

## 发酵型果酒降酸工艺及其对风味影响的研究进展

董冰冰, 田方, 刘静, 蔡路昀

## Research Advances on Organic Acid Degradation Process and Its Effects on Flavor of Fermented Alcohol Beverage

DONG Bingbing, TIAN Fang, LIU Jing, and CAI Luyun

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023020078>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

高效液相色谱法测定甘蓝泡菜发酵过程中的有机酸

Determination of organic acids in the fermentation process of cabbage kimchi by HPLC

食品工业科技. 2018, 39(6): 236-240 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.06.043>

天然产物抗应激活性成分研究进展

Research progress on active anti-stress components from natural products

食品工业科技. 2018, 39(1): 333-336,341 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.01.061>

发酵温度波动对酸奶感官、质构和风味特性的影响

Effects of fermentation temperature fluctuation on sensory, texture and flavor characteristics of yogurt

食品工业科技. 2018, 39(4): 82-87 <https://doi.org/>

不同稳定剂对凝固型牦牛酸奶在冷藏后熟过程中品质及风味的影响

Effect of different stabilizers on the quality and flavors of set-style yak yoghurt during post-fermentation storage

食品工业科技. 2018, 39(4): 188-196 <https://doi.org/>

防暑饮料的研究进展

Research advance of anti-heatstroke beverage

食品工业科技. 2018, 39(4): 347-352 <https://doi.org/>

谷物中 $\gamma$ -氨基丁酸(GABA)富集工艺的研究进展

Progress of  $\gamma$ -aminobutyric acid(GABA) enrichment process in cereals

食品工业科技. 2018, 39(1): 347-352 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.01.064>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

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. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020078

DONG Bingbing, TIAN Fang, LIU Jing, et al. Research Advances on Organic Acid Degradation Process and Its Effects on Flavor of Fermented Alcohol Beverage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(22): 368–376. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020078

· 专题综述 ·

# 发酵型果酒降酸工艺及其对风味影响的研究进展

董冰冰<sup>1,2</sup>, 田方<sup>2,\*</sup>, 刘静<sup>2</sup>, 蔡路昀<sup>1,\*</sup>

(1. 浙江大学宁波科创中心, 生物系统工程与食品科学学院, 浙江宁波 315100;

2. 浙江海洋大学食品科学与药学学院, 浙江省海产品健康危害因素关键技术研究重点实验室, 浙江舟山 316022)

**摘要:** 适量有机酸能使果酒风味舒爽, 口感细腻, 但在发酵过程中, 果酒中的有机酸含量并不稳定, 过高易导致酒体口感涩苦、风味不佳, 过低则会使酒体平淡无味, 且有机酸的种类也会对果酒风味产生重要影响。为了更好地保留果酒中的挥发性风味物质及调控果酒风味, 生产中常采用不同的降酸工艺精准降低果酒中主体有机酸的含量, 以达到改善风味、提高品质的目的。因此, 本文概述了果酒中主要的降酸工艺及其原理, 分析不同工艺的优缺点和局限性, 探讨降酸工艺对果酒中风味物质种类的影响, 并对未来果酒风味调控的研究方向进行展望, 旨在为提高果酒品质和优化酿造工艺提供理论依据, 促进果酒产业规模化可持续发展。

**关键词:** 果酒, 有机酸, 降酸工艺, 风味

中图分类号: TS255.46

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)22-0368-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020078



本文网刊:

## Research Advances on Organic Acid Degradation Process and Its Effects on Flavor of Fermented Alcohol Beverage

DONG Bingbing<sup>1,2</sup>, TIAN Fang<sup>2,\*</sup>, LIU Jing<sup>2</sup>, CAI Luyun<sup>1,\*</sup>

(1. Ningbo Innovation Center, College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Ningbo 315100, China;

2. College of Food Science and Pharmaceutics, Zhejiang Ocean University, Key Laboratory of Health Risk Factors for Seafood of Zhejiang Province, Zhoushan 316022, China)

**Abstract:** Moderate organic acids can make fermented alcohol beverage produce comfortable flavor and delicate taste, but during the fermentation process, the content of organic acids in fermented alcohol beverage is unstable. Too high can easily result in astringent and bitter taste and poor flavor, while too low can make the wine bland and tasteless. The type of organic acid also has important influence on the flavor of fermented alcohol beverage. Some methods of acid degradation are frequently used to accurately reduce the level of the primary organic acids in fermented alcohol beverage in order to improve its flavor and quality. This helps to better maintain the volatile flavor components in fermented alcohol beverage and control its flavor. In order to provide a theoretical foundation for improving the quality of fermented alcohol beverage and optimizing the brew processing, and promoting the large-scale sustainable development of fermented alcohol beverage industry, this paper describes the main acid degradation processes and their principles in fermented alcohol beverage,

收稿日期: 2023-02-10

基金项目: 余姚市农业农村和社会发展科技计划项目 (20201YYS030002); 2021 年度研究生教育质量系列工程项目 (第二批); 浙江海洋大学企业行业难题攻关项目 (研究生) 猕猴桃绿色贮藏加工技术与示范 (111310641210)。

作者简介: 董冰冰 (1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品贮藏与加工工程, E-mail: dongbingbing@zjou.edu.cn。

\* 通信作者: 田方 (1987-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 农产品及水产品储藏加工及质量安全控制, E-mail: tianfang@zjou.edu.cn。

蔡路昀 (1981-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品贮藏加工及质量安全控制, E-mail: cailuyun@zju.edu.cn。

analyzes the benefits, drawbacks, and limitation of various processes, discusses the effects of acid degradation processes on the types of flavor substances in fermented alcohol beverage, and offers an outlook on future research for flavor regulation of fermented alcohol beverage.

**Key words:** fermented alcohol beverage; organic acid; acid-reducing technology; flavor

果酒是指以新鲜水果为原料,经破碎或压榨取汁,通过全部或部分发酵酿制而成的低度发酵酒,酒精含量一般在 7%vol~18%vol,其酿造工艺流程大多包括水果清洗、破碎打浆、发酵、降酸、澄清、陈酿、装罐等步骤(如图 1 所示)<sup>[1]</sup>。果酒风味独特,舒爽适口,且常具有独特的水果香气及滋味,因而备受消费者欢迎。果酒中风味成分的形成过程极为复杂,最终呈现的风味由不同果酒的香气物质经动态变化、累积反应而成。风味不仅是衡量果酒品质的关键指标,也是影响消费者购买意向的重要属性。在发酵过程中,原料的多样性和酿造工艺的复杂性往往会对果酒香气成分的形成和保留造成较大的影响,其中酿造工艺尤其与果酒风味品质的形成密切相关<sup>[2]</sup>。

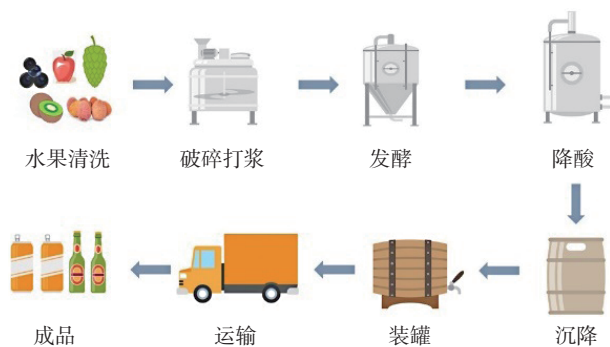


图 1 果酒酿造工艺流程图

Fig.1 Brewing technology flow chart of fermented alcohol beverage

有机酸为果酒总酸的主体,具有一定的呈香、呈味作用,并能与其他呈味化合物共同赋予果酒特有的芳香,其含量和种类是引起果酒风味改变的重要因素。在发酵前期,总酸含量呈上升趋势,而发酵中后期又有所下降,因此对于整个发酵过程而言,总酸含量表现出相对稳定的状态<sup>[3]</sup>。若有机酸含量过低会导致酒体过于平淡无味,过高则会对酒体造成口感粗糙、色泽暗淡、出现沉淀及难以入口等一系列不良影

响,除此之外,不同种类的有机酸也会呈现出独特明显的气味特征<sup>[4]</sup>。因此,在果酒酿造工艺中,降酸工艺尤为重要,其主要利用不同的方法来调节果酒中总酸含量以使其保持在最适合的范围。

本文综述了物理、化学、生物三大类方法降低果酒中有机酸的原理,分析目前果酒降酸工艺研究尚存的不足之处,对比不同工艺条件在降酸过程中对果酒风味物质影响的机理,并在此基础上对果酒风味的未来研究方向作出展望,旨在为酿造果酒风味物质的研究提供参考依据。

## 1 果酒中的有机酸及其对风味的影响

发酵型果酒以苹果酒、葡萄酒、树莓酒、山楂酒、蓝莓酒及猕猴桃酒等为主,不同果酒中有机酸种类和含量有所不同,见表 1。此外,不同果酒其主体酸的作用也不同,苹果酒中苹果酸的含量最高,赋予了苹果酒浓厚清新的果味,若含量过高则导致果酒出现酸涩感<sup>[5-6]</sup>。在葡萄酒的酿造过程中,酒石酸的酸度和 pH 主要起保持酒体中微生物稳定,维持酒体颜色和感官特性的作用<sup>[7]</sup>。在干红葡萄酒中,丰富的酒石酸有利于色素和单宁的溶解,加速多糖的转化和果胶的分解,并促进果酒的老熟和澄清,酒石酸的酸性比苹果酸弱,较其它酸略强,含量过高则果酒呈现出生硬且尖锐的酸味<sup>[8-9]</sup>。由于树莓酒、山楂酒及蓝莓酒中柠檬酸含量较高,导致果酒酸涩味重,发酵过程中微生物生长困难,还会产生具有腐败性的乙酸,使酒体口感不协调,甚至会危害人体健康<sup>[10-13]</sup>。猕猴桃酒中主要有机酸为奎宁酸、柠檬酸和苹果酸,成熟期的猕猴桃中奎宁酸含量较多,在之后的果酒发酵中参与其它有机酸的生物合成<sup>[14]</sup>。除上述主体酸外,果酒中还有其它含量较少的有机酸,例如,琥珀酸具有特殊的酸味、咸味、苦味,一定量的琥珀酸能抵抗细菌性发酵的破坏作用,乳酸的酸味较浅且带有一定的辣味,适量乳酸会使酒体更加稳定,不易变质,奎宁酸酸味较强,乙酸偏涩等<sup>[15-17]</sup>。因此,果酒中有机酸与香

表 1 不同果酒中有机酸成分和含量表(单位:  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )

Table 1 Organic acid concentration and composition of various fermented alcohol beverages (unit:  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )

| 果酒                    | 酒石酸       | 柠檬酸         | 苹果酸       | 琥珀酸       | 乳酸        | 乙酸        | 奎宁酸       |
|-----------------------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 苹果酒 <sup>[5,16]</sup> | 0.08~0.10 | 0.05~0.12   | 0.64~4.23 | 0.56~1.05 | 0.23~0.43 | 0.10~0.27 | —         |
| 白葡萄酒 <sup>[20]</sup>  | 3.64~5.63 | 0.21~0.24   | 1.21~1.87 | 0.26~0.34 | 0.10~0.34 | 0.10~0.26 | —         |
| 红葡萄酒 <sup>[7]</sup>   | 0.82~0.83 | 0.19~0.20   | 0.24~0.25 | 0.37~0.38 | 1.60~1.64 | —         | 0.13~0.14 |
| 山楂酒 <sup>[11]</sup>   | 0.60~0.70 | 79.67~98.21 | 0.60~0.98 | 1.33~1.70 | 0.73~0.14 | 0.52~0.82 | —         |
| 蓝莓酒 <sup>[12]</sup>   | 1.15~1.33 | 5.98~8.94   | 1.78~2.93 | —         | 1.84~1.92 | —         | —         |
| 红树莓酒 <sup>[13]</sup>  | 0.13~0.15 | 17.32~16.04 | 0.16~0.57 | 0.20~0.32 | —         | 0.17~0.18 | —         |
| 猕猴桃酒 <sup>[14]</sup>  | 1.16~2.22 | 8.77~13.60  | 1.53~2.75 | 0.20~2.70 | 0.84~0.94 | 0.19~0.30 | 7.83~8.60 |

注:“—”表示没有检测或含量小于  $0.01 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

气成分之间的相互作用对果酒风味品质的影响较大,当果酒中某些酸浓度过低时,果酒口味平淡,酸浓度过高时,则使果酒口感粗糙、酒味酸涩、酒体失衡且难以入口<sup>[11]</sup>。只有酸度适当时,果酒才会呈现出醇厚爽口的口感以及浓郁的水果香味<sup>[18-19]</sup>。

果酒中的有机酸是决定果酒酸度的主要因素,也是影响果酒风味的重要物质。果酒的风味主要由香气和滋味组成。香气的存在形式一般分为两种,一种是游离态并具有挥发性的香气物质,能被人的嗅觉直接捕捉到,对香气有直接贡献;另外一种以键合态形式存在,不具有挥发性,对香气无直接的贡献作用<sup>[21]</sup>。果酒原料、发酵工艺以及陈酿等均会对果酒中的游离态香气物质(醇类、酯类、萜烯类、挥发性酚、芳香酮及酸类等)产生影响,糖苷键键合态香气物质是由一个苷元通过糖苷键与糖基相连构成的,其中已鉴定出的苷元有直链醇类、挥发性萜类化合物等<sup>[22-24]</sup>。有机酸的降解是改善果酒风味品质的有效途径,一方面是由于降酸工艺的不同会对果酒中游离态香气物质造成直接影响,另一方面有机酸降解过程中可释放具有挥发性的苷元,水解潜在的香气前体物质,使其转化为醇和一些副产物,如高级醇、酯、乳酸等重要的挥发性香气成分,从而赋予酒体愉快的香味<sup>[25-27]</sup>。

综上所述,果酒中因其主体酸种类和含量不同,导致口感和风味有所差异,现从有机酸在果酒中的主要功能和气味特征进行比较分析,如表 2 所示。

2 果酒的降酸工艺对果酒风味的影响

目前果酒降酸工艺主要分为三大类:物理降酸法、化学降酸法和生物降酸法。

物理降酸法是指不引入其它成分的情况下降低果酒中有机酸含量的方法,对果酒品质没有影响,降酸效果较为安全,但过程繁琐,成本高,应用范围受限<sup>[28]</sup>。化学降酸法是指在降酸体系中加入某些化学试剂,使之与有机酸发生反应,以达到降酸的目的,该法效果快速明显、成本低廉、操作简便,但在加入降酸剂的同时也引入了新的物质,选用不当会造成果酒品质下降<sup>[29]</sup>。生物降酸法主要通过微生物发酵分解有机酸实现降酸,该法对果酒质量和稳定性的影响最小,并且可以增加果酒的风味,目前已成为果酒降酸

研究领域的热点<sup>[30]</sup>。

2.1 物理降酸法及其对果酒风味的影响

2.1.1 物理降酸法 物理降酸法一般包括冷冻降酸法、电渗析降酸法、阴离子交换树脂降酸法、壳聚糖吸附降酸法等。冷冻降酸法是指利用冷冻设备对果酒进行低温处理,从而降低果酒中酒石酸的含量<sup>[31]</sup>。在低温 0~2 ℃ 下,对葡萄酒进行降酸,经过冷冻浓缩、沉淀、过滤、浸渍等工艺处理后,果酒中总酸含量下降 2.2 g/L<sup>[32]</sup>。电渗析降酸法利用电渗析分离,使离子在电场的影响下通过半渗透性阳离子和阴离子膜进行选择性的电迁移从而实现降酸<sup>[33]</sup>。将电渗析操作电压控制在 50 V,电流 4 A,杨梅酒和碱液流速为 500 L/h,进行循环降酸处理,结果显示杨梅酒中有机酸含量大幅降低<sup>[34]</sup>。阴离子交换树脂降酸法是指利用离子交换树脂的离子与酸溶液中的酸根离子交换,从而达到降低酸度的方法,其工艺流程大体分为两步,首先进行树脂的预处理:将树脂经过处理后用离子水洗至中性,得到 OH<sup>-</sup> 阴离子型交换树脂,再进行离子交换降酸,使果酒以一定的流速通过层析柱,就可完成对果酒的降酸<sup>[35-36]</sup>。壳聚糖吸附降酸法是利用有机酸中的羧基与氨基发生作用,从而达到降酸效果<sup>[37]</sup>。在果酒中加入壳聚糖,用恒温磁力搅拌器搅拌均匀后监测 pH 的变化,当 pH 不再变化时即达到吸附平衡,过滤后检测到山楂酒中总酸下降约 0.15%<sup>[38]</sup>。

由表 3 可知,冷冻降酸法安全性很高,但只能降低酒石酸的含量,且过程极为繁杂,降酸成本较高;电渗析降酸法降酸处理速度快,适用于各种有机酸,但使用该法时应应对原料进行预处理及选取稳定性更高的电渗析膜,以避免降酸过程中出现膜污染等问题;阴离子交换树脂降酸法和壳聚糖吸附降酸法经济实惠,操作简单,降酸效果显著,但在降低有机酸含量的同时会吸附果酒中的色素,对果酒的感官品质造成不利的影响。

2.1.2 对果酒风味的影响 采用冷冻降酸法降低葡萄酒中酒石酸浓度的同时,果酒中大多数香气成分(酯类、去甲异戊二烯、萜类和糠醛等)的浓度增加<sup>[44]</sup>。通过电渗析降酸法对杨梅酒进行降酸后,杨梅酒中带有刺激性酸味和涩味的柠檬酸和乙酸显著减少<sup>[34]</sup>。运用树脂降酸法对树莓酒降酸后,酒体澄清透明,原

表 2 果酒中有机酸的主要功能及其气味特征

Table 2 Principal function and odor features of organic acids in fermented alcohol beverages

| 中文名 | 英文名           | 化学式                                                         | CAS号       | 主要功能                                | 气味特征            |
|-----|---------------|-------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------------|-----------------|
| 酒石酸 | Tartaric acid | C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>6</sub>                | 87-69-4    | 保持酒体中微生物的稳定性,维持酒体颜色和感官的作用           | 柑橘味、酸味          |
| 柠檬酸 | Citric acid   | C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>                | 77-92-9    | 三羧酸循环的重要代谢产物,促进机体ATP的生成,较高时会抑制酵母的生长 | 新鲜宜人的柑橘味、酸味     |
| 苹果酸 | Malic acid    | C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>5</sub>                | 617-48-1   | 三羧酸循环的重要代谢产物,促进机体ATP的生成             | 涩味、金属味、绿苹果味、青草味 |
| 琥珀酸 | Succinic acid | C <sub>4</sub> H <sub>2</sub> D <sub>4</sub> O <sub>4</sub> | 14493-42-6 | 维持酒体的稳定性,抵抗细菌性发酵的破坏作用               | 酸味、咸味、苦味        |
| 乳酸  | Lactic acid   | C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>                | 50-21-5    | 保持酒体稳定,不易变质                         | 酸味、辣味           |
| 奎宁酸 | Quinic acid   | C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>               | 77-95-2    | 参与其他主有机酸的生物合成                       | 酸味              |
| 乙酸  | Acetic acid   | CH <sub>3</sub> COOH                                        | 68475-71-8 | 果酒主要挥发酸,酿酒酵母的代谢产物                   | 苦涩味             |

表 3 适用于果酒降酸的物理降酸法

Table 3 Methods for physically lowering organic acids in fermented alcohol beverages

| 名称                               | 特点                                                                   | 应用示例                                                                 | 主要降调有机酸    |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------|
| 冷冻降酸法 <sup>[29,32]</sup>         | 优势: 不需要加入试剂或菌株, 安全性较高<br>缺点: 经过冷冻浓缩、沉淀、过滤、浸渍等繁杂处理, 成本高               | 采用冷冻降酸法对葡萄酒、树莓果酒进行降酸, 结果证明该法只对树莓果酒中的酒石酸起作用, 且降酸幅度不大                  | 酒石酸        |
| 电渗析降酸法 <sup>[34,39-40]</sup>     | 优势: 具有生产连续化、产业化、经济、环保, 可以精准降酸<br>缺点: 成本高, 电渗析的膜污染、膜清理及碱液利用率低         | 利用一种改进的普通膜两隔室电渗析设备, 对杨梅果酒进行了降酸, 结果表明该法降酸速度快、精准且工艺连续, 大大提高了杨梅果酒的口感和品质 | 柠檬酸        |
| 阴离子交换树脂降酸法 <sup>[35,41-42]</sup> | 优点: 快速、低成本、耐用、可重复利用, 对果酒负面影响较小, 操作简单, 易实现工业化生产<br>缺点: 吸附有色物质, 树脂废液污染 | 蓝莓酒最适降酸树脂D311; 青梅酒最适降酸树脂D630; 猕猴桃酒最适降酸树脂D330; 树莓酒最适降酸树脂D301          | 酒石酸<br>柠檬酸 |
| 壳聚糖吸附法 <sup>[37,43]</sup>        | 优势: 快速、简单, 改善果酒澄清度<br>缺点: 吸附色素物质, 降低果酒色度, 色泽减弱, 影响果酒的外观品质            | 1%的壳聚糖添加量对苹果酒的降酸效果最佳                                                 | 柠檬酸<br>苹果酸 |

酒的酸涩味显著降低, 果香味突出<sup>[29]</sup>。利用阴离子交换树脂对猕猴桃酒降酸后发现, 果酒的涩味减弱, 且感官评价得分高于初始猕猴桃酒, 表明阴离子交换树脂降酸法可以改善猕猴桃酒的风味<sup>[42]</sup>。随着壳聚糖添加量的增加, 果酒的降酸效果更加显著, 但过量的壳聚糖会造成果酒中的涩味加重, 因此适量的有机酸能平衡酒中的苦味与涩味, 使酒体醇厚爽口<sup>[37]</sup>。经物理降酸法降酸后的果酒, 总酸含量明显下降, 果酒中挥发性成分浓度增加, 滋味协调, 但香气成分较为单一。

2.2 化学降酸法及其对果酒风味的影响

2.2.1 化学降酸法 化学降酸法是指在降酸体系中加入某些化学试剂, 使之与有机酸发生反应, 以达到降酸的目的<sup>[45]</sup>。化学降酸法分为单盐法和复盐法。常用的化学降酸剂有  $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{K}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{KHCO}_3$ 、 $\text{C}_4\text{H}_4\text{K}_2\text{O}_6$  等<sup>[46]</sup>。化学降酸法易于操作, 反应迅速, 但降酸剂的加入会引入大量影响感官品质又不易去除的金属离子, 例如  $\text{Ca}^{2+}$  能使果酒失去光泽、产生浑浊等现象, 同时埋下了食品安全

问题的隐患<sup>[28]</sup>。使用  $\text{CaCO}_3$  降酸剂降低果酒中总酸的含量, 但同时会在降酸的过程中产生大量  $\text{CO}_2$ , 带走果酒中部分香气成分, 使果酒香气受损<sup>[45]</sup>。针对不同种类的果酒需要选择不同的降酸剂, 降酸剂的添加量也需要进一步优化, 表 4 对常见几种果酒的降酸剂种类、初始糖度、添加量的范围及最大降幅率进行了简单的梳理。

2.2.2 对果酒风味的影响 研究表明使用不同的化学降酸剂对果酒风味产生不同的影响,  $\text{CaCO}_3$  降酸效果明显, 但会减弱果酒的果香和酒香, 添加量过多还会带入浓厚的石灰味, 后味苦涩, 且  $\text{CaCO}_3$  可以与果酒中的酒石酸发生反应生成沉淀, 从而影响降酸后果酒的稳定性;  $\text{K}_2\text{CO}_3$  降酸效果较明显, 但破坏了果酒原有的果香味, 添加量过多会使酒味发苦, 可少量加入或与其他降酸剂搭配使用;  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  降酸效果温和, 果酒香气浓郁、无其他不良气味;  $\text{NaHCO}_3$  降酸效果不明显, 果酒香气较浓, 入口微涩;  $\text{KHCO}_3$  降酸效果较为和缓, 但会引入苦味, 果香变淡、入口稍涩;  $\text{C}_4\text{H}_4\text{K}_2\text{O}_6$  降酸效果不佳, 对果酒香味影响不大, 需

表 4 适用于果酒降酸的化学降酸法

Table 4 Chemical methods of acid degradation suitable for fermented alcohol beverage

| 方法                           | 降酸剂种类                                                                                                                        | 果酒    | 初始糖度(Bx) | 添加量范围(g/L) | 最大降幅率(%) |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------|------------|----------|
| 单盐法 <sup>[36-37,45-47]</sup> | K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>                                                                                               | 青梅酒   | 18~22    | 8.0~9.0    | 66.47    |
|                              |                                                                                                                              | 凤梨酒   | 16~20    | 10.0~11.0  | 55.48    |
|                              |                                                                                                                              | 蜜桃酒   | 20~22    | 8.0~9.0    | 50.80    |
|                              |                                                                                                                              | 木瓜酒   | 20~23    | 1.0~1.5    | 26.89    |
|                              | CaCO <sub>3</sub>                                                                                                            | 木瓜酒   | 20~23    | 10~18      | 34.76    |
|                              |                                                                                                                              | 苹果酒   | 19~23    | 1.0~1.2    | 40.00    |
|                              | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>                                                                                              | 山楂酒   | 20~25    | 4.0~5.0    | 66.29    |
|                              |                                                                                                                              | 苹果酒   | 19~23    | 0.8~1.2    | 17.00    |
|                              | NaHCO <sub>3</sub>                                                                                                           | 苹果酒   | 19~23    | 1.2~1.6    | 16.00    |
|                              |                                                                                                                              | 苹果酒   | 19~23    | 1.2~1.6    | 43.75    |
|                              | KHCO <sub>3</sub>                                                                                                            | 木瓜酒   | 20~23    | 1.0~2.5    | 29.60    |
|                              |                                                                                                                              | 葡萄酒   | 18~25    | 0.6<br>1.5 | 17.34    |
| 复盐法 <sup>[48-50]</sup>       | K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> +C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> K <sub>2</sub> O <sub>6</sub>                                  | 樱桃酒   | 21~23    | 1.0<br>9.0 | 24.57    |
|                              | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> +C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> K <sub>2</sub> O <sub>6</sub>                                 | 樱桃酒   | 21~23    | 1.3<br>8.0 | 26.49    |
|                              | K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> +Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> +C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> K <sub>2</sub> O <sub>6</sub> | 猕猴桃果酒 | 14~25    | 4.0        | 47.16    |
|                              |                                                                                                                              |       |          | 3.0<br>1.2 |          |

要与其他降酸剂复合使用,且添加量过多会使果酒的涩味增加<sup>[28,37,51-54]</sup>。化学降酸法在降低有机酸的同时会减弱果酒中刺激性酸味,突出果酒本身的果香和花香,但由于降酸剂的加入会给果酒带来异味,甚至造成果酒中香气成分的损失,用量不当不仅会导致酒体失衡,不利于果酒的发酵,带来不愉快的口感,还会严重影响果酒的感官品质,所以降酸剂种类的选择及其添加量为化学降酸法中的关键环节<sup>[28]</sup>。

## 2.3 生物降酸法及其对果酒风味的影响

2.3.1 生物降酸法 生物降酸法主要通过微生物发酵分解有机酸来达到降酸的目的,该方法对果酒质量和稳定性的影响最小,还可以调节酒体的香气和口感,提升果酒香气的复杂性,是果酒降酸研究领域的热点<sup>[55]</sup>。目前生物降酸法主要采用苹果酸-乳酸发酵(Malo-lactic fermentation, MLF)和苹果酸-乙醇发酵(Malo-alcohol fermentation, MAF)两种途径降低果酒中的有机酸含量<sup>[30]</sup>。

MLF 属于乳酸菌降酸途径,乳酸菌可以将含有三个羧基的苹果酸转化为只含有一个羧基的乳酸,从而降低总酸含量,并在酒精发酵后进行<sup>[56]</sup>。当果酒中的苹果酸含量较高时,物理和化学降酸法对苹果酸的降酸作用不明显,这两种降酸方法会导致果酒中的风味物质损失严重<sup>[57]</sup>。MLF 降酸法可显著降低果酒中苹果酸的浓度和总酸度,对果酒的风味和品质有积极的影响<sup>[30]</sup>。葡萄酒中的 MLF 一般可自发进行,将苹果酸转化为乳酸和二氧化碳,从而降低葡萄酒的酸度<sup>[58]</sup>。对沙棘酒进行 MLF 发酵降酸后,沙棘酒的总酸由原来的 15.4 g/L 降为 8.9 g/L,此时沙棘酒的酸涩味消失,口感得到改善<sup>[59]</sup>。同样对水蜜桃酒进行 MLF 发酵降酸后,果酒中苹果酸含量减少 82%,有效改善了果酒的口感与品质<sup>[60]</sup>。

MAF 属于酵母菌降酸途径,利用酵母菌(酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)、非酿酒酵母(*Non-saccharomyces cerevisiae*))将苹果酸分解为乙醇和 CO<sub>2</sub>,从而降低果酒的酸度<sup>[61]</sup>。酿酒酵母 FM-S-115 菌株具有良好的降解 L-苹果酸的功能,经该菌株降酸后的葡萄酒总酸下降幅度为 38.11%<sup>[62]</sup>。利用粟酒裂殖酵母的纯培养物进行酵母菌降酸,结果表明葡萄酒中的苹果酸全部降解,总酸含量显著降低,效果最好<sup>[63]</sup>。毕赤酵母 JT-1-3 对柠檬酸降解能力较强,具有良好的絮凝性能,在对蓝莓酒进行 JT-1-3 酵母发酵降酸后,结果表明蓝莓酒中的柠檬酸含量下降 43.35%,同时果酒中的苹果酸和酒石酸也显著下降<sup>[64]</sup>。研究表明比起单一菌株发酵降酸,复合菌株处理表现出较强的降酸能力,如毕赤酵母 JT-1-3 与商业酿酒酵母菌 RV002 联用对柠檬酸表现出较高的降解能力和强耐受力,利用该复合酵母发酵降酸后,猕猴桃酒中的柠檬酸、苹果酸和酒石酸含量均显著下降<sup>[65]</sup>。此外,利用戴尔有孢圆酵母与酿酒酵母混合发酵进行降酸,结果发现葡萄酒中乙酸的含量明显降低<sup>[66]</sup>。

生物降酸法的安全性高,对果酒中主体酸的降酸能力较强,在发酵过程中选取适宜的发酶菌株对果酒最终呈现的风味有良好的促进作用,酿酒酵母和非酿酒酵母的共培养发酵是一种可行的果酒降酸方法。但该方法需要克服发酵周期长、过程不易掌控、对周围环境要求极高等问题<sup>[55]</sup>。

2.3.2 对果酒风味的影响 MLF 发酵增香机制有两方面,一是乳酸菌带有催化作用的酶,能够水解果酒中键合态芳香物质从而增加香气成分,二是乳酸菌通过自身新陈代谢来影响香气化合物的转化<sup>[67]</sup>。在 MLF 发酵降酸后,前体化合物释放出挥发性硫醇,甲硫氨酸代谢、糖苷酶水解及酯酶活性增强,最终达到果酒增香的目的<sup>[68-69]</sup>。MLF 降酸使刺梨酒中苹果酸含量显著降低,乳酸含量升高,同时乳酸菌发酵降酸后的刺梨酒中可以检测出更多的挥发性物质,使刺梨酒的乳香和果香浓郁协调、果酒酸涩度降低<sup>[70]</sup>。同样采用 MLF 法对葡萄酒进行降酸后,取代酯浓度的增加使果酒中果香味更加突出<sup>[71]</sup>。目前应用在 MLF 法的乳酸菌主要有酒球菌株(*Oenococcus*)和乳杆菌株(*Lactobacillus*)两大类。酒球菌株 GF-2 具有良好的 MLF 发酵性能和高葡萄糖苷酶活性,在对梨-猕猴桃酒进行发酵降酸后,果酒中的苹果酸含量降低了 98.3%,促进了芳香族酯、高级醇和萜类化合物的积累<sup>[72]</sup>。利用酒球菌株 SD-2a 对猕猴桃酒进行发酵降酸,在总酸度降低的同时,一些高级醇和相对含量较低的萜类及杂环类化合物增加,有效减少果酒的酸涩和粗糙感,使酒体柔和、协调<sup>[51]</sup>。采用植物乳杆菌株 520 对苹果酒进行 MLF 降酸,苹果酒中酯类物质的相对含量显著增加<sup>[37]</sup>。乳杆菌株 Q19 进行 MLF 发酵在降低葡萄酒中总酸含量的同时,也对葡萄酒香气进行了修饰,经其降酸后的葡萄酒中产生了更为丰富的酯类物质、酸类物质和萜烯类物质,使葡萄酒香气成分更加复杂,口感更好<sup>[73]</sup>。总体而言,经过 MLF 降酸处理的果酒香气成分增加、滋味协调,可接受性较高。

MAF 降酸是酵母菌将有机酸转化为酒精和 CO<sub>2</sub>的过程,同时在高级醇、酯类、萜烯类、硫醇类前体物质向风味活性分子的转变中起着重要作用,这些都是对果酒香气有积极作用的副产物<sup>[74]</sup>。因此采用生物降酸法时,降酸酵母菌株的种类对果酒风味物质的生成至关重要。目前,能够降解有机酸的酵母菌株包含多个属种,除酿酒酵母外,常见的非酿酒酵母有粟酒裂殖酵母(*Schizosaccharomyces pombe*, *S. pombe*)、陆生伊萨酵母(*Issatchenkia terricola*)、以及毕赤酵母(*Pichia*)等<sup>[75]</sup>。非酿酒酵母在发酵前期大量繁殖,通过分泌  $\beta$ -葡萄糖苷酶、酯酶释放出果酒中游离态的香气物质,增加萜烯类、硫醇类以及苯基醇、乙酸苯乙酯等醇酯类物质的含量,促进葡萄酒中花香、果香的表达,有助于果酒风味多样性的形成<sup>[66]</sup>。利用酿酒酵母 Y-12 对黄桃酒进行发酵降酸后,黄桃酒中酯

类物质、酸类物质和高级醇物质增多,使得黄桃酒的果香与酒香浓厚纯正<sup>[76]</sup>。采用 LAU 酵母对青梅酒发酵降酸后,青梅酒中的氮氧化合物、无机硫化物、醇类、醛酮类和芳香成分苯类含量增加<sup>[77]</sup>。在 MAF 发酵降酸的同时,东方伊萨属酵母菌株 GS1-1 的参与有效改善了猕猴桃酒的酸涩味,提升了果酒的柑橘味、热带水果味和花香特征<sup>[78]</sup>。

采用混合酵母培养物对葡萄酒进行 MAF 降酸,发酵动力学和分析曲线结果表明,该法有助于降低果酒中的挥发性酸和乙酸含量,并获得果酒良好的芳香曲线<sup>[71]</sup>。将粟酒裂殖酵母 1817 与菌株 Y1703 进行顺序发酵降酸,发酵后野樱莓酒的刺激性酸味降低,果酒口感更柔和,整体品质更高<sup>[79]</sup>。以青梅为对象,研究酿酒酵母和戴尔有抱圆酵母 2 种酵母共培养发酵,青梅酒的萜烯类比例略增,其花香和果香更浓郁,

2 种酵母对果酒风味的贡献相似,主要表现为提高己酸乙酯、苯甲酸甲酯、乙酸异戊酯、异戊醇、橙花叔醇、法尼醇、癸醛等的含量<sup>[80]</sup>。利用戴尔有抱圆酵母 R12 与酿酒酵母 NX11424 按 20:1 比例共培养接种发酵,可显著提高葡萄酒中萜烯类和降异戊二烯类等品种香气物质含量,和乙酸异戊酯、丁酸乙酯及苯乙醇等发酵香气物质含量<sup>[81]</sup>。所以,通过 MAF 多阶段发酵,即控制接种顺序及酵母菌株之间的代谢相互作用,不仅有效降低果酒的有机酸含量,还能促使果酒中香气前体物质的转换,使芳香特征更为明显。

综上所述,采用生物发酵降酸的过程中会产生不同的代谢产物影响果酒的香气成分和风味,进而影响果酒品质,现从发酵菌株种类、降酸工艺参数、降幅以及发酵降酸后所增加的关键呈香物质方面进行比较分析,如表 5 所示。

表 5 生物降酸工艺及对果酒风味的影响  
Table 5 Biological technology of acid degradation and its effect on the flavor of fermented alcohol beverage

| 降酸途径                          | 发酵菌株                | 果酒     | 初始pH | 接种量(v/v) | 温度(℃) | 降幅(%) | 关键呈香物质                    |
|-------------------------------|---------------------|--------|------|----------|-------|-------|---------------------------|
| MLF <sup>[37,51, 72-73]</sup> | 酒球菌GF-2             | 梨-猕猴桃酒 | 3.4  | 5        | 20    | 29.7  | 芳香族酯、高级醇和萜类化合物            |
|                               | 酒球菌SD-2a            | 猕猴桃干酒  | 3.4  | 6        | 24    | 16.2  | 高级醇和相对含量较低的菇类及杂环类化合物      |
|                               | 植物乳杆菌520            | 苹果酒    | 3.5  | 6        | 22    | 31.5  | 芳香族酯                      |
|                               | 希氏乳杆菌Q19            | 葡萄酒    | 3.5  | 1        | 15    | 13.9  | 酯类物质、酸类物质和萜烯类物质           |
|                               | 酿酒酵母Y-12            | 黄桃酒    | 3.0  | 0.2      | 28    | 32.2  | 酯类物质、酸类物质和高级醇物质           |
| MAF <sup>[76-79]</sup>        | LAU酵母               | 青梅     | 4.0  | 0.4      | 28    | 24.3  | 氮氧化合物、无机硫化物、醇类、醛酮类和芳香成分苯类 |
|                               | 东方伊萨属酵母GS1-1        | 猕猴桃酒   | 3.1  | 10       | 20    | 24.6  | -                         |
|                               | 粟酒裂殖酵母与酿酒酵母<br>顺序发酵 | 野樱莓果酒  | 3.4  | 5<br>5   | 25    | 34.9  | -                         |

注:“-”表示没有检测。

3 总结与展望

果酒的风味品质与降酸工艺密切相关,对果酒中苹果酸、柠檬酸、酒石酸等不同的主体有机酸采用针对性降酸工艺,可以在降低果酒总酸含量的同时使果酒的香气更为均衡,感官品质更优。果酒的不同降酸方法对有机酸的降解程度存在差异。物理和化学降酸法均有较好的降酸效果,但不能作用于所有的有机酸,二者降解果酒中主体有机酸的种类也不尽相同,两种方法均存在明显的局限性,且在降酸过程中会不可避免地造成果酒的风味品质出现一定的损失。生物降酸法对果酒有很好的降酸效果,MLF 降酸法最适用于苹果酸,而 MAF 降酸途径通过选取合适的降酸酵母进行果酒降酸,可以对其他有机酸进行有效的降解。

不同的降酸工艺还会对果酒风味造成不同程度的影响。物理降酸可降低果酒中的酸味涩味,能够使果酒本身的香气物质挥发出来。采用化学降酸法处理时,不同种类、含量、组合的降酸剂都会给果酒风味品质带来不同的影响,不同降酸剂还会跟果酒中的物质发生一定程度的反应,降酸剂含量过低会导致果酒中的酸味去除不明显甚至会造成香气的损失,含量

过高会给果酒增加不良气味。采用生物降酸法处理时,选择高效降酸酵母菌株、最适酵母接种量、控制接种顺序不仅可以更好地保留果酒本身的香味成分,提高香气物质含量,降低果酒的酸涩味,还能促进酒体中香气前体物质的释放,从而增强和丰富果酒的风味复杂性。

生物降酸法因其具有绿色安全高效的优势,可考虑聚焦于果酒的生物降酸及相关研究,MLF 降酸法及 MAF 降酸法均能促进果酒中游离态香气物质的生成,对果酒风味产生积极影响。不同接种方式对果酒中主要发酵菌株及风味成分与感官有较大影响,采用两种酵母进行混菌发酵有利于增加酒体风味的复杂性,提高果酒的品质。对于非酿酒酵母的选用而言,首先应评估其生化特性及其与酿酒酵母混合发酵特性,筛选出具有良好发酵潜力的混菌组合,其次通过优化降酸工艺参数,使混菌发酵降酸能够进一步促进果酒风味物质的生成。在适宜的条件下,应扩大筛选目标,进而寻找安全性更高、性能更好的混菌组合。在今后的研究中还应进一步对酿酒酵母和非酿酒酵母在分子层面的相互作用机制进行探究和验证,更为深入地解释生物降酸法中酵母在果酒中的降酸

和增香酿造机制,以便更加快速便捷地筛选出优良降酸菌株,进而提升果酒感官品质,丰富香气成分,加强酒体稳定性,为完善果酒风味物质的酿造工艺提供更有力的理论支持。

### 参考文献

- [1] 梁艳玲,陈麒,伍彦华,等.果酒的研究与开发现状[J].中国酿造,2020,39(12):5-9. [LIANG Y L, CHEN Q, WU Y H, et al. Research and development status of fruit wine[J]. China Brewing, 2020, 39(12): 5-9.]
- [2] 田怀香,熊娟娟,于海燕,等.果酒中香气化合物的生物转化与调控机制研究进展[J].食品科学,2022,43(19):36-47. [TIAN H X, X J J, YU H Y, et al. Biotransformation and biological regulation mechanism of aroma compounds in fruit wine: A review[J]. Food Science, 2022, 43(19): 36-47.]
- [3] 张倩茹,殷龙龙,尹蓉,等.果酒主要成分及其功能性研究进展[J].食品与机械,2020,36(4):226-230,236. [ZHANG Q R, YIN L L, YIN R, et al. Analysis of components and functionality of fruit wine[J]. Food Machinery, 2020, 36(4): 226-230, 236.]
- [4] 王洪琳,苏伟,母应春,等.HPLC法快速检测黑糯米酒中有机酸含量[J].中国酿造,2020,39(6):196-203. [WANG H L, SU W, MU Y C, et al. Rapid determination of organic acids content in black glutinous rice wine by HPLC[J]. China Brewing, 2020, 39(6): 196-203.]
- [5] 饶静,李春扬,张晓磊,等.高效液相色谱法同时测定苹果醋及原料中的17种有机酸[J].中国酿造,2018,7(4):169-173. [RAO J, LI C Y, ZHANG X L, et al. Simultaneous determination of 17 organic acids in apple vinegar and raw materials by HPLC[J]. China Brewing, 2018, 7(4): 169-173.]
- [6] 李记明.苹果酒主要风味成分的分析研究[J].食品科学,2007,28(12):362-365. [LI J M. Study on main components of apple wine[J]. Food Science, 2007, 28(12): 362-365.]
- [7] 穆瑛琦,吴奕莹,王道,等.离子色谱-串联质谱法检测酒类产品中10种有机酸[J].色谱,2022,40(12):1128-1135. [MU Y Q, WU Y X, WANG X, et al. Determination of 10 organic acids in alcoholic products by ion chromatography tandem mass spectrometry[J]. Chinese Journal of Chromatography, 2022, 40(12): 1128-1135.]
- [8] ANA M F, ARLETE F A. The role of yeasts and lactic acid bacteria on the metabolism of organic acids during winemaking[J]. Foods, 2020, 9(9): 1231-1250.
- [9] 蒋志东,南海龙,李华.干红山葡萄酒的降酸研究[J].酿酒科技,2008(12):47-49. [JIANG Z J, NAN H L, LI H. Study on acid-degradation of dry wild grape wine[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2008(12): 47-49.]
- [10] 赵文英,薛颖,花锦,等.不同酿酒酵母菌发酵树莓果酒的理化特性[J].中国酿造,2022,41(4):120-125. [ZHAO W Y, XUE Y, HUA J, et al. Physicochemical characterization of raspberry wines fermented with different *Saccharomyces cerevisiae* strains[J]. China Brewing, 2022, 41(4): 120-125.]
- [11] HAN Y, DU J, LI J, et al. Quantification of the organic acids in hawthorn wine: A comparison of two HPLC methods[J]. Molecules, 2019, 24(11): 2150-2164.
- [12] 郭营营,韩焱,张彦聪,等.基于HS-SPME-GC-MS和PCA分析陈酿条件对蓝莓酒品质的影响[J].食品与发酵工业,2021,47(20):271-277. [GUO Y Y, HAN Y, ZHANG Y C, et al. Effects of aging conditions on the quality of blue-berry wine analyzed by HS-SPME-GC-MS and PCA[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(20): 271-277.]
- [13] HE H Y, YAN Y C, DONG D, et al. Effect of *Issatchenkia terricola* WJL-G4 on deacidification characteristics and antioxidant activities of red raspberry wine processing[J]. Journal of Fungi, 2021, 8(1): 17-30.
- [14] JIANG Z, HUANG Q, JIA D, et al. Characterization of organic acid metabolism and expression of related genes during fruit development of *Actinidia eriantha* 'Ganmi 6'[J]. Plants, 2020, 9(3): 332-347.
- [15] 谭凯燕.高效液相色谱-串联质谱法测定葡萄酒中的柠檬酸[J].现代食品,2022,28(5):160-163,167. [TAN K Y. Determination of citric acids content in wines by high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry[J]. Modern Food, 2022, 28(5): 160-163, 167.]
- [16] ZENEBE T T. Total titratable acidity and organic acids of wines produced from cactus pear (*Opuntia-ficus-indica*) fruit and *Lantana camara* (*L. camara*) fruit blended fermentation process employed response surface optimization[J]. Food Science & Nutrition, 2020, 8(8): 4449-4462.
- [17] 谢欣雨,胡新,石潇瀑,等.果酒香气形成影响因素研究进展[J].阜阳师范大学学报(自然科学版),2022,39(2):39-47. [XIE X Y, HU X, SHI X P, et al. Research progress in the study of factors influencing aroma formation of fruit wines[J]. Journal of Fuyang Teachers College (Natural Sciences), 2022, 39(2): 39-47.]
- [18] 庞敏,蔡松铃,刘茜.葡萄酒中有机酸及其分析方法的研究进展[J].食品安全质量检测学报,2019,10(6):1588-1593. [PANG M, CAI S L, LIU Q. Research progress on the analysis methods of organic acids in wine[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2019, 10(6): 1588-1593.]
- [19] YING Y H, ZHI C S, JIN H D. Effects of apple storage period on the organic acids and volatiles in apple wine[J]. LWT-Food Science and Technology, 2023, 173: 114389-114399.
- [20] SCUTARAŞU E C, TELIBAN I V, ZAMFIR C I, et al. Effect of different winemaking conditions on organic acids compounds of white wines[J]. Foods, 2021, 10(11): 2569-2581.
- [21] 赵宁.猕猴桃中键合态香气物质及其果酒增香调控的研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2017. [ZHAO N. Characterisation of bound volatile compounds of kiwi and the regulation of its wine aroma[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2017.]
- [22] MONIKA C S, PAWEŁ S, SZYMON S, et al. Physicochemical characterization of wines produced using indigenous yeasts from cold climate grapes[J]. European Food Research and Technology, 2020, 247: 1-9.
- [23] 任婧楠,潘思轶,王可兴,等.树莓及其加工制品中香气化合物的研究进展[J].食品科学,2013,34(11):363-368. [REN J N, PAN S Y, WANG K X, et al. Advances in the study of aroma compounds in raspberry and processed products[J]. Food Science, 2013, 34(11): 363-368.]
- [24] 赵玉娟.葡萄酒香气物质及其影响因素研究[J].酿酒科技,2015(4):58-60,64. [ZHAO Y J. The aromatic components of grape wine and their influencing factors[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2015(4): 58-60, 64.]
- [25] DZIADAS M, JELEŃ H H. Comparison of enzymatic and acid hydrolysis of bound flavor compounds in model system and grapes[J]. Food Chemistry, 2016, 190: 412-418.
- [26] HJELMELAND A K, EBELER S E. Glycosidically bound volatile aroma compounds in grapes and wine: A review[J]. American Journal of Enology and Viticulture, 2015, 66(1): 1-11.
- [27] ZHANG J G, FANG L, HUANG X D, et al. Evolution of polyphenolic, anthocyanin, and organic acid components during co-inoculation fermentation (simultaneous inoculation of LAB and yeast) and sequential fermentation of blueberry wine[J]. Journal of

Food Science, 2022, 87(11): 4878–4891.

[28] 郭子祺. 木瓜酒降酸脱涩技术研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2022. [GUO Z Q. Study on technology of reducing acid and removing astringency of papaya wine[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2022.]

[29] 柯旭清, 徐兆伯, 王力, 等. 浸泡型树莓果酒降酸方法的研究[J]. 酿酒科技, 2019(3): 99–101. [KE X Q, XU Z B, WANG L, et al. Deacidification methods for raspberry steeped wine[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2019(3): 99–101.]

[30] 王金玲, 晏雨辰, 李巧月, 等. 生物降解柠檬酸及其影响因素的研究进展[J]. 现代食品科技, 2022, 38(2): 347–357, 312. [WANG J L, YAN Y C, LI Q Y, et al. Research progress of biodegradable citric acid and its influencing factors[J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(2): 347–357, 312.]

[31] 姜欢笑, 郭建华, 时小棠, 等. 果酒中有机酸成分分析及降酸技术研究现状[J]. 现代食品, 2020(9): 10–14. [JIANG H X, GUO J H, SHI X T, et al. The research status of organic acids composition analysis and acid reduction technology in fruit wine[J]. Modern Food, 2020(9): 10–14.]

[32] 陈继峰, Bill Kremer. 降酸方法对葡萄酒降酸效果的影响[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2001(3): 17–20. [CHEN J, BILL K. The effect of wine deacidification with different methods[J]. Sino-overseas Grapevine & Wine, 2001(3): 17–20.]

[33] MARCELLO F, MAURO M. Electrodialysis applications in the food industry[J]. Advances in Food and Nutrition Research, 2006, 51: 265–360.

[34] 周增群, 钟烈洲, 黄海智, 等. 电渗析法用于杨梅果酒降酸的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(13): 266–268. [ZHOU Z Q, ZHONG L Z, HUANG H Z, et al. Deacidification of Chinese bayberry-wine based on electrodialysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(13): 266–268.]

[35] 张杰, 赵洋溢, 林静, 等. 蓝莓酒离子交换树脂降酸工艺研究[J]. 东北农业大学学报, 2022, 53(7): 44–56. [ZHANG J, ZHAO Y Y, LIN J, et al. Study of ion exchange resin deacidification process for blueberry wine[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2022, 53(7): 44–56.]

[36] 冯倩, 张燕, 赵轶男. 发酵果酒降酸工艺优化[J]. 酿酒科技, 2021(2): 27–31. [FENG Q, ZHANG Y, ZHAO Y N. Optimization of acid-reducing process of fermented fruit wine[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2021(2): 27–31.]

[37] 孙慧烨. 不同方法降解苹果酒中有机酸的比较和优化[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015. [SUN H Y. Comparing and optimizing of different methods for the deacidification in ciders[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2015.]

[38] 齐海萍, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 山楂汁降酸工艺与山楂果酒的酿制[J]. 中国酿造, 2011(3): 179–183. [JI H P, HU W Z, JIANG A, et al. Deacidification technology of hawthorn juice and development of hawthorn wine[J]. China Brewing, 2011(3): 179–183.]

[39] 张佳艳, 任仙娥. 西番莲果汁的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(11): 219–224. [ZHANG J Y, REN X E. Deacidification methods for raspberry steeped wine[J]. Food Research and Development, 2016, 37(11): 219–224.]

[40] EDWIN V, JACQUELINE S, FRANÇOISE P, et al. Deacidification of clarified tropical fruit juices by electrodialysis. part I. Influence of operating conditions on the process performances[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 90(1): 67–73.

[41] LI N, WEI Y, LI X M, et al. Optimization of deacidification for concentrated grape juice[J]. Food Science & Nutrition, 2019, 7(6): 2050–2058.

[42] ZHONG W, LI X Y, YANG H, et al. A novel, effective, and

feasible method for deacidifying kiwifruit wine by weakly basic ion exchange resins[J]. Journal of Food Process Engineering, 2019, 42(2): 12969–12978.

[43] 洪佳敏, 吴水金, 吴妙鸿, 等. 青梅加工研究进展[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(10): 9–12. [HONG J M, WU S J, WU M H, et al. Research processing in the processing of green plum[J]. Cereals & Oils, 2022, 35(10): 9–12.]

[44] XIA N, CHENG H, YAO X, et al. Effect of cold stabilization duration on organic acids and aroma compounds during *Vitis vinifera* L. cv. Riesling wine bottle storage[J]. Foods, 2022, 11(9): 1179–1195.

[45] LI J N, LI Y S, FANG T, et al. Effects of different methods on reducing acid of papaya juice and papaya wine[C]// Proceedings of 2019 The 3<sup>rd</sup> International Conference on Agricultural and Food Science (ICAFS 2019): 2019: 126–131.

[46] 段元良. 山楂酒的酿造及降酸工艺研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2016. [DUAN Y L. The research of production hawthorn wine and deacidification process[D]. Jinan: Qilu University of Technology, 2016.]

[47] 张健, 赵庆桃, 李静思, 等. 云南产区酸木瓜酒品质改良研究[J]. 中国果菜, 2022, 42(10): 22–29. [ZHANG J, ZHAO Q L, LI J S, et al. Study on quality improvement of sour papaya wine from Yunnan[J]. China Fruit & Vegetable, 2022, 42(10): 22–29.]

[48] 刘云清, 李艳青, 朱磊. 寒地“贝达”葡萄汁化学降酸最佳方案研究[J]. 高师理科学刊, 2019, 39(8): 54–57, 70. [LIU Y Q, LI Y Q, ZHU L. Study on optimal scheme of chemical deacidification for “Beta” grape juice grown in cold region[J]. Journal of Science of Teachers' College and University, 2019, 39(8): 54–57, 70.]

[49] 何宏魁, 李红歌, 李晓欢, 等. 猕猴桃酒中酸份分析及其降酸工艺研究[J]. 酿酒, 2015, 42(6): 59–61. [HE H K, LI H G, LI X H, et al. The research of acid analysis and acid reduction technology in kiwi wine[J]. Liquor Making, 2015, 42(6): 59–61.]

[50] 林巧. 樱桃酒化学降酸效应研究[J]. 中国酿造, 2010, 225(12): 48–53. [LIN Q. Deacidification of kirschwasser by chemical method[J]. China Brewing, 2010, 225(12): 48–53.]

[51] 郝雅兰. 猕猴桃干酒降酸技术研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014. [HE Y L. Study on the technology of deacidification of kiwifruit dry wine[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2014.]

[52] 诸葛庆. 猕猴桃酒降酸降涩新工艺的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2005. [ZHUGE Q. Studies on the new technology of deacidification and reducing astringency of kiwi fruit wine[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2005.]

[53] 梁敏, 包怡红, 徐福成. 蓝靛果酒化学降酸工艺及对花色苷组成的影响[J]. 现代食品科技, 2018, 34(10): 188–195. [LIANG M, BAO Y H, XU F C. Chemical deacidification technology of blue honeysuckle wine and its effect on anthocyanin composition[J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(10): 188–195.]

[54] 李霄雪, 吴艳艳, 刘行知, 等. 化学降酸剂处理对刺葡萄香气的影响[J]. 中国食品学报, 2017, 17(11): 245–253. [LI X X, WU Y Y, LIU X Z, et al. Effect of chemical acid reducing agent treatment on the aroma of spiny wine[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 17(11): 245–253.]

[55] SU J, WANG T, WANG Y, et al. The use of lactic acid-producing, malic acid-producing, or malic acid-degrading yeast strains for acidity adjustment in the wine industry[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2014, 98(6): 2395–2413.

[56] MAGLORZATA L, MALGORZATA G, JACEK N. Influence of malolactic bacteria inoculation scenarios on the efficiency of the vinification process and the quality of grape wine from the Cen-

- tral European region[J]. *European Food Research and Technology*, 2017, 243(12): 2163–2173.
- [57] HEINRICH D P, MARET D T, HÉLÈNE N, et al. Modulation of wine flavor using *Hanseniaspora uvarum* in combination with different *Saccharomyces cerevisiae*, lactic acid bacteria strains and malolactic fermentation strategies[J]. *Fermentation*, 2019, 5(3): 64–81.
- [58] TOFALO R, BATTISTELLI N, PERPETUINI G, et al. *Oenococcus oeni* lifestyle modulates wine volatilome and malolactic fermentation outcome[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2021, 12: 736789–736799.
- [59] 牛广财, 朱丹, 范兆军, 等. 沙棘果酒苹果酸-乳酸发酵工艺的研究[J]. 吉林农业大学学报, 2010, 32(5): 555–559, 585. [NIU G C, ZHU D, FAN Z J, et al. Study on fermentation technology of malolactic fermentation for sea buckthorn wine[J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2010, 32(5): 555–559, 585.]
- [60] 徐张宇, 朱胜男, 叶华, 等. 水蜜桃果酒中苹果酸的转化研究[J]. 农产品加工, 2021(17): 14–17, 26. [XU Z Y, ZHU S N, YE H, et al. Study on conversion of malic acid in peach wine[J]. *Farm Products Processing*, 2021(17): 14–17, 26.]
- [61] SIBYLLE K-W, JOSÉ M H, CARLOS S. *Lactobacillus plantarum*, a new biological tool to control malolactic fermentation: A review and an outlook[J]. *Beverages*, 2020, 6(2): 2306–5710.
- [62] 王英, 周剑忠, 夏秀东, 等. L-苹果酸降解菌酿酒酵母降酸功能影响因素分析[J]. 食品与生物技术学报, 2018, 37(10): 1067–1072. [WANG Y, ZHOU J Z, XIA X D, et al. Analysis the influence factors and optimization the deacidification conditions of the L-malic acid degradation capability of *Saccharomyces cerevisiae*[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2018, 37(10): 1067–1072.]
- [63] GARDONI E, BENITO S, SCANSANI S, et al. Biological deacidification strategies for white wines[J]. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 2021, 42(2): 114–122.
- [64] ZHONG W, LIU S Q, H, et al. Effect of selected yeast on physicochemical and oenological properties of blueberry wine fermented with citrate-degrading *Pichia fermentans*[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2021, 145: 2637–2646.
- [65] ZHONG W, CHEN T, YANG H, et al. Isolation and selection of non-*Saccharomyces* yeasts being capable of degrading citric acid and evaluation its effect on kiwifruit wine fermentation[J]. *Fermentation*, 2020, 6(1): 25–40.
- [66] BELY M, STOECKLE P, MASNEUF-POMARÈDE I, et al. Impact of mixed *Torulaspora delbrueckii*-*Saccharomyces cerevisiae* culture on high-sugar fermentation[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2008, 122(3): 312–320.
- [67] 程思琦, 叶冬青, 孙悦. 功能微生物对葡萄酒风味的影响研究进展[J/OL]. 生态学杂志: 1–14[2023-03-30]. [CHENG S Q, YE D Q, SUN Y, et al. Progresses on the effects of functional microorganisms on wine flavor[J/OL]. *Chinese Journal of Ecology*: 1–14[2023-03-30].]
- [68] CAPOZZI V, TUFARIELLO M, DE S N, et al. Biodiversity of oenological lactic acid bacteria: Species- and strain-dependent plus/minus effects on wine quality and safety[J]. *Fermentation*, 2021, 7(1): 24–41.
- [69] LI R Y, XIONG G T, YUAN S K, et al. Investigating the underlying mechanism of *Saccharomyces cerevisiae* in response to ethanol stress employing RNA-seq analysis[J]. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 2017, 33(11): 206–219.
- [70] 郭志君, 杨磊, 骆红霞, 等. 苹果酸-乳酸发酵对刺梨酒香气的影响[J]. 食品与机械, 2022, 38(3): 197–204, 233. [GUO Z J, YANG L, LUO H X, et al. Effect of malolactic fermentation on volatile compounds of *Rosa roxburghii* Tratt wine[J]. *Food Machinery*, 2022, 38(3): 197–204, 233.]
- [71] LYTRA G, MIOT S C, MOINE V, et al. Influence of must yeast-assimilable nitrogen content on fruity aroma variation during malolactic fermentation in red wine[J]. *Food Research International*, 2020, 135: 109294–109309.
- [72] YANG X, SONG X, YANG L, et al. Effect of deacidification treatment on the flavor quality of Zaosu pear-kiwifruit wine[J]. *Foods*, 2022, 11(14): 2007–2022.
- [73] 黄刚. 希氏乳杆菌 Q19 直投式苹果酸-乳酸发酵剂的制备及其酿酒特性研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2022. [HUANG G. Analysis and development of direct vat set *Lactobacillus hilgardii* Q19 malolactic acid fermentation starter and its brewing characteristics[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2022.]
- [74] CIOCH S M, GRABOWSKI M, SATORA P, et al. The use of yeast mixed cultures for deacidification and improvement of the composition of cold climate grape wines[J]. *Molecules*, 2021, 26(9): 2628–2645.
- [75] 卢思言, 曾祥玉, 王鑫源, 等. 蓝锭果中可降解有机酸的酵母菌株筛选及鉴定[J]. 食品工业科技, 2021, 42(20): 126–133. [LU S Y, ZENG X Y, WANG X Y, et al. Screening and identification of yeasts strains of degradable organic acids in *Lonicera edulis*[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(20): 126–133.]
- [76] 杨桦. 黄桃酒酿造工艺优化及非酿酒酵母的应用[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2022. [YANG Y. Optimization of yellow peach wine brewing process and application of non-*Saccharomyces cerevisiae*[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2022.]
- [77] 苏凡. 发酵型梅酒的工艺优化及品质分析[D]. 成都: 西华大学, 2021. [SU F. Optimization of fermentation process of plum wine and quality analysis[D]. Chengdu: Xihua University, 2021.]
- [78] 刘俊丽, 孙广玲, 黄蓉, 等. 微通氧对东方伊萨酵母在猕猴桃酒中的降酸效果[J/OL]. 中国食品学报: 1–11[2023-03-29]. [LIU J L, SUN G L, HUANG R, et al. The acid-reducing effect of micro-oxygenation on *Pichia kudriavzevii* in kiwifruit wine[J/OL]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*: 1–11[2023-03-29].]
- [79] 张亚强, 刘双平, 毛健, 等. 粟酒裂殖酵母与酿酒酵母顺序发酵酿造低酸度野樱莓果酒[J]. 食品科技, 2019, 44(4): 1–6, 11. [ZHANG Y Q, LIU S P, MAO J et al. Use of *Schizosaccharomyces pombe* and *Saccharomyces cerevisiae* strains in sequential fermentations to ferment low-acidity aronia wine[J]. *Food Science and Technology*, 2019, 44(4): 1–6, 11.]
- [80] 刘英杰, 黄钧, 刘建, 等. 不同接种方式对青梅酒品质的影响及微生物多样性研究[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(21): 59–66. [LIU Y J, HUANG J, LIU J, et al. Effect of different inoculation on the quality of greengage wines and microbial diversity[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(21): 59–66.]
- [81] 耿仕瑾, 姜娇, 曲睿, 等. 戴尔有孢圆酵母调控晚采小芒森葡萄酒乙酸和香气[J]. 农业工程学报, 2021, 37(7): 293–300. [GENG S J, JIANG J, QU R, et al. Managing volatile acidity and aroma of petit manseng wine using *Torulaspora delbrueckii*[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2021, 37(7): 293–300.]