吴汝梅, 陈英杰, 张婉雪儿, 等. 新疆不同葡萄酿造慕萨莱思的风味分析 [J]. 食品工业科技, 2026, 47(18): 274−283. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025040367

WU Rumei, CHEN Yingjie, ZHANG Wanxue'er, et al. Flavor Analysis of Musalais Wine Brewing with Different Grapes in Xinjiang[J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(18): 274−283. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025040367

· 现代分析与智能检测 ·

新疆不同葡萄酿造慕萨莱思的风味分析

吴汝梅, 陈英杰, 张婉雪儿, 方　心, 白鹤翔, 贺　婧, 简东民, 陈其玲, 杨兴元*

（新疆农业大学食品科学与药学学院, 新疆乌鲁木齐 830052）

摘　要: 为探究不同葡萄原料酿造慕萨莱思风味特征，以‘和田红’（HTH）、‘红地球’（HDQ）及‘木纳格’（MNG）为原料酿造慕萨莱思，利用 SPME-GC×GC-HMS 技术提取分析酒样的挥发性香气成分，结合感官评价分析 3 种慕萨莱思的风味特征。结果表明，3 个品种慕萨莱思共检测到 84 种挥发性香气物质，包括醇类 21 种、酯类 29 种、酸类 10 种、醛类 3 种、酮类 10 种、酚类 5 种及其他类物质 6 种，其中醇类、酯类物质占比较大，MNG 慕萨莱思的醇类占总挥发性香气物质含量的 37.55%、酯类占 50.20%，HTH 慕萨莱思的醇类、酯类占比分别为 40.32%、39.03%；HDQ 慕萨莱思醇类占 32.93%、酯类占 52.36%。结合相对气味活度值共筛选出 11 种关键香气物质，MNG 慕萨莱思主要为丁酸乙酯、乙酸异戊酯、芳樟醇、异戊酸、4-乙基愈创木酚；HTH 慕萨莱思为辛酸乙酯、大马士酮；HDQ 慕萨莱思主要为正己酸乙酯、癸酸乙酯、乙酸苯乙酯。感官评价表明，3 种慕萨莱思的感官特征存在明显差异，HDQ 慕萨莱思口感微甜，具有果香、甜香及轻微焦糖香；MNG 慕萨莱思香气清新，花香和奶香明显，略带焦糖香；HTH 萨莱思醇香和坚果香突出，具有典型慕萨莱思风味。该研究结果探明了原料对慕萨莱思风味的影响，为后续酿造慕萨莱思采用新品种提供了理论基础。

关键词: 葡萄品种, 慕萨莱思, 挥发性香气, 感官特征, 全二维气相色谱-高分辨质谱仪, 主成分分析, ROAV 法

中图分类号: TS261.4　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1002−0306(2026)18−0274−10　　本文网刊:

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2025040367

Flavor Analysis of Musalais Wine Brewing with Different Grapes in Xinjiang

WU Rumei, CHEN Yingjie, ZHANG Wanxue'er, FANG Xin, BAI Hexiang, HE Jing, JIAN Dongmin, CHEN Qiling, YANG Xingyuan*

（College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urmuqi 830052, China）

Abstract: To explore the flavor characteristics of Musalais wine made from different grape varieties, 'Hetian Hong' 'Red Globe' and 'Munage' were selected as raw materials for brewing Musalais. Volatile aroma components in wine samples were extracted and analyzed using SPME-GC×GC-HMS technology, and combined sensory evaluation to analyze the flavor characteristics of three types of Mussalais. The results showed that a total of 84 volatile aromatic compounds were detected in three varieties of Musalais, including 21 types of alcohols, 29 types of esters, 10 types of acids, 3 types of aldehydes, 10 types of ketones, 5 types of phenols, and 6 other types of substances. Among them, alcohols and esters accounted for a relatively large proportion. The alcohol content of MNG Musalais accounted for 37.55% of the total volatile aromatic substances, ester content accounts for 50.20%. The alcohol and ester contents of HTH Musalais were 40.32% and 39.03%. HDQ Musalais contained 32.93% alcohol and 52.36% esters. Combining relative odor activity values, 11 key aromatic compounds were screened out, the main aromatic compounds in MNG Musalais were ethyl butyrate, isovaleric acid ethyl ester, linalool, isovaleric acid, and 4-ethylguaiacol. The main compounds in the HTH Musalais variety were ethyl caproate

收稿日期: 2025−04−30

基金项目: 自治区重点研发计划项目（2022B02024-2）。

作者简介: 吴汝梅（1999−）, 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 3238778427@qq.com。

*** 通信作者:** 杨兴元（1966−）, 男, 博士, 研究员, 研究方向: 葡萄与葡萄酒工程, E-mail: 402114241@qq.com。

and damascenone, while the main compounds in the HDQ Muscat variety were ethyl hexanoate, ethyl caprylic acid, and ethyl phenylacetate. The sensory characteristics showed that HDQ Musalais was smooth and slightly sweet, with fruity, sweet and slightly caramelized aroma; The MNG Musalais was fresh, with obvious floral and milky aroma and slightly caramelized aroma, and HTH Musalais was prominent in alcoholic and nutty aroma, with typical Musalais flavor. The results of this study show the influence of raw materials on the flavor of Musalais, and provide a theoretical basis for the adoption of new varieties of Musalais in subsequent brewing.

Key words: grape varieties; Musalais; volatile aromatic; sensory features; full two-dimensional gas chromatography-high resolution mass spectrometry (GC×GC-HMS); principal component analysis; ROAV method

葡萄品种是影响葡萄酒品质和口感的因素之一[1]，不同葡萄品种所含的酚类化合物种类和含量不同，这些化合物在葡萄酒酿造过程中会转化为色素、单宁等物质，影响葡萄酒的颜色、口感和风味[2]。香气是决定果酒风格和典型性的关键感官品质，其形成受原料、发酵条件和菌株种类等因素影响[3]。慕萨莱思由于采用自然发酵工艺，其香气成分会因葡萄品种，以及发酵过程中的微生物群落代谢活动而有所不同。‘和田红’葡萄长期以来被公认是酿造慕萨莱思的主要原料；而‘木纳格’和‘红地球’作为新疆地区广泛栽培的优质葡萄品种，虽然具有果实饱满、营养物质丰富、口味甘美等优良特点，但关于以这两种葡萄为原料酿造慕萨莱思的研究仍相对匮乏。

慕萨莱思在酿造原料的选择、生产流程、风味物质等方面与一般葡萄酒存在不同。由于葡萄原料与酿造工艺的差异，形成了独特风格。目前针对慕萨莱思配方工艺、发酵工艺优化、风味物质分析及酿酒酵母筛选等方面已进行了大量研究。张璐等[4]采用电子鼻、电子舌结合 GC-MS 技术对比分析了慕萨莱思与市售葡萄酒的挥发性香气物质。张昱[5]采用电子鼻和 GC-MS 技术研究了慕萨莱思葡萄酒中呈香物质的变化。尽管目前已有研究探讨了不同工艺处理对慕萨莱思挥发性香气的影响，但针对不同原料慕萨莱思风味差异性的研究报道较少。

本试验采用固相微萃取法结合全二维气相色谱-高分辨质谱法技术，对‘木纳格’‘和田红’‘红地球’三种葡萄品种酿造的慕萨莱思酒体中的挥发性香气成分进行测定，并进一步计算其相对香气活性值（Relative Odor Activity Value, ROAV），以评估各化合物对整体风味的贡献程度，通过分析 3 个葡萄品种慕萨莱思香气和感官特征，以期为慕萨莱思挥发性物质的研究奠定一定理论基础。

1　材料与方法

1.1　材料与仪器

‘和田红’（22°Brix, HTH）、‘木纳格’（19.2°Brix, MNG）、‘红地球’（17°Brix, HDQ）　均同一时间采购于新疆乌鲁木齐九鼎市场，用小型货车运输到低温库，并贮藏于 2 ℃ 温度环境下。

BS214D 分析天平　北京赛多利斯仪器系统有限公司；BQT-541 手持糖度仪　禹城市田园信科学仪器有限公司；PHS-3C pH 计　上海仪电科学仪器股份有限公司；气相色谱-四极杆/静电场轨道阱质谱（Orbitrap Exploris GC240）　美国 ThermolFisher 公司；全二维调制器（SSM 1820）　雪景电子科技（上海）有限公司；第一维色谱柱：DB-WAX（30 m×0.25 mm×0.25 μm）、第二维色谱柱 DB-17MS（1.2 m×0.18mm×0.18 μm）　上海安谱科学仪器有限公司；50/30 μm DVB/CAR/PDMS 固相微萃取头　美国 Supelco 公司。

1.2　实验方法

1.2.1　慕萨莱思原酒的制备　慕萨莱思的制备工艺如图 1 所示，葡萄果实经除梗、破碎后，手工压榨并用纱布过滤得到葡萄汁；皮渣按 1.0∶1.5（g∶g）质量比兑水，于 80~85 ℃ 低温熬煮浓缩至糖度（12±1）°Brix，冷却后过滤去除皮渣，所得滤液与葡萄汁混合煮沸浓缩，熬煮期间定期检测糖度；用酒石酸调整浓缩汁的 pH 为 3.7，置于（20±1）℃恒温培养箱中进行自然发酵；当残糖降至（10±1）°Brix 时，通过倒罐分离酒泥，取上清液并添加120 mg/L 偏重亚硫酸钾，同时结合降温（0 ℃）以终止发酵，将酒样置于低温（2 ℃）环境下储存。

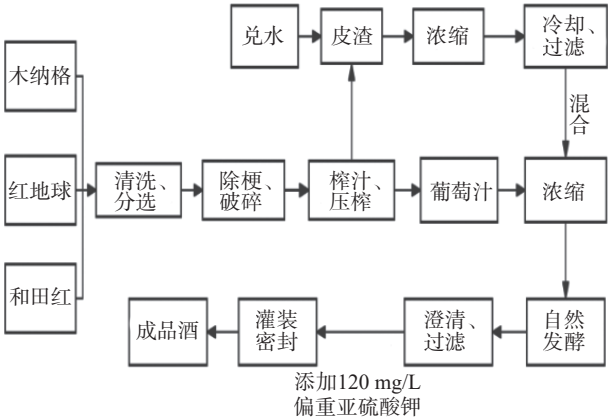


图 1　慕萨莱思制备工艺流程

Fig.1　Production flow of Musalais wine

1.2.2　基础理化指标的测定　酒精度的测定：参照 GB 5009.225-2016《食品安全国家标准 酒中乙醇浓度的测定》[6] 中的方法进行测定；挥发酸、残糖、总酸含量的测定：参照 GB/T 15038-2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》[7] 中的方法进行测定；pH 的测定：采用 pH 计法。以上指标测定重复 3 次。

1.2.3 挥发性香气成分的测定

1.2.3.1 固相微萃取(SPME)前处理条件 在固相微萃取过程中,先准确称取 5 mL 酒样并转移至顶空瓶中,设置萃取温度为 50 ℃,并保持 10 min 以使样品充分平衡。接着,将固相微萃取头插入顶空瓶的气体部分,进行 30 min 的挥发性成分萃取。萃取完成后,将萃取头转移至气相色谱进样口,设置脱附时间为 5 min,同时将针头温度调节至 70 ℃,以确保挥发性成分充分脱附并进入分析系统进行检测。

1.2.3.2 全二维高分辨质谱(GC×GC-HRMS)仪器条件 色谱条件:进样口温度设置为 250 ℃;采用分流进样,分流比为 5∶1;载气流量 1.0 mL/min;传输线温度设定为 245 ℃;起始温度为 40 ℃,保持 5 min,随后以 5 ℃/min 的速率升温至 220 ℃;再以 20 ℃/min 的速率升温至 250 ℃,并保持 7.5 min;采用 HV 调制柱(规格为 1.2 m×0.25 mm),调制周期为 6 s,调制柱的升温程序与气相色谱(GC)同步进行。

质谱分析:电子轰击源(Electron Impact Ion Source, EI),电离能 70 eV;离子源温度为 250 ℃,MS 传输线温度为 290 ℃,采集质量范围 m/z 30~450。

1.2.3.3 定性定量方法 将化合物与美国国家标准技术研究所(national institute of standards and technology, NIST)数据库检索识别时,设置化合物正反匹配度>700,与数据库中的标准保留时间进行比对,确定化合物保留时间,采用相对峰面积法定量,在 Excel 软件上计算香气物质的百分比。

$$\text{相对峰面积}(\%)=\frac{\text{单一组分峰面积}}{\text{全部挥发性组分峰面积之和}}\times 100$$

1.2.3.4 相对气味活度值计算与评价 采用相对气味活度值(ROAV)评价挥发性成分对不同品种葡萄酿造慕萨莱思香气体系的贡献度。ROAV 计算公式如下:

$$ROAV=\frac{C_i}{C_{max}}\times\frac{T_{max}}{T_i}\times 100$$

式中:ROAV 为某一香气组分的相对气味活度值;C_i 为某一香气组分的相对含量,%;C_{max} 为香气体系中贡献最大组分的相对含量,%;T_i 为该组分的香气阈值;T_{max} 为香气体系中贡献最大组分的香气阈值。

1.2.4 感官描述性统计分析 建立感官描述词:由 10 名具有葡萄酒品酒师资格证的成员组成感官品评小组,包括 5 名男性和 5 名女性,然后对每位评价员进行为期 1 周的感官描述分析培训,培训内容包括感官分析基础知识、感官特性的识别及标度的确立和使用等。品评小组通过讨论,合并、删除、整理描述词,从而形成特有的葡萄酒感官描述词汇表[8]。

创建评分标尺[9]:采用数字标度(0~9)为评分标尺,通过数字将感官强度进行量化,表示感官强度从无到卓越的程度,如表 1 所示。

表 1 慕萨莱思的感官评分标准

Table 1 Sensory score scale of Musalais wine

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
无	极弱	弱	微弱	中等偏下	中等	中等偏上	明显	突出	卓越

感官评定:品尝人员依据感官评分尺度表、描述词汇对酒样的外观(颜色、澄清度)、口感(酸度、涩度、圆润度、辛辣感、余味、苦味)和香气(奶香、果香、花香、焦糖香、甜香、青草香、坚果香、醇香)的感官强度进行评定。通过对所得数据进行均一化处理,计算各项特征强度的平均值,并绘制雷达图,直观展示不同葡萄酿造慕萨莱思在口感、香气等方面的感官强度。

1.3 数据处理

采用 Canvas V2.6 处理香气提取数据;采用 Excel 2019 处理数据;SPSS 27.0 软件进行统计分析处理;使用 Origin 2021 进行作图。结果使用平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 不同葡萄品种慕萨莱思基础理化指标分析

酒精度、残糖、总酸等是影响慕萨莱思风味和口感平衡的关键指标。由表 2 可知,3 种慕萨莱思的理化指标符合 GB 15037-2006《葡萄酒》的要求,属于半甜型酒体。不同葡萄品种慕萨莱思的酒精度存在显著性差异(P<0.05),MNG('木纳格')和 HDQ('红地球')慕萨莱思的总酸无显著差异(P>0.05),还原糖存在显著性差异(P<0.05),HDQ('红地球')慕萨莱思的酒精度、总酸、pH 最低,还原糖含量最高。HTH('和田红')慕萨莱思的酒精度、总酸含量最高,还原糖含量最低。

表 2 不同葡萄品种慕萨莱思基础理化指标

Table 2 Basic physical and chemical indexes of the different grape varieties of Musalais wine

样品	酒精度 (%vol)	总酸 (g/L)	还原糖 (g/L)	pH
MNG	11.32±0.04^{b}	7.17±0.10^{b}	20.74±0.05^{b}	4.05±0.02^{a}
HTH	11.65±0.05^{a}	7.26±0.07^{a}	19.55±0.12^{c}	4.00±0.03^{a}
HDQ	11.15±0.04^{c}	7.12±0.05^{b}	22.19±0.09^{a}	3.92±0.02^{ab}

注:同列不同小写字母表示数据差异显著,P<0.05。

2.2 不同葡萄品种慕萨莱思挥发性香气比较分析

挥发性香气物质不仅是描述葡萄酒风味的关键,也是决定其感官品质的重要指标之一[10],对'木纳格''和田红''红地球'三种慕萨莱思挥发性香气物质进行检测,结果见表 3,共鉴定出 84 种香气成分,包括醇类 21 种、酯类 29 种、酸类 10 种、醛 3 种、酮类 10 种、酚类 5 种、其他香气物质 6 种,共有成分 55 种。其中酯类物质种类最多,包括乙酸乙酯、乙酸异戊酯、辛酸乙酯等;醇类物质次之,主要有苯乙醇、2,3-丁二醇、正己醇等;酸类及酮类物质包括辛酸、月桂酸等,大马士酮、2,3-戊二酮等也是慕萨莱思主要

表 3　不同葡萄品种慕萨莱思挥发性香气成分

Table 3　Volatile aroma composition of Musalais from different grape varieties

序号	香气物质	CAS号	香气描述[14−23]	相对含量(%)		
				MNG	HTH	HDQ
1	苯乙醇	3913-2-8	玫瑰花香	13.05	20.03	16.34
2	苯甲醇	100-51-6	杏仁味	0.06	0.05	ND
3	3-甲基-1-戊醇	589-35-5	威士忌、苹果味	0.38	0.12	0.08
4	2-壬基醇	628-99-9	橙子乳酪味	ND	0.05	ND
5	2,3-丁二醇	513-85-9	果香、奶油香	0.78	0.98	0.51
6	异戊醇	123-51-3	指甲油、威士忌	11.00	11.55	5.17
7	正己醇	111-27-3	椰果味	6.16	3.05	7.72
8	异丁醇	78-83-1	果香、醇香	3.55	3.79	1.07
9	橙花醇	106-25-2	花香	0.10	ND	0.11
10	反式-橙花叔醇	40716-66-3	花香	0.06	0.05	0.07
11	芳樟醇	78-70-6	紫丁香、玫瑰花	0.11	0.04	0.17
12	3-甲硫基丙醇	505-10-2	洋葱味	0.3	0.12	0.05
13	2-庚醇	543-49-7	柠檬、甜花香	ND	0.08	ND
14	(S)-1,2-丙二醇	79-33-4	−	1.50	ND	0.75
15	4-戊烯-2-醇	625-31-0	蘑菇香、蜡香	0.39	0.11	0.17
16	苯氧乙醇	122-99-6	玫瑰香气	ND	ND	0.46
17	四氢熏衣草醇	2051-33-4	薰衣草香	ND	0.1	0.08
18	香叶醇	106-24-1	花香、果香	ND	0.09	ND
19	二丙酮醇	123-42-2	−	ND	0.04	ND
20	3-甲基-2-丁醇	598-75-4	果香	0.06	0.07	0.07
21	三缩四乙二醇	112-60-7	−	0.05	0.11	0.11
醇类小计				37.55	40.32	32.93
22	月桂酸乙酯	106-33-2	花香、果香	4.74	3.84	1.35
23	乙酸乙酯	141-78-6	果香、菠萝香	0.39	0.52	0.40
24	乙酸苯乙酯	103-45-7	果香、玫瑰花	2.74	1.46	2.14
25	乙酸甲酯	106-70-7	香蕉、青苹果香	ND	ND	0.05
26	乙酸异戊酯	105-54-4	香蕉、甜水果	12.23	11.19	11.91
27	乙酸异丙酯	108-21-4	果香	0.09	ND	0.19
28	丁酸乙酯	123-86-4	苹果味、菠萝香气味	0.62	0.29	0.56
29	己酸异戊酯	2198-61-0	香蕉、菠萝香	0.07	0.04	0.07
30	辛酸异戊酯	2035-99-6	果香、辛辣味	0.33	0.22	0.31
31	丁二酸二乙酯	123-25-1	甜香	0.38	0.19	0.11
32	正己酸乙酯	123-66-0	青苹果、花香	6.75	3.12	10.38
33	乳酸乙酯	97-64-3	奶酪、覆盆子香	0.02	0.02	0.02
34	丙酸乙酯	105-37-3	成熟热带水果香	0.04	ND	ND
35	辛酸乙酯	106-32-1	甜橙味	10.54	8.761	12.35
36	丁酸丁酯	109-21-7	香蕉、菠萝香	0.04	0.05	0.04
37	水杨酸甲酯	119-36-8	冬青、薄荷香	0.03	0.02	0.05
38	甲酸-2-苯乙酯	104-62-1	玫瑰、风信子香	0.03	0.02	ND
39	十四酸乙酯	124-06-1	紫罗兰香	0.83	1.22	0.46
40	十八酸乙酯	111-61-5	蜡香	0.12	ND	0.09
41	月桂酸异戊酯	6309-51-9	木香	0.08	0.05	0.02
42	油酸乙酯	111-62-6	花香、果香	0.24	0.46	0.10
43	棕榈酸乙酯	628-97-7	果味, 奶油味	0.10	0.14	0.10
44	癸酸乙酯	110-38-3	果香、玫瑰香	6.84	5.76	10.06
45	乙酸己酯	142-92-7	甜杏仁味	0.02	ND	0.05
46	庚酸乙酯	106-30-9	白兰地、果香	0.10	0.05	0.02
47	壬酸乙酯	123-29-5	果香、玫瑰	0.14	0.09	0.06
48	亚麻酸乙酯	1191-41-9	−	0.08	ND	ND
49	反式-4-癸烯酸乙酯	76649-16-6	果香	2.59	1.52	1.47
50	乳酸异戊酯	19329-89-6	奶油、坚果香	0.02	ND	ND
酯类小计				50.20	39.03	52.36

续表 3

序号	香气物质	CAS号	香气描述[14−23]	相对含量(%)		
				MNG	HTH	HDQ
51	辛酸	124-07-2	奶酪香	2.07	2.25	3.16
52	己酸	142-62-1	干酪香	0.96	1.36	1.08
53	L-乳酸	79-33-4	黄油、奶油味	ND	ND	0.66
54	苯甲酸	65-85-0	−	ND	0.03	ND
55	月桂酸	143-07-7	金属味	0.16	0.29	0.11
56	异戊酸	503-74-2	奶酪香	0.46	ND	0.38
57	醋酸	64-19-7	醋味	1.09	1.36	1.08
58	棕榈油酸	56219-10-4	蜡香、奶油香	2.87	1.55	0.06
59	癸酸	334-48-5	脂肪味	0.3	0.14	0.31
60	2-甲基己酸	4536-23-6	奶油味	0.27	0.4	0.2
酸类小计				8.18	7.38	7.04
61	大马士酮	23726-93-4	蜂蜜香、花香	0.60	0.06	0.05
62	2,3-戊二酮	600-14-6	黄油香、焦香	0.39	0.14	0.07
63	环己酮	6971-63-7	−	0.05	0.02	0.01
64	3-戊烯-2-酮	3102-33-8	−	ND	0.06	ND
65	2-庚酮	110-43-0	植物香、木香	ND	0.07	ND
66	二氢-2-甲基-3(2H)-噻吩酮	13679-85-1	浆果味	0.11	ND	ND
67	仲辛酮	111-13-7	植物香	ND	0.03	0.02
68	甲基庚烯酮	110-93-0	柑橘、柠檬香	0.02	0.02	0.02
69	2,6-二(叔丁基)-4-羟基-4-甲基-2,5-环己二烯-1-酮	10396-80-2	−	0.12	0.06	ND
70	4,5-二甲基二氢呋喃-2(3H)-酮		−	ND	8.24	5.49
酮类小计				1.29	8.70	5.66
71	糠醛	498-60-2	焦香	0.15	0.13	0.14
72	2-乙基-2-己烯醛	645-62-5	−	0.28	0.17	ND
73	2,4,6-三甲基苯甲醛	487-68-3	−	ND	0.06	0.06
醛类小计				0.43	0.36	0.20
74	4-乙基愈创木酚	2785-89-9	烟熏味、酱油味	0.16	0.09	0.01
75	4-乙基苯酚	123-07-9	愈创木酚味	0.20	0.36	0.05
76	2,4-二叔丁基苯酚	96-76-4	石炭酸味	0.30	0.79	0.24
77	2-甲氧基-4-乙烯苯酚	7786-61-0	烟熏味	0.06	0.12	0.26
78	2-硝基苯酚	88-75-5	−	ND	0.03	ND
酚类小计				0.72	1.39	0.56
79	苯乙烯	100-42-5	汽油味、花香	0.04	0.05	ND
80	2,4-二甲基苯乙烯	2234-20-0	−	ND	0.10	0.15
81	壬烯	124-11-8	−	1.15	2.48	0.82
82	萘	91-20-3	−	0.20	0.24	0.16
83	2-甲基-2-丁烯	513-35-9	−	0.10	ND	ND
84	1-十一炔	2243-98-3	−	0.14	0.15	0.12
其他小计				1.63	2.82	1.25

注: “ND”表示未检测到该挥发性物质; “−”表示未查到。

的香气物质; 醛类及其他类物质相较于其他类香气化合物的种类和相对含量较少。

发酵过程中, 酯类化合物主要来源于果实和酒精发酵, 具有水果香气, 通常给果酒带来令人愉悦的香气[11]。三种原料慕萨莱思中酯类物质的相对含量分别为 50.20%、39.03%、52.36%, 乙酸异戊酯、正己酸乙酯、辛酸乙酯等为主要香气成分: MNG 和 HTH 慕萨莱思以乙酸异戊酯(香蕉、热带水果香)为主, HDQ 慕萨莱思以辛酸乙酯(花香、菠萝、梨香)为主。相较于其他两种酒样, HDQ 慕萨莱思中的癸酸乙酯、正己酸乙酯、辛酸乙酯等酯类物质相对含量较高, 进一步增强了酒体的果香、花香香气。

醇类是果酒中第二大挥发性化合物, 主要来源于酵母糖代谢, 赋予酒体甜香和清香[12]。MNG、HTH、HDQ 三种慕萨莱思的醇类物质相对含量分别为 37.55%、40.32%、32.93%, 共检出 21 种醇类物质, 苯乙醇、正己醇、异戊醇和异丁醇为主要的共有香气物质(含量较高)。苯乙醇是相对含量最高的高级醇, 其含量在 HTH 慕萨莱思中最高, 可以提供玫瑰、蔷薇花香。异丁醇和异戊醇, HDQ 酒样中的含量低于 MNG 和 HTH 慕萨莱思, 能为酒体提供醇香。香叶醇、芳樟醇和橙花醇等香气物质虽然含量

较低，但它们能够显著提升果酒香 HDQ 慕萨莱思中相对含量较高。

酸类物质是酵母代谢的次级产物也是酯类合成的关键前体。它能够影响酒体协调性和入口的延展性[13]。相比于 HDQ 慕萨莱思，MNG 和 HTH 慕萨莱思的挥发性脂肪酸相对含量较高，三种慕萨莱思共有的挥发性酸类物质包括己酸、辛酸、月桂酸、醋酸、棕榈油酸和正癸酸。MNG 酒样中棕榈油酸含量最高，赋予酒体坚果和油脂香气；而 HDQ 和 HTH 酒样中辛酸含量最高，带来奶酪和脂肪香气。此外，酸类物质与醇类化合物发生酯化反应，生成酯类物质，进一步丰富酒体的香气层次。

醛类和酮类物质主要产生于发酵和陈酿过程，可赋予葡萄酒优雅独特的香气[11]。HTH、HDQ 慕萨莱思中的酮类含量高于 MNG 慕萨莱思，4,5-二甲基二氢呋喃-2(3H)-酮是 HTH 和 HDQ 慕萨莱思中独有且含量最高的酮类物质。MNG 慕萨莱思中酮类含量贡献最大的为 2,3-戊二酮，赋予酒体黄油香、焦香的香气。糠醛、大马士酮等物质都能够赋予果酒花香、焦香、果香，是三种原料慕萨莱思香气的重要组成部分。酚类物质能够赋予酒体更复杂的香气特征，如香料、烟熏或草本气息等。HTH 慕萨莱思的酚类物质的种类及含量要高于其他两种酒样，香料香、草本香气更为明显。

香气物质的种类和含量是决定慕萨莱思酒品质的重要指标之一，它们共同影响酒体的和谐度与醇厚感。由图 2 可知，在香气数量方面，MNG、HTH、HDQ 慕萨莱思分别鉴定出 70 种、71 种、66 种挥发性物质，其中，MNG 和 HTH 慕萨莱思的香气数量相近。具体来看，MNG 慕萨莱思的酯类物质与其他类物质高于其余两种酒样，HTH 慕萨莱思醇类物质、酮类物质数量最高，HDQ 慕萨莱思的醇类物质、酮类物质及酚类物质数量与 MNG 慕萨莱思接近。在相对含量方面，MNG 慕萨莱思香气物质总含量高于 HTH 慕萨莱思，与 HDQ 慕萨莱思含量接近，其中，HTH 慕萨莱思的醇类(40.32%)和酮类(8.7%)占比高于 MNG、HDQ 慕萨莱思；HDQ 慕萨莱思酯类物质占比达 52.36%，高于 MNG 和 HTH 慕萨莱思。

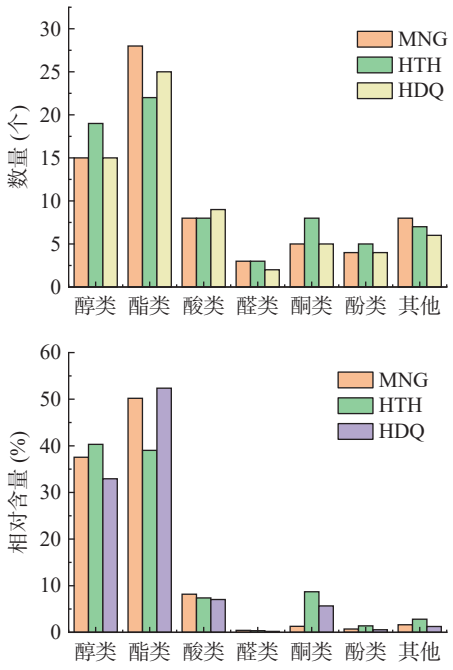


图 2　不同葡萄品种慕萨莱思香气物质数量和香气成分相对含量

Fig.2　Quantity and the relative content of aroma substance in different grape varieties of Musalais wine

酯类在各品种葡慕萨莱思酒样中含量最丰富(39.03%~52.36%)，其次是醇类物质、酸类、酮类物质，合计占总香气物质含量的 60% 以上。因此，酯类、醇类、酸类、酮类四类组分可能是三种慕萨莱思主要的挥发性香气物质。各香气化合物的种类及相对含量不能准确判别对样品整体的香气的贡献程度，含量还需结合其感官阈值计算进一步分析特征香气。

2.3　ROAV 法确定不同葡萄品种慕萨莱思关键香气物质

相对香气活性值(ROAV)是一种基于香气成分含量与其阈值比值的评估方法，能够有效量化各挥发性成分对样品整体风味的贡献程度[18]。通过将气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)与 ROAV 法相结合，可以快速、准确地筛选出酒体中的关键香气化合物。ROAV 越大的成分对样品总体风味的贡献越大，1≤ROAV≤100 的成分为样品的关键香气成分，0.1≤ROAV<1 的成分对样品整体香气起到修饰作用，属于重要香气组分[19]。基于文献中查阅的感觉阈值计算 ROAV，并分析酒样中挥发性成分的贡献。结果表明：辛酸乙酯是三款慕萨莱思中风味贡献最大的香气物质。

如表 4 所示，以 ROAV≥1 为标准，共筛选出 7 种酯类化合物(丁酸乙酯、己酸乙酯、乙酸苯乙酯、乙酸异戊酯、辛酸乙酯、癸酸乙酯、丁二酸二乙酯)，1 种酸类化合物(异戊酸)，1 种醇类化合物(芳樟醇)，1 种酮类化合物(大马士酮)以及 1 种酚类化合物(4-乙基愈创木酚)。这些化合物具有花香、果香、植物香和甜香等特征，对三种酒样的香气形成具有显著贡献。在 0.1≤ROAV≤1 的范围内，有 12 种次要香气成分(如 2,3-戊二酮、苯乙醇、异戊醇、异丁醇、月桂酸等)对三种酒样的香气具有一定的修饰作用。MNG 酒样中鉴定出 12 种关键香气成分(如丁酸乙酯、癸酸乙酯、辛酸乙酯、芳樟醇等)，赋予酒体花香和果香；HTH 和 HDQ 酒样分别含有 5 种(如癸酸乙酯、大马士酮等)和 7 种(如辛酸异戊酯、正己酸乙酯等)关键香气成分。MNG 酒样中 11 种次要化合物(如苯乙醇、乙酸乙酯、2,3-戊二酮等)提供玫瑰花香、果香和奶香；HTH 酒样中(如乙酸苯乙酯、芳樟醇等)10 种次要香气成分为酒体提供醇香和植物香；HDQ 酒样中(如月桂酸乙酯、异戊酸等)9 种次要香气成分赋予酒体甜香、果香和花香。由此可见，辛酸

表 4 不同葡萄品种慕萨莱思特征香气化合物的 ROAV

Table 4 ROAV of characteristic aroma compounds of different grape varieties of Musalais

序号	香气化合物	香气描述	阈值[23−25](μg/L)	ROAV		
				MNG	HTH	HDQ
1	乙酸乙酯	果香、菠萝香	750	0.11	0.04	0.07
2	丙酸乙酯	果香、甜香	1800	<0.01	0.00	0.00
3	乙酸异丙酯	果香、香蕉味	100	0.18	0.00	0.25
4	乳酸乙酯	乳酪香、覆盆子味	14000	<0.01	<0.01	<0.01
5	丁酸乙酯	酸果香、草莓味	20	6.41	0.83	3.74
6	乙酸异戊酯	玫瑰、柑橘	30	84.48	24.89	53.52
7	正己酸乙酯	草莓味、青苹果味	14	100.00	12.76	100.00
8	乙酸己酯	玫瑰、蜂蜜	670	<0.01	0.00	0.01
9	庚酸乙酯	菠萝、新鲜果香	400	0.05	<0.01	<0.01
10	辛酸乙酯	菠萝味、花香	5	436.94	100.00	346.69
11	壬酸乙酯	果香、玫瑰、蜡味	1300	0.02	<0.01	<0.01
12	乳酸异戊酯	奶油香	200	0.02	0.00	0.00
13	癸酸乙酯	果香、椰子香	200	7.20	1.64	6.78
14	辛酸异戊酯	甜味、奶油味	125	0.56	0.10	0.33
15	水杨酸甲酯	冬青油香气	100	0.07	0.01	0.07
16	乙酸苯乙酯	花香、果香、木香	250	2.27	0.33	1.16
17	月桂酸乙酯	花果香、肥皂味	1500	0.68	0.15	0.12
18	十四酸乙酯	冬青油香气	2000	0.09	0.04	0.03
19	棕榈酸乙酯	水果香、蜡香	1500	0.13	<0.01	<0.01
20	丁二酸二乙酯	果香、花香	15	5.30	0.73	1.02
21	异丁醇	酒精味、甜味	40000	<0.01	<0.01	<0.01
22	3-甲基-1-戊醇	辛辣味、香草	500	0.16	0.01	0.02
23	正己醇	浆果、薰衣草味	8000	0.16	0.02	0.10
24	2-壬基醇	柑橘香、果香	12	0.00	0.26	0.00
25	芳樟醇	奶酪、汗臭味	25	1.07	0.22	0.58
26	2,3-丁二醇	果香味、奶油味	120000	<0.01	<0.01	<0.01
27	3-甲硫基丙醇	土豆味、蒜味	1000	0.06	<0.01	<0.01
28	橙花醇	花香、果香	400	0.03	<0.01	0.02
29	苯甲醇	苦杏仁味	100000	<0.01	<0.01	0.00
30	苯乙醇	玫瑰花、蜂蜜味	14000	0.19	0.08	0.16
31	异戊醇	玫瑰、果香、焦香	30000	0.08	0.02	0.02
32	香叶醇	花香	30	/	0.10	/
33	醋酸	醋味	20000	0.01	<0.01	<0.01
34	己酸	甜香	420	0.47	0.19	0.51
35	辛酸	奶酪、汗臭味	1000	0.43	0.13	0.43
36	异戊酸	微弱蜡香	300	1.90	0.00	0.14
37	月桂酸	脂肪、蜡香	1000	0.03	<0.01	0.03
38	癸酸	甜香、烘焙香气	15000	<0.01	<0.01	<0.01
39	4-乙基愈创木酚	丁香、烟熏味	30	1.11	0.18	0.06
40	4-乙烯基愈创木酚	甜香	100	0.12	0.07	0.35
41	2,3-戊二酮	花香、奶油香	200	0.40	0.04	0.05
42	大马士酮	花香、果香	0.05	237.13	66.51	126.24
43	糠醛	杏仁香、果香	300	0.02	<0.01	0.02
44	苯乙烯	煤油味、芳香味	730	0.01	<0.01	0.01

乙酯、大马士酮、己酸乙酯、乙酸异戊酯是对三种慕萨莱思贡献最大的关键香气成分。

2.4 不同葡萄品种慕萨莱思感官特征分析

如图 3 所示，雷达图直观对比了不同葡萄品种慕萨莱思的感官特性差异。三种慕萨莱思均采用相同的工艺处理，但在外观和口感上存在一定差异。HDQ 慕萨莱思呈红褐色，果香与酒香协调，入口柔顺，微甜的口感使得果香更加突出，特性鲜明；MNG 慕萨莱思呈现浅黄色，澄清度最高，香气清新，入口清爽且酒体协调；HTH 慕萨莱思酒体呈金黄色，由于原料特性，酸感较为明显，糖酸虽平衡但澄清度不足。经对比发现：HDQ 慕萨莱思的颜色和甜度强度最高，MNG 慕萨莱思的澄清度最高。综上，HDQ、MNG 慕萨莱思感官品质表现较好，HTH 慕萨莱思口感协

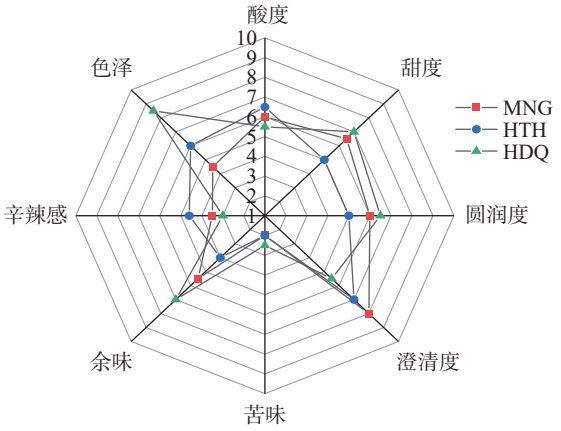


图 3　不同葡萄品种慕萨莱思外观与口感剖面图

Fig.3　Appearance and taste profiles in different grape varieties of Musalais wine

调性最差，外观和口感得分最低，导致其典型性和总分较低。

果香、花香、醇香和焦香等是慕萨莱思香气成分的基本骨架。由 10 名小组成员对 3 种慕萨莱思酒样进行描述性感官分析。如图 4 所示，HDQ 慕萨莱思的果香、甜香、花香的感官评分超过 6 分，MNG 慕萨莱思的奶香、花香、甜香、果香感官评分超过 6 分，HTH 慕萨莱思的醇香感官评分超过 6 分，坚果香、青草香、焦糖香的感官评分超过 5 接近 6 分。总体来看，HTH 慕萨莱思香气感官评分大于三种香气评价值的香气种类更多，香气更为丰富，但是感官强度与其他两种酒样相比不明显。根据香气描述结果可以得出，MNG 慕萨莱思的奶香、花香、果香突出，HTH 慕萨莱思的醇香、坚果香、焦香明显，HDQ 慕萨莱思的果香、甜香、花香突出。

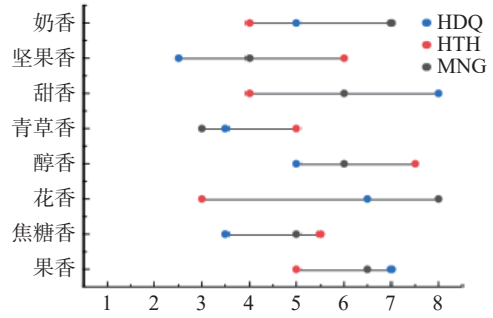


图 4　不同葡萄品种慕萨莱思香气得分剖面图

Fig.4　Profile in different grape varieties of Musalais wine aroma scores

由图 4 可知，果香、花香、醇香、甜香是三种慕萨莱思主要的气味，强度稳定。奶香中等强度，青草香、坚果香、焦糖香微弱。烘焙香（主要是焦糖香）通常不会出现在传统葡萄酒中，在陈酿过程中，一些品种和发酵香气化合物的浓度降低，使葡萄酒失去新鲜感和果味，而出现其他气味，即焦糖味、干果味、辛辣味、烤面包味和木香味，比如马德拉葡萄酒[26]。结合外观与口感剖面图来看，三种慕萨莱思的色泽以金黄色为主，部分呈红褐色，酒体澄清，酸甜味突出，略带苦味，展现出宜人的果香和花香，具有明显的典型性，进一步表明原料品种是决定慕萨莱思感官品质的关键因素之一。为了在突出慕萨莱思典型香气的同时又能保留住果香和花香，后续试验研究可以尝试不同原料混合发酵，或采用‘木纳格’‘红地球’等品种的皮渣与‘和田红’的汁进行复合发酵。

3　讨论

慕萨莱思在原料选择、浓缩、发酵及陈酿过程中，挥发性香气成分始终处于动态变化状态[27]。Zhu 等[28] 研究发现，葡萄汁浓缩过程中香气成分损失率高 92%，发酵初期生成大量呋喃类衍生物，呋喃类、醇类和酯类化合物协同赋予酒体醇厚感与焦糖香韵。本研究发现，三个不同葡萄品种慕萨莱思的风味体现出共性，也存在差异，酯类和醇类为主要香气成分，己酸乙酯、辛酸乙酯、大马士酮等物质是构成三种慕萨莱思特征香气的关键化合物。高馨雨[29] 对四种不同处理方式酿制的慕萨莱思香气物质进行检测定性发现，辛酸乙酯、癸酸乙酯、苯乙醇、辛酸、正癸酸、大马士酮等，果香和花香为整体香气的主要贡献者。侯晓杰等[30] 在研究低度起泡慕萨莱思酿造工艺时发现，异戊醇、苯乙醇、乙酸异戊酯、己酸乙酯、辛酸乙酯、正己酸、辛酸、大马士酮等香气物质在低度起泡慕萨莱思中含量较高，对低度起泡慕萨莱思的香气具有重要贡献。

不同品种葡萄所含有的香气物质的种类和含量不同，导致葡萄及葡萄酒的风味和典型特征也呈现很大差异[31]。本研究中，‘和田红’慕萨莱思香气感官评分大于三种香气平均值的香气种类较多，香气更为丰富，但香气感官强度与其他两种酒样相比不明显。除‘和田红’慕萨莱思因坚果香和焦糖香较为浓郁，香气略显沉闷外，其他两种慕萨莱思香气较为清爽，花香和果香突出。花香、草本香在葡萄酒中很重要，但在慕萨莱思中却低于果香、醇香、烘焙香（主要是焦糖香），可能与慕萨莱思“三煮三榨”的特殊工艺，葡萄的香气在浓缩过程中被部分破坏，而烘焙、焦糖的气味会因葡萄汁的浓缩而加强，使得慕萨莱思具有强烈的果香味[32]，这与本研究结果中果香、花香、醇香、甜香是三种慕萨莱思主要的气味，强度稳定，奶香中等强度，青草香、坚果香、焦糖香微弱存在差异。说明在浓缩及发酵工序的基础上，原料的差异会进一步影响慕萨莱思风味的表达。

本文研究了不同葡萄品种慕萨莱思在感官特征和挥发性香气方面的表现差异，但营养物质、风味物质不易保留仍是慕萨莱思需要解决的问题，后续研究可结合各品种香气特征，进一步深入分析不同品种在慕萨莱思酿造中的风味表现及其差异性，为品种筛选和工艺优化提供更全面的理论依据。

4　结论

由于葡萄品种的不同，采取相同或相近的酿造工艺，所产慕萨莱思的挥发性香气成分和感官特性存

在一定的差异和共性。浓缩工艺虽然会减弱葡萄原料中的部分香气成分，但还是保留着不同葡萄品种之间的差异性。三个葡萄品种慕萨莱思中挥发性香气成分的种类和含量存在一定差异，‘木纳格’与‘红地球’慕萨莱思在醇类和酯类的种类和相对含量较为接近，香气类型更为接近；‘和田红’与‘红地球’慕萨莱思的醛酮类数量和种类相似，且均比‘木纳格’慕萨莱思高。在感官特征上，‘木纳格’慕萨莱思的奶香、花香、果香突出，‘和田红’慕萨莱思的醇香、坚果香、焦香明显，‘红地球’慕萨莱思的果香、甜香、花香突出。本研究进一步证实了慕萨莱思的风味和葡萄品种存在密切的关系，同时该研究为今后酿造慕萨莱思的葡萄品种选择提供了理论依据。

© The Author(s) 2026. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

参考文献

[1] ZHANG K, CHEN L, WEI M, et al. Metabolomic profile combined with transcriptomic analysis reveals the value of UV-C in improving the utilization of waste grape berries[J]. Food Chemistry, 2021, 363: 130288.

[2] 董战. 不同葡萄品种对葡萄酒风味及品质的影响研究[J]. 现代食品, 2024, 30(10): 31-33. [DONG Zhan. Study on the influence of different grape varieties on wine flavor and quality[J]. Modern Food, 2024, 30(10): 31-33.]

[3] 李涛, 李昀哲, 冯翰杰, 等. 不同发酵工艺对石榴酒香气质量的影响[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(8): 137−147. [LI T, LI Y Z, FENG H J, et al. Effect of different fermentation processes on aroma quality of pomegranate wine[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(8): 137−147.]

[4] 张璐, 张昱, 黄英, 等. 采用电子鼻和 GC-MS 技术研究慕萨莱思中挥发性成分[J]. 食品工业科技, 2018, 39(12): 242−249. [ZHANG L, ZHANG Y, HUANG Y, et al. Changes of volatile components in Musalais by E-nose and GC-MS[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(12): 242−249.]

[5] 张昱. 采用电子鼻和 GC-MS 技术研究慕萨莱思葡萄酒中呈香物质的变化[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2017. [ZHANG Y. Study on the changes of aroma-presenting substances in Moussalles wines using electronic nose and GC-MS techniques[D]. Aral: Tarim University, 2017.]

[6] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. GB 5009.225-2023 食品安全国家标准 酒和食用酒精中乙醇浓度的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023. [National Health and Health Commission of the People's Republic of China, State Administration for Market Supervision and Regulation. GB 5009.225-2023 National standard for food safety: Determination of ethanol concentration in wine and edible alcohol[S]. Beijing: Standard Press of China, 2023.]

[7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T15038-2006 葡萄酒、果酒通用分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T15038-2006 National standard for food safety: General analytical methods for wines and fruit wines[S]. Beijing: Standard Press of China, 2006.]

[8] 戴前颖, 叶颖君, 李明洳, 等. 定量描述分析法和 Flash Profile 法在祁门红茶香气评价中的应用[J]. 食品科学, 2021, 42(22): 224−231. [DAI Q Y, YE Y J, LI M J, et al. Application of quantitative descriptive analysis and flash profile in keemum black tea aroma evaluation[J]. Food Science, 2021, 42(22): 224−231.]

[9] 郑翠银, 黄志清, 刘志彬, 等. 定量描述分析法感官评定红曲黄酒[J]. 中国食品学报, 2015, 15(1): 205−213. [ZHENG C Y, HUANG Z Q, LIU Z B, et al. Sensory evaluation of hongqu glutinous rice wine using quantitative descriptive dnalysis dethod[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 15(1): 205−213.]

[10] 刘春艳, 张静, 李栋梅, 等. 葡萄酒风味物质研究进展[J]. 食品工业科技, 2017, 38(14): 310−313,320. [LIU C Y, ZHANG J, LI D M, et al. Research progress of the flavor compounds in wine[J]. Food Industry Science and Technology, 2017, 38(14): 310−313,320.]

[11] ZHENG Y, SUN B, ZHAO M, et al. Characterization of the key odorants in Chinese zhima aroma-type baijiu by gas chromatography-olfactometry, quantitative measurements, aroma recombination, and omission studies[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2016, 64(26): 5367−5374.

[12] 蔚慧, 杨林华, 赵芳, 等. 6 种李子果实香气成分的分析研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(27): 13601−13604. [YU H, YANG L H, ZHAO F, et al. Study on aroma components of six kinds of plum fruits[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40(27): 13601−13604.]

[13] JIANG B, XI Z, LUO M, et al. Comparison on aroma compounds in cabernet sauvignon and merlot wines from four wine grape-growing regions in China[J]. Food Research International, 2013, 51(2): 482−489.

[14] 郭英杰, 郭智鑫, 卞建明, 等. GC-MS 结合 ROAV 分析不同干燥方式对桂花浸膏与净油香气成分的影响[J/OL]. 食品科学, 1-18[2026-08-13]. https://link.cnki.net/urlid/11.2206.TS.20240305.0926.002. [GUO Y J, GUO Z X, BIAN J M, et al. The effect of different drying methods on the aroma components of Osmanthus fragrans concrete and absolute were analyzed by combining GC-MS with ROAV analysis[J/OL]. Food Science, 1-18[2026-08-13]. https://link.cnki.net/urlid/11.2206.TS.20240305.0926.002.]

[15] 牟灿灿. 桑葚果酒生产工艺优化及品质提升研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2020. [MOU C C. Research on the optimization of production process and quality improvement of mulberry fruit wine[D]. Guiyang: Guizhou University, 2020.]

[16] 孙文静, 陈建胜, 束超, 等. 3 株商业克鲁维酵母对贺兰山东麓赤霞珠干红葡萄酒增酸效果及酒品质的影响[J]. 食品科学技术学报, 2024, 42(4): 61−74. [SUN W J, CHEN J S, SHU C, et al. Evaluation of acid-enhancing effect and wine quality of 3 commercial *Kluyveromyces* on cabernet sauvignon dry red wine from eastern foot of helan mountain[J]. Journal of Food Science and Technology, 2024, 42(4): 61−74.]

[17] 郭成宇, 安百慧. 不同品种蓝莓和菌种酿制蓝莓酒的香气成分分析[J]. 中国酿造, 2017, 36(4): 174−179. [GUO C Y, AN B H. Analysis of aroma components of blueberry wine brewed by different varieties of blueberry and strains[J]. China Brewing, 2017, 36(4): 174−179.]

[18] WANG L, CHEN Z, HAN B, et al. Comprehensive analysis of volatile compounds in cold-pressed safflower seed oil from Xinjiang, China[J]. Food Science & Nutrition, 2020, 8(2): 903−914.

［19］ HOU Z, WEI Y, SUN L, et al. Effects of drying temperature on umami taste and aroma profiles of mushrooms (*Suillus granulatus*)[J]. Journal of Food Science, 2022, 87(5): 1983−1998.
［20］ 张杨，曲绎霖，孙永德，等. 基于 ROAV 法与 PCA-TOPSIS 法冰葡萄酒香气质量综合评价[J]. 中国酿造，2025, 44(1): 258−268. ［ZHANG Y, QU Y L, SUN Y D, et al. Comprehensive evaluation of icewine aroma quality based on ROAV and PCA-TOPSIS method[J]. China Brewing, 2025, 44(1): 258−268.］
［21］ 李媛媛, 李德美, 张亚东, 等. 赤霞珠干红葡萄酒在不同子产区香气特征的差异[J]. 食品与发酵工业，2020, 46(6): 256−268. ［LI Y Y, LI D M, ZHANG Y D, et al. Comparative study of aroma characteristics of Cabernet Sauvignon dry red wine in different subregions[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(6): 256−268.］
［22］ 张小勤, 卓秀名, 张佳欣, 等. 混菌发酵刺梨果酒工艺研究及香气成分分析[J]. 食品科技，2025, 50(5): 120−129. ［ZHANG X Q, ZHUO X M, ZHANG J X, et al. Mixed fermentation technology for *Rose roxburghii* Wine and analysis of its aroma compounds[J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 50(5): 120−129.］
［23］ 高远玥. 夏黑葡萄汁在低温真空浓缩过程中关键香气成分的变化机制[D]. 沈阳：沈阳农业大学, 2025. ［GAO Y Y. The change mechanism of key aroma components in summer black grape juice during low temperature vacuum concentration[D]. Shenyang: Shenyang University, 2025.］
［24］ 周继亘, 杨学山, 祝霞, 等. 不同浸渍工艺对赤霞珠干红葡萄酒香气的影响[J]. 食品与生物技术学报，2019, 38(9): 50−59. ［ZHOU J H, YANG X S, ZHU X, et al. Influenceof different impregnation processof cabernet sauvignon dry red wine aroma[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2019, 38(9): 50−59.］
［25］ 孙健, 姜文广, 李记明. 贺兰山东麓产区赤霞珠和马瑟兰葡萄酒发酵中风味物质分析[J]. 酿酒科技，2025(5): 46−53. ［SUN J, JIANG W G, LI J M. Analysis of flavor compounds in cabernet sauvignon and Marselan wines from east helan mountain[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2025(5): 46−53.］
［26］ PERESTRELO R, SILVA C, GONCALVES C, et al. An approach of the madeira wine chemistry[J]. Beverages, 2020, 6(1): 12.
［27］ 裴鹏正, 贠建民, 贾琦, 等. 软儿梨果酒发酵过程中挥发性风味物质变化分析[J]. 生物技术进展，2021, 11(6): 758−769. ［PEI P Z, YUN J M, JIA Q, et al. Analysis on changes of volatile flavor compounds in Ruan'er pear wine during fermentation[J]. Current Biotechnology, 2021, 11(6): 758−769.］
［28］ ZHU L, ZHANG M, SHI Y, et al. Evolution of the aromatic profile of traditional Msalais wine during industrial production[J]. International Journal of Food Properties, 2019, 22(1): 911−924.
［29］ 高馨雨. 慕萨莱思配方工艺优化及贮藏期酚类物质变化的研究[D]. 乌鲁木齐：新疆农业大学, 2019. ［GAO X Y. Research on the optimization of the formulation process of Musalais and the changes of phenolics during the storage period[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2019.］
［30］ 侯晓杰, 赵玉霞, 龚虎成, 等. 双酵母混合发酵低度起泡慕萨莱思产品的研发[J]. 食品科技，2021, 46(7): 100−105. ［HOU X J, ZHAO Y X, GONG H C, et al. Research and development of low-alcohol bubbly Musalais products with mixed fermentation of double yeast[J]. Food Science and Technology, 2021, 46(7): 100−105.］
［31］ 张明霞, 吴玉文, 段长青. 葡萄与葡萄酒香气物质研究进展[J]. 中国农业科学，2008(7): 2098−2104. ［ZHANG M X, WU Y W, DUAN C Q. Progress in study of aromatic compounds in grape and wine[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008(7): 2098−2104.］
［32］ ZHU L X, ZHANG M M, LIU Z, et al. Levels of furaneol in Msalais wines: A comprehensive overview of multiple stages and pathways of its formation during Msalais wine making[J]. Molecules, 2019, 24(17): 3104.