

黄酒品质分析及质量安全控制研究进展

陈小玲^{1,2,3}, 杨佳^{1,3}, 李新生^{1,3,4*}, 裴金金^{1,3,4}, 肖玉祥^{3,5}, 吴东平^{3,5}

(1. 陕西理工大学生物科学与工程学院, 汉中 723000; 2. 深圳郑茂科技有限公司, 深圳 518116;
3. 中国谢村北派黄酒研究院, 汉中 723000; 4. 陕西省资源生物重点实验室, 汉中 723001;
5. 陕西秦洋长生酒业有限公司, 汉中 723000)

摘要: 黄酒是以稻米、黍米等为主要原料, 以麦曲和酒母为糖化发酵剂, 经浸米、蒸饭、前发酵、后发酵等工艺制成的酿造酒。本文对照 2018 新版黄酒国家标准, 分析了我国黄酒品质分析及质量安全控制方面的研究现状, 综述了黄酒酿酒原料、制曲、发酵、陈酿等生产过程中可能存在的质量安全问题及潜在有害物质控制的研究进展, 旨在为我国黄酒产业的发展和产品质量控制提供借鉴和参考。

关键词: 黄酒; 品质分析; 质量控制; 安全

Research progress on quality analysis and quality safety control of Chinese rice wine

CHEN Xiao-Ling^{1,2,3}, YANG-Jia^{1,3}, LI Xin-Sheng^{1,3,4*}, PEI Jin-Jin^{1,3,4}, XIAO Yu-Xiang^{3,5},
WU Dong-Ping^{3,5}

(1. Institute of Biological Sciences and Engineering, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723000, China;
2. Shenzhen Zhengmao Technology Co., Ltd., Shenzhen 518116, China; 3. Northern Rice Wine Research Institute of Xieacun, Hanzhong 723000, China; 4. Shaanxi Key Laboratory of Biology and Bioresource, Hanzhong 723001, China;
5. Shaanxi Qinyang Changsheng Wine Co., Ltd., Hanzhong 723000, China)

ABSTRACT: Chinese rice wine is brewed with the main raw materials of rice and millet, using wheat Qu and distillery yeast as saccharifying and fermenting agents through rice soaking, rice steaming, pre-fermentation and post-fermentation. This paper analyzed the research status of quality analysis and quality safety control of Chinese rice wine according to the 2018 new national standard of Chinese rice wine, and reviewed the quality safety problems and the control of potential harmful substances in the production from raw materials for wine making, koji-making, fermentation, aging of yellow rice, so as to provide reference for the development of Chinese rice wine industry and product quality control.

KEY WORDS: Chinese rice wine; quality analysis; quality control; safety

基金项目: 陕西省资源生物重点实验室主任基金项目(11JS035)、陕西省资源生物重点实验室计划项目(2015SZSj-71)、陕西省科技计划项目(2018SZS-27)

Fund: Supported by the Director Foundation of Shaanxi Provincial Key Laboratory of Resource Biology (11JS035), Project of Shaanxi Provincial Key Laboratory of Resource Biology (2015SZSj-71) and Shaanxi Provincial Science and Technology Project (2018SZS-27)

***通讯作者:** 李新生, 教授, 主要研究方向为食品生物化学。E-mail: 13992665865@139.com

***Corresponding author:** LI Xin-Sheng, Professor, Institute of Biological Sciences and Engineering, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723000, China. E-mail: 13992665865@139.com

1 引言

随着黄酒消费市场的迅速增长,黄酒的质量安全问题越来越受到消费者的关注。GB/T 13662-2018《黄酒》于2018年9月出台,2019年4月将正式实施^[1]。新版国标的出台对黄酒品质分析及质量安全控制起着重要作用。现行国标中用于黄酒质量检测的方法大多是常规的分析化学方法,存在着操作繁琐、重现性差、效率较低等问题^[2]。本文对黄酒品质分析和质量安全风险及其控制技术研究现状进行综述,旨在为我国黄酒产品质量控制和产业技术升级提供借鉴和参考。

2 黄酒品质分析研究

我国黄酒品质分析的研究主要集中在感官指标、理化指标和酒龄等方面。感官评定主要通过口、鼻等感觉器官对酒样的外观、香气、口味和风格特征等感官指标进行分析评价^[3],其具有快速、简便的特点,但易受地区、个人爱好和心理等因素的影响,存在一定的模糊性和不确定性^[4]。理化指标检测主要包含总糖、酒精度、非糖固形物、氨基酸态氮、 β -苯乙醇和氧化钙等项目,黄酒国标中采用的常规分析化学方法虽较简便、快速,但精密度和准确度较差。目前更为高效、稳定、精准的改良国标法和电子鼻、电子舌及近红外等技术的研究已取得一系列成果。

2.1 感官指标

2.1.1 电子舌

电子舌又称嗅辨仪,是一种模拟人类味觉感受机制,以传感器阵列检测样品信息,结合模式识别对被测样品整体品质进行分析检测的现代化仪器^[5]。周牡艳等^[6]采用电子舌对不同黄酒的口感进行评价,结合其5种感官指标建立相应模型,以未知样的预测结果判定模型的准确度。研究表明,电子舌对甜度、酸度和醇度的品评结果与人类似。钱敏等^[7]应用电子舌技术对6种不同的黄酒进行检测,并应用主成分分析(principal component analysis, PCA)、线性判别分析(linear discriminant analysis, LDA)、软独立建模分析(soft independent modeling of class analogy, SIMCA)及判别因子分析(discriminant function analysis, DFA)等考察了电子舌对黄酒的辨识能力。结果表明:电子舌PCA和LDA可以分辨不同区域和同一区域不同品种的黄酒,电子舌在黄酒检测与辨识方面有很大的应用潜力。与传统检测技术相比,电子舌技术性能稳定、重现性好,无需进行样品前处理,大大提高了检测效率^[8]。

2.1.2 电子鼻

电子鼻也称人工嗅觉或仿生嗅觉系统,主要根据气味来识别物质的类别和成分^[9],具有检测速度快、范围广、检测数据客观和重复性好等特点^[10]。江涛等^[11]开展电子鼻

技术替代人类嗅觉系统评价黄酒中香气的研究。结果表明,利用电子鼻建立的醇香、陈香、焦香3个因素的定量模型预测可替代品酒员,有效减少人为误差。宋海燕^[12]通过人体嗅觉系统感官品评结合电子鼻技术从陈香、醇香2个因素建立黄酒香气成分的定量模型,结果表明采用电子鼻建立的定量模型预测的结果重复性好、准确度高,可替代人工品酒员,为黄酒鉴别进一步研究打下基础。

电子舌和电子鼻技术使气味的客观化表达得以实现,使气味成为可量化的指标,更适用于实际生产中大批量生产的需要。但电子舌和电子鼻技术无法完全替代人体感官,对一些特殊化合物的敏感性、选择性不强。此外与其相关的技术方法标准还未出台,且存在仪器多停留在实验室研究阶段和不便于携带等问题,对其研究还需进一步的深入。

2.2 理化指标

2.2.1 总糖

黄酒酿造过程中糖分大都发酵成为酒精,酒中总糖含量较低,口味更为醇厚与鲜爽。新版黄酒国标中总糖的测定方法主要为廉爱农法和亚铁氰化钾滴定法。这2种方法的测定结果易受样品处理、实验温度和滴定速度的影响。徐艳等^[13]改进国标中用于检测黄酒总糖的廉爱农法。结果表明,样品经处理后可改善国标方法滴定终点浑浊、易形成沉淀及终点难判断等问题。周慧敏等^[14]采用电子鼻系统检测4种黄酒样品,采用非线性双重叠加随机共振提取电子鼻检测数据的特征值,结合总糖含量检验结果建立了总糖含量预测模型。该模型可预测黄酒样品的总糖含量,实现黄酒样品的类型检测。

2.2.2 酒精度

酒精度是20℃时100 mL酒中所含乙醇的毫升数,是黄酒质量控制的关键指标之一^[15]。2018新版国标新增的用于测定黄酒酒精度的仪器法,虽精度与效率高,结果准确,但所需设备昂贵,其使用范围受限,难以在大批量分析中采用。李国辉等^[16]采用原理与国标方法相一致的快速蒸馏仪和快速测定仪分析黄酒和葡萄酒的酒精度。结果表明,该方法检测效率高,准确性、时效性强。黄媛媛等^[17]研究采用近红外酒精分析仪法检测酒精度的准确性和稳定性。结果表明,近红外酒精分析仪法较国标法操作更为简单、快速,并且重复性和准确性更高。

2.2.3 非糖固形物

非糖固形物是指蒸去酒精、挥发酯后剩余溶液中除糖分以外的可溶性成分,它决定了黄酒的色泽、滋味、营养和功效。黄酒中非糖固形物含量越高,其品质越好,口味越佳^[18]。新版黄酒国标中用于检测非糖固形物的方法为重量法及仪器法。黄志清等^[19]基于黄酒酒样的质量、酒精度、固形物和固形物引起乙醇水体系的体积变化这四者之间的关系,建立了快速测定黄酒中非糖固形物的方法。研究表

明, 以其中 3 个量通过计算可得出第 4 个量, 该方法可在无特殊设备、低成本条件下, 简便快速地测得酒中的非糖固形物含量。

2.2.4 氨基酸态氮

黄酒中的氨基酸态氮是用来反映氨基酸及小肽总体水平的重要指标, 国标中增加氨基酸态氮的指标主要是为从理化分析中反映酒质, 提高黄酒产品质量^[20]。但常规分析方法存在步骤繁琐, 时效性差等不足。陈郁等^[21]以近红外光谱(near infrared spectroscopy, NIRS)为基础, 利用偏最小二乘法(partial least squares, PLS)建立了黄酒氨基酸态氮和酒精度的定量分析模型。结果表明, 近红外方法较常规方法具有分析更高效, 无需消耗化学试剂等特点, 是黄酒质量控制和检测中一项值得推广的方法。

2.2.5 β -苯乙醇

β -苯乙醇具有玫瑰香气与桃子味, 是黄酒中主要香气成分, 且含量最高^[22]。新版国家标准取消了黄酒中 β -苯乙醇含量的相关规定。黄酒中的 β -苯乙醇主要由苯丙氨酸经酵母菌代谢产生, 是黄酒中特有的高级醇。高级醇过量会给黄酒带来异杂味并引起较强的致醉性, 黄酒中 β -苯乙醇的含量并非越高越好。加之一些配制黄酒在市场抽样检测中出现人为添加行为, 现有的检测技术难以辨别, 因此取消黄酒中 β -苯乙醇含量指标具有一定的科学意义。

β -苯乙醇的检测方法采用直接进样气相色谱法(gas chromatography, GC)、气质联用法(gas chromatography-mass spectrometer, GC-MS)和高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)等。这些方法检测结果较为准确, 但存在耗时耗力, 仪器损害较大、成本高等问题, 因此对该项指标绝大多数企业并不加以检测与监控。尹桂豪等^[23]研究了以毛细管-GC 法测定黄酒中 β -苯乙醇的方法。该法可使检测时间缩短至原来的一半, 测定结果优于直接进样的方法。陈双^[24]采用液-液微萃取-GC 法可实现样品快速检测, 具有简便、快捷、准确、重现性好等特点, 适于发酵液中 β -苯乙醇检测。

2.2.6 氧化钙

黄酒糖化发酵后, 在压滤前会加入少量澄清石灰水调味。产品中氧化钙过高, 会引起饮酒者口干舌燥等不适症状。一般情况下, 氧化钙应 ≤ 1.0 g/L^[25]。国标中氧化钙的测定方法主要为原子吸收分光光度法, 存在耗时长, 试剂用量大等不足。上官苗苗等^[26]建立了微型多功能进样器结合原子吸收测定黄酒中的氧化钙含量的方法。结果表明, 与国标方法相比, 该方法中样品前处理不经消化, 直接定容测定, 无需逐一添加氯化钡, 降低因稀释倍数造成的误差, 属黄酒中氧化钙测定的新技术。

2.3 酒 龄

新版国家标准给出了黄酒酒龄的定义, 主要指发酵后的成品原酒在酒坛、酒罐等容器中贮存的年限, 销售包

装标签上标注的酒龄, 以勾调所用原酒的酒龄加权平均计算^[1]。目前电子鼻、电子舌技术结合多元分析方法用于检测黄酒酒龄的研究已见报道。江涛等^[27]采用 Flash GC 型电子鼻技术, 结合 PCA、DFA 及 PLS 等分析方法对黄酒进行酒龄定量判别。结果表明, 建立 PLS 模型对所选黄酒的酒龄预测结果平行性好, 定量准确, 适用于大量酒样酒龄的判别。Yu 等^[28]采用电位型电子舌采集不同酒龄黄酒样品的味觉指纹信息, 判别分析法(discriminant analysis, DA)结合味觉指纹信息建立酒龄快速鉴别模型。结果表明, 该模型可将全部样品正确区分, 可用于黄酒酒龄的鉴别。

3 黄酒质量安全风险及其控制技术研究现状

近年来, 我国黄酒质量安全风险及其控制的研究主要集中在酿酒原料中农药残留控制, 制曲中有害微生物带来的安全风险防范, 发酵中生物胺及氨基甲酸乙酯含量的控制、陈酿和产品中沉淀与浑浊的控制等方面。虽然在黄酒新国标中, 酿酒原料农残、氨基甲酸乙酯、生物胺和黄曲霉毒素等指标未做明确规定, 但这些食品质量安全风险因素仍值得关注。

3.1 酿酒原料安全风险

在粮食主产区, 喷施农药会给粮食带来农药残留, 也可能成为造成酒类产品中主要有害物来源之一^[29]。针对这一问题, 何平等^[30]建立了黄酒中 10 种有机磷农药残留的 GC-MS 测定方法。通过检测限和回收率等项目评定, 表明该方法简单、方便, 适合黄酒中农药残留的测定, 值得推广。此外, 国家有关部门、行业协会倡导黄酒企业建立酿酒用粮种植基地, 严控施药标准, 从源头上控制解决农药残留问题^[31]。

3.2 制曲工艺安全隐患

麦曲作为糖化发酵剂被应用于黄酒酿造中^[32], 其含有丰富的微生物及酶系, 对黄酒发酵的质量和黄酒的风味都起到重要作用^[33]。传统的黄酒酿造糖化剂为自然发酵的生麦曲^[34]。制曲过程中, 最大的质量安全问题是一些有害菌株的侵入, 如产黄曲霉毒素的黄曲霉等。吉小凤等^[35]采用酶联免疫法测定黄酒中黄曲霉毒素 B₁ 含量。通过对 26 个不同的黄酒样品进行检测, 结果发现所有样品均检出黄曲霉毒素 B₁。酶联免疫法测定快速, 定量准确, 重现性好, 可高效地定量检测大量市售黄酒样品中黄曲霉毒素的含量。

3.3 发酵工艺质量控制

3.3.1 生物胺

生物胺是一类低分子量含氮有机化合物, 在黄酒中属潜在有害物质。当人体摄入过量的生物胺时, 会引起过敏反应, 严重时危及生命^[36]。黄酒中的生物胺来自于原料

以及酿造过程, 主要是由微生物的活动产生。李立娜^[37]对蛋白酶 A 对黄酒酿造中生物胺产生的影响进行研究。结果表明选育低蛋白酶 A 活力的酵母菌株可有效降低黄酒中生物胺含量, 为实现黄酒安全生产提供一种新途径。Lu 等^[38]采用高效液相色谱-二极管阵列法 (high performance liquid chromatography-diode array detector, HPLC-DAD) 对 14 种黄酒进行检测。结果表明, 黄酒中的多种生物胺含量均高于啤酒和葡萄酒。该方法可准确测定全部黄酒样品中生物胺的含量, 且回收率良好。黄酒中的生物胺种类及含量水平与葡萄酒、啤酒比较见表 1。

表 1 3 种酿造酒中生物胺的种类及含量水平
Table 1 The content of biogenic amines in 3 kinds of fermented alcoholic beverages

生物胺	生物胺含量/(mg/L)				
	黄酒	葡萄酒	葡萄酒/黄酒	啤酒	啤酒/黄酒
组胺	5.02~78.50	0~10.51	0~0.13	0~1.37	0~0.02
精胺	0~33.60	0~3.82	0~0.11	0~0.44	0~0.01
尸胺	0~121.00	0~12.98	0~0.11	0~0.72	0~0.01
酪胺	0~101.00	0~19.13	0~0.19	0.24~37.34	0~0.37
亚精胺	0~22.50	0~2.64	0~0.12	0.12~1.77	0~0.08
苯乙胺	-	0~4.58	0~4.58	0~0.35	0~0.35
腐胺	-	0.22~19.01	0.22~19.01	0.37~4.90	0.37~4.90
总量	39.30~241.00	0.37~31.46	0.01~0.13	2.20~42.03	0.06~0.17

3.3.2 甲 醛

酒体中过量甲醛会对人体健康产生危害。劳民均等^[39]研究发现, 黄酒发酵过程中, 甲醛是自然产生的, 但含量较低, 对人体不会造成危害。微量的甲醛在人体内很快代谢成甲酸从呼吸系统和尿液中排出^[40]。

3.3.3 氨基甲酸乙酯

目前, 氨基甲酸乙酯(ethyl carbamate, EC)的含量已成为国际社会高度关注的发酵类食品安全热点问题之一。EC 是发酵食品和酒精饮品在发酵或贮存过程中产生的对人类健康存在潜在危害的一种物质。一些国家还规定了不同酒中 EC 最高限量。由于诸多原因, 我国 2018 新版黄酒国标中还未制定 EC 的限量指标。黄酒 EC 的测定方法以 GC-MS 法为主, 此法能快速高效地对样品进行定量和定性分析, 更适用于复杂混合物中某组分的鉴定。刘俊^[41]采用顶空-固相微萃取-气质联用技术(headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometer, HS-SPME-GC-MS)建立了完全自动化、可快速、简便测定黄酒中 EC 含量的方法。此法测定快速, 高效。

3.4 沉淀与浑浊

黄酒的成分极其复杂, 产生混浊的原因也很多, 一般

可分为生物混浊和非生物混浊两大类。已有不少学者对黄酒浑浊沉淀问题进行研究, 但大多处于试验阶段, 对沉淀起因和影响因素的研究较少。生物混浊是由微生物污染引起的, 主要是由于煎酒杀菌温度不到或储酒容器洗刷不清、灭菌不严而导致的。一般做好环境卫生工作, 酒液和包装容器杀菌彻底, 灌装后达到密封要求, 就可避免生物混浊的发生^[42]。

非生物浑浊。黄酒中成分在外界光照、温度、溶氧等环境因素的影响下, 极易发生一系列物理化学变化, 导致酒体产生浑浊、沉淀等现象。通常采用过滤技术结合澄清剂和酶制剂的方法解决黄酒非生物浑浊。朱一松等^[43]利用超滤技术处理, 结果表明: 经处理的黄酒可避免因酶本身引起的蛋白质沉淀, 可以提高黄酒的非生物稳定性。林宁晓^[44]采用具有良好的孔径和巨大的比表面积的食品级 D300CE 硅胶对黄酒进行处理, 结果表明: 硅胶 D300CE 对于吸附引起沉淀物质选择性强, 对酒体的呈味物质含量几乎没有影响, 同时较为完全去除了金属离子, 解决了黄酒非生物沉淀的技术问题。

4 展 望

黄酒品质分析及质量安全控制研究主要集中在酿酒原料质量控制、制曲工艺和发酵工艺条件控制、陈酿中的沉淀与浑浊控制、产品质量标准感官指标、理化指标、酒龄检测等方面。黄酒产品质量标准、感官指标分析和理化指标检测研究方面, 已出现了采用电子鼻、电子舌、近红外光谱等技术代替标准中感官和理化指标的检测方法, 改善或提高国标常规方法精密度、准确度和重现性等问题。

黄酒的质量安全控制研究虽已取得新的进展, 但还存在以下问题值得进一步关注: (1)由于诸多原因, 我国还未将农残和氨基甲酸乙酯的限量列入现行黄酒国家标准; (2)黄酒酿造采用的麦曲易受到有害菌株的污染, 而黄酒发酵用麦曲微生物种群分析缺乏系统研究; (3)有关预防和去除生物胺的研究, 尚未见系统的研究工作报道; (4)新版黄酒标准还存在需进一步补充和完善之处, 以进一步规范 and 约束黄酒生产过程的质量管理; (5)借助云计算和大数据技术, 构建涉及黄酒研发、原料采购、生产、加工、运输、销售等过程的全产业链食品安全可追溯体系, 实现从根本上解决黄酒质量安全问题。促进黄酒行业可持续稳步发展, 今后还需各部门协调合作, 持续不断地努力。

参考文献

- [1] GB/T 13662-2018 黄酒[S].
GB/T 13662-2018 Chinese rice wine [S].
- [2] 邓德文, 郑校先, 朱宏霞. 近红外光谱仪在黄酒品质分析中的应用[J]. 食品科学, 2008, (5): 502.
Deng DW, Zheng XX, Zhu HX. Application of near infrared spectrometer

- in quality analysis of yellow wine [J]. *Food Sci*, 2008, (5): 502.
- [3] 赖樱花, 成坚, 李勇波, 等. 黄酒质量指标及其检测技术的研究进展[J]. *中国酿造*, 2011, 30(11): 21–25.
Lai YH, Cheng J, Li YB, *et al.* Research progress of the quality indexes and measurement techniques of Chinese rice wine [J]. *China Brew*, 2011, 30(11): 21–25.
- [4] 张健, 赵镭, 欧阳一非, 等. 现代仪器分析技术在白酒感官评价研究中的应用[J]. *食品科学*, 2007, 28(10): 561–565.
Zhang J, Zhao L, Ouyang YF, *et al.* Application of modern instrumental analysis technology in sensory evaluation of liquor [J]. *Food Sci*, 2007, 28(10): 561–565.
- [5] 田师一, 邓少平. 多频脉冲电子舌对酒类品种区分与辨识[J]. *酿酒科技*, 2006, (11): 24–26.
Tian SY, Deng SP. Multifrequency pulse electronic tongue for discriminating different brands of wine [J]. *J Brew Sci*, 2006, (11): 24–26.
- [6] 周牡艳, 胡晓晖, 许瑾, 等. 黄酒口味感官品评指标与智舌定量预测方法研究[J]. *酿酒科技*, 2012, (11): 39–42, 45.
Zhou MY, Hu XH, Xu J, *et al.* Research on sensory evaluation indexes of yellow rice wine and quality determination by electronic tongue [J]. *J Brew Sci*, 2012, (11): 39–42, 45.
- [7] 钱敏, 白卫东, 赵文红, 等. 基于电子舌的黄酒检测与辨识[J]. *仲恺农业工程学院学报*, 2016, 29(4): 30–32.
Qian M, Bai WD, Zhao WH, *et al.* Detection and identification of rice wine with electronic tongue [J]. *J Zhongkai Univ Agric Eng*, 2016, 29(4): 30–32.
- [8] 曾金红, 江涛, 焦新萍, 等. 黄酒品质评价方法的研究进展[J]. *酿酒科技*, 2012, (5): 17–20.
Zeng JH, Jiang T, Jiao XP, *et al.* Research progress in quality evaluation methods of Yellow rice wine [J]. *J Brew Technol*, 2012, (5): 17–20.
- [9] 刘辉, 牛智有. 电子鼻技术及其应用研究进展[J]. *中国测试*, 2009, 35(3): 6–10.
Liu H, Niu ZY. Electronic nose technology and its application development [J]. *China Test*, 2009, 35(3): 6–10.
- [10] 王芙蓉, 张晓鸣, 佟建明, 等. 食品风味分析技术研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2008, (3): 170–172.
Wang FR, Zhang XM, Tong JM, *et al.* Research progress of food analysis technology for flavor substances in food [J]. *Food Res Dev*, 2008, (3): 170–172.
- [11] 江涛, 李博斌, 诸葛庆, 等. 电子鼻技术在黄酒感官品评中的应用[J]. *酿酒科技*, 2012, (2): 54–57, 60.
Jiang T, Li BB, Zhuge Q, *et al.* Application of electronic nose in sensory evaluation of yellow rice wine [J]. *J Brew Technol*, 2012, (2): 54–57, 60.
- [12] 宋海燕. 黄酒特征香气成分分析及特型黄酒开发研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2013.
Song HY. Chinese rice wine features aroma components analysis and the development research of special rice wine [D]. Zhejiang Agric Forestry Univ, 2013.
- [13] 徐艳, 严汉彬, 邱元凯, 等. 客家黄酒总糖测定方法的改进与优化[J]. *酿酒科技*, 2016, (10): 53–55.
Xu Y, Yan HB, Qiu YK, *et al.* Improvement of the determination method of total sugar in Hakka yellow rice wine [J]. *J Brew Technol*, 2016, (10): 53–55.
- [14] 周慧敏, 李莎怡, 陈婷婷, 等. 用于绍兴黄酒总糖含量预测的电子鼻系统构建及其实验研究[J]. *传感技术学报*, 2017, 30(11): 1776–1780.
Zhou HM, Li SY, Chen TT, *et al.* Design and fabrication of electronic nose system for Shaoxing rice wine total sugar content forecast and experimental study [J]. *J Transduct Technol*, 2017, 30(11): 1776–1780.
- [15] 谢婷. 气相色谱法测葡萄酒中乙醇含量-甲醇作内标[J]. *常州工程职业技术学院学报*, 2006, 33(3): 51–53.
Xie T. Determination of ethanol content in wine by gas chromatography-methanol as internal standard [J]. *J Changzhou Eng Vocat Coll*, 2006, 33(3): 51–53.
- [16] 李国辉, 高红波, 王道兵, 等. 葡萄酒和黄酒中酒精度快速测定方法研究[J]. *酿酒科技*, 2018, (1): 22–25.
Li GH, Gao HB, Wang DB, *et al.* Rapid determination of alcohol content of grape wine/yellow rice wine [J]. *J Brew Technol*, 2018, (1): 22–25.
- [17] 黄媛媛, 肖蒙, 彭金龙, 等. 快速酒精仪在黄酒酒精度分析中的应用[J]. *中国酿造*, 2014, 33(4): 139–141.
Huang YY, Xiao M, Peng JL, *et al.* Alcohol content determination of Chinese rice wine using alcolyzer wine [J]. *China Brew*, 2014, 33(4): 139–141.
- [18] 孙国昌. 提高新工艺黄酒生产中固形物含量[J]. *酿酒科技*, 2001, (6): 73.
Sun GC. To improve solids contents in the production of new craft yellow rice wine [J]. *Brew Sci Technol*, 2001, (6): 73.
- [19] 黄志清, 靳爽, 黄山, 等. 1 种快速测定黄酒中非糖固形物的方法[J]. *中国食品学报*, 2013, 13(11): 148–152.
Huang ZQ, Jin S, Huang S, *et al.* A rapid determination method for non-sugar solids of rice wine [J]. *Chin J Food Sci*, 2013, 13(11): 148–152.
- [20] 俞关松, 毛青钟. 降低绍兴黄酒中氨基酸态氮含量的紧迫性[J]. *酿酒*, 2018, 45(4): 96–99.
Yu GS, Mao QZ. The urgency of reducing the content of amino acid nitrogen in Shaoxing rice wine [J]. *Brewing*, 2018, 45(4): 96–99.
- [21] 陈郁, 周小锋, 于文博, 等. 近红外光谱法测定黄酒中氨基酸态氮和酒精度的研究[J]. *计算机与应用化学*, 2008, 25(3): 361–364.
Chen Y, Zhou XF, Yu WB, *et al.* Research on the determination of the alcohol degree and the content of amino acid nitrogen in rice wine by near infrared spectroscopy [J]. *J Computer Appl Chem*, 2008, 25(3): 361–364.
- [22] 赵玉玲. 用气相色谱法测定黄酒中 β -苯乙醇分流比的选择研究[J]. *河南科技*, 2017, (5): 140–141.
Zhao YL. Study on the determination of the shunt ratio of β -phenethyl alcohol in the yellow rice wine by gas chromatography [J]. *Henan Sci Technol*, 2017, (5): 140–141.
- [23] 尹桂豪, 吴月仙, 章程辉, 等. 气相色谱法测定黄酒中 β -苯乙醇的含量[J]. *中国酿造*, 2008, 27(17): 74–75.
Yin GH, Wu YX, Zhang CH, *et al.* Determination of β -phenylethanol in Chinese rice wine by gas chromatography [J]. *China Brew*, 2008, 27(17): 74–75.
- [24] 陈双. 中国黄酒挥发性组分及香气特征研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013.
Chen S. Characterization of the volatile and aroma profile of Chinese rice wine [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013.
- [25] 孔祥威. 火焰原子吸收测定黄酒中氧化钙的不确定度评定[J]. *质量技术监督研究*, 2012, (2): 22–24.
Kong XW. Evaluation of uncertainty about calcium oxide measurement in Chinese rice wine by flame atomic absorption [J]. *Qual Tech Superv*, 2012,

- (2): 22–24.
- [26] 上官苗苗, 曹骁. 在线增敏-原子吸收技术快速测定黄酒中氧化钙的含量[J]. 浙江化工, 2012, 43(7): 36–38.
Shangguan MM, Cao X. On-line sensitization rapid determination of calcium oxide content in yellow rice wine by atomic absorption technique [J]. Zhejiang Chem Ind, 2012, 43(7): 36–38.
- [27] 江涛, 李博斌, 郑云峰, 等. 电子鼻对绍兴黄酒酒龄的判别研究[J]. 酿酒科技, 2012, (1): 39–41, 46.
Jiang T, Li BB, Zheng YF, *et al.* Research on the use of electronic nose to determine wine age of Shaoxing yellow rice wine [J]. J Brew, 2012, (1): 39–41, 46.
- [28] Yu HY, Zhang Y, Xu CH. Discrimination of wine age of Chinese rice wine by electronic tongue based on amino acid profiles [J]. J Agric Eng, 2017, 33(2): 297–301.
- [29] 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. Research progress on analysis methods of pesticide residues in alcohol [J]. China Public Health, 2012, 28(7): 994–998.
- [30] 何平, 李景, 柯露康, 等. 气相色谱-质谱联用法测定黄酒中10种有机磷类农药残留[J]. 食品与发酵科技, 2016, 52(6): 87–90.
He P, Li J, Ke LK, *et al.* Detection of 10 organophosphorus pesticide in Chinese wine by GC-MS [J]. Food Sci Technol, 2016, 52(6): 87–90.
- [31] 许丹丹, 林海娃, 焦新萍, 等. 黄酒质量安全风险因子分析及有害物质的控制研究[J]. 食品安全导刊, 2015, (13): 70–71.
Xu DD, Lin HW, Jiao XP, *et al.* Analysis of quality and safety risk factors of yellow wine and control of hazardous substances [J]. Food Safety Guide, 2015, (13): 70–71.
- [32] Yan X. Wheat Qu improves Chinese rice wine [J]. Ind Bioprocess, 2013, (7): 300–307.
- [33] 俞剑葵, 杨昶津, 夏永军, 等. 黄酒酒曲中霉菌筛选及其制曲研究[J]. 江西农业学报, 2016, 28(5): 79–82.
Yu JW, Yang YJ, Xia YJ, *et al.* Studies on screening of mycetes from Koji for Chinese rice wine and Koji-making [J]. J Jiangxi Agric Univ, 2016, 28(5): 79–82.
- [34] 隗程峰, 姚晓玲, 朱正军, 等. 黄酒酿造原料及微生物研究新进展[J]. 酿酒, 2015, 42(5): 96–101.
Ruan CF, Yao XL, Zhu ZJ, *et al.* Research progress in the raw materials and microbiological of yellow rice wine [J]. Brewing, 2015, 42(5): 96–101.
- [35] 吉小凤, 陈笑芸, 魏巍. 酶联免疫法(ELISA)测定瓶装黄酒中黄曲霉毒素B[J]. 浙江农业学报, 2015, 27(11): 2006–2010.
Ji XF, Chen XY, Wei W. Determination of aflatoxin B in bottled Chinese rice wine by enzyme-linked immunosorbent assay(ELISA) [J]. J Zhejiang Agric Sci, 2015, 27(11): 2006–2010.
- [36] 李志军, 栾同青, 钟其顶, 等. 发酵型饮料酒中生物胺研究进展[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(12): 111–115.
Li ZJ, Luan TQ, Zhong QD, *et al.* Biogenic amines in fermented alcoholic beverage [J]. Food Res Dev, 2013, 34(12): 111–115.
- [37] 李立娜. 降低黄酒中生物胺含量的黄酒酵母选育[D]. 天津: 天津科技大学, 2014.
Li LN. Screening and breeding of yellow wine yeast to low the concentration of biogenic amines in the Chinese yellow wine [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2014.
- [38] Lu YM, Lu X, Chen XH, *et al.* A survey of biogenic amines in Chinese rice wines [J]. Food Chem, 2007, 100(4): 1424–1428.
- [39] 劳民均, 诸葛庆, 孟燕青, 等. 黄酒中甲醛含量的研究[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(12): 152–154.
Lao MD, Zhuge Q, Meng YQ, *et al.* Study on formaldehyde content in rice wine [J]. Food Ferment Ind, 2008, 34(12): 152–154.
- [40] 邵胜男. 黄酒中甲醛检测方法[J]. 吉林农业, 2018, (22): 75.
Shao SN. Method for detection of formaldehyde in rice wine [J]. Jilin Agric, 2018, (22): 75.
- [41] 刘俊. 中国黄酒中氨基甲酸乙酯控制策略及机制的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012.
Liu J. Control strategy of ethyl carbamate in Chinese Rice wine and the mechanism [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012.
- [42] 刘慧杰, 王峰, 马立. 响应面法优化黄酒非生物浑浊的处理条件[J]. 酿酒, 2011, 38(2): 66–69.
Liu HJ, Wang F, Ma L. Optimization of treatment conditions to non-biological turbidity of rice wine by response surface method [J]. Brewing, 2011, 38(2): 66–69.
- [43] 朱一松, 赵光鳌, 帅桂兰, 等. 超滤法生产的纯生黄酒非生物稳定性的研究[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(2): 26–29.
Zhu YS, Zhao GA, Shuai GL, *et al.* Study on the non-biological stability of draft rice wine by ultrafiltration [J]. Food Ferment Ind, 2005, 31(2): 26–29.
- [44] 林宁晓. 黄酒非生物沉淀澄清新工艺技术研究[J]. 福建轻纺, 2014, (9): 36–40.
Lin NX. Research on new process technology of non-biological precipitation of yellow wine [J]. Fujian Textile, 2014, (9): 36–40.

(责任编辑: 武英华)

作者简介



陈小玲, 硕士, 主要研究方向为食品生物化学和食品营养学。

E-mail: 17809267234@163.com



李新生, 教授, 主要研究方向为食品生物化学。

E-mail: 13992665865@139.com