

白酒风味物质对饮后醉酒度影响的研究进展

武正芳^{1,2}, 司冠儒³, 李明辉¹, 高传强^{1,2,*}

(1.安徽宣酒集团股份有限公司, 安徽 宣城 242000; 2.中国白酒风味与健康研究中心, 安徽 宣城 242000;

3.合肥工业大学食品与生物工程学院, 安徽 合肥 230601)

摘要: 随着消费升级和健康理念的普及, 白酒饮后醉酒度已成为消费者评判产品品质的重要指标。白酒中的风味成分不仅直接影响产品的感官品质, 更通过调节乙醇代谢、神经反应和生理机能等途径, 对饮后醉酒度产生关键性影响。该文系统阐述醉酒度的概念, 介绍主观评价、行为学测试和生物标志物检测3类评价方法, 重点综述酯、醇、酸、醛、酚、吡嗪等风味成分对醉酒度的影响, 为提升白酒品质研究及白酒产业健康发展提供参考。

关键词: 白酒; 风味成分; 醉酒度

Research Progress on the Influence of Flavor Compounds in Baijiu on Post-Drinking Drunkenness Degree

WU Zhengfang^{1,2}, SI Guanru³, LI Minghui¹, GAO Chuanqiang^{1,2,*}

(1. Anhui Xuanjiu Group Co. Ltd., Xuancheng 242000, China;

2. China Baijiu Flavour and Health Research Centre, Xuancheng 242000, China;

3. School of Food and Biological Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230601, China)

Abstract: With the upgrading of consumption and the popularization of health concept, the post-drinking drunkenness degree has become a crucial index for consumers to evaluate the quality of Baijiu. The flavor components in Baijiu not only directly affect the sensory quality of the product, but also have a key impact on the post-drinking drunkenness degree by regulating ethanol metabolism, neural response and physiological function. In this paper, the concept of drunkenness degree was systematically expounded, three evaluation methods including subjective evaluation, behavioral testing and biomarker testing were introduced, and the effects of flavor components such as esters, alcohols, acids, aldehydes, phenols and pyrazines on drunkenness degree were mainly reviewed, so as to provide a reference for improving the quality of Baijiu and the healthy development of the Baijiu industry

Keywords: Baijiu; flavor compound; drunkenness degree

DOI:10.11882/j.issn.0254-5071.2026.04.001

中图分类号: TS261

文献标志码: A

文章编号: 0254-5071 (2026) 04-0001-07

引文格式:

武正芳, 司冠儒, 李明辉, 等. 白酒风味物质对饮后醉酒度影响的研究进展[J]. 中国酿造, 2026, 45(4): 1-7. DOI:10.11882/j.issn.0254-5071.2026.04.001. <https://www.chinabrewing.net.cn>

WU Zhengfang, SI Guanru, LI Minghui, et al. Research progress on the influence of flavor compounds in Baijiu on post-drinking drunkenness degree[J]. China Brewing, 2026, 45(4): 1-7. (in Chinese with English abstract) DOI:10.11882/j.issn.0254-5071.2026.04.001. <https://www.chinabrewing.net.cn>

中国白酒主要成分为水、乙醇(两者占比约98%)及微量成分(约2%), 后者含酯、醇、酸、醛、酚、吡嗪等, 是决定白酒香型、风格与品质的关键因素, 能够通过复杂的相互作用直接影响酒体的感官刺激度和风味协调度。随着健康消费理念的普及, 醉酒度作为消费者

饮酒后生理体感的直观评价指标, 已成为衡量白酒品质的核心标准。相较于传统理化指标, 其客观性与真实性更契合消费需求, 深刻反映了消费者对“健康化”“舒适化”的诉求。在此背景下, 白酒产业已步入关键的历史性转型阶段, “低醉微醺”正逐渐成为驱动这一产业

收稿日期: 2025-08-25

第一作者简介: 武正芳(2000—), 女, 助理工程师, 硕士, 研究方向为酒体设计。E-mail: 3306796325@qq.com

*通信作者简介: 高传强(1966—), 男, 正高级工程师, 硕士, 研究方向为白酒生产、酒体设计。

E-mail: 1549252486@qq.com

变革的核心导向。在同等摄入量条件下,不同白酒的醉酒度感知存在显著差异。这表明醉酒度不仅与乙醇摄入量有关,还与风味物质种类、含量及比例密切相关^[1]。本文通过系统分析白酒风味成分与醉酒度的关联,为降低白酒醉酒度提出相应措施,旨在为产业健康发展提供理论依据。

1 醉酒度的定义与内涵

随着消费者健康意识的增强,饮后感受逐渐成为评价白酒品质的重要因素。2007年,曾祖训在四川省酿酒协会年会上首次提出“醉酒度”概念,对其描述为“不辣嘴、不刺喉,喝酒时醉得慢、醒得快,喝完后不口干、不上头”。此后,这一概念进一步明确为“饮酒后对精神的激活程度,本质是白酒中除乙醇外其他活性成分所造成的醉酒程度和舒适程度差异”。同时指出优质白酒应具备入口醇和爽净,饮酒过程醉得慢、醒得快,酒后不口干、不上头等品质特色^[2]。

2 醉酒度评价方法

白酒醉酒度评价是一个涉及生理反应、乙醇代谢和个人体质的复杂问题,目前尚无国际统一的标准化测量方法。目前有关醉酒度的评价方法主要包括主观评价、行为学测试和生物标志物检测3大类。

2.1 主观评价法

最早国际上关于醉酒度评价的相关方法是通过建立乙醇宿醉严重程度量表(alcohol hangover severity scale, AHSS)、急性宿醉量表(acute hangover scale, AHS)、宿醉症状量表(hangover symptom scale, HSS)等方法对饮后宿醉程度进行表征评价^[3]。HSS旨在回顾性评估宿醉症状的发生,包含13项:口渴、疲倦、头痛、注意力不集中、恶心、虚弱、对光和声音敏感、出汗、睡眠困难、呕吐、焦虑、颤抖和抑郁^[4]。AHS旨在评估并发的宿醉症状,主要对宿醉、口渴、疲倦、头痛、头晕、恶心、胃痛、心跳加速和食欲不振共9种不同的宿醉症状进行评分^[5]。AHSS旨在评估宿醉的严重程度,评价的12项分别为疲劳、笨拙、头晕、冷漠、出汗、颤抖、意识模糊、胃痛、恶心、注意力不集中、心跳加速和口渴^[6]。近年来,随着宿醉机制研究的深入和评价体系的完善,宿醉量表在信效度和临床应用方面得到显著优化,如Mackus等^[7]开发的宿醉综合评估量表整合了HSS、AHSS等多项宿醉症状量表的核心指标,被用于饮后宿醉症状的准确评估。

2.2 行为学测试

近年来,国内外研究者多采用动物行为学法研究饮后醉酒度,这种评价方法因客观性强而被广泛应用。如Sinclair等^[8]率先提出,大多数宿醉症状是乙醇引起的急

性机体生理反应变化而非主观感受,因此宿醉适合像慢性乙醇戒断(动物模型已较为成熟)一样使用动物模型进行研究。基于此,该研究团队对大鼠进行急性乙醇暴露,观察到大鼠在急性乙醇暴露后的24 h内出现了体温升高、发声次数增加、在空旷场地活动下降以及跑轮过度活跃等现象。随着对醉酒症状研究的深入,动物行为学评价醉酒度的方法也逐渐丰富,截至目前,使用较多的有旷场实验、翻正反射实验、平衡木实验、高架十字迷宫实验、Y迷宫实验等,用于评估乙醇对神经运动系统的影响^[9-10];此外还有小鼠疲劳模型^[11]、斑马鱼醉酒模型等^[12]。

2.3 生物标志物检测

饮酒后无法直观测量饮酒对身体状态的影响,与直接测量血液中乙醇相比,检测乙醇生物标志物表现出更多的优势:灵敏度高、特异性强、检测时限宽、鉴别能力强等。醉酒后生物标志物检测可分为直接生物标志物和间接生物标志物。

直接生物标志物是乙醇进入人体后,未被代谢的原型或其代谢产物,可直接证明乙醇摄入,是判断“是否饮酒”“饮酒量多少”“醉酒即时状态”的关键指标。其特点是特异性高(仅与乙醇摄入相关)、能反映摄入时间与剂量,但检测窗口(体内留存时间)差异较大。除乙醇外,乙基葡萄糖醛酸苷(ethylglucuronide, EtG)和硫酸二乙酯(ethylsulfate, EtS)作为乙醇的代谢产物,也常作为宿醉标志物,并且EtG与宿醉产生的头痛具有直接的显著相关性。乙醇摄入后,90%~95%在肝脏氧化为乙醛,仅0.02%~0.06%以EtG形式经尿排出。血液中EtG可检出时间为6~18 h,尿液中达80 h,而EtS的检测窗口长于EtG。因此为避免出现假阴性,乙醇标志物检测常同时分析EtG与EtS^[13]。

间接生物标志物并非乙醇本身或其代谢产物,而是乙醇摄入(尤其是长期或大量摄入)引发机体器官损伤、代谢紊乱后产生的生物指标。乙醇主要在肝脏代谢,长期或大量饮酒可导致肝细胞损伤,故肝功能指标异常是最常见的间接标志物,如 γ -谷氨酰转氨酶、天门冬氨酸转氨酶与丙氨酸转氨酶等。此外,还可以通过血液、尿液或组织中神经递质(如多巴胺、5-羟色胺)以及细胞因子(如白细胞介素6、肿瘤坏死因子 α)等检测乙醇对于人体损伤程度^[14]。

3 白酒风味成分对醉酒度的影响

饮后醉酒度是多重因素协同作用的结果,既受饮用者个体差异(如遗传背景、生理状态、情绪变化)和饮酒环境等外在条件影响,也与酒体本身的感官特性(风味成分组成、含量及其协调性)密切相关。适量饮酒时,酒体风味成分与协调度对醉酒度的影响尤为显著^[15-16]。在众多的风味组分中,部分成分呈正向调节作用,部分则

表现为负面影响,大多具有浓度依赖性,在适量范围内可能有益,但超过特定阈值则转为负面作用。

3.1 酯类

中国白酒的典型特征之一是其较高的酯类物质含量(占挥发性风味物质总质量的60%以上)。由于含量丰富、种类多样,酯类长期被视为白酒品质的关键指标,传统观念普遍认为酒中酯类含量越高则酒质越优。然而实践与研究^[14,17]均表明,这一观点并不准确,酯类物质需处于适宜浓度范围内,才能获得较好的饮后舒适度。酯类成分对醉酒度的影响机制复杂,不同种类酯类甚至可能表现出截然相反的调节作用。

中低碳链的脂肪酸酯通常呈现水果的香气和甜感,在适量范围内多对醉酒度产生积极影响。刘煜飞^[13]研究表明,乳酸乙酯、乙酸乙酯和异戊酸乙酯与血清内皮素、脑多巴胺、佩尔马戒断阈值和步态障碍相关参数呈显著负相关,说明其可有效缓解宿醉症状。Jie Huangfu等^[18]通过主成分分析同样推断,乙酸乙酯、乳酸乙酯能够降低宿醉引起的醉酒行为。部分酯类可以通过抑制或麻醉神经系统减轻酒后头痛,还能通过激活乙醇代谢中关键酶的活性,加速乙醇和乙醛的代谢,降低乙醇引起的生理不适^[19]。郭雪峰^[20]研究指出,辛酸乙酯、月桂酸乙酯和己酸乙酯与致醉因子呈负相关,具有一定的醉酒缓冲和情绪稳定功能。此外,长链脂肪酸乙酯也被发现对白酒感官品质具有重要改善作用。田文静等^[21]研究表明,该类物质与酒体的花香、果香呈现及柔顺度均存在极显著正相关,其通过提升风味协调性和口感绵柔感,在一定程度上也有助于降低饮后醉酒度。

尽管上述酯类成分显示出积极的醉酒缓解作用,但关于酯类物质对醉酒度的影响仍存在不同观点与争议。如温银萍^[22]提出,乙酸乙酯可能与饮酒后注意力下降有关,而己酸乙酯和丁酸乙酯则有助于缓解疲劳、头痛和口渴等醉酒症状。赵文梅等^[23]报道己酸乙酯、癸酸乙酯、辛酸乙酯、庚酸乙酯等与头晕、头痛等饮后不良反应有较高的正相关性。造成这些结论不一致的原因之一可能在于酯类物质对乙醇代谢酶活性的复杂调控。方颂平等^[24]发现,甲酸乙酯、乙酸乙酯、己酸乙酯、庚酸乙酯及对棕榈酸乙酯可抑制乙醇脱氢酶(alcohol dehydrogenase, ADH)活性,而丙酸乙酯则表现出激活作用。曾礼兰^[25]研究指出,除乳酸乙酯外,酯类风味成分通常会抑制ADH活性,促进乙醛脱氢酶(acetaldehyde dehydrogenase, ALDH)活性。这种激活可能延迟醉酒反应,反而导致摄入过量。手性风味成分中,*D*-乳酸乙酯对ADH和ALDH均具有激活作用,而*L*-乳酸乙酯则表现出抑制作用。综合来看,目前关于酯类物质对白酒醉酒度的影响尚未形成统一结论,可能与研究过程中样品酯类物质浓度差异有关。

3.2 醇类

从酒体本身来看,乙醇会刺激胃肠道并抑制中枢神经系统功能。其代谢产生的乙醛在体内累积后,可能引起末梢血管扩张(表现为面部潮红)和中枢血管收缩(导致血压升高与头晕等症状)。作为白酒风味体系的重要组成部分,高级醇的组成与含量对酒体风格具有显著影响,并直接取决于原料种类、酿造工艺及发酵条件。通常而言,固态发酵工艺所产生的高级醇含量低于液态发酵,低温发酵体系低于高温发酵,无堆积发酵方式低于堆积发酵。适量高级醇有助于酒体风味特征的形成,但过量摄入则会显著增强饮后醉酒效应^[26]。由于高级醇在体内的代谢速率低于乙醇,其滞留时间延长及代谢失衡被认为是诱发醉酒反应的关键因素。过量摄入会抑制中枢神经系统功能,导致头晕、头痛等典型醉酒症状^[27]。

白酒中高级醇主要包括异戊醇、正丙醇、异丁醇、正己醇等。大量研究表明,高级醇会显著影响饮后醉酒度。格绒泽仁^[28]研究发现,浓香型白酒中异戊醇含量与小鼠行为停滞次数呈正相关,正丙醇含量则显著抑制小鼠的兴奋状态并诱发酵酒表征,表明二者是引发饮后不适的主要致醉因子。进一步机制研究表明,异戊醇可通过抑制ADH和ALDH活性,从而加剧醉酒反应^[29]。异戊醇和正丙醇在质量浓度分别为20~310、30~500 mg/L范围内,随着质量浓度升高,ALDH活性呈现下降趋势^[30-31]。刘媛春等^[32]研究同样显示,浓香型白酒中高浓度的异丁醇、正戊醇和异戊醇会显著降低小鼠的协调能力,并导致血液中乙醇和乙醛含量上升。尽管上述多项研究一致表明高级醇与醉酒度之间存在较强关联,但赵文梅等^[23]研究也指出,当酒样中异戊醇质量浓度处于223.38~251.18 mg/L范围时,其与饮后不适症状并无显著相关性,这提示高级醇的致醉效应可能存在浓度阈值。

3.3 酸类

酸类作为白酒骨架风味物质之一,主要包括短链脂肪酸(如乙酸、乳酸、己酸等)和长链脂肪酸(如棕榈酸、油酸、亚油酸等)。酸类物质对白酒的味感及饮后醉酒度具有多维度调控作用。酸类物质能够调节白酒的酸碱度,适宜的酸度既能赋予酒体协调的味觉体验,影响酒体醇厚度、香气和口感平衡,又能有效降低白酒辛辣味和苦涩度,增加甜味^[17,33]。此外,适量的有机酸可促进唾液分泌,缓解乙醇对口腔和胃部的刺激,减轻饮酒后的口干和胃部不适,降低饮后醉酒度。其中,短链脂肪酸具有较高的健康属性,而长链脂肪酸则能够通过分子作用协调酒体风味。在一定程度上,有机酸含量越高,酒体的风味性与健康性越好,以酱香型白酒质量要求为例,优级酱香型白酒总酸需达到1.5 g/L。但酒体中酸过量时也会导致口感粗糙刺激,反而影响饮用体验。

多项研究表明,白酒中有机酸的种类与含量(如乙酸、乳酸、丙酸等)越丰富,越能加快血液中乙醇的代

谢与分解速度,进而有助于提升醒酒速度、降低醉酒度^[34]。卢君等^[35]通过主成分分析不同香型白酒,推测酱香型白酒中较高含量的有机酸可以和其他风味协同增效降低乙醇负性效应。谢佳等^[29]研究表明,酯类和酸类尤其是乙酸的缺失将导致小鼠血液乙醇和乙醛含量升高,造成更大的机体损伤,进而引起醉酒度升高。彭斌等^[36]研究表明,乙酸能较好地促进乙醇代谢,减轻其他组分对ADH和ALDH活性的抑制作用,且会刺激小鼠记忆能力,显著降低潜伏逃脱时间。方颂平等^[24]研究表明,大部分酸类对ADH的活性影响不大,而丙酸、丁酸、异丁酸、异戊酸、庚酸、辛酸、甲酸对ALDH有显著激活作用,其中10 mg/L丙酸对ALDH的激活率高达52.7%。对于长链脂肪酸, Liu Qingru等^[37]发现其可抑制大多数风味化合物和乙醇的挥发,但促进丁酸乙酯等少数风味化合物的挥发,降低白酒嗅闻刺激性,增加酒体醇厚感,在一定程度上降低醉酒度。白酒陈化过程中长链脂肪酸含量的积累现象,则进一步支持其在改善饮后舒适性方面的潜在作用^[38]。值得注意的是,白酒中乳酸有L型和D型两种旋光异构体,人体仅能代谢L型,而D型的积累可能导致代谢性酸中毒。在白酒风味构成中,L-乳酸贡献酸涩微甜风味,D-乳酸则带来辛辣感,影响酒体品质和醉酒度。市售白酒普遍存在D-乳酸含量偏高现象,可以通过优化发酵工艺参数(如温度控制、发酵周期调节)及选育L-乳酸高产菌株,提高L-乳酸比例,提升白酒品质^[39]。

3.4 醛类

白酒中的醛类主要包括乙醛、乙缩醛、糠醛等,其中乙醛和乙缩醛的含量占总醛量比例超过90%。作为醇类氧化代谢产物,醛类化合物虽能赋予酒体特定香气成分,但其对酒体品质及饮用舒适度的负面影响更为显著。过量醛类不仅会破坏酒体风味协调性,还会产生刺鼻的刺激性气味。此外,醛类还能够通过与蛋白质交联、抑制乙醇代谢酶活性等途径,显著加重饮酒后的醉酒反应和不适症状。因此,在酿造过程及酒体设计中,都应尽可能降低醛类物质含量。

白酒中的醛类以乙醛为主,同时乙醛也是乙醇在人体内的首要代谢产物。作为I类致癌物,无论源于酒体或体内代谢,乙醛均会加剧醉酒反应——浓度越高、滞留时间越长,对健康危害越大。当人体摄入过多时,会刺激血管扩张,导致脸红、头晕、心跳加速等症状,还会通过刺激呕吐中枢、导致中枢神经系统缺氧等机制,成为宿醉(头痛、恶心、口干、眩晕)的主要成因^[40]。尤其是东亚人群ALDH2功能缺失突变的高发生率(30%~50%),使得这一群体对乙醛的代谢能力显著下降,导致其成为饮后极度不适的核心原因^[41]。Liu Yufei等^[42]通过小鼠灌胃后神经生化及行为学参数分析发现,醛类含量高的白酒会诱导更严重的宿醉反应,其中乙醛与头痛、眩晕症状呈显著正相关。程石等^[43]同样认为白酒饮后不良感受主

要源于乙醛。方颂平等^[24]对饮后舒适度和主要风味成分之间的相关性进行了研究,结果显示,乙醛、乙缩醛含量与饮后舒适度指数之间呈负相关。

3.5 其他影响因素

白酒的品质不仅取决于骨架风味成分,更与微量复杂组分的多样性及其相对含量密切相关。研究表明,低于10 mg/L的微量组分(如吡嗪类、酚类、萜烯类等)虽然质量浓度极低,但对酒体风味质量和醉酒度存在密切关联,具有阈值低但感官贡献大、成分复杂、不易控制等特点^[44]。一般而言,微量组分的种类丰富度越高,白酒品质越好,同时表现出更低的醉酒度。

白酒中已鉴定出超过3 000种风味物质,其中138种具有健康活性(如吡嗪类、酚类、多肽类等)。如第8代五粮液中就检测到超过3 000种化合物^[45]。理论上,酒体中微量成分的多样性越高,其对醉酒度的缓冲作用可能越显著。研究发现,四甲基吡嗪作为白酒中重要的香气化合物及健康活性物质,能够改善脑血流且能扩张小动脉^[46]。赵文梅等^[23]研究表明部分酮类(丙酮、3-羟基-2-丁酮)、吡嗪类(三甲基吡嗪、四甲基吡嗪)与饮酒后多种不良症状呈负相关。郝飞克等^[47]认为白酒中酚类物质(4-甲基苯酚、4-乙基苯酚、4-甲基愈创木酚、4-乙基愈创木酚等)、多肽、吡嗪类等物质与饮后舒适度呈正相关,在白酒中可以作为缓冲物质,减少白酒饮后醉酒度和相关副作用。白酒中含有的丙氨酸和亮氨酸是对健康有益的功能成分。研究表明,摄入特定小分子肽可提升血液中这两种氨基酸水平,从而缓解乙醇代谢损伤,这被认为是醒酒肽产品解酒护肝的主要机制^[42-43]。此外,牛磺酸和N-乙酰半胱氨酸等非蛋白类氨基酸具有抗氧化和激活乙醇代谢酶的作用,在抑制乙醇性肝损伤方面展现出潜在功效^[48]。

4 降低白酒醉酒度措施

4.1 低度白酒开发

人体摄入乙醇的绝对量及个体对乙醇代谢的差异,是饮后醉酒的首要原因。过量饮用乙醇会对上呼吸道、消化道以及肝脏等器官造成损伤,同时乙醇含量与损伤程度之间呈正相关关系,这一观点在医学界已达成共识^[49]。因此,严格把控饮酒时乙醇的摄入量,是缓解饮后醉酒度的有效途径之一。我国白酒的乙醇体积分数呈现明显的低度化发展趋势。新中国成立前,白酒乙醇体积分数普遍高于60%;20世纪中后期逐步降至52%~53%;近年来,随着健康消费理念的普及,产品乙醇体积分数进一步下降至40%~53%;当前行业正积极向30%及更低乙醇体积分数产品探索转型。为契合消费者对健康饮酒的需求,五粮液、泸州老窖、洋河、水井坊等众多酒企积极投身于低度酒的研发。如泸州老窖通过创新工艺,

调整发酵与勾调环节,成功推出乙醇体积分数38%的国窖1573低度白酒产品,在保证白酒风味的基础上,显著降低了消费者饮酒后的醉酒程度。但低度白酒在生产和贮藏中会存在酸增酯减、沉淀浑浊、风味成分改变等问题,可通过添加适量酸类物质、降低酒中的溶氧量、提高基酒质量、调整加浆用水等措施进行改善^[50]。

4.2 调控酒体中醇醛含量

我国白酒中的高级醇含量普遍低于威士忌、白兰地等国际蒸馏酒。然而,从健康饮用的角度来看,当前我国白酒中的高级醇含量仍然偏高,因此降低其含量是改善饮后醉酒度的关键措施之一。高级醇作为酵母代谢副产物,其生成主要依赖Ehrlich途径和Harris途径。为有效控制高级醇含量,目前主要采取以下技术手段:在菌种选育方面,通过基因编辑技术敲除苏氨酸脱氨酶(*L-isoleucine, ILVI*)、*L*-亮氨酸(*L-leucine, LEUI*)等支链氨基酸代谢基因并过表达*L*-缬氨酸(*L-valine, BATI*)和激活转录因子1(activating transcription factor 1, *ATF1*)基因,可显著调控高级醇合成途径。Jiang Jian等^[51]研究证实,优化毕赤酵母与酿酒酵母接种比例可使高级醇产量降低19.8%。在工艺优化方面,采用缓火蒸馏结合分段摘酒技术,并配合后期改性活性炭吸附处理,可在最大限度保持酒体风味的同时有效降低高级醇含量^[27,52]。

在醛类物质控制方面,研究指出稻壳中的微量杂质会促进辛醛、壬醛等醛类物质的生成,建议减少辅料用量或进行清蒸预处理。Yu Yougui等^[53]采用稻壳与黄水(1:15, g/mL)混合烘干工艺,使乙醛和糠醛含量分别降低38.30%和49.02%。使用鲜竹替代稻壳酿造清香型白酒可显著降低酒醅与成品酒中的糠醛含量,其中酒醅中糠醛含量可降低88.5%^[54]。王寿峰等^[55]制备的胺基改性树脂可选择性吸附白酒中的醛类物质,对酱香型白酒中乙醛和糠醛的去除率分别达到92.50%和98.00%。彭晶晶等^[56]通过磷酸改性活性炭,改性条件为磷酸溶液体积分数35%,浸渍比1:7, 200 ℃活化2 h, 300 ℃碳化2 h,将糠醛去除率从13.18%提高至39.28%,同时总酯保留率由87.09%提升至97.96%。董蕴等^[57]研究发现,采用七塔层塔式蒸馏设备对酒头进行重蒸处理,可显著降低浓香型白酒中乙醛和乙缩醛含量,提升酒体协调性。在贮存过程中,乙缩醛含量逐渐上升,乙醛含量相应下降,最终达到动态平衡,采用露天贮存或物理催陈技术可加速该过程。需要注意的是,醛类作为重要的风味物质,其含量调控需兼顾健康属性和风味特征^[58]。

4.3 勾兑等其他技术措施

在白酒勾兑工艺中,通过科学配伍不同季节酿造及不同馏分段的基酒,能够有效调节酒体中酸、酯、醇、醛等风味物质的比例平衡。此外,借助科学调配不同风格与工艺的基酒,可进一步优化酒体微量成分的组

成及比例关系,进而降低醉酒度。目前在白酒12大香型体系中,多数衍生香型(如兼香型、馥郁香型、芝麻香型等)均以酱香、浓香、清香或米香型等基础香型白酒为基酒,通过特定比例组合与工艺调整而衍生形成。多风格基酒的组合应用能显著提升酒体中吡嗪类、萜烯类等活性成分的多样性,从而降低饮后醉酒效应^[59]。适当延长白酒贮存时间也可在一定程度上改善饮后醉酒度,韩英等^[60]研究发现,与短期贮存白酒相比,长期贮存的清香型白酒饮后醉酒度明显降低。其原因可能是随着贮存时间延长,酒体中总酸含量及酸酯比逐渐升高,总酯含量相应降低,其中乳酸乙酯的含量下降,同时乙缩醛的转化量增加,这些成分的动态变化共同作用,有助于改善饮后醉酒度。此外,新工艺白酒生产中,采用优质食用乙醇作为原料,可有效减少饮后不适症状的发生率,并显著缩短醉酒时间^[58]。

4.4 提升酒体风味协调性

酒体风味优美度与协调度越高,醉酒度往往越低,其核心机制在于风味物质与乙醇的相互作用及后续生理效应^[61]。研究表明,当酒体中酯类、杂醇、有机酸等骨架风味成分处于适宜含量,且酸酯比、醇酯比等关键比例协调时,能够促进醇水氢键缔合,减少游离乙醇的感官刺激,从而提升酒体的绵柔与协调性。这种分子层面的缔合效应还可能延缓乙醇在胃肠道的吸收速率,避免血液乙醇浓度急剧上升,进一步降低饮后醉酒度^[62-64]。此外,优雅协调的风味特征能够显著增强饮用的愉悦感,减轻心理应激水平,引导饮用者放缓摄入节奏,从行为层面减少单位时间的乙醇摄入量。因此,风味的优美与协调不仅是评判白酒感官品质的核心指标,也是实现低醉酒度、高舒适度饮后体验的重要科学依据,已成为健康导向型白酒酒体设计的根本原则。

5 结 语

白酒醉酒度受其复杂风味体系综合调控,涉及醇、醛、酸、酯类微量成分的绝对含量、相对比例与协同作用。其中酯类对醉酒度的影响尤为复杂,目前尚未形成统一论。总体来看,合理降低乙醇体积分数,减少乙醇的直接摄入;通过菌种改良、工艺优化及后处理技术(如吸附、蒸馏分段)降低高级醇和醛类含量;提升酒体风味物质的协调度以及酒体中有机酸、四甲基吡嗪、酚类等功能型微量成分的丰度,均有助于改善饮后醉酒度。然而当前研究主要聚焦于醇醛类物质控制,对酸酯平衡及微量成分协同机制的探索相对不足。未来应重点研究酸酯代谢调控机制,深入挖掘兼具风味与健康功能的微量成分并阐明其分子作用机理,为低醉酒度白酒研发提供新的理论依据和技术支撑。

参考文献:

- [1] LI J, WANG C, SUN P, et al. Comparison of post-consumption attention between two different aroma types of Baijiu using the stroop task[J]. *Foods*, 2025, 14(13): 2352.
- [2] 曾祖训. 白酒醉酒度低的产品是消费者的新追求[J]. *酿酒科技*, 2008(10): 115-116.
- [3] 单义民, 刘德华, 王磊, 等. 饮酒“上头”的评价方法及其应用[J]. *酿酒科技*, 2016(4): 116-119.
- [4] 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]. *Alcohol Clin Exp Res*, 2003, 27(9): 1442-1450.
- [5] CHAPMAN L F. Experimental induction of hangover[J]. *Q J Stud Alcohol*, 1970, 5: 67-86.
- [6] ROHSENOW D J, HOWLAND J, MINSKY S J, et al. The acute hangover scale: a new measure of immediate hangover symptoms[J]. *Addict Behav*, 2007, 32(6): 1314-1320.
- [7] MACKUS M, VAN DE LOO A J A E, VAN DEN BOGAARD W J M, et al. The 5HTOL/5HIAA ratio as a biomarker of alcohol hangover[J]. *J Clin Med*, 2021, 10(18): 4241.
- [8] SINCLAIR J D, TAIRA T. Hangover hyperthermia in rats: relation to tolerance and external stimuli[J]. *Psychopharmacology*, 1988, 94(2): 161-166.
- [9] 卢中明, 许欣, 杜礼泉, 等. 白酒醉酒度实验动物评价方法优化的研究[J]. *酿酒*, 2021, 48(1): 32-36.
- [10] 袁婷婷, 李燊, 吴燕, 等. 长期自由选择饮酒小鼠模型的建立及其行为学评价[J]. *北京大学学报(医学版)*, 2023, 55(2): 315-323.
- [11] 牛曼思, 童钰琴, 李姝, 等. 复方金钗石斛保健酒缓解小鼠体力疲劳的研究[J]. *中国酿造*, 2020, 39(12): 198-202.
- [12] ZHU H, LAN C, ZHAO D, et al. Wuliangye Baijiu but not ethanol reduces cardiovascular disease risks in a *Zebrafish thrombosis* model[J]. *Npj Science of Food*, 2022, 6(1): 55.
- [13] 刘煜飞. 浓香型白酒关键宿醉物质鉴定及其诱导宿醉机制研究[D]. 无锡: 江南大学, 2024.
- [14] 孙婷婷, 李文艳, 蒋燕明, 等. 白酒中风味成分对饮后舒适度影响的研究进展[J]. *中国酿造*, 2025, 44(2): 14-19.
- [15] 余华, 王卫, 张佳敏, 等. 醉酒度及其在白酒品质评价中的意义[J]. *酿酒科技*, 2013(1): 120-123.
- [16] 郭松波. 酱香型白酒风味和饮用品质特征的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2021.
- [17] QIU W, RU H L, WANG J L, et al. Odor threshold dynamics during Baijiu aging: ester-acid interactions[J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2025, 217: 117436.
- [18] JIE H F, LU J, LI C W, et al. Evaluating and forecasting the associated main flavor components in Baijiu (Chinese distilled spirits) with alcohol metabolism and hangover symptoms through mice acute withdrawal model[J]. *Food Sci Nutr*, 2023, 11(1): 334-343.
- [19] XU Y, ZHAO J, LIU X, et al. Flavor mystery of Chinese traditional fermented Baijiu: the great contribution of ester compounds[J]. *Food Chem*, 2022, 369: 130920.
- [20] 郭雪峰. 基于多组学策略对不同香型白酒醉酒度及其致醉机制的研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2022.
- [21] 田文静, 武亚帅, 王硕, 等. 多元化学计量学结合分子感官组学探究长链脂肪酸乙酯对不同白酒馏段品质的影响[J]. *中国酿造*, 2024, 43(12): 116-23.
- [22] 温银萍. 基于量表、酒样微量成分和生物标志物的宿醉程度评价方法[D]. 石河子: 石河子大学, 2024.
- [23] 赵文梅, 姚逸萍, 陈禹锜, 等. 酱香型白酒饮后舒适度与主要风味成分相关性分析[J]. *酿酒科技*, 2022(8): 59-64.
- [24] 方颂平, 高纬光, 冯盼盼, 等. 白酒中主要风味成分体外对乙醇代谢关键酶活性的影响及其应用研究[J]. *食品与发酵工业*, 2025, 46(5): 75-83.
- [25] 曾礼兰. 浓香型白酒及其风味成分对乙醇代谢关键酶活性的影响[D]. 成都: 四川大学, 2021.
- [26] CUI D, LIU L, ZHANG X, et al. Using transcriptomics to reveal the molecular mechanism of higher alcohol metabolism in *Saccharomyces cerevisiae*[J]. *Food Biosci*, 2023, 51: 102227.
- [27] WU Z Y, LV S L, XIAO P, et al. Comprehensive analysis of risk factors (methanol, acetaldehyde and higher alcohols) in alcoholic beverages and their reduction strategies: GC-MS analysis and modified activated carbon adsorption and characterization[J]. *Food Chem*, 2024, 460: 140461.
- [28] 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]. 雅安: 四川农业大学, 2019.
- [29] 谢佳, 彭斌, 何松贵, 等. 白酒关键微量成分对醉度及小鼠乙醇代谢和急性酒精性肝损伤的影响[J]. *中国酿造*, 2018, 37(6): 155-160.
- [30] 徐佳楠, 皇甫洁, 刘薇, 等. 影响浓香型白酒醉酒程度的风味物质特异性分析[J]. *中国酿造*, 2020, 39(7): 156-62.
- [31] 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.
- [32] 刘媛春, 曾礼兰, 方帅, 等. 浓香型白酒风味成分对乙醇代谢及关键酶活性影响的体内实验研究[J]. *中国酿造*, 2022, 41(6): 122-128.
- [33] WU Y, HOU Y, CHEN H, et al. “Key Factor” for Baijiu quality: research progress on acid substances in Baijiu[J]. *Foods*, 2022, 11(19): 2959.
- [34] 汪诗欣, 开朗, 杨静怡, 等. 浓香型白酒中短链脂肪酸及其乙酯对人体的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(16): 257-263.
- [35] 卢君, 皇甫洁, 刘雅, 等. 酱香型白酒对小鼠慢性酒精性肝损伤的影响效应[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(16): 237-244.
- [36] 彭斌, 张敬媛, 何松贵, 等. 白酒醇酯比率对小鼠酒后乙醇代谢及行为能力的影响[J]. *中国酿造*, 2022, 41(1): 103-108.
- [37] LIU Q R, LIN X L, LU Z M, et al. Influence on the volatilization of ethyl esters: nonnegligible role of long-chain fatty acids on Baijiu flavor via intermolecular interaction[J]. *Food Chem*, 2024, 436: 137731.
- [38] WU Y, CHEN H, HUANG H, et al. Revelation for the influence mechanism of long-chain fatty acid ethyl esters on the Baijiu quality by multicomponent chemometrics combined with modern flavor sensomics[J]. *Foods*, 2023, 12(6): 1267.
- [39] 杨荣, 华进, 周亚宾. 白酒酿造中两种手性乳酸产生机理及控制措施的研究进展[J]. *中国酿造*, 2024, 43(5): 18-24.
- [40] 朱梦旭, 范文来, 徐岩. 我国白酒蒸馏过程及原酒、成品酒中乙醛的研究[J]. *食品与发酵工业*, 2016, 42(4): 6-11.
- [41] WARD R J, MCPHERSON A J, CHOW C, et al. Identification and characterisation of alcohol-induced flushing in Caucasian subjects[J]. *Alcohol Alcoholism*, 1994, 29(4): 433-438.
- [42] LIU Y F, REN Q X, ZHOU Z L, et al. Baijiu hangover: correlation analysis between neurobiochemical and behavioral parameters in a mouse model and clinical symptoms[J]. *Food Biosci*, 2024, 59: 103799.
- [43] 程石, 杨红文, 彭兵, 等. 白酒饮后不良感受的影响因素分析[J]. *酿酒科技*, 2025(5): 17-23.
- [44] 郭学武, 范恩帝, 马冰涛, 等. 中国白酒中微量成分研究进展[J]. *食品科学*, 2020, 41(11): 267-276.
- [45] SUN J, ZHU Y, WANG P, et al. Research progress in the flavor chemistry and health effects of Baijiu[J]. *Agr Prod Process Storage*, 2025, 1(1): 2.

- [46] 龙亚飞, 赵益梅, 冉光耀, 等. 中国白酒中健康因子四甲基吡嗪的研究进展[J]. 酿酒科技, 2023(12): 79-85.
- [47] 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.
- [48] 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.
- [49] GBD 2020 Alcohol Collaborators. Population-level risks of alcohol consumption by amount, geography, age, sex, and year: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2020[J]. Lancet, 2022, 400: 185-235.
- [50] 罗高建, 易翔, 祝成, 等. 不同处理方法对低度清香白酒品质的影响研究[J]. 酿酒科技, 2025(5): 54-60.
- [51] JIANG J, LIU Y, LI H, et al. Modeling and regulation of higher alcohol production through the combined effects of the C/N ratio and microbial interaction[J]. J Agr Food Chem, 2019, 67(38): 10694-10701.
- [52] WU Z, LV S, XIAO P, et al. Comprehensive analysis of risk factors (methanol, acetaldehyde and higher alcohols) in alcoholic beverages and their reduction strategies: GC-MS analysis and modified activated carbon adsorption and characterization[J]. Food Chem, 2024, 460: 140461.
- [53] YU Y G, XIONG J W, CHEN Z P, et al. Enhancement of physical and chemical properties of rice hull via Huangshui bioconversion for improved Baijiu quality[J]. Appl Food Res, 2025, 5(2): 101228.
- [54] WEI Y, ZHANG L Q, RAN M F, et al. Investigation on fresh bamboo replacing rice husks for brewing light-aroma Baijiu[J]. J Food Sci, 2023, 88(4): 1224-1236.
- [55] 王寿峰, 丁秀国, 林嘉荣, 等. 白酒中乙醛和糠醛的吸附效果对比[J]. 食品科学, 2024, 45(14): 189-197.
- [56] 彭晶晶, 赵金松, 张良, 等. 改性酒用活性炭的制备条件优化及其对白酒中糠醛的吸附性能研究[J]. 中国酿造, 2025, 44(3): 80-86.
- [57] 董蕴, 唐亮, 郭涛红, 等. 浓香型白酒酒头风味物质解析及重蒸技术对其品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2025, 51(11): 351-257.
- [58] 田学梅, 张宿义, 郑若欣, 等. 白酒上头效应分析及降低措施探究[J]. 中国酿造, 2017, 36(7): 10-13.
- [59] SHI X S, ZHAO S M, CHEN S X, et al. Tetramethylpyrazine in Chinese Baijiu: presence, analysis, formation, and regulation[J]. Front Nutr, 2022, 125(1): 155-161.
- [60] 韩英, 刘荣, 郭黎媛, 等. 不同贮存时间清香型白酒饮后注意功能与舒适度差异性[J]. 食品与发酵工业, 2025, 51(10): 63-69.
- [61] 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.
- [62] 广家权, 倪永培, 王德良, 等. 一种低醉酒度、高舒适度的浓香型白酒酒体设计方法: CN119432533A[P]. 2025-02-14.
- [63] QIN D, SHEN Y, YANG S, et al. Whether the research on ethanol-water microstructure in traditional Baijiu should be strengthened?[J]. Molecules, 2022, 27(23): 8290.
- [64] 乔华, 张生万, 王浩江, 等. 白酒中乙醇-水缔合作用的研究进展[J]. 酿酒科技, 2014(3): 77-80.