

金门高粱酒的风味及挥发性成分分析

张婷¹, 倪辉^{1,2,3}, 李婷¹, 张良桢¹, 黄高凌^{1,2,3}, 李清彪^{1,2,3}

(1. 集美大学食品与生物工程学院, 福建厦门 361021) (2. 福建省食品微生物与酶工程重点实验室, 福建厦门 361021) (3. 厦门市食品生物工程技术研究中心, 福建厦门 361021)

摘要: 金门高粱酒是台湾省金门县生产的一种清香型白酒, 金门岛的独特海岛气候可能对酒的香气质量产生影响, 但目前尚未开展深入研究。为了分析金门高粱酒的香味特征, 运用感官检验、顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱联用 (GC-MS) 技术对金门高粱酒挥发性成分进行分析。感官评价分析出该酒的主要风味轮廓为醇香和果香。GC-MS 分析金门高粱酒共鉴定出 42 种挥发性成分, 包括酯类 21 种, 醇类 6 种, 醛酮类 6 种, 烷烃类 5 种和其他类化合物 4 种, 其中酯类物质主要是乙酸乙酯 (2769.00 $\mu\text{g/mL}$)、己酸乙酯 (1674.90 $\mu\text{g/mL}$)、辛酸乙酯 (1353.30 $\mu\text{g/mL}$)、癸酸乙酯 (621.00 $\mu\text{g/mL}$); 醇类物质主要是 3-甲基丁醇 (301.80 $\mu\text{g/mL}$) 和 2-甲基丁醇 (82.80 $\mu\text{g/mL}$); 醛酮类物质主要是糠醛 (114.00 $\mu\text{g/mL}$)、壬醛 (34.50 $\mu\text{g/mL}$) 和 2-壬酮 (17.70 $\mu\text{g/mL}$), 该实验为深入研究金门高粱酒及其他清香型白酒的风味提供了数据参考。

关键词: 金门高粱酒; 顶空固相微萃取; 气相色谱-质谱串联技术(GC-MS); 挥发性化合物; 感官评价

文章编号: 1673-9078(2018)07-258-265

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.7.038

Analysis of the Aroma and Volatile Compounds in Kinmen Sorghum Liquor

ZHANG Ting¹, NI Hui^{1,2,3}, LI Ting¹, ZHANG Liang-zhen¹, HUANG Gao-ling^{1,2,3}, LI Qing-biao^{1,2,3}

(1.College of Food and Biological Engineering, Jimei University, Xiamen, Fujian 361021, China) (2.Key Laboratory of food microbiology and enzyme engineering technology of Fujian province, Xiamen, Fujian 361021, China) (3.Research center of food biotechnology of Xiamen city, Xiamen, Fujian 361021, China)

Abstract: Kinmen Sorghum liquor is a kind of light-aroma-type liquor produced in Kinmen county of Taiwan province. The unique island climate of Kinmen island may have an effect on the aroma quality of the liquor. In order to know the aroma characteristics of Kinmen Sorghum liquor, the volatile compounds were analyzed using sensory evaluation and headspace solid phase micro-extraction (HS-SPME) coupled with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Sensory evaluation showed that alcoholic and fruity notes were the main flavor profile. And 42 volatile compounds, including 21 esters, 6 alcohols, 6 aldehydes and ketones, 5 alkanes and 4 others were identified using GC-MS. Among these compounds, ethyl acetate (2769.00 $\mu\text{g/mL}$), ethyl caproate (1674.90 $\mu\text{g/mL}$), ethyl octanoate (1353.30 $\mu\text{g/mL}$) and ethyl decanoate (621.00 $\mu\text{g/mL}$) were shown to be the main esters. 3-Methyl-1-butanol (301.80 $\mu\text{g/mL}$) and 2-methyl-1-butanol (82.80 $\mu\text{g/mL}$) were the main alcohol compounds. And furfural (114.00 $\mu\text{g/mL}$), nonanal (34.50 $\mu\text{g/mL}$) and 2-nonanone (17.70 $\mu\text{g/mL}$) were the main aldehydes and ketones compounds. The experiment provided data reference for the flavor study of the Kinmen sorghum liquor and other light aroma type liquor.

Key words: Kinmen sorghum liquor; headspace solid phase micro-extraction(HS-SPME); gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); volatile compounds; sensory evaluation

白酒在中国有着悠久的历史, 从古至今一直受到人们的喜爱。它是高粱等谷物为原料, 在酒曲的作用下, 经蒸煮、糖化发酵、蒸馏、贮存、勾兑而成的中国传统蒸馏酒^[1]。其中, 金门高粱酒属于清香型白

收稿日期: 2018-02-06

基金项目: 福建省自然科学基金项目 (2017J01581)

作者简介: 张婷 (1991-), 女, 硕士在读, 研究方向: 食品科学

通讯作者: 黄高凌 (1966-), 女, 副教授, 研究方向: 食品化学、食品安全分析技术

酒, 是我国台湾地区的三大名酒之一, 由于坚持采用“三高二翻一低”的纯固态发酵及世界上独一无二的坑道窖藏, 造就了其独树一格的风味, 这也使得金门高粱酒在台湾白酒市场占有率高达 80%^[2]。相比其他同类型的白酒, 金门高粱酒所有的生产工艺都在金门岛上完成, 由于金门小岛独特的海洋性气候环境可能会影响发酵过程中的微生物群落, 从而影响白酒的质量。虽然已经有相关学者开始研究金门高粱白酒酿造过程中的微生物, 但对于金门高粱酒的品质特征研究还很

不充分。

香气是决定白酒品质和风味特征的重要指标^[3], 据报道, 现已鉴定出白酒的香气化合物超过 7000 种, 含量仅占白酒的 1% 左右, 却决定着白酒的香型^[4]。目前对白酒香气的研究主要有感官评价、气相色谱-质谱 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 联用分析、气相色谱-质谱-嗅闻仪分析等。其中, 采用顶空固相微萃取 (headspace solid phase micro-extraction, HS-SPME) 与气相色谱-质谱 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 联用技术, 具有操作时间短、样品用量少, 操作快速、分离能力高、鉴定准确度高优点^[5]。

有学者^[6,7]采用 HS-SPME 和 GC-MS 技术分析泸州老窖的中高温大曲样品和古井贡酒香气成分, 分别鉴定出 34 种和 190 种挥发性成分。另外, Fan 等^[8]采用气相色谱-嗅闻法分析五粮液中的香气成分, 结果表明乙酯类是主要的香气成分; Gao 等^[9]采用气相色谱-质谱-嗅闻仪对 3 种清香型白酒的香气特征进行了研究, 并对白酒气味进行感官评价。

本研究采用感官评价、HS-SPME 结合 GC-MS 对金门高粱酒中的香气特征进行分析, 并与相关学者报道的清香型白酒进行对比, 揭示了金门高粱的香气特征。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

58 度金门高粱酒购于金门酒厂实业股份有限公司; 正构烷烃 (C₈-C₂₀) 和环己酮 (1 g/mL) 购于美国 Sigma-Aldrich 公司; 无水乙醇 (优级纯) 购于国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

数显恒温水浴锅购于国华电器有限公司; QP-2010 Plus 气相色谱-质谱联仪购于日本岛津公司; Rtx-5MS 毛细管色谱柱 (60 m×0.32 mm×0.25 μm) 购于美国 Restek 公司; HH-157330-U 手动 SPME 进样器、75 μm CAR/PDMS 萃取头购于美国 Supelco 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 金门高粱酒气味的感官评价

建立金门高粱酒气味特征感官评价标准 (表 1)。选取 10 位感官评价员 (23~30 岁) 包括 4 名女性和 6 名男性, 根据 GB/T 33405-2016 对酒样进行感官分析, 并说明其气味特征 (GB/T 10221-2012)。

表 1 金门高粱酒感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation criteria of Kinmen Sorghum liquor

气味特征	标准品	1 分的浓度 (μL/L)	4 分的浓度 (μL/L)
醇香 ^[10]	糠醛	1000	4000
果香 ^[10]	2-甲基丁酸乙酯	0.15	0.60
花香 ^[11]	B-月桂烯	10	40
甜香 ^[11]	柠檬烯氧化物	50	200
青草香 ^[11]	顺-3-己烯醇	70	280

注: 糠醛用 10% 的乙醇进行稀释配制; 其余标准品用超纯水进行稀释配制。

1.3.2 内标溶液的配制

精确吸取 10 μL 环己酮, 用无水乙醇溶解后, 超纯水定容至 10 mL, 配制成质量浓度为 1 mg/mL 的标准溶液。

1.3.3 挥发性成分的顶空固相微萃取

将固相微萃取头插入气相色谱进样口中老化 3 min, 老化温度为 250 °C, 载气的流量为 3 mL/min, 老化时间为 30 min。参考相关文献^[12,23], 确定萃取条件为: 精确吸取 28 mL 超纯水置于 50 mL 萃取瓶中, 同时加入金门高粱酒原样 1 mL, 再加入 1 mL 1 mg/mL 的环己酮作为内标, 拧紧瓶盖后, 置于 60 °C 水浴锅中平衡 5 min, 将老化后的 75 μm CAR/PDMS 固相微萃取头插入萃取瓶中, 使萃取头停留在萃取瓶顶空, 吸附 20 min。

1.3.4 气相色谱-质谱联用仪的分析操作条件

吸附完成后, 将固相微萃取头插入气相色谱仪的进样口解吸 3 min。按照如下条件进行 GC-MS 分析。

色谱条件: 色谱柱为 Rtx-5MS (60 m×0.32 mm×0.25 μm), 以高纯氦气 (纯度 99.999%) 作为载气, 柱流量设为 3 mL/min, 分流比为 1:5。

升温程序: 选择程序升温, 进样口温度为 250 °C; 初始温度为 40 °C 保持 1 min, 然后以 5 °C/min 升温至 220 °C, 在 220 °C 保持 1.5 min。

质谱条件: 离子源温度为 250 °C, 电离方式为 EI, 电离能量为 70 eV, 质谱接口温度为 250 °C, 扫描方式选择 SCAN 模式进行定性分析, 离子碎片的扫描范围为 33~450 m/z; 溶剂延迟时间为 3 min。定量分析时质谱扫描方式设为 SIM 模式。

1.3.5 挥发性成分的定性定量分析

运用质谱数据库 (NIST08、NIST08s、FFNSC1.3) 进行相似度检索, 根据不同物质的基峰、质荷比和相对峰度做串连检索与人工解析, 质谱匹配度大于 80% 作为物质鉴定标准; 计算待测组分的保留指数, 与文献报道的保留指数进行对比定性, 其中保留指数运算

参照 Kratz 和 Vandendool^[13]的方法:

$$RI_x = 100n + 100(TR_x - TR_n) / (TR_{n+1} - TR_n)$$

式中: RI 为保留指数; TR 表示保留时间; x 代表待测组分; n 和 n+1 分别为待测组分出峰前后相邻的两个正构烷烃的碳原子数。

定量分析时, 采用内标法进行定量, 计算公式如下:

$$\text{挥发性化合物含量} = \frac{\text{各组峰面积} \times \text{内标物质量浓度}}{\text{内标物峰面积}}$$

1.3.6 统计分析

通过 Microsoft Office Excel 2010 软件计算实验数据的均值和标准差, 并绘制雷达图和饼图。

2 结果与讨论

2.1 金门高粱酒的感官评价

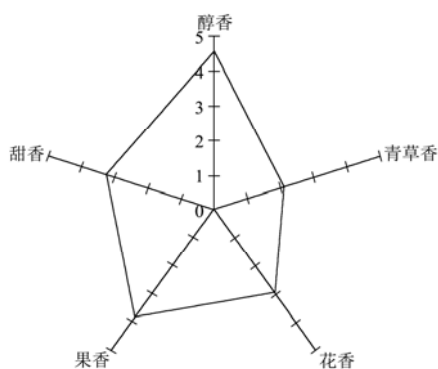


图1 金门高粱酒的感官评价雷达图

Fig.1 A radar map of sensory evaluation in Kinmen Sorghum liquor

金门高粱酒的感官评价结果如图1所示。从雷达图中可以看出, 该酒样主要呈现醇香和果香, 其次是甜香和花香并且有轻微的青草香, 这说明金门高粱酒的主要香气轮廓为醇香和果香。与山西清香型恒酒的感官评价结果^[14]对比, 都呈现果香和花香, 不同的是金门高粱酒具有浓郁的醇香、甜香和青草香; 与河南

清香型宝丰酒^[10]相比, 虽然都呈现花香和甜香, 但是宝丰酒主要呈现醋香和花香, 金门高粱酒与之不同。造成这种差异可能有两方面的原因, 一是金门高粱酒采用的原料是金门岛特有的旱地高粱, 较普通高粱具有蛋白质成分高, 酸和脂含量较高的优点^[2], 二是金门高粱酒是在具有海洋性气候的海岛上生产的, 而恒酒和宝丰酒分别产于山西北岳恒山脚下浑源县和河南平顶山市宝丰县, 两地均是大陆性季风气候, 且有研究表明^[15]不同的气候会导致微生物种群的差异, 从而影响白酒发酵过程产生的香气, 因此金门高粱酒与同种香型白酒的香气特征存在差异。

2.2 金门高粱酒挥发性化合物的定性分析

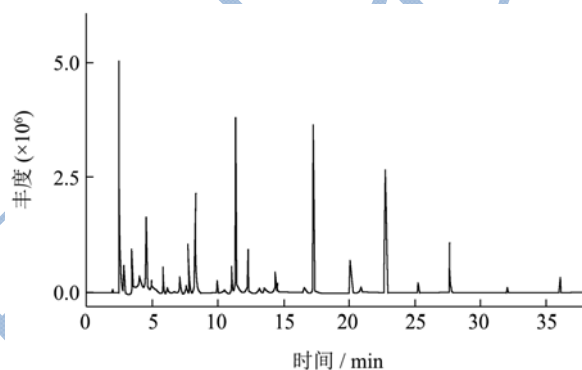


图2 金门高粱酒中挥发性成分的总离子流图

Fig.2 Total ion chromatogram (TIC) of the volatiles in Kinmen Sorghum liquor

对金门高粱酒中的挥发性成分进行 GC-MS 分析, 得到该酒样中挥发性成分的总离子流图(图2), 并根据相似度检索、特征离子碎片分析以及参照相关文献, 共鉴定出 42 种挥发性成分(表2), 包括酯类 21 种, 醇类 6 种, 醛酮类 6 种, 烷烃类 5 种和其它类化合物 4 种, 由此可知金门高粱酒中的主要挥发性成分是酯类、醇类、醛酮类。该结果与相关研究者^[16]对白酒挥发性成分的研究基本一致。

表2 金门高粱酒中挥发性化合物的鉴定结果

Table 2 Identification of volatile compounds in Kinmen Sorghum liquor

序号	保留时间/min	保留指数 ^a	保留指数 ^b	挥发性成分鉴定结果	特征离子碎片	鉴定依据
1	3.08	-	610	乙酸乙酯	43 88 61	MS,R ^[17]
2	3.47	-	650	3-甲基丁醛	44 41	MS, R
3	4.22	-	714	丙酸乙酯	57 102 74	MS,R ^[18]
4	4.53	-	730	1,1-二氧基乙烷	45 73	MS, R
5	4.58	-	740	3-甲基丁醇	55 42	MS,R ^[19]
6	4.64	-	755	2-甲基丁醇	57 41	MS,R ^[18]
7	5.05	-	756	异丁酸乙酯	43 116 71	MS, R

转下页

接上页

8	5.22	-	771	甲苯	91 39	MS, R
9	5.35	-	776	乙酸异丁酯	43 56	MS, R
10	6.24	813	812	乳酸乙酯	45 75	MS,R ^[20]
11	6.74	832	835	糠醛	96 39	MS, R
12	7.16	848	849	2-甲基丁酸乙酯	57 102	MS,R ^[20]
13	7.24	851	852	异戊酸乙酯	88 57	MS,R ^[20]
14	7.67	867	866	己醇	56 43	MS, R
15	7.87	875	875	乙酸异戊酯	43 70	MS, R
16	7.94	878	877	乙酸 2-甲基丁酯	43 70	MS, R
17	8.55	901	900	戊酸乙酯	88 130 85	MS,R ^[20]
18	10.10	953	955	1,1-二乙氧基-3-甲基丁烷	103 71	MS, R
19	10.36	962	966	苯甲醛	77 51	MS, R
20	10.60	970	955	4-甲基己醇	70 56	MS, R
21	10.66	972	977	1, 1-乙醚戊烷	73 45	MS, R
22	11.17	989	990	2, 2, 4, 6, 6-五甲基正庚烷	57 41	MS, R
23	11.24	991	993	2-戊基-咪喃	81 138 53	MS, R
24	11.46	999	1004	己酸乙酯	88 144 43	MS, R
25	12.90	1046	1047	苯乙醛	91 120 65	MS, R
26	13.28	1058	-	2, 6-二甲基-4-庚醇	69 87	MS,R
27	13.86	1078	1076	1, 1, 3-三乙氧基丙烷	59 103	MS,R ^[21]
28	14.20	1089	1088	2, 3, 5, 6-四甲基吡嗪	136 54	MS, R
29	14.31	1092	1089	2-壬酮	58 43	MS, R
30	14.48	1098	1100	庚酸乙酯	88 158 43	MS,R ^[20]
31	14.68	1104	1107	壬醛	57 41	MS, R
32	16.67	1172	1172	1-壬醇	56 43	MS,R ^[18]
33	16.74	1174	1173	苯甲酸乙酯	105 150 77	MS, R
34	16.96	1181	1182	丁二酸二乙酯	101 129	MS, R
35	17.41	1197	1198	辛酸乙酯	88 172 101	MS,R ^[18]
36	19.22	1260	1260	乙酸苯乙酯	104 43	MS, R
37	20.22	1296	1296	壬酸乙酯	88 101	MS, R
38	21.07	1330	1328	2,2 甲氧乙基苯	103 47	MS, R
39	22.87	1401	1399	癸酸乙酯	88 200 101	MS, R
40	27.77	1590	1596	十二烷酸乙酯	88 228 101	MS, R
41	33.86	-	1868	邻苯二甲酸二异丁酯	149 57	MS, R
42	36.21	-	1902	十六烷酸乙酯	88 101	MS,R

注: 保留指数为 Rtx-5MS 色谱柱结果, 保留指数^a是本研究得到的数值, 保留指数^b为文献报道的数值, MS 为质谱库检索结果, R 表示参考文献, R[n]表示第 n 篇参考文献, 剩余未标记的 R 表示参考保留指数来源于该网站 (<http://webbook.nist.gov/chemistry/>)。

2.3 金门高粱酒挥发性化合物的定量分析

金门高粱酒中的挥发性物质根据内标法定量后(表3), 计算得到的各类物质的相对含量如图3所示, 酯类、醇类、醛酮类、烷烃类和其它类化合物分别占挥发性成分总量的 89.09%、5.64%、2.37%、1.97%和

0.93%, 故酯类在该酒中的相对含量最高。由表 3 可知, 酯类物质中的乙酸乙酯 (2769.00 $\mu\text{g/mL}$)、己酸乙酯 (1674.90 $\mu\text{g/mL}$)、辛酸乙酯 (1353.30 $\mu\text{g/mL}$) 和癸酸乙酯 (621.00 $\mu\text{g/mL}$) 分别占总含量的 32.06%、19.39%、15.67%和 7.19%, 这说明酯类中的乙酯类物质是该酒的主要挥发性化合物。

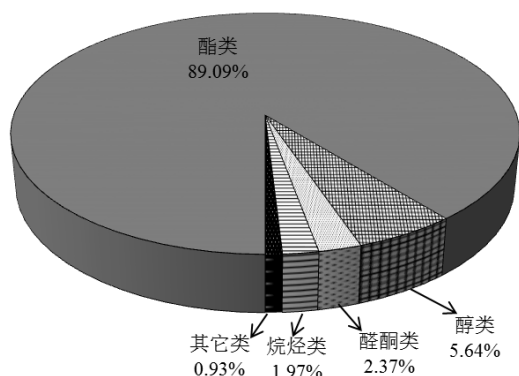


图3 金门高粱酒的挥发性化合物组成

Fig.3 Composition of volatile compounds of Kinmen Sorghum liquor

乙酯类可能是由于在酿造过程中脂肪酸与乙醇发生酯化反应生成的^[22]。另外,该酒与有关学者^[23,24]研究浓香型“山庄老酒”和洋河绵柔型白酒中酯类物质含量对比得知,乙酸乙酯在金门高粱酒中含量相对较高(山庄老酒 1189.92 μg/mL,洋河 1261 μg/mL),己酸乙酯含量相对较低(山庄老酒 5360.60 μg/mL,洋河 2247 μg/mL),这说明不同香型白酒的主要成分在含量上有明显的差异。相关研究显示清香型白酒是以乙酸乙酯为主体的复合香^[25],且其关键香气化合物为辛酸乙酯、乙酸乙酯、戊酸乙酯和己酸乙酯^[14,26],由此可推出这些化合物有可能是金门高粱酒关键香气成分。此外,酯类物质中 2-甲基丁酸乙酯(21.90 μg/mL)、戊酸乙酯(97.50 μg/mL)、庚酸乙酯(99.90 μg/mL)和辛酸乙酯(1353.30 μg/mL)含量较高且阈值低^[21],呈现怡人的果香味^[21];己酸乙酯(1674.90 μg/mL)和异丁酸乙酯(25.80 μg/mL)呈现甜香味^[20];乙酸苯乙酯(116.70 μg/mL)呈现花香味^[21]。

醇类物质中的 3-甲基丁醇(301.80 μg/mL)、2-甲

基丁醇(82.80 μg/mL)和己醇(40.80 μg/mL)分别占总含量的 3.49%、0.96%和 0.47%。Fan 等^[27]指出醇类物质主要是在无氧条件下酵母菌分解糖类物质产生,或者由发酵过程中通过相应醛类物质还原而成。白酒发酵过程中产生的醇类物质具有衬托酯香的作用^[28],因此赋予了金门高粱酒浓郁的醇香味^[21]。

醛酮类物质中的糠醛(114.00 μg/mL)、壬醛(34.50 μg/mL)和 2-壬酮(17.70 μg/mL)分别占总含量的 1.32%、0.40%和 0.20%。醛酮类物质主要是由白酒发酵过程中氨基酸和脂质降解形成的^[29],在该类物质中,苯乙醛(7.80 μg/mL)阈值低^[8],对该酒的花香味有贡献;3-甲基丁醛(19.20 μg/mL)和 2-壬酮(17.70 μg/mL)均具有青草香^[21]。

由表 3 还可得知,金门高粱酒的定量结果与有关学者^[30]对河南宝丰酒挥发性成分的研究相比,金门高粱酒与其挥发性成分种类相同,但是宝丰酒中主要成分为 2-羟基丙酸乙酯和乳酸乙酯,而金门高粱酒主要成分为乙酸乙酯和己酸乙酯;与浙江同山烧酒的挥发性成分相比^[31],主要香气成分都是乙酸乙酯、己酸乙酯和 3-甲基丁醇,但是金门高粱酒的醛酮类物质种类比同山烧酒的多;得出同种香型的白酒香气成分种类和数量上也存在差异,解释这种现象的原因是河南省和浙江省均属于亚热带季风气候,且浙江省夏季高温多雨,冬季低温少雨,年平均气温为 15.7~18.7 °C,年平均湿度大约为 80%^[32],而台湾省属于海洋性气候,常年呈现高温多雨多风,正是这种环境气候上的差异造成的。

以上结果说明酯类、醇类、醛酮类是金门高粱酒的主要香气化合物,形成了该酒的主要香气轮廓,且与感官评价的结果具有一致性,且不同地区清香型白酒的挥发性成分受到环境气候的影响。

表 3 金门高粱酒中挥发性化合物的定量结果和香气特征

Table 3 Quantitation and aroma characteristics of volatile compounds in Kinmen Sorghum liquor

类别	序号	保留时间/min	挥发性化合物鉴定结果	含量/(μg/mL)	相对含量/%	香味描述
酯类	1	3.08	乙酸乙酯	2769.00±1.90	32.06	果香
	2	4.22	丙酸乙酯	14.10±0.02	0.16	果香
	3	5.05	异丁酸乙酯	25.80±0.00	0.30	甜香
	4	5.35	乙酸异丁酯	13.50±0.02	0.16	果香
	5	6.24	乳酸乙酯	192.60±0.51	2.23	果香
	6	7.16	2-甲基丁酸乙酯	21.90±0.02	0.25	果香
	7	7.24	异戊酸乙酯	58.80±0.00	0.68	果香
	8	7.87	乙酸异戊酯	233.10±0.11	2.70	果香
	9	7.94	乙酸 2-甲基丁酯	57.60±0.08	0.67	果香
	10	8.55	戊酸乙酯	97.50±0.15	1.13	果香

转下页

接上页

	11	11.46	己酸乙酯	1674.90±8.33	19.39	果香、甜香
	12	14.48	庚酸乙酯	99.90±0.48	1.16	果香
	13	16.74	苯甲酸乙酯	48.60±0.10	0.56	果香
	14	16.96	丁二酸二乙酯	6.60±0.03	0.08	果香、甜香
	15	17.41	辛酸乙酯	1353.30±5.45	15.67	果香
	16	19.22	乙酸苯乙酯	116.70±0.54	1.35	花香、蜜香
	17	20.22	壬酸乙酯	141.00±1.06	1.63	花香、果香
	18	22.87	癸酸乙酯	621.00±0.33	7.19	果香、青草香
	19	27.77	十二烷酸乙酯	89.40±0.57	1.03	甜香、果香
	20	33.86	邻苯二甲酸二异丁酯	29.10±0.14	0.34	甜香、果香
	21	36.21	十六烷酸乙酯	31.80±0.00	0.37	果香
醇类	22	4.58	3-甲基丁醇	301.80±0.43	3.49	醇香
	23	4.64	2-甲基丁醇	82.80±0.14	0.96	醇香
	24	7.67	己醇	40.80±0.11	0.47	花香、青草香
	25	10.60	4-甲基己醇	10.80±0.00	0.13	-
	26	13.28	2,6-二甲基-4-庚醇	30.60±0.03	0.35	-
	27	16.67	1-壬醇	20.70±0.12	0.24	青草香
醛酮类	28	3.47	3-甲基丁醛	19.20±0.05	0.22	青草香
	29	6.74	糠醛	114.00±0.16	1.32	发酵香
	30	10.36	苯甲醛	11.10±0.05	0.13	果香
	31	12.90	苯乙醛	7.80±0.04	0.09	花香
	32	14.31	2-壬酮	17.70±0.02	0.20	青草香
	33	14.68	壬醛	34.50±0.22	0.40	青草香
烷烃类	34	4.53	1,1-二乙氧基乙烷	70.20±0.17	0.81	果香
	35	10.10	1,1-二乙氧基-3-甲基丁烷	36.60±0.24	0.42	果香
	36	10.66	1,1-乙醚戊烷	12.00±0.07	0.14	-
	37	11.17	2,2,4,6,6-五甲基正庚烷	36.60±0.09	0.42	-
	38	13.86	1,1,3-三乙氧基丙烷	14.40±0.08	0.17	果香
其他类	39	5.22	甲苯	10.20±0.03	0.12	-
	40	11.24	2-戊基呋喃	40.20±0.29	0.47	青草香
	41	14.20	2,3,5,6-四甲基吡嗪	7.20±0.01	0.08	-
	42	21.07	2,2-甲基乙基苯	22.80±0.05	0.26	-

注: 金门高粱酒挥发性化合物的香气描述均参考该网站 (<http://www.flavornet.org/flavornet.html>); 相对含量=(各挥发性成分含量/挥发性成分总含量)×100%。

3 结论

本文通过感官检验发现金门高粱酒的主要酒体香为醇香和果香, 并通过 GC-MS 在该酒中共鉴定出 42 种挥发性成分, 包括酯类 21 种 (89.09%), 醇类 6 种 (5.64%), 醛酮类 6 种 (2.37%), 烷烃类 5 种 (1.97%) 和其它类化合物 4 种 (0.93%)。其中乙酸乙酯 (32.06%)、己酸乙酯 (19.39%)、辛酸乙酯 (15.67%)、癸酸乙酯 (7.19%)、3-甲基丁醇 (3.49%)、2-甲基丁

醇 (0.96%)、己醇 (0.47%)、糠醛 (1.32%)、壬醛 (0.40%) 和 2-壬酮 (0.20%) 是该酒的主要挥发性成分, 且金门高粱酒与不同地区同种香型白酒对比得知环境气候和酿造原料对该酒的香气特征以及挥发性成分的种类和数量均是有影响, 这一结果为研究清香型白酒的香气特点奠定了理论基础。

参考文献

[1] 陈育新, 韩珍, 郭庆东. 中国白酒中呈香呈味物质研究进展

- [J].食品研究与开发,2015,36(2):140-142
- CHEN Yu-xin, HAN Zhen, GUO Qing-dong. Progress of research on the aroma and flavor-producing substances in liquor [J]. Food Research and Development, 2015, 36(2): 140-142
- [2] 金酒.金门高粱,两岸飘香[J].两岸关系,2012,6:55-56
- JUN Jiu. Golden Gate Sorghum, Fragrance on both sides [J]. Cross-Strait Relations, 2012, 6: 55-56
- [3] 张健,高海燕,赵镭,等.白酒理化指标及其与香气品质的关系[J].食品科学,2010,31(10):283-286
- ZHANG Jian, GAO Hai-yan, ZHAO Lei, et al. Correlations between physico-chemical properties and aroma quality of different flavors of liquors [J]. Food Science, 2010, 31(10): 283-286
- [4] 范文来,徐岩.酒类风味化学[M].北京:中国轻工业出版社,2014
- FAN Wen-lai, XU Yan. Liquor flavor chemistry [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2014
- [5] 孙静.气相色谱-质谱联用技术研究进展及前处理方法综述[J].当代化工研究,2017,9:4-5
- SUN Jing. Review of research progress and pretreatment methods of gas chromatography-mass spectrometry technology [J]. Modern Chemical Research, 2017, 9: 4-5
- [6] 陈勇,陈泽军,周瑞平,等.顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法测定大曲中的挥发性组分[J].中国调味品,2013, 38(2): 70-75
- CHEN Yong, CHEN Ze-jun, ZHOU Rui-ping, et al. Determination of volatile constituents in daqu using headspace solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry [J]. China Condiment, 2013, 38(2): 70-75
- [7] 李贺贺,胡箫梅,李安军,等.采用顶空固相微萃取和搅拌棒吸附萃取技术分析古井贡酒中香气成分[J].食品科学,2017,38(4):155-164
- LI He-he, HU Xiao-mei, LI An-jun, et al. Comparative analysis of volatile components in gujingong liquor by headspace solid-phase microextraction and stir bar sorptive extraction [J]. Food Science, 2017, 38(4): 155-164
- [8] FAN Wen-lai, QIAN Michael C. Characterization of aroma compounds of Chinese “Wuliangye” and “Jiannanchun” liquors by aroma extract dilution analysis [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2006, 54(7): 2695-2704
- [9] GAO Wen-jun, FAN Wen-lai, XU Yan. Characterization of the key odorants in light aroma type chinese liquor by gas chromatography-olfactometry, quantitative measurements, aroma recombination, and omission studies [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2014, 62(25): 5796-5804
- [10] XIAO Zuo-bing, YU Dan, NIU Yun-wei, et al. Characterization of different aroma-types of Chinese liquors based on their aroma profile by gas chromatography-mass spectrometry and sensory evaluation [J]. Flavour & Fragrance Journal, 2016, 31(3): 217-227
- [11] NI Hui, HONG Peng, JI Hai-Feng, et al. Comparative analyses of aromas of fresh, naringinase-treated and resin-absorbed juices of pummelo by GC-MS and sensory evaluation [J]. Flavour & Fragrance Journal, 2015, 30(3): 245-253
- [12] 黎攀,李沙,刘雄,等.HS-SPME-GC-MS 研究大曲发酵过程中挥发性成分动态变化[J].现代食品科技,2016, 32(4):271-276
- LI Pan, LI Sha, LIU Xiong, et al. HS-SPME-GC-MS was used to study the dynamic changes of volatile components in daqu fermentation process [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(4): 271-276
- [13] VANDENDOOL Huug, KRATZ P Dec. A Generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography [J]. Journal of Chromatography A, 1963, 11(C): 463-471
- [14] 郝飞龙,范莹,延莎,等.HS-SPME/LLME-GC-MS 结合感官品评分析山西清香型恒酒香气成分[J].现代食品科技,2018,34(3):1-8
- HAO Fei-long, FAN Ying, YAN Sha, et al. Analysis of aroma components in light aroma type Shanxi Hengjiu by HS-SPME/LLME-GC-MS and sensory evaluation [J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(3): 1-8
- [15] 汪峰,蒋瑞霖,李昌明,等.不同气候条件下潮土微生物群落的变化[J].土壤,2014,46(2):290-296
- WANG Feng, JIANG Yu-ji, LI Chang-ming, et al. Changes of microbial communities in tidal soils under different climatic conditions [J]. Soils, 2014, 46(2): 290-296
- [16] 许柏球,张丽君,罗欢忠,等.顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法分析五粮液的香气成分[J].中国酿造,2013,32(6):141-144
- XU Bai-qiu, ZHANG Li-jun, LUO Huan-zhong, et al. Analysis of aroma components in wuliangye liquor by HS-SPME-GC-MS [J]. China Brewing, 2013, 32(6): 141-144
- [17] BYLAITE Egle, MEYER Anne S. Characterisation of volatile aroma compounds of orange juices by three dynamic and static headspace gas chromatography techniques [J]. European Food Research & Technology, 2006, 222(2): 176-

184

- [18] GOODNER Kevin L. Practical retention index models of OV-101, DB-1, DB-5, and DB-Wax for flavor and fragrance compounds [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2008, 41(6): 951-958
- [19] JORGEA Pino, OSCAR Queris. analysis of volatile compounds of pineapple wine using solid-phase microextraction techniques [J]. *Food Chemistry*, 2010, 122(4): 1241-1246
- [20] XU Yan, FAN Wen-lai, QIAN Michnel C. Characterization of aroma compounds in apple cider using solvent-assisted flavor evaporation and headspace solid-phase microextraction [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2007, 55(8): 3051-3057
- [21] FAN Wen-lai, QIAN Michnel C. Characterization of aroma compounds of Chinese "Wuliangye" and "Jiannanchun" liquors by aroma extract dilution analysis [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2006, 54(7): 2695-2704
- [22] 孙金沅, 宫俐莉, 刘国英, 等. 古井贡酒酒醅挥发性香气成分的GC-MS与GC-O分析[J]. *食品科学*, 2016, 37(24): 87-93
SUN Jin-yuan, GONG Li-li, LIU Guo-ying, et al. Analysis of volatile compounds in fermented grains of chinese gujingong liquor by solvent-assisted flavor evaporation combined with GC-MS and GC-O [J]. *Food Science*, 2016, 37(24): 87-93
- [23] 尹婉嫻, 商丽云, 刘海明, 等. 应用HS-SPME和GC-MS分析浓香型“山庄老酒”香气成分[J]. *酿酒科技*, 2015, 7: 94-97
YIN Wan-qiang, SHANG Li-yun, LIU Hai-ming, et al. HS-SPME and GC-MS were used to analyze the Aroma Components of Luzhou-flavor "Shanzhuang Old Wine" [J]. *Brewery Technology*, 2015, 7: 94-97
- [24] 范文来, 聂庆庆, 徐岩. 洋河绵柔型白酒关键风味成分[J]. *食品科学*, 2013, 34(4): 135-139
FAN Wen-lai, NIE Qing-qing, XU Yan. Key flavor components of Yanghe Mianliu liquor [J]. *Food Science*, 2013, 34(4): 135-139
- [25] 余乾伟. 传统白酒酿造技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2010
- YU Qian-wei. Traditional liquor brewing technology [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2010
- [26] 丁云连. 汾酒特征香气物质的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008
DING Yun-lian. Studies on the characteristic aroma substances of fenjiu [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008
- [27] FAN Wen-lai, SHEN Hai-yue, XU Yan. Quantification of volatile compounds in chinese soy sauce aroma type liquor by stir bar sorptive extraction and gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2011, 91(7): 1187-1198
- [28] 陈红梅, 王沙沙, 尹何南, 等. 不同工艺处理对野生猕猴桃酒品质的影响[J]. *食品科学*, 2017, 1-11
CHEN Hong-mei, WANG Sha-sha, YI He-nan, et al. Effects of different brewing methods on the quality of wild kiwifruit wines [J]. *Food Science*, 2017, 1-11
- [29] Stephan Andreas, Steinhart Hans. Quantification and sensory studies of character impact odorants of different soybean lecithins [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 1999, 47(10): 4357-4364
- [30] 周蒙, 颜振敏, 程娇娇, 等. 宝丰酒和老仰韶酒香气成分的比较研究[J]. *酿酒科技*, 2016, 11: 24-27
ZHOU Meng, YAN Zhen-min, CHENG Jiao-jiao, et al. Comparison of flavoring components of baofeng liquor and laoyangshao liquor [J]. *Brewing Technology*, 2016, 11: 24-27
- [31] 姜晓坤, 应铁进. 气相色谱-质谱法分析比较传统同山高粱酒及其改良工艺酒样中的香气成分[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(4): 87-93
JIANG Xiao-kun, YING Tie-jin. Analysis and comparison of aroma compounds from traditional tongshan sorghum liquor and samples of improved fermentation process by GC-MS [J]. *Technology of Food Industry*, 2016, 37(4): 87-93
- [32] 王竹, 王建华, 范理杨. 基于气候环境的浙江建筑设计措施分析[J]. *江南大学学报*, 2008, 7(6): 692-697
WANG Zhu, WANG Jian-hua, FAN Li-yang. Study on the architectural bioclimatic design based on the climate of Zhejiang [J]. *Journal of Jiangnan University*, 2008, 7(6): 692-697