黄桃果酒发酵工艺优化及香气成分分析

李明瑕， 刘春凤， 王 壬， 郑飞云， 王金晶， 钮成拓， 李 崎*
（江南大学 生物工程学院，江苏 无锡 214122）

摘要：以浓缩黄桃汁为原料，研究黄桃果酒的酿造工艺，单因素实验分析了酵母接种量、主发酵温度、初始糖质量浓度、pH 和氮添加量对黄桃果酒品质的影响，通过感官品评确定了黄桃果酒的最适产品类型。随后采用 Box-Behnken 响应面法对黄桃果酒发酵工艺进行了优化，结果显示其最优发酵条件为：初始糖质量浓度 195 g/L、外加氮质量浓度 200 mg/L、主发酵温度 23 ℃、初始 pH 3.4、酵母接种量 9.3×10^6 CFU/mL，在该条件下制得的半甜型黄桃果酒感官得分最高。将自制黄桃果酒与 3 款市售产品比较，自制果酒的抗氧化物质质量浓度及抗氧化能力均优于市售产品。通过 SPME-GC-MS 定量和香气活力值分析确定了异戊醇、正丙醇、乙酸乙酯、乳酸乙酯、乙酸异戊酯、丁酸乙酯、异戊酸乙酯、正癸酸、己酸、辛酸和丙位癸内酯是黄桃果酒的主要风味化合物，主成分分析显示实验室制备果酒与多种醇和酯有很强的相关性，该研究为黄桃果酒的开发和品质提升提供了理论基础。

关键词：黄桃；果酒；响应面；挥发性化合物；主成分分析
中图分类号：TS 262.7　**文章编号：**1673-1689(2021)10-0039-11　**DOI：**10.3969/j.issn. 1673-1689.2021.10.006

Optimization of Fermentation Process and Analysis of Aroma Components of Yellow Peach Wine

LI Mingxia， *LIU Chunfeng*， *WANG Ren*， *ZHENG Feiyun*， *WANG Jinjing*， *NIU Chengtuo*， *LI Qi**
(School of Biotechnology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: The brewing process of yellow peach fruit wine was studied in this research using the concentrated yellow peach juice as raw material. The effects of yeast inoculation amount, fermentation temperature, initial sugar content, pH value and nitrogen content on the quality of yellow peach wine were analyzed by single factor experiment, and the optimal product type of yellow peach wine was further determined through sensory evaluation. The fermentation process of peach wine was then optimized by Box-Behnken response surface method. The results showed that the optimal fermentation conditions were 195 g/L initial sugar content, 200 mg/L added nitrogen content, 23 ℃ of main fermentation temperature, initial pH 3.4 and 9.3×10^6 CFU/mL inoculation amount of yeasts. The semi-sweet yellow peach wine produced under this condition had the highest sensory score. Comparing this yellow peach wine with three commercial products, the antioxidant content and antioxidant capacity of fruit wine produced in the laboratory were superior to those of products.

收稿日期：2020-10-13
基金项目：国家自然科学基金项目(31601558，31901621，31771963)。
***通信作者：**李 崎(1971—)，女，博士，教授，博士研究生导师，主要从事酿酒科学技术与工程、酿酒微生物、酶工程和传统发酵食品酿造方面的研究。E-mail：liqi@jiangnan.edu.cn

According to SPME-GC-MS quantitative detection and odor activity value analysis, isoamyl alcohol, 1-propyl alcohol, ethyl acetate, ethyl lactate, isoamyl acetate, ethyl butyrate, ethyl isovalerate, decanoic acid, hexanoic acid, octanoic acid and gamma-decalactone were the main flavor compounds in yellow peach wine. Principal component analysis showed that the fruit wine fermentation in the laboratory had a strong correlation with a variety of alcohols and esters. This research could provide a theoretical basis for the development and quality improvement of yellow peach wine.

Keywords: yellow peach, wine, response surface, volatile compounds, principal component analysis

桃属于蔷薇科,李属,起源于我国的西北高原,后广泛分布于亚、非、欧、美、澳等 5 个大洲[1]。桃品种按照果肉的颜色可以分为白肉桃、红肉桃、黄肉桃[2]。其中黄肉桃因颜色鲜艳、香气浓郁,在国内外市场上有很强的竞争力。黄桃果肉含有大量的碳水化合物、有机酸、维生素、膳食纤维和饮食抗氧化剂,营养价值十分丰富[3]。然而,黄桃的可用性受到季节和货架期的限制[4],严重影响了我国黄桃产业的发展。黄桃的深加工可以满足无桃季节市场的需求,现阶段我国黄桃的加工产品主要是黄桃罐头、桃汁、速冻桃片、黄桃酸奶等低值产品[5-6]。因此,为了避免黄桃上市时大量的资源浪费,有必要开展黄桃深加工技术,提升黄桃的附加值和市场竞争力。

果酒是以新鲜水果或果汁为原料,经酵母发酵酿制而成的一类低酒精度饮料[7],是水果的主要加工途径之一。黄桃果酒是黄桃较理想的食用途径和深加工模式,它可以最大限度地保留黄桃中的营养成分,减少损失,还可以满足果酒市场多样化的需求。

目前国内外对黄桃的研究主要集中在生物活性物质的测定[3,8-9]和黄桃去皮工艺[10]等方面,只有少量关于发酵工艺的研究[11],但都没有关注发酵参数对感官品质的影响。同时市面上仅有的几款黄桃酒类产品也都是配制酒,缺乏黄桃发酵酒类型产品。作者选用浓缩黄桃汁,通过对影响果酒发酵的主要参数进行单因素实验结合 Box-Behnken 响应面法获得黄桃果酒最优发酵工艺,随后对实验室制得的黄桃果酒与市售产品的抗氧化能力和风味物质进行了分析和比较,以期为黄桃果酒的开发提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 菌种 酿酒酵母 YP-01:作者所在实验室保藏。

1.1.2 试剂 黄桃浓缩汁参数:可溶性固形物 44.5%,总酸(18.05±0.11) g/L;白砂糖,柠檬酸,碳酸钙:市售。

1.1.3 仪器 电热恒温培养箱 BSP-250:上海博迅实业有限公司医疗设备厂;精密数显 PH 计 FE20:北京 Hanna 公司;超净工作台 SW-CJ2D:苏州空气净化设备厂;高速冷冻离心机 5804R:Eppendorf 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 黄桃果酒发酵流程 黄桃浓缩汁→调整成分(酸度、糖度)→灭菌(105 ℃、10 min)→接种→主发酵→离心→成品

1.2.2 黄桃果酒发酵条件优化

1)单因素实验 调整黄桃浓缩汁成分至糖质量浓度为 120 g/L,可滴定酸 5.68 g/L,分别以初始糖质量浓度 140、160、180、200、220 g/L,主发酵温度 19、22、25、28、31 ℃,初始 pH 3.0、3.3、3.6、3.9、4.2,酵母接种量 3×10^6、6×10^6、9×10^6、12×10^6、15×10^6 CFU/mL,氮添加量 100、200、300、400、500 mg/L 进行黄桃果酒发酵单因素实验,当 24 h 失重小于 0.1 g/dL 时结束发酵,对黄桃果酒进行感官品评和乙醇体积分数检测。

2)产品类型 黄桃果酒发酵后平均含糖 8.5 g/L,总酸 8.5 g/L,口感偏酸,不符合大多数人的口味。调整发酵后果酒至糖质量浓度 13、18、23、28、33、38、43 g/L。对调整的黄桃果酒进行感官品评,以确定该黄桃果酒最适的产品类型。

3)Box-Behnken 响应面优化黄桃果酒发酵条件在单因素实验的基础上[12-14],选定主发酵温度、初始 pH 和接种量 3 个影响较大的因素,以感官评分为评价指标,进行三因素三水平的响应面优化实验,各因素及水平编码见表 1。

表 1 Box-Behnken 实验因素及水平

Table 1 Box-Behnken experimental factors and levels

水平	因素		
	A pH	*B* 接种量/(CFU/mL)	*C* 温度/℃
−1	3.0	6×10^6	22
0	3.3	9×10^6	25
1	3.6	12×10^6	28

1.2.3 黄桃果酒的评价

1) 感官评分标准 感官评分标准按照 GB/T 15038—2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》[15]中介绍的方法进行,由 11 名具有感官品评经验的专业人员根据表 2 中的评分标准进行评价。在(22±1) ℃的室温下,将黄桃酒样品装入品评杯中呈递给小组成员,对每个黄桃酒样的得分取 11 人平均值,即该酒的感官得分。

表 2 感官评定表

Table 2 Sensory evaluation

评价指标	评价标准	评分(分)
色泽(20 分)	澄清透明,有光泽,色泽纯正有亮光	18~20
	澄清透明,光泽较弱,色泽纯正,略微发暗	15~18
	酒体基本澄清,有点失光,色泽纯正	10~15
	酒体浑浊沉淀,失光严重,色泽不纯正	<10
香气(30 分)	果香、酒香皆浓馥幽郁,诸香和谐纯正	25~30
	果香、酒香纯正,但不浓郁	20~25
	果香、酒香不足,感觉一般	15~20
	香气混杂,有异味	<15
风味(40 分)	酒体醇厚丰满或酒体爽口,风味协调	35~40
	酸甜比较适中,酒体比较柔和爽口,风味比较协调	30~35
	酒体偏甜或偏酸,协调性一般	25~30
	酒体寡淡无味,或夹带杂异味,酒体协调性较差	15~25
	酒体极不协调,具有明显涩味、臭味或其他杂异味,口感很差	<15
典型性(10 分)	具有明显黄桃果酒特征,具有浓郁发酵果酒香味,且酒香纯正优雅	9~10
	具有较为明显黄桃果香或发酵酒特征风味	7~8
	黄桃香或发酵果酒香味较弱,发酵酒特征风味弱	5~6
	无发酵酒特征风味,杂异味明显,没有正常发酵酒体风格	<5

2)理化指标检测方法 乙醇、总酸、挥发酸、总糖和总 SO_2 测定参照 GB/T 15038—2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》[15];总酚和 DPPH 清除率的测定参照杨冬梅等[16]的方法;维生素 C 测定参照郑京平等[17]的方法;羟自由基(OH^-)清除率参照刘亚娜等[18]的方法。

3)挥发性化合物测定 通过 SPME-GC-MS 测定黄桃果酒中挥发性化合物,GC-MS 条件参照李凯[19]等的方法。未知化合物的定性通过与 NIST 05 质谱库中标准谱图比对确定,化合物的定量通过在体积分数为 10%的乙醇溶液中配制待测化合物标准溶液,根据定量化合物与内标化合物峰面积的比值与定量化合物的浓度绘制标准曲线,依据标准曲线确定果酒中挥发性化合物的质量浓度。

香气活力值[19](OAV)用于评价香气物质对样品整体香气的贡献,OAV 的计算值等于某种挥发性化合物的质量浓度与该物质阈值的比,通常认为 OAV≥1 的物质是果酒中主要呈味化合物。

1.2.4 数据处理 采用 Design-Expert 10.0 软件进行试验设计,采用 origin 2018、SPSS 软件进行作图和数据分析。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果

初始糖质量浓度的高低直接影响发酵液的乙醇体积分数和风味物质质量浓度,进而影响黄桃果酒的品质。不同初始糖质量浓度对黄桃果酒乙醇体积分数及感官品质的影响见图 1(a)。发酵后果酒的乙醇体积分数随初始糖质量浓度的增加而增加,当初始糖质量浓度为 180 g/L 时,发酵果酒乙醇体积分数为 10.6%,酒体相对丰满,同时感官得分最高。但当初始糖质量浓度继续升高,乙醇体积分数升高的幅度逐渐减小,同时感官评分也在降低。

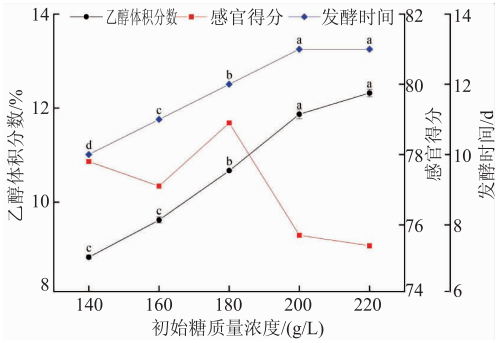
不同发酵温度对黄桃果酒乙醇体积分数及感官品质的影响见图 1(b)。发酵温度低于 22 ℃时,发酵时间相对延长,发酵不彻底;而发酵温度高于 28 ℃时,发酵速度较快,但感官得分相对降低。低温发酵能够增加果酒的花香和水果香气,但会抑制酵母的生长,降低糖的消耗速率;随着温度的升高,酵母生长速率提高,但高温会导致酵母自溶,存活细胞减少[20]。发酵温度为 25 ℃时,酒体丰满,乙醇体积分数为 10.67%,感官评分最高,为 78.9。因此,选择 25 ℃为最适发酵温度。

不同初始 pH 对黄桃果酒乙醇体积分数及感官品质的影响见图 1(c)。不同 pH 下发酵时间没有差

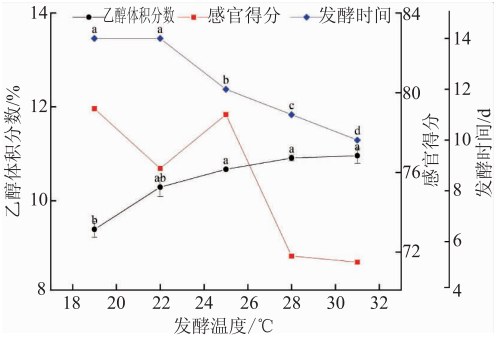
别,说明 pH 3.0~4.2 的环境对酵母的发酵活性没有显著影响。当初始 pH 为 3.0 时,发酵后果酒酸味较为尖锐,感官评分略低;当初始 pH 较高时,发酵后果酒有明显的苦涩感。综合发酵速度、乙醇体积分数、感官评分,选择 pH 3.3 为最适初始 pH。

不同酵母接种量对黄桃果酒乙醇体积分数及感官品质的影响见图 1(d)。当酵母接种量低于 6×10^6 CFU/mL 时,发酵时间相对延长,接种量达到 15×10^6 CFU/mL 时,乙醇体积分数明显降低。酵母接种量较低时,代谢繁殖速度缓慢,污染杂菌的风险增加;酵母接种量过多时,菌群大量繁殖消耗营养成分,破坏发酵环境致使酵母提前衰老并发生自溶,影响果酒风味[21]。综合发酵时间、乙醇体积分数和感官品评结果,选择 9×10^6 CFU/mL 为黄桃果酒发酵最适接种量。

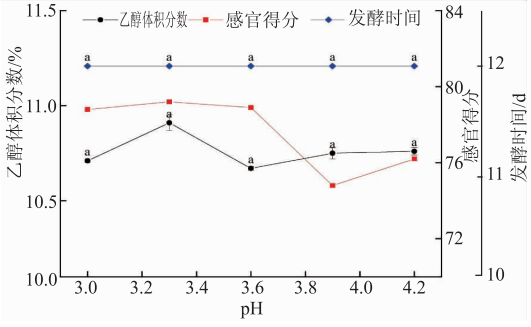
不同的主发酵温度、初始糖质量浓度、pH、接种量对发酵时间均有影响,但总的来说,黄桃果酒发酵速度偏慢,氮含量成为酵母发酵限制因子。不同氮添加量对黄桃果酒乙醇体积分数及感官品质的影响见图 1(e)所示。提高氮添加量后,发酵速率和感官得分明显提高。综合发酵速率和感官评分,发酵前氮的最适添加量为 200 mg/L。



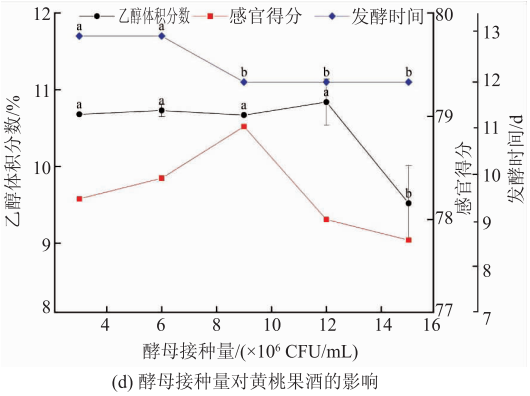
(a) 初始糖质量浓度对黄桃果酒的影响



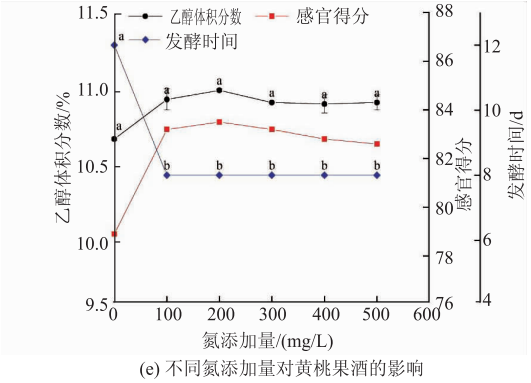
(b) 发酵温度对黄桃果酒的影响



(c) 初始pH对黄桃果酒的影响



(d) 酵母接种量对黄桃果酒的影响



(e) 不同氮添加量对黄桃果酒的影响

显著性分析使用 Tukey 检验(P<0.05),同一曲线上不同罗马字母表示存在显著性差异。

图 1　不同发酵条件对黄桃果酒感官品质和乙醇体积分数的影响

Fig. 1　Effects of different fermentation conditions on the sensory quality and alcohol content of yellow peach wine

2.2 产品类型

根据每日失重监测发酵速度，当 24 h 失重小于 0.1 g/dL 时结束发酵，所得黄桃果酒平均糖质量浓度和总酸质量浓度均为 8.5 g/L，口感偏酸，表明该浓缩黄桃汁发酵黄桃果酒不适合发酵成干型、半干型。不同类型的黄桃果酒感官评分见表 3。

表 3 不同产品类型感官得分

Table 3 Sensory scores for different product types

糖质量浓度/(g/L)	感官评分
12	6.31
17	7.12
23	7.62
28	7.31
33	6.87
38	6.87
43	6.00

根据感官评分结果，当发酵后总糖为 23 g/L 时，糖酸比为 2.71，酸甜平衡程度最好。因此，该浓缩黄桃汁适合制成糖质量浓度为 23 g/L 的半甜型黄桃酒。

2.3 Box–Behnken 响应面试验

在单因素实验的基础上，考虑发酵后乙醇体积分数为 10.67%左右，糖质量浓度在 23 g/L 时感官评分最佳。国家标准 GB 2758—2012《食品安全国家标准 发酵酒及其配制酒》[22]中规定乙醇体积分数≥10%的发酵酒可免于标示保质期，说明乙醇体积分数在 10%以上有利于果酒贮藏。氮添加量为 200 mg/L 时感官评分最高，再提高添加量感官评分降低，还会增加生产成本。为生产乙醇体积分数 10.67%左右，糖质量浓度 23 g/L 的半甜型黄桃果酒，固定初始糖质量浓度为 195 g/L，氮添加量 200 mg/L。选择初始 pH、接种量、主发酵温度 3 个因素为分析对象，发酵过程监测总糖变化，当糖质量浓度为 23 g/L 时结束发酵，以感官评分为响应值，利用 Design Expert 10 软件设计三因素三水平的响应面实验，实际方案和结果见表 4。通过软件对数据进行了回归拟合，得到感官评分与初始 pH(A)、接种量(B)、主发酵温度(C)的回归方程：

$$感官评分=87.50+2.23A+0.65B-0.94C-0.29AB-0.80AC-1.19BC-6.14A^2-7.38B^2-0.90C^2$$

表 4 Box–Behnken 试验设计及结果

Table 4 Box–Behnken experiment design and results

实验号	A	B	C	感官评分
1	0	0	0	87.90
2	1	1	0	76.68
3	0	0	0	87.63
4	0	0	0	87.53
5	−1	1	0	72.70
6	0	0	0	86.95
7	1	0	1	81.38
8	0	0	0	87.50
9	−1	0	−1	77.95
10	0	1	−1	82.40
11	0	−1	−1	78.86
12	1	0	−1	83.90
13	−1	0	1	78.61
14	0	−1	1	78.40
15	1	−1	0	75.85
16	0	1	1	77.20
17	−1	−1	0	70.70

利用软件对模型进行了方差分析和回归系数显著性检验，结果见表 5。由表 5 可知，响应面优化后的模型 $P<0.000\ 1$，说明该模型可信。失拟项 $P>0.05$，说明该模型与试验结果拟合较好，能反映实际情况。由回归方程和方差分析可知，一次项 A(pH)、C(温度)、二次项 A^2、B^2 和交互项 BC 对感官得分的影响达到极显著水平($P<0.01$)，一次项 B(接种量)、二次项 C^2、交互项 AC 对感官得分的影响达到显著水平($P<0.05$)。根据 F 值的大小，可知 3 个因素对黄桃果酒感官评分影响的程度是：初始 pH>主发酵温度>接种量。

根据 Design–Expert 10.0 软件，获得了主发酵温度、初始 pH、接种量交互作用对感官品质影响的三维响应面曲线，见图 2。可以看出，温度和 pH、温度和接种量等高线图呈明显的椭圆形，表明两因素交互作用较明显，与表 5 方差分析结果一致。通过回归模型的预测，得到黄桃果酒发酵最优工艺条件为：初始 pH 3.367、接种量 9.281×10^6 CFU/mL、主发酵温度 22.967 ℃，在该条件下黄桃酒感官评分预测值为 88.101，实际操作时根据操作条件修正主发酵温度为 23 ℃，初始 pH 3.4，接种量 9.3×10^6 CFU/mL。

表 5　回归模型方差分析

Table 5　Regression model analysis of variance

项目	平方和	自由度	均方	F	P	显著性
模型	479.61	9	53.29	159.67	<0.000 1	**
A	39.83	1	39.83	119.33	<0.000 1	**
B	3.34	1	3.34	10.01	0.015 8	*
C	7.07	1	7.07	21.18	0.002 5	**
AB	0.34	1	0.34	1.03	0.345 0	
AC	2.53	1	2.53	7.57	0.028 4	*
BC	5.62	1	5.62	16.83	0.004 6	**
A^2	158.59	1	158.59	475.17	<0.000 1	**
B^2	229.46	1	229.46	687.52	<0.000 1	**
C^2	3.45	1	3.45	10.33	0.014 8	*
残差	2.34	7	0.33			
失拟项	1.86	3	0.62	5.15	0.073 6	
净误差	0.48	4	0.12			
总和	481.94	16				
R^2=0.995 2;adjR^2=0.988 9;predR^2=0.936 8						

2.4　响应面验证实验及理化指标分析

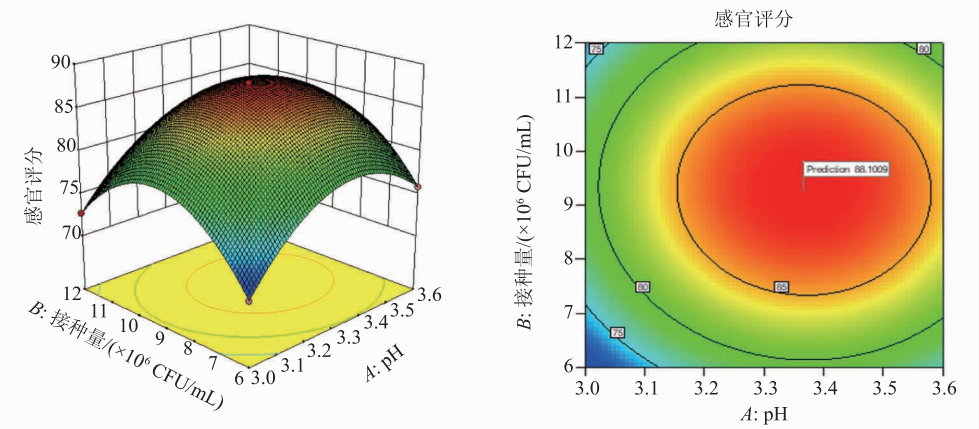
在主发酵温度为 23 ℃、初始 pH 3.4，接种量 9.3×10^6 CFU/mL 的工艺条件下进行 3 次黄桃果汁发酵验证实验，同时对制得的黄桃果酒和 3 款市售的黄桃酒产品的理化指标进行了比较，结果见表 6。

目前，国内市售黄桃酒绝大部分为配制酒。由表 6 可以看出，发酵型样品 1 糖质量浓度为 22.41 g/L，属于半甜型酒，样品 2~4 的糖质量浓度均大于 50 g/L，属于甜型酒；其中样品 4 中挥发酸是 GB 15037—2006《葡萄酒》[23]中规定最高含量的 3.9 倍，挥发酸质量浓度过高会带来尖酸感和不快的醋味，这可能是其感官得分较低的重要原因。样品 1 感官评分为 88.20 分，与 3.3 中软件预测值相近；样品 3 在市售 3 种配制酒中得分最高为 72.34，但其抗氧化物质总酚的质量浓度仅为样品 1 的 17.8%，并且不含维生素 C。相比之下，发酵型样品 1 中抗氧化物质总酚和维生素 C 质量浓度均较高，分别达 351.07 mg/L 和 100.65 mg/L；同时，样品 1 的体外抗氧化力较高，DPPH 和羟基自由基清除率分别为 31.44%和 98.84%。综上所述，优化工艺下制得的黄桃果酒的口感和抗氧化能力均优于市售的 3 款配制型黄桃酒。

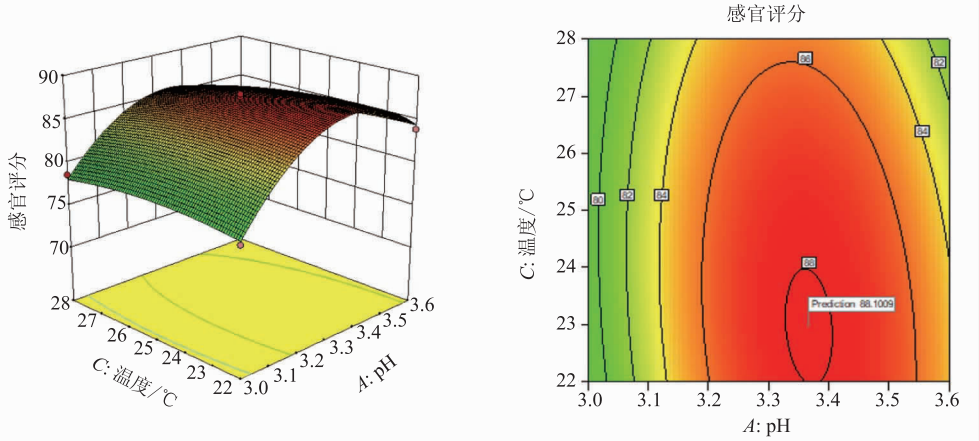
2.5　黄桃果酒香气成分分析

2.5.1　主要香气化合物定量分析　采用 SPME-GC-MS 对最优工艺条件下制得的黄桃果酒（样品 1）与 3 种市售黄桃酒（样品 2~4）中主要挥发性化合物进行定量分析，结果见表 7。其中醇类物质 8 种、酯类物质 16 种、脂肪酸类物质 4 种以及萜烯/内酯类物质 4 种。

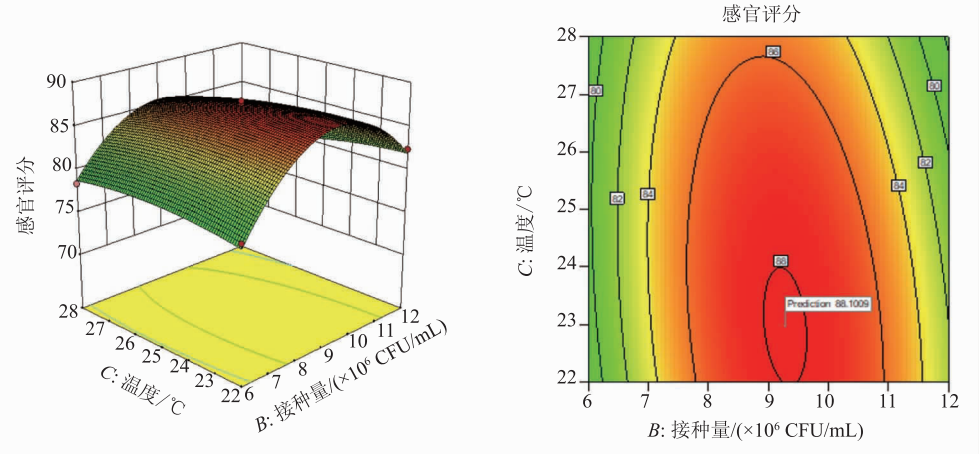
挥发性化合物在酒类产品的质量中起重要作用，通过 GC-MS 分析了黄桃果酒中的挥发性化合物组成。在黄桃果酒的各类挥发性化合物中，醇类和酯类在数量上是果酒中最大的芳香族化合物。醇类物质是果酒醇甜和助香剂的重要来源[24]，样品 1 中醇类物质质量浓度最高为（81.45±7.07）mg/L，样品 3 最低，仅为样品 1 的 45%。黄桃果酒中质量浓度较高的醇类物质有异戊醇、异丁醇、正丙醇和苯乙醇，占定量的醇类化合物的 99.32%~99.46%。酯类物质在果酒中呈现出花香和果香，样品 4 中酯类物质质量浓度最高为（135.07±5.01）mg/L，其中乙酸乙酯占总酯的62.9%。样品 1 酯类物质质量浓度最低，为（21.45±1.33）mg/L。但从酯的种类来看，样品 1 中乙酸辛酯、乙酸己酯、2-糠酸乙酯、丁酸乙酯、乙酸异戊酯、癸酸乙酯、月桂酸乙酯、辛酸乙酯和己酸乙酯等 9 种酯类物质均高于其他 3 款产品，多种化合物的共同作用可能导致样品 1 有更高的风味复杂性。脂肪酸类化合物中含量较多的有正癸酸、己酸和辛酸，占定量的脂肪酸类化合物的 97.49%~97.70%。萜烯/内酯类化合物也是重要风味物质[25]，含量相对较低，但在风味的构成中起到重要的作用。



(a) pH和接种量交互影响的响应曲面和等高线图



(b) pH和温度交互影响的响应曲面和等高线图



(c) 温度和接种量交互影响的响应曲面和等高线图

图 2　发酵条件对感官评分交互影响的曲面图

Fig. 2　Surface plot of interactive effects of fermentation conditions on sensory scores

2.5.2　*香气活力值及主成分分析*　挥发性化合物对果酒香气的贡献取决于化合物在果酒中的阈值,OAV>1 的成分是样品主体呈香化合物。定量的 30 种挥发性化合物中,有 11 种化合物的 OAV 值大于 1,可能是黄桃果酒的主体香气成分,见表 8。

对 OAV 值大于 1 的 11 种化合物进行主成分分析能够区分这 4 种黄桃果酒,见图 3。前两个主成分的贡献率为 81.8%,表明前两个主成分解释了原香气特征变量 81.8%的方差信息。与第一主成分呈现正相关的物质有异戊醇、丁酸乙酯、乙酸异戊酯、

表 6　黄桃果酒的理化指标分析

Table 6　Analysis of physical and chemical indexes of yellow peach wine

项目		样品			
		1	2	3	4
感官评分		88.20	63.67	72.34	68.34
乙醇体积分数/%		11.12±0.09^{a}	6.56±0.01^{c}	7.24±0.01^{b}	11.2±0.01^{a}
总酸质量浓度/(g/L)		8.27±0.04^{a}	5.21±0.01^{b}	4.76±0.05^{c}	8.33±0.07^{a}
挥发酸质量浓度/(g/L)		0.46±0.01^{c}	0.82±0.01^{b}	0.21±0.01^{d}	4.7±0.01^{a}
总糖质量浓度/(g/L)		22.41±1.80^{d}	76.00±0.56^{b}	131.95±1.57^{a}	63.6±1.26^{c}
总 SO_2 质量浓度/(mg/L)		86.67±2.89^{a}	35.00±1.41^{c}	31.00±1.41^{c}	65.00±2.83^{b}
抗氧化物质	总酚质量浓度/(mg/L)	351.07±7.54^{ab}	332.28±0.36^{b}	62.36±7.36^{c}	357.66±2.15^{a}
	维生素 C 质量浓度/(mg/L)	100.65±7.02	—	—	—
体外抗氧化能力	DPPH 自由基清除率	31.44%	48.42%	1.64%	42.70%
	羟自由基清除率	98.84%	67.97%	90.70%	51.93%

注:样品 1 为发酵型黄桃酒,样品 2—4 为市售的黄桃酒产品;显著性分析使用 Tukey 检验(P<0.05),同一行中不同罗马字母表示存在显著性差异.

表 7　黄桃果酒挥发性化合物定量分析

Table 7　Quantitative analysis of volatile compounds in yellow peach wine

化合物	样品			
	1	2	3	4
醇类				
异戊醇质量浓度/(mg/L)	33.33±2.85^{a}	30.15±2.08^{a}	14.24±0.01^{b}	28.50±0.44^{a}
异丁醇质量浓度/(mg/L)	22.08±2.31^{a}	16.07±0.81^{b}	1.02±0.00^{c}	14.60±0.09^{bc}
正丙醇质量浓度/(mg/L)	15.22±1.87^{a}	6.23±0.37^{b}	3.32±0.11^{b}	6.77±0.05^{b}
正丁醇质量浓度/(μg/L)	420.97±30.18^{a}	231.78±11.38^{b}	146.23±0.32^{c}	218.05±0.3^{b}
正己醇质量浓度/(μg/L)	114.06±2.36^{b}	178.52±9.73^{a}	102.59±0.91^{b}	111.75±0.24^{b}
异辛醇质量浓度/(μg/L)	34.91±9.82^{a}	34.64±0.81^{a}	28.61±0.22^{a}	28.98±0.03^{a}
2-壬醇质量浓度/(μg/L)	1.02±0.05^{b}	2.65±0.31^{a}	1.38±0.15^{b}	1.23±0.03^{b}
总质量浓度/(mg/L)	81.45±7.07^{a}	62.80±3.41^{b}	36.70±0.13^{c}	60.91±0.60^{b}
酯类				
乙酸乙酯质量浓度/(mg/L)	15.73±1.13^{c}	23.15±1.93^{c}	10.38±0.21^{c}	84.92±3.77^{a}
乳酸乙酯质量浓度/(mg/L)	4.90±0.12^{b}	51.88±5.23^{a}	46.09±8.88^{a}	49.46±1.22^{a}
乙酸异戊酯质量浓度/(μg/L)	334.58±81.88^{a}	135.34±3.07^{b}	108.69±0.01^{b}	222.53±10.35^{ab}
丁酸乙酯质量浓度/(μg/L)	275.39±11.08^{a}	244.92±2.5^{b}	240.92±2.55^{b}	261.6±1.98^{ab}
乙酸异丁酯质量浓度/(μg/L)	131.06±6.07^{b}	123.65±1.3^{bc}	114.28±0.02^{c}	146.72±1.85^{a}
棕榈酸乙酯质量浓度/(μg/L)	14.09±0.26^{ab}	14.36±0.24^{a}	13.65±0.04^{b}	13.7±0.03^{ab}
2-糠酸乙酯质量浓度/(μg/L)	11.44±0.17^{a}	10.38±0.06^{bc}	10.18±0.17^{c}	10.74±0.03^{b}
己酸乙酯质量浓度/(μg/L)	10.91±0.87^{a}	8.74±0.11^{b}	8.16±0.02^{b}	8.71±0.08^{b}
异戊酸乙酯质量浓度/(μg/L)	8.31±0.24^{c}	12.17±0.76^{b}	8.43±0.2^{c}	16.69±0.76^{a}
乙酸己酯质量浓度/(μg/L)	9.07±0.76^{a}	5.79±0.05^{b}	5.69±0.04^{b}	6.95±0.16^{b}
癸酸乙酯质量浓度/(μg/L)	7.37±1.93^{a}	2.5±0.01^{b}	2.48±0.01^{b}	2.43±0^{b}
壬酸乙酯质量浓度/(μg/L)	4.66±0.05^{a}	4.66±0.02^{a}	4.55±0^{a}	4.57±0^{a}
月桂酸乙酯质量浓度/(μg/L)	3.2±0.14^{a}	3.00±0.00^{a}	2.99±0^{a}	2.99±0^{a}
辛酸乙酯质量浓度/(μg/L)	0.07±0.02^{a}	0.03±0^{b}	0.02±0^{b}	0.02±0^{b}
乙酸辛酯质量浓度/(μg/L)	0.25±0.03^{a}	0.19±0.01^{ab}	0.24±0.02^{ab}	0.17±0^{b}

续表 7

化合物	样品			
	1	2	3	4
乙酸苯乙酯质量浓度/(μg/L)	0.17±0[a]	0.16±0[b]	0.16±0[b]	0.17±0[a]
总质量浓度/(mg/L)	21.45±1.33[c]	75.59±7.17[b]	56.98±9.00[b]	135.07±5.01[a]
脂肪酸				
正癸酸质量浓度/(mg/L)	2.98±0.05[a]	2.91±0.00[a]	2.92±0.00[a]	2.91±0.00[a]
己酸质量浓度/(mg/L)	3.00±0.02[bc]	3.91±0.14[a]	2.90±0.00[c]	3.18±0.00[b]
辛酸质量浓度/(mg/L)	2.69±0.04[a]	2.64±0.01[a]	2.65±0.03[a]	2.72±0.01[a]
正十二烷酸质量浓度/(μg/L)	223.28±2.25[a]	222.54±0.07[a]	215.11±0.06[b]	219.69±0.68[ab]
总质量浓度/(mg/L)	8.90±0.11[bc]	9.68±0.15[a]	8.68±0.05[c]	9.03±0.02[b]
萜烯/内酯				
芳樟醇质量浓度/(μg/L)	7.35±0.31[b]	92.68±10.88[a]	7.48±0.56[b]	8.84±0.19[b]
R-(+)-*β*-香茅醇质量浓度/(μg/L)	16.77±0.38[b]	37.9±3.71[a]	13.96±0.04[b]	15.63±0.12[b]
丙位癸内酯质量浓度/(μg/L)	114.03±0.16[b]	128.82±2.89[b]	154.01±15.47[a]	114.94±0.27[b]
丁位癸内酯质量浓度/(μg/L)	181.71±1.39[b]	186.42±4.69[ab]	200.81±10.34[a]	177.71±1.33[b]
总质量浓度/(μg/L)	319.87±2.20[c]	445.82±22.18[a]	376.26±26.41[b]	317.12±0.75[c]

注:样品 1 为发酵型黄桃酒,样品 2、3、4 为市售的黄桃酒产品;显著性分析使用 Tukey 检验(P<0.05),同一行中不同罗马字母表示存在显著性差异。

表 8　黄桃果酒香气活力值比较

Table 8　Comparison of odor activity value of yellow peach wine

化合物	阈值	香气描述	香气活力值(OAV)			
			1	2	3	4
异戊醇	30 000	水果香、花香	1.111 069	1.004 982	0.474 823	0.950 010
正丙醇	9 000	醇香、水果香	1.691 595	0.692 559	0.369 166	0.752 028
乙酸乙酯	12 270	水果、溶剂	1.282 213	1.886 438	0.845 576	6.920 606
乳酸乙酯	14 000	朗姆酒、奶油香	0.350 211	3.705 500	3.292 052	3.532 549
乙酸异戊酯	30	香蕉香、甜香、苹果香	11.152 650	4.5113 880	3.623 144	7.417 538
丁酸乙酯	20	菠萝香、玫瑰香	13.769 270	12.245 950	12.045 87	13.079 86
异戊酸乙酯	3	果味,茴香	2.768 861	4.055 807	2.809 248	5.562 833
正癸酸	1 000	腐臭酸味	2.976 511	2.907 278	2.920 941	2.909 827
己酸	420	汗味、金属味	7.158 514	9.305 477	6.900 738	7.574 235
辛酸	500	油腻气息	5.386 220	5.280 308	5.296 608	5.443 525
丙位癸内酯	88	椰子、桃子香气	1.295 782	1.463 818	1.750 143	1.306 104

注:样品 1 为发酵型黄桃酒,样品 2,3,4 为市售的黄桃酒产品

正丙醇和正癸酸,样品 1 主成分得分在 PC1 的正向,说明与市售果酒相比,样品 1 与异戊醇、丁酸乙酯、乙酸异戊酯、正丙醇和正癸酸有很强的相关性,推测由于多种香气化合物的共同作用导致样品 1 的香气更为协调,因此有更高的感官得分。样品 4 与乙酸乙酯和异戊酸乙酯有很强的相关性,其质量浓度分别是其他果酒的 3.8 倍和 1.38 倍,可能因此造成了果酒风味的失衡。样品 2 与乳酸乙酯和己酸有很强的相关性。样品 3 与丙位癸内酯相关性较高,挥发性化合物质量浓度都略低于其他 3 款产品,可能因此导致样品 3 风味不突出。

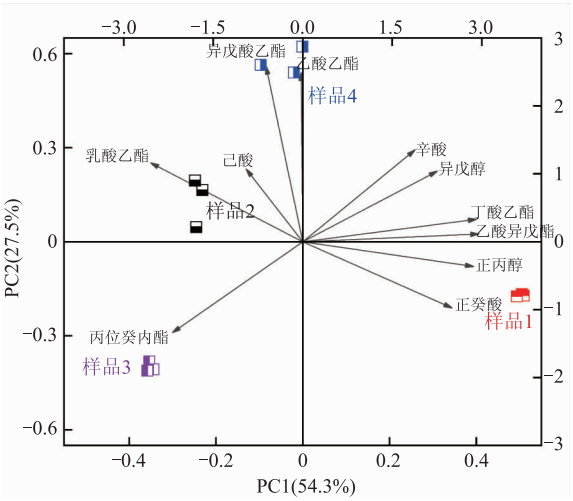


图 3　主成分载荷和得分双重图

Fig. 3　Loading plot and score plot of principal components analysis

3 结　语

通过单因素实验探究了初始糖质量浓度、主发酵温度、酵母接种量和氮添加量对黄桃果酒发酵的影响，在单因素实验基础上结合 Box-Behnken 响应面试验优化，得到糖质量浓度 23 g/L 的半甜型黄桃果酒发酵的最佳工艺条件为：初始糖质量浓度 195 g/L，主发酵温度 23 ℃，初始 pH 3.4，接种量 9.3×10^6 CFU/mL，氮添加量 200 mg/L。实验室制备黄桃果酒与市售产品相比，自制果酒的抗氧化物质质量浓度及抗氧化能力均优于市售产品。通过 SPME-GC-MS 定量分析和香气活力值确定了异戊醇、正丙醇、乙酸乙酯、乳酸乙酯、乙酸异戊酯、丁酸乙酯、异戊酸乙酯、正癸酸、己酸、辛酸和丙位癸内酯等 11 种化合物为黄桃果酒的主要风味化合物，主成分分析显示实验室制备果酒与多种醇和酯有很强的相关性，风味更加协调。该优化黄桃果酒发酵工艺为黄桃果酒的开发和品质调控提供了一定的借鉴作用。

参考文献：

[1] 俞明亮，马瑞娟，沈志军，等. 中国桃种质资源研究进展[J]. 江苏农业学报，2010，26(6)：1418-1423.
[2] 沈志军，马瑞娟，俞明亮，等. 桃三种肉色类型果实抗氧化因子的比较评价[J]. 中国农业科学，2012，45(11)：2232-2241.
[3] VARGAS E F D，JABLONSKI A，FLORES S H，et al. Waste from peach (*Prunus persica*) processing used for optimisation of carotenoids ethanolic extraction[J]. **International Journal of Food Science and Technology**，2017，52(3)：757-762.
[4] CANO-SALAZAR J，ECHEVERRIA G，CRISOSTO C H，et al. Cold-storage potential of four yellow-fleshed peach cultivars defined by their volatile compounds emissions，standard quality parameters，and consumer acceptance[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**，2012，60(5)：1266-1282.
[5] BYRNE D H，RASEIRA M B，BASSI D，et al. Peach[M]. Boston：Springer，2012.
[6] 焦艺. 不同桃品种鲜食和制汁品质评价研究[D]. 北京：中国农业科学院，2014.
[7] 党翠红. 低度海红果酒酿造工艺研究[D]. 西安：陕西科技大学，2015.
[8] PLA M F D，GONZALEZ P，SETTE P，et al. Effect of processing on physico-chemical characteristics of dietary fibre concentrates obtained from peach(*Prunus persica* L.) peel and pulp[J]. **Food Research International**，2012，49(1)：184-192.
[9] VIZZOTTO M，CISNEROS-ZEVALLOS L，BYRNE D H，et al. Large variation found in the phytochemical and antioxidant activity of peach and plum germplasm[J]. **Journal of the American Society for Horticultural Science**，2007，132(3)：334-340.
[10] 徐昊. 黄桃酶解法去皮工艺的研究[D]. 合肥：安徽农业大学，2014.
[11] 郭意如，陈晓明，荆红彭，等. 黄桃果酒规模化生产工艺技术研究[J]. 保鲜与加工，2015，15(6)：58-62.
[12] MUNDARAGI A，THANGADURAI D. Process optimization，physicochemical characterization and antioxidant potential of novel wine from an underutilized fruit *Carissa spinarum* L.(Apocynaceae)[J]. **Food Science and Technology**，2018，38(3)：428-433.
[13] PENG B Z，LEI Y J，ZHAO H，et al. Response surface methodology for optimization of fermentation process parameters for improving apple wine quality[J]. **Journal of Food Science and Technology-Mysore**，2015，52(11)：7513-7518.
[14] TSEGAY Z T，SATHYANARAYANA C B，LEMMA S M. Optimization of cactus pear fruit fermentation process for wine

production[J]. **Foods**，2018，7：1-16.
[15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫局，中国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，2007.
[16] 杨冬梅. 莲藕抗氧化特性研究[D]. 杭州：浙江大学，2007.
[17] 郑京平. 水果、蔬菜中维生素 C 含量的测定——紫外分光光度快速测定方法探讨[J]. 光谱实验室，2006(4)：731-735.
[18] 刘亚娜. 红树莓酒酿造工艺及其抗氧化活性的研究[D]. 大庆：黑龙江八一农垦大学，2016.
[19] 李凯，王金晶，李永仙，等. 红心火龙果果酒特征香气分析[J]. 食品与发酵工业，2019，45(13)：217-223.
[20] PENG B Z，LI F L，CUI L，et al. Effects of fermentation temperature on key aroma compounds and sensory properties of apple wine[J]. **Journal of Food Science**，2015，80(12)：2937-2943.
[21] 高辰哲，姜帆，王艳菲，等. 响应面法优化红树莓酒发酵工艺[J]. 中国酿造，2016，35(12)：108-112.
[22] 中华人民共和国卫生部. GB 2758-2012 食品安全国家标准 发酵酒及其配制酒[S]. 北京：中国标准出版社，2012.
[23] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫局，中国国家标准化管理委员会. GB 15037-2006 葡萄酒[S]. 北京：中国标准出版社，2007.
[24] LIN X，HU X P，WU W Y，et al. Evaluation of the volatile profile of wax apple (*Syzygium samarangense*) wines fermented with different commercial *Saccharomyces cerevisiae* strains[J]. **Food Science and Biotechnology**，2019，28(3)：657-667.
[25] SANCHEZ-PALOMO E，TRUJILLO M，RUIZ A G，et al. Aroma profile of malbec red wines from La Mancha region：chemical and sensory characterization[J]. **Food Research International**，2017，100(1)：201-208.

科　技　信　息

欧盟修订现行新鲜草本植物和食用花卉中苯并烯氟菌唑残留限量要求

近日，先正达农业有限公司向德国国家主管部门(EMS)提交了一份申请，以修改活性物质苯并烯氟菌唑在新鲜的香草和食用花卉中的现有最大残留水平 (MRL)。EMS 根据 (EC) No 396/2005 第 8 条起草了一份评估报告，该报告已提交给欧盟委员会，并于 2021 年 6 月 29 日转发给欧洲食品安全局 (EFSA)。EMS 提议将新鲜药草和食用花卉中现有的 MRL 从 0.02~1.0 mg/kg 的定量限 (LOQ) 提高到 1.0 mg/kg。EFSA 得出结论，在新鲜药草和食用花卉上提议修订的苯并烯氟菌唑残留限量要求不会导致消费者接触超过毒理学参考值，不太可能对消费者的健康构成风险。

[信息来源]EFSA Journal. Modification of the existing maximum residue levels for benzovindiflupyr in fresh herbs and edible flowers [EB/OL]. (2021-9-17).https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2903/j.efsa.2021.6839