

不同品饮温度下虔酒香气组成及感官特征差异研究

李晨¹,王显焕²,张治刚²,张晓娟¹,王成新²,王龙²,许正宏^{1*}

(1.江南大学 粮食发酵与食品生物制造国家工程研究中心,江苏 无锡 214122;2.赣州虔酒酒业有限公司,江西 龙南 341700)

摘要:该研究采用顶空-气相色谱-质谱联用(HS-GC-MS)法解析赣州虔酒在不同品饮温度下的挥发性风味物质组成,通过电子舌采集味觉指标,并结合感官品评分析不同温度下酒体表现。结果表明,温度在20~25℃时,各类挥发性化合物较协调;电子舌检测结果显示,温度在18℃时,甜度显著更高,苦、涩等指标都较弱,整体味觉指标轮廓最佳。结合感官评分结果,综合认为赣州虔酒在18~20℃时,酒体风味均衡,酱酒风格突出,品饮最佳。该结果对其他酱香型白酒在不同品饮温度下风味物质挥发特点及品饮感官特征的研究具有借鉴意义,为酱酒新型饮用方法提供参考依据。

关键词:酱香型白酒;品饮温度;顶空-气相色谱-质谱联用;电子舌;挥发性风味物质;感官特征

中图分类号:TS262.3

文章编号:0254-5071(2024)01-0077-07

doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2024.01.012

引文格式:李晨,王显焕,张治刚,等.不同品饮温度下虔酒香气组成及感官特征差异研究[J].中国酿造,2024,43(1):77-83.

Difference of aroma composition and sensory characteristics of *Qianjiu* at different drinking temperatureLI Chen¹, WANG Xianhuan², ZHANG Zhigang², ZHANG Xiaojuan¹, WANG Chengxin², WANG Long², XU Zhenghong^{1*}

(1.National Engineering Research Center for Cereal Fermentation and Food Biomanufacturing, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

2.Ganzhou Qianjiu Baijiu Group Co., Ltd., Longnan 341700, China)

Abstract: In this study, the compositions of volatile flavor substances of Jiangxi *Qianjiu* at different drinking temperature were analyzed by headspace-gas chromatography-mass spectrometry (HS-GC-MS). The taste indexes were collected by electronic tongue, and the performance of the liquor body was analyzed by sensory evaluation. The results showed that the various flavor compounds were coordinated at 20-25℃. The electronic tongue analysis results showed that when drinking temperature was 18℃, sweetness was significantly higher, bitter, astringent and other indicators were weaker, and the overall taste index contour was the optimal. Combined with the results of sensory evaluation, it was concluded that the liquor body is harmonious, the flavor was balanced, the characteristic aroma of sauce-flavor (Jiangxiangxing) *Baijiu* was prominent, and the optimal tasting temperature was 18-20℃. The results provided basic information for the study of the volatilization characteristics of flavor substances and sensory characteristics of other sauce-flavor *Baijiu* at different drinking temperature, and provided a basis for a new drinking method of sauce-flavor *Baijiu*.

Key words: sauce-flavor *Baijiu*; drinking temperature; headspace-gas chromatography-mass spectrometry; electronic tongue; volatile flavor substances; sensory characteristics

白酒是一种中国传统蒸馏酒精饮料,与白兰地、杜松子酒、朗姆酒、伏特加和威士忌并称为世界六大蒸馏酒^[1],大多数商品白酒的酒精度在38%vol~55%vol之间^[2]。酱香型白酒是中国白酒的十二大香型之一,更是四大基本香型之一^[3],其生产过程复杂^[4-5],由不同轮次和特征的基酒勾调出的成品酒具有酱香突出、酒体醇厚、香气幽雅、空杯留香的特点^[6]。酱香型白酒的主要产区位于贵州省、四川省的赤水河沿岸,以遵义市茅台镇产地最为著名^[5]。江西赣州的虔酒具有酱香突出,陈香飘逸,芝兰香自然,酒体丰满,甘美舒雅,回味悠长,空杯留香持久的风格,是具备典型酱酒风格特点的产品。各个地区和产地的酱香型白酒的风味特征存在一定差异,而酱酒饮用的温度也由于不同地区、不同季节,以及特殊的饮用习惯等而存在差异,而品饮温度对酱酒品饮体验影响显著,但具体的影响方式仍然不够明确。

研究表明,品饮温度是影响酒精饮料风味特征的重要

因素之一。ROSS C F等^[10]研究发现,白葡萄酒和红葡萄酒的香气属性均会受到饮用温度的影响;CLIFF M A等^[11]的研究表明,红葡萄酒中乙酸乙酯和4-基苯酚的感官强度随着温度的上升逐渐增强。JACKSORS R S^[12]建议白葡萄酒的最适饮用温度为8~12℃,红葡萄酒的最适饮用温度18~22℃。DORDOR R等^[13]研究了改变啤酒饮用温度对饮用者情绪反应、喜好度和熟悉度的影响。王栋等^[14]研究发现,较高的饮用温度(45℃)略微增加了消费者对黄酒的偏好评分,温度升高可能有利于黄酒香气的散发。王炎等^[15]探究了年轻消费者的黄酒饮用温度偏好情况,偏好性分析的结果显示大多数的年轻消费者更偏向于饮用低温黄酒。目前,对于酒精饮料品饮温度的研究在葡萄酒、黄酒、啤酒等领域已有报道,但在白酒领域的相关研究较少,而白酒在风味物质组成,酒精度方面都与上述酒类存在显著差异,因而,上述品饮温度的影响研究结论不能直接平移到白酒系统,

收稿日期:2023-05-30

修回日期:2023-10-19

作者简介:李晨(2001-),女,硕士研究生,研究方向为白酒风味物质。

*通讯作者:许正宏(1971-),男,教授,博士,研究方向为传统酿造食品微生物及风味物质。

且上述大多数研究仅从感官强度变化的角度讨论品饮温度对酒精饮料风味的影响,但对于品饮温度变化过程中挥发性化合物的变化及其规律的研究较为匮乏。

目前,仪器分析越来越多的应用于白酒等风味食品的分析检测^[16]。由于温度主要会影响挥发性物质在顶空中的浓度及相对比例^[17-18],顶空取样技术或者能与顶空技术联用的固相微萃取技术更适用于对于白酒品饮温度的研究。研究显示^[19-21],吸附萃取温度是显著影响萃取头吸附性能的因素之一,当在不同温度下进行吸附时无法解释物质的顶空含量差异来源是顶空中挥发性物质浓度变化还是萃取头吸附性能变化,因此顶空取样技术是目前此类研究中比较可行的前处理技术。电子舌技术通过检测各种味物质和人工脂膜之间的静电作用或疏水性相互作用产生的膜电势的变化,实现对味觉的评价^[22]。电子舌检测时直接捕捉的是溶液中物质浓度的变化,具有更高的灵敏性和客观性^[23-24]。

白酒在不同温度下进行品饮会因风味物质在不同温度条件下挥发性差异、复杂体系的气相分压以及味觉感知敏感度的差异而造成感官特性的明显区别。为了明确赣州虔酒的最适品饮温度,本研究在不同品饮温度下采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用(headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)技术、电子舌对虔酒挥发性风味物质和味觉指标的检测分析,并结合感官品评,总结不同品饮温度下酱香型白酒的感官表现,从而确定虔酒最佳品饮温度,旨在对酱香型白酒不同品饮温度的挥发性风味物质组成以及白酒最佳品饮温度选择提供数据参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

虔酒庄园·开元酒样(酒精度53%vol):赣州虔酒酒业有限公司。

无水乙醇(色谱纯):国药集团化学试剂有限公司;异丁醇、异戊醇、2-甲基丁醛、异戊醛、壬醛、2-壬酮、乙酸乙酯、丙酸乙酯、异丁酸乙酯、丁酸乙酯、2-甲基丁酸乙酯、异戊酸乙酯、乙酸异戊酯、戊酸乙酯、丁酸丁酯、己酸乙酯、丁酸异戊酯、己酸丙酯、庚酸乙酯、丁酸己酯、辛酸乙酯、乳酸乙酯、乙酸、糠醛、苯甲醛、壬酸乙酯、DL-白氨酸乙酯、甲酸辛酯、丁酸、苯乙酮、苯甲酸乙酯、异戊酸、丁二酸二乙酯、苯乙酸乙酯、2-十三烷酮、己酸、3-苯丙酸乙酯、肉豆蔻酸乙酯、2-十五烷酮、棕榈酸乙酯、叔戊醇、乙酸戊酯、2-甲基己酸等标准品(纯度均>98%):上海阿拉丁生化科技股份有限公司;氯化钠(分析纯):中国国药集团(上海)化学试剂公司。

1.2 仪器与设备

GC 7890B-MSD 5977B 气相色谱-质谱联用仪、SPME手柄、SPME萃取纤维头(DVB/CAR/PDMS)、手动进样针(带推拉式阀,PTFE头推杆):美国Agilent公司;A402B电子舌:日本INSENT公司。

1.3 方法

1.3.1 酒样挥发性风味化合物的检测

挥发性风味物质采用HS-SPME-GC-MS法及HS-GC-MS法测定。

(1)样品中挥发性风味物质HS-SPME-GC-MS法测定
1 mL样品置于20 mL顶空瓶中,加入5 mL饱和氯化钠和10 μ L内标(叔戊醇8.05 g/L,乙酸戊酯10.38 g/L,2-甲基己酸14.0 g/L)加盖密封,采用SPME纤维头(DVB/CAR/PDMS)从样品顶部空间提取挥发性化合物。样品在60 $^{\circ}$ C下预平衡5 min,然后60 $^{\circ}$ C下提取40 min。随后,吸附平衡后的萃取头于气相色谱-质谱联用仪进样口以分流模式280 $^{\circ}$ C解吸15 min。所有样本重复3次。GC条件:采用DB-WAX毛细管色谱柱(30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.5 μ m);载气为高纯氦气(He);流速1 mL/min,分流比5:1;进样口温度250 $^{\circ}$ C,气质接口温度280 $^{\circ}$ C;升温程序为初始50 $^{\circ}$ C,维持2 min,以3 $^{\circ}$ C/min升温至145 $^{\circ}$ C,以15 $^{\circ}$ C/min升温至235 $^{\circ}$ C,并保持8 min。MS条件:电子电离(electronic ionization, EI)源,离子源温度230 $^{\circ}$ C;电子能量70 eV,采集模式为全扫描,质量扫描范围33~350 m/z。

(2)样品中挥发性风味物质HS-GC-MS法测定

取1 mL样品置于20 mL顶空瓶中,加入10 μ L内标(叔戊醇质量浓度8.05 g/L)加盖密封,将常温样品分别控温至15~40 $^{\circ}$ C。所有样本重复3次。GC条件:采用DB-WAX毛细管色谱柱(30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.5 μ m);载气为高纯氦气(He);流速1 mL/min,分流比4:1;进样口温度保持在250 $^{\circ}$ C;升温程序:起始在35 $^{\circ}$ C下维持0.5 min,以5 $^{\circ}$ C/min升温至50 $^{\circ}$ C,并维持2 min,以2.8 $^{\circ}$ C/min升温至105 $^{\circ}$ C,以2.6 $^{\circ}$ C/min升温至140 $^{\circ}$ C,再以8 $^{\circ}$ C/min升温至215 $^{\circ}$ C,并保持10 min。MS条件:离子源温度230 $^{\circ}$ C;接口温度30 $^{\circ}$ C;电离方式为EI源;电子能量70 eV;扫描质量范围33~350 m/z。

(3)化合物定性定量方法

定性方法:将采集的数据进行自动积分分解卷积并和美国国家标准技术研究所(national institute of standards and technology, NIST)质谱库进行比对,筛选相似度>70%的物质,并根据公式计算相应化合物的保留指数(retention index, RI)。将本实验条件下对化合物计算出的RI与文献中该物质的RI进行比较分析,最后用标准品进行验证。

定量方法^[25]:采用内标对挥发性成分进行半定量,目标化合物的峰面积与内标峰面积之比与内标物质质量浓度的乘积即为目标化合物的相对含量。

1.3.2 酒样味觉指标的检测

(1)酒样预处理

量取每种酒样30 mL,加蒸馏水稀释至120 mL,均匀混合,将稀释后的白酒密封储存在玻璃容器中,将常温样品分别置于不锈钢冰桶中冰镇或使用水浴锅加热至12 $^{\circ}$ C、20 $^{\circ}$ C、28 $^{\circ}$ C,并分别放置于保温箱中待用。

(2)电子舌分析

在进行样品检测之前需对参比电极和传感器活化24 h。准确移取稀释后40 mL酒样于相应的小量杯中,先将传感器在正负清洗液中清洗90 s,去除上面的其他吸附物;然后在参比溶液中洗涤120 s至平衡,获得参比溶液电位。最后将传感器浸泡于每个样品之中30 s获得样品的电势。每个样品重复3次。

1.3.3 酒样感官品评

在品评前,将度酒常温酒样分别置于不锈钢冰桶中冰镇或热水隔容器加热,使样品品饮温度分别控制在15~40℃(5℃为一个间隔,共6组),后取每份酒样15 mL置于专业的白酒品评杯中,待用。感官品评按照国标GB/T 33404—2016《白酒感官品评导则》执行。感官品评人员均来自江南大学粮食发酵工艺与技术国家工程实验室,2男6女,年龄在20~45岁之间,共计8人。品评人员均受过良好培训,感官品评均在室温安静的环境中进行。对于不同品饮温度的酒样采用九点标度法^[26]进行感官评价,其标度释义见表1。感官审评术语应符合国标GB/T 33405—2016《白酒感官品评术语》要求,具体评价标准见表2。

表1 九点标度法感官评价对应释义

Table 1 Corresponding semantics of nine points scaling method for sensory evaluation

标度	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
语义	无	弱、短(稍、微)		弱、短(稍、微)				强、长(明显、典型)		

表2 酱香型白酒感官评价描述词及定义

Table 2 Descriptions and definitions of sensory evaluation of sauce-flavor Baijiu

描述词	定义
香气	花香
	白酒入口时感受的发酵香
	果香
	白酒入口时感受的发酵香
	青草香
	白酒入口时感受的发酵香
	甜香
口感	酸香
	白酒入口时感受的发酵香
	焦香
	白酒入口时感受的发酵香
	酱香
	白酒入口时感受的发酵香
	柔和度
	白酒入口时感受的柔顺程度
	丰满度
	白酒在口中各种感受的丰富程度
	协调度
	白酒在口中各种感受搭配的舒适程度
	爽净度
	白酒下咽时感受的润滑干净程度
	持久度
	白酒下咽后余味感受持续的时间长度

2 结果与分析

2.1 不同温度下度酒酒样中挥发性风味物质差异分析

为了避免各类萃取方法对气相中挥发性风味物质占比影响,最大程度模拟真实品饮状态下嗅闻到的物质的组成,在采用HS-SPME-GC-MS技术对酒样风味物质进行检测的基础上,再采用HS-GC-MS技术对6个不同温度梯度

下的度酒酒样中挥发性风味化合物分析。HS-GC-MS技术对酒样风味物质分析结果见图1。

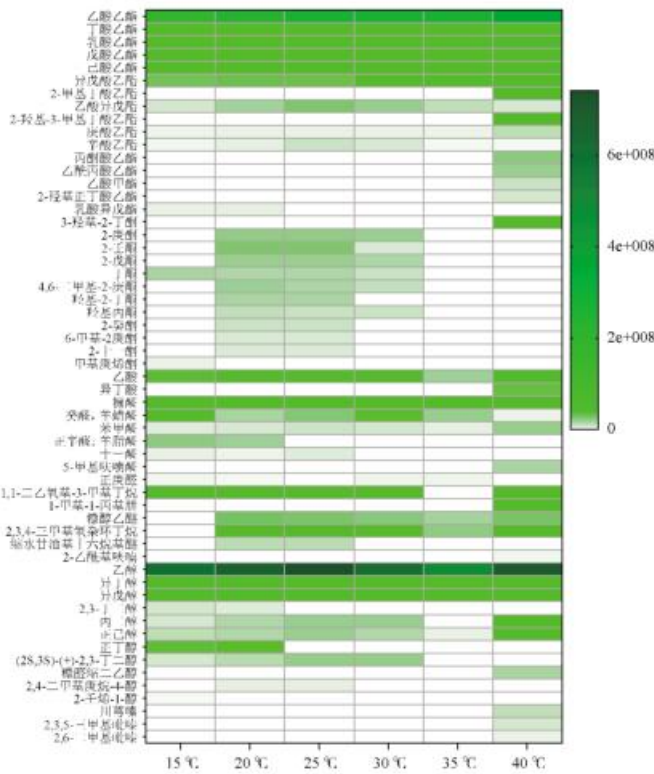


图1 不同温度条件下度酒酒样中挥发性风味物质HS-GC-MS分析热图

Fig. 1 Heatmap of volatile flavor substances in Qianjiu samples at different temperature by HS-GC-MS

由图1可知,在温度分别为15℃、20℃、25℃、30℃、35℃、40℃的酒样中,分别共检出挥发性风味物质33种、31种、41种、28种、24种、44种,包括醇类、酸类、酯类、醛类、酮类、吡嗪呋喃类。其中醇类、酯类、酮类物质在温度20℃时检测出的种类最多;仅在温度40℃时检测出吡嗪呋喃类。结果表明,在25℃及40℃检出的挥发性风味物质总数较多。

由图1亦可知,温度在40℃时,酒样被检测到更多的挥发性风味物质种类和含量,其中酯类物质、酸类物质、醇类物质、呋喃吡嗪类物质检出显著增加,符合高温促进挥发的常识;30~35℃时,醇类物质、酮类物质、醛类物质检出效果较差;在20~25℃时,酮类化合物检出效果最佳;在酒样骨架化合物的酯类组成中,乙酸乙酯的峰面积最大,乳酸乙酯次之,己酸乙酯最少。戊酸乙酯、乳酸乙酯、乙酸乙酯、随着温度的升高,峰面积有增多的趋势;乙酸异戊酯、丁酸乙酯、辛酸乙酯、己酸乙酯在温度25℃时峰面积最大;在醇类组成中,本酒样中异戊醇的峰面积最大,异丁醇次之,正己醇最小。在温度25℃时,异戊醇、异丁醇的峰面积最大;在醛类组成中,糠醛的峰面积最大,苯甲醛次之,壬醛最少。温度40℃时糠醛峰面积最大,其次是温度25℃;壬醛在温度15℃时峰面积最大,温度40℃峰面积最小。

不同温度下度酒酒样中各挥发性风味化合物HS-GC-MS分析的峰面积(A)及占比(B)见图2。

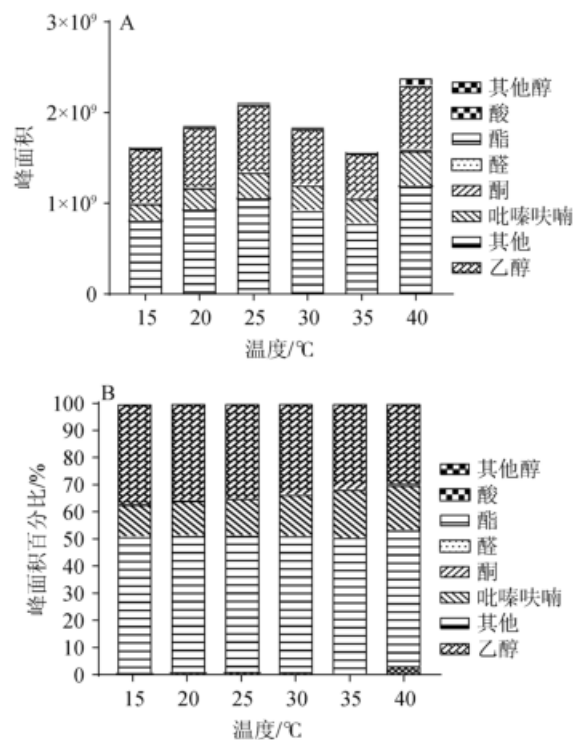


图2 不同温度下度酒酒样中HS-GC-MS分析各类挥发性风味化合物峰面积(A)及占比(B)
Fig. 2 Analysis of peak area (A) and proportion (B) of various volatile flavor compounds in *Qianjiu* samples at different temperature by HS-GC-MS

由图2可知,HS-GC-MS检测挥发性风味物质中以乙醇、酯类为主,其次其他醇类及醛类,吡嗪呋喃类、酸类等峰面积占比较低。在15~25℃时,各类风味物质的总挥发量呈现上升的趋势,25~35℃呈现下降趋势,40℃时检测到的峰面积总量最高。随着温度上升,各类物质占整体

挥发量的比例不同。乙醇作为HS-GC-MS检出的峰面积占比较大的物质,峰面积随着温度上升而增加,而峰面积占比随着温度升高而减低;酯类峰面积占比呈现出随着温度缓慢上升的趋势,在25℃时,峰面积存在一个小高峰;其他醇(异戊醇、异丁醇等)峰面积在15~35℃的阶段缓慢增长,在40℃时峰面积最大;酮类在20~25℃时挥发量最大,在20℃占比最大;呋喃吡嗪类、醛类、酸类的变化不明显。随着温度升高,一些挥发性风味物质占比呈下降的趋势;在40℃时,各类挥发性风味物质含量最高,高温促使各类挥发性物质在封闭容器内产生更强烈的分子间相互作用,对HS-GC-MS检测物质比例具有较大的影响;而在20~25℃时,部分挥发性物质的蒸发量较少,可能导致饱和蒸气压低的挥发性物质比例较高,如丁酸乙酯、乙酸异戊酯、2-庚酮、2-壬酮等在HS-GC-MS检测检测中的峰面积都在20~25℃较高,可能会为此温度下的酒样带来更多类似水果、奶油、花香的感受。

挥发性物质总峰面积值仅为该温度下样品在封闭样品瓶中挥发性物质顶空释放量的检测结果,并不能代表样品中该物质的含量真实检测结果。不同温度下度酒样品挥发性风味物质含量HS-GC-MS检测结果见表3。由表3可知,与峰面积变化情况相似,在低于25℃时大多数的化合物增长比例较小;在40℃情况下大多数挥发性化合物释放量达到最大值。增幅较大的化合物有庚酸乙酯、乙酸、癸醛、苯甲醛、糠醛、正己醇(>4.0倍)等,苯甲醛、糠醛具有杏仁、坚果香气,庚酸乙酯具有果香,正己醇具有一些刺激性气味;这些香气可能为高温下的样品带来更丰富的水果香、烘焙香以及明显的刺激感;具有缓慢增幅的物质有乙酸乙酯、异戊酸乙酯、戊酸乙酯、己酸乙酯(1.0~3.0倍)等,主要为一些具有水果、花香气的物质,在温度升高时这些物质具有一定增幅且为白酒中的关键香气,说明酒体的香气丰富度会随温度升高而增加。

表3 不同温度度酒样品中主要挥发性风味成分含量HS-GC-MS检测结果
Table 3 Determination results of major volatile components contents in *Qianjiu* samples at different temperature by HS-GC-MS

种类	化合物	CAS号	平均含量/ (mg·L ⁻¹)	标准化峰面积值					
				15℃	20℃	25℃	30℃	35℃	40℃
酯	乙酸乙酯	141-78-6	1 312.18	0.00	0.27	0.52	0.48	0.48	1.00
	丁酸乙酯	105-54-4	31.33	0.00	0.33	1.00	0.68	0.44	0.13
	异戊酸乙酯	108-64-5	22.08	0.00	0.03	0.03	0.27	1.00	0.20
	乙酸异戊酯	123-92-2	0.86	0.03	0.52	1.00	0.67	0.23	0.00
	戊酸乙酯	539-82-2	48.01	0.00	0.38	0.64	0.32	0.21	1.00
	己酸乙酯	123-66-0	16.26	0.07	0.44	1.00	0.44	0.00	0.80
	庚酸乙酯	106-30-9	36.66	0.00	0.05	0.08	0.08	0.02	1.00
	乳酸乙酯	97-64-3	931.02	0.02	0.05	0.10	0.04	0.00	1.00
	辛酸乙酯	106-32-1	1.16	0.10	0.35	1.00	0.67	0.04	0.00
	丁酮	78-93-3	0.38	1.00	0.93	0.93	0.60	N.D	N.D
酮	2-庚酮	110-43-0	0.51	0.00	1.00	1.00	0.92	N.D	N.D
	2-壬酮	821-55-6	1.48	0.00	1.00	1.00	0.22	N.D	N.D

续表									
种类	化合物	CAS号	平均含量/ (mg·L ⁻¹)	标准化峰面积值					
				15℃	20℃	25℃	30℃	35℃	40℃
酸	2-癸酮	693-54-9	0.12	0.00	1.00	1.00	0.00	N.D	N.D
	2-戊酮	107-87-9	1.88	0.00	1.00	1.00	0.75	N.D	N.D
	2-十一酮	112-12-9	1.68	0.00	1.00	1.00	N.D	N.D	N.D
	乙酸	64-19-7	2 472.09	0.02	0.04	0.07	0.04	0.00	1.00
	壬醛	124-19-6	1.39	1.00	0.50	0.04	0.10	0.18	0.00
醛	糠醛	98-01-1	179.10	0.07	0.12	0.21	0.15	0.00	1.00
	癸醛	112-31-2	5.23	1.00	0.26	0.45	0.73	0.34	0.00
	苯甲醛	100-52-7	7.42	0.07	0.15	0.25	0.18	0.00	1.00
	十一醛	112-44-7	2.77	0.68	0.52	1.00	0.00	N.D	N.D
	乙醇	115-10-6	0.00	0.44	0.69	1.00	0.51	0.00	0.84
醇	异丁醇	78-83-1	75.33	0.39	0.68	1.00	0.72	0.00	0.66
	正丁醇	71-36-3	1.78	0.93	1.00	0.00	N.D	N.D	N.D
	异戊醇	123-51-3	211.08	0.44	0.62	1.00	0.64	0.00	0.67
	正己醇	111-27-3	175.57	0.12	0.17	0.26	0.17	0.00	1.00
	呋喃	2-乙酰基呋喃	1192-62-7	0.18	N.D	N.D	N.D	N.D	1.00
吡嗪	2,6-二甲基吡嗪	108-50-9	0.08	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	1.00
	2,3,5-三甲基吡嗪	14667-55-1	0.27	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	1.00
	川芎嗪	1124-11-4	0.68	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	1.00

注:各温度下峰面积值为采用MAX-MIN标准化方法标准化后的峰面积数值;“N.D”表示未检出。

此外,个别挥发性物质(2-庚酮、2-壬酮等)存在随着温度升高顶空挥发比例未出现明显增加或下降的趋势,这可能与白酒复杂的挥发性物质体系以及分子间相互作用有关。以乙醇和水混合物为例,这两个物质形成理想溶液且气相部分为理想气体的情况下,两个物质的相对挥发度与混合液的组成和温度无关,可视为常数。分子之间的互作关系对各物质的挥发度以及气相中的物质比例具有显著影响。并且这种影响也随温度升高而增加。白酒体系的复杂性,可以解释随温度升高,被检测到的风味物质含量并未呈现单调性变化趋势的现象。温度升高可能增加分子间相互作用的激烈程度,对个别物质顶空挥发的释放具有一定的抑制作用^[15]。

综上,随着温度提高,整体挥发性风味物质呈现增加趋势,但是各物质的变化并不呈现单调性增加。不同物质受温度影响程度纯在差异,导致各个温度下的风味特征各异:低温情况下(15℃)具有焦糊、坚果、刺激性气味的醛类(糠醛、苯甲醛等)和呋喃吡嗪类(2-乙酰基呋喃、2,3,5-三甲基吡嗪等)释放量低,使得低温情况下坚果香以及白酒特有的醇香缺失,整体呈现酒体丰富度及协调度差,酒体水果、甜感突出;20~25℃时,具有花果香气的酯类物质释放量较低温有增幅,同时酮类物质释放量较高温下未出现明显降低幅度,醇类物质释放量有一定增加,酒体呈现协调且花果香、醇香较为突出;高温情况下(35~40℃)吡嗪呋喃类、酸类(乙酸等)、醛类(糠醛、苯甲醛等)释放量达到最大值,虽然伴随着酯类(异戊酸乙酯、庚酸乙酯等)有一定释放量的增加,但酮类(2-庚酮、2-十一酮等)检出较

差,说明高温情况下香气丰富度增加,各香气化合物呈香明显,酒体酸香、焦糊香、刺激性气味感受增加,可能降低此温度下样品的柔和度感受。

高温促进了风味物质的挥发,与此同时,较刺激的杂醇类化合物的挥发性也得到了提高。酒精饮料中的杂醇类化合物主要包括正丙醇、正丁醇、异丁醇、正戊醇、异戊醇等,在白酒中是醇香的重要呈味物质。当这些高级醇类的含量和种类与白酒中的酸、酯达到一定的配比关系时^[27],会呈现白酒的复合香,增加酒的醇厚感,并使酒体丰满有后劲,赋予白酒独特的风味^[28];当白酒中的杂醇含量及构成不协调时会使酒体单调、辛辣,且会引起酒后不良反应。

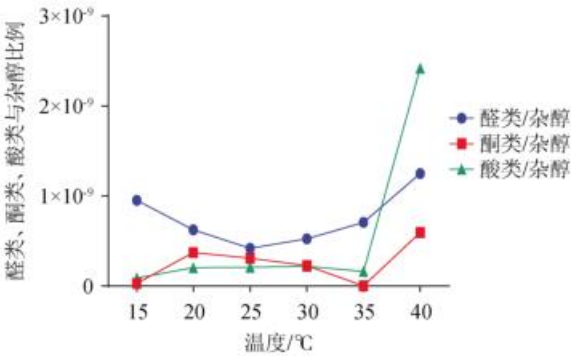


图3 不同温度下度酒酒样中各类挥发性风味化合物与杂醇峰面积比例
Fig. 3 Peak area ratio of various volatile flavor compounds and fusel in Qianjiu samples at different temperature

由图3可知,醛类与杂醇峰面积比例在25~30℃较低,醛类在此温度区间内相对杂醇挥发量较低;酮类与杂醇峰

面积比例在30℃最低,而40℃时出现较大的增幅;酸类与杂醇峰面积比例在15~35℃的区间没有明显增幅,而在40℃时出现了高峰。

综合来看,在20~30℃区间,醛类、酮类、酸类物质与杂醇比例较为均衡,酮类与杂醇比例在温度20℃达到一个小高峰,而酮类与杂醇的比例较高,可能为酒体带来更少的刺激性以及更多酮类化合物的青香、奶油香气^[29];在温度35℃时,醛类/杂醇比例最高,酮类/杂醇比例最低,此温度可能由于酮类受温度影响蒸发量较低,酒体协调性可能变差,醛类带来的烘焙、焦糊香气增加,而酮类带来的青香以及酸类的酸香可能被杂醇的辛辣味掩盖;在40℃时,由于高温促进挥发性物质释放量出现大幅度增加,醛类、酮类、酸类物质与杂醇的峰面积比例出现明显增高,风味物质挥发性强,放香好,杂醇类化合物释放量增幅较醛类、酮类、酸类的释放量增幅小,杂醇类化合物为酒体带来的丰满、醇厚可能被大幅度掩盖,影响酒体的感官感受。

2.2 电子舌检测不同品饮温度下的味觉强度

检测了不同温度下酒样的酸、苦、涩、鲜、咸和甜味几个味觉指标,所有数据均经过参比溶液矫正。重复测定的误差平均值均<0.1,不同样品对测定影响的误差率均<50%,检测稳定性较好。不同温度下度酒酒样电子舌味觉强度分析雷达图见图4。

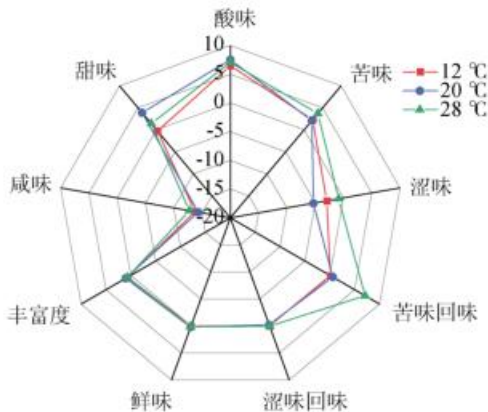


图4 不同温度下度酒酒样电子舌味觉强度分析雷达图

Fig. 4 Radar map of taste intensity analysis of *Qianjiu* samples at different temperature by electronic tongue

由图4可知,三种温度(12℃、20℃、28℃)下的酒样的味觉指标有着显著区别。其中,酸味、咸味、丰富度、鲜味指标在三个温度下相似。但是,温度较高(28℃)时,苦味和苦味的回味均显著更强;而温度较低(12℃)时,甜度、酸度都较低;温度在20℃时,甜度显著更高,苦、涩等指标都较弱。整体味觉指标轮廓最佳。较低的温度可能使酒体在味觉指标中呈现更高的甜味、更低的咸味、苦味回味、涩味,对丰富度、酸味、咸味、涩味回味没有显著的影响。

2.3 不同温度下度酒酒样的感官品评

组织了8人的感官品评小组对10~40℃的度酒酒样

进行香气(花香、果香、青草香等)以及口感(柔和度、丰满度等)进行评分,结果见表4,度酒不同品饮温度下香气、口感感官评价雷达图见图5。

表4 不同品饮温度度酒酒样感官品评结果

Table 4 Results of sensory evaluation of *Qianjiu* samples at different drinking temperature

项目 \ 酒样温度/℃		感官评分						
		10±1	15±1	20±1	25±1	30±1	35±1	40±1
香气	花香	5.8	7.2	6.8	5.0	4.0	5.8	4.0
	果香	5.8	7.2	6.8	3.2	4.0	5.4	4.0
	青草香	5.4	6.0	6.0	3.0	3.0	4.7	3.0
	甜香	6.8	6.8	6.2	4.8	4.0	5.7	5.6
	酸香	5.0	4.8	5.6	3.0	5.0	4.7	5.0
	焦香	4.8	5.8	6.8	5.0	4.0	5.3	5.0
	酱香	5.8	6.2	7.0	7.0	6.0	6.4	6.5
口感	柔和度	7.2	7.2	6.4	6.0	4.0	6.2	3.8
	丰满度	6.0	7.0	7.0	5.0	6.0	6.2	7.0
	协调度	7.0	7.4	7.0	5.8	7.0	6.8	8.0
	爽净度	7.8	7.4	6.6	5.0	7.0	6.8	5.0
	持久度	6.6	6.4	6.8	6.0	5.0	6.2	5.0

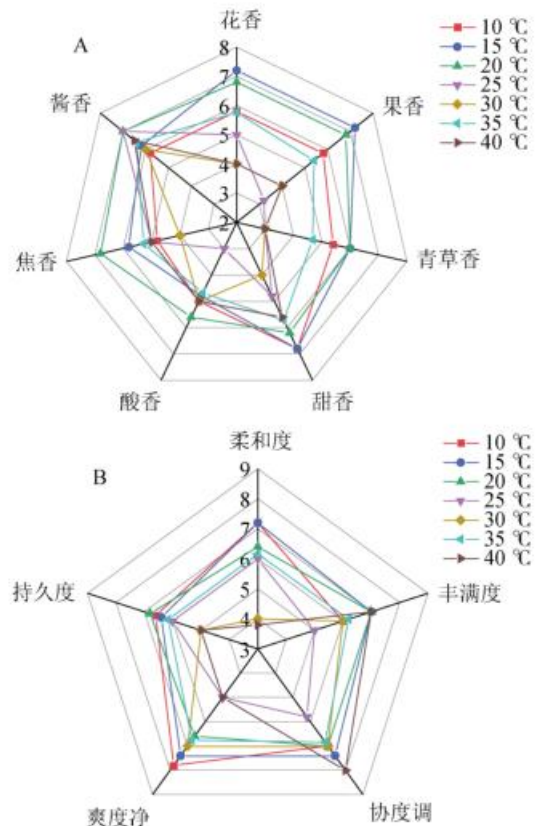


图5 度酒酒样不同品饮温度下香气(A)和口感(B)分析雷达图

Fig. 5 Radar map of aroma [A] and taste [B] analysis of *Qianjiu* samples at different drinking temperature

由表4可知,15℃的整体品评感官评分最高,20℃次之。其中,15℃的花香、果香、甜香风味突出,青草香与20℃相似,焦香略低于20℃;20℃时酱香、焦香、酸香风味突

出。40℃时,花香、果香评分最低,酱香、酸香、甜香与其他温度基本相似。爽净度和柔和度在10℃时评分最高,随着温度的升高感官评分降低;协调度在40℃感官评分最高,10℃次之;丰满度在15℃、20℃、40℃感官评分最佳,其他温度丰满度略差;20℃时,持久度最高。

由图5可知,40℃时酒体丰满、但酒体口感欠爽净、柔和度差;20℃时酒体较丰满,持久度、爽净度、柔和度高;15℃时酒体整体协调度、柔和度、丰满度较好。爽净度在10℃时最佳。需要指出的是,在品饮温度的实验中,酒在密闭容器中达到设定温度并平衡30 min以上,但在品尝和嗅闻环节,样品不可避免的被短暂置放于敞口的容器,高温情况下,风味物质的挥发性作用较强,但存在一定的挥发损失,因此,最终体现的柔和度协调性是在挥发损失的情况下表现出来的,如果缩短敞开时间,即刚倒出的酒,品饮刺激性应该会更大,协调性和柔和度会相应降低一些。

综合风味和口感的感官评分,认为15~20℃时品饮最佳。15℃酒体更加净爽、协调、花果甜香明显;20℃时,焦香、酱香、酸香的特征更加明显,酱香型白酒的典型风格更加突出;在30~40℃的温度区间内品饮,柔和度、丰满度、协调性、爽净度和持久性都有不同程度的下降。

3 结论

本研究比较了不同温度条件下,赣州虔酒的风味物质挥发情况、电子舌检测的味觉指标,以及感官特性。结果表明,虔酒在20℃的情况下,挥发出来的具有甜香、花果香的挥发性风味物质和酯类、酸类、醛类物质与杂醇的比例最佳,各挥发性风味物质比例更加协调。电子舌结果体现18℃下酒体的甜度最高,而苦涩感最低。感官评价的结果与上述仪器分析结果基本一致,在15~20℃时,整体感官评分最佳。20℃的酒体协调、丰满、持久、柔和,风味均衡,酱酒特征性的焦香、酱香、酸香突出;而温度略低于20℃时,酒体净爽,花果甜香更加突出;高于这一温度时,酒体丰满度、柔和度、持久度都有一定降低。

综上,赣州虔酒在18~20℃时品饮体验最佳。本研究得出的酱酒在不同品饮温度下的理化和感官指标变化趋势,对于其他酱酒具有一定的推广意义,而从风味物质挥发量、电子舌结合感官品评的分析流程,更是确定特定白酒最适品饮温度的可资借鉴的研究思路。

参考文献:

- [1] 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): 2843-2843.
- [2] XU Y Q, SUN B G, FAN G S, et al. The brewing process and microbial diversity of strong flavor Chinese spirits: a review[J]. *J I Brewing*, 2017, 123(1): 5-12.
- [3] NIU J, YANG S Q, SHEN Y, et al. What are the main factors that affect the flavor of sauce-aroma *Baijiu*[J]. *Foods*, 2022, 11(21): 3534.
- [4] JIA W, FAN Z B, DU A, et al. Recent advances in *Baijiu* analysis by chromatography based technology-A review[J]. *Food Chem*, 2020, 324:126899.
- [5] WANG M Y, YANG J G, ZHAO L, et al. Research progress on flavor compounds and microorganisms of Maotai flavor *Baijiu*[J]. *J Food Sci*, 2019, 84(1): 6-18.
- [6] 莫新良, 杨亮, 吴德光, 等. 不同甜香风味特征的酱香型白酒中挥发性物质分析[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(18): 311-321.
- [7] 王丽, 卢君, 山其木格, 等. 赤水河流域不同地区酱香型白酒矿质元素特征分析及产地辨识初探[J]. *中国酿造*, 2021, 40(9): 58-62.
- [8] 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 Res Int*, 2018, 105: 616-617.
- [9] 张卜升, 袁丛丛, 高杏, 等. 不同产地酱香型白酒化学风味和感官特征差异分析[J]. *食品科学*, 2023, 44(12): 235-243.
- [10] ROSS C F, WELLER K M, ALLDREDGE J R, et al. Impact of serving temperature on sensory properties of red wine as evaluated using projective mapping by a trained panel[J]. *J Sens Stud*, 2012, 27(6): 463-470.
- [11] CLIFF M A, KING M C. Influence of serving temperature and wine type on perception of ethyl acetate and 4-ethyl phenol in wine[J]. *J Wine Res*, 2009, 20(1): 45-52.
- [12] JACKSORS R S. Wine tasting: a professional handbook[M]. Amsterdam: Elsevier, 2022.
- [13] DORDOR R, CHAYA C, TARREGA A, et al. The impact of using a written scenario when measuring emotional response to beer[J]. *Food Qual Prefer*, 2016, 50: 38-47.
- [14] 王栋, 王哲迪, 马玥, 等. 黄酒饮用条件的偏好性研究[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(3): 127-130.
- [15] 王炎, 周志磊, 姬中伟, 等. 年轻消费者黄酒饮用温度偏好研究[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(3): 155-162.
- [16] 王励英, 史晓梅, 钱承敬. 白酒风味特征研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(21): 7212-7219.
- [17] 林先丽, 张晓娟, 李晨, 等. 基于质谱和电子舌的不同质量酱香型白酒判别分析[J/OL]. *食品科学*: 1-17[2023-08-15]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.ts.20230316.1327.030.html>.
- [18] 李贺贺, 胡萧梅, 李安军, 等. 采用顶空固相微萃取和搅拌棒吸附萃取技术分析古井贡酒中香气成分[J]. *食品科学*, 2017, 38(4): 155-164.
- [19] RODRIGUEZ-SOLANA R, GALEGO L R, PEREZ-SANTIN E, et al. Production method and varietal source influence the volatile profiles of spirits prepared from fig fruits (*Ficus carica* L.)[J]. *Eur Food Res Technol*, 2018, 244(12): 2213-2229.
- [20] 王炎. 黄酒饮用温度对消费者喜好性和风味特征的影响研究[D]. 无锡: 江南大学, 2022.
- [21] 杨亮, 占杨杨, 魏刚, 等. 基于气质联用法的两种香型白酒挥发性成分差异分析[J]. *中国酿造*, 2018, 37(10): 76-81.
- [22] 严方. 豌豆蛋白美拉德肽制备及其呈味特性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2021.
- [23] 王俊, 胡桂仙, 于勇, 等. 电子鼻与电子舌在食品检测中的应用研究进展[J]. *农业工程学报*, 2004(2): 292-295.
- [24] ESCUDER-GILABERT L, PERIS M. Review highlights in recent applications of electronic tongues in food analysis[J]. *Anal Chim Acta*, 2010, 665(1): 15-25.
- [25] 尤宇漫, 徐岩, 范文来, 等. 金种子酸香白酒香气成分分析[J]. *食品与发酵工业*, 2023, 49(9): 291-297.
- [26] 贾懿敏, 袁彬宏, 余沛, 等. 基于GC-O-MS及感官评价分析脱皮核桃仁关键风味物质[J]. *食品科学技术学报*, 2023, 41(4): 126-134.