

# 中国白酒中挥发性成分研究进展

刘玉平, 黄明泉, 郑福平, 陈海涛, 孙宝国\*

(北京工商大学化学与环境工程学院, 食品添加剂与配料北京高校工程研究中心, 北京 100048)

**摘要:**中国白酒中的挥发性成分对白酒的香型和风格起着重要作用。本文总结国内近十年来在采用直接进行气质联用、溶剂萃取与气质联用、固相微萃取技术与气质联用等技术提取和分析中国白酒中挥发性成分所做的研究工作, 对白酒中挥发性香成分的来源、作用以及影响白酒中挥发性成分的因素进行了简单归纳。分析表明: 固相微萃取与气质联用是比较简单方便、有效提取和分析白酒中挥发性成分的方法。

**关键词:** 中国白酒; 挥发性成分; 提取; 分析

## Recent Advances in Extraction and Analysis of Volatile Flavor Compounds in Chinese Liquor

LIU Yu-ping, HUANG Ming-quan, ZHENG Fu-ping, CHEN Hai-tao, SUN Bao-guo\*

(Beijing Higher Institution Engineering Research Center of Food Additives and Ingredients, School of Chemical and Environmental Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

**Abstract:** Volatile flavor compounds play an important role for the type and style of Chinese liquor. This paper summarizes the applications of gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) without sample pretreatment and with solvent extraction or solid-phase microextraction to analyze the volatile components in Chinese liquor reported in the recent decade. Moreover, the sources, roles and affecting factors of volatile components in Chinese liquor are summed up briefly. In conclusion, solid-phase microextraction coupled with GC-MS is comparatively more simple and effective method for the analysis of volatile composition of Chinese liquor.

**Key words:** Chinese liquor; volatile flavor compounds; extraction; analysis

中图分类号: TS262.39

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2010)21-0437-05

中国白酒具有悠久的历史, 它以高粱等粮谷为主要原料, 以大曲、小曲或麸曲及酒母等为糖化发酵剂, 经蒸煮、糖化、发酵、蒸馏而制成的蒸馏酒, 在八大蒸馏酒中白酒独具一格<sup>[1]</sup>。从古至今, 白酒是中国人社交、庆典、婚礼等活动中不可缺少的特殊饮品, 在日常生活中也占有十分重要的地位。从化学组成来看, 白酒中有98%是水和乙醇, 1%~2%是呈香呈味的微量成分, 且这些微量成分在各种白酒中的含量和比例不同, 构成了各种酒的不同香型和不同风格<sup>[2]</sup>。白酒的呈香物质复杂, 所包括的挥发性成分种类多、数量大。近年来分析仪器的快速发展, 促进了白酒中挥发性成分的提取与分析。

对白酒中挥发性成分进行分析, 主要有两方面的作用: 一是通过分析不同生产工艺条件下白酒中挥发性成分的变化情况, 为确定最佳的生产工艺提供指导; 二是

通过提取与分析白酒中挥发性成分, 为调配出象真度高的白酒香精提供理论依据。因此对白酒中挥发性成分进行提取与分析显得尤为重要。

本文对近十年来白酒中挥发性成分的研究情况进行归纳和总结, 对从事白酒中挥发性成分研究的人员有很大的参考价值, 另外对调香师在选择酒用香料时有一定的借鉴作用。

## 1 白酒中挥发性成分的提取与分析方法

### 1.1 直接采用气质联用的分析方法

直接采用气质联用进行分析是指样品不进行前处理或简单处理, 采用直接进样分析。该方法无需有机溶剂, 操作简单, 方便快捷, 由于白酒中含有水分, 需要选择合适的色谱柱和适合的检测器。郭文杰等<sup>[3]</sup>以叔戊醇、乙酸正戊酯和2-乙基丁酸为内标, 采用直接进

收稿日期: 2010-08-20

基金项目: 北京市教委市属高等学校人才强教计划资助项目(PHR201008244)

作者简介: 刘玉平(1969—), 男, 副教授, 硕士, 主要从事香料化学研究。E-mail: liuyup@th.btbu.edu.cn

\* 通信作者: 孙宝国(1961—), 男, 教授, 博士, 主要从事香料化学研究。E-mail: sunbg@btbu.edu.cn

样,用气质联机分析了古井贡酒中的特征香气成分,共分析出醇类 14 种、酯类 37 种、醛类 11 种、酸类 9 种;同时采用该方法也分析了五粮液、剑南春、泸州老窖中的香气成分。徐超一等<sup>[4]</sup>采用配有 FID 检测器的气相色谱,用标准品做对比,直接进样分析了干邑酒中的醇、醛和酯类化合物,共分析出 23 种成分。吴文祥等<sup>[5]</sup>用配有 OV-1701 毛细管色谱柱的气质联机,采用直接进样的方法分析了 46% 茅台王子酒中的香气成分,共鉴定出 22 种成分,其中醇类 5 种、酯类 10 种、醛酮类 6 种、酸类 1 种。黄艳梅等<sup>[6]</sup>采用直接进样,用配有 CP-WAX57CB 的毛细管柱的气质联机分析了古井贡酒中的挥发性成分,共鉴定出 102 种成分,其中酯类 43 种、醇类 21 种、酸类 14 种、醛酮类 11 种、缩醛类 3 种、呋喃类 4 种、酚类 6 种。张宿义等<sup>[7]</sup>为了研究泸型酒在贮存过程中微量香成分变化规律,用配有交联石英毛细管柱 HP-INNOWAX 和 FID 检测器的气相色谱和气质联机,以叔戊醇、乙酸正戊酯和 2-乙基丁酸为内标,采用直接进样的方法,对同一档次的泸型酒在贮存半年、1 年、2 年、3 年、5 年时其中的挥发性成分进行了定性和定量分析,鉴定出醛酮类 6 种、醇类 11 种、酸类 8 种、酯类 17 种。刘宇驰等<sup>[8]</sup>通过直接进样,用配有 FID 检测器和 WH-3 型玻璃填充柱的气相色谱分析了郎酒中的挥发性成分,共分析出 20 多种成分。吴兆征等<sup>[9]</sup>将 52% 的浓香型古贝春白酒经过聚醚砜过滤膜过滤后,用气质联机直接进行分析,鉴定出 70 多种挥发性香成分。周华生等<sup>[10]</sup>采用配有 PEG-20M 毛细管柱的气质联机,以叔戊醇、乙酸正戊酯和 2-乙基丁酸为内标,采用直接进样的方法,对五粮液和黄金酒的香气成分进行了分析,其中从五粮液中鉴定出 41 种成分,从黄金酒中鉴定出 38 种成分,同时采用相关方法对两种酒中的营养性成分进行了测定。

## 1.2 样品浓缩与气质联用的分析方法

白酒中含有大量的乙醇和水,可采用浓缩的方法把其中的乙醇和水除去,得到微量香成分的浓缩物。该方法操作较简单,但在浓缩过程中会损失部分挥发性成分。赵东等<sup>[11]</sup>将 500mL 基础酒在 KD 浓缩仪上减压浓缩到 5mL,用配有氮磷检测器(NPD)和 HP-5MS 的毛细管柱的气质联机,对其中的芳香族类化合物进行了分析,从中鉴定出了 4-乙基愈创木酚、苯乙醛和香兰素。

## 1.3 溶剂萃取与气质联用的分析方法

溶剂萃取就是用有机溶剂对白酒中的香成分进行萃取,然后进行分析;由于白酒大多数是无色透明液体,该方法也称为液液萃取。Fan 等<sup>[12]</sup>用煮沸冷却后的去离子水将洋河大曲酒稀释,用三氯氟甲烷(Freon 11)萃取了其中的香成分,所得到的香成分被分成酸性部分和中性/碱性部分,中性/碱性部分被进一步分成 4 部分,所

得到的 5 个提取物经配有 DB-Wax 和 DB-5 毛细管柱的气质联用和气相色谱-嗅闻仪(GC-O)分析,共鉴定出 70 多种成分;他们采用类似的方法,用乙醚做溶剂,萃取并分析了五粮液和剑南春中的香成分,其中从五粮液中鉴定出 126 种香成分<sup>[13]</sup>。叶鹏等<sup>[14]</sup>以乙醚做溶剂,萃取了“翔安邨”清香型高粱酒中的香成分,经浓缩后,用配有 DB-5MS 的毛细管柱的气质联机进行了分析,从中鉴定出 22 种成分,其中大部分为酯类。柳军等<sup>[15]</sup>将兼香型白酒和浓香型白酒用去离子水稀释,用乙醚萃取了其中的香成分,然后将其分成酸性、水溶性、中性和碱性 4 个组分,用配有 FID 检测器和 DB-Wax 毛细管柱的气质联用和气相色谱-嗅闻仪进行分析,从兼香型白酒中鉴定出 90 种香成分,通过计算香气强度值,认为对白酒香气贡献比较大的是己酸乙酯、4-乙基愈创木酚、己酸、3-甲基丁醇、3-甲基丁酸乙酯、4-乙基愈创木酚、香草醛、乙酸 2-苯乙酯和丁酸。丁云连等<sup>[16]</sup>采用类似的方法分析了衡水老白干酒中的香成分,从中鉴定出 90 种香成分,通过计算香气强度值,认为对老白干酒香气贡献比较大的是 4-乙基愈创木酚、乙酸 2-苯乙酯、丁酸、异戊醇、 $\beta$ -苯乙醇、2-乙酰基-5-甲基呋喃、苯丙酸乙酯、 $\gamma$ -壬内酯、异戊酸、香兰素、乙酸乙酯、异戊醛二乙醇缩醛等。Zhu 等<sup>[17]</sup>用 2:1(V/V)的乙醚和正戊烷混合物做溶剂,萃取了茅台酒中的香成分,经全二维气相色谱与飞行时间质谱联用(GC  $\times$  GC/TOFMS)分析,从中鉴定出 528 种成分,其中包括有机酸、酯、醇、醛、酮、缩羰基化合物、吡嗪类、吡啶类、腈类和含硫化合物等。侯冬岩等<sup>[18]</sup>用 2:1(V/V)的乙醚和戊烷混合物做溶剂,对钢都酒进行处理,将其中的香成分分为酚类化合物、碱性、中性和酸性成分,以己酸乙酯和己酸为外标,用气质联机进行分析,从中鉴定出 35 种成分,其中含量最高的是己酸乙酯,据此可认定钢都酒为浓香型白酒。溶剂萃取法也用于提取果酒中的香成分,如师艳秋等<sup>[19]</sup>用二氯甲烷萃取了红莓发酵酒中的香成分,经气质联机分析,从中鉴定出了 54 种成分;陈娟等<sup>[20]</sup>用二氯甲烷萃取了不同品种桑椹的蜂蜜发酵酒中的香成分,经气质联机分析,从中鉴定出了 60 多种成分。

## 1.4 固相微萃取技术与气质联用的分析方法

固相微萃取技术是从 20 世纪 90 年代兴起并迅速发展起来的新型的、环境友好的样品前处理技术。它是通过利用微纤维表面少量的吸附剂从样品中分离和浓缩分析物的技术,无需有机溶剂,操作也很简便,现在也用于提取与分析酒中的挥发性成分。Fan 等<sup>[21]</sup>采用顶空固相微萃取提取了不同生产年代的洋河大曲酒中的挥发性成分,经配有 DB-Wax 毛细管柱的气质联用和气相色谱-嗅闻仪分析,共鉴定出 85 多种成分。范文来等<sup>[22]</sup>

采用浸入式固相微萃取提取了洋河大曲酒中的挥发性成分,经配有FFAP毛细管柱的气质联机分析,共鉴定出53种成分,同时对萃取条件进行了优化,较佳的萃取条件是酒精度14%,采用搅拌方式,萃取头为PDMS,样品在30℃预热15min,萃取时间30min。张艳红等<sup>[23]</sup>用顶空固相微萃取提取,经配有FID检测器和PEG20毛细管柱的气相色谱分析,测定了茅台酒和郎酒中的吡嗪类化合物,并对萃取温度、萃取时间和离子化强度进行了优化。王勇等<sup>[24]</sup>用顶空固相微萃取和液液萃取提取了牛栏山二锅头酒中的挥发性成分,经气质联机分析,从中鉴定出了101种物质。杜艳红等<sup>[25]</sup>用顶空固相微萃取和液液萃取提取红星二锅头酒中的挥发性成分,经气质联机分析,从中鉴定出了138种物质。Fan等<sup>[26]</sup>用顶空固相微萃取和液液萃取提取,用气质联机分析了市售茅台、茅台迎宾酒、郎酒、五粮液、洋河蓝色经典、今世缘、古井贡、西凤酒、董酒、四特、剑南春、汾酒12种白酒中的吡嗪类化合物,共鉴定出27种。固相微萃取不仅用于白酒中挥发性成分的提取,还用于果酒中挥发性成分的提取与分析,如荔枝酒<sup>[27]</sup>、苹果酒<sup>[28]</sup>、沙棘酒<sup>[29]</sup>、蓝莓酒<sup>[30]</sup>等。

### 1.5 超临界二氧化碳流体萃取技术与气质联用的分析方法

超临界流体是近二三十年来研究得比较活跃的体系。它的许多物理化学性质介于气体和液体之间,并具有两者的优点,无毒、不可燃、廉价、绿色、环保,且作为溶剂反应产物易分离,因此在化学工业上占有很大优势。随着超临界流体技术(尤其是超临界二氧化碳技术)的成熟与普及,该技术已经应用于提取挥发性香成分。王道平等<sup>[31]</sup>采用超临界二氧化碳提取了习酒中的香成分,经配有AB-Inowax弹性石英毛细管柱的气质联机分析,从中鉴定出23种香成分,其中主要的香成分有己酸乙酯、乳酸乙酯、己酸、乙酸、乙酸乙酯、异戊醇等。

### 1.6 其他方法

除以上方法外,其他提取挥发性香成分的方法也可以用于提取白酒中的挥发性成分,如动态顶空、同时蒸馏萃取、微波辅助萃取、超声辅助萃取等<sup>[32]</sup>,其中有的已经用在提取酒中挥发性香成分,刘春波等<sup>[33]</sup>采用吹扫捕集与气相色谱结合的方法分析了酒中的挥发性醛酮;樊振江等<sup>[34]</sup>采用同时蒸馏萃取提取了调味酒保健枸杞酒中的挥发性香成分,经配有HP-INNOWAX毛细管柱的气质联机分析,从中鉴定出25种香成分,其中酯类5种、醛酮类5种、酸醇类10种,其他5种。

## 2 白酒中挥发性成分的来源

按照结构来分,白酒中的主要挥发性成分可以分为酯类、醇类、有机酸类、醛酮类、缩羰基类、酚类、

吡嗪类化合物、含硫化合物等。

酯类化合物是白酒中种类最多的挥发性香成分,其中乙酯占的比例较高;酯类能够赋予白酒果香,使人产生愉悦感<sup>[35]</sup>。酯类化合物一方面可以由微生物代谢产生,如浓香型大曲酒的主体香成分己酸乙酯是通过窖泥中己酸菌代谢产生的<sup>[36]</sup>;另一方面,酯类也可由发酵过程中生成的酸与醇经酯化反应生成的,由于白酒中乙醇含量比较高,使得乙酯在所生成的酯中占了较大比例。己酸乙酯、乳酸乙酯、乙酸乙酯和丁酸乙酯被称为白酒中的四大酯,在大部分白酒的挥发性香成分中都能检测到,其中清香型白酒是以乙酸乙酯为主体复合香的白酒<sup>[37]</sup>,凤香型白酒以乙酸乙酯和己酸乙酯为主的复合香气的白酒<sup>[38]</sup>。

醇类是白酒的醇甜和助香剂的重要来源<sup>[10]</sup>,它主要通过两种途径产生:一是酿酒所用的曲中含有蛋白酶,蛋白酶对原料中的蛋白质进行降解生成氨基酸,酵母菌摄取氨基酸后产生比氨基酸少一个碳原子的脂肪醇;二是由糖质生成氨基酸的合成过程中,由中间产物酮酸生成<sup>[39]</sup>。

有机酸主要来源于微生物生命代谢过程,如乙酸是乙醇被醋酸菌氧化而得<sup>[40]</sup>,乳酸是由乳酸菌产生的<sup>[41]</sup>。有机酸不仅是形成酯的原料,适量的酸还能改善白酒口感,赋予白酒浓厚的感觉。

醛酮类能使酒的香气透发飘逸,它有多种来源途径。白酒属于多种微生物发酵,醛酮类可由微生物代谢产生;在发酵过程中,原料中的蛋白质和多糖类物质被分解成氨基酸和小分子的还原糖,氨基酸和还原糖发生美拉德反应产生醛酮类香成分;白酒在储存和老化过程中,醇类可通过光氧化降解、热氧化降解<sup>[42]</sup>,或与空气中的氧发生反应产生醛酮<sup>[43]</sup>。缩羰基类一般是由醛酮与醇发生缩合反应生成的,它的形成可以使酒的香气柔和<sup>[44]</sup>。

酚类可由原料中的木质素经高温分解产生,吡嗪类化合物可由发酵过程中产生的氨基酸与3-脱氧葡萄糖醛酮经系列反应产生<sup>[45]</sup>,含硫化合物一般是由含硫的氨基酸转化而来;这些化合物在白酒的挥发性成分中含量一般较少,由于它们的香气阈值较低,能赋予白酒特有的香气,使得不同香型的白酒之间有明显的差别,如芝麻香型白酒中吡嗪类化合物构成了芝麻香的特征香气<sup>[46]</sup>。

## 3 影响白酒中挥发性香成分的因素

白酒中的挥发性香成分受到多种因素影响,如所使用的原料种类、原料的比例、地理环境、水质、微生物菌群等,即使是同一个厂家的白酒,也会由于生产时细微的差别导致白酒中挥发性成分有所不同<sup>[47]</sup>。云敏等<sup>[48]</sup>为了推测酱香型郎酒酱味来源,对生产中涉及到

的微生物进行了研究,初步推测高温型红曲霉可能是酱香型郎酒酱味来源的主要微生物种类之一。曾伟等<sup>[49]</sup>研究了四特基酒在不同贮存容器中香味成分的变化规律,发现新酒贮存在不锈钢罐会增大总酸含量,贮存在陶缸中会增加总酯含量;基础酒经大水泥池贮存后,己酸乙酯、乳酸乙酯、丁酸乙酯在7~8个月达到最高值;新酒经不锈钢罐贮存后,乳酸乙酯到6个月达到最高值后下降,己酸乙酯、乙酸乙酯、丁酸乙酯随贮存时间延长其值增加;新酒经陶缸贮存后,己酸乙酯随贮存期延长其值增加,乙酸乙酯、丁酸乙酯、乳酸乙酯在半年内呈上升趋势,随后下降。涂向勇等<sup>[36]</sup>通过窖泥与基酒成分关系的比较研究,发现成熟老窖泥和新窖泥微生物群落和营养成分的变化,对浓香型白酒中香成分的含量和比例协调起着重要作用。物理催陈可加速白酒老熟,同时也使得白酒中的挥发性香成分发生变化。韩兴林等<sup>[50]</sup>进行了物理催陈对清香型白酒中微量成分及酒体结构影响的探讨,结果表明激光和紫外可提高酒体的氧化速度,乙醛量增高。迟延刚等<sup>[51]</sup>对板城烧锅酒中挥发性香成分进行了归纳总结,认为所选用的优质原料、适宜酿酒的生态环境、特定的微生物区系、优质的老窖池、优良的中高温大曲、特定的生产工艺等造就了板城烧锅酒特有香气。

#### 4 展 望

白酒中的挥发性成分复杂,在白酒中起着非常重要的作用;人们已经意识到只知道白酒中的骨架香成分并不能区分白酒的细微差别。随着科技的发展,提取与分析方法不断得到完善与普及,从分析仪器来看,已经从单独使用气相色谱分析逐渐过度到采用气质联机分析,目前正向采用高新技术的方向发展。分析技术的不断进步,越来越多的香气阈值低、含量少的挥发性香成分(如含硫和含氮的香料化合物)在白酒中被检测出来;这些微量成分的发现对进一步优化白酒的生产工艺,提高白酒质量提供了理论依据,同时对白酒的勾兑也起到了一定的指导作用。

#### 参 考 文 献:

- [1] GB/T 17204—2008 饮料酒分类[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [2] 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.
- [3] 郭文杰, 卢建春. 古井贡酒特征香味成分的研究[J]. 酿酒科技, 2001(5): 83-85.
- [4] 徐超一, 王威. 气相色谱法分析酒中醇、醛、酯类化合物[J]. 现代仪器, 2001(2): 8-10.
- [5] 吴天祥, 王利平, 刘扬岷. 气质联用(GC-MS)分析茅台王子酒的香气成分[J]. 酿酒, 2002, 29(4): 25-26.
- [6] 黄艳梅, 卢建春, 李安军. 采用气相色谱-质谱分析古井贡酒中的风味物质[J]. 酿酒科技, 2006(7): 91-94.
- [7] 张宿义, 张良, 赵金松. 泸型酒贮存过程中微量成分变化规律研究[J]. 酿酒科技, 2008(8): 61-64.
- [8] 刘宇驰, 罗文业, 何世兴. 应用WH-3色谱柱直接进样法分析国家名酒郎酒及系列产品[J]. 酿酒科技, 2008, 35(10): 111-114.
- [9] 吴兆征, 范志勇, 左国营. GC-MS直接进样定性定量分析白酒的探讨[J]. 酿酒科技, 2009, 36(6): 88-90.
- [10] 周华生, 张连龙, 成恒嵩. 五粮液和黄金酒营养及香气成分的测定[J]. 现代食品科技, 2010, 26(6): 652-655.
- [11] 赵东, 李阳华, 向双全. 气相色谱-质谱法测定酒糟、白酒中的芳香族香味成分[J]. 酿酒科技, 2006, 33(10): 92-94.
- [12] FAN Wenlai, QIAN M C. Identification of aroma compounds in Chinese "Yanghe Daqu" liquor by normal phase chromatography fraction followed by gas chromatography/olfactometry[J]. Flavour and Fragrance Journal, 2006, 21(2): 333-342.
- [13] FAN Wenlai, QIAN M C. Characterization of aroma compounds of Chinese "Wuliangye" and "Jiannanchun" liquors by aroma extract dilution analysis[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54: 2695-2704.
- [14] 叶鹏, 周昱, 张志刚. "翔安邨" 清香型高粱酒主要香气成分的GC/MS分析[J]. 检验检疫科学, 2008, 18(6): 26-27.
- [15] 柳军, 范文来, 徐岩. 应用GC-O分析比较兼香型和浓香型白酒中的香气化合物[J]. 酿酒, 2008, 35(3): 103-107.
- [16] 丁云连, 范文来, 徐岩. 老白干香型白酒香气成分分析[J]. 酿酒, 2008, 35(4): 109-113.
- [17] ZHU Shukui, LU Xin, JI Keliang. Characterization of flavor compounds in Chinese liquor Moutai by comprehensive two-dimensional gas chromatography/time-of-flight mass spectrometry[J]. Analytica Chimica Acta, 2007, 597: 340-348.
- [18] 侯冬岩, 回瑞华, 李铁纯. 钢都酒的香味成分分析[J]. 分析测试学报, 2002, 21(6): 49-52.
- [19] 师艳秋, 辛秀兰, 邵威平. 红莓发酵酒香气成分的GC-MS分析[J]. 食品科学, 2007, 28(12): 420-422.
- [20] 陈娟, 阚建全, 杜木英. 不同品种桑椹的蜂蜜发酵酒香气成分的GC-MS分析[J]. 食品科学, 2009, 30(4): 169-173.
- [21] FAN Wenlai, QIAN M C. Headspace solid phase microextraction and gas chromatography-olfactometry dilution analysis of young and aged Chinese "Yanghe Daqu" liquors[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53: 7931-7938.
- [22] 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.
- [23] 张艳红, 范文来, 徐岩. 顶空固相微萃取与气相色谱-火焰热离子检测器联用测定白酒中吡嗪类化合物[J]. 分析试验室, 2008, 27(6): 39-41.
- [24] 王勇, 范文来, 徐岩. 液液萃取和顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱联用技术分析牛栏山二锅头酒中的挥发性物质[J]. 酿酒科技, 2008, 35(8): 99-103.
- [25] 杜艳红, 聂建光, 王超. 萃取技术结合气相色谱-质谱联用技术剖析红星二锅头酒中的香味成分[J]. 酿酒, 2010, 37(2): 68-70.
- [26] FAN Wenlai, XU Yan, ZHANG Yanhong. Characterization of pyrazines in some Chinese liquors and their approximate concentrations[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55: 9956-9962.
- [27] 张斌, 曾新安, 陈勇, 等. 高强度电场作用下荔枝酒香气成分变化分析[J]. 食品科学, 2007, 28(12): 386-390.
- [28] 李记明, 段辉, 赵荣华. 苹果酒主要风味成分的分析研究[J]. 食品科学, 2007, 28(12): 362-365.
- [29] 牛广财, 范兆军, 朱丹, 等. 沙棘原酒与陈酿酒香气成分的比较研究[J]. 食品科学, 2008, 29(10): 491-494.
- [30] 盖禹含, 辛秀兰, 杨国伟. 不同酵母发酵的蓝莓酒香气成分GC-MS分析[J]. 食品科学, 2010, 31(4): 171-174.

- [31] 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.
- [32] 刘玉平, 陈海涛, 孙宝国. 鱼肉中挥发性成分提取与分析的研究进展[J]. 食品科学, 2009, 30(23): 447-451.
- [33] 刘春波, 陆舍铭, 招云芳. P&T-GC 分析酒中的挥发性醛酮[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(5): 125-127.
- [34] 樊振江, 高愿军, 常广双. 保健枸杞酒的配制及香气成分分析[J]. 酿酒, 2008, 35(2): 84-86.
- [35] 贾巧唤, 任石苟. 浅述酸、酯、醇等成分对白酒的影响[J]. 食品工程, 2008(4): 12-13.
- [36] 涂向勇, 姚继承. 窖泥与基酒成分关系的比较研究[J]. 酿酒科技, 2009, 36(11): 90-96.
- [37] GB/T 10781.2—2006 清香型白酒[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [38] GB/T 14867—2007 凤香型白酒[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [39] 郭燕霞. 汾曲香酒蒸馏中杂醇油主要成分变化情况探讨[J]. 酿酒, 2001, 28(1): 39-41.
- [40] 徐岳正, 周建弟, 丁关海. 浅谈绍兴酒中的有机酸[J]. 酿酒科技, 2004, 31(6): 77-78.
- [41] 赵佳, 雷振河, 吕利华. 汾酒产酸细菌的分离鉴定及其产酸条件研究[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(12): 43-46.
- [42] 王志坚. 啤酒中醛类物质的形成[J]. 食品工业, 2004(4): 7-8.
- [43] 杨国先. 酱香型白酒中糠醛的作用及测定方法研究[J]. 计量与测试技术, 2009, 36(9): 78-79.
- [44] 李加兴, 张永康, 周亚林. 老爹酒主要微量成分与酒体风格的特征关系研究[J]. 酿酒科技, 2000, 27(1): 79-80.
- [45] 周瑛, 莫孝廉, 伍显兵. 对酒鬼酒中吡嗪类化合物的形成机制与香气特征的认识[J]. 酿酒科技, 2005, 32(12): 43-44.
- [46] 信春晖, 朱政, 赵纪文. 复粮芝麻香酒特征香味成分初探[J]. 酿酒科技, 2008, 35(3): 69-72.
- [47] 谢秀敏. 白酒的微量成分基本组成、复杂程度及在酒中的地位和作用[J]. 酿酒科技, 2001, 28(5): 91-92.
- [48] 云敏, 邓杰, 李佳勇. 酱香型郎酒酱味来源之分析推测[J]. 酿酒科技, 2009, 36(1): 69-71.
- [49] 曾伟, 朱力红, 谢小兰. 四特基酒在不同贮存容器中香味成分的变化规律[J]. 酿酒科技, 2006, 33(6): 62-64.
- [50] 韩兴林, 王德良, 王异静. 物理催陈法对清香型白酒微量成分及酒体结构影响的探讨[J]. 酿酒科技, 2009, 36(3): 51-56.
- [51] 迟延刚, 王士敏, 张宗奇. 板城烧锅酒微量香味成分与典型风格及其成因研究[J]. 酿酒, 2008, 35(1): 28-30.