

白酒质量控制技术的研究进展

程劲松*, 李春扬

(中国食品发酵工业研究院, 国家食品质量监督检验中心, 北京 100015)

摘要: 本文从成品白酒质量出发, 以白酒相关国家标准体系为基础, 从白酒理化指标及感官指标控制、与安全相关的质量监测控制与品质相关的风味分析及评价等三个方面综述了白酒关键质量指标控制的现状与新发展。涉及到白酒产品质量相关规定、检测分析方法以及应对措施等, 指出现代色谱及其联用技术等不断更新和完善的仪器分析技术是白酒质量研究最主要的技术平台, 讨论了白酒质量控制技术对于提高白酒品质及安全性、推动白酒产业发展和走向国际的重要意义, 并展望了白酒质量控制的发展趋势。

关键词: 白酒; 检测; 质量控制; 质量安全; 风味

Development of quality control technologies for Chinese liquor

CHENG Jin-Song*, LI Chun-Yang

(China National Research Institute of Food & Fermentation Industries, National Food Quality Supervision and Inspection Center, Beijing 100015, China)

ABSTRACT: Based on national standard system of Chinese liquor in this paper, the quality control is divided into three parts: physicochemical and sensory indexes, safety index, and flavor quality. Meanwhile, the current situation and developments of every part are reviewed respectively. The review includes quality regulations, detecting techniques, responses and solutions. It is put forward that advanced instrumental analysis techniques such as chromatography combined with mass spectrometry are the main technical supports to the quality analysis of Chinese liquor. The significance of quality control to improve the safety of Chinese liquor, to promote the development of Chinese liquor industry and the globalization of Chinese liquor are discussed. At last, the future developments of the quality control are also prospected.

KEY WORDS: Chinese liquor; detection; quality control technologies; quality safety; flavor

白酒为我国特有的蒸馏酒, 经过千年的发展成为中华民族宝贵的文化遗产, 承载着悠久的历史 and 深厚的文化底蕴, 深受民众的青睐^[1,2]。“十一五”期间我国白酒规模企业产能提升 152%, 并于 2012 年达到 1153.16 万千升, 销售收入达 4466.26 亿元, 实现了白酒行业的跨越式发展^[3,4]。在产业高增长的同时, 白酒质量问题不容忽视, 2012 年 11

月开始的“塑化剂”风波极大动摇了消费者对白酒的信心和认可度, 最终成为导致白酒价格下跌、销售疲软的主要原因之一, 对整个白酒行业产生了恶劣的影响^[5,6]。另外, 相比洋酒迅猛的中国化之路, 2012 年中国白酒出口交货值仅为 34.79 亿元, 不到同期国内白酒制造业销售收入的 1%, 呈现出明显的反差^[6]。除文化及消费习惯差异、营销模式

基金项目: 国家质检总局“双打”质检公益专项基金项目(2012104009)

Fund: Supported by “Double Crackdown” Quality Inspection of Public Welfare Fund from General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People’s Republic of China(2012104009)

*通讯作者: 程劲松, 高工, 主要研究方向为酒类检测。E-mail: chengjinsong@126.com

*Corresponding author: CHENG Jin-Song, Senior Engineer, China National Research Institute of Food & Fermentation Industries, National Food Quality Supervision and Inspection Center, Beijing 100027, China. E-mail: chengjinsong@126.com

不适应等因素外, 质量体系的落后也严重制约了白酒的国际化发展, 如对白酒基础性物质研究不足导致国际认知度不高, 以及因为标签、添加剂及污染物残留等指标不符合出口国相关法规而导致白酒出口受阻^[6, 7]。因此, 无论是保障消费者饮用安全性的需求还是促进白酒产业发展及其国际化进程的需要, 都对白酒产品的质量提出了极高的要求。

为使白酒产品满足预期质量标准, 须对其生产和储运过程进行严格管理。其中, 质量控制是指为达到规定的质量要求所采取的作业技术和措施, 与质量保证和质量改进同属于质量管理体系的一部分, 而质量检验是质量控制最主要活动之一^[8]。在白酒生产中, 白酒质量控制就是对白酒产品的质量指标进行检验与评价, 发现问题并指导和解决问题。本文从白酒质量出发, 以成品白酒现有质量体系为基础, 结合近年来白酒安全事件所凸显的质量新问题, 将白酒质量控制关键指标分为三个部分: 白酒常规理化及感官指标、与白酒安全性相关的安全指标和与品质相关的风味指标及评价方法, 并依次对其相关标准及法规、分析技术及控制措施等的发展现状和最新进展进行综述。

1 白酒常规理化及感官指标控制

白酒是一种嗜好型酒精饮料, 具有食品通用的质量评价体系, 不仅包括常规的理化和安全性指标, 还包括感官评价指标。与其他产品相同, 白酒也有系统的国家标准对这些指标进行定义、限量及检测方法指导等, 主要包括酒精度、总酸、总酯、甲醇、铅、锰等理化及安全指标, 以及乙酸酯等白酒特征风味骨架成分^[1]。本节在归纳白酒国家标准的基础上主要对白酒基本理化指标和感官评定进行总结。

1.1 白酒相关国家标准

白酒国家标准主要以产品标准为主, 其他还包括基础标准、实验方法标准和原辅料标准等^[9]。其中, 产品标准按分类方法的不同又分为三大类: 以酿造工艺分为《固液法白酒》等 3 个标准, 以风味分为《浓香型白酒》等 10 大香型标准, 以出产地分为《贵州茅台酒》等 18 个地理标志产品标准。产品标准对白酒相关产品的定义、理化指标、感官指标等进行了界定, 食品安全标准则规定了白酒产品的安全性指标, 并被产品标准所引用, 同时产品标准和安

1.2 理化指标

白酒的理化指标主要包括酒精度、总酸(以乙酸计)、总酯(以乙酸乙酯计)和固形物, 以及能够突出不同香型白酒风格特征的指标, 各产品标准对这些指标的含量进行了

明确规定, 如根据酒精度的不同将白酒分为高度酒和低度酒, 酱香型白酒要求总酸含量至少为 0.8g/L, 明显高于其他香型白酒, 米香型白酒特别规定了乳酸乙酯和 β -苯乙醇的含量^[9]。酒精度是白酒最主要的特征, 固形物则综合反映了生产用水、酿造工艺及容器使用过程中的异常状况, 以醇、酸和酯为主的各呈香呈味物质总含量虽仅为 2%~3%, 却决定着白酒最终的风味和风格特征, 因此白酒的理化指标控制是白酒质量控制的基础和关键^[10, 11]。

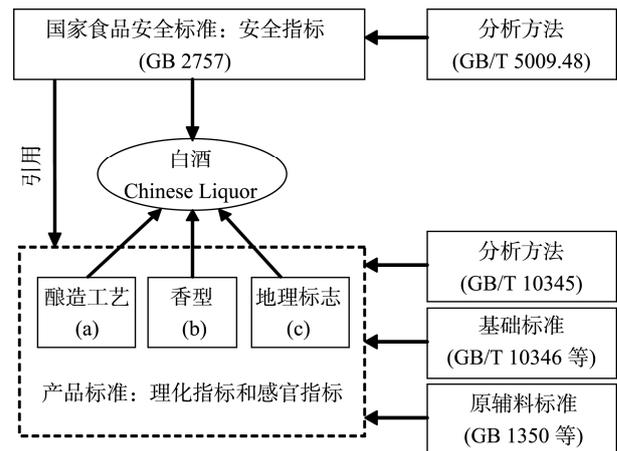


图 1 白酒相关国家标准关系图

Fig. 1 Relation schema of national liquor standards
a. GB/T20821, GB/T20822, GB/T26761; b. GB/T10781, GB/T14867, GB/T16289, GB/T20823, GB/T20824, GB/T20825, GB/T23547, GB/T26760; c. GB/T18356, GB/T18624, GB/T19327, GB/T19328, GB/T19329, GB/T19331, GB/T19508, GB/T19961, GB/T21261, GB/T21263, GB/T21820, GB/T21822, GB/T22041, GB/T22045, GB/T22046, GB/T22211, GB/T22735, GB/T22736.

对白酒理化指标的检测主要依照国家标准《白酒分析方法》中规定的检测方法, 其中测定酒精度为密度瓶法或酒精计法, 测定总酸和总酯用指示剂法或电位滴定法, 测定固形物使用烘干称量法, 测定乙酸乙酯等特性风味指标用气相色谱法, 这些经典方法可用于各指标含量的准确定量^[9]。随着分析技术的发展, 新仪器新方法不断涌现, 如陈妍等^[12]应用近红外光谱法建立白酒关键指标的定量模型, 可对白酒样品中乙醇、总酸总酯和乙酸乙酯等物质的含量进行检测, 适于大批量样品的测定, 但结果的稳定性和准确度不如经典方法。

白酒工艺技术是影响白酒质量的最主要因素, 当发现理化指标测定结果异常时, 就需要对整个工艺过程进行追溯。其中, 陈酿和勾兑是决定酒精度和总酸总酯等指标的关键步骤, 调整陈酿时间和勾兑比例可灵活掌握各指标值的高低, 但要充分考虑到成品酒在货架期内总酸和总酯含量的变化^[13]。白酒生产过程中多种因素影响着白酒固形物含量, 包括酿造用水的硬度、添加剂的使用、酒处理和过滤、酒瓶卫生和贮酒容器质量等^[10], 当固形物含量偏高

时应对这些关键点进行排查和严格控制。

1.3 感官指标

经过长期发展,不同产地不同品牌白酒酿造工艺和地理环境的差异造就了中国白酒百花齐放、各具特色的局面^[14],理化指标作为白酒的共性在不同产品间区别并不太大,而白酒感官指标则能够直接地反映着这种差异性,各香型和地理标志的白酒产品标准根据自身特点对其风味感官特性加以描述性要求,以此作为其产品的质量属性^[9]。

感官指标包括色泽、香气、口味及风格特征,是不可量化的整体化指标,需要通过品评者的感觉器官(眼、鼻、口等)对其进行综合分析和评价^[9]。白酒品评具有快速、简便和灵敏的特点,是分析和评价酒中醇、醛、酸、酯等微量成分相互作用所呈现出的综合效果的最有效方法,因此成为检验白酒质量的重要手段^[15]。人工感官品评的过程相对简单,但对品评环境和品评员感觉器官灵敏度及品评知识掌握程度有严格的要求^[9],因此必须按规定进行规范化品评才能使这种主观性感受尽量客观和准确。

对成品酒的感官控制主要涉及基酒和入库酒质量等级鉴定、勾兑和调味等技术步骤,在这些过程中同样需要感官品评对其进行评定,以此指导和调整相应的生产过程,使最终产品感官质量达到预期要求。

2 白酒质量安全指标监控

除理化和感官要求外,白酒产品的安全性是其作为一种食品应具有的最基本属性。国家安全标准对其做了强制性规定,包括甲醇和氰化物,并要求白酒中污染物、真菌毒素和添加剂应符合相关标准的规定^[9]。白酒安全性因素分为内源性和外源性,内源性危害物是白酒生产过程中产生的副产物,如氰化物、氨基甲酸乙酯等,外源性物质是白酒产品安全的最大威胁,包括重金属、邻苯二甲酸酯类塑化剂和残留农药等。

2.1 杂醇油和甲醇

杂醇油是指具有3个及3个以上碳原子一元醇的总称,包括异丁醇和异戊醇等,主要来源于发酵过程中酵母菌对糖类和氨基酸的代谢。杂醇油在人体内氧化速度较慢,过量的杂醇油会使神经系统长时间充血而导致人头痛^[16]。因此,杂醇油作为白酒产品卫生指标一直受到严格监控,但2006年12月颁布的国家标准《蒸馏酒及配制酒卫生标准》(GB 2758-1981)第2号修改单中取消了对杂醇油的限量要求^[17]。一方面,杂醇油在具有代表性的知名白酒中含量均低于前国标的限定值^[18-20],且远低于洋酒中杂醇油的含量^[18],而在没有充分科学依据证明杂醇油的危险性情况下,取消杂醇油限量是国家标准向国际通用标准的一种靠拢;另一方面,各种杂醇油在低浓度含量下均呈现水果香味^[21],

对白酒风味有明显贡献,只在高浓度时才会导致白酒苦涩味^[18],即在对人体能够产生危害的浓度时其风味呈现性已经严重影响白酒感官质量,因此将杂醇油定为风味指标而取消其作为安全指标更为合适。白酒中醛类具有类似情况,乙醛因其特殊的辛辣刺激味及其对人体毒性比乙醇大而引发白酒中醛类是否有毒的讨论^[22],经蒸馏过程的“掐头去尾”及贮酒过程的陈酿作用,乙醛因其挥发以及乙醇缩合成具有清香感的乙缩醛而使其含量大大减小,此时以乙醛和乙缩醛为主的醛类成为白酒重要风味组分不可分割的一部分,因此醛类同样属于风味质量指标而不属于安全指标。

在白酒发酵过程中,原辅料所含果胶质的水解会自然产生少量的甲醇并随着蒸馏不可避免地进入酒体,因其量微对饮用者不会造成伤害,但当以含果胶质较多的薯类等代粮原料进行酿造或不法分子使用工业酒精冒充食用酒精勾兑白酒时,其过量甲醇可导致人体中枢神经系统麻痹和视网膜病变^[23],给消费者带来极大的安全隐患。国家标准《蒸馏酒及其配制酒》历来将甲醇定为重要控制指标,是成品白酒出厂必检项目^[9]。分光光度计法是检测白酒中甲醇的国标方法之一,但其稳定性和抗干扰能力不足,在此方法的基础上优化条件后有明显改善^[24,25]。随着气相色谱的普及,气相色谱法(GC)因其操作简便、特异性强、结果精度高成为测定白酒中甲醇的首选^[26]。

选用低果胶质含量的原料、降低原辅料蒸煮压力并增加排排气次数、对原料进行堆积和浸泡处理等措施可降低白酒中甲醇的含量^[27],另外利用分子筛对甲醇的吸附作用对基酒或成品酒进行过滤可明显除去部分甲醇^[28],而田晓梅等^[29]用二氧化钛粉制成固定式光催化剂,在紫外光下对白酒进行催化照射亦有明显效果,但根据其原理^[30]可知催化过程中会同时造成其他物质氧化分解(已知处理后乙醇含量随之降低^[29]),可能对白酒风味造成较大影响,因此其适用性有待于进一步研究。

2.2 氰化物

氰化物以含氰糖苷的形式存在于木薯等酿酒原料中,在酿造过程中经水解产生氢氰酸,是白酒中氰化物的最主要来源^[31,32]。人体氢氰酸(HCN)和氰化钾(KCN)的致死剂量分别约为50~100mg和150~250mg^[33],因此国家标准对白酒中氰化物进行了严格限量^[9]。国家标准中采用比色法测定白酒中氰化物含量,但加入显色剂后会出现白色浑浊而干扰测定,根据企业自控需要,可通过预蒸白酒样品^[34]、添加表面活性剂^[35]、离心^[36]或过滤^[37]白色沉淀等方法降低干扰,提高测定准确度。比色法操作繁杂且检出限偏高^[38],而顶空气相色谱法以其效率高、样品用量少、灵敏度高等优点在测定白酒中氰化物含量中应用越来越广泛^[31]。其他还有原子吸收法和荧光法,均得到较高的回收率和较低的检出限,适合微量氰化物的测定,但电化学法因

其干扰因素较多检测结果并不理想^[38]。

白酒生产过程中主要通过控制原料来减少氰化物的产生, 如减少木薯使用量而选用谷物作为酿酒原料, 充分浸泡原料使含氰糖苷溶出, 并在蒸煮原料过程中多排气使生成的氢氰酸挥发^[32]。另外, 可选用对氰化物具有高降解率的酵母菌, 在酒精发酵阶段将原料中氰化物分解来降低其含量^[39]。

2.3 重金属

对人体危害最大的重金属包括铅、汞、铬、砷、镉等^[40], 多经蒸酒器具、输酒管路及贮酒容器与白酒接触过程, 酒糟的蒸酒过程, 基酒及加浆水的勾兑过程进入酒体造成污染^[41]。在用高锰酸钾作为氧化物对白酒进行除杂除臭时, 白酒中将残留部分锰离子。新版白酒国家标准取消了对锰含量的限定^[9], 但在《食品中污染物限量》中对白酒中污染风险最高的铅提出了更高的要求, 其限量值降为 0.5 mg/kg^[42]。虽然对污染风险较小的其他重金属未作限量规定, 但有条件的白酒企业仍应将其定为监测对象, 标准中同时还规定了酿酒原料谷物中多种重金属的限量值。

在对重金属的检测中原子荧光光度法、原子吸收分光光度法和原子吸收火焰光度计法等方法技术成熟, 是测定总砷、无机砷、总汞、铅和锰的常用方法, 在此基础上根据需要对这些方法进行改进和优化, 取得了更好的效果^[43, 44]。电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)在重金属检测中具有明显的优势, 其方法检出限更低、灵敏度更高, 并可同时筛查多种金属元素^[45]。另外, 电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)同样具有受干扰小、线性范围宽、可同时测定多种重金属元素等优势^[43], 但其灵敏度略低于 ICP-MS, 其他还有高效液相色谱法、酶分析法、生物传感器法和免疫分析法等^[40], 可根据不同的检测需求选择合适的检测方法。

白酒重金属污染的控制着重于预防, 如将生产设备和贮酒容器换成不锈钢材料, 严格把关原料和加浆水的质量等。对于重金属已污染且含量过高的白酒, 可利用生石膏、麸皮或果胶进行处理, 使酒中的重金属盐凝集而共同析出^[46], 但可能对白酒风味造成一定影响, 因此对已污染的白酒进行重蒸处理效果更好, 不仅有更好的重金属除杂效果, 还可最大限度地保留原始风味。

2.4 邻苯二甲酸酯类塑化剂

2012年11月媒体报道了部分白酒中含有塑化剂成分, 引起了消费者、监管部门和白酒企业的高度重视^[47]。当白酒在酿造和贮运过程中与含有邻苯二甲酸酯类的塑料或橡胶等制品接触时, 其所含的酒精成分对其具有溶出效果, 导致塑化剂污染。另外, 邻苯二甲酸酯类是一类半挥发性物质^[48], 在白酒蒸馏过程中也可能从原料中迁移入酒体。邻苯二甲酸酯类进入动物体后可影响其正常激素分泌, 具

有生殖和发育毒性^[49], 因此必须对白酒中塑化剂污染进行监测和控制。原卫生部文件^[50]规定食品及食品添加剂中邻苯二甲酸二丁酯(DBP)和邻苯二甲酸(2-乙基己)酯(DEHP)最大残留量分别为 0.3 mg/kg 和 1.5 mg/kg, 但并非食品安全国家标准限定值, 仅用于排查违法添加行为, 另外国家标准^[51]规定食品接触材料中 DBP 和 DEHP 特定迁移量分别为 0.3 mg/kg 和 1.5 mg/kg。欧洲食品安全局评估后制定了 DBP、DEHP 和邻苯二甲酸二异壬酯(DINP)等的每日耐受摄入量(TDI), 分别为 0.01、0.05、0.15 mg/kg-bw^[52], 在此基础上, 国家食品安全风险评估中心依据我国居民白酒消费量和白酒中邻苯二甲酸酯类塑化剂含量普查数据, 对成人饮酒者的健康风险进行了评估, 结果认为白酒中 DBP 和 DEHP 的含量分别在 1 mg/kg 和 5 mg/kg 以下时, 对饮酒者的健康风险处于可接受水平^[53]。

食品中邻苯二甲酸酯类的测定方法有气相色谱-质谱法(GC-MS)、气相色谱-氢火焰离子化检测法(GC-FID)、液相色谱-二极管阵列检测法(LC-PDA)、高效液相色谱-紫外检测法(HPLC-UV)和液相色谱-串联质谱法(LC-MS/MS)等, 其中以 GC-MS 为主, 而提取和净化是整个测定过程的关键步骤, 决定着方法的检出限^[52]。白酒因含有大量的乙醇而影响有机溶剂液液萃取法测定邻苯二甲酸酯类的回收率^[54], 可通过沸水浴^[55]、氮吹或旋转蒸发^[54]、加纯水降低白酒酒精度^[56]来排除或减小乙醇的干扰, 而在液液萃取^[57]和基质分散固相萃取^[58]后通过固相萃取进行净化处理可进一步排除基质干扰而提高方法的精确度。离子迁移谱技术^[59]和酶联免疫法^[60]不需要样品前处理, 因此可作为邻苯二甲酸酯类的快速定性筛查和初步定量; 对高度白酒 LC-MS/MS 双柱法^[61]同样可直接进样并能够取得满意的回收率和灵敏度, 具有一定的推广价值。

因邻苯二甲酸酯类主要通过接触材料和原料迁移入酒体中, 因此可通过将输酒管路和贮酒设备换成不锈钢材质等非塑料器具, 以及严格控制原料邻苯二甲酸酯类污染水平等途径来有效降低白酒塑化剂污染风险。

2.5 甜味剂

甜味剂作为食品添加剂广泛用于食品工业中, 但同时部分甜味剂存在安全性问题, 如阿斯巴甜含有的苯丙氨酸成分可危及苯丙酮酸尿患者的大脑健康, 美国等多个国家和地区则禁止在食品中添加甜蜜素^[62]。我国在食品安全国家标准《食品添加剂使用标准》^[63]中规定可用于食品加工的甜味剂共有 21 种, 但只有标准中表 A.2 列出的纽甜等 6 种甜味剂因其适用于各类食品而可用于白酒生产中。然而白酒产品标准对固态法白酒和十大香型白酒的定义中明确说明“未添加非白酒发酵产生的呈香呈味物质”, 因此按传统固态法白酒标准生产的白酒产品中不得含有甜味剂, 液态法和固液法白酒则可根据需要适量添加纽甜等 6 种甜味剂, 但需注意其产品标签应标明执行标准为液态法白酒

或固液法白酒国家标准。

原卫生部已明确国家标准《食品中环己基氨基磺酸钠的测定》的适用范围不包括白酒^[64]，目前测定白酒中甜味剂的仪器方法有 GC-MS^[65]、LC-PDA^[66]、超高效液相色谱-蒸发光散射检测法(UPLC-ELSD)^[67]、LC-MS\MS^[64, 68]和离子色谱电导检测法^[69]等，其中 LC-MS\MS 因其无需复杂前处理、灵敏度高和抗干扰能力强而广泛用于白酒中甜味剂的检测。为防止白酒中乙醇等物质对甜味剂的测定造成影响，可预先通过沸水浴和旋转蒸发等方法使其挥发^[65, 66, 68]，或将白酒稀释后过净化柱排除其干扰^[69]，在对定性定量无明显影响时也可过滤膜后直接进样^[67, 68]。

白酒生产主要以谷物为原料且甜味剂具有非挥发的性质，因此白酒中甜味剂均系无意识引入或人为添加，当发现违规添加时应逐级溯源，对基酒和调味酒等半成品酒进行追查，以实现白酒中甜味剂的监测和控制。

2.6 农药残留

高粱、小麦等白酒酿造原料在种植和储存过程中因农药的使用或周围环境中农药的迁移，均可能造成其农药残留，进而通过蒸酒过程进入酒体，鉴于农药在动物体内具有蓄积作用及其致畸、致癌、致突变的高毒性，白酒中的农残将对饮用者造成一定的安全风险^[70, 71]，严格控制酿造原料的农残量成为减少和杜绝白酒农残的关键。目前，国家标准对白酒中农残限量还未作要求，但对其原料具有严格的规定，食品安全国家标准《食品中农药最大残留限量》^[72]中明确了 387 种农药 3650 项最大残留限量值，其中涉及谷物共 229 种农药，并限定了多种农药在稻谷(58 种)、小麦(123 种)、玉米(94 种)、大米(31 种)、高粱(42 种)、豌豆(41 种)、大麦(59 种)等酿酒原料中的最大残留量。

对白酒中农残的检测研究至今较少^[70, 73]，但因检测方法的通用性，大量用于测定食品(尤其是其他酒类)中农残的方法只需对其前处理加以调整即可用于白酒中农残的定性定量分析，而针对谷物原料中农残的测定在标准^[74]中均指定了相应的检验方法标准。在检测仪器选择上以 GC-ECD、GC-MS 和 LC-MS\MS 为主^[73, 74]，均具有灵敏度高、抗干扰能力强、定性准确等优势，同时根据需要发展了酶抑制法、免疫分析法和生物传感器等农残快速检测技术^[74]。样品前处理技术对整个测定方法起决定性作用，需根据不同种类农药的性质选用合适的前处理方法，酒类前处理相对简单，经萃取和净化后即可用于仪器测定，主要有液液萃取法、固相萃取法及固相微萃取法等^[73]。

在对原料中农残进行实时监测的同时应积极采取有效的控制措施，白酒生产企业可通过划定区域、定点收购、规定品种等方式打造原料生产基地来保证可控性，并应大力推广有机认证等无公害农产品认证，从源头杜绝农药残留。

2.7 氨基甲酸酯

氨基甲酸酯是发酵食品在生产 and 贮存过程中产生的一种天然副产物^[75]，实验证明氨基甲酸酯对多种动物体具有遗传毒性和致癌作用^[76, 77]。2007 年，国际癌症研究机构(IARC)再次对氨基甲酸酯进行评估后将其由 2B 类(或许对人体致癌)改为 2A 类(很可能对人体致癌)，并强调经酒精饮料摄入的氨基甲酸酯总量可能对健康造成潜在危险^[78]。因此，多个国家和地区对酒精饮料中氨基甲酸酯规定了限量值，如加拿大卫生与防疫部门对蒸馏酒限量为 150 $\mu\text{g/L}$ ，美国食品和药品管理局规定甜葡萄酒中含量不能超过 60 $\mu\text{g/L}$ ^[79]。

目前，氨基甲酸酯的检测方法较为成熟，主要有 GC、高效液相色谱-荧光检测法(HPLC-FLD)、GC-MS 等，其中 GC-MS 法以其高灵敏度和适用性被多个国家和组织定为官方方法，用于酒精饮料中氨基甲酸酯的测定^[75, 80]。其前处理方法主要有液液萃取法^[81]、固相萃取法^[82]、固相微萃取法^[83]及双水相萃取技术^[84]。针对白酒样品的特殊性，陈达炜等^[85]讨论了酒精度对 HPLC-FLD 法测定白酒中氨基甲酸酯含量的影响，并建立不同酒精度与 45%酒精度间氨基甲酸酯峰面积相对校正系数，大大提高方法准确度，与 GC-MS 相比更适用于大批量样品的测定；马娅萍等^[86]利用二维色谱技术结合高选择性磷检测器测定白酒中氨基甲酸酯，因不需要前处理且灵敏度高而具有很大的优势。

Wu 等^[79]分析了浙江省本地市场上 22 个白酒样品，其氨基甲酸酯平均含量为 72 $\mu\text{g/kg}$ ，范文来等^[87]对不同香型白酒氨基甲酸酯含量进行检测，其平均值约为 100 $\mu\text{g/L}$ ，陈达炜等^[85]选取市场上 47 个不同酒精度的白酒，经测定氨基甲酸酯含量超过 100 $\mu\text{g/L}$ 的样品占总量的 19.1%。因此，需采取措施对白酒中氨基甲酸酯含量进行控制。目前，虽证实白酒酒醅发酵过程中氨基甲酸酯含量变化与尿素浓度变化基本同步^[88]，但仍缺乏充分的研究来揭示白酒酿造过程中氨基甲酸酯主要生成途径，因此宜采用全面控制措施^[76]：精制酿酒原料并对其进行蒸煮排气或添加化学催化剂以降低前体物质氰化物的含量；适当控制发酵条件，如降低发酵和陈酿温度；通过减弱酵母细胞内精氨酸酶的活力或选育产尿素能力低的酵母菌降低酒中胺类化合物的含量；向完成发酵的酒中添加酸性尿酶等。

2.8 生物胺

生物胺是一类普遍存在于发酵食品中由氨基酸脱羧或醛酮氨基化形成的含氮小分子有机化合物^[89, 90]，过量的生物胺进入血液中，易引起头痛、恶心、血压异常、心悸、呼吸紊乱等过敏反应，腐胺和尸胺等则能与亚硝酸盐反应生成致癌的亚硝胺，由于酒精可抑制单胺氧化酶活性而减

弱机体对生物胺的转化, 因此若酒精饮料中含有过量生物胺时将对人体造成更大的危害^[89]。多个国家对毒性最大的组胺规定了在葡萄酒中的限量值, 其中瑞士为 10mg/L, 德国(2mg/L)、法国(8mg/L)和比利时(5~6mg/L)的限量更低^[91]。

食品中生物胺检测方法主要包括薄层色谱法(TLC)、GC、HPLC 和毛细管电泳法等, 其中 HPLC 是最常用方法^[92]。目前, 对生物胺的研究集中在其含量较高的葡萄酒、黄酒和米酒等发酵酒, 而对白酒中生物胺的研究较少^[89, 93]。温永柱等^[94]采用液液萃取及生化法结合 GC-MS 对白酒中生物胺进行了定性研究, 并在 5 种白酒样品中准确性到 9 种生物胺。在此基础上, 又利用 RP-HPLC 法对几大香型白酒中生物胺进行初步定量分析, 结果显示与发酵酒相比, 白酒中生物胺含量较低, 平均含量为 0.833 mg/L, 5 种生物胺中吡咯烷含量最高, 占总量 50%以上^[93]。

可采用食品中生物胺的控制和去除措施来降低白酒中生物胺的含量^[91, 95], 其方法主要有: 通过选用蛋白质含量低的谷物品种作为酿造原料以控制底物氨基酸的含量, 但应以不影响正常微生物发酵和风味物质形成为前提; 选育无氨基酸脱羧酶活性的菌株, 可从源头减少生物胺的积累; 添加胺氧化酶和胺脱氢酶等生物胺降解酶。

2.9 真菌毒素

真菌毒素是真菌在生长繁殖过程中产生的次生有毒代谢产物^[96], 摄入动物体后可损害肝脏、肾脏和神经组织等, 部分真菌毒素具有致癌、致畸、致突变作用^[97]。真菌毒素主要是在生长、加工和贮运等环节污染大米、小麦等谷物, 当用真菌毒素超标的谷物作为酿酒原料时, 将对白酒产品造成安全隐患^[98]。白酒安全标准中引用《食品中真菌毒素限量》^[96]对其真菌毒素的相关指标进行限定, 其中仅规定以苹果、山楂为原料制成的酒类中展青霉素的限量值为 50 μ g/kg, 另外还详细规定了酿酒原料谷物中黄曲霉毒素 B₁、脱氧雪腐镰刀菌烯醇、赭曲霉毒素 A、玉米赤霉烯酮四种真菌毒素的限量指标。

目前对白酒中真菌毒素测定的研究比较少, 杨晓东等^[99]和叶光斌等^[100]利用酶联免疫试剂盒分别测定了浓香型成品白酒中黄曲霉毒素 B₁ 和赭曲霉毒素, 杜阳锋^[98]则通过建立模型将三维荧光光谱技术用于白酒中真菌毒素的测定, 结果显示该方法具有较好的预测准确度。韩振国^[101]则建立了 HPLC 法测定白酒中赭曲霉毒素 A 和呕吐毒素的方法, 具有较低的检出限和较高的回收率, 经对比优于 TLC 等测定方法。谷物中真菌毒素检测方法研究较多, 主要有 TLC、酶联免疫吸附法、免疫亲和层析法和分子印迹技术等快速分析方法^[102], 以及 GC-MS、HPLC-UV、HPLC-FLD、UPLC-MS/MS 等仪器分析方法^[97, 103]。由于真菌毒素在谷物中含量极微, 因此均需要有效的样品前处理, 一般在选择合适的溶剂及超声等辅助方法进行提取后, 还

需采用固相萃取和免疫亲和层析等方法对其进行净化和浓缩^[104], 国家标准^[96]对其每种真菌毒素均指定了相应的检验方法标准, 其净化方法多为免疫亲和层析法。

白酒中真菌毒素主要由原料带入, 因此必须从源头采取控制措施。在谷物入厂前应对其进行严格的真菌毒素检验, 杜绝有毒有害谷物的同时也可防止对仓库中其他原料的污染; 谷物的贮藏环境应保持干燥和低温, 防止凝结, 避免害虫进入, 考虑到农药残留问题, 不宜采用杀真菌剂和杀虫剂, 可选用合适的生物技术防控真菌微生物, 在此阶段应对其进行实时污染监控; 谷物在粉碎后应及时使用, 勿堆积过久, 另外润料和预蒸均对真菌毒素具有一定的清除作用^[105]。

2.10 其他危害指标

除上述白酒安全性指标外, 还有其他一些潜在的危害因子, 如当谷物原料或酿酒用水受到环境突发事件中有毒有害物质的污染时, 均可对白酒产品造成安全隐患。冯沙等^[106]采用分散固相萃取技术建立了 HPLC-MS/MS 法测定白酒中 15 种全氟化合物, 方法定量限为 0.1~0.45 g/L, 在对 15 份白酒进行实际分析中, 少量样品检出全氟庚酸和全氟辛酸。

3 白酒风味分析及品质控制

白酒作为一种特殊的食品, 在满足理化和安全性要求的基础上, 其风味是决定白酒质量的最主要因素。感官是国家标准对白酒的一项产品要求, 目前仍主要依靠品酒师和调酒师的人工感官品评来鉴别白酒质量和等级。但感官品评存在着一定的局限性: 品评者存在个体差异, 且人的感觉器官易疲劳, 缺乏稳定性, 因其主观因素导致评价标准无法完全统一; 品评结果多为文字性描述, 难以对不同等级产品间的差异进行量化, 而白酒产品标准中固定且有限的感官评语也无法满足白酒风味多样性的详细表达。采用仪器分析等技术, 对白酒中所含的醇、醛、酸、酯等风味物质进行定性定量测定, 可将风味间接量化并使之能够成为白酒质量控制的客观指标。

3.1 白酒风味分析

3.1.1 白酒风味特征描述

随着白酒感官品评的发展, 在五次全国白酒评酒会过程中逐渐形成了百分制的品评方法^[107], 其中色泽、香气、口味和风格分别为 10、25、50 和 15 分, 但存在评分尺度过大、分辨能力低、分值笼统难于标示内在品质等问题^[108]。国标感官要求中对香气的描述已使用窖香、米香、豉香、清香、芝麻香等客观描述语, 但相对比较简单和抽象。赖高淮^[109]将白酒中香气分为陈香, 浓香, 糟香, 曲香, 粮香, 馥香等, 将口味分为甜、咸、酸苦、麻辣、涩、鲜等, 并以此分析了不同香型白酒的具体风味特征, 其描述语更

加丰富和全面。随后,刘明等^[110]利用感官科学描述分析原理和描述词应用频率方法,对不同香型 20 种白酒的香气特征进行描述,得到的 400 多个描述词经整理统计精简至 20 个,以此进行多元统计分析,结果与传统香型划分一致,表明简化后的感官描述词可用于评价白酒风味。在此基础上,刘明等^[111]又根据国外风味轮的发展,借鉴现代感官描述方法,提出了第一个白酒风味轮描述术语表,之后经进一步完善,最终确定白酒风味轮描述术语表(图 2)^[112],逐步实现白酒感官科学的标准化。

在品评过程中,品酒师参考风味轮中描述词定性出酒样所具有的感官特征,并采用 9 点尺度法分别对外观、香气、口味、口感和风格特征的强度或滞留度进行定量描述,可将定性、定量描述结果表达为感官特征剖面图和统计分析表^[112],从而形象具体地展示白酒感官信息。另外,可设计相应的计算机软件来辅助整个品评过程,实现计算机感官品评,以此提高感官品评的准确度和效率,推动白

酒风味多样化发展。

3.1.2 白酒风味物质分析

对白酒风味的分析并未停留在对整体呈现性的感官品评及描述上,而是借助不断发展的仪器技术剖析其深层次的风味载体。从 1963 年建立纸层析和薄层层析色谱法用于分析白酒中酸、酯和醇类成分^[113]开始,至 1968 年采用填充柱、毛细管柱和制备色谱的气相色谱法与红外及质谱联用鉴定 50 种香味组分^[114],到近年用全二维气相色谱-质谱分析白酒微量成分^[115, 116],随着分析技术的迅速发展,所定性、定量的风味物质也不断增加。目前,用于分离分析白酒中风味物质的仪器方法主要有 GC-FID^[117]、GC-FPD^[114]、GC-MS^[19-21]、IC^[20]、HPLC^[118, 119]、GC/GC-TOFMS^[115, 116]等,根据分析需要可直接进样^[120],或采用真空浓缩、液液萃取、固相萃取、顶空固相微萃取、搅拌吸附萃取等前处理^[11, 20, 116]将风味物质富集浓缩后进样。季克良等^[119]利用全二维色谱-飞行时间质谱定性酱香型

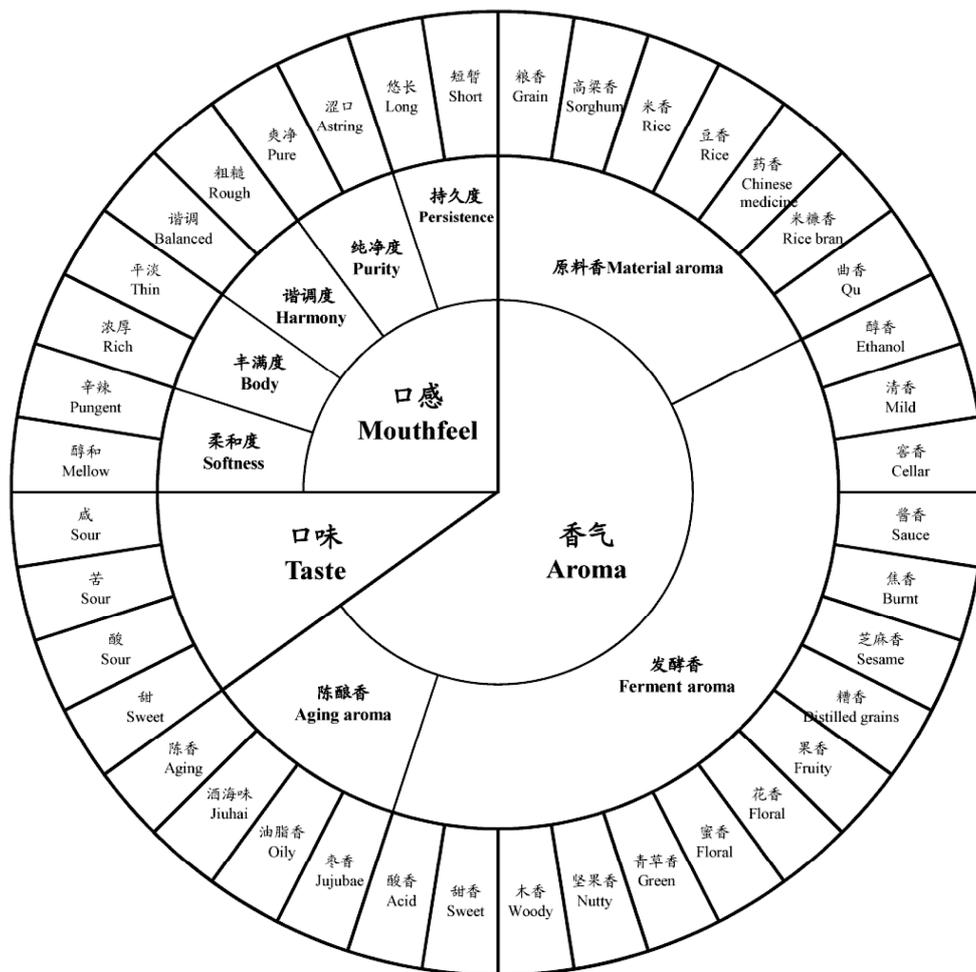


图 2 白酒风味^[112]

Fig. 2 Chinese liquor taster's flavor wheel^[112]

白酒中微量成分达到 873 种, 根据化学属性可将这些成分可分为醇类、醛类、酸类、酯类、酮类、酚类、内酯类、缩醛类、萜烯类、呋喃类、含硫化合物、含氮化合物和芳香族化合物等^[11, 114, 118]。

对风味物质定性、定量分析是揭示白酒风格特征的前提, 但这些组分含量的高低并不能代表其对整体香味贡献的大小, 还需要结合其呈香能力才能进行准确的分析判断^[121]。因此用香气活度值(OAVs)代替含量用于白酒风味分析更为合适, 即将风味物质的含量与其阈值的比值作为评价风味成分重要性的指标, 以此确定对风味特征具有显著性影响的化合物^[121]。阈值是指能够引起感觉所需感官刺激的最小值^[122], 我国白酒 169 计划测定了乙酸乙酯等具有代表性的 79 种风味化合物在 46%vol 酒精-水溶液中的嗅觉阈值^[123], 为香气活度值的广泛应用奠定了基础。虽然香气活度值并未考虑组分间的叠加和抑制作用, 但不失为计算单个香气组分实际贡献大小的一种客观方法^[121]。通常认为香气活度值大于 1 的物质对白酒风味有贡献, 而大于 10 的为重要香气物质, 郭兆阳等^[124]将测得白酒中 70 多种组分的含量转化为香气活度值后, 结合主成分分析确定了不同香型白酒的关键香气组分。除香气活度值外, 气相色谱-嗅觉技术(GC-O)可直接用于分析白酒中各风味物质的香气特性, 其原理为通过气相色谱将白酒各风味组分分离后一部分进入 FID 或 MS 等检测器, 另一部分通过传输线进入嗅觉端口进行感官评定, 再结合芳香萃取物稀释分析(AEDA)等方法对白酒中关键香气成分进行定性、定量分析, 是一种精确的、具有描述性的评价和衡量气味强度的方法^[125]。气相色谱-嗅觉技术结合质谱定性已应用于多种香型白酒呈香物质的分析, 辅助采用香气活度值确定其少数几个关键风味化合物^[126]。

在白酒酿造过程中, 不仅能产生令人愉悦的风味物质, 还会出现如臭味、苦味、霉味、酸味、涩味、辣味等不良风味, 一般是生产过程中控制不当造成的^[127]。引起异杂味的原因主要有原辅料变质、生产用具引入、制曲及发酵过程中污染杂菌、蒸酒火力控制不当使过多组分进入酒体等^[127, 128]。对异杂味的分析同样主要采用 GC-MS 法, 杜海等^[129]运用 HS-SPME 结合 GC-MS 建立了快速定量测定白酒中 3-辛醇和 1-辛烯-3-醇这两种常见异味化合物的方法, 结果表明适合白酒中低阈值异味化合物的测定。

3.1.3 电子鼻等仿生技术对白酒香气的评价

电子鼻又称气味扫描仪, 是用多个具有不同选择性的气敏传感器组成阵列, 利用其对多种气体的交叉敏感性, 将不同气味物质在传感器表面的作用转化为物理信号实现分析^[130]。张鑫^[131]利用电子鼻系统 PEN3 对 4 个不同质量等级的清香型白酒进行分析, 样品均被显著区分, 表明该系统在建立样品数据库后可用于年份酒鉴定和真伪鉴别, 以及不同档次的区分和产品稳定性的评价。柯永斌等^[132]选用合适的传感器自行设计电子鼻系统, 并将其用于不同

香型白酒的快速识别, 取得了满意的效果, 且拟采用定量分析法对白酒掺假进行检测。电子舌则是用类似于生物系统的材料作为传感器的敏感膜, 当与呈味物质接触时, 膜电势发生变化并产生响应, 以此检测各类物质间的相互关系^[130], 由于可直接对液体样品进行检测, 因此可以更全面地反映白酒信息。王永维等^[133]利用 α -Astree 电子舌对不同品牌和档次的白酒进行等级区分, 结果表明不同品牌白酒区分明显, 但同品牌不同档次间区分较小, 并发现判别分析的区分效果优于主成分分析。

电子鼻和电子舌不仅能克服人工感官品评时易疲劳和易受个人因素影响的缺点, 还能避免白酒风味色谱分析的复杂过程, 实现对白酒产品风味特性的综合性快速分析。侯长军等^[131]建立了交叉响应液体阵列传感器, 与电子鼻/舌等现有固体阵列相比, 不需要进行探针的固定化处理, 且因分析物与液体阵列作用更充分而具有响应快速的优势, 对 9 种香型白酒进行检测及模式识别分析, 结果准确率为 100%。

3.1.4 白酒的光谱指纹分析

指纹图谱是指经过色谱或光谱分析得到的组分特征图谱, 因能够整体地反映白酒中组分的种类及含量信息而得以广泛应用^[132]。气相色谱法在白酒日常分析中应用最多, 但得到的图谱中乙醇峰较大, 不便于样品间图谱的直接对比, 一般需将其转化为组分峰面积或含量再进行下一步分析, 如孙其然等^[133]采用 GC-MS 构建了茅台酒的指纹图谱, 并从中选取 35 个特征组分, 对其峰面积运用向量夹角余弦法建立了指纹图谱相似度评价模型, 经对比可区分茅台酒和其他不同酒精度、不同香型的白酒, 为茅台酒的真伪鉴定提供了技术储备。相比于色谱指纹图谱不适于直接分析且获取过程复杂、费时, 光谱因其快速、无损、重现性好而广泛用于白酒指纹图谱分析。

用于获取指纹图谱的光谱分析根据其波长或测定原理的不同可分为紫外可见吸收光谱^[132, 134]、荧光光谱^[134, 135]、近红外光谱^[136]、中红外光谱^[137]等, 具体分析步骤为采用合适的仪器对样品进行分析获取其指纹图谱以建立基准谱库, 选用有效的模式识别方法建立指纹模型, 然后用所建模型对未知属性样品进行分析预测, 判断其类别, 具体可用于白酒真伪鉴别^[132, 136]、不同品牌及香型区别^[132, 135]、年份酒的鉴定^[134, 137]等。如王莉等^[136]用近红外光谱和气相色谱方法建立了茅台酒指纹模型, 并成功地识别了真假样品, 取得与感官品评相一致的结果, 以此为基础可建立红外光谱法的白酒真伪识别系统。李长文等^[137]运用一维红外光谱、二阶导数谱和二维相关红外光谱技术的三级红外指纹图谱法分析了不同酒龄的汾酒基酒, 根据其红外特征可鉴别不同酒龄的基酒。

3.2 白酒风味品质的控制

白酒生产企业经过长期的历史传承, 在特定的原料、

生产环境、微生物菌群、生产工艺等条件下,均形成了其鲜明的风味及风格特征,对风味品质的控制即为维持这种独特性,主要分为两个方面:促进有益组分的形成,预防和去除产生不良杂味。在保持基本工艺和发酵条件的前提下,可采用多种措施来突出产品的风味特征。一般新蒸馏出的白酒口味辛辣,需长时间贮存老熟才能使风味醇正,而采用电场、微波、红外线、氧化、催化等合适的人工催化方法可缩短陈酿周期,突出其风格特点^[138]。另外,在发酵过程中添加或强化产酯酵母能弥补白酒香气不足及后味较淡的缺点^[139, 140],而加入四甲基吡嗪高产菌株则可明显提高浓香型白酒的品质^[140]。浓香型白酒酿造副产物黄水中富含酸、酯等成分,将其制成酯化液在蒸馏过程中进行串蒸,可提高浓香型白酒优质品率^[141]。白酒勾兑是生产过程中最重要的环节之一,将现代计算机技术用于勾兑环节,可避免人工品尝勾兑出现个体差异,提高产品的稳定性^[142]。

对白酒异杂味的控制涉及整个生产过程的方方面面,具体为保证原辅料质量、加强大曲质量管理、严格控制发酵过程参数、保持生产卫生、掌握正确的蒸馏方法、合理贮存及精心勾兑^[127, 128]。杜海^[143]针对清香型白酒中产生土霉异味的土霉素菌群进行了系统研究,采用分子生物学技术确定了土霉味物质是由链霉菌代谢合成,并揭示了产土霉异味链霉菌生长代谢规律及对白酒酿造群落结构的影响机制,从而能够实现从根源上降低或消除白酒中土霉气味,也为白酒酿造过程中通过控制关键因素达到抑制异杂味物质的合成提供有效的研究思路。

4 总结与展望

基于白酒产业发展需要和消费者需求,白酒质量控制一直是白酒生产的中中之重,其基本理化和感官指标及一系列安全性指标则是质量管理的重点,而风味呈现性关系到其品质的高低,是对质量的提升。

通过严管原辅料质量、更新设备和保持酿造环境可大大降低引起白酒质量安全的外源性隐患,而白酒酿造的固态开放体系过于复杂,仍需通过系统研究揭示其微观生成和抑制原理,从而减小白酒的内源性隐患。更全面的安全指标和更高效便捷的分析方法是安全控制的发展趋势,重在预防,以检测指导生产过程中的控制,因此有必要在白酒企业逐步建立起危害分析和关键控制点(HACCP)体系。在白酒风味分析中,不断改进的人工感官品评仍在白酒生产中占有重要的地位,而强大的仪器分析技术使风味分析延伸到化学层面,两种分析方法互相补充相辅相成,且两者的结合——香气活度值和气相色谱-嗅闻技术则表现出了明显的分析优势,将作为辅助手段在日常分析中得以广泛应用。在安全指标检测和风味分析中,现代色谱等仪器及其联用技术等不断更新和完善的仪器分析技术是揭示物

质组成的重要手段,为破译年份白酒中的年份因子和固态法白酒中的非法添加提供了坚实基础,成为白酒质量研究最主要的技术平台。

白酒质量管理将朝着全面化、系统化、规范化发展,从原材料到工厂卫生,从工艺到基酒及成品酒的贮藏、运输和检验,层层把关,建立起一整套完善的白酒质量控制体系,如建立良好操作规范(GMP)将成为趋势。整个控制体系的建立不仅需要相关研究单位和企业现有基础上不断提高和完善相应的技术手段,进行更广泛更深层次的探索,还需要相关政府部门和组织积极引导和建立相应的法规和标准体系,使企业能够有规可依的同时大大提升消费者的信心和信任度。

谨以此文恭祝尊敬的导师武汉大学化学与分子科学学院吴采樱教授八十大寿。

参考文献

- [1] 阚玲, 高立娟, 高秀敏. 白酒生产企业化验室中理化检验质量的管理[J]. 酿酒科技, 2013, (10): 107-108.
Kan L, Gao LJ, Gao XM. Quality management of physicochemical indexes detection in labs in distilleries [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2013, (10): 107-108.
- [2] 武金忠, 钟其顶, 王昌禄, 等. UPLC-ELSD 同时测定白酒中六种甜味剂方法初探[J]. 酿酒, 2008, 35(1): 65-68.
Wu JZ, Zhong QD, Wang CL, et al. An initial method to determine 6 sweeteners in distilled spirit simultaneously by UPLC-ELSD [J]. Liquor Making, 2008, 35(1): 65-68.
- [3] 黄永光, 黄平, 姜莹, 等. 中国白酒产业现状与黔酒发展预测分析[J]. 酿酒科技, 2011, (12): 17-23.
Huang YG, Huang P, Jiang Y, et al. Present status of liquor-making industry & the development forecast of liquor-making industry in Guizhou [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2011, (12): 17-23.
- [4] 王延才. 2012 年中国酒业协会白酒分会理事会工作报告[J]. 酿酒科技, 2013, (6): 1-7.
Wang YC. 2012 Working report of the council of liquor branch of China alcoholic drinks association [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2013, (6): 1-7.
- [5] 郑校先, 俞剑葵, 冉宇舟, 等. 白酒“塑化剂”食品安全风波分析及白酒包装材料问题[J]. 酿酒科技, 2013, (10): 62-64.
Zheng XX, Yu JS, Ran YZ, et al. Analysis of liquor plasticizer incident and discussion on liquor packaging materials [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2013, (10): 62-64.
- [6] 苗榕. 白酒如何突破国际化瓶颈[EB/OL]. (2013-08-15) [2014-04-16]. http://paper.cfsn.cn/content/2013-08/15/node_9.htm
Miao R. How to break through the bottleneck in export of Chinese Liquor. (2013-08-15) [2014-04-16]. http://paper.cfsn.cn/content/2013-08/15/node_9.htm
- [7] 程铁轶, 刘彬, 李明春, 等. 欧盟烈性酒法律法规对我国白酒产业的启示[J]. 食品科学, 2012, 33(9): 271-276.
Cheng TY, Liu B, Li MC, et al. Liquor laws and regulations of European Union and enlightenment to China's liquor industry [J]. Food Sci, 2012, 33(9): 271-276.

- [8] 孙慧. 运营管理[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2011: 173-174.
Sun H. Operations management. Shanghai: Fudan University Press, 2011: 173-174.
- [9] 全国食品发酵标准化中心. 白酒标准汇编(第 4 版)[M]. 北京: 中国标准出版社, 2013: 3-10.
China National Standardization Center of Food & Fermentation. Compilation of liquor standards, 4th edition [M]. Beijing: China Standards Press, 2013: 3-10.
- [10] 胡名志. 白酒中国形物的形成解析[J]. 酿酒科技, 2010, (7): 52-53.
Hu MZ. Analysis of the formation of solids in liquor [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2010, (7): 52-53.
- [11] 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 liquor [J]. Liquor Making, 2007, 34(4): 31-37.
- [12] 陈妍, 胡慧, 汪凤祖. 近红外光谱法快速分析白酒中的关键指标[J]. 酿酒科技, 2010, (11): 90-92.
Chen Y, Hu H, Wang FZ. Determination of key parameters of liquor by Near Infrared Spectroscopy [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2010, (11): 90-92.
- [13] 谭海刚. 瓶装浓香型白酒在货架期的质量变化研究[J]. 食品科技, 2013, 38(5): 90-93.
Tan HG. Quality changes of Luzhou-flavor liquor in shelf period [J]. Food Sci Technol, 2013, 38(5): 90-93.
- [14] 黄海, 杨官荣, 张楷正. 浅析中国白酒的科学指标[J]. 酿酒, 2013, 40(1): 18-23.
Huang H, Yang GR, Zhang KZ. Analysis of science index of Chinese liquor [J]. Liquor Making, 2013, 40(1): 18-23.
- [15] 吴广黔. 白酒的品评[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2008: 1-2.
Wu GQ. Liquor tasting [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2008: 1-2.
- [16] 王立钊, 梁慧珍, 马树奎, 等. 影响固态发酵白酒中杂醇油生成因素的研究[J]. 酿酒科技, 2006, (5): 43-45.
Wang LZ, Liang HZ, Ma S K, *et al.* Study on the factors influencing the formation of fusel oil in liquor by solid fermentation [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2006, (5): 43-45.
- [17] 全国食品发酵标准化中心. 白酒标准汇编(第 3 版)[M]. 北京: 中国标准出版社, 2009: 157.
China National Standardization Center of Food & Fermentation. Compilation of liquor standards. 3th edition. [M]. Beijing: China Standards Press, 2009: 157.
- [18] 王敏. 暖昧杂醇油: 没有标准的危险物[EB/OL]. (2013-04-09) [2014-04-10]. <http://www.chinaconsumerreport.org/web/news/1088.html>
Wang M. Fusel oil: hazardous article without standards[EB/OL]. (2013-04-09) [2014-04-10]. <http://www.chinaconsumerreport.org/web/news/1088.html>
- [19] 黄艳梅, 卢建春, 李安军, 等. 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.
Huang YM, Lu JC, Li AJ, *et al.* Analysis of flavoring substances in Gujing Gongjiu Liquor by GC/MS [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2006, (7): 91-94.
- [20] 张五九, 何松贵, 韩兴林, 等. 豉香型白酒风味成分分析研究[J]. 酿酒科技, 2010, (12): 58-64.
Zhang WJ, He SG, Han XL, *et al.* Analysis of flavor components of soy-bean-flavor liquor [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2010, (12): 58-64.
- [21] 丁云连. 汾酒特征香气物质的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
Ding YL. Studies on characteristic aroma compounds in Fen-Liquor [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008.
- [22] 沈怡方. 白酒中的醛类是有害的吗? [J]. 酿酒, 1980, (1): 70-71.
Shen YF. Isaldehyde harmful in Chinese liquor? [J]. Liquor Making, 1980, (1): 70-71.
- [23] 李永生, 齐娇娜, 高秀峰. 酒中甲醇测定方法的研究进展[J]. 酿酒科技, 2006, (1): 84-89.
Li YS, Qi JN, Gao XF. Research advance of methanol determination methods for wines [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2006, (1): 84-89.
- [24] 路纯明, 徐卫河, 赵二伟, 等. 对白酒中甲醇含量国标测定方法的改进[J]. 化学研究, 2004, 15(2): 39-41.
Lu CM, Xu WH, Zhao EW, *et al.* Improvement for the method of national standards bureau to determine methanol in White Spirits [J]. Chem Res, 2004, 15(2): 39-41.
- [25] 周薇, 羊语梅, 张军岷. 品红-亚硫酸比色法测定酒中甲醇的方法改进[J]. 中国卫生检验杂志, 2004, 14(5): 647.
Zhou W, Yang YM, Zhang JM. The Improvement of fuchsin-sulfurous acid colorimetric method used to determine the methanol in Chinese liquor [J]. Chin J Health Lab Technol, 2004, 14(5): 647.
- [26] 杨红茹, 韩媛媛, 董玉平, 等. 毛细管气相色谱法分析 65 份自酿/散白酒中甲醇、杂醇油含量[J]. 中国卫生检验杂志, 2013, 23(17): 3419-3422.
Yang HR, Han YY, Dong YP, *et al.* Determination of trace methyl alcohol and fusel oil in 65 samples of home-made and bulk liquor by capillary gas chromatography [J]. Chin J Health Lab Technol, 2013, 23(17): 3419-3422.
- [27] 杜连起. 降低白酒中甲醇含量的措施[J]. 食品工业, 1994, (1): 32.
Du LQ. How to reduce the methanol in Chinese liquor [J]. Food Ind, 1994, (1): 32.
- [28] 黄君成, 肖机生. 应用分子筛降低白酒中甲醇含量的研究[J]. 中国酿造, 1990, (4): 34-35.
Huang JC, Xiao JS. Research on molecular sieve used to reduce the methanol in Chinese liquor [J]. China Brewing, 1990, (4): 34-35.
- [29] 田晓梅, 何翔, 陈艳. 利用光催化效应降低白酒中甲醇含量的研究[J]. 武汉科技学院学报, 2006, 19(8): 69-73.
Tian XM, He X, Chen Y. Study on degradating methanol in wines by photic catalysis [J]. J Wuhan Univ Sci Eng, 2006, 19(8): 69-73.
- [30] 丁延伟, 吴纛, 范崇政. 甲醇在纳米 TiO₂ 作用下进行光催化氧化反应的机理研究[J]. 化学物理学报, 2002, 15(6): 465-470.
Ding YW, Wu Y, Fan CZ. Research on the mechanism of the photocatalytic oxidation reaction of HCH₂OH with nanoscale TiO₂ [J]. Chin J Chem Phys, 2002, 15(6): 465-470.
- [31] 阎冠洲, 钟其顶, 李国辉, 等. 顶空气相色谱测定白酒中氰化物方法研究[J]. 酿酒科技, 2013, (3): 89-92.
Yan GZ, Zhong QD, Li GH, *et al.* Study on the determination of cyanide content in liquor by headspace gas chromatography [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2013, (3): 89-92.
- [32] 代汉慧, 丁成翔, 彭涛, 等. 蒸馏酒卫生及卫生管理[J]. 中国酿造, 2009, (3): 187-189.
Dai HH, Ding CX, Peng T, *et al.* Hygiene and health management of distilled liquor [J]. China Brewing, 2009, (3): 187-189.

- [33] Bhattacharya R. Antidotes to cyanide poisoning: present status [J]. *Indian J Pharmacol*, 2000, (32): 94–101.
- [34] 黄选忠, 杜洪山, 吕全勇. CTMAB-异烟酸-吡唑酮显色光度法测定白酒中氰化物的研究[J]. *湖北预防医学杂志*, 2001, 12(1): 35–36.
Huang XZ, Du HS, Lv QY. Study on CTMAB-isonicotinic Acid-pyrazolone photometric method used to determine cyanide in Chinese liquor [J]. *Hubei J Prev Med*, 2001, 12(1): 35–36.
- [35] 辛若竹, 康澍. 白酒中氰化物测定方法的改进[J]. *理化检验-化学分册*, 2005, 41(7): 520–521.
Xin RZ, Kang S. Improvement of the method to determine cyanide in Chinese liquor [J]. *Phys Test Chem Anal B*, 2005, 41(7): 520–521.
- [36] 王慧, 张静, 武瑾瑜, 等. 白酒中氰化物测定方法的改进[J]. *酿酒科技*, 2013, (9): 59–60.
Wang H, Zhang J, Wu JY, *et al.* Improvement of determination method of cyanide in liquor [J]. *Liquor-Making Sci Technol*, 2013, (9): 59–60.
- [37] 唐莹, 张卫卫, 陈玮, 等. 白酒中微量氰化物的测定方法的改进[J]. *中小企业管理与科技*, 2013, (7): 288–289.
Tang Y, Zhang WW, Chen W. Improvement of determination method of cyanide in liquor [J]. *Manage Technol SME*, 2013, (7): 288–289.
- [38] 李源栋, 樊林, 钱海燕, 等. 酒中氰化物测定方法的研究进展[J]. *酿酒*, 2009, 36(6): 16–19.
Li YD, Fan L, Qian HY, *et al.* Research advance of cyanide determination methods for wine [J]. *Liquor Making*, 2009, 36(6): 16–19.
- [39] 李春明, 赵树欣, 李艳敏, 等. 酵母发酵对杏原料中氰化物的降解作用[J]. *中国酿造*, 2008, (1): 49–51.
Li CM, Zhao SX, Li YM, *et al.* Degradation of cyanide in apricot juice during yeast fermentation [J]. *China Brewing*, 2008, (1): 49–51.
- [40] 姚振兴, 辛晓东, 司维, 等. 重金属检测方法的进展[J]. *分析测试技术与仪器*, 2011, 17(1): 29–35.
Yao ZX, Xin XD, Si W, *et al.* Progress in study on detection of heavy metals [J]. *Anal Test Technol Instrum*, 2011, 17(1): 29–35.
- [41] 万益群, 潘凤琴, 柳英霞, 等. 电感耦合等离子体原子发射光谱法测定白酒中23种微量元素[J]. *光谱学与光谱分析*, 2009, 29(2): 499–503.
Wan YQ, Pan FQ, Liu YX, *et al.* Determination of 23 trace elements in wines by ICP-AES [J]. *Spectrosc Spectral Anal*, 2009, 29(2): 499–503.
- [42] GB 2762-2012 食品安全国家标准 食品中污染物限量[S].
GB 2762-2012 National food safety standard, Limited of food contaminants [S].
- [43] 姚振兴, 辛晓东, 司维, 等. 重金属检测方法的进展[J]. *分析测试技术与仪器*, 2011, 17(1): 29–35.
Yao ZX, Xin XD, Si W, *et al.* Progress in study on detection of heavy metals [J]. *Anal Test Technol Instrum*, 2011, 17(1): 29–35.
- [44] 王书兰, 王永, 陈尚龙, 等. 直接进样-石墨炉原子吸收光谱法测定白酒中铬、铜、铅含量[J]. *食品安全质量检测学报*, 2012, 3(4): 322–325.
Wang SL, Wang Y, Chen SL, *et al.* Detection of Cr, Cu and Pb in white spirit by direct sampling graphite furnace atomic absorption spectrophotometry [J]. *J Food Saf Qual*, 2012, 3(4): 322–325.
- [45] 张莹, 夏于林, 杨宜, 等. 应用 ICP-MS 在线内标法测定白酒中五种重金属元素方法研究[J]. *中国酿造*, 2011, (4): 169–170.
Zhang Y, Xia YL, Yang Y, *et al.* Determination of five heavy metals in Chinese liquor with application of ICP-MS online internal calibration [J]. *China Brewing*, 2011, (4): 169–170.
- [46] 金娜, 印万忠. 铅的危害及国内外除铅的研究现状[J]. *有色矿冶*, 2006, 22(S1): 114–116.
Jin N, Yin WZ. Study on the harm of lead and the methods to remove lead [J]. *Non-Ferrous Min Met*, 2006, 22(S1): 114–116.
- [47] 马勇. 就白酒中塑化剂有关问题答媒体记者问[EB/OL]. (2013-04-10) [2014-04-23]. http://www.cnfia.cn/html/main/col105/2013-04/10/20130410162810257222946_1.html
Ma Y. Answer to media reporters' questions on the plasticiser found in chinese liquor [EB/OL]. (2013-04-10) [2014-04-23]. http://www.cnfia.cn/html/main/col105/2013-04/10/20130410162810257222946_1.html
- [48] 周益奇, 王子健. 污水中6种邻苯二甲酸酯的测定[J]. *分析测试学报*, 2009, 28(12): 1419–1423.
Zhou YQ, Wang ZJ. Determination of six phthalates in wastewater [J]. *J Instrum Anal*, 2009, 28(12): 1419–1423.
- [49] Matsumoto M, Hirata-Koizumi M, Ema M. Potential adverse effects of phthalic acid esters on human health: A review of recent studies on reproduction [J]. *Regul Toxicol Pharmacol*, 2008, 50(1): 37–49.
- [50] 卫生部. 卫办监督函〔2011〕511号[Z]. 2011.
Ministry of Public Health. No. 511 Bulletin of the Ministry of Public Health of the People's Republic of China [Z]. 2011.
- [51] GB 9685-2008 食品容器、包装材料用添加剂使用卫生标准[S].
GB 2762-2012 Hygienic standards for uses of additives in food containers and packaging materials [S].
- [52] Cao XL. Phthalate esters in foods: sources, occurrence, and analytical methods [J]. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 2010, 9: 21–43.
- [53] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 白酒产品中塑化剂风险评估结果[EB/OL]. (2014-06-27) [2014-07-08]. <http://www.nhfp.gov.cn/sps/s3586/201406/56bb60cd2702421bf3d5e862a975fcf.shtml>
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. The risk assessment results of phthalate acid in Chinese liquor [EB/OL]. (2013-04-10) [2014-04-23]. <http://www.nhfp.gov.cn/sps/s3586/201406/56bb60cd2702421bf3d5e862a975fcf.shtml>
- [54] 李春扬, 张晓磊, 饶静, 等. 白酒中邻苯二甲酸酯检测方法的选择和优化[J]. *酿酒科技*, 2013, (2): 102–106.
Li CY, Zhang XL, Rao J, *et al.* Selection and optimization of the measurement method of Phthalate Esters in liquor [J]. *Liquor-Making Sci Technol*, 2013, (2): 102–106.
- [55] 杨悠悠, 谢云峰, 田菲菲, 等. 常见食品中邻苯二甲酸酯类增塑剂含量及食品包装材料中邻苯二甲酸酯类增塑剂迁移量的测定[J]. *色谱*, 2013, 31(7): 674–678.
Yang YY, Xie YF, Tian FF, *et al.* Determination of phthalate plasticizers in daily foods and their migration from food packages [J]. *Chin J Chromatogr*, 2013, 31(7): 674–678.
- [56] 荣维广, 阮华, 马永建, 等. 气相色谱-质谱法检测白酒和黄酒中18种邻苯二甲酸酯类增塑剂[J]. *分析实验室*, 2013, 32(9): 40–45.
Rong WG, Ruan H, Ma YJ, *et al.* Determination of 18 phthalate acid esters in liquor and rice wine samples by gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Chin J Anal Lab*, 2013, 32(9): 40–45.
- [57] 孙海燕, 王冬冬, 郭伟. 固相萃取-气相色谱质谱法快速测定酒类产品中的邻苯二甲酸酯[J]. *信阳师范学院学报: 自然科学版*, 2014, 27(1): 84–87.
Sun HY, Wang DD, Guo W. Rapid determination of phthalate esters in wine by solid phase extraction-gas chromatography-mass spectrometry [J]. *J Xinyang Norm Univ Nat: Sci Ed*, 2014, 27(1): 84–87.

- [58] 彭俏容, 于淑新, 赵连海, 等. QuEChERS-HPLC 快速测定白酒中 13 种邻苯二甲酸酯[J]. 酿酒科技, 2014, (1): 89-92.
Peng QR, Yu SX, Zhao LH, *et al.* Fast determination of 13 kinds of phthalate esters in liquor by QuEChERS-HPLC [J]. *Liquor-Making Sci Technol*, 2014, (1): 89-92.
- [59] 彭丽英, 王卫国, 王新, 等. 离子迁移谱快速筛查白酒中痕量邻苯二甲酸酯的研究[J]. 分析化学, 2014, 42(2): 278-282.
Peng LY, Wang WG, Wang X, *et al.* Rapid screening of trace phthalate esters in wine using ion mobility spectrometry [J]. *Chin J Anal Chem*, 2014, 42(2): 278-282.
- [60] 赵世文, 林佑, 孙灿, 等. 液相色谱-质谱/质谱双柱法直接测定白酒中 15 种邻苯二甲酸酯[J]. 中国卫生检验杂志, 2013, 23(216): 3192-3194.
Zhao SW, Lin J, Sun C, *et al.* Determination of 15 phthalates in liquor by double-column liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2013, 23(216): 3192-3194.
- [61] 万宇平, 陶光灿, 李勇, 等. 邻苯二甲酸二丁酯(塑化剂)ELISA 检测方法的研究[J]. 食品工业, 2013, 34(9): 194-196.
Wan YP, Tao GC, Li Y, *et al.* Establishment of detecting the residues of dibutyl phthalate (plasticizing agent) by enzyme-linked immunosorbent assay [J]. *Food Ind*, 2013, 34(9): 194-196.
- [62] 凡哪哪, 陈井旺, 游玉明, 等. 非营养型甜味剂安全性研究进展[J]. 粮油与油脂, 2009, (6): 44-46.
Fan NN, Chen JW, You YM, *et al.* Research advance on security of non-nutrient sweeteners [J]. *Cereals Oils*, 2009, (6): 44-46.
- [63] GB 2760-2011 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准[S].
GB 2760-2011 National food safety standard, Standard for uses of food additives [S].
- [64] 方慧文, 周原, 卢跃鹏, 等. 高效液相色谱-线性离子阱串联质谱技术用于白酒中甜蜜素测定的确证分析[J]. 色谱, 2012, 30(3): 252-255.
Fang HW, Zhou Y, Lu YP, *et al.* Determination of sodium cyclamate in liquor by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry with linear trap technology [J]. *Chin J Chromatogr*, 2012, 30(3): 252-255.
- [65] 张秋香. 气相色谱-质谱联用测定白酒中的甜蜜素[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2011, (4): 60.
Zhang QX. Determination of sodium cyclamate in Chinese liquor by gas chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Chin Pet Chem Stand Qual*, 2011, (4): 60.
- [66] 程春梅, 赵燕, 师邱毅, 等. 液相色谱法测定白酒中安赛蜜和糖精钠含量[J]. 酿酒科技, 2012, (6): 99-101.
Cheng CM, Zhao Y, Shi QY, *et al.* Determination of acesulfame-K and saccharin sodium content in liquor by high performance liquid chromatography [J]. *Liquor-Making Sci Technol*, 2012, (6): 99-101.
- [67] 李源栋, 樊林, 钱海燕, 等. UPLC-ELSD 同时测定白酒中六种甜味剂方法初探[J]. 酿酒, 2008, 35(1): 65-68.
Wu JZ, Zhong QD, Wang CL, *et al.* An initial method to determine 6 sweeteners in distilled spirit simultaneously by UPLC-ELSD [J]. *Liquor Making*, 2008, 35(1): 65-68.
- [68] 胡强, 王延云, 李超豪, 等. 超高效液相色谱串联质谱法快速测定白酒中痕量甜味剂[J]. 食品科学, 2013, 34(20): 232-236.
Hu Q, Wang YY, Li CH, *et al.* Rapid determination of trace sweeteners in distilled spirit by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Food Sci*, 2013, 34(20): 232-236.
- [69] 卜宇宏, 李明, 李静. 离子色谱测定白酒中甜蜜素、糖精钠和安赛蜜[J]. 酿酒, 2011, 38(5): 71-73.
Bu YH, Li M, Li J. Ion chromatography for determination of sodium cyclamate, saccharin sodium and acesulfame-k in liquor [J]. *Liquor Making*, 2011, 38(5): 71-73.
- [70] 李俊, 王震, 庞宏宇, 等. 白酒中多种拟除虫菊酯类农药残留检测方法[J]. 酿酒科技, 2013, (11): 98-100.
Li J, Wang Z, Pang HY, *et al.* A detection method of various pyrethroid pesticides residues in liquor [J]. *Liquor-Making Sci Technol*, 2013, (11): 98-100.
- [71] 刘倩真, 杨世海, 杨美华. 酒类中农药残留分析方法研究进展[J]. 中国公共卫生, 2012, 28(7): 994-998.
Liu QZ, Yang SH, Yang MH. Recent advances in detection technology of pesticide residue in liquor [J]. *Chin J Public Health*, 2012, 28(7): 994-998.
- [72] 朱赫, 纪明山. 农药残留快速检测技术的最新进展[J]. 中国农学通报, 2014, 30(4): 242-250.
Zhu H, Ji MS, Yang MH. Recent advances in rapid detection technology of pesticide residue [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2014, 30(4): 242-250.
- [73] 王蓉, 袁东, 付大友, 等. 气相色谱/质谱法测定白酒中的有机氯农药残留[J]. 酿酒科技, 2007, (12): 102-104.
Wang R, Yuan D, Fu DY, *et al.* Determination of organochlorine pesticides in liquor by gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Liquor-Making Sci Technol*, 2007, (12): 102-104.
- [74] GB 2763-2014 食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量[S].
GB 2763-2014 National food safety standard, Maximum residue limits for pesticides in food [S].
- [75] Kim JH, Park JM, Chol GH, *et al.* Development of easy and efficient methods for quantitative analysis of ethyl carbamate using GC-MS in various fermented foods [J]. *Food Sci Biotechnol*, 2013, 22(3): 599-603.
- [76] Zhao XR, Du GC, Zou HJ, *et al.* Progress in preventing the accumulation of ethyl carbamate in alcoholic beverages [J]. *Trends Food Sci Technol*, 2013, 32(2): 97-107.
- [77] Weber JV, Sharypov VI. Ethyl carbamate in foods and beverages: a review [J]. *Environ Chem Lett*, 2009, 7(3): 233-247.
- [78] International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 96 (2010): Alcoholic Beverage Consumption and Ethyl Carbamate [EB/OL]. [2014.5.20]. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol96/index.php>
- [79] Wu PG, Pan XD, Wang LY, *et al.* A survey of ethyl carbamate in fermented foods and beverages from Zhejiang, China [J]. *Food Control*, 2012, 23(1): 286-288.
- [80] Abreu SDM, Alves A, Oliveira B, *et al.* Determination of ethyl carbamate in alcoholic beverages: an interlaboratory study to compare HPLC-FLD with GC-MS methods [J]. *Anal Bioanal Chem*, 2005, 382(2): 498-503.
- [81] 林国斌, 林麒, 倪蕾. 液-液萃取稳定同位素内标法测定酒中氨基甲酸乙酯[J]. 海峡预防医学杂志, 2013, 19(5): 58-60.
Lin GB, Lin Q, Ni L. Determination of ethyl carbamate in liquor processed by liquid-liquid extraction [J]. *Strait J Prev Med*, 2013, 19(5): 58-60.
- [82] 易啸, 赵金松, 林子吉, 等. 固相萃取气质联用法测定白酒中的氨基甲酸乙酯[J]. 酿酒, 2014, 41(2): 42-45.
Yi X, Zhao JS, Lin ZJ, *et al.* Study on ethyl carbamate of liquor by head-space solid-phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) [J]. *Liquor-Making*, 2014, 41(2): 42-45.

- [83] 史斌斌, 徐岩, 范文来. 顶空固相微萃取(HS-SPME)和气相色谱-质谱(GC-MS)联用定量蒸馏酒中氨基甲酸酯[J]. 食品工业科技, 2012, 33(14): 60-64.
Shi BB, Xu Y, Fan WL. Detection method of ethyl carbamate in distillates by headspace solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2012, 33(14): 60-64.
- [84] 刘佩佩, 邓巧巧, 张兴梅, 等. 乙醇-K₂HPO₄-H₂O 双水相体系萃取-气相色谱质谱联用检测含醇饮料中的氨基甲酸酯[J]. 分析实验室, 2013, 32(11): 45-49.
Liu PP, Deng QQ, Zhang XM, *et al.* Determination of ethyl carbamate in alcoholic beverages using ethanol-K₂HPO₄-H₂O aqueous two-phase extraction combined with gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Chin J Anal Lab*, 2013, 32(11): 45-49.
- [85] 陈达伟, 苗虹, 赵云峰, 等. 酒精度对高效液相色谱-荧光法分析白酒中氨基甲酸酯含量的影响[J]. 色谱, 2013, 31(12): 1206-1210.
Chen DW, Miao H, Zhao YF, *et al.* Effect of alcoholic strength on the determination of ethyl carbamate in Chinese spirits by high performance liquid chromatography-fluorescence detection [J]. *Chin J Chromatogr*, 2013, 31(12): 1206-1210.
- [86] 马娅萍, 孙守威, 邓富全. 用二维色谱技术直接定量测定白酒中氨基甲酸酯[J]. 分析测试学报, 1996, 15(5): 47-50.
Ma YP, Sun SC, Deng FQ. Determination of ethyl carbamate in distilled wine by direct injection GC(FID)/GC(TSD) [J]. *J Instrum Anal*, 1996, 15(5): 47-50.
- [87] 范文来, 徐岩. 白酒功能因子与品质安全问题[J]. 酿酒科技, 2012, (3): 17-22.
Fan WL, Xu Y. Review of functional factors and quality safety factors of Baijiu(Chinese Liquor)[J]. *Liquor-Making Sci Technol*, 2012, (3): 17-22.
- [88] 范文来, 徐岩, 史斌斌. 酒醋发酵过程中氨基甲酸酯与尿素的变化[J]. 食品工业科技, 2012, 33(23): 171-174.
Fan WL, Xu Y, Shi BB. Evolvement of ethyl carbamate and urea from fermented grains in the fermentation process of Chinese liquor [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2012, 33(23): 171-174.
- [89] Lu Y M, Lu X, Chen X H, *et al.* A survey of biogenic amines in Chinese rice wines [J]. *Food Control*, 2007, 100(4): 1424-1428.
- [90] Silla Santos MS. Biogenic amines: their importance in foods [J]. *Int J Food Microbiol*, 1996, 29(2-3): 213-231.
- [91] Martín-Álvarez PJ, Marcobal A, Polo C, *et al.* Influence of technological practices on biogenic amine contents in red wines [J]. *Eur Food Res Technol*, 2006, 222(3-4): 420-424.
- [92] 陈智毅, 陈聪汉, 肖永坚, 等. 高效液相色谱法测定米酒中生物胺的含量[J]. 食品科学, 2013, 34(12): 229-233.
Chen ZY, Chen CH, Xiao YJ, *et al.* Determination of biogenic amines in rice wine by high performance liquid chromatography [J]. *Food Sci*, 2013, 34(12): 229-233.
- [93] 温永柱, 范文来, 徐岩, 等. 白酒中 5 种生物胺的 HPLC 定量分析[J]. 食品工业科技, 2013, 34(7): 305-308.
Wen YZ, Fan WL, Xu Y, *et al.* Quantification for 5 selected biogenic amines in Chinese liquor by HPLC [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2013, 34(7): 305-308.
- [94] 温永柱, 范文来, 徐岩. GC-MS 法定性白酒中的多种生物胺[J]. 酿酒, 2013, 40(1): 38-41.
Wen YZ, Fan WL, Xu Y. Identification of a variety of biogenic amines by GC-MS method in Chinese liquor [J]. *Liquor-Making*, 2013, 40(1): 38-41.
- [95] 冯婷婷, 方芳, 杨娟, 等. 食品生物制造过程中生物胺的形成与消除[J]. 食品科学, 2013, 34(19): 360-366.
Feng TT, Fang F, Yang J, *et al.* Formation and removal of biogenic amines in food bioprocessing [J]. *Food Sci*, 2013, 34(19): 360-366.
- [96] GB 2761-2011 食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量[S].
GB 2763-2014 National food safety standard, Maximum residue limits for fungaltotoxin in food [S].
- [97] 孙利, 霍江莲, 崔维刚, 等. 粮食产品中真菌毒素的色谱及质谱检测技术研究进展[J]. 食品科学, 2013, 34(19): 367-375.
Sun L, Huo JL, Cui WG, *et al.* Current methods for the determination of mycotoxins in grain products [J]. *Food Sci*, 2013, 34(19): 367-375.
- [98] 杜阳锋. 基于三维荧光光谱的食品中真菌毒素检测方法[D]. 杭州: 浙江大学, 2011.
Du YF. The detection method of mycotoxin in food based on three-dimensional fluorescence spectrometry [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2011.
- [99] 罗惠波, 杨晓东, 叶光斌, 等. 酶联免疫法验证黄曲霉毒素 B₁ 在浓香型白酒生产中的安全性[J]. 酿酒科技, 2013, (4): 92-94.
Luo HB, Yang XD, Ye GN, *et al.* Verification of the safety of aflatoxin B in nong-flavor liquor production by enzyme-linked immunosorbent Assay(ELISA) [J]. *Liquor-Making Sci Technol*, 2013, (4): 92-94.
- [100] 叶光斌, 罗惠波, 杨晓东, 等. 酶联免疫法检测赭曲霉毒素 A 在浓香型白酒生产中的变化[J]. 现代食品科技, 2013, 29(5): 1144-1147.
Ye GN, Luo HB, Yang XD, *et al.* Determination of the change of OTA in Luzhou-flavor liquor production by enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2013, 29(5): 1144-1147.
- [101] 韩振国. 农产品中赭曲霉毒素 A 与呕吐毒素的检测方法研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
Han ZG. Determinations of ochratoxin A and deoxynivalenol in agricultural products [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2009.
- [102] 曹纪亮, 孔维军, 杨美华, 等. 真菌毒素快速检测方法研究进展[J]. 药物分析杂志, 2013, 33(1): 159-164.
Cao JL, Kong WJ, Yang MH, *et al.* Research progress on rapid detection methods of mycotoxins [J]. *Chin J Pharm Anal*, 2013, 33(1): 159-164.
- [103] 曹娅, 孙利, 王明林, 等. 粮谷中 8 种痕量真菌毒素的定量分析方法[J]. 分析测试学报, 2013, 32(2): 150-155.
Cao Y, Sun L, Wang ML, *et al.* Accurate quantitative analysis method for 8 kinds of mycotoxins in cereal [J]. *J Inst Anal*, 2013, 32(2): 150-155.
- [104] 傅勇, 曹纪亮, 杨小丽, 等. 真菌毒素检测的前处理技术及其应用[J]. 中国卫生检验杂志, 2012, 22(6): 1462-1466.
Fu Y, Cao JL, Yang XL, *et al.* Pretreatment technology of mycotoxin detection and its applications [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2012, 22(6): 1462-1466.
- [105] 曹慧英, 伍松陵, 沈晗, 等. 粮食中真菌毒素的控制策略[J]. 粮油食品科技, 2012, 20(6): 45-48.
Cao HY, Wu SL, Shen H, *et al.* Control strategy against mycotoxins in grain [J]. *Sci Technol Cereals Oils Foods*, 2012, 20(6): 45-48.
- [106] 冯沙, 蓝芳, 吴晓萍, 等. 分散固相萃取-高效液相色谱-串联质谱法测定白酒中全氟化合物[J]. 食品科学, 2013, 34(22): 143-149.
Feng S, Lan F, Wu XP, *et al.* Determination of 15 perfluorinated compounds in chinese spirit by dispersive solid phase extraction and HPLC-MS-MS [J]. *Food Sci*, 2013, 34(22): 143-149.

- [107] 沈怡方. 中国白酒感官品质及品评技术历史与发展[J]. 酿酒, 2006, 33(4): 3-4.
Shen YF. The history and development of sensory quality and tasting technology of Chinese liquor [J]. Liquor-Making, 2006, 33(4): 3-4.
- [108] 邓少平. 中国白酒评酒方法的科学化问题[J]. 酿酒, 1997, (2): 1-4.
Deng SP. Scientization of Chinese liquor evaluation methods [J]. Liquor-Making, 1997, (2): 1-4.
- [109] 赖高淮. 白酒品酒师手册[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 19-28.
Lai GH. Panel Leader's handbook of Chinese liquor [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 19-28.
- [110] 刘明, 钟其顶, 熊正河, 等. 感官描述词-引用频率分析方法评价白酒香气特征的研究[J]. 酿酒, 2011, 38(3): 28-31.
Liu M, Zhong QD, Xiong ZH, *et al.* Sensory descriptors citation frequency-based method evaluate odor character of Chinese Liquors [J]. Liquor-Making, 2011, 38(3): 28-31.
- [111] 刘明, 钟其顶, 熊正河, 等. 酒类“风味轮”及在白酒感官描述分析技术上的应用前景[J]. 酿酒, 2011, 38(2): 15-22.
Liu M, Zhong QD, Xiong ZH, *et al.* The flavour wheel of alcoholic drink and its application prospect in Chinese liquors sensory descriptive analysis [J]. Liquor-Making, 2011, 38(2): 15-22.
- [112] 全国食品发酵标准化中心. 白酒感官术语-征求意见稿[Z]. 2013.
China National Standardization Center of Food & Fermentation. Terminology of Chinese spirits sensory analysis - exposure draft [Z]. 2013.
- [113] 熊子书. 贵州茅台酒调查研究的回眸[J]. 酿酒科技, 2000, (4): 26-29.
Xiong ZS. Review of research on Maotai liquor [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2000, (4): 26-29.
- [114] 胡国栋. 气相色谱法在白酒分析中的应用现状与回顾[J]. 食品与发酵工业, 2003, 29(10): 65-69.
Hu GD. Application of gas chromatography in chinese liquor analysis: current status and historical overview [J]. Food Ferm Ind, 2003, 29(10): 65-69.
- [115] 季克良, 郭坤亮, 朱书奎, 等. 全二维气相色谱/飞行时间质谱用于白酒微量成分的分析[J]. 酿酒科技, 2007(3): 100-102.
Ji KL, Guo KL, Zhu SK, *et al.* Analysis of microconstituents in liquor by full two-dimensional gas chromatography/ time of flight mass spectrum [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2007, (3): 100-102.
- [116] 徐占成, 陈勇, 王双. 利用全二维气质联用技术和吸附搅拌萃取技术对中国名酒剑南春酒体风味质量特色的研究[J]. 酿酒, 2012, 39(5): 6-8.
Xu ZC, Chen Y, Wang S. Analyze trace aroma substances of Chinese famous distillery Jian'nanchun by SBSE absorption technology and GCxGC/TOFMS technology [J]. Liquor-Making, 2012, 39(5): 6-8.
- [117] 向双全, 张志刚. GC-FID 快速分析浓香型白酒中的主要成分[J]. 酿酒科技, 2012, (3): 92-93.
Xiang SQ, Zhang ZG. Rapid analysis of main compositions of Luzhou-flavor liquor by GC-FID [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2012, (3): 92-93.
- [118] 寻思颖, 董睿, 彭黔荣, 等. 高效液相色谱法测定酱香型白酒中挥发性酚类物质[J]. 食品科学, 2012, 33(24): 239-243.
Xun SY, Dong R, Peng QR, *et al.* Determination of volatile phenols in Maotai flavor liquors by HPLC-FLD [J]. Food Sci, 2012, 33(24): 239-243.
- [119] 余剑霞. 高效液相色谱法测定豉香型白酒中微量的高级脂肪酸[J]. 酿酒科技, 2006, (6): 89-90.
Yu JX. Determination of higher fatty acids in soybean- flavor liquor by HPLC [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2006, (6): 89-90.
- [120] 蔡心尧, 尹建军, 胡国栋. 毛细管柱直接进样法测定白酒香味组分的研究[J]. 色谱, 1997, 15(5): 367-371.
Cai XY, Yin JJ, Hu GD. Determination of minor flavor components in Chinese spirits by direct-injection technique with capillary columns [J]. Chin J Chromatogr, 1997, 15(5): 367-371.
- [121] 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, 2009.
Liu M. Research on Chinese liquor aroma by ensory analysis, flavor chemistry and artificial intelligence sensory technology [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2009.
- [122] GB/T 22366-2008 食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量[S].
GB 2763-2014 National food safety standard, Maximum residue limits for fungaltotoxin in food [S].
- [123] 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 aforced-choice ascending concentration series method of limits [J]. Liquor-Making, 2011, 38(4): 80-84.
- [124] 郭兆阳, 刘明, 钟其顶, 等. 主成分分析 OAV 值评价白酒风味组分的研究[J]. 食品工业, 2011, (7): 79-83.
Guo ZY, Liu M, Zhong QD, *et al.* The study of chinese liquor flavor and aroma components [J]. Food Ind, 2011, (7): 79-83.
- [125] 李雪, 苏平, 应丽亚. GC-O 食品风味化合物检测技术及其应用[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(8): 140-144.
Li X, Su P, Ying LY. GC-O food flavor compounds detection technology and its applications [J]. Food Ferm Ind, 2010, 36(8): 140-144.
- [126] 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.
Xu Y, Fan WL, Wang HY, *et al.* Advance in flavor-directed analytic technology for Chinese Liquor [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2010, (11): 73-78.
- [127] 仓义超. 浅谈清香型白酒中异杂味来源[J]. 中国酿造, 2013, 32(5): 134-135.
Cang YC. Discussion on off flavor source in Fen-flavor liquor [J]. China Brewing, 2013, 32(5): 134-135.
- [128] 孙启栋, 沈萍, 刘涛. 防止浓香型大曲酒异杂味产生的措施[J]. 山东食品发酵, 2004, (1): 43-44.
Sun QD, Shen P, Liu T. Prevention from producing peculiar smell in Strong flavor liquor [J]. Shandong Food Ferm, 2004, (1): 43-44.
- [129] 杜海, 范文来, 徐岩. 顶空固相微萃取(HS-SPME)和气相色谱-质谱(GC-MS)联用定量白酒中两种异味物质[J]. 食品工业科技, 2010, 31(1): 373-377.
Du H, Fan WL, Xu Y. Quantification of two off-flavor compounds in Chinese liquor using headspace solid phasemicroextraction and gas chromatography-mass spectrometry [J]. Sci Technol Food Ind, 2010, 31(1): 373-377.
- [130] 王俊, 胡桂仙, 于勇, 等. 电子鼻与电子舌在食品检测中的应用研究进展[J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 292-295.
Wang J, Hu GX, Yu Y, *et al.* Research and application of electronic nose and electronic tongue in food inspection [J]. Trans CSAE, 2004, 20(2): 292-295.

- [131] 张鑫. 电子鼻分析技术在白酒品质检定中的应用研究[J]. 酿酒, 2014, 41(2): 27-29.
Zhang X. Application of electronic nose analysis in liquor quality control [J]. Liquor-Making, 2014, 41(2): 27-29.
- [132] 柯永斌, 周红标, 李珊, 等. 基于电子鼻的不同香型白酒快速识别[J]. 酿酒科技, 2013, (11): 1-4.
He YB, Zhou HB, Li S, *et al.* Rapid identification of liquors of different flavor types by use of electronic nose[J]. Liquor-Making Sci Technol, 2013, (11): 1-4.
- [133] 王永维, 王俊, 朱晴虹. 基于电子舌的白酒检测与区分研究[J]. 包装与食品机械, 2009, 27(5): 57-61.
Wang YW, Wang J, Zhu QH. Detecting and classification of wine using an electronic tongue [J]. Pack Food Mach, 2009, 27(5): 57-61.
- [134] 侯长军, 戴斌, 霍丹群, 等. 基于液体阵列味觉仿生传感器鉴别白酒香型的新方法[J]. 高等学校化学学报, 2013, 34(7): 1623-1628.
Hou CJ, Dai B, Huo DQ, *et al.* New method for identifying the aromatic types of Chinese liquors Based on a 96-well Plate [J]. Chem J Chin Univ, 2013, 34(7): 1623-1628.
- [135] 杨建磊. 基于三维荧光光谱的白酒分类鉴别系统研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009.
Yang JL. Study on discrimination system of distilled spirits based on three-dim fluorescent spectra technique [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2009.
- [136] 王莉, 汪地强, 汪华. 近红外透射光谱法和气相色谱法结合建立茅台酒指纹模型[J]. 酿酒, 2005, 32(4): 18-20.
Wang L, Wang DQ, Wang H, *et al.* Combine with NIR transmission spectroscopy and gas chromatography to build the fingerprint model [J]. Liquor-Making, 2005, 32(4): 18-20.
- [137] 李长文, 魏纪平, 李焱, 等. 运用 FTIR 分析不同酒龄基酒[J]. 酿酒科技, 2008, (12): 70-72.
Li CW, Wei JP, Li Y, *et al.* Analysis of base liquor of different age by FT-IR [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2008, (12): 70-72.
- [138] 白雪, 刘有智, 袁志国. 白酒催陈技术的发展与应用现状[J]. 中国酿造, 2009, (11): 1-4.
Bai X, Liu YZ, Yuan ZG. Development and application of liquor aging technology[J]. China Brewing, 2009, (11): 1-4.
- [139] 隋延铎. 产酯酵母在白酒生产过程中的应用[J]. 酿酒, 2004, 31(3): 16-17.
Sui YD. Application of ester yeasts in the Chinese liquor process [J]. Liquor-Making, 2004, 31(3): 16-17.
- [140] 董士伟. 鼓香型白酒中功能微生物的筛选与应用[D]. 郑州: 河南工业大学, 2012.
Dong SW. Screening and application of functional microbial in soybean-flavor liquor [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2012.
- [141] 唐丽云, 李国红, 王步利, 等. 利用黄水酯化液提高浓香型白酒质量[J]. 食品与发酵工业, 2013, 49(3): 50-51.
Tang LY, Li GH, Wang BL, *et al.* Improve the quality of luzhou-flavor liquor by using yellow water esterified liquid [J]. Food Ferm Ind, 2013, 49(3): 50-51.
- [142] 黄晓峰, 杨丽明, 蔡梦萍, 等. 基于神经网络的白酒勾兑目标规划算法优化[J]. 食品工业科技, 2013, 34(5): 130-133.
Huang XF, Yang LM, Cai MP, *et al.* Optimization of goal programming algorithm of liquor blending based on neural network [J]. Sci Technol Food Ind, 2013, 34(5): 130-133.
- [143] 杜海. 产土味素菌群对白酒酿造的影响机制及监测控制[D]. 无锡: 江南大学, 2013.
Du H. The influence mechanism of geosmin-producing microflora on Chinese liquor brewing and its monitoring & controlling [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



程劲松, 高工, 主要研究方向为酒类检测。
E-mail: chengjinsong@126.com



李春扬, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向为酒类检测。
E-mail: li_chun_yang@163.com