

文章编号:1671-1513(2012)03-0053-06

# 中国白酒风味分析及其影响机制的研究

康文怀<sup>1</sup>, 徐岩<sup>2</sup>

(1. 河北科技大学 生物科学与工程学院, 河北 石家庄 050018;

2. 江南大学 生物工程学院, 江苏 无锡 214122)

**摘要:**介绍了中国白酒风味化合物主要是由醇类、酸类、酯类、氨基酸类、羰基化合物、缩醛、含氮化合物、含硫化合物、呋喃类化合物、酚类化合物、醚类等组成的;综述了 GC-MS、GC-O、多维飞行质谱、顶空固相微萃取、浸入式固相微萃取、SBSE、AEDA、固相萃取等技术在分析检测白酒风味物质中的应用;进而综述了白酒风味物质产生及影响机制的研究进展,随着现代风味分析技术、微生物学技术、分子生物技术、分子生态学技术的综合应用,极大地促进了中国白酒风味化合物、特征风味化合物、功能微生物等相关研究与探索。

**关键词:**中国白酒;风味;生成机制

**中图分类号:** TS262.3; TS201.2

**文献标志码:** A

中国白酒历史悠久,它是以粮谷为主要原料,采用大曲、小曲或麸曲为糖化发酵剂,经过蒸煮、糖化、蒸馏而制成的白酒<sup>[1-2]</sup>。由于采用多种微生物自然接种、长时间的固态发酵等多种独特工艺,在国际上也是具有独特风味特征的蒸馏酒,但许多酿造机理至今并不十分清楚<sup>[1]</sup>。因而,利用现代化先进手段研究白酒风味组成,并结合微生物的作用研究其风味生成及影响机制一直是饮料酒行业的科研热点。

## 1 白酒风味化合物组成

白酒、黄酒、葡萄酒、啤酒等饮料酒中的风味物质含量十分丰富<sup>[3-5]</sup>。据报道,葡萄酒中共有 600 ~ 800 种各类挥发性化合物,总量在 0.8 ~ 1.2 g/L<sup>[5-7]</sup>;在中国白酒中,酒精与水的数量约占总量的 97% ~ 98%,微量成分的含量为 2% ~ 3%<sup>[2-3,8-9]</sup>。

根据它们的化学属性不同,可以将酒中的微量成分分为醇类(alcohols)、醛类(aldehydes)、酸类(acids)、酯类(esters)、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)

以及其他化合物。

据沈怡方<sup>[2]</sup>报道,在白酒中已经检测出了 342 种香味物质,定量的物质有 180 种以上。其中,醇类 37 种(包括多元醇 5 种)、酯类 100 种、酸类 42 种、氨基酸 15 种、羰基化合物 30 种、缩醛 21 种、含氮化合物 38 种、含硫化合物 7 种、呋喃化合物 6 种、酚类化合物 13 种、醚类化合物 10 种、其他 3 种。随着现代分析技术的发展,更多的微量成分被检测出来<sup>[10]</sup>。据 Zhu 等<sup>[11]</sup>报道,仅在中国茅台白酒样品中就鉴定出了 528 种化学成分。在葡萄酒中的挥发性成分目前已知的约有 800 多种,质量浓度从 1 μg/L(紫罗兰酮) ~ 100 mg/L(异戊醇)之间。这些复杂的成分在葡萄→葡萄汁→葡萄酒→陈酿的整个过程中不断产生和变化。

白酒呈香物质的形成和转化,不仅与微生物密切相关(微生物可将淀粉、蛋白质等物质转化而生成醇、醛、酸、酮、酯等物质),而且与白酒酿制过程中的原料选择、制曲工艺、酿酒操作等密切相关<sup>[12]</sup>。

白酒中的各种物质含量从每升几纳克到几百毫克不等,因此对它们准确的定性和定量非常困难,尤其对于微量香气成分的分析,需要开发新的分析方法。不同风味物质的感官阈值差异很大,因此其对

白酒主体香气成分的贡献迥异。

一般而言,酒中的微量成分,是决定白酒香气、口感和风格的关键<sup>[2-3,13]</sup>。在微量成分中,酸类赋予白酒丰满和酸刺激感,酯类使白酒具有水果的香气。特别是浓香型大曲酒,其主要香气成分就是以己酸乙酯为主体香的一种复合香气。在白酒生产的实践中,大家都能体会到,少量的调味酒对白酒的香气、口感和风格具有决定性的影响,但检测它们的色谱骨架成分,并没有发现多大的不同,这就是所谓的复杂成分在起重要作用。随着检测方法和手段的改进,分析仪器的不断革新,蒸馏酒中的绝大部分微量成分完全可以分析得非常清楚<sup>[3,13]</sup>。

## 2 现代风味分析检测技术的应用

不同类型白酒的风味化学特征是决定白酒类型和风格特点的内在依据。不断发展的现代科学分析检测技术,也为检测和发现大量影响白酒风味的化学物质提供重要保障。

关于中国白酒化学成分的研究起始于20世纪30年代。对中国白酒微量成分的研究始于1960年代的茅台试点,当时使用纸层析、柱色谱对白酒开始研究。目前,已经发展到全面应用气相色谱-质谱(GC-MS)、多维气相色谱-质谱(MDGC-MS)等现代科学仪器对白酒成分进行剖析。白酒风味化合物的初步研究开始于1960年代,但应用气相色谱-闻香法(GC-O)研究白酒的特征香气成分始于2005年<sup>[1]</sup>。目前,常用于分析白酒微量成分的仪器有GC-MS,GC-O等,用于样品前处理的方法有直接进样、液液萃取(再浓缩、组分分离等)、衍生法、顶空固相微萃取法、浸入式固相微萃取法等。GC-O技术作为一种感官检测技术,目前派生出4大类,即稀释分析法、频度法、后强度法、实践-强度法。

王勇等<sup>[14]</sup>采用浸入式固相微萃取(DI-SPEM)、液液萃取(liquid-liquid extraction, LLE)结合气相色谱-质谱联用(GC-MS)技术对牛栏山二锅头的风味物质进行了定性研究,并采用保留指数法对定性结果进行了验证。研究表明,牛栏山二锅头的风味物质含有35种酯类、13种酸类、15种醇类、5种醛类、1种酮类、15种芳香族及酚类、5种呋喃类、2种吡嗪类、3种缩醛类、1种硫化物、6种其他类化合物,共计101种风味化合物<sup>[14]</sup>。

闻香分析GC-O和GC-MS联用,可用来确定白

酒中对风味贡献大的物质组分。例如,王勇等<sup>[15]</sup>采用液-液萃取法提取牛栏山二锅头白酒中的香气化合物,进行闻香分析GC-O和GC-MS分离鉴定。一次性检出92种香气化合物,其中对牛栏山二锅头白酒整体香气贡献大的香气成分有25种:3-甲基丁醇、丁酸、3-甲基丁酸、二甲基三硫、香草醛、苯乙醛、乙酸乙酯、苯乙酸乙酯、苯乙酸、2-乙酰基-5-甲基呋喃、三甲基吡嗪、辛酸乙酯、乙酸-2-甲基丙酯、戊酸乙酯、2-羟基己酸乙酯、丁二酸二乙酯、辛酸、2-甲基丙酸、戊酸、2-甲基丙醇、庚醇、4-乙基愈创木酚、乙酸苯乙酯、苯丙酸和四甲基吡嗪。

溶剂辅助蒸馏SAFE作为一种萃取技术,可以除去不挥发性成分,在葡萄酒风味分析中得到了广泛应用。例如,姜文广等<sup>[16]</sup>采用溶剂辅助蒸馏-气相色谱-串联质谱法分析酿酒葡萄中的游离态萜烯类化合物。进而,姜文广等<sup>[17]</sup>采用恒温振荡浸提葡萄中的成分,通过溶剂辅助蒸馏(SAFE)技术除去不挥发性成分,氮吹浓缩,然后进行GC-MS和时间-强度嗅闻方法(Osme)对4种葡萄果实香气进行了分析,共检测出67种挥发性香气成分,鉴定出60种。

AEDA常用于对饮料酒香气成分的分析。Whisky是一种蒸馏酒,Poisson等<sup>[18]</sup>曾采用AEDA技术对这种类型的蒸馏酒进行了研究。研究表明,美国波本威士忌中含有45种活性物质。

白兰地也属于一种蒸馏酒。赵玉平等<sup>[19]</sup>对烟台张裕XO白兰地的主要香气成分进行感官分析。采用GC-MS鉴定出107种挥发性的化合物,经气相色谱-闻嗅分析,只有39种主要香气活性成分,香气最强的物质有:“奶油”特征来自于双乙酰,“干草”特征来自于橙花叔醇,“草香”来自于Z-3-己烯-1-醇,“梨香”和“香蕉香”由两种乙酸甲基丁酯产生,“玫瑰香”由乙酸苯乙酯形成,“酸橙香”由里哪醇形成,“橡木香”由顺式- $\alpha$ -甲基- $\gamma$ -辛内酯形成。研究证明:橡木中存在多种香气成分,给白兰地带来特有香气。

随着质谱技术的不断发展,出现了多维飞行质谱(TOF-GC/MS)。Zhu和Lu等利用应用二维气相色谱/飞行时间质谱法对中国茅台白酒的特征香气进行了分析<sup>[11]</sup>,结果表明,其香气成分被鉴定的物质有528种,其中包括有机酸、醇类、酯类、酮类、乙醛、缩醛、内酯、含氮化合物、含硫化合物等,此外还研究了对茅台酒具有突出贡献的重要风味物质。

杨建磊等<sup>[20]</sup>采用紫外荧光光谱对白酒进行了

研究. 白酒荧光光谱是由各种单体物质的荧光共同叠加而表征出来的,不同品牌的白酒中所含的单体物质种类基本相同,都包括水、酒精以及各种微量成分,然而其荧光光谱却差别很大. 白酒中的各种单体物质成分究竟是如何对白酒的荧光光谱产生影响,至今未见相关报道. 通过对白酒中的主要单体物质,包括酒精、水及各种主要的微量成分(共10种)在不同激发波长下产生的荧光光谱进行测定,并将其与已测定的大量白酒三维荧光光谱进行对比发现,可以对白酒的荧光光谱产生影响的单体物质是乙醇和主要微量成分. 白酒主要微量成分中醇类、酸类、酯类和醛类物质对其荧光光谱都有一定的影响,但各自影响的程度及影响的光谱范围又各自有所不同. 研究结果对白酒荧光光谱的进一步细化研究有着重要的意义<sup>[20]</sup>.

有研究人员在基于SVM的白酒红外光谱分析方法的研究中,为实现白酒品评自动化,采集了297个不同香型、86个不同等级、60个不同年份的白酒样品红外光谱图,共计443个. 针对这些红外光谱图,采用3次多项式插值拟合的方法进行基线漂移校正,并用小波软阈值法去除光谱噪声,然后用标准归一化的方法消除散射效应. 对于白酒的香型、等级和年份这3种不同的分类问题,分别选择样本的75%为训练集,余下25%为测试集,利用支持向量机(SVM)方法建立对应的香型、等级和年份分类模型,并在测试集上验证了模型的分类性能. 实验结果表明该方法行之有效,香型分类正确率达到98%以上,等级分类正确率达到92%以上,年份分类正确率达到100%.

余有贵等<sup>[21]</sup>开展了CO<sub>2</sub>超临界提取双轮底酒醅中香味成分的工艺研究. 乔华等<sup>[22]</sup>以清香型汾酒为研究对象,采用气相色谱/质谱联用方法,分析了汾酒中的主要香味成分,利用SEDS(steric and electronic descriptors)建立了预测香味成分的定量结构-色谱保留相关模型.

对饮料酒中风味物质阈值的研究一直是科研热点之一. 范文来等<sup>[23]</sup>按国标环境条件和阈值测定美国国家标准组织国家级、省级评酒委员对我国白酒中重要的、有代表性的79种风味化合物如己酸乙酯、乙酸乙酯、乳酸乙酯等进行了嗅觉阈值测定,并进行了嗅觉描述. 本次阈值测定是我国历史上规模最大、参加人数和测定化合物最多、测定方法最规范的一次阈值测定.

在《Wine flavour chemistry》中,Clarke等<sup>[24]</sup>列举了葡萄酒中常见物质组分的阈值. Lee<sup>[25]</sup>利用感官和仪器分析数据对霞多丽葡萄酒的活性香气成分进行了分析. Verhagen等<sup>[26-27]</sup>报道了啤酒中主要挥发性物质的主要阈值. 在《Handbook of Flavors and Fragrances》<sup>[28]</sup>中,提供了风味物质的化学性质,同时也会提供许多水溶液条件下的香气阈值.

### 3 白酒风味物质产生机理研究

随着白酒风味物质分析及微生物研究的不断发展,将二者结合起来以阐述其风味物质产生及影响机制已成为当前白酒研究的科研热点. 徐岩等<sup>[1]</sup>在“风味分析定向中国白酒技术研究的进展”中,介绍了对中国白酒的风味化合物、特征风味化合物、功能微生物等相关研究的情况,首次系统地将白酒的微量组分的研究从分析化学层面提升到风味化学的层面,建立的风味定向分析技术对于丰富我国白酒风味的理论和实践有着重要价值.

20世纪60年代中期,开始使用色谱技术剖析白酒香味成分. 1964年,原轻工业部组织茅台、汾酒等酒厂以纸层析色谱法定性及半定量检出了白酒中的酸、酯和芳香化合物等成分,并首次提出了乙酸乙酯是浓香型白酒的主要香味成分,乙酸乙酯是清香型白酒的主体香味成分<sup>[2]</sup>. 进而,研究了乙酸乙酯的产生机理.

徐岩等<sup>[29]</sup>针对中国白酒中四甲基吡嗪的微生物产生途径进行了研究和证实. 据报道,四甲基吡嗪不仅是中国白酒风味相关的重要化合物,同时具有特殊的药理作用,赋予中国白酒有益健康的功能. 江南大学对中国白酒中四甲基吡嗪的来源及产生机制进行了研究,研究验证了中国白酒中四甲基吡嗪产生的主要途径来源于微生物的代谢反应,并非美拉德反应. 对江南大学在“中国白酒169计划”中关于四甲基吡嗪的研究结果进行了总结,包括产生四甲基吡嗪的微生物、产生途径及代谢调控等.

辛秀明等<sup>[30]</sup>开展了丙酸菌对特型酒风格风味物质影响的研究. 该作者从特型窖泥中分离得到高产丙酸的菌株,将其应用于特型酒生产. 结果表明:当丙酸菌添加量增加 $6.7 \times 10^5$ 个/g糟醅时,与未补加筛选丙酸菌的对照组作比较,特型酒中乳酸含量降低了3.67 mg/100 mL,乳酸乙酯含量降低了80.6 mg/100 mL,丙酸乙酯含量提高了0.5 mg/100

mL,且基酒风格突出、口感较好。

糠醛又称呋喃甲醛,是重要的杂环类有机化合物。糠醛类化合物已经在白酒、葡萄酒、黄酒中检测到<sup>[1,3,31-32]</sup>。在我国白酒中,酱香型白酒的糠醛含量最高<sup>[2]</sup>。研究酱香型白酒堆积过程糠醛降解微生物,对进一步明晰酱香型白酒的堆积机理,缩短堆积时间,提高酱香型白酒的出酒率具有十分重大意义<sup>[33]</sup>。该文报道<sup>[33]</sup>,从酱香型白酒酒醅中筛选出了一株高效降解糠醛的菌株,并鉴定出该菌株为宛氏拟青霉。该菌株降解糠醛速度快,为高效降解糠醛菌。宛氏拟青霉对酒醅中糠醛降解为糠醇有较大影响,从而证明了降解糠醛过程中微生物的作用。杨国华等开展了酱香白酒生产中产香微生物研究<sup>[34]</sup>。徐岩等<sup>[29]</sup>针对中国白酒中四甲基吡嗪的微生物产生途径进行了研究和证实。据报道,四甲基吡嗪不仅是中国白酒风味相关的重要化合物,同时具有特殊的药理作用,赋予中国白酒有益健康的功能。江南大学对中国白酒中四甲基吡嗪的来源及产生机制进行了研究,研究验证了中国白酒中四甲基吡嗪产生的主要途径来源于微生物的代谢反应,并非美拉德反应,对江南大学在“中国白酒169计划”中关于四甲基吡嗪的研究结果进行了总结,包括产生四甲基吡嗪的微生物、产生途径及代谢调控等<sup>[29]</sup>。

徐岩等<sup>[1]</sup>在“风味分析定向中国白酒技术研究的进展”中报道了酱香型白酒嗪类化合物与酱香没有必然的联系,且大量吡嗪类化合物来源于芽孢杆菌的代谢发酵。徐岩等针对异嗅味化合物的相关研究也进行了综述。糠臭味是我国清香型白酒中一种普遍存在的异味,徐岩、范文来等应用先进的分离与风味分析技术,已经在清香型等白酒糠味化合物研究上取得重大进展。首次确认该化合物为 TDMTD,并进行了感官品尝的验证;测定了其阈值;初步获得4株产 TDMTD 的微生物,并着手研究 TDMTD 的有效调控因素(未发表)。同时,徐岩等开展了风味定向重要风味功能微生物研究,并取得了突破性的研究成果<sup>[35-38]</sup>。主要内容包括:风味功能微生物的研究,产异嗅微生物的研究,白酒群体微生物研究。例如,在高产2,3,5,6-四甲基吡嗪的微生物研究中,通过对枯草杆菌发酵生成 TTMP 动力学的考察,建立了多阶段磷酸铵盐补加策略、多阶段 pH 控制策略以及多阶段搅拌转速偶联温度控制的策略,应用上述策略,有效提高了枯草杆菌发酵生产 TTMP 的能力(TTMP 产量 >7.46 g/L)<sup>[35-38]</sup>。

采用分子生态学技术开展了白酒群体微生物研究。相比于传统的微生物研究方法,该方法不依赖于培养手段,不仅能够分析复杂体系中原始菌群的微生态构成,而且可以分析微生物之间以及微生物与环境之间的相互关系<sup>[39]</sup>。例如,对于产自不同区域、采用不同原料比例和不同工艺生产的大曲进行比较分析时发现,*Lactobacillus* 是大曲细菌中的优势菌种,并检测到了6个 LAB 菌种。这些 LAB 在不同大曲中的数量有差异,这是 LAB 代谢特性(如 ATP 的合成、辅因子再生、耐酸性)导致的生长竞争能力所决定的。而 *Saccharomycopsis fibuligera*、*Pichia anomala*、*Absidia blakesleeana* 和 *Aspergillus oryzae* 在所有大曲中都是最优势的酵母和霉菌。

中国白酒微生物群体经几千年的演化,已经成为我国宝贵的微生物资源。徐岩等<sup>[40-43]</sup>通过挖掘产脂肪酶的微生物,获得了可喜的成果,如大曲华根霉(*Rhizopus chinensis*) 固态发酵表达酯合成脂肪酶的研究、华根霉脂肪酶及其生物转化过程的研究、基于酶活力指纹图谱的微生物脂肪酶酯合成反应规律的研究、一种重组酵母脂肪酶的发醇制备方法等。吴衍庸<sup>[44]</sup>对中国白酒中微生物(特殊功能菌)的发掘与应用研究其主要成果有:利用甲醇的生丝微菌的发现与分离,可降低白酒中甲醇含量,还可利用其去除再利用水中的硝酸盐;分离到了高乙醇浓度特殊环境中甲烷氧化菌;从浓香型酒老窖中分离出一株产甲烷杆菌,开发出甲烷细菌与己酸菌共酵的二元发酵技术;从泸州老窖泥中分离出产己酸的细菌,为推广人工老窖发酵浓香型酒作出了重要贡献;杂醇油利用菌的发现与分离,为酒精工业降低杂醇油提供了新方法;从郎酒高温曲中分离得到一株嗜热芽孢杆菌;从泸型麦曲中分离出一株红曲霉菌,用于强化菌曲的研究。

## 4 展 望

随着风味化学研究方法、仪器设备的改进,随着微生物学技术、现代分子技术的应用,特别是分子生态学技术在中国白酒上的研究应用,极大地促进了对白酒风味物质的分析检测、白酒功能性微生物的挖掘和应用研究,风味物质形成机理及影响机制的研究。这必将会推动中国白酒更深、更广的发展,特别是发酵机理、风味形成及影响机制的探索和研究必将大大促进中国白酒传统行业的技术提升和

改造.

### 参考文献:

- [1] 徐岩, 范文来, 王海燕, 等. 风味分析定向中国白酒技术研究的进展[J]. 酿酒科技, 2010(11): 73-78.
- [2] 沈怡方. 白酒生产技术全书[M]. 1版. 北京: 中国轻工业出版社, 1998: 1-20.
- [3] 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(4): 31-37.
- [4] Vanderhaegen B, Neven H, Verachtert H, et al. The chemistry of beer aging: a critical review [J]. Food Chemistry, 2006, 95(3): 357-381.
- [5] 李华, 陶永胜, 康文怀, 等. 葡萄酒香气成分的气相色谱分析研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2006(1): 99-104.
- [6] Ferreira V, Ortín N, Escudero A, et al. Chemical characterization of the aroma of Grenache rose wines; aroma extract dilution analysis, quantitative determination, and sensory reconstitution studies[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(14): 4048-4054.
- [7] Lambrechts M, Pretorius I. Yeast and its importance to wine aroma; a review[J]. South African Journal of Enology and Viticulture (South Africa), 2000, 21: 97-129.
- [8] 章克昌. 酒精与蒸馏酒工艺学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1995: 1-577.
- [9] 胡国栋. 白云边酒特征香味组份的研究[J]. 酿酒, 1992(1): 76-83.
- [10] 李大和. 建国五十年来白酒生产技术的伟大成就(六)[J]. 酿酒, 1999(6): 19-31.
- [11] Zhu S, Lu X, Ji K, et al. 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(2): 340-348.
- [12] 庄名扬. 中国白酒香味物质形成机理及酿酒工艺的调控[J]. 酿酒, 2007(2): 109-113.
- [13] 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.
- [14] 王勇, 范文来, 徐岩, 等. 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(8): 99-103.
- [15] 王勇, 徐岩, 范文来, 等. 应用GC-O技术分析牛栏山二锅头白酒中的香气化合物[J]. 酿酒科技, 2011(2): 74-77.
- [16] 姜文广, 范文来, 徐岩, 等. 溶剂辅助蒸馏-气相色谱-串联质谱法分析酿酒葡萄中的游离态萜烯类化合物[J]. 色谱, 2007(6): 881-886.
- [17] 姜文广, 李记明, 徐岩, 等. 4种酿酒红葡萄果实的挥发性香气成分分析[J]. 食品科学, 2011(6): 225-229.
- [18] Poisson L, Schieberle P. Characterization of the most odor-active compounds in an american bourbon whisky by application of the aroma extract dilution analysis[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(14): 5813-5819.
- [19] 赵玉平, 徐岩, 李记明, 等. 白兰地主要香气物质感官分析[J]. 食品工业科技, 2008(3): 113-116.
- [20] 杨建磊, 朱拓, 徐岩, 等. 白酒单体物质紫外荧光光谱研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2009(12): 3339-3343.
- [21] 余有贵, 曾传广, 陈祥斌, 等. CO<sub>2</sub>超临界提取双轮底酒醅中香味成分的工艺研究[J]. 中国酿造, 2006(11): 31-33.
- [22] 乔华, 李美萍, 马艳红, 等. 汾酒香味成分分析及定量结构-色谱保留相关研究[J]. 食品工业科技, 2012(6): 95-98.
- [23] 范文来, 徐岩. 白酒79个风味化合物嗅觉阈值测定[J]. 酿酒, 2011(4): 80-84.
- [24] Clarke R J, Bakker J. Wine flavour chemistry[M]. Oxford: Ames Iowa Blackwell Pub, 2004.
- [25] Lee S J. Characterization of odor-active compounds in California Chardonnay wines using sensory and instrumental data[D]. California: University of California, 2002.
- [26] Verhagen L C. Beer flavor, in comprehensive natural products II[M]. Oxford: Editors' Home, 2010: 967-997.
- [27] Meilgaard M. Flavor chemistry of beer. II. Flavor and threshold of 239 aroma volatiles[J]. Technical Quarterly Master Brewers Association of America, 1975, 12(3): 151-168.
- [28] Michael A, Irene A. Handbook of flavors and fragrances[M]. New York: Synapse Information Resources, Inc, 2006: 1-980.
- [29] 徐岩, 吴群, 范文来, 等. 中国白酒中四甲基吡嗪的微生物产生途径的发现与证实[J]. 酿酒科技, 2011(7): 37-40.
- [30] 辛秀明, 吴生文, 邓丹雯, 等. 丙酸菌对特型酒风格风味物质影响的研究[J]. 食品工业科技, 2011(8): 100-105.
- [31] Fang Y, Qian M. Aroma compounds in Oregon Pinot Noir wine determined by aroma extract dilution analysis (AEDA) [J]. Flavour and fragrance journal, 2005, 20(1): 22-29.
- [32] Luo T, Fan W, Xu Y. Characterization of volatile and semi-volatile compounds in Chinese rice wines by head-space solid phase microextraction followed by gas chro-

- matography-mass spectrometry[J]. Journal of the Institute of Brewing, 2008, 114(2): 172-179.
- [33] 沈海月, 范文来, 徐岩. 白酒生产中高效降解糠醛微生物的筛选与鉴定[J]. 食品工业科技, 2010(3): 207-209.
- [34] 杨国华, 邱树毅, 黄永光. 酱香白酒生产中产香微生物研究[J]. 中国酿造, 2011(4): 24-27.
- [35] Xu Y, Zhu B, Fan W. FM-P13 Tetramethylpyrazine production by fermentative conversion of endogenous precursor from glucose by *Bacillus* sp. (Section VIII Fermentation and Microbial Technology) [J]. Journal of bioscience and bioengineering, 2009, 108(1): 122-128.
- [36] Zhu B F, Xu Y. A feeding strategy for tetramethylpyrazine production by *Bacillus subtilis* based on the stimulating effect of ammonium phosphate[J]. Bioprocess and Biosystems Engineering, 2010, 33(8): 953-959.
- [37] Zhu B F, Xu Y. Production of tetramethylpyrazine by batch culture of *Bacillus subtilis* with optimal pH control strategy [J]. Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology, 2010, 37(8): 815-821.
- [38] Zhu B F, Xu Y, Fan W L. High-yield fermentative preparation of tetramethylpyrazine by *Bacillus* sp. using an endogenous precursor approach [J]. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 2010, 37(2): 179-186.
- [39] Wang H Y, Zhang X J, Zhao L P, et al. Analysis and comparison of the bacterial community in fermented grains during the fermentation for two different styles of Chinese liquor[J]. Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology, 2008, 35(6): 603-609.
- [40] Xu Y, Sun S Y. Solid-state fermentation for whole-cell synthetic lipase production from *Rhizopus chinensis* and identification of the functional enzyme [J]. Process Biochemistry, 2008, 43(2): 219-224.
- [41] Sun S Y, Xu Y. Membrane-bound synthetic lipase specifically cultured under solid-state fermentation and submerged fermentation by *Rhizopus chinensis*: A comparative investigation [J]. Bioresource Technology, 2009, 100(3): 1336-1342.
- [42] Sun S Y, Xu Y, Wang D. Novel minor lipase from *Rhizopus chinensis* during solid-state fermentation: Biochemical characterization and its esterification potential for ester synthesis [J]. Bioresource Technology, 2009, 100(9): 2607-2612.
- [43] Yu X, Li Y. Expression of aspergillus oryzae tannase in *Pichia pastoris* and its application in the synthesis of propyl gallate in organic solvent [J]. Food Technology and Biotechnology, 2008, 46(1): 80-85.
- [44] 吴衍庸. 白酒工业微生物资源的发掘与应用 [J]. 酿酒科技, 2006(11): 111-113.

## Review on Aroma Compounds and its Formation Mechanism in Chinese Liquors

KANG Wen-huai<sup>1</sup>, XU Yan<sup>2</sup>

(1. College of Bioscience and Bioengineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, China; 2. School of Biotechnol Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** In this paper, the aroma compounds in Chinese liquors were introduced, including alcohols, organic acids, esters, amino acids, containing-hydroxyl compounds, acetals, containing-nitrogen compounds, containing-sulfur compounds, furans, phenols, and ethers and so on. Recently, Many modern analysis techniques applied in Chinese liquor were reviewed, including GC-MS、GC-O、HS-SPME、DI-SPME、multiple-dimensional gas chromatography/time-off-flight mass spectrometry、SBSE、AEDA and so on. Moreover, the formation and action mechanism were discussed. With the development of modern flavor analysis technology, microbiology technology, molecular biological technology, comprehensive application in Chinese Liquors has improved the related research and exploration of flavor compounds, characteristic flavor compounds, functional microorganism and so on.

**Key words:** Chinese liquors; flavor compounds; formation mechanism

(责任编辑:王 宽)