

基于蒸汽蒸馏的黄酒和葡萄酒酒精度 测定方法研究及应用

王 毅¹, 薛华丽², 张素玮¹, 李 榕¹, 徐子萱¹, 魏 娟¹, 冯丽丹¹, 负建民^{1*}

(1. 甘肃农业大学食品科学与工程学院, 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学理学院, 兰州 730070)

摘 要: **目的** 建立一种利用蒸汽蒸馏测定黄酒和葡萄酒酒精度的方法, 并比较该方法与水浴加热蒸馏法测定市售黄酒和葡萄酒酒精度结果的差异。**方法** 通过分析模拟酒样蒸馏前后酒精度测定结果的差异以及蒸馏时间对酒精度测定结果的影响, 验证利用蒸汽蒸馏测定酒精度的可行性, 并确定蒸馏时间; 通过乙醇回收率实验分析蒸汽蒸馏测定黄酒和葡萄酒酒精度的准确性; 分别采用蒸汽蒸馏和水浴加热蒸馏对市售不同酒精度的黄酒和葡萄酒进行测定, 比较两方法测定结果的差异。**结果** 模拟酒样在使用蒸汽蒸馏前后测得的酒精度无显著性差异($P>0.05$), 最适蒸馏时间为 8 min; 黄酒和葡萄酒采用蒸汽蒸馏测得的加标回收率分别为 95.9% 和 98.8%; 蒸汽蒸馏与水浴加热蒸馏对市售不同酒精度的黄酒和葡萄酒的酒精度测定结果一致, 无显著性差异($P>0.05$), 精密性也符合国家标准要求。**结论** 蒸汽蒸馏法适用于黄酒和葡萄酒酒精度的测定, 结果准确、重复性好。与水浴加热蒸馏相比, 其操作更简便、快速。

关键词: 黄酒; 葡萄酒; 酒精度; 蒸汽蒸馏; 方法研究

Research and application of determination method for alcohol content in Huangjiu and wines based on steam distillation

WANG Yi¹, XUE Hua-Li², ZHANG Wen-Wei¹, LI Rong¹, XU Zi-Xuan¹, WEI Juan¹,
FENG Li-Dan¹, YUN Jian-Min^{1*}

(1. College of Food Science and Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;
2. College of Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for determination the alcohol content of Huangjiu and wines by steam distillation, and compare the difference between steam distillation and the water bath heating distillation on the alcohol content of Huangjiu and wines purchased from the market. **Methods** Through analyzing the difference of alcohol content of simulated wine samples before and after steam distillation and the effect of distillation time on alcohol content, the feasibility of steam distillation was verified, and the distillation conditions were optimized. Furthermore, the accuracy of the steam distillation for the alcohol content determination of Huangjiu and wines were

基金项目: 甘肃农业大学“伏羲青年英才培养计划”项目(Gaufx-02Y03)、甘肃省教育科学“十四五”规划 2021 年度一般课题项目(GS[2021]GHB1834)、教学成果培育项目(甘教高函[2021]16 号-89)

Fund: Supported by the Fuxi Young Talent Cultivation Project of Gansu Agricultural University (Gaufx-02Y03), the General Projects of the 14th Five-year Plan of Educational Science in Gansu Province (GS[2021]GHB1834), and the Course Incubation Project of Postharvest Biology and Technology (Gan Jiao[2021]16-89)

***通信作者:** 负建民, 教授, 主要研究方向为食品微生物与发酵工程。E-mail: yunjianmin@gsau.edu.cn

***Corresponding author:** YUN Jian-Min, Professor, College of Food Science and Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China. E-mail: yunjianmin@gsau.edu.cn

analyzed by ethanol recovery test; then the steam distillation and water bath heating distillation were used to determine the alcohol content of Huangjiu and wines with different alcohol content purchased from market respectively, and the differences of results between the two methods were compared. **Results** The results showed no significant difference in alcohol content of simulated wine samples before and after steam distillation ($P>0.05$), and the optimal distillation time was 8 min. The recovery rates of Huangjiu and wines by steam distillation were 95.9% and 98.8%, respectively. The alcohol contents measured by steam distillation and water bath heating distillation were consistent and had no significant differences ($P>0.05$), and the precision also met the requirements of the national standard. **Conclusion** The steam distillation is suitable for the determination of alcohol content of Huangjiu and wines, and the results are accurate and reproducible. Compared with water bath heating distillation, its operation is simpler and faster.

KEY WORDS: Huangjiu; wines; alcohol content; steam distillation; method study

0 引 言

近年来, 黄酒和葡萄酒因营养丰富, 且具有独特的口感风味和一定的保健功效越来越受消费者的青睐^[1-4]。乙醇是黄酒和葡萄酒的主要成分之一, 其浓度(即酒精度)的高低直接影响着产品品质。据报道, 黄酒的酒精度过低会影响酒体感官, 同时低酒精度有利于酸败微生物的生长, 提高酒精度可有效预防黄酒酸败^[5-6]; 过高的酒精度会改变葡萄酒的感官特征, 增加苦味、涩味和辣味的感觉, 掩盖一些挥发性化合物, 还会对健康造成影响^[7-8]。酒精度不仅是衡量黄酒和葡萄酒产品品质的重要指标, 也是判定产品是否合格的指标, GB/T 13662—2018《黄酒》和 GB 15037—2006《葡萄酒》对两种饮料酒产品的酒精度均有明确的要求。

目前, 采用气相色谱法^[9]、红外光谱法^[10-12]、拉曼光谱法^[13-14]、高锰酸钾褪色光度法^[15]、核磁共振^[16-17]、胶束电动色谱法^[18]等测定饮料酒中酒精度虽表现出检测灵敏度高、结果精确等优点, 但这些方法不同程度地存在所需仪器昂贵、检测成本和对操作人员的技术要求高等问题, 使其推广应用受到了一定限制。生产企业和检测机构仍普遍采用 GB 5009.225—2016《食品安全国家标准 酒中乙醇浓度的测定》中规定的密度瓶法(第一法)或酒精计法(第二法)测定黄酒和葡萄酒的酒精度。这两种方法虽然使用的仪器价格低廉, 但在操作过程中均需预先对试样进行蒸馏, 目的是去除样品中的不挥发性物质。而国家标准推荐的水浴加热蒸馏存在耗时长(约 25 min)、全玻璃蒸馏器操作烦琐、仪器极易损坏等缺点, 严重降低了该方法的检测效率^[19]。因此, 十分必要寻求一种操作简单、快速且符合国家标准检测结果要求的蒸馏方法, 以提高密度瓶法和酒精计法的检测效率。

常用的蒸馏加热方式有水浴加热蒸馏、直火加热蒸馏、蒸汽蒸馏和微波蒸馏等^[20-22]。与直火加热蒸馏相比, 全自动蒸汽蒸馏仪可短时高效地完成蒸馏过程, 操作简单、省时省力^[20]。但将全自动蒸汽蒸馏仪用于饮料酒酒精度测定的试样制备能否满足国家标准中对检测结果的要求尚未

见报道。因此, 本研究借助二氧化硫残留量测定仪的全自动蒸汽蒸馏系统, 探究利用蒸汽蒸馏制备试样测定黄酒和葡萄酒酒精度的可行性和准确性, 并比较该方法和国家标准规定的水浴加热蒸馏法对市售不同酒精度的黄酒和葡萄酒测定结果的差异, 以验证其能否在检测结果的准确性和精密度达到国家标准相关要求的同时, 提高检测效率, 以期对相关生产企业和检测机构提供方法参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

市售黄酒(标签标示酒精度分别为 8% vol、12% vol 和 15% vol); 葡萄酒(标签标示酒精度分别为 11.5% vol 和 13% vol)。

无水乙醇(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司)。

1.2 仪器与设备

SOA100 二氧化硫残留量测定仪(山东海能科学仪器有限公司); 全玻璃蒸馏器(1000 mL)、精密酒精计(分度值为 0.2% vol)(河北省武强县同辉仪表厂)。

1.3 实验方法

1.3.1 酒精度的测定

1) 试样制备

(1) 蒸汽蒸馏

用洁净、干燥的 200 mL 容量瓶, 准确量取 200 mL 样品于消化管中, 用 100 mL 水, 分 3 次冲洗容量瓶, 洗液并入消化管中, 加几颗玻璃珠, 放置于二氧化硫残留量测定仪的消化管托盘上。接收液导管置于取样用的原容量瓶中(外加冰浴)。依次设置仪器自动测试时的各类试剂参数(0 mL), 蒸馏功率(100%, 即 1300 W)和时间(依据后续实验目的确定), 待馏出液接近容量瓶的刻度时, 或按照系统设置的时间自动运行结束后, 取下容量瓶, 补水至刻度, 混匀, 备用。

(2) 水浴加热蒸馏

严格按照 GB 5009.225—2016, 准确量取 200 mL 样品, 采用全玻璃蒸馏器进行水浴加热蒸馏, 当馏出液接近 200 mL

容量瓶的刻度时, 取下容量瓶, 补加水至刻度, 混匀, 备用。

2) 试样溶液的酒精计法测定和结果换算

参照 GB 5009.225—2016 和陈丹丹等^[23]的方法进行操作, 即将上述经蒸汽蒸馏或水浴加热蒸馏制得的试样液注入洁净、干燥的 200 mL 量筒中, 利用酒精计测定, 记录刻度示值和温度, 并参考 GB 5009.225—2016 的附录 B, 换算成 20℃时的酒精度。

1.3.2 蒸汽蒸馏对黄酒和葡萄酒模拟酒酒精度检测准确性的影响

1) 模拟酒样的配制

黄酒和葡萄酒的酒精度接近, 参考文献[19,24–25]的方法, 采用体积法分别配制 8、12、16 和 20% vol 的乙醇溶液作为黄酒和葡萄酒的模拟酒样。

2) 试样制备及酒精度的测定

首先利用酒精计测定各模拟酒样的酒精度, 再按照 1.3.1 的蒸汽蒸馏法进行以上模拟酒试样的制备, 待馏出液体体积接近容量瓶刻度时, 取下容量瓶, 定容, 测定酒精度。每个梯度的模拟酒均做 3 次重复测定。

1.3.3 蒸馏时间对蒸汽蒸馏法测定模拟酒样酒精度结果的影响

按照 1.3.1 中试样制备中的蒸汽蒸馏法进行操作, 依据预实验(馏出液接近容量瓶的刻度时所需的时间)设置仪器自动测试时的蒸馏时间分别为 6、8、10、12 min, 系统自动运行结束后, 取下容量瓶, 定容, 并进行后续酒精度的测定。依据所得试样酒精度是否达到稳定状态确定最佳蒸馏时间。

1.3.4 市售黄酒和葡萄酒乙醇回收率的测定

选取市售黄酒和葡萄酒各 1 个品种, 进行乙醇回收率测定。参考张丽萍等^[15]的方法并修改, 依次准确量取 200 mL 样品于两个消化管中, 在第二个消化管中加入一定体积的无水乙醇, 然后将两个消化管中的样品分别按照 1.3.1 中蒸汽蒸馏法进行试样制备后, 测定其酒精度。黄酒和葡萄酒

中无水乙醇的添加比例均为 3%, 即加入的无水乙醇体积均为 6 mL。乙醇回收率的计算按照公式(1)进行:

$$\text{乙醇回收率}/\%=(\text{样品加入无水乙醇后的酒精度}-\text{样品加入无水乙醇前酒精度})/\text{无水乙醇的添加比例}\times 100\% \quad (1)$$

1.3.5 市售黄酒和葡萄酒酒精度的测定

按照 1.3.1 的方法, 分别采用蒸汽蒸馏和水浴加热蒸馏方法进行试样制备后, 测定不同品种黄酒和葡萄酒的酒精度, 分析蒸汽蒸馏法的准确性和精密度。每品种酒样均做 3 个平行。

1.3.6 数据统计分析

数据采用 Excel 2010 计算平均值和标准偏差, 用 SAS 9.4 软件进行 *t* 检验分析测定结果的差异性, 精密度计算结果为重复性条件下获得的 3 次独立测定结果中最大值与最小值的绝对差值。

2 结果与分析

2.1 蒸汽蒸馏对模拟酒样酒精度测定结果的影响

蒸馏过程中的密封性和蒸馏的速度等因素都会对测定结果造成误差^[26]。本研究以无水乙醇配制的不同浓度乙醇溶液作为黄酒和葡萄酒的模拟酒样进行蒸馏, 利用 *t* 检验分析蒸馏前后测得的酒精度均值差异是否显著^[27–28], 评价实验方法误差, 测定结果见表 1。结果显示, 同一样品在蒸馏前后测得的酒精度结果一致, 单个样品的绝对差值最大为 0.29% vol, 相同浓度模拟酒样蒸馏前后均值的绝对差值最大为 0.18% vol。经 *t* 检验分析, 二者无显著差异 ($P>0.05$), 同时蒸馏后的模拟酒样平行测定的结果绝对差值最大为 0.28% vol, 符合 GB 5009.225—2016 中“在重复性条件下获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过 0.5% vol”的规定。表明该实验方法可行, 蒸汽蒸馏法能够满足对黄酒和葡萄酒酒精度的精确测定。

表 1 蒸汽蒸馏对模拟酒样酒精度测定结果的影响
Table 1 Effects of steam distillation on the determination results of alcohol content of simulated wine samples

模拟酒样类别	乙醇浓度/%	编号	蒸馏前酒精度/(% vol)	蒸馏后酒精度/(% vol)	蒸馏前后的绝对差值	蒸馏前后酒精度差异分析
黄酒	8	(1)	8.15	8.31	0.16	$P>0.05$
		(2)	8.46	8.20	0.26	
		(3)	8.27	8.20	0.07	
		平均值	8.30±0.16	8.24±0.06	0.06	
		精密度	0.31	0.11	—	
	12	(1)	12.64	12.89	0.25	$P>0.05$
		(2)	13.03	12.77	0.26	
		(3)	12.84	12.72	0.12	
		平均值	12.84±0.20	12.79±0.09	0.05	
		精密度	0.39	0.17	—	

表 1(续)

模拟酒样类别	乙醇浓度/%	编号	蒸馏前酒精度/(% vol)	蒸馏后酒精度/(% vol)	蒸馏前后的绝对差值	蒸馏前后酒精度差异分析
葡萄酒	16	(1)	15.57	15.54	0.03	P>0.05
		(2)	15.43	15.71	0.28	
		(3)	15.48	15.75	0.27	
		平均值	15.49±0.07	15.67±0.11	0.18	
		精密度	0.14	0.21	—	
	20	(1)	19.54	19.52	0.02	P>0.05
		(2)	19.70	19.41	0.29	
		(3)	19.67	19.69	0.02	
		平均值	19.64±0.09	19.54±0.14	0.10	
		精密度	0.16	0.28	—	

注: —表示无数据。

2.2 蒸馏时间对蒸汽蒸馏法测定模拟酒样酒精度结果的影响

蒸馏可将液体混合物中的各组分根据其沸点不同而分离出来,蒸馏过程中低沸点组分先蒸发,高沸点组分后蒸出^[29]。酒中乙醇的沸点低于水的沸点,因而乙醇先蒸出。测定不同蒸馏时间对模拟酒样酒精度的影响,可根据酒精度是否达到稳定状态判断乙醇是否完全蒸出,从而合理设置蒸馏时间,优化蒸馏操作,提高工作效率。本研究依据预实验分别设置蒸馏时间为 6、8、10 和 12 min,采用蒸汽蒸馏法对各模拟酒样进行蒸馏并测定其酒精度,结果见表 2。当模拟酒样乙醇浓度为 8%时,随蒸馏时间的延长测得的酒精度逐渐升高,当蒸馏时间为 6、8、10 和 12 min 时测得的酒精度与蒸馏前相比,二者的绝对差值分别为 1.65、0.32、0.21 和 0.04% vol。当模拟酒样乙醇浓度为 12%时,在蒸馏 6、8 和 10 min 时测得的酒精度亦随蒸馏时间的延长逐渐升高,与蒸馏前相比,其绝对差值分别为 2.02、0.11 和 0.03% vol;但当蒸馏时间为 12 min 时馏出液已超出容量瓶刻度,无法进行酒精度的测定。当模拟酒样乙醇浓度为 16%时,在蒸馏时间为 6 和 8 min 时,其测得的酒精度与蒸馏前相比,二者的绝对差值分别为 1.51 和 0.04% vol;

但当蒸馏时间为 10 min 时馏出液已超出容量瓶刻度,无法进行酒精度的测定。当模拟酒样乙醇浓度为 20%时,在蒸馏时间为 6 和 8 min 时,其测得的酒精度与蒸馏前相比,二者的绝对差值分别为 1.31 和 0.25% vol;但当蒸馏时间为 10 min 时馏出液已超出容量瓶刻度,无法进行酒精度的测定。鉴于黄酒和葡萄酒的酒精度普遍在 7~20% vol 之间,而当蒸馏时间为 8 min 时,乙醇浓度为 8%、12%、16%和 20% 的模拟酒样测得的酒精度与蒸馏前相比,二者的绝对差值均小于 0.5% vol。因此,采用该方法制备黄酒和葡萄酒酒精度测定的试样时,蒸馏时间可设置为 8 min。

2.3 蒸汽蒸馏法检测市售黄酒和葡萄酒的乙醇回收率

加标回收率实验可用于验证方法的准确性^[30]。酒中存在众多影响酒精度真实值测定的干扰组分^[31],为综合分析蒸汽蒸馏法对酒样酒精度测定的影响,本研究向市售的黄酒和葡萄酒中分别加入一定比例的无水乙醇,通过测定加标前后的酒样酒精度,计算乙醇平均回收率,验证该蒸汽蒸馏法对不同酒样酒精度测定结果准确性的影响。由测定结果表 3 可知,蒸汽蒸馏法测得的黄酒和葡萄酒样品的乙醇平均回收率分别为 95.9%和 98.8%,符合分析要求,表明该蒸汽蒸馏法能够满足对黄酒和葡萄酒酒精度的准确测定。

表 2 蒸馏时间对模拟酒样酒精度测定的影响
Table 2 Effects of distillation time on the determination of alcohol content of simulated wine samples

模拟酒样类别	乙醇浓度/%	蒸馏前酒精度/(% vol)	蒸馏后酒精度/(% vol)			
			6 min	8 min	10 min	12 min
黄酒 葡萄酒	8	8.15	6.50±0.21	7.83±0.19	7.94±0.16	8.11±0.05
	12	12.06	10.04±0.24	11.95±0.15	12.03±0.09	—
	16	15.75	14.24±0.17	15.71±0.14	—	—
	20	20.18	18.87±0.20	19.93±0.18	—	—

注: —表示蒸馏时间为相应时间时,馏出液已超出容量瓶刻度。

表 3 市售黄酒和葡萄酒的乙醇平均回收率
Table 3 Average recoveries of ethanol in commercial Huangjiu and wines

样品 编号	类别	标签酒精度/(% vol)	加标前样品酒精度/(% vol)	无水乙醇 加入量/%	加标后样品酒精度/(% vol)			平均回收率/%
					(1)	(2)	(3)	
1	黄酒	8	10.03	3	12.77	12.95	13.00	95.9
2	葡萄酒	11.5	10.83	3	13.82	13.63	13.93	98.8

2.4 蒸汽蒸馏法与水浴加热蒸馏法测得各样品酒精度的比较

选取市售酒精度标识值为 8、12 和 15% vol 的黄酒及酒精度标识值为 11.5% vol 和 13% vol 的葡萄酒样品,分别采用蒸汽蒸馏法和水浴加热蒸馏法进行试样制备后,对其酒精度进行测定。结果表明,蒸汽蒸馏法测得的酒精度与水浴加热蒸馏法的测定值一致,两种方法测得同一

样品的酒精度均值的绝对差值最大为 0.23% vol。蒸汽蒸馏法 3 次重复测定结果的绝对差值最大为 0.36% vol,符合 GB 5009.225—2016 中样品在重复性条件下获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过 0.5% vol 的规定。经 *t* 检验分析,两方法测得的酒精度无显著性差异 ($P>0.05$)(表 4)。表明该蒸汽蒸馏法重复性良好,与水浴加热蒸馏法对黄酒和葡萄酒酒精度的测定结果等效。

表 4 蒸汽蒸馏与水浴加热蒸馏测得各样品的酒精度差异分析
Table 4 Analysis of the alcohol content difference in each alcoholic beverage sample between steam distillation and water bath heating distillation

类别	标签酒精度/(% vol)	编号	蒸汽蒸馏法测定/(% vol)	水浴加热蒸馏法测定/(% vol)	两方法的绝对差值	差异分析
黄酒	8	(1)	10.18	9.84	0.34	$P>0.05$
		(2)	10.15	10.00	0.15	
		(3)	10.00	9.80	0.20	
		平均值	10.11±0.10	9.88±0.11	0.23	
		精密度	0.18	0.20	—	
	12	(1)	12.40	12.07	0.33	$P>0.05$
		(2)	12.07	12.20	0.13	
		(3)	12.40	12.07	0.33	
		平均值	12.29±0.19	12.11±0.08	0.17	
		精密度	0.33	0.13	—	
	15	(1)	14.88	15.19	0.31	$P>0.05$
		(2)	15.19	15.09	0.10	
		(3)	15.09	15.00	0.09	
		平均值	15.05±0.16	15.09±0.10	0.04	
		精密度	0.31	0.19	—	
葡萄酒	11.5	(1)	10.97	10.97	0.00	$P>0.05$
		(2)	11.03	10.86	0.17	
		(3)	10.67	10.67	0.00	
		平均值	10.89±0.19	10.83±0.15	0.00	
		精密度	0.36	0.30	—	
	13	(1)	12.77	12.59	0.18	$P>0.05$
		(2)	12.77	12.74	0.03	
		(3)	12.59	12.59	0.00	
		平均值	12.71±0.10	12.64±0.09	0.07	
		精密度	0.18	0.15	—	

3 结 论

酒精度是保证黄酒和葡萄酒口感和酒质的前提, 对产品质量控制具有重要意义。本研究利用无水乙醇制备的黄酒和葡萄酒模拟酒样经蒸汽蒸馏前后测得的酒精度结果无显著性差异, 表明采用该蒸馏方法测定黄酒和葡萄酒的酒精度方法可行。进一步依据酒精度是否达到稳定状态对蒸馏条件进行优化, 确定了黄酒和葡萄酒的最佳蒸汽蒸馏时间为 8 min。在以上研究的基础上, 通过乙醇回收率实验和与水浴加热蒸馏法对比, 系统分析了蒸汽蒸馏法测定黄酒和葡萄酒酒精度的准确性和精密度。实验结果表明, 蒸汽蒸馏法检测市售黄酒和葡萄酒样品的乙醇平均回收率分别为 95.9% 和 98.8%, 并且该方法与水浴加热蒸馏法测得的市售黄酒和葡萄酒的酒精度结果绝对差值较小, 二者无显著性差异。同时蒸汽蒸馏法 3 次重复测定结果的绝对差值最大为 0.36% vol, 符合 GB 5009.225—2016 中对测定方法精密度的要求。整体而言, 蒸汽蒸馏法可以保证黄酒和葡萄酒酒精度检测结果的准确性和精密度, 而且操作简单、耗时短, 可以提高相关生产企业和检测机构对样品分析检测的效率, 值得推广应用。

参考文献

- [1] 吴云霞, 李冬琴, 耿敬章, 等. 黄酒功能因子及功能性黄酒研究进展[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(4): 219–224.
WU YX, LI DQ, GENG JZ, *et al.* Research progress of functional factors of Huangjiu and functional Huangjiu [J]. Food Res Dev, 2022, 43(4): 219–224.
- [2] SUN H, LIU S, MAO J, *et al.* New insights into the impacts of Huangjiu components on intoxication [J]. Food Chem, 2020, 317: 126420.
- [3] 李冬琴, 杨萌, 文笑雨, 等. 黄酒的挥发性风味成分研究进展[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(2): 202–207.
LI DQ, YANG M, WEN XY, *et al.* Research progress on volatile flavor components of Huangjiu [J]. Food Res Dev, 2022, 43(2): 202–207.
- [4] 李水彬, 孙伟. 葡萄酒的酿造工艺及其保健作用[J]. 现代食品, 2019, 19: 76–78.
LI SB, SUN W. Brewing technology and health function of wine [J]. Mod Food, 2019, 19: 76–78.
- [5] 罗雪, 柯锋, 刘文容, 等. 黄酒贮存陈酿关键酸败微生物的生物学特征[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(23): 106–111.
LUO X, KE F, LIU WR, *et al.* Biological characteristics of spoilage microbes in the storage of Huangjiu [J]. Food Ferment Ind, 2021, 47(23): 106–111.
- [6] XIE G, ZHENG H, QIU Z, *et al.* Study on relationship between bacterial diversity and quality of Huangjiu (Chinese rice wine) fermentation [J]. Food Sci Nutr, 2021, 9(7): 3885–3892.
- [7] GARCÍA M, ESTEVE-ZARZOSO B, CABELLOS JM, *et al.* Sequential non-*Saccharomyces* and *Saccharomyces cerevisiae* fermentations to reduce the alcohol content in wine [J]. Fermentation, 2020, 6: 60.
- [8] STOCKWELL T, ZHAO J, PANWAR S, *et al.* Do “moderate” drinkers have reduced mortality risk? A systematic review and meta-analysis of alcohol consumption and all-cause mortality [J]. J Stud Alcohol Drugs, 2016, 77: 185–198.
- [9] 孟庆顺, 马金慧, 汤琅琅. 气相色谱法快速测量黄酒和调味料酒中酒精度含量[J]. 中国食品添加剂, 2020, 31(7): 110–114.
MENG QS, MA JH, TANG LL. Quick determination of alcohol content in yellow rice wine and flavored wine by gas chromatography [J]. China Food Addit, 2020, 31(7): 110–114.
- [10] 胡耀强, 郭敏, 叶秀深, 等. 近红外光谱法间接测定白酒酒精度[J]. 光谱学与光谱分析, 2022, 42(2): 410–414.
HU YQ, GUO M, YE XS, *et al.* Indirect determination of liquor alcohol content based on near-infrared spectrophotometry [J]. Spectrosc Spect Anal, 2022, 42(2): 410–414.
- [11] 张虽栓, 李延奎. 葡萄酒酿造过程酒精度检测方法研究[J]. 中国酿造, 2016, 35(1): 161–164.
ZHANG SS, LI YL. Determination method of alcohol content during wine fermentation [J]. China Brew, 2016, 35(1): 161–164.
- [12] LI G, YAN N, YUAN L, *et al.* Rapid analysis of alcohol content during the green jujube wine fermentation by FT-NIR [C]. E3S Web of Conferences, 2020.
- [13] CHRISTOS P, BASALEKOU M, ELINA K, *et al.* Evaluation of a Raman spectroscopic method for the determination of alcohol content in Greek spirit Tsipouro [J]. Curr Res Nutr Food Sci J, 2016, 4: 1–9.
- [14] 宋光均, 曾悦, 何俊杰, 等. 拉曼光谱快速监测荔枝酒发酵过程酒精度的研究[J]. 中国酿造, 2021, 40(7): 184–188.
SONG GJ, ZENG Y, HE JJ, *et al.* Rapid monitoring of alcohol content in fermentation process of litchi wine by Raman spectroscopy [J]. China Brew, 2021, 40(7): 184–188.
- [15] 张丽萍, 李伟辉, 徐江华. 葡萄酒中乙醇和甘油含量分析方法研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(1): 174–176.
ZHANG LP, LI WH, XU JH. Study on the analysis method of ethanol and glycerol content in wine [J]. Food Res Dev, 2016, 37(1): 174–176.
- [16] 甄少波. 核磁共振谱内标法快速测定酒制品中酒精含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(3): 926–932.
ZHEN SB. Rapid determination of alcohol content in wine products using internal standard method of ^1H nuclear magnetic resonance [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(3): 926–932.
- [17] ISAAC-LAM MF. Determination of alcohol content in alcoholic beverages using 45 mhz benchtop nmr spectrometer [J]. Int J Spectrosc, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/2526946>
- [18] REZENDE KCA, MARTINS NM, TALHAVINI M, *et al.* Determination of the alcohol content in whiskeys using micellar electrokinetic chromatography on microchips [J]. Food Chem, 2020, 329: 127175.
- [19] 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]. Liquor-Mak Sci Technol, 2018, (1): 22–25.
- [20] 胡文敏, 罗佳琳, 陈科, 等. 全自动蒸馏仪蒸汽蒸馏与直火加热蒸馏测定二氧化硫的比较[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(12): 3016–3019.
HU WM, LUO JL, CHEN K, *et al.* Comparison of automatic steam distillation and direct-fire heating distillation for determination of sulfur dioxide [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(12): 3016–3019.

- [21] 张博雅, 徐明, 周婧丹, 等. 少溶剂微波蒸馏同时萃取神农香菊叶精油[J]. 四川林业科技, 2021, 42(5): 77–81.
ZHANG BY, XU M, ZHOU JD, *et al.* Solvent-less microwave distillation and simultaneous extraction of essential oil from *Dendranthema indicum* var. *Aromaticum* [J]. J Sichuan Forest Sci Technol, 2021, 42(5): 77–81.
- [22] YAMAMOTO Y, NAWATE T, MITSUDO S. Extraction of essential oils from leaves of the Japanese *Lindera umbellata* Thunb. by using microwave heating distillation method [C]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019.
- [23] 陈丹丹, 施炎炎, 朱云, 等. 酒中乙醇浓度国标检测方法的改进[J]. 福建分析测试, 2017, 26(6): 31–33.
CHEN DD, SHI YY, ZHU Y, *et al.* Improvement of the method of detecting ethanol concentration in wine [J]. Fujian Anal Test, 2017, 26(6): 31–33.
- [24] 李国辉, 高红波, 吕志远, 等. 酒精度快速测定仪测定饮料酒酒精度[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(1): 197–201.
LI GH, GAO HB, LV ZY, *et al.* A rapid alcohol tester for determining alcoholic strengths of alcoholic beverages [J]. Food Ferment Ind, 2019, 45(1): 197–201.
- [25] YUAN H, CHEN W, CHEN Y, *et al.* Isolation and characterization of yeast for the production of rice wine with low fusel alcohol content [J]. PLoS One, 2021, 16(11): e0260024.
- [26] 何开蓉, 程铁轵, 张莹, 等. 浓香型白酒酒精度检测能力验证研究[J]. 食品工业, 2011, (8): 106–108.
HE KR, CHENG TY, ZHANG Y, *et al.* Study on proficiency testing of determination of alcohol of luzhou-flavor liquor [J]. Food Ind, 2011, (8): 106–108.
- [27] 陈银梦, 詹倩. 运用双样本 t 检验的若干误区与正确条件[J]. 统计与管理, 2019, (2): 40–42.
CHEN YM, ZHAN Q. Some misunderstandings and correct conditions of using two sample t -test [J]. Stat Manag, 2019, (2): 40–42.
- [28] KELTER R. Simulation data for the analysis of Bayesian posterior significance and effect size indices for the two-sample t -test to support reproducible medical research [J]. BMC Res Notes, 2020, 13: 452.
- [29] NASARDIN NRM, HANAFIAH MAM, ZAINON M, *et al.* Comparative study on steam distillation and hydro-distillation methods for agarwood oil extraction [J]. Int J Appl Eng Res, 2018, 13(8): 6253–6256.
- [30] 闫建玲. 加标回收率在水质分析结果准确性的控制与评价[J]. 水科学与工程技术, 2020, (5): 73–75.
YAN JL. Application of standard recovery rate in the accuracy control and evaluation of water quality analysis results [J]. Water Sci Eng Technol, 2020, (5): 73–75.
- [31] 刘睿, 王琳, 孙崙林, 等. 蒸馏前处理对蒸馏酒酒精度测定的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(16): 5346–5351.
LIU R, WANG L, SUN YL, *et al.* Influence of pre-distillation treatment on the determination of alcohol content in distilled spirits [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(16): 5346–5351.

(责任编辑: 于梦娇 韩晓红)

作者简介



王 毅, 高级实验师, 主要研究方向为食品分析检测和采后生物学。
E-mail: wangyi@gsau.edu.cn



尹建民, 教授, 主要研究方向为食品微生物与发酵工程。
E-mail: yunjianmin@gsau.edu.cn