

白酒中风味物质味觉阈值的测定

何菲^{1,2,3}, 孙宝国^{1,2,4}, 李贺贺^{1,2,4*}, 孙金沅^{1,2,4}, 黄明泉^{1,2,4}, 高原^{1,2}

¹老年营养与健康教育部重点实验室(北京工商大学) 北京 100048

²北京工商大学 国酒研究院 北京 100048

³华南理工大学食品科学与工程学院 广州 510641

⁴北京工商大学 中国轻工业酿酒分子工程重点实验室 北京 100048)

摘要 白酒是中国的国酒,其独特的风味承载着丰富的文化和历史,是中国文化的重要组成部分。白酒的风味主要取决于酒体中化合物的香气和滋味,化合物的阈值和含量直接影响其对白酒整体风味的贡献。阈值是风味化学中连接化学含量与感官特征的桥梁,是研究白酒关键风味物质重要性的参考指标。目前关于白酒中风味物质的香气阈值研究较多,味觉阈值的研究尚处于起步阶段,迫切需要进行系统研究。本文通过优化基质酒精度以及感官品评方法,确定以体积分数 46% 的乙醇水溶液为基质,采用三点选配法(3-AFC)测定阈值。共测定了白酒中 48 种重要风味化合物的味觉阈值,包括觉察阈值和味觉特征阈值。研究发现单一化合物能呈现多种味觉特征,不同化合物味觉特征存在较大差异,而同一类化合物味觉特征具有一定的相似性。多数酸类化合物均能呈现酸味、苦味和涩味等多种味觉特征;酯类化合物多以甜味和苦味为主,而甜味阈值小于苦味阈值;醇类化合物均能呈现苦味,部分醇类化合物还能表现出甜味和涩味;两种醛类化合物和没食子酚均可呈现苦味。本研究为白酒滋味研究提供了较为准确的阈值参考,对白酒行业的感官品评、风味化学研究和产品质量提升具有重大意义。

关键词 白酒; 滋味; 味觉阈值; 酸味; 苦味; 甜味; 涩味

文章编号 1009-7848(2024)10-0371-13 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.10.034

白酒是中国的国酒,是传统蒸馏酒,具有 2 000 多年的历史,与伏特加、威士忌、白兰地、金酒和朗姆酒一起并称为世界六大蒸馏酒^[1-2]。白酒以其悠久的历史,独特的口感,而广受消费者喜爱。2023 年,全国白酒行业实现总产量 629 万千 L,完成销售收入 7 563 亿元,实现利润总额 2 328 亿元,同比增长 7.5%,创造了巨大的市场价值^[3]。

白酒主要由乙醇和水构成,占比达 98%~99%,剩余 1%~2% 的微量物质赋予了白酒独特的风味与品格^[4-5]。根据文献统计,截止 2023 年 12 月 31 日,白酒中已报道的挥发性化合物有 3 443 种,主要包括酯类 792 种,醇类 419 种,酸类 293 种,醛类 151 种,酮类 233 种,含氮类 304 种,含硫类 217 种,芳香族类 241 种,萜烯类 136 种,呋喃类 127 种,吡嗪类 92 种,杂环类 74 种,缩醛类 65 种,内酯类 37,烃类 179 种,其它 83 种。白酒的风

味由酒体中化合物的风味共同构成,其风味贡献不仅取决于这些化合物在白酒中的含量及其量比关系,更取决于这些化合物的阈值大小。阈值是引起感觉所需的感官刺激的最小值,是感官评价人员判断待测样品与空白样品存在特征差异的最低浓度,是衔接仪器分析与感官分析的桥梁,通过计算化合物的浓度与其阈值的比值,可以确定该化合物对白酒风味的贡献情况,进而筛选出关键风味物质^[6-7]。

白酒风味主要包括香气和滋味两大部分,二者共同决定白酒的风格。然而,现有研究中,香气研究较为成熟^[8],风味物质香气阈值可参考的较多^[9],而滋味研究尚处于起步阶段,对风味物质味觉阈值的研究十分有限,迫切需要通过测定来完善。通过文献调研,汇总了近年来白酒中风味物质的味觉阈值,如表 1 所示。2017 年,杨会^[10]测定了白酒中 16 种不挥发有机酸和 15 种多羟基化合物在水中的味觉阈值,结果发现多种不挥发有机酸呈现两种味觉特征,如乳酸同时呈现酸味和涩味两种味觉特征,2-羟基-4-甲基戊酸同时呈现酸味

收稿日期: 2024-07-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(32172340)

第一作者: 何菲,女,博士生

通信作者: 李贺贺 E-mail: xyzhehe@126.com

和甜味两种味觉特征。2018年,王尹叶^[11]以pH 3.8的磷酸水溶液为介质,测定7种呈苦和/或涩味物质的苦味和涩味阈值。2022年,陆力华^[12]以pH 5.4的弱酸性的纯净水溶液为介质,采用全舌法对鉴定出的11种呈味物质的甜味阈值进行测定,并通过味觉活性值 DoT (Dose-over-Threshold)计算、味觉重组缺失实验发现阿拉伯糖醇是酱香型白酒和老白干香型白酒的关键甜味活性物质。在这些研究中,白酒中风味化合物阈值的测定多以水为基质,这对于白酒滋味的研究具有一定的局限性。

白酒是乙醇-水体系,酒精度一般在38%vol~55%vol,酒精度的变化对风味感知具有重要作用^[13]。乙醇具有强烈的刺激作用,同时还具有一定的甜味和苦味,对味觉的影响不可忽略^[14-16]。2020年,Wang等^[17]

以46%vol乙醇水溶液为基质,测定了白酒中19种重要风味物质的味觉察觉阈值和味觉识别阈值。2021年,向玉萍^[18]以53%vol乙醇-水溶液为基质,对6种糖和糖醇类物质的甜味阈值进行测定。2022年,郭世鑫^[19]以53%vol乙醇水溶液为基质,测定了白酒中4种醇类和1种醛类物质的苦味阈值。

白酒的滋味主要分为酸味、甜味、苦味、涩味等^[20]。本文以乙醇-水溶液为基质,测定白酒中48个重要风味物质的味觉阈值,并从酸、甜、苦、涩等多个味觉角度探究每个风味物质的单个味觉特征阈值,以期白酒滋味研究提供准确的数据支撑,为推动白酒风味研究奠定试验基础。

表1 白酒中风味化合物味觉阈值汇总表

Table 1 Summary table of taste threshold of flavor compounds reported in Baijiu

编号	化合物	滋味特征		味觉阈值/(mg/L)				基质	感官方法	参考文献
		甜味	酸味	苦味	涩味	觉察	识别			
1	D-(+)-葡萄糖	甜	—	—	—	—	—	水	3-AFC	[10]
2	葡萄糖	甜	—	—	—	—	—	pH 5.4的弱酸性水溶液	3-AFC	[12]
		—	0.22	—	—	—	—	53%vol乙醇水溶液	TST	[18]
3	D-(+)-木糖	甜	—	—	—	—	—	水	3-AFC	[10]
		—	221.37	—	—	—	—	pH 5.4的弱酸性水溶液	3-AFC	[12]
4	meso-赤藓糖醇	甜	—	—	—	—	—	水	3-AFC	[10]
		—	4 429.29	—	—	—	—	pH 5.4的弱酸性水溶液	3-AFC	[12]
5	D-(+)-海藻糖	甜	—	—	—	—	—	水	3-AFC	[10]
		甜	3 652.34	—	—	—	—	水	3-AFC	[10]
7	D-(+)-果糖	甜	1 260.04	—	—	—	—	水	3-AFC	[10]
8	D-(+)-半乳糖	甜	7 844.54	—	—	—	—	水	3-AFC	[10]
9	L-(+)-阿拉伯糖	甜	4 459.91	—	—	—	—	水	3-AFC	[10]
10	阿拉伯糖	甜	386.92	—	—	—	—	pH 5.4的弱酸性水溶液	3-AFC	[12]
		—	0.40	—	—	—	—	53%vol乙醇水溶液	TST	[18]
11	阿拉伯糖醇	甜	192.90	—	—	—	—	pH 5.4的弱酸性水溶液	3-AFC	[12]
12	D-阿拉伯糖醇	甜	5 461.27	—	—	—	—	水	3-AFC	[10]

(续表 1)

编号	化合物	滋味特征	味觉阈值/(mg/L)				识别	基质	感官方法	参考文献
			甜味	酸味	苦味	涩味				
13	核糖醇	甜	2 987.62	—	—	—	水	3-AFC	[10]	
14	myo-肌醇	—	258.75	—	—	—	pH 5.4 的弱酸性水溶液	3-AFC	[12]	
15	木糖醇	甜	5 540.28	—	—	—	水	3-AFC	[10]	
16	D-甘露糖醇	甜	2 257.60	—	—	—	水	3-AFC	[10]	
17	D-山梨糖醇	甜	213.10	—	—	—	pH 5.4 的弱酸性水溶液	3-AFC	[12]	
18	甘油	甜	2 036.30	—	—	—	水	3-AFC	[10]	
19	核糖	甜	224.14	—	—	—	pH 5.4 的弱酸性水溶液	3-AFC	[12]	
20	鼠李糖	甜	3 136.79	—	—	—	水	3-AFC	[10]	
21	甘露醇	甜	201.41	—	—	—	pH 5.4 的弱酸性水溶液	3-AFC	[12]	
22	2-羟基-4-甲基戊酸	酸、甜	0.53	—	—	—	53%vol 乙醇水溶液	TST	[18]	
23	羟基乙酸	酸	1 712.97	—	—	—	水	3-AFC	[10]	
24	L-(+)-酒石酸	酸	264.38	—	—	—	pH 5.4 的弱酸性水溶液	3-AFC	[12]	
25	苹果酸	酸	0.20	—	—	—	53%vol 乙醇水溶液	TST	[18]	
26	2-羟基丁酸	酸	120.25	—	—	—	pH 5.4 的弱酸性水溶液	3-AFC	[12]	
27	3-羟基丁酸	酸	0.40	—	—	—	53%vol 乙醇水溶液	TST	[18]	
28	3-羟基丙酸	酸	0.52	—	—	—	53%vol 乙醇水溶液	TST	[18]	
29	乳酸	酸、涩	224.54	158.72	—	—	水	3-AFC	[10]	
30	2-糠酸	酸、涩	—	46.24	—	—	水	3-AFC	[10]	
31	2-羟基-3-甲基丁酸	酸、涩	—	74.14	—	—	水	3-AFC	[10]	
32	马来酸	酸、涩	—	70.80	—	—	水	3-AFC	[10]	
33	富马酸	酸、涩	—	113.58	—	—	水	3-AFC	[10]	
34	2,3-二羟基丙酸	酸、涩	—	147.61	—	—	水	3-AFC	[10]	
35	DL-3-苯基乳酸	酸、涩	—	95.30	—	—	水	3-AFC	[10]	
36	柠檬酸	酸、涩	—	161.69	—	228.71	水	3-AFC	[10]	
37	丁二酸	酸、涩	—	82.60	—	58.39	水	3-AFC	[10]	
			—	124.86	—	176.60	水	3-AFC	[10]	
			—	110.03	—	55.02	水	3-AFC	[10]	
			—	79.16	—	223.78	水	3-AFC	[10]	
			—	174.82	—	43.70	水	3-AFC	[10]	
			—	226.00	—	226.00	水	3-AFC	[10]	
			—	145.05	—	230.16	水	3-AFC	[10]	
			—	126.83	—	9.99	水	3-AFC	[10]	

(续表 1)

编号	化合物	滋味特征	味觉阈值/(mg/L)				基质	感官方法	参考文献
			甜味	酸味	苦味	涩味			
38	正丙醇	苦、涩	—	—	1 891.00	118.20	pH 3.8 的磷酸水溶液 46%vol 乙醇水溶液	3-AFC、半舌 TST	[11] [17]
39	正丁醇	苦	—	—	61.95	110.37	53%vol 乙醇水溶液	TST	[19]
40	异丁醇	苦、涩	—	—	183.80	22.50	pH 3.8 的磷酸水溶液 46%vol 乙醇水溶液	3-AFC、半舌 TST	[11] [17]
41	异戊醇	苦	—	—	32.97	62.03	53%vol 乙醇水溶液	TST	[19]
42	2-苯乙醇	苦、涩	—	—	194.20	27.22	pH 3.8 的磷酸水溶液	3-AFC、半舌	[11]
43	糠醛	苦	—	—	233.25	—	53%vol 乙醇水溶液	TST	[19]
44	乳酸乙酯	苦、涩	—	—	441.90	27.62	pH 3.8 的磷酸水溶液 46%vol 乙醇水溶液	3-AFC、半舌 TST	[11] [17]
45	L-乳酸乙酯	苦	—	—	179.05	31.08	53%vol 乙醇水溶液	TST	[19]
46	乙酸乙酯	涩	—	—	—	0.28	pH 3.8 的磷酸水溶液	半舌	[11]
47	丁酸乙酯	苦、涩	—	—	75.12	5.20	pH 3.8 的磷酸水溶液	3-AFC、半舌	[11]
48	戊酸乙酯	苦	—	—	44.03	—	53%vol 乙醇水溶液	TST	[19]
49	己酸乙酯	涩	—	—	—	556.80	pH 3.8 的磷酸水溶液	半舌	[11]
50	庚酸乙酯	—	—	—	—	102.48	46%vol 乙醇水溶液	TST	[17]
51	辛酸乙酯	—	—	—	—	26.89	46%vol 乙醇水溶液	TST	[17]
52	壬酸乙酯	—	—	—	—	0.05	46%vol 乙醇水溶液	TST	[17]
53	癸酸乙酯	—	—	—	—	0.38	46%vol 乙醇水溶液	TST	[17]
54	丁二酸二乙酯	—	—	—	—	0.41	46%vol 乙醇水溶液	TST	[17]
55	乙酸	—	—	—	—	0.31	46%vol 乙醇水溶液	TST	[17]
56	丁酸	—	—	—	—	0.38	46%vol 乙醇水溶液	TST	[17]
57	戊酸	—	—	—	—	0.90	46%vol 乙醇水溶液	TST	[17]
58	己酸	—	—	—	—	1.07	46%vol 乙醇水溶液	TST	[17]
59	庚酸	—	—	—	—	29.15	46%vol 乙醇水溶液	TST	[17]
60	辛酸	—	—	—	—	40.10	46%vol 乙醇水溶液	TST	[17]

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

食品级标品:乳酸($\geq 98\%$)、己酸($\geq 98\%$)、乙酸($\geq 98\%$)、丁酸($\geq 98\%$)、3-甲基丁酸($\geq 98\%$)、羟基乙酸($\geq 95\%$)、2-羟基丁酸($\geq 95\%$)、苯甲酸($\geq 98\%$)、3-羟基丙酸($\geq 95\%$)、2-羟基异己酸($\geq 95\%$)、L-(+)-酒石酸($\geq 98\%$)、苹果酸($\geq 98\%$)、2-糠酸($\geq 98\%$)、2-羟基-3-甲基丁酸($\geq 95\%$)、马来酸($\geq 95\%$)、富马酸($\geq 95\%$)、DL-3-苯基乳酸($\geq 95\%$)、柠檬酸($\geq 98\%$)、丁二酸($\geq 95\%$)、乙酸乙酯($\geq 98\%$)、丁酸乙酯($\geq 98\%$)、己酸乙酯($\geq 98\%$)、戊酸乙酯($\geq 98\%$)、乳酸乙酯($\geq 98\%$)、2-甲基丁酸乙酯($\geq 98\%$)、己酸己酯($\geq 98\%$)、辛酸己酯($\geq 98\%$)、庚酸乙酯($\geq 98\%$)、丁酸异戊酯($\geq 98\%$)、辛酸异戊酯($\geq 98\%$)、己酸异丁酯($\geq 98\%$)、己酸异戊酯($\geq 98\%$)、辛酸乙酯($\geq 98\%$)、己酸戊酯($\geq 98\%$)、正丁醇($\geq 98\%$)、正丙醇($\geq 98\%$)、异戊醇($\geq 98\%$)、异丁醇($\geq 98\%$)、正己醇($\geq 98\%$)、2-庚醇($\geq 98\%$)、丙二醇($\geq 98\%$)、乙二醇($\geq 95\%$)、苯乙醇($\geq 98\%$)、1,3-丁二醇($\geq 98\%$)、酪醇($\geq 95\%$)、辛醛($\geq 98\%$)、糠醛、没食子酚($\geq 95\%$)、上海美馨化学科技有限公司;食品级乙醇($\geq 96\%$)、安徽安特食品股份有限公司;纯净水,杭州娃哈哈集团有限公司。

1.2 仪器与设备

120 g 电子天平,梅特勒-托利多仪器上海有限公司;VORTEX 2 涡旋仪,德国 IKA 公司。

1.3 感官品评人员

感官品评小组由北京工商大学白酒风味化学课题组的 20 名感官人员(10 男,10 女)组成。以上人员均通过培训考核筛选,通过了味觉测试,掌握了品评方法,熟悉品评的目的及要求。

1.4 感官品评环境和时间

根据 GB/T 33406-2016 中对环境条件的要求,感官场地选用专业感官品评室,并保证品评室

环境安静适宜,室内温度控制在 (20 ± 5) °C,湿度保持在 50%~60%之间。

品评时间为每周一至周五下午 14:30~17:30。为避免品评人员感官疲劳,保证结果的准确性,每天测试 1~2 组物质,且每组感官评价期间均设置休息间隔 15 min。

1.5 样品制备

空白样品:用娃哈哈饮用纯净水将食用乙醇进行稀释,其稀释浓度依据具体试验内容分为 15%vol,30%vol,46%vol,误差在 $\pm 1\%$ 之内。

特征样品:参考白酒定量浓度,并以空白样品配制好的乙醇溶液为基质,将特定量的风味物质溶于该基质中,保证品评人员可以明显感知其滋味特征,此时的浓度即为 C,试验中标记为特征样品 A。

待测样品:以对应空白样品的乙醇溶液为基质,将特征样品 A 进行 2 倍梯度稀释,作为 A_1 ;将 A_1 再次进行 2 倍度稀释,作为 A_2 ;以此类推来配制 A_3, A_4, A_5, A_6 。

在试验正式开始之前,先选择 5 名有感官品评经验的成员进行预试验,以确定基质酒精度和感官品评方法,同时确保配制的特征样品及待测样品浓度在合适范围内。

1.6 阈值测定方法

1.6.1 三点选配法(3-AFC) 参照 GB/T 33406-2016,品评时提供给品评人员 6 组待评价样品,每组 3 个样品,其中 1 个样品为待测样品(A_x),其余 2 杯为空白样品(B),再额外放置 1 杯特征样品 A。除特征样品 A 外,每个样品均采用随机 3 位数字进行编码。6 组待评价样品按浓度从低到高的顺序(组 6 到组 1)依次摆放,每个浓度组的 3 个样品随机放置,样品放置示意图如图 1 所示。品评人员要从每组中选择判断出待测样品,并对待测样品的滋味特征进行品评。

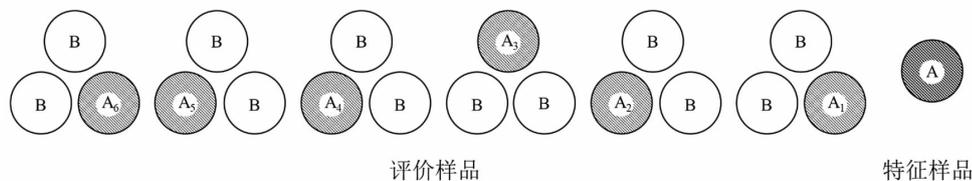


图 1 3-AFC 样品放置示意图

Fig.1 Sample placement diagram of the 3-AFC method

1.6.2 十杯法(TST) 参照 GB/T 33406-2016,品评时提供给品评人员 10 杯样品,其中 1 杯为已知的特征样品 A,还有 1 杯为空白对照 B,剩余 8 杯为待评价样品,其中 2 杯为空白样品,其余 6 杯为不同浓度的待测样品,8 杯待评价样品均采用随机 3 位数字进行编码。将这 8 杯样品打乱顺序后

随机摆成一排,且不告知品评人员待测样品与空白样品的数量。将空白对照 B 放至最左侧,特征样品 A 放于最右侧,8 杯待评价样品置于中间,样品放置示意图如图 2 所示。品评人员要从其中选择判断出待测样品,并对待测样品的滋味特征进行品评。

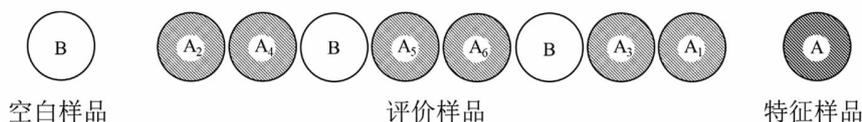


图 2 TST 法样品放置示意图

Fig.2 Sample placement diagram of the TST method

1.7 数据处理

感官品评数据以电子问卷的形式进行收集。阈值计算参照 GB/T 33406-2016,采用最优估计阈值法(BET)进行计算,即个人阈值 T_n 为个人判断错误的最大浓度样品 A_x 与更高一级浓度样品 A_{x+1} 的浓度的几何平均值,如式(1)所示。组阈值即为整个感官小组中所有个人阈值的几何平均值,如式(2)所示。相较于曲线拟合法(CF),该方法计算简单,且与 CF 结果差别较小,更适于感官人员偏少的感官测试试验^[21]。

$$T_n = \sqrt{A_x \times A_{x+1}} \quad (n=1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

$$T = \sqrt{T_1 \times T_2 \times \dots \times T_n} \quad (2)$$

式中: A_x 为样品质量浓度,mg/L; A_{x+1} 为更高一级的样品质量浓度,mg/L; T_n 为个人阈值,mg/L; T 为组阈值,mg/L。

2 结果与分析

2.1 基质酒精度的确定

风味物质的阈值受基质影响较大,基质不同,

阈值不同。白酒的酒精度一般集中在 38%vol~55%vol,考虑到乙醇对味觉的刺激作用,本试验以己酸乙酯和己酸为例,依次探究了酒精度为 15%vol, 30%vol, 46%vol 的乙醇-水溶液基质对风味物质味觉阈值的影响,结果如表 2 所示。随着乙醇浓度升高,己酸乙酯的觉察阈值逐渐降低,46%vol 时最低,为 1.52 mg/L,甜味特征阈值由 10.60 mg/L 降低至 2.65 mg/L,苦味阈值不变,为 2.65 mg/L。己酸的觉察阈值随乙醇浓度升高逐渐升高,由 39.86 mg/L 升至 91.57 mg/L,而酸味特征阈值逐渐降低,46%vol 时最低,为 105.18 mg/L。综上分析,大部分阈值在酒精度为 46%vol 时,相对更低,说明在一定范围内,乙醇的存在能够降低风味化合物的味觉阈值,而且 46%vol 相较于其它 2 个酒精度,更接近于大多数商品酒的度数。因此,后续化合物均以 46%vol 乙醇-水溶液为基质进行味觉阈值测定。此外,测定了 52%vol 和 65%vol 的风味物质的阈值,然而试验发现当乙醇浓度大于等于 52%vol 时,入口瞬间麻木,无法明确感受风味物质的味觉特征,因此排除了更高酒精度的乙醇溶液基质,选

表 2 同一物质在不同酒精度的觉察阈值与味觉特征阈值

Table 2 Comparison of the detection threshold and taste characteristic threshold of the same compound under different alcoholicity

化合物	分类	阈值/(mg/L)		
		15%vol	30%vol	46%vol
己酸乙酯	觉察阈值	4.02	2.65	1.52
	甜味特征阈值	10.60	2.65	2.65
	苦味特征阈值	2.65	2.65	2.65
己酸	觉察阈值	39.86	69.39	91.57
	酸味特征阈值	210.36	210.36	105.18

注:以上数据为 5 人测定结果的平均值。

用46%vol乙醇水溶液作为最佳的味觉阈值测定基质。

2.2 感官品评方法的选择

以己酸乙酯和异戊醇为例,探究不同感官品评方法(3-AFC法和TST法)对风味物质味觉阈值的影响,结果如表3所示,发现3-AFC测定的己酸乙酯的觉察阈值为1.52 mg/L,甜味阈值为2.65 mg/L,苦味阈值为2.65 mg/L,而TST测定的己酸乙酯觉察阈值为1.52 mg/L,甜味阈值为5.30 mg/L,苦味阈值为5.30 mg/L,明

显高于3-AFC。异戊醇通过3-AFC测定的觉察阈值为83.73 mg/L,甜味阈值为110.49 mg/L,苦味阈值为83.73 mg/L,TST测定的觉察阈值为334.93 mg/L,甜味阈值为441.94 mg/L,苦味阈值为441.94 mg/L,明显高于3-AFC测定的阈值。综上分析发现,TST测定的阈值相较于3-AFC均偏高,再结合实际试验品评过程中,感官品评人员的反馈及品评过程中判断正确的概率,最终选择3-AFC作为最终感官品评方法。

表3 3-AFC法与TST法测定的觉察阈值与味觉特征阈值

Table 3 Comparison of the detection threshold and taste threshold between 3-AFC and TST

化合物	方法	阈值/(mg/L)		
		觉察阈值	甜味特征	苦味特征
己酸乙酯	3-AFC法	1.52	2.65	2.65
	TST法	1.52	5.30	5.30
异戊醇	3-AFC法	83.73	110.49	83.73
	TST法	334.93	441.94	441.94

注:以上数据为5人测定结果的平均值。

2.3 白酒风味物质味觉阈值的测定

以46%vol乙醇水溶液为基质,采用3-AFC测定了白酒中48种重要风味化合物的味觉阈值,包括18个酸类化合物,15个酯类化合物,11个醇类化合物,3个醛类化合物和1个酚类化合物,结果如表4所示。

酸类物质是衬托白酒味感的基础,对白酒的滋味具有重要贡献^[22]。白酒中的酸主要分为挥发性有机酸和不挥发性有机酸,挥发性有机酸以乙酸、己酸和丁酸占比最大,是白酒中重要的呈味物质,乙酸对苦味有较好的遮蔽效果,己酸能影响异戊醇的涩味^[11,23]。乳酸、2-羟基异己酸、羟基乙酸是白酒中重要的呈味不挥发性有机酸,其中,乳酸含量最高,它是影响白酒酸味和涩味的关键味觉物质^[10]。富马酸、2-羟基异己酸、2-羟基-3-甲基丁酸、羟基乙酸、柠檬酸、己酸等是区分不同类型白酒的关键标记物^[24-25]。苹果酸、马来酸、L-(+)-酒石酸、苯甲酸、2-羟基丁酸能够丰富香气活性化合物的风味特征^[26]。基于此,对白酒中已报道的重要有机酸的味觉阈值进行了测定,结果发现多数酸类化合物均能呈现酸味、苦味和涩味等多种味觉特征,如乳酸、2-羟基异己酸、3-羟基丙酸、丁二

酸、苹果酸、马来酸、富马酸、2-羟基-3-甲基丁酸、L-(+)-酒石酸、3-甲基丁酸、己酸,这些物质多为难挥发性酸类物质,其中,乳酸、3-羟基丙酸、L-(+)-酒石酸的酸味阈值均低于其苦味和涩味阈值。3-羟基丙酸的味觉阈值最大,酸味和涩味阈值为1 520.28 mg/L,苦味阈值则达到了3 040.56 mg/L,而3-甲基丁酸的味觉阈值最低,其觉察阈值仅为1.31 mg/L,酸味阈值为4.93 mg/L,苦味阈值为1.23 mg/L,涩味阈值为2.47 mg/L。羟基乙酸和柠檬酸呈现酸味和涩味特征,前者的酸味阈值明显低于涩味阈值,柠檬酸的酸味与涩味阈值相同,均为355.32 mg/L。乙酸呈现酸味和苦味特征,而酸味阈值为94.13 mg/L,显著低于苦味阈值(3 012.27 mg/L),说明在浓度较低时,仅呈现酸味特征。丁酸、苯甲酸和2-糠酸呈现苦味和涩味,没有明显的酸味,丁酸的苦味和涩味阈值相同,均为5.39 mg/L;苯甲酸的苦味阈值为4.51 mg/L,低于其涩味阈值9.02 mg/L;2-糠酸的味觉阈值均较高,苦味和涩味阈值均为302.64 mg/L。2-羟基丁酸和DL-3-苯基乳酸仅呈现苦味特征,且苦味阈值均较低,分别为19.8 mg/L和7.36 mg/L。本文测定的酸类化合物阈值与文献已报道的阈值相

比,以46%vol乙醇-水溶液测定的化合物的味觉特征除了酸味和涩味外,还呈现明显的苦味,且绝大多数化合物的阈值均高于以水溶液为基质测得的味觉阈值^[10,17]。

酯类化合物是白酒中占比最大的一类化合物,是白酒风味的主要贡献物质。乙酸乙酯、己酸乙酯、乳酸乙酯、丁酸乙酯是组成白酒的“四大酯”,对白酒风味具有显著贡献,四者比例决定了白酒的绵甜度^[27]。辛酸己酯、己酸异戊酯、庚酸乙酯、辛酸乙酯、己酸戊酯、己酸异丁酯、丁酸异戊酯、戊酸乙酯、己酸己酯、辛酸异戊酯与白酒甜味呈正相关^[28]。基于此,对白酒中已报道的重要酯类化合物的味觉阈值进行了测定,结果发现酯类化合物多以甜味和苦味为主,其中辛酸己酯、己酸异戊酯和乙酸乙酯能呈现甜味、苦味和涩味3种味觉特征,辛酸己酯的甜味和涩味阈值相同,均为2.45 mg/L,低于其苦味阈值4.90 mg/L;己酸异戊酯的甜味和苦味阈值相同,均为4.44 mg/L,显著低于其涩味阈值35.53 mg/L;乙酸乙酯的阈值均较高,甜味、苦味和涩味阈值均高达369.11 mg/L。丁酸乙酯、己酸乙酯、庚酸乙酯、辛酸乙酯、己酸戊酯、己酸异丁酯、丁酸异戊酯、辛酸异戊酯、2-甲基丁酸乙酯均呈现甜味和苦味,多数化合物甜味与苦味阈值相同,其中2-甲基丁酸乙酯和丁酸乙酯的味觉特征阈值最低,分别为0.03 mg/L和0.70 mg/L。己酸乙酯、辛酸乙酯、丁酸异戊酯的甜味明显低于其苦味阈值,其中己酸乙酯的甜味阈值和苦味阈值最低,仅为0.66 mg/L和2.65 mg/L。戊酸乙酯仅呈甜味,甜味阈值仅为0.29 mg/L。乳酸乙酯和己酸己酯均呈现苦味和涩味,并未有明显的甜味特征,乳酸乙酯的味觉阈值较高,己酸己酯的味觉阈值较低,其苦味阈值最低,为0.70 mg/L。上述酯类化合物的阈值与文献报道的阈值相比,丁酸乙酯、己酸乙酯、庚酸乙酯和辛酸乙酯的觉察阈值与文献报道的阈值相近,戊酸乙酯、乙酸乙酯和乳酸乙酯的阈值均高于文献报道的阈值^[11,17]。

醇类化合物是酯类化合物形成的前体物质,能烘托酯香,维持白酒风格,使白酒的风味更加丰富和协调,同时调研发现高级醇对白酒滋味具有重要贡献^[19,29-30]。接下来,对白酒中主要醇类化合物的味觉阈值进行了测定,结果发现醇类化合物

均能呈现苦味。正丁醇能呈现甜味、苦味和涩味3种味觉特征,而涩味阈值较大,为1 767.77 mg/L。苯乙醇、正丙醇、异戊醇和丙二醇呈现甜味和苦味,苯乙醇和丙二醇的甜味阈值分别为26.60 mg/L和86.62 mg/L,显著低于其苦味阈值。异戊醇和正丙醇的苦味阈值低于其甜味阈值,其中异戊醇的苦味阈值最低为27.62 mg/L,而正丙醇的阈值均较高,其苦味阈值高达3 358.76 mg/L。正己醇和酪醇呈现苦味和涩味,苦味阈值分别为15.64 mg/L和49.59 mg/L,均低于其涩味阈值31.29 mg/L和99.17 mg/L。异丁醇、乙二醇、2-庚醇和1,3-丁二醇仅呈现苦味,其中2-庚醇的苦味阈值最低,仅为0.71 mg/L,而1,3-丁二醇的苦味阈值较高,为2 404.16 mg/L。与文献已报道的相比,正丁醇、正丙醇和异戊醇还呈现明显的甜味特征,正丁醇和正丙醇的味觉阈值高于以水为基质测定的阈值,而异戊醇和异丁醇的苦味阈值低于以水为基质测定的阈值^[11,17]。

醛类化合物在白酒中的含量和比例直接影响白酒的风味特征,适量的醛类物质可促进酒体喷香,同时影响白酒口感^[11,31]。对糠醛和辛醛的味觉阈值的测定结果显示,醛类化合物以苦味为主。辛醛呈现甜味和苦味两种味觉特征,其甜味和苦味阈值均为0.06 mg/L。糠醛呈苦味,且苦味阈值较低,为11.36 mg/L,与文献相比,糠醛的苦味阈值显著低于以水为基质测得的阈值^[11]。

没食子酚主要来源于白酒酿造过程中的美拉德反应,是酱香型白酒和芝麻香型白酒中重要的风味物质,具有焦香、焙烤香^[32]。本试验结果显示,其觉察阈值为92.99 mg/L,苦味阈值为114.02 mg/L。

3 讨论

本文对白酒中重要风味化合物的味觉阈值进行了测定。首先以己酸乙酯和己酸为例,探究了酒精度对风味化合物味觉阈值的影响,发现46%vol的乙醇水溶液更适宜作为基质进行味觉阈值测定。以己酸乙酯和异戊醇为例,探究了3-AFC和TST两种感官品评方式下阈值的大小情况,发现TST测定的阈值明显高于3-AFC。

以46%vol乙醇水溶液为基质,采用3-AFC

表4 46%vol乙醇-水基质中白酒风味物质的觉察阈值与味觉特征阈值汇总表

编号	化合物	味觉特征	基质	感官方法	感官人数	阈值/(mg/L)				
						酸味特征	甜味特征	苦味特征	涩味特征	觉察阈值
1	乳酸	酸、苦、涩	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	203.29	—	1 626.35	1 626.35	263.64
2	2-羧基异己酸	酸、苦、涩	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	615.81	—	153.95	153.95	76.98
3	3-羧基丙酸	酸、苦、涩	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	1 520.28	—	3 040.56	1 520.28	814.7
4	丁二酸	酸、苦、涩	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	271.53	—	16.97	67.88	16.97
5	苹果酸	酸、苦、涩	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	191.98	—	191.98	191.98	161.43
6	马来酸	酸、苦、涩	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	111.37	—	55.68	111.37	72.70
7	富马酸	酸、苦、涩	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	119.32	—	59.66	59.66	90.43
8	2-羧基-3-甲基丁酸	酸、苦、涩	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	289.91	—	155.96	155.96	220.09
9	L-(+)-酒石酸	酸、苦、涩	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	192.69	—	192.69	770.75	202.47
10	3-甲基丁酸	酸、苦、涩	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	4.93	—	1.23	2.47	1.31
11	己酸	酸、苦、涩	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	105.18	—	41.30	41.30	26.78
12	羟基乙酸	酸、涩	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	147.08	—	—	588.31	126.08
13	柠檬酸	酸、涩	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	355.32	—	—	355.32	267.10
14	乙酸	酸、苦	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	94.13	—	3 012.27	—	94.13
15	丁酸	苦、涩	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	—	5.39	5.39	4.84
16	苯甲酸	苦、涩	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	—	4.51	9.02	18.05
17	2-糠酸	苦、涩	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	—	302.64	302.64	280.21
18	2-羧基丁酸	苦	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	—	19.80	—	8.12
19	DL-3 苯基乳酸	苦	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	—	7.36	—	7.36
20	辛酸乙酯	甜、苦、涩	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	2.45	4.90	2.45	3.81
21	己酸异戊酯	甜、苦、涩	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	4.44	4.44	35.53	7.57
22	乙酸乙酯	甜、苦、涩	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	369.11	369.11	369.11	271.25
23	丁酸乙酯	甜、苦	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	0.70	0.70	—	0.48
24	己酸乙酯	甜、苦	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	0.66	2.65	—	0.66
25	庚酸乙酯	甜、苦	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	3.71	3.71	—	2.74
26	辛酸乙酯	甜、苦	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	1.33	2.66	—	1.16

(续表 4)

编号	化合物	味觉特征	基质	感官方法	感官人数	阈值/(mg/L)				
						酸味特征	甜味特征	苦味特征	涩味特征	觉察阈值
27	己酸戊酯	甜、苦	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	8.88	8.88	—	8.10
28	己酸异丁酯	甜、苦	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	16.97	16.97	—	10.21
29	丁酸异戊酯	甜、苦	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	1.94	3.89	—	1.64
30	辛酸异戊酯	甜、苦	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	8.91	8.91	—	7.88
31	2-甲基丁酸乙酯	甜、苦	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	0.03	0.03	—	0.04
32	戊酸乙酯	甜	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	0.29	—	—	0.22
33	乳酸乙酯	苦、涩	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	—	742.46	742.46	268.64
34	己酸己酯	苦、涩	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	—	0.70	2.81	1.12
35	正丁醇	甜、苦、涩	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	220.97	220.97	1 767.77	238.66
36	苯乙醇	甜、苦	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	26.60	53.21	—	32.75
37	正丙醇	甜、苦	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	6 717.51	3 358.76	—	2 728.16
38	异戊醇	甜、苦	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	110.49	27.62	—	32.78
39	丙二醇	甜、苦	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	86.62	346.48	—	18.25
40	正己醇	苦、涩	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	—	15.64	31.29	13.62
41	酪醇	苦、涩	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	—	49.59	99.17	26.57
42	异丁醇	苦	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	—	50.25	—	154.99
43	乙二醇	苦	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	—	165.29	—	92.25
44	2-庚醇	苦	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	—	0.71	—	1.23
45	1,3-丁二醇	苦	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	—	2 404.16	—	802.29
46	辛醛	甜、苦	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	0.06	0.06	—	0.05
47	糠醛	苦	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	—	11.36	—	29.09
48	没食子酚	苦	46%vol 乙醇水溶液	3-AFC	20	—	—	114.02	—	92.99

注:以上数据为 20 人测定结果的平均值。

测定了白酒中 48 种重要风味化合物的味觉阈值。研究发现,不同化合物味觉特征虽然存在较大差异,但是同一类化合物味觉特征具有一定相似性。对于酸类化合物,多数酸类化合物均能呈现酸味、苦味和涩味等多种味觉特征,还有一些酸类化合物并没有明显的酸味,如丁酸、苯甲酸、2-糠酸、2-羟基丁酸、DL-3 苯基乳酸呈现苦味和涩味。3-甲基丁酸的味觉阈值最低,3-羟基丙酸的味觉阈值均较高。酯类化合物多

以甜味和苦味为主,辛酸己酯、己酸异戊酯和乙酸乙酯除甜味和苦味外,还呈现涩味,戊酸乙酯仅有甜味,乳酸乙酯和己酸乙酯没有明显的甜味,仅呈现苦味和涩味。酯类化合物的甜味阈值均低于或等于其苦味阈值,其中 2-甲基丁酸乙酯的甜味和苦味阈值最低,仅为 0.03 mg/L,乳酸乙酯的苦味和涩味阈值最大,为 742.46 mg/L。醇类化合物均能呈现苦味。正丁醇能呈现甜味、苦味和涩味 3 种味觉特征,苯乙醇、正

丙醇、异戊醇、丙二醇除苦味外,还能呈现甜味,正己醇和酪醇还呈现涩味。2-庚醇的苦味阈值最低,仅为0.71 mg/L,正丙醇的味觉阈值均较大。两种醛类化合物和没食子酚均可呈现苦味,辛醛还能呈现甜味,且其甜味和苦味阈值均较低,仅为0.06 mg/L。

本文味觉阈值测定结果弥补了白酒领域味觉阈值缺失的问题,为白酒滋味研究提供了较为详细准确的数据支撑。白酒中的风味化合物数量庞大,后续还需继续测定其它风味化合物的味觉阈值,进一步扩充化合物味觉阈值数据库,对推动白酒风味化学研究和酒体质量控制具有十分重要的意义。

参 考 文 献

- [1] 孙宝国. 国酒[M]. 北京: 化学工业出版社, 2019: 2-5.
SUN B G. Chinese national alcohols [M]. Beijing: Chemical Industry Press Co., Ltd., 2019: 2-5.
- [2] LIU H L, SUN B G. Effect of fermentation processing on the flavor of baijiu[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018, 66(22): 5425-5432.
- [3] 公司研究室. 中国酒业2023年详细数据出炉: 白酒利润2328亿,同比增长7.5%[EB/OL]. (2024-03-22)[2024-06-11]. <https://mp.pdnews.cn/Pc/ArtInfoApi/article?id=40379508>.
Company Research Room. China alcoholic drinks industry in 2023 detailed data released: Baijiu profits of 232.8 billion, a year-on-year growth of 7.5%[EB/OL]. (2024-03-22)[2024-06-11]. <https://mp.pdnews.cn/Pc/ArtInfoApi/article?id=40379508>.
- [4] QIN D, DUAN J W, LI H H, et al. Characterization and comparison of the aroma-active compounds on different grades of sesame-flavor Baijiu by headspace solid-phase microextraction and gas chromatography-olfactometry-mass spectrometry[J]. Food Science and Human Wellness, 2023, 12(1): 79-88.
- [5] YU H Y, LI Q W, XIE J R, et al. Characterization of bitter compounds in Shaoxing Huangjiu by quantitative measurements, taste recombination, and omission experiments[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2022, 70(40): 12907-12915.
- [6] DUAN J W, CHENG W, LV S L, et al. Characterization of key aroma compounds in soy sauce flavor Baijiu by molecular sensory science combined with aroma active compounds reverse verification method[J]. Food Chemistry, 2024, 443: 138487.
- [7] QIN D, WU Z Y, SHEN Y, et al. Characterization of empty cup aroma in soy sauce aroma type Baijiu by vacuum assisted sorbent extraction[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2023, 117: 105147.
- [8] QIN D, LV S L, SHEN Y, et al. Decoding the key compounds responsible for the empty cup aroma of soy sauce aroma type Baijiu[J]. Food Chemistry, 2024, 434: 137466.
- [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.
FAN W L, XU Y. Determination of odor thresholds of volatile aroma compounds in Baijiu by a forced-choice ascending concentration series method of limits[J]. Liquor Making, 2011, 38(4): 80-84.
- [10] 杨会. 白酒中不挥发呈味有机酸和多羟基化合物研究[D]. 无锡: 江南大学, 2018.
YANG H. Characterization of non-volatile gustatory organic acids and polyhydroxy compounds in Chinese liquors[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018.
- [11] 王尹叶. 白酒中挥发性呈苦和/或涩味物质研究[D]. 无锡: 江南大学, 2019.
WANG Y Y. A profile of the volatile compounds with bitter and/or astringent taste in baijiu (Chinese liquor)[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019.
- [12] 陆力华. 两种香型白酒中甜味物质的初步研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2023.
LU L H. Preliminary study on sweeteners in two kinds of Baijiu [D]. Guiyang: Guizhou University, 2023.
- [13] 陆佳玲, 陈双, 徐岩. 清香型白酒降度过程中香气感知特征及风味组分挥发性变化规律[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(15): 36-42.
LU J L, CHEN S, XU Y. Changes of aroma perception and flavor component volatility in the process of dilution in Chinese light-flavor Baijiu [J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(15): 36-42.
- [14] CRETIN B N, DUBOURDIEU D, MARCHAL A. Influence of ethanol content on sweetness and bitterness perception in dry wines[J]. LWT-Food Science & Technology, 2018, 87: 61-66.
- [15] KING E S, DUNN R L, HEYMANN H. The influ-

- ence of alcohol on the sensory perception of red wines[J]. *Wine & Viticulture Journal*, 2014, 28(1): 235-243.
- [16] JIA X Q, LI Y, ZHANG L, et al. Differentiation of ethanol-water clusters in Fenjiu by two-dimensional correlation fluorescence and Raman spectra[J]. *Spectrochimica Acta Part A -Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2022, 217: 120856.
- [17] WANG L H, ZHU L, ZHENG F P, et al. Determination and comparison of flavor (retronasal) threshold values of 19 flavor compounds in Baijiu[J]. *Journal of Food Science*, 2021, 86(5): 2061-2074.
- [18] 向玉萍. 白酒中糖和糖醇类物质的解析[D]. 贵阳: 贵州大学, 2022.
XIANG Y P. Analysis of sugars and sugar alcohols in Baijiu[D]. Guiyang: Guizhou University, 2022.
- [19] 郭世鑫. 酱香型白酒苦味成因与改善措施的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2024.
GUO S X. Causes and improvement measures of bitterness of Maotai-flavor Baijiu[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2024.
- [20] DONG W, DAI X R, JIA Y T, et al. Association between Baijiu chemistry and taste change: Constituents, sensory properties, and analytical approaches[J]. *Food Chemistry*, 2023, 437: 137826.
- [21] 刘明, 徐姿静, 钟其顶, 等. 白酒中风味物质阈值测定方法的比较[J]. *中国食品学报*, 2018, 18(4): 253-260.
LIU M, XU Z J, ZHONG Q D, et al. Comparison of the threshold determination method for Chinese liquor (Baijiu) flavor substances[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2018, 18(4): 253-260.
- [22] 杨官荣, 黄志瑜. 味觉转变剂在白酒中的开发探讨[J]. *酿酒科技*, 2009(11): 87-89.
YANG G R, HUANG Z Y. Discussion on the development of taste-change-agents for liquor [J]. *Liquor-Making Science & Technology*, 2009(11): 87-89.
- [23] 肖丽琼. 米香型白酒苦味物质形成机理及控制措施研究[D]. 汕尾: 仲恺农业工程学院, 2015.
XIAO L Q. Forming mechanism and controlling measurement of bitterness rice wine [D]. Shanwei: Zhongkai University of Agriculture and Engineering, 2015.
- [24] 王广南. 白酒中不挥发性有机酸的分析及其对白酒风味影响的研究[D]. 北京: 北京工商大学, 2022.
WANG G N. Analysis of non-volatile organic acids in Baijiu and its effects on the flavor of Baijiu[D]. Beijing: Beijing Technology and Business University, 2022.
- [25] WANG G N, SONG X B, ZHU L, et al. A flavoromics strategy for the differentiation of different types of Baijiu according to the non-volatile organic acids[J]. *Food Chemistry*, 2021, 374: 131641.
- [26] WANG G N, JING S, SONG X B. Reconstitution of the flavor signature of Laobaigan-Type Baijiu based on the natural concentrations of its odor-active compounds and nonvolatile organic acids [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2022, 70(3): 837-846.
- [27] 胡景辉, 常强, 蒋超, 等. 浓香白酒绵甜感官与风味构成相关性研究[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(21):68-72.
HU J H, CHANG C, JIANG C, et al. Study on the correlation between soft-sweet's sense and flavor compounds' composition of Strong-flavor Baijiu [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(21): 68-72.
- [28] SUN Y L, MA Y, CHEN S, et al. Exploring the mystery of the sweetness of Baijiu by sensory evaluation, compositional analysis and multivariate data analysis[J]. *Foods*, 2021, 10(11): 2843.
- [29] 王尹叶, 范文来, 徐岩. 白酒中挥发性苦涩味物质的提取和分离[J]. *食品与发酵工业*, 2018, 44(6): 240-244.
WANG Y Y, FAN W L, XU Y. Extraction and isolation method of volatile compounds with astringent and bitter taste in Baijiu (Chinese liquor)[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2018, 44(6): 240-244.
- [30] 宋柯, 王大俊, 陈传青. 白酒味苦原因分析及防止措施研究[J]. *酿酒科技*, 2021(12): 56-60.
SONG K, WANG D J, CHEN C Q. Cause analysis and prevention of bitter taste of Baijiu [J]. *Liquor-Making Science & Technology*, 2021(12): 56-60.
- [31] 孙雨露. 白酒甜味的初步研究[D]. 无锡: 江南大学, 2023.
SUN Y L. A preliminary study on the sweetness of Baijiu[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2023.

[32] 王化斌. 白酒的“苦味”[J]. 酿酒科技, 2007(8): 165-167.

WANG H B. Bitterness in Liquor[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2007(8): 165-167.

Determination of Taste Threshold of Flavor Compounds in Baijiu

He Fei^{1,2,3}, Sun Baoguo^{1,2,4}, Li Hehe^{1,2,4*}, Sun Jinyuan^{1,2,4}, Huang Mingquan^{1,2,4}, Gao Yuan^{1,2}

(¹Key Laboratory of Geriatric Nutrition and Health (Beijing Technology and Business University),
Ministry of Education, Beijing 100048

²Chinese National Alcohols Research Institute of Beijing Technology and Business University, Beijing 100048

³School of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641

⁴Key Laboratory of Brewing Molecular Engineering of China Light Industry,
Beijing Technology and Business University, Beijing 100048)

Abstract Baijiu is the Chinese national alcohol, and its unique flavor carries a rich culture and history and is an important part of Chinese culture. The flavor of Baijiu mainly depends on the aroma and taste of the compounds in the Baijiu. The threshold and content of the compounds directly affect their contribution to the overall flavor of Baijiu. Threshold is a bridge connecting chemical content and sensory characteristics in flavor chemistry and is a reference index for studying the importance of key flavor compounds in Baijiu. There is extensive research on the aroma threshold of flavor compounds in Baijiu, while research on taste thresholds is still in its infancy. So it is urgent to carry out systematic research. In this paper, the volume fraction of 46% ethanol aqueous solution was used as the matrix, and the three-alternative forced-choice (3-AFC) was used to determine the threshold by optimizing the alcohol content of the matrix and the sensory evaluation method. The taste thresholds of 48 important flavor compounds in Baijiu were determined, including the detection threshold and its taste characteristic threshold. The study found that a single compound could exhibit various taste characteristics, and there were great differences in the taste characteristics of different compounds. Still, the taste characteristics of the same kind of compounds had certain similarities. Most of the acid compounds could present a variety of taste characteristics such as sour, bitter, and astringent taste, and some acid compounds had no obvious sour taste. Ester compounds were mainly sweet and bitter, but the sweetness threshold was not greater than its bitterness threshold. Alcohol compounds could show bitterness, and some could also show sweetness and astringency. Two aldehydes and pyrophenols could show a bitter taste. The results provided a more detailed and accurate threshold reference for studying Baijiu taste, which was of great significance to the sensory evaluation, flavor chemistry research and product quality improvement of the Baijiu industry.

Keywords Baijiu; taste; taste threshold; sour; bitter; sweet; astringent