

江苏白酒产业现状及风味研究进展

曹玉发*

(宿迁市产品质量监督检验所, 宿迁 223800)

摘 要: 白酒在发展过程中地域差异造就了其风味的多样性, 并形成了不同的风格和香型。江苏白酒在中国白酒中占据重要的位置, 随着现代风味化学分析技术的发展, 其风味密码也逐步被解开。江苏白酒中酯类化合物和酸类化合物是构成其独特风味的重要化合物, 但关于江苏白酒活性因子和异味成分检测的研究较少。导向培养市场消费喜好、寻找现代酿酒工艺和制定风味品质评价标准是未来江苏白酒发展的重要内容。本研究主要介绍了白酒风味研究中化合物提取与分离方法、定性与定量方法、重要风味化合物鉴定方法等, 并综述了近些年江苏白酒风味研究进展。

关键词: 江苏白酒; 风味分析; 洋河大曲; 风味化合物; 气相色谱-嗅闻仪

Review on Chinese liquor (Baijiu) industry and flavor researches in Jiangsu province

CAO Yu-Fa*

(Suqian Product Quality Supervision and Testing Institute, Suqian 223800, China)

ABSTRACT: In the process of liquor development, regional differences have brought about the diversity of flavor and formed different styles and flavor types. Jiangsu liquor occupies an important position in Chinese liquor. With the development of modern flavor chemical analysis technology, its flavor code has been gradually unraveled. Ester compounds and acid compounds in Jiangsu liquor are important compounds to form its unique flavor, however, there are few researches on the determination of activity factors and odor components of Jiangsu liquor. It is important to cultivate market consumption preference, find out modern brewing technology and establish flavor quality evaluation standard for the future development of Jiangsu liquor. This paper introduced the methods of extraction and separation of compounds in liquor flavor, qualitative and quantitative methods, and identification methods of important flavor compounds. At the same time, this paper reviewed the flavor research of Jiangsu liquor.

KEY WORDS: Jiangsu liquor; flavor analysis; Yanghedaqu liquor; flavor compounds; gas chromatography-olfactometry (GC-O)

1 引 言

白酒是世界最悠久蒸馏酒之一, 其利用天然微生物结合固态糖化发酵传统工艺蒸馏酿造而成, 被誉为中国国酒^[1]。中国白酒行业年产量超 1200 万吨, 年销售额约 8000

亿元, 其中四川、贵州、江苏、山东、安徽、山西、河南等省份所产酒量占中国白酒行业的 90%以上^[2,3]。由于酿酒过程中采用的酒曲、原料和工艺等的多样性, 中国大部分地区有自己特有的酒种, 如四川五粮液、贵州茅台、河南杜康、山西汾酒、江苏洋河大曲等^[4-6]。加工工艺多样性造

*通讯作者: 曹玉发, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量与安全。E-mail: sqcyf@163.com

*Corresponding author: CAO Yu-Fa, Senior Engineer, Suqian Product Quality Supervision and Testing Institute, Suqian 223800, China. E-mail: sqcyf@163.com

就了不同地区的白酒其风味的多样性,从而构成了各种白酒不同的风格和香型^[7-11]。

进入 21 世纪以来,随着风味分析技术的发展,学者对白酒风味品质进行了广泛和深入的研究,越来越多白酒的特征风味成分被检测出。本研究对近些年江苏地区的白酒产业现状和风味研究进展进行归纳总结,以期江苏白酒风味研究的发展提供参考。

2 江苏白酒生产工艺与产业现状

2016 年,全国白酒企业酿酒总产量达 1258.36 万吨,相较往年上涨 3.23%,其中茅台、五粮液和洋河稳居三甲。总体来讲,尽管白酒行业受到国家政策影响,但产量与销售盈利之间的绝对数并没有下降,只是增速放缓,且有增速回升的趋势^[12]。江苏省由于其气候适宜、地理位置优越,历来是白酒生产和消费的大省。随着 20 世纪 90 年代中国白酒产业兴起的大潮,2002 年江苏省提出振兴苏酒的发展目标^[13]。2011 年江苏省白酒产量还仅为 67.85 万千升,2016 年,江苏省内 41 家酒企完成总产量 106.89 万千升,稳居全国第四名,销售收入约为 320 亿元,整个江苏市场的白酒消费规模已超 400 亿元^[14]。江苏白酒在发展进程中逐渐形成了以洋河、双沟、今世缘、汤沟两相和为代表的江苏白酒主导产品品牌^[15]。江苏白酒以浓香型产品为主,具有“窖香浓郁、绵甜爽净、香味协调、回味悠长”的感官特点。浓香型白酒是目前中国白酒产量最大的一种香型酒,因地理环境、酿酒原料、设备、生产工艺等因素的影响,形成了各自的风格特点,习惯从区域上界定为:“川派”、“北方派”、“江淮派”三大流派。“川派”的浓香型白酒以窖香浓郁、酒体丰满而著称,在口味上突出绵甜,气味上带有“陈香”或“老窖香”。“江淮派”的特点是突出己酸乙酯香气,且口味纯正、绵甜柔和。“北方派”其窖香、曲香、粮香比川酒差,但窖香比“江淮派”突出。其中,川派以泸州老窖、五粮液、剑南春为代表;北方派:以河套王酒、伊力特酒为代表;江淮派以洋河大曲、古井贡、双沟大曲为代表^[16,17]。

江苏白酒能够在中国白酒市场稳居行业三甲,和洋河大曲酒系列产品是分不开的。洋河大曲酒以高粱、大米、糯米、玉米、小麦、大麦、豌豆等为主要原料,按照传统工艺结合现代生物技术,经过出窖起糟、配料、上甑蒸馏、出甑酒浆水、摊凉下曲后入池发酵等工艺酿造而成。酿酒过程中采用的洋河大曲以优质小麦、大麦、豌豆为主要原料加工而成,而其他酒种的大曲则由小麦制作而成^[18,19]。江苏省尤其是洋河地区其土壤种类多,泥土中富含梭状芽孢杆菌(己酸菌),用该种泥土制作人工窖泥能赋予白酒特有的浓香风味。极具特点的原材料和传统的加工工艺才能造就江苏白酒独特的风味品质。以洋河大曲酒为例,从原料到成品酒需经过 81 道特殊工序,原料清蒸、续叉配料、低温入池、缓慢发酵、中途回沙、回窖发酵、多微共酵、

多味勾调、老窖秘藏等^[20]。基于严格的生产工艺,才能保证江苏白酒地道风味和稳定品质。江苏白酒虽然有重要的拳头产品作为支撑,但是面对日益激烈的竞争环境和消费者从风味品质到健康饮酒的需求转变,都不断压缩着传统白酒的生存空间^[13,21]。因此,要在保持江苏白酒风味品质基础上,结合新的加工工艺和白酒香型,研发健康白酒或提高工艺水平以满足市场需求。

3 白酒风味研究方法概述

3.1 白酒风味化合物的提取与分离方法

中国白酒的成分组成主要包括 97%~98%的酒精与水 和 2%~3%的微量成分,而这些微量成分又可以根据化学属性不同分为醇类(alcohols)、醛类(aldehydes)、酸类(acids)、酯类(estere)s)、酮类(ketones)、内酯类化合物(lactones)、硫化物(sulfur compounds)、缩醛类化合物(acetals)、吡嗪类化合物(pyrazines)、呋喃类化合物(furans)、芳香族化合物(aromatic compounds)和其他化合物等,这些微量成分组成了各种香型的白酒^[22,23]。中国白酒可以分成酱香型、浓香型、清香型、兼香型等 12 种香型,不同香型白酒其含有的风味成分各有差异^[6,24]。根据中国香型分布地图可知,江苏地区以浓香为主^[4]。江苏白酒含有丰富的风味化合物,必须通过一定的技术手段将这些化合物从复杂体系中提取与分离出来才能进行更好的分析。目前,分析白酒较为常用的提取与分离方法包括固相微萃取法^[25]、顶空进样法^[26]、液液萃取法^[27]、搅拌棒吸附萃取法^[28]、同时蒸馏萃取法^[29]、超临界二氧化碳萃取法^[30]等。白酒中的微量成分时决定白酒风味和香型的关键^[31]。随着提取方法和检测技术的发展,白酒中的大部分微量成分必然会逐渐分析和鉴定出来^[16]。

3.2 白酒风味化合物定性与定量方法

目前,气相色谱质谱联用法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)依然是分析白酒风味成分的主要方法。基于 GC-MS 分析仪器,用于定性与定量分析江苏白酒风味成分的方法主要包括谱库对比定性、保留指数(retention index, RI)定性、内标法定量、外标法定性与定量等^[32]。采用 GC-MS 方法分析鉴定白酒风味成分时,单一的定性方法往往无法获得较高的信任度,因此常常同时使用谱库对比定性与保留指数定性。先通过与质谱谱库(如 NIST 和 Wiley 库)检索的结果进行比对,常常选择匹配度大于 800(最大值 1000)或 80%时作为初步筛选和鉴定的依据。然后通过计算化合物的保留指数,并通过与已经发表的文献中公开的保留指数进行比对,进一步定性化合物。针对某些重要的挥发性成分,亦可采用相应的标准品在相同的条件下进行 GC-MS 检测,通过保留时间的比对实现更加准确的定性分析。保留指数计算公式如下:

$$RI = \left(\frac{Rt_{(x)} - Rt_{(n)}}{Rt_{(n+1)} - Rt_{(n)}} + n \right) \times 100 \quad (1)$$

其中, $Rt_{(x)}$: 待测化合物的保留时间; $Rt_{(n)}$: 含 n 个碳原子正构烷烃的保留时间; $Rt_{(n+1)}$: 含 $n+1$ 个碳原子正构烷烃的保留时间。

由于加工工艺的差异性, 白酒中的微量成分往往有很大差别, 这也是区分白酒香型和风味品质的最主要指标。因此, 对提取和分离出的白酒风味成分进行定量分析显得尤为重要。常用的定量方法包括基于内标法的面积百分比、峰高百分比、归一化和基于外标法的标准曲线等。其中, 基于内标法的相关定量方法均是通过对白酒中的挥发性成分和内标物的参数(如峰面积、峰高等)实现的。而外标法定量分析则是建立在定性分析基础之上的, 选择某些特定挥发性成分的标准品, 配制合适的浓度梯度溶液, 绘制标准曲线来实现的。其中基于内标法的定量方法的计算公式如下:

$$\text{Content}_{\text{volatile}} = \frac{A_{\text{volatile}}}{A_{\text{I.S.}}} \times \text{Content}_{\text{I.S.}} \quad (2)$$

$\text{Content}_{\text{volatile}}$ 和 $\text{Content}_{\text{I.S.}}$ 分别是测定风味成分的含量和内标化合物含量, A_{volatile} 和 $A_{\text{I.S.}}$ 分别是所测定风味成分和内标化合物的具体参数(如峰面积、峰高等)。

3.3 白酒重要风味化合物鉴定方法

由于挥发性成分的含量和阈值的差异性, 单单对白酒的风味成分的定性分析与定量分析仍然无法获得其重要风味成分。为了进一步筛选出对白酒风味具有较大贡献的特定风味化合物是当前重要的研究内容。目前, 气相色谱嗅闻(gas chromatography-olfactometry, GC-O)技术在白酒重要风味成分鉴定中得到广泛应用^[22,33]。

有些成分在白酒中含量较高, 但是其阈值也相应较高, 那么该成分对白酒整体风味的贡献度却不高, 相反地, 某些风味成分虽然含量低但其阈值较低, 这些成分仍然会对整体风味有较大贡献。为了解决上述含量与阈值对风味贡献度影响的问题, 常常采用待检测风味化合物的浓度与其在特定基质中阈值的比值, 即香气活度值(odor activity values, OAVs)来进行描述^[34]。当某一种风味化合物的 OAV 值大于 1 时, 则认为其对白酒整体风味具有贡献作用, 即可被认为是重要的呈香物质^[35]。

香气萃取稀释分析法(aroma extract dilution analysis, AEDA)是另外一种表征风味化合物贡献度的方法^[36]。感官员通过嗅闻和评价被稀释不同倍数的样品, 直到无法嗅闻到化合物气味, 从而得到某一风味化合物的稀释因子(dilution factors)。在 GC-O 检测过程中, 主要通过改变加样量、样品浓度和 GC 分流比实现 AEDA 的操作^[37]。AEDA 只能实现对白酒样品中风味成分的初步分析, 无法获得风味化合物之间的确切关系, 只适用于风味成分的初步筛选。香气强度分析法(odour specific magnitude estimation,

OSME)通过感官员嗅闻到气味后所记录的持续时间和气味强度来描述某一风味化合物的方法^[38]。该方法对嗅闻人员要求较高, 需经专业训练方可实现, 但该方法无需对样品进行稀释, 操作复杂度降低。AEDA 和 OSME 联合使用在筛选白酒中重要的风味化合物的研究中得到广泛应用^[24,32,39,40]。香气重组试验(aroma recombination experiments)及缺失试验(omissions experiments)是验证关键风味成分的国际通用方法^[41]。

香气重组及缺失试验在定量分析各种风味成分基础上, 按照各种成分的确切含量添加到特定基质中, 采用人工感官嗅闻技术评价所产生的整体香气, 并通过增减部分风味成分来确定其对整体香气的贡献, 从而鉴别出重要的风味化合物^[27]。以上各种方法均能够一定程度上鉴定出白酒中重要的风味成分, 但在研究过程中常常多种方法联合使用以准确鉴定出白酒中的关键风味物质^[35,41]。

4 江苏白酒风味研究进展

迄今为止, 在中国白酒中发现的风味化合物有 1737 种, 其中醇类 216 种, 酯类 431 种, 醛类 95 种, 酮类 126 种, 酸类 109 种, 缩醛类 54 种, 芳香族化合物 167 种, 内酯类 19 种, 呋喃类 76 种, 萜烯类 68 种, 炔类 81 种, 含氮化合物 115 种, 含硫化合物 55 种, 其他 125 种^[24]。江苏白酒是中国白酒的重要组成部分, 但目前还没有关于其风味研究进展的相关综述。以下章节将从江苏白酒风味化合物、特征风味化合物等部分对江苏白酒风味研究进展进行综述, 以期对江苏白酒的风味研究提供参考。

4.1 江苏白酒风味研究进展

早在 2005 年, Fan 等^[25]尝试采用顶空固相微萃取技术结合气相色谱嗅闻仪分析江苏著名白酒(洋河大曲)新酒和陈酒中的风味化合物。分别采用 DB-WAX 和 DB-5 色谱柱能够从洋河大曲中分离鉴定出 77 种和 65 种风味化合物, 包括醇类化合物、醛类和缩醛类化合物、酸类化合物、酯类化合物、芳香族化合物、酚类化合物、硫化物和其他化合物。其中酯类化合物为洋河大曲整体香气特征贡献了较多的作用。同时通过对酯类风味化合物形成路径的分析发现, 长链酯如庚酸乙酯、己酸丁酯、辛酸乙酯的萃取效率均随萃取时间的延长而提高, 而短链酯的萃取效率变化不大。酯类化合物具有水果香味, 能够为白酒提供花香、甜香、苹果香等。另外, 在洋河大曲新酒和陈酒中也鉴定到一类羟基脂肪酸酯类化合物, 如 2-羟基己酸乙酯、2-羟基丙酸乙酯和 2-羟基异戊酸乙酯等, 该类化合物具有茉莉花香和甜香。2006 年, Fan 等^[42,43]又采用正相色谱结合 GC-O 技术分析了洋河大曲中的香气成分, 共发现超过 70 中化合物, 其中包含 10 种酸类、34 种酯类、14 种醇类、7 种酮和醛类、2 种含硫化合物和 7 种未知化合物。

上述研究奠定了江苏白酒风味化合物研究的基调,随后十几年研究学者不断尝试新技术和新方法,以期能够分离鉴定更多风味化合物,从而揭开江苏白酒风味密码。2007 年,范文来等^[44]采用浸入式固相微萃取(DI-SPME)技术检测江苏白酒中的香味成分。通过检测条件优化后的 DI-SPME 方法非常适合洋河大曲中微量成分的检测,一次检测能够鉴定出 52 种微量风味化合物,其中酯类的含量占整个微量成分含量的 91%。

随着快速检测技术的发展,越来越多的新方法应用于江苏白酒风味研究中。2014 年,Cheng 等^[7]采用固相顶空微萃取结合质谱技术对不同产区的白酒进行了鉴定。采用 32 个离子峰作为特征值,并基于偏最小二乘判别分析(partial least squares discriminant analysis, PLS-DA)和逐步判别分析(stepwise linear discriminant analysis, SLDA),能够实现对 131 个白酒样品进行快速区分,预测准确率达到 97.7%,另外,当采用人工神经网络模式识别算法时能够实现 100%的预测准确率。2018 年,常瑞红等^[45-47]采用气相色谱法结合近红外光谱技术构建了江苏洋河酒厂原酒中己酸乙酯和乙酸乙酯快速检测方法。采用 417 个原酒样品对所构建的快速检测方法进行验证,结果显示,2 种化合物的预测值与检测的化学实测值之间的相对标准偏差分别为 0.591%和 0.712%。该研究表明该方法在江苏白酒风味化合物快速检测方面具有较好的应用前景。

4.2 江苏白酒特征风味化合物

在以上研究中,采用 GC-O 结合 AEDA 法,鉴别出了洋河大曲中最主要的风味贡献化合物己酸乙酯、丁酸乙酯和戊酸乙酯(FD>8192)。其次是乙酸乙酯、乙缩醛、1,2-乙氧基-1,1-甲基丁烷、己酸丁酯、1-甲基戊酸甲酯、1-甲基丁酸乙酯、1-戊醇、1-甲基丁醇、乙醛、庚酸乙酯、1-甲基戊酸乙酯和苯甲酸乙酯^[25]。另外,根据 OSME 值的对比结果,己酸和丁酸是洋河大曲酒中最重要的 2 种游离脂肪酸,其次是 1-甲基丁酸和戊酸,而庚酸、丙酸和 1-甲基戊酸的 OSME 值则比较低。其中,己酸和丁酸具有甜和腐臭气味,而 1-甲基丁酸和戊酸具有腐臭气味、奶酪香和甜香^[42]。在中国其他著名白酒(如五粮液和剑南春等)风味化合物进行比较时发现,香气强度或风味贡献率较高的一些化合物如丁酸乙酯、戊酸乙酯和己酸乙酯等在洋河大曲中能够全部鉴定得到,这说明这些酯类化合物对中国浓香型白酒风味具有较为重要的作用^[42,48]。浓香型洋河天之蓝酒中,最重要的风味化合物是己酸乙酯,重要的化合物有辛酸乙酯、丁酸乙酯、乙缩醛、1-苯丙酸乙酯、乙醛、1-甲基丁酸乙酯、1-庚醇、乙酸乙酯、庚酸乙酯等酯类化合物。

2007 年, Fan 等^[49]采用顶空固相微萃取和液液萃取技术从包括洋河蓝色经典系列在内的 12 款市售白酒中提取风味成分,继而采用 GC-MS 仪鉴定出 27 种吡嗪类化合物。洋河蓝色经典白酒中含有 8 种,总含量超过 2500 mg/L 位

居市售白酒第 5 位,其中 2-甲基吡嗪和 2,6-二乙基吡嗪的含量总和超过了 1900 mg/L。2013 年,范文来等^[42,43,50]采用顶空固相微萃取技术对绵柔型白酒中 66 个风味化合物进行了全定量分析。结合 OAV 值发现洋河绵柔型白酒的关键风味化合物是己酸乙酯(OAV>27000,平均 34799),重要风味化合物有 2-甲基丁酸乙酯、2-甲基三硫、戊酸乙酯、丁酸乙酯、辛酸乙酯。但从关键风味化合物组成来看,洋河绵柔型白酒和洋河浓香型白酒的关键成分相同,但其他香气成分存在一定比例差异。这可能是洋河大曲与其他浓香型白酒的不同并以“绵柔”著称的原因。

5 结 论

中国白酒历史悠久,在长时间的发展进程中逐步形成了多种极具地方特色的白酒品类,其中江苏白酒在浓香型白酒中占据重要的位置。随着现代工艺的应用和创新,中国白酒香型已经进入自主创新发展阶段,这对以浓香型白酒为主的江苏白酒产业具有较大影响。以风味为导向的工艺优化和新型白酒的开发将会成为江苏白酒产业的新的经济增长点。另外,现代风味化学分析技术的发展逐步解开了江苏白酒的风味密码,分离和鉴定出了重要的风味化合物。但针对江苏白酒的风味研究仍然存在许多可以挖掘的领域,如结合生物技术的白酒活性因子探索、基于感官科学的白酒异味成分检测和白酒风味品质快速检测技术研发等。导向培养市场消费喜好、寻找现代酿酒工艺和制定风味品质评价标准是未来江苏白酒发展的重要内容。

参考文献

- [1] McGovern PE, Zhang JH, Tang JG, *et al.* Fermented beverages of pre- and proto-historic China [J]. *Proc Nat Acad Sci USA*, 2004, 101(51): 17593-17598.
- [2] 米娇, 张龙云, 吴林蔚, 等. 洋河大曲的化学成分[J]. *应用与环境生物学报*, 2016, 22(5): 0845-0847.
Mi J, Zhang LY, Wu LW, *et al.* The chemical constituents of Yanghe Daqu [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2016, 22(5): 845-847.
- [3] 江源. 2017 年 1-4 月全国白酒产量数据分析[J]. *酿酒科技*, 2017, (6): 107.
Jiang Y. Analysis of national liquor production data from January to April 2017 [J]. *Liquor-Mak Sci Technol*, 2017, (6): 107.
- [4] Liu HL, Sun BG. Effect of fermentation processing on the flavor of Baijiu [J]. *J Agric Food Chem*, 2018, 66(22): 5425-5432.
- [5] Zhao TL, Ni DR, Hu GY, *et al.* 6-(2-Formyl-5-methyl-1 H-pyrrol-1-yl) hexanoic acid as a novel retronasal burnt aroma compound in soy sauce aroma-type Chinese Baijiu [J]. *J Agric Food Chem*, 2019, 14(7): 115-119.
- [6] 辛磊. 白酒微量成分与酒体风格特征关系的探讨[J]. *食品与机械*, 2004, 20(2): 49-50.
Xin L. A study on the relation between the trace components and the style of liquor [J]. *Food Mach*, 2004, 20(2): 49-50.
- [7] Cheng PY, Fan WL, Xu Y. Determination of Chinese liquors from different geographic origins by combination of mass spectrometry and

- chemometric technique [J]. Food Control, 2014, 35(1): 153–158.
- [8] Gou M, Wang HZ, Yuan HW, *et al.* Characterization of the microbial community in three types of fermentation starters used for Chinese liquor production [J]. J Instit Brew, 2015, 121(4): 620–627.
- [9] 范文来, 徐岩. 从微量成分分析浓香型大曲酒的流派[J]. 酿酒科技, 2000, (5): 92–94.
- Fan WL, Xu Y. A comparison of flavor characteristics between Chinese strong aromatic liquors(Daqu) [J]. Liquor-Mak Sci Technol, 2000, (5): 92–94.
- [10] 苏葛, 王晓慧, 董大伟, 等. 高通量测序技术在洋河大曲质量等级判定中的应用[J]. 酿酒科技, 2019, (1): 86–90.
- Su G, Wang XH, Dong DW, *et al.* Application of high-throughput sequencing technology in the quality grade determination of Yanghe Daqu [J]. Liquor-Mak Sci Technol, 2019, (1): 86–90.
- [11] 米娇, 陈翔, 吴林蔚, 等. 洋河大曲中螺甾醇健康功能因子研究[J]. 酿酒科技, 2017, (5): 31–35.
- Mi J, Chen X, Wu LW, *et al.* Spirostanols with health functions in Yanghe Daqu [J]. Liquor-Mak Sci Technol, 2017, (5): 31–35.
- [12] 黄平, 曾绍伦. 白酒产业转型发展研究综述[J]. 酿酒科技, 2015, (6): 113–117.
- Huang P, Zeng SL. Review on the transformation & development of Baijiu (Liquor)-making industry [J]. Liquor-Mak Sci Technol, 2015, (6): 113–117.
- [13] 沈国春. 江苏 YH 酒业公司发展战略研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2018.
- Shen GC. Development strategy research of Jiangsu YH liquor company [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2018.
- [14] 江苏省统计局. 江苏统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.
- Statistics bureau of Jiangsu province. Statistical yearbook of Jiangsu [M]. Beijing: China Statistics Press, 2018.
- [15] 武超. 江苏白酒企业品牌战略研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2006.
- Wu C. A study on brand strategy of Jiangsu white wine enterprises [D]. Nanjing: Nanjing Forest University, 2006.
- [16] 张恩. 浓香型洋河天之蓝和清香型二锅头大曲白酒特征香气成分研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009.
- Zhang E. Distinctive aroma of two Chinese liquors: Yanghe Blue Sky and Niulanshan Erguotou [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2006.
- [17] 江源. 2015 年全国白酒产量十大省份数据出炉[J]. 酿酒科技, 2015, (3): 118.
- Jiang Y. Data on China's ten largest liquor production provinces have been released in 2015 [J]. Liquor-Mak Sci Technol, 2015, (3): 118.
- [18] GB/T 22046-2008 地理标志产品-洋河大曲酒[S].
- GB/T 22046-2008 Product of geographical indication-Yanghe daqu liquor [S].
- [19] Yan SB, Tong QQ, Guang JQ. Yeast dynamics and changes in volatile compounds during the fermentation of the traditional Chinese strong-flavor Daqu [J]. LWT-Food Sci Technol, 2019, 106: 57–63.
- [20] 陈久春, 张雨柏, 倪皓, 等. 洋河大曲[J]. 中国标准导报, 2015, (6): 62–66.
- Chen JC, Zhang YB, Ni H, *et al.* Yanghe Daqu [J]. China Standards Rev, 2015, (6): 62–66.
- [21] 赵凤琦. 我国白酒产业可持续发展研究[D]. 北京: 中国社会科学院, 2014.
- Zhao FQ. Research on the sustainable development of liquor industry in China [D]. Beijing: Chinese Academy of Social Sciences, 2014.
- [22] 范文来, 徐岩. 中国白酒风味物质研究的现状与展望[J]. 酿酒, 2007, 34(4): 31–37.
- Fan WL, Xu Y. The review of the research of aroma compounds in Chinese liquors [J]. Liquor Mak, 2007, 34(4): 31–37.
- [23] 康文怀, 徐岩. 中国白酒风味分析及其影响机制的研究[J]. 北京工商大学学报(自然科学版), 2012, 30(3): 53–58.
- Kang WH, Xu Y. Review on aroma compounds and its formation mechanism in Chinese liquors [J]. J Beijing Technol Bus Univ, 2012, 30(3): 53–58.
- [24] 孙宝国, 吴继红, 黄明泉, 等. 白酒风味化学研究进展[J]. 中国食品学报, 2015, 15(9): 1–8.
- Sun BG, Wu JH, Huang MQ, *et al.* Recent advances of flavor chemistry in Chinese liquor spirits (Baijiu) [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2015, 15(9): 1–8.
- [25] Fan WL, Qian MC. Headspace solid phase microextraction and gas chromatography-olfactometry dilution analysis of young and aged Chinese "Yanghe Daqu" liquors [J]. J Agric Food Chem, 2005, 53(20): 7931–7938.
- [26] 刘慧霞. SHS-GC-MS 法在挥发性有机化合物检测中的应用[D]. 郑州: 郑州大学, 2016.
- Liu HX. The Application of SHS-GC-MS in the detection of volatile organic compounds [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2016.
- [27] 汪玲玲, 范文来, 徐岩. 酱香型白酒液液微萃取毛细管色谱骨架成分与香气重组[J]. 食品工业科技, 2012, (19): 304–309.
- Wang LL, Fan WL, Xu Y. Analysis of capillary chromatographic skeleton compounds in Chinese soy sauce aroma type liquor by liquid-liquid microextraction and aroma recombination [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, (19): 304–309.
- [28] 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, (4): 155–164.
- Li HH, Hu XM, Li AJ, *et al.* Comparative analysis of volatile components in Gujingong liquor by headspace solid-phase microextraction and stir bar sorptive extraction [J]. Food Sci, 2017, (4): 155–164.
- [29] 王丽华, 李建飞. 同时蒸馏萃取在提取浓缩白酒微量风味物质中的应用研究[J]. 酿酒科技, 2010, (9): 25–27.
- Wang LH, Li JF. Research on the extraction of concentrated trace flavoring substance in liquor by Simultaneous distillation extraction [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2010, (9): 25–27.
- [30] 王道平, 杨小生. 习酒香气成分 GC-MS 分析[J]. 酿酒科技, 2009, 36(11): 111–112.
- Wang DP, Yang XS. GC-MS analysis of flavoring compositions in Xijiu liquor [J]. Liquor-Mak Sci Technol, 2009, 36(11): 111–112.
- [31] 徐岩. 基于风味导向技术的中国白酒微生物及其代谢调控研究[J]. 酿酒科技, 2015, (2): 1–12.
- Xu Y. Study on liquor-making microbes and the regulation & control of their metabolism based on flavor-oriented technology [J]. Liquor-Mak Sci Technol, 2015, (2): 1–12.
- [32] 刘玉平, 黄明泉, 郑福平, 等. 中国白酒中挥发性成分研究进展[J]. 食品科学, 2010, 31(21): 437–441.
- Liu YP, Huang MQ, Zheng FP, *et al.* Recent advances in extraction and analysis of volatile flavor compounds in Chinese liquor [J]. Food Sci, 2010, 31(21): 437–441.

- [33] Fan HY, Fan WL, Xu Y. Characterization of key odorants in Chinese chixiang aroma-type liquor by gas chromatography-olfactometry, quantitative measurements, aroma recombination, and omission studies [J]. J Agric Food Chem, 2015, 63(14): 3660–3668.
- [34] Grosch, W. Evaluation of the key odorants of foods by dilution experiments, aroma models and omission [J]. Chem Senses, 2001, 26(5): 533–545.
- [35] 范文来 徐岩. 白酒风味物质研究方法的回顾与展望[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(10): 3073–3078.
Fan WL, Xu Y. Current practice and future trends of aroma and flavor of Chinese liquor (baijiu) [J]. J Food Saf Qual, 2014, 5(10): 3073–3078.
- [36] Sun JY, Li QY, Luo SQ, *et al.* Characterization of key aroma compounds in Meilanchun sesame flavor style baijiu by application of aroma extract dilution analysis, quantitative measurements, aroma recombination, and omission/addition experiments [J]. Rsc Adv, 2018, 8(42): 23757–23767.
- [37] Feng YZ, Cai Y, Sun-Waterhouse D, *et al.* Approaches of aroma extraction dilution analysis (AEDA) for headspace solid phase microextraction and gas chromatography-olfactometry (HS-SPME-GC-O): Altering sample amount, diluting the sample or adjusting split ratio? [J]. Food Chem, 2015, 187: 44–52.
- [38] 范海燕, 范文来, 徐岩. 应用 GC-O 和 GC-MS 研究豉香型白酒挥发性香气成分[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(4): 147–152.
Fan HY, Fan WL, Xu Y. Characterization of volatile aroma components in Chinese Chixiang aroma type liquor by GC-O and GC-MS [J]. Food ferment Ind, 2015, 41(4): 147–152.
- [39] 王晓欣, 范文来, 徐岩. 应用 GC-O 和 GC-MS 分析酱香型习酒中挥发性香气成分[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(5): 154–160.
Wang XX, Fan WL, Xu Y. Characterization of volatile aroma components in Chinese soy sauce aroma type Xijiu liquor by GC-O and GC-MS [J]. Food ferment Ind, 2013, 39(5): 154–160.
- [40] Zheng J, Zhao D, Peng ZF, *et al.* Variation of aroma profile in fermentation process of Wuliangye baobaoqu starter [J]. Food Res Int, 2018, 114: 64–71.
- [41] Zheng Y, Sun BG, Zhao MM, *et al.* Characterization of the key odorants in Chinese zhima aroma-type Baijiu by gas chromatography-olfactometry, quantitative measurements, aroma recombination, and omission studies [J]. J Agric Food Chem, 2016, 64(26): 5367–5374.
- [42] Fan WL, Qian MC. Identification of aroma compounds in Chinese ‘Yanghe Daqu’ liquor by normal phase chromatography fractionation followed by gas chromatography olfactometry [J]. Flavour Frag J, 2006, 21(2): 333–342.
- [43] Fan WL, Qian MC. Characterization of aroma compounds of Chinese “Wuliangye” and “Jiannanchun” liquors by aroma extract dilution analysis [J]. J Agric Food Chem, 2006, 54(7): 2695–2704.
- [44] 范文来, 徐岩. 应用浸入式固相微萃取(DI-SPME)方法检测中国白酒的香味成分[J]. 酿酒, 2007, 34(1): 18–21.
Fan WL, Xu Y. Determination of aroma compounds of Chinese liquors by direct immersion- solid phase microextraction (DI- SPME) [J]. Liquor Mak, 2007, 34(1): 18–21.
- [45] 常瑞红, 蔡楠, 洪胜, 等. 浓香型原酒中己酸乙酯与乙酸乙酯的快速分析研究[J]. 酿酒科技, 2018, (10): 44–49.
Chang RH, Cai N, Hong S, *et al.* Fast determination of ethyl caproate and ethyl acetate content in Nongxiang base liquor [J]. Liquor-Mak Sci Technol, 2018, (10): 44–49.
- [46] Cheng PY, Fan WL, Xu Y. Quality grade discrimination of Chinese strong aroma type liquors using mass spectrometry and multivariate analysis [J]. Food Res Int, 2013, 54(2): 1753–1760.
- [47] 刘明. 感官分析、风味化学与智能感官技术评价白酒香气的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
Liu M. Research on Chinese liquors aroma by sensory analysis, flavor chemistry and artificial intelligence sensory technology [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012.
- [48] 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 WL, Xu Y. Determination of odor thresholds of volatile aroma compounds in Baijiu by a forced-choice ascending concentration series method of limits [J]. Liquor Mak, 2011, 38(4): 80–84.
- [49] Fan WL, Xu Y, Zhang YH. Characterization of pyrazines in some Chinese liquors and their approximate concentrations [J]. J Agric Food Chem, 2007, 55(24): 9956–9962.
- [50] 范文来, 聂庆庆, 徐岩. 洋河绵柔型白酒关键风味成分[J]. 食品科学, 2013, 34(4): 135–140.
Fan WL, Nie QQ, Xu Y. Key aroma compounds of Yanghe supple and mellow aroma style liquors [J]. Food Sci, 2013, 34(4): 135–140.

(责任编辑: 武英华)

作者简介



曹玉发, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量与安全。
E-mail: sqcyf@163.com