)\times10^8$	$(3.13\pm0.06)\times10^8$	$(2.83\pm0.32)\times10^8$
2	9.046	4-甲基己基乙酸酯	91367-59-8	$(2.42\pm0.19)\times10^8$	$(2.43\pm0.08)\times10^8$	$(2.41\pm0.24)\times10^8$
3	10.789	2-甲基-1-丁醇	137-32-6	$(1.72\pm0.11)\times10^8$	$(1.78\pm0.10)\times10^8$	$(1.65\pm0.07)\times10^8$
4	10.877	3-甲基-1-丁醇	123-51-3	$(4.82\pm0.15)\times10^8$	$(4.85\pm0.14)\times10^8$	$(4.19\pm0.12)\times10^8$
5	12.842	2,3-二氢-1,4-二氧杂环己二烯	543-75-9	$(1.39\pm0.05)\times10^7$	$(1.16\pm0.12)\times10^7$	-
6	13.466	3-羟基-2-丁酮	513-86-0	$(2.41\pm0.28)\times10^7$	$(1.19\pm0.16)\times10^7$	$(4.92\pm0.29)\times10^7$
7	13.769	羟基丙酮	116-09-6	$(4.58\pm0.75)\times10^7$	$(4.22\pm0.65)\times10^7$	$(4.02\pm0.21)\times10^7$
8	16.379	*α*-当归内酯	591-12-8	$(1.84\pm0.23)\times10^7$	$(1.98\pm0.18)\times10^7$	-
9	16.949	丙二酸	141-82-2	$(4.73\pm1.20)\times10^8$	$(6.15\pm0.09)\times10^8$	$(1.99\pm0.28)\times10^8$
10	18.193	2-乙酰基呋喃	1192-62-7	$(7.56\pm0.25)\times10^7$	$(6.10\pm0.47)\times10^7$	$(5.23\pm0.30)\times10^7$
11	18.318	甲酸	64-18-6	$(2.58\pm0.11)\times10^8$	$(2.70\pm0.11)\times10^8$	$(3.10\pm0.14)\times10^8$
12	18.929	2,4-二羟基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮	10230-62-3	-	$(1.01\pm0.09)\times10^8$	-
13	19.117	2-乙氧基-2-羟基乙酸乙酯	49653-17-0	$(1.36\pm0.27)\times10^8$	-	-
14	19.809	5-甲基糠醛	620-02-0	$(1.62\pm0.14)\times10^8$	$(1.36\pm0.18)\times10^8$	$(1.27\pm0.14)\times10^8$
15	20.149	4-环戊烯-1,3-二酮	930-60-9	$(8.47\pm1.18)\times10^7$	$(2.70\pm1.36)\times10^7$	$(7.94\pm0.54)\times10^7$
16	20.302	1,2-丙二醇	57-55-6	$(4.44\pm0.50)\times10^7$	$(5.90\pm0.78)\times10^7$	$(3.85\pm0.50)\times10^7$
17	21.176	*γ*-丁内酯	96-48-0	-	$(1.67\pm0.14)\times10^7$	-
18	21.347	苯乙醛	122-78-1	-	-	$(2.32\pm0.37)\times10^7$
19	22.024	糠醇	98-00-0	$(3.22\pm0.37)\times10^8$	$(3.38\pm0.87)\times10^8$	$(2.43\pm0.31)\times10^8$
20	22.340	丁二酸二乙酯	123-25-1	$(3.20\pm0.27)\times10^7$	$(2.55\pm0.15)\times10^7$	$(2.20\pm0.13)\times10^7$
21	23.325	5-甲基-2-呋喃甲醇	3857-25-8	$(2.85\pm0.40)\times10^7$	$(3.31\pm0.31)\times10^7$	$(2.43\pm0.17)\times10^7$
22	24.074	*γ*-巴豆酰内酯	497-23-4	$(6.57\pm0.30)\times10^7$	$(5.54\pm0.40)\times10^7$	$(4.12\pm0.58)\times10^7$
23	24.395	1,2-环戊二酮	3008-40-0	-	$(1.01\pm0.03)\times10^8$	$(7.84\pm0.79)\times10^7$
24	25.141	顺式-1,2-环己二醇	1792-81-0	$(1.92\pm0.24)\times10^7$	$(2.06\pm0.18)\times10^7$	$(1.60\pm0.07)\times10^7$
25	25.477	甲基环戊烯醇酮	80-71-7	$(2.46\pm0.23)\times10^7$	-	-
26	25.874	2-(甲氨基)乙酸乙酯	26921-43-7	$(3.48\pm0.33)\times10^7$	$(3.71\pm0.50)\times10^7$	-
27	26.010	呋喃酮	3658-77-3	$(8.10\pm0.36)\times10^7$	$(6.68\pm0.46)\times10^7$	$(5.93\pm0.70)\times10^7$
28	26.534	2-甲氧基-N-(2-甲氧基乙基)-N-甲基乙胺	92260-33-8	$(8.37\pm1.10)\times10^7$	-	-
29	26.662	2-苯乙醇	60-12-8	$(1.82\pm0.23)\times10^8$	$(1.62\pm0.14)\times10^8$	$(1.53\pm0.12)\times10^8$
30	27.546	2,5-二甲酰基呋喃	823-82-5	$(6.31\pm0.12)\times10^7$	$(4.84\pm0.48)\times10^7$	$(5.31\pm0.35)\times10^7$
31	27.691	2H-吡喃-2,6(3H)-二酮	5926-95-4	$(1.09\pm0.12)\times10^8$	$(1.12\pm0.06)\times10^8$	$(4.74\pm0.59)\times10^7$
32	28.003	异麦芽醇	644-46-2	$(7.13\pm0.65)\times10^7$	$(6.95\pm0.48)\times10^7$	-
33	30.194	5-羟基麦芽酚	1073-96-7	-	$(1.07\pm0.06)\times10^8$	$(8.91\pm0.27)\times10^7$
34	30.564	2-(乙氧基羰基氨基)乙酸乙酯	999-30-4	$(1.34\pm0.18)\times10^8$	$(1.09\pm0.11)\times10^8$	$(9.07\pm0.13)\times10^7$
35	30.789	丁二酸单乙酯	1070-34-4	-	$(4.88\pm0.58)\times10^7$	$(4.36\pm0.37)\times10^7$
36	31.198	糠酸	88-14-2	-	$(3.34\pm0.24)\times10^8$	$(2.25\pm0.31)\times10^8$

注: -表示未检出。

后保持稳定。整体而言，桂花陈酿酒在贮藏陈酿过程中风味种类经历了先增后降的变化，风味复杂度有所降低，反映了洞藏陈酿过程中风味体系经历了“新物质生成→体系净化”的演变过程，体现了酒体向更加稳定、协调方向发展的趋势。

表 2 不同贮藏阶段的桂花陈酿酒各类挥发性物质的种类
Table 2 Species of various volatile substances in *Osmanthus fragrans*-aged liqueur at different storage durations

种类	灌装初期	贮藏 2 年	贮藏 3 年
醇类	8	8	8
酯类	7	8	5
醛酮类	10	12	11
酸类	2	3	3
其他类	2	1	0
总和	29	32	27

由表 3 可知，各类挥发性物质的总峰面积之和在贮藏过程中呈先升后降趋势，灌装初期、贮藏 2 年和贮藏 3 年分别为 3.85×10^9、4.31×10^9 和 3.21×10^9，贮藏 2 年时达到最高，贮藏 3 年时降至最低。从各类物质的变化规律来看，醇类和酯类均呈持续下降趋势。其中，醇类峰面积由灌装初期的 1.62×10^9 降至贮藏 2 年的 1.59×10^9，贮藏 3 年进一步降至 1.34×10^9，后期降幅约 15.7%；酯类峰面积由 6.63×10^8 降至 5.55×10^8 再降至 4.39×10^8，后期降幅高达 20.9%，下降幅度较大，进一步印证了酯类在长期贮藏中的不稳定性。酸类峰面积呈先升后降趋势，贮藏 2 年时升至灌装初期的 1.67 倍，贮藏 3 年回落至 7.34×10^8，与初期水平基本持平，可能与酯类水解及后续的酯化或氧化降解有关。醛酮类峰面积在贮藏周期内也同样呈现先升后降的趋势；而其他类是 5 类风味组分中相对含量最低的一类，灌装初期和贮藏 2 年可检出，贮藏 3 年无法检出。

表 3 不同贮藏阶段的桂花陈酿酒中各类挥发性物质的总峰面积
Table 3 Total peak areas of various volatile substances in *Osmanthus fragrans*-aged liqueur at different stages durations

种类	灌装初期	贮藏 2 年	贮藏 3 年
醇类	1.62×10^9	1.59×10^9	1.34×10^9
酯类	6.63×10^8	5.55×10^8	4.39×10^8
醛酮类	7.41×10^8	9.34×10^8	6.99×10^8
酸类	7.30×10^8	1.22×10^9	7.34×10^8
其他类	9.76×10^7	1.16×10^7	0
总和	3.85×10^9	4.31×10^9	3.21×10^9

3 讨论与结论

本研究采用 GC-MS/MS 对穿山岩洞藏桂花陈酿酒在灌装初期、贮藏 2 年及贮藏 3 年 3 个阶段的挥发性风味物质进行了系统分析，揭示了洞藏陈酿过程中酒体风味组分的动态变化规律。结果表明，随着贮藏时间的延长，灌装初期、贮藏 2 年和贮藏 3 年分别检出 29、32 和 27 种，呈先增后减的变化特征。其中，醇类种类在各阶段均为 8 种，但总含量持续下降；酯类种类由灌装初期的 7 种增至贮藏 2 年的 8 种，贮藏 3 年降至 5 种，变化最为显著；酸类总含量呈先升后降趋势，贮藏 2 年时达到初期的 1.67 倍，贮藏 3 年回落至初期水平，可能与酯类水解及后续的酯化或氧化降解有关；醛酮类种类在 10~12 种之间小幅波动，含量先升后降；其他类仅在初期和贮藏 2 年有检出，贮藏 3 年消失。

进入贮藏后期，部分酯类、醇类及醚类物质出现不同程度的下降，酒体风味构成趋于简化。值得注意的是，2-苯乙醇、糠醇等部分具有花果香气的特征物质在贮藏 3 年时仍可检出；2-苯乙醇含量虽有所下降但依然维持在较高水平，对酒体花香特征的贡献较为稳定。结合挥发性组分变化特征可推测，长期洞藏有助于降低酒体中部分不稳定酯类和低沸点组分的含量，香气结构趋于平缓协调，体现了洞藏陈酿工艺对桂花陈酿酒风味品质的塑造与提升作用。

本研究仅比较了灌装初期、贮藏 2 年、贮藏 3 年这 3 个节点的酒体挥发性风味物质的组成与变化，尚不能确定最佳陈酿周期，且仅聚焦挥发性风味物质变化，尚未结合感官品质、理化指标及贮藏环境参数开展多维度关联研究，后续可进一步拓展陈酿周期、优化取样节点，同步监测感官风味、理化指标与洞藏环境因子，依托感官评价结合关键香气活性物质综合判定适宜贮藏年限，进一步揭示洞藏环境对酒体风味品质的影响规律，为特色洞藏桂花陈酿酒的工艺优化与品质调控提供更为全面的理论支撑。

参考文献

[1] 刘壮壮. 药食两用桂花抗巨噬细胞及肥大细胞炎症的作用及机制研究[D]. 北京: 北京协和医学院, 2024: 84.
Liu Zhuangzhuang. The anti-inflammatory effects and mechanisms of edible *O. fragrans* flower on macrophages and mast cells [D]. Beijing: Peking Union Medical College, 2024: 84.

[2] 于蕾蕾, 高旭政, 苏子龙, 等. 桂花的应用和药用价值概述[J]. 湖北科技学院学报(医学版), 2022, 36(5): 444–448.
Yu Leilei, Gao Xuzheng, Su Zilong, et al. Application and medicinal value of *Osmanthus fragrans* [J]. Journal of Hubei University of Science and Technology (Medical Sciences), 2022, 36(5): 444–448.

[3] 黄荻舒, 汤丽昌. 桂花的活性成分、药理作用及其应用研究进展[J]. 食品安全导刊, 2025, 19(33): 165–167.
Huang Dishu, Tang Lichang. Research progress on the active ingredients, pharmacological effects and applications of *Osmanthus fragrans* [J]. Journal of Food Safety Guide, 2025, 19(33): 165–167.

[4] 诸葛天秋, 罗跃新. 桂林桂花茶产业发展探析[J]. 广西农学报, 2013, 28(1): 78–80, 83.
Zhuge Tianqiu, Luo Yuexin. Analysis on the development of *Osmanthus* tea industry in Guilin [J]. Journal of Guangxi Agriculture, 2013, 28(1): 78–80, 83.

[5] 吴雷, 卢斌斌, 席辉, 等. 桂花浸膏香气成分的 GC-MS 分析[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2019, 40(3): 78–85.

Wu Lei, Lu Binbin, Xi Hui, et al. Analysis of aroma components of sweet *Osmanthus* concrete by gas chromatography-mass spectrometry [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2019, 40(3): 78–85.

[6] 祁舒展, 姜卫兵, 魏家星. 我国桂花的资源开发及综合利用研究进展[J]. 黑龙江农业科学, 2016(10): 171–174.
Qi Shuzhan, Jiang Weibing, Wei Jiaxing. Research progress on resource exploitation and comprehensive utilization of *Osmanthus fragrans* lour in China [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2016(10): 171–174.

[7] 周秋霞, 岳淑梅. 基于文献的桂花化学成分及药理作用研究现状分析[J]. 河南大学学报(医学版), 2013, 32(2): 139–142.
Zhou Qiuxia, Yue Shumei. Analysis of the research status of *Osmanthus fragrans* Lour. in chemical constituents and pharmacological actions based on literature [J]. Journal of Henan University (Medical Science), 2013, 32(2): 139–142.

[8] 尹伟, 刘金旗, 张国升. 桂花的化学成分及药理学作用研究进展[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2015, 31(20): 77–78.
Yin Wei, Liu Jinqi, Zhang Guosheng. Research progress on chemical constituents and pharmacological effects of *Osmanthus fragrans* [J]. Journal of Chifeng University (Natural Science Edition), 2015, 31(20): 77–78.

[9] 吴超然, 房仙颖, 萧伟. 桂花非挥发性成分及药理活性研究进展[J]. 天然产物研究与开发, 2017, 29(8): 1439–1448.
Wu Chaoran, Fang Xianying, Xiao Wei. Review on non-volatile components and pharmacological activity of *Osmanthus fragrans* [J]. Natural Product Research and Development, 2017, 29(8): 1439–1448.

[10] Wu Lichen, Chang Lihui, Chen Sihan, et al. Antioxidant activity and melanogenesis inhibitory effect of the acetonic extract of *Osmanthus fragrans*: a potential natural and functional food flavor additive [J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(9): 1513–1519.

[11] 冯庆, 徐思远, 任梦, 等. 桂花提取物的抗氧化活性及对 t-BHP 诱导 HepG2 细胞氧化损伤的保护作用[J]. 化学与生物工程, 2025, 42(1): 53–58.
Feng Qing, Xu Siyuan, Ren Meng, et al. Antioxidant activity of *Osmanthus fragrans* extract and its protection effect on t-BHP-induced oxidative damage of HepG2 cells [J]. Chemistry & Bioengineering, 2025, 42(1): 53–58.

[12] Huang S K, Bueno P R P, Garcia P J B, et al. Antioxidant, anti-inflammatory and antiproliferative effects of *Osmanthus fragrans* (thunb.) lour. flower extracts [J]. Plants, 2023, 12(17): 3168.

[13] 宋晓芳. 桂花中多酚类成分分析和过氧化麦角甾醇抗肿瘤活性研究[D]. 咸宁: 湖北科技学院, 2019: 34–42.
Song Xiaofang. Analysis of polyphenolic components in *osmanthus fragrans* and study on the antitumor activity of peroxylamides of ergosterol [D]. Xianning: Hubei University of Science and Technology, 2019: 34–42.

[14] 王宝君, 郭琦, 饶志粒, 等. 三种不同品种桂花化学成分与抗炎抗氧化活性比较研究[J]. 中药与临床, 2022, 13(4): 22–32.
Wang Baojun, Guo Qi, Rao Zhili, et al. Comparative study on the chemical composition and anti-inflammatory and antioxidant activities of three species of [J]. Pharmacy and Clinics of Chinese Materia Medica, 2022, 13(4): 22–32.

[15] Luo Luyao, Xue Rui, Wang Tingge, et al. The ethanolic extract of *Osmanthus fragrans* var. *thunbergii* flowers ameliorates depressive-like behaviors of mice by modulating the serotonin system and suppressing neuroinflammation [J]. Food Science & Nutrition, 2024, 12(9): 6242–6258.

[16] Lee H H, Lin Chiting, Yang Lingling. Neuroprotection and free radical scavenging effects of *Osmanthus fragrans* [J]. Journal of Biomedical Science, 2007, 14(6): 819–827.

[17] 赵东, 袁杰彬, 孙琳, 等. 桂花及桂花酒的研究进展[J]. 酿酒科技, 2017(1): 90–94.
Zhao Dong, Yuan Jiebin, Sun Lin, et al. Research progress in *Osmanthus fragrans* and *Osmanthus fragrans* wine [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2017(1): 90–94.

[18] 邓伟琼, 曹红, 赵润, 等. 不同桂花酒质量与香气成分分析[J]. 酿酒科技, 2024(11): 128–136.
Deng Weiqiong, Cao Hong, Zhao Run, et al. Quality and aroma components analysis of different *Osmanthus* liqueurs [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2024(11): 128–136.

[19] 张晓婕, 邱树毅, 王晓丹, 等. 不同质量酱香型白酒的挥发性物质差异分析[J]. 中国食品学报, 2022, 22(10): 340–351.
Zhang Xiaojie, Qiu Shuyi, Wang Xiaodan, et al. Difference analysis of volatile matter in different quality Maotai-flavor liquor [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(10): 340–351.

[20] 王松廷, 杨生玉, 张彭湃. GC-MS 法分析西瓜精酿啤酒中的风味物质[J]. 中国酿造, 2016, 35(10): 171–174.
Wang Songting, Yang Shengyu, Zhang Pengpai. Analysis of the flavor compounds in watermelon craft beer by GC-MS [J]. China Brewing, 2016, 35(10): 171–174.

[21] 周利, 张毅, 徐姿静. 不同香型白酒挥发性微量风味成分特征和差异分析[J]. 酿酒, 2023, 50(6): 67–71.
Zhou Li, Zhang Yi, Xu Zijing. Characteristics and differential analysis of volatile trace flavor components in different flavor-type Baijiu [J]. Liquor Making, 2023, 50(6): 67–71.

[22] 张周洋, 曹滂, 田芳, 等. 顶空(Head-Space)气相色谱联合 MS/MS 法测定嘉禾倒缸酒中挥发性酯类成分方法的建立[J]. 酿酒科技, 2025(7): 140–142.
Zhang Zhouyang, Cao Pang, Tian Fang, et al. A head-space GC-MS/MS method for the determination of volatile esters in Jiahe Daogang Huangjiu [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2025(7): 140–142.

[23] 毕荣宇, 卢君, 唐平, 等. 双水相-GC-MS/MS 测定酱香型白酒酿造过程挥发性酚类物质变化规律的研究[J]. 酿酒科技, 2023(1): 137–144.
Bi Rongyu, Lu Jun, Tang Ping, et al. Study on change law of volatile phenolic compounds in Jiangxiang Baijiu by aqueous two-phase extraction combined with GC-MS/MS [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2023(1): 137–144.

[24] 张小娜, 宋翠颖, 郭世鑫, 等. 白酒发酵过程中高级醇影响因素的研究[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(1): 67–72.
Zhang Xiaona, Song Cuiying, Guo Shixin, et al. Factors influencing higher alcohols during the fermentation of Baijiu [J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(1): 67–72.

[25] 孙萌彤, 戚加伟, 郭邵磊, 等. 不同酿酒酵母对李子玫瑰果酒风味特征的影响[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2026, 57(2): 377–388.
Sun Mengtong, Qi Jiawei, Guo Shaolei, et al. Effects of different

Saccharomyces cerevisiae on flavor characteristics of plum rosehip wine [J]. Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition), 2026, 57(2): 377–388.

[26] 黄娟, 贡湘磊, 张方宏. 刺梨米酒酿造工艺优化及风味物质分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(8): 114–121.
Huang Juan, Gong Xianglei, Zhang Fanghong. Optimization of brewing technology and analysis of flavor substances of *Rosa roxbunghii* rice wine [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(8): 114–121.

[27] 伍思佳, 杨贻功, 火兴三, 等. 两种蒸馏工艺对威士忌特征香气的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(10): 341–350.
Wu Sijia, Yang Yigong, Huo Xingsan, et al. Effect of two distillation processes on the characteristic aroma of whisky [J]. Food Science, 2023, 44(10): 341–350.

[28] 谢欣雨, 胡新, 石潇瀑, 等. 果酒香气形成影响因素研究进展[J]. 阜阳师范大学学报(自然科学版), 2022, 39(2): 39–47.
Xie Xinyu, Hu Xin, Shi Xiaopu, et al. Research progress in the study of factors influencing aroma formation of fruit wines [J]. Journal of Fuyang Normal University (Natural Science), 2022, 39(2): 39–47.

[29] 何伟华, 张亚东, 朱敏, 等. 酱香型白酒第五轮次堆积微生物与风味物质相关性及关键功能菌群组装机制解析[J/OL]. 食品科学, 2026-06-15. https: //link. cnki. net/urlid/11. 2206. TS. 20260613. 2036. 002.
He Weihua, Zhang Yadong, Zhu Min, et al. Correlation between microorganisms and flavor substances accumulated in the fifth round of Maotai-flavor liquor and analysis of assembly mechanism of key functional flora [J/OL]. China Industrial Economics, 2026-06-15. https: //link. cnki. net/urlid/11. 2206. TS. 20260613. 2036. 002.

[30] Wen Jinli, Wang Yue, Cao Weiyu, et al. Comprehensive evaluation of ten *Actinidia arguta* wines based on color, organic acids, volatile compounds, and quantitative descriptive analysis [J]. Foods, 2023, 12(18): 3345.

[31] 蒋萍萍, 韩丹阳, 刘红娜, 等. 青梅酒发酵工艺优化及风味物质分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(13): 127–134.
Jiang Pingping, Han Danyang, Liu Hongna, et al. Optimization of *Vatica* wine fermentation process and analysis of flavor substances [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(13): 127–134.

[32] 王琳琳, 惠明, 潘春梅, 等. 基于电子鼻和气相色谱-质谱分析不同产区酱香型大回酒风味差异[J/OL]. 食品与发酵工业, 2026-06-11. https: //doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.046642.
Wang Linlin, Hui Ming, Pan Chunmei, et al. Analysis of flavor differences of Jiangxiang Dahui liquor from different producing regions based on electronic nose and gas chromatography-mass spectrometry [J/OL]. Food and Fermentation Industries, 2026-06-11. https: //doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.046642.

[33] 石庆恒, 白羽嘉, 冯作山, 等. 7 种酵母发酵红枣果酒香气成分及发酵特性[J/OL]. 食品科学, 2026-06-15. https://link.cnki.net/urlid/11.2206.TS.20260615.1345.034.
Shi Qingheng, Bai Yujia, Feng Zuoshan, et al. Fermentation Characteristics and Aroma Profiles of Jujube Wine Fermented by Seven Different *Saccharomyces cerevisiae* Strains [J/OL]. China Industrial Economics, 2026-06-15. https://link.cnki.net/urlid/11.2206.TS.20260615.1345.034.

[34] 任慧杰. 优质清香型白酒酒体设计及其风味特征研究[J]. 酿酒, 2025, 52(4): 123–126.
Ren Huijie. Research on the dsign of high-quality fragrant liquor and its flavor characteristics [J]. Liquor Making, 2025, 52(4): 123–126.

[35] 原晓喻, 宋志鹏, 常瑞豪, 等. 酎酒的风味物质和品质分析研究[J/OL]. 酿酒科技, 2026-04-11. https: //link. cnki. net/urlid/52. 1051. TS. 20260410. 1323. 002.
Yuan Xiaoyu, Song Zhipeng, Chang Ruihao, et al. Study on flavor substances and quality analysis of fermented wine [J/OL]. China Industrial Economics, 2026-04-11. https://link.cnki.net/urlid/52.1051.TS.20260410.1323.002.

[36] 岳小淋, 向双全, 钱宇, 等. 不同等级浓香型白酒基酒挥发性风味物质差异分析[J]. 中国酿造, 2025, 44(6): 258–265.
Yue Xiaolin, Xiang Shuangquan, Qian Yu, et al. Analysis on the difference of volatile flavor components in strong-flavor Baijiu base liquor with different grades [J]. China Brewing, 2025, 44(6): 258–265.

[37] 马世源, 刘小刚, 杨平, 等. 基于机器学习的酱香型白酒轮次酒与典型体判别研究[J/OL]. 食品与发酵工业, 2026-08-03. https: //doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.047581.
Ma Shiyuan, Liu Xiaogang, Yang Ping, et al. Study on distinguishing between Maotai-flavor liquor rounds and typical liquor based on machine learning [J/OL]. China Industrial Economics, 2026-08-03. https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.047581.

(责任编辑: 蔡世佳 安香玉)