

葡萄酒中有机酸及其分析方法的研究进展

庞敏*, 蔡松铃, 刘茜

(上海杉达学院食品质量与安全专业, 上海 200120)

摘要: 葡萄酒中主要有机酸有酒石酸、苹果酸、琥珀酸、乳酸、乙酸、柠檬酸等, 有机酸的含量和种类是影响葡萄酒口感和风味的重要因素, 也是探究葡萄酒酿造工艺及管控产品品质的指标。本研究较全面地综述了近几年来国内外葡萄酒中有机酸的研究进展, 对葡萄酒酿造过程中有机酸的变化进行了分析, 并综合气相色谱法、高效液相色谱法、离子色谱法、毛细管电泳法在葡萄酒有机酸检测中的应用, 总结比较了不同检测方法的优缺点, 研究发现现代分离技术和分析仪器的应用, 使彻底了解葡萄酒中的各种有机酸成为可能, 为葡萄酒酿造过程中有机酸的控制及葡萄酒的监管提供参考。

关键词: 葡萄酒; 有机酸; 分析方法

Research progress on the analysis methods of organic acids in wine

PANG Min*, CAI Song-Ling, LIU Qian

(Department of Food Quality and Safety, Sanda University, Shanghai 200120, China)

ABSTRACT: The main organic acids in wine are tartaric acid, malic acid, butanedioic acid, lactic acid, acetic acid, and citric acid, etc. The contents and kinds of organic acids are key factors in affecting the taste and flavor of wine, and also are important indicators of wine fermentation technology development and product quality control. This paper comprehensively reviewed the research progress of organic acids in wine in recent years, analyzed the changes of organic acids in wine production, synthesized and compared the application of gas chromatography, high performance liquid chromatography, ion chromatography and capillary electrophoresis in the detection of organic acids, and summarized and compared the advantages and disadvantages of different detection methods. It was found that the development and application of modern separation techniques and analytical instruments made it possible to thoroughly understand the organic acids in wine, which provided a reference for the control of organic acids in wine brewing process and wine supervision.

KEY WORDS: wine; organic acids; analysis methods

1 引言

葡萄酒中含有乙醇、有机酸、香味物质等多种成分^[1], 其中有机酸的种类和含量决定着葡萄酒的酸度, 在葡萄酒的风味构成中发挥重要作用; 低含量的有机酸可使葡萄酒

口感丰富^[2], 含量过高则会导致酸涩感增强, 影响葡萄酒的口感平衡与品质^[3,4], 因此有机酸的分析检测对葡萄酒酿造过程的调控及成品的评定与监管都有重要意义。本研究对葡萄酒酿造过程中有机酸的变化进行了探讨, 总结了葡萄酒中有机酸的检测方法, 并比较了不同检测方法的优

基金项目: 上海市青年教师培养资助项目(Z20002.16.011)

Fund: Supported by Shanghai Young Teachers Training Funding Project (Z20002.16.011)

*通讯作者: 庞敏, 硕士, 主要研究方向为食品质量与安全。E-mail: pangmin2007@126.com

*Corresponding author: PANG Min, Master, Department of Food Quality and Safety, Sanda University, Shanghai 200120, China. E-mail: pangmin2007@126.com

缺点,以期为后续有机酸的深入研究提供参考。

2 葡萄酒中有机酸的种类及其作用

2.1 葡萄酒中有机酸的种类

酒石酸、苹果酸、琥珀酸、乳酸、乙酸、柠檬酸等是葡萄酒中主要的有机酸,其中苹果酸和酒石酸的含量占总酸的90%以上^[5]。苹果酸、酒石酸、柠檬酸来源于葡萄本身,乙酸、乳酸、琥珀酸等主要在发酵过程中产生^[6,7]。柠檬酸除了源于葡萄本身,也有部分源于人为添加,添加适量的柠檬酸可改善葡萄酒的风味,但过量会产生过多的乙酸^[8],导致口感不协调,并且会危害人体健康,故应严格限制柠檬酸的添加量。

2.2 有机酸对葡萄酒品质的影响

葡萄酒以鲜葡萄或葡萄汁为原料,经全部或部分发酵酿造而成,酒精度不低于7.0%^[9],在酿造过程中,有机酸种类和含量的变化会影响葡萄酒的酸碱平衡,进而影响葡萄酒的风味^[10],杨晓雁等^[11]通过感官评定与化学分析相结合,发现有机酸等酸性物质可促进葡萄酒整体涩味的呈现。苹果酸是葡萄酒中主要的有机酸,具有涩味和生青味,在发酵过程中酸涩生硬的苹果酸可转化为圆润柔和的乳酸,使葡萄酒更加柔和细腻,减少酸涩感^[12]。酒石酸酸性比苹果酸弱,较其他酸略强,酸味生硬、尖锐,在酿制过程中一般不被代谢^[13],如果酒石酸被特定的细菌代谢,则会使葡萄酒风味缺乏圆润感,导致“泛浑病”^[14]。乳酸、乙酸、琥珀酸在葡萄酒发酵过程中产生,琥珀酸既酸又苦,乳酸酸味较弱,乙酸呈醋味,三者对葡萄酒的酒味、酒体稳定性有重要影响^[15,16]。李华^[17]认为酿酒葡萄的酸度应保持在6~10 g/L为宜,否则易出现乏味、少筋、平淡的感官特征。

3 葡萄酒酿造过程中有机酸的变化及其控制

葡萄酒的发酵过程分为2个阶段,初发酵阶段也称酒精发酵,是酵母菌利用葡萄汁中的糖类或酸类等物质进行代谢,发酵产生乙醇、二氧化碳及其他代谢产物;后发酵阶段也称苹果酸-乳酸发酵(malolactic fermentation, MLF),是酒精发酵后,乳酸菌将苹果酸转化为乳酸和二氧化碳的过程^[18]。

3.1 葡萄酒酿造过程中有机酸的变化

葡萄酒酿造过程中,有机酸的含量和种类会发生转变,并影响葡萄酒风味的形成。发酵过程中,苹果酸部分参与酒精发酵被降解,部分因苹果酸-乳酸发酵途径而减少^[19,20];酒石酸部分以酒石酸钾沉淀析出,部分被乳酸菌降解为乳酸和乙酸,含量降低^[21,22];乳酸、琥珀酸和乙酸均呈升高趋势,有机酸总量降低。柠檬酸代谢后产生双乙酰,可丰富葡萄酒的风味,杨春霞等^[21]研究发现柠檬酸由于发酵前期生成速率大于降解速率,含量升高,随后在苹

果酸-乳酸发酵中被分解逐渐降低,与杨颖琼等^[7]研究结果相似;任晓宁^[8]研究发现在发酵过程中,降低乙醇含量和增大葡萄糖浓度均可增加柠檬酸的代谢量,为实际过程中柠檬酸的代谢调控提供理论基础。

发酵中温度、糖含量、微生物等发酵条件会影响有机酸的转化。研究发现有机酸总量会随酿造温度升高而增加,而较低的温度有利于控制乙酸的生成^[23],发酵温度30℃时乳酸含量明显高于20℃,苹果酸含量相差不大^[24];乙酸生成量与葡萄汁中的初始糖含量成正比^[25],但葡萄汁初始糖含量过高,会使发酵周期延长,溶液渗透压增大,导致酵母菌代谢异常,乙酸生成量增加,严重影响葡萄酒的口感与风味^[26-28]。此外,存在于葡萄浆果表面及酿酒环境中的非酿酒酵母也会参与葡萄酒中风味的形成,改变葡萄酒中有机酸的种类,如星形假丝酵母能产生琥珀酸,可增加葡萄酒的苦味和酸味^[29]。

3.2 葡萄酒酿造过程中有机酸的控制

葡萄酒的生产常存在酸度过高的问题,如苹果酸过高会导致葡萄酒口感酸涩粗糙,柠檬酸过高会导致酒的香气咄咄逼人^[6],影响葡萄酒的风味。目前葡萄酒的降酸方法主要有:生物降酸法^[30]、物理降酸法和化学降酸法。丁玉萍等^[31]将降酸酵母菌和苹果酸-乳酸发酵菌同时接入山葡萄汁中进行初发酵,可降低葡萄酒的酸度,且不影响发酵速度和风味。彭欣莉等^[32]采用不同类型的离子交换树脂脱除同一种葡萄酒中的有机酸,发现有机酸的脱除率受树脂类型影响较小,但是葡萄酒香气成分受树脂及脱酸程度影响较大。管敬喜等^[33]在发酵完成后加入碳酸钙降低葡萄酒的含酸量,并结合-5~-6℃冷冻处理,使葡萄酒酸度降低了2.82 g/L。

4 葡萄酒中有机酸的分析方法

有机酸的含量和种类会影响葡萄酒的风味和品质,此外利用葡萄酒中柠檬酸总量及柠檬酸与有机酸总量的比值,还可进行勾兑假酒的初步检测^[34],故有机酸的检测对葡萄酒酿造过程的调控及成品的评定与监管都极为重要。随着现代分析仪器的的发展与应用,多种检测技术如气相色谱、高效液相色谱、离子色谱、电泳法都被广泛应用于葡萄酒有机酸的检测中。

4.1 高效液相色谱法

作为有机酸检测的主要方法,自GB/T 15038-2006实施后,高效液相检测有机酸的研究取得了快速的发展,后来的学者通过研究,使其分离效率和分离精度不断提高,可同时检测多种有机酸。马艳丽等^[35]采用日本资生堂CAPCELLPAKMGS5色谱柱同时测定了葡萄酒中的8种有机酸;杨东伟等^[36]用Hypersil C₁₈柱,结合固相萃取前处理,同时测定了葡萄酒中11种有机酸的含量;吕旭聪等^[37]采

用利用 XB-C₁₈(150 mm×4.6 mm, 5 μm)色谱柱,同时测定了葡萄酒中的 7 种有机酸;丁青芝等^[38]用 Agilent Eclipse XDB-C₁₈ 色谱柱建立了高效液相同时快速检测蜂胶葡萄酒中 8 种有机酸的方法;张会宁等^[39]采用双柱高效液相色谱同时测定了葡萄及葡萄酒中的 8 种有机酸,且回收率高、重复性好,可用来监控葡萄的成熟度及葡萄酒的发酵过程。辛若竹等^[40]建立有机酸液相指纹图谱鉴定山葡萄酒及其露酒原汁含量的分析方法,可限量鉴定山葡萄酒及其露酒的原汁含量,该方法为鉴别山葡萄酒及其露酒的品质和真伪提供了检测依据。

直接采用高效液相进行有机酸的检测,会受到葡萄酒中糖类、醇类以及色素的干扰,为了去除杂质,净化和富集有机酸,常在样品检测前进行前处理,比如固相萃取、树脂富集、界面衍生和酯化衍生;其中固相萃取是一种最常用的前处理方法。Krstic 等^[41]用 supelclean LC-18 固相萃取对葡萄酒样品进行前处理,再用 HPLC 检测,可成功消除色素、糖类的影响;张延超等在检测前用 CARB 固相萃取柱进行前处理,能有效脱除影响有机酸检测的糖类、醇类等干扰物质^[42]。固相萃取作为一种新型的样品前处理方式,溶剂消耗量少,能净化和富集样品,但是样品批次间的重复性难以保证。

高液相色谱以液体作为流动相,不受试样挥发性和热稳定性限制,应用范围广,操作自动化,重现性好,可同时检测多种有机酸,是检测葡萄酒中有机酸最常用的方法。但由于小分子有机酸在反相色谱柱中保留值小,测定时需采用极性大、pH 低的洗脱液,对色谱柱损坏较大,应避免大批量样品的连续检测。

4.2 气相色谱法

气相色谱法分析速度快,对环境破坏小,是一种具有高分离能力、高灵敏度的分离检测技术。张峻松等将葡萄酒样品经 2 次酸化处理,硫酸-甲醇酯化后,利用毛细管气相色谱仪(色谱柱 HP-Innowax (30 m×250 μm, 0.25 μm)),对葡萄酒中的 14 种有机酸进行了有效分离和定量分析,为葡萄酒生产和质量控制提供了理论基础^[43]。杜曦等^[44]选择在 N,N-二甲基甲酰胺非质子溶剂中,用碘乙烷与多元有机酸的四甲基铵盐反应制备各酸相应的乙酯,用衍生化气相色谱法分离测定葡萄酒中多元有机酸,该方法定量测定的回收率为 95%,相对标准偏差 5.0%,适合于各种葡萄酒及啤酒等酒类饮品中有机酸的测定。陶永胜等^[45]采用液液萃取-气相色谱-质谱联用(liquid-liquid extraction-gas chromatography-mass spectrometry, LE-GC-MS)方法分析香气成分以区分不同葡萄酒,该方法检测出了葡萄酒中 34 种芳香性成分,包括 8 种有机酸。

气相色谱法适用于低分子量有机酸的检测,在分析分子量大的有机酸时为增加其挥发性需进行衍生化反应,增加了前处理的难度和处理时间,同时也会因为有机反应

不易定量会使测定结果失真。由于测定前需进行衍生化反应,气相色谱对葡萄酒中热稳定性差和含量低的有机酸分析有一定的局限性。

4.3 毛细管电泳法

毛细管电泳法具有分析速度快、分离效率高、实验成本低、样品和试剂耗量少、操作简便等优点,被广泛应用于生物、医药、食品等各个领域。李永库等^[46]采用毛细管电泳-电喷雾电离质谱联用法同时测定了葡萄酒中 8 种有机酸的含量,此方法无需衍生化,可在 15 min 内实现各组分的完全分离,适合葡萄酒中有机酸的快速分析。Marián 等^[47]在具有集成电导检测的聚甲基丙烯酸甲酯芯片上提供葡萄酒中 22 种有机酸和无机酸的区域电泳分辨率,该电泳程序缩短了分析时间。唐美华等^[48]将样品膜过滤后直接进样,通过优化分离条件实现葡萄酒中 8 种有机酸的有效分离和分析,为葡萄酒的工艺控制和市场监管提供了快速有效的方法。

毛细管电泳法检测速度快,实验成本低,适用于有机酸的快速分析,但相比于高效液相色谱、气相色谱等检测方法,重现性较差,定量分析结果不够准确。

4.4 离子色谱法

离子色谱法是高效液相色谱的一种,其分离原理是利用不同待测离子对固定相离子交换能力的差别来实现分离。杨春霞等^[21]采用离子色谱法同时测定了葡萄酒中 9 种有机酸含量,并将其作为检测方法应用到赤霞珠葡萄从葡萄汁到原酒的酿造过程中有机酸变化规律及量变幅度的研究中。张斯等^[49]采用离子色谱法对进口葡萄酒中的 9 种有机酸进行了同时测定,分析了葡萄酒地域、年份及主成分对有机酸含量的影响。田鹏等^[50]对啤酒和白葡萄酒中有机酸在阴离子排斥色谱柱上的保留行为进行了系统研究,通确定最佳的色谱条件为盐酸浓度 1.10 mmol/L,流量 0.80 mL/min,四丁基氢氧化铵浓度 5.0 mmol/L,流量 1.10 mL/min,避免了水负峰对有机酸的干扰。杜利君等^[51]率先采用离子色谱-串联质谱检测了葡萄酒中的酒石酸、苹果酸、柠檬酸、丁二酸。Ohira 等^[52]用甲基丙烯酸 N,N-二甲基氨基乙酯修饰的纤维素膜将有机酸从复杂样品电渗析转移到超纯水中,并用离子排斥色谱检测,与仅 0.45 μm 膜过滤样品相比,显著减少了早期杂峰。

离子色谱法重现性好,检测结果准确,可满足食品中有机酸同时检测的要求,而且灵敏度高,是分析葡萄酒中低含量和低相对分子量有机酸的有效方法,但是分析周期较长,不适用快速检测样品。

4.5 生物传感器

生物传感器是由具有化学分子识别功能的生物材料、换能器件及信号放大装置构成的分析工具或系统。其工作

原理是通过生物的分子识别作用, 将传感器中的生物敏感材料和样品中的待测物质特异性结合, 并进行生物化学反应, 产生离子、质子和质量变化等信号, 从而反映出样品中被测物质的量。在苹果酸-乳酸发酵过程中, 随着苹果酸含量降低, 乳酸含量不断升高, 毕春元等^[53]用 SBA-40C 生物传感器快速检测出苹果酸-乳酸发酵的最终产物乳酸, 从而有效进行了苹果酸-乳酸发酵的终点判断, 保证了葡萄酒的生物稳定性。Zeravik 等^[54]利用生物传感器对 31 种葡萄酒样品进行分析, 发现其分析结果与毛细管电泳法有

一定的相关性。

生物传感器虽然不能完全取代标准化方法, 但是选择性高, 抗干扰能力强, 无需将被测物质分离, 检测过程简单快捷, 可将其用于有机酸的快速检测, 也可用于葡萄酒发酵过程中的在线监测。

葡萄酒中有机酸的检测方法研究较多, 且有机酸的检测方法和前处理方法都在不断改良和优化, 有机酸的分析技术已有了很大进展, 不同检测方法的优缺点及适用范围如表 1 所示。

表 1 葡萄酒中有机酸不同检测方法的比较
Table 1 Comparison of different detection methods for organic acids in wine

检测方法	优点	缺点	适用范围
高校液相色谱法	简单快速, 对样品要求不高	低 PH 的洗脱液对色谱柱破坏大	不适合大批量样品的连续检测
气相色谱法	灵敏度高, 对环境破坏小	分子量大的有机酸需衍生化处理, 增加了处理难度和时间	适用于低分子量有机酸的检测
毛细管电泳法	分析速度快, 样品、试剂耗量少, 实验成本低	重现性较差, 定量分析结果不够准确	适用于有机酸的快速分析
离子色谱法	重现性好, 灵敏度高	分析周期长	适用于低含量及低相对分子量的有机酸的检测, 不适合快速检测样品
生物传感器	快速灵敏, 选择性高, 无需将被测物分离	稳定性和重现性较差	适用于快速检测及葡萄酒发酵过程的在线监测

5 结 论

葡萄酒发酵过程中, 有机酸的种类和含量会发生变化, 并形成新的风味物质, 进而影响到葡萄酒的感官品质, 本文对葡萄酒发酵过程中有机酸的变化及检测方法进行了总结, 为葡萄酒的酿造和监管提供理论依据。

随着现代分析仪器的应用和发展, 有机酸的检测方法和前处理方法都在不断改进, 虽然葡萄酒中有机酸的检测方法研究较多, 但仍存在不同检测方法检测结果差异大的问题; 同时目前对葡萄酒中有机酸的研究主要集中在检测方法上, 对有机酸种类跟葡萄品种、产地、树龄之间的关系, 以及有机酸种类跟发酵条件之间的关系仍值得进一步研究; 此外发酵过程中有机酸的代谢对葡萄酒风味的形成与转化有重要作用, 明确有机酸的变化规律以及有机酸对葡萄酒风味的影响机制, 利用有机酸的代谢来提高葡萄酒的感官品质, 也可作为今后的研究方向, 这对发酵过程中有机酸的控制及葡萄酒的监管都有重要意义。

参考文献

[1] Reboredo-Rodríguez P, González-Barreiro C, Rial-Otero R, *et al.* Effects of sugar concentration processes in grapes and wine aging on aroma compounds of sweet wines—A review [J]. *Critic Rev Food Sci Nutr*, 2015, 55(8): 1053.

[2] 刘品何, 刘胜, 秦伟帅, 等. 疏果方式对赤霞珠葡萄酒中挥发性物质的影响[J]. *酿酒科技*, 2014, (10):32-36.
Liu PH, Liu S, Qin WS, *et al.* Effects of different thinning techniques on volatile compounds content in cabernet sauvignon wine [J]. *Liquor-Mak Sci Technol*, 2014, (10): 32-36.

[3] 何攀. 离子色谱同时测定葡萄酒中多种有机酸的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2015.
He P. Study on simultaneous determination of organic acids in wine by ion chromatography [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2015.

[4] Park JM, Shin JA, Lee JH, *et al.* Development of a quantitative method for organic acid in wine and beer using high performance liquid chromatography [J]. *Food Sci Biotechnol*, 2017, 26(2): 349-355.

[5] 高年发, 李小刚. 葡萄及葡萄酒中的有机酸及降酸研究[J]. *中外葡萄与葡萄酒*, 1999, (4): 6.
Gao NF, Li XG. Study on organic acids and deacidification in grape and wine [J]. *Sino-overseas Grapevine Wine*, 1999, (4): 6.

[6] 潘雪燕. 广西山葡萄酒生产过程中有机酸的变化及其控制[D]. 南宁: 广西大学, 2011.
Pan XY. The change and control of organic acid in Guangxi wild grape wine processing [D]. Nanning: Guangxi University, 2011.

[7] 杨颖琼, 张庆田, 刘洪章, 等. 山葡萄酒发酵过程中营养成分变化的研究[J]. *食品工业*, 2016, (12): 167-171.
Yang YQ, Zhang QT, Liu HZ, *et al.* Research on the changes of nutrients in *v. amurensis* wine during fermentation process [J]. *Food Ind*, 2016, (12): 167-171.

[8] 任晓宁. 不同发酵条件对酒球菌柠檬酸代谢产物的影响[D]. 陕西:

- 西北农林科技大学, 2016.
- Ren XN. Effect of different conditions on citrate metabolites by *Oenococcus oeni* in wine [D]. Shanxi: Northwest A & F University, 2016.
- [9] GB 15037-2006 中华人民共和国国家标准 葡萄酒[S].
GB 15037-2006 State Standard of the People's Republic of China-Wines [S].
- [10] 段中岳. 浅析苹果酸-乳酸发酵对葡萄酒品质的影响[J]. 中国科技博览, 2015, (46): 246.
Duan ZY. Effect of malolactic fermentation on wine quality [J]. China Sci Technol Exp, 2015, (46): 246.
- [11] 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.
Yang XY, Yuan CL, Zhang H, *et al.* Effects of ethanol, total acid, pH and drinking temperature on the astringency of dry red wine [J]. Food Sci, 2014, 35(21): 118-123.
- [12] 苏洁, 张军翔. 葡萄酒圆润度研究进展[J]. 食品与机械, 2013, 29(2): 238-241.
Su J, Zhang JX. Progress on research in rounded taste of wine [J]. Food Mach, 2013, 29(2): 238-241.
- [13] 问亚琴, 张艳芳, 潘秋红. 葡萄果实有机酸的研究进展[J]. 海南大学学报(自然科学版), 2009, 27(3): 302-307.
Wen YQ, Zhang YF, Pan QH. Research progress of organic acids in grape fruits [J]. J Hainan Univ (Nat Sci Ed), 2009, 27(3): 302-307.
- [14] Vaughn RH. Bacterial spoilage of wines with special reference to california conditions [J]. Adv Food Res, 1955, 6: 67-108.
- [15] 段云涛. 葡萄和葡萄酒中9种有机酸RP-HPLC检测体系的律立及其相关研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2007.
Duan YT. Determination of 9 organic acids in grape and wine by RP-HPLC and related studies [D]. Beijing: China Agricultural University, 2007.
- [16] Ding MY, Suzuki Y, Koizumi H. Simultaneous determination of organic acids, inorganic anions and cations in beverages by ion chromatography with a mixed-bed stationary phase of anion and cation exchangers [J]. Analyst, 1995, 120(120): 1773-1777.
- [17] 李华. 葡萄酒酿造与质量控制[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1995.
Li H. Wine brewing and quality control [M]. Xi an: Shaanxi People's Publishing House, 1995.
- [18] 陈学诗. 葡萄酒酿造过程中有机酸的变化及反应速率[D]. 大连: 大连工业大学, 2015.
Chen XS. The change of organic acids in the brewing process of wine and the reaction rate [D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2015.
- [19] 彭传涛, 贾春雨, 文彦, 等. 苹果酸-乳酸发酵对干红葡萄酒感官质量的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 14(2): 261-268.
Peng CT, Jia CY, Wen Y, *et al.* Effect of malo-lactic fermentation on sensory quality of wine [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2014, 14(2): 261-268.
- [20] 周艳萍, 赵晓宁, 段金婷, 等. 葡萄酒发酵过程中常见风味物质含量变化的研究[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2016, (3): 26-29.
Jia YP, Zhao CN, Duan JT, *et al.* Changes of the common flavor of grape wine in fermentation process [J]. Sino-Overseas Grapevine Wine, 2016, (3): 26-29.
- [21] 杨春霞, 苟春林, 单巧玲. 葡萄酒酿造过程中有机酸变化规律研究[J]. 中国酿造, 2017, 36(4): 83-86.
Yang CX, Gou CL, Shan QL. Organic acids variation in wine brewing process [J]. China Brew, 2017, 36(4): 83-86.
- [22] 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.
Mo YX, Yin JY, Gu XJ, *et al.* Research status and application prospects of organic acids in wine [J]. Sci Technol Food Ind, 2015, 36(6): 380-384.
- [23] 唐柯, 王蓓, 马玥, 等. 不同酵母与温度发酵的威代尔冰葡萄酒有机酸分析[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(8): 153-158.
Tang K, Wang B, Ma Y, *et al.* Analysis of organic acids in Vidal ice wine fermented with different species of yeast strains at different temperatures [J]. Food Ferment Ind, 2015, 41(8): 153-158.
- [24] 赵鹤然. 葡萄酒酿造过程中的苹果酸和乳酸的变化[D]. 大连: 大连工业大学, 2016.
Zhao HR. The changes of malic acid and lactic acid in wine brewing process [D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2016.
- [25] 张焯, 孙玉梅, 俞志敏, 等. 糖分对葡萄酒发酵的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(4): 280-285.
Zhang Y, Sun YM, Yu ZM, *et al.* Effects of sugar on wine fermentation [J]. Food Ferment Ind, 2017, 43(4): 280-285.
- [26] Kontkanen D, Inglis DL, Pickering GJ, *et al.* Effect of yeast inoculation rate, acclimatization, and nutrient addition on icewine fermentation [J]. Am J Enol Viticult, 2004, 55(4): 363-370.
- [27] Pigeau GM, Bozza E, Kaiser K, *et al.* Concentration effect of riesling icewine juice on yeast performance and wine acidity [J]. J Appl Microbiol, 2007, 103(5): 1691-1698.
- [28] 裴广仁, 李记明, 于英, 等. 冰葡萄酒中高含量挥发酸的影响因素分析[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(3): 58-62.
Pei GR, Li JM, Yu Y, *et al.* Analysis of influencing factors on high volatile acid content in ice grape wine [J]. Food Ferment Ind, 2014, 40(3): 58-62.
- [29] 王凤梅, 马利兵. 非酿酒酵母在发酵过程中的代谢产物对葡萄酒质量的影响[J]. 中国酿造, 2016, 35(12): 12-17.
Wang FM, Ma LB. Effect of metabolites produced by non-Scacharomyces during fermentation on the quality of wine [J]. China Brew, 2016, 35(12): 12-17.
- [30] Ruiz P, Izquierdo P, Sesena S, *et al.* Malolactic fermentation and secondary metabolite production by *Oenococcus oeni* strains in low pH wine [J]. J Food Sci, 2012, 77(10): 579-585.
- [31] 丁玉萍, 高鹏飞, 陈琦, 等. 山葡萄酒主发酵降酸工艺筛选及优化[J]. 食品与发酵工业, 2018, (5): 125-129.
Ding YP, Gao PF, Chen Q, *et al.* Screening and optimization of main fermentation and deacidification process for mountain wine [J]. Food Ferment Ind, 2018, (5): 125-129.
- [32] 彭欣莉, 刘晓秋. 离子交换树脂脱酸对葡萄酒香气影响研究[J]. 食品工业, 2017, (8): 110-113.
Peng XL, Liu XQ. Study on the effect on the aroma of wine by deacidification of ion exchange [J]. Food Ind, 2017, (8): 110-113.
- [33] 管敬喜, 谢太理, 杨莹, 等. NW196毛葡萄干酒降酸工艺的研究[J]. 酿酒科技, 2014, (3): 41-43.
Guan JX, Xie TL, Yang Y, *et al.* Study on the deacidification of vitis quinquangularis NW196 dry wine [J]. Liquor-Mak Sci Technol, 2014, (3): 41-43.
- [34] 于静, 孙娅娜, 孙翔宇, 等. 基于有机酸高效液相色谱的葡萄酒品质分析[J]. 农业机械学报, 2017, (11): 354-362.

- Yu J, Sun YN, Sun XY, *et al.* Wine quality analysis based on organic acids detected by HPLC [J]. *J Agric Mach*, 2017, (11): 354–362.
- [35] 马丽艳, 李丽, 孙爱东, 等. 高效液相色谱法同时测定葡萄酒中八种有机酸的研究[J]. *酿酒*, 2010, 37(4): 68–71.
- Ma YL, Li L, Sun AD, *et al.* Determination of eight organic acids in wine by high performance liquid chromatography [J]. *Liquor Mak*, 2010, 37(4): 68–71.
- [36] 杨东伟, 李晓静. 高效液相色谱法测定葡萄酒中 11 种有机酸含量[J]. *安徽农业科学*, 2013, 41(3): 1286–1287, 1290.
- Yang DW, Li XJ. Simultaneous determination of eleven organic acids in grape wine by SPE-HPLC-PAD [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2013, 41(3): 1286–1287, 1290.
- [37] 吕旭聪, 黄志清, 黄若兰, 等. 反相高效液相色谱法同时快速测定黄酒和葡萄酒中有机酸的含量[J]. *食品与发酵工业*, 2010, (6): 132–136.
- Lv XC, Huang ZQ, Huang RL, *et al.* Simultaneous determination of organic acids in yellow rice wine and wine by reversed-phase high performance liquid chromatography [J]. *Food Ferment Ind*, 2010, (6): 132–136.
- [38] 丁青芝, 谷耀光, 周艺诗, 等. 蜂胶葡萄酒中 8 种有机酸 RP-HPLC 分析方法的建立[J]. *食品工业*, 2014, (12): 279–283.
- Ding QZ, Gu YG, Zhou YS, *et al.* Determination of aliphatic organic acids in propolis wine by RP-HPLC [J]. *Food Ferment Ind*, 2014, (12): 279–283.
- [39] 张会宁, 苑伟, 郑永菊, 等. 双柱高效液相色谱检测葡萄及葡萄酒中的有机酸[J]. *酿酒科技*, 2013, (11): 101–103.
- Zhang HN, Yuan W, Zheng YJ, *et al.* Detection of organic acids in grape and in grape wine by HPLC with double columns [J]. *Liquor-Mak Sci Technol*, 2013, (11): 101–103.
- [40] 辛若竹, 丁梅, 卜丽伟. 有机酸指纹图谱快速鉴定山葡萄酒及葡萄露酒原汁含量的方法研究[J]. *酿酒科技*, 2013, (9): 102–106.
- Xing RZ, Ding M, Bu LW. Research on rapid identification of original juice content in mountain grape wine and its blending wine by organic acid fingerprints [J]. *Liquor-Mak Sci Technol*, 2013, (9): 102–106.
- [41] Krste T, Marina S, Violeta IP. HPLC method validation and application for organic acid analysis in wine after solid-phase extraction [J]. *Macedon J Chem Eng*, 2016, 35(2): 225.
- [42] 张延超, 刘帅, 王春天. 高效液相色谱法测定葡萄酒中的柠檬酸[J]. *农业科技与信息*, 2017, (16): 31–33.
- Zhang YC, Liu S, Wang CT. Determination of citric acid in wine by HPLC [J]. *Agric Sci Inf*, 2017, (16): 31–33.
- [43] 张峻松, 杨公明. 毛细管气相色谱法分析葡萄酒中有机酸的研究[C]. 第六届国际葡萄与葡萄酒学术研讨会, 2013.
- Zhang JS, Yang GM. Analysis of organic acids in grape wine by capillary gas chromatography [C]. *The Sixth International Symposium on Grape and Wine*, 2013.
- [44] 杜曦, 周锡兰, 余录, 等. 葡萄及葡萄酒中有机酸测定的衍生化气相色谱法[J]. *酿酒*, 2008, 35(3): 82–84.
- Du X, Zhou XL, Yu L, *et al.* Determination of organic acids in grape and wine by derivatization gas chromatography [J]. *Liquor Mak*, 2008, 35(3): 82–84.
- [45] 陶永胜, 王华. LE-GC-MS 分析三种单品种干红葡萄酒香气成分[C]. 第六届国际葡萄与葡萄酒学术研讨会, 2013.
- Tao YS, Wang H. Analysis of aroma compounds of three mono-variety dry red wines with LE-GC-MS [J]. *The Sixth International Symposium on Grape and Wine*, 2013.
- [46] 李永库, 刘衣南, 吕琳琳, 等. 毛细管电泳-质谱联用法测定葡萄酒中 8 种有机酸含量[J]. *质谱学报*, 2013, 34(5): 288–293.
- Li YK, Liu YN, Lv LL, *et al.* Simultaneous determination of eight organic acids in grape wines by capillary electrophoresis-electrospray ionization mass spectrometry [J]. *J Chin Mass Spectrom Soc*, 2013, 34(5): 288–293.
- [47] Marián M, Katarína P, Mariana D, *et al.* Determination of organic acids in wine by zone electrophoresis on a chip with conductivity detection [J]. *J Separat Sci*, 2005, 28(9–10): 905–914.
- [48] 唐美华, 屠春燕, 薛亚芳, 等. 毛细管电泳法测定葡萄酒中的有机酸含量[J]. *食品科学*, 2009, 30(8): 209–211.
- Tang MH, Tu CY, Xue YF, *et al.* Determination of organic acids in grape wine using capillary zone electrophoresis [J]. *Food Sci*, 2009, 30(8): 209–211.
- [49] 张斯, 潘丙珍, 庞世琦, 等. 进口葡萄酒中有机酸含量的研究[J]. *酿酒科技*, 2013, (6): 26–30.
- Zhang S, Pan BZ, Pang SQ, *et al.* Study on the content of organic acids in imported red wines [J]. *Liquor-Mak Sci Technol*, 2013, (6): 26–30.
- [50] 田鹏, 徐焯, 邓桂春, 等. 测定啤酒和白葡萄酒中有机酸的离子排斥色谱法[J]. *分析测试学报*, 2002, 21(4): 68–70.
- Tian P, Xu Y, Deng GC, *et al.* Determination of organic acids in beer and white wine by ion exclusion chromatography [J]. *J Instrum Anal*, 2002, 21(4): 68–70.
- [51] 杜利君, 郭小喜, 刘红艳. 采用离子色谱-质谱联用仪分析食品中的有机酸含量[J]. *酿酒科技*, 2017(9): 107–111.
- Du LJ, Gu XX, Liu HY. Analysis of organic acids content in food by Ion chromatography-electrospray tandem mass spectrometry [J]. *Liquor-Mak Sci Technol*, 2017, (9): 107–111.
- [52] Ohira SI, Kuhara K, Shigetomi A, *et al.* On-line electrodiolytic matrix isolation for chromatographic determination of organic acids in wine [J]. *J Chromatogr A*, 2014, (1372): 18–24.
- [53] 毕春元, 于清琴, 李保国, 等. 生物传感器测定宝石-卡本内特干红葡萄酒苹果酸-乳酸发酵过程中 L-乳酸含量[J]. *中外葡萄与葡萄酒*, 2009, (7): 52–53.
- Bi CY, Yu QQ, Li BG, *et al.* Biosensor for determination of L-lactic acid content in malolactic fermentation of gems and cabernet dry red wine [J]. *Sino-Overseas Grapevine Wine*, 2009, (7): 52–53.
- [54] Zeravik J, Fohlerova Z, Milovanovic M, *et al.* Various instrumental approaches for determination of organic acids in wines [J]. *Food Chem*, 2016, (194): 432–440.

(责任编辑: 武英华)

作者简介



庞敏, 硕士, 主要研究方向为食品质量与安全。
E-mail: pangmin2007@126.com