

分类号: Q815  
学号: 20212106041

密级: 公开  
单位代码: 10759

# 石河子大学

## 硕士学位论文



### 石榴果酒品质提升技术研究

学位申请人	刘雪
指导教师	石峰 教授 张立华 教授
申请学位门类级别	专业硕士
学科、专业名称	生物与医药
研究方向	
所在学院	生命科学学院

中国·新疆·石河子  
2024年6月

分类号: Q815

密 级: 公开

学 号: 20212106041

单位代码: 10759

# 石河子大学

## 硕士学位论文



### 石榴果酒品质提升技术研究

学 位 申 请 人	刘雪
指 导 教 师	石峰 教授 张立华 教授
申请学位门类级别	专业硕士
学 科、专 业 名 称	生物与医药
研 究 方 向	
所 在 学 院	生命科学学院

中国·新疆·石河子

2024 年 6 月

**Research on the quality improvement technology of  
pomegranate fruit wine**

A Dissertation Submitted to

**Shihezi University**

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

**Professional Master's Degree**

By

**Liu Xue**

**(Biology and medicine)**

Dissertation Supervisor: Prof. Shi Feng

China • Xinjiang • Shihezi

June, 2024

# 石河子大学学位论文独创性声明及使用授权声明

## 学位论文独创性声明

本人所呈交的学位论文是在我导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确的说明并表示谢意。

研究生签名：刘雪

时间：2024年5月14日

## 使用授权声明

本人完全了解石河子大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文在学校图书馆保存并允许被查阅。有权自行或许可他人将学位论文编入有关数据库提供检索服务。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

研究生签名：刘雪

时间：2024年5月14日

导师签名：石军

时间：2024年5月14日

## 摘要

**目的:** 针对目前石榴果酒酿造原料品种不明, 成品石榴酒风味不丰富, 典型性欠佳等问题, 本研究基于发酵动力学模型, 分别对不同品种的石榴酿造果酒和添加陈皮制备的陈皮石榴酒中的风味成分进行比较。旨在选择适合酿酒的石榴品种并提升石榴果酒的香气品质。

**方法:** (1) 以枣庄市本地主栽品种大青皮甜石榴为研究对象, 通过传统石榴果酒发酵技术进行果酒发酵和温度控制, 对发酵过程中酵母菌浓度变化、总糖消耗和酒精生成量进行定时监测记录。使用非线性拟合方式对所测数据进行分析, 建立石榴果酒发酵动力学模型; (2) 以大青皮甜、大红袍、鲁玛榴 1 号、鲁冰榴 1 号以及大青皮酸石榴制备的 5 个不同品种石榴果酒样品为研究对象, 测定其发酵的石榴酒理化指标, 并通过 SPME-GC-MS 与电子鼻检测相结合的分析方法来测定石榴酒发酵后挥发性有机化合物。结合主成分分析及感官评定结果, 找寻适宜果酒发酵的石榴品种; (3) 将陈皮添加到石榴酒的发酵原料中, 通过陈皮不同的添加时间(发酵前加入和发酵后加入)、陈皮与石榴汁不同的复配比例(1:100、1:120、1:140、1:160、1:180、1:200)来筛选高品质的陈皮石榴酒。同样运用 SPME-GC-MS 技术和电子鼻检测与感官评定结合的方法来分析最优比例中陈皮石榴酒的香气成分。

**结果:** (1) 建立了石榴果酒发酵动力学模型, 确定发酵 14 d 内酵母菌体浓度变化、总糖消耗和酒精生成均使用 Logistic 模型进行非线性拟合, 相关系数分别为 0.9805、0.9838 及 0.9966, 证明建立的模型具有良好的相关性; (2) 石榴酒的理化指标结果表明大青皮酸石榴 pH 过低, 不适合在该发酵条件下进行单独酿酒。电子鼻 PCA 分析表明鲁玛榴 1 号石榴酿造的石榴酒对于传感器所能检测到的大类物质具有更高的响应值。通过 SPME-GC-MS 技术在 5 个不同品种的石榴酒中共检测出 108 种香气物质, 大青皮酸、鲁玛榴 1 号、鲁冰榴 1 号、大红袍以及大青皮甜石榴酒中分别检测出挥发性成分 45、52、37、29 及 37 种, 共有成分为 5 种, 其中鲁玛榴 1 号石榴酒的风味成分最高。感官评价也表明鲁玛榴 1 号综合评价更高, 鲁冰榴 1 号石榴酒、大红袍石榴酒和大青皮甜石榴酒各有各的风味。选出鲁玛榴 1 号石榴作为酿造石榴酒的优良品种; (3) 确定了陈皮与石榴汁的适宜添加比例为 1:120, 通过 SPME-GC-MS 技术测定了不同发酵时间添加的陈皮石榴酒, 发现在发酵后加入陈皮浸泡得到的陈皮石榴酒香气种类更加丰富, 品尝起来也更加适口。

**结论:** 建立的发酵动力学模型可以为后续石榴果酒扩大化生产提供理论基础; 筛选出的鲁玛榴 1 号石榴品种可以作为酿酒品种进行大规模栽培; 添加陈皮研制的陈皮石榴酒可以提升石榴果酒的香气品质, 为石榴复合果酒的酿造提供了方法借鉴。

**关键词:** 石榴果酒; 品种; 风味成分; 陈皮

## Abstract

**Object:** At present, the raw materials of pomegranate fruit wine are unknown, the finished pomegranate wine is not rich in flavor, and the typicality is not good enough. Based on the fermentation dynamics model, the flavor components of different varieties of pomegranate wine and pomegranate wine with tangerine peel were compared. The aim is to select pomegranate varieties suitable for wine making and improve the aroma quality of a single pomegranate fruit wine.

**Methods:** (1) The fermentation kinetics model of pomegranate fruit wine was established, and it was determined that the change of yeast concentration, total sugar consumption and alcohol production within 14 days of fermentation were all fitted with the Logistic model, and the correlation coefficients were 0.9805, 0.9838 and 0.9966, respectively, which proved that the established model had a good correlation. (2) Five pomegranate wine samples prepared from Daqingpetian, Dahongpo, Luma pomegranate No. 1, Lubing pomegranate No. 1 and Daqingpi acid pomegranate were used as the research objects to determine the physicochemical indexes of the fermented pomegranate wine, and the volatile organic compounds after fermentation of the pomegranate wine were determined by SPME-GC-MS combined with electronic nose detection. Based on the results of principal component analysis and sensory evaluation, pomegranate varieties suitable for fruit wine fermentation were found. (3) Orange peel was added into the fermentation raw materials of pomegranate wine, and the high-quality orange peel pomegranate wine was screened by different adding time of orange peel (adding before fermentation and adding after fermentation), and different mixing ratio of orange peel and pomegranate juice (1:100, 1:120, 1:140, 1:160, 1:180, 1:200). SPME-GC-MS technology, electronic nose detection and sensory evaluation were also used to analyze the aroma components in the optimal proportion of tangerine peel pomegranate wine.

**Results:** (1) The fermentation kinetics model of pomegranate fruit wine was established. It was found that at the end of pre-fermentation, the concentration of yeast was  $6.1 \times 10^7$  cfu/mL, the alcohol content was 10.0%vol, and the total sugar content was 40.52 g/L. The fruit wine obtained at this time is semi-sweet fruit wine. The colorimetric method for the determination of total sugar in pomegranate fruit wine has good stability and repeatability. (2) The results of physical and chemical indexes of pomegranate wine showed that the pH of pomegranate was too low, and it was not suitable for brewing alone under this fermentation condition. Electronic nose PCA analysis showed that the pomegranate wine produced by Luma pomegranate No. 1 had a higher response value to the major substances detected by the sensor. A total of 108 aroma substances were detected in 5 different varieties of pomegranate wine by SPME-GC-MS technology. 45, 52, 37, 29 and 37 volatile components were detected in Daqingpi acid, Luma pomegranate No. 1, Lubing pomegranate No. 1, Dahongpao and Daqingpi sweet pomegranate wine, respectively, with a total of 5 components. Pomegranate wine Luma pomegranate No. 1 has the highest flavor component.

Sensory evaluation also showed that the comprehensive evaluation of Luma pomegranate No. 1 was higher, Lubing pomegranate No. 1, Dahongpao pomegranate wine and Daqingpi sweet pomegranate wine had their own flavors. Pomegranate No. 1 Luma pomegranate was selected as an excellent variety for making pomegranate wine. (3) The optimal ratio of tangerine peel and pomegranate juice was determined to be 1:120, and the tangerine peel pomegranate wine added at different fermentation times was determined by SPME-GC-MS technology. It was found that the tangerine peel pomegranate wine obtained by adding tangerine peel after fermentation was richer in aroma and more delicious in taste.

Conclusion: The established fermentation kinetics model can provide a theoretical basis for the subsequent expansion of pomegranate wine production. The selected pomegranate variety Lumariou No. 1 can be used as wine variety for large-scale cultivation. Pomegranate wine prepared with tangerine peel can improve the aroma quality of pomegranate fruit wine and provide a reference for the brewing of complex pomegranate fruit wine.

**Key words:** Pomegranate wine; SPME-GC-MS; Flavor components; Tangerine peel

# 目录

第 1 章 文献综述 .....	1
1.1 石榴酒的概述 .....	1
1.2 石榴酒中风味成分的概述 .....	1
1.2.1 醇类 .....	2
1.2.2 酯类 .....	3
1.2.3 酸类 .....	3
1.2.4 萜烯类 .....	4
1.2.5 醛酮类 .....	4
1.2.6 酚类 .....	4
1.3 影响石榴酒中风味成分的因素 .....	5
1.3.1 发酵原料 .....	5
1.3.2 发酵菌种 .....	6
1.3.3 发酵工艺 .....	7
1.4 石榴酒中风味成分分析方法 .....	7
1.4.1 气相色谱-质谱联用法 .....	8
1.4.2 气相色谱-离子迁移谱法 .....	9
1.4.3 电子鼻分析 .....	10
1.4.4 电子舌分析 .....	10
1.4.5 感官评定 .....	10
1.5 研究目的及内容 .....	11
1.5.1 研究目的及意义 .....	11
1.5.2 研究内容 .....	11
1.5.3 技术路线 .....	11
第 2 章 石榴果酒发酵动力学模型的建立 .....	13
2.1 材料 .....	13
2.1.1 试剂 .....	13
2.1.2 仪器耗材 .....	13
2.2 方法 .....	14
2.2.1 石榴果酒发酵工艺流程及操作要点 .....	14
2.2.2 石榴果酒发酵过程动力学参数测定 .....	14
2.2.3 发酵动力学模型的建立 .....	14

2.2.4	发酵时间的确定 .....	15
2.2.5	总糖比色检测方法学的评价 .....	15
2.2.5.1	稳定性试验 .....	15
2.2.5.2	精密度试验 .....	15
2.2.5.3	重复性试验 .....	15
2.3	结果 .....	15
2.3.1	石榴果酒中总糖含量、酒精度、酵母菌数量的变化情况 .....	15
2.3.2	总糖消耗动力学模型的建立 .....	17
2.3.3	酵母菌生长动力学模型的建立 .....	18
2.3.4	酒精生成动力学模型的建立 .....	19
2.4	讨论 .....	20
2.5	章节小结 .....	20
第3章	不同品种石榴酿酒品质比较 .....	21
3.1	材料 .....	21
3.1.1	试验试剂 .....	21
3.1.2	仪器耗材 .....	22
3.2	方法 .....	22
3.2.1	样品的制备 .....	22
3.2.2	理化指标的测定 .....	23
3.2.3	电子鼻检测方法 .....	23
3.2.4	SPME-GC-MS 检测 .....	24
3.2.5	感官评定 .....	24
3.2.6	数据处理 .....	25
3.3	结果 .....	25
3.3.1	不同品种石榴的理化指标比较 .....	25
3.3.2	不同品种石榴酒理化指标的比较 .....	26
3.3.3	不同品种石榴酒电子鼻响应值 .....	27
3.3.4	主成分分析 .....	28
3.3.5	不同品种石榴酒的 SPME-GC-MS 分析 .....	29
3.3.6	不同品种石榴酒的感官评价 .....	36
3.4	讨论 .....	37
3.5	本章小结 .....	38
第4章	陈皮石榴酒的研制 .....	39
4.1	材料 .....	39

4.1.1 试剂 .....	39
4.1.2 仪器耗材 .....	39
4.2 方法 .....	40
4.2.1 陈皮石榴酒酿造工艺流程及操作要点 .....	40
4.2.2 理化指标的测定 .....	40
4.2.3 电子鼻检测方法 .....	41
4.2.4 SPME-GC-MS 检测 .....	41
4.2.5 感官评定 .....	42
4.3 结果 .....	42
4.3.1 电子鼻检测结果 .....	42
4.3.2 感官评定筛选不同陈皮添加量的石榴酒 .....	43
4.3.3 陈皮石榴酒基本理化指标测定 .....	44
4.3.4 陈酿前后陈皮石榴酒挥发性成分分析 .....	44
4.4 讨论 .....	51
4.5 本章小结 .....	52
第 5 章 结论与展望 .....	53
5.1 结论 .....	53
5.2 展望 .....	53
参考文献 .....	54

## 中英文缩略词对照表

缩写词	英文	中文
HS	Headspace	顶空
SPME	Solid-phase Microextraction	固相微萃取
LC-MS	Liquid Chromatography-Mass Spectrometry	液相色谱-质谱联用
GC-MS	Gas Chromatography-Mass Spectrometry	气相色谱-质谱联用
GC-IMS	Gas Chromatography Ion Mobility Spectrometry	气相色谱-离子迁移谱
E-nose	Electronic nose	电子鼻
E-tongues	Electronic tongues	电子舌
VOCs	Volatile Organic Compounds	挥发性有机化合物
DNS	3, 5-Dinitrosalicylic acid colorimetric method	3,5-二硝基水杨酸比色法
CFU	Colony Forming Units	菌落形成单位
mL	milliliter	毫升
%vol	volume	酒精度数
EI	Electron Ionization	电子电离源
NIST	National Institute of Standards and Technology	美国国家标准与技术研究院
°Bx	Degrees Brix	白利糖度
pH	potential of Hydrogen	酸碱度
HPLC	High Performance Liquid Chromatography	高效液相色谱法
CRP	Citri Reticulatae Pericarpium	陈皮
PCA	Principal Component Analysis	主成分分析
CAS	Chemical Abstracts Service	美国化学会下设组织化学文摘社
OPLS-DA	Orthogonal PartialLeast Squares-Discriminant Analysis	正交偏最小二乘法判别分析

## 第1章 文献综述

### 1.1 石榴酒的概述

石榴含有丰富的营养价值，其药用和保健价值自古就广为人知<sup>[1]</sup>。将石榴果实作为主要的发酵原料，经过榨汁、调糖、发酵及陈酿而成的果酒就是石榴酒。采用石榴为原料酿造的果酒，更大程度的保留了石榴原有的果香<sup>[2]</sup>。

石榴酒具有抗菌<sup>[3]</sup>、抗氧化<sup>[4]</sup>、抗病毒<sup>[5]</sup>等功效。Lantzouraki 等人<sup>[6]</sup>发现相较于同等条件下发酵的葡萄酒，石榴酒中的总酚含量明显高于葡萄酒的相应含量，抗氧化活性值也高于葡萄酒。他们通过 LC-MS 和 GC-MS 相结合的检测方法鉴定了两种果酒中的酚类化合物，表明石榴酒具有更高的营养和促进健康的作用。

Sezer 等人<sup>[7]</sup>通过对比石榴酒和葡萄酒的苯酚水平与抗氧化活性发现，石榴酒具有更高的总酚含量和更高的抗氧化活性以及对低密度脂蛋白氧化的抑制作用。石榴酒中的酚类化合物可显著地抑制体内和体外脂质的过氧化，对抗动脉粥样硬化起到积极显著的作用。对于喜欢果酒的人来说，石榴酒是一种更加健康的饮用选择。

石榴酒作为一种容易被人体吸收的保健酒，符合消费者对健康饮品的追求，但是仅靠单一的石榴酿造的石榴果酒颜色、香气和营养成分都不够好<sup>[8]</sup>，导致受众群体不广泛。随着消费升级的趋势，消费者将不满足于单一口味的石榴酒，对石榴酒品质的要求也越来越高。石榴酒市场规模分析指出<sup>[9]</sup>，未来石榴酒市场将会出现更多高品质的产品。未来石榴酒市场将会更加多元化和差异化，除了传统口味外，还将推出更多具有地域特色和创新性的产品。

目前，针对石榴酒的研究主要集中在对其风味成分的解析方面<sup>[10]</sup>。多使用 HS-SPME-GC-MS、GC-IMS、E-nose 和 E-tongues 等仪器结合感官评定来对石榴酒的风味成分进行分析。

### 1.2 石榴酒中风味成分的概述

在石榴酒发酵过程中，风味成分每时每刻都在发生变化，形成石榴酒特有的香气<sup>[11]</sup>。大多数风味物质是中等亲油性的，并且在同源系列中，亲脂性随着分子量的增加而增加<sup>[12]</sup>。石榴酒中的风味成分是所谓挥发性有机化合物的来源<sup>[13]</sup>，大多数酒里的基质成分，比如发酵原料<sup>[14]</sup>、酵母菌株<sup>[15]</sup>、加入的果胶酶<sup>[16]</sup>等，都能够通过改变其溶解度或挥发性

的各种机制在一定程度上影响顶端空间中的挥发性有机化合物的水平<sup>[17]</sup>。查阅文献看，无论是为了确定某种酒的其原产地<sup>[18]</sup>、真伪<sup>[19]</sup>还是可能存在的超标有害物质<sup>[20]</sup>来研究一种果酒，研究其风味成分都是必不可少的，挥发性有机化合物（VOCs）也是用于表征石榴酒研究最多的分子<sup>[21]</sup>。

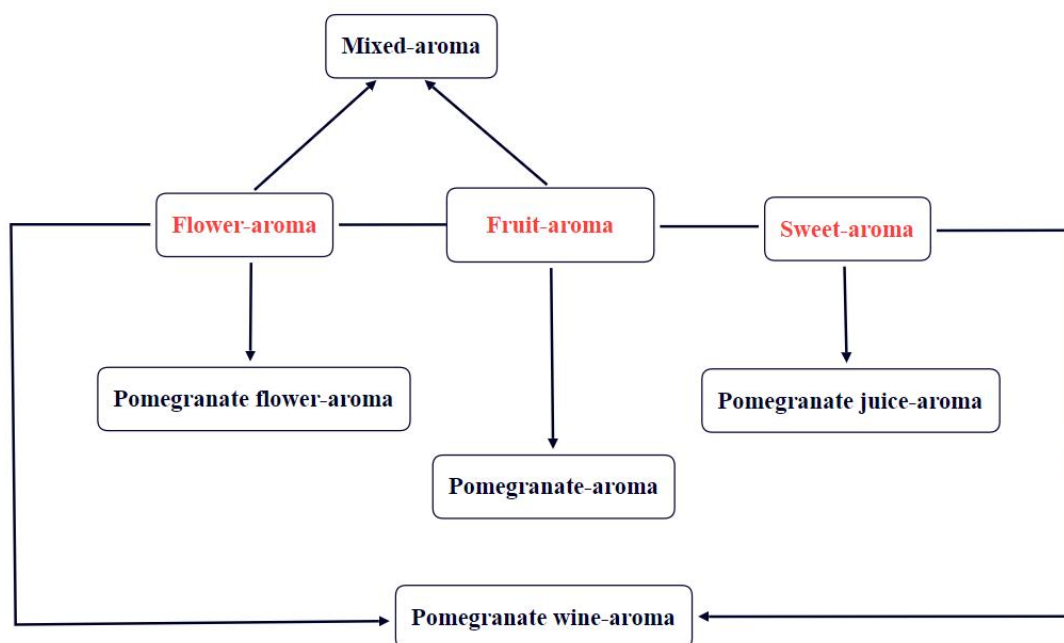


图 1-1 石榴酒的风味概况

Figure1-1 Flavor profile of pomegranate wine

### 1.2.1 醇类

石榴酒中的醇类物质作为构成其风味成分最基本的一类香气化合物<sup>[22]</sup>，可以分为低级醇和高级醇。低级醇是指甲醇、乙醇等碳原子小于四个的醇类物质，碳原子大于四个的醇类物质就是高级醇。低级醇一般来自于石榴果实自身的无氧代谢<sup>[23]</sup>产生（公式 1）：



在石榴酒发酵过程中由酵母菌细胞的代谢产生，通过氨基酸<sup>[24]</sup>以及糖代谢<sup>[25]</sup>这两种代谢途径产生的醇类物质就是高级醇（见图 1-2）。

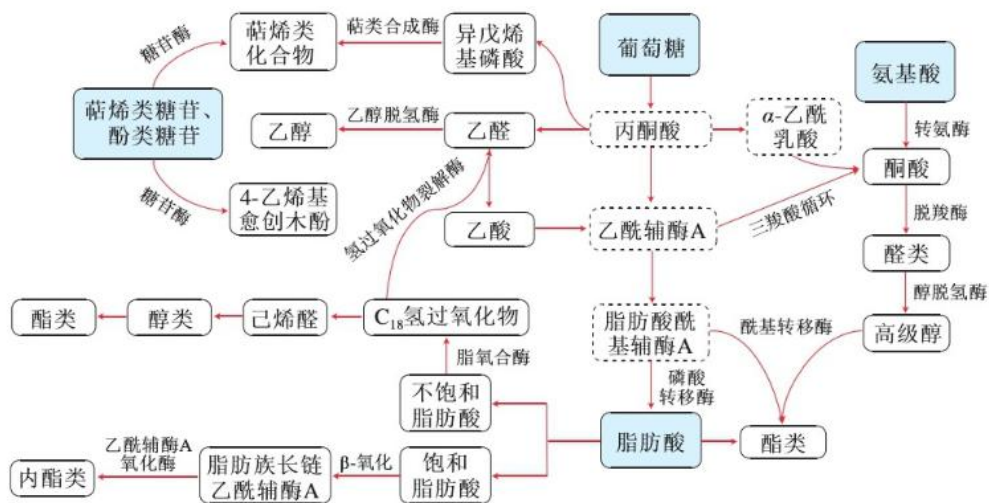
图 1-2 风味成分合成途径<sup>[26]</sup>

Figure 1-2 Synthetic pathway of flavor components

### 1.2.2 酯类

石榴酒中主要的风味成分是酯类化合物，该类物质通过发酵和陈酿过程中的酯化反应生成。果酒中产生的酯类可增强香茅醇、 $\beta$ -大马酮和橙花叔醇的甜味、花香和果味特征<sup>[27]</sup>。酯类主要通过协同作用增加关键发酵香气物质的花香和果香特征，其中的醋酸酯具有良好的协同能力。相比之下，二元酯之间的协同作用水平受浓度影响较小，而受化合物结构和香气影响较大。此外，适度添加石榴酒中酯类种类和含量的试验证明它们之间的协同效应可以增加果酒当中的甜味特性，降低酸果味。因此可以通过增加一定浓度的增香剂而增强石榴酒中酯类物质的香气贡献程度<sup>[28]</sup>。

### 1.2.3 酸类

酸类化合物是酯类化合物合成的前体物质，同时也是酵母菌的次级代谢产物<sup>[29]</sup>。不饱和脂肪酸 (UFA) 浓度的微小变化会对果酒的芳香成分产生重大影响<sup>[30]</sup>。发酵前添加 UFA 可以显著改变细胞的生理和能量状态，并影响糖酵解途径和三羧酸循环 (TCA) 中代谢物的水平、氧化还原平衡、ATP 库、脂肪酸和氨基酸代谢，从而改变石榴酒的化学和挥发性成分。与对照酒不同的是，添加 UFA 生产的酒具有较高含量的甘油、 $C_6$  醇和高级醇，以及较低含量的乙酸、中链脂肪酸和醋酸酯。研究还表明 UFA 对乙酯合成有影响并且证明了调节 UFA 含量可以适当调控石榴酒的香气特征，也证实微调 UFA 含量结合接种合适的酵母是调节石榴酒芳香品质的较好的策略，这就为调控石榴酒中消费者不喜欢的芳香物质提供了可能。

### 1.2.4 萜烯类

萜烯类化合物显著影响着石榴酒的风味和品质<sup>[31]</sup>。目前在石榴果酒中能够检测到的萜烯类化合物有香茅醇、芳樟醇和松油醇。Yang 等人<sup>[32]</sup>为了分析陈酿过程中葡萄酒中萜类化合物的分子重排,研究了模型酒中芳樟醇、 $\alpha$ -萜品醇、橙花醇和香叶醇在黑暗低温条件下 90 天的变化。采用顶空-气相色谱-质谱仪/嗅觉测定法将萜烯定性和相对定量。结果表明,橙花醇转化为 d-柠檬烯、萜品油烯、芳樟醇和  $\alpha$ -萜品醇。香叶醇被转化为  $\beta$ -罗勒烯、萜品油烯和芳樟醇。芳樟醇被转化为萜品油烯。以橙花醇为萜品油烯的转化率最高,为 5.94%。

Mele 等人<sup>[31]</sup>在总结最近关于萜类化合物在葡萄酒方面的研究中发现,用萜烯类化合物改善葡萄酒风味的遗传修饰很少受到关注。在过去的十年中,葡萄糖苷酶的异源操作已被用于改变萜类化合物,细胞色素 P450 可能会影响萜烯的合成。代谢和基因工程可以进一步改变萜类化合物的代谢,而使用转基因葡萄树(将性状转移到植物中)可以生产出更美味的葡萄酒。这种研究同样也适用于石榴酒。

Bergler 等人<sup>[33]</sup>探索了 40 种酵母菌株在霞多丽和白玉霓葡萄汁发酵过程中以及在合成培养基中产生萜烯化合物的能力。研究表明,酵母菌株本质上可以在酿酒条件下产生萜烯衍生物,并且还强调了萜烯的从头生物合成与其前体相关生产之间的差异。

### 1.2.5 醛酮类

醛酮类化合物也是石榴酒风味成分的重要组成部分<sup>[34]</sup>,主要分为醛类、酮类和缩醛类物质<sup>[35]</sup>。该种物质来源于石榴果实本身,Yuan 等人<sup>[36]</sup>研究了三个产地“黑籽”石榴假种皮榨汁和全果榨汁方法对石榴汁风味化合物的影响,发现在所有石榴汁样品中最丰富的挥发性化合物是(Z)-3-己烯-1-醇和 1-己醇,整果榨汁后酒精含量增加,醛类含量减少。Lan 等人<sup>[4]</sup>也发现石榴酒的发酵过程会促进醇类物质和酯类物质的生成,显著降低醛酮类以及芳香族化合物的相对含量。

### 1.2.6 酚类

石榴酒中最丰富的酚类化合物是安石榴苷和没食子酸,其次是鞣花酸和香草酸。这些化合物也是石榴酒能够抗氧化的主要原因。石榴酒中的酚类物质来源于石榴果实<sup>[37]</sup>、酚酸降解<sup>[38]</sup>或果酒酵母代谢<sup>[39]</sup>产生,其中 2,4-二叔丁基苯酚是石榴酒 VOCs 中最常见的酚类化合物,能给予石榴酒石榴的水果香。

Mayuoni 等人<sup>[40]</sup>研究发现相比于石榴假种皮榨汁,石榴果实整体压榨的石榴汁中含有更高水平的酚类和可水解的单宁,这导致后者石榴汁品尝时存在更高的涩味。从分离的假种皮中提取的石榴汁比从整个压榨水果中提取的果汁涩味更小,更受品尝者的青睐。

由于石榴酒中大部分酚类化合物来自于石榴果实，因此采用石榴假种皮榨汁酿造的石榴酒更有扩大化生产的价值。

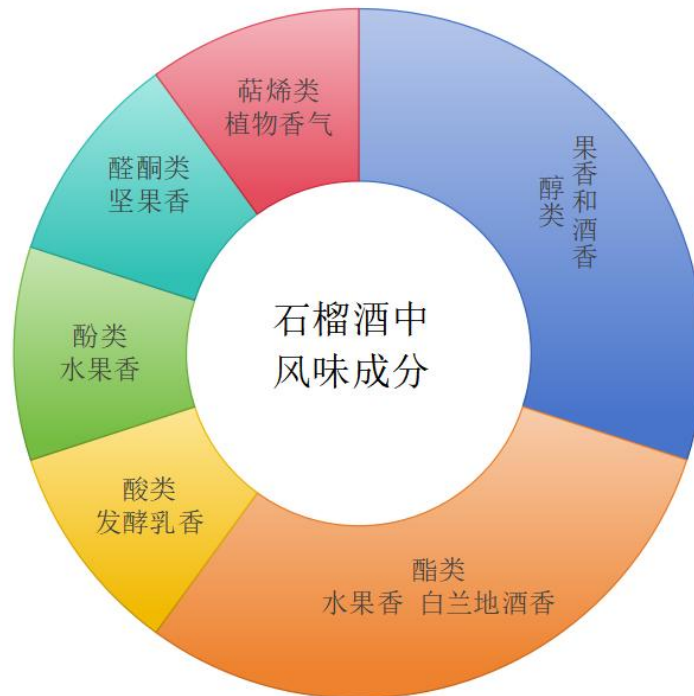


图 1-3 石榴酒中的风味成分组成

Figure1-3 Composition of flavor components in pomegranate wine

### 1.3 影响石榴酒中风味成分的因素

石榴酒的风味成分由不同的挥发性化合物组成，它们对石榴酒整体风味的贡献取决于它们的气味阈值和浓度<sup>[41]</sup>。风味成分主要受到三个因素的影响：发酵原料即石榴本身的风味<sup>[42]</sup>、发酵菌种<sup>[43]</sup>和发酵石榴酒的工艺<sup>[44]</sup>。

#### 1.3.1 发酵原料

通过对石榴酒中的风味成分分析我们可以发现，大多数 VOCs 来自于石榴果实，少部分通过代谢和反应产生。酿造石榴酒时使用的石榴品种对石榴酒的风味成分起到决定性作用。关于酿酒葡萄品种<sup>[45][46][47]</sup>的研究较多，但是目前的研究还未发现专门酿造石榴酒的石榴品种。

石榴酒酿造研究中多使用单一的石榴品种，比如 Wonderfull、Mollar<sup>[48]</sup>、大青皮甜<sup>[49]</sup>红玛瑙石榴<sup>[10]</sup>。Wonderful 石榴原产于美国加利福尼亚州，是一种在全球都很受欢迎的