



胡晓龙,田瑞杰,樊建辉,等.浓香型白酒挥发性化合物香气贡献及其地域特征研究进展[J].轻工学报,2022,37(2):1-14.
HU X L, TIAN R J, FAN J H, et al. Research progress on the aroma contribution and their regional characteristics of volatile compounds in Chinese strong-flavor Baijiu[J]. Journal of Light Industry, 2022, 37(2): 1-14.
DOI: 10.12187/2022.02.001

浓香型白酒挥发性化合物香气贡献及其地域特征研究进展

胡晓龙^{1,2}, 田瑞杰², 樊建辉¹, 韩素娜¹, 李建民¹, 李华¹, 王亚平², 何培新²

1. 河南仰韶酒业有限公司 博士后科研工作站, 河南 浉池 472400;
2. 郑州轻工业大学 食品与生物工程学院, 河南 郑州 450001

摘要: 基于浓香型白酒挥发性化合物的主要特征和基本信息(感官阈值、风味描述、嗅闻时间强度、香气活力值等), 综述了浓香型白酒重要呈香物质种类、香气感官描述及其关联性挥发性化合物, 以及挥发性化合物的地域特征等, 认为: 含量低但种类多、感官阈值范围广、香气特征多样及交互作用复杂为浓香型白酒微量成分的主要特征; 对浓香型白酒中 115 种挥发性化合物的感官阈值及其香气贡献度进行梳理, 归纳出其中 38 种重要呈香物质, 主要为酸类、酯类、芳香族及醇类化合物; 挥发性化合物的组成和含量与浓香型白酒地域特征和香气感官存在明显关联性, 如吡嗪类化合物是浓香型白酒中呈现焙烤香的物质基础, 乙酸乙酯、2,3,5-三甲基吡嗪、2-戊酮等 22 种化合物是区分川派和江淮派浓香型白酒的特征挥发性化合物。针对“风味轮”构建及浓香型白酒感官评价中存在的不足, 指出未来应就白酒感官描述术语标准体系构建、香气感官特征与挥发性化合物组成的关联性、白酒微量成分之间的交互作用等进行深入研究, 促进浓香型白酒关键风味成分筛选及溯源、异味物质控制、系统感官评价方法建立及基于地域环境特征的个性化生态酿造理念形成, 为白酒产业高质量发展奠定基础。

关键词: 浓香型白酒; 挥发性化合物; 地域特征; 感官评价; 风味轮

中图分类号: TS262.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-1553(2022)02-0001-14

0 引言

中国白酒是以粮谷为原料, 酒曲为主要糖化发酵剂, 经蒸煮、糖化发酵、蒸馏、储存、勾兑而成的蒸馏酒。根据其风格特征及酿造工艺的不同, 白酒可分为浓香型、清香型、酱香型、米香型、兼香型等 12 种香型, 其中浓香型白酒占中国白酒市场产销量的

70%左右。浓香型白酒的酿造工艺涵盖泥窖固态发酵、续糟配料、混蒸混烧等上百道工序^[1-3], 形成了无色透明、窖香浓郁、绵甜醇厚、香味协调、尾净爽口的浓香型白酒典型风格^[4]。

浓香型白酒的主要成分为乙醇和水, 占其总质量 98%左右, 而微量成分仅约占 2%。白酒中的微量成分具有四大主要特征^[5-17]: 1) 含量低、种类繁

收稿日期: 2021-05-06; 修回日期: 2022-02-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(31801535); 中原产业创新领军人才项目(214100510009); 三门峡市引进高层次人才(团队)创新创业项目(2020111)

作者简介: 胡晓龙(1984—), 男, 河南省杞县人, 郑州轻工业大学副教授, 博士, 主要研究方向为白酒酿造。E-mail: 416135824@qq.com

通信作者: 何培新(1970—), 男, 河南省民权县人, 郑州轻工业大学教授, 博士, 主要研究方向为发酵工程。E-mail: hepeixin@zzuli.edu.cn

多,涵盖了酸类、酯类、醇类、醛类、酮类、芳香族类、含硫类等类别近千种化合物;2)感官阈值具有明显的差异性;3)不同微量成分的香气特征呈现明显的异同性,如多种酯类化合物呈现水果香,而吡嗪类化合物多呈现焙烤香、坚果香等;4)微量成分之间的交互作用呈现高度复杂性,如加成、中和、协同、掩盖等多种交互作用使浓香型白酒整体香气更为复杂^[13-17]。因此,白酒微量成分中的化合物种类及其比例决定着不同类型(地域、储存时间、质量等级、酒精度等)浓香型白酒的风味及感官品质。

目前对浓香型白酒感官评价及其挥发性化合物的定性和定量分析、感官阈值测定、香气特征及贡献度,以及其与白酒整体香气感官关联性等方面的研究已成为热点^[9,18-21]。例如,白酒整体香气感官可用青草香、花香、焙烤香、酸气、甜香等多个维度进行描述^[11-12,22]。浓香型白酒中的焙烤香主要由吡嗪类化合物贡献,包括2,3-二甲基-5-乙基吡嗪、2,3,5-三甲基吡嗪、2,3,5-三甲基-6-乙基吡嗪等^[11]。己酸、丁酸、3-甲基丁酸等为浓香型白酒中重要的呈香酸类化合物^[10,12,22-25],3-甲基吡嗪为呈现泥臭味的关键化合物^[16,26]。这些研究有助于深入揭示挥发性化合物对白酒香气的贡献度,也为白酒异味物质控制、风味成分相互作用、关键风味成分筛选等研究提供了理论依据^[27]。

我国浓香型白酒企业数量多且分布广^[11,28-29],就其地理位置而言大致可分为两派,即以中国西南部泸州为中心的川派及以东部徐州为中心的江淮派^[11]。据报道,除酿造工艺、原料、生产工具、操作规范等因素外^[30-33],地理位置差异造成的酿造环境(空气、土壤、水、湿度、温度等)不同也是造成白酒酿造微生物群落差异的重要因素^[34-36],这些因素的综合作用造成了白酒酿造过程中挥发性化合物的多样性和组成差异,使得白酒整体香气特征及其挥发性化合物组成具有明显的地域特征^[37-38]。

鉴于此,本文主要针对浓香型白酒中挥发性化合物种类、感官阈值和重要呈香物质,白酒香气感官特征关联性化合物,以及浓香型白酒挥发性化合物地域特征研究现状进行综述,以期深入揭示挥发性化合物对浓香型白酒风味的具体香气

贡献及建立其定量信息与白酒香气感官特征关联性纽带提供理论支撑和参考,同时为浓香型白酒实际生产及勾调环节中的关键风味成分确认、异味物质控制、系统感官评价方法建立、基于地域环境特征的生态酿造理念形成等方面的应用研究提供参考,为白酒产业高质量发展奠定基础。

1 浓香型白酒中的挥发性化合物

1.1 酸类化合物

白酒中的酸类化合物绝大部分为有机酸^[5],包括乙酸、丁酸、己酸、辛酸、月桂酸、苯乙酸等多种短链、中链、长链脂肪酸、芳香族有机酸等^[39-40]。有机酸含量占浓香型白酒微量成分总量的13%~30%^[41],其中己酸、乙酸、丁酸和乳酸为白酒四大酸,占酒体总酸含量90%以上^[42]。有机酸是影响浓香型白酒品质的一类重要化合物,可直接影响白酒的呈香和呈味程度^[43];也可通过促进酒体老熟、协调酒体平衡、提供风味前体物质等间接作用影响酒体中各类物质之间的融合度及香气复合性^[41,44]。适量的有机酸可使酒体丰满、醇厚,回味悠长;含量偏低则使酒体风味寡淡、邪杂味凸显、后味短等;含量过高则使酒体粗糙、放香差、闻香不正、发酸发涩等^[41-43]。

浓香型白酒中14种挥发性酸类化合物的感官阈值、*Osme*(Odor Specific Magnitude Estimation, 嗅闻时间强度)值/*FD*(Flavor Dilution, 风味稀释)值/*OAV*(Odor Activity Value, 气味活力值)(*Osme*/*FD*/*OAV*)^[45-48]及风味描述见表1。白酒中部分脂肪酸在酒精-水溶液中的感官阈值为144.00~160 000.00 $\mu\text{g/L}$,其中乙酸的感官阈值最高,丁酸、戊酸和4-甲基戊酸的感官阈值相对较低。这些结果有助于进一步认识挥发性酸类化合物对白酒风味的贡献。基于挥发性化合物的*Osme*/*FD*/*OAV*,以及香气重组和缺失实验分析结果^[10-12,22-25]发现,对浓香型白酒香气贡献较大的酸类化合物主要为碳原子数小于10的中短链脂肪酸,如己酸、丁酸、3-甲基丁酸、戊酸、庚酸、2-甲基丙酸、4-甲基戊酸、辛酸、乙酸和丙酸的一种或多种,其中前4种是对浓香型白酒香气贡献最大的酸类化合物。

表1 浓香型白酒中14种挥发性酸类化合物的感官阈值、 $Osm_e/FD/OAV$ 及风味描述Table 1 The odor threshold, $Osm_e/FD/OAV$ and flavor description of 14 volatile acid compounds in Chinese strong-flavor Baijiu

化合物	感官阈值/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	$Osm_e/FD/OAV$	风味描述
乙酸	160 000.00 ^{1a}	9.5/20/3.2	乳酸酸香 ^A
丙酸	18 200.00 ^{2a}	6.5/12/3.2	刺激性酸味 ^A
2-甲基丙酸	1 580.00 ^{1a}	9/2/15	奶酪味 ^B
丁酸	964.64 ^{3a}	14/512/225	奶酪味 ^B
2-甲基丁酸	5 931.55 ^{3a}	—/—/—	辛辣、刺鼻 ^C
3-甲基丁酸	1 045.47 ^{3a}	11/192/18.8	奶酪味 ^B
戊酸	389.11 ^{3a}	10.5/96/88.6	奶酪味 ^B
4-甲基戊酸	144.00 ^{2a}	7.5/12/10.6	甜香味 ^B
己酸	2 517.16 ^{3a}	15/768/204.8	奶酪味、甜香 ^B
庚酸	13 821.32 ^{3a}	7.5/36/1	窖泥味、不愉快味 ^B
辛酸	2 701.23 ^{3a}	10/5/9.4	水果香、花香、油脂味 ^D
壬酸	3 559.23 ^{3a}	—/—/ <1	脂肪味 ^B
癸酸	13 736.77 ^{3a}	—/—/—	脂肪味 ^B
十二酸	9 153.79 ^{3a}	—/—/—	香味 ^E

注:上标数字1、2、3的感官阈值分别来自文献[49]、[18]和[9]; Osm_e/FD 分别来自W. L. Fan等^[23-24]研究结果的平均值; OAV 来自D. R. Zhao等^[12]研究结果的平均值,—表示未找到相关数据,表2、表3和表4中的 $Osm_e/FD/OAV$ 来源同此表,其值越大表明该化合物对浓香型白酒香气贡献越大;字母A、B、C、D、E代表数据分别来自文献[50]、[51]、[52]、[53]和[54];字母a、b分别代表该化合物在46%vol酒精-水溶液和10%vol酒精-水溶液中测定的感官阈值,下同。

1.2 酯类化合物

酯类化合物是浓香型白酒中含量最高且影响最大的一类微量成分,占总量的55%~60%,主要呈现水果香、花香等,其含量和比例是影响浓香型白酒典型风格及品质的关键因素^[33,41]。国家标准(GB/T 10781.1—2006)规定^[55],浓香型优级高度酒总酯含量(以乙酸乙酯计,下同) ≥ 2.0 g/L,一级酒总酯含量 ≥ 1.5 g/L;浓香型优级低度酒总酯含量 ≥ 1.5 g/L,一级酒总酯含量 ≥ 1.0 g/L。乙酯类化合物是酯类中最重要芳香物质,包括己酸乙酯、丁酸乙酯、戊酸乙酯、乳酸乙酯、乙酸乙酯、3-甲基丁酸乙酯等^[24],其中己酸乙酯、乳酸乙酯、乙酸乙酯和丁酸乙酯被确认为浓香型白酒四大酯,占总酯含量90%以上^[33]。己酸乙酯为浓香型白酒最关键的呈香物质(又称主体香),占四大酯总含量的35%~40%^[56],在不同类型(质量等级、品牌、摘酒时间等)的浓香型白酒中,100 mL原酒的己酸乙酯质量一般为70~500 mg^[7,12,57-60]。四大酯比例是影响浓香型白酒典型风格和品质的重要因素,如己酸乙酯与乳酸乙酯比例明显降低将导致酒体香气较短淡、主体香受抑制,带有酸涩味和闷甜感,香味失调,等等^[61-62]。目

前大多数优质浓香型白酒中,己酸乙酯、乳酸乙酯、乙酸乙酯与丁酸乙酯的质量浓度比一般为1.0:(0.6~0.8):(0.5~0.6):0.1^[63]。因此,在浓香型白酒的勾调过程中,一定要平衡四大酯的量比关系,同时根据实际生产情况确定是否采取“增己降乳”和(或)“增己降乙”措施,以防止乳酸乙酯和(或)乙酸乙酯含量过高^[61-62,64]。

浓香型白酒中33种挥发性酯类化合物的感官阈值、 $Osm_e/FD/OAV$ 及风味描述见表2。白酒中部分酯类化合物在酒精-水溶液中的感官阈值为6.89~353 193.25 $\mu\text{g}/\text{L}$,其中丁二酸二乙酯和乳酸乙酯的感官阈值较高,3-甲基丁酸乙酯、乙酸辛酯、辛酸乙酯、 γ -癸内酯的感官阈值相对较低,且酯类主要呈现多种水果香或花香。基于挥发性化合物的 $Osm_e/FD/OAV$ 、香气重组和缺失实验分析结果^[10,12,22-25]发现,己酸乙酯、辛酸乙酯、戊酸乙酯、丁酸乙酯、3-甲基丁酸乙酯、己酸异戊酯、己酸丁酯和 γ -壬内酯中的一种或几种为不同类型(如品牌、地区等)浓香型白酒的重要呈香物质,其中前5种对浓香型白酒的香气贡献最大,尤其是己酸乙酯。

表2 浓香型白酒中33种挥发性酯类化合物的感官阈值、*Osme/FD/OAV*及风味描述
Table 2 The odor threshold, *Osme/FD/OAV* and flavor description of 33 volatile ester compounds in Chinese strong-flavor Baijiu

化合物	感官阈值/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	<i>Osme/FD/OAV</i>	风味描述
乙酸乙酯	32 551.60 ^{1a}	9/256/34.8	菠萝香、苹果香、水果香 ^A
乙酸己酯	5 560.00 ^{2a}	5.25/18/—	水果香、花香 ^B
乙酸-3-甲基丁酯	30.00 ^{3b}	6/—/—	香蕉香、甜香、苹果香、水果香 ^A
乙酸香叶酯	636.07 ^{1a}	—/—/—	玫瑰花香、花香 ^A
乙酸辛酯	12.00 ^{3b}	—/—/—	水果香 ^C
丙酸乙酯	19 019.33 ^{1a}	—/36/—	香蕉香、水果香 ^A
2-甲基丙酸乙酯	57.47 ^{1a}	8.5/272/—	花香、水果香 ^A
丁酸乙酯	81.50 ^{1a}	8.67/2048/2402	苹果香、菠萝香、水果香、花香 ^A
丁酸-3-甲基丁酯	915.00 ^{2a}	—/16/—	花香、水果香 ^B
2-甲基丁酸乙酯	18.00 ^{3b}	—/48/—	水果香 ^C
3-甲基丁酸乙酯	6.89 ^{6a}	7/768/372.62 [*]	苹果香、香蕉香、菠萝香 ^C
丁二酸二乙酯	353 193.25 ^{1a}	7.5/4.5/—	水果香、花香 ^A
戊酸乙酯	26.78 ^{1a}	9.75/1280/2 002.5	水蜜桃香、水果香、花香、甜香 ^A
己酸乙酯	55.33 ^{1a}	8.88/6144/42 681.4	甜香、水果香、窖香、青瓜香 ^A
己酸丙酯	12 783.77 ^{1a}	7.5/80/<1	水果香、酯香、老窖香、菠萝香 ^A
己酸丁酯	678.00 ^{2a}	9.5/1536/—	菠萝香 ^A
己酸戊酯	13 802.33 ^{4a}	6.5/—/—	水果香 ^C
己酸异戊酯	1 000.00 ^{3b}	—/—/5.4	苹果香 ^C
己酸己酯	1 890.00 ^{2a}	5.75/160/9.8	苹果香 ^B
2-羟基己酸乙酯	51 366.88 ^{5a}	—/—/—	花香 ^B
己酸-2-甲基丙酯	5 350.31 ^{4a}	6/48/—	水果香 ^C
庚酸乙酯	13 200.00 ^{6a}	8/144/4.6	水果香、花香、甜香 ^B
辛酸乙酯	12.87 ^{1a}	11/768/6 934.6	甜香、梨香、百合花香 ^A
壬酸乙酯	3 150.61 ^{1a}	4.5/—/—	酯香、水果香、蜜香 ^A
癸酸乙酯	1 122.30 ^{7a}	7.5/12/—	菠萝香、水果香、花香 ^A
乳酸乙酯	128 083.80 ^{1a}	—/—/6.6	甜香、水果香、青草香 ^A
月桂酸乙酯	400.00 ^{3b}	—/—/—	叶子香 ^D
3-甲硫基丙酸乙酯	3 080.00 ^{4a}	—/—/—	中药香 ^C
反-4-葵烯酸乙酯	112.29 ^{4a}	—/—/—	花香 ^E
γ -辛内酯	2 816.33 ^{1a}	—/17/—	奶油香、椰子香 ^A
γ -壬内酯	90.66 ^{1a}	—/36/3.2	奶油香、椰子香 ^A
γ -癸内酯	10.87 ^{1a}	—/—/—	水果香、花香、甜香 ^A
γ -十二内酯	60.68 ^{1a}	—/—/—	水果香、蜜香、奶油香 ^A

注:上标数字1、2、3、4、5、6和7的感官阈值分别来自文献[9]、[18]、[19]、[21]、[20]、[49]和[65];字母A、B、C、D和E代表数据分别来自文献[9]、[20]、[7]、[66]和[21];其中标记*的数字来自张馨元等^[10]的研究结果。

1.3 醇、醛、酮类化合物

部分醇、醛、酮类化合物感官阈值、*Osme/FD/OAV*及风味描述见表3。醇类化合物占白酒呈香物质的10%~30%,为白酒中主要呈香呈味物质之一,同时具有衬托白酒酯香的作用。白酒中的醇类化合物大致分为一元醇、多元醇和芳香醇。一元醇包括甲醇、乙醇和高级醇(碳原子个数 ≥ 3)^[67],其中3-甲基丁醇、异丁醇和正丙醇为含量较高的高级醇,尤其3-

甲基丁醇。白酒中13种醇类化合物在酒精-水溶液中的感官阈值为6.12~179 190.83 $\mu\text{g/L}$,其中3-甲基丁醇的感官阈值最高,1-辛烯-3-醇的感官阈值相对较低。多数醇类物质具有花香和水果香,但个别醇类物质(如3-甲硫基-1-丙醇)具有异臭味。基于挥发性化合物的*Osme/FD/OAV*、香气重组和缺失实验分析结果^[10,12,22-25,68]发现,3-甲基丁醇、正丁醇、1-戊醇、2-戊醇和1-己醇对浓香型白酒香气贡献较大。

表3 部分醇、醛、酮类化合物感官阈值、 $Osme/FD/OAV$ 及风味描述
Table 3 The odor threshold, $Osme/FD/OAV$ and flavor description of some alcohols, aldehyde and ketone compounds

类别	化合物	感官阈值/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	$Osme/FD/OAV$	风味描述
醇类	正丙醇	53 952. 63 ^{1a}	—/—/—	水果香、花香、青草香 ^A
	2-甲基丙醇	40 000. 00 ^{2b}	4/2. 5/—	葡萄酒香 ^B
	正丁醇	2 733. 35 ^{1a}	5/96/33. 6	水果香 ^A
	3-甲基丁醇	179 190. 83 ^{1a}	9. 75/192/1. 4	水果香、花香 ^A
	1-戊醇	37 370. 00 ^{3a}	6/128/—	水果香 ^C
	2-戊醇	194 313. 01 ^{4a}	9/8/—	水果香、醇香 ^C
	1-己醇	5 370. 00 ^{5a}	9/20/11	水果香 ^C
	1-庚醇	26 600. 00 ^{6a}	7. 5/—/—	花香、蜜香 ^C
	2-庚醇	1 433. 94 ^{1a}	7/2/2. 4	水蜜桃香、杂醇油香、花香、蜜香 ^A
	1-辛醇	1 100. 00 ^{7a}	6. 25/—/1. 4	青草香 ^C
	1-辛烯-3-醇	6. 12 ^{1a}	—/—/—	青草香、水果香、油脂味 ^A
	1-壬醇	806. 43 ^{3a}	6. 5/—/—	青草香 ^C
	橙花叔醇	300. 00 ^{2b}	—/—/—	水果香 ^C
醛类	乙醛	1 200. 03 ^{3a}	—/—/—	花香、青草香 ^B
	乙缩醛	1 000. 00 ^{4a}	—/—/—	青草香、水果香 ^D
	2-甲基丙醛	1 312. 56 ^{3a}	—/33/—	水果香 ^B
	丁醛	2 901. 87 ^{1a}	—/—/—	水果香、花香 ^A
	3-甲基丁醛	16. 51 ^{1a}	—/—/—	水果香、花香 ^A
	戊醛	725. 41 ^{1a}	—/—/—	脂肪味、油腻味 ^A
	己醛	25. 48 ^{1a}	—/8/—	水果香、花香 ^A
	庚醛	409. 76 ^{1a}	—/—/—	青草香、青瓜香 ^A
	辛醛	39. 64 ^{1a}	—/—/—	青草香、水果香 ^A
	壬醛	122. 45 ^{1a}	—/—/2. 2	肥皂味、水腥味 ^A
	糠醛	44 000. 00 ^{5a}	7. 5/—/—	烘烤、花生香 ^E
酮类	5-甲基-糠醛	466 321. 08 ^{4a}	—/—/—	焦香、甜香、坚果香 ^E
	3-羟基-2-丁酮	259. 00 ^{8a}	—/—/ <1	黄油香 [*]
	2-壬酮	483. 33 ^{3a}	—/—/—	水果香 ^C
	2-十一酮	400. 00 ^{8a}	—/—/—	脂肪香、水果香、甜香 ^E

注:上标数字1、2、3、4、5、6、7、8的感官阈值分别来自文献[9]、[19]、[20]、[7]、[49]、[69]、[18]和[21];字母A、B、C、D、E代表数据分别来自文献[9]、[7]、[20]、[53]和[50];其中标记*的风味描述来源于文献[10]。

除了影响风味外,醇类化合物对白酒口感、饮后舒适度、安全、酒体澄清度等均有影响。例如,异丁醇含量过高会使酒体苦涩;适量的正丙醇可增加白酒的浓陈感,过量则会使白酒辛辣;适量(0.38 g/L左右)3-甲基丁醇可增加白酒的香味,使其更甘甜爽口,过量不仅会增加白酒的刺激感及引起“上头”,还会使酒体浑浊;甲醇对人体具有毒害作用,严重时甚至会导致死亡。根据《食品安全国家标准 蒸馏酒及其配制酒》(GB 2757—2012)要求,蒸馏酒及其配制酒中甲醇限量指标为 ≤ 0.6 g/L(以100%vol酒精度计)^[70]。多元醇在酒中较稳定,具有入口甜、落口绵的特点,如丙三醇、2,3-丁二醇等均为浓香型白酒中

的甜味物质,具有的黏稠感能调节酒的绵甜,促进酒体柔和醇厚,产生挂杯现象^[33,67]。

浓香型白酒中的醛、酮类化合物主要包括乙醛、乙缩醛、2,3-丁二酮、3-羟基-2-丁酮等,具有呈香作用,且为香气的主要协调成分,一般具有较强的刺激性,可增强酒体芳香,提升醇厚度,使酒体口感协调、后味余长等^[33,41,56,67]。例如,乙醛能降低白酒中挥发性化合物的感官阈值,提升白酒香气^[41];乙缩醛能增加白酒的绵柔感,也是白酒老熟的重要标志;2,3-丁二酮具有蜂蜜香,能提升白酒香气^[56]。表3呈现了白酒中部分(15种)醛、酮类化合物在酒精-水溶液中的感官阈值,为16.51~466 321.08 $\mu\text{g}/\text{L}$,主要呈现一

定的水果香、青草香、坚果香等。基于挥发性化合物的 $Osme/FD/OAV$ 、香气重组和缺失实验分析结果^[10,12,22-25]发现,壬醛、乙醛、乙缩醛和 3-甲基丁醛对浓香型白酒香气贡献较大。

1.4 芳香族、呋喃、吡嗪、含硫及萜烯类化合物

部分芳香族、呋喃、吡嗪、含硫及萜烯类化合物感官阈值、 $Osme/FD/OAV$ 及风味描述见表4。白酒中的芳香族化合物包括芳香醇、芳香酯、芳香酸、芳香醛、酚类等,如香草醛、丁香酸、愈创木酚等^[71]。呋喃类化合物包括糠醛、2-乙酰基呋喃、2-正丁基呋喃等,吡嗪类化合物包括 2,6-二甲基吡嗪、2,3,5-三甲基吡嗪等^[22]。含硫及萜烯类化合物包括二甲基二硫、己酸甲硫醇酯、蛇麻烯、 β -大马酮等^[10-11,72]。此外,部分吡嗪类、萜烯类化合物等被确认具有抗氧化、抗癌等生理活性,如 2-甲基吡嗪、2,3-二甲基吡嗪、2,3,5-三甲基吡嗪、 β -石竹烯、茴香脑等^[66,73-88]。

白酒中部分(40种)芳香族、呋喃、吡嗪、含硫及萜烯类化合物在酒精-水溶液中的感官阈值为 0.36~408 070.06 $\mu\text{g/L}$,其中 2-乙酰基-5-甲基呋喃和 2-糠酸乙酯的感官阈值较高,肉桂酸乙酯和二甲基三硫的感官阈值相对较低。上述化合物具有明显的呈香多样性,如苯乙酸乙酯呈玫瑰香和蜂蜜香,吡嗪类化合物多呈焙烤香等。基于挥发性化合物的 $Osme/FD/OAV$ 、香气重组和缺失实验分析结果^[10,12,22-25]发现,苯乙醛、香草醛、3-苯丙酸乙酯、4-甲基苯酚、苯乙酸乙酯、 β -苯乙醇、糠醛、2-正丁基呋喃、2,5-二甲基-3-乙基吡嗪、2-乙基-5-甲基吡嗪和二甲基三硫对浓香型白酒香气贡献和影响较大。

综上,通过综述相关文献中浓香型白酒中挥发性化合物的种类、感官阈值、 $Osme/FD/OAV$ 、风味描述等,归纳了浓香型白酒中 38 种重要呈香物质,涵盖了酸类、酯类、醇类、醛类、酮类、芳香族类、呋喃类、吡嗪类、含硫及萜烯类化合物,其中酸类(10种)和酯类(8种)化合物可能属于对浓香型白酒风味或风格贡献最为突出的化合物。这也将进一步为浓香型白酒中关键风味物质确认及其系统感官评价方法的建立提供数据参考。

2 浓香型白酒香气感官描述及关联性挥发性化合物

白酒感官评价主要是指通过人的感官,对色、香、

味品评后进行的综合评价,是鉴别白酒品质、保持白酒品质稳定和开发多风格白酒品类的重要手段^[4,79]。目前,我国白酒感官描述评语主要是在 1979 年白酒香型划分基础上形成的^[79-80],并沿用至今^[81-82]。这种传统感官评价方法使白酒多香型的划分及分化成为可能,促使我国酿酒业在上世纪取得了长足的进步^[83];但该方法也存在一定的局限性,如描述用语少且模糊、评分尺度过大、品酒表简单、不易理解等^[79,83],而且评价结果受人为因素(如认知、偏好、疲劳、操作规范等)影响较大,非量化的品评很难精确反映白酒风格和品质,难以满足现代多样化的生产工艺和市场需求^[83-85]。

鉴于白酒感官评价方法中的某些局限,近年来国内一些学者借鉴国际上酒类(如啤酒、葡萄酒和威士忌)“风味轮”理念及经验^[86-90],研究了适用于白酒风味特征的描述术语及对应参比物质的品评标准,初步形成了用于白酒感官评价的浓香型、特香型及清香型白酒“风味轮”^[85,91-92]。其中,周维军等^[85]结合中国白酒的风格特点及国内对白酒风味成分的鉴定成果,初步构建了浓香型白酒“风味轮”术语体系,定义了 19 个风味描述语,其中 12 个为白酒香气描述语,包括麦香、生粮香、水果香、窖香、泥臭、糟味、焦糊香、陈香、曲香、醇香、清爽气和中药味,浓香型白酒“风味轮”如图 1 所示。此外,青草香、花香、焙烤香、酸气和甜香也常用于白酒整体香气特征的描述^[11-12,22]。上述研究成果有助于白酒感官定量描述及辅助白酒感官科学向标准化发展,但关于白酒整体香气感官评价研究成果仍十分有限,目前国内尚未形成统一的浓香型白酒“风味轮”术语体系。

此外,浓香型白酒中挥发性化合物的种类具有多样性,且它们之间及其与非挥发性化合物之间存在加成、协同、掩盖等多种交互作用^[13-17],使得浓香型白酒整体香气构成更为复杂。例如,Y. X. He 等^[11]研究表明,浓香型白酒中的花香和甜香与乙酸苯甲酯、 β -大马酮、2-甲基苯甲醛、2-羟基丙酸丁酯、1-十一烯醇和琥珀酸二乙酯呈显著正相关;果香主要是由数十种酯类及某些含硫化合物贡献,如己酸乙酯、2-甲基丙酸丁酯、二甲基二硫、己酸甲硫醇酯等;窖香与 5-甲基-2-苯基-2-己烯醛、2-甲基-6-乙基吡嗪及一些呋

表4 部分芳香族、呋喃、吡嗪、含硫及萜烯类化合物感官阈值、 $O_{sme}/FD/OAV$ 及风味描述Table 4 The odor threshold, $O_{sme}/FD/OAV$ and flavor description of some aromatic, furan, pyrazines, sulfur and terpenes compounds

类别	化合物	感官阈值/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	$O_{sme}/FD/OAV$	风味描述
芳香族类	苯甲醛	990.00 ^{1b}	—/9/—	杏仁香、坚果香 ^A
	香草醛	438.52 ^{6a}	—/729/<1	奶香、奶油香 ^A
	苯乙醛	5.00 ^{1b}	6.5/24/3.8	花香 ^B
	苯乙酮	65.00 ^{1b}	—/—/—	水果香 ^B
	苯甲酸乙酯	575.00 ^{1b}	6.5/48/—	蜂蜜香、花香、洋槐花香、玫瑰花香 ^A
	萘	21.00 ^{1b}	—/—/—	樟脑球味 ^A
	苯乙酸乙酯	100.00 ^{1b}	—/96/6.4	玫瑰香、蜂蜜香 ^B
	乙酸-2-苯乙酯	909.00 ^{2a}	7/48/<1	花香、水果香 ^B
	苯甲醇	10 000.00 ^{1b}	—/—/—	花香、甜香、水果香 ^A
	丁酸-2-苯乙酯	960.56 ^{3a}	—/—/—	玫瑰花香、花香、橡胶味 ^A
	3-苯丙酸乙酯	125.21 ^{6a}	—/—/—	水果香、甜香 ^B
	β -苯乙醇	28 922.73 ^{4a}	—/—/—	玫瑰香、蜂蜜香 ^B
	肉桂酸乙酯	1.10 ^{1b}	6.5/—/—	水果香 ^B
	己酸-2-苯乙酯	94.00 ^{5a}	—/—/—	水果香 ^B
	苯酚	18 909.34 ^{4a}	5.5/80/<1	似胶水、墨汁气味
	4-甲基苯酚	166.97 ^{6a}	6.5/729/16.5	窑泥臭、焦皮臭 ^A
	4-乙基苯酚	617.89 ^{6a}	7.25/5/2.2	牛马圈味、来苏水味 ^A
	丁子香酚	21.24 ^{6a}	—/—/—	丁香味、哈密瓜香 ^A
	4-甲基愈创木酚	314.56 ^{6a}	7/—/3.2	烟熏味、酱油味 ^A
4-乙基愈创木酚	122.74 ^{6a}	7.5/32.5/—	水果香、甜香、花香 ^A	
呋喃类	2-乙酰基呋喃	58 504.19 ^{6a}	—/17/—	杏仁香、甜香、奶油香 ^A
	2-正丁基呋喃	5.00 ^{8a}	—/—/—	焦甜香 ^D
	2-乙酰基-5-甲基呋喃	408 070.06 ^{6a}	—/9/—	饼干香、烤杏仁香 ^A
	糠醛	14 100.00 ^{1b}	7.5/65/—	水果香 ^B
	2-糠醇	54 673.04 ^{3a}	—/—/—	焙烤香 ^B
	2-糠酸乙酯	132 000.00 ^{7a}	—/8/—	香酯膏味 ^B
吡嗪类	2-甲基吡嗪	121 927.01 ^{6a}	—/—/—	烤面包香、烤杏仁香、炒花生香 ^A
	2,5-二甲基吡嗪	3 201.90 ^{6a}	—/—/—	青草香、炒豆香 ^A
	2,6-二甲基吡嗪	790.79 ^{6a}	—/—/—	青椒香 ^A
	2,3,5-三甲基吡嗪	730.00 ^{5a}	—/—/<1	焙烤香、咖啡香、青椒香 ^A
	四甲基吡嗪	80 073.16 ^{4a}	—/—/<1	甜香、水果香、花香 ^A
	2-乙基吡嗪	21 814.58 ^{6a}	—/—/—	炒芝麻香、炒花生香 ^A
	2-乙基-5-甲基吡嗪	91 937.26 ^{7a}	—/—/—	焙烤香 ^C
2,5-二甲基-3-乙基吡嗪	—	—/—/—	焙烤香 ^E	
含硫及萜烯类	α -雪松烯	11 940.18 ^{7a}	—/—/—	木香 ^C
	α -蒎品醇	1 960.28 ^{7a}	—/—/—	花香 ^C
	二甲基三硫	0.36 ^{6a}	—/64/—	咸菜味 ^A
	二甲基二硫	9.13 ^{6a}	—/12/—	胶水味、橡胶味 ^A
	3-甲硫基-1-丙醇	2 110.41 ^{6a}	—/—/—	煮蔬菜味、橡胶味、胶水味 ^A
甲硫醇	2.21 ^{7a}	—/—/—	烂白菜味 ^C	

注:上标数字1、2、3、4、5、6、7、8的感官阈值分别来自文献[19]、[49]、[20]、[7]、[18]、[9]、[21]和[51];字母A、B、C、D、E代表数据分别来自文献[9]、[19]、[21]、[51]和[7]。

喃类化合物(如糠醛、5-甲基糠醛等)相关性较强。Z. B. Xiao等^[93]和Y. W. Niu等^[22]同样发现酯类化合物与白酒果香呈明显正相关。但也有研究^[16,26]表

明,己酸、丁酸、4-甲基苯酚、3-甲基吡啶和3-甲硫基丙醛是浓香型白酒呈现窖香的关键化合物。尽管上述研究很大程度上丰富了浓香型白酒香气特征的内

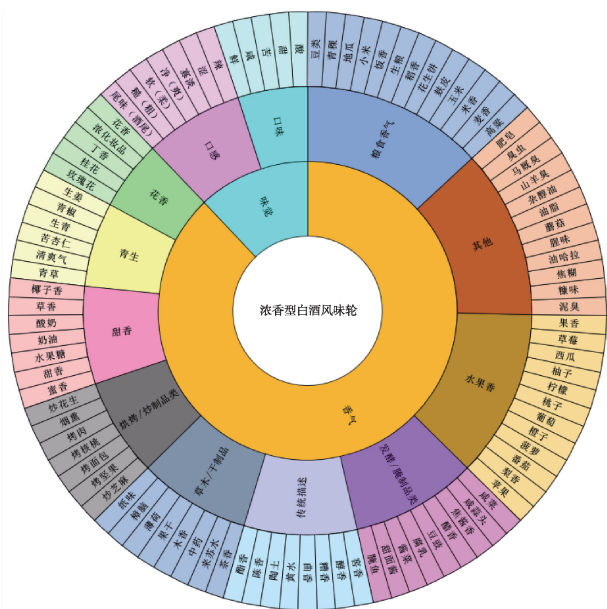


图1 浓香型白酒“风味轮”^[85]

Fig. 1 Flavor wheel of Chinese strong-flavor Baijiu^[85]

涵,但对部分香气(如窖香)呈现的关键化合物判定也存在一定的差异,这可能是由于所用样品、对同一香气特征判定的品酒人员、评价标准等存在差异所致。由于白酒香气的高度复杂性,统一对白酒香气特征描述及其对应的关键化合物判定是一个机遇与挑战并存的课题,明晰两者之间的关系将有助于推动白酒品质由感官评价向量化评价的转变^[94]。

3 浓香型白酒挥发性化合物的地域特征

浓香型白酒就其地理位置而言大致可分为川派和江淮派两大流派^[11],且不同流派浓香型白酒感官特征具有明显的地域差异,如川派浓香型白酒浓中带有陈味或酱味,而江淮派浓香型白酒窖香优雅、绵甜柔和、醇和协调、爽净^[32-33]。感官特征的差异本质上源自挥发性化合物的组成,因此感官特征的地域差异表明浓香型白酒挥发性化合物的组成也存在明显的地域特征。

Y. X. He 等^[11]采用全二维气相色谱/飞行时间质谱联用技术和多级鉴定策略,对来自四川和江淮两地的18家(各9家)代表性浓香型白酒企业(包括五粮液、泸州老窖、洋河、宋河等)的54个白酒样品中挥发性化合物进行定性和定量分析,共检测到262种挥发性化合物,其中58种香气化合物含量在两个地区

存在显著差异($P < 0.05$),包括19种酯类、5种醇类、8种芳香族类、6种酮类、7种吡嗪、5种呋喃类、4种含硫化物、2种酚类及2种萜烯类。在上述物质中,2,3,5-三甲基吡嗪、糠醛、2-己酮、苯乙酸乙酯等28种化合物在四川地区白酒中含量较高,而乙酸乙酯、十一烯醇、苯甲酸异丙酯、二甲基二硫、 β -大马酮等30种化合物在江淮地区白酒中含量较高;23种化合物被确认为区分川派和江淮派浓香型白酒的特征化合物,包括3种酮(2-戊酮、2-己酮、3-羟基-2-丁酮)、2种酚(2-甲氧基-4-甲基苯酚、2-甲氧基-4-乙氧基苯酚)、10种酯(2-羟基丙酸丁酯、2-己酸丙烯酸酯、辛酸辛酯、2-甲基丁酸己酯、苯甲酸异丙酯、庚酯、乙酸乙酯、丙酸己酯、苯乙酸乙酯和乙酰丙酸乙酯)、6种吡嗪(2,3-二甲基-5-乙基吡嗪、2,3,5-三甲基吡嗪、2,3,5-三甲基-6-乙基吡嗪、2,6-二甲基吡嗪、2-乙基-6-甲基吡嗪和2,6-二乙基吡嗪)、2,4,5-三甲基恶唑和 β -大马酮。X. M. He 等^[95]采用气相色谱-三重四级杆串联质谱及电子鼻技术对来自四川、黑龙江和江苏地区的36个样品的挥发性化合物进行检测,基于所检测化合物的离子浓度及峰高,结合正交偏最小二乘判别分析,发现能很好地区分开3个地区的浓香型白酒。P. Y. Cheng 等^[96-98]采用顶空固相微萃取结合气质联用技术对不同地域白酒挥发性化合物进行检测,结合偏最小二乘判别分析和逐步线性判别分析方法筛选重要特征离子并用于白酒原产地的判定,发现能很好地区分来源于江苏、山东和四川的白酒样品。上述研究表明,浓香型白酒中挥发性化合物组成在全国范围内具有明显的地域差异。

此外,单一地区范围内不同酒企的白酒挥发性化合物组成也存在明显的地域特征。王鹏等^[37]采用气相色谱分析技术定性和定量分析了安徽省内3家不同酒企所产白酒中的49种挥发性化合物,其中文王贡酒(阜阳市)中高级醇、有机酸和乙酸乙酯含量高,迎驾贡酒(六安市)中甲酸乙酯含量突出,而古井贡酒(亳州市)中己酸乙酯含量较高但有机酸含量较低。刘芳等^[99]基于电子鼻和气质联用技术对川派浓香型白酒进行了检测分析,发现能较好地区分开不同产地酒企的白酒样品。综上所述,无论在全国或单一白酒产区范围内,不同地域浓香型白酒之间均存在差异明显的挥

挥发性化合物,且不同地域浓香型白酒的特征差异挥发性化合物种类与选取的供试白酒样品类型有关。

如前所述,选取挥发性化合物检测技术(气相色谱、气相色谱嗅辨、气相色谱-质谱联用、气相色谱-质谱/质谱、气相色谱-电子鼻联用等)并结合统计学分析手段(正交偏最小二乘判别分析、偏最小二乘判别分析、逐步线性判别分析、主成分分析等)是筛选具有地域特征的白酒挥发性化合物常用的有效策略^[95,99-100]。上述策略也广泛应用于白酒香型、品质及品牌的判别^[95,101-102],相应结果有助于建立不同类型浓香型白酒判别的指纹图谱,为开发快速评价白酒品质及产地溯源的方法提供有益的借鉴。

4 总结与展望

本文综述了浓香型白酒中的挥发性化合物、浓香型白酒香气感官描述及关联性挥发性化合物,以及浓香型白酒挥发性化合物的地域特征,指出,浓香型白酒微量成分的主要特征为含量低种类多、感官阈值范围广、香气特征具有异同性及交互作用的复杂性;浓香型白酒中 115 种挥发性化合物的感官阈值范围为 0.36~466 321.08 $\mu\text{g/L}$,呈现了花香、水果香、蜂蜜香、烟熏味等多种风味;不同品牌浓香型白酒中的 38 种重要呈香物质包括 10 种酸、8 种酯、5 种醇、4 种醛酮、6 种芳香族、2 种呋喃、2 种吡嗪及 1 种含硫化合物;浓香型白酒“风味轮”香气描述语主要包括麦香、生粮香、水果香、窖香、泥臭等 12 种气味,不同香气感官对应不同的挥发性化合物组合,例如焙烤香主要由吡嗪类化合物贡献,包括 2,3-二甲基-5-乙基吡嗪、2,3,5-三甲基吡嗪、2,3,5-三甲基-6-乙基吡嗪等;浓香型白酒挥发性化合物含量具有明显的地域特征,并主要采用挥发性化合物检测结合统计学分析的策略对其进行研究。

目前关于浓香型白酒挥发性化合物的深入研究报道仍较少,如浓香型白酒风味感官评价的系统性方法、挥发性化合物之间存在的交互作用,以及感官特征与挥发性化合物组成之间的关联特征等。未来相关研究可以围绕以下方面开展:1)建立一套全面、准确、合理、易理解、可推广的浓香型白酒感官描述术语标准体系,丰富浓香型白酒感官评价“风味

轮”内涵,以期精确反映白酒风格和品质,进而满足现代多样化的生产工艺和市场需求;2)大规模统计感官香气特征及强度与挥发性化合物组成之间的关联性,逐步建立不同类型(品牌、等级、酒度、年份等)浓香型白酒及其挥发性化合物的指纹图谱,促进白酒类型鉴别由难以量化的人体感官评价向基于挥发性化合物定量信息的可量化、快速、精确评价体系转变;3)在明晰挥发性化合物对白酒香气贡献的基础上,进一步研究其与白酒微量成分之间的交互作用,进而深入揭示白酒香气的形成机理;4)增加活性、关键、异味香气化合物(部分为健康活性因子)形成机制及其溯源研究,有望从源头实现定向调控微生物群落和控制生产工艺条件,以促进浓香型白酒品质的提升。

参考文献:

- [1] 胡晓龙. 浓香型白酒窖泥中梭菌群落多样性与窖泥质量关联性研究[D]. 无锡:江南大学,2015.
- [2] HU X L, WANG K L, CHEN M G, et al. Profiling the composition and metabolic activities of microbial community in fermented grain for the Chinese strong-flavor Baijiu production by using the metatranscriptome, high-throughput 16S rRNA and ITS gene sequencings [J]. *Food Research International*, 2020, 138: 109765.
- [3] HU X L, DU H, REN C, et al. Illuminating anaerobic microbial community and cooccurrence patterns across a quality gradient in Chinese liquor fermentation pit muds [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2016, 82 (8): 2506-2515.
- [4] 沈怡方. 中国白酒感官品质及品评技术历史与发展[J]. *酿酒*, 2006, 33(4): 3-4.
- [5] 孙宝国, 吴继红, 黄明泉, 等. 白酒风味化学研究进展[J]. *中国食品学报*, 2015, 15(9): 1-8.
- [6] 范文来, 徐岩, 杨廷栋, 等. 应用液液萃取与分馏技术定性绵柔型蓝色经典微量挥发性成分[J]. *酿酒*, 2012, 39(1): 21-29.

- [7] 徐军. 浓香型枝江白酒香味成分的分析研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2019.
- [8] 徐占成, 陈勇, 王双. 利用 SBSE 和全二维气质联用(GC×GC-TOFMS)新技术解析白酒香味物质的研究[J]. 酿酒科技, 2012(7):50-51, 55.
- [9] 范文来, 徐岩. 白酒 79 个风味化合物嗅觉阈值测定[J]. 酿酒, 2011, 38(4):80-84.
- [10] 张馨元, 徐岩, 王栋, 等. 优质低度与高度浓香型白酒挥发性风味组分差异特征解析[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(15):66-71.
- [11] HE Y X, LIU Z P, QIAN M, et al. Unraveling the chemosensory characteristics of strong-aroma type Baijiu from different regions using comprehensive two-dimensional gas chromatography-time-of-flight mass spectrometry and descriptive sensory analysis [J]. Food Chemistry, 2020, 331:127335.
- [12] ZHAO D R, SHI D M, SUN J Y, et al. Characterization of key aroma compounds in Gujingong Chinese Baijiu by gas chromatography-olfactometry, quantitative measurements, and sensory evaluation [J]. Food Research International, 2018, 105:616-627.
- [13] ZHANG R, WU Q, XU Y. Lichenysin, a cyclooctapeptide occurring in Chinese liquor Jiannanchun reduced the headspace concentration of phenolic off-flavors via hydrogen-bond interactions [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(33):8302-8307.
- [14] JIN G Y, ZHU Y, XU Y. Mystery behind Chinese liquor fermentation [J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 63:18-28.
- [15] 牛云蔚, 李雯慧, 肖作兵. 白酒风味物质分析研究进展[J]. 食品科学技术学报, 2021, 39(2):23-31, 90.
- [16] 董蔚. 浓香型白酒“窖香”特征风味物质解析及其生成途径的研究[D]. 广东:华南理工大学, 2020.
- [17] 陈志宏, 张余, 徐有山. 白酒中风味物质分析研究进展[J]. 中国酿造, 2020, 39(6):13-16.
- [18] WANG X X, FAN W L, XU Y. 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.
- [19] 丁云连. 汾酒特征香气物质的研究[D]. 无锡:江南大学, 2008.
- [20] 王晓欣. 酱香型和浓香型白酒中香气物质及其差异研究[D]. 无锡:江南大学, 2014.
- [21] 周庆云. 芝麻香型白酒风味物质研究[D]. 无锡:江南大学, 2015.
- [22] NIU Y W, KONG J L, XIAO Z B, et al. Characterization of odor-active compounds of various Chinese “Wuliangye” liquors by gas chromatography-olfactometry, gas chromatography-mass spectrometry and sensory evaluation [J]. International Journal of Food Properties, 2017, 20(1):S735-S745.
- [23] FAN W L, QIAN M C. Identification of aroma compounds in Chinese “Yanghe Daqu” liquor by normal phase chromatography fractionation followed by gas chromatography olfactometry [J]. Flavour and Fragrance Journal, 2006, 21(2):333-342.
- [24] FAN W L, 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.
- [25] 施珂, 孙啸涛, 沈才洪, 等. 基于直接-气相色谱-嗅闻的整体感官评价模式分析泸香型白酒的关键香气成分[J]. 食品工业科技, 2020, 41(7):208-219.
- [26] DONG W, SHI K, LIU M, et al. Characterization of 3-methylindole as a source of a “mud”-like off-odor in strong-aroma types of base Baijiu [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018, 66(48):12765-12772.

- [27] 刘明. 感官分析、风味化学与智能感官技术评价白酒香气的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- [28] 胡晓龙, 余苗, 曹振华, 等. 基于高通量测序的窖泥原核微生物群落多样性在退化窖池中的空间异质性[J]. 食品科学, 2020, 42(10): 86-93.
- [29] 沈怡方. 试论浓香型白酒的流派[J]. 酿酒, 1992, 20(5): 10-13.
- [30] 张国强. 再谈白酒个性化: 苏鲁豫皖淡雅绵柔型白酒的初步认识[J]. 酿酒, 2007, 35(5): 95-98.
- [31] 程伟, 李娜, 张杰, 等. 江淮地区自然环境对柔和型白酒品质的影响[J]. 酿酒科技, 2019(6): 59-64.
- [32] 范广璞, 张安宁, 王传荣, 等. 论浓香型白酒的流派[J]. 酿酒科技, 2004(1): 81-83.
- [33] 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, 46(1): 29-32.
- [34] WANG X, DU H, ZHANG Y, et al. Environmental microbiota drives microbial succession and metabolic profiles during Chinese liquor fermentation[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2018, 84(4): e02369-17.
- [35] WANG X S, DU H, XU Y. Source tracking of prokaryotic communities in fermented grain of Chinese strong-flavor liquor[J]. International Journal of Food Microbiology, 2017, 244: 27-35.
- [36] DU H, WANG X S, ZHANG Y H, et al. Exploring the impacts of raw materials and environments on the microbiota in Chinese Daqu starter[J]. International Journal of Food Microbiology, 2019, 297: 32-40.
- [37] 王鹏, 蒋超, 崔磊, 等. 安徽地产白酒风味构成的分析研究[J]. 中国酿造, 2018, 37(5): 37-41.
- [38] 唐平, 卢君, 毕荣宇, 等. 赤水河流域不同地区酱香型白酒风味化合物分析[J]. 食品科学, 2021, 42(6): 274-281.
- [39] 齐晓茹, 严超, 宋春华, 等. OAV 法分析河北地区 3 种白酒香气成分[J]. 酿酒科技, 2018(9): 95-100.
- [40] 范文来, 龚舒蓓, 徐岩. 白酒有机酸谱[J]. 酿酒, 2019, 46(1): 37-42.
- [41] 宋波. 白酒中各种成分对酒质的影响[J]. 酿酒科技, 2011(12): 65-67.
- [42] 张方, 张宿义, 苏占元, 等. 有机酸对浓香型白酒品质及其酿造过程影响的研究进展[J]. 酿酒科技, 2016(1): 94-97, 102.
- [43] 苏华. 微量成分对浓香型白酒影响综述[J]. 山东食品发酵, 2001(3): 32-33.
- [44] 刘晓辉, 郝引璋. 浅谈新型白酒中酸含量对酒质的影响[J]. 酿酒, 2001(3): 39.
- [45] WANG L L, FAN S S, YAN Y, et al. Characterization of potent odorants causing a pickle-like off-odor in moutai-aroma type Baijiu by comparative aroma extract dilution analysis, quantitative measurements, aroma addition, and omission studies[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2020, 68(6): 1666-1677.
- [46] 周文杰, 张芳, 王鹏, 等. 基于 GC-MS/GC-O 结合化学计量学方法研究库尔勒香梨酒的特征香气成分[J]. 食品科学, 2018, 39(10): 222-227.
- [47] 范文来, 徐岩. 白酒香气物质研究的方法学[J]. 食品科学技术学报, 2018, 36(3): 1-10.
- [48] 白乐宜, 颜振敏, 冯梦茹, 等. 四种芝麻香型白酒中香气活性成分分析[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(2): 272-276.
- [49] GAO W J, FAN W L, XU Y. 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.
- [50] 易封萍, 马宁, 朱建才. 基于 GC-O、OAV 及 Feller 加和模型对酱香型习酒特征香气成分的分析[J]. 食品科学, 2022, 43(2): 242-256.
- [51] 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.
- [52] 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.
- [53] 马宇, 黄永光, 唐东亚, 等. 金银花纯花固态发酵酒风味特征及活性功能成分分析[J]. 食品科学, 2018, 39(24): 249-255.
- [54] 任晓宇, 锁然, 裴晓静, 等. 红枣白兰地中特征风味物质的感官组学[J]. 食品科学, 2019, 40(4): 199-205.
- [55] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 浓香型白酒: GB/T 10781.1—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [56] 张金修, 张雪飞. 探讨浓香型白酒中微量成分与酒质的关系[J]. 酿酒科技, 2013(7): 72-74.
- [57] 周轩. 浓香型白酒基酒挥发性成分分析及等级识别研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2019.
- [58] 陈龙. 浓香型白酒生产中主体风味物质变化规律的探讨[J]. 酿酒科技, 2020(5): 60-64.
- [59] 王志强, 蒋学剑, 汤井立, 等. 多轮底混合蒸馏工艺提高浓香型白酒品质的研究[J]. 酿酒, 2020, 47(1): 53-56.
- [60] ZHENG J, LIANG R, WU C D, et al. Discrimination of different kinds of Luzhou-flavor raw liquors based on their volatile features[J]. Food Research International, 2014, 56: 77-84.
- [61] 何培新, 胡晓龙, 郑燕, 等. 中国浓香型白酒“增己降乳”研究与应用进展[J]. 轻工学报, 2018, 33(4): 1-12.
- [62] 李俊辉, 刘英杰, 隋丽娜, 等. 浓香型白酒增加己酸乙酯降低乳酸乙酯的研究进展[J]. 中国酿造, 2019, 38(1): 1-4.
- [63] 姜超. 浓香型白酒主体香气成分分析及品质提升技术研究[D]. 秦皇岛: 河北科技师范学院, 2018.
- [64] 赖登辉, 林东, 王久明, 等. 浓香型白酒“增己降乙”与酿酒工艺的关联性研究[J]. 酿酒, 2021, 48(1): 3-10.
- [65] 王晓欣, 徐岩, 范文来, 等. 浓香型习酒挥发性香气成分研究[J]. 酿酒科技, 2013(1): 31-38.
- [66] 曹长江. 孔府家白酒风味物质研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
- [67] 郭学武, 范恩帝, 马冰涛, 等. 中国白酒中微量成分研究进展[J]. 食品科学, 2020, 41(11): 267-276.
- [68] FAN W L, QIAN M C. Headspace solid phase micro-extraction and gas chromatography-olfactometry dilution analysis of young and aged Chinese “Yanghe Daqu” liquors[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(20): 7931-7938.
- [69] FAN H Y, FAN W L, XU Y. Characterization of the 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.
- [70] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 蒸馏酒及其配制酒: GB 2757—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [71] 史冬梅, 王松, 赵东瑞, 等. GC-MS/SIM 法检测 103 种白酒中 6 种酚类化合物[J]. 中国食品学报, 2019, 19(4): 235-248.
- [72] SONG X B, ZHU L, WANG X L, et al. Characterization of key aroma-active sulfur-containing compounds in Chinese Laobaigan Baijiu by gas chromatography-olfactometry and comprehensive two-dimensional gas chromatography coupled with sulfur chemiluminescence detection[J]. Food Chemistry, 2019, 297: 124959.
- [73] 吴继红, 黄明泉, 郑福平, 等. 健康白酒的研究进展[J]. 食品科学技术学报, 2019, 37(2): 17-23.
- [74] 孙惜时, 李文华, 李荣, 等. 芝麻香型白酒中硫化物和吡嗪类成分的抗氧化活性[J]. 酿酒, 2013, 40(4): 57-60.
- [75] SAAD S D, YASSER M T, MUHAMMAD A I, et al. The anticancer, antioxidant and antimicrobial properties of the sesquiterpene β -caryophyllene from the essential oil of *Aquilaria crassna* [J]. Molecules, 2015, 20(7): 11808-11829.
- [76] CHAINY G B, MANNA S K, CHATURVEDI M M,

- et al. Anethole blocks both early and late cellular responses transduced by tumor necrosis factor: Effect on NF-kappaB, AP-1, JNK, MAPKK and apoptosis [J]. *Oncogene*, 2000, 19(25): 2943-2950.
- [77] LI Q Q, WANG G D, HUANG F R, et al. Antineoplastic effect of beta-elemene on prostate cancer cells and other types of solid tumour cells [J]. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 2010, 62(8): 1018-1027.
- [78] MA E L, LI Y C, TSUNEKI H, et al. Beta-eudesmol suppresses tumour growth through inhibition of tumour neovascularisation and tumour cell proliferation [J]. *Journal of Asian Natural Products Research*, 2008, 10(2): 159-167.
- [79] 刘明, 钟其顶, 熊正河, 等. 酒类“风味轮”及在白酒感官描述分析技术上的应用前景 [J]. *酿酒*, 2011, 38(2): 15-22.
- [80] 秦含章. 名优白酒的香型 [J]. *食品与发酵工业*, 1985, 11(3): 36-40, 70.
- [81] 王建科. 多粮浓香醇厚风格白酒的生产实践 [J]. *酿酒*, 2019, 46(2): 76-80.
- [82] 吴广黔, 曹文涛. 白酒品评技巧的心得体会 [J]. *酿酒科技*, 2019(6): 78-81.
- [83] 邓少平. 中国白酒评酒方法的科学化问题 [J]. *酿酒*, 1997(2): 1-4.
- [84] 周恒刚. 读“中国白酒评酒方法的科学化问题”有感 [J]. *酿酒*, 1997(3): 3.
- [85] 周维军, 左文霞, 吴建峰, 等. 浓香型白酒风味轮的建立及其对感官评价的研究 [J]. *酿酒*, 2013, 40(6): 31-36.
- [86] MEILGAARD M C, DALGLIESH C E, CLAPPERTON J F. Beer flavour terminology [J]. *Journal of the Institute of Brewing*, 1979, 85(1): 38-42.
- [87] GAWEL R, OBERHOLSTER A, FRANCIS I L. A “Mouth-feel Wheel”: Terminology for communicating the mouth-feel characteristics of red wine [J]. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 2000, 6(3): 203-207.
- [88] WISHART D. The flavour of whisky [J]. *Significance*, 2009, 6(1): 20-26.
- [89] JOLLY N P, HATTING S. A brandy aroma wheel for South African brandy [J]. *South African Journal of Enology*, 2001, 22(1): 16-21.
- [90] RIU-AUMATELL M, VICHI S, MORA-PONS M, et al. Sensory characterization of dry gins with different volatile profiles [J]. *Journal of Food Science*, 2008, 73(6): S286-S293.
- [91] 吴生文, 林培, 叶芝红, 等. 特香型白酒风味轮的构建及典型感官特性描述研究 [J]. *中国酿造*, 2021, 40(1): 148-153.
- [92] 高景炎, 李婷婷, 杜艳红, 等. 应用风味轮理论研究红星白酒感官特征 [J]. *酿酒科技*, 2020(12): 17-24.
- [93] XIAO Z B, YU D, NIU Y W, 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.
- [94] 张健, 赵镭, 欧阳一非, 等. 现代仪器分析技术在白酒感官评价研究中的应用 [J]. *食品科学*, 2007, 28(10): 561-565.
- [95] HE X M, HUANG Y M, GORSKA-HORCZYK ZAK E, et al. Rapid analysis of Baijiu volatile compounds fingerprint for their aroma and regional origin authenticity assessment [J]. *Food Chemistry*, 2021, 337: 128002.
- [96] CHENG P Y, FAN W L, XU Y. Determination of Chinese liquors from different geographic origins by combination of mass spectrometry and chemometric technique [J]. *Food Control*, 2014, 35(1): 153-158.
- [97] 程平言. 不同香型、产地、等级白酒数字化分类方法学研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2013.
- [98] 程平言, 范文来, 徐岩. 基于质谱与化学计量学的白酒原产地鉴定 [J]. *质谱学报*, 2014, 35

(1):32-37.

[99] 刘芳,杨康卓,张建敏,等. 基于电子鼻和气质联用技术的浓香型白酒分类[J]. 食品与发酵工业,2020,46(2):73-78.

[100] 张伟建,范文来,徐岩,等. 沂蒙老区浓香型白酒香气成分分析[J]. 食品与发酵工业,2019,45(10):188-193.

[101] CHENG P Y, FAN W L, XU Y. Quality grade discrimination of Chinese strong aroma type liquors using mass spectrometry and multivariate analysis[J]. Food Research International, 2014,54(2):1753-1760.

[102] 祝成. 浓香型白酒基酒指纹图谱的模式识别研究[D]. 自贡:四川理工学院,2012.

Research progress on the aroma contribution and their regional characteristics of volatile compounds in Chinese strong-flavor Baijiu

HU Xiaolong^{1,2}, TIAN Ruijie², FAN Jianhui¹, HAN Suna¹, LI Jianmin¹, LI Hua¹, WANG Yaping², HE Peixin²

1. Postdoctoral Programme, He'nan Yangshao Liquor Co., Ltd., Mianchi 472400, China;

2. College of Food and Bioengineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China

Abstract: Based on the main characteristics and basic information (sensory threshold, aroma description, odor specific magnitude estimation, odor activity value, etc.) of volatile compounds in Chinese strong-flavor Baijiu (CSFB), the important aroma compounds, the description of aroma sensory and its related volatile compounds, as well as the regional characteristics of volatile compounds in CSFB were reviewed. The main characteristics of trace components in CSFB were their low content, wide variety, wide range of sensory threshold value, diverse aroma senses and the complexity of interaction among them. The sensory threshold and aroma contribution of 115 volatile compounds in CSFB were described, and 38 important aroma compounds were concluded, which were mainly assigned into the compounds of acids, esters, aromatic and alcohol. The composition and content of volatile compounds are significantly related to the regional characteristics and aroma senses of CSFB. For example, the compounds assigned into pyrazine are the material basis of roasting aroma in CSFB, and 22 compounds including ethyl acetate, 2,3,5-trimethyl pyrazine, 2-Pentanone, etc., were characteristic compounds for distinguishing the CSFB respectively produced from *Sichuan* and *Jianghuai* regions. In view of the shortcomings of the sensory evaluation and the construction of flavor wheel of CSFB, it was pointed out that the future research on the system of terminology standard for liquor sensory description, the correlation between aroma sensory characteristics and volatile compounds, and the interaction between trace components of CSFB should be further studied, which aimed to promote research on selecting the key flavor components of liquor, controlling of off-flavor substances, establishing systematic sensory evaluation methods and forming the ecological brewing concept, laying the foundation for the high-quality development of the Baijiu industry.

Key words: Chinese strong-flavor Baijiu; volatile compounds; regional characteristics; sensory evaluation; flavor wheel

(责任编辑:杨晓娟)