

不同酿酒酵母发酵的紫薯糯米酒香气成分分析

李纪涛, 蒋一鸣, 束俊霞, 程丽萍, 杨梦花, 蒋和体*

(西南大学食品科学学院, 重庆 400716)

摘要:以3种不同酵母发酵的紫薯糯米酒为原料,运用顶空固相微萃取和气相色谱-质谱联用技术对紫薯糯米酒的香气成分进行分析,并研究紫薯醪和糯米糖化醪的比例对酒品质的影响。结果表明,紫薯醪和糯米糖化醪的比例在3:2~1:1(m/m)时,酒的品质较好;紫薯糯米酒中的香气成分有酯类、醇类、醛、酮类和烷烃、烯烃类,3种酵母发酵的酒样中共检测出香气成分73种。果酒专用干酵母SY、酿酒酵母1383和酿酒酵母1596发酵的紫薯糯米酒中分别检测出55、54、55种香气成分,其中相同的成分有38种,3种紫薯糯米酒中相对含量最高的香气成分都是异戊醇,其相对含量分别为17.67%、17.84%和18.63%。

关键词:酵母;紫薯糯米酒;气相色谱-质谱;香气成分

Analysis of Aroma Composition of Purple Sweet Potato and Rice Wine Fermented With Different Yeast Starters

LI Ji-tao, JIANG Yi-ming, SHU Jun-xia, CHENG Li-ping, YANG Meng-hua, JIANG He-ti*

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

Abstract: This study analyze the aroma components of purple sweet potato and rice wine fermented with three different yeast starters, alcohol active dry yeast and *Saccharomyces cerevisiae* 1383 and 1596. The analysis was carried out using automatic static headspace-solid phase micro-extraction-gas chromatography-mass spectrometry. Moreover, the effect of mass ratio between purple sweet potato pulp and sacchrified sticky rice pulp on wine quality was studied. The results showed that the best mass ratio between purple sweet potato pulp and sacchrified sticky rice pulp was in the range of 3:2-1:1; the aroma of purple sweet potato and rice wine was composed mainly of esters, alcohols, aldehydes, ketones, and alkyl vinyl. Totally 73 aroma components were identified, including 55, 54 and 55 components individually observed in the wines fermented with alcohol active dry yeast, and *Saccharomyces cerevisiae* 1383 and 1596, respectively, and 38 aroma components were common to the three wines. The most predominant aroma compound in these three wines was pentanol with relative contents of 17.67%, 17.84% and 18.63%, respectively.

Key words: yeast strain; purple sweet potato and rice wine; gas chromatography-mass spectrometry; aroma composition

中图分类号: TS262.7

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2014)16-0202-06

doi:10.7506/spkx1002-6630-201416039

紫薯, 又称紫心甘薯、紫肉甘薯, 为番薯属植物, 是一类集营养、保健和色素于一体的甘薯品种^[1]。紫薯除具有普通甘薯的营养成分外, 还富含花青素和矿物质等营养成分^[2-3]。研究表明, 花青素具有抗氧化^[4-5]、清除自由基^[6]、抗炎^[7]、抗突变^[8]以及改善肝脏中脂肪酸含量^[9-11]等作用。糯米中含有丰富的蛋白质, 其蛋白质的氨基酸组成配比比较合理^[12], 而由其发酵制作的糯米酒不仅营养丰富, 而且具有促进血液循环、提高免疫力、助于新陈代谢等功效^[13], 并且其淀粉含量很高, 经糖化后可以产生大量的还原糖, 当和紫薯混合发酵时无需添加任何糖分即可达到所需要的酒精体积分数。紫薯糯米酒是以紫薯和糯米为原料经发酵而成的低度酒, 其既具有糯米酒的保健

功能又融入了紫薯花色苷的功能成分, 使紫薯糯米酒富有鲜艳色泽的同时又增加了保健功能。

目前国内外关于紫薯酒的研究日益增多, 大多集中在紫薯酒的加工工艺和功能性质上, 如紫甘薯酒发酵工艺条件的优化^[14]、紫薯酒抗氧化活性研究^[15]、富含花青素紫薯酒的相似成分和感官分析^[16]等, 而对紫薯酒香气成分的研究相对较少, 尤其是不同酵母对紫薯酒香气成分的影响。本实验以3种酵母发酵的紫薯糯米酒为材料, 采用顶空固相微萃取(headspace solid phase micro-extraction, HS-SPME)和气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)技术对紫薯糯米酒中的香气成分进行分析比较, 为紫薯糯米酒的香气特征研究提供科学依据。

收稿日期: 2013-11-19

作者简介: 李纪涛(1989—), 男, 硕士研究生, 研究方向为现代食品加工理论与技术。E-mail: lijitao8943@126.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 材料与方法

1.1 材料与试剂

紫薯, 渝紫7号, 取自四川省开江县紫薯基地, 鲜薯主要成分含量: 淀粉19.67%、蛋白质1.69%、脂肪0.19%、粗纤维0.74%、水分69.43%、总灰分0.77%、花色苷43.2 mg/100 g。

糯米 市购; 果酒酵母1383、果酒酵母1596 中国食品发酵工业研究所; 果酒专用干酵母SY、安琪甜酒曲 湖北安琪酵母股份有限公司; α -淀粉酶 ($>4\,000\text{ U/g}$)、糖化酶 ($>10^5\text{ U/g}$) 诺维信生物技术有限公司。

1.2 仪器与设备

HH.BLL.600-S恒温培养箱 上海跃进医疗器械厂; HWT-10C恒温水浴摇床 天津市恒澳科技发展有限公司; 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; QP2010气相色谱-质谱联用仪 日本岛津公司; 手动固相微萃取进样器 美国铂金-埃尔默公司; 100 μm PDMS萃取头 美国Supelco公司。

1.3 方法

1.3.1 紫薯糯米酒的发酵工艺流程

紫薯 → 挑选、清洗 → 蒸煮(至无硬心) → 糊化 → 出锅冷却至30℃左右 → 破碎 → 加水打浆 → 液化、糖化
糯米 → 挑选、清洗 → 浸泡18~24 h → 蒸煮糊化 → 水淋冷却 → 加加甜酒药糖化、液化24~36 h
→ 陈酿 → 澄清 → 过滤 → 灌装 → 杀菌 → 成品酒

酿酒酵母预处理: 果酒专用干酵母的活化, 取干酵母粉1 g, 加入到20 g质量分数5%的糖水中, 在38℃条件下, 搅拌活化15~30 min, 至水中出现大量的小气泡即可^[14]; 酵母1383和酵母1596的扩大培养, 先将斜面保存的酿酒酵母菌种放于28℃的培养箱中活化1~2 d, 然后在超净工作台内, 把斜面菌种接种至10 mL经灭菌后的紫薯糯米混合汁中于28℃条件下摇床培养24 h, 再将培养的酵母菌加入到100 mL的灭菌后的紫薯糯米汁中培养24 h, 即可使用。

工艺操作要点: 由于糯米淀粉含量较高, 若和紫薯共同液化、糖化, 需消耗大量的酶制剂, 不太经济, 且酶解后的糖化醪中酶液味道较重, 故本实验中糯米糖化使用甜酒曲糖化。将紫薯洗干净, 隔水蒸煮至无硬心, 然后用刀切碎, 按1:1的料液比打浆^[17]; 调节pH值为6.0, 添加质量分数0.15%的 α -淀粉酶, 在60℃条件下液化3 h; 调节pH值为4.5, 添加质量分数0.1%的糖化酶, 在60℃条件下糖化3 h。将糯米淘洗干净, 浸泡18~20 h至手捏米粒即碎, 隔水蒸煮至外硬内软无夹心, 将蒸好的米饭取出后立即用干净的冷开水淋冷至30℃左右, 滤去多余水, 然后添加质量分数0.4%的甜酒曲搅拌均匀, 于28℃恒温培养箱中搭窝放置24~36 h^[12]。然后将2种

醪液混合均匀, 分别按质量分数0.04%、10%的接种量加入处理过的干酵母和酵母液, 在25℃条件下发酵7 d, 倒罐, 15℃陈酿20 d, 过滤、杀菌后即可得成品酒。

1.3.2 紫薯醪和糯米糖化醪比例的选择

将紫薯醪和糯米糖化醪分别按照3:1、2:1、3:2、1:1、2:3、1:2 (m/m) 的比例混合, 分别添加质量分数0.04%已活化过的果酒专用干酵母SY, 在25℃条件下, 发酵7 d, 比较发酵酒的酒精体积分数、花色苷含量、总酸含量、还原糖含量和口感。

1.3.3 紫薯糯米酒品质指标的测定方法

分别采用pH示差法^[18]、酒精计法^[19]、电位滴定法^[19]、直接滴定法^[19]测定紫薯糯米酒中花色苷含量、酒精体积分数、总酸含量和还原糖含量。

1.3.4 紫薯糯米酒香气成分萃取

采用HS-SPME法。取主发酵结束后的酒样6 mL加入到20 mL萃取瓶中, 加入1.0 g NaCl, 密封好后插入经老化的萃取针, 置于45℃水浴中, 待放稳后推出萃取针头, 顶空萃取40 min后将萃取头插入GC-MS进样口, 解吸5 min^[20]。

1.3.5 紫薯糯米酒香气成分的GC-MS分析^[21]

1.3.5.1 气相色谱条件

色谱柱为DB-5MS (30 mm $\times$ 0.25 mm, 0.25 μm); 进样口温度250℃; 升温程序: 35℃保持3 min, 以10℃/min升至110℃, 保持3 min, 再以5℃/min升至150℃, 保持2 min, 最后以7℃升至230℃, 保持6 min; 载气(He)流速1.00 mL/min, 压力53.5 kPa, 进样量1 μL ; 不分流。

1.3.5.2 质谱条件

电离方式: 电子电离(electron ionization, EI)源; 电子能量70 eV; 离子源温度230℃; 采集模式: 全扫描; 四极杆温度150℃; 质量扫描范围 m/z 35~500; 扫描速率769 u/s; 质谱图利用NIST 05谱库进行检索。

2 结果与分析

2.1 紫薯醪和糯米糖化醪不同配比发酵酒中主要成分比较

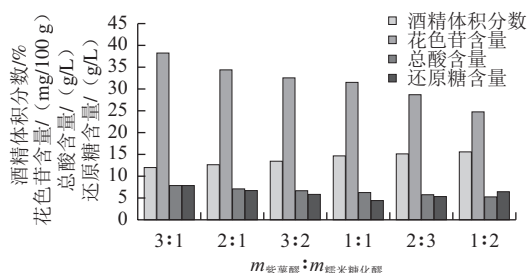


图1 不同配方紫薯糯米酒中主要成分比较

Fig.1 Comparative contents of alcohol, anthocyanin, total acids and reducing sugars in the wines fermented from purple sweet potato pulp and saccharified stick rice pulp with different ratios

紫薯醪和糯米糖化醪不同配比对发酵酒中主要成分含量的影响结果见图1。结果表明,随着紫薯醪比例的增大和糯米糖化醪比例的减少,发酵结束时酒精体积分数、花色苷含量有上升趋势,总酸含量有下降趋势,而还原糖含量表现为先降低后上升的趋势。通过对发酵后酒的口感和色泽方面的评定表明,随着紫薯醪的减少,发酵出的酒液酸味降低,糯米酒的风味逐渐增强,当糯米糖化醪的比例过高时,酒的苦味表现明显,同时酒液的色泽逐渐变浅。综合考虑,当紫薯醪和糯米糖化醪的比例在3:2~1:1时较为理想,此时发酵出的酒风味良好、酒精体积分数和花色苷含量都能达到要求(即酒精体积分数14%、花色苷含量30 mg/100 g以上),成品酒兼具紫薯酒和糯米酒的风格且糯米酒的苦味不明显,同时色泽鲜红亮丽。

2.2 不同酵母发酵的紫薯糯米酒中香气成分GC-MS分析

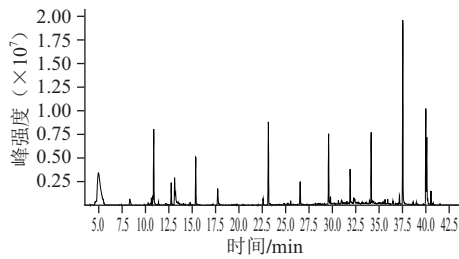


图2 果酒专用干酵母发酵的紫薯糯米酒香气成分的GC-MS总离子流图
Fig.2 Total ion current chromatogram of aromatic components in purple sweet potato and rice wine fermented with alcohol active dry yeast

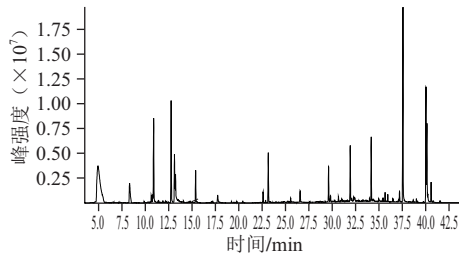


图3 酿酒酵母1383发酵的紫薯糯米酒香气成分的GC-MS总离子流图
Fig.3 Total ion current chromatogram of aromatic components in purple sweet potato and rice wine fermented with *Saccharomyces cerevisiae* 1383

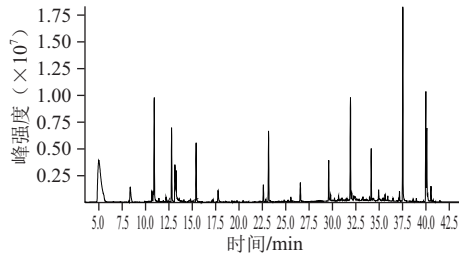


图4 酿酒酵母1596发酵的紫薯糯米酒香气成分的GC-MS总离子流图
Fig.4 Total ion current chromatogram of aromatic components in purple sweet potato and rice wine fermented with *Saccharomyces cerevisiae* 1596

将紫薯醪和糯米糖化醪按1:1进行配比,按1.3.1节中的方法进行发酵。3种酵母发酵的紫薯糯米酒通过GC-MS测定分析,其香气成分的GC-MS总离子流图和各香气成分相对含量的鉴定结果见图2~4和表1所示。

表1 不同酵母发酵的紫薯糯米酒主要香气成分
Table 1 Aroma components in purple sweet potato and rice wines fermented with different yeasts

序号	化合物名称	分子式	相对分子质量	相对含量/%		
				果酒专用干酵母SY	酵母1383	酵母1596
醇类物质						
1	异戊醇	C ₅ H ₁₂ O	88	17.67	17.84	18.63
2	2-辛醇	C ₈ H ₁₈ O	130	6.34	6.44	7.44
3	1-辛醇	C ₈ H ₁₈ O	130	0.10	0.10	0.25
4	苯乙醇	C ₈ H ₁₀ O	122	2.82	4.12	3.10
5	3,7,11-三甲基-2,6,10-三烯醇	C ₁₅ H ₃₀ O	222	0.06		
6	α-松油醇	C ₁₀ H ₁₈ O	154		0.05	
7	4-萜烯醇	C ₁₀ H ₁₈ O	154		0.07	0.05
8	1-庚醇	C ₇ H ₁₆ O	116		0.06	0.07
9	喇叭茶醇	C ₁₅ H ₂₆ O	222			0.14
10	芳樟醇	C ₁₀ H ₁₈ O	154		0.07	
11	香叶基芳樟醇	C ₂₀ H ₃₄ O	290	0.07		0.06
酯类物质						
12	乙酸异戊酯	C ₇ H ₁₄ O ₂	130	0.95	2.88	2.00
13	正己酸乙酯	C ₈ H ₁₆ O ₂	144	0.56	0.52	0.53
14	乙酸仲辛酯	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	172	0.07	0.10	0.05
15	丁二酸二乙酯	C ₈ H ₁₄ O ₄	174	0.20	0.08	0.22
16	辛酸乙酯	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	172	3.81	2.19	3.88
17	乙酸苯乙酯	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	164	1.94	0.8	1.11
18	癸酸乙酯	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	200	7.08	3.48	4.61
19	二十二烷酸乙酯	C ₂₄ H ₄₈ O ₂	344	0.06	0.05	
20	辛酸异戊酯	C ₁₃ H ₂₆ O ₂	214			2.76
21	癸酸-3-甲基丁酯	C ₁₅ H ₃₀ O ₂	242	0.18	0.09	0.11
22	肉豆蔻酸乙酯	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256	4.75	3.76	2.54
23	十二烷基异戊酯	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	270	0.11	0.05	0.13
24	邻苯二甲酸二异丁酯	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	278	0.08	0.07	0.10
25	反-4-癸烯酸乙酯	C ₁₂ H ₂₂ O ₂	198	0.39	0.62	0.46
26	十五酸乙酯	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	270	0.25	0.36	0.23
27	棕榈酸甲酯	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	270	0.16	0.14	0.10
28	9-十六碳烯酸乙酯	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	282	0.65	0.79	0.74
29	棕榈酸乙酯	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	284	14.83	14.64	12.63
30	棕榈酸异丁酯	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	312	0.04	0.03	0.02
31	亚油酸乙酯	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	308	7.43	8.31	6.87
32	油酸乙酯	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	310	5.81	6.75	5.3
33	硬脂酸乙酯	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	312	1.04	1.57	0.82
34	十二烷基异戊酯	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	270	0.12	0.15	0.11
35	亚麻酸乙酯	C ₂₀ H ₃₄ O ₂	306	0.18	0.09	
36	月桂酸乙酯	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	228	5.94	2.40	2.54
37	2-羟基己酸乙酯	C ₈ H ₁₆ O ₃	160		0.09	0.07
38	壬酸乙酯	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	186		0.04	0.07
39	3,7,11-三甲基-1,6,10-十二烷三烯-3-醇乙酸酯	C ₁₇ H ₂₈ O ₂	264			0.05
40	十七酸乙酯	C ₁₉ H ₃₈ O ₂	298			0.12
酸类物质						
41	壬酸	C ₉ H ₁₈ O ₂	158			0.06
42	月桂酸	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	200	0.11		

续表1

序号	化合物名称	分子式	相对分子质量	相对含量/%		
				果酒专用干酵母SY	酵母1383	酵母1596
醛、酮类物质						
43	乙缩醛	C ₄ H ₁₀ O ₂	118	0.87		
44	5-甲基-2-己酮	C ₇ H ₁₄ O	114	0.57		
45	桂皮醛	C ₉ H ₈ O	132	1.66		
46	壬醛	C ₉ H ₁₈ O	142	0.04		0.01
47	3-壬酮	C ₉ H ₁₈ O	142	0.02	0.05	0.04
48	苯乙醛二乙缩醛	C ₁₂ H ₁₈ O ₂	194	0.07	0.11	0.11
49	大马士酮	C ₁₃ H ₁₈ O	190	0.46	0.72	1.05
50	1-[5-(3-呋喃基)]-2-戊酮	C ₁₃ H ₁₂ O ₃	250	2.54	3.76	6.92
51	十六醛	C ₁₆ H ₃₂ O	240	0.05		
52	1-[5-(3-呋喃基)]-4-甲基-3-戊烯-2-酮	C ₁₅ H ₂₀ O ₃	248		0.06	0.19
53	4-(2-甲基环己基-1-烯基)-丁-2-烯醛	C ₁₁ H ₁₆ O	164		0.10	
54	2-辛酮	C ₈ H ₁₆ O	128			0.72
烷烃类、烯烃类物质						
55	1,1-二乙氧基-3-甲基丁烷	C ₉ H ₂₀ O ₂	160	0.09	0.10	0.07
56	1-(1-乙氧基)乙氧基戊烷	C ₉ H ₂₀ O ₂	160	0.06		
57	3,7-二甲壬烷	C ₁₁ H ₂₄	156	0.04		
58	十四烷	C ₁₄ H ₃₀	198	0.10		0.09
59	4-环己烷基十三烷	C ₁₉ H ₃₈	266	0.20		
60	十六烷	C ₁₆ H ₃₄	226	0.34	0.66	0.23
61	十七烷	C ₁₇ H ₃₆	240	0.88	0.26	0.66
62	1-癸烯	C ₁₀ H ₁₈	136	0.21	0.09	0.19
63	1-甲基-3-异丙基环己烯	C ₁₀ H ₁₈	138	0.08	0.13	0.21
64	十五烷	C ₁₅ H ₃₂	212	0.27	0.08	
65	二十一烷	C ₂₁ H ₄₄	296	0.32	0.05	
66	2,6,10,14-四甲基十五烷	C ₁₉ H ₄₀	268	0.35	0.27	0.25
67	2,6,10-三甲基十二烷	C ₁₅ H ₃₂	212		0.20	0.21
68	4-环己基十一烷	C ₁₇ H ₃₄	238		0.15	
69	2,6,10-三甲基十五烷	C ₁₉ H ₃₈	254		0.21	0.20
酚、醚类物质						
70	玫瑰醚	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.02		
71	2,6-二叔丁基对甲苯酚	C ₁₅ H ₂₄ O	220	1.98	0.94	1.36
其他类物质						
72	4-甲基-2-(2-甲基-1-丙烯基)-3,6-二氢吡喃	C ₁₀ H ₁₆ O	152	0.09	0.08	0.11
73	2-甲基苯并呋喃	C ₉ H ₈ O	132		7.42	4.70
合计				95.11	94.24	95.29

从表1可以看出,采用HP-SPME和GC-MS技术检测并经过谱库(NIST)进行初步检索,结合相关文献可初步定性3种酵母发酵的紫薯糯米酒酒样中共鉴定出73种香气成分,这些成分主要是醇类11种、酯类29种、醛、酮类12种、酸类2种、烷烃、烯烃类15种、酚、醚类2种以及其他类2种。

在果酒专用干酵母SY酿造的紫薯糯米酒中,共检测出55种香气成分,占总峰面积的95.11%。其中,醇类27.06%、酯类56.63%、酸类0.11%、醛、酮类6.28%以及烷烃、烯烃类2.94%。其主体香气成分为异戊醇、棕榈酸乙酯、亚油酸乙酯、癸酸乙酯、2-辛醇、月桂酸乙酯、油酸乙酯和肉豆蔻酸乙酯,相对含量分别为17.67%、14.83%、7.43%、7.08%、6.34%、5.94%、5.81%和4.75%。

在酿酒酵母1383酿造的紫薯糯米酒中,共检测出54种香气成分,占总峰面积的94.24%。其中,醇类28.75%、酯类50.05%、醛、酮类4.8%以及烷烃、烯烃类2.2%。其主体香气成分为异戊醇、棕榈酸乙酯、亚油酸乙酯、2-甲基苯并呋喃、油酸乙酯、2-辛醇和苯乙醇,相对含量分别为17.84%、14.64%、8.31%、7.42%、6.75%、6.44%和4.12%。

在酿酒酵母1596酿造的紫薯糯米酒中,共检测出55种香气成分,占总峰面积的95.29%。其中,醇类29.74%、酯类48.17%、酸类0.06%、醛、酮类9.04%以及烷烃、烯烃类2.11%。其主体香气成分为异戊醇、棕榈酸乙酯、2-辛醇、1-[5-(3-呋喃基)]-2-戊酮、亚油酸乙酯、油酸乙酯、2-甲基苯并呋喃和癸酸乙酯,相对含量分别为18.63%、12.63%、7.44%、6.92%、6.87%、5.3%、4.7%和4.61%。

2.3 不同酵母发酵的紫薯糯米酒中主要呈香物质分类比较

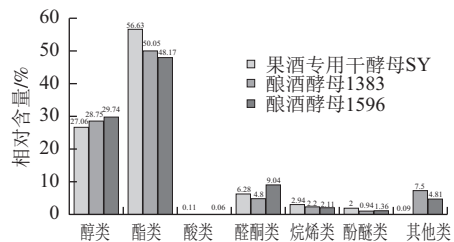


图5 不同酵母发酵的紫薯糯米酒香气成分类型及相对含量

Fig.5 Chemical classes and contents of aroma components in purple sweet potato and rice wine fermented with different yeasts

紫薯糯米酒中种香气成分按化合物结构分为醇类,酯类,酸类,醛、酮类,烷烃,烯烃类,酚、醚类和其他类,各类香气物质的相对含量见图5,可以看出,不同酵母发酵的紫薯糯米酒中,醇类和酯类物质的相对含量较高,这说明在酒中醇类和酯类物质是紫薯糯米酒香气的重要组成成分;3种酒样中,酯类、醛、酮类及其他类物质的相对含量差别较为明显,如果酒专用干酵母SY发酵的酒样中酯类物质的相对含量相比酿酒酵母1383和1596发酵的酒样分别高13.15%和17.56%,而醇类、酸类、烷烃、烯烃类以及酚、醚类等香气成分的相对含量差异较小。

2.3.1 醇类香气物质比较

由表1可知,3种紫薯糯米酒中共检测出醇类物质11种,3种酒共有4种,相同的醇类较少,但是3种酒样中含量较高的醇类组分都是异戊醇、2-辛醇、苯乙醇,说明这3种醇类物质是紫薯糯米酒中的主要物质之一,并且含量最高的都是异戊醇,其中酵母1596发酵的酒样中相对含量最高,达到了18.63%,异戊醇具有苦杏仁和涩味。而从图5可以看出,酿酒酵母1596所发酵的酒样中醇类物质含量最高,这是说明酿酒酵母1596总体产醇能力

要优于其他2种酵母。研究表明,少量的高级醇能够赋予果酒优雅的香气,如苯乙醇具有诱人的茉莉花香和玫瑰香,给人以柔和愉悦的感觉^[22],同时这些物质又是其他香气物质的良好溶剂;芳香醇类由于阈值一般很低,所以其香气值(浓度/阈值)很高,对总体香气的形成有不可忽视的作用^[23]。

2.3.2 酯类香气物质比较

由表1和图5可知,3种紫薯糯米酒中共检测出酯类物质29种,3种酒共有22种,3种酵母中,果酒专用干酵母SY发酵的紫薯糯米酒中酯类组分相对含量最高,达到了56.63%,酿酒酵母1383次之,酿酒酵母1596最低,说明果酒专用干酵母SY总体产能能力要优于另外2种酵母。相对含量较高的几种酯类物质如棕榈酸乙酯、亚油酸乙酯、癸酸乙酯、油酸乙酯、月桂酸乙酯和辛酸乙酯为3种酒样所共有,但其相对含量差异较大,如果酒专用干酵母SY发酵酒样中月桂酸乙酯的相对含量远高于其他2种酵母发酵的酒样。大多数酯类具有花、果香气^[24],对丰富紫薯糯米酒的香气质量贡献较大,如辛酸乙酯具有令人愉快的花果香气、杏子香气;癸酸乙酯具有葡萄的香气;棕榈酸乙酯呈微弱果香和奶油香气等。

2.3.3 酸类香气物质比较

由图5可以看出,酸类物质相对含量将醇类和酯类相比明显较少,只有果酒专用干酵母SY和酵母1596发酵的紫薯糯米酒中检测出了酸类,各1种,分别是月桂酸和壬酸,相对含量分别为0.11%和0.06%,而酵母1383发酵的酒中未检测出酸类。虽然3种酒样中含量较少,甚至酿酒酵母1383发酵的酒中未检测到,但酸类物质对紫薯糯米酒感官质量也有积极的贡献,如月桂酸具有月桂油香。

2.3.4 醛、酮类香气物质比较

3种酒样中共检测出醛、酮类物质12种,3种酒共有的有4种,3种酒样中含量较高的醛、酮类物质都是1-[5-(3-呋喃基)]-2-戊酮,其相对含量分别为2.54%、3.76%、6.92%,果酒专用干酵母SY发酵的酒样中特有的桂皮醛相对含量也较高,酵母1383所发酵的酒样中大马士酮相对含量也远高于其他2种酒样。紫薯糯米酒中醛、酮类物质的存在对其香气有一定的贡献,如桂皮醛具有特殊的肉桂芳香气味,大马士酮具有类似玫瑰的香气,果酒专用活性干酵母SY发酵酒中的壬醛具有玫瑰样的花香。

2.3.5 烷烃、烯烃类香气物质比较

由表1可以看出,3种酵母发酵的紫薯糯米酒中检测出的烷烃、烯烃类物质虽然种类较多,分别为12、11、9种,但是其相对含量较少,分别为2.94%、2.2%、2.11%,并且各种物质相对含量差别不大,故其对不同酵母发酵的紫薯糯米酒香气影响较小。

2.3.6 其他类香气物质比较

在3种紫薯糯米酒种还检测出2种酚、醚类,2种其

他类物质。在酵母1383和酵母1596发酵的酒样中都检测出了2-甲基苯并呋喃,且其相对含量较高,而果酒专用干酵母SY发酵的酒样中未检出。其他的一些香气成分相对含量较低,但有些物质也具有一些特殊的香气,对紫薯糯米酒有一定的贡献,如果酒专用干酵母SY发酵酒样中检测出的玫瑰醚具有清甜的花香气息。

3 结 论

采用HS-SPME法与GC-MS联用技术分析不同酵母发酵的紫薯糯米酒的香气成分,3种酵母发酵的酒样中共检测出香气成分73种,其中在果酒专用干酵母SY、酿酒酵母1383和酿酒酵母1596发酵的紫薯糯米酒中共检测出香气成分55、54、55种,3种酒样中共有香气成分38种,用色谱峰面积归一化定量计算出各香气成分在3种酒样中的相对含量。由分析可知,3种酒样香气的差异主要表现在香气成分组成和相对含量上;各个酒样中主体香气成分中有5种相同,分别为异戊醇、棕榈酸乙酯、亚油酸乙酯、2-辛醇和油酸乙酯,对应的相对含量果酒专用干酵母SY为17.67%、14.83%、7.43%、6.34%和5.81%,酿酒酵母1383为17.84%、14.64%、8.31%、6.44%和6.75%,酿酒酵母1596为18.63%、12.63%、6.87%、7.44%、5.3%,主体香气成分大部分相同说明三者使用相同原料酿造的酒在香气成分组成上的一致性,而其相对含量以及各酒样特有香气成分的差异又说明紫薯糯米酒发酵时酵母的不同对其香气的形成具有重要作用;由于紫薯糯米酒的各种香气成分的含量、感觉阈值以及相互作用共同决定其最终的香气特征,特征组分的鉴定还需要人体嗅觉感官分析的参与或相关技术如气相色谱-嗅觉测量技术才能够完成。

参考文献:

- [1] 林晓岚,陈惠芳,陈麒麟.紫甘薯淀粉提取工艺优化[J].福建农林大学学报:自然科学版,2003,32(4):527-530.
- [2] 陈杰,李进伟,张连富.紫甘薯色素的提取及稳定性研究[J].食品科学,2011,32(18):154-158.
- [3] TERAHARA N, KONCZAK I, ONO H, et al. Characterization of acylated anthocyanins in callus induced from storage root of purple-fleshed sweet potato, *Ipomoea batatas* L.[J]. Journal of Biomedicine and Biotechnology, 2004, 2004(5): 279-286.
- [4] CLIFFORD M N. Anthocyanins: nature, occurrence and dietary burden[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2000, 80(7): 1063-1072.
- [5] LANDRAULT N, POUCHERET P, RAVEL P, et al. Antioxidant capacities and phenolics levels of French wines from different varieties and vintages[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2001, 49(7): 3341-3348.
- [6] 王关林,岳静,苏冬霞,等.甘薯花青苷花色苷的抗氧化活性及抗肿瘤作用研究[J].营养学报,2006,28(1):71-74.
- [7] WANG H, NAIR M G, STRASBURG G M, et al. Antioxidant

- and antiinflammatory activities of anthocyanins and their aglycon, cyaniding, from tart cherries[J]. Journal of Natural Product, 1999, 62(5): 294-296.
- [8] 母丽萍, 雷激, 李博, 等. 紫甘薯饮料制备工艺研究[J]. 食品科学, 2012, 33(20): 513-517.
- [9] SUDA I, ISHIKAWA F, HATAKEYAMA M, et al. Intake of purple sweet potato beverage affects on serum hepatic biomarker levels of healthy adult men with borderline hepatitis[J]. European Journal of Clinical Nutrition, 2008, 62(1): 60-67.
- [10] HAN K H, SHIMADA K L, SEKIKAWA M, et al. Anthocyanin-rich red potato flakes affect serum lipid peroxidation and hepatic SOD mRNA level in rats[J]. Bioscience, Biotechnology and Biochemistry, 2007, 71(5): 1356-1359.
- [11] CHOI J H, HWANG Y P, PARK B H, et al. Anthocyanins isolated from the purple-fleshed sweet potato attenuate the proliferation of hepatic stellate cells by blocking the PDGF receptor[J]. Environmental Toxicology and Pharmacology, 2011, 31(1): 212-219.
- [12] 沈昌. 优良果酒酵母筛选与紫甘薯酒发酵工艺研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2007.
- [13] 孙俊良. 功能性银杏糯米发酵浊酒的研究[J]. 食品科学, 2004, 25(11): 144-146.
- [14] 杨雅利, 阚建全, 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.
- [15] 楚文婧, 滕建文, 夏宁, 等. 紫甘薯酒抗氧化活性的研究[J]. 酿酒科技, 2007(12): 43-46.
- [16] RAMESH C R, SANDEEP K P, MANAS R S, et al. Proximate composition and sensory evaluation of anthocyanin-rich purple sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) wine[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2012, 47(3): 452-458.
- [17] 张村雪, 朱渭兵, 李志西, 等. 紫甘薯醋及其不同发酵阶段产物的抗氧化活性[J]. 食品科学, 2013, 34(11): 88-93.
- [18] RAPISARDA P, FALLICO B, IZZO R, et al. A simple and reliable method for determining anthocyanins in blood orange juices[J]. Agrochimica, 1994, 38(1/2): 157-164.
- [19] 全国食品工业标准化技术委员会酿酒分技术委员会. 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, 2008.
- [20] 李锐, 冯奎, 吴婧. 不同来源酿酒酵母对柑橘果酒香气成分的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(17): 206-213.
- [21] 邓开野, 黄小红, 白卫东. 贮藏条件对荔枝酒香气成分的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(12): 304-307.
- [22] 李景明, 于静, 吴继红, 等. 不同酵母发酵的赤霞珠干红葡萄酒香气成分研究[J]. 食品科学, 2009, 30(2): 185-189.
- [23] 杨雅利, 沈海亮, 阚建全. 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.
- [24] 姜文广, 李记明, 徐岩, 等. 4 种酿酒红葡萄果实的挥发性香气成分分析[J]. 食品科学, 2011, 32(6): 225-229.