

云南黄泡果酒酿造工艺优化及抗氧化活性研究

郑玉琳^{1,2}, 周文敏¹, 何映江¹, 尹家玲¹, 杨苗芬¹, 陶则颜¹, 黄艳丽^{1,2}, 谢纯^{1,2*}

(1. 云南农业大学热带作物学院, 普洱 665000; 2. 农产品质量安全与营养健康科普工作站, 普洱 665000)

摘要: **目的** 探索黄泡果酒的最佳发酵工艺条件, 分析该果酒的抗氧化活性。**方法** 以云南黄泡为原料, 采用单因素结合响应面法对发酵工艺参数进行优化, 通过抗氧化试验来比较果酒与原果汁的抗氧化能力, 并对果酒品质进行分析。**结果** 云南黄泡果酒最佳发酵工艺为酵母菌接种量 2%、白砂糖添加量 15%、二氧化硫添加量 0.8%和初始 pH 为 3。在此最佳工艺条件下发酵 7 d, 果酒的酒精度和感官评分达到 11.60% vol 和 90.6 分, 总糖、总酸、总黄酮、总多酚和原花青素分别为 5.88 g/L、9.28 g/L、9.4 mg/kg、3.84 g/L 和 337.6 μg/mL, 菌落总数为 20 CFU/mL, 未检测出大肠菌群。随样品体积的增加, 抗氧化活性先随之增强后趋于平缓, 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基清除率最大值为 93.69%, 2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐[2,2'-azinobis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonate), ABTS⁺]自由基清除率最大值为 91.94%, 而原汁 DPPH 自由基、ABTS⁺自由基清除率分别为 91.21%和 90.27%, 果酒的抗氧化活性大于原果汁, 表明黄泡果酒具有一定的抗氧化能力。**结论** 优化工艺后的黄泡果酒较不仅能较好保留水果活性成分, 且抗氧化活性也得到增强, 同时也为黄泡果酒工艺优化和抗氧化活性研究的运用提供理论依据, 具有较大的发展潜能。

关键词: 黄泡果酒; 工艺优化; 响应面; 抗氧化能力

Optimization of Yunnan *Rubus ellipticus* fruit wine brewing process and analysis of antioxidant activity

ZHENG Yu-Lin^{1,2}, ZHOU Wen-Min¹, HE Ying-Jiang¹, YIN Jia-Ling¹, YANG Miao-Fen¹,
TAO Ze-Yan¹, HUANG Yan-Li^{1,2}, XIE Chun^{1,2*}

(1. College of Tropical Crops, Yunnan Agricultural University, Pu'er 665000, China; 2. National Workstation of Agricultural Product Quality Safety and Nutrition and Health Science, Pu'er 665000, China)

ABSTRACT: Objective To explore the optimum fermentation conditions of *Rubus ellipticus* fruit wine and analyze its antioxidant activity. **Methods** Taking Yunnan *Rubus ellipticus* as raw material, the single factor combined with response surface methodology was used to optimize the fermentation process parameters, and the antioxidant capacities of fruit wine and original fruit juice were compared through antioxidant test, and the quality of fruit wine was analyzed. **Results** The optimal fermentation conditions of Yunnan *Rubus ellipticus* fruit wine were 2% yeast inoculation, 15% sugar addition, 0.8% sulfur dioxide addition and initial pH 3. Under the optimal fermentation conditions for 7 days, alcohol content and sensory score of fruit wine reached 11.54% vol and 90.6

基金项目: 云南农业大学热带作物学院自然科学基金一般项目(2020RYYB013)、云南农业大学第十四届学生科技创新创业行动基金项目(2021ZKY367)

Fund: Supported by Natural Science Foundation of College of Tropical Crops, Yunnan Agricultural University (2020RYYB013), and the Yunnan Agricultural University 14th Student Science and Technology Innovation and Entrepreneurship Action Fund Project (2021ZKY367)

*通信作者: 谢纯, 硕士, 讲师, 主要研究方向为农业微生物。E-mail: 632289266@qq.com

*Corresponding author: XIE Chun, Master, Lecturer, College of Tropical Crops, Yunnan Agricultural University, Pu'er, 665000, China. E-mail: 632289266@qq.com

points, total sugar, total acid, total flavonoids, total polyphenols and procyanidins were 5.88 g/L, 9.28 g/L, 9.4 mg/kg, 3.84 g/L and 337.6 $\mu\text{g/mL}$, respectively. The total number of colonies was 20 CFU/mL, and no coliform group was detected. With the increase of sample volume, the antioxidant activity first increased and then leveled off. The maximum scavenging rate of 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) free radical was 93.69%, the maximum scavenging rate of 2,2'-azinobis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonate (ABTS⁺) free radical was 91.94%. The scavenging rates of DPPH free radicals and ABTS⁺ free radicals in the original juice were 91.21% and 90.27%, respectively. The antioxidant activity of the fruit wine was greater than that of the original fruit juice, indicating that the *Rubus ellipticus* fruit wine had a certain antioxidant capacity. **Conclusion** The optimized process of *Rubus ellipticus* fruit wine can not only better retain the active ingredients of the fruit, but also enhance the antioxidant activity, and also provide a theoretical basis for the application of process optimization and antioxidant activity research of *Rubus ellipticus* fruit wine, which has a great development potential.

KEY WORDS: *Rubus ellipticus* fruit wine; process optimization; response surface; antioxidant activity

0 引言

黄泡, 学名栽秧泡(*Rubus ellipticus*), 为蔷薇科悬钩子属植物, 又叫黄锁莓^[1]。黄泡营养成分丰富, 还含有特殊保健功能的维生素、天然多糖、果酸、多酚及黄酮类等^[2-3], 因而具有抗氧化、保护心脑血管和改善皮肤皱裂等多种功能^[4]。云南野生黄泡极为普遍, 以采食鲜果为主, 对其产品开发利用率不高。

近年来, 各类低度果酒在国内外备受青睐、发展呈现多元化, 如葡萄酒、苹果酒、山楂酒、草莓酒等^[5-7]。然而, 黄泡果酒却比较少见, 市面上也鲜有此类果酒出售。宋志姣等^[8]采用正交试验法对栽秧泡果酒进行了酿造工艺和挥发性风味成分研究, 但对其功能性成分如总多酚、总黄酮等^[9-10]的研究却不足。采用响应面法对黄泡果酒进行工艺优化, 运用回归方程分析寻求最优工艺参数, 可科学地解决黄泡发酵时多因素变量的统计分析问题。

本研究以云南黄泡为研究对象, 在单因素试验基础上采用响应面法对黄泡果酒的发酵工艺参数进行优化, 检测其功能性成分如总多酚、原花青素、总黄酮的含量, 并通过抗氧化试验比较黄泡发酵前后抗氧化能力的不同, 为云南黄泡的深加工奠定理论基础。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

云南黄泡: 2021 年 5 月连梗采摘自云南省普洱市倚象镇北坡, 野生, 即采即用。

酿酒高活性果酒酵母(食品级, 安琪酵母股份有限公司); 果胶酶(1000 U/g, 诺维信生物有限公司); 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐[2,2'-azinobis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonate), ABTS⁺] (分析

纯, 合肥博美生物有限责任公司); 芦丁、没食子酸(纯度 $\geq 98\%$, 安徽酷尔生物工程有限公司); 福林酚试剂、二甲基亚砷、谷胱甘肽(L-还原型)、酚酞、硫酸铁铵、过硫酸钾、抗坏血酸(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司)。

1.2 试验仪器与设备

HT113ATC 手持折光仪、Ph-100ApH 计、0-40 酒精计(上海力辰邦西仪器科技有限责任公司); UV-1800PC-DS2 紫外可见分光光度计(上海美普达仪器有限公司); ME204E 分析天平(瑞士 METTLER TLEDO 公司); JYL-C012 榨汁机(九阳股份有限公司); HD650 无菌超净工作台(沃霖试验室设备有限公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 工艺流程

黄泡 \rightarrow 分选 \rightarrow 破碎 \rightarrow 榨汁、护色 \rightarrow 酶解 \rightarrow 调整成分 \rightarrow 灭菌 \rightarrow 接种酵母 \rightarrow 装罐、主发酵 \rightarrow 过滤 \rightarrow 后发酵 \rightarrow 离心 \rightarrow 澄清 \rightarrow 装瓶 \rightarrow 检验 \rightarrow 成品

1.3.2 操作要点

预处理: 选取成熟适中、无损伤黄泡, 用清水冲洗掉附着在黄泡表面的杂质污垢, 将水分沥干, 备用。

果汁制备: 根据预试验结果, 料液比为 1:2 (m:V) 时出汁率最高, 将黄泡与纯净水按 1:2 (V:V) 榨汁, 加入 0.3% 维生素 C (vitamin C, VC) 溶液护色^[11]。

酶解: 按照果汁的总质量 0.1% 添加果胶酶搅拌均匀, 室温酶解 3 h。

成分调整: 添加白砂糖和焦亚硫酸钠分别调整糖含量梯度及二氧化硫含量梯度, 加入柠檬酸调整初始 pH。

干酵母活化: 称取所需用量酵母, 加入 6 mL 35 $^{\circ}\text{C}$ 左右的温水活化 30 min, 即可使用。

灭菌: 放入高压蒸汽锅中进行灭菌。

主发酵: 把已活化的酵母接种到已酶解、灭菌的果汁中, 室温发酵 7 d, 不定期摇晃发酵液, 这样酵母能充分利

用发酵液中的成分, 并且排气。控制发酵温度和时间, 使用单向阀排气。基本无气泡产生时, 判断为主发酵结束^[12-13]。

后发酵: 主发酵结束后, 过滤, 进入后发酵; 在 20~24 °C 左右下, 酒液密封陈酿 1~2 个月^[14]。

过滤澄清: 使用杀菌消毒的纱布滤去发酵残渣, 静置, 使果酒澄清透亮光泽好。取上层清液装入发酵瓶中。

杀菌: 在 85 °C 的温水下杀菌时间 15 min。

陈酿: 杀菌后灌装, 在洁净的环境中储藏 3 个月左右, 使得酒质趋于成熟。

1.3.3 单因素试验

以酵母菌接种量 2%、初始 pH 为 3、白砂糖添加量 15%、二氧化硫添加量 0.8% 和发酵时间 7 d 为固定发酵条件。对酵母接种量(0.5%、1.0%、2.0%、3.0%、4.0%)、二氧化硫添加量(0.4%、0.6%、0.8%、1.0%、1.2%)、白砂糖添加量(12%、15%、18%、21%、24%)、初始 pH(2.0、2.5、3.0、3.5、4.0) 和发酵时间(3、5、7、9、11 d) 进行考察, 分别测定其酒精度、可溶性固形物含量, 并进行感官评定, 确定最佳单因素发酵条件。

1.3.4 响应面试验

在单因素试验结果基础上, 运用 Box-Behnken 试验法,

作 4 因素 3 水平响应面优化试验, 选出对酒精度、感官评分具有显著性影响因子酵母菌接种量(A)、白砂糖添加量(B)、二氧化硫添加量(C)和初始 pH(D), 以酒精度(Y)为响应值进行优化试验。试验因素水平见表 1。

表 1 果酒酿造工艺优化响应面试验因素与水平表
Table 1 Table of response surface test factors and level coding for optimization of brewing process of fruit wine

因素	水平		
	-1	0	1
A 酵母菌接种量/%	1	2	3
B 二氧化硫添加量/%	0.6	0.8	1.0
C 白砂糖添加量/%	12	15	15
D 初始 pH	2.5	3	3.5

1.3.5 果酒品质指标检测

果酒品质检测指标及方法见表 2。

1.3.6 数据处理与分析

单因素、抗氧化活性试验每个试验重复 3 次, 采用 Origin 2018 进行误差分析和图表制作; 响应面试验设计和结果分析运用 Design-Expert 12 进行试验设计和方差分析。

表 2 果酒检测指标与方法
Table 2 Methods for testing indexes in fruit wine

检测指标	检测项目	检测方法	参考标准
功能性成分	总黄酮	分光光度法	SN/T 4592—2016《出口食品中总黄酮的测定》
	总多酚	分光光度法	TAHFIA 005—2018《植物提取物及其制品中总多酚含量的测定》
	原花青素	分光光度法	DB12T885—2019《植物提取物中原花青素的测定》
	总酸	酸碱滴定法	GB 12456—2021《食品中总酸的测定》
理化指标	总糖	直接滴定法	GB/T 15038—2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》
	酒精度	酒精计法	GB 5009.225—2016《食品安全国家标准 酒中乙醇浓度的测定》
	可溶性固形物含量	折光计法	GB/T 12143—2008《饮料通用分析方法》
微生物指标	大肠菌群	平板计数法	GB 4789.3—2016《食品微生物学检验大肠菌群计数》
	菌落总数	稀释涂布平板法	GB 4789.2—2016《食品微生物学检验菌落总数测定》
自由基清除率	ABTS 自由基 DPPH 自由基	DPPH 和 ABTS ⁺ 法	GB/T 39100—2020《多肽抗氧化性测定 DPPH 和 ABTS ⁺ 法》
感官评定	感官评分	评定小组法	GB/T 15038—2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果分析

2.1.1 酵母菌接种量对果酒发酵的影响

由图 1 可知, 随酵母菌添加量的增加, 酒精度、感官评分先升高后下降的趋势, 可溶性固形物含量先呈现急速下降后平缓上升的趋势。酵母菌添加量在 2% 时, 酒精度达

到最大值 10.51% vol, 此时感官评分也达到了最高分 83.67 分。当酵母菌接种量小于 2% 时, 由于发酵液中的酵母菌数量少, 发酵进行不充分, 因此酒精度和感官评分都不高; 当其大于 2% 时, 酒精度及感官评分均在下降, 酵母菌生长繁殖速度随接种量增加而加快, 发酵液中的营养物质大多数消耗在酵母菌自身的生长上, 消耗速度加快, 随着酒精度的下降, 在一定程度上影响果酒的滋味及香味, 酒体较

淡,使得感官评分下降^[15]。因此,综合评价酵母菌最佳接种量为2%,故选取1%、2%、3%作为响应面优化试验的因素水平。

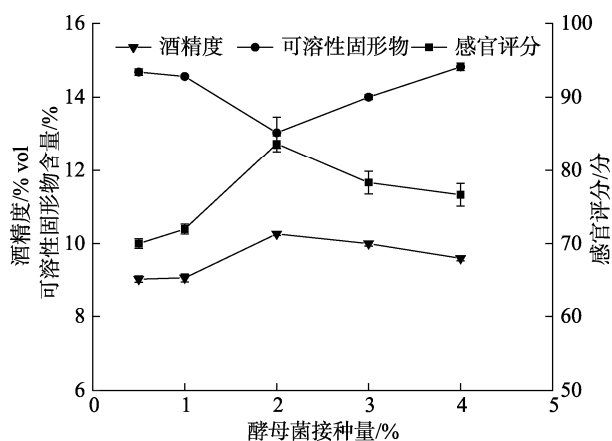


图1 酵母菌接种量对果酒发酵的影响(n=3)

Fig.1 Effects of yeast inoculation amount on the fermentation of fruit wine (n=3)

2.1.2 白砂糖添加量对果酒发酵的影响

酵母菌通过利用糖类等有机物进行酒精发酵,则需要加入一定的糖量。由图2知,随着白砂糖添加量增加,酒精度及感官评分均呈现先升高后降低的趋势,可溶性固形物含量呈现先下降后平缓上升的趋势。当白砂糖添加量在15%时,果酒的酒精度达到最高9.85% vol;白砂糖添加量小于15%时,糖度过低,营养物质不充足,发酵不充分,导致果酒的酒精度偏低,果酒口感、滋味等不太协调,则感官评分也偏低;当白砂糖添加量大于15%时,可溶性固形物含量快速上升,由于残糖量过多,不利于酵母菌的生长繁殖,所以导致果酒的酒精度下降,而且口感过甜、风味不足也使得感官评分不高^[16]。因此,综合评价白砂糖最佳添加量为15%,故选取12%、15%、18%作为响应面优化试验的因素水平。

2.1.3 二氧化硫添加量对果酒发酵的影响

发酵过程中加入一定二氧化硫量,可以杀灭或者抑制有害菌,从而抑制氧化酶进而起到抗氧化的作用,还可以起到澄清、延长储存时间等作用。由图3可知,二氧化硫添加量对黄泡果酒的发酵影响较小,酒精度含量呈现平缓趋势,感官呈现评分先上升后下降的趋势,可溶性固形物呈现先下降后平缓上升的趋势。当在0.8%时,酒精度达到最大值为10.16% vol,此时果酒澄清、果香浓郁,感官评分也最高84.7分;当二氧化硫添加量小于0.8%时,酒精度及感官评分都在不断升高,可溶性固形物含量逐渐下降;二氧化硫添加量大于0.8%时,二氧化硫添加量过高,酵母菌的活性受阻碍,酒精的转化受到抑制^[17],且果香与酒香不协调,口感略差,有轻微异味,感官评分降低。因此,综合评价二氧化硫最佳添加量为0.8%,故选取0.6%、0.8%、

1.0%作为响应面优化试验因素水平。

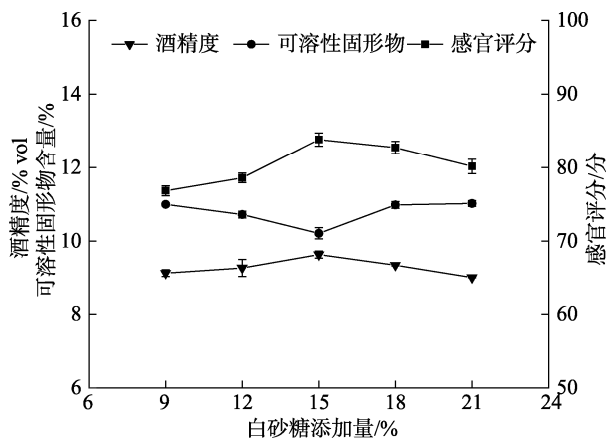


图2 白砂糖添加量对果酒发酵的影响(n=3)

Fig.2 Effects of white granulated sugar on the fermentation of fruit wine (n=3)

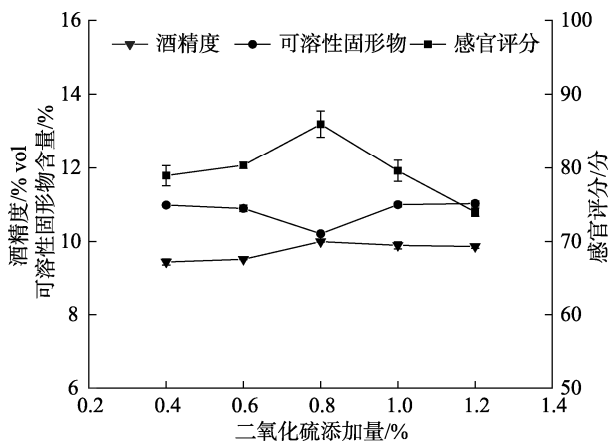


图3 二氧化硫添加量对果酒发酵的影响(n=3)

Fig.3 Effects of sulfur dioxide addition on the fermentation of fruit wine (n=3)

2.1.4 初始pH对果酒发酵的影响

由图4知,随初始pH增大,酒精度和感官评分呈现先升高后降低的趋势,可溶性固形物含量呈现先降低后升高的趋势。当pH为3.0时,酒精度得到最大值10.27% vol,感官评分达到最高分87分;pH小于3.0时,酒精度不断升高,对感官评分升高趋势不明显,可溶性固形物含量降低^[18];pH大于3.0时,酒精度和感官评分降低,因为pH的升高抑制酵母菌活性,酒精转化率下降,口感差,色差明显,则感官评分下降;酵母菌的活性受到环境pH影响,酶活性减弱,糖类消耗少,则可溶性固形物增加。因此,综合评价最佳pH为3.0,故选取2.5、3.0、3.5作为响应面优化试验因素水平。

2.1.5 发酵时间对黄泡发酵的影响

发酵时间对果酒的品质风味和酒精度起着重要作用。由图5可知,黄泡果酒在发酵前7d,发酵不完全,酵母菌处于快速生长阶段,酒精度及感官评分快速增长,发酵前

期需要底物即消耗糖类, 所以可溶性固形物降低; 7 d 时, 酒精度及感官评分都分别达到了最大值 10.27% vol、83.2 分; 7 d 后, 酒精度、感官评分和可溶性固形物含量增长趋于平缓, 发酵液中糖类转化比较完全, 发酵逐渐靠近终点^[19]。此时, 口感适中, 酒香醇厚, 色泽诱人。为保持果酒品质优良, 则确定其最佳发酵时间为 7 d。根据本试验温度及其他发酵条件作用下, 果酒在发酵第 7 d 时, 酒精度数稳定, 且口感最佳, 因此把最佳发酵时间作为固定条件, 考察相互影响最为的明显因子。

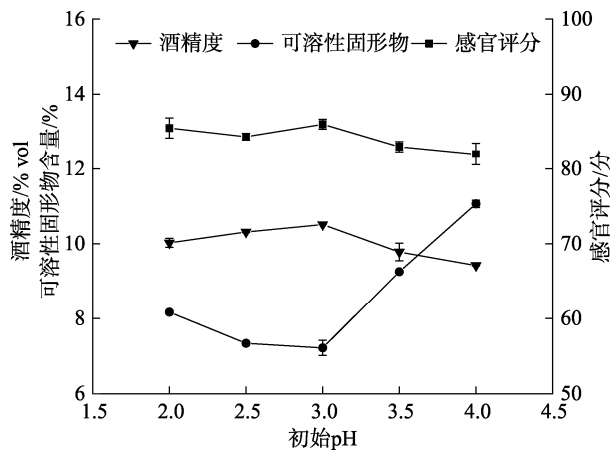


图 4 初始 pH 对果酒发酵的影响(n=3)

Fig.4 Effects of initial pH on the fermentation of fruit wine (n=3)

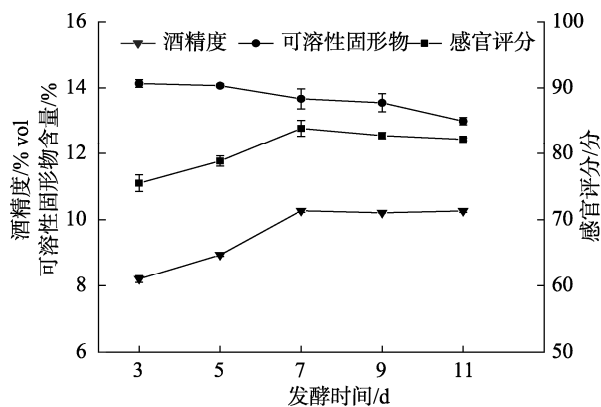


图 5 发酵时间对果酒发酵的影响(n=3)

Fig.5 Effects of fermentation time on the fermentation of fruit wine (n=3)

2.2 响应面结果与分析

2.2.1 响应面试验结果

根据单因素试验结果, 确定黄泡果酒室温发酵 7 d, 选取酵母菌接种量(A)、白砂糖添加量(B)、二氧化硫添加量(C)和初始 pH (D)为考察因子, 以酒精度(Y)为响应值进行优化试验, 结果见表 3。

2.2.2 响应面回归方程的建立与方差分析

对表 3 结果进行多元回归拟合分析, 结果见表 4。酒

精度回归方程为: $Y=11.52-0.33A+0.36B-0.19C-0.26D+1.22AB-0.16AC-0.12AD-0.032BC+0.30BD+0.10CD-0.66A^2-0.99B^2-1.30C^2-0.99D^2$ 。

表 3 响应面优化试验设计与结果

试验号	A 酵母菌添加量/%	B 白砂糖添加量/%	C 二氧化硫添加量/%	D 初始 pH	Y 酒精度/% vol
1	2	15	0.8	3.0	11.40
2	3	18	0.8	3.0	11.10
3	2	18	1.0	3.0	9.30
4	2	15	1.0	3.5	8.90
5	3	12	0.8	3.0	8.00
6	2	12	1.0	3.0	8.70
7	2	18	0.8	2.5	9.80
8	1	18	0.8	3.0	9.34
9	3	15	0.6	3.0	9.60
10	2	18	0.6	3.0	9.83
11	1	12	0.8	3.0	11.12
12	1	15	0.6	3.0	9.85
13	2	12	0.8	3.5	8.60
14	2	15	0.8	3.0	11.50
15	2	15	0.6	3.5	9.00
16	1	15	0.8	3.5	10.09
17	2	18	0.8	3.5	10.02
18	2	12	0.8	2.5	9.60
19	2	15	0.8	3.0	11.52
20	3	15	0.8	2.5	9.90
21	1	15	1.0	3.0	9.78
22	1	15	0.8	2.5	10.40
23	2	15	1.0	2.5	9.30
24	2	15	0.6	2.5	9.80
25	2	12	0.6	3.0	9.10
26	3	15	0.8	3.5	9.10
27	2	15	0.8	3.0	11.57
28	2	15	0.8	3.0	11.60
29	3	15	1.0	3.0	8.90

由表 4 知, 当 $P<0.01$ 时, 模型极显著, 则所得的二次多元回归方程有意义; $P>0.05$, 失拟项不显著, 即构建模型与试验差异很小, 其他因素对模型干扰程度小, 表明模型

拟合度很好。决定系数 $R^2=0.9965$, 调整决定系数 $R^2_{adj}=0.9930$, 两者差值小于 0.2, 表明预测酒精度与试验实际酒精度有较好相关性, 表明本试验的误差较小; 模型的信噪比 58.804, 远大于 4, 该模型能够较好地表现出各因素与响应值间的关系, 对黄泡果酒酿造工艺优化和酒精度进行预测有较大的可行性^[20]。本模型中, 一次项 A、B、C、D、交叉项 AB、AC、BD 及二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 、 D^2 结果影响均极显著, 交叉项 AD、CD 对结果影响显著, 交叉项 BC 项对结果影响不显著, 说明发酵过程是多因素相互交叉作用影响的结果。由 F 值的大小得, 则各因素对黄泡果酒酒精发酵影响的主次顺序为: 白砂糖添加量(B)>酵母菌接种量(A)>初始 pH(D)>二氧化硫添加量(C)。

表 4 回归模型的方差分析
Table 4 Analysis of variance of regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F	P	显著性
模型	28.38	14	2.03	285.73	<0.0001	**
A	1.32	1	1.32	186.04	<0.0001	**
B	1.52	1	1.52	214.13	<0.0001	**
C	0.44	1	0.44	62.13	<0.0001	**
D	0.80	1	0.80	112.14	<0.0001	**
AB	5.95	1	5.95	839.06	<0.0001	**
AC	0.099	1	0.099	13.98	0.0022	**
AD	0.060	1	0.060	8.46	0.0114	*
BC	0.004	1	0.004	0.60	0.4532	
BD	0.37	1	0.37	52.44	<0.0001	**
CD	0.040	1	0.040	5.64	0.0324	*
A^2	2.83	1	2.83	398.91	<0.0001	**
B^2	6.41	1	6.41	903.83	<0.0001	**
C^2	10.97	1	10.97	1546.31	<0.0001	**
D^2	6.41	1	6.41	903.83	<0.0001	**
残差	0.099	14	0.0098			
失拟项	0.080	10	0.0080	1.66	0.3301	
纯误差	0.019	4	0.0048			
总和	28.48	28				

$R^2=0.9965$ $R^2_{adj}=0.9930$ 信噪比=58.804

注: **表示对影响极显著($P<0.01$); *表示对影响显著($P<0.05$)。

2.3 验证试验

运用 Desig-Expert 12 软件分析得到果酒酿造最佳工

艺条件为酵母菌接种量 1.81%、白砂糖添加量 15.14%、二氧化硫添加量 0.79%和初始 pH 为 2.94, 室温发酵时间 7 d, 酒精度模型预测值为 11.58% vol, 为了实际操作方便, 修正后发酵工艺条件为酵母菌接种量 2%, 白砂糖添加量 15%, 二氧化硫添加量 0.8%, 初始 pH 为 3, 在此优化条件下进行 3 次平行试验验证, 按照所得的最佳工艺条件, 得到的实际酒精度为 11.60% vol, 接近于预测值。因此, 响应面分析得到的果酒酿造工艺参数是可靠的^[21], 该模型具有应用价值。

2.4 黄泡发酵前后抗氧化能力的比较分析

2.4.1 DPPH 自由基清除能力的比较

由图 6 可知, DPPH 自由基清除率随着样品用量的增加而增大。当样品用量在 0.4~1.6 mL 时, VC、原果汁和果酒自由基清除率都不断上升; 当其用量到达 1.6~2.0 mL 时, DPPH 自由基清除率趋于稳定; 在 2.0 mL 时达到最大值, VC 达到 94.31%、原果汁 91.21%、果酒为 93.69%; 持续增大样品的体积, 对 DPPH 自由基清除率减缓^[22]。原汁和果酒清除能力均小于参照组 VC 溶液, 三者之间差异显著 ($P<0.05$)。由此可得, 三者对 DPPH 自由基清除效果的顺序为: VC>果酒>原果汁。

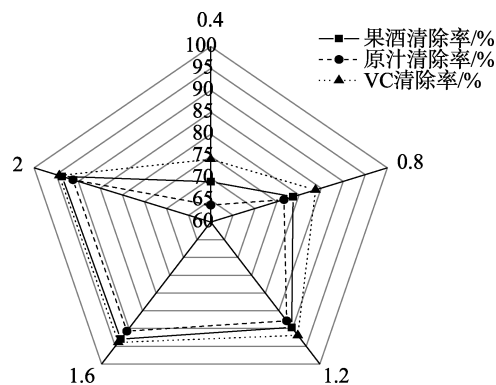
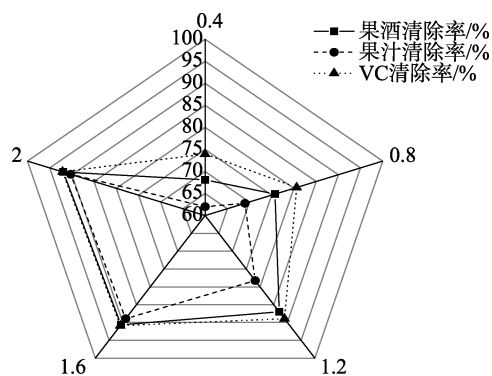


图 6 DPPH 清除能力比较

Fig.6 Comparison of DPPH scavenging capacity

2.4.2 ABTS⁺自由基清除能力的比较

由图 7 可知, 随 VC、原果汁、果酒样品用量增加对 ABTS⁺自由基清除率持续增大^[23]。当样品用量在 0.1~0.3 mL 时, VC、果酒 ABTS⁺自由基清除率不断上升, 且果酒上升较快; 当用量在 0.3~0.4 mL 时, VC、果酒 ABTS⁺自由基清除率进入缓慢; 当原果汁在 0.1~0.4 mL 时, 其 ABTS⁺自由基清除率迅速增高; 在 0.4~0.5 mL 时, 清除能力逐渐减慢^[24]。在 0.5 mL 时 ABTS⁺自由基出现最大值, 则达到较高的自由基清除效果, VC 为 92.11%、原果汁 90.27%、果酒 91.94%, 三者之间差异显著 ($P<0.05$)。由此可知, 三者对 ABTS⁺自由基清除率强度分别为: VC>果酒>原果汁。

图7 ABTS⁺清除能力比较Fig.7 Comparison of ABTS⁺ scavenging capacity

2.5 黄泡果酒的质量指标测定结果

按最优工艺参数酿造黄泡果酒,并进行感官评价和质量指标测定^[25-26]。各项成分检测结果为酒精度 11.54% vol,可溶性固形物含量 10.3%,总糖含量 5.88 g/L,总酸含量 9.28 g/L,总黄酮 9.4 mg/kg,总多酚 3.84 g/L,原花青素 337.6 μg/mL,菌落总数 20 CFU/mL,未检测出大肠菌群。

果酒液澄清明亮,呈淡黄色,酒香浓郁香醇,果香明显,无悬浮沉淀,微生物指标均在卫生国标的正常范围内^[27],感官评分为 90.6 分。各项检测结果都符合推荐标准 NY/T 1508—2017《绿色食品 果酒》。

3 结论

本试验采用响应面法优化云南黄泡果酒的酿造工艺条件,其最佳发酵工艺参数为酵母菌接种量 2%、白砂糖添加量 15%、二氧化硫添加量 0.8%和初始 pH=3。在此发酵条件下,该款果酒酒香独特、口感适中,酒精度为 11.54% vol,在多数人爱好的低酒精度范围内^[28-30]。而且,该果酒功能性成分含量丰富,总黄酮、总多酚和原花青素分别为 9.4 mg/kg、3.84 g/L 和 337.6 μg/mL。黄泡发酵前后其 DPPH 自由基清除率最大值分别为 91.21%和 93.69%,ABTS⁺自由基清除率最大值分别为 90.27%和 91.94%,可知果酒的抗氧化活性大于原果汁。本试验制备了一款功能性成分含量丰富、口感上佳的黄泡果酒,为以后云南黄泡附加产品的推广和利用奠定了理论基础。

参考文献

- [1] 中国科学院《中国植物志》编委会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
Editorial Committee of Chinese Flora, Chinese Academy of Sciences. Flora of China [M]. Beijing: Science Press, 1985.
- [2] 李秀. 云南普洱市野生果类植物资源研究[J]. 中国野生植物资源, 2011, 30(3): 26-29, 37.
LI X. The research of the resources of wild fruit plants in pure district, Yunnan Province [J]. Chin Wild Plant Res, 2011, 30(3): 26-29, 37.

- [3] 桑建忠, 顾娴. 中国东南部部分悬钩子果实的营养成分[J]. 植物资源与环境, 1995, 4(2): 22-26.
SANG JZ, GU Y. An analysis of nutrient constituents of *Rubus* fruits from southeast China [J]. J Plant Res Environ, 1995, 4(2): 22-26.
- [4] 张良英, 刘林, 牛敬雨. 西藏几种野生树莓的果实性状评价[J]. 种子, 2016, 35(8): 70-71, 75.
ZHANG LY, LIU L, NIU XY. Evaluation on fruit characters of several wild raspberry species in Tibet [J]. Seeds, 2016, 35(8): 70-71, 75.
- [5] 饶炎炎, 桑英, 唐琳琳, 等. 红树莓果酒发酵过程中功效成分、香气物质及体外降血糖功效的动态变化[J]. 食品科学, 2020, 41(6): 22-230.
RAO YY, SANG Y, TANG LL, et al. Dynamic changes of functional components, aroma substances and hypoglycemic effect *in vitro* during fermentation of red raspberry wine [J]. Food Sci, 2020, 41(6): 22-230.
- [6] RITU S, KOUSHALYA D, HIMANI S, et al. Antioxidant and antiproliferative activities of phenolics isolated from fruits of Himalayan yellow raspberry (*Rubus ellipticus*) [J]. J Food Sci Technol, 2014, 51(11): 3369-3375.
- [7] 刘敏, 吴洪文. 黄锁梅叶治黄水疮[J]. 四川中医, 1989, (10): 45.
LIU M, WU HW. Obcordate leaf raspberry leaf Treats bullous pustulosis [J]. J Sichuan Tradit Chin Med, 1989, (10): 45.
- [8] 宋志姣, 周艺垠, 郭燕, 等. 栽秧泡果酒发酵工艺优化及挥发性风味物质分析[J]. 中国食品添加剂, 2021, 32(1): 51-58.
SONG ZJ, ZHOU YY, GUO Y, et al. Optimization of fermentation process of *Rubus ellipticus* var. obcordatus fruit wine and its volatile flavor substances analysis [J]. China Food Addit, 2021, 32(1): 51-58.
- [9] 赵婷, 李林波, 潘明, 等. 果酒产业的发展现状与市场前景展望[J]. 食品工业, 2019, 40(5): 302-308.
ZHAO T, LI LB, PAN M, et al. Development status and market prospects of fruit wine industry [J]. Food Ind, 2019, 40(5): 302-308.
- [10] 胡大佐, 孙蕾, 赵登超, 等. 树莓果酒发酵技术研究及条件优化[J]. 烟台果树, 2020, (1): 13-16.
HU DZ, SUN L, ZHAO DC, et al. Research on fermentation technology and condition optimization of raspberry wine [J]. Yantai Fruits, 2020, (1): 13-16.
- [11] 夏天奇, 高新亚, 刘小琳, 等. 红树莓果酒澄清工艺的优化及理化指标的测定[J]. 中国酿造, 2018, 37(8): 138-142.
XIA TQ, GAO XY, LIU XL, et al. Optimization of clarification process and determination of physical and chemical indexes of red raspberry fruit wine [J]. China Brew, 2018, 37(8): 138-142.
- [12] 章萍萍. 紫薯花青素的提取、纯化及其抗氧化和益生元活性研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2017.
ZHANG PP. Study on extraction, purification and activity of antioxidant and prebiotics of purple sweet potato anthocyanins [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2017.
- [13] 黄丹丹, 李瑶, 周海媚, 等. 发酵酒的抗氧化活性研究进展[J]. 中国酿造, 2013, 32(7): 1-4.
HUANG DD, LI Y, ZHOU HM, et al. Progress on antioxidant activity of fermented drinks [J]. Chin Brew, 2013, 32(7): 1-4.
- [14] 苗倩. 葡萄酒新零售呈现多样业态[N]. 企业家日报, 2021-11-13(3).
MIAO Q. New retail of wine shows diversity [N]. Entrepreneur Daily, 2021-11-13(3).
- [15] 李慧芸, 李蒙蒙. 百香果番茄复合果酒加工工艺研究[J]. 现代农业科技, 2020, (22): 187-190.

- LI HY, LI MM. Study on the processing technology of passion fruit tomato compound wine [J]. *Mod Agric Sci Technol*, 2020, (22): 187–190.
- [16] 连文绮, 闫美玲, 薛霖莉, 等. 香蕉菠萝复合果酒酿造工艺研究[J]. *农产品加工*, 2020, (4): 44–46, 51.
- LIAN WQ, YAN ML, XUE LL, *et al.* Study on the brewing technology of banana-pineapple compound fruit wine [J]. *Famer Prod Process*, 2020, (8): 44–46, 51.
- [17] 程宏楨, 蔡志鹏, 王静, 等. 百香果全果酒发酵工艺优化及体外抗氧化性比较分析[J]. *中国酿造*, 2020, 39(4): 91–97.
- CHENG HZ, CAI ZP, WANG J, *et al.* Optimization of fermentation process for whole passion fruit wine and comparative analysis of antioxidant activity *in vitro* [J]. *China Brew*, 2020, 39(4): 91–97.
- [18] 刘琨毅, 申俊刚, 王琪, 等. 响应面法优化柑橘枸杞复合果酒酿造工艺[J]. *中国酿造*, 2019, 38(8): 199–204.
- LIU KY, CHUAN JG, WANG Q, *et al.* Optimization of fermentation process for orange-wolfberry compound fruit wine by response surface methodology [J]. *China Brew*, 2019, 38(8): 199–204.
- [19] 刘彩婷, 周鸿翔. 不同发酵工艺对蓝莓果酒品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(4): 172–179.
- LIU CT, ZHOU HX. Effects of different fermentation processes on the quality of blueberry wine [J]. *Food Ferment Ind*, 2020, 46 (4): 172–179.
- [20] 王芳. 蓝莓果酒酿造工艺及其品质影响的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2015.
- WANG F. The effect of fermentation technology on the quality of blueberry wine research [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2015.
- [21] 贺金娜. 苹果多酚的制备、成分鉴定及其抗氧化性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
- HE JN. Research on polyphenols from apple: preparation, identification and antioxidant activity [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014.
- [22] 牟灿灿, 卢红梅, 陈莉. 果酒生产工艺研究进展[J]. *食品工业*, 2019, 40(8): 250–255.
- MOU CC, LU HM, CHEN L. Research progress of fruit wine production technology [J]. *Food Ind*, 2019, 40(8): 250–255.
- [23] 李大成, 韦巧艳, 舒万鑫, 等. 响应面法优化桑葚-甘蔗汁复合饮料制备工艺及其抗氧化活性研究[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(9): 113–120.
- LI DC, WEI QY, SHU WX, *et al.* Optimization of the preparatory process of mulberry-sugarcane juice using response surface methodology and determination of its antioxidant activity [J]. *Food Res Dev*, 2021, 42(9): 113–120.
- [24] 黄艳丽, 尹锦荣, 王琼, 等. 响应面法优化多依果酒的酿造工艺[J]. *中国酿造*, 2020, 39(4): 205–209.
- HUANG YL, YIN JR, WANG Q, *et al.* Optimization of fermentation technology of *Docynia delavayi* fruit wine by response surface methodology [J]. *China Brew*, 2020, 39(4): 205–209.
- [25] 于斌, 陈娟, 张世鹏, 等. 沙果果酒发酵工艺优化及抗氧化活性的研究[J]. *中国酿造*, 2020, 39(1): 142–145.
- YU B, CHEN J, ZHANG SP, *et al.* Fermentation process optimization and antioxidant property of crab apple wine [J]. *China Brew*, 2020, 39(1): 142–145.
- [26] 覃瑶, 吴波, 秦晗, 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 Brew*, 2020, 39(9): 1–6.
- [27] 陈静, 程晓雨, 潘明, 等. 中国果酒生产技术研究现状及其产业未来发展趋势[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(2): 383–389.
- CHEN J, CHENG XY, PAN M, *et al.* Research status and future development trends of fruit wine industry in China [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2017, 38(2): 383–389.
- [28] 丁莹, 李亚辉, 蒲青, 等. 我国果酒行业发展现状及前景分析[J]. *酿酒科技*, 2019, (4): 104–107.
- DING Y, LI YH, PU Q, *et al.* Analysis of the present status and development prospects of fruit wine industry in China [J]. *Liquor-Making Sci Technol*, 2019, (4): 104–107.
- [29] 李娇妹, 刘四新, 陈文学. 果酒抗氧化活性研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2011, 39(25): 15783–15785, 15788.
- LI JM, LIU SX, CHEN WX. Research progress of the antioxidant activity in fruit wine [J]. *Anhui Agric Sci*, 2011, 39(25): 15783–15785, 15788.
- [30] 周景瑞, 肖敏, 肖荣飞, 等. 红心火龙果酒酿造工艺研究[J]. *中国酿造*, 2017, 36(4): 188–191.
- ZHOU JR, XIAO M, XIAO RF, *et al.* Study on brewing technology of pitaya wine [J]. *China Brew*, 2017, 36(4): 188–191.

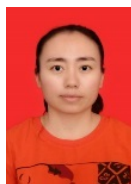
(责任编辑: 韩晓红 于梦娇)

作者简介



郑玉琳, 主要研究方向为食品科学与工程。

E-mail: 1130966219@qq.com



谢纯, 硕士, 讲师, 主要研究方向为农业微生物。

E-mail: 632289266@qq.com