

酚酸及有机酸辅色对山楂酒贮藏期品质的影响

蒋文鸿, 张 纯, 刘素稳, 常学东

Effect of Phenolic Acid and Organic Acid Co-color on the Quality of Hawthorn Wine during Storage

JIANG Wenhong, ZHANG Chun, LIU Suwen, and CHANG Xuedong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023030159>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

山葡萄酒发酵过程中活性物质、抗氧化能力及有机酸的变化

Changes of Active Substances, Antioxidant Capacity and Organic Acids during the Fermentation of *Vitis amurensis* Wine

食品工业科技. 2021, 42(6): 9-14 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020050307>

有机酸处理对肉类品质影响的研究进展

Research Progress on the Effect of Organic Acid Treatment on Meat Quality

食品工业科技. 2021, 42(14): 387-393 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020070226>

红枣白兰地发酵过程中酒醅氨基酸和有机酸的变化分析

Variation of amino acids and organic acids in fermented grains during fermentation of jujube brandy

食品工业科技. 2017(14): 121-125 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.14.024>

黄酒生产过程中浸米浆水有机酸含量变化研究

Research on the Change of Organic Acids Content in Rice Milk during the Process of Chinese Rice Wine Production

食品工业科技. 2018, 39(15): 26-30 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.15.006>

发酵时间对俄式面包面团有机酸形成及其酸感的影响

Effect of Fermentation Time on the Formation of Organic Acid and Its Acidity in Russian Bread Dough

食品工业科技. 2019, 40(22): 82-86, 92 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.22.015>

不同有机酸协同超高压处理对黄酒中醇水缔合影响的研究

Study on the Association of Ethanol-water System in Chinese Rice Wine by Different Organic Acids and Ultrahigh Pressure Processing

食品工业科技. 2018, 39(15): 83-89, 95 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.15.016>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

蒋文鸿, 张纯, 刘素稳, 等. 酚酸及有机酸辅色对山楂酒贮藏期品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(5): 292–300. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023030159

JIANG Wenhong, ZHANG Chun, LIU Suwen, et al. Effect of Phenolic Acid and Organic Acid Co-color on the Quality of Hawthorn Wine during Storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(5): 292–300. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023030159

· 贮运保鲜 ·

酚酸及有机酸辅色对山楂酒贮藏期品质的影响

蒋文鸿^{1,2}, 张 纯³, 刘素稳^{2,3,*}, 常学东^{2,3}

(1. 中粮长城葡萄酒(蓬莱)有限公司, 山东烟台 265608;
2. 河北省燕山特色农业产业技术研究院, 河北秦皇岛 066004;
3. 河北科技师范学院食品科技学院, 河北秦皇岛 066604)

摘要: 为了解决山楂酒在贮藏期色泽丢失品质下降的问题, 本实验通过构建模拟体系, 从 8 种酚酸及有机酸中选出辅色能力较强的 3 种酸, 通过 CIELab 颜色系统以及对色度色调、多酚、花色苷及黄酮的测定, 综合评价了三种酚酸及有机酸对模拟体系 (0~30 d) 和发酵山楂酒 (贮藏时间 0~120 d) 的影响。结果表明: 不同酚酸及有机酸的处理辅色效果不同, 模拟体系中不同酚酸及有机酸处理在 CIELab 颜色系统对酒体的 L^* 、 a^* 、 b^* 、 C^*_{ab} 和 h_{ab} 以及色度色调均有较好的作用, 阿魏酸和香草酸处理的酒体总酚含量较对照组分别提高了 18.00% 和 20.88%, 经对羟基苯甲酸和香草酸处理的模拟体系中花色苷的含量, 较对照组分别提高了 17.27% 和 15.74%。在发酵山楂酒贮藏期间, 对羟基苯甲酸能显著提高色度 ($P<0.05$), 经阿魏酸和香草酸处理的发酵酒总酚含量较对照组分别提高了 37.42% 和 34.44%, 经香草酸和对羟基苯甲酸处理的发酵酒花色苷含量较对照组提高了 22.93% 和 6.92%。表明酚酸及有机酸辅色处理能减少色泽和酚类物质的损失, 提高山楂酒的品质, 对山楂酒具有一定的辅色作用。

关键词: 山楂酒, 贮藏品质, 酚酸及有机酸, 模拟体系, 色泽, 花色苷

中图分类号: TS262.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)05-0292-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023030159



本文网刊:

Effect of Phenolic Acid and Organic Acid Co-color on the Quality of Hawthorn Wine during Storage

JIANG Wenhong^{1,2}, ZHANG Chun³, LIU Suwen^{2,3,*}, CHANG Xuedong^{2,3}

(1. COFCO Greatwall Wine (Penglai) Co., Ltd., Yantai 265608, China;
2. Hebei Yanshan Characteristic Agricultural Technology Research Institute, Qinhuangdao 066004, China;
3. College of Food Science and Technology, Hebei Normal University of Science and Technology, Qinhuangdao 066604, China)

Abstract: To solve the problem that hawthorn wine tends to lose its color and quality during storage, this experiment established the simulation system, and three acids with strong co-color ability were selected from eight phenolic and organic acids. The effects of the three phenolic and organic acids on the simulated system (0~30 d) and fermented hawthorn wine (storage time 0~120 d) were evaluated comprehensively by using the CIELab color system, and determining the chromatic colors, polyphenols, anthocyanins, and flavonoids. The results showed that different phenolic acids and organic acids had different cochromatic effects. Different phenolic and organic acid treatments in the CIELab color system in the simulated system showed good effects on the L^* , a^* , b^* , C^*_{ab} and h_{ab} as well as on the chromatic hue of the wine. The total phenolic

收稿日期: 2023-03-15

基金项目: 河北省产业创新创业团队 (215A7103D); 河北省农业科技园区 (基地) 建设专项 (20537101D)。

作者简介: 蒋文鸿 (1980-), 男, 硕士, 工程师, 研究方向: 果酒酿造, E-mail: jwhkc@163.com。

* 通信作者: 刘素稳 (1981-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 功能食品与果蔬加工利用, E-mail: liusuwenyy@163.com。

content of the wine was increased by 18.00% and 20.88% for ferulic acid and vanillic acid treatment, respectively, compared to the control group. The content of anthocyanin in the simulated system treated with p-hydroxybenzoic acid and vanillic acid increased by 17.27% and 15.74%, respectively, compared with the control group. During storage of fermented hawthorn wine, para-hydroxybenzoic acid could significantly improve the chromaticity ($P<0.05$). The total phenolic content of the fermented wine with ferulic acid and vanillic acid treatment increased by 37.42% and 34.44% compared to the control group. Vanillic acid and p-hydroxybenzoic acid treatment increased the anthocyanin content of fermented wine by 22.93% and 6.92% compared to the control group. In conclusion, phenolic acid and organic acid auxiliary color treatment can reduce the loss of color and phenolic substances and improve the quality of hawthorn wine. It has some complementary color effect on hawthorn wine.

Key words: hawthorn wine; storage quality; phenolic acid and organic acids; simulation models; color; anthocyanins

山楂(*Crataegus* L.), 蔷薇科(Rosaceae), 在我国主要分布于山东、山西、京津冀、辽宁、河南等地^[1], 具有降血脂、抗心律不齐、强心、调节胃肠道、降糖、抗菌抗炎、免疫调节、抗氧化等广泛的药理作用^[2]。山楂味道偏酸, 直接食用较少, 常被用来加工。传统山楂制品包括冰糖葫芦、山楂糕、山楂罐头、山楂果酱等产品, 含糖高, 附加值低。随着时代发展, 开发高附加值和低糖的健康产品已成为迫切需求。

山楂发酵酒作为新兴的、具有保健功效的酒精饮料受到消费者欢迎。山楂酒的色泽主要是由花色苷呈现, 但在生产过程中山楂酒花色苷易分解, 发生褐变, 影响山楂酒的品质。添加辅色素使其与花色苷发生增色效应和红移现象是提高果酒中花色苷稳定性的有效方法^[3]。因酚酸具有较强的生物活性, 能改善并稳定含花色苷食品的颜色^[4], 从而成为改善果酒褐变的有效措施^[5]。研究表明, 有机酸作为葡萄酒的重要风味构成物质, 其种类和浓度对葡萄酒的感官质量、理化特性和颜色稳定性有重要影响^[5]。有机酸对野生櫻桃李花色苷具有辅色作用, 能提高花色苷的热稳定性^[6], 在黑米花色苷中也有辅色效应并能提高其稳定性^[7], 在桑椹花色苷溶液中添加适量有机酸能够有效缓解花色苷降解, 效果最佳的为苹果酸^[8]。然而, 不同种类酚酸及有机酸对花色苷的辅色作用及其热稳定性的影响不同^[8], 对不同结构的花色苷辅色效果也不同。因此, 有必要考察不同类型酚酸及有机酸对山楂酒的辅色效果。研究发现阿魏酸^[4]、香草酸^[4]、对羟基苯甲酸^[9]、丙二酸^[6]、琥珀酸^[3]、对香豆酸^[9]、苹果酸^[8]、咖啡酸^[4]在酚酸及有机酸中有较好的辅色效果。

山楂酒颜色劣变是一个常见的问题, 目前关于果酒的辅色作用有很多报道, 但对于山楂酒的辅色研究相对较少, 所以构建酒模拟体系, 筛选出合适的酚酸及有机酸, 对了解发酵酒陈酿过程中不同酚酸及有机酸的辅色效果和对活性物质的影响有重要作用^[5], 能够为改善山楂酒颜色劣变提供参考。本实验通过构建模拟体系, 筛选辅色效果较好的酚酸及有机酸, 利用 CIELab 参数法研究模拟体系中不同酚酸及有机酸处理山楂酒的颜色变化情况, 并对模拟体系及陈酿期间的山楂酒进行色度色调、总酚、花色苷等酚类活性物质的测定, 验证辅色效果, 以期发酵山楂酒

的辅色技术提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

兴隆紫肉山楂 产地为河北兴隆地区, 采收期在 10 月; 无水乙醇、冰醋酸 天津市凯通化学试剂有限公司; 盐酸 永飞化学试剂有限公司; 碳酸钠、氯化钾、亚硝酸钠、硝酸铝 天津市风船化学试剂科技有限公司; 没食子酸 天津市科密欧化学试剂开发中心; 福林酚、香草酸、果胶酶(酶活力 ≥ 1000 U/mg)、矢车菊素-3-葡萄糖苷 上海源叶生物科技有限公司; 对羟基苯甲酸、琥珀酸、对香豆酸、丙二酸、苹果酸、阿魏酸、咖啡酸 国药集团化学试剂有限公司; 果酒酵母 法国 LAFFORT; 其余常用试剂均为分析纯。

JYL-C012 型打浆机 九阳股份有限公司; FE20 型实验室 pH 计 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; DHL-A 电脑恒流泵、723 型可见分光光度计 上海光谱仪器有限公司; LGJ-15D 型冷冻干燥机 北京四环科学仪器厂有限公司; N-1100 型旋转蒸发仪

东京理化器械株式会社埃朗科技国际贸易有限公司; SN-MS-H2800 磁力搅拌器 上海尚善仪器设备有限公司; SMY-2000 系列测色色差计 北京盛名扬科技开发有限责任公司; TDZ5-WS 台式低速离心机 长沙湘仪离心机仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 山楂花色苷制备 取山楂果皮 200 g, 用打浆机打碎备用。以 1:6(m/v)的比例加入 80% 酸化乙醇(0.1% 盐酸), 40 °C 恒温浸提, 500 r/min 搅拌 1 h。抽滤, 进行二次浸提, 料液比为 1:5(m/v), 条件同一次浸提(浸提及抽滤过程避光), 合并滤液。滤液用 AB-8 大孔树脂纯化、45 °C 真空旋转浓缩, -18 °C 冰箱冷冻 12 h 后, -40 °C 冷冻干燥, 山楂花色苷粉末用棕色离心管-18 °C 避光保藏^[10]。

1.2.2 山楂酒制备 将新鲜成熟无腐烂的山楂洗净去核打浆, 山楂:水质量比为 1:2 进行料液添加, 加入 75 mg/L 的二氧化硫并在 25 °C 保持 24 h, 加入 110 mg/L 的果胶酶, pH2.5, 37 °C 酶解 6 h, 在果胶酶处理结束后, 及时加入 50% 白砂糖以补充糖分, 随后加入 60 ml/L 活化酵母, 二次加剩余 50% 糖, 按照

17 g/L 产生 1% v/v 酒精添加,将调好的山楂汁在 25 ℃ 的培养箱中放置发酵。每天搅拌一次,测酒精度,第 12 d 发酵结束,最终生成 8% v/v 酒^[11]。山楂酒发酵结束后,过滤得到上清液,分别添加对羟基苯甲酸、阿魏酸和香草酸,添加浓度为 0.1 mol/L,对照组不作任何添加。

1.2.3 花色苷辅色模拟体系的建立 配制 0.002 mol/L (以矢车菊素-3-葡萄糖苷计)的山楂花色苷溶液,0.1 mol/L 的酚酸及有机酸溶液(阿魏酸、香草酸、对羟基苯甲酸、丙二酸、琥珀酸、对香豆酸、苹果酸、咖啡酸),取 5 mL 花色苷溶液,加入 5 mL 酚酸及有机酸溶液,再加入 3 mL 无水乙醇,用蒸馏水定容至 50 mL,对照组不加酚酸及有机酸,用盐酸调相同 pH 为 2.5^[12]。模拟体系的酒精度达到 8% v/v, pH 为 3.6。避光于室温下贮藏,定期测量模拟体系的 L^* 、 a^* 、 b^* 、 C_{ab}^* 、 h_{ab} 值,色度色调,总酚和花色苷含量的变化。

1.2.4 颜色偏差测定 取模拟体系酒液,用色差计测量其颜色偏差,记录 L^* 、 a^* 、 b^* 、 C_{ab}^* 、 h_{ab} 的值。 L^* 表示色泽的明度, $L^*=0$ 为黑色, $L^*=100$ 为白色; a^* 值表示红色($+a^*$)和绿色($-a^*$); b^* 值表示黄色($+b^*$)和蓝色($-b^*$); C_{ab}^* 表示彩度; h_{ab} 表示色调角。其中 C_{ab}^* 、 h_{ab} 的计算公式为^[13]:

$$C_{ab}^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

$$h_{ab} = \arctan \frac{b^*}{a^*}$$

1.2.5 色度色调测定 用分光光度计在 420、520、620 nm 分别测得其吸光度值,用蒸馏水做空白。

$$\text{色度} = A_{420} + A_{520} + A_{620}$$

$$\text{色调} = \frac{A_{420}}{A_{520}}$$

1.2.6 总酚含量测定(福林-肖卡法) 量取不同体积的没食子酸标准液(1 mg/mL)于 50 mL 的容量瓶中定容,取 1 mL 上述标准液,加入 5 mL 经稀释十倍的福林酚试剂,摇匀。1 min 后加入 7.5% 碳酸钠溶液 4 mL,摇匀,加蒸馏水到 10 mL。在 75 ℃ 下反应 10 min,在 765 nm 波长下测吸光度值。标准曲线回归方程为: $y=8.5488x+0.0173$, $R^2=0.9991$,吸取样液 1 mL 同标准曲线方法,测吸光度值。根据标准曲线计算总酚含量。

1.2.7 花色苷含量的测定(pH 示差法) 取山楂酒 1 mL,分别用 pH1.0 和 pH4.5 的缓冲溶液定容到 5 mL,分别在 700、520 nm 处测其吸光度值。

$$\text{花色苷含量(mg/L)} = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{B \times L}$$

式中: $A=\Delta\text{pH}1.0-\Delta\text{pH}4.5$, $MW=449.2$ g/mol (矢车菊素-3-葡萄糖苷的分子质量), $B=26900$ L·cm⁻¹·mol⁻¹ (矢车菊素-3-葡萄糖苷消光系数), $DF=5$ (稀释倍数), $L=1$ cm (比色皿光径长度)。

1.2.8 山楂酒中黄酮的测定 吸取样液 0.5 mL 于棕色具塞试管中,加入 5% 亚硝酸钠溶液 0.12 mL,放置 6 min,后加入 10% 硝酸铝溶液 0.12 mL,放置 6 min,再加入 1 mol/L 氢氧化钠溶液 1.6 mL,然后用 50% 乙醇定容,摇匀放置 15 min,然后于 4000 r/min 离心机离心 10 min,取上清液于 510 nm 处测吸光度值,根据标准曲线计算黄酮的含量。

芦丁标准曲线回归方程为 $y=10.263x-0.0035$, $R^2=0.9993$ 。

1.3 数据处理

本文所用数据平行及重复次数均大于 3,结果以平均值±标准差(SD)表示;使用 Excel 进行数据处理,SPSS 27.0 进行统计学分析,采用 GLM 单变量分析,使用 Waller-Duncan 检验, $P<0.05$ 表示有显著差异, $P<0.01$ 表示有极显著差异;采用 Origin Pro 2021 软件绘制图形。

2 结果与分析

2.1 模拟体系中不同酚酸及有机酸种类对花色苷辅色效果的影响

花色苷在 520 nm 处有最大吸收峰,常用来判断浓度大小^[14],也可以判断有机酸对花色苷的辅色效果^[15]。加入有机酸能够降低溶液的 pH,在低 pH 的条件下花色苷的红色增强,能提高花色苷的稳定性^[16]。如图 1 所示,与对照组相比,八种酚酸及有机酸均能显著增加山楂酒花色苷在 520 nm 的吸光度($P<0.05$)。其中,对羟基苯甲酸的吸光度值最高,即辅色程度最强,其次是香草酸和阿魏酸。与对照组相比,对羟基苯甲酸、香草酸、阿魏酸的吸光度值分别增加了 42.82%、36.70%、31.38%,辅色效果优于其他组。有研究表明,在 520 nm 条件下加入有机酸能使黑果枸杞花色苷产生红移现象,溶液吸光度值显著增加,含量增多^[17]。因此本实验选择对羟基苯甲酸、香草酸和阿魏酸作为辅色酚酸及有机酸进行后续分析。

山楂酒花色苷在 520 nm 的吸光度值随着时间

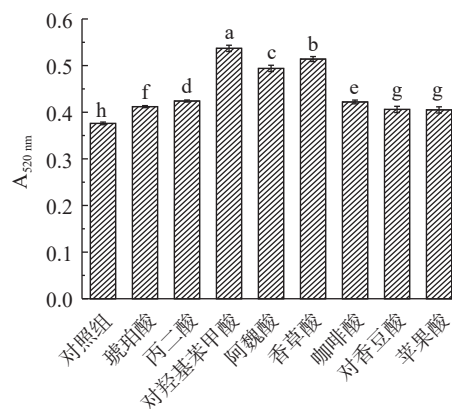


图 1 酚酸及有机酸对山楂花色苷在 520 nm 吸光度的影响

Fig.1 Effect of phenolic acid and organic acid on the absorbance of hawthorn anthocyanin at 520 nm

注:不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

的增长呈下降趋势(图 2)。在 0 d 至 30 d 的处理期间,对羟基苯甲酸处理的山楂酒模拟体系花色苷吸光度降低了 12.66%,香草酸和阿魏酸处理后吸光度分别降低 15.32% 和 20.45%,对照组花色苷吸光度降低了 27.13%。酚酸及有机酸处理对减弱模拟体系中花色苷吸光度的下降具有极显著作用($P<0.01$),30 d 时,对羟基苯甲酸的吸光度较对照组高出 42.82%。表明对羟基苯甲酸可能对山楂酒吸光度保持作用效果最佳。

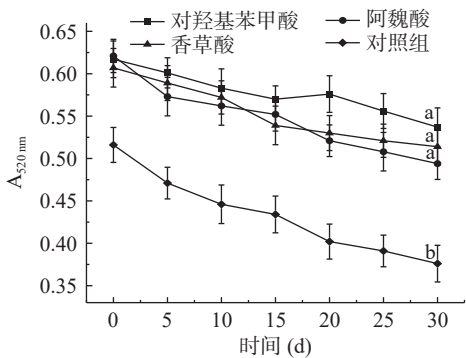


图 2 模拟体系中山楂花色苷贮藏期间吸光度的变化
Fig.2 Changes in absorbance of hawthorn anthocyanin during storage in the simulated system
注: 不同字母表示差异极显著($P<0.01$)。

2.2 模拟体系中不同酚酸及有机酸处理对酒体颜色偏差的影响

L^* 表示模拟体系酒的明度,由表 1 可知,0~30 d 时间内四个组的 L^* 值变化较大且整体呈上升趋势,且体系颜色越来越亮。明度与色素的含量变化趋势

相反,明度越低,色素含量越高^[18-19]。30 d 时,经酚酸及有机酸处理的模拟体系山楂酒的 L^* 高于对照组,且颜色也比对照组酒液颜色亮,这与添加橡木片改善西拉葡萄酒的颜色和贮藏能力^[20]中的研究发现一致,说明这三种酸对山楂酒均具有一定的辅色作用。

a^* 值和 b^* 值表示色调,色度 a^* 值表示红色色调,色度 b^* 值表示黄色色调,饱和度 C^*_{ab} 值是 a^* 值和 b^* 值的综合指标,表示酒颜色的色彩饱和程度^[21]。在整个模拟体系中,经阿魏酸和香草酸处理的 a^* 值整体呈下降趋势,三组的 b^* 值整体呈下降的趋势,经酚酸及有机酸处理过的模拟体系酒 a^* 值均大于 0,且显著高于对照组($P<0.05$),说明酚酸及有机酸处理的模拟体系较对照组的酒液颜色呈现更多的红色,辅色作用显著。对照组的 a^* 值逐渐低于酚酸及有机酸辅色组,这与酚酸对三华李青汁的贮藏稳定性结果一致^[4],说明加入酚酸及有机酸可以使酒中红度稳定。不同酚酸及有机酸处理对山楂酒的 b^* 值有一定的影响。阿魏酸和香草酸处理的山楂酒相较于对照组显著降低($P<0.05$),表示在模拟体系中阿魏酸和香草酸延缓了山楂酒黄色色调升高的速度,而对羟基苯甲酸处理的山楂酒相较于对照组差异不显著($P>0.05$),说明对羟基苯甲酸处理的山楂酒 b^* 值有较小的变化,而适当的 b^* 值可以使酒体颜色更加鲜艳^[22]。

C^*_{ab} 是由色度决定体现颜色鲜艳程度的值,数值越大说明物体颜色越鲜艳即饱和度越高,反之则越暗^[23]。经对羟基苯甲酸和香草酸处理的模拟体系酒在 10~30 d 期间 C^*_{ab} 值高于对照组,这表明经酚酸及有机酸处理后颜色较对照组更加鲜艳,色彩饱和度

表 1 模拟体系酒体的 CIELab 参数
Table 1 CIELab parameters for simulated system wines

指标	酚酸及有机酸种类	0 d	5 d	10 d	15 d	20 d	25 d	30 d
L^*	对羟基苯甲酸	31.58±1.28 ^a	44.89±1.37 ^b	31.56±1.89 ^a	44.86±1.04 ^a	39.88±1.21 ^b	50.58±1.23 ^a	49.92±1.13 ^a
	阿魏酸	27.98±1.21 ^b	44.87±1.06 ^b	32.01±0.97 ^a	43.57±0.78 ^a	40.72±1.55 ^b	51.37±1.90 ^a	51.78±1.07 ^a
	香草酸	26.62±0.71 ^b	44.93±1.14 ^b	31.39±1.23 ^a	43.42±0.43 ^a	40.61±1.82 ^b	42.22±1.13 ^b	50.13±1.00 ^a
	对照组	32.57±1.06 ^a	48.27±1.06 ^a	32.63±0.72 ^a	45.19±1.09 ^a	45.72±0.85 ^a	51.14±1.44 ^a	49.40±1.52 ^a
a^*	对羟基苯甲酸	-2.03±0.28 ^b	39.80±1.92 ^b	9.85±0.25 ^b	18.80±1.92 ^a	29.13±0.57 ^a	11.89±2.05 ^a	17.53±1.40 ^a
	阿魏酸	23.72±0.83 ^a	48.46±1.30 ^a	11.35±1.43 ^b	17.76±1.86 ^a	25.41±1.37 ^b	8.29±1.07 ^b	12.18±0.91 ^b
	香草酸	23.52±1.67 ^a	47.49±1.77 ^a	13.46±1.44 ^a	20.02±0.83 ^a	28.52±1.39 ^a	14.91±2.07 ^a	17.32±1.95 ^a
	对照组	-4.39±0.93 ^c	42.04±1.00 ^b	6.99±1.07 ^c	14.55±1.15 ^b	-8.52±1.11 ^c	5.04±0.20 ^b	-16.61±1.23 ^c
b^*	对羟基苯甲酸	82.03±1.69 ^a	0.93±0.03 ^b	1.06±0.11 ^a	3.71±0.50 ^a	5.05±0.32 ^a	3.97±0.34 ^b	4.97±0.34 ^a
	阿魏酸	75.83±0.86 ^b	0.20±0.03 ^c	-1.95±0.05 ^d	3.21±0.35 ^b	3.69±0.49 ^b	3.72±0.51 ^b	1.87±0.12 ^c
	香草酸	73.48±2.47 ^b	1.05±0.26 ^b	-0.96±0.12 ^c	4.15±0.19 ^a	4.17±0.19 ^b	5.51±0.36 ^a	3.42±0.30 ^b
	对照组	83.74±2.69 ^a	1.67±0.24 ^a	0.42±0.06 ^b	4.24±0.18 ^a	5.85±0.62 ^a	5.28±0.34 ^a	5.27±0.93 ^a
C^*_{ab}	对羟基苯甲酸	82.06±0.33 ^d	39.81±0.58 ^c	9.91±0.52 ^c	19.16±0.33 ^b	29.57±0.42 ^a	12.53±0.41 ^b	18.22±0.55 ^a
	阿魏酸	79.45±0.45 ^b	48.46±0.41 ^a	11.52±0.41 ^b	18.05±0.39 ^c	25.67±0.48 ^b	9.09±0.63 ^c	12.32±0.48 ^b
	香草酸	77.16±0.74 ^c	47.50±0.57 ^a	13.49±0.45 ^a	20.44±0.54 ^a	28.83±0.46 ^a	15.90±0.51 ^a	17.66±0.40 ^a
	对照组	83.85±0.62 ^a	42.08±0.58 ^b	7.00±0.22 ^d	15.15±0.25 ^d	10.34±0.38 ^c	7.30±0.29 ^d	17.43±0.33 ^a
h_{ab}	对羟基苯甲酸	-88.58±0.21 ^c	1.34±0.08 ^b	6.14±0.07 ^a	11.16±0.09 ^c	9.84±0.07 ^a	18.46±0.07 ^d	15.83±0.07 ^a
	阿魏酸	72.63±0.07 ^a	0.24±0.07 ^c	-9.75±0.07 ^d	10.25±0.08 ^d	8.26±0.1 ^b	24.17±0.1 ^b	8.73±0.07 ^c
	香草酸	72.25±0.09 ^a	1.27±0.09 ^b	-4.08±0.07 ^c	11.71±0.07 ^b	8.32±0.07 ^b	20.28±0.08 ^c	11.17±0.07 ^b
	对照组	-87.00±0.73 ^b	2.27±0.08 ^a	3.44±0.07 ^b	16.25±0.07 ^a	-34.47±0.55 ^c	46.33±0.07 ^a	-17.60±0.74 ^d

注: 小写字母表示相同时间、不同处理模拟体系酒样CIELab参数差异显著($P<0.05$)。

更稳定,这与酚酸对三华李青汁的贮藏稳定性结果一致^[4]。酚酸及有机酸处理能够降低山楂酒颜色的损失,具有一定的辅色作用。

色相 h_{ab} (即色调角)是指能够比较确切地表示某种颜色色调的名称,色相在 0~360 之间以逆时针方向偏转,0(± 360)为红色,60(-300)为黄色,120(-240)为绿色,180(-180)为青色,240(-120)为蓝色,300(-60)为品红色^[24],经酚酸及有机酸处理的山楂酒在 5~30 d 期间色调角 h_{ab} 值约在-10~25 之间,变化范围较小,与 0 较为接近,颜色变化较为平稳,接近紫红色调,与对贺兰山东麓年轻红葡萄酒的研究结果相似^[21],表明酚酸及有机酸对山楂酒花色苷变化具有一定的辅色作用。

2.3 模拟体系中不同酚酸及有机酸处理对酒体色度色调的影响

颜色密度能够反映模拟体系中呈色物质的多少。如图 3 所示,酒体前期色度普遍呈下降趋势,这可能与山楂酒中的呈色物质的组成变化有关;后期变化趋势较前期平稳,可能由于酚酸及有机酸对花色苷的降解的抑制作用达到动态平衡^[25]。在 0~5 d 时添加香草酸的模拟酒色度呈上升趋势,可能是由于香草酸与酒中物质发生反应,但随着时间增加,吸光度缓慢上升。对羟基苯甲酸、阿魏酸和香草酸处理组之间差异不显著($P>0.05$)。

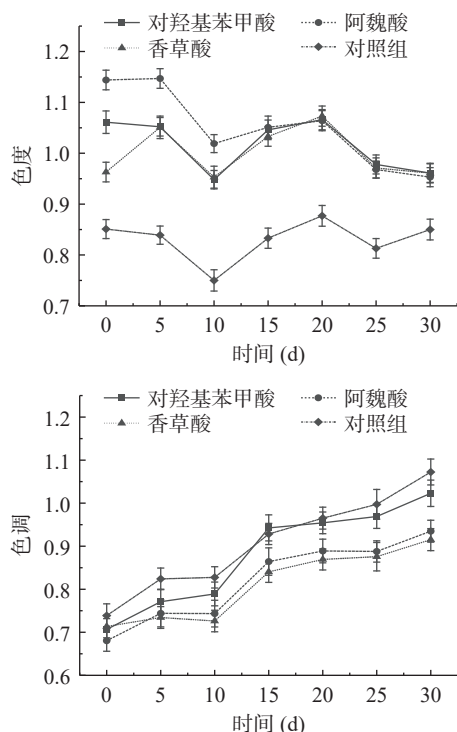


图3 模拟体系中不同酚酸及有机酸处理酒体色度色调的变化
Fig.3 Changes in color hue of wines treated with different phenolic and organic acids in simulated systems

色调值能够显示模拟体系中黄色物质与红色物质的比例^[26],小于 1 表示其中的红色物质多于黄色物质。色调值与酒中辅色类花色苷浓度成反比^[27]。模拟体系中不同酚酸及有机酸处理的山楂酒色调整

体呈上升趋势,经酚酸及有机酸处理的山楂酒在发酵过程中色调均小于 1,说明山楂酒中红色物质多于黄色物质,添加酚酸及有机酸能够对山楂酒进行辅色作用,使酒液颜色得到稳定的呈现。同样,在“西拉”红葡萄酒发酵前添加有机酸发现,随着时间的延长,有机酸显著降低了酒体的色调,抑制了酒体逐渐由紫红色向黄色转变^[5],这可能是酚酸及有机酸能够改善模拟体系中山楂酒色调的原因之一。

2.4 模拟体系中不同酚酸及有机酸处理对酒体酚类物质含量的影响

在 0~20 d 时,酚酸及有机酸和对照组的总酚含量为缓慢下降的趋势,在 20 d 之后四组均为上升趋势,增高程度由急剧到缓慢(图 4)。阿魏酸和香草酸处理组的总酚含量均高于对羟基苯甲酸处理组和对照组。前期可能是因为山楂酒模拟体系中酚类物质发生沉降,导致总酚含量下降^[28];后期贮藏过程中由于花色苷与黄烷醇之间的直接(聚合反应)或由醛类介导的聚合反应产生了新的稳定色素使总酚含量升高^[29]。在整个处理过程中,阿魏酸和香草酸处理的酒体总酚含量显著高于对照组($P<0.05$)。30 d 时,经阿魏酸和香草酸处理的酒体总酚含量分别高于对照组 18.00% 和 20.88%($P<0.05$),说明酚酸及有机酸处理有助于提高山楂酒的总酚含量,三种酚酸及有机酸处理中阿魏酸和香草酸优于对羟基苯甲酸。在咖啡酸和迷迭香酸处理的干红葡萄酒酒中,也发现处理组总酚含量高于对照组^[30],这与本实验结果相似。

在模拟体系处理过程中花色苷含量呈下降趋

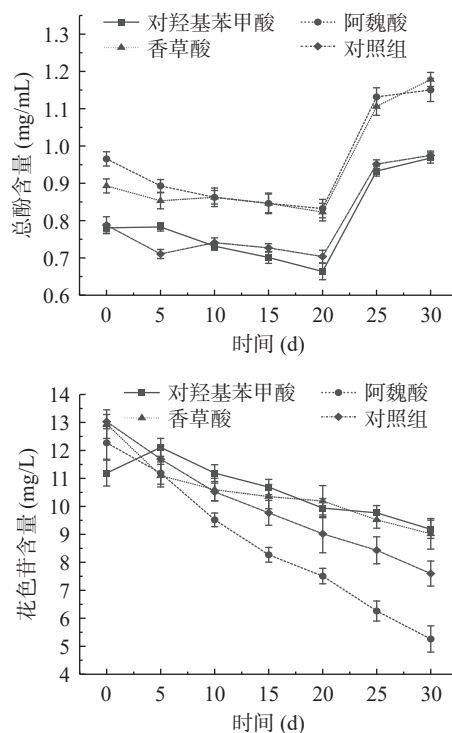


图4 模拟体系中不同酚酸及有机酸处理酒体酚类物质含量的变化

Fig.4 Changes in the phenolic content of wines treated with different phenolic and organic acids in the simulated system

势,主要原因是随着时间的增加,单体花色苷会逐渐降解,且有机酸会与单体花色苷形成更稳定的络合物,这些花色苷衍生物对赋予酒体持久和稳定的颜色起着积极的作用^[31]。30 d 后,经对羟基苯甲酸和香草酸处理的模拟体系中花色苷含量高于对照组中花色苷的含量,分别为 17.27% 和 15.74%。有研究发现添加有机酸的葡萄酒中总花色苷保留率高于对照组,表明添加有机酸在一定程度上促进辅色效果,延缓花色苷的降解^[32]。

2.5 不同酚酸及有机酸处理对贮藏期间发酵山楂酒色度色调的影响

色度是评价果酒品质的一个重要指标,能够判断酒品的质量好坏与氧化程度。花色苷、单宁含量越高,酒的颜色越深,色度值也就越大^[33]。

贮藏期间山楂酒的色度值整体呈上升趋势(图 5)。120 d 时,对照组色度增高了 12.13 倍,而经对羟基苯甲酸、阿魏酸和香草酸处理的山楂酒色度分别提高了 17.33、13.58 和 12.59 倍,对羟基苯甲酸辅色效果最好,能显著提高色度($P<0.05$),这与模拟体系一致;色度趋势变化不规则可能是由于酒中的显色物质除花色苷外还有聚合色素和类黄酮物质等,也会对山楂酒色度产生影响,且单宁在酒的酿造和陈酿过程中与果皮中的花色苷形成聚合色素,也会影响酒液的色度变化^[33]。樱桃酒的色度在一年的陈酿过程中,前期色度值趋势不稳定,在后期色度变化趋于平稳^[34],与本实验研究结果相似。

果酒色调值较高时,黄色色调明显,酒体偏褐

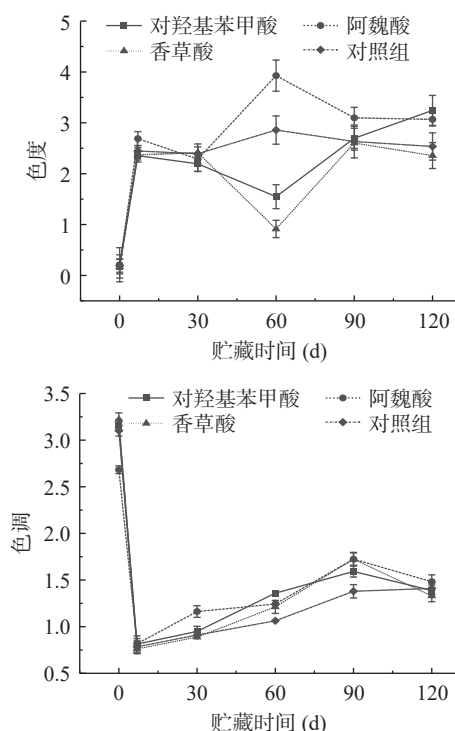


图 5 不同酚酸及有机酸处理下贮藏期间山楂酒色度色调的变化

Fig.5 Changes in color hue of hawthorn wine during storage under different phenolic and organic acid treatments

色^[35]。山楂酒色调整体呈下降趋势,与色度趋势相反,在 5~120 d 时整体与花色苷含量呈负相关,发酵酒在贮藏期间由于铁离子和有机酸的共同存在,使花色苷降解^[36],不含酚酸及有机酸的对照组花色苷含量反而较高。在 120 d 时,色调值大于 1,即表明山楂酒中的黄色物质多于红色物质。120 d 时,经对羟基苯甲酸、阿魏酸和香草酸处理的山楂酒色调分别降低了 56.06%、44.76% 和 58.73%;对照组的山楂酒色调从 0 d 的 3.102 经 120 d 的陈酿下降为 1.410,降低了 54.54%。酒中显黄色的物质主要是类黄酮类物质,而显红色的主要是花色苷类物质。在贮藏期间,果酒中黄酮含量随时间增加而增加,花色苷含量随时间增加而降低,导致整体色调呈降低趋势^[37]。

2.6 贮藏期间不同酚酸及有机酸处理对发酵山楂酒酚类物质含量的影响

山楂酒在贮藏期间的总酚、花色苷和黄酮含量如图 6 所示,山楂酒的总酚含量整体呈先下降后上

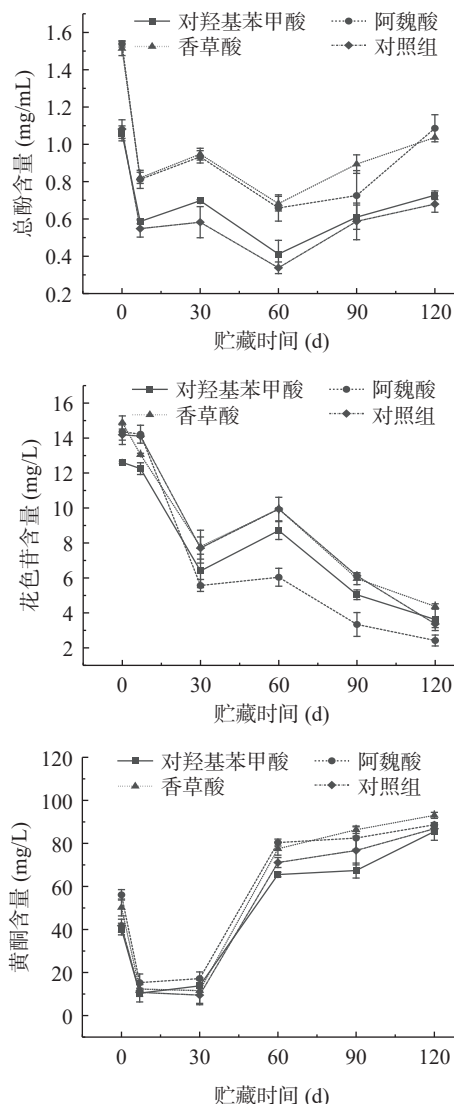


图 6 贮藏期间不同酚酸及有机酸处理山楂酒酚类物质含量的变化

Fig.6 Changes in phenolic content of hawthorn wine treated with different phenolic acids and organic acids during storage

升的趋势。对照组的山楂酒总酚含量在 120 d 的陈酿期降低了 37.17%, 经对羟基苯甲酸、阿魏酸和香草酸处理的山楂酒总酚含量分别降低了 31.34%、29.39% 和 31.53%。120 d 时经阿魏酸和香草酸处理的酒体总酚含量分别高于对照组 37.42% 和 34.44%。陈酿前期可能是山楂酒中的酚类物质发生聚合及缩合反应^[38], 酚类物质发生降解, 导致总酚指数下降; 陈酿后期原料中酚类物质还可由微生物和乙醇作用继续缓慢溶出^[39]。阿魏酸和香草酸与对照组之间存在显著性差异($P<0.05$)。说明酚酸及有机酸处理对山楂酒的总酚含量具有积极的作用, 三种酚酸及有机酸中处理效果较好的为阿魏酸和香草酸, 和模拟体系研究结果一致。

山楂酒在贮藏期间花色苷含量整体呈先下降再上升后下降的趋势, 60 d 后呈下降趋势。对照组花色苷含量降低了 76.27%, 经对羟基苯甲酸、阿魏酸和香草酸处理的山楂酒花色苷含量经 120 d 的陈酿分别降低了 71.30%、83.14% 和 70.65%。120 d 时经香草酸和对羟基苯甲酸处理的酒体花色苷含量分别高于对照组 22.93% 和 6.92%。山楂酒中主要显色物质是一些游离花色苷和聚合色素, 游离的花色苷不如聚合色素稳定, 在储存过程中受到自身结构、pH、贮藏温度、光照、氧气、酶等影响, 逐渐降解^[40]。在 120 d 贮藏期, 对羟基苯甲酸和香草酸与对照组之间存在显著性差异($P<0.05$), 说明酚酸及有机酸种类影响花色苷聚合和降解^[23]。

山楂酒中的黄酮物质大多来自山楂果, 还有一部分在发酵中形成, 酵母的发酵会吸收、水解或氧化这些成分^[41]。黄酮含量整体呈先下降再上升的趋势, 由于酵母产生的果胶酶能够破坏细胞壁, 促进黄酮类物质从细胞中溶出^[42], 30 d 后呈上升趋势。对照组的山楂酒中黄酮含量经 120 d 的陈酿增加了 51.92%, 经对羟基苯甲酸、阿魏酸和香草酸处理的山楂酒中黄酮含量经 120 d 的陈酿增加了 53.01%、36.71% 和 46.01%, 120 d 时经香草酸和阿魏酸处理的酒体黄酮含量分别高于对照组 6.67% 和 2.05%。经香草酸和阿魏酸处理的山楂酒与对照组之间存在显著性差异($P<0.05$), 说明香草酸和阿魏酸对促进山楂酒黄酮类物质的溶出有较好的效果。

3 结论

本研究考察了模拟体系和贮藏期间的山楂酒酚酸及有机酸辅色处理对色度色调和酚类化合物的影响。结果表明, 在山楂酒模拟体系中对羟基苯甲酸、香草酸、阿魏酸的辅色效果最好。酚酸及有机酸辅色处理能减少色泽和营养成分的损失, 使酒中色泽保持更加持久, 但不同酚酸及有机酸的处理效果不同; 在贮藏期间, 对羟基苯甲酸和阿魏酸对色度有较好的作用。因此, 对不同需求可采用不同酚酸和有机酸进行辅色。后续可进一步确定酚酸及有机酸的最适添加量, 也可采用复合辅色剂对山楂酒进行辅色处理,

以筛选和制备具有更好效果的辅色剂, 进一步提高山楂酒品质。

参考文献

- [1] 董宁光, 王燕, 郑书旗, 等. 我国山楂产业现状与发展建议[J]. 中国果树, 2022(10): 87-91. [DONG N G, WANG Y, ZHENG S Q, et al. Present situation and development suggestions of hawthorn industry in China[J]. China Fruits, 2022(10): 87-91.]
- [2] 张祺嘉钰, 赵佩媛, 孙静, 等. 山楂的化学成分及药理作用研究进展[J]. 西北药学杂志, 2021, 36(3): 521-523. [ZHANG J Y Q, ZHAO P Y, SUN J, et al. Research progress on chemical constituents and pharmacological action of hawthorn[J]. Northwest Pharmaceutical Journal, 2021, 36(3): 521-523.]
- [3] 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. [ZHANG Z W. Mechanisms of the color deterioration and anthocyanin degradation in Chinese bayberry wine[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021.]
- [4] 李依娜, 邹颖, 余元善, 等. 不同酚酸对三华李清汁贮藏期间色泽稳定性的比较分析[J]. 现代食品科技, 2020, 36(7): 165-172, 16. [LI Y N, ZOU Y, YU Y S, et al. Comparative analysis of color stability of Sanhua plum juice during storage with different phenolic acids[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(7): 165-172, 16.]
- [5] 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, 2023, 49(7): 90-98. [ZHANG Y, PENG J J, LI K Y, et al. Effects of organic acid added before fermentation on color and sensory quality of Syrah red wine[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(7): 90-98.]
- [6] 李紫薇, 刘伟, 欧阳艳, 等. 有机酸和糖对野生櫻桃李花色苷的辅色作用[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(13): 183-186. [LI Z W, LIU W, OUYANG Y, et al. Effects of organic acids and sugars on co-pigmentation of anthocyanins in *Prunus divaricata* Ldb.[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2018, 46(13): 183-186.]
- [7] 赵磊, 潘飞, 周娜, 等. 提高黑米花色苷颜色稳定性辅色剂的筛选及其作用机制[J]. 食品科学, 2021, 42(14): 16-23. [ZHAO L, PAN F, ZHOU N, et al. Screening of co-pigments to improve color stability of black rice anthocyanins and underlying mechanism[J]. Food Science, 2021, 42(14): 16-23.]
- [8] 陈湘粤, 高群玉, 李倩, 等. 有机酸对桑椹花色苷的辅色作用及其热降解动力学规律[J]. 现代食品科技, 2022, 38(6): 116-125. [CHEN X Y, GAO Q Y, LI Q, et al. Co-pigmentation of mulberry anthocyanins with organic acids: Color enhancement and thermal degradation kinetics[J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(6): 116-125.]
- [9] 姚瑶. 新疆不同产区赤霞珠干红葡萄酒品质及瓶储变化研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2020. [YAO Y. Research on the quality and bottle storage changes of cabernet sauvignon dry red wine in different regions in Xinjiang[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2020.]
- [10] LIU S W, YOU L, ZHAO Y X, et al. Hawthorn polyphenol extract inhibits UVB-induced skin photoaging by regulating MMP expression and type I procollagen production in mice[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018, 66(32): 8537-8546.
- [11] LIU S W, ZHANG X, YOU L, et al. Changes in anthocyanin profile, color, and antioxidant capacity of hawthorn wine (*Crataegus pinnatifida*) during storage by pretreatments[J]. LWT, 2018, 95: 179-186.
- [12] 范隽健. 紫玉米酒花色苷衍生物形成机理及其抗氧化与抗

- 肿瘤活性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009. [FAN G J. Formation mechanism of purple corn wine anthocyanins derivatives and their antioxidant and antitumor activity[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2009.]
- [13] LY B C K, DYER E B, FEIG J L, et al. Research techniques made simple: Cutaneous colorimetry: A reliable technique for objective skin color measurement[J]. *Journal of Investigative Dermatology*, 2020, 140(1): 3–12.
- [14] LOHNER, S A, BIEGERT K, HOHMANN A, et al. Chlorophyll- and anthocyanin-rich cell organelles affect light scattering in apple skin[J]. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 2022, 21(2): 261–273.
- [15] 张丽霞, 周剑忠, 顾振新, 等. 不同有机酸对黑莓花色苷辅色效果的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2013, 39(6): 105–110. [ZHANG L X, ZHOU J Z, GU Z X, et al. Pefferent organic acids on copigmentation effects of blackberry anthocyanins[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2013, 39(6): 105–110.]
- [16] 周剑忠, 陆卿卿, 刘小莉, 等. 辅色处理对蓝莓汁色泽稳定性及抗氧化活性的影响[J]. *江西农业学报*, 2014, 26(10): 97–99, 103. [ZHOU J Z, LU Q Q, LIU X L, et al. Influences of copigment treatment on color stability and antioxidant activity of blueberry juice[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2014, 26(10): 97–99, 103.]
- [17] 苗楠. 黑果枸杞花色苷提取与辅色及对 APAP 诱导小鼠肝损伤保护作用研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2018. [MIAO N. Study on extraction, co-pigments and protective effect on acute liver injury induced by APAP in mice of anthocyanins from *Lycium ruthenicum* Murr[D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2018.]
- [18] FAN G J, HAN Y B, GU Z X, et al. Optimizing conditions for anthocyanins extraction from purple sweet potato using response surface methodology (RSM)[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2007, 41(1): 155–160.
- [19] MONTES C, VICARIO I M, RAYMUNDO M, et al. Application of tristimulus colorimetry to optimize the extraction of anthocyanins from Jaboticaba (*Myrcia jaboticaba* Berg.)[J]. *Food Research International*, 2005, 38(8): 983–988.
- [20] CEJUDO-BASTANTE M J, RIVERO-GRANADOS F J, HEREDIA F J. Improving the color and aging aptitude of Syrah wines in warm climate by wood-grape mix maceration[J]. *Food Weekly News*, 2017, 243(4): 575–582.
- [21] 王宏, 陈晓艺, 张军翔. 贺兰山东麓年轻红葡萄酒的 CIELab 颜色空间特征[J]. *食品科学*, 2014, 35(9): 20–23. [WANG H, CHEN X Y, ZHANG J X. Characteristic analysis of young red wine from the eastern foot of Helan mountain based on CIELab color space parameters[J]. *Food Science*, 2014, 35(9): 20–23.]
- [22] 曲一鸣, 姚瑶, 张亚飞, 等. 冷浸渍及单宁处理提升赤霞珠葡萄酒的品质[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(4): 244–251. [QU Y M, YAO Y, ZHANG Y F, et al. Quality improvement of cabernet sauvignon wine treated by cold maceration and tannin[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2020, 36(4): 244–251.]
- [23] 陈晓艺. 红葡萄酒颜色 CIEL*a*b*方法研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2015. [CHEN X Y. Research the method of CIEL*a*b* of red wine color[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2015.]
- [24] PRADEEP M W, ROLAND H, KNNETH J O, et al. Colour characterisation of two-year-old Pinot noir wines by UV-Vis spectrophotometry and tristimulus colourimetry (CIELab): Effect of whole bunch or grape stems addition[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2023, 58(3): 1176–1185.
- [25] 张淑淑, 吕想, 刘伟, 等. 果蔬花色苷的理化特性、提取技术及功能活性研究进展[J/OL]. *食品与发酵工业*: 1–14. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.033971>. [ZHANG S S, LÜ X, LIU W, et al. Research progress on physical and chemical characteristics, extraction technology, and functional activity of anthocyanins from fruits and vegetables[J/OL]. *Food and Fermentation Industries*: 1–14. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.033971>.]
- [26] 卢锋波. 黑莓花色苷提取及其辅色研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2010. [LU F B. Study on extraction and copigmentation of anthocyanins from blackberry[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2010.]
- [27] 胡文泽, 李金凤, 李森, 等. 磁化催陈对蓝莓酒理化指标的影响[J]. *包装工程*, 2022, 43(3): 135–143. [HU W Z, LI J F, LI M, et al. Effects of magnetization aging on physicochemical indexes of blueberry wine[J]. *Packaging Engineering*, 2022, 43(3): 135–143.]
- [28] 陈玉颖, 邹毅, 王帅静, 等. 发酵酒储藏期间浑浊沉淀类型及澄清措施[J]. *中国酿造*, 2018, 37(6): 10–14. [CHEN Y Y, ZOU Y, WANG S J, et al. Turbidity and precipitation type and clarifying measures of fermented wine during storage period[J]. *China Brewing*, 2018, 37(6): 10–14.]
- [29] JANINA G, JAN O. Antioxidant activity of anthocyanin glycoside derivatives evaluated by the inhibition of liposome oxidation[J]. *Zeitschrift für Naturforschung C, Journal of Biosciences*, 2005, 60(5-6): 399–407.
- [30] 李宇宁, 张波, 牛见明, 等. 发酵前咖啡酸和迷迭香酸添加对干红葡萄酒颜色与香气的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(10): 132–140. [LI N N, ZHANG B, NIU J M, et al. The influence of pre-fermentative addition of caffeic acid and rosmarinic acid on the color and aroma compounds of dry red wines[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(10): 132–140.]
- [31] 唐柯, 倪高玉, 李记明, 等. 辅色素对葡萄酒单体花色苷及颜色的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(22): 54–59. [TANG K, NI G Y, LI J M, et al. Effect of co-pigment on monomeric anthocyanin and color of wine[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(22): 54–59.]
- [32] 李甜. 色泽测定方法的建立及紫薯酒等颜色变化的研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2016. [LI T. Establishment of color measurement method and the change of color in the fermentation of wine[D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2016.]
- [33] 田琳. 刺五加果酒发酵过程中组分、色度的变化及澄清工艺[D]. 大连: 大连工业大学, 2014. [TIAN L. Changes of the components and chroma during the Acanthopanax fruit fermentation and wine clarification process[D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2014.]
- [34] LI M Y, ZHAO X J, SUN Y X, et al. Evaluation of anthocyanin profile and color in sweet cherry wine: Effect of sinapic acid and grape tannins during aging[J]. *Molecules*, 2021, 26(10): 2923–2923.
- [35] 张珍珍, 邓玉杰, 赵艳, 等. 葡萄酒酿造过程中内部因素对颜色稳定性影响分析[J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(5): 15–19. [ZHANG Z Z, DENG Y J, ZHAO Y, et al. Analysis of the factors affecting the stability of anthocyanins wine in fermentation process[J]. *Food Research and Development*, 2016, 37(5): 15–19.]
- [36] ZHANG Z W, LI J Y, FAN L P, et al. Effect of organic acid on cyanidin-3-O-glucoside oxidation mediated by iron in model Chinese bayberry wine[J]. *Food Chemistry*, 2020, 310(C): 125980–125980.
- [37] 曹玉玺. 杨梅发酵酒风味与护色及抗氧化活性的研究[D]. 宁波: 宁波大学, 2020. [CAO Y X. Study on flavor, color protection and antioxidant activity of fermented bayberry wine[D]. Ningbo: Ningbo University, 2020.]

- [38] 黄佳, 程拯良, 樊明涛. 陈酿过程对猕猴桃酒多酚及其抗氧化活性的影响[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(14): 26–30. [HUANG J, CHENG Z G, FAN M T, et al. Effect of aging process on phenolic compounds and antioxidant activity of kiwi wine[J]. Food Research and Development, 2017, 38(14): 26–30.]
- [39] 王印壮, 李素萍, 段定定, 等. 红谷黄酒发酵过程中理化性质和物质变化规律[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(17): 8–15. [WANG Y Z, LI S P, DUAN D D, et al. Changes of physicochemical properties and substances during the red millet Huangjiu fermentation[J]. Food Research and Development, 2022, 43(17): 8–15.]
- [40] JÁN K, JUDITA B, JÁN T, et al. The influence of variety on the content of bioactive compounds in beetroot (*Beta vulgaris* L.) [J]. Potravinarstvo, 2017, 11(1): 106–112.
- [41] GUTIÉRREZ-ESCOBAR R, ALIAÑO-GONZÁLEZ M J, CANTOS-VILLAR E. Wine polyphenol content and its influence on wine quality and properties: A review[J]. Molecules, 2021, 26(3): 718–718.
- [42] 李楠. 山楂果酒发酵过程中品质特性的变化规律[J]. 食品工业, 2019, 40(3): 60–63. [LI N. The dynamic change of physicochemical indexes in fermentation process of hawthorn wine[J]. The Food Industry, 2019, 40(3): 60–63.]