

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.09.003

不同酒花葡萄酒香气主成分分析及聚类分析

Principal component and cluster analyses of volatile components in different hops wines

段丽丽 戢得蓉 周凌洁 杨晓仪 唐菊莲

DUAN Li-li JI De-rong ZHOU Ling-jie YANG Xiao-yi TANG Ju-lian

(四川旅游学院, 四川 成都 610100)

(Sichuan Tourism College, Chengdu, Sichuan 610100, China)

摘要:采用顶空固相微萃取(HS-SPME)结合气相色谱—质谱联用(GC-MS)对添加哈拉道、捷克萨兹、卡斯卡特、西姆科 4 种酒花酿造的葡萄酒的香气成分进行检测,比较 4 种酒花葡萄酒的香气成分相似处及不同点。结果表明:添加卡斯卡特、捷克萨兹、西姆科 3 种酒花的葡萄酒挥发性成分种类增加。主成分分析结果显示,卡斯卡特、哈拉道、西姆科酒样存在着相同的特征香气成分,香气类似。聚类分析将不同的酒花葡萄酒样品聚为两组,一组为哈拉道、卡斯卡特、西姆科,另一组为捷克萨兹,与主成分分析结果一致。两种分析方法能较好区分出加入不同种类的酒花葡萄酒。

关键词:酒花;葡萄酒;香气成分;顶空固相微萃取;气相色谱—质谱联用;主成分分析;聚类分析

Abstract: In order to study the difference between four different varieties of hops wine, the aroma components of four hops (HLA, JKA, KSKTA and XMA) wine were detected by headspace solid-phase micro extraction (HS-SPME) combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results showed that the species of aroma volatile substances in hop wine was increased by adding KSKTA, JKA and XMA. Different hops increase different aroma components. The results of PCA showed that HLA, KSKTA and XMA had the same characteristic aroma substances. The hops wine was clustered into two groups by clustering analysis. In the first group, there were HLA, KSKTA and

XMA, while JKA was clustered in the second group. The conclusion was consistent with the result of principal component analysis. The two analysis methods could distinguish the different hops wine and provide theoretical basis for brewing hops wine.

Keywords: hops; wine; aroma flavor; headspace-solidphase microextraction; gas chromatography-mass spectrometry; principal component analysis; cluster analysis

酒花为大麻科葎草属多年生蔓性草本植物,主要分布在新疆、四川等地^[1-2]。酒花是啤酒酿造中重要的原料之一,能赋予啤酒清新的苦味和独特的芳香^[3-4]。近年来,对酒花应用的研究主要集中在啤酒^[5-6]、面包^[7-8]、饮料^[9-10]和口香糖^[11]等领域,还未见关于酒花在葡萄酒中应用的相关报道。

顶空固相微萃取(headspace solid-phase micro extraction, HS-SPME)是一种能较真实反映样品挥发性成分基本组成的提取技术,相比静态顶空法具有快捷灵敏、样品用量少、选择性与重复性好等特点^[12-13]。目前,顶空固相微萃取结合气质联用技术已普遍用于葡萄酒香气成分的研究中,如:陈明等^[14]使用 HS-SPME 对样品香气化合物进行萃取,然后用 GC-MS 对比分析了蛇龙珠葡萄酒在发酵前后的香气化合物变化;刘琨毅等^[15]采用顶空固相微萃取—气质联用技术对川南地区的不同品种葡萄的柑橘—葡萄酒香气化合物进行了检测,通过比较分析筛选出了夏黑葡萄最适于柑橘—葡萄酒的酿造;冷慧娟等^[16]采用 HS-SPME 结合 GC-MS 技术对经超声波不同时间处理后的赤霞珠葡萄酒香气成分进行了剖析,发现处理后样品中苯乙醇和乙酸乙酯等酯类的相对含量增加。

试验拟以玫瑰香葡萄为原料酿造葡萄酒,并将 4 种不同酒花(哈拉道、捷克萨兹、卡斯卡特、西姆科)运用到葡

基金项目:四川省川菜发展研究中心资助项目(编号:CC18Z12);四川省教育厅自然科学基金项目(编号:16ZB0345);四川省大学生创新创业训练项目(编号:201811552098);四川旅游学院校级大学生创新创业项目(编号:2018XKZ30)

作者简介:段丽丽(1980—),女,四川旅游学院副教授,博士。
E-mail: 12289484@qq.com

收稿日期:2019-05-01

葡萄酒的酿造中,采用 HS-SPME 技术提取酒花葡萄酒中的香气成分,用 GC-MS 检测不同种类酒花葡萄酒挥发性香气成分的变化,并通过主成分分析(principal component analysis, PCA)和聚类分析(clusteranalysis, CA)剖析不同种类酒花对玫瑰香葡萄酒挥发性香气成分的影响,旨在为衍生酒花应用产业链提供新思路 and 科学依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

酒花:哈拉道(HLA)、捷克萨兹(JKA)、卡斯卡特(KSKTA)、西姆科(XMA),河南省帕洛丁贸易有限公司;

葡萄:玫瑰香,成都金满堂农业开发有限公司;

葡萄酒—果酒专用酵母 RW;湖北安琪生物技术有限公司。

1.2 仪器与设备

75 μm 手动萃取头:CAR/PDMS 型,上海箬仪化工材料有限公司;

GC-MS 联用仪:SQ680 型,美国铂金埃尔默股份有限公司;

电磁炉:WK2102 型,美的集团有限公司;

粉碎机:MY-50 型,广州市市场鹰医疗器械有限公司;

数显恒温水浴锅:HH-1 型,常州智博瑞仪器制造有限公司;

专用磁力加热搅拌装置:PC-420D 型,湖南力辰仪器科技有限公司;

电子天平:FALLC4N 型,常州市衡正电子仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 酒花葡萄酒的工艺流程

酒花→煮沸→冷却→过滤

↓

葡萄清洗→破碎→发酵瓶→接入酵母→前发酵→除糟→后发酵→澄清→过滤→装瓶

分选新鲜、无腐烂、无病虫害且成熟度好的玫瑰香葡萄,4 种酒花溶液添加浓度均为 1.3 g/L,以不添加酒花的葡萄酒为对照组(KB)。详细酿造方法见文献[17]。

1.3.2 酒花葡萄酒香气成分的提取 采用 HS-SPME 法。根据文献[18],修改如下:准确吸取 4 mL 不同酒花葡萄酒的酒样,置于 15 mL 固相微萃取样品瓶中,加入 0.5 g NaCl 以促进香气成分挥发,加盖密封,于 40 $^{\circ}\text{C}$ 水浴中平衡 10 min,将已活化的萃取头插入样品瓶上,萃取吸附 40 min 后拔出。当样品萃取平衡后,缩回纤维头,吸附后的萃取针头迅速插入气相色谱进样口,推出纤维头于 230 $^{\circ}\text{C}$ 解吸 5 min,GC-MS 分析。

1.3.3 酒花葡萄酒的香气成分分析

(1) GC 条件:载气为 He;流速 0.97 mL/min;不分

流;升温程序为 40 $^{\circ}\text{C}$ 保持 5 min,以 6 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 230 $^{\circ}\text{C}$ 并保持 6 min。

(2) MS 条件:离子 EI 源;离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$;扫描范围(m/z) 30.00 ~ 500.00;离子能量 70 eV;灯丝流量 0.2 mA;接口温度 250 $^{\circ}\text{C}$ 。

1.4 分析方法

1.4.1 主成分分析 参照文献[19—20]对添加不同种类的酒花葡萄酒,采用 HS-SPME 法提取香气成分,再进行 GC-MS 分析。利用 SPSS 21.0 对不同酒样的香气成分进行主成分分析,以相对含量为响应变量对不同酒花的葡萄酒香气成分进行主成分分析,其中变量为 5(酒样) \times 30(香气成分)。通过主成分分析降维选取特征值 >1 的成分为主成分,并且得出载荷图和不同酒花葡萄酒的酒样得分图,分析不同种类的酒花对葡萄酒香气成分的影响。

1.4.2 聚类分析 参照文献[21],将 5 种酒样经 GC-MS 分析得出香气成分导入 SPSS 21.0 数据处理软件,利用组间连接法,以欧氏距离的平方为度量标准,对 4 种不同种类的酒花葡萄酒的香气成分的相似性进行系统聚类分析。

1.5 数据统计与分析

对采集到的香气成分质谱图通过计算机检索^[22—23],与 NIST 和 Wiley 谱库提供的标准质谱图对照以及人工解析进行确认,正反匹配度 >80 (最大值为 100)的作为鉴定结果,兼顾保留时间等参数对部分组分进一步分析,采用峰面积归一法定量,并用 Excel 2010、SPSS 21.0 分析数据并制图。

2 结果与分析

2.1 4 种酒花葡萄酒的香气成分

由图 1 可知,添加了 4 种酒花葡萄酒香气成分的保留时间主要集中在 20~30 min,KB 葡萄酒的主要集中在 10~20 min,说明添加酒花葡萄酒香气成分的结构与 KB 葡萄酒的不同,而添加 4 种酒花葡萄酒的香气成分的结构较为相似,但也存在差异。物质的结构、官能团不同,表现出的香气类型及阈值也不同^[24],因此不同酒花葡萄酒表现出了不同的香气特点。

由表 1 可看出,在 KB 酒样中检测到 16 种挥发性香气成分。添加 KSKTA、JKA、XMA、HLA 4 种酒花的酒样分别检出香气成分 20,17,16,14 种。说明 KSKTA、JKA、XMA 3 种酒花的添加能使葡萄酒的香气成分种类增加。而不同酒花增加的香气成分又各不相同,丁酸-2-甲基丁酯仅在 HLA 酒样中检测到,丁酸甲酯、醋酸乙酯、正辛醇、橙花醇仅在 KSKTA 酒样中检测到,由于橙花醇是酒花中重要的香气成分之一^[25],说明 KSKTA 酒花的特征香气成分在葡萄酒中得以保留,其他酒花葡萄酒中未检出该物质,可能是发生了化学转化。 β -金合欢

表 1 不同酒花葡萄酒挥发性成分分析结果[†]

Table 1 Result of different hops wine volatile components

化合物名称	保留时间/min	相对含量/%					香气描述
		KB	HLA	KSKTA	XMA	JKA	
乙酸戊酯	8.31	—	0.80	1.32	2.12	—	菠萝香、清香
丁酸-2-甲基丁酯	8.34	—	1.23	—	—	—	
丙酸正丙酯	13.01	—	—	0.65	0.28	—	甜香果、苹果香
丁酸甲酯	13.33	—	—	1.00	—	—	苹果香
丙酸异戊酯	13.28	1.23	—	—	—	—	杏仁、菠萝的苦甜香
丁酸乙酯	13.34	—	—	—	0.31	0.61	菠萝、香蕉、苹果香
乙酸异戊酯	15.85	0.89	3.24	2.11	2.94	3.11	香蕉气味
正己酸乙酯	19.68	0.36	1.25	1.14	1.26	0.98	草莓、青苹果
丁二酸二乙酯	24.77	0.56	1.70	1.95	1.41	1.53	水果香
辛酸乙酯	25.25	2.40	2.93	2.96	2.95	1.77	果香、茴香
乙酸苯乙酯	27.05	0.12	0.53	1.20	0.67	0.60	舒适花香
醋酸乙烯酯	19.38	—	—	0.02	—	—	
新戊醇	20.60	—	—	—	—	0.02	
1-戊醇	11.43	45.69	24.96	27.71	23.66	15.29	辛辣、青草香
4-甲基-1-戊醇	15.63	—	—	—	—	0.73	
正己醇	15.69	0.23	0.22	0.27	0.20	—	苦杏仁味
正辛醇	21.85	—	—	0.10	—	0.16	
芳樟醇	22.78	4.79	14.88	12.71	11.93	12.49	花香、麝香
苯乙醇	23.38	3.75	13.03	12.86	10.71	10.49	玫瑰、花粉香
α -松油醇	25.68	0.79	2.94	3.33	2.02	2.22	樟脑味、辛辣味
香茅醇	26.18	2.00	12.75	11.63	9.38	7.98	玫瑰香
橙花醇	26.78	—	—	1.37	—	—	蔷薇花香
2,3-己二醇	37.82	0.03	—	0.05	0.04	0.03	
β -甲基乙酰丙酸	8.24	—	—	—	—	0.93	
4-羟基-2-丁酮	8.24	2.88	—	—	—	—	
5-甲基-4-庚烯-3-酮	36.86	—	0.11	—	—	—	
二乙二醇丁醚	12.97	2.25	—	—	—	—	
(+)-玫瑰醚	23.08	—	—	0.01	—	0.99	清甜花香
萜烯	27.24	0.11	—	0.50	—	—	松木样气味
β -金合欢烯	26.80	—	—	—	0.68	—	

† “—”表示未检出。

烯仅在 XMA 酒样中检出,新戊醇、 β -甲基乙酰丙酸仅在 JKA 酒样中检出。香气成分的共性与个性共同构成了风味的相似性与典型性^[26]。综上可知,通过酒花的添加能使葡萄酒产生其他的香气成分,香气成分种类随酒花不同而有差异。

贡献酒花香气最重要的物质——里那醇和香叶醇^[27],虽然在 4 种酒花葡萄酒中均未检测出,但两者的转化产物 α -松油醇和香茅醇在 4 种酒样中的相对含量均明显增加,可能是发酵过程中产生的酸和酶使得酒花原有

的挥发性成分发生了化学转换^[28]。说明这两种酒花本身的特征香气成分对葡萄酒的香气贡献影响较明显,但最终呈现的香气特性还需要结合相关阈值进行进一步分析。

醇类是酵母在酒精发酵过程中利用氨基酸或糖代谢产生的次级产物,构成酒类的主体香气成分^[29]。适宜的醇类物质浓度可将酯类物质香气凸显出来,使得香气更为协调。由图 2 可知,酒花的加入会减少葡萄酒的醇类物质,其具体原因有待进一步研究。HLA、KSKTA、

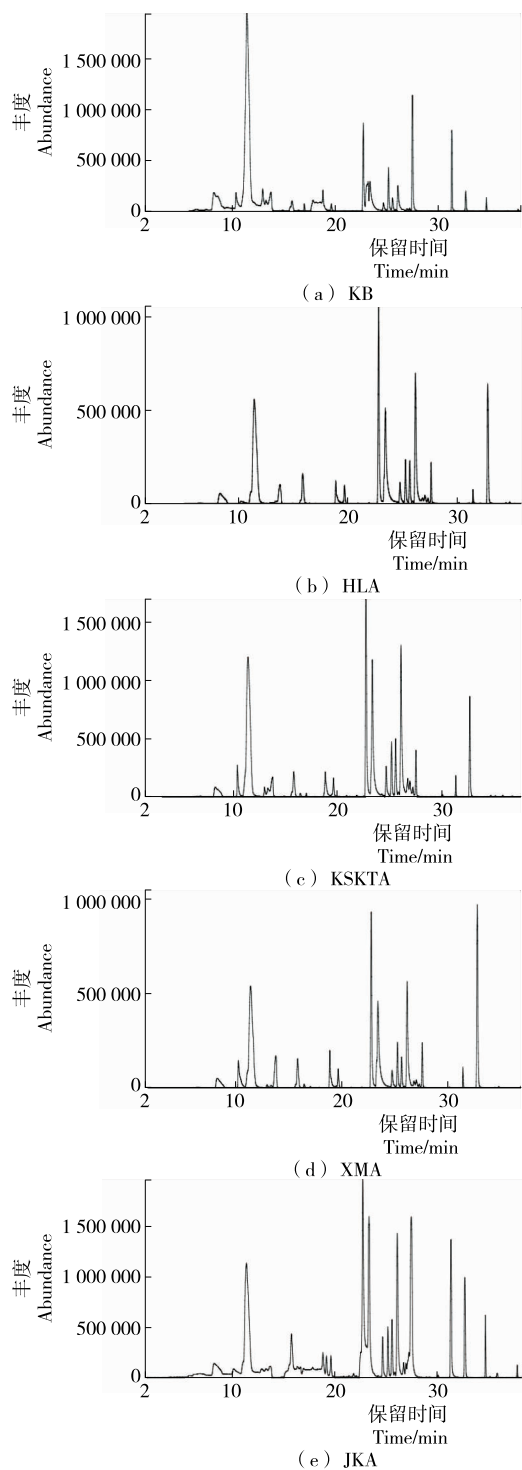


图 1 5 种酒样挥发性成分的总离子流流程图
Figure 1 Total ion current chromatogram of volatiles in five hops wine

XMA、JKA 4 种酒样醇类物质的相对含量分别为 41.15%、44.27%、36.59%、28.91%，共有醇类物质有 1-戊醇、苯乙醇、 α -松油醇。少量醇类能够赋予果酒优雅的香气，如苯乙醇具有玫瑰和花粉的香味，是酒样主体香气成

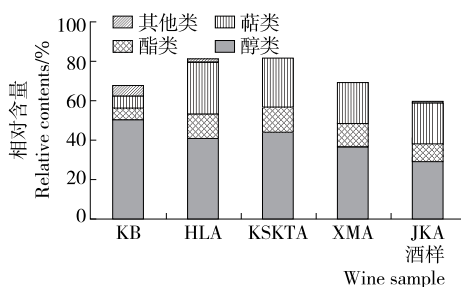


图 2 不同酒花葡萄酒香气分类相对含量比较
Figure 2 Comparison of aroma components contents of different hops wines

分之一。

酯类赋予葡萄酒浓郁的果香^[30]，对酒的主体香型及风格影响极大^[31]。由图 2 可知，与 KB 酒样相比，4 种添加酒花酒样的酯类物质含量明显增加，说明酒花的加入能丰富葡萄酒中的酯类物质。HLA、KSKTA、XMA、JKA 4 种酒样酯类物质的相对含量分别为 11.68%、12.35%、11.94%、8.60%。XMA、KSKTA、HLA 3 种酒样中存在 6 种共有的酯类物质，其中乙酸戊酯赋予葡萄酒菠萝清香、乙酸异戊酯赋予葡萄酒香蕉气味，6 种酯类物质共同构成 XMA、KSKTA、HLA 3 种酒样的典型香味。

萜烯类化合物由微生物通过二磷酸异戊烯生物合成途径合成^[32]，通常具有果香、花香、树叶、木头、种子以及根茎等气味^[33]。由图 2 可知，相较于空白组，萜类成分的相对含量在加入酒花的样品中得到了明显的提升。HLA、KSKTA、XMA、JKA 4 种酒花葡萄酒样品的萜类物质相对含量分别为 27.63%、26.22%、21.99%、21.46%。酒花的主要香气来自于萜类^[34-35]，加入酒花后的葡萄酒萜类物质含量明显增加，说明酒花葡萄酒样品增加的萜类物质可能来自于酒花本身。而添加不同酒花的酒样检测出的萜类物质也不完全相同，橙花醇只在 KSKTA 酒样中检出，赋予葡萄酒蔷薇花香；(+)-玫瑰醚仅在 KSKTA 和 JKA 酒样中检出，且在这两种酒样中的含量存在显著差异 ($P < 0.05$)，赋予葡萄酒清甜花香。

2.2 主成分分析

根据香气成分检测分析得出 30 个香气成分指标，使用数据分析软件 SPSS 21.0 对其进行主成分提取，最终结果见表 2，主成分载荷矩阵见表 3。由表 2 可知，共提出 4 个主成分，累计贡献率为 100.000%，其中 40.242% 的贡献率是主成分 1 的，30.626% 的贡献率是主成分 2 的，故前两个主成分可以解释 70.868% 的总方差。

如图 3 所示，5 种葡萄酒样品具有明显的区域分布特征，HLA、KSKTA、XMA 3 种酒样较为靠近，其特征香气成分为乙酸戊酯、丁酸-2-甲基丁酯、丙酸正丙酯、丁酸甲酯、正己酸乙酯、辛酸乙酯、乙酸苯乙酯、醋酸乙烯酯、芳

樟醇、苯乙醇、 α -松油醇、香茅醇、橙花醇、 β -金合欢烯,这些成分具有水果香、菠萝香、草莓香、花香、玫瑰香、辛辣味、蔷薇花香等香气;JKA酒样的特征香气成分为丁酸乙

表 2 提取 4 个主成分的方差解释

Table 2 Cumulative variance contribution rates of 4 principal factors

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	12.073	40.242	40.242
2	9.188	30.626	70.868
3	5.855	19.516	90.384
4	2.885	9.616	100.000

表 3 主成分载荷矩阵

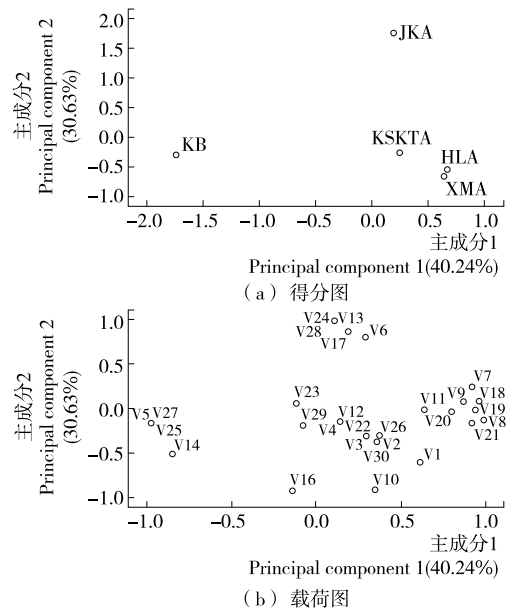
Table 3 Principal component load matrix

化合物名称	主成分			
	1	2	3	4
丁二酸二乙酯	0.987			0.153
苯乙醇	0.981		-0.167	
丙酸异戊酯	-0.954	0.249	0.107	0.124
4-羟基-2-丁酮	-0.954	0.249	0.107	0.124
二乙二醇丁醚	-0.954	0.249	0.107	0.124
α -松油醇	0.949	0.120		0.292
香茅醇	0.947		-0.282	0.123
正己酸乙酯	0.929		-0.304	-0.208
芳樟醇	0.928	-0.203	-0.298	
乙酸苯乙酯	0.873	0.244	0.422	
1-戊醇	-0.768	0.623		0.141
乙酸异戊酯	0.739	-0.505	-0.425	-0.133
正己醇		0.988	-0.148	
新戊醇		-0.938	0.326	
4-甲基-1-戊醇		-0.938	0.326	
β -甲基乙酰丙酸		-0.938	0.326	
(+)-玫瑰醚		-0.934	0.333	0.102
丁酸乙酯	0.136	-0.887	0.212	-0.387
辛酸乙酯	0.382	0.834	-0.361	-0.166
丙酸正丙酯	0.574	0.596	0.535	-0.173
2,3-己二醇		0.250	0.842	-0.467
丁酸-2-甲基丁酯	0.245		-0.833	0.493
5-甲基-4-庚烯-3-酮	0.245		-0.833	0.493
正辛醇	0.369	-0.575	0.689	0.242
萹烯	0.305	0.619	0.667	0.279
醋酸乙烯酯	0.506	0.545	0.623	0.243
橙花醇	0.506	0.545	0.623	0.243
丁酸甲酯	0.506	0.545	0.623	0.243
β -金合欢烯	0.137		-0.223	-0.960
乙酸戊酯	0.570	0.475	-0.157	-0.652

酯、新戊醇、4-甲基-1-戊醇、正辛醇、 β -甲基乙酰丙酸、(+)-玫瑰醚,这些成分具有香蕉、苹果、柑橘、橙皮、花香等香气;KB酒样的特征香气成分为丙酸异戊酯、1-戊醇、4-羟基-2-丁酮、二乙二醇丁醚,这些成分具有杏仁、菠萝、青草、苦杏仁、樱桃、坚果香等香气。沿着 PC1 方向,KB 酒样与 4 种酒花酒样相距较远,即添加了酒花的酒样与空白对照香气成分差异较大;沿着 PC2 方向,JKA 酒样与 HLA、KSKTA、XMA 3 种酒样相距较远,推断 JKA 酒样与三者差异较大,而 HLA、KSKTA、XMA 3 种酒样的香气相似。

2.3 聚类分析

聚类方法为组间联接^[36],相似的被聚为一组,分析结果见图 4。由图 4 可知,当间距为 25 时,5 个酒样被聚成两类。第 1 类为添加了酒花的 4 个酒样,说明 4 种酒花葡萄酒在香气成分含量上具有相似性。第 2 类为 KB 酒样,说明添加了酒花的葡萄酒在香气上与空白对照组存在不同。当间距为 5 时,5 个酒样中 HLA、XMA、KSKTA 3 种酒样被聚在一起,说明三者香气种类及含量类似,该结果与主成分分析保持一致。



V1~V30. 乙酸戊酯、丁酸-2-甲基丁酯、丙酸正丙酯、丁酸甲酯、丙酸异戊酯、丁酸乙酯、乙酸异戊酯、正己酸乙酯、丁二酸二乙酯、辛酸乙酯、乙酸苯乙酯、醋酸乙酯、新戊醇、1-戊醇、4-甲基-1-戊醇、正己醇、正辛醇、芳樟醇、苯乙醇、 α -松油醇、香茅醇、橙花醇、2,3-己二醇、 β -甲基乙酰丙酸、4-羟基-2-丁酮、5-甲基-4-庚烯-3-酮、二乙二醇丁醚、(+)-玫瑰醚、萹烯、 β -金合欢烯

图 3 不同酒花葡萄酒中挥发性香气化合物 PCA 图

Figure 3 PCA graphs of aroma compounds in different hops wine

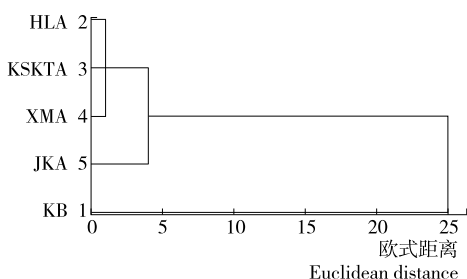


图 4 聚类分析谱系图

Figure 4 Dendrogram of HCA (hierarchical cluster analysis)

3 结论

利用 HS-SPME 结合 GC-MS 对添加 4 种不同酒花的葡萄酒的挥发性成分进行了定性定量分析。结果表明 KSKTA、JKA、XMA 3 种酒花加到葡萄酒中,能使葡萄酒产生更多的挥发性香气成分,HLA 酒花的加入使得葡萄酒挥发性成分种类减少。其中 HLA、KSKTA、XMA 3 种酒样的香气存在相似性。

在葡萄酒中添加这 4 种酒花,葡萄酒香气成分种类发生了一定变化,且特征香气成分也因酒花的不同而异。鉴于葡萄酒的主体香气还受香气成分自身阈值的影响,因此在葡萄酒中加入酒花后对其主体香气的影响还需进一步研究。

参考文献

[1] 郭彦伟, 聂聪, 关雪芹, 等. 三个国家 Cascade 酒花香气对比分析[J]. 中国酿造, 2019, 38(1): 89-93.

[2] 王娟, 李娟, 夏艳秋, 等. 酒花浸膏关键性香气成分分析[J]. 食品科学, 2019, 40(8): 155-161.

[3] 李雪, 李爽, 武盈吉, 等. 啤酒花的研究进展[J]. 吉林医药学院学报, 2019, 40(2): 143-145.

[4] NEIENS S D, STEINHAUS M. Odor-active compounds in the special flavor hops huell melon and polaris[J]. J Agr Food Chem, 2018, 66(6): 1 452-1 460.

[5] 黄琳, 许忠平, 闫菲, 等. 蜂蜜艾尔精酿啤酒酿造工艺研究[J]. 中国酿造, 2019, 38(3): 134-138.

[6] 黄瑶, 庞林阳, 陶炫宏, 等. 5 种精酿啤酒的比较试验[J]. 酿酒科技, 2018(9): 26-30.

[7] 张守文, 张智武, 侯勇. 酒花野生液体面包酵母发酵特性的研究[J]. 中国粮油学报, 1996(4): 28-32.

[8] 褚洋洋. 俄式面包——大列巴制作工艺的探讨[J]. 食品安全导刊, 2015(8): 66-67.

[9] 牟德华, 李艳, 董志江. 酒花饮料的稳定性研究[J]. 食品科学, 1990(10): 26-28.

[10] 敬思群, 潘杨. 乳酸菌发酵红枣酒花饮料的研究[J]. 食品科技, 2007(1): 156-160.

[11] 李莉, 易醒, 肖小年, 等. 啤酒花口香糖的研制[J]. 江西食

品工业, 2010(1): 43-45.

[12] 顾苑婷, 彭邦远, 丁筑红. 基于 SPME-GC-MS 与 PCA 的不同萃取头萃取刺梨汁香气成分效果比较[J]. 食品与机械, 2019, 35(1): 47-53.

[13] 魏长庆, 周琦, 刘文玉. HS-SPME-GC-MS 分析新疆胡麻油挥发性成分的技术优化[J]. 食品科学, 2017, 38(14): 151-157.

[14] 陈明, 高珊, 王瑞琦, 等. HS-SPME-GC-MS 分析蛇龙珠葡萄酒发酵过程中香气成分变化[J]. 食品工业, 2018, 39(9): 164-166.

[15] 刘琨毅, 王琪, 郑佳, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 剖析三种柑橘—葡萄酒的香气成分[J]. 中国食品添加剂, 2017(12): 72-78.

[16] 冷慧娟, 聂聪, 门颖, 等. 超声波处理对赤霞珠葡萄酒品质的影响[J]. 食品工业, 2014, 35(11): 20-24.

[17] 段丽丽, 武晓影, 汤思忆, 等. 不同酒花对葡萄酒感官品质的影响[J]. 中国酿造, 2019(1): 94-98.

[18] 余欢, 管敬喜, 杨莹, 等. 7 株野生葡萄酒酵母对‘桂葡 3 号’干白葡萄酒香气成分的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(4): 251-258.

[19] SONG Chang-zheng, LIU Mei-ying, MENG Jiang-fei, et al. Influence of foliage sprayed zinc sulfate on grape quality and wine aroma characteristics of Merlot[J]. European Food Research and Technology, 2016, 242(4): 609-623.

[20] 李福香, 明建, 敖森, 等. 柑橘花不同部位香气成分的测定及主成分分析[J]. 食品与机械, 2018, 34(10): 31-34, 85.

[21] 史永刚, 冯新泸, 李子存. 化学计量学[M]. 北京: 中国石化出版社, 2003: 172-175.

[22] 李记明, 贺普超, 刘玲. 优良品种葡萄酒的香气成分研究[J]. 西北农业大学学报, 1998(6): 6-9.

[23] LÓPEZ R, ORTÍN N, PÉREZ-TRUJILLO J P, et al. Impact odorants of different young white wines from the canary islands[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(11): 3 419-3 425.

[24] 孙宝国, 刘玉平. 食用香料手册[M]. 北京: 中国石化出版社, 2004: 21-26.

[25] 王露, 江伟, 刘玉梅, 等. GC-O-MS 法对酒花中香气活性成分的分析[J]. 分析试验室, 2015(6): 640-644.

[26] 全巧玲, 江伟, 王德良, 等. 酒花香气成分的检测及富含典型酒花香气啤酒的试验研究[J]. 啤酒科技, 2013(2): 28-36.

[27] 王辉, 陆健, 张志军. Citra——独一无二的香型酒花新品种[J]. 啤酒科技, 2011(5): 66-70, 73.

[28] 商敬敏, 牟京霞, 刘建民, 等. GC-MS 法分析不同产地酿酒葡萄的香气成分[J]. 食品与机械, 2011, 27(5): 52-57.

[29] 张婷, 陈小伟, 张沙沙, 等. 不同酒曲发酵生产木薯酒香气成分 GC-MS 分析[J]. 食品研究与开发, 2019(2): 125-131.

[30] SWIEGERS J H, PRETORIUS I S. Yeast modulation of wine flavor[J]. Advances in Applied Microbiology, 2005, 57: 131-175.

(下转第 25 页)

- [16] 许青青, 金文彬, 苏宝根, 等. 植物甾醇酯的化学合成及其分离研究进展[J]. 中国粮油学报, 2014(3): 120-128.
- [17] ALEXANDER M, ACERO LOPEZ A, FANG Ying, et al. Incorporation of phytosterols in soy phospholipids nanoliposomes: Encapsulation efficiency and stability [J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 47(2): 427-436.
- [18] WANG Fan-cendy, ACEVEDO N, MARANGONI A G. Encapsulation of phytosterols and phytosterol esters in liposomes made with soy phospholipids by high pressure homogenization[J]. Food & Function, 2017, 8(11): 3 964-3 969.
- [19] MENDEZ N, HERRERA V, ZHANG Ling-zhi, et al. Encapsulation of adenovirus serotype 5 in anionic lecithin liposomes using a bead-based immunoprecipitation technique enhances transfection efficiency[J]. Biomaterials, 2014, 35(35): 9 554-9 561.
- [20] ZAJICEK J, PEARLMAN J D, MERICKEL M B, et al. High-resolution proton NMR spectra of human arterial plaque[J]. Biochemical & Biophysical Research Communications, 1987, 149(2): 437-442.
- [21] SALMON A, HAMILTON J A. Magic-angle spinning and solution ¹³C nuclear magnetic resonance studies of medium- and long-chain cholesteryl esters in model bilayers[J]. Biochemistry, 1995, 34(49): 16 065-16 073.
- [22] 杨贝贝. 甾醇对卵磷脂脂质体性质的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2013: 12-13.
- [23] KADDAH S, KHREICH N, KADDAH F, et al. Cholesterol modulates the liposome membrane fluidity and permeability for a hydrophilic molecule[J]. Food and Chemical Toxicology: An International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association, 2018, 113: 40-48.
- [24] MOSCA M, CEGLIE A, AMBROSONE L. Effect of membrane composition on lipid oxidation in liposomes[J]. Chem Phys Lipids, 2011, 164(2): 158-165.
- [25] 杨斌, 刘新铭, 宫泽阳夫, 等. 胆固醇衍生物脂质体的物理稳定性和细胞相容性研究[J]. 现代生物医学进展, 2013, 13(30): 5 801-5 805.
- [26] MAR N D, ALEM N A, MONTERO P, et al. Encapsulation of food waste compounds in soy phosphatidylcholine liposomes: Effect of freeze-drying, storage stability and functional aptitude [J]. Journal of Food Engineering, 2018, 223: 132-143.
- [27] AZAMBUJA C R L D, SANTOS L G D, RODRIGUES M R, et al. Physico-chemical characterization of asolectin-genistein liposomal system: An approach to analyze its in vitro antioxidant potential and effect in glioma cells viability[J]. Chemistry & Physics of Lipids, 2015, 193: 24-35.
- [28] 丁武孝, 齐宪荣, 陈玉武, 等. 琥珀酸胆固醇酯作为脂质体膜稳定剂的研究及其在制备柴胡皂苷-D 脂质体中的应用[J]. 药学报, 2005, 40(7): 623-627.
- [29] 张继芬, 唐勤, 莫婷, 等. 姜黄素磷脂载体的表征及肠吸收研究[J]. 中国药学杂志, 2012, 47(21): 1 736-1 740.
- [30] PINILLA C M B, THYS R C S, BRANDELLI A. Antifungal properties of phosphatidylcholine-oleic acid liposomes encapsulating garlic against environmental fungal in wheat bread [J]. International Journal of Food Microbiology, 2019, 293: 72-78.
- [31] LEE H, CHANG J H. Spherical silica hybrid liposome particles with controlled release of citrus unshiu peel extracts[J]. Materials Chemistry and Physics, 2018, 208: 183-188.

(上接第 14 页)

- [31] KANG Ming-li, PAN Si-yi, FAN Gang, et al. Changes in volatile compounds in satsuma mandarin wine with different fermentation periods[J]. Food Science, 2015, 36(18): 155-161.
- [32] GLENDINNING J I, CHAUDHARI N, KINNAMON S C. Taste transduction and molecular biology[J]. The Neurobiology of Taste and Smell, 2000, 2: 315-351.
- [33] 谢春梅, 焦红茹, 曹芳玲. 宁夏青铜峡小产区不同品种干红葡萄酒的香气成分分析[J]. 中国酿造, 2018, 37(1): 170-176.
- [34] 王露, 高智明, 刘玉梅, 等. 酒花中萜烯醇类化合物的研究进展[J]. 中国酿造, 2013, 32(11): 1-6.
- [35] KISHIMOTO T, WANIKAWA A, KAGAMI N, et al. Analysis of hop-derived terpenoids in beer and evaluation of their behavior using the stir bar-sorptive extraction method with GC-MS [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2005, 53(12): 4 701-4 707.
- [36] 张薇薇, 张秀玲. 基于主成分分析和聚类分析的苹果香气成分比较及品种分类研究[J]. 食品工业科技, 2018(17): 217-224.

(上接第 19 页)

- [13] 张敬敬, 李冰, 高秀瑞, 等. 河北省不同厚皮甜瓜品种的品质测定与综合评价[J]. 黑龙江农业科学, 2018(4): 116-118.
- [14] 王成, 吴东峰, 何伟忠, 等. 新疆骏枣营养品质特点及其表征指标初探[J]. 中国农业科技导报, 2018, 20(12): 91-98.
- [15] 管学玉. 网纹甜瓜品质形成特点的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006: 2-3.
- [16] 刘润秋, 张红梅, 徐敬华. 砧木对嫁接西瓜生长及品质的影响[J]. 上海交通大学学报: 农业科学版, 2003(4): 2-6.
- [17] 张银欢, 耿新丽, 郑贺云, 等. 甜瓜果实品质构成及其影响因素[J]. 现代农业科技, 2018(10): 94-95.
- [18] 张先亮, 刘恩虹, 霍治邦, 等. 西瓜口感的研究方法探讨[J]. 农业科技通讯, 2018(8): 224-228.