

响应面优化柚子百香果果酒发酵工艺 及其抗氧化性

苏 龙^{1,2*}, 吴小梅¹, 陈玉菲¹, 杨结媚¹, 黄明梅¹, 樊月清¹

(1. 玉林师范学院生物与制药学院, 玉林 537000;

2. 广西农产资源化学与生物技术重点实验室, 玉林 537000)

摘 要: **目的** 以柚子和百香果为原料, 研究复合果酒发酵的最佳工艺。**方法** 通过单因素实验分别考察果汁比例、含糖量、接种量、发酵时间、pH、发酵温度等因素对酒精度和感官评分的影响。以酒精度和感官评分为指标, 采用响应面法建立数学模型, 筛选最佳发酵工艺条件。**结果** 柚子百香果复合果酒发酵最佳工艺条件为: 柚子百香果果汁比例为 3:1(V:V), 含糖量 18%, 发酵温度 26 °C, 接种量 0.04%, pH 4.0, 发酵时间 7 d, 此条件下柚子百香果复合果酒感官评分为 79.86, 模型方程理论预测值为 81.28, 两者相对误差为 1.74%, 酒精含量为 10.14%。柚子百香果复合果酒具有一定的抗氧化活性, 对 ABTS 自由基的清除率为 62.38%, 对羟基自由基清除率 46.56%, 超氧阴离子清除率 40.44%, DPPH 自由基抑制率 75.62%。**结论** 所得成品果酒色泽呈淡红色, 有典型的柚子和百香果风味, 酒香清醇, 口感清爽, 酸甜适中, 澄清透亮。

关键词: 柚子; 百香果; 复合果酒; 响应面法; 发酵

Optimization of fermentation process and antioxidant activity of *Citrus grandis* and passion compound fruit wine by response surface methodology

SU Long^{1,2*}, WU Xiao-Mei¹, CHEN Yu-Fei¹, YANG Jie-Mei¹,
HUANG Ming-Mei¹, FAN Yue-Qing¹

(1. College of Biology & Pharmacy of Yulin Normal University, Yulin 537000, China;

2. Guangxi Key Lab of Agricultural Resources Chemistry and Biotechnology, Yulin 537000, China)

ABSTRACT: Objective To determine the optimal process parameters of compound wine fermentation using *Citrus grandis* and passion fruit as the raw material. **Methods** Effects of fruit juice ratio, sugar concentration, inoculums size, fermentation time, pH and fermentation temperature on alcoholicity and sensory evaluation were studied by single factor experiments. Using the alcohol and sensory scores as indicators, the response surface method was used to establish a mathematical model to screen the optimal fermentation conditions. **Results** The optimum fermentation conditions of *Citrus grandis* and passion fruit compound wine were as follows: *Citrus grandis* juice to passion fruit juice ratio was 3:1, sugar concentration was 18%, the inoculums size was 0.04%, fermentation temperature was 26 °C, pH was 4.0, and fermentation time was 7 days. Under this condition, the sensory score of *Citrus grandis* and passion fruit compound wine was 79.86, and the theoretical prediction value of model equation

基金项目: 玉林市科技计划项目(1621021)

Fund: Supported by the Key Project of Science and Technology of Yulin City (1621021)

*通讯作者: 苏龙, 教授, 主要研究方向为果蔬深加工, 微生物发酵。E-mail: gxsulong@163.com

*Corresponding author: SU Long, Professor, College of Biology & Pharmacy of Yulin Normal University, Guangxi Key Lab of Agricultural Resources Chemistry and Biotechnology, No.1303, East Education Road, Yuzhou District, Yulin 537000, China. E-mail: gxsulong@163.com

was 81.28. The relative error between the two was 1.74% and the alcohol content was 10.14%. *Citrus grandis* and passion fruit compound wine had certain antioxidant activity, the clearance rate of ABTS free radical was 62.38%, the clearance rate of hydroxyl radical was 46.56%, the superoxide anion clearance rate was 40.44%, and the inhibition rate of DPPH free radical was 75.62%. **Conclusion** The characteristics of the compound wine are carnation, with a unique flavor of *Citrus grandis* and passion fruit, rich in wine aroma and good taste. The flavor was moderate sweet and sour, clear and transparent.

KEY WORDS: *Citrus grandis*; passion fruit; compound wine; response surface methodology; fermentation

1 引 言

百香果(*passion fruit*), 又称爱情果、鸡蛋果。研究表明, 百香果具有非常大的营养价值和药用价值^[1-3]。近年来, 广西玉林地区开始大量种植百香果; 据不完全统计, 玉林地区百香果的种植面积已超过 1 万亩。柚子(*Citrus grandis*), 又名文旦, 俗称团圆果, 具有非常高的营养价值药用价值^[4-9]。作为柚子主要产地的广西玉林容县, 主要品种为沙田柚, 栽培面积达 18 万亩, 年产量 12 万吨^[10]。目前这 2 种水果主要以鲜食和现榨果汁食用为主, 但随着种植规模的扩大, 现行的消费方式已经不合适, 造成鲜果的大量积压、坏果、浪费, 深加工是最好的出路。虽然目前也有一些柚子和百香果深加工的研究报道, 如柚子果汁饮料^[11]、酒类制品^[12]、茶制品^[13]、蜜饯果脯类制品^[14]、果醋制品^[15]、百香果果汁饮料^[16]、复合饮料^[17]、果醋产品^[18]以及酒产品的开发^[19]。但大部分还处在实验室研发阶段, 没有市场化。复合果酒是综合考虑各种果汁的成分和优势, 酿造出的风味独特的果酒, 可兼具不同果酒的优势, 使果酒营养更加均衡, 感官品质得到极大提高^[20]。目前, 关于柚子-百香果复合果酒的发酵工艺研究相关报道较少, 本研究以广西玉林容县产的沙田柚、紫色百香果为原料, 探究其复合果酒发酵的最佳工艺条件, 旨在为广西沙田柚、百香果的深加工开辟新的途径, 以期提高沙田柚、百香果资源的利用率, 提高产品附加值, 为沙田柚和百香果产业精深加工提供指导。

2 材料与方法

2.1 材料、试剂与仪器

柚子为广西玉林容县产沙田柚; 百香果为广西玉林容县产紫果。

果酒活性干酵母(安琪酵母股份有限公司); 果胶酶(30000 U/g, 南宁庞博生物工程有限公司); 1, 1-二苯基-2-三硝基苯肼(1, 1-diphenyl-2-trinitrophenylhydrazine, DPPH)、2, 2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(2, 2-diazo-bis(3-ethylbenzothiazol-6-sulfonic acid), diammonium salt, ABTS)(分析纯, 美国 Sigma 公司)。过硫酸钾、三氯乙酸、铁氰化钾、硫酸亚铁等(分析纯试剂, 国药集团化学试剂有限公司)。

Tu21800 紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司); N-1100 旋转蒸发仪(日本 EYELA 公); BSP-生化培养箱(上海博迅实业有限公司医疗设备厂); BX-1 糖度计(日本京都电子工业(株)会社); HH-s 数显恒温水浴锅(江苏省金坛市医疗仪器厂); FE20 Five Easy 实验室 pH 计(梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司); AL204 电子天平(梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司)。

2.2 试验方法

2.2.1 柚子百香果果酒发酵工艺

柚子百香果果酒发酵工艺如图 1。

百香果去皮、取浆及酶解: 新鲜百香果清洗去皮、取

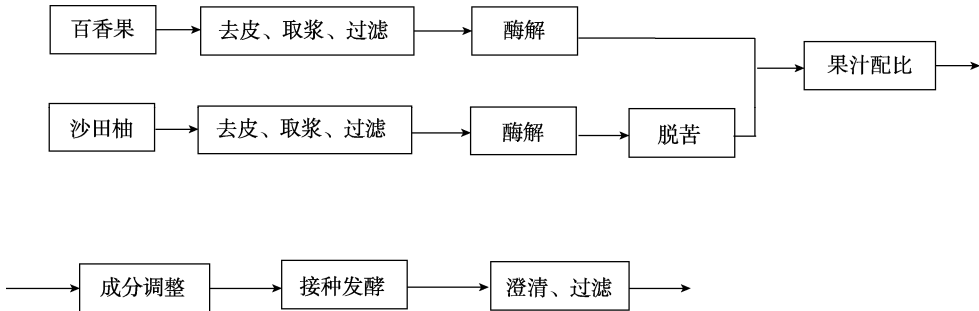


图 1 工艺流程
Fig.1 Process flow

浆, 按以下条件进行酶解: 先用果胶酶 0.25%, pH 4.5, 于 50 °C 水浴 3 h, 然后纤维素酶 0.2%, 于 45 °C 水浴 3 h, 8000 r/min 离心 20 min 取上清液即得百香果果汁。

沙田柚取浆及酶解: 新鲜沙田柚清洗去皮、去核、取浆, 按以下条件进行酶解: 用果胶酶 0.1%, pH 4.5, 于 50 °C 水浴 3 h, 8000 r/min 离心 20 min 取上清液即得沙田柚果汁。

沙田柚果汁脱苦: 取经酶解的沙田柚果汁, 添加 5% 的大孔树脂 D101, 摇床 100 r/min, 脱苦 30 min, 离心取上清果汁, 备用。

果汁配比: 按照不同的比例配制柚子百香果复合果汁, 添加 0.1% 的紫色百香果果皮。

2.2.2 复合果酒最佳发酵工艺条件的确定

分别研究果汁配比、糖度、初始 pH、接种量、发酵温度、发酵时间对果酒感官评分和酒精含量的影响, 再依据单因素试验结果, 设果汁比例、糖度、发酵温度、发酵时间 4 个因素, 以酒精度和复合果酒感官为评价指标确定最佳发酵条件^[21,22]。

2.2.3 感官评价

参考葡萄酒感官评分标准 GB/T 1037-2006《葡萄酒》^[23], 建立柚子百香果复合果酒感官评分标准, 见表 1。由 20 名评判员按照表 1 的评分标准对发酵的果酒进行评分^[24]。

表 1 柚子百香果果酒感官评分标准
Table 1 Sensory evaluation standards of compound fruit wine

项目	评价要点	分数/分
外观(20 分)	澄清、透明、具有百香果特征颜色-紫红色	16~20
	澄清、色泽较好	11~15
	混浊、有杂物、色泽自然	<10
滋味(40 分)	具有浓郁的柚子和百香果特征风味	35~40
	酒质柔和、不涩不苦、酸甜度适中	30~34
	调和适当、纯正无杂	25~29
	略苦、涩、酸、酒质较淡	20~24
	苦、涩、酸明显, 带有异味	<10
香气(30 分)	果酒香醇厚, 具有浓郁的柚子和百香果特征香气	25~30
	具有柚子和百香果香味, 较悦人	20~24
	柚子和百香果香气不足	16~19
	不具备柚子和百香果香气, 有异味	<15
典型性(10 分)	有明显的柚子和百香果香味、酒香	9~10
	具有果香味、酒香	7~8
	果味、酒香味不明显	5~6
	不具备果香味, 有异味	<4

2.2.4 测定方法

成品的糖度、酒精度等指标的检测按照文献^[24,25]的方法进行。

2.2.5 复合果酒抗氧化能力的测定

柚子百香果复合果酒抗氧化能力的测定参考文献^[21]进行。

3 结果与分析

3.1 单因素实验结果

3.1.1 果汁比例对柚子百香果果酒感官评分和酒精度的影响

柚汁与百香果果汁不同配比对柚子-百香果复合果酒发酵的影响如图 2。不同配比的柚汁与百香果果汁对复合果酒的酒精度影响不大, 酒精度基本处于 11.5% 左右; 但是对复合果酒的感官品质影响较大。当柚汁与百香果果汁的比例为 3:1(V:V) 时, 果酒的感官评分是最高的, 达到 85 分, 其色泽, 香味, 口感都具备有柚子和百香果特有的风味。当果汁配比为其它比例时, 果酒的感官评分都比果汁配比为 3:1(V:V) 的低。在试验过程还发现当果汁比例为 0.5:1(V:V) 的时候, 果酒的感官评分比果汁比例为 1:1、2:1、4:1(V:V) 的感官评分都高, 从 20 名评分者的详细评分发现, 导致这种结果的原因是在复合果酒的滋味和香味方面得分比其它果汁配比的高, 这跟百香果在香味和口感方面的特殊性有关。综合感官评分和酒精度的考虑, 柚汁与百香果果汁的最佳比例为 3:1(V:V)。

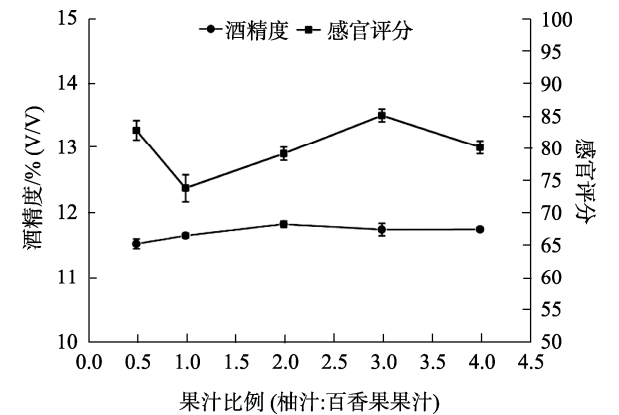


图 2 果汁比例对复合果酒发酵的影响(n=3)
Fig.2 Effect of fruit juice ratio on fermentation of compound fruit wine (n=3)

3.1.2 糖度对柚子百香果果酒感官评分和酒精度的影响

由图 3 可知, 随着糖度的增加, 酒精度和感官评分都升高, 但达到最高值的浓度不一样。当糖度为 20% 时, 酒精度最高可达到 11.38%, 感官评分为 83 分。但当糖度为 22% 时, 感官评分最高为 85 分, 而酒精度下降, 为 10.94%。原因可能高糖抑制酵母的活性, 酒精度降低^[26],

而高糖度发酵残糖增加,甜度增加,口感评分会增加。此外,高糖度发酵也会增加成本。综合分析,适宜的果汁初始含糖量为20%。

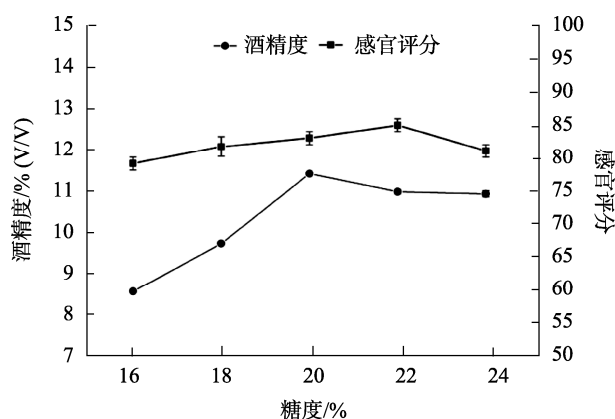


图3 糖度对复合果酒发酵的影响($n=3$)

Fig.3 Effect of sugar concentration on fermentation of compound fruit wine ($n=3$)

3.1.3 初始 pH 对柚子百香果果酒感官评分的影响

环境的 pH 对物质的解离和微生物对物质的利用、自身的繁殖都有重大的影响。由图 4 可知,果酒的酒精度和感官评分随着 pH 的升高而增加,当初始 pH 为 4.0 时,果酒的酒精度和感官评分都达到最高值,分别为 11.9%、88 分。pH 低时,酒精度低,说明酵母发酵受到了抑制,pH 越高,所得果酒的感官品质越差,酒精度越低^[27]。本实验选择的 pH 为 4.0。

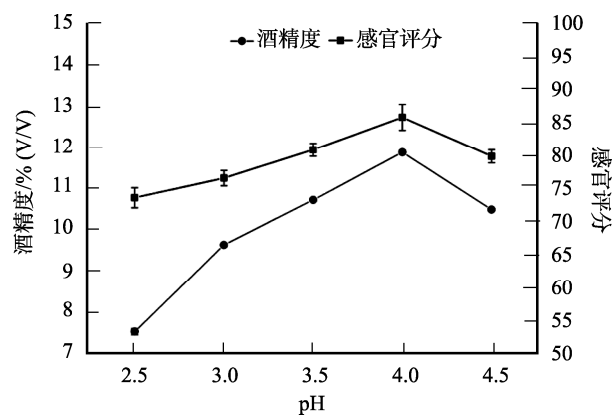


图4 不同初始 pH 对复合果酒发酵的影响($n=3$)

Fig.4 Effect of different initial pH on fermentation of compound fruit wine ($n=3$)

3.1.4 菌种接入量对柚子百香果果酒感官评分和酒精度的影响

由图 5 可知,初期随着酵母添加量的增加,果酒的酒精度和感官评分也增加。当酵母添加量为 0.04% 时,酒精度可达 11.65%,感官评分为 86 分。当酵母添加量进一步增加时,果酒酒精度和感官评分都下降。酵母接种量低时,

果酒发酵缓慢,酒精分泌量少,发酵不完全,果酒感官评分低;接种量过高时,糖分消耗快,酵母代谢速度快,分泌的副产物也多,果酒的感官评分下降^[28]。故果酒活性干酵母的添加量为 0.04%。

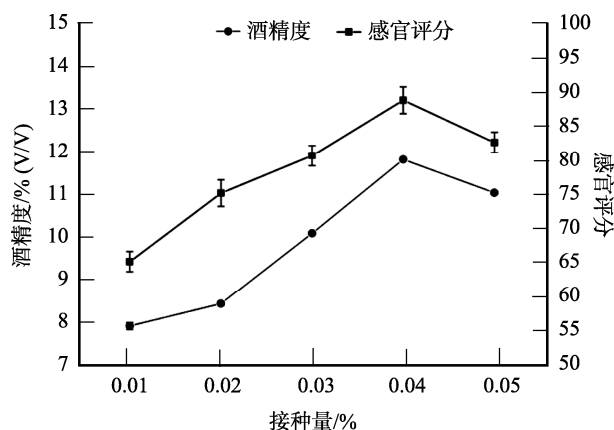


图5 接种量对复合果酒发酵的影响($n=3$)

Fig.5 Effect of inoculums size on fermentation of compound fruit wine ($n=3$)

3.1.5 发酵温度对柚子百香果果酒感官评分和酒精度的影响

由图 6 可知,随着发酵温度的升高,复合果酒的酒精度和感官评分都呈现先增加后下降的趋势,但达到最高值的温度不一致。温度是微生物生长繁殖的主要因素,当温度为 28 °C 时,酒精度最高为 12.61%;当温度超过 28 °C 时,复合果酒的酒精度反而下降,可能是因为过高的发酵温度导致酵母提前衰退、自溶,酒精度下降。而当温度为 26 °C 时,果酒的感官评分最高,为 84 分,发酵温度超过 26 °C,感官评分开始明显下降,研究发现,过高的温度会使酵母生长剧烈,代谢加快,不能把糖转化为酒精而转化成其它副产物,使果酒不纯正,进而影响最终口感和品质,而低温度发酵则使果酒的风味平淡^[29]。综合分析,选择发酵温度为 26 °C。

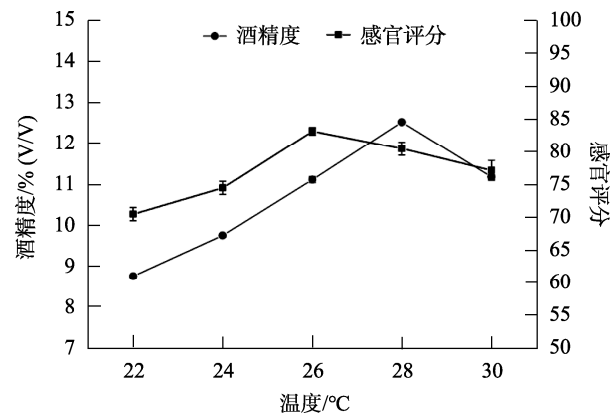


图6 温度对复合果酒发酵的影响($n=3$)

Fig.6 Effect of temperature on fermentation of compound fruit wine ($n=3$)

3.1.6 发酵时间对柚子百香果果酒感官评分和酒精度的影响

由图 7 可知, 随着发酵时间的延长, 果酒的酒精含量和感官评分逐渐增加, 在接种发酵第 7 d 时都达到最大, 分别为 11.32%和 87 分; 继续发酵, 酒精度和感官评分呈下降的趋势。发酵周期的长短会影响微生物产物的产量和质量, 菌种在繁殖初期数量少, 之后大量繁殖, 代谢产物酒精增加速度快; 发酵后期, 糖剩余量较少, 不能满足菌种代谢需求, 而且部分酵母衰退, 自溶物释放, 导致果酒品质下降。故发酵时间选择 7 d。

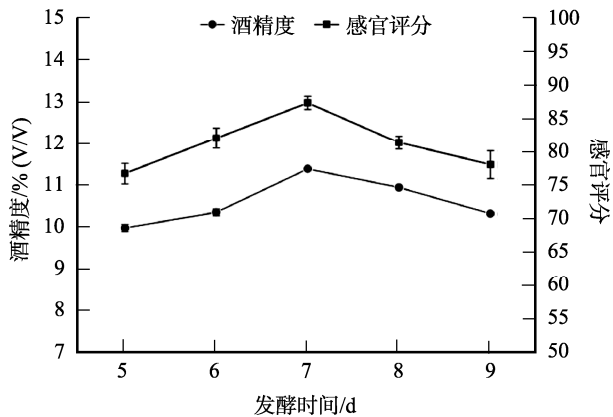


图 7 时间对复合果酒发酵的影响(n=3)
Fig.7 Effect of time on fermentation of compound fruit wine (n=3)

3.2 发酵条件的响应面优化试验

3.2.1 响应面实验结果

实验方案及实验结果见表 2。对表 2 中数据进行回归拟合, 得到自变量与感官评分(Y)的二次多项回归方程为:

$$Y=91.8+3.08A+2.42B+2.42C+1.42D-2.25AB+1.0AC-0.5AD+1.25BC-1.75BD+2.5CD-6.82A^2-6.32B^2-5.57C^2-6.32D^2$$

3.2.2 响应面实验结果方差分析

对该模型进行方差分析, 结果如表 3 所示, 该回归模型 $P < 0.0005$, 方程模型显著, 失拟项 $P=0.0999 > 0.05$, 不显著; 该回归模型的总决定系数 $R^2=0.8786$, 调整决定系数 $R^2_{Adj}=0.7572$, 变异系数 $CV=3.86$, 以上参数均说明该模型拟合程度好, 实验误差小, 故该回归方程模型成立, 可以用此模型对柚子百香果复合果酒发酵条件进行分析及预测。

由表 3 可知, 柚子百香果复合果酒发酵条件的工艺参数中, 影响感官评分的因素按主次顺序排列: 果汁比例(A) > 糖度(B) > 发酵时间(C) > 发酵温度(D), 其中模型一次项 A 果汁比例影响极显著, B 糖度、C 发酵时间显著, D 发酵温度不显著; 二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 、 D^2 均极显著; 交互项影响均不显著。

3.2.3 最优发酵工艺与验证

经 Design-Expert 11.0 Trial 优化, 通过对回归模型优

化后的果酒发酵最佳条件为: 果汁比例 2.919、糖度 18.14%, 发酵时间 7.047, 发酵温度 25.175 °C, 在此条件下感官评分的预测值为 81.28。考虑工艺对酒精度的影响以及操作的简便性, 将优化后的工艺参数修正为: 果汁比例 3:1(V:V)、糖度 18%, 发酵时间 7 d, 发酵温度 26 °C, 在此条件下进行实验验证, 所得柚子百香果复合果酒的感官评分为 79.86, 与理论预测值的相对误差为 1.74%, 复合果酒酒精度含量为 10.14%, 说明运用响应面法优化得到的模型参数准确可靠, 能真实地反应各因素对柚子百香果复合果酒发酵的影响。

表 2 响应面实验方案及结果
Table 2 Experimental design and results of response surface method

实验号	A	B	C	D	感官评分
1	1	-1	0	0	86
2	0	0	0	0	90
3	0	0	0	0	92
4	0	1	0	-1	85
5	0	0	0	0	90
6	0	-1	-1	0	76
7	0	1	1	0	86
8	0	0	-1	-1	80
9	1	0	0	-1	80
10	0	-1	1	0	81
11	1	1	0	0	84
12	-1	-1	0	0	70
13	-1	1	0	0	77
14	0	0	1	-1	78
15	0	0	0	0	94
16	0	0	1	1	86
17	1	0	0	1	84
18	1	0	1	0	82
19	0	-1	0	1	76
20	0	0	-1	1	78
21	-1	0	1	0	80
22	0	-1	0	-1	72
23	0	1	-1	0	76
24	-1	0	0	-1	72
25	0	1	0	1	82
26	1	0	-1	0	76
27	-1	0	0	1	78
28	-1	0	-1	0	78
29	0	0	0	0	93

表 3 拟合二次多项式模型的方差分析
Table 3 ANOVA of fitted quadratic polynomial model

因素	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	1000.87	14	71.49	7.24	0.0003	*
A	114.08	1	114.08	11.55	0.0043	**
B	70.08	1	70.08	7.09	0.0185	*
C	70.08	1	70.08	7.09	0.0185	*
D	24.08	1	24.08	2.44	0.1407	
AB	20.25	1	20.25	2.05	0.1742	
AC	4.00	1	4.00	0.4049	0.5348	
AD	1.0000	1	1.0000	0.1012	0.7551	
BC	6.25	1	6.25	0.6327	0.4397	
BD	12.25	1	12.25	1.24	0.2842	
CD	25.00	1	25.00	2.53	0.1340	
A ²	301.41	1	301.41	30.51	< 0.0001	**
B ²	258.81	1	258.81	26.20	0.0002	**
C ²	201.00	1	201.00	20.35	0.0005	**
D ²	258.81	1	258.81	26.20	0.0002	**
残差	138.30	14	9.88			
失拟项	125.50	10	12.55	3.92	0.0999	
纯误差	12.80	4	3.20			
总误差	1139.17	28				
R ² =0.8786		R ² _{Adj} =0.7572		CV(变异系数)=3.86		

注: *P<0.05, 差异显著; **P<0.01, 差异极显著。

3.3 柚子百香果复合果酒体外抗氧化活性

研究发现, 柚子和百香果中含有一定量的总黄酮、总酚等物质, 这些物质具有很好的抗氧化能力, 能有效地清除体内自由基延缓衰老^[30,31]。由表 4 可知, 发酵的柚子百香果复合果酒也具备一定的抗氧化活性。

表 4 柚子百香果复合果酒抗氧化活性
Table 4 Antioxidant activity of compound fruit wine

	DPPH 自由基	ABTS 自由基	超氧阴离子 自由基	对羟基 自由基
清除率/ 抑制率/%	75.62	62.38	40.44	46.56

4 结 论

在柚子百香果果酒发酵过程中, 果汁比例、初始糖度、发酵时间对复合果酒感官评分均有显著影响, 通过响应面优化得柚子百香果复合果酒的最佳工艺条件为: 果汁

比例 3 : 1(V:V)、糖度 18%, 发酵时间 7 d, 发酵温度 26 ℃, 接种量 0.04%, 初始 pH 4.0, 此条件下复合果酒感官评分为 79.86 分, 酒精含量为 10.14%。此外, 还对柚子百香果复合果酒的体外抗氧化性能进行了初步的研究, 发现发酵型柚子百香果复合果酒具有一定的抗氧化性能, ABTS 自由基清除率达到 62.38%, 对羟基自由基清除率 46.56%, 超氧阴离子清除率 40.44%, DPPH 自由基抑制率达到 75.62%。本研究将为广西沙田柚和百香果产业的深加工提供了依据, 提高沙田柚和百香果的经济价值, 促进沙田柚和百香果种植经济效益的提高, 促进广西贫困地区的产业扶贫推广力度。

参考文献

[1] Anesini C, Perezc. Screening of plants used in Argentine folk medicine for antimicrobial activity [J]. J Ethnopharmacol, 1993, 39(2): 119–128.
[2] Jamir TT, Sharma HK, Dolui AK. Folklore medicinal plants of Nagaland, India [J]. Fitoterapia, 1999, 70(4): 395–401.
[3] Bergner P. Passiflora: Passionflower [J]. Med Herbal, 1995, 7(1/2): 13–14,

- 26.
- [4] 孙慧慧, 余元善, 吴继军, 等. 沙田柚的加工和综合利用研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(6): 209–214.
- Sun HH, Yu YS, Wu JJ, *et al.* Study on production and comprehensive utilization of citrus grandis osbeck [J]. Food Res Dev, 2018, 39(6): 209–214.
- [5] ChenYC, Shen SC, Lin HY. Rutinoid at C7 attenuates the apoptosis inducing activity of flavonoids [J]. Biochem Pharmacol, 2003, (66): 1139–1150.
- [6] Cavia-Saiz M, Muñoz P, Ortega N, *et al.* Effect of enzymatic debittering on antioxidant capacity and protective role against oxidative stress of grapefruit juice in comparison with adsorption on exchange resin [J]. Food Chem, 2011, (125): 158–163.
- [7] Masuoka N, Matsuda M, Kubo I. Characterisation of the antioxidant activity of flavonoids [J]. Food Chem, 2012, (131): 541–545.
- [8] Yokomizo A, Moriwaki M. Effects of uptake of flavonoids on oxidative stress induced by hydrogen peroxide in human intestinal Caco-2 cells [J]. Biosci Biotechnol Biochem, 2006, 70(6): 1317–1324.
- [9] Guowen Z, Li H, Mingming H. Optimized ultrasonic-assisted extraction of flavonoids from *Prunella vulgaris* L. and evaluation of antioxidant activities *in vitro* [J]. Innov Food Sci Emerg, 2011, (12): 18–25.
- [10] 蒋林林, 何锦华, 李兴权. 容县柚子走四方——玉林市创建现代特色林业(核心)示范区纪实[J]. 广西林业, 2017, (7): 11–13.
- Jiang LL, He JH, Li XQ. Walking everywhere of Rongxiang *citrus grandis* --Documentary of modern characteristic forestry (core) demonstration area construction in Yulin city [J]. Forest Guangxi, 2017, (7): 11–13.
- [11] 刘畅, 冯建文, 旷慧, 等. 红树莓柚子复合果汁配方优化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(3): 143–147.
- Liu C, Feng JW, Kuang H, *et al.* Formula optimization of red raspberry and pomelo compound juice [J]. Sci Technol Food Ind, 2018, 39(3): 143–147.
- [12] 张震, 丁洁昌, 李亚萍, 等. 一种金银花柚子果酒及酿造方法[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(18): 127–129.
- Zhang Z, Ding JC, Li YP, *et al.* A fruit wine made of honeysuckle and pomelo and a brewing method [J]. Food Res Dev, 2015, 36(18): 127–129.
- [13] 冯印, 夏宇豪, 魏麟苏, 等. 柠檬蜂蜜柚子茶的研制[J]. 现代食品, 2017, 6(11): 71–75.
- Feng Y, Xia YH, Wei LS, *et al.* Development of lemon honey grapefruit tea [J]. Mod Food, 2017, 6(11): 71–75.
- [14] 王宪青, 李丹丹. 柚皮蜜饯的蜜制方法研究[J]. 农产品加工, 2015, (13): 34–36.
- Wang XQ, Li DD. Honey processing method of candied fruits made by pomelo peel [J]. Farm Prod Process, 2015, (13): 34–36.
- [15] 靳桂敏, 贺银凤, 钟震雄. 柚子果醋及其饮料生产工艺研究[J]. 中国酿造, 2007, 26(2): 64–66.
- Jin GM, He YF, Zhong ZX. Production processing of shaddock vinegar and shaddock vinegar beverage [J]. China Brew, 2007, 26(2): 64–66.
- [16] 张佳艳, 任仙娥. 西番莲果汁的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(11): 219–224.
- Zhang JY, Ren XE. Progress in research on passion fruit juice [J]. Food Res Dev, 2016, 37(11): 219–224.
- [17] 林日高. 沙田柚和西番莲复合果汁饮料的研制[J]. 食品与机械, 2014, 30(4): 204–206, 215.
- Lin RG. Development of mixed juice beverage of pomelo and passion fruit [J]. Food Mach, 2014, 30(4): 204–206, 215.
- [18] 王志江, 周育华, 陈婉玲, 等. 西番莲山药复合果醋的研制[J]. 中国调味品, 2015, 40(2): 96–99, 103.
- Wang ZJ, Zhou YH, Chen WL, *et al.* Development of coposite vinegar of passion fruit and yam [J]. China Cond, 2015, 40(2): 96–99, 103.
- [19] 孔丹琪. 西番莲酿酒工艺初探[J]. 山东化工, 2016, 45(13): 49–53.
- Kong DQ. Study on passion fruit and orange brewing technology [J]. Shandong Chem Ind, 2016, 45(13): 49–53.
- [20] 和晶亮. 火龙果—蓝莓复合果酒发酵工艺研究[J]. 菏泽学院学报, 2017, 39(5): 86–90.
- He JL. Study on the fermentation process of pitaya-blueberry compound wine [J]. J Heze Univ, 2017, 39(5): 86–90.
- [21] 苏龙, 吕凤丹, 王雪儒, 等. 响应面优化杨梅果酒发酵工艺及其抗氧化性[J]. 食品工业科技, 2017, 38(20): 146–151, 170.
- Su L, Lv FD, Wang XR, *et al.* Optimization of fermentation parameters by responsesurface methodology and the antioxidant capacity of *Myrica rubra* wine [J]. Sci Technol Food Ind, 2017, 38(20): 146–151, 170.
- [22] 苏龙, 庄明川, 梁广波, 等. 醋酸高产菌株的筛选及百香果果醋发酵条件的优化[J]. 食品科技, 2017, 42(4): 33–37.
- Su L, Zhuang MC, Liang GB, *et al.* Screening of acetic acid producing strain and optimization on fermentation conditions of passion fruit vinegar [J]. Food Sci Technol, 2017, 42(4): 33–37.
- [23] GB/T 1037-2006 葡萄酒[S].
- GB/T 1037-2006 Grape wine [S].
- [24] 叶学林, 程水明, 温露文, 等. 响应面法优化桑葚果酒发酵工艺[J]. 中国酿造, 2017, 36(12): 105–109.
- Ye XL, Cheng SM, Wen LW, *et al.* Optimization of fermentation technology for mulberry wine by response surface methodology [J]. China Brew, 2017, 36(12): 105–109.
- [25] 杨玉霞, 康超, 段振华, 等. 响应面法优化百香果酒发酵工艺研究[J]. 食品工业科技, 2018, 39(8): 167–172, 189.
- Yang YX, Kang C, Duan ZH, *et al.* Optimization of fermentation conditions for passionfruit wine by response surface methodology [J]. Sci Technol Food Ind, 2018, 39(8): 167–172, 189.
- [26] 李彦坡, 黄高弟, 张阳, 等. 丁香杨梅果酒发酵工艺的优化[J]. 食品与机械, 2015, 31(4): 198–202.
- Li YP, Huang GD, Zhang Y, *et al.* Study on the processing technology of Ding'ao myrica rubra wine [J]. Food Mach, 2015, 31(4): 198–202.
- [27] 徐清萍, 朱广存. 野生猕猴桃酒发酵工艺研究[J]. 酿酒科技, 2010, 196(10): 78–81.
- Xu QP, Zhu GC. Fermentation technology of kiwi fruit wine [J]. Liquor-Mak Sci Technol, 2010, 196(10): 78–81.
- [28] 吴均, 杨德莹, 李抒桐, 等. 奉节脐橙果酒发酵工艺的优化[J]. 食品工

业科技, 2016, 37(23): 247–252.

Wu J, Yang DY, Li ST, *et al.* Optimization of fermentation technology of citrus sinensis osbeck fruit wine of Fengjie [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2016, 37(23): 247–252.

- [29] 海金萍, 刘钰娜, 邱松山. 三华李果酒发酵工艺的优化及香气成分分析[J]. *食品科学*, 2016, 37(23): 222–229.

Hai JP, Liu YN, Qiu SS. Optimization of fermentation process of ‘sanhua’ plum wine and analysis of its aroma components [J]. *Food Sci*, 2016, 37(23): 222–229.

- [30] 于杰, 侯诗夏, 吴洪梅, 等. 重庆地方名柚果肉酚类物质含量及其抗氧化活性分析[J]. *食品科学*, 2016, 37(2): 83–88.

Yu J, Hou SX, Wu HM, *et al.* Phenolic compositions and antioxidant capacity of the fruit pulp of popular pomelo cultivars in Chongqing [J]. *Food Sci*, 2016, 37(2): 83–88.

- [31] 王伟, 魏继文, 刘清雷, 等. 超声协助提取百香果多酚及抗氧化性研

[C]. 中国食品科学技术学会第十四届年会暨第九届中美食品业高层论坛摘要集. 无锡: 中国食品科学技术学会, 2017: 199.

Wan W, Wei JW, Liu QL, *et al.* Ultrasound assisted extraction and antioxidant activity of polyphenols from passion fruit [C]. *Food Summit in China 2017 & 14th Annual Meeting of CIFST*, Wuxi: Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017: 199.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



苏 龙, 教授, 主要研究方向为果蔬深加工, 微生物发酵。
E-mail: gxsulong@163.com