

不同催陈处理对菊花米酒功能成分及风味物质的影响

高伟, 尹怀宁, 王爱元, 丁保坤, 张云豪, 熊伶, 冯鑫月, 陈茂彬, 张玉

Effects of Different Aging Treatments on Functional Components and Flavor Substances of Chrysanthemum Rice Wine

GAO Wei, YIN Huaining, WANG Aiyuan, DING Baokun, ZHANG Yunhao, XIONG Ling, FENG Xinyue, CHEN Maobin, and ZHANG Yu

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024030228>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

两种酿酒酵母发酵对桑葚米酒理化品质及香气成分的影响

Effects of Aroma Components and Physicochemical Quality of Mulberry Rice Wine Fermented by Two *Saccharomyces cerevisiae*

食品工业科技. 2019, 40(24): 242-250,261 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.24.040>

超高压处理对发芽糙米酒中 γ -氨基丁酸及挥发性成分的影响

Effect of Ultra High Pressure Treatment on γ -Aminobutyric Acid and Volatile Components in Germinated Brown Rice Wine

食品工业科技. 2019, 40(20): 29-35 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.20.005>

超声提取-气相色谱-串联质谱法测定煎烤鱿鱼中16种多环芳烃

Determination of 16 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons(PAHs) in Fried Squid by Ultrasonic Extraction-Gas Chromatography-Mass Spectrometry

食品工业科技. 2021, 42(16): 263-270 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020110268>

基于GC-MS和GC-O的浓香菜籽油特征风味物质分析

Characteristic Flavor Compounds in Fragrant Rapeseed Oil by Gas Chromatography-Mass Spectrometry and Chromatography-Olfactometry

食品工业科技. 2019, 40(1): 239-245 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.01.043>

陈酿时间对玫瑰醋挥发性风味物质的影响

Effect of Aging Time on Volatile Flavor Substances of Rosy Vinegar

食品工业科技. 2024, 45(3): 270-276 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023030281>

微波无溶剂萃取法提取野菊花精油工艺及成分分析

Extracting Process of Essential Oil from *Chrysanthemum indicum* by Solvent-free Microwave Extraction and Its Components Analysis

食品工业科技. 2021, 42(18): 226-234 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021020185>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

高伟, 尹怀宁, 王爱元, 等. 不同催陈处理对菊花米酒功能成分及风味物质的影响 [J]. 食品工业科技, 2025, 46(4): 194–204. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024030228

GAO Wei, YIN Huaining, WANG Aiyuan, et al. Effects of Different Aging Treatments on Functional Components and Flavor Substances of Chrysanthemum Rice Wine[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(4): 194–204. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024030228

· 工艺技术 ·

不同催陈处理对菊花米酒功能成分及风味物质的影响

高伟¹, 尹怀宁¹, 王爱元¹, 丁保坤^{1,2}, 张雲豪¹, 熊伶¹, 冯鑫月¹, 陈茂彬¹, 张玉^{1,*}
(1.湖北工业大学生命科学与健康工程学院, 发酵工程教育部重点实验室, 工业发酵省部共建
协同创新中心, 工业微生物湖北省重点实验室, 湖北武汉 430068;
2.湖北艾合菊科技有限责任公司, 湖北麻城 438300)

摘要:为探究不同催陈处理对菊花米酒功能性成分和风味物质的影响, 采用超声 (US)、微波 (MW)、超声微波联合 (SW) 三种方法分别处理米酒和菊花米酒 3 d 和 7 d, 对样品的基本理化指标、抗氧化活性、风味物质及感官评价进行分析。结果表明: 微波处理 7 d 菊花米酒还原糖含量最高为 112.92 ± 7.39 mg/mL; 三种催陈处理的样品总酸含量都有所上升, 超声处理 7 d 可以显著提高菊花米酒中总酸含量 ($P < 0.05$); 微波处理 3~7 d, 米酒和菊花米酒的多酚含量均增加, 超声处理条件下黄酮含量增加。抗氧化活性分析发现, 与对照组相比, 微波处理 7 d 后, 菊花米酒的 DPPH 自由基清除率由 $60.49\% \pm 0.04\%$ 降至 $19.69\% \pm 1.78\%$ ($P < 0.05$); 超声微波联合处理 3 d 后, 菊花米酒的 ABTS⁺ 自由基清除率增加, 其他处理下 ABTS⁺ 自由基清除率降低; 三种方法都能提高菊花米酒的总抗氧化能力, 微波处理 7 d 后, 菊花米酒的总抗氧化能力最高; 催陈过程中菊花米酒自由基清除率和总抗氧化能力均强于米酒。GC-MS 结果表明, 三种催陈处理下, 菊花米酒风味物质种类和相对含量呈下降趋势, 但异丁醇在不同条件下均有增加; 超声微波联合处理 3 d, 棕榈酸乙酯相对含量明显增加; 三种方法处理菊花米酒, 3-羟基-2-丁酮相对含量均有增加; 超声处理 3 d 后, 菊花米酒风味物质保留效果最佳, 检测出 34 种风味物质。感官评价结果表明, 超声微波联合处理 3 d, 菊花米酒的口感协调并呈现出花蜜味。表明适合的催陈方法可以丰富菊花米酒的风味物质, 均衡米酒的营养成分并改善口感。

关键词:菊花米酒, 催陈, 微波, 超声, 气相色谱-质谱法 (GC-MS)

中图分类号: TS213.3

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2025)04-0194-11

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2024030228

本文网刊:



Effects of Different Aging Treatments on Functional Components and Flavor Substances of Chrysanthemum Rice Wine

GAO Wei¹, YIN Huaining¹, WANG Aiyuan¹, DING Baokun^{1,2}, ZHANG Yunhao¹, XIONG Ling¹,
FENG Xinyue¹, CHEN Maobin¹, ZHANG Yu^{1,*}

(1. School of Life and Health Sciences, Hubei University of Technology, Key Laboratory of Fermentation Engineering,
Ministry of Education Collaborative Innovation Center for Industrial Fermentation, Hubei Provincial Key
Laboratory of Industrial Microbiology, Wuhan 430068, China;
2. Hubei Aiheju Technology Co., Ltd., Macheng 438300, China)

Abstract: Three methods including ultrasound (US), microwave (MW), and a combination of ultrasound and microwave (SW), were used to treat rice wine and chrysanthemum rice wine for 3 and 7 d respectively. The basic physicochemical indicators, antioxidant activity, flavor substances, and sensory evaluation of wine samples were analyzed to explore the

收稿日期: 2024-06-27

基金项目: 省科技厅科研计划项目-省自然科学基金面上类项目 (2022CFB476)。

作者简介: 高伟 (2001-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品发酵, E-mail: 728759052@qq.com。

* 通信作者: 张玉 (1982-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品酿造技术与工程, E-mail: yuzhang@mail.hbut.edu.cn。

effects of different aging treatments on the functional components and aromatic profile of chrysanthemum rice wine. The results showed that after 7 d of microwave treatment, chrysanthemum rice wine exhibited the highest reducing sugar content of 112.92 ± 7.39 mg/mL. The total acid content of the samples increased under three different aging methods. Notably, 7 d of ultrasound treatment significantly increased the total acid content in chrysanthemum rice wine ($P < 0.05$). After 3~7 d of microwave treatment, the polyphenol content of both rice wine and chrysanthemum rice wine increased, while the flavonoid content enhanced under ultrasound treatment conditions. Antioxidant activity assessments demonstrated that, in contrast to the control group, the DPPH radical scavenging capacity of chrysanthemum rice wine decreased from $60.49\% \pm 0.04\%$ to $19.69\% \pm 1.78\%$ after microwave treatment for 7d ($P < 0.05$). Following a 3 d of combined ultrasound and microwave treatment, the ABTS⁺ radical scavenging rate of chrysanthemum rice wine rose, while it decreased under other treatments. All three methods improved the total antioxidant capacity of chrysanthemum rice wine, with microwave treatment for 7 d yielding the highest FRAP value. During the aging process, the free radical scavenging rate and total antioxidant capacity of chrysanthemum rice wine were stronger than those of rice wine. GC-MS analysis indicated that the types and relative contents of flavor substances in chrysanthemum rice wine decreased under three different aging treatments, but isobutanol increased under different conditions. After 3 d of combined ultrasonic microwave treatment, the relative content of ethyl palmitate increased significantly. The relative content of 3-hydroxy-2-butanone increased under three treatments of chrysanthemum rice wine. Ultrasound treatment for 3 d had the best retention effect on the flavor compounds in chrysanthemum rice wine, preserving 34 flavor substances. The sensory evaluation results showed that after 3 d of combined ultrasound and microwave treatment, chrysanthemum rice wine possessed a harmonious taste and exhibited a floral honey aroma. This suggests that appropriate aging techniques can enrich the flavor compounds, balance the nutritional constituents, and improve the taste of chrysanthemum rice wine.

Key words: chrysanthemum rice wine; aging; microwave; ultrasound; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

米酒作为中国传统发酵食品,是糯米经过浸泡、蒸煮、摊凉、加曲、糖化发酵等多个工艺制作而成的低度酒类饮品,深受不同年龄阶段的消费者喜爱^[1]。福白菊是一种药食同源中药材,被广泛应用于保健食品、化妆品等领域,因其具有抗氧化等保健功效已成为功能性茶或饮料的常用原料^[2]。为了使米酒中的功能性营养成分更加突出,提高米酒的品质,将药食同源性原料添加到米酒中进行混合发酵,可使其具有更高的保健功能和营养价值^[3]。功能性原料米酒具有原料选取的多样性和发酵过程的简单易控制性,在米酒酿造原料中添加具有功能性的福白菊,共同发酵成具有保健功能的菊花米酒产品,不仅丰富米酒市场,提升产品的附加值,还为产品开发和资源利用提供新的思路,符合当前大健康的背景和国民不断提高的营养和保健意识^[4]。

近年来,一些人工催陈新技术被广泛应用于酒类行业,如微波催陈、超声催陈、脉冲电场催陈、超高压催陈等^[5-8]。催陈处理可以在短时间内使风味口感达到最佳,并能延长货架期。陈卓瑶等^[9]发现微波处理的黑米酒中总酚、总黄酮含量、以及抗氧化活性随着微波功率的增大、温度的升高、时间的延长均有不同程度的下降,与陈酿过程中的变化大致相同,说明微波处理可以有效地催陈黑米酒并保留有效成分。Chang 等^[10]发现采用 20 kHz 的超声波对米酒和玉米酒进行催陈处理时,米酒的催陈效果要好于玉米酒,通过对比理化指标、感官评价后,发现 20 kHz 的处理效果优于 1.6 MHz^[11],说明低频超声波更适用于米酒的催陈。张任^[12]采用超声-微波协同催陈功能性米酒,通过单因素实验与正交试验,以 DPPH 和

ABTS⁺自由基清除率为评价指标,微波功率 160 W、陈酿时间 4 min、温度 60 °C,在此工艺条件下功能性米酒的 DPPH 自由基清除率由 48.6% 提高至 56.4%, ABTS⁺自由基清除率由 59.3% 提高至 64.9%,充分利用超声波的空化作用与微波的热效应,促进米酒的催陈,为超声-微波协同应用于米酒的快速催陈提供了一定理论依据。本团队前期对菊花米酒的制作工艺和自然陈酿期间风味和功能性成分进行了跟踪分析,发现自然陈酿过程中很多有效功能成分会随着老化的过程而逐渐降低^[13]。同时研究发现一些复合型米酒由于原料或者发酵工艺的影响,在陈酿期间会存在产品质量不稳定和酒体组分不协调等问题^[14]。

针对上述问题,本实验通过研究催陈处理对米酒和菊花米酒中功能性成分和风味物质的影响,与未经催陈处理的样品比较,在保证口感协调基础上,兼具功效性及风味成分,探讨功能性米酒生产的最佳催陈工艺,为新型米酒工业化生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

福白菊细微粉 湖北省麻城市;圆糯米 五常市彩旗桥米业有限公司;甜酒曲 安琪酵母股份有限公司;2,2-联苯基-1-苦基基基(DPPH);2,2-联氮-二(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐(ABTS);2,4,6-三(2-吡啶)-三嗪(TPTZ) 均采购自 macklin 生化科技有限公司(上海);NaCl(分析纯),无水乙醇(分析纯) 国药集团化学试剂有限公司(上海)。

PHSJ-3F pH 计 上海仪电科学仪器股份有限公司;MultifugeX1R 高速冷冻离心机 赛默飞科技(上海)有限公司;UV-2102 紫外可见分光光度计

尤尼柯(上海)仪器有限公司; AR3130 电子分析天平 梅特勒托利多仪器(上海)有限公司; P70D20P-TD 真空微波装置 中国格兰仕公司; KQ-1000VDE 双频数控超声波清洗器 昆山市超声仪器有限公司; 7890B-5977B 气相色谱-质谱联用仪 安捷伦科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品制备 本实验所用到的米酒和菊花米酒样品是根据最佳工艺制作,详细工艺流程参考文献[15]。对照组采用新鲜制备的米酒和菊花米酒进行检测,对制备所得的样品分别进行超声(US)、微波(MW)、超声+微波联合(SW)催陈处理。US采用固定频率40 kHz,一天8次,每次时间2 min,间隔30 min,分别持续3 d和7 d;MW采用固定功率320 W、温度50℃,一天4次,每次时间1 min,间隔30 min,分别持续3 d和7 d;SW,每天对样品微波处理2次,采用固定功率320 W、温度50℃,每次30 s,间隔30 min,超声处理4次,采用固定频率40 KHz,每次1 min,间隔30 min,分别持续3 d和7 d。US-3、US-7、MW-3、MW-7、SW-3、SW-7分别代表三种方法处理3 d和7 d。完成后,将样品放置于-4℃冰箱保存,以便后续检测。

1.2.2 总糖含量测定 还原糖含量测定以葡萄糖计,采用DNS法,通过分光光度计测量。酒样稀释后,取0.5 mL,加1.5 mL DNS试剂,沸水浴5 min冷却后加4 mL蒸馏水,在540 nm处测吸光度,同时测得标准曲线($y=0.2165x+0.0047$, $R^2=0.9983$),进行计算。

1.2.3 总酸含量测定 参考GB 12456-2021《食品安全国家标准 食品中总酸的测定》[16];吸取试样10 mL于150 mL烧杯中,加入无二氧化碳的水50 mL。烧杯中放入磁力搅拌棒,置于电磁搅拌器上搅拌,用NaOH标准滴定溶液(0.1 mol/L)滴定,pH8.20为终点。记录消耗NaOH标准滴定溶液的体积(V_1)。同时做空白试验,记录空白试验所消耗NaOH标准滴定溶液的体积(V_2)。样品总酸含量按式(1)计算:

$$X(\text{g/L}) = \frac{(V_1 - V_2) \times c \times 0.090}{V} \times 1000 \quad \text{式(1)}$$

式中: X表示试样中总酸的含量, g/L; V_1 表示试样消耗0.1 mol/L NaOH标准滴定溶液的体积, mL; V_2 表示空白试验消耗0.1 mol/L NaOH标准滴定溶液的体积, mL; c表示NaOH标准滴定溶液的浓度, mol/L; 0.090表示乳酸摩尔质量, kg/mol; V表示吸取试样的体积, mL。

1.2.4 总黄酮含量测定 总黄酮测定方法参考Zheng等[17]的方法进行,并通过预实验进行修改。将1 mL样品与2 mL三氯化铝(0.1 mol/L)、3 mL乙酸钾(1 mol/L)混合,用70%乙醇将溶液定容至

10 mL,静置反应30 min后在420 nm处测得吸光度。使用芦丁作为标准样品,测得标准曲线($y=0.0321x-0.0031$, $R^2=0.9977$),总黄酮表示为每mL样品的mg芦丁当量。

1.2.5 总多酚含量测定 参考Li等[18]实验经过调整得到总酚测定方法。将0.5 mL样品与2.5 mL福林酚(FC)试剂混合,随后加入7 mL 20%碳酸钠开始反应。在室温暗反应2 h,765 nm处测量吸光度。使用没食子酸试剂作为标准样品,参照上述方法测得标准曲线($y=18.86x+0.2378$, $R^2=0.9978$),总酚含量以每mL样品的mg没食子酸当量。

1.2.6 DPPH自由基清除率测定 DPPH自由基清除率实验参考Du等[19]的方法进行,并通过预实验进行修改。将250 μL 样品与5 mL 0.1 mmol/L的DPPH乙醇溶液混合作为实验组,将250 μL 样品与5 mL无水乙醇溶液混合做对照组,DPPH乙醇溶液为空白组,室温下暗反应30 min,8000 r/min离心5 min去除杂质沉淀,在波长517 nm处测出吸光度,DPPH·清除率按式(2)计算:

$$\text{清除率}(\%) = \frac{A_0 - (A_s - A_c)}{A_0} \times 100 \quad \text{式(2)}$$

式中: A_0 为空白组OD值; A_s 为实验组OD值; A_c 为对照组OD值。

1.2.7 ABTS⁺自由基清除率测定 ABTS⁺自由基清除率检测参考Tian等[20]的方法测定,并通过预实验进行修改。将ABTS试剂溶于纯水制得7 mmol/L的ABTS原液与2.5 mmol/L过硫酸钾溶液(1:1; V:V)混合制成工作溶液,室温避光存放12~16 h,将工作液在734 nm处稀释至OD=0.7左右备用。将750 μL 样品与5 mL稀释后的工作溶液混合,室温放置6 min,734 nm测得 A_c ,无样品工作液为对照组得 A_0 ,ABTS⁺·清除率按式(3)计算:

$$\text{清除率}(\%) = \frac{A_0 - A_c}{A_0} \times 100 \quad \text{式(3)}$$

式中: A_c 为734 nm处实验组OD值; A_0 为734 nm处对照组OD值。

1.2.8 铁还原抗氧化能力(FRAP)测定 FRAP检测依据文献提及的方法,并进行修改[21]。配置乙酸缓冲溶液(300 mmol/L, pH3.6),TPTZ溶液(10 mmol/L, 40 mmol/L HCl), $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 溶液(20 mmol/L),根据需要将上述三种溶液按照体积比10:1:1混合制成工作溶液,现配现用。将100 μL 样品加入到3 mL工作溶液中,37℃保温8 min后在593 nm处测得吸光度。用 FeSO_4 溶液测定标准曲线: $y=0.4144x+0.0589$, $R^2=0.9983$,以硫酸亚铁溶液浓度(mmol/L)表示 Fe^{3+} 的还原能力。

1.2.9 GC-MS风味物质检测 使用GC-MS对样品进行挥发性成分鉴定。根据文献中描述的方法测定样品中挥发性成分的含量[22],样品采用顶空固相微萃

取前处理,将 6 mL 酒样与 3 g NaCl 在顶空瓶中混合,放置于恒温磁力搅拌器上 55 °C 平衡 15 min (500 r/min),插入萃取纤维吸附 30 min 后进样解析 70 s,采用二甲基硅氧烷 SPME 固相微萃取萃取头。气相色谱条件:CP-WAX57CB 色谱柱(50 m×0.25 mm×0.20 μm);载气为高纯氦气(He),恒定流速为 0.7 mL/min,采用不分流模式;色谱柱初始温度 45 °C 保持 1.5 min,以 6 °C/min 升至 85 °C,再以 4 °C/min 升至 225 °C 保持 15 min。质谱条件:电子电离源(EI),四极杆温度 150 °C,传输线温度 250 °C,离子源温度 230 °C,电子能量 70 eV,全扫描模式,扫描质量范围 30~550 aum。

定性方法:采用质谱谱库检索,通过与 NIST(美国国家标准技术研究院质谱库)谱库进行数据比对,依据色谱图提供的相关信息(样品名称、保留时间、结构式、CAS 号等)对检测出的挥发性成分进行定性分析。定量方法:通过面积归一化法计算每个组分的相对含量,依据挥发性成分峰面积百分比进行计算。

1.2.10 感官评价 评分标准参考相关文献 [23],结合米酒产品相关的感官评价标准进行修改。由经过米酒品鉴专业培训的 20 名品鉴师(男 10 名,女 10 名)组成评审小组,评价小组从颜色、浊度、酒香、花香、口感、甜度、酸度、酒体八个方面对样品的感官特性进行评价。品酒室温度保持在 25 °C,恒温恒

表 1 菊花米酒感官评定标准

Table 1 Sensory evaluation standard of chrysanthemum rice wine

项目	评分标准	分值
颜色	色泽均匀纯正,呈淡黄色,酒体清亮有光泽	8~10
	色泽较为均匀,呈浅黄色,酒体清亮色泽较浅	4~7
	色泽不均匀,呈微黄色,酒体暗淡无光泽	0~3
浊度	酒体清澈透明,无异物悬浮	8~10
	酒体较为清澈,含有少量悬浮物	4~7
	酒体浑浊,悬浮物较多	0~3
酒香	具有米酒的清雅醇香,无异味	8~10
	具有淡薄米酒香气,无异味	4~7
	米酒香气不明显,有异杂味	0~3
花香	具有淡雅菊花香,无异味	8~10
	具有淡薄菊花香,无异味	4~7
	菊花香气不明显,有异杂味	0~3
口感	柔和,酸甜适宜,清爽无异味	8~10
	柔和,酸甜不协调,无异味	4~7
	酸甜不协调,口感寡淡,有异杂味	0~3
甜度	口感协调,甜度适中,香甜不腻	8~10
	口感柔和,甜度较高,无不适感	4~7
	口感单一,甜度过高,产生腻感	0~3
酸度	口感饱满轻盈,酸味适中无酸涩感	8~10
	口感单调、乏味,略微酸涩	4~7
	酸味强烈,酸涩口感失衡	0~3
酒体	酒体协调,具有米酒的典型风格	8~10
	酒体不够协调、较为单一,具有米酒的典型风格	4~7
	酒体组分不协调、有异味,无明显米酒风味特征	0~3

湿,空气中无异味,15 mL 酒样分装在 30 mL 专业品酒杯,每个人对酒样进行盲评打分,进行三轮重复评估,取平均值。具体评分标准见表 1,标准分数被量化为 3 个等级(弱:0~3;中等:4~7;强烈:8~10),并将结果汇总并绘制在雷达图上^[24]。

1.3 数据处理

所有的实验都进行了至少三次重复。数据表示为平均值±标准偏差(SD)。Design-Expert (version 8.0.6) 软件用于实验设计和数据进行分析;使用 GraphPad Prism 8.2.1 进行作图和进行回归方差分析 ANOVA;使用 Tukey 检验进行方差分析和差异的统计显著性测定,确定均值之间的显著性 ($P<0.05$);Origin 2021b 软件对数据进行处理和作图。

2 结果与分析

2.1 不同催陈处理对菊花米酒基本理化指标的影响

还原糖含量是评价米酒的重要指标,如表 2 所示,三种方法对米酒处理,与对照组相比,3 d 时还原糖含量均有提高,7 d 时 US 和 MW 上升,仅有 SW 下降,其中 US-7 处理下为最高 108.07±6.34 mg/mL。菊花米酒在三种方法处理下,3~7 d 还原糖含量均有增加,但是与对照组相比,仅有 US-3、US-7 和 MW-7 还原糖含量增加,其他处理方法低于对照组,MW-7 为最高 112.92±7.39 mg/mL。米酒和菊花米酒对照组相比,加入菊花之后,还原糖含量增加;三种方法对比分析,US 对于米酒和菊花米酒还原糖均有增加。

随着时间增加,总酸含量呈现上升趋势,仅有米酒 MW-7 下降,其它处理总酸含量均有提高;SW-7 和 US-7 分别对米酒和菊花米酒总酸含量提高最显著 ($P<0.05$),为 10.83±0.07 g/L 和 10.58±0.15 g/L。适量的酸在米酒中起到缓冲、调和的作用,并在贮存过程中逐步形成芳香酯^[25]。陈萍等^[26]采用超声波对葡萄酒处理时发现,超声波能加速葡萄酒内部的氧化、还原、酯化反应,改变葡萄酒中酸类、酯类等物质含量,推测 US 相对其它方式能显著 ($P<0.05$) 提高米酒中酸类物质含量。

福白菊已被证明存在大量多酚和黄酮等功能性成分,这类物质的种类与含量会显著影响米酒的抗氧化性能^[27]。如表 2 所示,三种催陈方法处理 0~3 d 米酒与菊花米酒的多酚含量均下降,SW 处理下多酚含量下降显著 ($P<0.05$);MW 处理 3~7 d 样品多酚含量增加 (0.01 mg/mL),SW 处理多酚含量保持不变,US 处理多酚含量下降 12.5%。样品的黄酮含量也在 0~3 d 内下降,US 对黄酮含量下降影响最大 ($P<0.05$);3~7 d,US 处理下两者黄酮含量均增加,SW 只在菊花米酒中黄酮含量略微增加,MW 保持下降趋势;样品对比分析发现,菊花米酒中多酚和黄酮含量始终高于米酒。结果表明,MW-3 和 MW-7 分别对黄酮和多酚保留效果最佳,MW-3 黄酮含量最高

表2 米酒和菊花米酒不同时间和处理方式下还原糖、总酸、多酚、黄酮含量

Table 2 Content of reducing sugars, total acids, polyphenols and flavonoids in rice wine and chrysanthemum rice wine under different time and treatment methods

检测指标	处理方式	米酒			菊花米酒		
		对照组	3 d	7 d	对照组	3 d	7 d
还原糖(mg/mL)	US	86.64±3.66 ^{Aa}	89.60±9.30 ^{Aa}	108.07±6.34 ^{Aa}	100.25±6.45 ^{Aa}	102.91±8.82 ^{Aa}	108.61±3.27 ^{Aa}
	MW	86.64±3.66 ^{Aa}	88.60±10.36 ^{Aa}	94.45±2.15 ^{Aa}	100.25±6.45 ^{Aa}	89.14±10.40 ^{Aa}	112.92±7.39 ^{Aa}
	SW	86.64±3.66 ^{Aa}	91.52±10.35 ^{Aa}	83.29±3.16 ^{Aa}	100.25±6.45 ^{Aa}	80.36±8.73 ^{Aa}	88.95±0.24 ^{Aa}
总酸(g/L)	US	9.22±0.01 ^{Ca}	10.14±0.12 ^{Ba}	10.79±0.05 ^{Aa}	9.12±0.03 ^{Ca}	10.11±0.10 ^{Ba}	10.58±0.15 ^{Aa}
	MW	9.22±0.01 ^{Ba}	10.32±0.03 ^{Aa}	10.08±0.03 ^{Ab}	9.12±0.03 ^{Ba}	9.48±0.04 ^{Bb}	9.95±0.29 ^{Ab}
	SW	9.22±0.01 ^{Ca}	10.24±0.07 ^{Ba}	10.83±0.07 ^{Aa}	9.12±0.03 ^{Ca}	10.12±0.09 ^{Ba}	10.38±0.16 ^{Ba}
多酚(mg/mL)	US	0.11±0.01 ^{Aa}	0.08±0.01 ^{Aa}	0.07±0.01 ^{Aa}	0.11±0.01 ^{Aa}	0.09±0.01 ^{Aa}	0.08±0.01 ^{Aa}
	MW	0.11±0.01 ^{Aa}	0.08±0.01 ^{Aa}	0.09±0.01 ^{Aa}	0.11±0.01 ^{Aa}	0.09±0.01 ^{Aa}	0.10±0.01 ^{Aa}
	SW	0.11±0.01 ^{Aa}	0.07±0.01 ^{Ba}	0.07±0.01 ^{Ba}	0.11±0.01 ^{Aa}	0.08±0.01 ^{Ba}	0.08±0.01 ^{Ba}
黄酮(mg/mL)	US	0.71±0.01 ^{Ba}	0.41±0.09 ^{Ba}	0.42±0.08 ^{Ba}	1.32±0.02 ^{Aa}	0.62±0.01 ^{Bb}	0.69±0.02 ^{Ba}
	MW	0.71±0.01 ^{Ca}	0.60±0.05 ^{Ca}	0.58±0.05 ^{Ca}	1.32±0.02 ^{Aa}	1.07±0.16 ^{Ba}	0.99±0.04 ^{Ba}
	SW	0.71±0.01 ^{Ba}	0.53±0.07 ^{Ba}	0.48±0.07 ^{Ba}	1.32±0.02 ^{Aa}	0.81±0.05 ^{Bb}	0.82±0.05 ^{Ba}

注: 数据以平均值±SD表示(n=3), 同一行不同大写字母表示显著差异(P<0.05), 同一列不同小写字母表示显著差异(P<0.05)。

为 1.07±0.16 mg/mL, MW-7 多酚含量最高为 0.10±0.01 mg/mL。可能是微波的高频电磁场使米酒中分子的运动更加复杂^[28], 导致多酚黄酮类物质比其它处理方式保留效果更好。

2.2 抗氧化活性分析

根据 DPPH 和 ABTS⁺ 自由基清除能力和铁还原能力(FRAP)评估了米酒和菊花米酒在不同催陈方法和时间下抗氧化能力的变化。如图 1 所示, 米酒和菊花米酒随着催陈时间的增加, DPPH 自由基清除能力逐渐降低; 三种方法中, 米酒 SW-7 处理影响最大, 由 39.44%±0.09% 降至 17.23%±0.54%(P<0.05), 菊花米酒 MW-7 处理影响最大, 由 60.49%±0.04% 降至 19.69%±1.78%(P<0.05); 并且菊花米酒的清除率始终比米酒高, 加入的菊花可能是导致这一结果的重要原因。ABTS⁺ 自由基清除率也是随着催陈时间的增加而减少, 只有 SW-3 处理增加, 其他处理清除率均降低; MW 对米酒清除率下降影响显著(P<0.05), SW 处理下菊花米酒清除率在 3 d 时增加, 7 d 时降低, 并且是菊花米酒样品中最低; 但是 SW-7 仅由 98.09%±0.07% 降至 90.95%±0.14%(P<0.05), 远高于 DPPH, 这与两者的猝灭机制有关联, DPPH 为中性含氮自由基, 而 ABTS⁺ 则为阳性含氮自由基, 说明在样品中所含的成分对阳性自由基更为有效^[20]。通过 FRAP 测试样品的总抗氧化能力(图 1), 米酒和菊花米酒 FRAP 在催陈过程中整体处于上升趋势, 7 d 时 MW 处理下菊花米酒和米酒总抗氧化能力均为最高, SW 处理下最低; MW 处理与对照组相比, 菊花米酒 FRAP 最大增加量(0.37±0.05 mmol/L)多于米酒(0.19±0.05 mmol/L)(P<0.05), 并且在不同方法处理下菊花米酒的总抗氧化能力强于米酒, 说明添加的福白菊赋予了菊花米酒主要的抗氧化活性物质。孔祥锦等^[29] 研究超高压、微波和超声波处理对黄芪配制酒品质的影响, 分析发现微波提升酒样抗氧化性的效果最好, 与本研究结果一致。

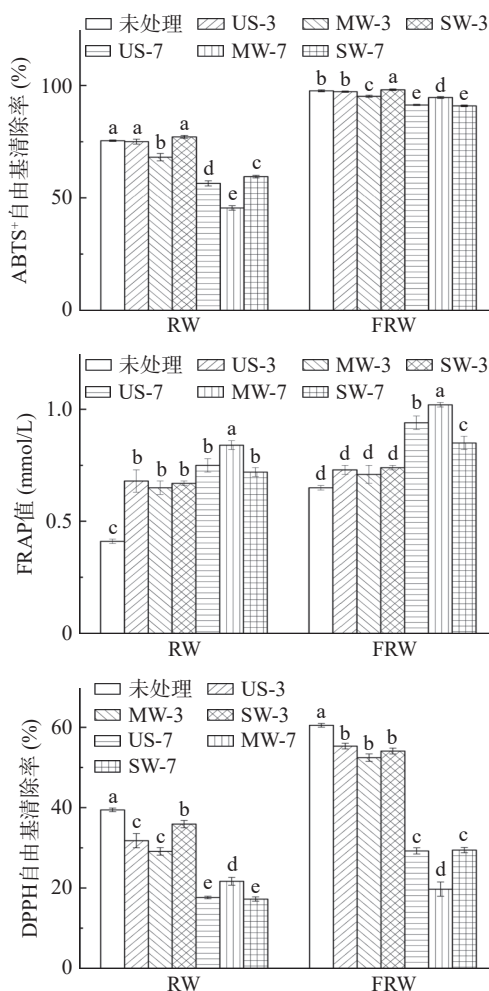


图1 样品抗氧化活性

Fig.1 Antioxidant activity of samples

注: 不同小写字母表示样品在不同处理方式下差异显著(P<0.05); 图中 RW 表示米酒样品, FRW 表示菊花米酒样品, 图 2~图 3 同。

2.3 风味物质分析

挥发性化合物是米酒香气的主要来源, 是影响酒类产品风味的主要指标之一。由图 2 和表 3 可

知,样品共检出 94 种风味物质,其中醇类 14 种、酯类 29 种、酸类 16 种、醛类 7 种,酮类 12 种、酚类 5 中,其他类 11 种。米酒和菊花米酒在不同催陈时间内和方法下均含有正己醇、异丁醇、异戊醇、苯乙

醇、苯甲醛、冰醋酸、辛酸、乙酸苯乙酯。米酒和菊花米酒对照组有 21 种物质是两个样品共有,为新鲜米酒的标志性风味物质,其中在菊花米酒样品中发现福白菊中特有的风味物质,包括 3-甲基-2-丁醇、2-茨

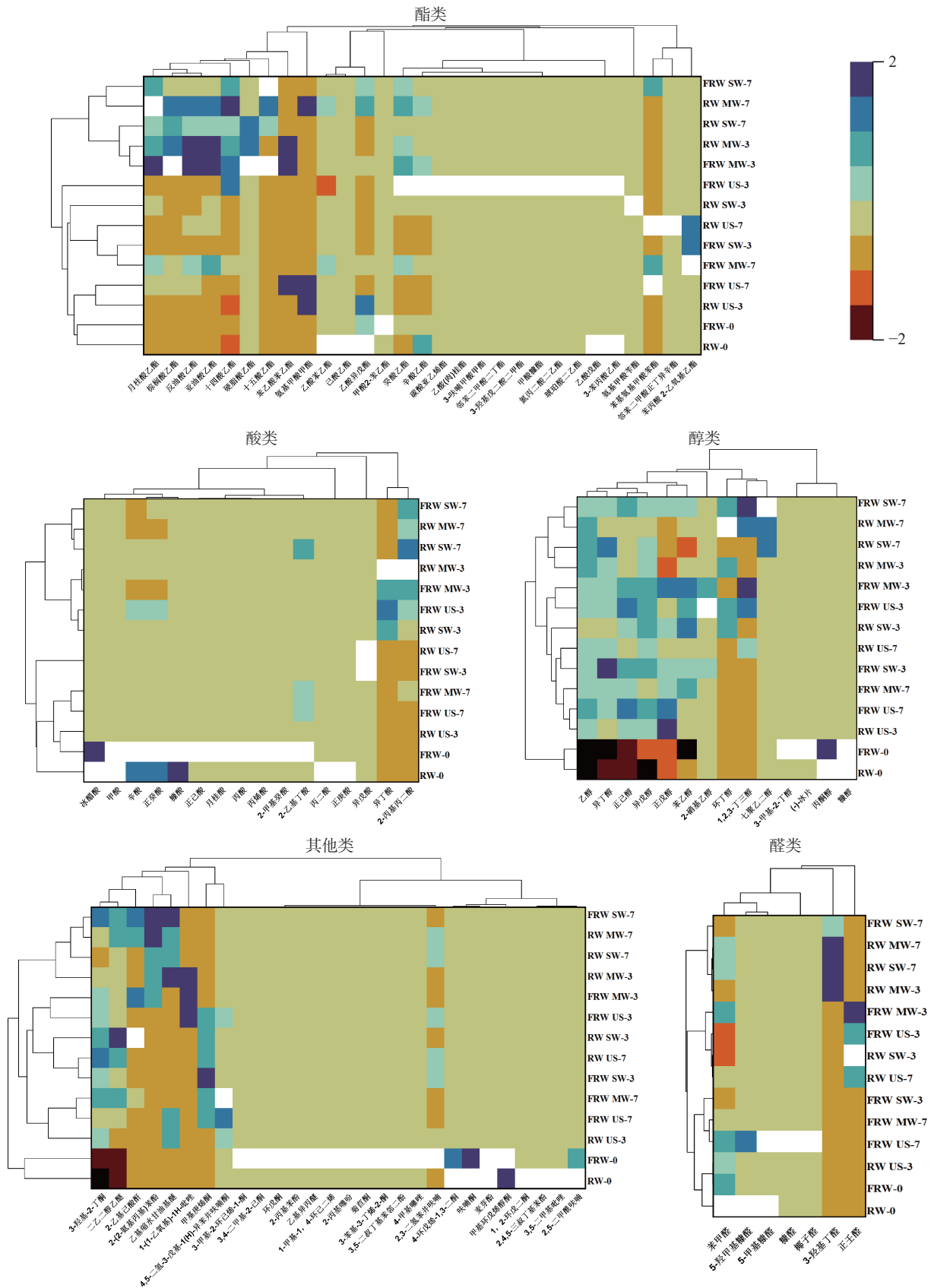


图 2 不同催陈时间和处理方式下米酒中风味成分热图

Fig.2 Heat charts of flavor components in rice wine with different aging time and treatment methods

表3 样品风味物质种类及相对含量(%)
Table 3 Types and relative contents of flavor substances in samples (%)

成分	米酒							菊花米酒						
	对照组	US-3	MW-3	SW-3	US-7	MW-7	SW-7	对照组	US-3	MW-3	SW-3	US-7	MW-7	SW-7
醇类物质														
乙醇	14.79	60.29	68.14	54.51	62.92	66.97	70.43	17.83	60.07	56.41	57.66	65.45	63.30	62.35
正己醇	0	0.13	0.10	0.15	0.10	0.09	0.10	0	0.20	0.18	0.16	0.19	0.12	0.16
异丁醇	0.71	1.27	1.62	1.43	1.60	1.30	1.82	0.63	1.47	1.60	2.04	1.55	1.44	1.57
环丁醇	0	0	0.01	0.01	0	0.02	0	0	0.01	0	0	0	0	0.01
异戊醇	0	9.35	9.65	11.01	9.20	8.06	8.91	5.64	11.18	11.83	10.85	10.73	7.73	9.50
正戊醇	0	0.05	0	0.03	0.02	0.01	0.01	0	0.02	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03
苯乙醇	16.13	18.34	17.03	23.78	17.48	18.34	14.77	9.54	21.05	23.43	19.98	18.08	21.31	20.18
2-硝基乙醇	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0.02	0.01	0	0	0
3-甲基-2-丁醇	0	0	0	0	0	0	0	0.44	0.02	0	0	0	0	0
1,2,3-丁三醇	0	0	0	0	0.01	0.02	0	0	0.02	0.03	0	0	0	0.03
七聚乙二醇	0	0	0	0	0	0.04	0.04	0	0	0	0	0	0	0.07
丙酮醇	1.04	0	0	0	0	0	0	0.74	0	0	0	0	0	0
糠醇	1.22	0	0	0	0	0	0	1.09	0	0	0	0	0	0
(-)-冰片(醇)	0	0	0	0	0	0	0	0.70	0	0	0	0	0	0
醛类物质														
苯甲醛	1.14	0.29	0.64	0.36	0.31	0.66	0.45	0.63	0.21	0.55	0.23	0.13	0.58	0.04
3-羟基丁醛	0	0.03	0	0	0	0	0.03	0	0.01	0	0	0	0.03	0
正壬醛	0	0	0	0	0.01	0.02	0	0	0	0	0	0.01	0	0.03
糠醛	0	0	0	0	0	0.08	0	1.62	0	0.04	0	0	0.09	0
5-羟甲基糠醛	6.88	0	0	0	0	0.04	0	3.46	0	0	0	0	0	0
5-甲基糠醛	0.76	0	0	0	0	0	0	0.87	0	0	0	0	0	0
椰子醛	0	0	0	0	0	0	0	0.18	0	0	0	0	0	0
酸类物质														
冰醋酸	2.83	0.20	0.23	0.19	0.20	0.33	0.21	2.22	0.22	0.25	0.23	0.26	0.34	0.46
异丁酸	0	0.03	0.03	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08
丙二酸	1.15	0	0.01	0.01	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0	0	0
2-丙基丙二酸	0	0.02	0.06	0.03	0.07	0	0.03	0	0	0	0	0.05	0.02	0.11
正己酸	0	0.05	0	0.07	0	0.05	0	0.71	0.05	0.07	0.05	0	0.06	0.06
辛酸	0.94	0.22	0.15	0.52	0.31	0.27	0.10	1.98	0.28	0.38	0.24	0.16	0.22	0.31
正癸酸	0.56	0.05	0	0.19	0.07	0.07	0.01	1.23	0.08	0.12	0.06	0.04	0.06	0.06
异戊酸	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03	0.03	0	0	0	0
2-乙基丁酸	0	0	0	0	0.12	0.07	0.04	0.36	0	0	0	0	0.09	0
甲酸	1.32	0	0	0	0	0	0	1.11	0	0	0	0	0	0
正庚酸	0.39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
糠酸	0.19	0	0	0	0	0	0	0.27	0	0	0	0	0	0
月桂酸	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0	0	0	0	0	0
丙酸	0	0	0	0	0	0	0	0.23	0	0	0	0	0	0
丙烯酸	0	0	0	0	0	0	0	0.18	0	0	0	0	0	0
2-甲基癸酸	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0
酯类物质														
月桂酸乙酯	0	0.14	0	0.19	0.05	0	0.02	0	0.09	0.06	0.09	0.01	0	0.03
乙酸苯乙酯	1.24	0.25	0.18	0.37	0.22	0.17	0.17	0	0.29	0.31	0.26	0.21	0.18	0.21
乙酸异戊酯	0.22	0.04	0.13	0.09	0	0	0	0	0.06	0.02	0	0.07	0	0
癸酸乙酯	0	0.33	0	0.39	0.14	0	0	0.85	0.27	0.22	0.26	0.14	0	0.12
辛酸乙酯	0.23	0.15	0.02	0.15	0.09	0	0.04	0.59	0.11	0.05	0.08	0.07	0	0.05
十四酸乙酯	0	0.29	0	0.39	0.15	0.03	0.06	0.32	0.22	0.11	0.25	0.04	0.03	0.05
十五酸乙酯	0	0.03	0	0.02	0.01	0	0	0	0.03	0	0	0	0	0
氨基甲酸甲酯	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0
棕榈酸乙酯	0	5.49	0	3.55	3.10	0.57	0.73	0.37	1.40	1.29	3.48	0.46	0.72	0.65
反油酸乙酯	0	0.85	0	0.63	0.32	0.10	0.14	0	0.27	0.40	0.82	0	0.17	0.12
亚油酸乙酯	0	0.48	0	0.36	0.20	0.07	0.06	0	0.14	0.26	0.51	0	0.13	0.10

续表 3

成分	米酒							菊花米酒						
	对照组	US-3	MW-3	SW-3	US-7	MW-7	SW-7	对照组	US-3	MW-3	SW-3	US-7	MW-7	SW-7
苯基氨基甲酸苯酯	0	0	0	0	0	0	0.02	0	0.01	0.01	0	0	0.02	0
苯丙酸2-乙氧基乙酯	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0.02	0	0	0.01	0
己酸乙酯	0.16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
苯乙酸苯乙酯	0	0.01	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0.01	0	0	0
硬脂酸乙酯	0	0.06	0	0	0.03	0	0	0	0	0	0.03	0	0	0
乙酸戊酯	0.76	0	0	0	0.08	0.03	0	0.70	0	0	0	0	0.03	0
甲酸2-苯乙酯	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0
邻苯二甲酸正丁异辛酯	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0
氨基甲酸苄酯	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.07
3-苯丙酸乙酯	0.13	0	0	0	0	0	0	0.12	0	0	0	0	0	0
碳酸亚乙烯酯	0	0	0	0	0	0	0	0.17	0	0	0	0	0	0
氮丙二酸二乙酯	0	0	0	0	0	0	0	0.11	0	0	0	0	0	0
琥珀酸二乙酯	0	0	0	0	0	0	0	0.09	0	0	0	0	0	0
乙酸(肉)桂酯	0	0	0	0	0	0	0	0.15	0	0	0	0	0	0
3-呋喃甲酸甲酯	0	0	0	0	0	0	0	0.44	0	0	0	0	0	0
邻苯二甲酸二丁酯	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0	0	0	0	0	0
3-羟基戊二酸二甲酯	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0	0	0	0	0	0
甲酸糠酯	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0	0	0	0	0	0
酮类物质														
3-羟基-2-丁酮	0	0.55	0.51	0.42	0.54	0.81	0.60	0.10	0.61	0.54	0.64	0.73	0.73	0.78
3-甲基-2-环己烯-1-酮	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
甲基庚烯酮	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
4,5-二氢-3-戊基-1(H)-异苯并呋喃酮	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.01	0.04	0	0
4-环戊烯-1,3-二酮	0.55	0	0	0	0	0	0	0.29	0	0	0	0	0	0
甲基环戊烯醇酮	0.17	0	0	0	0	0	0	0.23	0	0	0	0	0	0
呋喃酮	0.43	0	0	0	0	0	0	0.33	0	0	0	0	0	0
1,2-环戊二酮	0.71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3,4-二甲基-2-己酮	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0	0	0	0	0	0
环戊酮	0	0	0	0	0	0	0	0.18	0	0	0	0	0	0
菊苣酮	0	0	0	0	0	0	0	0.23	0	0	0	0	0	0
3-苯基-3-丁烯-2-酮	0	0	0	0	0	0	0	0.29	0	0	0	0	0	0
酚类物质														
2-(2-氨基丙基)苯酚	0	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0	0
麦芽酚	0.23	0	0	0	0	0	0	0.20	0	0	0	0	0	0
2-丙基苯酚	0	0	0	0	0	0	0	0.07	0	0	0	0	0	0
3,5-二叔丁基苯邻二酚	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,4,5-三叔丁基苯酚	0.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
其他类物质														
二乙二醇乙醚	0	0.04	0.06	0.06	0.08	0.09	0.06	0	0.06	0.06	0.05	0.09	0.13	0.09
乙基缩水甘油基醚	0	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0	0	0	0.01	0	0	0	0
乙基异丙醚	0	0	0	0	0	0	0	0.23	0	0	0	0	0	0
2,3-二氢苯并呋喃	0	0.01	0	0.02	0.02	0	0	0.13	0.02	0	0.02	0	0	0.02
1-(1-乙氧基)-1H-吡唑	0	0	0.02	0	0	0	0.02	0	0	0	0.02	0	0	0
1-甲基-1,4-环己二烯	0	0	0	0	0	0	0	0.17	0	0	0	0	0	0
2-乙基己酸酐	0	0	0	0	0.13	0.18	0.19	0	0	0	0	0.04	0.30	0
3,5-二甲基吡唑	2.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,5-二甲酰呋喃	0.44	0	0	0	0	0	0	0.10	0	0	0	0	0	0
2-丙基噻吩	0	0	0	0	0	0	0	0.07	0	0	0	0	0	0
4-甲基噻唑	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0	0	0	0	0	0

醇、椰子醛、月桂酸、丙烯酸等^[30]。

醇类化合物是米酒中的主要香味成分,由糖发酵、氨基酸分解代谢等产生^[31]。异戊醇、苯乙醇和异

丁醇是米酒中主要的醇类物质,其中异丁醇不同方法催陈处理后,相对含量均增加两倍左右,米酒在 SW-3 处理后异丁醇相对含量最高;菊花米酒中苯乙醇相

对含量随催陈时间增加而增加, MW-3 时达到最高, 同时出现了正己醇、环丁醇、正戊醇、1, 2, 3-丁三醇等新的风味物质。酯类化合物是米酒风味中的主要贡献者, 具有良好的芳香气味^[32-33]。其中碳酸亚乙烯酯、氮丙二酸二乙酯、琥珀酸二乙酯等风味物质仅在菊花米酒对照组出现。米酒 US 处理在 3 d 和 7 d 出现了新的风味物质十五酸乙酯、癸酸乙酯和硬脂酸乙酯, 菊花米酒 MW 处理在 3 d 和 7 d 产生了苯基氨基甲酸苯酯和苯丙酸 2-乙氧基乙酯等新的风味物质。微波能促进分子之间重新缔合生成酯, 但是乙酸苯乙酯和辛酸乙酯在微波催陈后相对含量降低, 原因可能是微波高温使它们分解^[34]。催陈后生成较多小分子酯类, 如: 乙酸乙酯、2-羟基乙酯等, 可以作为米酒老化的标记。酸类化合物是合成酯类物质和酒风味形成不可或缺的前体物质^[35]。14 个样品中共有成分有冰醋酸、辛酸和正癸酸, 米酒对照组独有的成分为正庚酸, 菊花米酒对照组中月桂酸、丙酸等物质均在催陈处理后消失。三种方法处理 3 d 时米酒出现了异丁酸、正己酸和 2-丙基丙二酸, 菊花米酒出现了丙二酸, 同时 US 和 MW 处理后菊花米酒在 3 d 时出现了异戊酸; 7 d 时米酒新增 2-乙基丁酸, 菊花米酒新增 2-丙基丙二酸, 酸与醇反应生成酯为可逆反应, 它们之间相互转化形成一些新的种类。醛类物质一般为低碳链的羰基化合物, 沸点低, 易挥发的香味成分。催陈后的样品中均含有苯甲醛, 三种方法催陈处理后均降低了其相对含量, 但 MW 处理苯甲醛保留较好, 菊花米酒中独有的糠醛和椰子醛, 与福白菊的风味物质一致。其它类物质同样也会影响米酒风味, 样品中共有的成分, 如 3-羟基-2-丁酮, 具有其独特的香气。米酒和菊花米酒对照组中共有成分呋喃酮、麦芽酚等在催陈后消失, 菊花米酒在处理均出现了甲基庚烯酮和 3-甲基-2-环己烯-1-酮; US-3 处理后两个样品出现 3-羟基丁醛; 菊花米酒在 US 和 MW 处理 7 d 时新增 2-乙基己酸酐。

米酒和菊花米酒经过三种催陈处理后风味物质种类总体呈下降趋势, 其中催陈处理对米酒影响较小, 菊花米酒在催陈过程中有更多新的风味物质生成, 这也是基于福白菊带入的风味物质。菊花米酒 3 d 时风味物质种类多于 7 d, 并且 US-3 保留效果最佳, 有 34 种风味物质。其中苯乙醇是米酒中特有的风味物质, 带入玫瑰花香气, 苯甲醛具有特殊的苦杏仁气味, 在 14 个样品中均有检测到; 己酸乙酯具有水果香气味, 2-甲基-2-丁烯醛具有青香、坚果香, 并带有水果的味道, 在米酒中出现; 异戊醇具有苹果白兰地香气和辛辣味, 椰子醛有椰子香气, 稀释后有桃、杏、梨似的果香香气, 在菊花米酒中出现。不同时间和方法处理下, 除了其共同具有的特征性风味物质种类没有改变外, 均有属于该阶段的独有的标志性风味物质。催陈后生成部分新的风味物质是米酒老化的标志, 也是酒体风味改变的关键^[36]。

2.4 感官评价

采用感官评价方法, 分析不同催陈方法以及处理时间下米酒和菊花米酒的感官特征。从颜色、口感、浊度、酒香、花香、酸度、甜度、酒体八方面对样品进行了评价。如图 3 所示, US 和 SW 处理过程中, 随着时间增加, 酒体黄色逐渐褪色, 浑浊度有所增加, 这可能是高频振荡使得部分色素物质氧化或降解, 以及样品物质在贮藏过程中聚合沉淀有关^[28], MW 处理酒体颜色加深, 呈深黄色透明, 并且甜度增加。米酒对照组呈淡黄色透明, 酒体清澈明亮; 菊花米酒对照组酸度较高, 口感不协调, 菊花香气突出, 在催陈后期香气逐渐减弱。三种催陈方法处理后, 随着时间的增加, 7 d 时酸感均减弱, 口感更为和谐, 菊花米酒 SW-3 的口感呈现出甜甜的花蜜味, 在先前对自然陈化研究中 6 个月陈酿的菊花米酒表现出的蜜香味相似^[4], 说明该处理方式使得菊花米酒的口感在陈酿过程中可以快速融合, 使酒体更加协调。

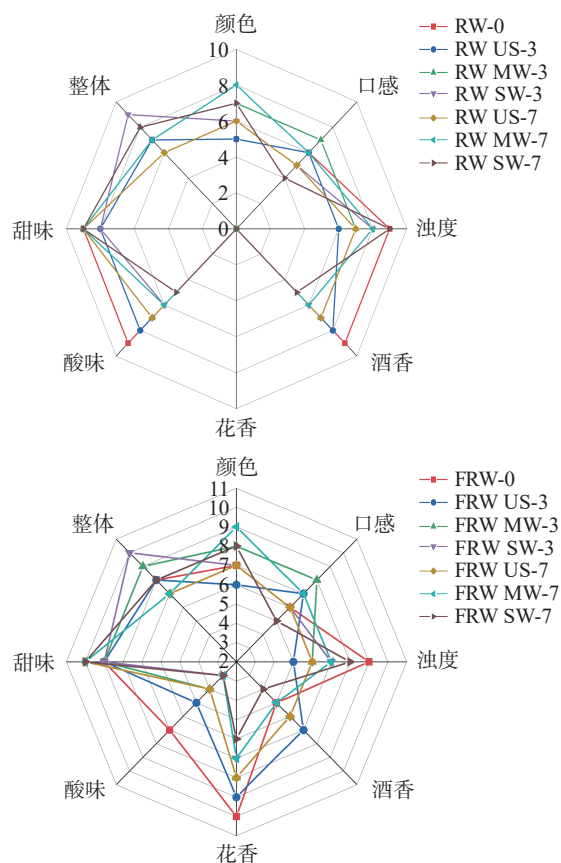


图3 感官评价雷达图
Fig.3 Sensory evaluation radar maps

3 结论

通过对米酒和菊花米酒 US、MW、SW 催陈处理, 对其理化指标、抗氧化活性、风味物质、感官特性进行分析。结果表明, 米酒 SW-7 和菊花米酒 US-7 处理, 对于总酸的含量提高最为显著 ($P < 0.05$); 米酒 US-7 和菊花米酒 MW-7 处理, 还原糖含量最高; 对于米酒和菊花米酒 MW-7 处理多酚保留性最好, MW-3 黄酮保留性最好; MW-7 处理对菊花米酒和米

酒总抗氧化活性均为最高。使用 GC-MS 技术对米酒中的香气成分进行鉴定分析,不同的催陈方法和时间,米酒中特有的标志性风味物质如苯乙醇、异戊醇、苯甲醛等物质,在所有样品中均有检测到,整个催陈阶段都存在,说明催陈后不会改变其主体风格,其中 US-3 处理保留效果最佳,样品中均有属于该阶段的独有的特征性风味物质,并且也生成了一些新的风味物质如正戊醇、3-羟基丁醛、异丁酸、月桂酸乙酯等,这些物质的生成和改变是米酒老化的标志;感官评价中菊花米酒 SW-3 处理后酒体协调口感更佳。本实验围绕菊花米酒,利用超声、微波等人工催陈方法进行探究,为催陈工艺在功能性米酒产品的运用提供了一定的参考,后续会开展对于米酒和菊花米酒产品储存时期的功能成分及风味物质的跟踪分析,探究不同催陈处理对于功能米酒品质的影响。

© The Author(s) 2025. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] JIAO A Q, XU X M, JIN Z Y. Research progress on the brewing techniques of new-type rice wine[J]. *Food Chemistry*, 2017, 215: 508–515.
- [2] HUANG Y C, YIN L Y, XU W Q, et al. Antioxidant capacity and flavor compounds of lily rice wine fermented with aroma-producing yeasts[J]. *European Food Research and Technology*, 2023, 250(3): 785–798.
- [3] 张瑞雪,符鑫雨,杨生玉,等.新型米酒的营养及其发展趋势研究[J]. *轻工科技*, 2022, 38(1): 28–31. [ZHANG R X, FU X Y, YANG S Y, et al. Research on the nutrition and development trend of new rice wine[J]. *Light Industry Science and Technology*, 2022, 38(1): 28–31.]
- [4] 胡思,王超,孙贵香,等.大健康产业背景下药食同源资源开发的现状与对策研究[J]. *湖南中医药大学学报*, 2021, 41(5): 815–820. [HU S, WANG C, SUN G X, et al. Research on the status quo and countermeasures of the development of homologous resources of medicine and food under the background of the big health industry[J]. *Journal of Hunan University of Traditional Chinese Medicine*, 2021, 41(5): 815–820.]
- [5] 刘雅静,李萍,于子越,等.微波陈化黄酒的工艺优化及其风味物质分析[J]. *中国酿造*, 2022, 41(9): 199–203. [LIU Y J, LI P, YU Z Y, et al. Optimization of microwave aging of yellow rice wine and analysis of its flavor compounds[J]. *China Brewing*, 2022, 41(9): 199–203.]
- [6] 舒杰,刘东红,江涛,等.黄酒超声陈化机理的研究[J]. *中国食品学报*, 2014, 14(5): 43–48. [SHU J, LIU D H, JIANG T, et al. Study on the mechanism of ultrasonic aging of yellow rice wine[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2014, 14(5): 43–48.]
- [7] 刘学军,殷涌光,范松梅,等.高压脉冲电场催陈葡萄酒香气成分变化的 GC-MS 分析[J]. *食品科学*, 2006(12): 654–657. [LIU X J, YIN Y G, FAN S M, et al. GC-MS analysis of changes in aroma components of wine aged by high voltage pulsed electric field[J]. *Food Science*, 2006(12): 654–657.]
- [8] 于佳琦,许晓旭,郭子楠,等.超高压处理对沙棘酒催陈效果的影响[J]. *中国酿造*, 2020, 39(3): 131–135. [YU J Q, XU X X, GUO Z N, et al. Effect of ultra-high pressure treatment on the aging effect of sea buckthorn wine[J]. *China Brewing*, 2020, 39(3): 131–135.]
- [9] 陈卓瑶,原江锋,候增超,等.微波处理对黑米酒物理化学特性的影响[J]. *食品与机械*, 2020, 36(3): 194–199,215. [CHEN Z Y, YUAN J F, HOU Z C, et al. Effects of microwave treatment on physical and chemical characteristics of black rice wine[J]. *Food and Machinery*, 2020, 36(3): 194–199,215.]
- [10] CHANG A C, CHEN F C. The application of 20 kHz ultrasonic waves to accelerate the aging of different wines[J]. *Food Chemistry*, 2002, 79(4): 501–506.
- [11] CHANG A C. Study of ultrasonic wave treatments for accelerating the aging process in a rice alcoholic beverage[J]. *Food Chemistry*, 2005, 92(2): 337–342.
- [12] 张任.功能性米酒的酿造工艺优化与品质研究[D].成都:西华大学,2022. [ZHANG R. Study on brewing process optimization and quality of functional rice wine[D]. Chengdu: XiHua University, 2022.]
- [13] ZHANG Y, YIN H N, ZHAO T, et al. The volatile flavor and the antioxidant properties of a novel chrysanthemum rice wine during natural aging[J]. *Food Science & Nutrition*, 2023, 11(5): 2382–2392.
- [14] 艾晓莉,林佳丽,刘达玉,等.低醇复合米酒发酵工艺优化[J]. *中国酿造*, 2020, 39(6): 219–224. [AI X L, LIN J L, LIU D Y, et al. Optimization of low alcohol composite rice wine fermentation process[J]. *China Brewing*, 2020, 39(6): 219–224.]
- [15] ZHANG Y, QIU Q, XU Y H, et al. Fast aging technology of novel kiwifruit wine and dynamic changes of aroma components during storage[J]. *Food Science and Technology*, 2022, 43: e98422.
- [16] 中华人民共和国国家卫生健康委员会,国家市场监督管理总局. GB/12456-2021 食品安全国家标准 食品中总酸的测定[S].北京:中国标准出版社,2021:1–3. [National Health Commission of the People's Republic of China, State Administration for Market Regulation. GB 12456-2021 National food safety standard Determination of total acid in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2021: 1–3.]
- [17] ZHENG R L, REN T, NIU C T, et al. Anthocyanins composition and antioxidant activity of purple rice and color degradation under sunlight exposure of purple rice wine[J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2022, 16: 1889–1900.
- [18] LI Y F, YANG P Y, LUO Y H, et al. Chemical compositions of chrysanthemum teas and their anti-inflammatory and antioxidant properties[J]. *Food Chemistry*, 2019, 286: 8–16.
- [19] DU M Y, YOU Y M, ZHAO X J, et al. Effects of aging time on the antioxidant activity of pomelo wine[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2015, 24(4): 1459–1465.
- [20] TIAN X J, LIU Y, FENG X, et al. The effects of alcohol fermentation on the extraction of antioxidant compounds and flavonoids of pomelo peel[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2018, 89: 763–769.
- [21] BARRECA D, BELLOCCO E, CARISTI C, et al. Flavonoid profile and radical-scavenging activity of Mediterranean sweet lemon (Citrus limetta Risso) juice[J]. *Food Chemistry*, 2011, 129(2): 417–422.
- [22] LIU S, YANG L, ZHOU Y, et al. Effect of mixed moulds starters on volatile flavor compounds in rice wine[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2019, 112: 108215.
- [23] YANG Y J, XIA Y J, WANG G Q, et al. Comparison of

- oenological property, volatile profile and sensory characteristic of Chinese rice wine fermented by different starters during brewing[J]. *International Journal of Food Properties*, 2017, 20(3): S3195S3211.
- [24] WANG X Y, YANG H Y, TIAN R G, et al. Effect of the joint fermentation of pyracantha powder and glutinous rice on the physicochemical characterization and functional evaluation of rice wine[J]. *Food Science & Nutrition*, 2021, 9(11): 6099–6108.
- [25] 汪建国. 黄酒中色、香、味、体的构成和来源浅析[J]. *中国酿造*, 2004(4): 6–10, 18. [WANG J G. Composition and origin of color, aroma, taste and body in yellow rice wine[J]. *China Brewing*, 2004(4): 6–10, 18.]
- [26] 陈萍, 刘一键, 王颖. 催陈处理对干红葡萄酒香气成分含量的影响[J]. *食品工业科技*, 2011, 32(5): 145–148. [CHEN P, LIU Y J, WANG J. Effects of aging treatment on the content of aroma components in dry red wine[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2011, 32(5): 145–148.]
- [27] 蔡海莺, 盛宇华, 沈灵智, 等. 不同原料的米酒多酚及其抗氧化性能比较[J]. *中国食品学报*, 2021, 21(2): 327–333. [CAI H Y, SHENG Y H, SHEN L Z, et al. Comparison of polyphenols and antioxidant properties of rice wine from different raw materials[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2021, 21(2): 327–333.]
- [28] YUAN J F, WANG T T, WANG D H, et al. Effect of microwave on changes of gallic acid and resveratrol in a model extraction solution[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2020, 13(4): 1246–1254.
- [29] 孔祥锦, 陈春霞, 梁玉浩, 等. 超高压、微波和超声波处理对黄芪配制酒品质的影响分析[J]. *食品与发酵工业*, 2023, 49(16): 96–102. [KONG X J, CHEN C X, LIANG Y H, et al. Impact of high hydrostatic pressure, microwave, and ultrasonic treatment on the qualities of astragalus liquor[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2023, 49(16): 96–102.]
- [30] 尹怀宁, 李振, 李可心, 等. 菊花米酒发酵工艺[J]. *食品工业*, 2021, 42(10): 40–44. [YIN H N, LI Z, LI K X, et al. Fermentation technology of chrysanthemum rice wine[J]. *Food Industry*, 2021, 42(10): 40–44.]
- [31] TANG A X, PENG B Z. Uncovering the flavor differences between black rice wine and glutinous rice wine by GC-MS, GC-IMS, HPLC, and electronic sensory analysis[J]. *Food Bioscience*, 2024, 60: 104235.
- [32] 李曦, 刘斌. 提高白酒酯类物质稳定性的研究进展[J]. *酿酒*, 2021, 48(6): 23–25, 34. [LI X, LIU B. Research progress on improving the stability of baijiu esters[J]. *Brewery*, 2021, 48(6): 23–25, 34.]
- [33] 赵婷婷, 卢倩文, 宋菲菲, 等. 1株产香真菌的筛选及其协同米根霉对米酒发酵的影响[J]. *食品科学*, 2017, 38(14): 42–48. [ZHAO T T, LU Q W, SONG F F, et al. Screening of an aroma-producing fungus and its synergistic effect on rice wine fermentation by *Rhizopus oryzae*[J]. *Food Science*, 2017, 38(14): 42–48.]
- [34] 胡诗琪, 栾东磊, 樊玉霞, 等. 白酒微波催陈及其工艺优化[J]. *食品与机械*, 2019, 35(3): 189–194. [HU S Q, LUAN D L, FAN Y X, et al. Baijiu microwave aging and process optimization[J]. *Food and Machinery*, 2019, 35(3): 189–194.]
- [35] 肖胜舰, 郭浩, 黄钧, 等. 甜型梨酒发酵过程中理化指标和挥发性组分的时间变化特征[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(21): 55–61. [XIAO S J, GUO H, HUANG J, et al. Temporal changes of physicochemical indices and volatile components during the fermentation of sweet pear wine[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2020, 46(21): 55–61.]
- [36] WANG N, CHEN S, ZHOU Z. Characterization of volatile organic compounds as potential aging markers in Chinese rice wine using multivariable statistics[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2019, 99(14): 6444–6454.