

响应面法优化大果山楂红枣复合果酒发酵工艺及其抗氧化活性分析

张开平, 刘玫梅, 刘燕丽, 麦馨允, 黄斌

Optimization of Fermentation Technology of *Malus doumeri* (Bois) Chevalier and *Zizyphus jujube* Mill. Compound Fruit Wine by Response Surface Methodology and Its Antioxidant Activity Analysis

ZHANG Kaiping, LIU Meimei, LIU Yanli, MAI Xinyun, and HUANG Bin

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023020076>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

红枣果汁果渣与果酒果渣中色素抗氧化活性的比较

The Comparative Study of Antioxidant Activity of Pigment from Jujube Juice Pomace and Wine Pomace

食品工业科技. 2020, 41(5): 274-280 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.05.045>

柚子全果果酒发酵工艺优化及其抗氧化活性、挥发性成分分析

Optimization of Fermentation Process of Grapefruit Whole Fruit Wine and Analysis of Its Antioxidant Activity and Volatile Components

食品工业科技. 2021, 42(13): 149-155 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020110155>

芒果胡萝卜复合果酒发酵工艺的研究

Study on Fermentation Technology of Mango-Carrot Compound Fruit Wine

食品工业科技. 2020, 41(5): 156-162 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.05.026>

红枣三萜酸大孔吸附树脂纯化特性及其抗氧化活性研究

Study on triterpenic acids purification from jujube by macroporous resins and its antioxidant activity

食品工业科技. 2017(20): 159-165 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.20.029>

采用Box-Behnken设计优化玫瑰花酵素发酵工艺及其抗氧化活性的测定

Fermentation Technology Optimization of Rose Flower Enzyme Using Box-Behnken Design and Its Antioxidant Activity Determination

食品工业科技. 2021, 42(13): 193-201 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020090304>

芒果、胡萝卜复合果酒发酵过程中理化成分和香气物质的变化

Dynamic Changes of Physicochemical and Aroma Components in the Fermentation Process of Mango-carrot Compound Fruit Wine

食品工业科技. 2020, 41(12): 7-13 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.12.002>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

张开平, 刘玫梅, 刘燕丽, 等. 响应面法优化大果山楂红枣复合果酒发酵工艺及其抗氧化活性分析 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(23): 184–193. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020076

ZHANG Kaiping, LIU Meimei, LIU Yanli, et al. Optimization of Fermentation Technology of *Malus doumeri* (Bois) Chevalier and *Zizyphus jujube* Mill. Compound Fruit Wine by Response Surface Methodology and Its Antioxidant Activity Analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(23): 184–193. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020076

· 工艺技术 ·

响应面法优化大果山楂红枣复合果酒发酵工艺及其抗氧化活性分析

张开平^{1,2,*}, 刘玫梅¹, 刘燕丽¹, 麦馨允^{1,2}, 黄 斌^{1,2}

(1. 百色学院 农业与食品工程学院, 广西百色 533000;

2. 百色学院 亚热带特色农业产业学院, 广西百色 533000)

摘要: 为了开发出一种新型复合果酒酿造工艺技术并对其抗氧化活性进行分析。以药食同源食品大果山楂和红枣为原料制备复合果酒, 通过单因素实验和响应面试验优化大果山楂红枣复合果酒的发酵工艺, 并对其体外抗氧化能力进行测定。结果表明, 最佳发酵工艺参数为: 大果山楂汁与红枣汁质量比 1:2, 初始糖度 21°Bx, 酵母菌接种量 0.3%, 发酵温度 19 °C, SO₂ 添加量 55 mg/L, 发酵时间 7 d。在此条件下酿制的复合果酒呈浅黄色, 无杂质, 酒体醇厚, 爽口怡悦, 具有大果山楂和红枣特有的香味, 酒精度为 11.50%vol±0.10%vol, 可溶性固形物 7.80%±0.008%, 总糖为 3.40±0.13 g/L, 总酸为 7.13±0.03 g/L, 干浸出物为 22.40±0.15 g/L, 二氧化硫为 0.074±0.006 g/L, 感官评分为 93.80±0.40, 且其理化及卫生指标均达到果酒的国家标准。同时, 复合果酒对 DPPH· 和 ABTS⁺ 的最大清除率可分别达到 85.7% 和 88.8%, 抗氧化能力明显高于复合果汁略低于 V_C。本项研究所开发出来的加工工艺技术酿制出来的复合果酒风味独特, 且具有较好的抗氧化活性, 可为大果山楂和红枣的开发应用提供科学依据。

关键词: 大果山楂, 红枣, 复合果酒, 发酵工艺, 抗氧化活性

中图分类号: TS262.7

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2023)23-0184-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020076

本文网刊:



Optimization of Fermentation Technology of *Malus doumeri* (Bois) Chevalier and *Zizyphus jujube* Mill. Compound Fruit Wine by Response Surface Methodology and Its Antioxidant Activity Analysis

ZHANG Kaiping^{1,2,*}, LIU Meimei¹, LIU Yanli¹, MAI Xinyun^{1,2}, HUANG Bin^{1,2}

(1. College of Agriculture and Food Engineering, Baise University, Baise 533000, China;

2. Industrial College of Subtropical Characteristic Agriculture, Baise University, Baise 533000, China)

Abstract: In order to develop a new brewing technology of compound fruit wine and analyze its antioxidant activity, the compound fruit wine was prepared from *Malus doumeri* (Bois) Chevalier and *Zizyphus jujube* Mill. as main raw material, the medicine-food homologous foods, and fermentation process of it was optimized through single factor experiments and response surface test, as well as its antioxidant capacity *in vitro* was measured. The results showed that the best fermentation technology parameter were as follows: *Malus doumeri* (Bois) Chevalier juice and *Zizyphus jujube* Mill. juice mass ratio was 1:2, with initial sugar content 21°Bx, yeast inoculum 0.3%, fermentation temperature 19 °C, SO₂ addition 55 mg/L, and fermentation time 7 d. On this condition, the compound fruit wine was light yellow with mellow body and no impurities, provided with the unique fragrance of *Malus doumeri* (Bois) Chevalier and *Zizyphus jujube* Mill., both refreshing and pleasant. The alcohol content of compound fruit wine was 11.50%vol±0.10%vol, the soluble solid content was

收稿日期: 2023-02-09

基金项目: 广西自然科学基金(2020GXNSFAA297263); 广西一流学科建设项目资助(农业资源与环境, 桂教科研[2022]1号); 百色市科技开发计划项目(20222938)。

作者简介/通信作者*: 张开平(1989-), 男, 硕士, 高级实验师, 研究方向: 食品生物技术, E-mail: 1453571341@qq.com。

7.80%±0.08%, the sugar content was 3.40±0.13 g/L, the acid content was 7.13±0.03 g/L, the extraction content was 22.40±0.15 g/L, the SO₂ content was 0.074±0.006 g/L, the sensory score was 93.80±0.40, and its physicochemical and hygiene indicators reached the national standard of fruit wine. Meanwhile, the maximum scavenging capacity of DPPH· and ABTS⁺ could reach 85.7% and 88.8%, respectively, and the antioxidant capacity was significantly higher than that of compound juice, but less than that of vitamin C. The compound fruit wine developed by this study has a unique flavor and a good specific antioxidant activity, which would provide a scientific basis for the development and application of *Malus doumeri* (Bois) Chevalier and *Ziziphus jujube* Mill.

Key words: *Malus doumeri* (Bois) Chevalier; *Ziziphus jujube* Mill.; compound fruit wine; fermentation technology; antioxidant activity

大果山楂(*Malus doumeri* (Bois) Chevalier)属于蔷薇科落叶乔木,因其果大而闻名,是我国山楂属中的稀有品种^[1]。大果山楂含有北山楂所含的营养成分^[2-3],其中黄酮含量比北山楂高 2 倍^[4],有机酸含量高达 2.09%^[5]。现代药理研究表明,大果山楂具有开胃消食、降胆固醇、保护肝脏、抗氧化、抑制癌细胞增生、防治心脑血管疾病和Ⅱ型糖尿病等多重功效^[6-10],被卫生部列为食药兼用的纯天然绿色食品,也是广西地道药材之一。靖西大果山楂栽培历史悠久,其果肉厚,味清香,易贮藏,加工利用率高,但果实酸涩,鲜食难以被消费者接受。传统的大果山楂加工产品主要有:山楂糕、山楂片和山楂酸野等^[11],加工方式简单,附加值较低。当前大果山楂的深加工程度不高,每年约有上万吨大果山楂因无人采收、损伤或加工不力而弃烂,造成了极大的资源浪费。因此,充分利用靖西大果山楂优势资源,开发大果山楂新产品,既满足消费者对天然食品的追求,又可带动大果山楂深加工产业发展,对促进山区农民增收和地方经济的可持续发展具有重要意义。

红枣(*Zizyphus jujube* Mill.)为鼠李科枣属植物,富含维生素 C、氨基酸、糖类、矿物质元素、皂苷和黄酮类化合物等活性成分,俗称“百果之王”^[12-13]。红枣性温、味甘,具有益血滋补、美容护肤、抑制中枢神经和提高人体免疫力等保健功效^[14-16]。我国红枣产量位居世界第一,且种植面积和产量逐年增加,红枣资源十分丰富。然而,受加工技术水平限制,市场上以干枣、蜜枣、枣粉等为主,极大的限制了红枣产业的发展。

果酒是以新鲜水果或果汁为原料,经酵母菌发酵制成的低酒精度饮品^[17-18]。目前市售果酒主要由单一原料酿制而成,营养成分单一,风味单调,而复合果酒刚好可以克服上述缺陷。近年来,复合果酒被广泛关注且市场需求保持增长态势^[19-20]。目前,关于山楂酒、红枣酒等发酵产品及抗氧化活性的研究鲜有报道^[21-23],而对大果山楂红枣复合果酒的研究更少。将香气清淡、有机酸含量高的大果山楂汁和香气浓郁、含糖量高的红枣汁进行混合发酵果酒,可以缓解红枣酒的苦味和改善大果山楂酒酸涩等问题。基于靖西大果山楂和红枣的营养特色,本研究以靖西大果山楂和红枣为原料,在单因素实验基础上,通过响应面法优化大果山楂红枣复合果酒的酿造工艺,并对果

酒进行体外抗氧化活性研究,旨在为靖西大果山楂和红枣的综合利用以及复合果酒开发提供理论依据和工艺参数。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

大果山楂 采自靖西市安德镇;若羌干红枣 伊兰佳园食品有限公司;果胶酶(30 万 U/g)、纤维素酶(10 万 U/g) 河南糖柜食品有限公司;单宁酶(300 U/g) 深圳乐芙生物科技有限公司;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH) 合肥千盛生物科技有限公司;芦丁标准品、Folin 酚、没食子酸标准品 北京索莱宝科技有限公司;果酒专用酵母 RW 安琪酵母股份有限公司;其它试剂均为分析纯。

GL224i-1SCN 分析天平 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;UV-1800 紫外可见分光光度计 上海美谱达仪器有限公司;WBL2501B 榨汁机 广东美的生活电器制造有限公司;WAY-2W 阿贝折射仪 上海天全仪器仪表有限公司;KQ-800KDE 超声波清洗器 昆山超声波仪器有限公司;M1-L213B 微波炉 广东美的厨房电器制造有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 大果山楂红枣复合果酒发酵工艺流程 经过前期的一系列预备试验,所设计出来的大果山楂红枣复合果酒发酵工艺流程如下。本研究中优化工艺的所有试验都基于这一工艺流程。

大果山楂→挑选、清洗、切块、去核→热烫→打浆(加异抗坏血酸钠)→酶解(加复合酶)→过滤→大果山楂原汁
红枣→挑选、浸泡、去核→微波加热→打浆→酶解(加果胶酶)→过滤→红枣原汁
大果山楂红枣复合果汁→成分调整(加糖、酸、SO₂)→灭菌→发酵(接活化酵母菌)→澄清、过滤→陈酿→灭菌→复合果酒。

1.2.2 关键操作步骤 大果山楂原汁的制备:挑选新鲜、无机械损伤、无病虫害、8~9 成熟的大果山楂洗净;切块、去核,然后立即放入沸水浴中热烫 5 min,加入 3 倍质量的饮用水,再加入 0.1% 异抗坏血酸钠混匀打浆;向大果山楂匀浆中加入 0.6% 复合酶(果胶酶:纤维素酶:单宁酶质量比为 2:1:3),于超声功率为 50 W、35 ℃ 条件下酶解 1.5 h,用四层 200 目的无菌纱布过滤。

红枣原汁的制备:挑选果实完整、无虫眼、无霉变的干红枣,清洗,放入到 40~45 ℃ 温水中浸泡 20~30 min,去核;将去核后的红枣放入微波炉中加热处

理 1 min, 加入 6 倍质量的饮用水打浆, 然后加入 0.25% 的果胶酶, 40 ℃ 条件下酶解 2 h, 过滤取汁。

调配: 前期预试验结果表明, 大果山楂汁与红枣汁质量比为 1:2 时, 酿制的果酒酒香和果香更加协调丰盈。因此后续试验将大果山楂汁与红枣汁质量比固定为 1:2 进行混合, 加入白砂糖调至发酵所需糖度, 加入无水柠檬酸调整 pH4.0 左右, 最后加入适量焦亚硫酸钾。

灭菌: 将调配好的复合果汁放入热水浴中进行灭菌灭酶, 当果汁中心温度达到 80 ℃ 时, 保温 10 min, 灭菌结束后, 立即冷却至室温。

酵母活化: 称取 1 g 酿酒酵母加入到 10 mL 5°Bx 糖度的大果山楂红枣复合果汁中, 于 38 ℃ 条件下活化 10~20 min, 出现大量小气泡即可。

大果山楂红枣酒酿造: 将酵母菌活化种子液接入已灭菌的复合果汁中进行酒精发酵 7 d, 每天测定酒精度和残糖量。

澄清、过滤: 向发酵原果酒中添加 0.5% 复合澄清剂(壳聚糖硅藻土质量比为 1:1), 于 20 ℃ 环境下静置 2 d, 用虹吸法吸取上层酒液, 再用无菌的 200 目滤袋过滤, 得到澄清的大果山楂红枣果酒液。

陈酿: 在室温(10~18 ℃)条件下陈酿 2 个月。

灭菌: 将陈酿后的复合果酒液在 70~85 ℃ 加热处理 25~30 min, 无菌装瓶, 即得大果山楂红枣酒成品。

1.2.3 复合果酒发酵单因素实验 通过前期预实验, 可以初步确定大果山楂红枣复合果酒的实验条件, 即大果山楂汁与红枣汁质量比 1:2, 初始糖度 20°Bx, 酵母菌接种量 0.3%(V/V), 发酵温度 19 ℃, SO₂ 添加量 40 mg/L, 发酵时间 7 d。

根据单因素轮换法, 以酒精度、残糖量和感官评分为评价指标, 分别研究不同初始糖度(18°Bx、20°Bx、22°Bx、24°Bx、26°Bx), 酵母接种量(0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%), 发酵温度(17、19、21、23、25 ℃), SO₂ 添加量(0、20、40、60、80 mg/L)对大果山楂红枣复合果酒品质的影响。

1.2.4 响应面试验 在单因素实验的基础上, 选取对大果山楂红枣复合果酒酒精度和感官评分影响较大的初始糖度(A)、酵母菌接种量(B)、发酵温度(C)和 SO₂ 添加量(D)为自变量, 以复合果酒的酒精度(Y₁)和感官评分(Y₂)为响应值, 设计了 4 因素 3 水平的 Box-Behnken 响应面分析试验优化复合果酒的发酵工艺参数, 因素与水平见表 1。

表 1 响应面试验因素与水平

Table 1 Factors and levels of response surface experiments

水平	A 初始糖度 (°Bx)	B 酵母接种量 (%)	C 发酵温度 (℃)	D SO ₂ 添加量 (mg/L)
1	20	0.2	19	40
2	22	0.3	21	60
3	24	0.4	23	80

1.2.5 感官评定 大果山楂红枣复合果酒的感官评

定参照 QB/T 5476-2020《果酒通用技术要求》感官要求^[24], 感官评价小组由 20 名具有感官评价经验的食品专业人员组成, 其中男女各占一半, 分别从外观、香气、滋味、典型性 4 个方面进行评价, 感官评价标准见表 2。

表 2 大果山楂红枣复合果酒感官评价标准

Table 2 Sensory evaluation standards of *Malus doumeri* (Bois) Chevalier and *Ziziphus jujube* Mill. compound fruit wine

项目	评价指标	分值
外观(20分)	澄清透明, 有光泽, 淡黄色	16~20
	澄清透明, 较有光泽, 淡黄色	11~15
	酒体浑浊, 无光泽	0~10
香气(30分)	酒香馥郁, 果香与酒香协调, 清新怡人	26~30
	果香与酒香较协调, 较怡人	21~25
	较少的果香与酒香, 无异味	16~20
	果香与酒香不足, 有异味, 使人不悦	0~15
	酒体丰满, 口感醇厚, 酸甜适宜, 余味绵延	36~40
滋味(40分)	酒体柔顺, 纯正无杂, 酸甜较适宜	31~35
	酒体较协调, 口感一般, 余味不足	26~30
	有异味, 口感偏酸或偏甜	0~25
典型性(10分)	具有典型大果山楂、红枣的清香	8~10
	较好的典型性果香	5~7
	失去典型性果香	0~4

1.2.6 理化指标和微生物指标测定 根据最佳工艺参数酿制的大果山楂红枣复合果酒为样品, 进行理化指标和微生物指标的测定。

酒精度: 采用 GB 5009.225-2016 中的酒精计法(发酵酒)测定^[25]; 可溶性固形物: 采用 GB/T 12143-2008 折光计法^[26]; 总糖: 参照王凯等^[27]采用的 3,5-二硝基水杨酸(DNS)法并稍作改动, 准确量取适量待测酒样到比色管中, 加入 DNS 试剂, 沸水浴中加热 5 min, 加蒸馏水定容, 在 520 nm 处测定吸光值, 以 g/L 的葡萄糖计; 总酸: 采用 GB 12456-2021《食品中总酸的测定》中的酸碱滴定法测定^[28]; 挥发酸、干浸出物和总二氧化硫(直接碘量法): 参照 GB/T 15038-2006^[29]。

总黄酮: 参照付美玲等^[30]方法并稍作修改, 准确移取 0.2 mg/mL 的芦丁标准溶液 0、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0 mL 于 25 mL 容量瓶中, 分别加入 0.5 mL 5% NaNO₂ 溶液避光静置 6 min, 然后加入 0.5 mL 10% Al(NO₃)₃ 溶液避光静置 6 min, 最后加入 10 mL 1% NaOH 溶液, 并用 70% 乙醇溶液定容, 避光静置 15 min, 在 510 nm 波长下测定其吸光度值, 制得标准曲线的回归方程为: $y=5.0321x-0.0005$, $R^2=0.9997$ 。移取 0.5 mL 酒样, 参照芦丁标准曲线测定方法进行测定, 结果以 mg 芦丁当量(RE)/mL 表示。

总酚: 参照 Gasinski 等^[31]方法略作改动。配制 0.1 mg/mL 的没食子酸标准溶液, 分别移取 0、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0 mL 于 25 mL 容量瓶中, 加入 2.0 mL Folin-Ciocalteu 试剂混匀, 静置 5 min, 然后加入 4 mL 10% Na₂CO₃ 溶液混匀, 加去离子水定容,

在 45 ℃ 恒温水浴锅中保持 40 min, 于 760 nm 波长下测定吸光度值。绘制没食子酸标准曲线的回归方程为: $y=6.3125x+0.0005$, $R^2=0.9991$ 。移取 0.5 mL 酒样, 按照没食子酸标准曲线的方法, 结果以 mg 没食子酸当量(GAE)/mL 表示。

菌落总数: 参照 GB 4789.2-2016 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定^[32]; 大肠菌群: 参照 GB 4789.3-2016 食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数^[33]; 沙门氏菌: 参照 GB 4789.4-2016 食品安全国家标准 食品微生物学检验 沙门氏菌检验^[34]; 金黄色葡萄球菌: 参照 GB 4789.10-2016 食品安全国家标准 食品微生物学检验 金黄色葡萄球菌检验^[35]。

1.2.7 大果山楂红枣复合果酒体外抗氧化活性分析

将大果山楂红枣复合果酒和大果山楂红枣复合果汁分别稀释 20 倍, 取样品稀释液进行 DPPH· 和 ABTS⁺· 清除率的测定, 以 0.2 mg/mL 的 V_C 溶液做阳性对照。

DPPH· 清除率的测定: 参照 Bai 等^[36] 方法稍作修改, 准确移取 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7 mL 样品稀释液和 V_C 溶液, 加水补足到 2 mL, 再依次加入 2 mL 0.1 mol/L 的 DPPH 溶液混匀, 暗室反应 45 min, 在 517 nm 波长下测定吸光度值 A₁。取 2 mL 无水乙醇, 加入 2 mL DPPH 溶液, 测定其吸光度值为 A₀; 取上述不同浓度的样液 2 mL, 加入 2 mL 无水乙醇溶液, 测定吸光度值 A₂, 按公式(1)计算 DPPH· 清除率。

$$\text{DPPH} \cdot \text{清除率}(\%) = \left[1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0} \right] \times 100 \quad \text{式 (1)}$$

ABTS⁺· 清除率的测定: 参照吴双从等^[22] 方法, 稍作调整。准确移取 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7 mL 样品稀释液和 V_C 溶液, 加水补足到 2 mL, 再依次加入 2 mL ABTS 工作液混匀, 暗室反应 6 min, 于 734 nm 波长下测定吸光度值 A₁。取 2 mL 无水乙醇, 加入 2 mL ABTS 工作液, 测定吸光度值 A₀, 按公式(2)计算 ABTS⁺· 清除率。

$$\text{ABTS}^+ \cdot \text{清除率}(\%) = \left[\frac{A_0 - A_1}{A_0} \right] \times 100 \quad \text{式 (2)}$$

1.3 数据处理

使用 Excel 整合实验数据, 每个试验点重复 3 次, 使用 SPSS Statistics 26.0、Design-Expert 10.0.3.1 软件进行统计分析, 用 LSD 法进行单因素方差分析, 结果以平均值±标准偏差表示, 采用 Origin 2018 软件作图。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果

2.1.1 不同初始糖度对大果山楂红枣复合果酒品质的影响 糖是酵母菌生长繁殖所必需的碳源和能源, 也是酒精发酵的主要底物, 合适的含糖量可以增加果

酒的风味, 酒体更加丰盈^[37]。由图 1 可知, 随着初始糖度的增加, 酒精度和感官评分先增加后下降, 残糖量逐渐上升。当初始糖度为 18°Bx 时, 酵母菌得不到充足的营养使其发酵动力不足, 酿制的复合果酒酒精度较低, 酒体平淡, 感官评分较差。随着初始糖度的增加, 酵母菌可发酵的糖越多, 发酵越充分, 果酒的酒精度和感官评分也在不断增加。当初始糖度为 22°Bx 时, 复合果酒的酒精度和感官评分均达到最高值(11.3%vol, 89.4 分), 果酒酸甜适口, 具有明显的果香和酒香, 香气协调。当初始糖度高于 22°Bx 时, 果酒的感官评分和酒精度显著下降($P<0.05$), 残糖量显著增加($P<0.05$)。可能的原因是发酵液渗透压升高, 酵母细胞内部脱水, 菌体生长繁殖受到抑制, 糖转化率低, 酒精度下降, 残糖含量增加, 口感偏甜, 果酒品质欠佳。初始糖度为 22°Bx 与 20°Bx、24°Bx 的酒精度组间具有显著差异($P<0.05$)。因此, 选择初始糖度为 20°Bx、22°Bx、24°Bx 进行响应面优化试验。

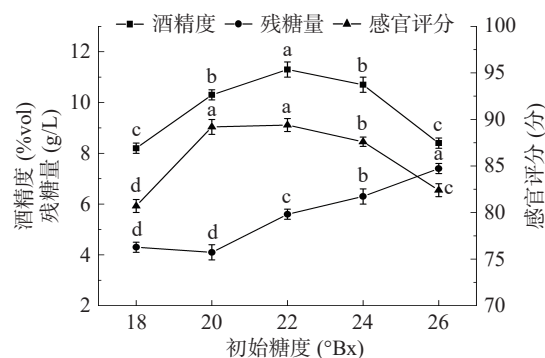


图 1 不同初始糖度对大果山楂红枣复合果酒品质的影响
Fig.1 Effects of different initial sugar content on the quality of *Malus doumeri* (Bois) Chevalier and *Ziziphus jujube* Mill.

compound fruit wine

注: 不同小写字母表示差异显著($P<0.05$); 图 2~图 4、图 7 同。

2.1.2 不同酵母菌接种量对大果山楂红枣复合果酒品质的影响 由图 2 可知, 复合果酒的酒精度和感官评分随着酵母接种量的增加均呈先上升后下降趋势, 残糖量逐渐下降。可能的原因是接种量较低时, 发酵不彻底, 产酒精较低, 酒体寡淡, 影响果酒的品

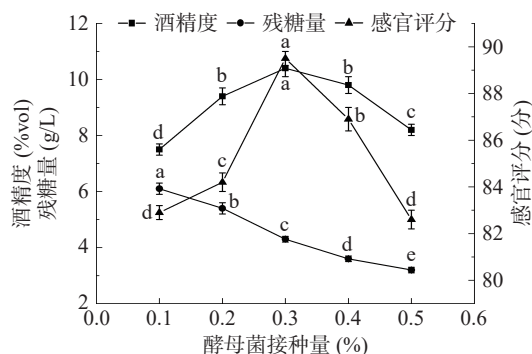


图 2 不同酵母菌接种量对大果山楂红枣复合果酒品质的影响

Fig.2 Effects of different yeast inoculum on the quality of *Malus doumeri* (Bois) Chevalier and *Ziziphus jujube* Mill. compound fruit wine

质;当接种量过大时,酵母快速繁殖,消耗了果汁中大量的糖,而用于酒精发酵的糖较少,酒精度较低;同时酵母细胞大量增值分泌的代谢产物加速菌体老化,以及酵母菌发生自溶会影响果酒的口感和风味。由 LSD 法多重比较可知,酵母菌接种量为 0.3% 时,酒精度和感官评分都最高(10.4%vol, 89.5 分),与其他酵母菌接种量差异显著($P<0.05$)。因此,选择酵母菌接种量为 0.2%、0.3%、0.4% 进行响应面优化试验。

2.1.3 不同发酵温度对大果山楂红枣复合果酒品质的影响 发酵温度对酵母菌的生长繁殖、酒精发酵和果酒风味物质的形成具有重要影响^[38]。由图 3 可知,发酵温度在 17~21 °C 范围内,酒精度及感官评分随着发酵温度升高而增加,残糖量逐渐下降。当发酵温度为 21 °C 时,适宜酵母菌的生长繁殖和酒精发酵,酒精度和感官评分最高(11.2%vol, 90.5 分)。继续升高温度,酵母快速繁殖,加速菌体提前老化,酵母细胞内的蛋白质和酶系活性下降,酵母后发酵动力不足,糖转化率低,产酒精含量低,同时会伴随一些不良的发酵味和酸味产生^[39],果酒感官评分显著下降($P<0.05$)。由 LSD 法多重比较可知,发酵温度为 21 °C 与 23 °C 的酒精度差异不显著($P>0.05$),但显著高于其他发酵温度($P<0.05$),综合考虑低耗能等因素,选择发酵温度为 19、21、23 °C 进行响应面优化试验。

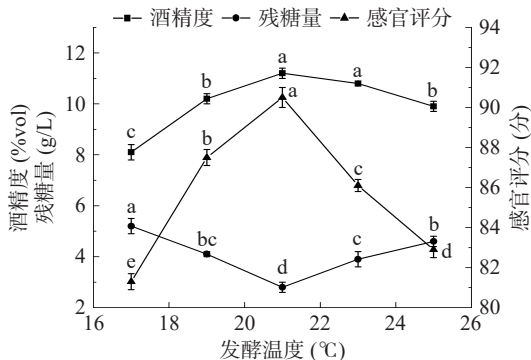


图 3 不同发酵温度对大果山楂红枣复合果酒品质的影响
Fig.3 Effects of different fermentation temperature on the quality of *Malus doumeri* (Bois) Chevalier and *Ziziphus jujube* Mill. compound fruit wine

2.1.4 不同 SO₂ 添加量对大果山楂红枣复合果酒品质的影响 SO₂ 在果酒发酵过程,具有杀菌、抗氧化和澄清作用^[40]。不同 SO₂ 添加量对酒精度及感官评分影响显著($P<0.05$)。由图 4 可知,当 SO₂ 添加量低于 60 mg/L 时,对杂菌抑菌不彻底,杂菌与酵母菌共同竞争果汁中的营养物质,从而影响酵母菌的正常繁殖和代谢,感官评分和酒精度较低。当 SO₂ 添加量为 80 mg/L 时,酵母菌活性受到抑制,产酒精量下降,有轻微的硫味使得感官评分下降。由 LSD 法多重比较可知,SO₂ 添加量为 60 mg/L 时,酒精度和感官评分达到最大值(10.8%vol, 89.4 分),显著高于其他 SO₂ 添加量($P<0.05$)。因此,选择 SO₂ 添加量为

40、60、80 mg/L 进行响应面优化试验。

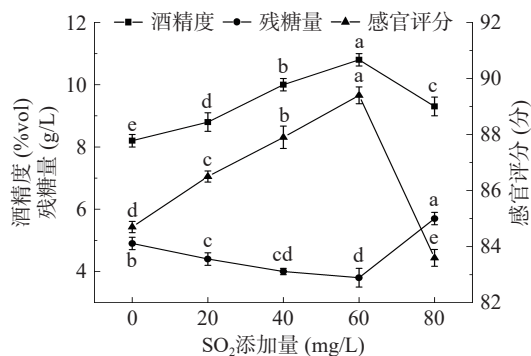


图 4 不同 SO₂ 添加量对大果山楂红枣复合果酒品质的影响
Fig.4 Effects of different SO₂ addition on the quality of *Malus doumeri* (Bois) Chevalier and *Ziziphus jujube* Mill. compound fruit wine

2.2 响应面法优化大果山楂红枣复合果酒发酵工艺试验结果

2.2.1 大果山楂红枣复合果酒响应面试验设计及结果 根据单因素实验结果,设计了 4 因素 3 水平共 29 个试验点的响应面试验优化大果山楂红枣复合果酒发酵工艺条件,响应面试验设计及结果见表 3。

表 3 响应面试验设计及结果
Table 3 Design and results of response surface experiments

试验号	A 初始糖度(°Bx)	B 酵母接种量(%)	C 发酵温度(°C)	D SO ₂ 添加量(mg/L)	Y ₁ 酒精度(%vol)	Y ₂ 感官评分(分)
1	22	0.3	21	60	11.5±0.2	93.2±0.4
2	20	0.3	23	60	9.2±0.1	74.5±0.5
3	24	0.2	21	60	10.6±0.2	85.9±0.3
4	24	0.3	19	60	10.1±0.1	81.8±0.5
5	22	0.3	19	40	11.1±0.2	89.9±0.6
6	24	0.3	21	40	10.3±0.2	83.4±0.5
7	20	0.2	21	60	9.9±0.2	80.2±0.6
8	24	0.4	21	60	10.2±0.1	82.6±0.3
9	22	0.2	23	60	10.5±0.1	85.1±0.7
10	24	0.3	23	60	11.2±0.2	90.7±0.4
11	22	0.2	21	40	10.7±0.3	86.7±0.6
12	20	0.4	21	60	9.8±0.2	79.4±0.5
13	22	0.3	23	80	9.9±0.3	80.2±0.6
14	22	0.3	21	60	11.3±0.2	91.5±0.7
15	22	0.3	21	60	11.2±0.2	90.7±0.5
16	24	0.3	21	80	10.4±0.3	84.2±0.4
17	22	0.3	21	60	11.4±0.1	92.3±0.3
18	20	0.3	19	60	11.0±0.3	89.1±0.7
19	22	0.3	21	60	11.5±0.1	93.2±0.4
20	20	0.3	21	80	9.3±0.2	75.3±0.8
21	20	0.3	21	40	10.6±0.2	85.9±0.6
22	22	0.4	23	60	9.8±0.2	79.4±0.7
23	22	0.3	19	80	11.0±0.3	89.1±0.6
24	22	0.2	19	60	10.6±0.2	85.7±0.5
25	22	0.4	19	60	10.6±0.3	85.7±0.7
26	22	0.2	21	80	9.9±0.2	80.2±0.7
27	22	0.4	21	80	9.5±0.2	77.0±0.8
28	22	0.3	23	40	10.7±0.3	86.7±0.6
29	22	0.4	21	40	10.2±0.2	82.6±0.7

2.2.2 回归模型的建立及方差分析 利用 Design-Expert 10.0.3.1 软件对表 3 中试验结果进行二次回

归拟合后,得到回归方程为:

$$Y_1=11.38+0.25A-0.18B-0.26C-0.30D-0.075AB+0.72AC+0.35AD-0.17BC+0.025BD-0.17CD-0.66A^2-0.70B^2-0.27C^2-0.54D^2;$$
$$Y_2=92.18+2.02A-1.43B-2.06C-2.43D-0.62AB+5.88AC+2.85AD-1.42BC+0.23BD-1.42CD-5.35A^2-5.66B^2-2.24C^2-4.33D^2。$$

由表 4 可知,酒精度的模型极显著($P<0.0001$),模型失拟项不显著($P>0.05$),表明模型拟合度较好,实验误差不显著,因此可用该回归方程代替试验真实点对试验结果进行分析和预测。酒精度模型的决定系数 R^2 为 $0.9691>0.9$ 、校正系数 $R^2_{adj}=0.9382$,说明复合果酒的酒精度的实验值与预测值相关性较好。离散系数(CV)为 1.55% ,说明酒精度模型重现性好,整个试验精确度和可靠性较高。各因素及交互作用对复合果酒酒精度的显著性分析表明,模型中自变量一次项 A、B、C、D 和交互项 AC、AD 以及所有二次项对复合果酒酒精度的影响极显著($P<0.01$),交互项 BC、CD 对复合果酒酒精度的影响显著($P<0.05$),其它因素交互作用均不显著($P>0.05$)。根据 F 值大小可知,各因素对复合果酒酒精度的影响大小依次为: SO_2 添加量>发酵温度>初始糖度>酵母菌接种量。

表 4 以酒精度为响应值回归模型的方差分析

Table 4 Variance analysis of regression model with alcohol content as response value						
方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	11.61	14	0.83	31.34	<0.0001	**
A	0.75	1	0.75	28.34	0.0001	**
B	0.37	1	0.37	13.89	0.0023	**
C	0.80	1	0.80	30.26	<0.0001	**
D	1.08	1	1.08	40.81	<0.0001	**
AB	0.022	1	0.022	0.85	0.3721	
AC	2.10	1	2.10	79.45	<0.0001	**
AD	0.49	1	0.49	18.52	0.0007	**
BC	0.12	1	0.12	4.63	0.0494	*
BD	2.500E-003	1	2.500E-003	0.094	0.7631	
CD	0.12	1	0.12	4.63	0.0494	*
A ²	2.83	1	2.83	107.04	<0.0001	**
B ²	3.16	1	3.16	119.53	<0.0001	**
C ²	0.48	1	0.48	18.31	0.0008	**
D ²	1.86	1	1.86	70.37	<0.0001	**
残差	0.37	14	0.026			
失拟项	0.30	10	0.030	1.78	0.3042	
纯误差	0.068	4	0.017			
总和	11.98	28				

注: $P<0.05$ 表明模型或考察因素影响显著; $P<0.01$ 表明影响极显著。

由表 5 可知,感官评分的模型极显著($P<0.0001$),模型失拟项不显著($P>0.05$),表明模型拟合度较好。感官评分模型的决系数 R^2 为 $0.9683>0.9$ 、校正系数 $R^2_{adj}=0.9365$,说明复合果酒的感官评分的实验值与预测值相关性较好。离散系数(CV)为 1.57% ,说明感官评分模型重现性好,整个试验精确度和可靠性较高。各因素及交互作用对复合果酒感官评分的显

著性分析表明,模型中自变量一次项 A、B、C、D 和交互项 AC、AD 以及所有二次项对复合果酒感官评分的影响极显著($P<0.01$),其它因素交互作用均不显著($P>0.05$)。根据 F 值大小可知,各因素对复合果酒感官评分的影响大小依次为: SO_2 添加量>发酵温度>初始糖度>酵母菌接种量。

表 5 以感官评分为响应值回归模型的方差分析
Table 5 Variance analysis of regression model with sensory evaluation as response value

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	760.95	14	54.35	30.51	<0.0001	**
A	48.80	1	48.80	27.40	0.0001	**
B	24.37	1	24.37	13.68	0.0024	**
C	50.84	1	50.84	28.54	0.0001	**
D	71.05	1	71.05	39.88	<0.0001	**
AB	1.56	1	1.56	0.88	0.3469	
AC	138.06	1	138.06	77.50	<0.0001	**
AD	32.49	1	32.49	18.24	0.0008	**
BC	8.12	1	8.12	4.56	0.0509	
BD	0.20	1	0.20	0.11	0.7410	
CD	8.12	1	8.12	4.56	0.0509	
A ²	185.83	1	185.83	104.31	<0.0001	**
B ²	208.17	1	208.17	116.85	<0.0001	**
C ²	32.55	1	32.55	18.27	0.0008	**
D ²	121.47	1	121.47	58.19	<0.0001	**
残差	24.94	14	1.78			
失拟项	20.19	10	2.02	1.70	0.3210	
纯误差	4.75	4	1.19			
总和	785.89	28				

2.2.3 响应面交互作用分析 根据响应面试验测定结果,各因素交互作用对复合果酒酒精度和感官评分影响的响应面图分别见图 5 和图 6。响应曲面坡度越陡峭,说明两两因素的交互作用对复合果酒的酒精度或感官评分影响越显著,响应曲面坡度越平缓,则影响不显著^[41]。由图 5 可知,初始糖度和发酵温度、初始糖度与 SO_2 添加量交互形成的曲面坡度最陡峭,表明这几组因素两两交互作用对酒精度影响最显著;酵母菌接种量与发酵温度、发酵温度与 SO_2 添加量交互形成的曲面坡度比较陡峭,表明其两两交互作用对酒精度影响比较显著。由图 6 可知,初始糖度和发酵温度、初始糖度与 SO_2 添加量交互形成的曲面坡度最陡峭,表明这几组因素两两交互作用对复合果酒的感官评分影响最显著。这与表 3 方差分析结果相一致。

2.2.4 验证试验 通过 Design-Expert 10.0.3.1 软件分析,在初始糖度为 $21.33^{\circ}Bx$ 、酵母菌接种量为 0.30% 、发酵温度为 $19.33^{\circ}C$ 、 SO_2 添加量为 54.92 mg/L 的发酵条件下,酒精度达到最大的理论值为 $11.48\%\text{ vol}$;在初始糖度为 $21.41^{\circ}Bx$ 、酵母菌接种量为 0.29% 、发酵温度为 $19.48^{\circ}C$ 、 SO_2 添加量为 54.92 mg/L 的发酵条件下,感官评分达到最大的理论值为 93.99 分。为了方便实际操作,将大果山楂红枣复合果酒最

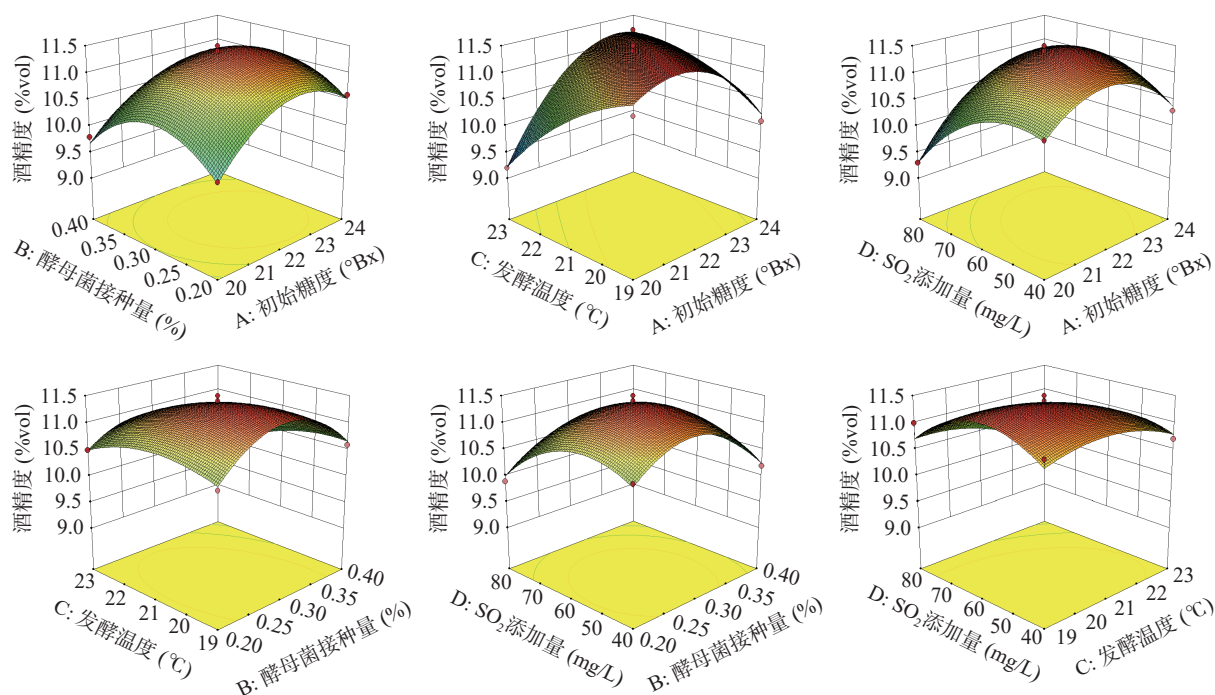


图5 各因素交互作用对大果山楂红枣复合果酒酒精度影响的响应曲面图

Fig.5 Response surface plot of interactive of various factors on alcohol content of *Malus doumeri* (Bois) Chevalier and *Ziziphus jujube* Mill. compound fruit wine

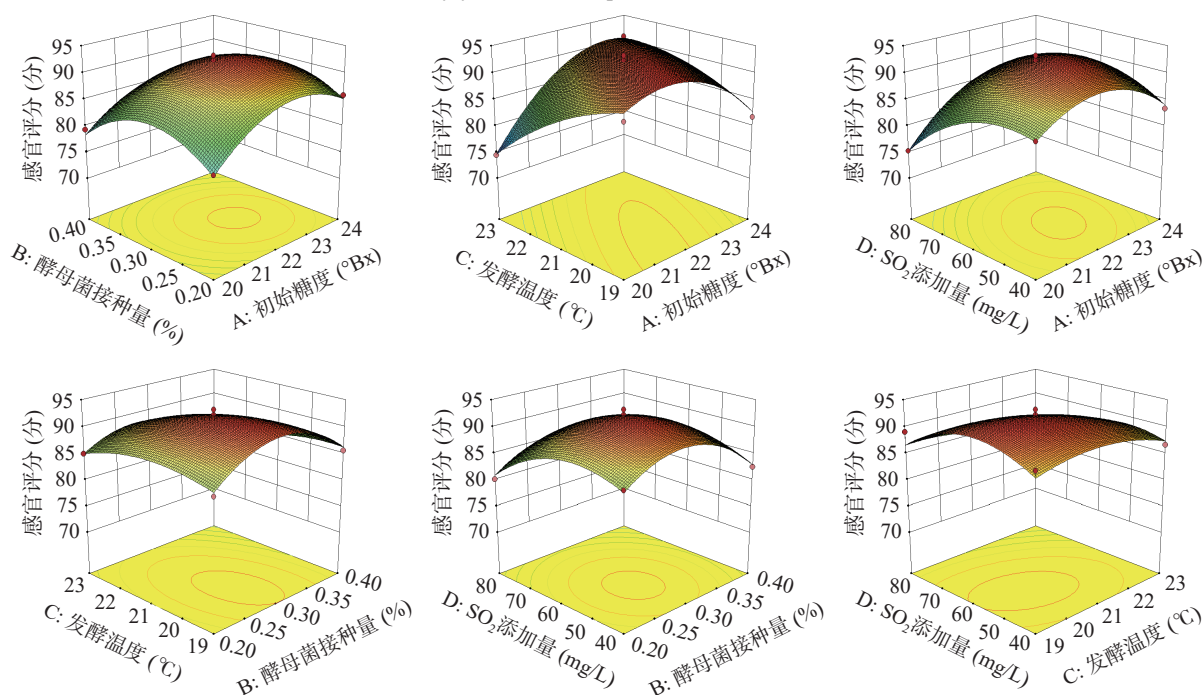


图6 各因素交互作用对大果山楂红枣复合果酒感官评分影响的响应曲面图

Fig.6 Response surface plot of interactive of various factors on sensory evaluation of *Malus doumeri* (Bois) Chevalier and *Ziziphus jujube* Mill. compound fruit wine

佳发酵工艺参数修正为: 初始糖度 21°Bx, 酵母菌接种量 0.3%, 发酵温度 19 °C, SO₂ 添加量 55 mg/L。根据修正后的工艺条件进行 3 次重复试验, 大果山楂红枣复合果酒酒精度和感官评分分别为 11.50%vol±0.10%vol 和 93.80±0.40, 与模型预测值接近($P>0.05$), 说明该模型进行的试验设计可行, 可信度较高。

2.3 大果山楂红枣复合果酒的质量指标测定结果

2.3.1 感官指标 在最佳工艺条件下酿制的复合果

酒酒体呈淡黄色, 色泽鲜亮, 澄清透明, 无可见外来杂质, 具有明显的果香和酒香, 香味协调, 酒体丰满, 口感柔和, 酸甜适宜, 典型性佳。

2.3.2 理化指标和微生物指标的测定 根据最佳工艺参数酿制的大果山楂红枣复合果酒, 理化指标和微生物指标检测结果见表 6 和表 7, 由这两个表可以看出, 大果山楂红枣复合果酒的理化指标和微生物指标均达到了 GB 2758-2012《食品安全国家标准 发酵酒

及其配制酒》和 QB/T 5476-2020《果酒通用技术要求》的各项质量标准。

表 6 理化指标检测结果
Table 6 Physical and chemical indexes testing results

测定指标	测定结果	国家标准
酒精度(%vol)	11.50±0.10	≥2.0
可溶性固形物(%)	7.80±0.08	—
总糖(以葡萄糖计,g/L)	3.40±0.13	≤150
总酸(以酒石酸计,g/L)	7.13±0.03	—
挥发酸(以乙酸计,g/L)	0.37±0.06	≤1.2
干浸出物(g/L)	22.40±0.15	≥10.0
总二氧化硫(以SO ₂ 计,g/L)	0.074±0.006	≤0.25
黄酮(mg/mL)	1.56±0.18	—
多酚(mg/mL)	2.31±0.16	—

注: —是指参照的国标中没有明确要求。

表 7 微生物指标检测结果
Table 7 Microbiological indexes testing results

测定指标	测定结果	国家标准
菌落总数(CFU/mL)	14	—
大肠杆菌(MPN/100 mL)	未检出	—
致病菌(沙门氏菌、金黄色葡萄球菌)	未检出	不得检出

注: —是指参照国标中没有明确要求。

2.4 大果山楂红枣复合果酒体外抗氧化活性分析

由图 7 可知, 稀释 20 倍的大果山楂红枣复合果酒、大果山楂红枣复合果汁及 V_C 对 DPPH· 及 ABTS⁺· 清除率均随着样品体积的增加呈现先上升后趋于平缓的趋势, 与吴双从等^[22] 研究的枳椇山楂果酒、黄艳

丽等^[42] 研究多依果红心火龙果复合果酒的抗氧化活性变化一致。由图 7A 可知, 当样品体积达到 0.5 mL 时, 复合果酒对 DPPH· 清除率为 85.7%, 较复合果汁的清除率(72.8%)提高了 17.7%, 比 V_C 的清除率 89.4% 低。由图 7B 可知, 当样品体积低于 0.4 mL 时, 复合果酒、复合果汁及 V_C 对 ABTS⁺· 清除率差异显著($P<0.05$); 样品体积在 0.4~0.6 mL 时, 复合果酒与 V_C 对 ABTS⁺· 清除率差异不显著($P>0.05$); 当样品体积达到 0.6 mL 时, 复合果酒对 ABTS⁺· 清除率达到最大值 88.8%, 略低于 V_C 的清除率 91.1%, 高于复合果汁的清除率 81.1%。表明大果山楂红枣复合果酒较好地保留了大果山楂和红枣的抗氧化活性物质, 稀释 20 倍的大果山楂复合果酒仍具有较强的清除 DPPH· 及 ABTS⁺· 的能力。

3 结论

通过单因素实验和 Box-Benhnken 响应面分析试验对大果山楂红枣复合果酒发酵条件进行了优化, 得到最佳发酵工艺参数为: 大果山楂汁与红枣汁质量比 1:2, 初始糖度 21°Bx, 酵母菌接种量 0.3%, 发酵温度 19 °C, SO₂ 添加量 55 mg/L, 发酵时间 7 d。在此最优发酵条件下, 酿制的复合果酒酒精度为 11.50% vol±0.10%vol, 可溶性固形物为 7.80%±0.08%, 总糖为 3.40±0.13 g/L, 总酸为 7.13±0.03 g/L, 干浸出物 22.40±0.15 g/L, 二氧化硫为 0.074±0.006 g/L, 感官评分为 93.80±0.40, 酒体呈浅黄色, 澄清透亮, 口感醇厚, 具有大果山楂和红枣特有的香味和酒香, 且其理化及卫生指标均符合果酒的国家标准, 是一款营养丰富与感官俱佳的新型复合果酒。复合果酒的总黄酮和多酚含量分别为 1.56±0.18 mg/mL、2.31±0.16 mg/mL, 对 DPPH· 和 ABTS⁺· 清除率随着样品体积增加而升高, 最高可达 85.7% 和 88.8%, 说明大果山楂红枣复合果酒具有较好的体外抗氧化活性。本研究对大果山楂红枣复合果酒的发酵工艺及其抗氧化活性进行探究, 为大果山楂和红枣进一步深加工利用提供了新思路。

参考文献

[1] 李开祥, 邓绍林, 廖健明, 等. 靖西大果山楂生产及加工现状的调查研究[J]. 广西林业科学, 2003, 32(4): 214-216. [LI K X, DENG S L, LIAO J M, et al. Investigation and research of production and processing status of the *Crataegus jingxiensis* Li[J]. Guangxi Forestry Science, 2003, 32(4): 214-216.]

[2] 潘莹, 张林丽. 大果山楂的研究进展[J]. 时珍国医国药, 2007, 18(12): 2972-2973. [PAN Y, ZHANG L L. Research progress of *Malus doumeri* (Bois) Chev.[J]. LI Shizhen Medicine and Materia Medica Research, 2007, 18(12): 2972-2973.]

[3] 程天德, 陈清乐, 李雪平, 等. 液体深层发酵提高粤北大果山楂发酵液中主要活性成分含量及其抗氧化能力[J]. 现代食品科技, 2020, 36(12): 111-117. [CHENG T D, CHEN Q L, LI X P, et al. Deep liquid fermentation increased the content of main active components and antioxidant capacity in the fermentation broth of *Malus doumeri* fruits from northern Guangdong province[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(12): 111-117.]

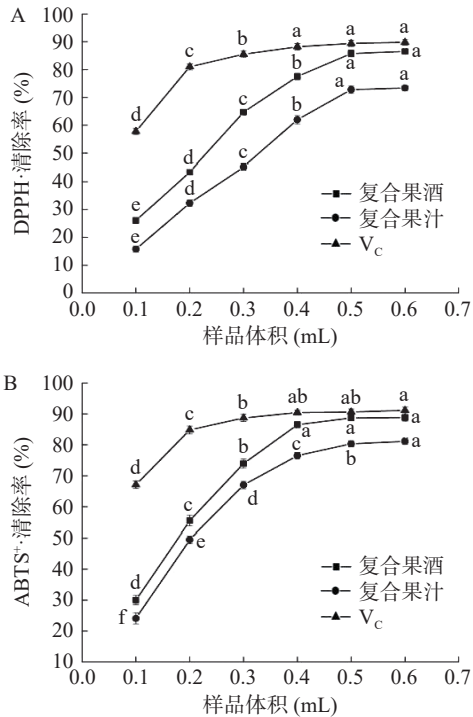


图 7 复合果酒、复合果汁和 V_C 对 DPPH(A)和 ABTS⁺(B) 自由基的清除能力

Fig.7 Scavenging ability of compound wine, compound juice and vitamin C on DPPH (A) and ABTS⁺ (B) free radicals

- [4] 张巧, 叶春玲, 商飞飞, 等. 大果山楂酵素的多菌种发酵工艺研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2019, 40(5): 70-76. [ZHANG Q, YE C L, SHANG F F, et al. Study on the multi-strain fermentation technology of *Malus domeri* (Bois) Chev. enzyme[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2019, 40(5): 70-76.]
- [5] 李璐雨. 广西不同产地大果山楂主要营养成分比较分析[J]. 现代食品, 2022, 28(11): 185-188. [LI L Y. Comparative analysis of main nutritional components of Hawthorn from different producing areas in Guangxi[J]. Modern Food, 2022, 28(11): 185-188.]
- [6] HE Z Y, KWEK E, HAO W J, et al. Hawthorn fruit extract reduced trimethylamine-N-oxide (TMAO)-exacerbated atherogenesis in mice via anti-inflammation and anti-oxidation[J]. Nutrition and Metabolism, 2021, 18(1): 1-15.
- [7] XU D, WEN C L, GUANG Y R, et al. Effects of different drying methods on the physical characteristics and flavor of dried hawthorns (*Crataegus* spp.)[J]. Drying Technology, 2017, 35(11): 1412-1421.
- [8] ZHU K, HUANG G B, XIE J, et al. Preventive effect of flavonoids from Wushan Shenchu (*Malus doumeri* leaves) on CCl₄-induced liver injury[J]. Food Science Nutrition, 2019, 7(11): 3808-3818.
- [9] MALDONADO C J, ALBORES E M, SAN M E, et al. Mexican hawthorn (*Crataegus gracilior* J. B. Phipps) stems and leaves induce cell death on breast cancer cells[J]. Chemistry of Natural Compounds, 2021, 57(2): 350-352.
- [10] ABOLFAZL A, PEYMAN S, NIMA A, et al. Flavonoids profile and antioxidant activity in flowers and leaves of hawthorn species (*Crataegus* spp.) from different regions of Iran[J]. International Journal of Food Properties, 2018, 21(1): 452-470.
- [11] 曾维忠, 蓝金宣, 梁忠茂, 等. 靖西大果山楂酒加工工艺及营养活性成分价值分析[J]. 热带农业科学, 2021, 41(4): 94-98. [ZENG W Z, LAN J X, LIANG Z M, et al. Processing technique and the activity nutritive ingredient value analysis of *Malus doumeri* wine[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2021, 41(4): 94-98.]
- [12] MUHAMMAD A A, AQSA H, RIAZ A, et al. Physico-chemical attributes of fresh and dried indian jujube (*Zizyphus Mauritiana*) fruits[J]. Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 2020, 57(1): 165-176.
- [13] JANG E L, JEONG H Y, AE R L, et al. Volatile components and sensory properties of jujube wine as affected by material pre-processing[J]. International Journal of Food Properties, 2018, 21(1): 2052-2061.
- [14] JI X L, LIU F, NIAMAT U, et al. Isolation, purification, and antioxidant activities of polysaccharides from *Zizyphus Jujuba* cv. Muzao[J]. International Journal of Food Properties, 2018, 21(1): 1-11.
- [15] BEGUM T, RACI E. Drying characteristics and some quality parameters of whole jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.) during hot air drying[J]. Italian Journal of Food Science, 2021, 33(1): 1-15.
- [16] SUNDAR S, SANJIB S, SEN W, et al. Prospects and significance of Chinese jujube (*Zizyphus jujuba*) in new mexico: A review[J]. New Mexico Journal of Science, 2020, 54(1): 21-35.
- [17] SARANRAJ P, SIVASAKTHIVELAN P, NAVEEN M. Fermentation of fruit wine and its quality analysis: A review[J]. Asian Journal of Science and Technology, 2017, 1(2): 85-97.
- [18] FADAHUNSI I F, AKOJA A D, OZABOR T P. Characterization of indigenous yeasts species isolated from fruits for pineapple wine production[J]. Carpathian Journal of Food Science and Technology, 2020, 12(5): 109-121.
- [19] TAIS O B, LORENA S P, ALICE F S, et al. Characterization of the jambolan (*Syzygium cumini* L.) fruit wine processing[J]. BioResources, 2017, 12(4): 7069-7083.
- [20] 覃瑶, 吴波, 秦吟, 等. 我国果酒发展及研究现状[J]. 中国酿造, 2020, 39(9): 1-6. [QIN Y, WU B, QIN H, et al. Development and research status of fruit wine in China[J]. China Brewing, 2020, 39(9): 1-6.]
- [21] 钟平娟, 叶丽芳, 门戈阳, 等. 大果山楂酒发酵过程中抗氧化活性和香气成分分析[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(8): 24-29. [ZHONG P J, YE L F, MEN G Y, et al. Analysis of antioxidant activity and aromatic components of *Malus doumeri* (Bois) Chevalier wine during fermentation[J]. Food Research and Development, 2021, 42(8): 24-29.]
- [22] 吴双从, 曹新志, 张楷正, 等. 枳椇山楂果酒酿酒工艺优化及抗氧化活性分析[J]. 中国酿造, 2022, 41(4): 192-198. [WU S C, CAO X Z, ZHANG K Z, et al. Optimization of fermentation technology and antioxidant activity analysis of *Hovenia dulcis* and hawthorn fruit wine[J]. China Brewing, 2022, 41(4): 192-198.]
- [23] 齐习超. 黑化红枣酒加工品质研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2022. [QI X C. Study on processing quality of blackened Jujube wine[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2022.]
- [24] 中华人民共和国工业和信息化部. QB/T 5476-2020 果酒通用技术要求[S]. 北京: 中国轻工业出版社, 2017. [Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China. QB/T 5476-2020 General technical requirements for fruit wines[S]. Beijing: Light Industry Press of China, 2020.]
- [25] 国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.225-2016 酒中乙醇浓度的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission. GB 5009.225-2016 Determination of ethanol concentration in alcohol[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]
- [26] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 12143-2008 饮料通用分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 12143-2008 General analytical methods for beverage[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.]
- [27] 王凯, 蓝乙升, 黄钰, 等. 纯麦酒发酵工艺优化及理化性质测定[J]. 食品工业科技, 2022, 43(4): 123-129. [WANG K, LAN Y S, HUANG Y, et al. Optimization of fermentation technology and determination of physicochemical properties of pure malt wine[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(4): 123-129.]
- [28] 国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. GB 12456-2021 食品中总酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021. [National Health Commission of the People's Republic of China, State Administration for Market Regulation. GB 12456-2021 Determination of total acid in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2021.]
- [29] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 15038-2006 葡萄酒、果酒通用分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 15038-2006 Analytical methods of wine and fruit wine[S]. Beijing: Standards Press of China, 2006.]

- [30] 付美玲, 李丹丹, 修建华. 超微粉碎对山楂黄酮类化合物抗氧化活性的影响[J]. *食品研究与开发*, 2022, 43(14): 118–124. [FU M L, LI D D, XIU J H. Effect of superfine pulverization on the antioxidant activity of Hawthorn flavonoids[J]. *Food Research and Development*, 2022, 43(14): 118–124.]
- [31] GASINSKI A, KAWA R J, SZUMNY A, et al. Assessment of volatiles and polyphenol content, physicochemical parameters and antioxidant activity in beers with dotted hawthorn (*Crataegus punctata*) [J]. *Foods*, 2020, 9(6): 775.
- [32] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 4789.2-2016 食品微生物学检验 菌落总数测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission, National Food and Medical Products Administration. GB 4789.2-2016 Microbiological examination of food hygiene Aerobic plate count[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]
- [33] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 4789.3-2016 食品微生物学检验 大肠菌群计数[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission, National Food and Medical Products Administration. GB 4789.3-2016 Microbiological examination of food hygiene *E. coli* population counts[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]
- [34] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB4789.4-2016 食品微生物学检验 沙门氏菌检验[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission, National Food and Medical Products Administration. GB 4789.4-2016 Microbiological examination of food hygiene *Salmonella* test[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]
- [35] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB4789.10-2016 食品微生物学检验 金黄色葡萄球菌检验[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission, National Food and Medical Products Administration. GB 4789.10-2016 Microbiological examination of food hygiene *Staphylococcus aureus* test[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]
- [36] BAI X L, ZHANG H W, SHUANG R. Antioxidant activity and HPLC analysis of polyphenol-enriched extracts from industrial apple pomace[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2013, 93(10): 2502–2506.
- [37] 孙天利, 曲思奕, 薛亚宁, 等. 软枣猕猴桃-梨复合果酒发酵工艺优化[J]. *中国酿造*, 2022, 41(9): 204–208. [SUN T L, QU S Y, XUE Y L, et al. Optimization of fermentation technology of kiwiberry-pear compound fruit wine[J]. *China Brewing*, 2022, 41(9): 204–208.]
- [38] 李帆. 山楂酒的研制[D]. 无锡: 江南大学, 2022. [LI F. Research on hawthorn wine brewing[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2022.]
- [39] 张丽鲜. 山楂糯米复合果酒发酵工艺研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2018. [ZHANG L Q. Study on fermentation process of Hawthorn Rice compound fruit wine[D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2018.]
- [40] 李顺红. 红枣果酒的工艺及品质分析研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2022. [LI S H. Research on technology and quality analysis of Jujube wine[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2022.]
- [41] ZHANG L, JIANG Y H, SHI X, et al. Simultaneous optimization of ultrasound-assisted extraction for flavonoids and antioxidant activity of *Angelica keiskei* using response surface methodology (RSM) [J]. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 2019, 24(19): 3461.
- [42] 黄艳丽, 尹锦荣, 赵秀, 等. 多依果红心火龙果复合果酒发酵工艺优化及抗氧化活性分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(8): 2672–2679. [HUANG Y L, YIN J R, ZHAO X, et al. Fermentation process optimization and antioxidant activity analysis of *Docynia delavayi* (Franch.) Schneid and red dragon fruit compound wine[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2022, 13(8): 2672–2679.]