

气相色谱-质谱联用法分析三沟白酒香气成分

王志刚*, 高广慧, 张月辉, 周 宇, 孙晓娟, 张 旭

(辽宁省检验检测认证中心, 沈阳 110010)

摘 要: **目的** 采用气相色谱-质谱联用技术对三沟白酒香气成分进行分析。**方法** 对 10 批三沟白酒样品经前处理后, 应用色谱峰面积归一化法测定各组分的相对含量。**结果** 分离并鉴定了 49 种微量物质, 包括 18 种酯类成分, 占有香气物质的 64.71%; 9 种酸类成分, 占 28.09%; 15 种醇类成分, 占 5.04%; 4 种醛类成分, 占 1.82%; 2 种酮类成分占 0.28%; 1 种烷烃类成分占 0.06%。相对含量较高的化合物有己酸乙酯、乳酸乙酯、乙酸乙酯、丁酸乙酯、己酸、乙酸、丁酸、乙缩醛、异戊醇和正丁醇。**结论** 主要相对含量较高的化合物合计占总香气成分的 94.16%, 构成了三沟白酒主要香气成分。

关键词: 白酒; 香气成分; 气相色谱-质谱法

Analysis of aroma components in Sangou by gas chromatography-mass spectrometry

WANG Zhi-Gang*, GAO Guang-Hui, ZHANG Yue-Hui, ZHOU Yu, SUN Xiao-Juan, ZHANG Xu

(Liaoning Inspection, Examination & Certification Center, Shenyang 110010, China)

ABSTRACT: **Objective** To analyze the aroma components of Sangou liquor by gas chromatography-mass spectrometry. **Methods** The relative contents of each component in 10 batches of Sangou samples were determined by normalization method of chromatographic peak area. **Results** Forty-nine aroma trace compounds were isolated and identified, including 18 esters (64.71%), 9 acids (28.09%), 15 alcohols (5.04%), 4 aldehydes (1.82%) and 2 ketones (0.28%). And one kind of alkane accounted for 0.06%. Relatively high concentrations of the compounds were ethyl hexanoate, ethyl lactate, ethyl acetate, hexanoic acid, acetic acid, butyric acid, acetal, isoamyl alcohol and n-butanol. **Conclusion** The main aroma components of Sangou are composed of 94.16% of the total aroma components.

KEY WORDS: liquor; aroma component; gas chromatography-mass spectrometry

1 引 言

白酒是我国 6 大蒸馏酒之一, 有着悠久的历史。白酒中 98%~99% 为乙醇和水, 1%~2% 为微量成分, 但这 1%~2% 的微量成分虽然含量极少, 但对白酒的香气和口味质量却有极大影响, 构成不同香型的白酒, 决定了白酒独特的风

味。但因成分复杂, 主体香气成分不易确定, 一直以来对白酒质量的评价还主要依赖于感官, 无法利用客观的数据来进行质量控制^[1,2]。目前, 许多学者已对多个品牌的白酒香气成分进行了研究^[3,4], 白酒中有众多不同种类的风味物质, 含量差异大、沸点、极性、挥发性、溶解度相差甚远, 因此一种前处理方式不能同时分析所有的风味物质。液液萃取、

基金项目: 辽宁省自然科学基金项目(20170540544)

Fund: Supported by the Liaoning Province Natural Science Foundation of China (20170540544)

***通讯作者:** 王志刚, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: wangzgbs@sohu.com

***Corresponding author:** WANG Zhi-Gang, Senior Engineer, Liaoning Inspection, Examination & Certification Centre, No.16, Chongshan Road, Huanggu District, Shenyang 110015, China. E-mail: wangzgbs@sohu.com

直接进样法、搅拌子吸附、固相萃取、固相微萃取、超临界二氧化碳萃取等方法都被应用于白酒的香气成分研究中^[5,6]。三沟白酒采用东北优质高粱,矿泉水为原料,以陈年泥窖为窖池,将地方少数民族酿酒工艺与现代科学技术相结合,精心酿造而成。具有窖香浓郁,绵甜爽净,余味悠长的特点。有关三沟白酒香气成分的研究尚未见报道,本研究不使用有机溶剂,最大程度保留了白酒中的香气组分。利用气相色谱-质谱联用技术对 52 度浓香型三沟白酒分离得到的香气组分进行分析研究,为建立鉴定三沟白酒品质的风味物质的分析确定和对质量的评价奠定了基础^[7,8]。

2 材料与方法

2.1 材料与试剂

白酒:10 批三沟老窖(52%vol 辽宁三沟酒业有限责任公司);无水乙醇、无水硫酸钠(分析纯,国药集团化学试剂有限公司)。

2.2 仪器与设备

SCION SQ 型气相色谱-质谱联用仪[天美(中国)科学仪器有限公司]。

2.3 方法

2.3.1 供试品前处理

取供试品酒样 1 mL,加入 3 g 无水硫酸钠,混匀,静置,离心,取上清液使用 0.22 μm 有机滤膜过滤后,上机测试^[9]。

2.3.2 色谱条件

Cp-wax 57 CB 毛细管柱色谱柱(50 m $\times$ 0.25 mm, 0.20 μm);进样口温度 250 $^{\circ}\text{C}$;载气高纯氮气(99.99%);流速 1.0 mL/min;分流进样,分流比 5:1;程序升温至柱温的起始温度 40 $^{\circ}\text{C}$,保持 10 min,先以 1 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 60 $^{\circ}\text{C}$,保持 5 min,再以 4 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 150 $^{\circ}\text{C}$,再以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 220 $^{\circ}\text{C}$,保持 10 min;进样量:0.6 μL 。

2.3.3 质谱条件

电离方式为电子电离(electronic ionization, EI),电子能量 70 eV,离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$,接口温度 280 $^{\circ}\text{C}$,全扫描方式,扫描质量范围:50~500 amu。

2.3.4 数据处理

通过对 GC-MS 总离子流产生的色谱图与美国国家标准技术研究所 NIST14 版质谱库中的化合物进行比对(匹配度 > 85%),在同一色谱条件下,参考相关文献,以相同保留时间和标准谱库比对结果为依据,对色谱峰进行分析。

3 结果与分析

3.1 实验条件优化

3.1.1 色谱柱选择

本文选择使用 HP-INNOWAX、CP-WAX 57CB、HP-FFAP、共 3 支色谱柱分别对香气成分进行分离,从色

谱柱分离效果来看,HP-FFAP 柱基本能把白酒中的挥发性成分分离开,但是酸类成分的峰形不佳;HP-INNOWAX 柱乙酸乙酯和乙缩醛、丁酸乙酯和仲丁醇分离度不好;香气成分在 CP-WAX 57CB 强极性色谱柱上可将 49 种香气成分化合物在该柱上全部实现分离,香气成分气相色谱-质谱总离子流图见图 1,分离效果好,可以满足检测需要^[10,11]

3.1.2 程序升温条件优化

恒温条件下,如果柱温较低,则低沸点组分能够较好分离,而高沸点组分的流出时间太长,峰形不好;但当柱温较高时,低沸点组分又流出太快难以分离。故而,本实验采用多阶程序升温,升温速率较慢,避免了高极性毛细管柱的固定相容易流失和基线漂移过大的影响,可以较好的分离 49 种挥发性香气成分。

3.2 方法学考察

3.2.1 仪器精密度实验

取同一白酒样品,按 2.3 方法制备样品,并按上述实验条件连续进样 6 次,分别对 10 个相对含量较高的化合物共有峰的相对峰面积进行计算。实验结果表明,各色谱峰相对峰面积的 RSD < 4%,表明仪器精密度良好。

3.1.2 样品溶液稳定性实验

取同一批次白酒 1 份,按 2.3 方法制备样品,并按上述实验条件分别在 0、2、4、8、12 h 进样,对 10 个相对含量较高的化合物共有峰的相对峰面积进行测定。实验结果表明,各色谱峰相对峰面积的 RSD < 5%,表明酒样在 12 h 内保持稳定

3.1.3 方法重复性实验

取同一批次白酒 1 份,按 2.3 方法制备样品 6 份,并按上述实验条件测定,分别对 10 个相对含量较高的化合物共有峰的相对峰面积进行计算。实验结果表明,各色谱峰相对峰面积的 RSD < 5%,实验方法的重现性较好。

2.3 三沟白酒的成分分析

按试验条件对 10 批三沟白酒样品进行处理,按 2.3 的所述方法进样分析,得到三沟白酒的分离图谱,结果见图 1。各提取成分的质谱图,经 2014 版 NIST 质谱图库检索,确定各主香成分的分子式、结构式和峰面积,按面积归一化方法计算各主香成分的相对含量。最终,得到三沟白酒中所含主香成分的分析结果,结果见表 1。

从表 1 可以看出,10 批三沟白酒样品中共分析出 49 种共有香气成分。其中包括 18 种酯类成分,9 种酸类成分,15 种醇类成分,4 种醛类成分,2 种酮类成分和 1 种烷烃类成分。比较白酒中香气成分的相对含量,可以发现己酸乙酯的含量最高,其次是乳酸乙酯的含量。从表 2 可以看出,10 批三沟白酒样品中相对含量最高的是酯类成分,占 64.71%;其次是酸类成分,占 28.09%;然后是醇类成分,占 5.04%。从图 2 可以看出,各批次间相对标准偏差不大,批间差异较小,说明三沟白酒生产工艺稳定。

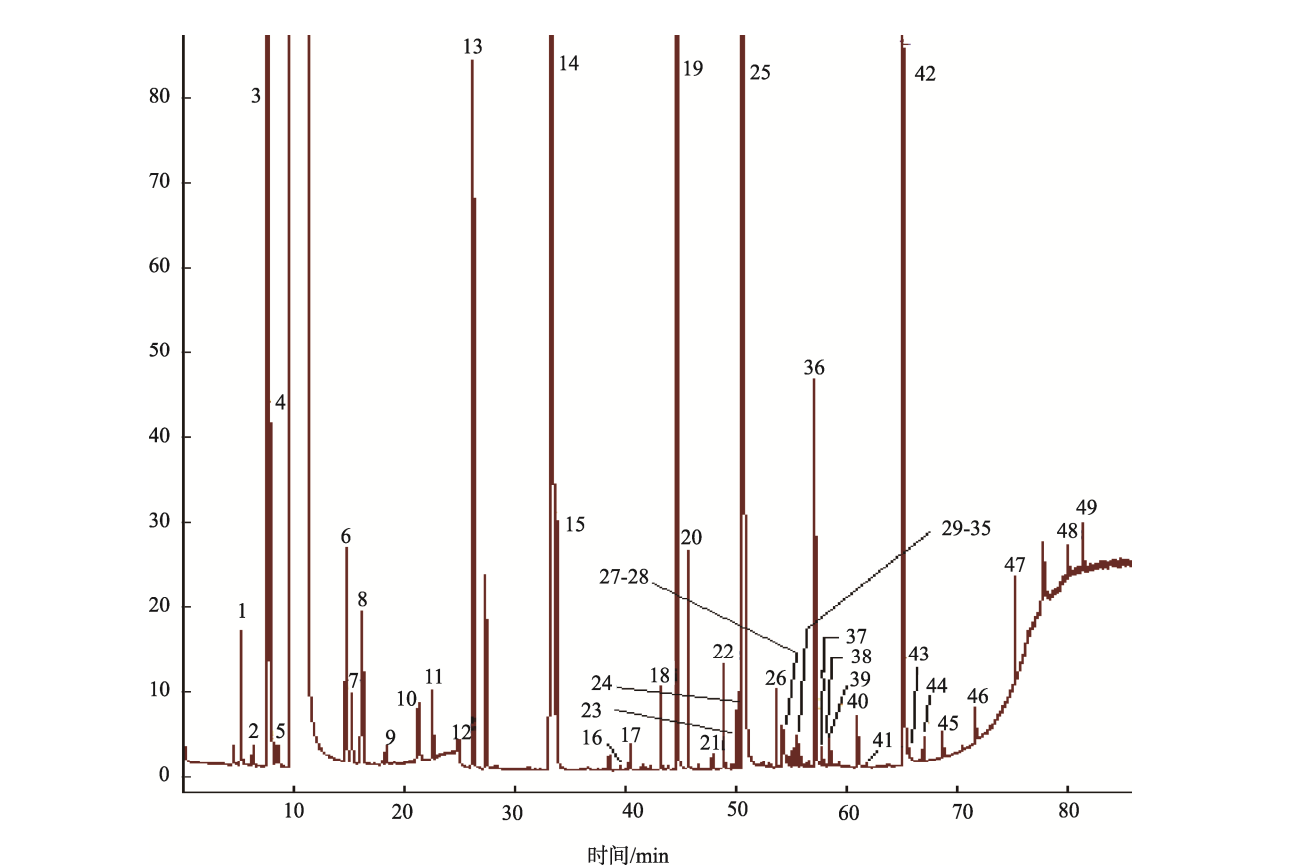


图 1 三沟白酒香气成分的总离子流图

Fig. 1 GC-MS total ionic chromatogram of aroma components in Sangou liquor

表 1 10 批三沟白酒香气成分相对含量分析结果

Table 1 Analysis of relative content of aroma components in 10 batches of Sangou liquor

峰号	保留时间 /min	化合物名称	相对含量/%										均值	RSD/%
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	5.204	乙醛	0.57	0.61	0.57	0.55	0.45	0.49	0.51	0.56	0.49	0.52	0.53	9.07
2	6.313	丙酮	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.30	10.90
3	7.654	乙酸乙酯	9.35	10.26	10.82	10.02	9.46	10.71	10.01	10.19	10.25	10.64	10.17	4.83
4	7.877	乙缩醛	1.08	1.01	1.09	1.24	0.98	1.12	0.96	1.01	0.97	1.05	1.05	8.15
5	8.531	正戊醛	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	8.47
6	14.711	丁酸乙酯	1.12	1.10	1.21	1.11	1.23	0.94	1.07	1.09	1.14	0.98	1.10	8.14
7	15.234	仲丁醇	0.37	0.41	0.33	0.32	0.32	0.38	0.36	0.38	0.31	0.34	0.35	9.36
8	16.17	正丙醇	0.93	0.84	0.86	0.81	0.79	0.77	0.81	0.85	0.79	0.84	0.83	5.56
9	18.318	1,1-二乙氧基-3-甲基丁烷	0.06	0.07	0.06	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07	0.06	0.06	0.06	7.67
10	21.255	异丁醇	0.27	0.28	0.32	0.28	0.27	0.33	0.30	0.26	0.33	0.28	0.29	8.96
11	22.549	戊酸乙酯	0.32	0.38	0.39	0.39	0.42	0.33	0.34	0.35	0.41	0.37	0.37	9.19
12	24.87	仲戊醇	0.09	0.08	0.08	0.09	0.10	0.10	0.09	0.08	0.09	0.09	0.09	8.29
13	27.337	正丁醇	1.22	1.28	1.17	1.06	1.12	1.36	1.11	1.27	1.35	1.25	1.22	8.37
14	33.369	己酸乙酯	32.61	31.77	33.04	31.57	33.5	32.22	33.33	32.97	34.35	33.52	32.89	2.61
15	33.646	异戊醇	1.38	1.36	1.32	1.26	1.44	1.47	1.31	1.29	1.27	1.12	1.32	7.53
16	38.494	正戊醇	0.04	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	8.78
17	40.378	3-羟基-2-丁酮	0.22	0.27	0.24	0.23	0.25	0.23	0.28	0.29	0.25	0.26	0.25	9.13
18	43.199	庚酸乙酯	0.24	0.21	0.22	0.26	0.23	0.24	0.25	0.20	0.25	0.2	0.23	9.39
19	44.648	乳酸乙酯	18.56	19.96	18.62	18.86	20.03	18.38	17.85	18.82	19.13	19.49	18.97	3.66

续表 1

峰号	保留时间 /min	化合物名称	相对含量/%										均值	RSD/%
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
20	45.636	正己醇	0.62	0.61	0.54	0.67	0.63	0.56	0.53	0.62	0.64	0.56	0.60	7.88
21	47.841	己酸丁酯	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	9.43
22	48.844	辛酸乙酯	0.22	0.27	0.24	0.24	0.27	0.26	0.23	0.22	0.25	0.29	0.25	9.36
23	50.002	己酸异戊酯	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	10.90
24	50.097	糠醛	0.19	0.17	0.16	0.18	0.15	0.17	0.21	0.19	0.17	0.18	0.18	9.62
25	50.453	乙酸	10.81	10.25	10.23	9.87	9.64	10.63	10.24	9.86	9.82	10.12	10.15	3.63
26	53.629	2-羟基-4-甲基戊酸 乙酯	0.15	0.18	0.18	0.15	0.17	0.16	0.15	0.18	0.14	0.15	0.16	9.47
27	54.132	丙酸	0.12	0.11	0.12	0.10	0.12	0.11	0.12	0.10	0.10	0.10	0.11	8.57
28	54.329	仲辛醇	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	19.17
29	54.615	3-乙基-2-戊醇	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	19.17
30	55.095	异丁酸	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	5.36
31	55.41	2,3-丁二醇	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.09	3.48
32	55.731	己酸己酯	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	9.43
33	55.918	异丙醇	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	16.64
34	56.105	1,2-丙二醇	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	15.06
35	56.599	癸酸乙酯	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	15.06
36	57.076	丁酸	1.47	1.31	1.52	1.36	1.49	1.54	1.63	1.28	1.41	1.41	1.44	7.55
37	57.659	糠醇	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	8.11
38	57.994	丁二酸二乙酯	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	19.17
39	58.452	异戊酸	0.11	0.11	0.09	0.1	0.09	0.09	0.11	0.09	0.11	0.1	0.10	9.43
40	60.943	戊酸	0.19	0.23	0.23	0.22	0.25	0.23	0.23	0.21	0.19	0.22	0.22	8.57
41	61.834	苯乙酸乙酯	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	35.14
42	64.897	己酸	16.53	15.68	15.13	17.76	15.36	15.84	16.7	16.32	14.54	14.62	15.85	6.33
43	65.647	苯丙酸乙酯	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	19.17
44	66.914	β-苯乙醇	0.09	0.07	0.08	0.09	0.08	0.08	0.07	0.08	0.07	0.08	0.08	9.34
45	68.655	庚酸	0.07	0.06	0.07	0.06	0.07	0.08	0.07	0.08	0.07	0.07	0.07	9.52
46	71.605	辛酸	0.08	0.10	0.09	0.09	0.10	0.09	0.09	0.10	0.08	0.08	0.09	9.07
47	75.184	棕榈酸乙酯	0.16	0.14	0.15	0.17	0.13	0.16	0.14	0.15	0.14	0.16	0.15	8.31
48	80.009	油酸乙酯	0.07	0.06	0.07	0.07	0.06	0.06	0.07	0.07	0.06	0.07	0.07	7.82
49	81.254	亚油酸乙酯	0.14	0.15	0.16	0.16	0.13	0.16	0.16	0.14	0.17	0.14	0.15	8.52

表 2 10 批三沟白酒成分分类分析结果

Table 2 Results of component classification analysis of 10 batches of Sangou liquor

序号	化合物名称	相对含量/%										均值	RSD/%
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	酯类成分	63.14	64.67	65.3	63.21	65.83	63.84	63.81	64.59	66.49	66.23	64.71	1.88
2	酸类成分	29.44	27.91	27.53	29.62	27.18	28.67	29.25	28.1	26.38	26.78	28.09	4.05
3	醇类成分	5.22	5.20	4.96	4.81	5.01	5.33	4.84	5.11	5.11	4.83	5.04	3.60
4	酮类成分	1.90	1.85	1.88	2.03	1.64	1.84	1.73	1.81	1.68	1.81	1.82	6.24
5	酮类成分	0.24	0.30	0.27	0.26	0.28	0.26	0.31	0.32	0.28	0.29	0.28	8.79
6	烷烃类成分	0.06	0.07	0.06	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07	0.06	0.06	0.06	7.67

酯类成分是一类具有芳香性气味的化合物，是白酒中重要的芳香物质，含量与比例影响酒体的风格，可决定白酒的品质^[12,13]。本实验测得三沟白酒中酯类香气成分占有所有香气成分的 64.71%，可使白酒散发出浓郁的香气。白酒中己酸乙酯的形成主要来自于己酸与乙醇酯化。酵母菌和霉菌具有酯化能力，将己酸酯化为己酸乙酯。使白酒带有

微甜、发涩的口感。酸类成分来自于白酒发酵过程，是大量微生物共同作用的产物，是给予酒体愉快香气的重要物质，同时也可生成对应的酯类香气成分，是重要的协调成分或调和成分，适量的有机酸能够增强白酒的口感和味道。醇类成分是白酒的醇甜和助香剂的重要来源，也是酯类的前驱体，是香与味连接的纽带。醛酮类成分使酒的香

气飘逸, 其中乙醛和乙缩醛增加白酒清香感, 并利于白酒的放香和陈香, 可保持酒香的均匀持久性。这使得三沟白酒具有窖香浓郁, 绵甜爽净, 余味悠长的特点^[14-16]。

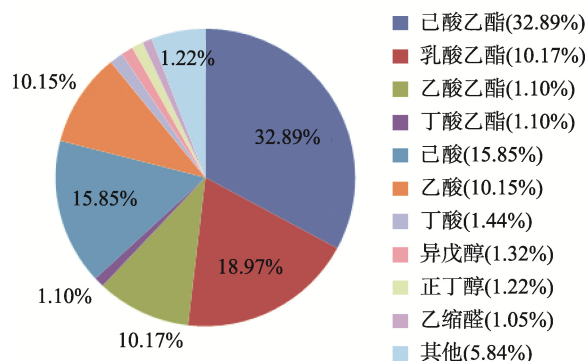


图2 三沟白酒主要香气成分的相对含量分布图

Fig.2 Relative content distribution of main aroma components in Sangou liquor

4 结 论

本实验对酒样中的主要香气物质通过无水硫酸钠进行样品前处理, 并采用 GC-MS 分析了三沟白酒的进行主要香气成分。结果表明, 共检测分析出 49 种香气成分, 包括酯类、醇类、酸类、烷烃和醛类等, 相对含量较高的化合物有己酸乙酯、乳酸乙酯、乙酸乙酯、丁酸乙酯己酸、乙酸、丁酸、乙缩醛、异戊醇和正丁醇。所含主要相对含量较高的化合物, 合计占总香气成分的 94.16%, 构成了三沟白酒主要香气成分。为三沟白酒风味物质的分析确定和对质量的评价提供了一定的科学依据。

参考文献

- [1] 王励英, 史晓梅, 钱承敬. 白酒风味特征研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, (21): 7212-7219.
Wang LY, Shi XM, Qian CJ. Research progress of liquor flavor characteristics [J]. J Food Saf Qual, 2019, (21): 7212-7219.
- [2] 汪廷彩, 刘嘉飞, 杨中花, 等. 酒类产品真假鉴别技术研究现状[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, (13): 4029-4035.
Wang TC, Liu JF, Yang ZH, et al. Research status of true or false identification technology of liquor products [J]. J Food Saf Qual, 2019, (13): 4029-4035.
- [3] 李吉峰. 指纹图谱技术在酒类分析中的应用进展[J]. 酿酒科技, 2017, (4): 92-95.
Li JF. Application of fingerprint technology in the analysis of alcoholic drinks [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2017, (4): 92-95.
- [4] 张杰, 程伟, 潘天全, 等. 浓香型白酒风味成分研究现状及展望[J]. 酿酒, 2019, (1): 29-32.
Zhang J, Cheng W, Pan TQ, et al. Research progress about flavor substances of strong flavour chinese spirits [J]. Liquor-Making, 2019, (1): 29-32.
- [5] Zhao D, Shi D, Sun J, et al. Characterization of key aroma compounds in Gujingong Chinese Baijiu by gas chromatography-olfactometry, quantitative measurements, and sensory evaluation [J]. Food Res Int, 2018,

105: 616-627.

- [6] 吴卫宇, 苏占元, 杨晓军, 等. 测定白酒中挥发性风味成分方法的研究[J]. 酿酒科技, 2019, (6): 34-45.
Wu WY, Su ZY, Yang XJ, et al. Determination of volatile flavoring components in Baijiu [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2019, (6): 34-45.
- [7] 赵跃, 荆洪英. 黑龙江地产白酒风味物质的研究[J]. 广东化工, 2020, (6): 66-68.
Zhao Y, Jing HY. Study on flavor substances of local liquor in Heilongjiang province [J]. Guangdong Chem Ind, 2020, (6): 66-68.
- [8] 熊燕飞, 马卓, 彭远松, 等. 中国白酒风味成分的色谱分析方法研究进展[J]. 中国酿造, 2019, (11): 1-5.
Xiong YF, Ma Z, Peng YS, et al. Research progress on chromatographic analysis of Baijiu flavor components [J]. China Brew, 2019, (11): 1-5.
- [9] 张明, 董凌, 谭光迅, 等. 枝江柔雅白酒风味成分剖析[J]. 酿酒科技, 2019, (12): 44-48.
Zhang M, Dong L, Tan GX, et al. Study on the flavoring components of Zhijiang soft-type Baijiu [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2019, (12): 44-48.
- [10] 杨亮, 占杨杨, 魏刚, 等. 基于气质联用法的两种香型白酒挥发性成分差异分析[J]. 中国酿造, 2018, (10): 76-81.
Yang L, Zhan YY, Wei G, et al. Differences of volatile compounds between two kinds flavor of Baijiu based on GC-MS [J]. China Brew, 2018, (10): 76-81.
- [11] 邓莉. 白酒挥发性组分的气相色谱-质谱分析[J]. 食品工业, 2018, (6): 320-322.
Deng L. Analysis of volatile compounds in white spirit by gas chromatography-mass spectrometry [J]. Food Ind, 2018, (6): 320-322.
- [12] Niu Y, Yao Z, Xiao Q, et al. Characterization of the key aroma compounds in different light aroma type Chinese liquors by GC-olfactometry, GC-FPD, quantitative measurements, and aroma recombination [J]. Food Chem, 2017, 233: 204-215.
- [13] 尤宏梅, 李凤琴, 俞志刚. 气相色谱-质谱联用法分析北大仓白酒香气成分[J]. 化学研究与应用, 2014, (11): 1820-1824.
You HM, Li FQ, Yu ZG. Analysis of aroma components in Beidacang liquor by gas chromatography-mass spectrometry [J]. Chem Res Appl, 2014, (11): 1820-1824.
- [14] 魏岚, 张利. 气相色谱-质谱法分析郎酒的主香成分[J]. 酿酒科技, 2014, (7): 102-104.
Wei L, Zhang L. Analysis of the main flavoring components of Langjiu by gas chromatography-mass spectrometry [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2014, (7): 102-104.
- [15] 喻宏. 浓香型白酒挥发性物质的研究进展[J]. 食品安全导刊, 2018, (29): 74-75.
Yu H. Research progress of volatile compounds in luzhou-flavor liquo [J]. China Food Saf Maga, 2018, (29): 74-75.
- [16] 张杰, 程伟, 彭兵, 等. 小曲清香型白酒研究概述[J]. 酿酒科技, 2017, (9): 91-95.
Zhang J, Cheng W, Peng B, et al. Summary on the research of Xiaoqu fen-flavor liquo [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2017, (9): 91-95.

(责任编辑: 王 欣)

作者简介



王志刚, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测。

E-mail: wangzgbs@sohu.com