

二氢杨梅素对梨酒抗氧化活性及风味物质的影响

马懿, 喻康杰, 肖雄峻, 谢李明, 魏紫云, 熊蓉, 禹潇, 黄慧玲

Effects of Dihydromyricetin on Antioxidant Activity and Flavor Substances of Pear Wine

MA Yi, YU Kangjie, XIAO Xiongjun, XIE Liming, WEI Ziyun, XIONG Rong, YU Xiao, and HUANG Huiling

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022100292>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

二氢杨梅素和杨梅苷抑制HepG2细胞的协同作用

Synergistic Anti-tumor Effect of Dihydromyricetin and Myricitrin on HepG2 cells

食品工业科技. 2021, 42(8): 333-337 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020070271>

自动电位滴定法测定辣椒制品中二氧化硫残留量检测条件优化

Optimization of Determination Conditions of Sulfur Dioxide Residue in Chilli Products by Automatic Potentiometric Titration

食品工业科技. 2021, 42(2): 237-240,249 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020030266>

蓝莓添加对柿子果酒抗氧化及风味物质的影响

Effect of Blueberry Addition on the Antioxidant Activity and Flavor Substances of Persimmon Wine

食品工业科技. 2020, 41(4): 211-217,228 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.04.036>

二氧化硫(SO₂)对葡萄果实采后质构和果皮蜡质损伤的影响

Effects of Sulfur Dioxide SO₂ on the Texture and Wax Injury of Peel in Grape Berries

食品工业科技. 2018, 39(14): 258-263 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.14.049>

4种澄清剂对生姜梨酒澄清效果的对比

Comparative on Clarification Effects of Four Kinds of Clarifying Agents on Ginger Pear Wine

食品工业科技. 2020, 41(7): 37-43 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.07.007>

发酵对小根蒜挥发性物质、有机硫化合物及其抗氧化活性的影响

Effects of Fermentation on Volatile Compounds, Organic Sulfur Compounds and Antioxidant Activity of *Allium macrostemon* Bunge

食品工业科技. 2020, 41(22): 43-49,56 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020020077>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

马懿, 喻康杰, 肖雄峻, 等. 二氢杨梅素对梨酒抗氧化活性及风味物质的影响 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(10): 107–115. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022100292

MA Yi, YU Kangjie, XIAO Xiongjun, et al. Effects of Dihydromyricetin on Antioxidant Activity and Flavor Substances of Pear Wine[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(10): 107–115. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022100292

· 研究与探讨 ·

二氢杨梅素对梨酒抗氧化活性及 风味物质的影响

马 懿^{1,2,*}, 喻康杰^{1,2}, 肖雄峻^{1,2}, 谢李明^{1,2}, 魏紫云^{1,2}, 熊 蓉^{1,2}, 禹 潇^{1,2}, 黄慧玲^{1,2}

(1. 四川轻化工大学生物工程学院, 四川宜宾 644000;
2. 四川省酿酒专用粮工程技术研究中心, 四川宜宾 644000)

摘要: 为推进梨酒减硫增质进程, 促进天然抗氧化剂在梨酒中的应用。本文通过单独使用二氢杨梅素 (Dihydromyricetin, DMY) 或与 SO₂ 联合使用酿造库尔勒香梨酒, 分别测定各组梨酒自由基清除率、总酚含量、总黄酮含量、酒体色度及风味物质, 研究了 DMY 对梨酒抗氧化活性以及风味物质的影响。结果表明, 各组梨酒基础理化指标无显著性差异 ($P>0.05$), 发酵均能正常完成; H4 组 (SO₂ 30 mg/L、DMY 100 mg/L) 抗氧化活性最佳, DPPH 自由基清除率为 70.08%, ABTS⁺自由基清除率达到 95.89%; 单独使用 DMY (浓度为 150 或 200 mg/L) 或与 SO₂ 联合使用时, 均能促进酒体总酚及总黄酮的生成 ($P<0.05$)。此外, DMY 对梨酒挥发性风味物质影响较大, DMY 浓度越高, 越有益于主体香气物质的生成; DMY 和 SO₂ 联合使用亦能提高挥发性物质的种类和总量, 其中 H3 组 (SO₂ 30 mg/L、DMY 75 mg/L) 风味物质种类达到 24 种, 总含量高达 11846.14 μg/L, 乙酸乙酯和辛酸乙酯含量相比 CK 组分别增加了 107.61、420.27 μg/L。综合来看, H3 组总酚含量更高、颜色更加稳定, 酒体香气更加浓郁、层次感愈加分明, 感官品评高达 85.7 分。DMY 与 SO₂ 的混合使用在抑制褐变、促进总酚方面综合效果最佳, 适量 DMY 可增加改善香梨酒香气成分, 提高其品质。

关键词: 二氢杨梅素, 二氧化硫, 库尔勒香梨酒, 抗氧化活性, 挥发性风味物质

中图分类号: TS262.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)10-0107-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022100292

本文网刊: 

Effects of Dihydromyricetin on Antioxidant Activity and Flavor Substances of Pear Wine

MA Yi^{1,2,*}, YU Kangjie^{1,2}, XIAO Xiongjun^{1,2}, XIE Liming^{1,2}, WEI Ziyun^{1,2}, XIONG Rong^{1,2}, YU Xiao^{1,2}, HUANG Huiling^{1,2}

(1. College of Bioengineering, Sichuan University of Science and Engineering, Yibin 644000, China;

2. Engineering Technology Research Center of Special Grain for Wine Making, Yibin 644000, China)

Abstract: In order to promote the process of sulfur reduction and quality enhancement of pear wine and promote the application of natural antioxidants in pear wine, Dihydromyricetin (DMY) was used alone or in combination with SO₂ to be an alternative for sulfur dioxide in Korla fragrant pear wine fermentation. The free radical scavenging rate, total phenol contents, total flavonoid contents, wine color and volatile flavour components of the pear wine were measured, and the effects of DMY on antioxidant activity and flavor substances of pear wine were studied. The results showed that there was no significant difference in the basic physical and chemical indexes of pear wine among all groups ($P>0.05$), and the fermentation could be completed normally. In the H4 group, antioxidant activity were significantly higher than the control and other groups, the radical clearance rate of DPPH and ABTS⁺ was 70.08% and 95.89% respectively. The use of DMY alone or in combination with SO₂ could promote the production of total phenols and total flavonoids ($P<0.05$). In addition,

收稿日期: 2022-10-31

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31801458); 四川省科技厅项目 (2020YJ0402); 四川轻化工大学创新基金项目 (Y2022077)。

作者简介/通信作者*: 马懿 (1983-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品科学与工程, E-mail: 191066789@qq.com。

DMY had a great influence on the volatile flavor compounds of pear wine, and the higher concentration of DMY was more beneficial to the formation of the main aroma compounds. The combined use of DMY and SO₂ could also increase the variety and total amount of volatile compounds. Among them, 24 species of volatile flavor components were detected in H3 group, and the total content was 11846.14 μg/L. Compared with the CK group, the contents of ethyl acetate and ethyl octanoate increased by 107.61, 420.27 μg/L, respectively. Generally speaking, the H3 group with relatively high content of total phenols and strong aroma component, showed strong stability and its sensory evaluation score was as high as 85.7. The mixed use of DMY and SO₂ has the best comprehensive effect in inhibiting browning and promoting total phenol. Proper amount of DMY could increase and improve the aroma components of fragrant pear wine and improve its quality.

Key words: dihydromyricetin; sulfur dioxide; Korla pear wine; antioxidant activity; volatile flavor substances

库尔勒香梨为新疆特色梨种。因其果肉细腻、汁甜味醇,且有生津止渴、润肠通便及改善血糖等功效,深受消费者喜爱^[1]。梨酒在发酵过程中易受酶促作用或非酶促作用的影响,出现酒体氧化褐变以及香气逸散等问题。通常使用添加抗氧化剂、低温发酵、控制氧气浓度等方式缓解梨酒的褐变以及保留酒体香气^[2]。在酒精发酵前添加 SO₂ 是目前梨酒抗氧化处理中最常用的方法, SO₂ 可以确保酒体抗氧化保护和微生物稳定,同时缓解酒体褐变,但果酒中高残留的 SO₂ 会导致气管痉挛、荨麻疹、血管性水肿等不良反应^[3]。世界卫生组织 (World Health Organization, WHO) 一直要求降低食品中 SO₂ 的浓度,国际葡萄与葡萄酒组织 (International Vine and Wine Organization, OIV) 和各国都规定了果酒中 SO₂ 的最高限量为 150~400 mg/L, 酿酒行业顺应了降低食品中 SO₂ 浓度的总体趋势,同时表达了对替代控制方法的需求。寻找一种具有良好的抗氧化活性、抑菌性及安全性的天然添加剂来代替或减少 SO₂ 的使用是目前酿酒行业需要突破的重点与难点。

二氢杨梅素 (Dihydromyricetin, DMY) 是从植物藤茶中分离出来的一种生物活性类黄酮类化合物^[4]。因其具有抗氧化、抑菌、抗炎、抗癌、抗糖尿病和神经保护^[5] 等多种保健活性而备受关注。Liu 等^[6] 研究表明 DMY 是显齿蛇葡萄提取物中主要的抑菌成分,对革兰氏阴性菌都有较强的抑制作用,对副溶血性弧菌的最低抑菌浓度 (MIC) 为 0.625 mg/mL。熊皓耳等^[7] 通过对藤茶的各种提取成分进行抗氧化活性分析,确定了 DMY 为藤茶的主要抗氧化活性成分,对 DPPH 的清除作用最强,其 IC₅₀ 可以达到 2.91 mg/L, 对 O² 的清除实验中, IC₅₀ 为 3.88 mg/L。唐兰芳等^[8] 将 DMY 含量高的拐枣加工成酒后,同时兼顾了丰富的口感和突出的抗氧化活性,产品 ABTS⁺、DPPH 自由基的清除率均>90%。已有研究证明, DMY 可增强肝脏乙醇代谢 (EtOH) 并减少 EtOH 介导失调^[9],添加了枳椇子提取物(高含 DMY)的果茶饮料可以相对降低酒精对肝脏的伤害。还有学者发现, DMY 可以延缓果酒及饮料中残糖对人体血糖的影响,原因是 DMY 通过减弱细胞外信号调控激酶、细胞外信号调控激酶 (ERK/CDK5) 信号通路^[10] 来延缓高血糖发作。与 SO₂ 相比, DMY 即能保证果酒的

抑菌性和抗氧化活性,又具有安全、无毒、来源广泛及功能性等优点^[11]。未来果酒产品趋于安全、功能型发展,因而 DMY 作为绿色抗氧化剂具有很大的发展潜力。然而, DMY 应用于果酒中的抗氧化性能以及对果酒风味感官的影响尚鲜见报道。

基于此,本文研究了 DMY 对库尔勒香梨抗氧化活性和风味感官的影响,并与传统添加剂 SO₂ 进行了对比,旨在促进天然抗氧化剂在果酒酿造中的应用,以达到果酒产品的减硫增质,为推动果酒行业的发展提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

库尔勒香梨(成熟度在 8.5~9.0 之间; 果实颜色、大小均匀一致,且无病虫害和机械伤) 宜宾市水果批发市场; 果酒高活性干酵母 安琪酵母股份有限公司; 白砂糖 市售; 果胶酶 (500 μg/mg) 上海源叶生物科技有限公司; DPPH、ABTS 标准品、福林酚 合肥博美生物科技有限责任公司; 二氢杨梅素(纯度≥98.0%) 贵州铂锶钛化工产品有限公司; 偏重亚硫酸钾 天津市大茂化学试剂厂; 抗坏血酸、柠檬酸、没食子酸标准品(纯度≥98.0%)、芦丁标准品(纯度≥98.0%) 成都科龙化工试剂厂; 仲辛醇(色谱纯) 上海麦克林生化科技有限公司。

YZ-E25 榨汁机 九阳股份有限公司; GZ-250-HS11 恒温恒湿箱 广智科技设备有限公司; STATER 2C pH 计 奥豪斯仪器有限公司(上海); LX-B75L 高压蒸汽灭菌锅 成都宜恒实验仪器有限公司; T6 新世纪紫外可见分光光度计 北京普析通用仪器有限公司; UltraScan VIS 台式色差仪 Hunter-Lab(美国)有限公司; 7890A 气相色谱仪 四川蜀科仪器有限公司; 数显恒温水浴锅 上海力辰邦西仪器科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 梨酒酿造工艺流程与操作要点 梨酒酿造工艺流程图 1。原料护色:去核切块后,置于 15 mg/L 维生素 C 和 1000 mg/L 柠檬酸的混合溶液中进行护色处理。

香梨榨汁与成分调整:选择新鲜成熟的香梨洗净去核榨汁,添加 0.3 g/L 果胶酶,室温酶解 12 h。过滤采用 8 层纱布;分别加入一定量白砂糖与柠檬

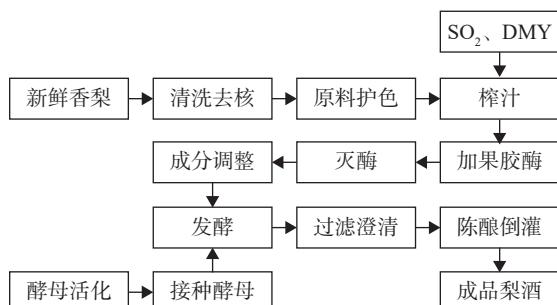


图 1 梨酒酿造工艺流程图

Fig.1 Flow chart of pear wine brewing process

酸调节糖度到 20°Brix, pH 调至 4.5。

SO_2 、DMY 的添加: 根据酵母对两者耐受性并考虑应用于梨酒发酵适用性(单独使用 DMY 时, 梨酒色度会加深, 影响美观)故将试验共分为 10 个组(每组 3 个平行): CK 组: 无添加; S 组: SO_2 添加量 60 mg/L; D1 组: DMY 添加量 50 mg/L; D2 组: DMY 添加量 100 mg/L; D3 组: DMY 添加量 150 mg/L; D4 组: DMY 添加量 200 mg/L; H1 组: O_2 添加量、DMY 添加量分别为 30、25 mg/L; H2 组: SO_2 添加量、DMY 添加量分别为 30、50 mg/L; H3 组: SO_2 添加量、DMY 添加量分别为 30、75 mg/L; H4 组 SO_2 添加量、DMY 添加量分别为 30、100 mg/L。

发酵: 称取 2 g 果酒干酵母加入 30 mL 质量浓度为 50 g/L 蔗糖水中, 置于 30 ℃ 活化 30 min, 随后将 5 mL 酵母活化液分别添加到 10 组梨汁中用于发酵。发酵温度控制为 25 ℃, 发酵 7 d 完成后过滤陈酿 20 d 装瓶。

1.2.2 基础理化指标的测定 可溶性固形物采用手持糖度仪, pH 测定使用 pH 计, 酒精度、还原糖、总酸测定参照 GB/T 15038-2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》。

1.2.3 体外抗氧化能力的测定 以 DPPH 自由基和 ABTS 阳离子自由基清除率代表梨酒体外抗氧化能力。

DPPH 自由基清除率: 参照由璐等^[12]方法, 取 0.1 mL 待测样品与 3.9 mL DPPH 溶液混合并充分摇匀, 避光静置 30 min, 然后在 517 nm 处测定吸光度(A 样品)。同时, 以等量蒸馏水代替样品作空白对照试验(A 空白)。用公式(1)计算。

$$DPPH\text{自由基清除率}(\%) = \frac{A_{\text{空白}} - A_{\text{样品}}}{A_{\text{空白}}} \times 100$$

ABTS⁺自由基清除率: 参照范金波等^[13]方法, 以 20 μ L 样液与 5 mL PBS 缓冲溶液作为参比溶液, 5 mL ABTS 溶液和 20 μ L PBS 溶液作为对照 A₁, 20 μ L 样液和 5 mL ABTS 作为 A₂, 摆匀后在 30 $^{\circ}$ C 避光反应 6 min, 在 734 nm 波长处测吸光度。用公式(2)计算。

$$\text{ABTS}^+ \text{自由基清除率}(\%) = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100 \quad \text{式 (2)}$$

1.2.4 总黄酮含量的测定 总黄酮含量参照杨玥等^[14]方法略作修改,以芦丁质量浓度计。将样品(2 mL)分别与 95% 乙醇(12 mL)、5% 亚硝酸钠溶液(2 mL)反应 6 min 后与 10% 硝酸铝溶液(2 mL)反应 6 min,然后加入 5% 氢氧化钠试液(20 mL),最后用 95% 乙醇定容至 50 mL,测 OD510。测定标准曲线结果为: $y=0.0061x+0.0003$, y 为吸光度, x 为类黄酮含量,决定系数 $R^2=0.9989$ 。

1.2.5 总酚含量的测定 总酚含量使用福林-肖卡(Folin-Ciocalteu)法测定^[15],以没食子酸质量浓度计。将样品(1 mL)与福林酚试剂(1 mL)混合反应3 min,再加7.5%碳酸钠溶液(1.5 mL)。避光反应2 h后,测OD765。测定标准曲线结果为: $y=0.0012x-0.0024$, y 为吸光度, x 为没食子酸含量,决定系数 $R^2=0.9956$ 。

1.2.6 色度测定 色度情况参考吴瑞梅等^[16]方法, 使用 UltraScan VIS 台式色差仪对样品进行检测, 以蒸馏水标零后, 以 S 组为标品, 结果中 L 、 a 、 b 表色系, 其中 L^* 表示明亮度, a^* 、 b^* 是色品坐标, de^* 表示总色差值。每个酒样重复测量 3 次, 3 次平均值作为该酒样的最终色度值。

1.2.7 挥发性物质的测定 参照刁体伟等^[1]的顶空固相微萃取-气质联用法(solid phase micro-extraction gas chromatography mass spectrometry, SPME-GC-MS)并加以改进。在 15 mL 顶空瓶中准确加入 10 mL 梨酒, 并加入 2 g NaCl。酒样在 45 ℃ 条件下预热 10 min 后, 将老化后的微萃取头插入顶空瓶中, 同时推出纤维头(距离梨酒液面 1.5 cm), 于顶空位置吸附 35 min, 吸附后, 收回纤维头并迅速送至 GC 送样口, 在 250 ℃ 热解析 3 min。GC 条件: DB-WAX 毛线管色谱柱($60\text{ m}\times 0.25\text{ mm}\times 0.25\text{ }\mu\text{m}$); 进样口温度为 250 ℃; 采用不分流进样模式; 程序升温: 初始温度 40 ℃, 保留 5 min, 以 2 ℃/min 升温至 60 ℃, 以 5 ℃/min 升温至 180 ℃, 保留 5 min, 以 10 ℃/min 升温至 230 ℃, 保留 10 min; 载气为高纯氦气, 恒定流速 1.2 mL/min。MS 条件: 电子轰击电离源(EI), 离子源温度 230 ℃, 电子能量 70 eV, 采集模式为全扫描 MS 四极杆温度 150 ℃, 溶剂延迟 3 min。

挥发性物质定性定量: 色谱峰对应的质谱通过与 NIST/Wiley Database 进行检索比对, 保留匹配度大于 80% 的鉴定结果。通过内标物(仲辛醇)的峰面积和梨酒中各组分的峰面积比值, 计算各个组分的质量浓度。

1.2.8 感官评价 感官评价情况参照张清安等^[18]所述方法。感官评价由 10 名经过培训的评估小组完成(5 名女性和 5 名男性, 平均年龄 25 岁, 所有小组成员在果酒相关领域都有超过 2 年的经验)。在整个感官分析过程中, 样品在标准感官室中进行评估。

具有白光、受控气流和20~25 °C的室温。

1.3 数据处理

利用SPSS进行数据分析,并用Origin 2021作图,所有数据均采用平均值(mean)±标准差(SD)表示。显著性分析使用Student-Newman-Keuls检验法,结果采用标记字母法表示,以上所有实验均设置3个重复。

2 结果与分析

2.1 梨酒的基础理化指标

各组梨酒基础理化指标见表1。由表1可知,10组梨酒在可溶性固形物、pH、总酸、酒精度、还原糖指标上,无显著性差异($P>0.05$),表明与SO₂相比,无论是单独加入DMY或者与SO₂联合使用,都对梨酒的基础理化指标无显著性的影响,发酵均能正常完成。

2.2 梨酒的抗氧化活性

对自由基清除率越高则说明梨酒的抗氧化能力越强,为了准确检验抗氧活性,通常在检测中使用两种及以上的方法^[19]。由图2可知,S组在DPPH自由基和ABTS⁺自由基清除率上都显著优于CK组($P<0.05$),表明SO₂可以显著增强梨酒的抗氧化能力;这与Garaguso等^[20]研究的结果一致。在D组

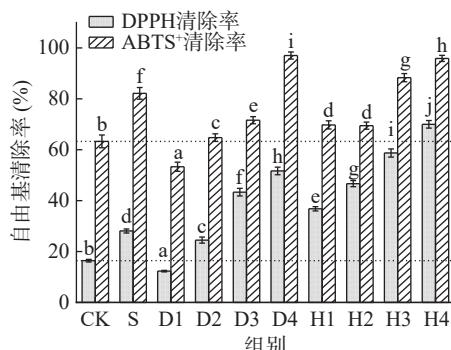


图2 不同组梨酒抗氧化能力

Fig.2 Antioxidant capacity of pear wine in different groups

注:同类别自由基清除率不同字母代表不同组别梨酒在此自由基清除率指标中具有显著性差异($P<0.05$)。

和H组中,酒体抗氧化活性随DMY浓度的增加而增加($P<0.05$),说明DMY可以显著增加梨酒的抗氧化活性,其中D1(50 mg/L)、D2组(100 mg/L)自由基清除能力明显低于S组,甚至CK组($P<0.05$),说明在DMY单独使用时,在较低浓度下(50或100 mg/L),DMY未产生明显的抗氧化效果,这与DMY本身溶解度、利用率低存在一定的关系^[4];而在H3、H4组和D3(150 mg/L)、D4(200 mg/L)中,梨酒的自由基清除能力都显著高于S组($P<0.05$),其中H4组DPPH自由基清除率最高(70.08%),D4的ABTS⁺自由基清除率最高(97.04%)。同时使用SO₂、DMY的H组的自由清除率整体效果高于单独使用SO₂和DMY的组别,说明DMY在SO₂之间可能存在协同作用,二者联合使用能显著增加梨酒的抗氧化活性。

2.3 梨酒的总黄酮、总酚含量

总酚是果酒中不可或缺的功能性物质,对人体健康有着积极的作用^[21]。由图3a可知,S组的总酚含量明显高于CK组($P<0.05$),说明SO₂的加入可以提高酒体中的总酚类物质的生成。D组和H组中,随着DMY的浓度增加,梨酒总酚提升明显($P<0.05$),表明DMY可以促进梨酒发酵产生总酚,原因可能是酚类物质是果酒氧化的主要底物,氧化反应开始时,酚类物质与氧气结合生成醌,氧气被还原为过氧化氢。醌和过氧化氢进一步参与氧化反应,过氧化氢通过芬顿反应与Fe²⁺反应产生高反应性羟基自由基,进而氧化其他果酒成分。DMY可以代替酒体中的内源多酚参与氧化反应,将酒体中的内源多酚得到更好的保留的同时不影响酒体酚类的生成^[22]。DMY单独使用时,D1(50 mg/L)、D2(100 mg/L)因自身利用率低的原因,总酚含量明显低于CK组($P<0.05$)。DMY与SO₂混合使用时,总酚含量增长明显,其中H4的总酚含量最高(271.15 mg/L),可能是因为DMY和SO₂混合使用时,会降低多酚聚合度来对内源多酚的进行保护,此时酒体具有更好的抗氧化活性。这与上述实验中,自由基清除率的检测结果一致。

表1 不同组梨酒的基础理化指标

Table 1 Basic physical and chemical indexes of different groups of pear wine

组别	可溶性固形物(°Brix)	pH	总酸(g·L ⁻¹)	酒精度(%vol)	还原糖(g·L ⁻¹)
CK	6.53±0.008 ^a	3.92±0.045 ^a	3.65±0.101 ^a	11.07±0.059 ^a	0.61±0.005 ^a
S	6.52±0.022 ^a	3.92±0.036 ^a	3.64±0.011 ^a	11.04±0.104 ^a	0.61±0.008 ^a
D1	6.52±0.012 ^a	3.93±0.014 ^a	3.66±0.062 ^a	10.99±0.037 ^a	0.62±0.026 ^a
D2	6.54±0.031 ^a	3.94±0.009 ^a	3.65±0.005 ^a	11.11±0.029 ^a	0.62±0.005 ^a
D3	6.53±0.038 ^a	3.94±0.012 ^a	3.64±0.010 ^a	11.09±0.012 ^a	0.62±0.012 ^a
D4	6.53±0.016 ^a	3.95±0.014 ^a	3.64±0.028 ^a	11.09±0.050 ^a	0.62±0.005 ^a
H1	6.51±0.029 ^a	3.94±0.008 ^a	3.63±0.036 ^a	10.94±0.005 ^a	0.61±0.005 ^a
H2	6.52±0.025 ^a	3.96±0.008 ^a	3.63±0.051 ^a	10.95±0.006 ^a	0.62±0.000 ^a
H3	6.53±0.012 ^a	3.94±0.021 ^a	3.64±0.097 ^a	10.95±0.008 ^a	0.63±0.010 ^a
H4	6.53±0.065 ^a	3.94±0.017 ^a	3.63±0.075 ^a	11.04±0.065 ^a	0.62±0.005 ^a

注:同一列小同小写字母表示差异性显著($P<0.05$);表2~表3同。

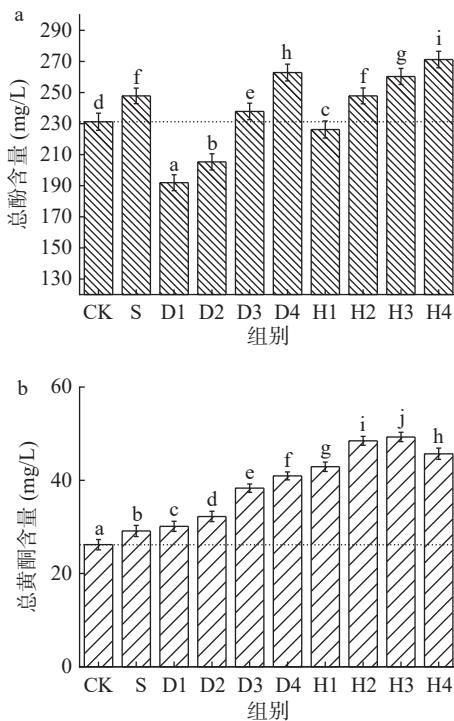


图 3 不同组梨酒总酚、总类黄酮含量情况

Fig.3 Contents of total phenols and total flavonoids in different groups of pear wine

类黄酮属于总酚的一种, 大多数类黄酮化合物都有较强的抗自由基作用, 同时有多种药理学活性, 具有抗炎、抑菌、抗肿瘤等功效。由图 3b 可知, S 组的总类黄酮含量显著优于 CK 组($P<0.05$), 说明 SO_2 的加入可以提高酒体中的总类黄酮类物质。随着 DMY 浓度增加, D 组的总类黄酮含量显著提升($P<0.05$)。一方面 DMY 属于外源类黄酮物质, 另一方面 DMY 的加入可以促进类黄酮类物质的形成, 原因与总酚含量增长的原因类似。H 组的类黄酮含量显著高于 D 组($P<0.05$), 这与总酚、自由基清除力的检测结果对应, 但不是浓度越高越好, H3 组总类黄酮含量最高(50.04 mg/L), 原因可能是抗氧化成分被氧化后所产生的过氧化自由基具有一定的氧化作用, 会引起连锁的消极副反应, 导致黄酮含量降低^[17]。

2.4 梨酒色度

果酒含有多种易被氧化的成分(酚类物质、某些金属离子及某些有机酸等)容易在酿造过程中产生褐变^[23]。比色管对比结果见图 4, 由图可知, CK 组已产生明显的褐变, 酒体呈棕色。S 组酒体透明, 颜色呈淡黄色。D 组酒体透明度明显优于 CK 组, 且随着

DMY 浓度的增加, 酒体颜色逐渐变浅, 因为 DMY 具有明显的抗氧化活性, 可以在一定程度上缓解酒体褐变。H 组组内颜色差异不明显, 且总体色泽情况优于 D 组, 原因是 DMY 单独使用时, DMY 溶解度低, 在发酵前期起到的抗氧化效果不明显, 酒体部分物质已被氧化产生褐变。

基于比色管结果, 使用色差仪进行色度检测, 以 S 组作为标准品, 不同组别梨酒色度结果见表 2, 由表 2 可知, S 组的 L^* 值明显高于 CK 组, 而 a^* 、 b^* 明显低于 CK 组, 说明 SO_2 的添加可以明显的提高酒体亮度, 减少颜色改变。D 组中, 随着 DMY 浓度的增加, D1、D2、D3、D4 的亮度逐渐提升($P<0.05$), a^* 、 b^* 逐渐减少($P<0.05$), 与 S 组的差距逐渐减少。H 组整体 L^* 值高于 D 组, de^* 值低于 D 组, 与 S 差距更小, 这与比色管观察结果一致。说明 DMY 联合 SO_2 (30 mg/L) 可以起到更好的护色效果, 但无论是单独使用 DMY 还是配合少量 SO_2 都很难达到与 SO_2 (60 mg/L) 相当的护色效果。

表 2 不同组梨酒色度指标表
Table 2 Color index of pear wine in different groups

组别	L^*	a^*	b^*	de^*
S	80.79 \pm 0.0010 ^d	3.31 \pm 0.0030 ^d	16.64 \pm 0.0021 ^a	—
CK	20.60 \pm 0.0082 ^a	14.24 \pm 0.025 ⁱ	29.98 \pm 0.20 ^e	62.61 \pm 0.046 ⁱ
D1	64.19 \pm 0.0047 ^c	8.47 \pm 0.0047 ^h	43.54 \pm 0.037 ⁱ	32.026 \pm 0.033 ^g
D2	62.26 \pm 0.0081 ^b	7.18 \pm 0.016 ^g	42.99 \pm 0.049 ^h	32.44 \pm 0.032 ^h
D3	65.15 \pm 0.068 ^d	4.52 \pm 0.0082 ^f	38.94 \pm 0.090 ^g	27.26 \pm 0.12 ^f
D4	73.88 \pm 0.0011 ^g	2.78 \pm 0.0047 ^a	38.00 \pm 0.020 ^f	22.78 \pm 0.017 ^e
H1	77.9 \pm 0.022 ⁱ	2.83 \pm 0.0094 ^b	20.58 \pm 0.0084 ^b	4.91 \pm 0.0082 ^a
H2	74.67 \pm 0.0094 ^h	3.23 \pm 0.0047 ^c	20.72 \pm 0.019 ^b	7.4 \pm 0.0047 ^b
H3	73.70 \pm 0.037 ^f	3.34 \pm 0.025 ^d	21.74 \pm 0.016 ^c	8.73 \pm 0.014 ^c
H4	71.83 \pm 0.025 ^e	3.58 \pm 0.0094 ^e	22.13 \pm 0.017 ^d	11.88 \pm 0.014 ^d

2.5 梨酒中挥发性物质含量

2.5.1 挥发性物质构成和比较 综合考虑 D、H 组的抗氧化能力和感官指标, D3、D4、H3、H4 组具有较好的梨酒酿造潜力, 故将 CK、S、D3、D4、H3、H4 组进行挥发性物质分析。如表 3 所示, 6 组梨酒共检出挥发性物质 37 种, 分为 5 类(醇类、醛类、酸类、酯类、烷类)。CK 组共检出 20 种, 总含量为 10793.00 $\mu\text{g/L}$; S 组共 17 种, 总含量为 8560.93 $\mu\text{g/L}$; D3 组共 18 种, 总含量为 8812.04 $\mu\text{g/L}$; D4 组共 21 种, 总含量为 9724.48 $\mu\text{g/L}$; H3 组共 21 种, 总含量为 10466.57 $\mu\text{g/L}$; H4 组共 24 种, 总含量为 11846.14 $\mu\text{g/L}$, S 组的种类和含量都低于其他 5 组。

酯类物质是梨酒中的重要香气物质, 6 组梨酒总酯含量依次为 H3(2767.23 $\mu\text{g/L}$)>H4(2613.42 $\mu\text{g/L}$)>CK(2264.61 $\mu\text{g/L}$)>S(1994.50 $\mu\text{g/L}$)>D4(1968.59 $\mu\text{g/L}$)>D3(1814.09 $\mu\text{g/L}$)。其中, 1-壬醇、苯乙醇、己酸乙酯、辛酸乙酯是库尔勒香梨酒的特征香气成分^[24], 由图 5 可知, H3、H4 特征香气成分明显高于其他组, 酒体具有更好的层次感和代表性。说明 DMY 可以促进梨酒发酵产生酯类物质, 原因是果酒中的高级醇主

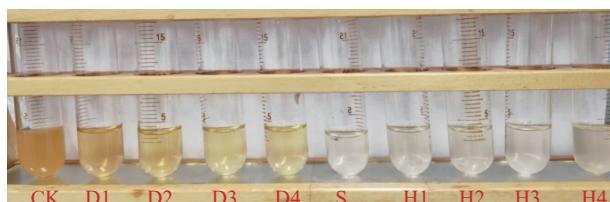


图 4 不同组梨酒比色情况图

Fig.4 Color comparison of pear wine in different groups

表3 不同组梨香气物质含量
Table 3 Content of aroma substances of pear in different groups

类别	序号	挥发性物质	含量(μg/L)					
			CK	S	D3	D4	H3	H4
醇类	A1	异丁醇	466.38±33.32 ^a	474.46±31.29 ^a	596.70±43.55 ^c	589.98±46.01 ^b	632.81±56.64 ^d	718.35±51.61 ^e
	A2	异戊醇	5187.13±111.64 ^e	4336.65±121.24 ^a	4769.38±100.49 ^c	5002.36±100.82 ^d	4632.13±111.23 ^b	5998.48±105.40 ^f
	A3	正丙醇	11.81±1.59 ^a	25.44±1.21 ^b	42.72±1.54 ^e	33.96±2.45 ^c	34.51±1.24 ^c	40.88±2.45 ^d
	A4	3-甲基-2-丁醇	208.02±3.15	ND	ND	ND	ND	ND
	A5	(R)-1,2-丙二醇	48.52±1.28	ND	ND	ND	ND	ND
	A6	苯乙醇	2530.88±70.45 ^e	1612.79±105.44 ^b	1451.69±96.45 ^a	1947.44±98.65 ^c	2213.29±85.47 ^d	2212.95±113.45 ^d
	A7	正辛醇	ND	21.55±0.58 ^b	17.95±0.88 ^a	24.27±1.12 ^c	28.53±1.11 ^d	29.91±2.25 ^e
	A8	正己醇	ND	29.18±1.54 ^a	34.54±1.54 ^b	36.83±1.53 ^c	39.69±2.45 ^d	45.56±2.34 ^e
	A9	异辛醇	ND	17.69±0.58 ^b	12.46±1.45 ^a	18.42±1.24 ^c	21.17±1.23 ^d	28.78±1.25 ^e
	A10	3-甲硫基丙内醇	ND	ND	13.55±1.32 ^a	22.24±1.45 ^c	ND	18.53±0.83 ^b
醛类	A11	2,3-丁二醇	ND	ND	13.36±1.56 ^b	6.18±0.52 ^a	ND	ND
	A12	1-壬醇	ND	ND	12.07±0.86 ^a	19.00±1.01 ^d	17.11±1.01 ^c	16.38±1.01 ^b
	A13	庚醇	ND	ND	ND	ND	18.84±1.23 ^a	19.96±1.23 ^b
		总醇	8452.74	6517.77	6964.41	7700.69	7638.08	9129.80
醛类	B1	乙缩醛	ND	24.34±1.23 ^a	ND	28.18±1.44 ^b	37.16±2.87 ^c	42.07±5.56 ^d
		总醛	ND	24.34	ND	28.18	37.16	42.07
酸类	C1	乙酸	26.23±1.24 ^d	24.32±1.35 ^c	33.54±1.12 ^f	27.03±1.56 ^e	21.41±1.76 ^b	19.61±1.45 ^a
	C2	正辛酸	ND	ND	ND	ND	ND	25.77±10.45
酯类		总酸	26.23	24.32	33.54	27.03	21.41	45.38
	D1	正己酸乙酯	155.89±8.65 ^b	195.66±10.56 ^c	142.71±13.45 ^a	142.11±5.54 ^a	233.26±10.25 ^e	210.54±17.56 ^d
	D2	癸酸乙酯	328.51±12.45 ^a	345.58±14.51 ^b	328.63±18.56 ^a	389.94±8.65 ^c	515.46±10.35 ^e	485.87±9.65 ^d
	D3	月桂酸乙酯	245.49±5.69	ND	ND	ND	ND	ND
	D4	乙酸乙酯	273.67±22.45 ^b	248.29±55.47 ^a	310.33±64.54 ^d	297.08±54.65 ^c	381.28±53.78 ^e	392.99±32.45 ^f
	D5	癸酸3-甲基丁酯	98.36±1.56	ND	ND	ND	ND	ND
	D6	乙酸苯乙酯	150.24±10.34 ^c	128.25±10.45 ^b	106.46±15.45 ^a	131.74±26.45 ^c	140.59±17.52 ^d	191.09±12.35 ^f
	D7	辛酸乙酯	543.14±78.65 ^a	705.54±19.45 ^d	596.48±45.45 ^b	615.19±54.45 ^c	963.40±18.86 ^f	845.18±10.45 ^e
	D8	乙酸异戊酯	184.14±10.32 ^b	175.54±12.56 ^a	186.77±5.64 ^b	179.33±23.54 ^a	299.99±20.45 ^d	260.05±10.45 ^c
	D9	辛酸3-甲基丁酯	104.99±5.86 ^b	ND	ND	ND	ND	17.16±1.53 ^a
酯类	D10	甲酸己酯	24.30±2.35	ND	ND	ND	ND	ND
	D11	己酸乙酯	154.89±11.48 ^b	191.66±10.65 ^c	145.71±20.45 ^a	146.11±38.13 ^a	234.26±8.56 ^e	211.54±25.23 ^d
	D12	壬酸乙酯	ND	ND	ND	71.11±2.21	ND	ND
		总酯	2264.61	1994.50	1814.09	1968.59	2767.23	2613.42
烷类	E1	六甲基环三硅氧烷	34.28±2.32	ND	ND	ND	ND	ND
	E2	环己硅氧烷	15.15±1.21 ^b	ND	ND	ND	2.70±0.02 ^a	15.46±0.19 ^b
		总烷	49.43	ND	ND	ND	2.70	15.46

注:“ND”表示未检出。

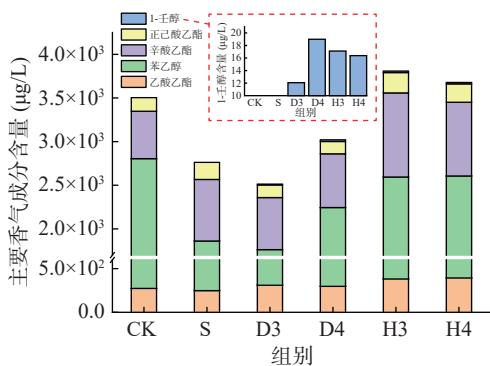


图5 主要香气成分含量图

Fig.5 Content of main aroma components

要是由葡萄糖、氨基酸经合成代谢和降解代谢产生的酮酸脱羧脱氢形成，酯类物质主要与酵母菌的生物

合成和酒体中的酯化反应有关^[25]，而 DMY 可以调节糖酵解、TCA 等多条循环代谢途径^[26]，DMY 可能影响了醇酯化反应中乙酰辅酶 A、脂肪酶等酶的生成，间接促进了酒体酯类物质的生成^[9]。

6 组梨酒的总醇含量依次为 H4(9129.80 μg/L) > CK(8452.74 μg/L) > D4(7700.69 μg/L) > H3(7638.08 μg/L) > D3(6964.41 μg/L) > S(6517.77 μg/L)。梨酒当中的主要醇类物质为异戊醇、苯乙醇、异丁醇。正己醇是一种在浆果、草本植物当中常见的风味物质，H4 组正己醇含量最高。

梨酒中的醛酸烷类物质对梨酒整体风味能起到一定的修饰作用，H4 组酸类和醛类含量多，酸类含量为 45.38 μg/L，醛类含量为 42.07 μg/L。CK 组中烷类物质为六甲基环三硅氧烷、环己硅氧烷，其他组中

未检出, 烷烃类物质会带有苦涩味, CK 组产出烷类物质的原因可能是未添加抗氧化剂进行抑菌处理, 导致发酵过程中产生烷类物质。

2.5.2 挥发性物质主成分分析 为直观地分析 6 组梨酒中挥发性物质的差异, 对检测出的 5 类挥发性物质进行 PCA 分析, 相关矩阵的贡献度及特征值见表 4。主成分 1 的贡献率为 50.30%, 主成分 2 的贡献率为 28.34%, 两者累计贡献度为 78.64%。PCA 与离子载荷图见图 6, 由图 6 可知, D3、S 组相关性较大, 其风味与酸类物质相关; H3、H4 相关度较高且与多种醇酯类风味物质有关。其余组距离较远, 相关性较低, 说明添加物情况的不同, 会明显影响梨酒风味。

表 4 主成分特征值及贡献度

Table 4 Eigenvalues and contribution of principal components

主成分	特征值	贡献率(%)	累积贡献率(%)
1	15.09	50.30	50.30
2	8.50	28.34	78.64
3	6.41	21.36	100

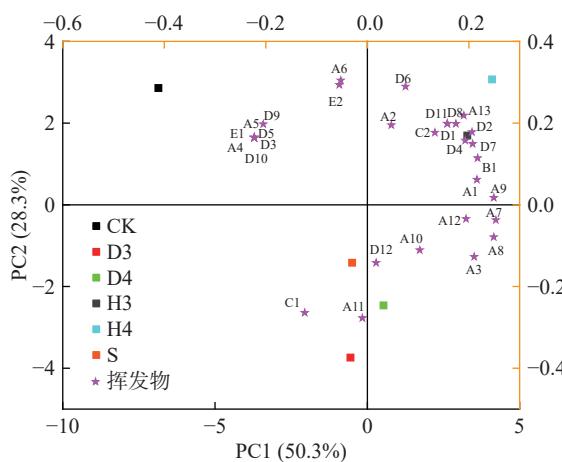


图 6 挥发性物质主成分分析

Fig.6 Principal component analysis of volatile substances

2.6 梨酒感官评价

基于人的嗅觉、视觉、味觉对上述 6 组梨酒的色

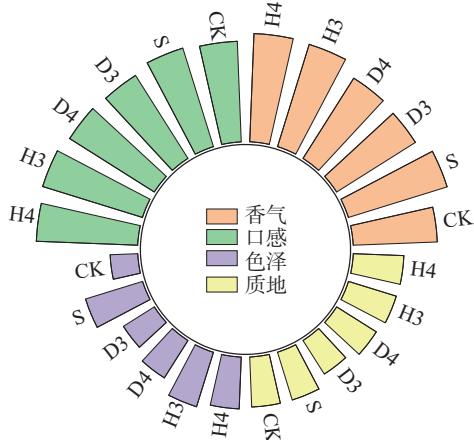


图 7 梨酒感官品评情况图

Fig.7 Radar chart of pear wine sensory tasting

泽、风味、口感、质地等指标进行感官评价, 进而全方面分析梨酒的品质。不同组梨酒感官品评情况见图 7。由图 7 可知, H3 组感官评价总分高于其他对照组, 这可能与 DMY 搭配 SO_2 可以促进酒体醇酯类物质生成有关, 评分达到 85.7 分。

3 讨论与结论

DMY 因具有抗氧化、抑菌性以及提高食品感官品质等功效^[4,9,27-28], 已广泛应用于食品、保健品等领域。本文通过测定酒体基础理化指标、抗氧化活性、总酚含量、总黄酮含量、色度及风味物质等指标, 研究了 DMY、 SO_2 以及二者联合使用对梨酒抗氧化活性及风味物质的影响。结果表明, 在酒精发酵前添加 DMY, 可以显著提升酒体抗氧化活性, 在一定浓度下(50~200 mg/L), 添加量越多, 抗氧化活性越强。原因是 DMY 含有 6 个酚羟基, 酚羟基可以调节高活性反应分子性氧簇和活性氮簇(ROS/RNS)平衡失调以及对重金属离子产生拮抗作用来发挥抗氧化效果^[29]。DMY 联合 SO_2 使用时, 抗氧化效果更加明显, 原因可能是 DMY 与 SO_2 之间存在某种协同作用, 对自由基具有更好的清除能力。其中, H4 组酿造的梨酒自由基清除率最高, DPPH 自由基清除率为 70.00%; ABTS⁺自由基清除率为 95.89%。同时, 添加 DMY 可以使梨酒香气更加丰腴(乙酸乙酯、己酸乙酯及辛酸乙酯等关键香气成分含量显著性增加), 所酿造的梨酒品质更好。其中, H3 组综合感官最佳, 总风味物质高达 10466.57 $\mu\text{g}/\text{L}$, 感官品评达到 85.7 分。与此同时, DMY 还可以促进梨酒总酚生成和改善酒体色泽。

与 SO_2 相比, DMY 在保证抗氧化活性和抑菌性的同时, 还具有更高的安全性。与传统梨酒相比, 添加 DMY 梨酒可以减少 H_2S 有害气体产生, 同时可以提高梨酒的口感。尽管 DMY 有这些不可否认的优势, 但它自身存在溶解度低的缺点, 且其对梨酒颜色的稳定作用弱于 SO_2 , 综合考虑 DMY 对果酒颜色及风味物质的影响, DMY 还无法完全替代 SO_2 在果酒中的应用。今后, 对 DMY 在果酒中的应用研究可考虑与其他方法联合使用, 如卢杏芬^[30]在果酒酿造中通入惰性气体, 此方法可减少外界 O_2 接触量, 缓解酒体氧化褐变, 袁梦等^[31]使用洋葱汁联合 SO_2 进行果酒发酵, 发现对葡萄酒自然发酵洋葱汁有部分取代 SO_2 的可能, 对接种发酵有全部取代 SO_2 的可能。另外, DMY 在果酒中的广泛使用还应考虑其对果酒贮藏的长效作用。

参考文献

- 陈晓姣, 刁体伟, 赖晓琴, 等. 不同酿造阶段添加富含谷胱甘肽酵母衍生物对梨子果酒品质的影响 [J/OL]. 食品科学: 1-16 [2023-03-09]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.ts.20220728.1823.014.html>. [CHEN X J, DIAO T W, LAI X Q, et al. Effect of adding glutathione rich yeast derivatives in different brewing stages on the quality of pear wine [J] Food Science: 1-16 [2023-03-09].

- http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.ts.20220728.1823.014.html]
- [2] LISANTI M T, BLAIOTTA G, NIOI C, et al. Alternative methods to SO₂ for microbiological stabilization of wine[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2019, 18(2): 455-479.
- [3] RENO A L, BROOKS E G, AMEREDES B T. Mechanisms of heightened airway sensitivity and responses to inhaled SO₂ in asthmatics[J]. *Environmental Health Insights*, 2015, 9(Suppl 1): 13-25.
- [4] LIU D, MAO Y, DING L, et al. Dihydromyricetin: A review on identification and quantification methods, biological activities, chemical stability, metabolism and approaches to enhance its bioavailability[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2019, 91: 586-597.
- [5] GUAN S, SHEN Y, GE H, et al. Dihydromyricetin alleviates diabetic neuropathic pain and depression comorbidity symptoms by inhibiting P2X(7) receptor[J]. *Frontiers in Psychiatry*, 2019, 10: 770.
- [6] LIU D, PANG W, DING L, et al. An insight into the inhibitory activity of dihydromyricetin against *Vibrio parahaemolyticus*[J]. *Food Control*, 2016, 67: 25-30.
- [7] 熊皓耳, 何国庆, 杨伟丽, 等. 显齿蛇葡萄提取物抗菌作用的研究[J]. *中国食品学报*, 2004(1): 58-62. [XIONG H E, HE G Q, YANG W L, et al. Study on antibacterial effect of Ampelopsis grossedentata extract[J]. *Chinese Journal of Food*, 2004(1): 58-62.]
- [8] 唐兰芳, 王锋, 谭兴和, 等. 两种工艺拐枣酒抗氧化成分及活性比较[J]. *中国酿造*, 2021, 40(1): 44-48. [TANG L F, WANG F, TAN X H, et al. Comparison of antioxidant components and activities of two kinds of craft Chinese date wine[J]. *Chinese brewing*, 2021, 40(1): 44-48.]
- [9] SILVA J, YU X, MORADIAN R, et al. Dihydromyricetin protects the liver via changes in lipid metabolism and enhanced ethanol metabolism[J]. *Alcoholism, Clinical and Experimental Research*, 2020, 44(5): 1046-1060.
- [10] LI H, LI Q, LIU Z, et al. The versatile effects of dihydromyricetin in health[J]. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine: eCAM*, 2017, 2017: 1053617.
- [11] TIAN Y, SANG H, LIU M, et al. Dihydromyricetin is a new inhibitor of influenza polymerase PB2 subunit and influenza-induced inflammation[J]. *Microbes and Infection*, 2020, 22(6-7): 254-62.
- [12] 由璐, 赵艳雪, 隋茜茜, 等. 预处理对欧李酒品质及抗氧化的影响[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(14): 13-19. [YOU L, ZHAO Y X, SUI X X, et al. Effect of pretreatment on quality and antioxidation of plum wine[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(14): 13-19.]
- [13] 范金波, 蔡茜彤, 冯叙桥, 等. 咖啡酸体外抗氧化活性的研究[J]. *中国食品学报*, 2015, 15(3): 65-73. [FAN J B, CAI X T, FENG X Q, et al. Study on the antioxidant activity of caffeic acid in vitro[J]. *Chinese Journal of Food*, 2015, 15(3): 65-73.]
- [14] 杨玥, 杨再波, 贺银菊, 等. 拐枣与拐枣养生酒总黄酮的含量分析比较研究[J]. *广州化工*, 2020, 48(22): 143-5,67. [YANG Y, YANG Z B, HE Y J, et al. Analysis and comparative study on the content of total flavonoids in *Calligonum dulcis* and its health wine[J]. *Guangzhou Chemical Industry*, 2020, 48(22): 143-5,67.]
- [15] 田金辉, 许时婴, 王璋. 热烫处理对黑莓果汁营养成分和多酚氧化酶活力的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2006(4): 133-137. [TIAN J H, XU S Y, WANG Z. Effects of blanching treatment on nutritional components and polyphenol oxidase activity of blackberry juice[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2006(4): 133-137.]
- [16] 吴瑞梅, 赵杰文, 陈全胜, 等. 绿茶汤色品质感官评价的色差仪表征方法研究[J]. *河南农业科学*, 2014, 43(1): 149-53. [WU R M, ZHAO J W, CHEN Q S, et al. Study on color difference instrumental method for sensory evaluation of green tea color quality[J]. *Henan Agricultural Science*, 2014, 43(1): 149-53.]
- [17] 刁体伟, 陈晓姣, 冷银江, 等. 植物源多酚对梨酒抗氧化能力及其感官品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(23): 93-101. [DIAO T W, CHEN X J, LENG Y J, et al. Effects of plant derived polyphenols on antioxidant capacity and sensory quality of pear wine[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2022, 48(23): 93-101.]
- [18] 张清安, 徐博文, 陈博宇, 等. 超声降低红酒中高级醇含量对酒体风味特性的影响[J]. *中国农业科学*, 2021, 54(8): 1772-1786. [ZHANG Q A, XU B W, CHEN B Y, et al. The effect of ultrasonic reduction of higher alcohol content in red wine on the flavor characteristics of wine[J]. *Chinese Journal of Agricultural Sciences*, 2021, 54(8): 1772-1786.]
- [19] 曾庆帅, 廖森泰, 张名位, 等. 储藏温度对荔枝果汁中酚类物质含量及抗氧化能力的影响[J]. *中国食品学报*, 2012, 12(3): 112-118. [ZENG Q S, LIAO S T, ZHANG M W, et al. Effect of storage temperature on the content of phenols and antioxidant capacity of litchi juice[J]. *Chinese Journal of Food*, 2012, 12(3): 112-118.]
- [20] GARAGUSO I, NARDINI M. Polyphenols content, phenolics profile and antioxidant activity of organic red wines produced without sulfur dioxide/sulfites addition in comparison to conventional red wines[J]. *Food Chem*, 2015, 179: 336-342.
- [21] 赵昊, 宋晶晶, 于佳俊, 等. 不同产区葡萄酒多酚物质抗氧化活性差异及相关性分析[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(6): 84-91. [ZHAO H, SONG J J, YU J J, et al. Difference and correlation analysis of antioxidant activity of polyphenols in wine from different regions[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2021, 47(6): 84-91.]
- [22] GIOVINAZZO G, GRIECHO F. Functional properties of grape and wine polyphenols[J]. *Plant Foods Hum Nutr*, 2015, 70(4): 454-462.
- [23] 杨华. 砀山梨酒氧化褐变的机制及调控[D]. 无锡: 江南大学, 2021. [YANG H. Mechanism and regulation of oxidative browning of Dangshan pear wine [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021]
- [24] 周文杰, 张芳, 王鹏, 等. 基于GC-MS/GC-O结合化学计量学方法研究库尔勒香梨酒的特征香气成分[J]. *食品科学*, 2018, 39(10): 222-227. [ZHOU W J, ZHANG F, WANG P, et al. Study on characteristic aroma components of Korla pear wine based on GC-MS/GC-O combined with chemometrics[J]. *Food Science*, 2018, 39(10): 222-227.]
- [25] 田怀香, 熊娟涓, 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, XIONG J J, YU H Y, et al. Research progress in biotransformation and regulation mechanism of aroma compounds in fruit

- wine[J]. *Food Science*, 2022, 43(19): 36–47.]
- [26] ZHANG J, CHEN Y, LUO H, et al. Recent update on the pharmacological effects and mechanisms of dihydromyricetin[J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2018, 9: 1204.
- [27] YE L, WANG H, DUNCAN S E, et al. Antioxidant activities of Vine Tea (*Ampelopsis grossedentata*) extract and its major component dihydromyricetin in soybean oil and cooked ground beef[J]. *Food Chem*, 2015, 172: 416–22.
- [28] 李颖畅, 李双燕, 杜凤霞, 等. 二氢杨梅素对煎烤鱿鱼片贮藏过程中氧化三甲胺降解及品质的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(7): 247–252. [LI Y C, LI S Y, DU F X, et al. Effect of dihydromyricetin on degradation of trimethylamine oxide and quality of fried and roasted squid slices during storage[J]. *Food Science*, 2021, 42(7): 247–252.]
- [29] 郭清泉, 林淑英, 李大光, 等. 二氢杨梅素抗氧化机制探讨[J]. *食品科学*, 2006(5): 121–3. [GUO Q Q, LIN S Y, LI D G, et al. Study on antioxidation mechanism of dihydromyricetin[J]. *Food Science*, 2006(5): 121–3.]
- [30] 卢杏芬. 防止葡萄酒在贮藏期间发生氧化的保护方法[J]. *食品与发酵工业*, 1979(6): 88–90, 87. [LU X F. Protection methods to prevent wine from oxidation during storage[J]. *Food and Fermentation Industry*, 1979(6): 88–90, 87.]
- [31] 袁梦, 马雷, 李杰, 等. 添加洋葱汁和二氧化硫的赤霞珠红葡萄酒发酵生成挥发性化合物的比较[J]. *食品科技*, 2021, 46(10): 46–53. [YUAN M, MA L, LI J, et al. Comparison of volatile compounds produced by fermentation of Cabernet Sauvignon red wine with onion juice and sulfur dioxide[J]. *Food Science and Technology*, 2021, 46(10): 46–53.]