

不同方式发酵桑葚果酒的功能性及香气成分比较

汪沙, 卢红梅, 陈莉, 牟灿灿, 吴震, 李荣源

(贵州大学酿酒与食品工程学院, 贵州省发酵工程与生物制药重点实验室, 贵州贵阳 550025)

摘要: 以贵州开阳县大十桑葚为原料, 研究分批发酵、分批补料发酵、分批带渣发酵对桑葚果酒中功能性成分及香气成分的影响, 结果表明: 分批带渣发酵桑葚果酒功能性成分含量最高(白藜芦醇 0.19 mg/100 mL、多酚(2020.89 mg/L、黄酮 310.56 mg/L、总花色苷(97.25 mg/L); 利用固相微萃取联合气相色谱-质谱技术(SPME/GC-MS)检测分批发酵、分批补料发酵、分批带渣发酵桑葚酒的香气成分, 分别有 133 种, 142 种, 146 种。分批带渣发酵桑葚果酒香气成分种类最多, 含烷烃类 9 种(1.43%)、醇类 16 种(29.70%)、酯类 57 种(56.20%)、醛酮类 27 种(4.64%), 酸类 11 种(3.62%), 苯环及酚类 10 种(0.68%), 烯类 4 种(0.70%), 其他物质 12 种(1.35%); 20 种主要香气成分与桑葚果酒典型性的相关性最为显著。分批带渣发酵不仅有利于桑葚果酒功能性成分含量的提高, 还能增加桑葚酒风味物质的多样性。

关键词: 桑葚果酒; 发酵方式; 功能性成分; 香气成分

文章编号: 1673-9078(2021)07-278-285

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.7.1197

Comparison of Functionality and Aroma Components of Mulberry Wine Fermented by Different Methods

WANG Sha, LU Hong-mei, CHEN Li, MOU Can-can, WU Zhen, LI Rong-yuan

(School of Liquor and Food Engineering, Guizhou Key Laboratory of Fermentation Engineering and Biopharmacy, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: Dashi mulberries in Kaiyang county, Guizhou province was used as raw materials. The effects of batch fermentation, fed-batch fermentation, and batch fermentation with residues on the functional components and aroma components of mulberry wine were studied. The results showed that: the highest content of functional ingredients (resveratrol 0.19 mg/100 mL, polyphenols 2020.89 mg/L, flavonoids 310.56 mg/L, total anthocyanins 97.25 mg/L) were found in batch fermentation with residues for mulberry wine. The solid phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry technology (SPME/GC-MS) was used to detect the aroma components of mulberry wine in batch fermentation, fed-batch fermentation, and batch fermentation with residues, and there were 133, 142, and 146 aroma components of mulberry wine, respectively. The batch fermented mulberry fruit wine with residue had the most variety of aroma components, including 9 alkanes (1.43%), 16 alcohols (29.70%), 57 esters (56.20%), and 27 aldehydes and ketones (4.64%), 11 kinds of acids (3.62%), 10 kinds of benzene and phenols (0.68%), 4 kinds of olefins (0.70%), 12 kinds of other substances (1.35%). The significant correlation was found between 20 kinds of main aroma components and typical of mulberry wine. Fermentation with residues in batches was not only beneficial to increase the content of functional components of mulberry wine, but also increase the diversity of mulberry wine flavor substances.

Key words: mulberry fruit wine; fermentation method; functional ingredients; aroma components

引文格式:

汪沙, 卢红梅, 陈莉, 等. 不同方式发酵桑葚果酒的功能性及香气成分比较[J]. 现代食品科技, 2021, 37(7): 278-285

WANG Sha, LU Hong-mei, CHEN Li, et al. Comparison of functionality and aroma components of mulberry wine fermented by different methods [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(7): 278-285

桑葚(Mulberry fruit)为桑科落叶乔木桑树(*Morus alba L.*)的聚花果, 又名桑果^[1]。桑葚富含生物碱、

收稿日期: 2020-12-24

基金项目: 贵州省科技支撑计划(黔科合支撑[2019]2317)

作者简介: 汪沙(1996-), 女, 硕士生在读, 研究方向: 食品工程

通讯作者: 卢红梅(1967-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 食品发酵

多酚、黄酮类等化合物^[2], 具有滋阴补血、保肝护肾、增强免疫力及促进新陈代谢等功效^[3]; 桑葚果不仅含有丰富的人体自身不能合成的多不饱和脂肪酸、氨基酸^[4,5], 还有人体所需要的微量元素^[6], 白藜芦醇具有保护心血管、神经系统、抗肿瘤、抗炎、抗菌、抗病毒、抗衰老、抗氧化和保肝等多种对人体有益的药理

功能,还能激发某些人体内抑癌基因表达,抑制癌细胞生长,并能阻止形成血液栓塞,被誉为继紫衫醇之后又一种新的抗癌物质^[7]。但桑葚不利于保藏,桑葚贮藏温度为6℃时,在第3d就会发生腐烂^[8],因而以桑葚鲜果发酵而成的桑葚果酒集天然、营养、保健于一体,既能使不易贮藏的桑葚得到充分利用,又可丰富酒类品种、繁荣果酒市场。

不同的原料及发酵工艺得到的桑葚果酒品质和风味也不同,谭霄^[9]用产 γ -氨基丁酸酿酒酵母JM037酿造出的桑葚果酒检测出27种香气成分,刘伟^[10]用葡萄酒果酒专用SY酵母酿造的桑葚果酒检测出58种香气成分,曾霞^[11]通过对桑葚酒的工艺进行优化得到具有65种香气成分的桑葚果酒,目前,关于对影响桑葚果酒功能性及香气成分的工艺研究主要包括初始糖度、初始Ph、酵母菌株、发酵温度等的选择上,却鲜有研究发酵方式对其功能性及香气物质的影响。本文以分批发酵、分批补料发酵、分批带渣发酵三种发酵方式发酵桑葚果酒,对桑葚酒功能性物质含量进行对比,采用固相微萃取联合气相色谱-质谱(SPME/GC-MS)对三种桑葚果酒香气成分进行分析测定,得出最佳的发酵方式。

1 材料与方法

1.1 主要材料

贵州省开阳县:九成熟的“大十”桑葚。

1.2 主要试剂

白藜芦醇:北京索莱宝科技有限公司;甲醇、乙腈、乙酸乙酯:天津市科密欧化学试剂有限公司;无水硫酸钠、氯化钠、氢氧化钠、可溶性淀粉、硼酸钠、酚酞:成都金山化学试剂有限公司;盐酸:天津市天大化工实验厂;碘:天津市津北精细化工有限公司;碘化钾:天津市致远化学试剂有限公司;胰蛋白酶、牛肉膏、酵母膏:上海博微生物科技有限公司;次甲基蓝:天津光复化学试剂有限公司。以上皆为分析纯。

1.3 主要仪器

1260II 高效液相色谱仪,安捷伦科技有限公司;N-1100 旋转蒸发仪、SB-1100 水浴锅,上海爱朗仪器有限公司;Thermo 赛默飞 TRACETM1310 气相色谱仪、JK-5L 空气发生器、Thermo Fisher X2 电感耦合等离子

体质谱仪,北京京科瑞达科技有限公司;LS-B50L 立式压力蒸汽灭菌锅,上海博迅实业有限公司医疗设备厂;SW-CJ-1F 型洁净工作台,上海雷韵试验仪器制造有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 发酵工艺

1.2.1.1 分批发酵

对桑葚进行破碎取汁并依次加 $K_2S_2O_5$ (160 mg/L)、果胶酶 (30 mg/L),静置 24 h 后,过滤取清汁,添加白砂糖调整糖含量至 240 g/L,添加酵母 (300 mg/L) 于发酵罐中进行发酵,发酵温度 22~26℃,当糖含量降至 4 g/L 左右时,利用经杀菌的 300 目滤布进行过滤,在 15℃ 环境下密封避光贮存 1 个月后,在 10℃ 条件下进行满罐密封避光保存,陈酿时间 3 个月。

1.2.1.2 分批补料发酵

对桑葚进行破碎取汁,取果汁的四分之一按 1.2.1.1 进行发酵,剩下的果汁按 1.2.1.1 添加 $K_2S_2O_5$ 和果胶酶处理后,放入 4℃ 冰箱中保存,分三次每隔一天平均补加剩下的桑葚果汁,其余处理同 1.2.1.1。

1.2.1.3 分批带渣发酵

对桑葚进行破碎取汁,添加与果汁同等质量的桑葚渣后同 1.2.1.1 处理。

1.2.2 感官评价

选取 10 名经过专业培训有经验的感官评价人员对桑葚果酒进行感官评价,其感官评分细则如表 1。

1.2.3 甲醇含量的测定

GC 条件:进样口温度 250℃,初始温度为 50℃,保持 2 min,以 5℃/min 升至 65℃,保持 1 min,再以 5℃/min 升至 70℃,保持 2 min 后,以 30℃/min 升至 250℃。检测器温度:250℃,氢气流量:40 mL/min,空气流量:350 mL/min,载气流量:40 mL/min,分流比:30:15,进样量:2 μ L。

1.2.4 白藜芦醇的测定

参照《GB/T 15038-2006 葡萄酒、果酒通用分析方法》^[12]。

1.2.5 总花色苷的测定

参照 Giusti M M^[13]

1.2.6 多酚的测定

参照李静^[14]。

1.2.7 黄酮的测定

参照杨林娥^[15]。

表 1 感官评分细则

Table 1 Details of sensory scoring

项目	评分标准	评分 (100 分)
色泽	具有桑葚果酒应有的色泽, 无褐变、有光泽, 悦目平衡	15~20
	具有一定桑葚果酒应有的色泽, 轻度褐变, 有一定光泽	10~15
	与桑葚果酒色泽不符, 中度褐变, 无夹杂物, 基本无光泽	5~10
	与桑葚果酒色泽不符, 严重褐变, 有夹杂物, 无光泽	0~5
澄清度	澄清, 透亮, 无浑浊	8~10
	较澄清	6~8
	基本澄清	4~6
	较浑浊	2~4
	浑浊	0~2
香气	果香酒香浓馥幽雅, 平衡悦人	25~30
	果香酒香浓郁和谐	20~25
	果香酒香较淡, 无异香	15~20
	果香不足, 酒香尚可, 有异香	10~15
	香气不良, 酒香不足, 有明显异香	0~10
滋味	酒体丰满, 口味甘甜醇厚, 柔和爽口, 回味悠长	25~30
	酒体平衡, 柔细轻快, 纯正无杂, 回味较好	20~25
	酒质略酸或略甜, 欠浓郁, 口感粗糙, 回味单一	15~20
	口感平淡, 柔和性差, 有异味	10~15
	口感差, 有明显异味	0~10
典型性	具有桑葚果酒特有风味, 典型完美, 风格独特	8~10
	具有桑葚果酒特有风味, 典型明确	6~8
	略带桑葚果酒特有风味, 典型性较为缺乏	4~6
	无典型性	2~4

表 2 感官评价结果/分

Table 2 The results of sensory evaluation

项目	色泽	澄清	香气	滋味	典型性	总分
分批发酵	17.00	7.00	23.00	24.00	7.00	78
分批补料发酵	18.00	8.00	28.00	27.00	9.00	90
分批带渣发酵	17.00	7.00	29.00	27.00	8.00	88

1.2.8 桑葚果酒挥发性成分的测定

GC 条件: 进样口温度为 250 °C, 初始温度 40 °C, 保持 3 min, 以 10 °C/min 升至 230 °C, 保持 6 min; 载气为高纯 He (99.999%); 载气流量为恒定流速 1 mL/min。MS 条件: 离子源为 EI 源, 离子源温度 200 °C, 电子能量 70 eV, 发射电流 1 mA, 检测器电压 2000 V, 接口温度 250 °C。

1.2.9 数据分析

采用 origin 8.6、excel 对数据进行绘图、分析。

2 结果与分析

2.1 感官评价结果

如表 2 所示, 分批发酵桑葚果酒感官评分 (78) 最低, 分批补料发酵桑葚果酒感官评分最高 (90), 略高于分批带渣发酵桑葚果酒的感官评分 (88), 这表明分批补料发酵和分批带渣发酵能提高桑葚果酒的感官品质。

2.2 不同发酵方式对桑葚果酒甲醇、白藜芦醇的影响

甲醇是果酒酿造过程中生成的副产物, 人一旦摄入 5 g 会出现严重中毒, 超过 12.50 g 可能导致死亡^[16]。根据 NY/T 1508-2017《绿色食品果酒》^[17]中规定果酒的甲醇 ≤ 0.40 g/L, 由图 1 可知, 三种桑葚果酒均符合

标准,分批带渣发酵桑葚果酒中甲醇含量高是因为桑葚果渣中的果胶在果胶酶的作用下生成甲醇,这与YURI L^[18]研究结果相同。

白藜芦醇是桑葚酒重要的功能性成分,也是影响桑葚酒市场竞争力的一个重要因素^[19]。分批带渣发酵桑葚果酒白藜芦醇含量(0.19 mg/100 mL)是分批发酵桑葚果酒 9.79 倍,分批补料发酵桑葚果酒的 3.80 倍,分批带渣发酵能显著提高桑葚果酒中白藜芦醇含量。

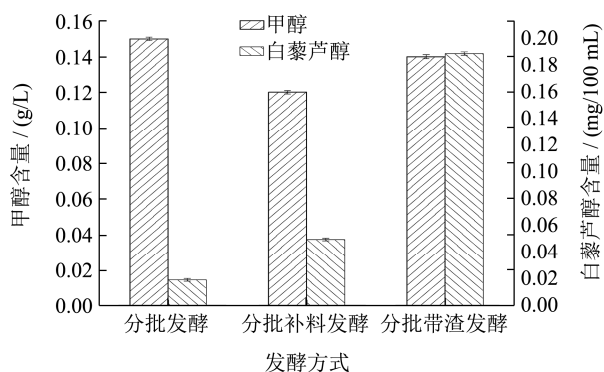


图1 三种桑葚果酒中甲醇、白藜芦醇含量

Fig.1 The content of methanol and resveratrol in three mulberry wines

2.3 不同发酵方式对桑葚果酒多酚、黄酮、总花色苷的影响

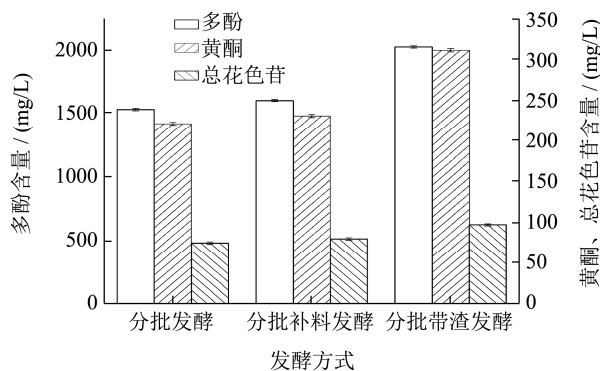


图2 三种桑葚果酒多酚、黄酮、总花色苷含量

Fig.2 Retention rates of anthocyanins, polyphenols and flavonoids in three mulberry fruit wines

多酚、黄酮、总花色苷具有抗癌、降血糖、护肝脏等多种生理功能,是影响桑葚果酒品质的重要指标^[20]。由图 2 可知,分批带渣发酵桑葚果酒的多酚(2020.89 mg/L)、黄酮(310.56 mg/L)、总花色苷(97.25 mg/L)含量最高,分别比分批发酵桑葚果酒提高了 32.07%、41%、29.29%,这表明带渣发酵有利于提高桑葚果酒中功能性成分的增加,有助于提高桑葚果酒的品质。

2.4 桑葚果酒中香气成分分析

2.4.1 不同发酵方式发酵桑葚果酒的总香气成分 GC-MS 分析

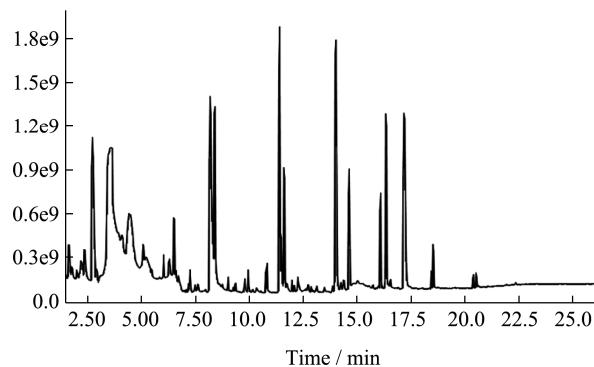


图3 分批发酵桑葚酒挥发性成分总离子图谱

Fig.3 Total ion spectrum of volatile components in batch fermentation of mulberry wine

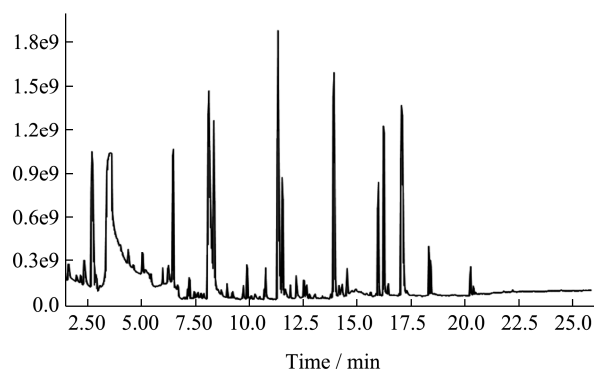


图4 分批补料发酵桑葚酒挥发性成分总离子图谱

Fig.4 Total ion spectrum of volatile components in fed-batch fermentation of mulberry wine

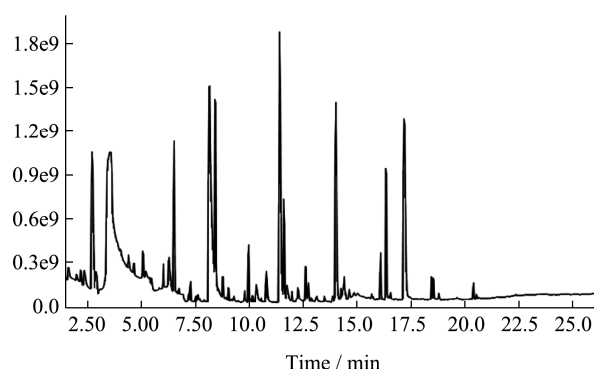


图5 分批带渣发酵桑葚酒挥发性成分总离子图谱

Fig.5 Total ion spectrum of volatile components of mulberry wine in batch fermentation with residue

本试验在 3 种桑葚果酒样品中共检测出 191 种香气成分。如图 6 和表 3 所示,主要香气物质有 20 种(百分含量>1%),酯类种类和酯类、醇类百分含量高于其他种类香气成分,烯类、酚类、苯类百分含量最低。分批发酵桑葚果酒含烷烃类 9 种(2.55%)、醇类 13

种 (25.96%)、酯类 55 种 (54.71%)、醛酮类 25 种 (5.34%)，酸类 11 种 (5.44%)，苯环及酚类 9 种 (0.45%)，烯类 2 种(0.13%)，其他物质 9 种(1.60%)，共计 133 种；分批补料发酵桑葚果酒含烷烃类 10 种 (1.60%)、醇类 14 种(26.36%)、酯类 61 种(57.48%)、醛酮类 22 种 (4.43%)，酸类 12 种 (5.59%)，苯环及酚类 10 种 (0.60%)，烯类 2 种 (0.20%)，其他物质 11 种 (1.43%)，共计 142 种。分批带渣发酵桑葚果酒

香气成分种类最多，含烷烃类 9 种 (1.43%)、醇类 16 种 (29.70%)、酯类 57 种 (6.20%)、醛酮类 27 种 (4.64%)，酸类 11 种 (3.62%)，苯环及酚类 10 种 (0.68%)，烯类 4 种(0.70%)，其他物质 12 种(1.35%)，共计 146 种。三种不同发酵方式发酵的桑葚果酒风味物质种类均高于孔燕^[21] (44 种)、曾霞^[11] (70 种)、商敬敏^[22] (28 种) 等人发酵的桑葚果酒。

表 3 三种桑葚酒主要香气成分含量表 (百分含量>1%)

Table 3 Contents of main aroma components of three mulberry wines

序号	香气成分	保留时间 /min	分批发酵 /%	分批补料发酵 /%	分批带渣发酵 /%	香味
1	乙醛	1.65	1.56	-	-	果香、咖啡香、酒香、青香
2	苯甲醛	12.61	0.08	0.64	1.09	杏仁香
3	乙醇	3.56	3.59	3.61	3.48	-
4	异丁醇	6.31	0.94	1.25	2.20	-
5	3-甲基-1-丁醇	8.19	10.32	16.70	15.33	水果香、花香
6	正己醇	10.34	0.24	0.64	1.49	-
7	苯乙醇	17.17	10.26	3.40	6.02	丁香、茉莉香、玫瑰香
8	乙酸乙酯	2.75	7.83	9.87	8.79	果香
9	乙酸异戊酯	8.72	1.73	1.94	3.24	香蕉香、苹果香
10	草酸二丁酯	12.75	4.90	-	-	菠萝香、似朗姆酒香
11	庚酸乙酯	9.96	0.55	0.94	1.49	菠萝香
12	辛酸乙酯	11.41	10.80	10.00	10.66	菠萝香、苹果香、似白兰地酒香
13	癸酸乙酯	4.00	5.34	10.11	10.50	梨香、椰子香、葡萄酒香、白兰地香
14	乙基 9-癸烯酸酯	14.63	4.82	0.99	0.34	-
15	乙酸苯乙酯	16.08	2.83	3.83	1.31	-
16	月桂酸乙酯	16.33	6.00	6.54	5.36	花香、水果香
17	肉豆蔻酸乙酯	18.44	0.44	1.46	0.61	椰子香、康乃馨香
18	己酸乙酯	8.41	5.93	6.38	0.07	-
19	乙酸	11.61	3.38	3.79	-	-
20	辛酸	18.52	1.04	0.96	0.57	-

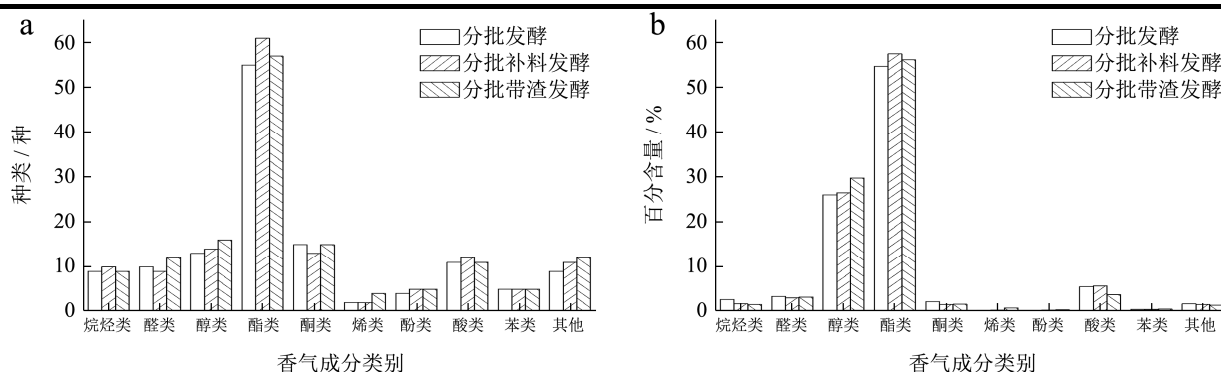


图 6 挥发性物质种类 (a)、百分含量图 (b)

Fig.6 Types of volatile substances (a) and percentage content diagram (b)

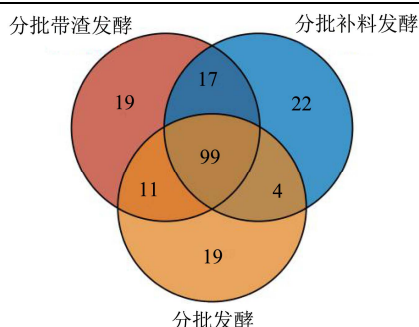


图7 三种桑葚果酒香气成分 venn 图

Fig.7 Venn diagram of aroma components in three mulberry

wines

由图 7 可知，三种桑葚果酒中共有香气物质 99 种。分批发酵和分批补料发酵、分批带渣发酵共有香气物质 17、11 种，分批补料发酵和分批带渣发酵共有香气物质 4 种；分批发酵、分批补料发酵、分批带渣发酵分别含特有香气物质 19、22、19 种。

2.4.2 醇类组分比较

醇类主要是酒精发酵过程中氨基酸或糖代谢的产物^[23]。分批发酵、分批补料发酵、分批带渣发酵桑葚果酒醇类占各自香气成分总量的 25.96%、26.37%、29.70%。醇类多具有不愉快的香气，但在三种桑葚果酒共有的主要醇类中，3-甲基-1-丁醇（分批发酵 10.32%、分批补料发酵 16.70%、分批带渣发酵 15.33%）百分含量最高，赋予桑葚酒特殊的植物香，乙醇（3.59%、3.61%、3.48%）具有特殊的、令人愉快的香味，苯乙醇（10.26%、3.40%、6.02%）具有独特的玫瑰花香、丁香、茉莉花香等多样风味。

2.4.3 酯类组分比较

酯类是发酵酒挥发性成分的重要组成部分，也是构成香气骨架的关键成分^[24]，三种桑葚果酒中共检测出酯类物质 77 种，其中主要酯类物质有 10 种，辛酸乙酯百分含量（10.80%、10.00%、10.66%）最高，具有菠萝香、苹果香、似白兰地酒香，其次为癸酸乙酯（5.34%、10.11%、10.50%）、乙酸乙酯（7.83%、9.87%、8.78%），具有梨香、椰子香、葡萄酒香、白兰地香和果香，剩下的乙酸异戊酯（1.73%、1.94%、3.24%）、庚酸乙酯（0.55%、0.94%、1.49%）、月桂酸乙酯（6.00%、6.54%、5.36%）、肉豆蔻酸乙酯（0.44%、1.46%、0.61%）、乙酸苯乙酯（2.83%、3.83%、1.31%）、己酸乙酯（5.93%、6.38%、0.07%）分别赋予了桑葚果酒苹果香、菠萝香、花香、椰子香等香味，草酸二丁酯（4.90%）是分批发酵桑葚酒中特有的酯类物质，呈菠萝香、似朗姆酒香。

2.4.4 其他组分比较

三种桑葚酒中检测出的除醇类、酯类的其他组分

共 97 种，共有主要香气成分有苯甲醛（0.08%、0.64%、1.09%）：杏仁香；辛酸（1.04%、0.96%、0.57%）：呈水果香气；乙醛（1.56%）为分批发酵桑葚酒主要香味物中特有的香气成分，具有果香、咖啡香、酒香、青香。乙酸为分批发酵（3.38%）、分批补料发酵（3.79%）桑葚酒共有香气成分，呈酸味。

2.5 分批带渣发酵桑葚酒中的特有香气物质

分析

分批带渣发酵桑葚果酒特有的香气物质共有 17 种：3-甲基丁醛、正丁醇、异丙醇、1-辛烯-3-醇、2-乙基己醇、壬醇、丁酸乙酯、庚酸甲酯、2-辛烯酸乙酯、苯甲酸甲酯、苯丙酸乙酯、 β -月桂烯、3-萜烯、3-甲基丁酸、反式-2-己烯酸、2-庚酮、2,5-二甲酰基咪喃。其中 3-甲基丁醛具有苹果香；1-辛烯-3-醇有蘑菇、薰衣草、玫瑰和干草香气；壬醇带有甜而青的玫瑰花蜡和果香的脂蜡香气；丁酸乙酯极易扩散，带有清灵强烈的甜果香，有菠萝、香蕉、苹果气息；苯甲酸甲酯具有浓郁的冬青油香气；3-萜烯具有强烈的松木样香气；2-庚酮有类似梨的水果香味。

2.6 主要香气成分与感官得分相关性分析

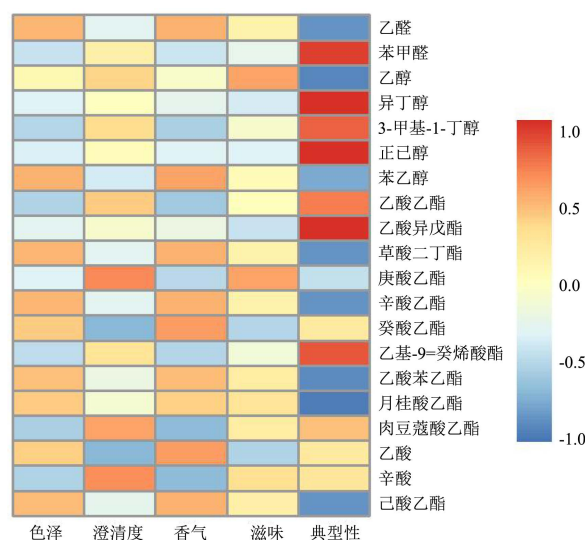


图8 香气成分与感官得分的相关性热图

Fig.8 Heat map of the correlation between aroma components and sensory scores

20 种主要香气成分含量与桑葚酒各模块感官评价得分的相关性如图所示，香气成分含量与滋味和澄清度相关性不大；乙醛、苯乙醛、草酸二丁酯、辛酸乙酯、癸酸乙酯、乙酸、己酸乙酯与香气呈正相关，肉豆蔻酸乙酯、辛酸、3-甲基-1-丁醇、乙酸乙酯与香气呈负相关；乙醛、乙醇、苯乙醇、草酸二丁酯、辛

酸乙酯、乙酸苯乙酯、月桂酸乙酯、己酸乙酯、苯甲醛、异丁醇、3-甲基-1-丁醇、正己醇、乙酸乙酯、乙酸异戊酯、乙基 9-癸烯酸酯与桑葚果酒的典型性相关性最为显著,前 8 种呈负相关,后 7 种呈正相关。

3 结论

分批补料发酵、分批带渣发酵桑葚果酒感官评分明显高于分批发酵;分批带渣发酵桑葚果酒功能性成分含量最高,白藜芦醇含量(0.19 mg/100 mL)是分批发酵桑葚果酒 9.79 倍,分批补料发酵桑葚果酒的 3.80 倍,总花色苷 97.25 mg/L,是钮成拓等^[25]发酵的桑葚酒的 1.29 倍;黄酮(310.56 mg/L)、多酚(2020.89 mg/L);分批带渣发酵香气成分最多(146 种);分批发酵特有的主要香气成分最多(2 种),总香气成分种类最少(133 种);分批补料发酵桑葚酒含香气成分 142 种。三种不同发酵方式发酵的桑葚果酒风味物质种类均高于孔燕^[21]、曾霞^[11]、商敬敏^[22]等人发酵的桑葚果酒。20 种主要香气成分与桑葚果酒典型性的相关性最为显著。以感官评价、功能性成分、香气成分对三种发酵方式得到的桑葚果酒进行综合评价,分批带渣发酵不仅有利于桑葚果酒功能性成分含量的提高,还能增加桑葚酒风味物质的多样性。

参考文献

- [1] 朱祥瑞,杨逸文,占鹏飞,沈建栋.桑椹采摘后白藜芦醇含量的变化[J].蚕桑通报,2013,44(1):32-34
ZHU Xiang-rui, YANG Yi-wen, ZHAN Peng-fei, et al. Changes of resveratrol content in mulberry after picking [J]. Sericulture Bulletin, 2013, 44(1): 32-34
- [2] Donno D, Cerutti A K, Prgomet I, et al. Foodomics for mulberry fruit (*Morus* spp.): analytical fingerprint as antioxidants' and health properties' determination tool [J]. Food Research International, 2015, 69: 179-188
- [3] Song W, Wang H J, Bucheli P, et al. Phytochemical profiles of different mulberry (*Morus* sp.) species from China [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57: 913-914
- [4] Sanchez-salcedo E M, Sendra E, Carbonell-barrachina Á A, et al. Fatty acids composition of Spanish black (*Morus nigra* L.) and white (*Morus alba* L.) mulberries [J]. Food Chemistry, 2016, 190: 566-571
- [5] Jiang Y, Nie W J. Chemical properties in fruits of mulberry species from the Xinjiang province of China [J]. Food Chemistry, 2015, 174: 460-466
- [6] Snchez-salcedo E M, Mena P, Garcí-viguera C, et al. Phytochemical evaluation of white (*Morus alba* L.) and black (*Morus nigra* L.) mulberry fruits, a starting point for the assessment of their beneficial properties [J]. Journal of Functional Foods, 2015, 12: 399-408
- [7] 康秉涛,郭蒙,孙晓莹,等.白藜芦醇抗动脉粥样硬化研究进展[J].陕西医学杂志,2020,49(11):1527-1530
KANG Bing-tao, GUO Meng, SUN Xiao-ying, et al. Research progress of resveratrol against atherosclerosis [J]. Shaanxi Medical Journal, 2020, 49(11): 1527-1530
- [8] 刘丽霞.试论桑葚果实的冷藏品质变化[J].科技风,2020, 7:232
LIU Li-xia. Discussion on the quality changes of mulberry fruits in cold storage [J]. Technology Wind, 2020, 7: 232
- [9] 谭霄,曾林,赵婷婷,等.产 γ -氨基丁酸酿酒酵母 JM037 酿造桑葚果酒风味物质分析[J].食品与发酵工业,2017,43 (12):191-198
TAN Xiao, ZENG Lin, ZHAO Ting-ting, et al. Analysis of flavor substances in brewing mulberry wine by *Saccharomyces cerevisiae* JM037 producing γ -aminobutyric acid [J]. Food and Fermentation Industry, 2017, 43(12): 191-198
- [10] 刘玮,陈亮,吴志明,等.不同酵母发酵的桑葚果酒香气成分的分析[J].食品研究与开发,2013,34(24):212-217
LIU Wei, CHEN Liang, WU Zhi-ming, et al. Analysis of aroma components of mulberry wine fermented by different yeasts [J]. Food Research and Development, 2013, 34(24): 212-217
- [11] 曾霞,陆燕,曹建平,等.桑葚果酒发酵工艺优化及其主要香气成分分析[J].酿酒科技,2016,1:120-124
ZENG Xia, LU Yan, CAO Jian-ping, et al. Optimization of the fermentation process of mulberry fruit wine and analysis of its main aroma components [J]. Wine Science and Technology, 2016, 1: 120-124
- [12] GB/T 15038-2006,中华人民共和国卫生部.葡萄酒、果酒通用分析方法[S]
GB/T 15038-2006, Ministry of Health of the People's Republic of China. General analysis methods for wine and fruit wine [S]
- [13] Giusti M M, Wrolstad R E. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy [J]. Current Protocols in Food Analytical Chemistry, 2001,(1): 1-13
- [14] 李静,聂继云,李海飞,等.Folin-酚法测定水果及其制品中总多酚含量的条件[J].果树学报,2008,1:126-131
LI Jing, NIE Ji-yun, LI Hai-fei, et al. Folin-phenol method to

- determine the conditions of total polyphenols in fruits and their products [J]. *Journal of Fruit Science*, 2008, 1: 126-131
- [15] 杨林娥,李婷,张磊,等.山西老陈醋酿造过程中总黄酮的分析测定[J].*中国调味品*,2015,40(4):118-120,128
YANG Lin-e, LI Ting, ZHANG Lei, et al. Analysis and determination of total flavonoids in the brewing process of Shanxi old vinegar [J]. *China Seasoning*, 2015, 40(4): 118-120, 128
- [16] 杨惠芬,李明元,沈文.食品卫生理化检验标准手册[M].北京:中国标准出版社,1997:577-578
YANG Hui-fen, LI Ming-yuan, SHEN Wen, et al. Handbook of Physical and Chemical Inspection Standards for Food Hygiene [M]. Beijing: China Standard Press, 1997: 577-578
- [17] Yuri L, Dorokho V, Ekaterina V, et al. Methanol in plant life [J]. *Front Plant Sci*, 2018, 9: 1623-1628
- [18] NY/T 1508-2017, 中华人民共和国农业部.绿色食品果酒[S].北京:中国农业出版社,2017
NY/T 1508-2017, Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Green Food Fruit Wine [S]. Beijing: China Agriculture Press, 2017
- [19] 朱祥瑞,章本学,杨逸文,等.桑葚处理后桑葚及其酿制酒白藜芦醇的含量变化.中国蚕学会、国家蚕桑产业技术体系.全国家(柞)蚕资源高值化利用学术研讨会论文集[C]//.中国蚕学会、国家蚕桑产业技术体系:中国蚕学会,2013:5
ZHU Xiang-rui, ZHANG Ben-xue, YANG Yi-wen, et al. Changes in the content of resveratrol in mulberry and its brewing wine after mulberry treatment. Chinese Society of Sericulture, National Sericulture Industry Technology System. Proceedings of the National Symposium on High-value Utilization of Silkworm Resources [C]//. China Sericulture Society, National Sericulture Industry Technology System: China Sericulture Society, 2013: 5
- [20] 王晗,朱华平,李文钊,等.桑葚提取物中总花色苷分析及其体外抗氧化活性研究[J].*食品与发酵工业*,2019,45(15): 170-175
WANG Han, ZHU Hua-ping, LI Wen-zhao, et al. Analysis of anthocyanin in mulberry extract and its *in vitro* antioxidant activity [J]. *Food and Fermentation Industry*, 2019, 45(15): 170-175
- [21] 孔燕,秦凡平,覃俊,等.不同酵母对桑葚果酒品质的影响研究及菌株筛选[J].*食品与发酵工业*,2020,46(22):64-70
KONG Yan, QIN Fan-ping, QIN Jun, et al. Study on the effect of different yeasts on the quality of mulberry wine and screening of strains [J]. *Food and Fermentation Industry*, 2020, 46(22): 64-70
- [22] 商敬敏,赵新节.桑葚发酵酒中风味物质的研究[J].*食品与发酵科技*,2011,47(5):95-97
SHANG Jing-min, ZHAO Xin-jie. Study on the Flavoring Compositions from the Mulberry Fermented Wine [J]. *Food and Fermentation Technology*, 2011, 47(5): 95-97
- [23] 李双石,李淳,吴志明,等.不同酵母发酵对葡萄酒香气成分的影响[J].*食品研究与开发*,2012,33(11):25-29
LI Shuang-shi, LI Bo, WU Zhi-ming, et al. Influence of Different Yeast Strains on Aromatic Components in Wines [J]. *Food Research and Development*, 2012, 33(11): 25-29
- [24] 庞惟俏,曲鹏宇,魏程程,等.6种酵母发酵菠萝酒香气成分的GC-MS分析及其筛选[J].*酿酒科技*,2018,3:106-112
PANG Wei-qiao, QU Peng-yu, WEI Cheng-cheng, et al. GC-MS analysis and screening of six kinds of yeast-fermented pineapple wine aroma components [J]. *Brewing Technology*, 2018, 3: 106-112
- [25] 钮成拓,李正学,范林旭,等.桑葚果酒发酵过程中功能性物质的检测及其变化情况[J].*食品与发酵工业*,2019,45(3): 83-88
NIU Cheng-tuo, LI Zheng-xue, FAN Lin-xu, et al. Detection of functional substances and their changes during the fermentation of mulberry wine [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(3): 83-88