

doi:10.12301/spxb202300478

文章编号:2095-6002(2024)03-0070-11

引用格式:方颂平,刘飞翔,邢爽,等.白酒饮后舒适度评价及其与主要风味成分的相关性分析[J].食品科学技术学报,2024,42(3):70-80.



FANG Songping, LIU Feixiang, XING Shuang, et al. Comfort evaluation after drinking Baijiu and its correlation analysis with main flavor components[J]. Journal of Food Science and Technology, 2024, 42(3): 70-80.

白酒饮后舒适度评价及其与主要风味成分的相关性分析

方颂平^{1,2}, 刘飞翔^{1,2}, 邢爽^{1,2}, 钱宇¹

(1. 亳州学院 生物与食品工程系, 安徽 亳州 236800;

2. 亳州学院 养生型配制酒亳州市重点实验室, 安徽 亳州 236800)

摘要:为深入探究不同香型白酒饮用后舒适度的差异,采用呼气式酒精检测仪测定血液中乙醇含量(blood alcohol concentration, BAC),并对测定方法进行了优化。以饮酒后 BAC 曲线下面积构建评价模型,测定不同香型白酒的饮后舒适度指数,并结合 Pearson 相关系数对舒适度与主要风味成分间的相关性进行研究。结果表明,不同饮食组成和饮酒间隔对 BAC 有显著影响($P < 0.05$),而饮酒速度对 BAC 无显著影响($P > 0.05$),采用优化方法测得的 BAC 相对标准偏差均小于 5%;不同志愿者测定同一白酒的饮后舒适度指数与均值间无显著性差异($P > 0.05$),说明评价模型重现性较好;采用评价模型测定的 12 种香型白酒中 11 种香型白酒的饮后舒适度指数与特级食用酒精组间有显著性差异($P < 0.05$);相关性分析表明,白酒饮后舒适度指数与乙醛、乙缩醛、甲酸乙酯、乙酸乙酯、异戊酸乙酯、甲醇、异戊醇含量呈极显著负相关($P < 0.01$),与异戊醛、丁酸乙酯、苯乙酸乙酯、正丙醇、正戊醇、乙酸含量呈显著负相关($P < 0.05$),其中异戊醇对白酒饮后舒适度指数负面影响最大;对白酒饮后舒适度指数与极显著负相关的风味成分总量取对数进行多项式拟合,得到回归方程 $y = -5.453 + 66.605x - 7.137x^2$ ($R^2 = 0.849, P < 0.01$),采用回归方程预测的饮后舒适度指数与实测值间无显著性差异($P > 0.05$)。研究结果可对固态法白酒的饮后舒适度评价有一定的指导价值。

关键词:白酒;饮后舒适度;风味成分;相关性分析;评价方法

中图分类号: TS261.7

文献标志码: A

中国白酒历史悠久、风格独特,深受消费者喜爱。近年来,随着消费者健康意识的日益增强,对健康白酒和健康饮酒的追求逐渐成为人们共识^[1]。在这一趋势下,饮用舒适度好的健康白酒更受消费者青睐。饮用舒适度通常分为饮前、饮中和饮后 3 个层次^[2],其中饮前、饮中舒适度主要通过感官对酒体色、香、味进行评价,饮后舒适度则通过饮酒后

产生一系列生理反应和生化指标来描述。由于饮后舒适度与“宿醉”密切相关^[3],因此对白酒饮后舒适度的研究越来越受到重视。目前对酱香型^[4]、浓香型^[5]、米香型^[6]、豉香型^[7]白酒的饮后舒适度已有研究报道,但对 12 种香型白酒饮后舒适度进行系统性评价的研究较少。

白酒饮后舒适度评价主要有问卷调查法、动物

收稿日期:2023-08-04

基金项目:安徽省高校科学研究项目(KJ2020A0766)。

Foundation: Scientific Research Project of Universities in Anhui Province (KJ2020A0766)。

第一作者:方颂平,男,副教授,主要从事传统白酒酿造及饮后舒适度评价方面的研究。

实验法及志愿者评价法,其中问卷调查法源自饮用者的感官体验,但不同饮用者间存在主观判断差异^[8-10];近年来,动物实验法被广泛用于白酒饮后舒适度评价,主要通过小鼠翻正反射^[11]、小鼠旷场精细行为^[12]及斑马鱼行为参数^[13]来研究不同香型、不同品牌白酒及风味成分对饮后舒适度的影响。动物实验法优点是实施方便,但同样存在模型精密度不高的缺点,且评价结果仍需在人群中进一步验证;志愿者评价法受志愿者性别、年龄、肝酶活性、饮食方式及志愿者有效例数和伦理影响^[14],导致测定结果误差较大且具有难以实施的问题,但志愿者评价法源于饮用者直接体验,结果真实可靠,因此,对志愿者评价法进行优化并建立快速评价模型,对白酒饮后舒适度评价具有重要意义。

研究表明,白酒饮后舒适度是多因素共同作用的结果^[15],主要与乙醇的麻醉作用及其代谢产物乙醛引起的脑缺氧有关^[16-17]。过量饮酒使大量乙醇经血液循环进入大脑并作用于神经系统,导致饮用者出现口干、头痛、头晕、呕吐等不良反应^[18]。因此,研究酒后血液中乙醇清除率的差异,在一定程度上可评价白酒饮后舒适度的差别。本研究基于呼气式酒精含量检测仪^[19]对志愿者评价方法进行优化,以酒后血液中乙醇含量(blood alcohol concentration, BAC)曲线下面积(area under the curve, AUC)为指标,建立白酒饮后舒适度评价模型。同时,采用气相色谱-氢火焰离子化检测器(gas chromatography-flame ionization detector, GC-FID)对白酒主要风味成分进行分析,并研究白酒饮后舒适度指数与主要风味成分间的相关性。研究结果可为白酒饮后舒适度评价及健康白酒的开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

50% vol 固态法白酒,实验室勾调;12种香型白酒标准样品,中国酒业协会;食用酒精(特级),安徽安特生物化学有限公司;50种白酒风味成分色谱混合标样,中国食品发酵工业研究院国家酒类品质与安全国际联合研究中心。色谱级标准品(质量分数):3-甲硫基丙醇($\geq 99.0\%$)、正己醛($\geq 99.5\%$)、正戊酸($\geq 99.0\%$)、丙酸乙酯($\geq 99.0\%$)、叔戊醇($\geq 99.5\%$)、乙酸正戊酯($\geq 99.5\%$)、2-乙基丁酸($\geq 99.0\%$),上海麦克林生化科技股份有限公司;

丁二酸二乙酯($\geq 99.0\%$),国药集团化学试剂有限公司。市场购买的白酒样品编号(酒精度),HXJJ(42% vol)、YHDL(42% vol)、JSQL(42% vol)。

1.2 仪器与设备

GC 2010 pro 型气相色谱仪配置 FID 检测器、毛细管柱 DB-WAX (30 m $\times$ 0.250 mm $\times$ 0.25 μ m),岛津公司;KY-8200 型燃料电池型呼气式酒精检测仪(符合 GA 307 标准),深圳市科运科技有限公司;A2-20 型超纯水仪,合肥宏科仪器有限公司;DMA35 型密度计,安东帕有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 志愿者的选择

志愿者共 45 名,均为男性,年龄 18~25 岁,前期通过意愿征集及问卷调查,志愿者每顿餐饮 50% vol 白酒 200 mL 后无醉酒症状出现。实验前,志愿者被告知实验内容以及可能存在的风险,均签署《知情同意书》。

1.3.2 志愿者饮酒的测定方法

饮酒量设定。根据《中国居民膳食指南(2016)》规定,成年男性酒精摄入量 ≤ 25 g/d,折算饮用 50% vol 白酒为 63.3 mL。本研究从志愿者健康角度出发,饮酒量定为 50% vol 白酒 50 mL。

操作步骤。早上 8 点早餐(牛奶和包子),早餐后除饮水外不再进食及进行剧烈运动,12 点午餐,其间饮用 50% vol 白酒 50 mL,然后用 100 mL 蒸馏水漱口,分别在饮酒后 30、60、90 min,采用呼气式酒精含量检测仪测定人体呼气中乙醇质量浓度,并转化为血液中乙醇质量浓度。呼气式酒精含量检测仪采样时呼气持续时间大于 2.5 s,以测得肺深部气体中的乙醇质量浓度,呼气中间不得间断。实验前按标准操作方法对志愿者进行培训,测试环境温度(23 ± 5) $^{\circ}\text{C}$,相对湿度 50% $\pm$ 30%。

1.3.3 志愿者饮酒测定方法的饮食模式优化

研究午餐饮食组成(空腹、面包、一荤三素套餐),饮酒速度(30 s 内 1 次性饮用 50 mL;1 min 内 3 次饮用 50 mL,第 1、2 次每次 15 mL,第 3 次 20 mL,每次间隔 20 s;5 min 内分 5 次饮用 50 mL,每次饮用 10 mL,每次间隔 1 min)和饮酒间隔(餐前 10 min 饮用、餐间饮用、餐后 10 min 饮用)对血液中乙醇质量浓度的影响。

1.3.4 白酒饮后舒适度评价模型的建立

按 1.3.3 节优化后的测定方法,志愿者在分别饮用相同酒精度的样品及特级食用酒后,测定 30、

60、90、120 min 时血液中乙醇质量浓度,以时间 t 为横坐标,血液中乙醇质量浓度 ρ 为纵坐标,绘制曲线并计算曲线下面积,建立白酒饮后舒适度评价模型,见式(1)。

白酒饮后舒适度指数 =

$$100\% + \frac{AUC_{\text{特级食用酒精}} - AUC_{\text{待测样品}}}{AUC_{\text{特级食用酒精}}} \times 100\%。$$

(1)

式(1)中, $AUC_{\text{特级食用酒精}}$ 为饮用特级食用酒精时曲线下面积; $AUC_{\text{待测样品}}$ 为饮用待测样品时曲线下面积。

1.3.5 舒适度测定方法的重复性验证

选择 10 位志愿者,采用优化后的方法测定酒后血液中乙醇质量浓度,验证测定结果的重复性。

1.3.6 不同香型白酒饮后舒适度指数的测定

将 12 种香型白酒统一调配到 50.0% vol,采用优化后的方法,按评价模型分别测定其饮后舒适度指数。

1.3.7 白酒中主要风味成分测定方法

采用 GC-FID 分析白酒中的主要风味成分,分析条件参考张晓婕等^[20]方法略作修改。以叔戊醇、乙酸正戊酯和 2-乙基丁酸为内标进行定量分析。取 10 mL 酒样,加入混合内标 100 μ L,直接进样分析。

气相色谱条件。起始温度 30 $^{\circ}$ C,保持时间 3 min;以 2 $^{\circ}$ C/min 升至 60 $^{\circ}$ C,保持 4 min;以 6 $^{\circ}$ C/min 升至 210 $^{\circ}$ C,保持 20 min。载气为高纯氮气;流速 0.8 mL/min;进样量 1 μ L;进样口温度 230 $^{\circ}$ C;进样方式为分流进样,分流比 30:1。

1.3.8 白酒饮后舒适度指数与主要风味成分相关性分析方法

采用 SPSS 26 软件,对白酒饮后舒适度指数与主要风味成分间进行 Pearson 双变量相关性分析,确定影响白酒饮后舒适度的主要风味成分,并建立回归方程。采用市场购买的固态法白酒验证回归方程的准确性。

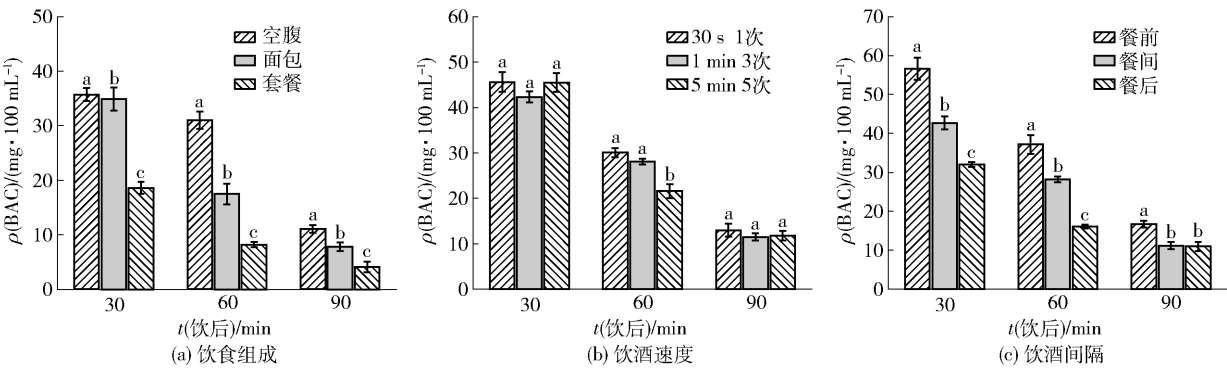
1.4 数据处理

数据以平均值 $\pm$ 标准偏差表示,采用 SPSS 26 软件进行单因素方差和显著性分析, $P < 0.05$ 为差异显著,采用 Origin 2021 绘图,并计算 AUC 。

2 结果与分析

2.1 志愿者饮食模式的优化结果

按志愿者测定方法,分别研究不同午餐饮食组成、饮酒速度和饮酒间隔对血液中乙醇质量浓度的影响,结果见图 1。



不同字母表示组内数据差异显著 ($P < 0.05$)。

图1 饮食模式对 BAC 测定方法的影响

Fig.1 Effects of dietary patterns on BAC measurement methods

从图 1(a) 可以看出,不同午餐饮食组成对 BAC 有显著影响 ($P < 0.05$),同一时间点,BAC 由大到小依次为空腹组、食用面包组、一荤三素套餐组。空腹饮酒乙醇在胃、肠道吸收快,因此 BAC 明显高于食用面包组和一荤三素搭配套餐组。为消除饮食模式差异导致的测定误差,考虑到容易实施及操作方便,午餐饮食组成采用食用面包。

从图 1(b) 可以看出,不同饮酒速度在 30 min 和 90 min 对 BAC 无显著影响 ($P > 0.05$),原因与不同饮酒速度设定的时间较短有关。人体摄入乙醇后,在 30 ~ 90 min 才能被完全吸收进入血液^[21]。不同饮酒速度只隔 5 min,因此对 BAC 影响不明显。考虑到饮用者饮用感受,饮酒速度统一固定为 1 min 内分 3 次饮用完的方式。

从图 1 (c) 可以看出,不同饮酒间隔在 30、60 min 对BAC 有显著影响($P<0.05$)。相同时间点 BAC 由大到小依次为餐前、餐间和餐后饮用。餐前 10 min 饮用,相当于空腹饮酒,因此乙醇吸快,BAC 较高。不同饮酒间隔对测定结果有影响,因此饮酒间隔采用餐间饮用的方式。

表 1 BAC 测定方法的重复性验证结果
Tab. 1 Results of method repeatability validation

志愿者编号	饮后 30 min		饮后 60 min		饮后 90 min	
	$\rho(\text{BAC})/(\text{mg}\cdot 100\text{ mL}^{-1})$	相对标准偏差/%	$\rho(\text{BAC})/(\text{mg}\cdot 100\text{ mL}^{-1})$	相对标准偏差/%	$\rho(\text{BAC})/(\text{mg}\cdot 100\text{ mL}^{-1})$	相对标准偏差/%
1	43.0 $\pm$ 1.0	2.4	29.3 $\pm$ 1.1	4.7	13.6 $\pm$ 1.4	3.2
2	67.7 $\pm$ 1.3	3.5	37.1 $\pm$ 1.1	3.1	21.3 $\pm$ 2.1	2.9
3	49.4 $\pm$ 1.9	3.8	20.4 $\pm$ 0.9	4.3	17.8 $\pm$ 1.1	3.3
4	37.4 $\pm$ 2.6	3.1	18.6 $\pm$ 1.8	2.9	10.4 $\pm$ 0.9	1.8
5	44.7 $\pm$ 1.7	4.0	12.9 $\pm$ 0.5	3.4	18.2 $\pm$ 1.2	2.1
6	56.7 $\pm$ 2.3	2.0	31.8 $\pm$ 1.6	2.8	20.3 $\pm$ 2.4	2.4
7	27.4 $\pm$ 1.4	3.1	13.6 $\pm$ 0.9	1.7	8.4 $\pm$ 0.7	1.5
8	23.0 $\pm$ 1.0	1.3	10.3 $\pm$ 1.4	2.0	6.6 $\pm$ 1.6	1.2
9	71.5 $\pm$ 3.1	4.6	45.1 $\pm$ 2.7	3.8	28.3 $\pm$ 3.6	3.9
10	24.9 $\pm$ 1.0	1.0	14.2 $\pm$ 1.7	1.2	5.6 $\pm$ 1.2	1.0

2.3 白酒饮后舒适度评价模型的验证结果

不同志愿者按优化后的方法测定酒后不同时间点的 BAC 结果见图 2。由图 2 可知,在摄入等量乙醇条件下,志愿者 2 分别饮用食用酒精和浓香型白酒,在 30 min 时 BAC 最高,达到 78.4 mg/100 mL、78.6 mg/100 mL,而志愿者 4 在 30 min 时 BAC 最低,只有 32.8 mg/100 mL、36.1 mg/100 mL,志愿者 1 在 120 min 时 BAC 未检出,其血液中乙醇清除速度明显快于其他志愿者。由此可见,不同志愿者酒后血液中乙醇清除速率具有明显差别,该结果和张艳等^[22]研究血液中乙醇清除率与体重、性别呈中度相关结果一致。由此可见,采用大量志愿者酒后 BAC 统计结果来衡量白酒饮后舒适度,由于受个体差异的影响,导致较大测量误差。

为消除个体差异引起的误差,选择 10 位志愿者,根据白酒饮后舒适度评价模型分别测定同一固态法白酒(浓香型白酒)的饮后舒适度指数,结果见图 3。由图 3 可知,其中 6 位志愿者测定的舒适度指数间无显著性差异($P>0.05$)。舒适度指数模型虽然以特级食用酒精为对照,有效消除了个体差异导致的误差。但不同志愿者在测试过程中受外界因素如活动量、状态等的影响,使测定结果仍然存在一定的误差,其中 4 位志愿者测试结果间存在显著差

2.2 BAC 测定方法的重复性验证分析

按优化后的测定方法,随机选择 10 名志愿者对同一酒样进行实验,不同时间点的 BAC 见表 1。由表 1 可知,不同志愿者在 30、60、90 min 时的 BAC 相对标准偏差平均值分别为 2.9、3.0、2.3,均小于 5%,说明优化后的方法能达到实验要求。

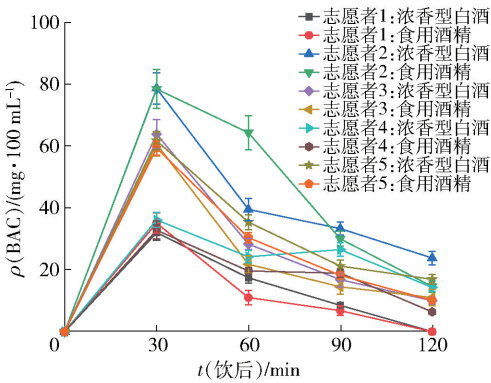
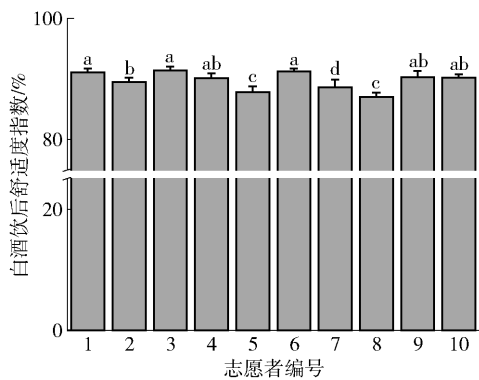


图 2 不同志愿者饮酒后的 BAC
Fig. 2 BAC of different volunteers after drinking

异($P<0.05$),但 10 位志愿者测定的白酒饮后舒适度指数与均值(89.3 ± 0.8)间并无显著性差异($P>0.05$)。

2.4 不同香型白酒饮后舒适度指数的测定结果

将 12 种香型白酒采用特级食用酒精或去离子水统一调配到 50.0% vol,分别测定其饮后舒适度指数,结果见图 4。由图 4 可知,与特级食用酒精组相比,除老白干香型饮后舒适度指数无显著性差异($P>0.05$)外,另外 11 种香型白酒饮后舒适度指数有显著性差异($P<0.05$)。其中饮后舒适度指数大于 100 的有米香型、豉香型、清香型、特香型、凤香

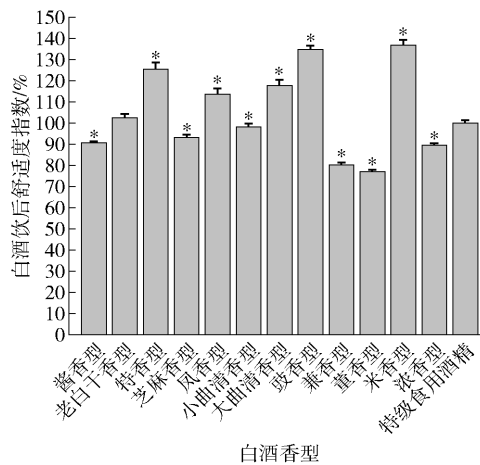


不同字母表示组间数据差异显著($P < 0.05$)。

图3 不同志愿者同一酒样的白酒饮后舒适度指数

Fig. 3 Comfort index after drinking Baijiu of same Baijiu by different volunteers

型、老白干香型,其中米香型白酒饮后舒适度指数最高,达到 136.8%;饮后舒适度指数小于 100 的有浓香型、酱香型、芝麻香型、兼香型和董香型白酒,其中董香型饮后舒适度指数最低,只有 77.1%。从白酒饮后舒适度指数评价模型可以看出,舒适度指数越大,代表饮用白酒后血液中乙醇清除速度更快,乙醇对大脑神经系统损伤越少,饮后舒适度越好。



* 表示和特级食用酒精组间有显著性差异($P < 0.05$)。

图4 不同香型白酒饮后舒适度指数

Fig. 4 Comfort index after drinking Baijiu of different flavor Baijiu

2.5 不同香型白酒中主要风味成分分析结果

采用 GC-FID 对白酒中主要风味成分进行定量分析,结果见表 2。

目前白酒中已检测出 2067 种微量成分^[23],不同香型白酒由于酿造工艺的差异,导致风味成分存在区别。由表 2 可知,12 种香型白酒中总酸、总酯

及醇类、其他类(醛类、酮类及吡嗪类)总量差别较大,其中浓香型白酒总酯高达 4 217.29 mg/L,而豉香型白酒仅为 550.78 mg/L;董香型白酒总酸高达 2 913.76 mg/L,而老白干香型和米香型白酒约为 600 mg/L;董香型白酒醇类含量高达 2 597.77 mg/L,而豉香型白酒只有 429.76 mg/L。醛、酮、吡嗪类化合物含量较高的为浓香型和兼香型白酒,在 1 000 mg/L 以上,含量较低的为米香型和豉香型白酒,在 100 mg/L 左右。研究表明,含量在 1.0 mg/L 以上的主要风味成分,对酒类的品质和舒适度起决定性作用^[24]。不同香型白酒饮后舒适度存在差异与酒体主要风味成分差别有关^[25],白酒中的酸类、酯类、高级醇等风味成分通过影响乙醇代谢,导致饮后舒适度存在差异^[26]。因此,白酒中各种主要风味成分,包括酸类、酯类、醇类,以及醛类、酮类和吡嗪类等,它们各自含量的差异,会显著影响白酒的饮后舒适度。

2.6 白酒饮后舒适度指数与主要风味成分相关性分析结果

采用 Pearson 相关系数对白酒饮后舒适度指数与主要风味成分之间的相关性进行研究,结果见表 3。由表 3 可知,白酒饮后舒适度指数与白酒中的乙醛、乙缩醛、甲酸乙酯、乙酸乙酯、异戊酸乙酯、甲醇、异戊醇呈极显著相关($P < 0.01$),与异戊醛、丁酸乙酯、苯乙酸乙酯、正丙醇、正戊醇、乙酸含量呈显著相关($P < 0.05$);其中乙醛、乙缩醛、乙酸乙酯、异戊酸乙酯、异戊醇与饮后舒适度指数高度负相关(相关系数 $|r| \geq 0.8$),其中异戊醇相关系数为 -0.849 ,说明异戊醇对白酒饮后舒适度指数负面影响最大,其次是乙醛,相关系数达到 -0.808 ;此外,甲酸乙酯、异戊醛、丁酸乙酯、苯乙酸乙酯、甲醇、正丙醇、正戊醇、乙酸与饮后舒适度指数中度负相关($0.5 \leq \text{相关系数 } |r| < 0.8$)。研究表明,较高含量的正戊醇及丁酸乙酯降低酱香型白酒的饮后舒适度^[4],浓香型白酒中的异戊醇和正丙醇是引起饮后不适的关键高级醇^[5];米香型白酒中异戊醇、异丁醇、乙醛、己酸和乙酸乙酯是影响米香型白酒饮后代谢的关键成分^[6],本研究结果与上述研究较为吻合。此外,由表 3 可知,白酒饮后舒适度指数与 3-甲硫基丙醇和 β -苯乙醇具有低度正相关($0.3 \leq \text{相关系数 } |r| < 0.5$),但相关性不显著($P > 0.05$)。 β -苯乙醇在米香型和豉香型白酒中含量较高,具有玫瑰香气^[27],3-甲硫基丙醇在低浓度时具有烤制奶酪的香气,是芝麻香型白酒中一类重要的风味成分^[28]。

表 2 不同香型白酒主要风味成分定量分析结果

Tab.2 Main flavor components quantitative analysis results of different flavor Baijiu

类别	化合物名称	ρ(主要风味成分)											mg/L
		董香型	兼香型	凤香型	豉香型	酱香型	特香型	小曲清香型	大曲清香型	芝麻香型	浓香型	老白干香型	
醇、吡嗪类	乙醛	235.45±5.61	508.76±7.83	141.17±2.70	75.67±1.54	416.40±4.42	137.40±2.01	283.76±8.68	220.82±7.68	258.76±6.34	512.88±9.12	204.16±4.36	64.25±2.35
	异丁醛	ND	8.26±0.6	ND	ND	5.35±0.51	3.77±0.71	ND	ND	7.86±0.66	ND	ND	ND
	乙缩醛	96.56±3.34	215.90±2.25	68.08±3.52	31.96±1.23	159.53±3.21	52.77±0.98	117.18±3.25	79.97±2.64	106.54±4.83	226.62±4.98	91.58±1.93	23.61±0.94
	异戊醛	9.29±0.62	38.54±0.63	10.69±1.00	ND	21.35±0.34	19.81±2.00	8.57±0.35	6.51±0.32	30.73±1.24	43.70±2.65	9.92±0.56	ND
	正异醛	ND	10.94±0.52	3.95±0.48	ND	5.94±0.61	5.61±0.37	2.51±0.33	2.14±0.28	7.50±0.57	13.45±0.69	2.52±0.17	ND
	糠醛	27.37±0.23	289.64±3.34	5.53±0.87	5.19±0.12	90.49±1.11	59.26±1.43	6.20±0.69	8.60±1.18	81.60±3.88	39.74±1.87	18.16±1.55	14.12±1.20
	苯甲醛	ND	2.44±0.09	ND	ND	2.32±0.05	1.61±0.04	ND	ND	0.95±0.08	ND	0.81±0.04	ND
	丙酮	6.32±0.67	34.93±1.22	4.03±0.66	ND	13.49±0.53	8.29±0.38	4.75±0.22	17.53±1.84	11.82±0.96	199.80±3.25	3.41±0.20	2.74±0.33
	2-戊酮	4.75±0.09	21.78±1.17	ND	ND	2.87±0.04	2.60±0.07	ND	9.92±0.96	1.50±0.12	112.13±2.54	1.04±0.06	ND
	3-羧基-2-丁酮	22.33±0.98	29.82±1.65	7.06±1.00	4.31±1.11	58.19±1.98	11.34±1.51	8.63±0.67	3.83±0.56	7.92±0.63	8.63±1.28	11.19±0.93	5.70±0.37
酯类	4-甲基吡嗪	ND	ND	ND	ND	1.16±0.66	ND	ND	ND	ND	ND	0.36±0.08	ND
	合计	402.07±3.61	1161.01±3.61	240.49±2.22	117.12±1.21	777.08±4.06	302.44±2.56	431.58±5.67	349.31±4.32	515.18±5.88	1156.94±10.38	343.15±2.45	110.42±2.08
	甲酸乙酯	13.79±1.23	47.76±1.55	ND	ND	30.22±0.98	5.14±0.87	7.93±0.45	9.40±0.65	29.76	45.88	6.81	ND
	乙酸乙酯	1670.14±16.43	894.90±8.98	583.06±5.67	168.59±3.61	1451.43±8.62	474.08±3.45	675.49±7.92	930.78±10.43	803.80±11.32	747.53±10.24	522.48±6.69	198.52±2.20
	丙酸乙酯	313.05±2.34	46.86±1.61	26.26±1.45	ND	40.97±2.00	17.05±1.11	12.19±0.56	ND	ND	ND	ND	ND
	丁酸乙酯	360.04±3.66	58.96±2.36	84.76±3.33	ND	54.77±2.68	53.35±3.53	12.78±1.02	19.12±0.54	59.28±1.23	203.84±1.54	14.53±1.02	9.44±0.34
	异戊酸乙酯	16.18±1.72	12.79±0.99	ND	ND	3.82±0.07	2.72±0.35	ND	ND	10.71±1.22	12.65±1.45	1.10±0.04	ND
	乙酸异戊酯	44.11±3.56	ND	3.25±0.34	ND	5.78±0.78	ND	36.96±3.09	ND	1.35±0.05	ND	ND	7.11±0.12
	己酸乙酯	271.39±3.10	181.66±5.64	265.11±6.66	5.47±0.87	24.06±1.46	201.15±1.76	15.58±1.12	107.59±2.23	136.22±3.46	1278.18±13.55	36.39±2.33	32.93±1.23
	庚酸乙酯	4.93±0.65	3.38±0.32	4.94±0.12	ND	ND	2.46±0.08	ND	ND	1.91±0.08	19.46±0.43	0.90±0.06	ND
酯类	乳酸乙酯	445.39±7.79	1110.81±10.54	984.35±9.38	366.97±4.44	652.00±5.62	1455.47±9.61	281.20±1.65	929.35±6.43	715.78±5.65	485.20±7.55	460.39±3.45	824.85±9.82
	辛酸乙酯	2.64±0.53	3.94±0.34	5.43±0.79	ND	1.68±0.07	2.19±0.25	ND	2.78±0.06	1.40±0.12	10.41±0.65	1.88±0.03	ND
	己酸异戊酯	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4.27±0.15	ND	ND
	丁二酸二乙酯	28.90±1.12	15.13±1.65	5.30±0.86	2.15±0.08	7.73±0.54	16.30±0.84	1.39±0.04	2.38±0.32	7.11±0.19	8.09±0.54	1.62±0.10	4.81±0.11
	苯乙酸乙酯	17.61±1.69	2.47±0.21	ND	ND	1.75±0.15	ND	9.77±0.88	ND	0.75±0.15	1.81±0.18	ND	ND
	棕榈酸乙酯	ND	1.45±0.14	ND	7.59	2.76±0.10	2.30±0.15	1.20±0.07	1.32±0.19	0.63±0.10	ND	ND	2.30±0.41
	硬脂酸乙酯	ND	6.83±0.98	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	亚油酸乙酯	ND	4.47±0.32	ND	ND	2.76±0.13	3.29±0.20	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	十四酸乙酯	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.16±0.09
	合计	3188.17±15.38	2391.41±9.23	1962.46±8.18	550.78±3.67	2279.73±7.65	2235.49±8.61	1054.49±9.97	2002.72±12.54	1768.69±13.98	4217.29±15.65	1046.09±12.34	1081.13±10.32

续表 2

类别	化合物名称	ρ(主要风味成分)											
		董香型	兼香型	凤香型	玻香型	酱香型	特香型	小曲清香型	大曲清香型	芝麻香型	浓香型	老白干香型	米香型
醇类	甲醇	143.85±2.45	138.44±4.10	112.57±3.56	35.47±1.23	108.84±2.12	89.23±3.61	107.10±5.54	130.63±3.34	176.72±2.99	128.30±1.98	113.14±2.54	66.23±1.88
	仲丁醇	317.74±4.56	32.04±2.13	50.44±3.56	ND	29.77±2.34	25.68±1.65	92.84±1.35	5.26±0.87	16.54±0.43	28.54±0.76	10.74±1.21	5.01±0.33
	正丙醇	1344.17±9.82	456.31±3.33	308.56±3.64	63.14±2.56	605.67±8.79	249.46±5.32	424.88±6.33	123.15±3.65	248.18±5.32	179.07±4.34	138.65±2.12	202.15±3.99
	异丁醇	194.83±4.11	139.06±2.32	98.14±1.05	129.51±1.98	75.98±1.02	89.68±1.39	239.64±3.44	104.30±4.24	165.70±3.15	140.09±2.22	83.72±3.21	444.71±3.30
	2-戊醇	2.16±0.65	17.46±0.98	1.90±0.11	ND	6.62±0.34	ND	ND	8.34±0.65	8.06±0.66	44.49±1.22	1.90±0.12	ND
	正丁醇	88.21±2.13	55.19±1.98	207.79±3.21	5.97±0.34	48.38±1.66	33.46±2.10	22.92±1.10	7.15±0.32	82.64±2.21	35.24±1.01	30.76±1.21	10.95±1.09
	异戊醇	404.61±7.88	332.01±6.75	247.89±2.09	159.57±3.86	290.91±2.13	255.17±2.34	362.89±3.37	206.87±2.26	239.98±3.09	291.35±4.98	196.84±3.65	131.07±2.31
	正戊醇	13.44±0.66	7.40±0.34	5.47±0.24	ND	2.62±0.12	2.90±0.13	ND	ND	3.18±0.34	3.30±0.54	0.98±0.11	ND
	正己醇	34.12±0.45	32.36±1.00	23.69±0.76	2.15±0.34	5.84±0.08	18.76±0.73	1.78±0.19	3.16±0.28	6.66±0.88	21.01±1.22	4.09±0.32	3.37±0.34
	2,3-丁二醇	7.73±0.22	7.72±0.54	3.37±0.35	3.94±0.63	7.32±0.76	6.33±0.43	4.61±0.15	3.05±0.55	3.79±0.54	1.08±0.32	1.98±0.37	3.92±0.30
酸类	1,2-丙二醇	35.18±0.99	105.29±1.32	7.77±0.64	3.73±0.33	119.13±2.58	16.92±1.20	1.69±0.06	2.75±0.33	6.99±0.44	3.08±0.61	0.46±0.12	3.98±0.22
	3-甲硫基丙醇	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.38±0.10	ND	ND	1.36±0.11
	β-苯乙醇	11.74±0.93	15.0±0.87	3.36±0.65	26.28±0.65	15.46±0.88	9.41±0.43	20.21±0.58	5.90±0.72	12.83±1.22	2.69±0.37	2.34±0.16	48.04±1.39
	合计	2597.77±7.61	1338.28±4.62	1070.93±3.56	429.76±2.87	1316.53±5.64	797.01±4.64	1278.56±11.33	600.56±6.63	971.64±5.04	878.18±4.87	585.59±3.87	920.80±6.23
	乙酸	2117.96±18.61	1187.14±12.91	784.32±11.24	601.16±14.38	1650.47±20.22	845.30±15.78	909.79±19.03	945.56±20.28	776.07±17.32	527.02±12.34	522.87±10.34	463.77±11.23
	丙酸	33.83±2.34	13.97±2.56	25.27±3.21	4.34±2.10	9.46±3.61	22.35±5.68	3.89±0.87	4.31±0.61	10.73±1.21	ND	6.19±0.23	11.53±1.16
	异丁酸	48.49±5.61	38.69±3.33	15.81±2.58	16.29±2.45	55.13±4.56	26.16±3.56	18.28±2.22	10.15±3.33	13.07±2.21	7.24±1.45	12.44±1.98	10.90±1.45
	丁酸	346.78±13.62	57.04±6.54	144.59±9.87	5.34±0.34	55.52±5.55	107.42±8.23	13.44±1.98	17.43±1.99	50.40±4.44	126.61±3.45	20.03±1.32	24.06±2.65
	异戊酸	5.09±1.21	ND	ND	ND	1.96±0.88	2.41±0.28	4.72±1.09	7.36±0.69	2.80±0.16	ND	4.05±0.76	4.16±0.48
	正戊酸	70.36±5.89	11.25±3.41	16.53±2.34	ND	6.04±0.62	21.17±1.73	ND	4.53±1.20	8.26±0.45	ND	2.84±0.45	4.26±0.83
酯类	己酸	282.07±5.68	178.81±4.33	162.30±6.71	6.68±0.99	25.82±1.54	298.99±7.44	17.14±2.23	91.33±5.53	123.76±2.55	948.23±8.72	27.50±3.41	84.72±4.45
	庚酸	5.06±0.56	4.30±0.34	2.76±0.85	4.70±1.12	1.15±50.35	5.16±0.39	1.06±0.32	1.47±0.21	1.30±0.17	16.29±0.67	1.24±0.23	ND
	辛酸	4.12±0.43	4.32±0.56	3.37±0.67	ND	2.13±0.35	3.19±0.66	ND	2.23±0.32	1.57±0.34	10.27±0.34	2.91±0.69	3.16±0.45
	合计	2913.76±17.98	1495.52±12.43	1154.93±10.59	638.51±9.88	1807.66±18.65	1332.14±14.32	968.31±18.43	1084.34±16.99	987.96±15.37	1635.64±13.59	600.06±11.43	606.54±13.58

ND 表示未检出,检出限为 0.1 mg/L。

表3 白酒饮后舒适度指数与主要风味成分相关性分析

Tab. 3 Correlation between comfort index after drinking Baijiu and main flavor components															
评价指标	乙醛	乙缩醛	异戊醛	甲酸乙酯	乙酸乙酯	丁酸乙酯	异戊酸乙酯	苯乙酸乙酯	甲醇	正丙醇	异戊醇	正戊醇	3-甲硫基丙醇	β-苯乙醇	乙酸
Pearson 相关系数	-0.808	-0.803	-0.650	-0.757	-0.800	-0.613	-0.804	-0.578	-0.776	-0.648	-0.849	-0.668	0.439	0.435	-0.641
Sig. (双尾)	0.001	0.002	0.022	0.004	0.002	0.034	0.002	0.049	0.003	0.023	0	0.018	0.154	0.158	0.025

Sig. (双尾) < 0.01, 表示极显著相关; Sig. (双尾) < 0.05, 表示相关性显著; Sig. (双尾) > 0.05, 表示相关性不显著。

综合相关性分析结果,异戊醇、乙醛、乙缩醛、甲酸乙酯、乙酸乙酯、异戊酸乙酯、甲醇对白酒饮后舒适度具有重要影响,这些成分含量越高,白酒饮后舒适度越低。

对不同香型白酒饮后舒适度指数和极显著负相关的风味成分总量取自然对数进行多项式函数拟合,结果见图5。回归方程为 $y = -5.453 + 66.605x - 7.137x^2$ ($R^2 = 0.849, P < 0.01$), Pearson 相关系数为 -0.9138 , 说明两者间具有高度负相关性。

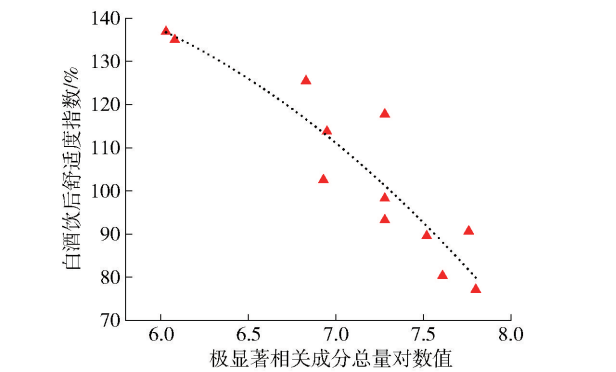


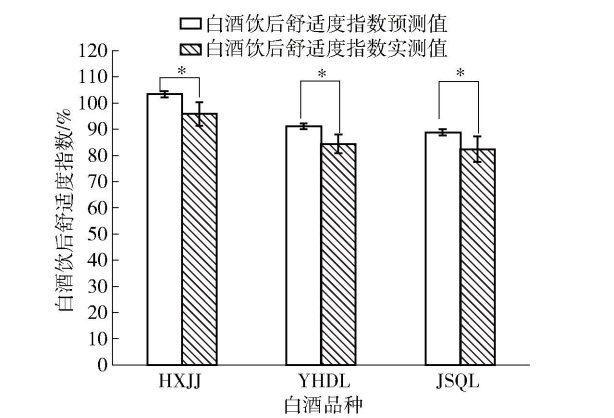
图5 极显著成分总量对数值与白酒饮后舒适度指数相关性

Fig. 5 Correlation between logarithmic of highly significant components and comfort index after drinking Baijiu

对市场购买固态法白酒样品进行回归方程的验证实验,结果见图6。由图6可知,白酒饮后舒适度指数实测值和预测值间无显著性差异 ($P > 0.05$)。白酒中风味成分对饮后舒适度的影响是一个复杂的过程,和白酒风味成分种类、含量及人体代谢机能有关,本研究的研究对象(12种香型白酒标样)均为固态法白酒,因此回归方程对固态法白酒饮后舒适度评价具有一定的指导意义。

3 结论

本研究采用呼气式酒精含量检测仪测定饮酒后不同时间点的BAC,并对测定方法进行优化。以酒后BAC曲线下面积构建评价模型测定白酒饮后舒



* 表示组内数据无显著性差异 ($P > 0.05$)。

图6 白酒饮后舒适度指数的实测值和预测值

Fig. 6 Measured and predicted value of comfort index after drinking Baijiu

适度指数,同时结合GC-FID对主要风味成分的分析结果,研究两者间的相关性。结果表明,测定方法中饮食组成和饮酒间隔在30、60 min对BAC有显著影响 ($P < 0.05$),饮酒速度对BAC无显著影响 ($P > 0.05$)。优化后的测定方法为午餐食用面包,在食用面包同时要求在1 min内分3次饮用50 mL样品。采用优化后的测定方法,不同志愿者在30、60、90 min时的BAC测定结果相对标准偏差均小于5%,重复性符合要求;不同志愿者测定同一白酒的饮后舒适度指数与均值 (89.3 ± 0.8) 间无显著性差异 ($P > 0.05$),说明评价模型重现性较好;此外,结合Pearson相关系数对白酒饮后舒适度指数与主要风味成分的相关性分析表明,白酒饮后舒适度指数与乙醛、乙缩醛、甲酸乙酯、乙酸乙酯、异戊酸乙酯、甲醇、异戊醇呈极显著负相关 ($P < 0.01$),与异戊醛、丁酸乙酯、苯乙酸乙酯、正丙醇、正戊醇、乙酸含量呈显著负相关 ($P < 0.05$),其中异戊醇对白酒饮后舒适度指数负面影响最大。对白酒饮后舒适度指数与极显著负相关的风味成分总量取对数进行多项式拟合,得到回归方程为 $y = -5.453 + 66.605x - 7.137x^2$ ($R^2 = 0.849, P < 0.01$),该回归方程预测的白酒饮后舒适度指数与实测值间无显著性差异

($P>0.05$)。本研究的研究对象(12 种香型白酒标样)均为固态法白酒,回归方程对固态法白酒饮后舒适度评价具有一定的指导意义,对其他固液结合法及液态法白酒的饮后舒适度评价仍需进一步研究。

参考文献:

- [1] 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.
WU J H, HUANG M Q, ZHENG F P, et al. Research progress of healthy Baijiu[J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 37(2):17-23.
- [2] 郝飞克, 刘蓉, 韩兴林, 等. 饮料酒饮用舒适度及健康评价体系的研究与应用[J]. 食品科学技术学报, 2019, 37(2):10-16.
HAO F K, LIU R, HAN X L, et al. Study and application on evaluation systems of comfortable degree and health for alcoholic beverages consumption[J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 37(2):10-16.
- [3] STEPHENS R, LING J, HEFFERNAN T M, et al. A review of the literature on the cognitive effects of alcohol hangover[J]. Alcohol and Alcoholism, 2008, 43(2):163-170.
- [4] 赵文梅. 酱香型白酒饮用舒适度与健康评价体系的探索[D]. 南宁: 广西大学, 2023.
ZHAO W M. Study on evaluation system of drinking comfortableness and health for sauce-flavor Baijiu[D]. Nanjing: Guangxi University, 2023.
- [5] 格绒泽仁, 皇甫洁, 韩兴林, 等. 浓香型白酒饮后不适感关键高级醇类物质关联性判定新方法[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(14):191-195.
GERONG Z R, HUANG F J, HAN X L, et al. A method for determining associations between drinking discomforts and key higher alcohols in strong-aroma Baijiu[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(14):191-195.
- [6] 刘雅, 皇甫洁, 何松贵, 等. 影响广东米香白酒饮后代谢与舒适度的关键酒体风味成分研究[J]. 中国酿造, 2022, 41(9):105-110.
LIU Y, HUANG F J, HE S G, et al. Key flavor components affecting the post-drinking metabolism and comfort of Guangdong rice-flavor Baijiu[J]. China Brewing, 2022, 41(9):105-110.
- [7] 格绒泽仁. 豉香型白酒饮后舒适感评价模型的建立及相关研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2019.
ZEREN G R. Establishment and related research on comfort evaluation model of soybean flavor liquor after drink-
- ing[D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2019.
- [8] PENNING R, MCKINNEY A, BUS L D, et al. Measurement of alcohol hangover severity: development of the alcohol hangover severity scale (AHSS)[J]. Psychopharmacology, 2013, 225(4):803-810.
- [9] ROHSENOW D J, HOWLAND J, MINSKY S J, et al. The acute hangover scale: a new measure of immediate hangover symptoms[J]. Addictive Behaviors, 2007, 32(6):1314-1320.
- [10] SLUTSKE W S, PIASECKI T M, HUNT-CARTER E E. Development and initial validation of the hangover symptoms scale: prevalence and correlates of hangover symptoms in college students[J]. Alcoholism: Clinical and Experimental Research, 2003, 27(9):1442-1450.
- [11] METTEN P, BEST K L, CAMERON A J, et al. Observer-rated ataxia: rating scales for assessment of genetic differences in ethanol-induced intoxication in mice[J]. Journal of Applied Physiology, 2004, 97(1):360-368.
- [12] ASOREY L G, CARBONE S, CONZALEZ B J, et al. Behavioral effects of the combined use of alcohol and energy drinks on alcohol hangover in an experimental mice model[J]. Neuroscience Letters, 2018, 670:1-7.
- [13] MOCELIN R, MARCON M, D'AMBROS S, et al. Behavioral and biochemical effects of N-Acetylcysteine in zebrafish acutely exposed to ethanol[J]. Neurochem Res, 2018, 43:458-464.
- [14] 白璐. 乙醇和相关物质分析方法以及乙醇代谢动力学影响因素的研究[D]. 成都: 四川大学, 2005.
BAI L. Analysis and pharmacokinetics of alcohol research[D]. Chengdu: Sichuan University, 2005.
- [15] PRAT G. Alcohol hangover: a critical review of explanatory factors[J]. Human psychopharmacology: clinical and experimental, 2009, 24(4):259-267.
- [16] VAN DE LOO A, MACKUS M, KORTE B G, et al. Urine ethanol concentration and alcohol hangover severity[J]. Psychopharmacology, 2017, 234(1):73-77.
- [17] MAXWELL C R, SPANGENBERG R J, HOEK J B, et al. Acetate causes alcohol hangover headache in rats[J]. PLoS One, 2010, 5(12):e15963.
- [18] TAKESHI H, YUKARI T, MITSUYASU K, et al. Dose and time changes in liver alcohol dehydrogenase (ADH) activity during acute alcohol intoxication involve not only class I but also class III ADH and govern elimination rate of blood ethanol[J]. Legal Medicine, 2003, 5(4):202-211.

[19]

葛向阳, 何宏魁, 刘国英, 等. 影响人体酒类乙醇代谢速度的关键风味物质[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(1):160–164.
GE X Y, HE H K, LIU G Y, et al. Key flavor substances affecting the metabolism rate of ethanol[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(1):160–164.

[20]

张晓婕, 邱树毅, 王晓丹, 等. 不同质量酱香型白酒的挥发性物质差异分析[J]. 中国食品学报, 2022, 22(10):340–351.
ZHANG X J, QIU S Y, WANG X D, et al. Analysis of volatile compounds in different quality of Maotai-flavored liquor[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(10):340–351.

[21]

COLANTONI A, EMANUELE M A, KOVACS E J, et al. Hepatic estrogen receptors and alcohol intake[J]. Molecular & Cellular Endocrinology, 2002, 193(1/2):101–104.

[22]

张艳, 石晓玲, 赵志东, 等. 酒驾血醇清除率与人体年龄、体重、性别的相关性分析[J]. 基因组学与应用生物学, 2018, 37(2):531–535.
ZHANG Y, SHI X L, ZHAO Z D, et al. The analysis of the relationships among the age, weight, gender and the rate of elimination of blood alcohol concentration [J]. Genomics and Applied Biology, 2018, 37(2):531–535.

[23]

孙宝国, 黄明泉, 王娟. 白酒风味化学与健康功效研究进展[J]. 中国食品学报, 2021, 21(5):1–13.
SUN B G, HUANG M Q, WANG J. Research progress on flavor chemistry and healthy function of Baijiu[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(5):1–13.

[24]

蒋洋, 张翠英, 李于, 等. 酒类风味物质对人体乙醇代谢影响的研究进展[J]. 食品科学, 2021, 42(15):242–250.
JIANG Y, ZHANG C Y, LI Y, et al. Effect of flavor substances in alcoholic beverages on ethanol metabolism in human body: a review[J]. Food Science, 2021, 42(15):242–250.

[25]

徐佳楠. 影响浓香型白酒饮后舒适度关键酒体成分的评价模型建立[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2020.
XU J N. The Evaluation model was established for the key liquor composition influencing the comfort of strong-aroma Baijiu after drinking[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2020.

[26]

谢佳. 杂醇、酸、酯组成及氨基酸对白酒醉度的调节作用[D]. 广州: 华南理工大学, 2018.
XIE J. Effects of composition of fusel alcohols, acids and esters and amino acids on intoxicating degree of liquor[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2018.

[27]

IVAN E, MARIO M, MARKO J. Potential application of perfusion and pertraction for in situ product removal in biocatalytic 2-phenylethanol production[J]. Separation and Purification Technology, 2017, 183:11–20.

[28]

DU R, LIU J, JIANG J, et al. Construction of a synthetic microbial community for the biosynthesis of volatile sulfur compound by multi-module division of labor [J]. Food Chemistry, 2021, 347:129036.

Comfort Evaluation After Drinking Baijiu and Its Correlation
Analysis with Main Flavor Components

FANG Songping^{1,2}, LIU Feixiang¹, XING Shuang^{1,2}, QIAN Yu¹
(1. Department of Biology and Food Engineering, Bozhou College, Bozhou 236800, China;
2. Bozhou Key Laboratory of Health-Preserving Blended Alcoholic Beverage, Bozhou College, Bozhou 236800, China)

Abstract: In order to explore comfort difference after drinking different flavor Baijiu, blood alcohol concentration (BAC) was measured by breath alcohol detector, and determination method was optimized. The area under the BAC curve after drinking was used to construct an evaluation model to determine comfort index after drinking different flavor Baijiu, and the correlation between comfort index and main flavor components was studied by Pearson coefficient. The results showed that different dietary patterns and drinking intervals had significant impacts on BAC ($P < 0.05$), while drinking speed had no

significant impact on BAC ($P > 0.05$). The relative standard deviation of BAC measured using the optimized method was less than 5%. There was no significant difference between after drinking comfort index of the same Baijiu measured by different volunteers and the mean value of 89.3 ± 0.8 ($P > 0.05$), indicating that the evaluation model had good reproducibility. The comfort index after drinking 11 kinds of Baijiu among the 12 flavor Baijiu determined by evaluation model were significantly different from that of super grade alcohol group ($P < 0.05$). The correlation analysis showed that comfort index after drinking Baijiu was significantly negatively correlated with content of acetaldehyde, acetal, ethyl formate, ethyl acetate, ethyl isovalerate, and isoamyl alcohol ($P < 0.01$), and negatively correlated with the content of isovaleraldehyde, ethyl butyrate, *n*-propanol, *n*-amyl alcohol, and acetic acid ($P < 0.05$). Among them, isoamyl alcohol had the greatest negative effect on comfort index after drinking Baijiu. The logarithm of the total amount of flavor components negatively correlated with comfort index after drinking was used for polynomial fitting, and the regression equation $y = -5.453 + 66.605x - 7.137x^2$ ($R^2 = 0.849$, $P < 0.01$) was obtained. There was no significant difference between comfort index predicted by the regression equation and the measured value ($P > 0.05$). The research offered certain reference value for evaluation of comfort of solid Baijiu after drinking.

Keywords: Baijiu; comfort after drinking; flavor components; correlation analysis; evaluation method

(责任编辑:李 宁)

(上接第 57 页)

process was investigated. After natural clarification of the grape wine, the first distillation was performed, discarding the first 3% of distillate, and followed by the second distillation. In both distillations, the content of fruity esters, higher alcohols, and fatty acids in the distillate were monitored using GC-FID to study the distillation kinetics characteristics during distillation. Sensory quantitative analysis was conducted to assess the aroma characteristics of the distillation head, heart, and tail. The results indicated that most fruity esters rapidly accumulated during the initial stages of distillation in two distillation runs, reached stability thereafter and ceased accumulation in the middle stages of distillation. Higher alcohols were distilled from the beginning to the end of distillation runs, while fatty acids were primarily distilled in the middle to later stages. Analysis reveals that during the 40% to 60% stage of the second distillation, the main fermentation aroma compounds were distilled, showing a relatively balanced distribution. Sensory analysis revealed a pronounced spiciness in the head, harmonious fruity and alcoholic notes in the heart, and a distinct cooked aroma in the tail. Overall, the optimal distillation process for Hutai-8 grape brandy involved discarding the first 3% of distillate from the first distillation and conducting the second distillation with the remaining distillate. The initial 2% to 5% of the second distillate could be considered as head, the final 20% as tail, and the intermediary portion as heart. These findings provided technical guidance for the distillation process of grape brandy, particularly in selecting fractions during distillation.

Keywords: brandy; distilled spirits; fruity esters; fermentative aroma compounds; dynamic model

(责任编辑:李 宁)