

发酵容器对赤霞珠自然发酵葡萄酒挥发性风味的影响

翟茹^{1,2}, 冀权^{1,2}, 霍龙璇^{1,2}, 乔晨^{1,2}, 杨帆^{1,2}, 李福奇^{1,2}, 王岚¹, 潘琳^{1,2*}

(¹宁夏大学食品科学与工程学院 银川 750021

²宁夏食品微生物应用技术与安全控制重点实验室 银川 750021)

摘要 目的:探究陶罐和不锈钢罐对宁夏贺兰山东麓干红葡萄酒发酵过程中风味物质及其品质的影响。方法:以赤霞珠葡萄为试验材料,采用陶罐、不锈钢罐进行酒精发酵,采用液相色谱分析发酵前及酒精发酵结束时葡萄酒中9种有机酸含量;采用电子鼻结合顶空固相萃取气相色谱-质谱联用技术分析发酵前和酒精发酵结束时葡萄酒中挥发性香气物质分布规律。结果:陶罐发酵过程中有机酸总量呈下降趋势,呈现花果香、甜香的化合物浓度显著增加($P<0.05$),贡献青草味、生青味的化合物浓度不同程度的下降。与不锈钢罐发酵相比,陶罐发酵葡萄酒的有机酸总量更高(92 425.90 ng/mL),醇醚醛酮类、甲烷等短链烷烃类以及无机硫化物对应传感器响应值更高。陶罐发酵葡萄酒中的十二烷二酸、4-乙酰苯甲酸、5-氧代四氢吡喃-2-羧酸、甘油二硬脂酸酯、 δ -十四内酯、丁二酸二乙酯,以及不锈钢罐发酵葡萄酒中的乙酸苯乙酯、苯甲醇、1-己醇是区分两种发酵罐的特征风味物质。感官评价结果显示,陶罐发酵葡萄酒的口感更具复杂性及层次感,其香味强度也更有优势,不锈钢罐发酵酒体的醇厚感更佳。结论:陶罐发酵能够加强赤霞珠葡萄酒的花果香、甜香的挥发性风味,同时增加口感的复杂性及层次感。不锈钢罐发酵的葡萄酒则具有蜂蜜香及烘烤香,醇厚感更佳。

关键词 自然葡萄酒;陶罐;挥发性风味物质;气相色谱-质谱联用;电子鼻

文章编号 1009-7848(2026)01-0373-10 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2026.01.033

近年来,随着人们健康意识的增强,自然发酵葡萄酒被越来越多的消费者关注。自然发酵葡萄酒的原料往往采用有机种植,利用葡萄表皮天然的酵母进行发酵,不额外添加商业酵母和SO₂等外源物进行人工干预^[1],酿造的葡萄酒具有当地特色。葡萄酒的风味包括味觉和香气,其中香气在整体风味的感知中占据重要地位^[2-3],是影响葡萄酒品质的重要指标之一^[4]。葡萄酒的香气化合物主要来源于果实本身,以及发酵、陈酿过程中形成的挥发性风味物质或前体物质^[5],其中发酵香气主要由酵母菌代谢产生,包括酯类、醇类、醛类以及挥发性脂肪酸类^[6-7],通过多种香气成分的结合,共同表达葡萄酒的基本香气特征^[8]。酯类浓度虽不高,但不同酯类具有协同作用,即使浓度低于阈值也能对酒体的风味产生重要影响^[9]。香气在消费者对葡萄酒的感知、接受度方面起着至关重要的作用^[10]。

格鲁吉亚出土了世界上最早用于葡萄酒发酵及存储的大型陶罐^[11]。此外,在以色列雅夫内的1座酿酒厂遗址中,发现了陶罐使用的痕迹^[12],陶罐在古代酿酒的重要地位因此被证实。微透氧是陶罐的显著特点之一。有研究指出,陶罐微透氧的特性有助于调节酒中的氧气含量,推动酵母以及乳酸菌的生长繁殖及代谢活动,进而影响葡萄酒整体的风味与复杂性^[13],同时陶罐内发酵产生大量酯类化合物(如乙酸乙酯和己酸乙酯),能够赋予葡萄酒果香、花香的特征^[14]。陈酿阶段微量的氧气能够促进酚类化合物的氧化及聚合反应,加强酒体的复杂性,提升口感^[15]。此外,陶罐中的钙、镁、铁等多种矿物质,在发酵、陈酿的过程中,可能与葡萄酒中的有机化合物形成复杂的络合物,增强葡萄酒的结构感^[16]。例如,铁离子能够促进花青素的聚合,进而增强葡萄酒颜色的稳定性^[15]。

宁夏贺兰山东麓葡萄酒产区位于北纬37°~39°,其地理位置及气候条件利于葡萄的生长、成熟及品质的形成。本研究以该地区的赤霞珠葡萄为研究对象,采用陶罐与不锈钢罐两种容器进行发酵处理,探究陶罐发酵对葡萄酒的基本理化、感官及风味指标的影响,为陶罐在我国葡萄酒领域

收稿日期: 2025-02-10

基金项目:宁夏回族自治区重点研发计划项目(2023BCF01028, 2023BCF01029);宁夏回族自治区重点研发计划“揭榜挂帅”项目(2022BBF01003)

第一作者: 翟茹,女,硕士生

通信作者: 潘琳 E-mail: panlin@nxu.edu.cn

的应用提供一定的数据参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

赤霞珠(Cabernet Sauvignon)葡萄,2023年采自贺兰山东麓金山葡萄试验区(N38°71',E106°07')。总糖:248.98 g/L;总酸:6.22 g/L(以酒石酸计);pH值:4.04。该葡萄采用有机种植,未使用化学外源物质,保持果园微生物生态系统。

陶罐,重庆市荣昌区澄景陶瓷有限公司,透氧率 24 cm³/d,体积 1 m³。

2-甲基-3-庚酮(色谱纯级),上海迈瑞尔生化科技有限公司;甲醇、乙腈(色谱纯级),德国 Merck KGaA 公司;甲酸(色谱纯级)、苹果酸、酒石酸、乳酸、没食子酸、丙酮酸、草莽酸、琥珀酸、肉桂酸等标准品(纯度>99%),美国 Sigma-Aldrich 公司。

1.2 仪器与设备

QTRAP 6500+超高效液相色谱串联质谱【配有电喷雾离子源(ESI)及 Analyst 1.6.3、MultiQuant 3.0.3 数据处理系统】,美国 SCIEX 公司;气相色谱-质谱联用仪(配有电子轰击离子源 EI),美国 Thermo Fisher Scientific 公司;PEN3 型电子鼻,德国 AIRSENSE 公司;5424R 离心机,德国 Eppendorf 公司。

1.3 方法

1.3.1 葡萄酒酿造及样品采集 葡萄果实经过粒选、除梗、破碎后,分别放入陶罐与不锈钢罐各 1 m³,4~6 °C 浸渍 48 h 后,25 °C 自然启动酒精发酵,不额外添加 SO₂ 与有机酸,每日早、晚监测温度及比重变化,早、晚倒罐 15~20 min。当比重达到 0.990~0.992 时,发酵结束,皮渣分离后得到葡萄酒。试验设立 3 个重复。

试验设立陶罐发酵组(EFP 组)、不锈钢罐发酵组(EFS 组),分别在发酵前(葡萄汁,GR 时期)与酒精发酵结束时取样,-80 °C 保存待测。

1.3.2 基本理化指标测定 根据国家标准《葡萄酒、果酒通用分析方法》(GB 15038—2006)测定葡萄酒中还原糖、总酸、乙醇、SO₂ 以及挥发酸含量,并使用 pH 计测量 pH 值。

1.3.3 电子鼻分析 参考乃国丫等^[7]的方法,取 10 mL 酒样于离心管,保鲜膜封口,微振荡后使用

顶空吸气法,室温 20 °C 测量,每个样品平行 3 次试验。传感器性能见表 1。

表 1 电子鼻传感器性能

传感器名称	传感物质
W1C	芳香类化合物
W5S	氮氧化合物
W3C	芳香胺类化合物
W6S	主要对氢气有选择性
W5C	短链烷烃类芳香化合物
W1S	甲烷等短链烷烃化合物
W1W	无机硫化物
W2S	醇醚醛酮类芳香化合物
W2W	芳香类物质、有机硫化物
W3S	长链烷烃类化合物

1.3.4 有机酸测定 取 2 mL 酒样加入 0.5 mL 70% 甲醇水提取液,涡旋 5 min,4 °C,12 000 r/min 离心 10 min,取上清液于-20 °C 静置 30 min,4 °C,12 000 r/min 离心 10 min,取上清液过蛋白沉淀板后,于-20 °C 保存待测。

色谱条件:色谱柱:ACQUITY HSS T3 柱(1.8 μm,100 mm×2.1 mm);流动相 A 为超纯水(0.05% 甲酸),B 相为乙腈(0.05% 甲酸);梯度洗脱程序:0 min A/B 为 95:5 (V/V),8~9.5 min A/B 为 5:95 (V/V),9.6~12 min A/B 为 95:5 (V/V);流速 0.35 mL/min,柱温 40 °C,进样量 2 μL。

质谱条件:电离子喷雾温度 550 °C,正离子模式下质谱电压 5 500 V,负离子模式下质谱电压-4 500 V,气帘气(Curtain gas,CUR)35 psi。

定性分析:基于标准品构建 MWDB(Metware database)数据库。

定量分析:峰面积外标定量法。

1.3.5 挥发性香气成分测定 取 2 mL 样本于顶空瓶中,加入 1 g NaCl 和 500 ng 内标 2-甲基-3-庚酮。

色谱条件:色谱柱:DB-wax(30 m×0.25 mm×0.25 μm);升温程序:初始温度 50 °C 保持 4 min,以 5 °C/min 升至 230 °C,保持 5 min;载气(He)流速 1.0 mL/min;分流比 10:1。

质谱条件:电子电离源;电子能量 70 eV;传输

线温度 230 ℃; 离子源温度 230 ℃; 母离子 m/z 285; 激活电压 1.5 V; 质量扫描范围 m/z 33~550。

定性分析: 通过 NIST 2017 谱库鉴定香气化合物。

定量分析: 使用 2-甲基-3-庚酮作为内标进行半定量分析。

1.3.6 感官评价 挑选已培训上岗的食品专业研究生 10 名(男、女各 5 名), 应用一种基于共识的描述性方法^[18], 从外观(净度和颜色)、香气(强度、优雅与精致度、复杂与延展性)、味道(结构的平衡、醇厚、单宁的质地和涩味、复杂性、余味)和整体判断 4 个方面进行葡萄酒的感官分析。

1.4 数据处理

所有数据均平行测量 3 次, 使用 Origin 2024b 对数据进行方差分析(ANOVA), 同时结合

SIMCA 软件 V14.1 进行正交偏最小二乘法分析, 并绘制主成分图及聚类热图等。

2 结果与分析

2.1 基本理化指标分析

各组葡萄酒基本理化指标如表 2 所示。结果表明, EFP、EFS 组葡萄酒均符合国家标准《葡萄酒、果酒通用分析方法》(GB 15038—2006), 酒精度并无显著差异, 且两种容器均适合赤霞珠干红葡萄酒的发酵。其中 EFP 组的 pH 值显著高于 EFS 组($P<0.05$)。在酒精发酵过程中, 酵母产生的弱酸和酒石酸盐沉淀之间的平衡是 pH 值变化的原因^[9], 这可能由于陶罐中金属离子的溶出, 改变了酒石酸在酒体中的电离平衡, 导致葡萄酒的 pH 值升高^[16]。

表 2 不同发酵罐处理下赤霞珠葡萄酒基本理化参数

Table 2 Basic physical and chemical parameters of Cabernet Sauvignon wine under different fermentation tank treatments

组别	酒精度/% vol	残糖/(g/L)	总酸/(g/L)	pH	挥发酸/(g/L)	SO ₂ /(mg/L)
EFP 组	13.79 ± 0.24 ^a	2.07 ± 0.08 ^a	5.58 ± 0.19 ^a	4.06 ± 0.06 ^a	0.46 ± 0.10 ^a	16.35 ± 0.35 ^a
EFS 组	13.55 ± 0.17 ^a	2.26 ± 0.05 ^a	5.49 ± 0.20 ^a	3.86 ± 0.09 ^b	0.37 ± 0.11 ^a	15.45 ± 0.24 ^a

注: 同列不同小写字母表示具有显著差异, $P<0.05$ 。

2.2 电子鼻分析

对 EFP、EFS 组的酒样进行电子鼻分析, 结果如图 1 所示。电子鼻可对酒样整体轮廓进行分析描述。两组的雷达轮廓大致相同, 且响应值较大的传感器依次为 W5S、W2S、W1S、W1W, 可知酒样的主体挥发性风味物质以氮氧化合物、醇醚醛酮类、甲烷等短链烷烃类以及无机硫化物为主; 而 W3S、W6S 传感器对应的长链烷烃类以及氢气含量极低。虽然两组电子鼻传感器响应轮廓大致相同, 但部分响应值也存在差别, EFP 组的 W2S、W1S 与 W1W 传感器的响应值均高于 EFS 组。两组葡萄酒挥发性风味物质的具体差异需要进一步经 GC-MS 确认。

2.3 有机酸测定

有机酸作为葡萄酒骨架之一, 对改善葡萄酒化学成分与感官特性, 提高理化稳定性具有重要影响^[20]。由表 3 可知, GR 时期总有机酸含量显著高于 2 个发酵组($P<0.05$), 可见在酒精发酵过程

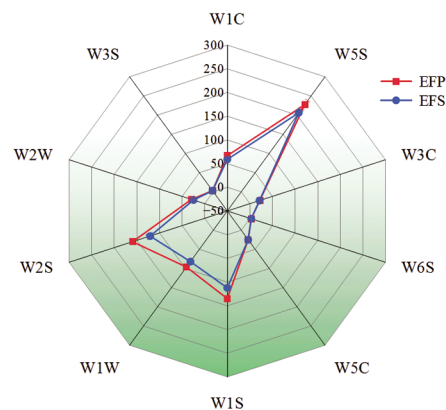


图 1 不同发酵罐处理下赤霞珠葡萄酒的电子鼻雷达图

Fig.1 Electronic nose radar images of Cabernet Sauvignon wine under different fermentation tank treatments

中, 有机酸含量整体呈下降趋势。EFP、EFS 两组葡萄酒均含 9 种有机酸, 且 EFP 组有总机酸含量显著高于 EFS 组($P<0.05$), 约为 EFS 组的 1.5 倍, 表明相较于不锈钢罐, 陶罐发酵的葡萄酒的有机酸含量更高。

其中,*L*-苹果酸含量在 GR 时期与 EFP、EFS 组中无显著差异;GR 时期酒石酸含量显著高于 2 个发酵组($P<0.05$),因此酒石酸在发酵过程中呈下降趋势,也印证了 *L*-苹果酸与酒石酸主要来源于葡萄果实中^[21],同时 EFP 组的酒石酸含量显著低于 EFS 组($P<0.05$),这与 Gil 等^[19]结果一致,也与上文提到 pH 值变化的原因相互印证。GR 时期乳酸与莽草酸含量均为 0,因为乳酸与莽草酸主要来源于发酵过程中^[20,22];EFP 组的乳酸、没食子酸、莽草酸含量显著高于 EFS 组($P<0.05$),可能由于陶罐中发酵的葡萄酒更有利于乳酸、莽草酸以及没食子酸的积累。

值得注意的是,赤霞珠经陶罐和不锈钢罐发

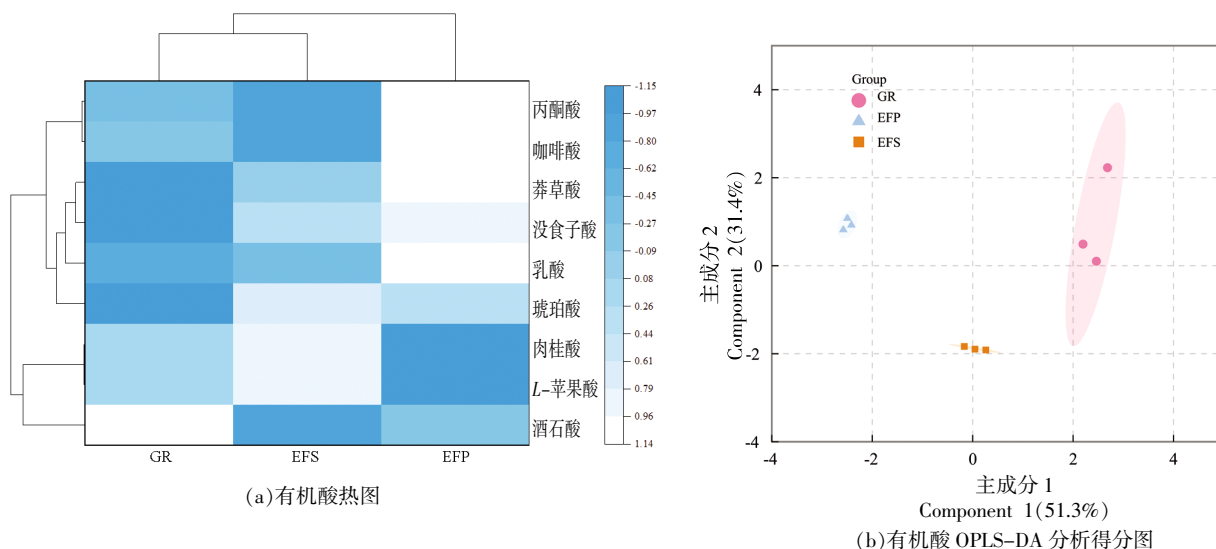
酵后,咖啡酸和肉桂酸的含量表现出显著差异($P<0.05$)。具体而言,EFP 组中咖啡酸含量显著上升,而在 EFS 组中则有所下降;相反,肉桂酸在 EFS 组中的含量明显增加,而在 EFP 组中降至 0。咖啡酸与肉桂酸虽均显示出显著的抗氧化活性,但咖啡酸能够与花青素结合形成稳定的复合物^[23],从而增强其颜色稳定性,延长酒体的色泽寿命^[24]。陶罐可能更利于咖啡酸的积累,而不锈钢罐对于肉桂酸的积累有促进作用。由图 2a 聚类热图显示,样品可划分为 3 类;图 2b 显示 3 个样本空间位置明显分开,存在显著差异,样本量充足;根据各物质的 VIP 值,莽草酸、没食子酸、乳酸、琥珀酸为贡献较大的 4 类物质(VIP 值>1,图 2c)。

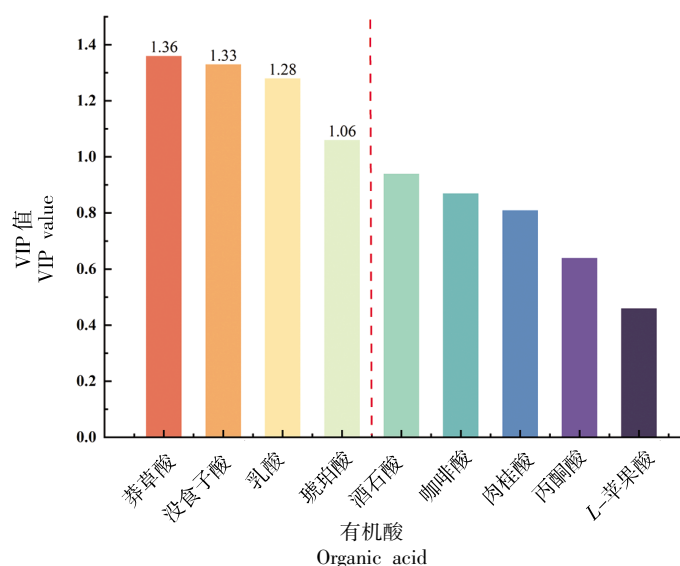
表 3 不同发酵罐处理下赤霞珠葡萄酒的有机酸含量

Table 3 Organic acid content of Cabernet Sauvignon wine under different fermentation tank treatments

有机酸种类	EFS 组含量/(ng/mL)	EFP 组含量/(ng/mL)	GR 时期含量/(ng/mL)
<i>L</i> -苹果酸	34 496.00 ± 2 548.00 ^a	31 395.00 ± 945.00 ^a	33 486.79 ± 329.57 ^a
酒石酸	25 711.00 ± 3 383.30 ^c	58 332.00 ± 8 549.10 ^b	136 798.00 ± 5 016.7 ^a
乳酸	3 849.21 ± 265.72 ^b	19 732.89 ± 753.30 ^a	0.00 ^c
没食子酸	637.41 ± 19.53 ^b	815.16 ± 25.94 ^a	200.84 ± 4.95 ^c
丙酮酸	312.18 ± 17.40 ^a	324.70 ± 22.05 ^a	315.63 ± 5.38 ^a
琥珀酸	24 621.63 ± 130.50 ^a	20 633.89 ± 480.55 ^b	963.84 ± 29.20 ^c
莽草酸	139.55 ± 1.10 ^b	269.64 ± 2.25 ^a	0.00 ^c
咖啡酸	14.81 ± 1.69 ^c	336.28 ± 1.42 ^a	125.60 ± 2.68 ^b
肉桂酸	0.41 ± 0.04 ^a	0.00 ^c	0.27 ± 0.03 ^b
总有机酸含量	62 315.87 ± 1 514.35 ^c	92 425.90 ± 7 465.28 ^b	161 832.00 ± 4 722.33 ^a

注:同行不同小写字母表示具有显著差异, $P<0.05$ 。





(c)有机酸 OPLS-DA 分析 VIP 得分图

图 2 不同发酵罐处理下赤霞珠葡萄酒有机酸多元统计分析

Fig.2 Multivariate statistical analysis of organic acids in Cabernet Sauvignon wine under different fermentation tank treatments

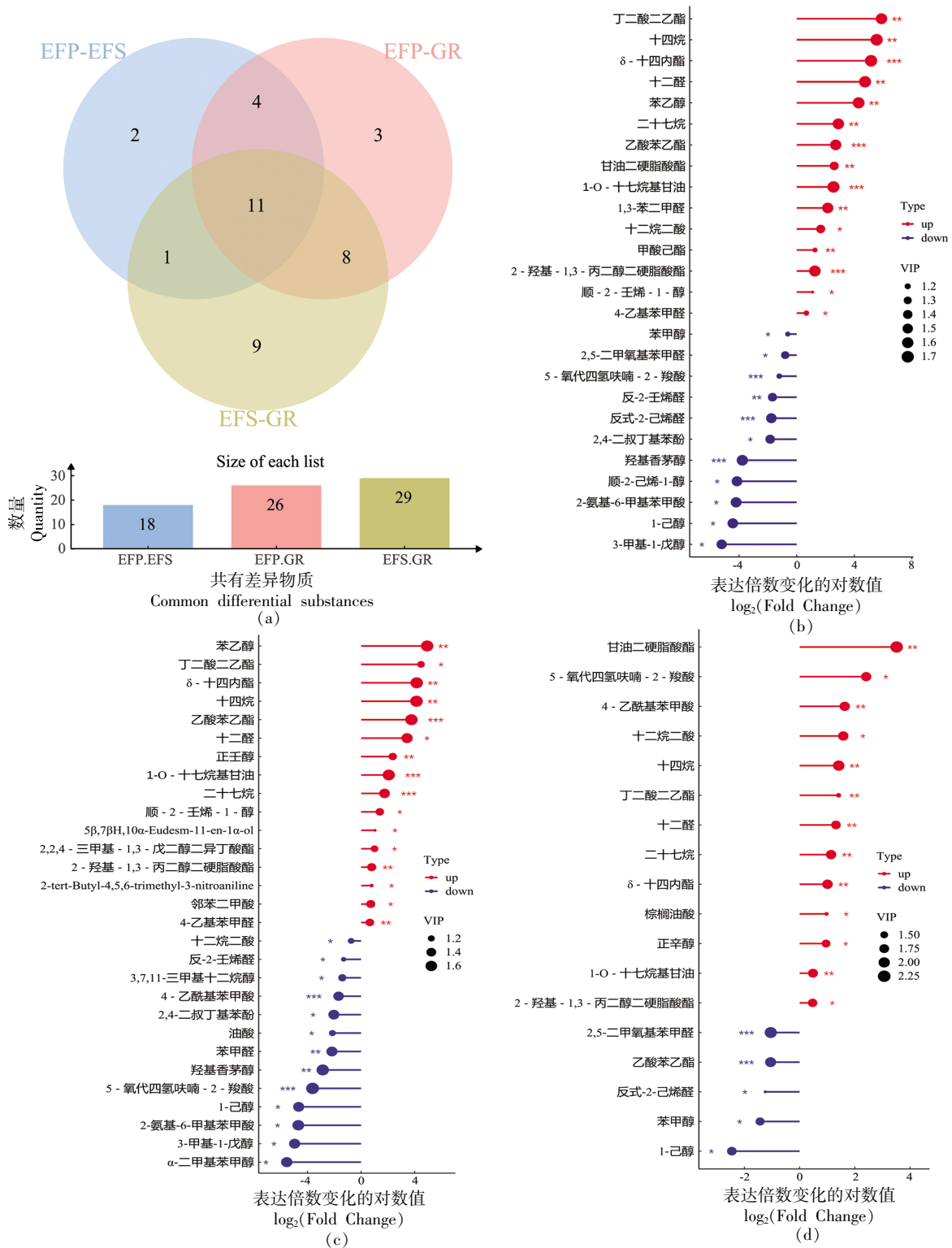
2.4 挥发性风味化合物分析

GR 时期、EFP、EFS 组共检测到 57 种挥发性香气成分,包括酯类(8 种)、醇类(13 种)、酸类(14 种)、醛类(7 种)、酮类(1 种)、萜烯类(1 种)、醌类(1 种)、酚类(1 种)、烷烃类(6 种)和其它(5 种)。对以上差异风味物质进行筛选 (VIP 值>1, $P<0.05$), 结果如图 3a 所示,3 组中共有差异物质分别为 δ -十四内酯、乙酸苯乙酯、1-己醇、丁二酸二乙酯、1-*O*-十七烷基甘油、2-羟基-1,3-丙二醇二硬脂酸酯、5-氧代四氢呋喃-2-羧酸、十二醛、十二烷二酸、二十七烷、十四烷。结果表明,赤霞珠在酒精发酵过程中,酯类香气、甘油衍生物具有显著变化。

EFP、EFS 组发酵过程中,差异代谢物 VIP-FC 值结果如图 3b 和 3c 所示,EFP、EFS 组酒精发酵结束时的葡萄酒挥发性香气呈现一定的规律性,其中苯乙醇、乙酸苯乙酯、 δ -十四内酯等贡献花果香、玫瑰香、甜香^[25]的化合物浓度均出现不同程度增加,而 1-己醇、羟基香茅醇、2-氨基-6-甲基苯甲酸、3-甲基-1-戊醇等贡献青草味、辛辣或生青味^[26]的化合物浓度有所下降。显著性差异分析结果表明,EFP 组的十二烷二酸含量显著高于 GR

组($P<0.05$),而 EFS 组则显著低于 GR 组($P<0.05$),这可能是陶罐的微孔结构,增加了酒体中的溶解氧含量,而适当浓度的氧能够影响中链脂肪酸、支链脂肪酸的形成^[27]。EFS 组正壬醇含量极显著高于 GR 组($P<0.01$),主要表现为特殊的水果、蔷薇香^[26]。

EFP 组与 EFS 组差异代谢物 VIP-FC 值结果如图 3d 所示,EFP 组整体差异风味物质高于 EFS 组。其中,贡献率最高的为甘油二硬脂酸酯,属于甘油衍生物。EFP 组中酸类化合物(十二烷二酸、4-乙酰基苯甲酸及 5-氧代四氢呋喃-2-羧酸)的含量均显著高于 EFS 组($P<0.05$);酯类(δ -十四内酯、丁二酸二乙酯)的含量极显著高于 EFS 组($P<0.01$),而内酯通常为香气提供积极影响,贡献椰子、桃、焦糖等香气特征^[28],丁二酸二乙酯也主要贡献葡萄香气、瓜果香^[29];同时正辛醇(茉莉味、柠檬味^[26])含量也显著($P<0.05$)高于 EFS 组。EFS 组的乙酸苯乙酯(玫瑰、热带水果、蜂蜜的香气^[30])含量极显著($P<0.01$)高于 EFP 组;苯甲醇(烘烤香、果香^[31])、1-己醇(生青味、果香^[32])含量也显著($P<0.05$)高于 EFP 组。结果表明,EFP 组中十二烷二酸、4-乙酰基苯甲酸、5-氧代四氢呋喃-2-羧酸、



注: (a) 差异风味物质 Venn 图; (b) EFP 组对 GR 组 VIP-FC 值棒棒糖图; (c) EFS 组对 GR 组 VIP-FC 值棒棒糖图; (d) EFP 组对 EFS 组 VIP-FC 值棒棒糖图。图 b、c、d 中线段长度代表 \log_2FCI (Fold Change) 大小, 圆圈大小表示 VIP 值大小。“*”表示具有显著差异 ($P < 0.05$), “**”表示具有极显著差异 ($P < 0.01$), “***”表示具有高度极显著差异 ($P < 0.001$)。

图 3 不同发酵罐处理下赤霞珠葡萄酒风味物质多元统计分析

Fig.3 Multivariate statistical analysis of flavor substances in Cabernet Sauvignon wine under different fermentation tank treatments

甘油二硬脂酸酯、 δ -十四内酯、丁二酸二乙酯以及EFS组中乙酸苯乙酯、苯甲醇、1-己醇可作为区分陶罐与不锈钢罐发酵葡萄酒的特征风味物质。

2.5 感官评价

为评估不同发酵罐对赤霞珠葡萄酒品质的影响,从净度和颜色、香气强度、优雅与精致度、复杂与延伸性、结构的平衡、醇厚、单宁的质地和涩味、复杂性、余味和整体判断等方面进行葡萄酒感官分析。由图4可知,陶罐与不锈钢罐发酵的赤霞珠葡萄酒,其净度与颜色和综合品质相差无几。采用陶罐发酵的葡萄酒,在单宁特性(质地及涩度)、口感复杂度以及余味持久性等方面具有优势,风味更为浓郁饱满,香气强度方面也更有特色,然而在醇厚感方面低于不锈钢罐发酵的葡萄酒。

3 结论

本研究对陶罐处理下赤霞珠葡萄酒的基础理化指标、电子鼻、有机酸、挥发性风味物质及感官评价进行评估。结果显示,EFP组的pH值显著高于EFS组。电子鼻传感器的响应值显示,EFP组的醇醚醛酮类、甲烷等短链烷烃类以及无机硫化化合物的响应值高于EFS组。对于葡萄酒中的有机酸而言,EFP组有机酸总量显著高于EFS组,且EFP组在发酵过程中,咖啡酸含量显著增加,肉桂酸含量显著降低,EFS组则呈相反趋势。另外,赤霞珠葡萄在发酵过程中,呈现花果香、甜香的化合物浓度显著增加,贡献青草味以及生青味的化合物浓度出现不同程度的下降。

此外,EFP组中十二烷二酸、4-乙酰基苯甲酸、5-氧代四氢呋喃-2-羧酸、甘油二硬脂酸酯、 δ -十四内酯、丁二酸二乙酯可作为区分EFS组的特征风味物质,而EFS组中乙酸苯乙酯、苯甲醇、1-己醇显著高于EFP组。两种发酵罐处理下的葡萄酒感官综合品质虽然相差无几,但是EFP组的口感更具复杂性与层次感,其香味强度也更有优势,EFS组的醇厚感更佳。

综上,本研究分析了陶罐与不锈钢罐发酵赤霞珠干红葡萄酒产生的不同风味物质对其品质的影响,为未来陶罐的酿酒实践提供了数据支撑。后续研究还应该从陶罐特性出发,结合微生物群落演替特征,深入研究挥发性风味物质形成机理。

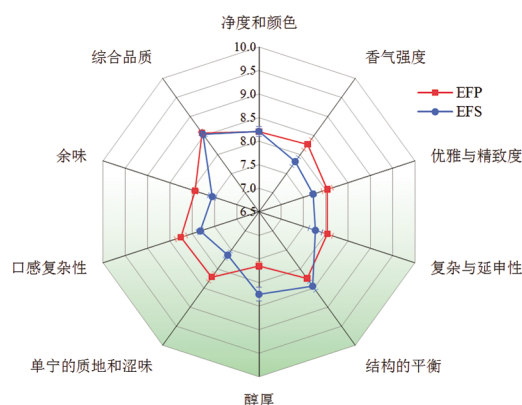


图4 不同发酵罐处理下赤霞珠葡萄酒感官评价雷达图

Fig.4 Radar chart of sensory evaluation of Cabernet Sauvignon wine under different fermentation tank treatments

参 考 文 献

- [1] 王征, 杨慧, 张众, 等. 自然发酵对“赤霞珠”葡萄酒香气物质及理化性质的影响[J]. 中国食品学报, 2024, 24(12): 372-386.
WANG Z, YANG H, ZHANG Z, et al. Effects of natural fermentation of Cabernet Sauvignon wine on aroma component and physicochemical properties[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2024, 24(12): 372-386.
- [2] BELDA I, RUIZ J, ESTEBAN-FERNANDEZ A, et al. Microbial contribution to wine aroma and its intended use for wine quality improvement[J]. Molecules, 2017, 22(2): 189.
- [3] 李凯, 商佳胤, 黄建全, 等. 应用顶空固相微萃取-气相色谱质谱技术分析不同商业酿酒酵母对玫瑰香葡萄酒香气成分的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(10): 212-219.
LI K, SHANG J Y, HUANG J Q, et al. Using HS-SPME-GC-MS to analyze the influence of different commercial *Saccharomyces cerevisiae* on aroma components in Muscat Hamburg wine[J]. Food and Fermentation Industries, 2017, 43(10): 212-219.
- [4] 李叶凤, 王圣仪, 谭丹, 等. 基于挥发性成分分析的葡萄酒产地及品种鉴别研究进展[J]. 食品科学, 2022, 43(13): 309-318.
LI Y F, WANG S Y, TAN D, et al. Progress in the identification of the geographical origin and vari-

- ety of wine based on analysis of volatile compounds [J]. *Food Science*, 2022, 43(13): 309–318.
- [5] CHAMBERS E, KOPPEL K. Associations of volatile compounds with sensory aroma and flavor: The complex nature of flavor [J]. *Molecules*, 2013, 18(5): 4887–4905.
- [6] TARKO T, DUDA A. Volatilomics of fruit wines [J]. *Molecules*, 2024, 29(11): 2479
- [7] 祝霞, 刘琦, 赵丹丹, 等. 酿造条件对酿酒酵母发酵香气的影响 [J]. *食品科学*, 2019, 40(16): 115–123.
- ZHU X, LIU Q, ZHAO D D, et al. Effect of different winemaking conditions on fermentation aroma production by *Saccharomyces cerevisiae* [J]. *Food Science*, 2019, 40(16): 115–123.
- [8] 李伟, 张众, 王礼, 等. 贺兰山东麓‘美乐’自然发酵干红葡萄酒品质特性 [J]. *食品科学*, 2022, 43(8): 204–212.
- LI W, ZHANG Z, WANG L, et al. Quality characteristics of natural ‘Merlot’ dry red wine from eastern foothill of helan mountain [J]. *Food Science*, 2022, 43(8): 204–212.
- [9] SUMBY K M, GRBIN P R, JIRANEK V. Microbial modulation of aromatic esters in wine: Current knowledge and future prospects [J]. *Food Chemistry*, 2010, 121(1): 1–16.
- [10] LI N, LI G Y, GUAN X, et al. Volatile aroma compound-based decoding and prediction of sweet berry aromas in dry red wine [J]. *Food Chemistry*, 2025, 463(Pt 2): 141248.
- [11] MCGOVERN P, JALABADZE M, BATIUK S, et al. Early Neolithic wine of Georgia in the South Caucasus [J]. *Proceedings of The National Academy of Sciences of The United States of America*, 2017, 114(48): E10309–E10318.
- [12] ZILBERSTEIN G, ZILBERSTEIN S, RIGHETTI P G. Holy grail possibly made from clay [J]. *Electrophoresis*, 2024, 45(15/16): 1443–1449.
- [13] NEVARES I, ALAMO-SANZA M D. Characterization of the oxygen transmission rate of new-ancient natural materials for wine maturation containers [J]. *Foods*, 2021, 10(1): 140
- [14] UBEDA C, PENA-NEIRA A, GIL I C M. Combined effects of the vessel type and bottle closure during Chilean Sauvignon Blanc wine storage over its volatile profile [J]. *Food Research International*, 2022, 156: 111178.
- [15] DADAKOVA K, JURASOVA L, KASPAROVSKY T, et al. Origin of wine lignans [J]. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2021, 76(4): 472–477.
- [16] GIL I C M, UBEDA C, COVARRUBIAS J I, et al. Chemical and physical implications of the use of alternative vessels to oak barrels during the production of white wines [J]. *Molecules*, 2021, 26(3): 554.
- [17] 乃国丫, 张惠玲, 岳洋洋, 等. 基于电子鼻和 HS-SPME-GC-MS 技术分析陈酿容器对葡萄酒品质的影响 [J]. *安徽农业大学学报*, 2024, 51(1): 152–158.
- NAI G Y, ZHANG H L, YUE Y Y, et al. Influences of different aging containers on the wine quality analyzed by electronic nose and HS-SPME-GC-MS [J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2024, 51(1): 152–158.
- [18] LU H C, TIAN M B, HAN X, et al. Vineyard soil heterogeneity and harvest date affect volatilomics and sensory attributes of Cabernet Sauvignon wines on a meso-terroir scale [J]. *Food Research International*, 2023, 174: 113508.
- [19] GIL I CORTIELLA M, ÚBEDA C, COVARRUBIAS J I, et al. Chemical, physical, and sensory attributes of Sauvignon blanc wine fermented in different kinds of vessels [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2020, 66: 102521.
- [20] GARCIA-VINOLA V, RUIZ-DE-VILLA C, GOMBAU J, et al. Simultaneous analysis of organic acids, glycerol and phenolic acids in wines using gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Foods*, 2024, 13(2): 186.
- [21] TIAN M B, HU R Q, LIU Z L, et al. The pH adjustment of *Vitis amurensis* dry red wine revealed the evolution of organic acids, volatilomics, and sensory quality during winemaking [J]. *Food Chemistry*, 2024, 436: 137730.
- [22] DING Y T, WANG L, GAO Y J, et al. Microbial succession during spontaneous fermentation of Ecolly grapes and their important contribution to flavor metabolites [J]. *Food Bioscience*, 2024, 62: 105149.
- [23] DARIAS-MARTIN J, MARTIN-LUIS B, CARRILLO-LOPEZ M, et al. Effect of caffeic acid on the color of red wine [J]. *Journal of Agricultural and*

- Food Chemistry, 2002, 50(7): 2062–2067.
- [24] XUE Z D, ZHANG Q A, WANG T T. Co-pigmentation of caffeic acid and catechin on wine color and the effect of ultrasound in model wine solutions [J]. Journal of AOAC International, 2021, 104(6): 1703–1709.
- [25] 李冠宇, 王瑶, 尹荐, 等. 鲜食葡萄白兰地蒸馏过程中主要发酵香气物质馏出动力学研究[J]. 食品科学技术学报, 2024, 42(3): 49–57.
- LI G Y, WANG Y, YIN J, et al. Research on distillation kinetics of major fermentative aroma compounds during distillation of table grape brandy [J]. Journal of Food Science and Technology, 2024, 42(3): 49–57.
- [26] 浩楠, 马腾臻, 强文乐. 小片球菌苹果酸-乳酸发酵对不同品种葡萄酒风味的影响[J]. 中国食品学报, 2024, 24(4): 186–198.
- HAO N, MA T Z, QIANG W L. Effect of malolactic fermentation by *Pediococcus parvulus* on the aroma of different wine varieties[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2024, 24(4): 186–198.
- [27] TARKO T, DUDA-CHODAK A, SROKA P, et al. The impact of oxygen at various stages of vinification on the chemical composition and the antioxidant and sensory properties of white and red wines[J]. International Journal of Food Science, 2020, 2020: 7902974.
- [28] QIAN X, LAN Y B, HAN S, et al. Comprehensive investigation of lactones and furanones in icewines and dry wines using gas chromatography-triple quadrupole mass spectrometry[J]. Food Research International, 2020, 137: 109650.
- [29] 夏鸿川, 张众, 孙丽君, 等. 混菌发酵对贺兰山东麓‘赤霞珠’干红葡萄酒香气的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(14): 165–175.
- XIA H C, ZHANG Z, SUN L J, et al. Effect of mixed culture fermentations on the aroma compounds of ‘Cabernet Sauvignon’ dry red wine produced in the eastern foothill of Helan mountain[J]. Food Science, 2022, 43(14): 165–175.
- [30] 杨柳, 徐彬艳, 石琳, 等. 共接种发酵对模拟葡萄汁发酵香气物质的影响[J]. 中国食品学报, 2024, 24(8): 279–290.
- YANG L, XU B Y, SHI L, et al. Effects of co-inoculated fermentation on fermentation aroma of simulated grape juice[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2024, 24(8): 279–290.
- [31] 陈学莲, 藏伟, 刘宇, 等. 生物动力种植模式对‘赤霞珠’葡萄酒酵母菌群和香气成分的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(20): 136–145.
- CHEN X L, CANG W, LIU Y, et al. Effects of biodynamic vineyard management on yeast community and aroma components in ‘Cabernet Sauvignon’ wine[J]. Food Science, 2023, 44(20): 136–145.
- [32] 易子程, 常腾文, 司慧宁, 等. 本土非酿酒酵母对混合发酵威代尔冰酒风味及品质影响的比较分析[J/OL]. 食品与发酵工业: 1–16. (2024–08–29)[2025–02–09]. <https://link.cnki.net/doi/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.039966>.
- YI Z C, CHANG T W, SI H N, et al. Comparative analysis of impact of local non-*Saccharomyces yeasts* on flavor and quality of mixed-fermented Vidal ice wine[J/OL]. Food and Fermentation Industries: 1–16. (2024–08–29)[2025–02–09]. <https://link.cnki.net/doi/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.039966>.

Effects of Fermentation Containers on Volatile Flavor of Cabernet Sauvignon Wine during Natural Fermentation

ZHAI Ru^{1,2}, JI Quan^{1,2}, HUO Longxuan^{1,2}, QIAO Chen^{1,2}, YANG Fan^{1,2}, LI Fuqi^{1,2}, WANG Lan¹, PAN Lin^{1,2*}

(¹College of Food Science and Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021

²Ningxia Key Laboratory of Food Microorganism Application Technology and Safety Control, Yinchuan 750021)

Abstract Objectives: The effects of clay jars and stainless steel jars on the flavor substances and quality of dry red wine during fermentation in the eastern foot of Helan Mountain in Ningxia were investigated. Methods: The Cabernet Sauvignon grape was used as the experimental material, and the alcohol fermentation was carried out in clay jar and

stainless steel jar. The content of 9 kinds of organic acids in wine before and after alcohol fermentation was analyzed by liquid chromatography. The distribution of volatile aroma substances in wine before fermentation and at the end of alcoholic fermentation was analyzed by electronic nose combined with headspace solid phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry. Results: The total amount of organic acids showed a downward trend during the fermentation process, and the concentration of compounds with floral, fruity and sweet aromas increased significantly ($P < 0.05$), and the concentration of compounds contributing to grassy and green aromas decreased to varying degrees. Compared with stainless steel jar fermentation, the total amount of organic acids in ceramic jar fermentation wine was higher (92 425.90 ng/mL), and the corresponding sensor response values of short-chain alkanes such as alcohol ether aldehyde ketones, methane and inorganic sulfur compounds were higher. Dodecanedioic acid, 4-acetylbenzoic acid, 5-oxotetrahydrofuran-2-carboxylic acid, glycerol distearic acid ester, δ -tetradecalactone, diethyl succinate in clay jar fermented wine, and phenylethyl acetate, benzyl alcohol, 1-hexanol in stainless steel jar fermented wine are the characteristic flavor substances that distinguish the two fermentation jars. The results of sensory evaluation showed that the taste of pot-fermented wine was more complex and layered, and its aroma intensity was also more advantageous. The mellowness of stainless steel jar fermented wine was better. Conclusions: Clay jar fermentation can enhance the floral and fruity, sweet volatile flavor of Cabernet Sauvignon wine, and increase the complexity and layering of the taste. The wine fermented in stainless steel cans has honey aroma and roast aroma, and the mellow taste is better.

Keywords naturally fermented wine; clay jars; volatile flavor compounds; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); electronic nose