

## 不同轮次酱香型基酒风味特征分析

胡春红<sup>1</sup>, 卢君<sup>2,3\*</sup>, 尹学忠<sup>3</sup>, 唐贤星<sup>3</sup>, 庞文虎<sup>3</sup>

(1.天津科技大学 生物工程学院, 天津 300457; 2.贵州国台酒业集团研究院, 天津 300410;

3.贵州国台酒庄数智酒业有限公司, 贵州 遵义 564501)

**摘要:** 该研究以仁怀市名酒工业园区内1~7轮次酱香型基酒为研究对象, 通过对其理化指标、挥发性风味骨架成分进行测定以及感官品评, 并结合正交偏最小二乘判别分析(OPLS-DA)及相关性分析, 考察不同轮次基酒的风味特征。理化指标分析结果表明, 随着轮次的增加, 基酒中酒精度和总酸含量整体呈现下降趋势, 总酯含量呈先升高后下降趋势。挥发性风味成分分析结果表明, 不同轮次基酒骨架成分中乙醛、糠醛、丁酸乙酯等8种物质的气味活性值(OAV)>10, 对香气特征具有重要作用。2~5轮次基酒骨架成分相似, 6、7轮次基酒骨架成分相似, 但均与1轮次基酒骨架成分差别较大。进一步基于变量重要性投影(VIP)值>1筛选得到异丁醇、乙酸乙酯、辛酸乙酯等14种差异香气物质。感官品评结果表明, 1和2轮次基酒风格上突出生沙香; 3~5轮次酒体突出酱香、醇厚度、干净度以及后味; 6、7轮次酒体中焦香和苦味明显增加。相关性分析结果表明, 基酒骨架成分与其感官属性间存在一定的相关性。

**关键词:** 酱香型白酒; 轮次基酒; 理化指标; 挥发性风味物质; 感官品评; 相关性分析

中图分类号: TS261.4

文章编号: 0254-5071(2025)07-0045-06

doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2025.07.007

**引文格式:** 胡春红, 卢君, 尹学忠, 等. 不同轮次酱香型基酒风味特点分析[J]. 中国酿造, 2025, 44(7): 45-50.

## Analysis of flavor characteristics of sauce-flavor base liquor in different rounds

HU Chunhong<sup>1</sup>, LU Jun<sup>2,3\*</sup>, YIN Xuezhong<sup>3</sup>, TANG Xianxing<sup>3</sup>, PANG Wenhui<sup>3</sup>

(1.School of Biotechnology, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China; 2.Guizhou Guotai Liquor Industry Group Research Institute, Tianjin 300410, China; 3.Guizhou Guotai Manor Shuzhi Liquor Industry Co., Ltd., Zunyi 564501, China)

**Abstract:** This study took the 1st-7th rounds of sauce-flavor (Jiangxiangxing) base liquor in Renhuai Famous Liquor Industrial Park as the research object, the physiochemical indicators, volatile flavor components were determined, and sensory evaluation were conducted. Combined with orthogonal partial least squares discriminant analysis (OPLS-DA) and correlation analysis, the flavor characteristics of different rounds of base liquor were examined. The analysis of physiochemical indicators showed that with the increase of the rounds, the alcohol content and total acid content in the base liquor generally showed a downward trend, and the total ester content showed a trend of increasing first and then decreasing. The analysis results of volatile flavor components showed that the odor activity values (OAV) of eight substances such as acetaldehyde, furfural and ethyl butyrate in the framework components of different rounds of base liquor were greater than 10, which played an important role in the aroma characteristics. The framework components of the base liquor from the 2nd to the 5th round were similar, and those from the 6th and 7th rounds were also similar, but they all different significantly from those of the base liquor from the 1st round. Further, based on the variable importance projection (VIP) value>1, 14 differential aroma substances such as isobutanol, ethyl acetate, and ethyl octoate were screened out. The sensory evaluation results showed that the base liquor of the 1st and the 2nd rounds had a prominent raw sand aroma in style. The liquor in the 3rd to 5th rounds highlighted the sauce aroma, richness, cleanliness and aftertaste. The burnt aroma and bitterness in the wine body increased significantly in the 6th and the 7th rounds. The results of the correlation analysis indicated that there was a certain correlation between the skeletal components of the base liquor and its sensory attributes.

**Key words:** sauce-flavor *Baijiu*; round base liquor; physiochemical index; volatile flavor substance; sensory evaluation; correlation analysis

酱香型白酒受消费者喜欢程度不断攀升, 一跃成为白酒中的领军香型<sup>[1]</sup>, 其在工艺上坚持“12987”, 即1年周期、2次投料、9次蒸煮、8次发酵以及7次馏酒, 共包括30道工序和165个工艺环节<sup>[2]</sup>。长生产周期、多轮次发酵以及酿造气候的不同造成1~7轮次酱香型基酒风格迥异, 特点鲜明<sup>[3]</sup>。重阳下沙开始生产, 酒醅处于初始发酵阶段, 基酒香气清新带有生粮风味; 2轮次阶段, 基酒的风味转为涩味; 3轮次

基酒酱香出现, 入口醇和; 4轮次酒体酱香味显著增强, 并混杂着细微的辅料糠香; 5轮次的取酒时间接近端午时节, 酒体酱香优雅, 味觉体验持久绵长; 6轮次基酒焦香味、曲香更加显著, 而酱香则略显不足; 7轮次基酒味浓带苦, 带有明显的焦糖香味<sup>[4]</sup>。

目前, 已有研究人员分析了酱香型不同轮次白酒中的风味成分。王学娇等<sup>[5]</sup>从天津地区不同轮次酱香型白酒中

收稿日期: 2024-08-21

修回日期: 2025-03-17

作者简介: 胡春红(1999-), 男, 硕士, 研究方向为现代酿造技术。

\*通讯作者: 卢君(1985-), 男, 教授级高级工程师, 博士, 研究方向为酒类发酵技术和质量控制。

共定性并定量出119种挥发性物质,筛选出17种重要香气贡献物质(气味活性值(odor activity value, OAV)  $\geq 10$ );并通过感官分析发现,1、2轮次酒的粮食香明显强于其他轮次酒,5轮次酒的醇香、酱香和酸香强度最大,4轮次酒的窖底香、6轮次酒的焦烤香以及7轮次酒的果香最突出。蒙德俊等<sup>[6]</sup>研究发现,酱香型白酒7个轮次基酒中主要的酸类物质为乳酸和乙酸。郭松波等<sup>[7]</sup>在大回酒中共检测到43种主要风味物质,酯类物质中乳酸乙酯含量最高,并随着轮次的增加呈现先增加后降低的变化趋势,且在第4轮次达到最大值;醇类物质含量最高的是正丙醇,其随着轮次的增加先降低后略微增加;醛类物质中乙醛和糠醛的含量随轮次的增加呈现逐渐上升的变化趋势;酮类物质中3-羟基-2-丁酮的含量较高,随着轮次的增加,呈现逐渐增加的趋势。尹艳艳等<sup>[8]</sup>研究发现,新产基酒中氨基甲酸乙酯(ethyl carbonate, EC)含量随酿造轮次增加逐渐升高。同时,在蒸馏过程尾段中含量较高。因此,可通过“去尾”减少EC含量。王荣钰等<sup>[9]</sup>研究发现,酱香型不同轮次基酒的pH值在3.607~3.767之间,电导率在53.2~75.9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 之间,总酸含量在1.690~4.595 g/L之间、总酯含量在3.325~6.485 g/L之间,在各轮次中均表现为先下降后上升再下降的趋势;利用气相色谱-四极杆飞行时间串联质谱(gas chromatography-quadrupole time-of-flight tandem mass spectrometry, GC-QTOF-MS/MS)定量出60种挥发性风味物质,其中醇类物质12种、醛类物质7种、酸类物质9种、酯类物质22种、吡嗪呋喃类物质5种、酚类物质4种。然而,以上研究只梳理了某些轮次酱香型白酒理化和挥发性风味物质的变化规律,并未系统的阐述7个轮次基酒的风格特点以及挥发性风味物质与感官品评的相关性。

因此,本研究以仁怀市名酒工业园区内1~7轮次酱香型基酒为研究对象,通过对其理化指标、挥发性风味成分测定以及感官品评,并结合OAV及正交偏最小二乘判别分析(orthogonal partial least squares-discrimination analysis, OPLS-DA)分析考察不同轮次基酒的风味特征,以期为解决基酒风格特点以及后续的勾调优化提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

#### 1.1.1 材料

1~7轮次酱香型基酒(编号LC1~LC7):由贵州某酒企提供。采用大曲坤沙酱香型白酒生产工艺,选取质量和产量条件相似,且发酵正常的同一个班组的5口窖池共计35口窖池进行1~7轮次生产实验。除发酵时间不一,其余操作和工艺参数保持一致。

#### 1.1.2 试剂

乙醛、甲酸乙酯、乙酸乙酯、乙缩醛、甲醇、丁酸乙酯、仲丁醇、正丙醇、异丁醇、乙酸异戊酯、戊酸乙酯、正丁醇、

2-异戊醇、己酸乙酯、庚酸乙酯、乳酸乙酯、辛酸乙酯、乙酸、糠醛、丙酸、丁酸、戊酸己酸、 $\beta$ -苯乙醇、庚酸、辛酸乙酸、正戊酯(均为色谱纯);上海迈瑞尔生化科技有限公司。其他试剂均为国产分析纯。

### 1.2 仪器与设备

HF-900气相色谱仪:安捷伦科技(中国)有限公司;FA1004电子分析天平:上海瑶新电子科技有限公司;Aquaplore3S超纯水系统:美国艾科浦公司;CJM-091酒精计:衡水创纪仪器仪表有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 理化指标测定

总酸、总酯含量和酒精度:参照GB/T 10345—2022《白酒分析方法》的方法进行测定<sup>[10]</sup>。

#### 1.3.2 挥发性风味物质检测

采用气相色谱法测定1~7轮次酱香型基酒中的挥发性风味物质<sup>[11]</sup>。

GC条件:HP-INNOWAX毛细管色谱柱(60 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25  $\mu\text{m}$ ),柱流量1 mL/min,进样量0.5  $\mu\text{L}$ ,分流比为30:1,升温程序为起始温度40  $^{\circ}\text{C}$ ,保持2 min,以3  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至100  $^{\circ}\text{C}$ ,保持2 min,之后以5  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至230  $^{\circ}\text{C}$ ,保持10 min。

定性定量方法:根据保留时间进行定性,采用外标法定量。

#### 1.3.3 感官品评

由10名专业白酒评委组成品评小组人员(其中,3名省级白酒评委,年龄在25~46岁,身体健康)参考《G·R白酒品鉴》<sup>[12]</sup>对中段基酒色泽、香气、口感、风格等方面进行品评,满分100分。其中,酒体视觉分值总和为40分,嗅觉分值总和为30分,味觉分值总和为30分,总计100分。

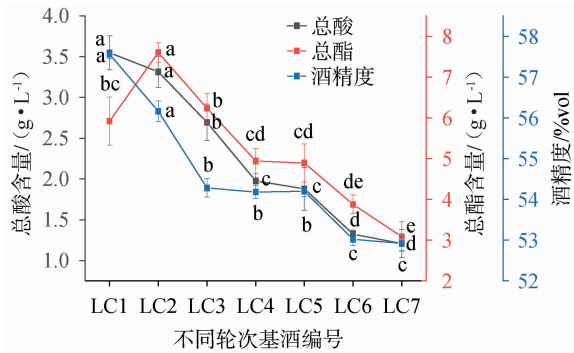
#### 1.3.4 数据处理

每个试验重复3次,利用Excel 2016处理数据,采用SPSS 22.0对数据进行方差分析,结果以“平均值 $\pm$ 标准差”表示;采用Origin 2021软件、Hiplot(<https://hiplot.com.cn/home/index.html>)绘图;采用SIMCA 14.1软件进行OPLS-DA,计算变量重要性投影(variable importance in the projection, VIP)值,以VIP $\geq 1$ 为条件筛选差异香气成分。

## 2 结果与分析

### 2.1 1~7轮次酱香型基酒理化指标差异分析

1~7轮次酱香型基酒的理化指标见图1。由图1可知,不同轮次基酒的酒精度为52%vol~57%vol,均符合GB/T 26760—2011《酱香型白酒》<sup>[13]</sup>的要求(45%vol~58%vol)。随着轮次的增加,酒精度总体呈现下降的趋势,且在1~3轮次,酒精度显著下降6.04%( $P<0.05$ );3~5轮次酒精度无显著差异( $P>0.05$ ),为54.18%vol~54.28%vol;在5~7轮次,酒精度显著下降2.42%( $P<0.05$ )。分析原因可能是酿造初期原料淀粉含量较高,因此转化酒精的比例高于发酵后期。



不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

图1 1~7轮次酱香型基酒理化指标测定结果

Fig. 1 Determination results of physiochemical indicators of the sauce-flavor base liquor of the 1st to the 7th rounds

白酒中酸类物质(乙酸、丙酸、乳酸、苹果酸、柠檬酸等)是糖类在发酵过程中的不完全产物,能给酒体带来爽快的感觉,可使酒体醇厚和丰满,对白酒后味贡献极大<sup>[14]</sup>。总酸是指酿造过程中产生的有机酸和无机酸的总和,是白酒口感的重要参考指标之一,能够反映出白酒的酸度、清爽度和口感<sup>[15]</sup>。同时,总酸的含量与酒的稳定性相关,酸

度过高会影响酒的质量<sup>[16]</sup>。由图1可知,随着轮次的增加,酱香型基酒中的总酸含量逐渐降低。分析原因可能是,在酱香型白酒的前期发酵阶段,乳杆菌属(*Lactobacillus*)作为这一阶段的主要微生物群落,对酒醅的酸度变化具有显著影响<sup>[17]</sup>。不同轮次基酒中的总酸含量在1.21~3.55 g/L之间。其中,1轮次基酒中总酸含量最高,是7轮次基酒中总酸含量的1.93倍。

总酯能作为反映白酒质量和风格的重要指标<sup>[18]</sup>。由图1可知,随着轮次的增加,不同轮次酱香型基酒中的总酯含量呈现先升高后下降的趋势。分析原因可能是,发酵前期,酒醅中乙醇含量较高,经过窖内发酵与酸类物质发生酯化反应形成各种酯类化合物,造成总酯含量急剧升高;但随着轮次的增加,总酸和乙醇含量不断下降,导致总酯含量下降。不同轮次基酒中的总酯含量在3.09~7.60 g/L范围内波动,且在2轮次酱香型基酒中达到最高,在7轮次酱香型基酒中处于最小值。

2.2 1~7轮次酱香型基酒骨架成分差异分析

2.2.1 骨架成分种类及含量分析

采用气相色谱法测定1~7轮次酱香型基酒中的挥发性风味成分,结果见表1。

表1 1~7轮次酱香型基酒骨架成分含量测定结果

Table 1 Determination results of the framework components contents of the sauce-flavor base liquor of the 1st to the 7th rounds

| 种类 | 化合物   | 含量/(mg·L <sup>-1</sup> ) |               |               |               |               |               |               |
|----|-------|--------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|    |       | LC1                      | LC2           | LC3           | LC4           | LC5           | LC6           | LC7           |
| 醇类 | 甲醇    | 240.84±0.02              | 172.37±0.01   | 150.92±0.00   | 165.06±0.02   | 186.32±0.02   | 293.10±0.05   | 485.32±0.07   |
|    | 仲丁醇   | 856.52±0.24              | 27.76±0.01    | 16.04±0.01    | 12.74±0.01    | 2.61±0.00     | 13.82±0.01    | 94.97±0.02    |
|    | 正丙醇   | 3 940.82±10.57           | 2 564.63±0.83 | 657.01±0.18   | 405.68±0.04   | 288.84±0.02   | 559.44±0.26   | 823.21±0.13   |
|    | 异丁醇   | 187.85±0.02              | 148.83±0.02   | 237.64±0.02   | 223.40±0.01   | 164.18±0.02   | 221.67±0.03   | 330.35±0.04   |
|    | 正丁醇   | 105.58±0.02              | 76.33±0.02    | 44.70±0.01    | 59.15±0.01    | 43.67±0.01    | 132.59±0.09   | 147.08±0.03   |
|    | 异戊醇-2 | 313.8±0.03               | 229.98±0.02   | 342.04±0.02   | 365.56±0.02   | 341.46±0.03   | 558.35±0.07   | 846.48±0.11   |
|    | β-苯乙醇 | 7.19±0.00                | 10.71±0.00    | 13.53±0.00    | 14.38±0.00    | 16.63±0.00    | 19.07±0.00    | 24.54±0.00    |
|    | 总计    | 5 652.61                 | 3 230.61      | 1 461.89      | 1 245.97      | 1 043.71      | 1 798.05      | 2 751.94      |
| 酯类 | 甲酸乙酯  | 63.18±0.01               | 71.18±0.01    | 40.93±0.01    | 38.70±0.01    | 58.70±0.01    | 79.73±0.01    | 59.24±0.01    |
|    | 乙酸乙酯  | 5 161.67±0.40            | 4 213.68±0.86 | 2 225.87±0.20 | 1 722.96±0.16 | 1 606.68±0.19 | 2 004.88±0.29 | 2 333.35±0.27 |
|    | 丁酸乙酯  | 32.78±0.01               | 23.44±0.01    | 15.19±0.01    | 17.87±0.00    | 17.03±0.01    | 33.05±0.01    | 37.48±0.00    |
|    | 戊酸乙酯  | 13.00±0.01               | 5.19±0.00     | 4.49±0.00     | 2.92±0.00     | 0.65±0.00     | 0.95±0.00     | -             |
|    | 己酸乙酯  | 14.28±0.00               | 13.2±0.00     | 12.54±0.00    | 14.18±0.00    | 12.75±0.01    | 14.20±0.00    | 14.06±0.00    |
|    | 乳酸乙酯  | 1 603.19±0.15            | 5 475.90±0.50 | 6 653.28±0.25 | 5 858.77±0.36 | 7 739.37±0.48 | 4 202.82±0.46 | 2 250.6±0.20  |
|    | 辛酸乙酯  | 107.02±0.04              | 1.72±0.00     | 4.06±0.00     | 4.85±0.00     | 3.20±0.00     | 4.25±0.00     | 6.68±0.00     |
|    | 总计    | 6 995.13                 | 9 804.32      | 8 956.36      | 7 660.25      | 9 438.39      | 6 339.87      | 4 701.42      |
| 酸类 | 乙酸    | 3 883.89±0.33            | 3 376.10±0.42 | 2 334.70±0.19 | 1 744.16±0.05 | 1 480.73±0.23 | 1 182.85±0.12 | 1 157.27±0.14 |
|    | 丙酸    | 353.78±0.09              | 30.02±0.01    | 28.35±0.01    | 20.83±0.01    | 4.83±0.01     | 22.26±0.00    | 32.79±0.00    |
|    | 丁酸    | 37.74±0.01               | 27.31±0.01    | 21.56±0.01    | 28.13±0.01    | 32.05±0.01    | 63.77±0.03    | 62.54±0.00    |
|    | 总计    | 4 275.4                  | 3 433.43      | 2 384.61      | 1 793.12      | 1 517.61      | 1 268.88      | 1 252.6       |
| 醛类 | 糠醛    | 34.15±0.01               | 75.93±0.02    | 157.56±0.03   | 264.33±0.03   | 419.38±0.15   | 375.03±0.16   | 429.69±0.15   |
|    | 乙缩醛   | 111.05±0.01              | 99.54±0.03    | 89.71±0.01    | 142.74±0.01   | 129.60±0.03   | 196.11±0.06   | 297.50±0.06   |
|    | 乙醛    | 186.53±0.02              | 178.82±0.05   | 161.86±0.01   | 232.21±0.02   | 216.42±0.03   | 287.53±0.08   | 394.18±0.07   |
|    | 总计    | 331.73                   | 354.28        | 409.13        | 639.28        | 765.41        | 858.67        | 1 121.38      |

由表1可知,从1~7轮次酱香型基酒中共检出20种含量较高的挥发性风味物质(骨架成分),包括酯类7种、醇类7种、酸类3种、醛类3种。不同轮次酱香型基酒骨架成分结构中酯类和醛类含量稳定分处于最大值(4 701.42~9 804.32 mg/L)和最小值(330.73~1 121.38 mg/L),而酸类和醇类含量交替处于领先地位,这可能是不同轮次基酒间风味差异的原因之一。随着轮次的增加,酱香型基酒中的酯类含量呈现动态变化的趋势,并在大回酒阶段(3~5轮次)保持在7 660.25~9 438.35 mg/L的相对平均水平,这一定程度佐证了大回酒阶段酒体香气、口味平衡的内在原因。随着轮次的增加,酱香型基酒中的醇类含量总体呈现先下降后上升的趋势,且在5轮次酱香型基酒中达到最小值(1 043.71 mg/L);酸类含量持续下降,口感由酸涩味不断向平衡口味转变;醛类含量不断升高,由1轮次的331.73 mg/L升高至7轮次的1 121.38 mg/L,共提高2.38倍。由表1亦可知,乙酸乙酯和乳酸乙酯是白酒中主要的两大酯类物质,能够增加酒体放香、爽口度和甜味,使酒体更加协调,对风味特征的形成有重要作用<sup>[9]</sup>。白酒中除了酯类是主要香味物质以外,醇类也具有重要地位。其中含量最高的为正丙醇,起到增加白酒特殊香味、烘托酯香和增加后味的作用<sup>[20]</sup>。乙酸是发酵过程中的挥发性有机酸,占总酸含量的75%,能给酒体带来爽快的感觉,可使酒体醇厚、丰满<sup>[21]</sup>。乙缩醛和糠醛是白酒中主要的醛类物质,可以增加

芳香、爽口感,造成刺激性和辛辣<sup>[22]</sup>。此外,随着轮次的增加,基酒的挥发性风味发生了较大的转变。1轮次基酒骨架成分中以乙酸乙酯(5 162.67 mg/L)、正丙醇(3 940.82 mg/L)、乙酸(3 883.89 mg/L)、乳酸乙酯(1 603.19 mg/L)、仲丁醇(856.52 mg/L)、丙酸(353.78 mg/L)为主;2轮次基酒骨架成分中以乳酸乙酯(5 475.90 mg/L)、乙酸(3 376.10 mg/L)、正丙醇(2 564.63 mg/L)、乙醛(178.82 mg/L)为主;3、4、5轮次大回酒骨架成分中以乳酸乙酯(6 653.28 mg/L、5 858.77 mg/L、7 739.37 mg/L)、乙酸乙酯(2 225.87 mg/L、1 722.96 mg/L、1 606.68 mg/L)为主;6、7轮次基酒骨架成分中以乙酸乙酯(2 004.88 mg/L、2 333.35 mg/L)、乙酸(1 182.85 mg/L、1 157.27 mg/L)为主。

2.2.2 骨架成分OAV分析

一般通过气味活性值(OAV)即浓度与阈值的比值来判定基酒中重要风味因子。OAV<1表示该物质对风味无实际影响;OAV>1表示该物质对风味有贡献,是关键风味物质;OAV>10时则认为贡献极大<sup>[23]</sup>。不同轮次酱香型基酒中挥发性香气成分的OAV见表2。

由表2可知,乙醛、糠醛、丁酸乙酯、乙酸乙酯、己酸乙酯、乳酸乙酯、β-苯乙醇、乙酸共8种挥发性风味物质在1~7轮次基酒中OAV均远大于10,被认为对香气特征具有重要作用。同时仲丁醇在不同轮次基酒中的OAV具有一定差异,可作为风味差别之一。

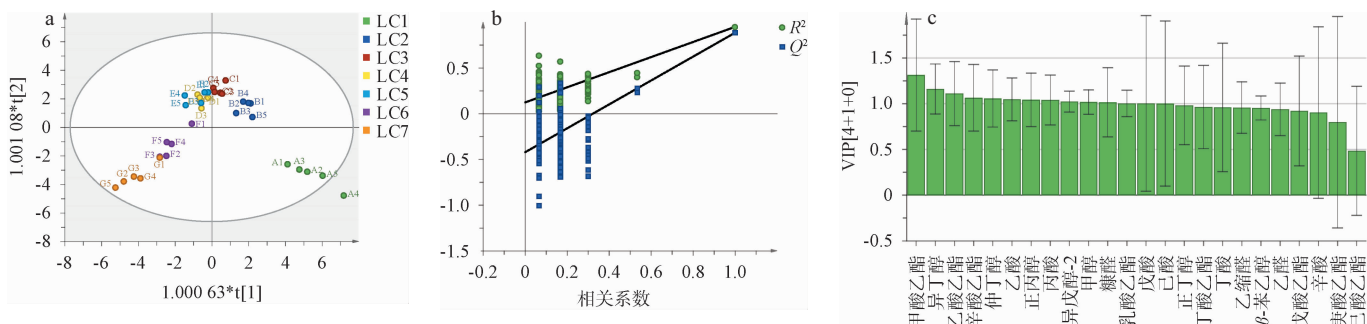
表2 1~7轮次酱香型基酒骨架成分气味活度值  
Table 2 Odor activity values of the skeletal components of the sauce-flavor base liquor of the 1st to the 7th rounds

| 化合物   | 阈值/<br>(mg·L <sup>-1</sup> ) | OAV      |          |          |          |          |          |          |
|-------|------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|       |                              | LC1      | LC2      | LC3      | LC4      | LC5      | LC6      | LC7      |
| 乙醛    | 1.2 <sup>[24]</sup>          | 155.45   | 149.01   | 134.88   | 193.51   | 180.35   | 239.61   | 328.49   |
| 糠醛    | 0.2 <sup>[24]</sup>          | 227.65   | 506.19   | 1 050.40 | 1 762.21 | 2 795.88 | 2 500.23 | 2 864.61 |
| 乙缩醛   | 50.0 <sup>[24]</sup>         | 2.22     | 1.99     | 1.79     | 2.85     | 2.59     | 3.92     | 5.95     |
| 丁酸乙酯  | 0.15 <sup>[24]</sup>         | 218.52   | 156.28   | 101.29   | 119.16   | 113.55   | 220.36   | 249.89   |
| 甲酸乙酯  | 150.0 <sup>[25]</sup>        | 0.42     | 0.47     | 0.27     | 0.26     | 0.39     | 0.53     | 0.39     |
| 辛酸乙酯  | 0.2 <sup>[25]</sup>          | 445.90   | 7.16     | 16.92    | 20.21    | 13.33    | 17.69    | 27.83    |
| 正丁醇   | 5.0 <sup>[26]</sup>          | 21.12    | 15.27    | 8.94     | 11.83    | 8.73     | 26.52    | 29.42    |
| 仲丁醇   | 10.0 <sup>[27]</sup>         | 85.65    | 2.78     | 1.60     | 1.27     | 0.26     | 1.38     | 9.50     |
| 正丙醇   | 720.0 <sup>[28]</sup>        | 5.47     | 3.56     | 0.91     | 0.56     | 0.40     | 0.78     | 1.14     |
| 异丁醇   | 7.5 <sup>[28]</sup>          | 25.05    | 19.84    | 31.69    | 29.79    | 21.89    | 29.56    | 44.05    |
| 异戊醇-2 | 6.5 <sup>[28]</sup>          | 48.28    | 35.38    | 52.62    | 56.24    | 52.53    | 85.90    | 130.23   |
| β-苯乙醇 | 0.1 <sup>[29]</sup>          | 719.40   | 1 070.60 | 1 353.20 | 1 438.20 | 1 662.80 | 1 906.60 | 2 453.60 |
| 乙酸    | 2.6 <sup>[27]</sup>          | 1 493.80 | 1 298.50 | 897.96   | 670.83   | 569.51   | 454.94   | 445.10   |
| 丙酸    | 20.0 <sup>[27]</sup>         | 17.69    | 1.50     | 1.42     | 1.04     | 0.24     | 1.11     | 1.64     |
| 丁酸    | 3.4 <sup>[30]</sup>          | 11.10    | 8.03     | 6.34     | 8.27     | 9.43     | 18.76    | 18.39    |
| 乙酸乙酯  | 17.0 <sup>[28]</sup>         | 303.63   | 247.86   | 130.93   | 101.35   | 94.51    | 117.93   | 137.26   |
| 己酸乙酯  | 0.1 <sup>[29]</sup>          | 178.53   | 164.95   | 156.78   | 177.28   | 159.33   | 177.50   | 175.80   |
| 庚酸乙酯  | 1.1 <sup>[28]</sup>          | -        | -        | 1.47     | 1.22     | 0.62     | 0.48     | 0.00     |
| 乳酸乙酯  | 14.0 <sup>[26]</sup>         | 114.51   | 391.14   | 475.23   | 418.48   | 552.81   | 300.20   | 160.76   |
| 甲醇    | 100.0 <sup>[30]</sup>        | 2.41     | 1.72     | 1.51     | 1.65     | 1.86     | 2.93     | 4.85     |

## 2.2.3 骨架成分差异性分析

为研究不同轮次基酒挥发性风味物质的差异,以20种

骨架成分含量作为因变量,轮次作为自变量,进行OPLS-DA分析,结果见图2。



a为OPLS-DA得分散点图;b为200次置换检验结果;c为骨架成分的VIP值。

图2 1~7轮次酱香型基酒骨架成分含量正交偏最小二乘判别分析结果

Fig. 2 Orthogonal partial least squares discriminant analysis results of the skeletal components contents of the sauce-flavor base liquor of the 1st to the 7th rounds

由图2a可知,模型中自变量拟合指数( $R^2X$ )为0.831,因变量拟合指数( $R^2Y$ )为0.600,模型预测指数( $Q^2$ )为0.472, $R^2$ 和 $Q^2$ 均超过0.45,说明模型拟合结果可接受。由图2b可知,经200次置换检验后, $Q^2$ 与纵坐标的截距为负值,说明模型不存在过拟合,进一步证明模型有效。由图2a可知,OPLS-DA分析能够对不同轮次基酒进行有效区分。其中,1轮次基酒单独聚为一类,2、3、4、5轮次基酒聚为一类,6、7轮次基酒聚为一类,说明不同轮次基酒中的骨架成分含量存在一定差异,但2~5轮次基酒骨架成分含量相近,6、7轮次基酒基酒骨架成分含量相近。变量投影重要性(VIP)值可以量化变量对于分组贡献度,用于筛选重要特征物质<sup>[31]</sup>。由图2c可知,以VIP值>1为标准,确定对不同轮次酱香型基酒有重要区分贡献的差异香气物质有14种,即异丁醇、乙酸乙酯、辛酸乙酯、仲丁醇、乙酸、正丙醇、丙酸等。

## 2.3 1~7轮次酱香型基酒感官品评结果

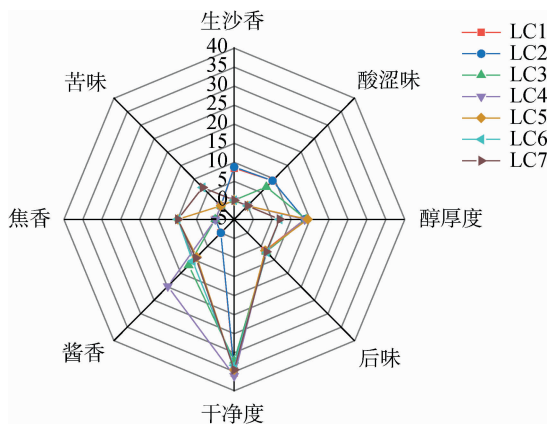


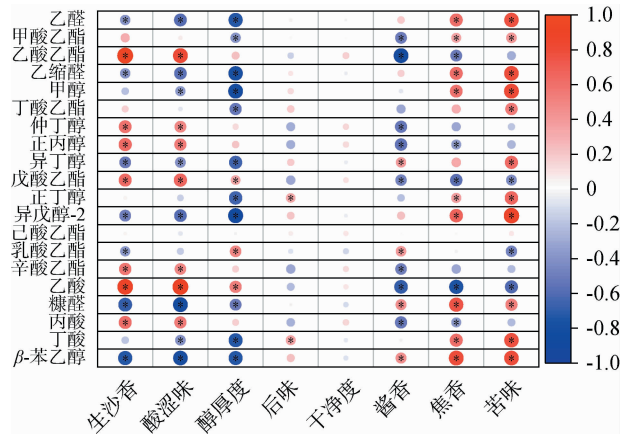
图3 1~7轮次酱香型基酒感官品评结果

Fig. 3 Sensory evaluation results of the sauce-flavor base liquor of the 1st to the 7th rounds

由图3可知,不同轮次基酒风格之间差异较大。1、2轮

次由于两次投粮刚结束,基酒风格上突出酿酒原料高粱的香味即生沙香。高粱淀粉含量和乳酸菌占比较高使得发酵初期时,白酒中酸涩味明显。随着轮次的进行,生沙香逐渐消失,转而替代的是3轮次出现的酱香为主。3、4、5轮次高粱糊化适中,淀粉含量保持在适中的水平以及温度适宜微生物的发酵,因此在大回酒阶段酱香、醇厚度、干净度以及后味方面评分较高。6、7轮次原料经过多次蒸煮,曲料的多次添加,使得酒体中焦香和苦味明显增加。

## 2.4 酱香型基酒骨架成分和感官属性间相关性分析结果



“\*”表示相关性显著( $P<0.05$ )。

图4 1~7轮次酱香型基酒骨架成分和感官属性间的相关性分析结果  
Fig. 4 Correlation analysis results between skeleton components and sensory attributes of the sauce-flavor base liquor of the 1st to the 7th rounds

由图4可知,生沙香与乙酸乙酯、仲丁醇、正丙醇、戊酸乙酯、辛酸乙酯、乙酸、丙酸呈显著正相关( $P<0.05$ ),与乙醛、乙缩醛、异丁醇、异戊醇-2、乳酸乙酯、糠醛、 $\beta$ -苯乙醇呈显著负相关( $P<0.05$ );酸涩味与乙酸乙酯、仲丁醇、正丙醇、戊酸乙酯、辛酸乙酯、乙酸、丙酸呈显著正相关

( $P<0.05$ ),与乙醛、乙缩醛、甲醇、异丁醇、异戊醇-2、糠醛、丁酸、 $\beta$ -苯乙醇呈显著负相关( $P<0.05$ );醇厚度与戊酸乙酯、乳酸乙酯、乙酸呈显著正相关( $P<0.05$ ),与乙醛、甲酸乙酯、乙缩醛、甲醇、丁酸乙酯、异丁醇、正丁醇、异戊醇-2、糠醛、丁酸、 $\beta$ -苯乙醇呈显著负相关( $P<0.05$ );后味与正丁醇、丁酸呈显著正相关( $P<0.05$ ),与其他物质相关性不显著( $P>0.05$ );干净度与风味物质之间的相关性不显著( $P>0.05$ );酱香则主要与异丁醇、乳酸乙酯、糠醛、 $\beta$ -苯乙醇呈显著正相关( $P<0.05$ ),与甲酸乙酯、乙酸乙酯、仲丁醇、正丙醇、戊酸乙酯、辛酸乙酯、乙酸、丙酸及己酸呈显著负相关( $P<0.05$ );焦香与乙醛、甲酸乙酯、乙缩醛、甲醇、正丁醇、异戊醇-2、糠醛、丁酸、 $\beta$ -苯乙醇呈显著正相关( $P<0.05$ ),与乙酸乙酯、正丙醇、戊酸乙酯、乙酸、丙酸呈显著负相关( $P<0.05$ );苦味与乙醛、甲酸乙酯、乙缩醛、甲醇、丁酸乙酯、异丁醇、正丁醇、异戊醇-2、糠醛、丁酸、 $\beta$ -苯乙醇呈显著正相关( $P<0.05$ ),与戊酸乙酯、乳酸乙酯、乙酸呈显著负相关( $P<0.05$ )。结果表明,不同风味物质与香气、口感之间具有一定的相关性。

### 3 结论

以仁怀市名酒工业园区内1~7轮次酱香型基酒为研究对象,通过测定理化指标发现,随着轮次的增加,基酒中酒精度和总酸含量整体呈现下降趋势,总酯含量呈先升高后下降趋势。通过测定挥发性风味成分分析发现,不同轮次基酒骨架成分中乙醛、糠醛、丁酸乙酯等8种物质的气味活性值(OAV) $>10$ ,对香气特征具有重要作用。通过OPLS-DA发现,2~5轮次基酒骨架成分相似,6、7轮次基酒骨架成分相似,但均与1轮次基酒骨架成分差别较大。基于VIP值 $>1$ 从中筛选得到异丁醇、乙酸乙酯、辛酸乙酯等14种差异香气物质。通过感官品评,结果表明,1和2轮次基酒风格上突出生沙香;3~5轮次酒体突出酱香、醇厚度、干净度以及后味;6、7轮次酒体中焦香和苦味明显增加。通过相关性分析发现,基酒骨架成分与其感官属性间存在一定的相关性。

### 参考文献:

- [1] HAO F, TAN Y W, LV X B. Microbial community succession and its environment driving factors during initial fermentation of Maotai-flavor *Baijiu* [J]. *Front Microbiol*, 2021, 12: 6692001.
- [2] HUANG H, WU Y, CHEN H, et al. Identification of regional markers based on the flavor molecular matrix analysis of sauce-aroma style *Baijiu* [J]. *J Sci Food Agric*, 2023, 103(15): 7434-7444.
- [3] YANG L, XIAN C, LI P. The spatio-temporal diversity and succession of microbial community and its environment driving factors during stacking fermentation of Maotai-flavor *Baijiu* [J]. *Food Res Int*, 2023, 169: 112892.
- [4] YANG L, CHEN R Y, LIU C, et al. Spatiotemporal accumulation differences of volatile compounds and bacteria metabolizing pickle like odor compounds during stacking fermentation of Maotai-flavor *Baijiu* [J]. *Food Chem*, 2023, 426: 136668.
- [5] 王学娇, 张河云, 王旭, 等. 天津酱香白酒不同轮次酒风味解析 [J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(13): 141-152.
- [6] 蒙德俊, 张娇娇, 郭炳豪, 等. 酱香型白酒轮次基酒酸类风味物质与酒酯微生物的相关性分析 [J]. 食品科技, 2022, 47(10): 77-83.
- [7] 郭松波, 谢三款, 张娇娇, 等. 茅台地区酱香大回酒轮次发酵机理分析 [J]. 中国酿造, 2022, 41(7): 38-44.
- [8] 尹艳艳, 杨军林, 蒋力力, 等. 酱香轮次酒酿造过程氨基甲酸乙酯影响因素分析 [J]. 食品科技, 2022, 47(5): 149-153.
- [9] 王荣钰, 赵金松, 苏占元, 等. 酱香型白酒关键酱香风味物质研究现状 [J]. 酿酒科技, 2020(6): 81-86.
- [10] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 10345—2022 白酒分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [11] WELKE J E, HERNANDES K C, NICOLLI K P. Role of gas chromatography and olfactometry to understand the wine aroma: Achievements denoted by multidimensional analysis [J]. *J Sep Sci*, 2021, 44(1): 135-168.
- [12] 杨官荣. G·R白酒品鉴[M]. 北京: 旅游教育出版社, 2018: 55-62.
- [13] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 26760—2011 酱香型白酒[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [14] DONG W, ZENG Y, CUI Y. Retraction notice to unraveling the composition and succession of microbial community and its relationship to flavor substances during Xin-flavor *Baijiu* brewing [J]. *Int J Food Microbiol*, 2022, 372: 109679.
- [15] 刘峰, 古惠, 吴卫宇, 等. 不同贮存年份基酒质量变化规律研究 [J]. 食品安全导刊, 2017(9): 138-139.
- [16] 王庆宇, 周平, 王贵军, 等. 不同品种糯高粱酿造酱香型白酒对比研究 [J]. 中国酿造, 2023, 42(8): 65-70.
- [17] 张春林, 何菲, 李喆, 等. 基于主成分分析和层次聚类分析的酱香型白酒基酒分类研究 [J]. 中国酿造, 2022, 41(8): 105-109.
- [18] 王庆宇, 周平, 王贵军, 等. 不同品种糯高粱酿造酱香型白酒对比研究 [J]. 中国酿造, 2023, 42(8): 65-70.
- [19] 何艳艳, 刘俊男, 李瑞杰, 等. 酱香型白酒风味及其关键物质分析技术研究进展 [J]. 中国酿造, 2024, 43(11): 1-7.
- [20] 王邦坤, 张维山, 田枝子, 等. 提高北方大曲酱香酒一轮次酒质量的工艺研究 [J]. 酿酒, 2021, 48(6): 49-52.
- [21] 胡春红, 李新涛, 肖冬光, 等. 尾酒回锅对酱香型白酒产量和质量的影响 [J]. 食品与发酵工业, 2025, 51(10): 216-223.
- [22] WANG M Y, YANG J G, ZHAO Q S, et al. Research progress on flavor compounds and microorganisms of Maotai flavor *Baijiu* [J]. *J Food Sci*, 2019, 84(1): 6-18.
- [23] WANG L, FAN F, YAN Y. 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]. *J Agr Food Chem*, 2020, 68(6): 1666-1667.
- [24] 赵金松. 白酒品评与勾调[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2019: 25-27.
- [25] SONG Z W, DU H, ZHANG Y, et al. Unraveling core functional microbiota in traditional solid-state fermentation by high-throughput amplicons and metatranscriptomics sequencing [J]. *Front Microbiol*, 2017, 8(8): 1294.
- [26] SONG X, ZHU L, WANG X. 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 Chem*, 2019, 297: 124959.
- [27] 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.
- [28] 里奥·范海默特. 化合物香味阈值汇编[M]. 北京: 科学出版社, 2015: 277-320.
- [29] 季克良, 郭坤亮. 剖读茅台酒的微量成分 [J]. 酿酒科技, 2006(10): 98-100.
- [30] WANG L, ZHU L, ZHENG F. Determination and comparison of flavor (retronasal) threshold values of 19 flavor compounds in *Baijiu* [J]. *J Food Sci*, 2021, 86(5): 2061-2074.
- [31] 范宸铭, 惠明, 田青, 等. 酱香型原酒贮存期金属元素含量变化及其对风味化合物的影响 [J]. 食品科学, 2024, 45(1): 158-165.