

刘 炎,赵鹏涛,赵擎豪,等. 有机酸对果酒品质的影响及调控技术研究进展[J].江苏农业学报,2023,39(3):904-912.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2023.03.032

有机酸对果酒品质的影响及调控技术研究进展

刘 炎¹, 赵鹏涛^{1,2,3}, 赵擎豪¹, 赵越凡¹, 王 飞¹, 杜国荣⁴, 王晓宇^{1,2,3}

(1.陕西师范大学食品工程与营养科学学院,陕西 西安 710119; 2.国家苹果加工技术研发专业中心,陕西 西安 710119;
3.西部果品资源高值利用教育部工程研究中心,陕西 西安 710119; 4.西安文理学院生物与环境工程学院,陕西 西安 710065)

摘要: 酒石酸、苹果酸、柠檬酸、乳酸、琥珀酸等有机酸是果酒中重要的呈味物质,对果酒品质有着重要影响。有机酸的组成和含量变化决定了果酒的酸度和 pH,且可能与果酒基质成分之间发生相互作用,影响果酒的感官品质和稳定性。本文围绕果酒中主要有机酸的组成、含量及其与果酒品质的量效关系展开综述,系统阐明了其在果酒发酵及陈酿过程中对口感、颜色、香气以及稳定性等方面的影响及机制,并介绍了果酒有机酸的调控技术和工艺,对有机酸改善果酒品质的未来发展方向作出展望,以期为果酒感官品质的进一步提升提供理论参考。

关键词: 有机酸; 果酒品质; 量效关系; 影响机制; 调控技术

中图分类号: TS255.46 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2023)03-0904-09

Research progress on the effect of organic acids on fruit wine quality and regulation technology

LIU Yan¹, ZHAO Peng-tao^{1,2,3}, ZHAO Qing-hao¹, ZHAO Yue-fan¹, WANG Fei¹, DU Guo-rong⁴,
WANG Xiao-yu^{1,2,3}

(1.School of Food Engineering and Nutritional Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China; 2.National Research & Development Center of Apple Processing Technology, Xi'an 710119, China; 3.Engineering Research Center of High Value Utilization of Western China Fruit Resources, Ministry of Education, Xi'an 710119, China; 4.School of Biological and Environmental Engineering, Xi'an University, Xi'an 710065, China)

Abstract: Organic acids such as tartaric acid, malic acid, citric acid, lactic acid and succinic acid are important flavor substances of fruit wine, which have important influences on the quality of fruit wine. The variation of composition and content of organic acids in fruit wine determined its acidity and pH, and the interaction with the matrix components in fruit wine may affect the sensory quality and stability of wine. This article summarized the composition and content of main organic acids in fruit wine and the dose-effect relationship with the quality of fruit wine, systematically expounded the effect and mechanism on the taste, color, aroma and stability of fruit wine during fermentation and aging. The regulation technology and process of organic acid in fruit wine was introduced, and the future development direction of organic acid in improving the quality of fruit wine was prospected. This review can provide the theoretical reference for the further improvement of

the sensory quality of fruit wine.

Key words: organic acids; fruit wine quality; dose-effect relationship; effect mechanism; regulation technology

收稿日期:2022-09-01

基金项目:国家现代农业产业技术体系项目(CARS-027);陕西省科技攻关专项(2022ZY1-CGZY-06,2021NY-177);咸阳市科技攻关项目(2021ZDYF-NY-0021)

作者简介:刘 炎(1999-),女,山西定襄人,硕士研究生,主要从事葡萄酒化学研究。(Tel)18835733990;(E-mail)563533849@qq.com

通讯作者:王晓宇,(E-mail)wangxiaoyu@snnu.edu.cn

有机酸是果酒中的重要基质成分,不仅具有抗氧化、预防糖尿病、保护心肌等诸多对人类健康有益的特性,还是果酒丰富口感的呈味基础。酒石酸、苹

果酸、柠檬酸、乳酸、琥珀酸等有机酸是构成果酒品质的重要因素,其组成和含量决定着果酒的感官质量,在果酒品质调控方面具有重要作用^[1-2]。

果酒中有机酸的来源主要包括 3 个途径:果实原料、发酵过程中微生物代谢活动以及酿造过程中的外源添加^[3]。有机酸的组成和含量决定着果酒体系的酸度和 pH,此外还对果酒的口感平衡、香气质量、色泽、酒体稳定以及陈酿潜力起着关键作用^[4]。果酒酿造条件诸如发酵菌株、酿造工艺等因素在很大程度上决定了有机酸的组成和含量,进而影响果酒的品质。因此,掌握有机酸对果酒感官品质及稳定性的影响机理,以及通过调控果酒酿造工艺进而对果酒有机酸组成与含量加以调节是高品质果酒酿造技术的关键点之一。

基于此,本文就果酒中主要有机酸对感官品质

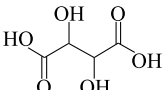
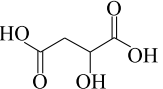
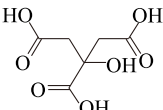
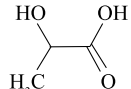
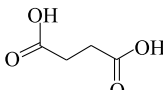
和稳定性的影响机制以及果酒有机酸的调控工艺展开系统综述,旨在为通过调控果酒中有机酸的含量及组成实现果酒品质提升提供参考。

1 果酒中主要呈酸物质及呈酸机制

果酒有机酸来源广泛,含量丰富,是构成果酒酸味的基本物质。果酒有机酸种类众多且风味各异的特点赋予了果酒多样的酸味体验,对酒体的口感平衡有着重要的意义。有机酸组成和含量适当,果酒口感平衡、柔和,反之,果酒会呈现平淡或酸刺激感强的风味特征^[5-6]。有机酸的感官属性特点及其在发酵过程中的组成和浓度变化构成了果酒多样的酸味特性。表 1 总结了果酒中主要有机酸的来源、味觉特点及在不同类型果酒中的质量浓度范围与变化。

表 1 果酒中的主要有机酸

Table 1 Main organic acids in fruit wine

编号	有机酸	结构式	化学文摘号	有机酸在果酒中的质量浓度范围 (g/L)	味觉特点	来源及变化
1	酒石酸		526-83-0	葡萄酒 5.00~10.00 ^[7] 苹果酒 1.34~2.52 ^[6] 猕猴桃酒 1.16~2.22 ^[4]	酸感强烈、粗糙、味觉生硬	来源:果实 变化:①在发酵过程中酒石酸会被乳酸菌降解转化为乳酸和乙酸 ^[7] ;②经酒石酸氢钾沉淀作用酒石酸含量降低 ^[7]
2	苹果酸		6 915-15-7	苹果酒 3.51~6.42 ^[6] 猕猴桃酒 1.53~2.73 ^[4] 荔枝酒 3.72~3.80 ^[1]	果味、生青味,稍有刺激感、苦涩感	来源:果实 变化:在苹果酸-乳酸发酵 (MLF) 过程中苹果酸转化为乳酸,含量降低 ^[8]
3	柠檬酸		77-92-9	猕猴桃酒 8.77~13.60 ^[4] 石榴酒 1.11~36.75 ^[8] 苹果酒 0.19~1.19 ^[6]	清爽的酸味、口感爽快、有新鲜感	来源:果实、乙醇发酵 变化:①在乙醇发酵中柠檬酸含量上升 ^[6] ;②在 MLF 过程中柠檬酸会被当作底物消耗,转化为乙酸,含量降低 ^[7-8]
4	乳酸		50-21-5	石榴酒 4.32~5.23 ^[8] 葡萄酒 0~2.50 ^[7] 荔枝酒 0.74~2.38 ^[1]	酸味微弱、柔和、圆润、稍有涩感	来源:乙醇发酵、MLF 变化:①乳酸由苹果酸经 MLF 过程脱羧而成 ^[7] ;②在乙酸发酵过程中乳酸可能被醋酸菌氧化分解,含量降低 ^[7]
5	琥珀酸		110-15-6	荔枝酒 0.13~1.35 ^[1] 石榴酒 0.25~0.77 ^[8] 苹果酒 0.50~0.85 ^[6]	味感丰富、复杂,既酸又苦	来源:乙醇发酵 变化:琥珀酸由酵母发酵产生,在发酵后浓度显著提高 ^[6]

1.1 有机酸的呈酸机制

在过去很长一段时期内,人们对酸味的认识仅停留在“舌头上的味觉反应”,近年来研究人员对酸味转导的内在机制展开深入研究^[9-18],发现了识别与传递酸味的感受器、受体细胞和神经回路(图 1)。

有机酸呈酸转导机制如图 2 所示,有机酸穿过Ⅲ型味觉受体细胞 (TRCs) 顶端的双层磷脂,渗透进入细胞,在细胞质内解离出 H^+ ,引起细胞内酸化,进而使细胞膜去极化,触发动作电位,激活电压门控 Ca^{2+} 通道,细胞内囊泡释放神经递质 5-HT,激活传入神经纤维,进而产生神经冲动,传递酸味觉信息^[19]。

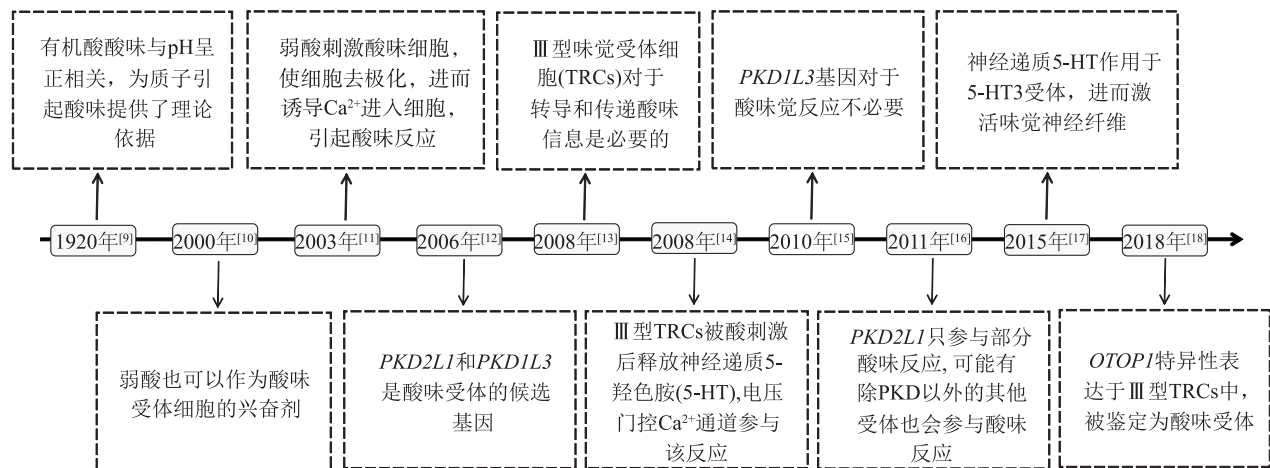
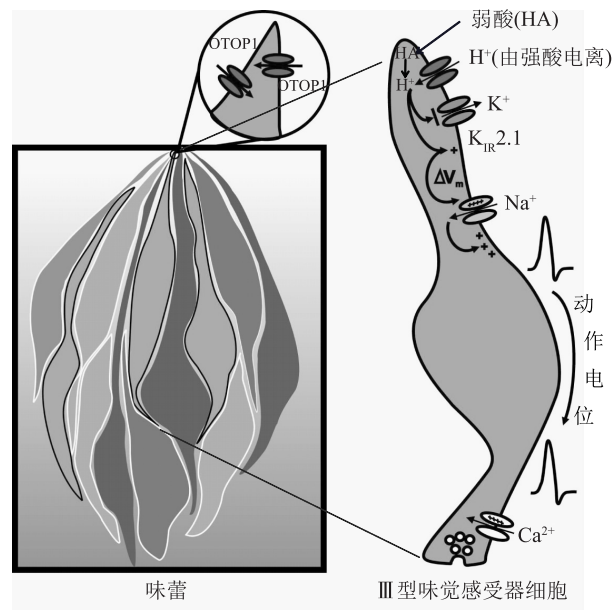


图1 酸味转导机制研究进展

Fig.1 Research progress on sour taste transduction mechanism

OTOP1; OTOP1 质子 H^+ 通道; $\text{K}_{\text{IR}} 2.1$: 内向整流钾离子 (K^+) 通道 2.1。图2 酸味转导机制示意^[20]Fig.2 Schematic diagram of the sour taste transduction mechanism^[20]

1.2 影响有机酸酸味的因素

有机酸结构中的质子 H^+ 、酸根负离子对酸味感知起着重要作用。其中氢离子是产生酸味的基本物质, 溶液中游离氢离子和未解离氢离子的总浓度决定着酸味强度。阴离子自身不产生酸味, 但它能够影响酸结合味觉受体的能力, 进而影响酸味强弱, 其结构决定对酸味的影响程度, 阴离子结构相似的有机酸, 酸味效果相似, 羟基或共轭基团的存在会增加对酸味

的感受^[21]。有机酸种类不同, 酸味感不同, 对果酒酸味的贡献程度也有差别, 其在果酒中的具体酸味强弱受到每种酸的化学结构、浓度以及 DOT 值(果酒中的酸含量与阈值的比值)等多方面的影响。

2 有机酸对果酒感官品质的影响

有机酸对果酒感官品质影响的机理主要表现在以下 2 个方面: 一是有机酸与果酒其他基质成分如

乙醇、多酚、花色苷、蛋白质等互作,对果酒口感、颜色、香气等感官品质产生影响;二是有机酸结构中含有的羧基解离后显酸性,其组成和含量在很大程度上决定着果酒的 pH 值,进而影响果酒品质。

2.1 有机酸对果酒口感的影响

有机酸组成和含量不仅决定着果酒的酸味,还会与果酒基质成分发生反应,从而促进果酒产生涩味^[22],增强或抑制甜味^[23-24],影响苦味^[25],对果酒的复杂口感有着重要贡献。

2.1.1 有机酸对果酒涩感的影响 涩感是由单宁和唾液蛋白质结合生成沉淀,使口腔表面摩擦增加而引起的皱缩、粗糙、干燥的感觉。除单宁外,有机酸也与果酒涩感密切相关。近年来,许多学者致力于阐明二者之间的量效关系。有研究表明,有机酸浓度的增加可以增强果酒涩感^[26],这源于多酚与唾液蛋白质结合效率的提升^[27]。考虑到有机酸浓度与 pH 的交互效应,杨晓雁等^[22]和 Fontoin 等^[25]在恒定 pH 条件下加入不同浓度的酒石酸,前者的研究表明随酸度的增加果酒涩感呈现先升高后降低的趋势,但后者并未发现二者间的量效关系。此外,有机酸种类不同对果酒涩感的影响程度也存在差异。酒石酸和苹果酸对涩感强度有显著影响,柠檬酸、琥珀酸和乳酸则无明显影响^[27]。目前关于有机酸浓度和种类对涩感影响的研究较少,机制尚未完全清楚,且结论存在争议。未来通过建立口腔细胞模型从细胞角度进一步研究有机酸对涩感产生的协同或抑制作用,并探究其内在机制,对于解析有机酸在果酒呈涩过程中的作用具有重要意义。

除浓度与种类外,有机酸对 pH 的影响也会造成果酒涩感的变化。在果酒适宜酸度条件下,较低的 pH 往往带来更强的涩感,可能与以下因素有关:①唾液蛋白质结构改变,暴露更多结合位点,单宁与蛋白质结合效率提高,唾液蛋白质沉淀增加^[28];②唾液黏度降低,口腔内表面摩擦力增加^[29];③蛋白质分子更易舒展,N 端和 C 端排斥力增加,更多脯氨酸残基暴露,有利于其与单宁相互作用^[30];④单宁溶解度降低,形成更多氢键,从而促进单宁自结合,涩感增强^[31]。

2.1.2 有机酸对果酒甜味的影响 果实本身以及发酵过程中产生的甜味物质会与 II 型味觉细胞上的受体 T1R2-T1R3 二聚体结合,激发细胞内信号传递级联反应,传递甜味信息^[32]。甜味的感知途径虽然

与酸味不同,但学者在研究酸甜互作时发现酸味会对甜味造成影响^[23]。为定量评估酸与甜的味觉相互作用,Qin 等^[24]构建了一种生物混合舌头,探究不同质量分数(0.01%~1.25%)柠檬酸对蔗糖甜味的影响,发现该作用具有剂量依赖性效应,即柠檬酸在中等质量分数时可以增强或减弱甜味,质量分数较高时对甜味仅表现为抑制,未来还需进一步进行体外试验来验证有机酸对甜味的影响机理是有机酸直接作用于甜味受体还是对甜味转导机制产生影响。

果酒口感优良与否取决于酸味与甜味的平衡程度,考虑到酸味与甜味的相互作用,在加工过程中应尤为注意果实采收糖酸比,以保证果酒适宜的酸甜口感。果实成熟期间,总糖含量不断增加,酸度逐渐降低^[33]。许多学者通过分析果实成熟度与果酒风味之间的关联,找到了果实最佳采收期对应的糖酸比。对于猕猴桃和樱桃,糖酸比分别在 5.83^[5]和 13.50^[33]时加工效果最优;不同品种的酿酒葡萄适宜的糖酸比也存在差异,法国兰和雷司令的糖酸比分别为 27.20 和 26.49 时酿造出的葡萄酒质量最佳^[34]。

2.1.3 有机酸对果酒苦味的影响 柠檬酸、苹果酸、乳酸、琥珀酸等有机酸除有酸涩味外,还会呈现苦味。适量添加上述有机酸,会柔和酒中的苦味^[35];若添加量过高,其自身的风味特征可能会在一定程度上加重果酒的苦味。Fontoin 等^[25]发现,在适宜添加范围内,酒石酸浓度与单宁苦味呈负相关,pH 值变化对苦味感知没有任何影响。

通过调控有机酸组成和浓度可以在一定程度上改善由于发酵过程中有机酸的变化造成的果酒口感不良,然而有机酸口感复杂,添加量不适可能对口感造成负面影响,因此,需要进一步研究有机酸在各类果酒中的最适组成和浓度,以平衡果酒的酸味、甜味、苦味和涩味。

2.2 有机酸对果酒颜色的影响

花色苷是果酒呈色的物质基础。在发酵和陈酿期间,花色苷容易受 pH 值、氧气、光照以及微生物等因素的影响而发生降解,进而影响果酒的色泽。近年来,国内外大量研究致力于通过添加有机酸改善花色苷的色泽稳定性。

2.2.1 pH 影响花色苷的存在形式 有机酸通过改变体系 pH 影响花色苷在果酒中的分子构型及动态平衡。花色苷在果酒中有 4 种存在形式:黄烺盐离

子(AH^+)、醌型碱、甲醇假碱以及查尔酮^[36]。强酸条件下,花色苷主要以 AH^+ 形式存在;随着 pH 值升高, AH^+ 的 2 号碳位被水分子亲核攻击而水合,形成无色的甲醇假碱,甲醇假碱以缓慢的速度转化为查

尔酮,二者趋于平衡;随着体系酸度的降低(pH 6~10),花色苷失去质子转变为醌型碱,先呈紫色后转化为蓝色^[36-37]。以葡萄酒为例,花色苷在不同 pH 值条件下的平衡状态如图 3 所示。

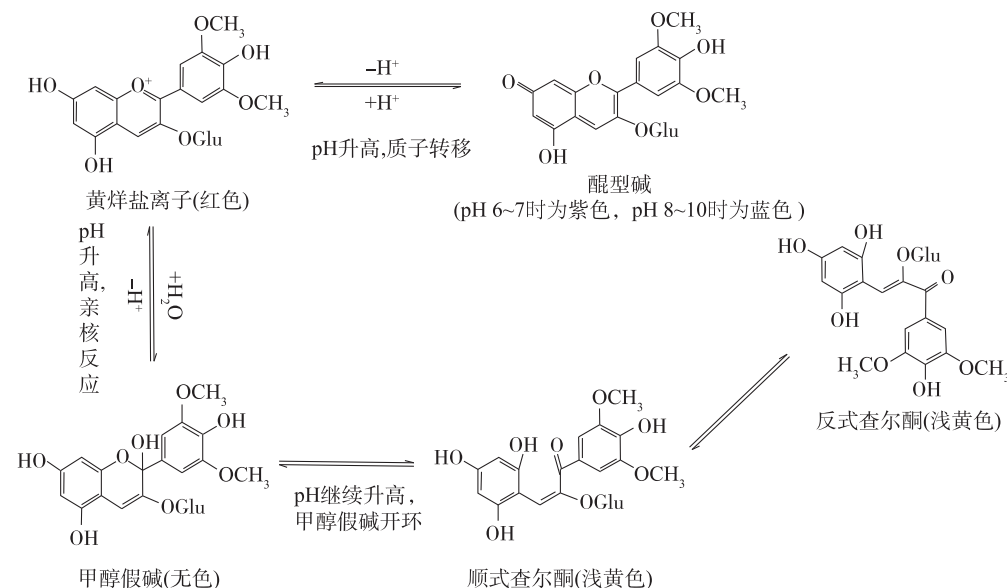


图 3 葡萄酒中花色苷在不同 pH 条件下的结构转化示意^[36]

Fig.3 Schematic diagram of structural transformation of anthocyanins in wine under different pH conditions^[36]

2.2.2 有机酸影响花色苷的共色作用 有机酸可以与花色苷通过氢键、疏水力等非共价作用结合,形成具有特定空间构型的复合物以保护花色苷免受水的亲核攻击,进而提高花色苷的稳定性^[38]。有机酸的共色效果与体系 pH 及其解离度有关。研究表明,pH 在 3.0 左右时共色效应最强^[2]。解离常数(pK_a)较大的有机酸解离速度慢,能减缓花青素的水合作用,稳定效果较好^[38]。

此外,有机酸对花色苷糖基的酰基化也能提高花色苷的稳定性和色泽强度,酰化花色苷的酰基保护花色苷吡喃环 C_2 免受水分子攻击^[37],阻止 AH^+ 转化为无色甲醇假碱而失色。

2.2.3 有机酸减缓花色苷氧化降解 果酒中花色苷氧化途径有 3 种:①花色苷在铁的催化作用下被 O_2 氧化;②花色苷会与 H_2O_2 (芬顿反应的中间产物)反应而降解;③花色苷与酚类氧化产物醌耦合氧化降解。有机酸能够螯合金属离子,减缓铁催化花色苷氧化降解反应的发生。此外,pH 会影响 SO_2 在果酒中的存在形态,低 pH 条件下游离 SO_2 含量增加,游离 SO_2 通过与 H_2O_2 和醌反应,阻止花色苷被氧化降解^[39-40]。

有机酸种类与浓度决定其对花色苷的稳定效果。相比琥珀酸、苹果酸及酒石酸,柠檬酸与 Fe 形成的复合物更稳定,可以更好地保护花色苷免受氧化降解^[37],且随着柠檬酸质量分数(0.10%、0.25%、0.50%)的增加花色苷的保存率相应提高^[41]。

有机酸影响花色苷降解速率的差异可以通过有机酸浓度、Fe-有机酸复合物的稳定性来解释,此外,有机酸造成的空间位阻可能是影响其护色效果的另一因素^[37]。

2.3 有机酸对果酒香气的影响

香气化合物是果酒呈现香气特征的物质基础。果酒基质挥发的香气物质通过正鼻和鼻后(口腔)路径到达嗅觉受体,进而被消费者感知。目前有关果酒基质效应对挥发性物质影响的研究多聚焦在基质 pH 对酯类、醇类、萜烯类及含硫化合物生成反应的调控等方面。

2.3.1 有机酸对果酒中酯类的影响 酯类物质主要由发酵过程中酵母或其他微生物代谢产生,为果酒贡献果香^[42],pH 影响上述代谢反应的酶活性进而影响果酒中果味酯的浓度。研究表明,低 pH 条件利于果味酯积累。乳酸乙酯与琥珀酸二乙酯在

pH 值为 3.2 的葡萄酒中的浓度往往高于 pH 为 3.6 和 3.8 的葡萄酒^[43]。此外,具有丰富水果香味的乙酸乙酯,在 pH 较低时浓度也会显著增加,这是由于低 pH 条件下果酒中含有较多高级醇和醛类物质,二者被氧化会使果酒中积累大量乙酸,乙酸会进一步与醇类发生酯化反应,赋予果酒特殊的香味。

2.3.2 有机酸对果酒中醇类的影响 醇类是果酒酵母发酵的主要产物。有机酸会使醇类物质的释放量发生变化,如在葡萄酒中添加酒石酸,1-己醇释放量会减少^[44]。此外,在果酒发酵和陈酿过程中,有机酸与醇的酯化反应,除产生赋予果酒酯香的芳香化合物外,还会导致高级醇含量下降。

2.3.3 有机酸对果酒中萜烯类的影响 香叶醇、橙花醇、芳樟醇是具有花香特征的单萜醇,酸会催化这些物质的糖苷前体水解使其浓度增加^[45]。值得注意的是,过低 pH 条件可能诱导萜烯类化合物分子重排,导致浓度下降。祝霞等^[46]测定了不同 pH 条件下干白葡萄酒中的香气物质含量,发现比起 pH 值为 3.3 和 3.5,当 pH 为 3.7 时芳樟醇和香叶醇更容易积累。

2.3.4 有机酸对果酒中含硫化合物的影响 果酒中含硫化合物具有高挥发性和低感官阈值的特点,对果酒的整体香气有重要影响。 H_2S 是果酒中常见的具有令人不愉悦气味的物质。研究结果显示,pH 可能通过改变 H_2S 的前体化合物结构特征或者改变 Cu^{2+} 的催化作用进而影响 H_2S 的生成反应^[47]。

果酒的香气感知不仅与挥发物的浓度及释放量有关,由非挥发性基质引起的唾液性质变化也在香气感知中起着重要作用^[48]。早在 2004 年 Buettner 等^[49]就发现品尝 2 种不同类型的霞多丽葡萄酒后,其口腔内的香气释放量存在差异,并推测这可能与葡萄酒基质成分不同有关。现有的研究结果仅证明了有机酸会对参与味觉感知的唾液参数如唾液流动性、唾液蛋白质含量等产生影响^[50],其是否会影响与鼻后感知相关的唾液性质迄今为止尚不清楚。有机酸对香气释放和感知的影响及机制有待进一步挖掘。

3 有机酸对果酒稳定性的影响

果酒中基质成分长期共存易发生物理化学反应而沉淀,导致果酒非生物稳定性变差。有机酸对果酒稳定性的影响主要表现为通过调节蛋白质、果胶等易形成沉淀的成分在酒体中的存在形态和结构,

进而稳定酒体。

3.1 有机酸对果酒中蛋白质稳定性的影响

有机酸参与调节果酒蛋白质稳定性的机制:有机酸可以直接与蛋白质发生静电作用,阻止蛋白质与单宁之间的结合,进而稳定酒体。稳定效果取决于体系 pH 值以及有机酸的 pK_a 值。Batista 等^[51]发现,pH 接近蛋白质等电点时,相比带弱电的酒石酸和柠檬酸, pK_{a1} (第一个氢离子解离时的解离常数)较大的琥珀酸和苹果酸可以与蛋白质形成更强的静电力,能更大程度地降低蛋白质浑浊的形成。相反,在低 pH 体系下,有机酸的 pK_{a1} 越小,与蛋白质的结合作用越强,此时,酒石酸与柠檬酸能更有效地阻止蛋白质与单宁结合,对酒体的稳定效果更明显。

3.2 有机酸对果酒中果胶稳定性的影响

果酒中未完全水解的果胶易在酒体中分散造成浑浊,且易与金属离子相互作用形成絮状沉淀。有研究表明,有机酸对由果胶引起的非生物稳定性问题具有一定改善作用^[52-53]。Ren 等^[52]在柑橘乳液中添加柠檬酸,观察到果胶分子内排斥力降低,结构趋于紧凑,最终体系稳定性提高。任佳琦等^[53]发现,在有机酸(浓度范围 0.31~37.36 mmol/L)的作用下果胶构象改变,部分水解,且有机酸浓度在一定程度上影响其对果胶的作用效果,苹果酸在较高浓度下对果胶的稳定效果较好;相反,酒石酸和柠檬酸在浓度较低时能发挥更好的澄清作用。因此,从有机酸角度研究果酒果胶稳定性并开发稳定剂具有较好的前景。

3.3 有机酸对果酒中酒石酸稳定性的影响

在酿造和贮藏过程中,受温度、pH、基质成分等因素的影响,果酒中易形成酒石酸盐结晶,造成酒体不稳定。有机酸在影响酒石酸盐结晶方面可能存在 2 种机制:一是有机酸电离产生的酸根阴离子夺取酒石酸盐阳离子,使其变为可溶状态,有效抑制酒石酸盐结晶;二是有机酸通过改变体系 pH 间接影响酒石酸盐的结晶程度。王照科^[54]测定了 pH 值对葡萄酒酒石酸氢钾稳定性的影响,发现在 pH 值小于 3.55 的条件下酒石酸盐在酒中的溶解度较大,而 pH 大于 3.60 时酒石酸盐极易从酒液中结晶析出。因此,在满足果酒风味的前提下,可以通过调整果酒体系 pH 防止酒石酸盐结晶的形成。

总的来说,有机酸对果酒稳定性的影响基于其

与酒中其他成分的相互作用以及果酒体系环境 pH 的改变。果酒成分复杂,基质间的互作机制难以预测,且目前关于有机酸与果酒中大分子物质相互作用的研究鲜有报道,未来通过建立更全面的有机酸-果酒基质体外模型,并从结合作用力、结合位点、复合物稳定性等角度进行分析,更有利于进一步探究有机酸稳定酒体的具体机制,为改善果酒体系稳定性提供理论参考。

表 2 果酒中有机酸的调控技术工艺

Table 2 Control technology of organic acid in fruit wine

有机酸 调控工艺	方法	方法评价
增酸工艺	化学增酸 添加外源增酸剂(酒石酸、苹果酸、乳酸、柠檬酸)	a.可能会引起酒石沉淀等质量问题;b.增酸剂添加量受限
	物理增酸 离子交换树脂法	a.成本较高;b.易引入大量金属离子,影响果酒品质
	生物增酸 单菌发酵:基因工程改造后的酿酒酵母发酵;混菌发酵:产酸型非酿酒酵母与酿酒酵母混合发酵	a.安全性高;b.改善果酒糖高酸低问题的同时修饰果酒风味
降酸工艺	化学降酸 利用酒石酸钾、碳酸氢钾、碳酸钙中和有机酸	a.效果明显;b.操作简单;c.添加剂的添加量不易掌握
	物理降酸 低温冷冻;离子交换树脂法;壳聚糖吸附法	a.安全性较高;b.成本较高;c.能显著降低酒石酸含量,对于苹果酸降酸效果不明显;d.不适用于各类果酒降酸
	生物降酸 苹果酸-乳酸发酵;酵母菌发酵	a.降低果酒酸涩味的同时可以改善风味;b.苹果酸-乳酸发酵降酸法对有机酸具有选择性;c.对发酵菌株添加量和发酵条件要求较高

现阶段,利用微生物生成/分解有机酸对果酒增酸/降酸成为果酒品质调控研究的焦点。大量研究结果表明,酿酒所用的菌株与酒体酸度和有机酸种类密切相关,决定着果酒的感官品质及稳定性。耐热克鲁维酵母(*Lachancea thermotolerans*)是高产 L-乳酸的酿酒酵母,利用其发酵的葡萄酒乳酸含量较高,pH 较低,酒体稳定性与颜色质量均显著提升^[55]。酿酒酵母 JP2 具有较强降解苹果酸的能力,可以影响乙酸、琥珀酸等尖酸的生成,并促进苹果酸降解为口感柔和的乳酸,通过改变果酒中有机酸组成进而改善口感^[56]。然而,单菌发酵在改善果酒品质的同时,也可能引起果酒口感和风味特征同质化现象,因此,近年来大部分酿酒师选择将非酿酒酵母与酿酒酵母混合发酵,在提升果酒品质的同时使果酒风格特色化。Cioch-Skoneczny 等^[57]研究发现,酿酒酵母 MH020215 (Sc)、拜耳接合酵母 749 (Zb) 和美极梅奇酵母 MG970690 (Mp) 混合发酵能使葡萄酒中醋酸含量降低,同时赋予葡萄酒良好的香气特征。混合菌株顺序发酵对果酒品质改善的效果更为明显^[58]。刘晓燕等^[59]通过非酿酒酵母 CT10 和酿酒酵母 MST 顺序发酵生产出了酸度适宜、口感更平衡的葡萄酒。此外,

4 果酒中有机酸的调控工艺

多种工艺因素,如原料品种、果实成熟度、发酵菌株、酿造工艺等均会影响果酒中有机酸的组成和含量,导致最终酒体口感特征不同。为使果酒含酸量适当,且与酒中含糖量、乙醇度等因素达到平衡,国内外学者提出了很多调控果酒有机酸组成和浓度的工艺(表 2)。

混菌发酵的方式也会影响果酒中有机酸的种类和含量,相比液态混菌发酵,固态发酵能产生更为丰富的酸类、酯类,使果酒平衡性和风味更优^[60]。

以上研究成果均证实了有机酸在改善果酒品质特性方面具有可行性,因此,在实际生产中,可以选择合适的发酵菌株及工艺调整果酒中有机酸比例进而改善果酒品质。未来可以根据有机酸特性(种类、浓度)与果酒品质指标进行主成分分析,以此构建果酒品质综合评价模型,使酿酒师们可以根据需求和实际情况对有机酸进行适当调控以开发高品质、个性化的果酒产品。

5 展望

有机酸作为果酒中的重要呈味物质,其特有的酸味和口感属性对果酒风味和陈酿特性具有重要影响。本文总结了有机酸对果酒品质的影响以及果酒中有机酸的调控工艺,为改善果酒品质提供了新思路。探究果酒原料以及发酵工艺、酿酒微生物及环境条件等因素对有机酸组成和含量的影响,开发基于果酒有机酸组分调控的相关酿造技术,促进高品质个性化果酒的开发,是众多果酒科研工作者和生

产企业的研究和攻关方向。在有机酸对果酒感官品质和稳定性的影响机理方面,仍需加强以下几方面的研究:①果酒酿造过程中有机酸组分衍变规律及其影响因素解析;②在味觉细胞和分子层面研究主要有有机酸对感官品质及稳定性的影响机理;③果酒有机酸调控的现代生物技术开发;④探究有机酸及果酒基质组分的协同作用对果酒品质的影响。

参考文献:

- [1] 沈 颖. 荔枝酒中主要风味成分的研究[D]. 广州: 仲恺农业工程学院, 2013.
- [2] 张 扬, 彭晶晶, 李坤一, 等. 发酵前添加有机酸对西拉红葡萄酒颜色和感官质量的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(7): 1-12.
- [3] ROBLES A, FABJANOWICZ M, CHMIEL T, et al. Determination and identification of organic acids in wine samples. Problems and challenges[J]. Trac-Trends in Analytical Chemistry, 2019, 120: 115630.
- [4] 刘淑珍, 苏颖玥, 陈红梅, 等. 酿造技术对野生猕猴桃果酒有机酸组成及其品质的影响[J]. 酿酒科技, 2021(4): 71-78.
- [5] 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.
- [6] 孙慧桦. 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.
- [7] 莫燕霞, 殷居易, 顾晓俊, 等. 葡萄酒有机酸研究现状及应用展望[J]. 食品工业科技, 2015, 36(6): 380-384.
- [8] 吴连军. 石榴酒发酵影响因子的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2007.
- [9] HARVEY R B. The relation between the total acidity, the concentration of the hydrogen ion, and the taste of acid solutions[J]. Journal of the American Chemical Society, 1920, 42(4): 712-714.
- [10] OGISO K, SHIMIZU Y, WATANABE K, et al. Possible involvement of undissociated acid molecules in the acid response of the chorda tympani nerve of the rat[J]. Journal of Neurophysiology, 2000, 83(5): 2776-2779.
- [11] RICHTER T A, CAICEDO A, ROPER S D, et al. Sour taste stimuli evoke Ca^{2+} and pH responses in mouse taste cells[J]. Journal of Physiology, 2003, 547(2): 475-483.
- [12] ISHIMARU Y, INADA H, KUBOTA M, et al. Transient receptor potential family members PKD1L3 and PKD2L1 form a candidate sour taste receptor[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2006, 103(33): 12569-12574.
- [13] KATAOKA S, YANG R, ISHIMARU Y, et al. The candidate sour taste receptor, PKD2L1, is expressed by type III taste cells in the mouse[J]. Chemical Senses, 2008, 33(3): 243-254.
- [14] HUANG Y A, MARUYAMA Y, STIMAC R, et al. Presynaptic (Type III) cells in mouse taste buds sense sour (acid) taste[J]. The Journal of Physiology, 2008, 586(12): 2903-2912.
- [15] NELSON T M, LOPEZJIMENEZ N D, TESSAROLLO L, et al. Taste function in mice with a targeted mutation of the *Pkd1l3* gene[J]. Chemical Senses, 2010, 35(7): 565-577.
- [16] HORIO N, YOSHIDA R, YASUMATSU K, et al. Sour taste responses in mice lacking PKD channels[J]. PLoS One, 2011, 6(5): e20007.
- [17] LARSON E D, VANDENBEUCH A, VOIGT A, et al. The role of 5-HT3 receptors in signaling from taste buds to nerves[J]. Journal of Neuroscience the Official Journal of the Society for Neuroscience, 2015, 35(48): 15984-15995.
- [18] TU Y H, COOPER A J, TENG B, et al. An evolutionarily conserved gene family encodes proton-selective ion channels[J]. Science, 2018, 359(6379): 1047-1050.
- [19] 贾雨鑫, 张文博, 覃凯华, 等. 酸味觉信息的感受、转递机制及其影响因素[J]. 神经解剖学杂志, 2021, 37(1): 89-95.
- [20] TENG B, WILSON C E, TU Y H, et al. Cellular and neural responses to sour stimuli require the proton channel otop1[J]. Current Biology, 2019, 29(21): 3647-3656.
- [21] LI H, LIU F. The chemistry of sour taste and the strategy to reduce the sour taste of beer[J]. Food Chemistry, 2015, 185: 200-204.
- [22] 杨晓雁, 袁春龙, 张 晖, 等. 酒度、总酸、pH 值以及饮用温度对干红葡萄酒涩味的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(21): 118-123.
- [23] ZAMORA M C, GOLDNER M C, GALMARINI M V. Sourness-sweetness interactions in different media: white wine, ethanol and water[J]. Journal of Sensory Studies, 2006, 21(6): 601-611.
- [24] QIN C L, CHEN C M, YUAN Q C, et al. Biohybrid tongue for evaluation of taste interaction between sweetness and sourness[J]. Analytical Chemistry, 2022, 94(19): 6976-6985.
- [25] FONTOIN H, SAUCIER C, TEISSEDRE P L, et al. Effect of pH, ethanol and acidity on astringency and bitterness of grape seed tannin oligomers in model wine solution[J]. Food Quality and Preference, 2008, 19(3): 286-291.
- [26] SYMONEAUX R, CHOLLET S, BAUDUIN R, et al. Impact of apple procyanidins on sensory perception in model cider (part 2): degree of polymerization and interactions with the matrix components[J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 57(1): 28-34.
- [27] 王沙沙, 南立军, 李素春, 等. 有机酸对模拟葡萄酒涩感的影响[C]. 西安: 陕西人民出版社, 2017: 187-194.
- [28] OBREQUE-SLIER E, PEÑA-NEIRA Á, LÓPEZ-SOLÍS R, et al. Interactions of enological tannins with the protein fraction of saliva and astringency perception are affected by pH[J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 45(1): 88-93.
- [29] NORDBÖ H, DARWISH S, BHATNAGAR R S. Rate of viscosity changes in five salivary protein fractions following pH alterations[J]. Scandinavian Journal of Dental Research, 1984, 92(4): 302-305.

- [30] YAN Q, BENNIC A. Identification of histatins as tannin-binding proteins in human saliva [J]. *Biochemical Journal*, 1995, 311(1): 341-347.
- [31] CALLEMIEN D, COLLIN S. Structure, organoleptic properties, quantification methods, and stability of phenolic compounds in beer—a review [J]. *Food Reviews International*, 2009, 26(1): 1-84.
- [32] LEE A A, OWYANG C. Sugars, sweet taste receptors, and brain responses [J]. *Nutrients*, 2017, 9(7): 653.
- [33] 王顺利. 樱桃果酒发酵工艺研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
- [34] 李记明, 李 华. 不同地区酿酒葡萄成熟度与葡萄酒质量的研究 [J]. *西北农业学报*, 1996, 5(4): 76-79.
- [35] BRANNAN G D, SETSER C S, KEMP K E. Interaction of astringency and taste characteristics [J]. *Journal of Sensory Studies*, 2001, 16(2): 179-197.
- [36] 曾颖钰, 郭大三, 李旭升, 等. 吡喃花色苷结构及其性质研究进展 [J]. *食品科学*, 2022, 43(13): 199-209.
- [37] 张正伟. 杨梅酒颜色劣变与花色苷降解机理的研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2021.
- [38] 曾茜茜, 雷 琳, 赵国华, 等. 花青素加工贮藏稳定性的改善及应用研究进展 [J]. *食品科学*, 2018, 39(11): 269-275.
- [39] 王 华, 李 华, 郭安鹏. 二氧化硫在红葡萄酒中的抗氧化性研究 [J]. *中国食品添加剂*, 2003(5): 31-35.
- [40] JACKOWETZ J N, ORDUÑA R M D. Metabolism of SO₂ binding compounds by *Oenococcus oeni* during and after malolactic fermentation in white wine [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2012, 155(3): 153-157.
- [41] 吉俊臣. 蓝莓果酒快速陈酿及花青素护色研究 [D]. 成都: 西华大学, 2020.
- [42] 葛 谦, 曹彩霞, 吴 燕, 等. 贺兰山东麓产区不同单品种葡萄酒风味物质特征分析 [J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(17): 256-264.
- [43] KNOLL C, FRITSCH S, SCHNELL S, et al. Influence of pH and ethanol on malolactic fermentation and volatile aroma compound composition in white wines [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2011, 44(10): 2077-2086.
- [44] WANG H, NI Z J, MA W P, et al. Effect of sodium sulfite, tartaric acid, tannin, and glucose on rheological properties, release of aroma compounds, and color characteristics of red wine [J]. *Food Science and Biotechnology*, 2019, 28(2): 395-403.
- [45] CRESPO J, RIGOU P, ROMERO V, et al. Effect of seasonal climate fluctuations on the evolution of glycoconjugates during the ripening period of *grapevine* cv. Muscat a petits grains blancs berries [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018, 98(5): 1803-1812.
- [46] 祝 霞, 刘 琦, 赵丹丹, 等. 干白葡萄酒增香酿造工艺参数优化 [J]. *农业工程学报*, 2019, 35(18): 282-291.
- [47] BEKKER M Z, MIERCZYNSKA-VASILEV A, SMITH P A, et al. The effects of pH and copper on the formation of volatile sulfur compounds in Chardonnay and Shiraz wines post-bottling [J]. *Food Chemistry*, 2016, 207: 148-156.
- [48] CRIADO C, MUOZ-GONZÁLEZ C, HERNÁNDEZ-LEDESMA B, et al. Temporal changes in salivary composition induced by oral exposure to different wine matrices and the relationship with the behaviour of aroma compounds in the mouth [J]. *Food & Function*, 2022, 13(8): 4600-4611.
- [49] BUETTNER A. Investigation of potent odorants and afterodor development in two chardonnay wines using the buccal odor screening system (BOSS) [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2004, 52(8): 2339-2346.
- [50] GUINARD J X, ZOUMAS-MORSE C, WALCHAK C. Relation between parotid saliva flow and composition and the perception of gustatory and trigeminal stimuli in foods [J]. *Physiology & Behavior*, 1997, 63(1): 109.
- [51] BATISTA L, MONTEIRO S, LOUREIRO V B, et al. Protein haze formation in wines revisited. The stabilising effect of organic acids [J]. *Food Chemistry*, 2010, 122(4): 1067-1075.
- [52] REN W B, ZHAO S J, LIAN Y H, et al. Effects of hydrosoluble calcium ions and organic acids on citrus oil emulsions stabilized with citrus pectin [J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 100: 105413.
- [53] 任佳琦, 刘 昕, 雷 琳, 等. 苹果中有机酸-果胶复合体系的理化特性及稳定性 [J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(12): 29-36.
- [54] 王照科. 葡萄酒石稳定性试验 [J]. *中外葡萄与葡萄酒*, 2007(1): 62-63.
- [55] 唐 冲, 成池芳, 许引虎, 等. 耐热克鲁维酵母在葡萄酒发酵中的研究进展 [J]. *食品科学*, 2023, 44(3): 323-331.
- [56] 李维新, 魏 巍, 何志刚, 等. 酿酒酵母 JP2 发酵枇杷汁的有机酸代谢及其产香特征分析 [J]. *中国食品学报*, 2016, 16(2): 251-257.
- [57] CIOCH-SKONECZNY 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.
- [58] 何晓丽, 马成武, 许引虎, 等. 非酿酒酵母对河西走廊黑比诺葡萄酒发酵品质的影响 [J]. *酿酒科技*, 2021(5): 112-116.
- [59] 刘晓燕, 赵晓敏, 张小月, 等. 混菌顺序发酵对赤霞珠干葡萄酒品质的影响 [J]. *中国酿造*, 2022, 41(4): 65-72.
- [60] 徐融融, 卢红梅, 吴 震, 等. 不同发酵方式对铁皮石斛醋有机酸及风味特征影响的分析 [J]. *中国酿造*, 2022, 41(3): 38-44.

(责任编辑: 陈海霞)