

发酵型果酒酿造工艺及风味物质的研究进展

黄茵¹, 宋桐慧¹, 陈明兰¹, 张惠琳²

¹广东白云学院大数据与计算机学院, 广东 广州

²广州商学院信息技术与工程学院, 广东 广州

收稿日期: 2024年12月2日; 录用日期: 2025年3月4日; 发布日期: 2025年3月12日

摘要

随着消费者的健康意识增强, 果酒类产品越来越受欢迎。其中发酵型果酒是指利用水果或果汁, 经过发酵或半发酵制成的低度酒, 含有抗氧化等有益成分, 有助于预防心脑血管疾病。本文结合目前国内外酿造型果酒的研究现状, 综述了发酵菌株、温度、pH值、溶解氧含量、二氧化碳浓度、菌体密度和基质浓度等因素对果酒品质的影响, 探讨了果酒发酵过程中醇类、酸类、酯类及氨基酸类香气成分的生成机制。最后基于果酒酿造产业当前面临的问题, 对未来的研究方向和发展趋势进行分析与展望, 为后续提高酿造型果酒品质提供理论参考。

关键词

发酵, 果酒, 风味, 形成机理

Research Progress on Fermentation Technology and Flavor Compounds of Fruit Wine

Yin Huang¹, Tonghui Song¹, Minglan Chen¹, Huilin Zhang²

¹School of Big Data and Computer Science, Guangdong Baiyun University, Guangzhou Guangdong

²School of Information Technology and Engineering, Guangzhou College of Commerce, Guangzhou Guangdong

Received: Dec. 2nd, 2024; accepted: Mar. 4th, 2025; published: Mar. 12th, 2025

Abstract

With the growing awareness of health among consumers, fruit wine products are gaining increasing popularity. Fermented fruit wine, in particular, refers to a type of low-alcohol beverage made by fermenting or partially fermenting fruits or fruit juice. These wines contain beneficial components,

such as antioxidants, which can help prevent cardiovascular diseases. This paper reviews the current state of research on fermented fruit wine production both domestically and internationally, summarizing the effects of factors such as fermentation strains, temperature, pH, dissolved oxygen levels, carbon dioxide concentration, cell density, and substrate concentration on fruit wine quality. It further explores the formation mechanisms of aromatic compounds, including alcohols, acids, esters, and amino acids, during the fermentation process. Finally, this study analyzes and forecasts future research directions and development trends in light of the challenges currently facing in the fruit wine brewing industry, providing a theoretical reference for improving the quality of fermented fruit wines.

Keywords

Fruit Wine, Fermentation, Flavor, Formation Mechanism

Copyright © 2025 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

随着消费者的健康意识提升,果酒需求量日益增加。果酒是指通过发酵或半发酵水果或果汁制成的低酒精饮料,分为发酵型、蒸馏型和调配型[1]-[3]。通常含有多种功能性成分,酚类、酮类物质,具有抗氧化、抗癌作用,以及预防心脑血管疾病的效果[4][5]。其中发酵型果酒的工艺流程包括原料筛选、前处理、打浆、调糖、发酵、过滤、陈酿、澄清和装罐密封等步骤[6]-[8]。某些水果可通过酶解处理提高出汁率,通过调整糖度、使用活化的菌液进行发酵以保证产品质量[9][10]。

2. 发酵条件对果酒发酵的影响

2.1. 酵母菌株对果酒发酵的影响

发酵工业领域中酿酒酵母细分为酒精、白酒、葡萄酒、黄酒和啤酒活性干酵母等不同类别[11]-[13]。在进行菌种选择时,应优先考虑那些细胞形态呈现圆形或卵圆形[14]、生长繁殖能力较强[15]、发酵活力较高、凝聚性和耐压性较强以利于后期分离操作[16],以及具有稳定遗传特性,能够稳定繁殖的酵母[17]。

具体属性要求:(1) 生长繁殖能力强:具备强大生长能力的酵母不仅繁殖速率快,即便在营养条件欠佳的环境中,仍能保持较高的繁殖速度[18][19]。通常在适宜的培养条件下,酿酒酵母在对数生长周期的比生长速率可达到 0.15~0.25/h 以上;(2) 耐酸能力强:不同酵母的抗酸能力各异,通常酿酒酵母适宜的 pH 为 3.6~6.0 [20]。当 pH 值过低,酵母的生长繁殖受抑制,导致发酵果酒的酒精浓度降低偏低[21];(3) 耐高渗特性:酵母发酵主要使用单糖,若用糖蜜需高浓度,发酵环境需高渗透压。因此,菌株选用需耐高渗透压[22];(4) 嗜杀特性:具有嗜杀性的酵母菌株在生长繁殖过程中,能够向细胞外分泌一种能够杀死或抑制其他菌株生长的蛋白质[23],有助于净化发酵体系,预防外界菌株引入新污染。

2.2. 温度对果酒发酵的影响

温度的波动对酵母的生长速率、相关酶的活性、发酵原液的物理特性以及代谢产物的合成路径有显著影响。适宜的发醇温度包括酵母的最佳生长温度和生产温度[24][25]。温度适度提升,可促进酵母的发醇速率和增强酶的活性。达到酵母的最佳生长温度不仅能够增强其生长和繁殖能力,还能提升酒精的产

生速率[26]。产酒过程中,选择适宜的生产温度至关重要,必须根据菌种和发酵阶段的需要调整发酵温度。温度过低会减缓酵母代谢,降低酒精和风味物质的生成,导致果酒风味淡薄;温度过高则可能导致香气成分挥发和酵母过早死亡,影响果酒品质。对于含有不稳定化合物的果酒如花青素、多酚类化合物等,需通过多因素试验确定最佳发酵周期,以保持优良风味、减少功能性物质损失[27] [28]。

2.3. pH 对果酒发酵的影响

pH 随着酵母对营养物质的消耗以及代谢产物的合成而发生相应的变化。通过监测 pH 变化情况,我们可以监控并判断发酵过程是否正常进行。pH 的波动显著影响酵母的生长、繁殖和代谢。不合适的 pH 会抑制或激活酵母酶活性,干扰其生命活动和代谢途径,产生不利发酵的代谢产物,还会影响营养物质和代谢产物的物理状态,进而影响酵母吸收或解离。实际生产中酵母的发酵和生长最适 pH 并不相同,这要求我们根据不同发酵阶段调整酸碱度,如添加缓冲物质如碳酸钙、酮酸,或直接添加酸碱物质等。

2.4. 溶解氧对发酵的影响

溶解氧是指微生物生长和代谢必需的氧浓度,生物临界氧浓度是指微生物呼吸所需的最低氧浓度。溶解氧高于临界值时,细胞耗氧速率稳定;低于临界值时,微生物呼吸速率下降,细胞耗氧速率迅速降低,进入半厌氧状态,代谢途径发生变化[22] [28]。酵母发酵过程中溶解氧并非越多越好,适宜的溶解氧浓度对微生物代谢途径至关重要。发酵过程中不同阶段对溶解氧的需求不同,如发酵初期氧浓度不足会阻碍酵母生长繁殖,导致酒精产生,而发酵后期氧浓度太高则会抑制无氧呼吸,影响酒精生成。

2.5. 二氧化碳对发酵的影响

二氧化碳既是微生物代谢过程中的产物,也是某些代谢产物合成的必需基质,其浓度与微生物的正常生命活动密切相关,对微生物的生长和代谢产物的形成产生直接影响。细胞膜结构中二氧化碳能够与膜上脂肪的核心部位相结合,而碳酸氢根离子则能够改变磷脂亲水部位的电荷分布,进而影响细胞膜上的蛋白质。当二氧化碳和碳酸氢根离子作用于细胞膜时,会改变膜的电荷密度和流动性,从而干扰细胞的跨膜运输,阻碍物质交换,最终导致微生物生长和增殖的抑制。

2.6. 菌体浓度对发酵的影响

发酵过程中菌体浓度与营养物质基质浓度有着密切关系,通过调节基质的浓度可以有效控制菌体浓度,确保其在适宜的范围内[29] [30]。相关研究表明酵母菌添加量在 10%~15%的区间内,菌体浓度与酒精浓度、总酯之间呈现正相关性[31] [32]。当菌体浓度过高,酒精浓度和总酯增长速率的相关性会降低。酵母大量消耗底物增殖,导致酒精浓度下降,产生大量代谢废物导致大量死亡酵母,产生不良风味;当菌体浓度偏低,酵母生长代谢缓慢不能形成明显的主导菌种,导致产品酒精浓度和风味物质含量降低[22];综上可知,适当的具体浓度有助于提高发酵速率,缩短发酵周期并减少杂菌污染的风险[33] [34]。

2.7. 基质浓度对发酵的影响

基质浓度对酵母生长和代谢产物有显著影响[35]。根据 Monod 方程,酵母生长速率与基质浓度呈正相关,但超过一定浓度则抑制其生长[34],其中包括渗透压过高,酒精浓度过高导致细胞死亡,关键酶抑制或结构改变影响了正常代谢[36] [37]。基质浓度过低时,酵母面临碳源匮乏,影响发酵程度、酒精浓度和产品风味[22] [38] [39]。综上可知,基质浓度适当提高会加速代谢活动,增加酒精和风味物质的产量,浓度过高则产生苦涩风味物质,影响独特风味的形成[40] [41]。

3. 发酵型果酒的主要风味物质形成机理

在发酵型果酒中, 主要成分包括水、可溶性固形物以及酒精, 这些成分占据了总比例的 98%, 而其余的 2% 则构成了果酒中一系列的风味物质[42], 主要包括醇类、酸类、酯类、醛类、酮类、芳香族化合物、内酯类化合物、含硫化合物以及某些蛋白质分解后的氨基酸物质[43][44]。其中, 酯类物质多为简单脂, 例如癸酸乙酯和辛酸乙酯等; 醇类物质在酒体中的含量仅次于酯类物质, 如丁二醇和甘油物质, 主要提供酒香味以及辛辣味; 随后则是果酒中最具代表性的酸类和氨基酸类风味物质[45]。果酒风味主要来自两方面: 一是发酵过程中微生物活动产生的代谢产物及其相互作用, 形成的新风味物质以及某些蛋白质分解形成的风味氨基酸物质; 二是陈酿过程中酒精与水缔合、挥发性物质挥发、酯化水解平衡、氧化作用、分子间相互作用及容器表面活性中心的参与, 形成了新风味或降低某些易挥发的不良风味物质[45][46]。

3.1. 果酒中醇类化合物的形成机理

酒精发酵过程中, 微生物无氧呼吸生成大量的乙醇以其他的、一元醇类物质以及其它多元醇物质。

高级醇指含有三个及三个以上碳原子的一元醇, 在果酒中通常含有正丙醇、异丙醇、丁醇、正丁醇等醇类化合物, 是香气物质的主要成分以及衡量风味质量的重要指标[47][48]。当果酒中含有一定量的高级醇, 可显著提高果酒的特征性香味, 同时也可以提高果酒的口感, 使果酒更口感加顺滑, 饱满以及柔和。有大量文献证明了高级醇主要是通过氨基酸的降级代谢途径以及糖的代谢合成途径这两种生化反应机制形成的[49]。(1) 氨基酸降解是形成高级醇的主要途径。不同支链氨基酸产生不同高级醇, 例如苏氨酸生成丙醇, 缬氨酸生成异丁醇, 亮氨酸生成异戊醇, 异亮氨酸生成活性戊醇, 酪氨酸生成对羟基苯乙醇等。具体果酒中的支链氨基酸在转氨酶作用下生成 α -酮戊二酸, 再经脱羧酶作用脱羧生成少一个碳原子的新醛, 最终在一定条件下还原成新高级醇。(2) 葡萄糖通过糖代谢生成丙酮酸, 再经乙酰羧酸合酶作用生成酮酸中间体。氨基酸与丙酮酸中间体反应生成新的氨基酸和有机酸, 有机酸失去羧基形成醛类化合物, 最终还原成高级醇。

多元醇常见于果酒中, 是一类含有两个以上羟基的醇类化合物, 如 2,3-丁二醇、1,10-癸二醇、甘油和己六醇。微生物在有氧条件下以葡萄糖为底物通过化学反应生成多元醇。由于果酒中多元醇的含量远比高级醇少, 因此对于果酒风味及口感方面的贡献, 在衡量果酒质量时仅作为参考因素。

3.2. 果酒中酸类化合物的形成机理

酸类物质是果酒最能区别于其他发酵类酒的特征性风味, 主要提供醋酸和微甜的风味物质, 提高浓厚感, 丰富果酒的口感。大量文献表明四个碳及四个碳以下的酸类物对果酒的风味起到积极的贡献作用, 随着碳链加长, 酸类物质的不良风味越明显[50]。果酒中酸类物质主要有两个的来源途径。一是水果本身就含有多种有机酸, 如柠檬酸、酒石酸、苹果酸等; 二是发酵过程中产生的酸, 如辛酸、己酸、乙酸、丁酸、琥珀酸等, 其中辛酸、己酸、乙酸、丁酸、乳酸等特征酸占总体有机酸中 95% 以上[51]。而琥珀酸在后期陈酿中, 参与到酯类物质的合成, 有利于香气成分的形成。

酵母无氧呼吸生成乙醇, 以乙醇为底物经过氧化反应生成乙酸[52]; 丁酸有两个合成途径: 丁酸菌的作用下葡萄糖等可利用糖源代谢生成乙醛, 乙醛再进行歧化反应进而形成丁酸; 另一个乙酸与乙醇在丁酸菌的作用下脱水结合生成丁酸; 己酸同样有两个合成途径: 主要以乙醇和乙酸作为反应底物生成, 当体系中的乙醇浓度较高, 反馈机制则抑制丁酸的生成, 主要产生己酸。当体系中乙酸浓度较高, 则抑制己酸的生成, 主要产生丁酸; 另一个途径是直接由葡萄糖酵解而生成的己酸; 辛酸主要以乙醇和乙酸为反应底物, 经过与上述类似生化反应而生成的。乳酸则是在乳酸菌或异性乳酸菌的作用下, 葡萄糖被代

谢降解形成的[53]。

3.3. 果酒中酯类化合物的形成机理

果酒中的酯类化合物指简单脂,包括辛酸乙酯,己酸乙酯,乙酸乙酯等酯类物质,大多数带有花香、果香以及酒香等良好香气[54][55]。比如辛酸乙酯有水果样气味,己酸乙酯有菠萝香气,味甜爽口,带刺激感,乙酸乙酯有水果香、味刺激、带涩味[56][57]。果酒中酯类化合物有两个合成途径:(1)酵母等微生物代谢产生的酯类氧化酶,作用于酸类物质生成酰基辅酶A,进一步和醇类化合物结合生成新酯。(2)以醇类和酸类物质作为反应底物经过一些类化学反应进而生成新酯。如乙酸乙酯主要以丙酮酸为反应底物,经过脱羧氧化反应生成乙酰辅酶A,在酯化酶的催化作用下再和乙醇结合生成乙酸乙酯。

3.4. 果酒氨基酸类化合物的形成机理

氨基酸物质虽然含量少,但是也提供一定特征性风味[58][59],如甘氨酸、丝氨酸、丙氨酸具有甜味。氨基酸主要有两个生成途径:(1)酵母和其他微生物在发酵过程中,经过氨基酸的物质代谢,会生成亮氨酸、赖氨酸这些具有风味的代谢产物。(2)某些蛋白质在发酵或陈酿过程中降解而产生的氨基酸。由此可见,发酵型果酒中的氨基酸风味成分来源于发酵底物本身以及酵母进行正常生命活动形成的代谢产物。

4. 存在问题及展望

目前,国内的果酒酿造业已经形成相对成熟的工艺流程以及评价标准,但是果酒生产过程以及后期的评价体系依旧存在不足之处,需要进一步进行研究分析,从而更好地提高产品的生产效率和质量。

(1) 果酒酿造过程中对果渣的利用尚不充分:随着生活水平的提高,人们日益关注健康饮食,果酒因具有保健功能而受到青睐。但是,传统的发酵技术未能充分挖掘果渣中的营养成分,如丰富的膳食纤维、酚类和酮类物质,从而造成了营养成分的浪费。

(2) 缺乏完善的优质酿酒酵母评价标准:众多研究结果揭示,酵母菌株对于果酒发酵过程具有决定性影响,针对不同类型的果酒,选择适宜的菌株或复合酵母至关重要。然而,当前的果酒酿造业中,优质酿酒酵母的评价标准尚未形成明确共识,建议相关行业根据实际生产工艺需求,制定企业或行业标准。

(3) 混合菌株发酵技术需进一步完善:对酿酒酵母的深入研究揭示了其对果酒风味及口感的积极影响。因此,深入探究复合菌种对果酒风味品质的作用,将有助于提高果酒感官质量,开拓果酒产业的新发展路径。

(4) 发酵过程中风味成分的生成特性及机理尚不明确:在果酒的发酵过程中,各个阶段风味成分的生成特性及其背后的机理尚未被完全揭示和理解。目前,研究者们主要关注的是成品果酒之间的风味差异,后期深入探究酿造过程中不同阶段所生成的风味物质及其形成机理,将有助于我们更精确地辨识出果酒中的特征性香气成分以及它们的形成规律,对于监控整个果酒发酵过程、确保食品安全和提升果酒的质量具有至关重要的意义。

参考文献

- [1] 戴桂芝. 浅谈我国目前果酒行业现状及发展对策[J]. 保鲜与加工, 2002, 2(6): 3-5.
- [2] 祖瑗, 钟小祥, 李进强, 等. 我国几种特色果酒专用酵母的研究进展[J]. 中国酿造, 2019, 38(4): 11-16.
- [3] Styger, G., Prior, B. and Bauer, F.F. (2011) Wine Flavor and Aroma. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, **38**, 1145-1159. <https://doi.org/10.1007/s10295-011-1018-4>
- [4] 陈静, 程晓雨, 潘明, 等. 中国果酒生产技术研究现状及其产业未来发展趋势[J]. 食品工业科技, 2017, 38(2): 383-389.

- [5] 葡萄酒中的酚类物质 II: 辅色效应与生物活性研究进展[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2000: 3-4.
- [6] 张文慧, 李青林, 黄丽辉, 等. 葡萄酒与健康关系的研究新进展[J]. 中国酿造, 2019, 38(2): 11-15.
- [7] Gumienna, M., Szwengiel, A. and Górna, B. (2015) Bioactive Components of Pomegranate Fruit and Their Transformation by Fermentation Processes. *European Food Research and Technology*, **242**, 631-640. <https://doi.org/10.1007/s00217-015-2582-z>
- [8] 何彩梅. 柑橘果酒酿造工艺研究进展[J]. 中国酿造, 2016, 35(3): 10-12.
- [9] 王珊珊. 柑橘果酒酿造与品质分析[J]. 保鲜与加工, 2002(6): 3-5.
- [10] 林宁晓. 发酵果酒工艺技术的研究进展[J]. 福建轻纺, 2015(8): 32-36.
- [11] Del Fresno, J.M., Morata, A., Loira, I., Bañuelos, M.A., Escott, C., Benito, S., *et al.* (2017) Use of Non-Saccharomyces in Single-Culture, Mixed and Sequential Fermentation to Improve Red Wine Quality. *European Food Research and Technology*, **243**, 2175-2185. <https://doi.org/10.1007/s00217-017-2920-4>
- [12] Hu, B., Cao, Y., Zhu, J., Xu, W. and Wu, W. (2019) Analysis of Metabolites in Chardonnay Dry White Wine with Various Inactive Yeasts by ¹H NMR Spectroscopy Combined with Pattern Recognition Analysis. *AMB Express*, **9**, Article No. 140. <https://doi.org/10.1186/s13568-019-0861-y>
- [13] Duarte, W.F., Dias, D.R., de Melo Pereira, G.V., Gervásio, I.M. and Schwan, R.F. (2009) Indigenous and Inoculated Yeast Fermentation of Gabiroba (*Campomanesia pubescens*) Pulp for Fruit Wine Production. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, **36**, 557-569. <https://doi.org/10.1007/s10295-009-0526-y>
- [14] Sottit, C., Salor-Torregrosa, J.M., Moreno-Garcia, J., Peinado, J., Mauricio, J.C., Moreno, J., *et al.* (2019) Using *Torulasporea delbrueckii*, *Saccharomyces cerevisiae* and *Saccharomyces Bayanus* Wine Yeasts as Starter Cultures for Fermentation and Quality Improvement of Mead. *European Food Research and Technology*, **245**, 2705-2714. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03384-z>
- [15] Hu, L., Wang, J., Ji, X., Liu, R., Chen, F. and Zhang, X. (2018) Selection of Non-Saccharomyces Yeasts for Orange Wine Fermentation Based on Their Enological Traits and Volatile Compounds Formation. *Journal of Food Science and Technology*, **55**, 4001-4012. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3325-5>
- [16] 方晓纯, 郑凤锦, 林波, 等. 不同干酵母对百香果酒的发酵影响[J]. 食品工业, 2019, 40(5): 115-119.
- [17] 王荣荣, 刘坤峰, 朱静, 等. 野生猕猴桃酿酒酵母的筛选及其发酵特性[J]. 食品工业科技, 2018, 39(16): 115-119.
- [18] Ogodo, A.C., Ugbogu, O.C., Ugbogu, A.E. and Ezeonu, C.S. (2015) Production of Mixed Fruit (Pawpaw, Banana and Watermelon) Wine Using *Saccharomyces cerevisiae* Isolated from Palm Wine. *SpringerPlus*, **4**, Article No. 683. <https://doi.org/10.1186/s40064-015-1475-8>
- [19] Beckner Whitener, M.E., Stanstrup, J., Panzeri, V., Carlin, S., Divol, B., Du Toit, M., *et al.* (2016) Untangling the Wine Metabolome by Combining Untargeted SPME-GC×GC-TOF-MS and Sensory Analysis to Profile Sauvignon Blanc Co-Fermented with Seven Different Yeasts. *Metabolomics*, **12**, Article No. 53. <https://doi.org/10.1007/s11306-016-0962-4>
- [20] 熊元林, 李晓宇. 橙汁果酒绮丽酵母的筛选及耐受性[J]. 贵州农业科学, 2014(10): 213-216.
- [21] 张文文, 白梦洋, 吴祖芳, 等. 果酒酵母菌混合发酵的研究进展[J]. 食品科学, 2018, 39(19): 252-259.
- [22] 王珊珊, 吴昊, 司月阳, 等. 响应面法优化甘蔗菠萝复合型果酒的酿造工艺[J]. 中国酿造, 2019, 38(9): 80-85.
- [23] Lin, X., Wang, Q., Hu, X., Wu, W., Zhang, Y., Liu, S., *et al.* (2018) Evaluation of Different *Saccharomyces cerevisiae* Strains on the Profile of Volatile Compounds in Pineapple Wine. *Journal of Food Science and Technology*, **55**, 4119-4130. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3338-0>
- [24] 徐镇祥, 杨川, 李敬龙. 超微粉复合型果酒的研究[J]. 中国酿造, 2018, 37(8): 198-202.
- [25] 程雅芳, 曹慕明, 陈国品, 等. 带壳百香果与甘蔗汁混酿复合果酒工艺研究[J]. 中国酿造, 2019, 38(3): 201-205.
- [26] 吴均, 杨德莹, 李抒桐, 等. 奉节脐橙果酒发酵工艺的优化[J]. 食品工业科技, 2016, 37(23): 247-252.
- [27] 李宇, 胡玉娇. 功能性柚子果酒工艺研究[J]. 酿酒科技, 2014(1): 74-77.
- [28] Lu, Y., Voon, M.K.W., Huang, D., Lee, P. and Liu, S. (2016) Combined Effects of Fermentation Temperature and Ph on Kinetic Changes of Chemical Constituents of Durian Wine Fermented with *Saccharomyces cerevisiae*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, **101**, 3005-3014. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-8043-1>
- [29] 杨辉, 黄丽梅, 罗建华. 海红果酒酵母筛选及其发酵工艺的响应面法优化[J]. 食品工业科技, 2014, 35(9): 221-225.
- [30] 刘晓静, 于立梅, 庄雪莹, 等. 百香果果酒发酵工艺及香气成分分析[J]. 中国酿造, 2017, 36(12): 153-157.
- [31] 曹敬华, 丁建设, 杨裕才, 等. 胡柚果酒酿造工艺优化[J]. 中国酿造, 2018, 37(10): 111-115.
- [32] 汪琢, 高杉, 王虹玲, 等. 洛神花混合果酒酿造工艺的优化[J]. 食品工业, 2018, 39(12): 77-80.

- [33] 刘琨毅, 申俊刚, 王琪, 等. 响应面法优化柑橘枸杞复合果酒酿造工艺[J]. 中国酿造, 2019, 38(8): 199-204.
- [34] 刘晓翠, 王丽, 黎星辰, 等. 响应面优化猕猴桃酒混合发酵工艺[J]. 食品工业科技, 2019, 40(18): 65-71, 77.
- [35] Jo, Y., Baek, J., Jeong, I., Jeong, Y., Yeo, S., Noh, B.S., *et al.* (2015) Physicochemical Properties and Volatile Components of Wine Vinegars with High Acidity Based on Fermentation Stage and Initial Alcohol Concentration. *Food Science and Biotechnology*, **24**, 445-452. <https://doi.org/10.1007/s10068-015-0059-2>
- [36] 张如意, 宋志强, 刘银兰, 等. 红枣葡萄果酒酿造工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(5): 138-142.
- [37] 刘静娜, 庄远红, 张茜茜. 蜜柚桂圆发酵果酒酿造工艺的优化[J]. 中国酿造, 2019, 38(2): 208-211.
- [38] 陈静, 南立军, 温金英, 等. 沙糖桔葡萄复合果酒酿造工艺研究[J]. 中国酿造, 2019, 38(8): 187-192.
- [39] 张南海, 石雅, 赵亮, 等. 树莓紫薯复合果酒发酵工艺研究[J]. 现代食品科技, 2019, 35(11): 182-192.
- [40] 郭焰, 豆一玲, 严玉玲, 等. 新疆库尔勒香梨糯米酒发酵工艺研究[J]. 食品科技, 2015, 40(3): 74-77.
- [41] 郭在力, 栾静, 孙玉梅. 可同化氮对葡萄酒发酵影响的研究进展[J]. 中国酿造, 2016, 35(4): 19-23.
- [42] Chang, E., Jeong, S., Hur, Y., Koh, S. and Choi, I. (2015) Changes of Volatile Compounds in *Vitis labrusca* "Doonuri" Grapes during Stages of Fruit Development and in Wine. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, **56**, 137-144. <https://doi.org/10.1007/s13580-015-0068-3>
- [43] Ruiz, J., Kiene, F., Belda, I., Fracassetti, D., Marquina, D., Navascués, E., *et al.* (2019) Effects on Varietal Aromas during Wine Making: A Review of the Impact of Varietal Aromas on the Flavor of Wine. *Applied Microbiology and Biotechnology*, **103**, 7425-7450. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10008-9>
- [44] Deroite, A., Legras, J., Rigou, P., Ortiz-Julien, A. and Dequin, S. (2018) Lipids Modulate Acetic Acid and Thiol Final Concentrations in Wine during Fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* × *Saccharomyces kudriavzevii* Hybrids. *AMB Express*, **8**, Article No. 130. <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0657-5>
- [45] Sumbly, K.M., Bartle, L., Grbin, P.R. and Jiranek, V. (2019) Measures to Improve Wine Malolactic Fermentation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, **103**, 2033-2051. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-09608-8>
- [46] Baidya, D., Chakraborty, I. and Saha, J. (2015) Table Wine from Tropical Fruits Utilizing Natural Yeast Isolates. *Journal of Food Science and Technology*, **53**, 1663-1669. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2080-0>
- [47] 高鹏岩, 刘瑞山, 张晓娟, 等. 酵母对苹果汁发酵果醋不同阶段风味影响的分析[J]. 中国调味品, 2019, 44(7): 20-24.
- [48] 王兴凯, 赵新节, 孙玉霞. 酿造工艺对海棠果酒挥发性香气成分的影响[J]. 食品工业, 2018, 39(6): 1-6.
- [49] 海金萍, 刘钰娜, 邱松山. 三华李果酒发酵工艺的优化及香气成分分析[J]. 食品科学, 2016, 37(23): 222-229.
- [50] 李洁莹, 杜晶, 韩飞, 等. 无醇杨梅果酒发酵工艺优化及其品质分析[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(12): 76-82.
- [51] Tesnière, C. (2019) Importance and Role of Lipids in Wine Yeast Fermentation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, **103**, 8293-8300. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10029-4>
- [52] Maslov Bandić, L., Žulj, M.M., Fruk, G., Babojelić, M.S., Jemrić, T. and Jeromel, A. (2018) The Profile of Organic Acids and Polyphenols in Apple Wines Fermented with Different Yeast Strains. *Journal of Food Science and Technology*, **56**, 599-606. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3514-2>
- [53] Çelebi Uzkuç, N.M., Şişli, B., Ay, M., Togay, S.Ö., Karagül Yüceer, Y., Bayhan, A., *et al.* (2019) Effects of Spontaneous Fermentation on Karalahna and Cabernet Sauvignon Young Red Wines: Volatile Compounds, Sensory Profiles and Identification of Autochthonous Yeasts. *European Food Research and Technology*, **246**, 81-92. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03395-w>
- [54] 蔡坤, 周媚, 林雪. 菠萝酒酿造工艺与香气成分研究进展[J]. 热带作物学报, 2018, 39(6): 1252-1258.
- [55] 孙子羽, 满都拉, 陈佳, 等. 黑枸杞乳清酒发酵工艺优化及挥发性风味物质分析[J]. 中国酿造, 2019, 38(11): 54-58.
- [56] 苏政波, 刘宝祥, 马闯. 樱桃酒深层液态发酵工艺[J]. 食品工业, 2019, 40(10): 35-38.
- [57] 梁敏, 包怡红. 蓝靛果酒发酵工艺优化及发酵过程对花色苷的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(10): 151-157.
- [58] 曾林, 陈鑫璐, 郑根, 等. 低醇起泡脐橙果酒酿造技术研究[J]. 食品科技, 2017, 42(8): 114-119.
- [59] 吴均, 谢青松, 熊虎, 等. 响应面实验优化红肉蜜柚果酒发酵工艺[J]. 食品工业科技, 2017, 38(3): 238-243.