

# 发酵型果酒酿造工艺研究进展及优化路径

杨 灿

四川工业科技学院大健康学院, 四川 德阳

收稿日期: 2026年1月22日; 录用日期: 2026年3月17日; 发布日期: 2026年3月27日

## 摘 要

发酵型果酒凭借天然果香、丰富营养及低度属性, 成为酒类市场的新兴增长点, 其酿造工艺的精准化与智能化升级是提升产品品质与市场竞争力的核心路径。本文系统梳理发酵型果酒酿造过程中原料预处理、菌种选育与发酵调控、后处理与陈酿等关键环节的研究进展, 重点分析近红外光谱分选、混菌发酵、固定化酵母技术、非热加工陈酿等创新技术的应用成效; 从原料适配性、工艺参数精准化、技术融合创新及质量控制体系构建四个维度, 提出针对性的工艺优化路径; 同时探讨当前果酒酿造面临的原料品质波动、风味协同机制不明、规模化生产成本高等挑战, 并展望合成生物学、区块链溯源、功能性果酒开发等未来发展方向, 以期为我国发酵型果酒产业的标准化、高质量发展提供理论参考与技术支持。

## 关键词

发酵型果酒, 酿造工艺, 酵母菌种优化, 智能调控, 工艺优化

# Research Progress and Optimization Path of Fermented Fruit Wine Brewing Process

Can Yang

School of Health Science, Sichuan Institute of Industrial Technology, Deyang Sichuan

Received: January 22, 2026; accepted: March 17, 2026; published: March 27, 2026

## Abstract

Fermented fruit wines have emerged as a new growth point in the alcoholic beverage market due to their natural fruit aromas, rich nutritional content, and low alcohol content. The precision and intelligent upgrading of brewing processes are the core pathways to enhance product quality and market competitiveness. This article systematically reviews the research progress in key stages of fermented fruit wine production, including raw material pretreatment, strain selection and fermentation control, as well as post-processing and aging. It focuses on the application effectiveness of

innovative technologies such as near-infrared spectroscopy sorting, mixed-fermentation, immobilized yeast technology, and non-thermal processing aging. From four dimensions—raw material compatibility, process parameter precision, technological integration and innovation, and quality control system construction—the paper proposes targeted process optimization pathways. Additionally, it discusses current challenges in fruit wine production, such as raw material quality fluctuations, unclear flavor synergy mechanisms, and high costs in large-scale production. The article also explores future development directions, including synthetic biology, blockchain traceability, and functional fruit wine development, aiming to provide theoretical references and technical support for the standardization and high-quality development of China's fermented fruit wine industry.

## Keywords

Fermented Fruit Wine, Brewing Process, Yeast Strain Optimization, Intelligent Control, Process Optimization

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

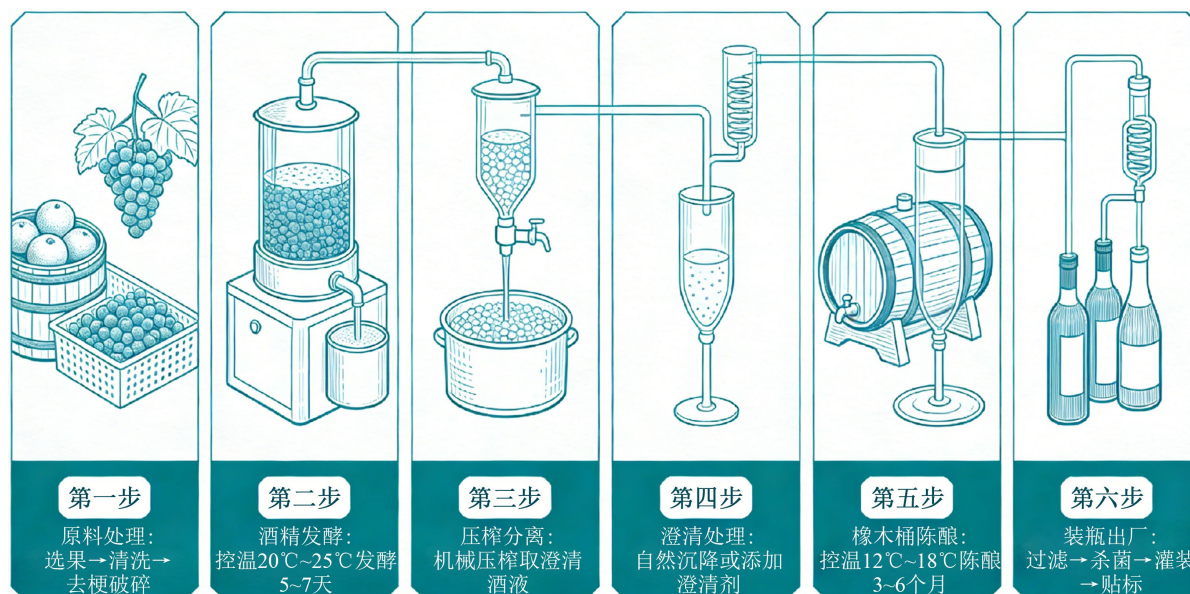
果酒是以各类水果为原料,经破碎、压榨、发酵、陈酿等工艺制成的低度饮品,其酒精度通常在 7% vol~18% vol 之间,富含多酚类物质、维生素、氨基酸等功能性成分,契合现代消费者“健康饮酒、绿色消费”的需求趋势[1]。我国是水果生产大国,据国家统计局数据显示,2024 年全国水果总产量突破 3 亿吨,人均水果占有量超 200 千克,但水果深加工率不足 15%,远低于发达国家 40%以上的水平[2]。大量新鲜水果因保鲜技术有限、运输成本高昂等因素,存在损耗率高、附加值低的问题。发酵型果酒的开发不仅能有效消化过剩水果产能,减少产后损耗,还能丰富酒类产品结构,推动农产品加工产业的转型升级。从产业发展历程来看,果酒酿造在我国拥有数千年的历史,《齐民要术》中便有关于葡萄酿酒的详细记载,民间也流传着苹果酒、山楂酒、杨梅酒等传统果酒的酿造工艺。但长期以来,我国果酒产业存在“小、散、乱”的问题,生产工艺以传统经验型为主,缺乏标准化的技术规范与质量控制体系,导致产品品质参差不齐,风味稳定性差,难以与国际知名果酒品牌竞争[3]。近年来,随着生物技术、智能装备技术及分析检测技术的快速发展,果酒酿造工艺逐步从“经验驱动”向“技术驱动”转型,原料预处理的精准化、发酵菌种的定向选育、发酵过程的智能调控、后处理技术的绿色化等成为研究热点[4]。与此同时,消费市场对果酒的需求呈现出多元化、高端化的趋势,消费者不仅关注果酒的口感与风味,更注重其营养健康价值与品质安全性。在此背景下,系统梳理发酵型果酒酿造工艺的研究进展[5],剖析当前产业发展面临的瓶颈,提出科学可行的工艺优化路径,对于推动我国果酒产业的标准化、高质量发展具有重要的理论与实践意义。本文围绕原料预处理、菌种选育与发酵调控、后处理与陈酿等关键工艺环节,综述近年来的技术创新成果,从原料适配、参数精准化、技术融合、质量控制四个维度构建工艺优化体系,并对未来发展方向进行展望,旨在为果酒生产企业与科研机构提供参考。

## 2. 发酵型果酒酿造工艺核心研究进展

### 2.1. 原料预处理技术

原料品质是决定果酒最终品质的基础,不同种类、产地、成熟度的水果[6],其糖酸比、果胶含量、

香气成分、酚类物质含量等存在显著差异,直接影响发酵效率与酒体风味。原料预处理的核心目标是去除杂质、提升原料利用率、优化果汁理化性质,为后续发酵过程奠定良好基础[7]。近年来,原料预处理技术的研究重点集中在精准分选与清洗、低温破碎与高效压榨、果汁成分调控三个方面(如下图 1)。



**Figure 1.** The whole process flow chart of modern fruit wine brewing  
**图 1.** 现代果酒酿造全工艺流程图

**精准分选与清洗技术:** 传统的水果分选主要依靠人工肉眼观察,效率低、误差大,难以实现原料品质的均一化。随着无损检测技术的发展,近红外光谱(NIR)、机器视觉、高光谱成像等技术在水果分选领域得到广泛应用[8]。近红外光谱技术基于水果中糖、酸、水分等成分对特定波长红外光的吸收特性,可快速检测水果的糖度、酸度、成熟度等指标,检测时间仅需 1~2 秒,且不损伤水果组织[9]。例如,有研究利用近红外光谱技术建立苹果糖度预测模型,预测精度可达  $R^2 = 0.98$  以上,能够实现苹果的快速分级。机器视觉技术则通过摄像头采集水果的图像信息,利用图像处理算法分析水果的大小、色泽、形状、表面缺陷等特征,实现对水果的自动化分选。将近红外光谱与机器视觉技术结合,可构建多指标协同分选系统,进一步提升分选精度。水果清洗的目的是去除表面的泥沙、农药残留、微生物等杂质。传统的清洗方式如清水冲洗、毛刷清洗等,难以彻底去除农药残留与顽固污渍,且容易造成水资源浪费。近年来,臭氧清洗、电解水清洗、超声波清洗等绿色清洗技术成为研究热点[10]。臭氧具有强氧化性,能够快速杀灭水果表面的细菌、霉菌等微生物,同时分解有机磷农药等污染物,且臭氧在水中分解为氧气,无残留、无污染。研究表明,采用浓度为 0.8 mg/L 的臭氧水清洗蓝莓 5 分钟,可使表面菌落总数降低 2.5 个数量级,农药残留去除率达 80%以上,且对蓝莓的色泽与风味无显著影响[11]。电解水清洗则是通过电解氯化钠溶液生成酸性氧化电位水,其具有强氧化性与杀菌性,能够有效去除水果表面的微生物与农药残留,且成本低廉、环境友好。超声波清洗则利用超声波在水中产生的空化效应,剥离水果表面的污渍与微生物,清洗效率高,且对水果组织损伤小。

**低温破碎与高效压榨技术:** 破碎的目的是破坏水果的细胞壁,释放果汁,提升出汁率。传统的破碎方式多为常温破碎,容易导致水果组织中的多酚氧化酶、过氧化物酶等活性酶被激活,引发果汁褐变,同时香气物质大量挥发,影响果酒风味。低温破碎技术是在 0℃~5℃ 的低温环境下对水果进行破碎,能够

有效抑制酶的活性,减少果汁褐变与香气损失。例如,在葡萄破碎过程中,采用低温破碎技术可使果汁的褐变度降低 30%以上,香气物质保留率提升 20%。此外,低温破碎还能减少单宁等苦涩物质的溶出,改善果酒的口感。压榨是将破碎后的水果果浆中的果汁分离出来的过程,压榨工艺的优劣直接影响出汁率与果汁品质。传统的压榨方式如螺旋压榨、板框压榨等,存在压力分布不均、出汁率低、果汁中杂质含量高等问题。近年来,气囊压榨、动态压榨等高效压榨技术逐渐取代传统压榨方式。气囊压榨技术采用柔性气囊对果浆进行缓慢加压,压力分布均匀,能够根据果浆的状态实时调整压力大小,避免过度压榨导致的果皮、果籽中的单宁、果胶等物质大量溶出[12]。研究表明,采用气囊压榨技术压榨苹果果浆,出汁率可达 75%以上,较传统螺旋压榨提升 10%~15%,且果汁中的果胶含量降低 20%,酒体澄清度显著提升。动态压榨技术则通过改变压榨方向与压力大小,实现果浆的充分压榨,进一步提升出汁率。

果汁成分调控技术:不同水果的果汁理化性质差异较大,直接影响酵母的生长繁殖与发酵过程。例如,蓝莓、猕猴桃、山楂等水果的酸度较高,果汁 pH 低于 3.0,会抑制酵母活性,导致发酵周期延长,甚至发酵停滞;而西瓜、甜瓜等水果的糖度较低,难以达到目标酒精度。因此,需要对果汁的糖度、酸度、pH 等参数进行调控,以优化发酵条件。酸度调控是果汁成分调控的重点,主要包括生物降酸、物理降酸与化学降酸三种方法。化学降酸法是通过添加碳酸钙、碳酸氢钾等碱性物质中和果汁中的有机酸,操作简单、成本低廉,但容易导致果汁中的钙离子过量,影响酒体稳定性,且可能改变果酒的风味。物理降酸法包括离子交换、电渗析、反渗透等技术,离子交换法利用阳离子交换树脂吸附果汁中的氢离子,降低酸度,电渗析法则通过电场作用将果汁中的有机酸根离子分离出来,物理降酸法具有降酸效果好、无残留等优点,但设备成本较高。生物降酸法是目前最受推崇的降酸方式,主要包括苹果酸-乳酸发酵(MLF)与降酸酵母发酵。苹果酸-乳酸发酵是利用乳酸菌将果汁中的苹果酸分解为乳酸与二氧化碳,不仅能够降低酸度,还能提升果酒的风味复杂性与稳定性。降酸酵母则是通过筛选具有降酸功能的酵母菌株,在发酵过程中直接分解有机酸,例如,裂殖酵母能够将苹果酸分解为乙醇与二氧化碳,实现降酸与增醇的双重效果。糖度调控的目的是将果汁糖度调整至目标范围,以确保发酵后达到预期酒精度[13]。传统的糖度调控方法是添加蔗糖、葡萄糖等外源糖,但容易导致果酒的果香被稀释,风味变淡。近年来,低温真空浓缩技术逐渐成为糖度调控的主流技术,该技术在低温(40°C~60°C)、真空条件下对果汁进行浓缩,能够有效保留果汁中的香气物质与营养成分,避免外源糖的添加。例如,采用低温真空浓缩技术将猕猴桃果汁的糖度从 8°Bx 提升至 20°Bx,果汁中的维生素 C 保留率达 90%以上,香气物质保留率达 85%。此外,还可以通过添加高糖果汁进行糖度调控,例如,在西瓜果汁中添加葡萄汁,既提升了糖度,又丰富了果酒的风味。

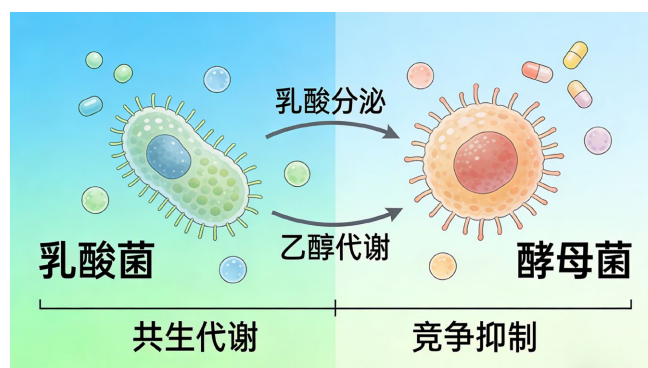
## 2.2. 菌种选育与发酵调控技术

发酵是果酒酿造的核心环节,酵母是发酵过程的核心微生物,其种类与性能直接决定果酒的酒精度、风味、香气等品质指标。近年来,菌种选育与发酵调控技术的研究进展主要体现在优良菌种的筛选与改造、混合发酵技术的应用、发酵过程的智能调控三个方面[14]。

优良菌种的筛选与改造:传统果酒发酵多采用自然发酵或商业酿酒酵母发酵,自然发酵依赖于水果表面的野生酵母,发酵过程不稳定,容易受到杂菌污染;商业酿酒酵母发酵然发酵速度快、酒精度高,但代谢产物单一,果酒风味同质化严重。因此,筛选与改造具有特殊性能的优良酵母菌株,成为提升果酒品质的关键。优良酵母菌株的筛选主要聚焦于耐低温、耐高糖、耐高酒精度、低产甲醇、高产风味物质等特性。耐低温酵母能够在 12°C~18°C 的低温条件下正常发酵,不仅能够保留水果的天然果香,还能减少高级醇、乙醛等不良风味物质的生成。例如,从新疆葡萄表面筛选出的酿酒酵母菌株 Y-1,在 15°C 条件下发酵,果酒的高级醇含量仅为 0.3 g/L,较商业酵母降低 40%。耐高糖酵母则适用于糖度较高的果汁

发酵，能够避免因渗透压过高导致的酵母活性抑制[15]，例如，从蜂蜜中筛选出的鲁氏酵母，能够在糖度 30°Bx 以上的果汁中正常发酵，酒精度可达 15% vol 以上。低产甲醇酵母的筛选则是为了提升果酒的安全性，甲醇主要由果胶酶分解果胶产生，通过筛选果胶酶活性低的酵母菌株，可有效降低果酒中的甲醇含量。随着合成生物学技术的发展，基因编辑技术在酵母菌株改造中的应用越来越广泛。通过基因编辑技术对酵母的代谢途径进行改造，可实现目标风味物质的定向合成。例如，将酿酒酵母中的乙醇脱氢酶基因敲除，同时导入异戊醇脱氢酶基因，可使酵母在发酵过程中优先合成异戊醇，提升果酒的香气复杂度；将多酚氧化酶基因导入酵母菌株，可使酵母在发酵过程中分解果汁中的多酚类物质，减少酒体褐变。此外，固定化酵母技术也是菌种应用的重要创新方向，该技术将酵母细胞固定在海藻酸钠、壳聚糖、多孔陶瓷等载体上，不仅能够提高酵母细胞密度，还能提升酵母的重复利用率，降低生产成本。研究表明，采用海藻酸钠固定化酵母发酵苹果酒，发酵周期较游离酵母缩短 30%，酵母重复利用 5 次后，发酵效率仍保持在 80% 以上。

混合发酵技术的应用：单一酵母发酵难以满足果酒风味多样化的需求，混合发酵技术是指采用两种或两种以上的微生物进行协同发酵，通过微生物之间的代谢互补，提升果酒的风味复杂性与品质。混合发酵技术主要包括酵母-酵母混合发酵与酵母-乳酸菌混合发酵两种模式(如图 2)。酵母-酵母混合发酵通常采用 1 株主发酵酵母搭配 1 株或多株非酿酒酵母。主发酵酵母主要负责将糖分转化为乙醇，非酿酒酵母则能够代谢产生丰富的酯类、醛类、萜类等风味物质。例如，采用酿酒酵母与汉逊酵母混合发酵蓝莓酒，汉逊酵母能够产生大量的乙酸乙酯、苯乙醇等香气物质，使果酒的酯类物质含量提升 25% 以上，香气浓郁度显著增强。酿酒酵母与克勒克酵母混合发酵苹果酒，克勒克酵母能够分解苹果酸，降低酒体酸度，同时产生独特的果香与花香，改善果酒的口感[16]。酵母-乳酸菌混合发酵则是将酿酒酵母与乳酸菌结合，实现酒精发酵与苹果酸-乳酸发酵的协同进行。传统的果酒酿造中，酒精发酵与苹果酸-乳酸发酵是先后进行的，先由酵母完成酒精发酵，再由乳酸菌完成苹果酸-乳酸发酵，发酵周期较长。混合发酵则是在酒精发酵的同时接入乳酸菌，缩短发酵周期，同时提升果酒的风味稳定性。例如，在葡萄酒发酵过程中，同时接入酿酒酵母与植物乳杆菌，发酵周期较传统工艺缩短 10 天，且果酒的乳酸含量提升 30%，口感更加柔和[17]。



**Figure 2.** Mechanism diagram of microbial metabolic interactions in mixed microbial fermentation  
**图 2.** 混菌发酵中微生物代谢互作机理图

发酵过程的智能调控：发酵过程的调控是提升果酒品质稳定性的关键，传统的发酵调控主要依靠人工经验，通过定期检测糖度、酒精度等指标调整发酵条件，存在调控滞后、精度低等问题[18]。近年来，随着传感器技术、自动化控制技术与人工智能算法的发展，发酵过程的智能调控成为可能。发酵过程的

智能调控系统主要由在线监测模块、数据处理模块与自动控制模块三部分组成[19]。在线监测模块通过pH传感器、溶氧传感器、糖度传感器、酒精度传感器等，实时采集发酵过程中的关键参数；数据处理模块利用人工智能算法对监测数据进行分析，建立发酵过程的预测模型，预测发酵终点与风味变化趋势[20]；自动控制模块则根据预测模型的结果，自动调整发酵温度、溶氧浓度、搅拌速度等参数，实现发酵过程的精准调控。温度调控是发酵过程调控的核心，不同发酵阶段酵母对温度的需求不同。发酵前期，酵母处于生长繁殖阶段，需要较高的温度(20℃~22℃)以促进酵母细胞增殖；发酵中期，酵母进入酒精发酵阶段，需要降低温度(16℃~18℃)以减少不良风味物质的生成；发酵后期，酵母活性下降，需要进一步降低温度(12℃~15℃)以促进风味物质的合成[21]。通过分段控温策略，结合智能温度控制系统，可实现发酵温度的精准控制，温度误差控制在±0.5℃以内。溶氧调控也是发酵过程调控的重要环节，发酵前期适量的溶氧能够促进酵母细胞的生长繁殖，发酵后期则需要严格控制溶氧，避免酒体氧化褐变[22]。智能溶氧调控系统通过曝气装置与溶氧传感器的联动，在发酵前期维持溶氧浓度在2~4 mg/L，发酵后期则密封发酵罐，使溶氧浓度降至0.5 mg/L以下。此外，搅拌速度、发酵罐压力等参数也可通过智能控制系统进行精准调控，进一步提升发酵过程的稳定性。

### 2.3. 后处理与陈酿技术

发酵完成后的原酒中含有大量的杂质，如蛋白质、果胶、单宁、酵母细胞等，同时风味物质尚未完全融合，口感较为粗糙。后处理与陈酿的核心目标是去除杂质、提升酒体澄清度、促进风味物质融合，改善果酒的口感与稳定性。近年来，后处理与陈酿技术(不同陈酿技术效果对比如图3)的研究进展主要体现在澄清与稳定技术、风味强化与陈酿加速技术两个方面。

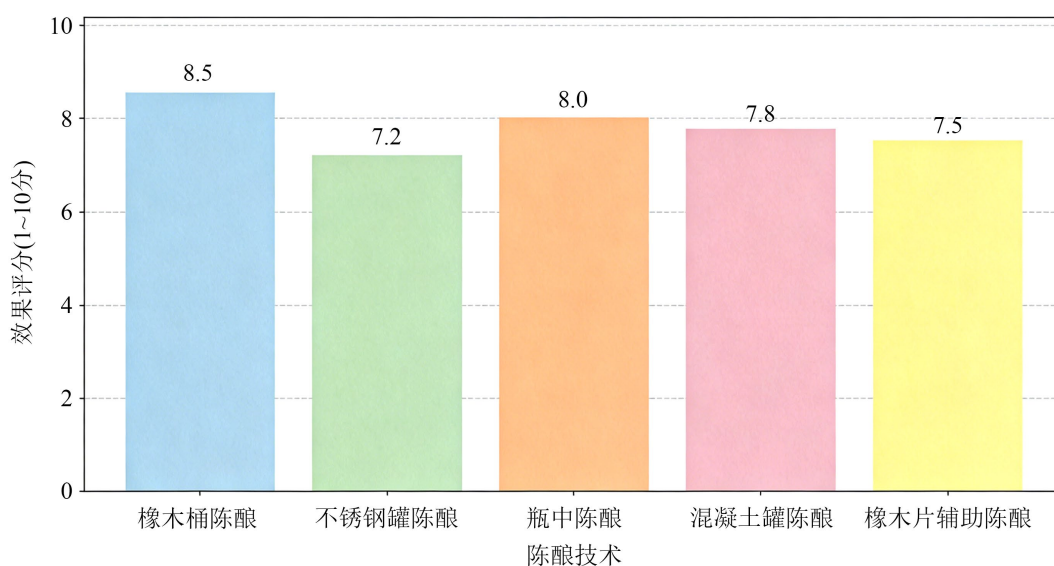


Figure 3. Comparison of different aging techniques

图3. 不同陈酿技术效果对比图

澄清与稳定技术：澄清是去除原酒中悬浮杂质的过程，传统的澄清方法包括自然澄清、明胶澄清、膨润土澄清等。自然澄清是依靠重力作用使杂质沉降，耗时较长，且澄清效果不佳；明胶澄清是通过明胶与单宁的络合作用，形成沉淀，携带杂质沉降，但明胶的添加量难以控制，容易导致酒体过度澄清，损失风味物质。近年来，新型澄清技术如壳聚糖澄清、超滤澄清、酶法澄清等得到广泛应用。壳聚糖是

一种天然的阳离子多糖，能够与原酒中的阴离子杂质如蛋白质、果胶等结合，形成沉淀，具有澄清效果好、无残留、不影响风味等优点。研究表明，采用浓度为 0.1 g/L 的壳聚糖澄清猕猴桃酒，澄清度可达 95% 以上，较明胶澄清提升 10%，且果酒的香气物质保留率达 90%。超滤澄清技术则是利用超滤膜的筛分作用，去除原酒中的悬浮杂质与微生物，超滤膜的孔径通常在 0.01~0.1  $\mu\text{m}$  之间，能够有效截留蛋白质、果胶、酵母细胞等杂质，同时保留小分子风味物质。酶法澄清是通过添加果胶酶、蛋白酶等酶制剂，分解原酒中的果胶、蛋白质等大分子物质，使其转化为小分子物质，提升澄清度[23]。例如，添加果胶酶澄清苹果酒，可使果胶分解为半乳糖醛酸，避免果胶导致的酒体浑浊，同时提升榨汁率。稳定是提升果酒储存稳定性的过程，主要包括冷稳定、热处理稳定、离子交换稳定等。冷稳定是将果酒置于 $-4^{\circ}\text{C}$ ~ $0^{\circ}\text{C}$ 的低温环境下[24]，促进酒石酸盐等物质结晶析出，避免在储存过程中出现沉淀。热处理稳定则是通过加热果酒至 $60^{\circ}\text{C}$ ~ $70^{\circ}\text{C}$ ，保持 15~30 分钟，杀灭果酒中的微生物，同时促进蛋白质变性沉淀，提升稳定性[25]。离子交换稳定则是利用离子交换树脂吸附果酒中的金属离子，如钙离子、铁离子等，避免金属离子与有机酸结合形成沉淀。

风味强化与陈酿加速技术：陈酿是果酒品质提升的关键环节，传统的陈酿方法是果酒置于橡木桶中储存，储存时间通常在 6 个月至 3 年不等。橡木桶中的单宁、香草醛、木质素等物质能够融入果酒中，提升果酒的风味复杂性，但橡木桶的成本较高，且陈酿周期较长，难以满足规模化生产的需求。近年来，新型陈酿技术如非热加工陈酿、橡木片陈酿、微氧陈酿等成为研究热点，能够有效缩短陈酿周期，提升果酒品质。非热加工陈酿技术包括超声陈酿、微波陈酿、超高压陈酿等，其原理是通过物理作用加速果酒中的化学反应，促进风味物质融合。超声陈酿是利用超声波的空化效应，增强分子运动，加速酯交换、氧化还原等反应的进行，研究表明，采用频率为 20 kHz 的超声波处理葡萄原酒 30 分钟，陈酿周期可缩短 60%，果酒的酯类物质含量提升 20%。微波陈酿则是利用微波的热效应与非热效应，加速风味物质的合成，微波处理后的果酒，口感更加柔和，香气更加浓郁。超高压陈酿是将果酒置于 300~600 MPa 的高压环境下，促进分子间的相互作用，加速单宁与色素的结合，提升果酒的色泽稳定性与口感。橡木片陈酿是采用橡木片替代橡木桶进行陈酿，通过控制橡木片的种类、烘烤程度、添加量等参数，实现对果酒风味的定向调控[26]。橡木片的烘烤程度分为轻度烘烤、中度烘烤与重度烘烤，轻度烘烤的橡木片能够赋予果酒清新的木香与果香，中度烘烤的橡木片能够赋予果酒香草与焦糖香气，重度烘烤的橡木片则能够赋予果酒烟熏与咖啡香气。研究表明，添加中度烘烤的橡木片陈酿苹果酒 30 天，果酒的风味接近传统橡木桶陈酿 6 个月的效果，且成本降低 70%。微氧陈酿是通过向果酒中通入微量的氧气，促进果酒中的单宁氧化聚合，使单宁分子变大，口感更加柔和[27]。微氧陈酿系统通过氧气传感器与流量控制器的联动，精确控制氧气的通入量，通常氧气通入量为 0.1~0.5 mL/L·d。微氧陈酿后的果酒，色泽更加稳定，口感更加醇厚，陈酿周期可缩短 50% 以上[28]。

### 3. 发酵型果酒酿造工艺优化路径

#### 3.1. 原料适配性优化

不同水果的糖酸比、果胶含量、香气成分存在显著差异，需建立原料特性与工艺参数的匹配机制。一是构建原料品质数据库，通过检测不同品种、产地、成熟度水果的糖、酸、果胶、香气前体等核心指标，明确各类水果的酿造特性，为工艺参数的制定提供数据支撑[29]。二是开展复合原料混酿研究，利用不同水果的风味互补性(如苹果的清甜与猕猴桃的果香、葡萄的醇厚与蓝莓的酸爽)，通过正交试验优化原料配比与发酵条件，开发风味独特的复合型果酒。例如，苹果-猕猴桃按 1:1 比例混酿，在 $18^{\circ}\text{C}$ 发酵温度、240 mg/L 酵母接种量、50 mg/L 果胶酶添加量的条件下，可获得风味协调的成品酒。

### 3.2. 发酵参数精准化优化

发酵参数的精准控制是提升果酒品质稳定性的核心，需针对关键参数制定量化控制标准，具体如下表 1 所示：

**Table 1.** Fermentation parameters and optimization table  
**表 1.** 发酵参数及优化表

关键参数	优化目标	精准控制策略
发酵温度	保留果香，抑制杂醇生成	分段控温，温度误差控制在 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ；前期 $20^{\circ}\text{C}\sim 22^{\circ}\text{C}$ 促进酵母生长，后期 $16^{\circ}\text{C}\sim 18^{\circ}\text{C}$ 维持风味合成
酵母接种量	快速启动发酵，减少杂菌污染	单一酵母发酵接种量控制在 $0.8\%\sim 1.2\%$ ；混菌发酵时，主发酵酵母与辅助菌种比例为 $3:1\sim 5:1$
初始糖度	实现目标酒精度( $11\%\sim 13\%$ vol)	调整果汁糖度至 $18^{\circ}\sim 22^{\circ}\text{Bx}$ ，优先采用低温真空浓缩技术，避免外源糖稀释果香
发酵 pH	保障酵母活性，平衡酒体风味	控制发酵初始 pH 在 $3.3\sim 3.8$ ；高酸水果采用生物降酸法调整，避免化学降酸剂残留
发酵溶氧	前期促进酵母增殖，后期抑制氧化	发酵前 3 天采用微曝气模式(溶氧浓度 $2\sim 4\text{ mg/L}$ )，后期密封厌氧发酵，减少酒体褐变

### 3.3. 技术融合与创新优化

推动传统酿造工艺与现代生物技术、智能装备技术的融合，是实现果酒产业升级的关键路径。一是生物技术与智能装备的融合，生物技术与智能装备技术的融合是实现发酵过程精准化、智能化的核心。将固定化酵母技术、基因编辑酵母技术与在线监测系统、人工智能算法相结合，可构建“生物反应器-智能控制系统”一体化的发酵平台。例如，将固定化酵母填充于膜生物反应器中，通过在线监测系统实时采集发酵过程中的糖度、酒精度、pH 等参数，利用人工智能算法预测发酵终点，自动调整发酵温度、溶氧浓度等参数，实现发酵过程的“无人化”精准调控[30]。该技术不仅能够提升发酵效率，还能显著降低生产成本，酵母重复利用率可达 10 次以上，发酵周期缩短 30%。此外，将合成生物学技术与智能装备技术相结合，可实现目标风味物质的定向合成。例如，通过基因编辑技术改造酵母菌株，使其能够高效合成乙酸乙酯、苯乙醇等香气物质，同时利用智能发酵系统精准控制发酵条件，促进目标风味物质的合成，提升果酒的风味品质。

二是非热加工技术与传统陈酿工艺的融合，非热加工技术具有高效、环保、无残留等优点，与传统陈酿工艺融合，可有效缩短陈酿周期，提升果酒品质。例如，采用超声预处理-超高压陈酿的组合工艺，超声预处理能够破坏水果细胞壁，提升出汁率与香气物质溶出率，超高压陈酿则能够加速风味物质融合，提升酒体口感。研究表明，采用超声预处理( $20\text{ kHz}$ , 30 分钟)结合超高压陈酿( $400\text{ MPa}$ , 15 分钟)工艺处理苹果原酒，陈酿周期可缩短 80%，果酒的酯类物质含量提升 25%，口感接近传统陈酿 6 个月的效果。另一类组合工艺是酶法澄清-橡木片陈酿，酶法澄清能够有效去除原酒中的果胶、蛋白质等杂质，提升酒体澄清度，橡木片陈酿则能够赋予果酒独特的木香与风味。通过优化酶制剂添加量与橡木片烘烤程度，可实现果酒风味的定向调控。例如，添加果胶酶( $0.2\text{ g/L}$ )澄清山楂酒，再添加中度烘烤橡木片( $5\text{ g/L}$ )陈酿 30 天，山楂酒的澄清度达 98%，且具有浓郁的香草香气。

三是绿色工艺技术的开发与应用，绿色工艺技术的开发与应用是实现果酒产业可持续发展的必然趋

势,其核心是减少能源消耗与环境污染,生产天然、安全的绿色产品[31]。绿色工艺技术的优化主要包括以下两个方面:一是节能降耗技术的应用,例如,采用膜分离技术替代传统蒸馏技术,膜分离技术利用膜的筛分作用分离酒精与杂质,能耗仅为蒸馏技术的1/3,且能够保留更多的风味物质;采用太阳能干燥技术替代传统热风干燥技术,用于水果的预处理,可降低能源消耗50%以上。二是环保型助剂的替代,例如,采用壳聚糖、魔芋胶等天然澄清剂替代明胶、膨润土等化学澄清剂,减少化学试剂的残留;采用生物降酸法替代化学降酸法,避免钙离子过量导致的酒体稳定性问题;采用臭氧杀菌替代巴氏杀菌,减少热处理对果酒风味的影响。

### 3.4. 质量控制体系优化

构建全链条质量控制体系,是保障果酒产品品质与安全的核心。一是建立风味物质指纹图谱,利用GC-MS/MS、电子鼻等检测技术,分析不同批次果酒的特征香气成分(如乙酸乙酯、异戊醇、苯乙醇等),建立风味标准数据库,将批次间风味偏差控制在5%以内。二是严控安全指标,针对甲醇( $\leq 400$  mg/L)、重金属( $Pb \leq 0.2$  mg/L)、二氧化硫( $\leq 250$  mg/L)等关键安全指标,建立在线检测机制,确保产品符合《葡萄酒、果酒通用技术条件》(GB/T15038-2006)国家标准[32]。三是制定标准化感官评价体系,组建专业感官评审团队,结合电子舌技术,从色泽、香气、口感、余味四个维度建立量化评分标准,指导工艺参数的优化调整。

## 4. 发酵型果酒酿造面临的挑战与未来方向

### 4.1. 面临的挑战

当前发酵型果酒酿造产业仍面临诸多瓶颈:一是原料品质波动大,不同季节、产地的水果品质差异显著,导致工艺参数难以稳定控制[33];二是风味协同机制不明,果酒风味物质的合成路径及微生物代谢调控机制尚未完全厘清,制约了定向风味调控技术的发展[34];三是规模化生产成本高,智能装备与创新技术的应用成本较高,中小果酒企业难以承受[35];四是消费者认知度低,果酒产品的市场定位与宣传不足,消费群体相对狭窄[36]。

### 4.2. 未来发展方向

一是合成生物学技术的应用,通过基因编辑技术改造酵母菌种,实现特定风味物质(如2-苯乙醇、乙酸异戊酯)的定向合成,提升果酒的风味品质[37];二是区块链溯源技术的推广,构建从原料种植、加工酿造到成品销售的全程溯源体系,增强消费者对产品的信任度[38];三是功能性果酒的开发,将益生菌、多酚提取物等功能性成分融入果酒酿造过程,开发具有抗氧化、调节肠道菌群等功效的功能性产品,拓展果酒的市场应用场景[5];四是产业标准化建设,推动制定果酒原料分级、工艺操作、品质评价等系列标准,促进果酒产业的规范化、高质量发展。

## 5. 结论

发酵型果酒酿造工艺已逐步从传统经验型向精准化、智能化方向转型,原料预处理、菌种选育、发酵调控、后处理陈酿等关键环节的技术创新,为果酒品质提升提供了有力支撑。通过原料适配性优化、工艺参数精准化控制、技术融合创新及质量控制体系构建等路径,可有效解决当前果酒酿造过程中存在的品质不稳定、风味同质化等问题。未来,随着合成生物学、智能装备、区块链等技术的不断融入,发酵型果酒产业将朝着品质高端化、产品功能化、生产绿色化的方向发展,有望在酒类市场中占据更大的份额。

## 参考文献

- [1] 覃志贵, 蓝彩红, 朱宝生, 等. 香水柠檬果酒酿造工艺研究[J]. 轻工科技, 2025, 41(6): 50-52.
- [2] 郭小雨, 李梦丽, 张涛. 百香果发酵型果酒制备及其风味品质分析[J]. 食品工业科技, 2024, 45(20): 290-299.
- [3] 刘凯, 张浩天, 张文勇, 等. 果酒发酵酒酿造研究进展[J]. 落叶果树, 2025, 57(6): 51-55.
- [4] 章慧, 宋林东, 张梦璐, 等. 8种发酵型果酒的抗氧化活性和风味物质研究[J]. 中国酿造, 2024, 43(1): 159-168.
- [5] 宋金敏, 杨波, 王阳光, 等. 低甲醇胡柚果酒酿造工艺优化及其香气成分分析[J]. 食品科技, 2025, 50(10): 122-130.
- [6] 董冰冰, 田方, 刘静, 等. 发酵型果酒降酸工艺及其对风味影响的研究进展[J]. 食品工业科技, 2023, 44(22): 368-376.
- [7] 谷佩珊, 陈亦新, 王春光, 等. 发酵型和配制型山楂酒中主要呈香物质组成成分分析[J]. 食品科学, 2023, 44(14): 326-335.
- [8] 南国辉, 余洪春, 李莉琼, 等. 苦荞血橙果酒酿造工艺与品质分析[J]. 酿酒科技, 2025(10): 59-64.
- [9] 何思莲, 施灿璨, 李琼, 等. 龙眼果酒发酵工艺优化、抗氧化活性研究及品质分析[J]. 中国酿造, 2022, 41(5): 131-136.
- [10] 彭寅啸. 甜型甘蔗果酒酿造工艺及增香机制研究[D]: [硕士学位论文]. 南宁: 广西大学, 2025.
- [11] 梁舒妍, 白卫滨, 刘嘉惠, 等. 富含花色苷的发酵型果酒色泽衰减原因及机制分析[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2021, 47(6): 695-703.
- [12] 卢丽娟, 钟瑶, 秦义. 可同化氮源磷酸氢二铵对发酵型猕猴桃酒品质的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(14): 256-263.
- [13] 王志鹏, 杨青, 刘星. 甜瓜果酒发酵酿造工艺[J]. 农村科技, 2025(1): 61-63.
- [14] Yang, Z., Liu, X., Song, C., Hu, B., Tang, J., Zhang, S., *et al.* (2025) Effects of Ultrasonic-Assisted Maceration on Flavor, Metabolites and Antioxidant Properties of Kiwi Wine. *LWT*, **227**, Article 118002. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.118002>
- [15] 刘静, 傅冰, 刘苏瑶, 等. 云南咖啡果发酵型果酒的酿造[J]. 食品工业科技, 2017, 38(10): 194-199.
- [16] 李蜜月, 黄燕, 谢永富, 等. 溶菌酶介入下发酵型罗汉果酒的制备和风味[J]. 中国食品添加剂, 2021, 32(3): 20-27.
- [17] 杨芳, 刘铁, 刘燕, 等. 发酵型桑葚果酒主要成分动态变化规律及香气成分分析[J]. 食品与机械, 2018, 34(6): 15-20.
- [18] 程昊, 陈姚锋, 唐婷范, 等. 发酵型百香果酒的研制[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(16): 160-164.
- [19] 韩希凤, 金晓辉, 郭志鹏, 等. 澄清方法对发酵型大枣果酒澄清效果的比较分析[J]. 食品工业, 2018, 39(4): 141-144.
- [20] 杨小丽, 李本姣, 章攀, 等. 青梅果酒加工工艺研究进展[J]. 南方农业, 2024, 18(21): 130-133.
- [21] 任晓宇, 刘琳, 王宓, 等. 发酵型红枣果酒酿造的工艺研究[J]. 食品科技, 2016, 41(10): 63-68.
- [22] 张香, 秦丹, 曾璐, 等. 发酵型果酒中甲醇和杂醇油的研究进展[J]. 中国酿造, 2020, 39(8): 17-21.
- [23] 刘建花, 赵智慧, 董建方, 等. 枸杞红梅杏复合果酒酿造工艺研究[J]. 酿酒科技, 2024(10): 26-30.
- [24] 陈向阳, 杨子怡, 柴菊华, 等. 闪蒸处理对马瑟兰葡萄酒品质的影响[J/OL]. 食品工业科技: 1-18. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2025060338>, 2026-03-20.
- [25] 魏晓宇, 邱怡筠, 邱磊. 玛卡发酵型葡萄酒的酿造工艺研究[J]. 中国酿造, 2017, 36(10): 190-194.
- [26] 张超, 王玉霞, 周丹红. 发酵型青梅枸杞果酒澄清技术研究[J]. 中国酿造, 2015, 34(12): 149-152.
- [27] 郭懿锋. 藤茶啤酒酿造工艺优化及风味物质分析研究[J]. 保鲜与加工, 2025, 25(9): 113-121+138.
- [28] 张启尧, 王雪. 传统酿造工艺白酒品牌真实性感知对消费者购买意愿的影响[J]. 中国酿造, 2025, 44(7): 300-306.
- [29] 崔培梧, 曹婧, 米洁, 等. 发酵型茯苓葡萄酒的研制及品质评价[J]. 中国酿造, 2015, 34(7): 48-52.
- [30] Lou, X., Sun, J., Yang, H., Yu, H., Chen, C., Liu, S., *et al.* (2025) Aroma Generation of Fermented Fruit Wines: Potential Enhancement Strategies via Fermentation and Aging Process. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **65**, 9004-9025. <https://doi.org/10.1080/10408398.2025.2516758>
- [31] 尹欣. 酸樱桃果酒优良酵母筛选及酿造工艺优化[D]: [硕士学位论文]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2025.
- [32] Shen, J., Huang, W., You, Y. and Zhan, J. (2024) Controlling Strategies of Methanol Generation in Fermented Fruit

---

Wine: Pathways, Advances, and Applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, **23**, e70048. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70048>

- [33] 杨刚, 刘峰浩, 高兴宇, 等. 蒲公英精酿啤酒酿造工艺优化及生物活性研究[J]. 中国酿造, 2025, 44(12): 203-209.
- [34] 邓仕彬, 蔡伊萍, 肖佳惠, 等. 枇杷啤酒酿造工艺优化及对其品质的影响[J]. 食品科技, 2025, 50(12): 77-86.
- [35] 于子涵, 李清亮, 卢延想, 等. 白酒自动化、数字化酿造工艺研究进展[J]. 中国酿造, 2025, 44(11): 7-14.
- [36] 张正杰, 许德富, 明红梅, 等. 双曲酿造工艺中糟醅微生物群落与挥发性风味物质演变规律及相关性分析[J/OL]. 食品与发酵工业: 1-14. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.044391>, 2026-03-20.
- [37] 刘威, 席锡春, 温雪秋, 等. 国产酿造酱油制曲工艺研究进展[J/OL]. 食品与发酵工业: 1-12. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.044240>, 2026-03-20.
- [38] 荀澈恬, 郝建雄, 姚锐东, 等. 亚麻籽粕酱油的酿造工艺及品质分析[J/OL]. 食品与发酵工业: 1-13. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.043823>, 2026-03-20.