

草莓果酒酿造工艺的优化及其香气成分分析

王孝荣, 罗佳丽, 潘年龙, 蒋和体*

(西南大学食品科学学院, 重庆 400716)

摘 要: 以草莓为原料, 采用单因素试验和Box-Behnken试验设计研究SO₂添加量、酵母添加量及发酵温度对果酒发酵的影响, 建立各影响因素的回归方程, 并通过响应面分析法优化, 得到草莓果酒的最佳工艺条件: SO₂添加量为81 mg/L、酵母添加量为1 g/L、发酵温度为20 ℃。然后采用顶空固相微萃取法, 利用气相色谱-质谱联用技术对草莓果酒香气成分进行分析与鉴定, 结果表明: 从草莓果酒中共鉴定出香气物质85种, 占总峰面积的99.55%; 其主体香气物质主要是异戊醇、乙酸异戊酯、己酸乙酯及辛酸乙酯。

关键词: 草莓果酒; 工艺; 优化; 香气成分

Optimization of Fermentation Process for Strawberry Wine and Analysis of Aroma Components

WANG Xiao-rong, LUO Jia-li, PAN Nian-long, JIANG He-ti*

(College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400716, China)

Abstract: The fermentation of strawberry wine was investigated with respect to SO₂ concentration, yeast inoculum amount and fermentation temperature. A quadratic regression model was built with the three independent variables (fermentation conditions) by Box-Behnken experimental design. The optimum fermentation conditions for strawberry wine were determined by response surface analysis as 81 mg/L of SO₂ concentration, 1 g/L of inoculum (active dry yeast) amount and 20 ℃ of fermentation temperature. The aroma components of strawberry wine were extracted by solid-phase microextraction (HS-SPME) and identified by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Eighty-five aroma components were identified from strawberry wine, together accounting for 99.55% of the total peak area. The major aroma compounds were isoamyl alcohol, isoamyl acetate, ethyl hexanoate and ethyl octanoate.

Key words: strawberry wine; process; optimization; aroma components

中图分类号: TS262.7

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2014) 07-0196-06

doi:10.7506/spkx1002-6630-201407039

草莓 (strawberry) 是蔷薇科草本浆果类红色水果^[1], 其富含花色苷、VC、叶酸及酚类成分^[2-3], 具有抗氧化^[4-5]、抗癌及预防心血管疾病^[6-7]、消化不良等功效^[8]。果酒是以水果为原料, 经果酒酵母发酵而成, 其营养丰富, 适量饮用有益身体健康^[9]。草莓果酒是以草莓为原料经发酵而成的低度酒, 其营养物质丰富、低酒精度、低糖, 符合现代人健康、天然、绿色的观念, 同时也解决了草莓不耐贮藏的问题, 具有广阔的开发前景。

目前, 果酒的品种逐渐增多, 对各种果酒的探究引起了不少研究者的兴趣, 如菠萝酒的工艺研究^[10]、猕猴桃酒的工艺研究^[11]、新疆哈密红枣酒的工艺研究^[12]、西瓜酒的工艺研究^[13]等, 而草莓, 则主要以生食和加工果汁、果浆为主, 国内很少将其酿造成果酒, 对草莓果酒酿造工艺参数的研究甚少。本实验使用响应面法对草莓果酒发酵条件进行优化, 确定草莓果酒最佳的发酵工艺条件,

并通过气相色谱-质谱联用技术 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 分析鉴定了草莓果酒中香气成分的种类和相对含量, 为工业化生产草莓果酒、改善草莓果酒的风味, 提高草莓果酒的品质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

草莓, 购于重庆市北碚区永辉超市, 主要成分含量 (g/L): 总酸6.21、还原糖23.4、VC 1.07、总酚1.15、总糖39.6、果胶4.8、总花色苷0.19。

葡萄酒、果酒专业酵母 安琪酵母股份有限公司; 葡萄酒酵母F33 浪淘沙自酿会所; 酒用干酵母 广东省马利酵母有限公司; 果胶酶 (2 000 U/g) 诺维信生物技术有限公司; 白砂糖 (食品级)。

收稿日期: 2013-03-18

作者简介: 王孝荣 (1987—), 男, 硕士研究生, 研究方向为现代食品加工理论与技术。E-mail: wxrongfighting@163.com

*通信作者: 蒋和体 (1963—), 男, 教授, 博士, 研究方向为农产品加工。E-mail: jheti@126.com

1.2 仪器与设备

UV-2450紫外-可见分光光度计、QP2010气相色谱-质谱联用仪 日本岛津公司；FA2004A 电子天平 上海精天电子仪器厂；酒精计 河北省武强县同辉仪表厂；手动固相微萃取进样器 美国珀金-埃尔默公司；100 μm PDMS萃取头 美国Supelco公司。

1.3 方法

1.3.1 草莓果酒酿造工艺流程^[14]

草莓→挑选、清洗→摘果柄、萼叶→破碎榨汁→果胶酶处理（添加果胶酶0.25 g/L，40 $^{\circ}\text{C}$ 作用2 h）→过滤→草莓汁（调整糖分至质量分数为20%）→添加 SO_2 →加酿酒酵母→发酵7 d→过滤→杀菌→草莓果酒

1.3.2 菌种的活化^[15]

取1 g干酵母粉，加入到20 g含糖5%的糖水中，在38 $^{\circ}\text{C}$ 条件下，搅拌活化约15~30 min，当糖水中出现大量的小气泡即可。

1.3.3 草莓果酒发酵条件的单因素试验设计

1.3.3.1 酵母菌的选择

草莓汁经果胶酶酶解，添加 SO_2 80 mg/L，然后分别接入已活化的葡萄酒酵母F33、葡萄酒、果酒专用酵母及酒用干酵母，其添加量为1 g/L，在20 $^{\circ}\text{C}$ 条件下，发酵7 d，比较其酒精度和花色苷的含量。

1.3.3.2 料液中 SO_2 添加量的确定

草莓汁经果胶酶酶解，分别添加 SO_2 40、80、120、160、200 mg/L，然后添加1 g/L已活化的葡萄酒、果酒专用酵母，在20 $^{\circ}\text{C}$ 条件下发酵7 d后，比较其酒精度和花色苷的含量。

1.3.3.3 料液中酵母菌添加量的确定

草莓汁经果胶酶酶解，添加 SO_2 80 mg/L，分别添加0.5、1、1.5、2、2.5 g/L已活化的葡萄酒、果酒专用酵母，在温度为20 $^{\circ}\text{C}$ 的条件下发酵7 d后，比较其酒精度和花色苷的含量。

1.3.3.4 发酵温度的确定

草莓汁经果胶酶酶解，添加 SO_2 80 mg/L，添加1 g/L已活化的葡萄酒、果酒专用酵母，分别在16、20、24、28、32 $^{\circ}\text{C}$ 温度条件下，发酵7 d后，比较其酒精度和花色苷的含量。

1.3.4 响应面试验设计

通过单因素试验，在其分析结果的基础上，采用三因素三水平的Box-Behnken响应面设计方法^[16-18]，选择 SO_2 添加量、酵母菌添加量和发酵温度这3个影响较大的因素进行响应面设计，以酒精度为响应值进行优化，所有试验均重复3次。

1.3.5 草莓果酒香气物质的萃取实验^[19]

采用顶空固相微萃取法（head space solid-phase micro-extractions, HS-SPME）。取试样6 mL于20 mL萃

取瓶中，加1 g NaCl，插入经老化的萃取头（250 $^{\circ}\text{C}$ 老化1 h），45 $^{\circ}\text{C}$ 条件下顶空萃取30 min，将萃取头插入GC-MS进样口，解析6 min。

1.4 指标测定

1.4.1 酒精度

参照GB/T15038—2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》测定。

1.4.2 花色苷含量

pH示差法^[20]测定。

1.4.3 草莓果酒香气成分的GC-MS分析^[21]

1.4.3.1 色谱条件

色谱柱DB-5MS（30 m \times 0.25 mm，0.25 μm ），进样口温度250 $^{\circ}\text{C}$ ；升温程序：35 $^{\circ}\text{C}$ 保持3 min，以10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至110 $^{\circ}\text{C}$ ，保持3 min，以8 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至150 $^{\circ}\text{C}$ ，保持2 min，以15 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至230 $^{\circ}\text{C}$ ，保持4 min；载气（He）：流量1.00 mL/min，压力53.5 kPa，进样口的温度250 $^{\circ}\text{C}$ ，进样量0.5 μL ；采用不分流方式进样。

1.4.3.2 质谱条件

电子轰击（EI）离子源；电子能量：70 eV；离子源温度：230 $^{\circ}\text{C}$ ；ACQ方式：Scan；质量扫描范围 m/z 35~500；扫描速率：769 s^{-1} 。

1.4.3.3 香气成分分析

分析结果运用计算机谱库（NIST/WILEY）进行初步检索及资料分析，并结合已有的相关文献进行定性分析。

2 结果与分析

2.1 酵母菌的确定

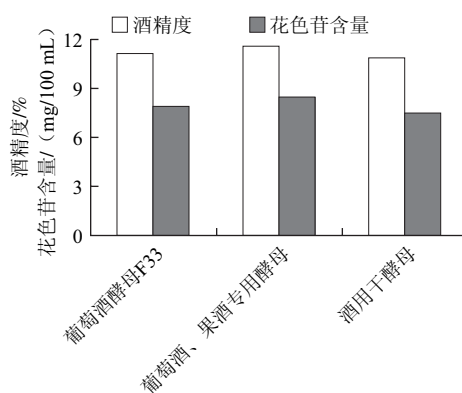


图1 不同酵母菌对草莓酒酒精度和花色苷含量的影响

Fig.1 Effect of yeast type on alcohol and anthocyanin contents of strawberry wine

用不同果酒酵母在相同条件下进行发酵，测定最终发酵液酒精度及花色苷含量，结果如图1所示。利用葡萄酒、果酒专用酵母发酵制得的草莓果酒酒精度及花色苷含量相对较高。

2.2 草莓果酒发酵条件的单因素试验

2.2.1 SO₂添加量对草莓果酒酒精度及花色苷含量的影响

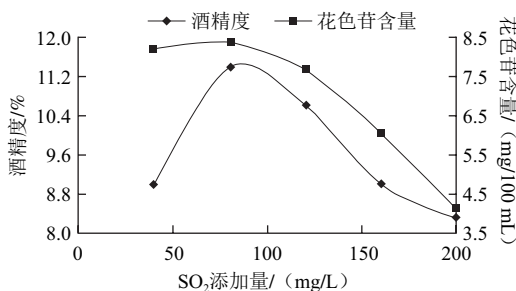


图2 SO₂添加量对草莓果酒酒精度和花色苷含量的影响

Fig.2 Effect of SO₂ concentration on alcohol and anthocyanin contents of strawberry wine

由图2可知,随着SO₂添加量的增加,酒精度先增后减,花色苷含量逐渐下降。当SO₂添加量为80 mg/L时,酒精度达到最大,主要原因是SO₂质量浓度过低,杂菌易污染耗糖并与酵母增长形成竞争作用,SO₂质量浓度过高,则会对酵母产生严重的抑制作用,导致发酵力下降;当SO₂质量浓度为120 mg/L时,花色苷含量急剧下降,当SO₂质量浓度为200 mg/L时,花色苷几乎消失,其主要原因是草莓中的花色苷单体与SO₂化合形成亚硫酸氢盐加成物,花色苷红色消失。综合考虑,SO₂添加量为80 mg/L时效果最好。

2.2.2 酵母添加量对草莓果酒酒精度及花色苷含量的影响

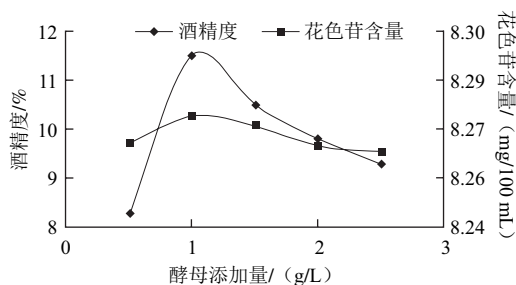


图3 酵母添加量对草莓果酒的酒精度和花色苷含量的影响

Fig.3 Effect of yeast inoculum amount on alcohol and anthocyanin contents of strawberry wine

由图3可知,当料液中酵母添加量为1 g/L时,草莓果酒的酒精度最高,主要原因是当酵母添加量比较少时,料液中的糖不能完全被酵母利用转化为酒精,添加量过大时,会消耗料液中的糖用于酵母自身的生长,则用于生成酒精的底物量就会减少;而酵母添加量对草莓果酒中花色苷的含量影响不明显(含量在8.263~8.274 mg/100 mL之间变化)。综合考虑,酵母添加量为1 g/L时效果最好。

2.2.3 发酵温度对草莓果酒酒精度及花色苷含量的影响

由图4可知,当发酵温度为20℃时,草莓果酒的酒精度与花色苷的含量均为最高;其主要原因是温度会影

响酵母菌的生长,温度升高,发酵速度加快,发酵剧烈,酵母菌衰老过快,最终生成的酒度偏低,并且酒体粗糙,有显著的辛辣味;温度升高的同时,加快氧化反应作用,草莓中的花色苷易被破坏。综合考虑,发酵温度为20℃时效果最好。

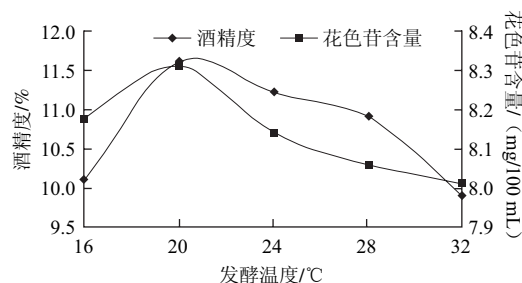


图4 发酵温度对草莓果酒的酒精度和花色苷含量的影响

Fig.4 Effect of fermentation temperature on alcohol and anthocyanin contents of strawberry wine

2.3 草莓果酒发酵条件的响应面优化试验

2.3.1 响应面设计及结果

根据Box-Behnken的中心组合试验设计原理,在单因素试验结果的基础上,进行响应面分析试验,试验设计与试验结果见表1。

表1 响应面设计与试验结果

Table 1 Experimental design and results of response surface design

试验号	因素			Y酒精度/%
	A SO ₂ 添加量/(mg/L)	B酵母添加量/(g/L)	C发酵温度/℃	
1	0 (80)	0 (1.0)	0 (20)	11.5
2	0	0	0	11.6
3	+1 (120)	0	-1 (16)	7.9
4	0	+1 (1.5)	-1	8.1
5	0	0	0	11.1
6	0	0	0	11.6
7	+1	0	+1 (24)	8.9
8	-1 (40)	0	-1	8.3
9	-1	-1 (0.5)	0	8.2
10	+1	+1	0	9.1
11	-1	0	+1	8.4
12	0	-1	-1	8.3
13	+1	-1	0	8.1
14	-1	+1	0	8.4
15	0	0	0	11.4
16	0	-1	+1	8.5
17	0	+1	+1	9.7

利用Design-Expert软件对表数据进行整理分析,确立如下回归模型: $Y=11+0.088A+0.28B+0.36C+0.20AB+0.23AC+0.35BC-1.63A^2-1.36B^2-1.43C^2$ 。

2.3.2 回归分析

F检验反映的是回归模型的有效性,包括失拟性检验和回归方程显著性检验^[15]。t检验是对回归模型的系数

进行显著性检验。模型 $P < 0.0001$ ，表明该二次方程模型显著，而失拟项 $P = 0.5741 > 0.05$ ，失拟项不显著，表示单因素试验结果可以和数学模型拟合良好，即可以使用数学模型推测试验结果；同时该方程决定系数 $R^2 = 0.9920$ ，模型的拟合程度相对较好。

表2 方差分析表
Table 2 Analysis of variance for the regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	33.41	9	3.71	96.43	<0.0001	**
A	0.061	1	0.061	1.59	0.2476	
B	0.61	1	0.61	15.71	0.0054	**
C	1.05	1	1.05	27.31	0.0012	**
AB	0.61	1	0.16	4.16	0.0809	
AC	0.20	1	0.20	5.26	0.0555	
BC	0.49	1	0.49	12.73	0.0091	**
A ²	11.22	1	11.22	291.46	<0.0001	**
B ²	7.76	1	7.76	201.54	<0.0001	**
C ²	8.64	1	8.64	224.42	<0.0001	**
残差	0.27	7	0.039			
失拟项	0.098	3	0.033	0.76	0.5741	
纯误差	0.17	4	0.043			
总和	33.68	16				

注：* $P < 0.05$ ，表示差异显著；** $P < 0.01$ ，表示差异极显著。

由表2可知，因素B、C对草莓果酒影响极显著（ $P < 0.01$ ），因素A对其影响不显著（ $P > 0.05$ ）； A^2 、 B^2 、 C^2 对其影响极显著（ $P < 0.01$ ）；BC交互作用对其影响极显著（ $P < 0.01$ ）；AB、AC交互作用对其影响不显著（ $P > 0.05$ ）。

2.3.3 因素间交互作用分析

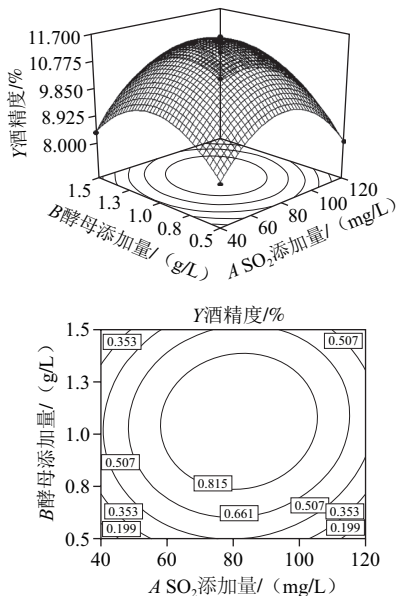


图5 SO₂和酵母添加量的交互作用对草莓果酒酒精度影响的响应面与等高线图

Fig.5 Response surface and contour plots showing the interactive effects of SO₂ concentration and yeast inoculum amount on alcohol content of strawberry wine

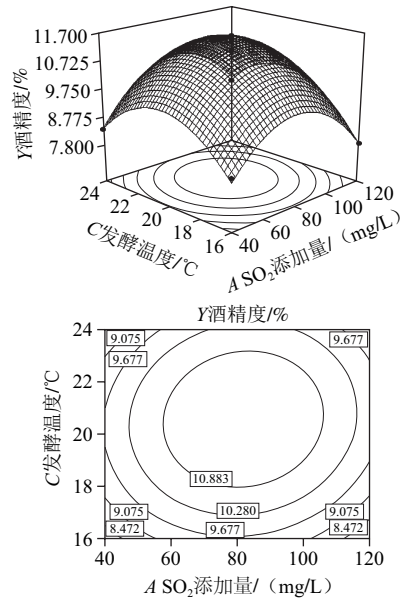


图6 SO₂添加量和发酵温度的交互作用对草莓果酒酒精度影响的响应面与等高线图

Fig.6 Response surface and contour plots showing the interactive effects of SO₂ concentration and fermentation temperature on alcohol content of strawberry wine

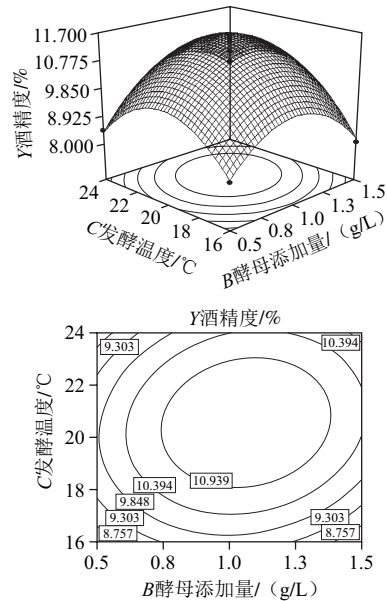


图7 酵母添加量和发酵温度的交互作用对草莓果酒酒精度影响的响应面与等高线图

Fig.7 Response surface and contour plots showing the interactive effects of yeast inoculum and fermentation temperature on alcohol content of strawberry wine

响应值受交互作用的影响可以从图中直接反映出来，等高线的形状反映了交互作用的强弱，椭圆代表交互作用显著，圆形代表交互作用不显著^[22]。由图5~7可知，在交互作用对草莓果酒的酒精度的影响中，酵母添加量和发酵温度的交互作用较为显著。

2.3.4 回归模型的验证实验

经软件Design Expert 7.0优化, 分析得到试验的最佳工艺参数: SO₂添加量为81.78 mg/L、酵母添加量为1.1 g/L、发酵温度为20.58 ℃。将此工艺条件进行适当调整: SO₂添加量为81 mg/L、酵母添加量为1 g/L、发酵温度为20 ℃, 对该工艺进行3次重复性验证实验, 测得草莓果酒的酒精度为(11.41±0.06)%, 与理论预测值11.49%相近, 说明该模型能很好的预测草莓果酒发酵条件与酒精度的关系。

2.4 草莓果酒香气物质的GC-MS分析

表3 草莓果酒香气成分的鉴定结果
Table 3 Identification of aromatic components in strawberry wine

分类	出峰时间/min	名称	分子式	相对含量/%	相对峰度/%	相似度/%
酯类	6.536	丁酸乙酯	C ₆ H ₁₂ O ₂	0.85	0.29	95
	8.279	乙酸异戊酯	C ₇ H ₁₄ O ₂	8.99	4.43	97
	10.753	己酸乙酯	C ₈ H ₁₆ O ₂	8.53	8.07	85
	10.983	乙酸己酯	C ₈ H ₁₆ O ₂	3.92	5.23	97
	11.506	2-己烯酸乙酯	C ₈ H ₁₆ O ₂	0.07	0.11	93
	11.675	丁酸异戊酯	C ₈ H ₁₆ O ₂	0.03	0.05	88
	12.423	乙酸庚酯	C ₉ H ₁₈ O ₂	0.09	0.21	96
	12.600	辛酸甲酯	C ₈ H ₁₆ O ₂	0.02	0.04	87
	12.788	乙酸-2-辛酯	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	0.01	0.04	91
	13.558	7-辛烯酸乙酯	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	0.16	0.21	86
	13.703	辛酸乙酯	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	8.35	10.88	96
	13.904	乙酸辛酯	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	0.37	0.66	97
	14.614	己酸异戊酯	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	0.19	0.40	95
	14.675	2-甲基丁基己酸酯	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	0.03	0.06	91
	14.825	基酸苯乙酯	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	0.65	1.14	96
	15.442	辛酸丙酯	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	0.07	0.15	87
	15.514	壬酸乙酯	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	0.09	0.17	93
	16.472	正辛酸异丁酯	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	0.12	0.24	94
	16.577	3-苯丙酸乙酯	C ₁₁ H ₁₄ O ₂	0.52	1.03	95
	17.199	反-4-癸酸乙酯	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	0.55	0.63	88
	17.413	癸酸乙酯	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	13.66	12.3	95
	17.632	乙酸十二烯基酯	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	0.22	0.39	94
	18.143	2-甲基丁酸辛酯	C ₁₃ H ₂₆ O ₂	0.02	0.04	86
	18.227	异戊酸正辛酯	C ₁₃ H ₂₆ O ₂	0.08	0.12	95
	18.387	辛酸-3-甲基丁酯	C ₁₃ H ₂₆ O ₂	1.15	1.99	95
	18.451	辛酸戊酯	C ₁₃ H ₂₆ O ₂	0.23	0.47	88
	18.868	肉桂酸乙酯	C ₁₁ H ₁₂ O ₂	1.55	2.60	96
	18.916	丙位癸内酯	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	2.12	3.56	97
	19.247	癸酸正丙酯	C ₁₃ H ₂₆ O ₂	0.16	0.27	92
	19.319	十一酸乙酯	C ₁₃ H ₂₆ O ₂	0.07	0.11	85
	20.083	3-羟基己酸乙酯	C ₈ H ₁₆ O ₃	0.06	0.09	86
	20.272	癸酸异丁酯	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	0.27	0.48	92
	20.930	辛酸辛酯	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	0.23	0.40	86
	21.017	丁酸癸酯	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	0.04	0.06	90
	21.163	月桂酸乙酯	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	7.07	9.20	95
	21.376	乙酸十二烯基酯	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	0.07	0.08	92
	21.984	癸酸-3-甲基丁酯	C ₁₅ H ₃₀ O ₂	1.24	2.27	94
	22.034	癸酸正戊酯	C ₁₅ H ₃₀ O ₂	0.28	0.66	85
	22.700	十二酸丙酯	C ₁₅ H ₃₀ O ₂	0.05	0.08	85
	23.538	十二烷酸异丁酯	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	0.03	0.07	90
	23.908	异丁酸辛酯	C ₁₄ H ₃₀ O ₂	0.07	0.13	89
	24.056	癸酸酯	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	0.20	0.37	89

续表3

分类	出峰时间/min	名称	分子式	相对含量/%	相对峰度/%	相似度/%
酯类	24.257	肉豆蔻酸乙酯	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	1.18	2.35	93
	25.077	辛酸-2-苯乙酯	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	0.17	0.36	97
	25.641	山萘酸乙酯	C ₂₄ H ₄₈ O ₂	0.03	0.05	89
	26.679	9-十六碳烯酸乙酯	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	0.02	0.05	87
	26.931	棕榈酸乙酯	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	0.81	1.67	91
	29.097	亚油酸乙酯	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	0.04	0.08	87
	29.188	亚麻酸乙酯	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	0.06	0.06	88
	29.541	硬脂酸乙酯	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	0.06	0.10	90
	4.966	异戊醇	C ₅ H ₁₂ O	10.36	1.86	95
	8.097	正己醇	C ₆ H ₁₄ O	0.75	0.50	97
醇类	10.167	庚醇	C ₇ H ₁₆ O	0.05	0.06	92
	11.868	正辛醇	C ₈ H ₁₈ O	0.11	0.24	97
	12.150	β-松油醇	C ₁₀ H ₁₈ O	0.05	0.06	89
	12.273	芳香醇	C ₁₀ H ₁₈ O	0.40	0.71	92
	12.485	苯乙醇	C ₈ H ₁₀ O	0.72	1.33	98
	15.054	癸醇	C ₁₀ H ₂₂ O	0.07	0.12	95
	17.975	邻羟基苯乙醇	C ₈ H ₁₀ O ₂	0.03	0.04	89
	20.672	反-橙花叔醇	C ₁₃ H ₂₆ O	3.49	5.93	94
	20.867	2-叔丁基环丙醇	C ₆ H ₁₂ O	0.12	0.10	86
	22.497	十六醇	C ₁₆ H ₃₄ O	0.12	0.18	90
酸类	24.964	DL-异松蒎醇	C ₁₀ H ₁₈ O	0.46	0.78	85
	25.465	十九醇	C ₁₉ H ₄₀ O	0.09	0.14	94
	10.469	己酸	C ₆ H ₁₂ O ₂	0.78	0.53	94
	13.451	辛酸	C ₈ H ₁₆ O ₂	4.89	2.67	96
	16.939	癸酸	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	4.74	3.07	94
	20.555	月桂酸	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	0.30	0.47	95
	10.571	仲辛酮	C ₈ H ₁₆ O	0.49	0.55	92
	11.748	4-甲氧基-2,5-二甲基-3-(2H)-呋喃酮	C ₇ H ₁₀ O ₃	0.02	0.05	87
	12.091	3-壬酮	C ₉ H ₁₈ O	0.02	0.05	94
	15.958	4-羟基-2-甲基苯乙酮	C ₉ H ₁₀ O ₂	0.04	0.08	85
烯炔类	8.545	苯乙烯	C ₈ H ₈	4.44	2.42	97
	11.296	双戊烯	C ₁₀ H ₁₆	0.07	0.10	86
	17.111	6-丁基-1,4-环庚二烯	C ₁₁ H ₁₈	0.21	0.19	87
	19.625	α-法尼烯	C ₁₃ H ₂₄	0.05	0.07	86
醛类	22.602	桃醛	C ₁₁ H ₂₀ O ₂	0.47	0.89	92
	18.592	橙花醛	C ₁₀ H ₁₆ O	0.06	0.08	87
	19.776	2,6-二叔丁基对甲苯酚	C ₁₅ H ₂₄ O	0.40	0.75	94
烷烃类	15.594	十四烷	C ₁₄ H ₃₀	0.04	0.07	95
	21.232	二十一烷	C ₂₁ H ₄₄	0.18	0.33	94
	22.848	十七烷	C ₁₇ H ₃₆	0.06	0.13	92
	23.042	2,6,10-三甲基十四烷	C ₁₇ H ₃₆	0.01	0.03	87
	24.364	2,3-二甲基-2,3-二苯基丁烷	C ₁₈ H ₂₂	0.22	0.35	87
其他	14.034	2,3-二氢苯并呋喃	C ₈ H ₈ O	0.39	0.60	93

草莓果酒的分析鉴定结果见表3。经过计算机谱库(NIST/WILEY)进行初步检索, 保留相似度≥85%的香气成分, 结合相关文献可初步定性草莓果酒的香气物质有85种, 占总峰面积的99.55%。其中, 相对含量较高的香气物质为: 异戊醇10.36%、乙酸异戊酯8.99%、苯乙烯4.44%、己酸乙酯8.53%、乙酸己酯3.92%、辛酸4.89%、辛酸乙酯8.35%、癸酸4.74%、癸酸乙酯13.66%、肉桂酸乙酯1.55%、丙位癸内酯2.12%、反-橙花叔醇3.49%、月桂酸乙酯7.70%、肉豆蔻酸乙酯1.18%等。

通过对草莓果酒的香气成分分析,其酯类有50种,醇类有14种,酮类有4种,酸类有4种,烯类有4种,醛类、酚类及醚类各1种,烷烃类5种,其他类1种。酯类的相对含量为64.85%;醇类的相对含量为16.82%;酮类相对含量为0.57%;酸类的相对含量为10.71%;烯类的相对含量为4.77%;醛类、酚类及醚类的相对含量分别为0.47%、0.4%和0.06%;烷烃类相对含量为0.51%;其他类相对含量为0.39%。

从香气分析结果可知,草莓果酒基本香气的形成过程中,异戊醇、乙酸异戊酯、己酸乙酯、辛酸乙酯、癸酸乙酯具有重要的作用。相关资料表明:发酵酒香气的主体香气物质为四大酯类(乙酸异戊酯、己酸乙酯、辛酸乙酯与乙酸乙酯)与两大醇类(异戊醇与异丁醇),其他挥发性化合物只是对主体香气物质起修饰和补充作用^[23]。本实验中草莓果酒的香气成分异戊醇、乙酸异戊酯、己酸乙酯及辛酸乙酯均被检出。

3 结 论

3.1 通过单因素和Box-Behnken 响应面试验,利用统计学的方法建立了草莓果酒发酵条件的二次多项式模型: $Y=11+0.088A+0.28B+0.36C+0.20AB+0.23AC+0.35BC-1.63A^2-1.36B^2-1.43C^2$ 。并且确定了草莓果酒最佳发酵工艺条件:SO₂添加量为81 mg/L、酵母添加量为1 g/L、发酵温度为20℃,测得草莓果酒的酒精度为11.45%,与预测值(11.49%)接近,说明了该模型可以很好的预测草莓果酒的发酵条件与酒精度的关系。同时也证明了响应面法优化草莓果酒发酵工艺参数的可行性。

3.2 采用HS-SPME,通过GC-MS分析草莓果酒的香气成分,初步鉴定出85种香气成分,占总峰面积的99.55%,其中相对含量较高的香气物质为:异戊醇10.36%、乙酸异戊酯8.99%、苯乙烯4.44%、己酸乙酯8.53%、乙酸己酯3.92%、辛酸4.89%、辛酸乙酯8.35%、癸酸4.74%、癸酸乙酯13.66%、反-橙花叔醇3.49%、月桂酸乙酯7.70%等。

参考文献:

- [1] 李静燕,李春阳,杨玉玲. 草莓低醇饮料发酵工艺优化研究[J]. 南方农业学报, 2012, 43(2): 227-231.
- [2] 马子骏,王阳光,林瑛影. 草莓酒人工发酵过程中化学成分变化的研究[J]. 中国食品学报, 2004, 4(4): 55-58.

- [3] PROTEGGENTE A R, PANNALA A S, PAGANGA G, et al. The antioxidant activity of regularly consumed fruit and vegetables reflects their phenolic and vitamin C composition[J]. Free Radical Research, 2002, 36(2): 217-233.
- [4] FERREYRA R M, VINA S Z, AMUGRIDGE, et al. Growth and ripening season effects on antioxidant capacity of strawberry cultivar Selva[J]. Scientia Horticulturae, 2007, 112: 27-32.
- [5] CERESO A B, CUEVAS E, WINTERHALTER P, et al. Isolation, identification, and antioxidant activity of anthocyanin compounds in Camarosa strawberry[J]. Food Chemistry, 2010, 123: 574-582.
- [6] GIAMPIERI F, TULIPAN S, MEZZETTI B, et al. The strawberry: composition, nutritional quality, and impact on human health[J]. Nutrition, 2012, 28: 9-19.
- [7] WANG L S, ARNOLD M, HUANG Y M, et al. Modulation of genetic and epigenetic biomarkers of colorectal cancer in humans by black raspberries: a phase I pilot study[J]. Clinical Cancer Res, 2011, 17: 598-610.
- [8] 马银海,彭永芳,杨丽琳,等. 草莓红色素的提取及树脂吸附[J]. 食品科学, 2005, 26(7): 56-58.
- [9] 杜恣闲,郑建莉. 果酒的营养成分及其发展分析研究[J]. 江西化工, 2011(2): 23-26.
- [10] 陈文学,胡月英,林俊芳,等. 菠萝酒酿造工艺研究[J]. 食品科学, 2010, 31(19): 259-262.
- [11] 王励治,蒋和体. 野生猕猴桃干酒酿造工艺[J]. 食品科学, 2010, 31(24): 484-487.
- [12] 武运,杨清龙,艾克拜尔,等. 新疆哈密红枣酒酿造工艺研究[J]. 食品科学, 2009, 30(2): 283-285.
- [13] 刘殿锋,张志轩,轩文娟,等. 西瓜酒酿造工艺研究[J]. 食品科学, 2009, 30(20): 478-481.
- [14] 高兆建,唐世荣,邵颖. 低醇草莓果酒酿造工艺的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(10): 157-162.
- [15] 杨雅利,阙建全,沈海亮,等. 紫甘薯酒发酵工艺条件的优化[J]. 食品科学, 2012, 33(3): 157-162.
- [16] WU Long, YICK K L, NG S P, et al. Application of the Box-Behnken design to the optimization of process parameters in foam cup molding[J]. Expert Systems with Applications, 2012, 39: 8059-8065.
- [17] 赵翊,李红良,张惠妹. 响应面法优化火麻仁黄酮提取工艺[J]. 食品科学, 2011, 32(2): 127-131.
- [18] CHOPRA S, MOTWANI S K, IGBAL Z, et al. Optimisation of polyherbal gels for vaginal drug delivery by Box-Behnken statistical design[J]. European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics, 2007, 67: 120-131.
- [19] 盖禹含,辛秀兰,杨国伟,等. 不同酵母发酵的蓝莓酒香气成分 GC-MS 分析[J]. 食品科学, 2010, 31(4): 171-174.
- [20] 王梦泽,阎勤芳,薛少平,等. 草莓浑汁花色苷热降解动力学[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(6): 50-52.
- [21] 魏长宾,邢姗姗,刘胜辉,等. 紫花芒果实香气成分的GC-MS分析[J]. 食品科学, 2010, 31(2): 220-223.
- [22] MURALIDHAR R V, CHIRUMAMILA R R, MARCHANT R, et al. A response surface approach for the comparison of lipase production by *Candida cylindracea* using two different carbon sources[J]. Biochemistry Engineering Journal, 2001, 9(1): 17-23.
- [23] 杨雅利,沈海亮,阙建全. 紫色甘薯酒香气成分分析和发酵规律[J]. 食品科学, 2012, 33(12): 242-246.