

3 种不同年份五粮液酒的关键香气成分分析

牛云蔚¹, 陈晓梅¹, 肖作兵^{1,2,*}, 马 宁¹, 朱建才¹

(1.上海应用技术大学香料香精技术与工程学院, 上海 201418; 2.上海香料研究所, 上海 200232)

摘 要: 以1、15 a和30 a 3 种不同年份五粮液酒为研究对象, 采用顶空固相微萃取、气相色谱-嗅闻-香气稀释分析结合气相色谱-质谱对五粮液的香气成分进行研究。在3 种五粮液酒中共鉴定出30 种香气物质, 包括酯类18 种、醇类2 种、酸类5 种、醛类5 种, 其中有9 种物质在3 种五粮液酒中的香气稀释值均不小于256, 被认为是关键香气成分。定量结果表明, 五粮液酒中的香气物质总含量随着时间的延长而下降。同时, 对3 种不同年份五粮液酒进行感官分析。方差分析表明, 3 个酒样的7 个感官属性均有显著性差异 ($P < 0.05$), Duncan's多重比较表明, 陈香、花香、甜香、焦糖香和粮食香区别最明显。

关键词: 五粮液酒; 关键香气成分; 气相色谱-嗅闻-香气稀释分析; 气相色谱-质谱

Analysis of Key Aroma Components in Three Wuliangye Liquors of Different Ages

NIU Yunwei¹, CHEN Xiaomei¹, XIAO Zuobing^{1,2,*}, MA Ning¹, ZHU Jiancai¹

(1. School of Perfume and Aroma Technology, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China;

2. Shanghai Research Institute of Fragrance and Flavor Industry, Shanghai 200232, China)

Abstract: The aroma components of three Chinese Wuliangye liquors of different ages (1 year, 15 years and 30 years) were analyzed by headspace-solid phase microextraction (HS-SPME) coupled with gas chromatography-olfactometry-aroma extract dilution analysis (GC-O-AEDA) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). A total of 30 aroma compounds were identified, including 18 esters, 2 alcohols, 5 acids and 5 aldehydes. Among them, 9 aroma compounds were detected in all three liquors, which could be regarded as key aroma components since their flavor dilution (FD) factors were equal to or higher than 256. Quantitative analysis indicated that the total content of aroma compounds decreased along with wine age. Sensory evaluation was also conducted. The analysis of variance (ANOVA) revealed that there were statistically significant differences in all seven sensory attributes evaluated among three liquors ($P < 0.05$). Duncan's multiple comparison test indicated that aging, floral, sweet, caramel and grain aroma were most distinct from each other.

Key words: Wuliangye liquor; key aroma components; gas chromatography-olfactometry-aroma extract dilution analysis (GC-O-AEDA); gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201718020

中图分类号: TS207.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2017) 18-0126-05

引文格式:

牛云蔚, 陈晓梅, 肖作兵, 等. 3 种不同年份五粮液酒的关键香气成分分析[J]. 食品科学, 2017, 38(18): 126-130.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201718020. <http://www.spkx.net.cn>

NIU Yunwei, CHEN Xiaomei, XIAO Zuobing, et al. Analysis of key aroma components in three Wuliangye liquors of different ages[J]. Food Science, 2017, 38(18): 126-130. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201718020. <http://www.spkx.net.cn>

白酒为中国特有的一种蒸馏酒, 是世界六大蒸馏酒(白兰地、威士忌、伏特加、金酒、朗姆酒、中国白酒)之一, 由淀粉或糖质原料制成酒醅或发酵后经蒸馏而得。2016年1~6月累计中国白酒产量 655.3×10^7 L, 同比增长4.9%。

白酒是由乙醇、水以及微量成分三部分组成的, 其中乙醇和水占白酒总质量的98%~99%, 剩下的1%~2%则为白酒的微量成分。白酒微量成分决定了白酒的香型和风格^[1]。白酒的香型分为酱香型、浓香型、清香型、

收稿日期: 2016-11-23

基金项目: 上海香料香精工程技术研究中心能力提升项目 (15DZ2280100)

作者简介: 牛云蔚 (1981—), 男, 副研究员, 博士, 研究方向为香料香精、食品风味化学。E-mail: nyw@sit.edu.cn

*通信作者: 肖作兵 (1965—), 男, 教授, 博士, 研究方向为香料香精、食品风味化学。E-mail: niuge211@sina.com

米香型和其他香型等。五粮液是以精选高粱、大米、糯米、小麦和玉米5种粮食为原料,以“包包曲”为糖化发酵剂,经过酿造、陈酿、勾兑、检测、包装而成,属浓香型白酒。目前,鲜见对不同年份五粮液酒关键香气成分的报道。研究不同年份五粮液的关键香气成分,对于完善五粮液酒的质量评价体系、提高五粮液酒的质量具有一定的理论指导意义。

固相微萃取(solid-phase microextraction, SPME)技术是1989年由加拿大Waterloo大学Paw Linszyn及其合作者Arthur等提出的。其克服了传统样品前处理技术的缺陷,集采样、萃取、浓缩、进样于一体,大大加快了分析检测的速度。杜海等^[2]运用顶空固相微萃取(headspace-SPME, HS-SPME)和气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)建立了快速定量白酒中2种较为常见的异味化合物3-辛醇和1-辛烯-3-醇。范文来等^[3]应用HS-SPME结合GC-MS对药香型白酒中的痕量萜烯类化合物进行了定量。杨建刚等^[4]应用HS-SPME技术结合GC-MS法分析了川法小曲白酒主体挥发性成分组成。Fan Wenlai等^[5]运用HS-SPME结合火焰热离子检测器对白酒中吡嗪类物质进行了检测。李建飞等^[6]采用HS-SPME与GC-MS,利用选择离子扫描技术,测定了白酒中的含氮化合物。陈志强等^[7]应用HS-SPME-GC-MS方法,检测了3种中国白酒酒样中的乙酯类成分含量。侯建光等^[8]采用HS-SPME与GC-MS联用法,对陶香型白酒的挥发性成分进行了初步定性分析。

气相色谱-闻香(GC-olfactometry, GC-O)法的原理是样品进入GC,经由毛细管柱分离后,流出组分被分流阀分成两路,一路进入化学检测器,另一路通过专用的传输管线进入嗅探口,由人鼻闻嗅。通常将GC-O技术与GC-MS技术结合使用,来进行化合物的鉴定。王晓欣等^[9]应用GC-O和GC-MS分析了酱香型白酒中的挥发性香气成分。范海燕等^[10]采用GC-O和GC-MS研究豉香型白酒挥发性香气成分。国外也已经有较多关于运用GC-O结合GC-MS对中国白酒香气成分进行分析的研究报道^[11-13]。GC-O结合GC-MS也用于茶叶^[14-16]、肉制品^[17-18]、阿胶^[19-20]和精油^[21-23]等的研究。

感官分析,又称感官评价或感官检验,是用于唤起、测量、分析、解释产品通过视觉、嗅觉、触觉、味觉和听觉所引起反应的一种科学的方法。感官分析在食品领域中得到了较好的应用,如白酒^[24-29]、果酒^[30-31]和蔓越莓^[32]等。

本研究以3种不同年份的五粮液酒为对象,利用HS-SPME、气相色谱-闻香-香气稀释分析(GC-O-aroma extract dilution analysis, GC-O-AEDA)结合GC-MS对香气物质进行了定性定量研究,得到了五粮液酒中的关键香气成分。同时,对3种不同年份五粮液酒进行了感官分析。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

1 a五粮液酒(酒精体积分数52%)、15 a五粮液酒(酒精体积分数50%)、30 a五粮液酒(酒精体积分数50%) 四川省宜宾五粮液集团有限公司;样品置于4℃冰箱储存备用。

氯化钠、无水乙醇(均为分析纯) 上海国药集团化学试剂有限公司;2-辛醇、正构烷烃($C_7 \sim C_{30}$)(均为分析纯),定性标准品 美国Sigma Aldrich公司;实验用水皆为去离子水。

手动SPME进样器、50/30 μm 二甲基苯/碳分子筛/聚二甲甲基硅氧烷(divinylbenzene/carboxen/polydimethylsiloxane, DVB/CAR/PDMS)萃取头 美国Supelco公司;7890A气相色谱-火焰离子化检测器(GC-flame ionization detector, GC-FID)、7890A GC-5973C MS、Innowax色谱柱(60 m $\times$ 0.25 mm, 0.25 μm) 美国Agilent公司;ODP2闻香仪 德国Gerstel公司;HH-2数显恒温水浴锅 常州国华电器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 HS-SPME测定

取一定的酒样,用去离子水稀释至酒精体积分数10%。然后取5 mL稀释的酒样于20 mL顶空瓶中,加入1 g氯化钠,20 μL 2-辛醇(溶解在400 mg/L乙醇中)。将老化好的萃取头插入顶空瓶,于50℃水浴中顶空萃取45 min,最后移出萃取头,注入GC-O和GC-MS进样口解吸5 min。

1.2.2 GC-O分析

GC条件:Innowax色谱柱(60 m $\times$ 0.25 mm, 0.25 μm);载气为高纯度氦气;载气流速2 mL/min;进样口温度250℃;升温程序:40℃保持6 min,然后3℃/min升至100℃,最后5℃/min到升至230℃保持20 min;不分流。一部分进入FID,另一部分进入嗅闻装置。

挑选4名(2男2女,平均年龄25岁)经过闻香训练的硕士研究生进行GC-O分析。对于AEDA,将稀释后的酒样用10%乙醇溶液依次稀释至4ⁿ倍($n=1,2,3,\dots$)。在GC运行时,研究组成员将鼻子靠近嗅辨端口上方,记录下色谱流出物的保留时间及其香气描述,直到该香气物质在某一稀释浓度下无法嗅辨出来,记录下这一香气物质能够被嗅辨到的最高稀释浓度,这个数值即为香气稀释(flavor dilution, FD)值。每个闻香人员重复2次。

定性根据MS,香气描述和标准品的保留指数(retention index, RI)。将FD值不小于256的物质确定为关键香气成分。

1.2.3 GC-MS分析

GC条件:同GC-O色谱条件。

MS条件:采用全扫描模式采集信号;电子电离

源；电子能量70 eV；传输线温度280 ℃；离子源温度230 ℃；四极杆温度150 ℃；质量扫描范围30~450 u。

根据NIST 05a.L谱库和标准品的RI定性。定量采用内标法（内标为2-辛醇）对五粮液酒中的挥发性香气物质进行相对定量。

1.2.4 感官分析

采用定量描述性感官分析，选取10点制（0~9，0表示没有味道，9表示味道最强）。评价小组由8人组成（4男4女，平均年龄25岁）。经过讨论，将五粮液酒分为陈香、果香、窖香、花香、甜香、焦糖香和粮食香7个感官属性。随后，对3种不同年份五粮液酒的7个感官属性进行打分。

采用SAS V8软件对感官分析数据进行方差分析和Duncan's多重比较测试实验，来确定3个酒样之间感官属性的差异。

2 结果与分析

2.1 GC-O分析结果

表1 GC-O-AEDA法鉴定3种不同年份五粮液酒中的香气物质
Table 1 Aroma compounds in three Chinese Wuliangye liquors identified by GC-O-AEDA

编号	香气物质	香气描述	香气物质RI	标准品RI	鉴定依据	FD值		
						1 a	15 a	30 a
1	乙酸乙酯	菠萝香	893	893	MS, aroma, RI	16	4	4
2	3-甲基丁醛	麦芽香	923	924	MS, aroma, RI	4	4	4
3	丁酸乙酯	菠萝香	1 047	1 050	MS, aroma, RI	4 096	1 024	1 024
4	己醛	青草香	1 075	1 090	MS, aroma, RI	256	1 024	64
5	戊酸乙酯	苹果香	1 136	1 137	MS, aroma, RI	4 096	1 024	1 024
6	己酸乙酯	果香	1 236	1 225	MS, aroma, RI	4 096	1 024	1 024
7	己酸丙酯	菠萝香	1 260	1 293	MS, aroma, RI	16	4	4
8	庚酸乙酯	果香	1 318	1 323	MS, aroma, RI	4 096	1 024	1 024
9	己醇	花香	1 362	1 363	MS, aroma, RI	1 024	1 024	256
10	己酸丁酯	菠萝香	1 391	1 379	MS, aroma, RI	256	64	64
11	壬醛	玫瑰香	1 392	1 385	MS, aroma, RI	16	4	4
12	辛酸乙酯	果香	1 419	1 424	MS, aroma, RI	1 024	256	256
13	己酸异戊酯	菠萝香	1 441	1 459	MS, aroma, RI	256	64	64
14	糠醛	甜香	1 473	1 476	MS, aroma, RI	1 024	1 024	256
15	己酸戊酯	果香	1 494	1 504	MS, aroma, RI	4	4	1
16	壬酸乙酯	果香	1 520	1 525	MS, aroma, RI	64	16	16
17	苯甲醛	果香	1 530	1 534	MS, aroma, RI		16	
18	辛醇	果香	1 556	1 554	MS, aroma, RI	256	64	64
19	己酸己酯	青香, 果香	1 612	1 598	MS, aroma, RI	1 024	256	64
20	丁酸	干酪香	1 628	1 633	MS, aroma, RI	16	4	4
21	癸酸乙酯	果香	1 639	1 648	MS, aroma, RI	256	256	64
22	苯甲酸乙酯	花香	1 679	1 661	MS, aroma, RI	256	64	64
23	戊酸	干酪香	1 736	1 706	MS, aroma, RI	256	64	64
24	苯乙酸乙酯	蜜香	1 795	1 797	MS, aroma, RI	64	16	16
25	己酸	干酪香	1 844	1 850	MS, aroma, RI	1 024	256	256
26	庚酸	脂肪香	1 952	1 955	MS, aroma, RI	1 024	256	256
27	十四酸乙酯	蜡香	2 056	2 055	MS, aroma, RI	64	16	64
28	辛酸	干酪香	2 060	2 063	MS, aroma, RI	16	4	4
29	己酸-2-苯乙酯	果香、青香	2 192	2 178	MS, aroma, RI	64	4	4
30	十六酸乙酯	蜡香	2 262	2 261	MS, aroma, RI	64	64	64

注：鉴定依据中MS为香气物质通过MS确认，aroma为香气物质通过闻香确认，RI为香气物质通过对比标准品RI确认。

表1列举出了通过GC-O-AEDA鉴定出的3种不同年份五粮液酒的香气成分。共鉴定出30种香气物质，其中酯类物质的数量最多，共有18种，另外还有醇类物质2种，酸类物质和醛类物质各5种。比较3种不同年份五粮液酒中香气物质的FD值，可以发现丁酸乙酯、戊酸乙酯、己酸乙酯、庚酸乙酯、己醇、辛酸乙酯、糠醛、己酸和庚酸这9种物质在3种五粮液酒中的FD值均不小于256。这些物质对五粮液酒的香气特征发挥了重要作用，被认为是关键香气成分。其中，丁酸乙酯贡献菠萝香，戊酸乙酯贡献苹果香，己酸乙酯贡献果香，庚酸乙酯贡献果香，己醇贡献花香，辛酸乙酯贡献果香，糠醛贡献甜香，己酸贡献干酪香，庚酸贡献脂肪香。

2.2 香气物质含量测定结果

表2 3种不同年份五粮液酒中香气物质含量
Table 2 Concentrations of aroma compounds in three Wuliangye liquors

编号	化合物	质量浓度/(mg/L)		
		1 a	15 a	30 a
1	乙酸乙酯	16.664	11.442	4.911
2	3-甲基丁醛	1.876	2.211	1.242
3	丁酸乙酯	27.643	9.354	8.891
4	己醛	0.541	1.314	0.102
5	戊酸乙酯	17.456	8.592	6.664
6	己酸乙酯	527.094	222.783	189.473
7	己酸丙酯	3.125	1.200	0.545
8	庚酸乙酯	49.635	23.880	16.209
9	己醇	9.176	5.079	1.536
10	己酸丁酯	7.094	2.361	0.997
11	壬醛	0.633	0.234	0.105
12	辛酸乙酯	59.787	11.913	16.508
13	己酸异戊酯	26.223	7.089	3.771
14	糠醛	9.898	5.712	2.085
15	己酸戊酯	0.757	1.020	0.302
16	壬酸乙酯	4.354	1.893	1.565
17	苯甲醛		0.759	
18	辛醇	1.417	0.681	0.290
19	己酸己酯	27.987	7.749	2.469
20	丁酸	1.483	0.357	0.198
21	癸酸乙酯	11.056	4.332	1.674
22	苯甲酸乙酯	1.513	0.372	0.279
23	戊酸	1.618	0.366	0.203
24	苯乙酸乙酯	8.261	1.482	1.665
25	己酸	40.339	17.748	11.487
26	庚酸	5.637	1.770	1.620
27	十四酸乙酯	7.206	0.975	3.483
28	辛酸	10.479	3.615	3.912
29	己酸-2-苯乙酯	0.810	0.126	0.079
30	十六酸乙酯	9.895	7.194	5.487

如表2所示，1 a五粮液酒中香气物质总质量浓度最多，为889.657 mg/L，其次是15 a五粮液酒，为363.603 mg/L，最少的是30 a五粮液酒，为287.752 mg/L。在所有香气物质中，酯类物质含量最多，在3种年份五粮液酒中的质量浓度分别是806.560、323.757、264.972 mg/L。

其中,含量最高的是己酸乙酯,在3种年份五粮液酒中质量浓度分别是527.094、222.783、189.473 mg/L。

2.3 感官分析结果

表3 3种不同年份五粮液的7个感官属性的平均得分

Table 3 Mean sensory scores for sensory attributes of three Wuliangye liquors

感官属性	平均得分		
	1 a	15 a	30 a
陈香	2.67 ^c	4.31 ^b	7.33 ^a
果香	7.00 ^a	5.76 ^b	5.13 ^b
窖香	3.63 ^b	7.61 ^a	8.81 ^a
花香	6.75 ^a	4.62 ^b	3.93 ^c
甜香	3.25 ^c	4.80 ^b	6.91 ^a
焦糖香	2.30 ^c	4.85 ^b	6.21 ^a
粮食香	4.15 ^c	8.60 ^a	5.24 ^b

注:同行不同肩标小写字母表示差异显著($P<0.05$);通过Duncan's多重比较得出,8个评价员进行3次重复。

如表3及方差分析表明,3个酒样的7个感官属性均有显著性差异($P<0.05$),Duncan's多重比较表明,陈香、花香、甜香、焦糖香和粮食香区别最明显。陈香、窖香、甜香和焦糖香随年份的延长感官属性平均得分而增强,果香和花香随年份的延长而降低,而粮食香随年份增长呈先上升后下降趋势。

3 结 论

本研究以1、15 a和30 a 3种不同年份的五粮液酒为研究对象,通过使用HS-SPME、GC-O-AEDA结合GC-MS对五粮液中的关键香气成分进行研究,鉴定出五粮液酒的30种香气物质,其中FD值不小于256的被认为是关键香气成分。定量结果表明,五粮液酒中的香气物质总含量随着时间的延长而下降。同时,对3种不同年份五粮液酒进行了感官分析。方差分析表明,3种酒样的7个感官属性均有显著性差异($P<0.05$),Duncan's多重比较表明,陈香、花香、甜香、焦糖香和粮食香区别最明显。

参考文献:

- 汪玲玲, 范文来, 徐岩. 酱香型白酒液液微萃取毛细管色谱骨架成分与香气重组[J]. 食品工业科技, 2012, 33(19): 304-308; 361.
- 杜海, 范文来, 徐岩. 顶空固相微萃取(HS-SPME)和气相色谱-质谱(GC-MS)联用定量白酒中两种异味物质[J]. 食品工业科技, 2010, 31(1): 373-375; 377.
- 范文来, 胡光源, 徐岩. 顶空固相微萃取-气相色谱质谱法测定药香型白酒中萜烯类化合物[J]. 食品科学, 2012, 33(14): 110-116.
- 杨建刚, 吴赫川, 周健, 等. 基于顶空固相微萃取技术结合气相色谱质谱联用法的川法小曲白酒挥发性成分研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(7): 2666-2679.
- FAN Wenlai, XU Yan, ZHANG Yanhong. Characterization of pyrazines in some Chinese liquors and their approximate concentrations[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(24): 9956-9962. DOI:10.1021/jf071357q.
- 李建飞, 王德良. SPME-GC-MS-SIM联用检测白酒中含氮化合物[J]. 酿酒科技, 2010(9): 89-92.
- 陈志强, 卓瑞, 金杨, 等. HS-SPME-GC-MS法检测中国白酒中乙醇类成分[J]. 江西农业学报, 2008, 20(5): 63-64.
- 侯建光, 韩素娜, 樊建辉, 等. 应用HS-SPME和GC-MS浅析陶香型白酒中挥发性成分[J]. 酿酒, 2016, 43(3): 37-40. DOI:10.3969/j.issn.1002-8110.2016.03.012.
- 王晓欣, 范文来, 徐岩. 应用GC-O和GC-MS分析酱香型习酒中挥发性香气成分[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(5): 154-160.
- 范海燕, 范文来, 徐岩. 应用GC-O和GC-MS研究豉香型白酒挥发性香气成分[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(4): 147-152. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201504028.
- FAN Wenlai, QIAN M C. Characterization of aroma compounds of Chinese "Wuliangye" and "Jiannanchun" liquors by aroma extract dilution analysis[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(7): 2695-2704. DOI:10.1021/jf052635t.
- KIM J S, KAM S F, CHUNG H Y. Comparison of the volatile components in two Chinese wines, Moutai and Wuliangye[J]. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry, 2009, 52(3): 275-282. DOI:10.3839/jksabc.2009.049.
- WANG Peipei, LI Zhao, QI Tingting, et al. Development of a method for identification and accurate quantitation of aroma compounds in Chinese Daohuaxiang liquors based on SPME using a sol-gel fibre[J]. Food Chemistry, 2015, 169: 230-240. DOI:10.1016/j.foodchem.2014.07.150.
- ZHU Jiancai, CHEN Feng, WANG Lingying, et al. Comparison of aroma-active volatiles in Oolong tea infusions using GC-olfactometry, GC-FPD, and GC-MS[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(34): 7499-7510. DOI:10.1021/acs.jafc.5b02358.
- 肖作兵, 陈合兴, 牛云蔚, 等. 顶空蒸馏萃取法结合GC-MS/GC-O技术分析龙井茶的特征香气成分[J]. 浙江大学学报(理学版), 2015, 42(6): 714-720. DOI:10.3785/j.issn.1008-9497.2015.06.014.
- 舒畅, 余远斌, 肖作兵, 等. 新、陈龙井茶关键香气成分的SPME/GC-MS/GC-O/OAV研究[J]. 食品工业, 2016, 37(9): 279-285.
- 蒲丹丹, 孙杰, 陈海涛, 等. SDE-GC-MS结合GC-O对比熟湖南腊肉和熟广东腊肉的挥发性风味成分[J]. 食品科学, 2015, 36(24): 131-136. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201524023.
- 藏明伍, 张凯华, 王守伟, 等. 基于SPME-GC-O-MS的清真酱牛肉加工过程中挥发性风味成分变化分析[J]. 食品科学, 2016, 37(12): 117-121. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201612020.
- 王进, 朱建才. 应用GC-MS/GC-O法鉴定阿胶关键香气化合物[J]. 食品工业, 2016, 37(7): 265-269.
- 余远斌, 舒畅, 肖作兵, 等. GC-MS/GC-O结合化学计量学方法研究不同产地阿胶的关键香气组分[J]. 现代食品科技, 2016, 32(2): 269-275.
- XIAO Zuobing, MA Shengtao, NIU Yunwei, et al. Characterization of odour-active compounds of sweet orange essential oils of different regions by gas chromatography-mass spectrometry, gas chromatography-olfactometry and their correlation with sensory attributes[J]. Flavour and Fragrance Journal, 2016, 31(1): 41-50. DOI:10.1002/ffj.3268.
- XIAO Zuobing, FAN Binbin, NIU Yunwei, et al. Characterization of odor-active compounds of various *Chrysanthemum* essential oils by gas chromatography-olfactometry, gas chromatography-mass spectrometry and their correlation with sensory attributes[J]. Journal of Chromatography B, 2016, 1009/1010: 152-162. DOI:10.1016/j.jchromb.2015.12.029.
- 杨君, 邵海燕, 储国海, 等. 基于GC-MS和GC-O联用法分析佛手精油关键香气成分[J]. 食品科学, 2015, 36(20): 194-197. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201520037.

- [24] GAO Wenjun, FAN Wenlai, 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 and Food Chemistry, 2014, 62(25): 5796-5804. DOI:10.1021/jf501214c.
- [25] FAN Haiyan, FAN Wenlai, XU Yan. Characterization of key odorants in Chinese Chixiang aroma-type liquor by gas chromatography-olfactometry, quantitative measurements, aroma recombination, and omission studies[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(14): 3660-3668. DOI:10.1021/jf506238f.
- [26] ZHENG Yang, SUN Baoguo, ZHAO Mouming, et al. Characterization of the key odorants in Chinese Zhima aroma-type Baijiu by gas chromatography-olfactometry, quantitative measurements, aroma recombination, and omission studies[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2016, 64(26): 5367-5374. DOI:10.1021/acs.jafc.6b01390.
- [27] WANG Xiaoxin, FAN Wenlai, XU Yan. Comparison on aroma compounds in Chinese soy sauce and strong aroma type liquors by gas chromatography-olfactometry, chemical quantitative and odor activity values analysis[J]. European Food Research and Technology, 2014, 239(5): 813-825. DOI:10.1007/s00217-014-2275-z.
- [28] XIAO Zuobing, YU Dan, NIU Yunwei, et al. Characterization of aroma compounds of Chinese famous liquors by gas chromatography-mass spectrometry and flash GC electronic-nose[J]. Journal of Chromatography B, 2014, 945/946(2): 92-100. DOI:10.1016/j.jchromb.2013.11.032.
- [29] XIAO Zuobing, YU Dan, NIU Yunwei, 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 and Fragrance Journal, 2016, 31(3): 217-227. DOI:10.1002/ffj.3304.
- [30] NIU Yunwei, ZHANG Xiaoming, XIAO Zuobing, et al. Characterization of odor-active compounds of various cherry wines by gas chromatography-mass spectrometry, gas chromatography-olfactometry and their correlation with sensory attributes[J]. Journal of Chromatography B, 2011, 879(23): 2287-2293. DOI:10.1016/j.jchromb.2011.06.015.
- [31] ZHU Jiancai, CHEN Feng, WANG Lingying, et al. Comparison of aroma-active compounds and sensory characteristics of durian (*Durio zibethinus* L.) wines using strains of *Saccharomyces cerevisiae* with odor activity values and partial least-squares regression[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(7): 1939-1947. DOI:10.1021/jf505666y.
- [32] ZHU Jiancai, CHEN Feng, WANG Lingying, et al. Characterization of the key aroma volatile compounds in cranberry (*Vaccinium macrocarpon* Ait.) using gas chromatography-olfactometry (GC-O) and odor activity value (OAV)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2016, 64(24): 4990-4999. DOI:10.1021/acs.jafc.6b01150.