

现代检测技术在白酒自动化摘酒中的研究现状

Research status of modern detection technology in automatic liquor picking of Chinese Baijiu

林 慧¹ 张宿义^{1,2,3} 张 炼²

LIN Hui¹ ZHANG Su-yi^{1,2,3} ZHANG Lian²

张立强^{2,3} 郑昌宁²

ZHANG Li-qiang^{2,3} ZHENG Chang-ning²

(1. 四川轻化工大学生物工程学院, 四川 宜宾 644000; 2. 泸州老窖股份有限公司, 四川 泸州 646000; 3. 国家固态酿造工程技术研究中心, 四川 泸州 646000)

(1. College of Bioengineering, Sichuan University of Science & Engineering, Yibin, Sichuan 644000, China; 2. Luzhou Laojiao Co., Ltd., Luzhou, Sichuan 646000, China; 3. National Engineering Technology Research Center of Solid-State Brewing, Luzhou, Sichuan 646000, China)

摘要:文章总结了我国自开展白酒工业化革命以来,相关检测技术在自动化摘酒中的研究现状,并对其在自动化摘酒中的研究和应用进行了展望;同时还对相关影响摘酒质量因素的研究成果进行了概述和总结。

关键词:白酒;检测技术;自动化;摘酒

Abstract: This paper mainly summarized the research status of relevant detection technology in automatic liquor picking since the industrial revolution in China, and prospected its research and application. At the same time, the related research results of influencing liquor quality were summarized.

Keywords: Chinese Baijiu; detection technology; automation; liquor picking

白酒是中国特有的固态发酵蒸馏酒,是以淀粉质谷物为原料,曲药或酒母为糖化发酵剂,经蒸煮、糖化、发酵、蒸馏、陈酿、勾调等一系列工艺酿制而成的酒精饮料^[1]。白酒酿造作为中国传统手工业,其酿制工艺复杂、生产周期较长。随着社会的发展,原料、劳动力等生产成本持续增加,提高生产效率、提升产品质量和促进产业技术转型是企业生存的根本途径。近年来,中国白酒行业呈现出规模化生产、产业转型升级的景象,建设产业

基金项目:四川省固态酿造技术创新中心建设项目(编号:2021ZYD0102)

作者简介:林慧,女,四川轻化工大学在读硕士研究生。

通信作者:张宿义(1971—),男,四川轻化工大学教授级高级工程师,博士。E-mail: zhangsy@lzlj.com

收稿日期:2022-01-10 **改回日期:**2022-07-28

园区,打造机械化酿造生产线,如智能化制曲生产线^[2]、智能勾调系统^[3]、智能包装生产线以及由机械臂、配料输送机、自动上甑系统、摊晾加曲机、自动蒸馏系统、自动储酒系统等组成的智能酿造生产线^[4],实现了中国白酒传统酿造方式的转型升级。

在白酒行业全面机械化、自动化生产转型的大环境下,自动化摘酒是必然趋势。但白酒风味组分微量且复杂,且馏出受到糟醅发酵情况、蒸馏参数设置等多方面影响,给自动化摘酒带来了很大的挑战。实现自动化的摘酒,不仅依赖基酒品质的数据化分析,还与在线检测分析技术密切相关。近年来,在线检测技术在摘酒环节得到大力发展,除了应用相对成熟的乙醇传感器,光谱技术、图像识别技术也被开发用于在线检测、分析基酒质量。文章拟综述相关检测技术在白酒自动化摘酒中的研究现状,并对检测技术的发展趋势进行预测,同时还对相关影响摘酒质量因素的研究成果进行概述,以期早日实现白酒自动化摘酒提供研究思路和参考。

1 摘酒方法及其影响因素

1.1 摘酒方法

在白酒蒸馏过程中,白酒馏分会在蒸馏的不同时段出现明显差异^[5]。对流酒初期形成的刺激、有害物质和流酒后期有异杂味的酒掐头去尾,同时对掐头去尾部分的酒依据酒精度和风味特征划分成不同等级的过程叫做摘酒。最早的摘酒方法采用三段式摘酒,粗略地将基础酒分为酒头、酒身和酒尾。随着实践探索,酒身被细化分

成多个等级,针对浓香型白酒,有研究^[6]提出四段式摘酒,应用看花摘酒将酒身划分为两个段次,分别作为不同

质量基酒分开贮藏,具体的摘酒方法和物质特征如表 1 所示。

表 1 浓香型白酒四段式摘酒方法

Table 1 Four-stage liquor-picking method for luzhou-flavor liquor

酒段名称	物质组分特征	酒花特点	气味、口感
一段	大量的醛类、低沸点酸类、酯类物质	一般根据流酒时间及重量摘取	糠醛味重,口感辛辣刺激
二段	酒度高,风味组分数量、比例协调	酒花较大,直径 1 cm 左右	酒体协调、丰满,放香好
三段	酒度下降,水溶性酯类、酸类物质出现	酒花转小花,直径变小,平均直径小于 0.4 cm	窖香变弱,味长
四段	乙醇含量少,酸类及高沸点酯类物质多	酒花瞬间消失,取至酒精度为 0%vol	香味淡薄,有酸味、邪杂味

1.2 摘酒质量影响因素

研究^[7]发现,甬桶的大小及高径比会影响蒸馏效率,较大的甬桶高径比可有效提升酒质,增大醇溶性风味物质的提取量。此外,上甬技术、蒸汽压(装甬汽压和流酒汽压)、流酒速度、流酒温度都对基酒品质具有一定影响,在上甬过程中,要求工人细致谨慎,做到“轻撒匀铺、探汽上甬”,操作看似简单,却能极大地影响基酒质量和产量^[8],行业内现已实现智能探汽上甬的应用^[9-10]。

蒸馏过程中缓火蒸酒结合低温流酒方式,有利于对微量成分提取,使香味物质充分馏出,并在流酒后期加大蒸汽进行蒸粮,使粮食充分糊化并降低酸度^[11]。同时,流酒温度、流酒速度对基础酒质量也有很大的影响^[12-14],若流酒温度太高,会降低基础酒中酸类、酯类及醇类物质含量;若温度过低,会导致过多的醛类等低沸点杂质进入酒体,造成杂味。流酒速度过快,酒的香味成分含量减少,酒质较差;流酒速度过慢,又会影响到出酒率同时还会使酒中乙醛等物质含量过高,所以摘酒过程应合理控制流酒温度和速度,确保基酒质量。程平言等^[15]研究发现,适当降低浓香型白酒的摘酒浓度,可提高有机酸含量,缓解酯类水解反应,有利于低度酒产品的开发及保持货架期产品质量的稳定。

2 白酒自动化摘酒技术研究进展

根据不同的分段标准,结合相应的检测技术建立稳定的、高效率的、智能的摘酒系统是实现白酒自动化摘酒的最终追求。目前,中国自动化摘酒技术的研究按照检测原理主要分为三类:基于光谱仪器分析的自动化摘酒技术、基于传感器的自动化摘酒技术以及基于图像识别的自动化摘酒技术。

2.1 基于光谱仪分析的自动化摘酒技术

光谱技术是利用物质的吸收光谱、反射光谱或散射

光谱数据的差异,实现对物质的快速检测和分类。该技术具有操作简单、无损耗、无污染、重复性好等优点,更重要的是光谱技术具有的光纤传输特性,可使仪器远离生产现场实现工业在线分析,是实现自动化摘酒具有广阔应用前景的分析技术。光谱技术在自动化摘酒中的研究可分为两类,一类是基于光谱数据建立等级基酒分类模型;一类是建立风味组分的定量分析模型。目前,光谱技术用于白酒等级分类研究的主要是近红外光谱、拉曼光谱和中红外光谱技术。

2.1.1 近红外光谱技术 近红外光谱技术基于有机物含氢基团 X—H(如 CH、NH、OH)吸收光谱位置和强度实现被测物的结构鉴定及定量分析,在酒类检测中被广泛应用于等级基酒分类研究和组分定量分析。等级基酒分类研究通过对大量不同等级的基酒样本进行有监督分类模式的训练,结合化学计量学方法建立特征光谱的分类模型。杨国迪^{[16]21-34}对采集的 4 个不同等级杜康白酒(240 个样品)基酒样品的近红外光谱数据进行主成分(PCA)分析,并结合判别分析、判别偏最小二乘法(PLS-DA)和反向传播神经网络(BP-ANN)分别建立等级分类模型。结果表明,PCA 结合 BP-ANN 模型的预测准确率可达 100%。

相比之下,近红外光谱技术近年来被更多地研究于酒体中风味组分的快速定量。结合对酒体中微量成分的定性、定量检测技术,如气相色谱(gas chromatography, GC)、气相色谱—质谱联用(gas chromatograph-mass spectrometry, GC-MS)等,建立特定风味组分与光谱数据的定量模型,实现扫描光谱数据即可快速定量风味组分的应用。如杨国迪^{[16]35-45}以 GC 测量酒体中庚酸乙酯、正戊醇、丁酸、正戊酸和糠醛的含量,应用偏最小二乘法(PLS)分别建立 5 种风味物质与光谱数据的预测模型。结果显示,训练集与验证集的决定系数(R^2) ≥ 0.928 (共

120 个样本),模型具有良好的精密度和准确度。董新罗^[17]建立基酒中辛酸乙酯、 β -苯乙醇、异戊醛、2,3-丁二酮和 3-羟基-2-丁酮 5 种物质(200 个样品)的近红外定量分析模型,结果表明 PLS 所建模型优于主成分回归法(PCR),校正集和验证集的决定系数(R^2) >0.924 。同样地,大量研究^[18-21]基于近红外光谱还建立了乙醇、己酸、乙酸、己酸乙酯、乙酸乙酯、丁酸乙酯、总酸、总酯等重要指标的定量分析模型。快速定量风味组分,结合相应的摘酒标准,便能实现白酒在线摘酒的应用。

除此之外,光谱技术也被用于其他酒类的定量检测,Ouyang 等^[22]开发了一种便携式紫外—可见光和近红外光谱相结合的多元光谱分析系统,采用 PLS 法构建模型定量分析黄酒发酵过程中总糖、酒精含量和 pH 值的变化。Grassi 等^[23]采用傅立叶变换近红外光谱技术定量啤酒发酵过程中工艺参数的变化,建立了光谱数据与目标参数的预测模型。由于发酵酒的密度和浑浊度影响,光谱技术在检测、分析时往往需要对样品进行过滤和离心预处理。

近红外光谱技术,因光谱特征性强,其鉴别能力极好;同时适用性广,固态、液态或气态样品都能应用。但该方法不太适用于分析含水样品,因水中的羟基对测定有干扰;同时吸收强度弱,灵敏度相对较低,定量分析往往需要借助化学计量学建立光谱与待测参数之间的分析模型,所以定量结果的准确性与模型质量有很大关系。

2.1.2 拉曼光谱技术 拉曼光谱,一种分子散射光谱,利用物质分子对入射光频率改变发生散射的现象实现分子结构分析。随着拉曼光谱学的发展,传统的激光拉曼光谱已发展成傅立叶变换拉曼光谱(FT-Raman spectroscopy)、表面增强拉曼光谱和激光共振拉曼光谱等多种技术,被广泛应用于生物、材料、化工、石油、高分子等领域。拉曼位移的大小、强度及峰面积常作为鉴定化学键、官能团的重要手段,拉曼光谱在酒类检测中的应用主要是开发便携式仪器和乙醇含量的定量分析。

传统的拉曼光谱仪,体积庞大,应用受到一定限制,便携式的拉曼光谱仪在食品检测中得到发展^[24]。基于特征光谱波段,不同的乙醇浓度其光谱特征峰强度具有差异性,Song 等^[25]选取特定波段采用高斯拟合法结合最小二乘法建立峰面积定量乙醇浓度的预测模型,并利用拉曼光谱对分子结构敏感,可实现微量甚至痕量分析的特点,利用差谱法在 $1\ 074.6\ \text{cm}^{-1}$ 波数附近建立痕量甲醇的预测模型。结果表明,酒精度和甲醇预测模型的相关系数分别为 0.998 7 和 0.999 0,实现了对白酒中酒精度和痕量甲醇的在线检测。试验环境、杂光干扰等噪声信号使得光谱数据存在误差,因此,合适的光谱预处理方法和建模算法决定了模型的稳定性和可靠性,同样是基于特征峰强度,杨旭宁^[26]³⁻⁵对采集的 3 种不同酒精度的白酒样

本的拉曼光谱数据采用不同的预处理方法建立偏最小二乘判别分析模型,结果表明标准正态变量变换(SNV)预处理方法建立的 PLS-DA 模型效果最好,相关指数为 0.936 4。然后比较了拉曼光谱数据在 PCA 和连续投影算法两种降维处理方法下,分别结合 K 最近邻分类算法(KNN)和 BP 神经网络算法建立的乙醇浓度的分类模型,结果表明,连续投影算法(SPA)结合 BP-神经网络模型分类效果最好,训练集和预测集正确率分别为 93.86% 和 94.44%,并建立了该模型的白酒酒精度在线检测平台。针对荧光背景的干扰,FT-Raman 可通过多次累加信号提高信噪比,减弱荧光干扰,在非破坏性结构分析方面展现优势。Anjos 等^[27]应用傅里叶拉曼光谱对蜂蜜酒蒸馏过程中摘取的头、身、尾 3 个阶段的酒样光谱采集,利用特征谱区的谱峰差异实现不同阶段酒样的识别分类。另外,基于纳米结构的表面增强拉曼和针尖增强拉曼光谱技术在高灵敏度检测方面取得重大进展,推动拉曼光谱的分子检测水平,可实现低浓度、微量甚至痕量样品的检测^[28]。

拉曼光谱基于各种技术的延伸发展,具有高灵敏度、高分辨率、测定速度快等特点,同时因为水的拉曼散射微弱,拉曼光谱也被认为是水溶液样品分析的理想方法^[26],其技术的高质量发展和优势性也将进一步推动白酒领域实现在线检测、定量分析的应用和发展。

2.1.3 中红外光谱技术 中红外光谱技术(又称红外光谱技术),其发展历史比近红外和拉曼光谱要早很多。区别于近红外光谱主要是波段范围和光谱携带信息,近红外主要是分子的倍频、合频信息,而中红外光谱为基频信号,几乎所有的有机物在该波段内都会出峰,谱峰信息丰富,所以中红外光谱技术的应用非常成熟,被广泛应用在石油化学、环境监测等领域^[29]。

红外光谱技术在酒类中的研究也包括建立等级基础酒分类模型和酒体中风味物质的定量分析两种形式。孙宗保等^[30]采用傅里叶变换衰减全反射红外光谱(ATR-FTIR)技术采集 4 个等级(60 个样本)白酒基酒样本的光谱数据,采用线性判别(LDA)和 BP-ANN 建立等级酒分类模型,线性判别分析训练集和测试集识别率均达到 100%,BP-ANN 分析训练集和测试集识别率均在 95% 以上。另外,以 GC 定量酯类物质含量,采用区间偏最小二乘法(siPLS)建立白酒中 4 种主要酯类化合物(己酸乙酯、乳酸乙酯、乙酸乙酯和丁酸乙酯)的定量分析模型,训练集(40 个样本)模型相关系数 >0.95 ,测试集(20 个样本)模型的相关系数 >0.80 。辛新^[31]比较了不同等级浓香型白酒基酒的近红外光谱、中红外光谱、紫外—可见光谱、拉曼光谱 4 种光谱数据,分别结合 PCA、LDA、BP-ANN 3 种化学计量学方法建立等级基酒判别模型,结果表明,中红外光谱的 LDA 和 BP-ANN 模型效果最好,训

训练集和测试集识别率均达到 100%。同时,采用 GC 定量酯类化合物含量,分别与 4 种光谱建立联合区间偏小二乘(SiPLS)定量模型。结果表明,中红外光谱技术对白酒基酒中己酸乙酯、乳酸乙酯、乙酸乙酯 3 种酯类的定量模型效果最好,训练集和测试集的相关系数 ≥ 0.9847 。近红外光谱技术对丁酸乙酯的定量模型效果最好,其训练集和测试集的相关系数为 0.926 2 和 0.970 7,实现了对白酒中主要酯类化合物的快速定量分析。

相比传统的色谱、质谱检测技术,光谱技术无需样品制备在基酒分类、定量酒体风味组分的研究中展现出极大优势,与光纤传感技术的联用将是未来实现工业自动化控制的发展趋势。当然,光谱技术作为一种间接分析技术,实现对未知样品的定量检测往往需要建立校正模型,模型的建立、仪器的性能指标等决定了测试结果的准确性,在不断的实践中有针对性地优化性能将进一步提升光谱技术的应用空间。

2.2 基于传感器的自动化摘酒技术

在线检测仪直接测量参数变化的摘酒,具有应用方便、操作简单等优点,同时也对传感器的测量精度、灵敏度以及环境耐受力有着很高要求。

白酒中乙醇含量常作为衡量白酒质量的一项重要指标,溶液密度作为一项基本物理量,被大量研究用以建立乙醇含量的定量模型。陈林等^[32]使用音叉密度计测量基础酒的密度,集成温度检测元件,以最小二乘法建立基础酒密度、温度与酒精浓度三者数据间的定量模型,结果表明,预测集 30 个样本的酒精度预测平均差 $\leq 2.84\%$ vol。此外,压力传感器^[33]、在线测量液位高度、重量的采集装置^[34]等传感器方式也被用于建立基于溶液密度的乙醇含量检测系统。除了溶液密度,基于乙醇浓度与介电常数之间的关系,余航等^[35]设计了乙醇含量检测系统,结合流酒速度的控制,实现基础酒的分段采集。另外荧光显色法的乙醇传感器也有相关研究^[36-37],为乙醇传感器的开发提供了更多的思路。

随着技术的发展,相信在未来,快速、灵敏、易维护的传感器检测方式会是实现白酒自动化摘酒应用的最终形式。在线检测酒精含量是一种有效的检测方法,应用也相对简单、成熟,但这种方法忽略了风味组分,仍然需要更全面的摘酒标准。随着光谱技术快速定量风味组分研究的深入和成熟,未来实现酒精度和风味组分共同指导的在线摘酒方式将普及开来。同时可以预见,由于半导体工业带来的微型化变革,光谱仪将向着更便携、功能更强大的趋势发展。

2.3 基于图像识别的自动化摘酒技术

随着人工智能的兴起,图像识别技术作为人工智能的一个重要领域,已被广泛应用于各个领域,如智能安防

监控、医疗影像诊断、产品瑕疵检测等等。酒花图像识别技术基于传统的“看花摘酒”工艺,由摄像机获取酒花图像,经图像处理、特征提取进而实现段次分类,具有无损、实时、分段标准统一等优点。

酒花形态作为一种表面特征,人眼可观察得到,在流酒过程中其直径会发生改变。早期有研究^[38]通过在酒花槽上方安装摄像头实时获取酒花图像,根据酒花直径大小实现分段摘酒。随着人工智能的发展,深度学习和卷积神经网络算法成为热门研究方向。在图像识别领域,通过将人工标注的不同类别的图像作为算法输入,卷积神经网络从图像中自主地学习,实现对图像的深层次特征提取并判断分类,该技术的图像分类能力往往超过人工水平。余锴鑫^[39]将深度学习应用于酒花图像识别,通过对上万个数据集进行训练和验证,设计了基于酒花图像处理和卷积神经网络(CNN)的自动摘酒系统,算法分类准确率达 97.9%。基于上述研究,田子宸^[40]结合企业实际生产线的应用,优化了酒花分类算法,提高了算法检测速率和酒花分类准确率,实现了智能“看花摘酒”的应用。

图像识别技术在白酒酒花识别上的应用比较创新和智能化,但在实际的生产应用中,要特别注意,酒花图像的识别依赖于酒花形态的稳定性,需稳定控制流酒温度和蒸汽压大小,保持酒花的最佳形态,同时还需考虑镜头的防雾性能和现场环境光线等问题。目前,国内外关于酒花图像分类的研究还比较少,该技术在酒花的特征提取上还有很大的探索空间。

3 展望

总的来说,不同等级的白酒基础酒分类研究和快速定量白酒组分的检测技术已取得了一定进展,但全面实现自动化摘酒应用还有很长的路要走,仍面临如下挑战:

(1)“看花摘酒”方式一直沿用至今,对其的智能化研究还处于起步阶段。大数据分析手段往往依赖于大的样本数据,现有的研究都存在样本数据量不足的问题。另外,酒液成分对酒花特征的影响机理也值得进一步探究。

(2)在线检测技术在白酒自动化摘酒进程中已取得一定进展,进一步探究风味物质与基酒质量、感官评价之间的定量关系,实现风味组分的可视化、数据化分析,建立酒精度与风味物质相结合的摘酒标准,是行业面临的又一大挑战。

(3)在未来,使用传感器在线监测物质组分的变化会是实现自动化摘酒的终极方式。目前,传感器的应用主要是乙醇传感器,进一步实现光谱技术定量分析风味物质的摘酒应用,并向着传感器、便携式的趋势发展,将大大提升行业自动化水平。

参考文献

- [1] 于单. 中国不同香型白酒香气物质的鉴定研究[D]. 上海: 上海应用技术学院, 2015: 1.
YU S. Characterization of volatile compounds of chinese liquors by GC-MS and sensory evaluation[D]. Shanghai: Shanghai Institute of Technology, 2015: 1.
- [2] 王婷, 徐姿静, 唐清兰, 等. 浓香型白酒智能化制曲的研究及应用[J]. 酿酒, 2019, 46(5): 36-39.
WANG T, XU Z J, TANG Q L, et al. Research and application of intelligent koji making of louzhou flavor liquor[J]. Liquor Making, 2019, 46(5): 36-39.
- [3] 韩强, 刘鑫, 周永帅, 等. 勾调自动化在白酒生产中的应用研究进展[J]. 食品与机械, 2021, 37(12): 215-220, 231.
HAN Q, LIU X, ZHOU Y S, et al. Research progress on the application of blending automation in the production of Baijiu[J]. Food & Machinery, 2021, 37(12): 215-220, 231.
- [4] YE H, WANG J, SHI J, et al. Automatic and intelligent technologies of solid-state fermentation process of Baijiu production: Applications, challenges, and prospects[J]. Foods, 2021, 10(3): 680.
- [5] 徐勇, 蒲秀鑫, 郎召伟, 等. 泸型酒蒸馏过程中基酒挥发性物质变化分析[J]. 中国酿造, 2019, 38(1): 25-29.
XU Y, PU X X, LANG Z W, et al. Changes of volatile compounds of base liquor of Luzhou-flavor Baijiu during distillation[J]. China Brewing, 2019, 38(1): 25-29.
- [6] 张宿义, 林天学, 卢中明, 等. 浓香型白酒摘酒的方法: CN102181357A[P]. 2011-09-14.
ZHANG S Y, LIN T X, LU Z M, et al. Method for storing Luzhou-flavor liquor: CN102181357A[P]. 2011-09-14.
- [7] 杨平, 涂荣坤, 钱志伟, 等. 甑桶醋层高度及结构设计对蒸馏效率及酒质的影响研究[J]. 酿酒科技, 2012(10): 94-98.
YANG P, TU R K, QIAN Z W, et al. Effects of the height of fermented grains layer and the structure design of steaming barrel on liquor distillation efficiency and liquor quality[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2012(10): 94-98.
- [8] 李大和, 李国红. 上甑蒸馏技术与白酒产质量的关系[J]. 酿酒科技, 2012(1): 65-66, 69.
LI D H, LI G H. Relations between steamer distillation technology and liquor quality & yield [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2012(1): 65-66, 69.
- [9] 杨亚茹. 白酒自动装甑监控系统设计及软测量[D]. 无锡: 江南大学, 2016: 6.
YANG Y R. Design of automated monitoring system of steamer-filling and soft measurement [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2016: 6.
- [10] 王耀, 张贵宇, 刘文斌, 等. 基于 BP 神经网络的白酒探汽上甑方法研究[J]. 食品科技, 2022, 47(1): 99-106.
WANG Y, ZHANG G Y, LIU W B, et al. Research on the method of detecting of Chinese Baijiu steam based on BP neural network[J]. Food Science and Technology, 2022, 47(1): 99-106.
- [11] 王进明, 刘忠军. 浓香型白酒产质量与工艺操作的关系[J]. 酿酒科技, 2012(4): 86-87, 91.
WANG J M, LIU Z J. Relationship between technical operation and the yield and the quality of Luzhou-flavor liquor[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2012(4): 86-87, 91.
- [12] 饶家权, 杜礼泉, 冯波, 等. 浓香型白酒流酒速度与产品质量关系的研究[J]. 中国酿造, 2012, 31(2): 177-179.
RAO J Q, DU L Q, FENG B, et al. Relationship between the distillation velocity and liquor's production and quality during distillation process[J]. China Brewing, 2012, 31(2): 177-179.
- [13] 黄永军, 谢旭, 洪胜, 等. 浓香型白酒乳酸乙酯蒸馏规律及提取影响因素的研究[J]. 酿酒, 2019, 46(3): 28-30.
HUANG Y J, XIE X, HONG S, et al. Study on the distillation regularity and extraction influence of ethyl lactate in Luzhou-flavor liquor[J]. Liquor Making, 2019, 46(3): 28-30.
- [14] 孙中理, 蔡海燕, 刘义会, 等. 基于量质摘酒工艺的自动化摘酒技术研究[J]. 酿酒科技, 2020(1): 17-19, 23.
SUN Z L, CAI H Y, LIU Y H, et al. Automated liquor-gathering technology based on liquor-gathering according to quality grade[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2020(1): 17-19, 23.
- [15] 程平言, 路虎, 陆伦维, 等. 浓香白酒摘酒工艺探讨[J]. 酿酒科技, 2020(4): 17-21.
CHENG P Y, LU H, LU L W, et al. Research on liquor-gathering technology of Nongxiang Baijiu [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2020(4): 17-21.
- [16] 杨国迪. 基于近红外光谱的白酒基酒分析模型的建立[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2016.
YANG G D. The establishment of Chinese base liquor analysis model based on near infrared spectroscopy[D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2016.
- [17] 董新罗. 杜康基酒中五种风味物质的近红外快速检测[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2020: 7.
DONG X L. Rapid determination of five flavor substances in dukang base liquor by near infrared spectroscopy [D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2020: 7.
- [18] 韩四海, 郭玉姗, 李璇, 等. 基于近红外光谱技术检测白酒基酒中乙醇含量的研究[J]. 中国酿造, 2018, 37(9): 158-161.
HAN S H, GUO Y S, LI X, et al. Determination of ethanol in base liquor of Baijiu based on near infrared spectroscopy technology[J]. China Brewing, 2018, 37(9): 158-161.
- [19] 刘建学, 张卫卫, 韩四海, 等. 白酒基酒中己酸、乙酸的近红外快速检测[J]. 食品科学, 2016, 37(4): 181-185.
LIU J X, ZHANG W W, HAN S H, et al. Rapid detection of caproic acid and acetic acid in liquor base based on fourier transform near-infrared spectroscopy[J]. Food Science, 2016, 37(4): 181-185.
- [20] 王海英, 杨玉珍, 任国军, 等. 利用近红外技术对河套原酒入库指标的检测研究[J]. 酿酒科技, 2017(1): 37-41.
WANG H Y, YANG Y Z, REN G J, et al. Rapid detection of ware-

- housing indexes of Hetao base liquor by using near infrared technology[J]. *Liquor-Making Science & Technology*, 2017(1): 37-41.
- [21] 彭帮柱, 龙明华, 岳田利, 等. 傅立叶变换近红外光谱法检测白酒总酸和总酯[J]. *农业工程学报*, 2006(12): 216-219.
PENG B Z, LONG M H, YUE T L, et al. Determination of total acid and total ester in liquor based on fourier transform near-infrared spectroscopy[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006(12): 216-219.
- [22] OUYANG Q, ZHAO J W, PAN W X, et al. Real-time monitoring of process parameters in rice wine fermentation by a portable spectral analytical system combined with multivariate analysis[J]. *Food Chemistry*, 2016, 190: 135-141.
- [23] GRASSI S, AMIGO J M, LYNDGAARD C B, et al. Beer fermentation: Monitoring of process parameters by FT-NIR and multivariate data analysis[J]. *Food Chemistry*, 2014, 155: 279-286.
- [24] 胡玉兰, 黄亚伟, 王若兰, 等. 便携式拉曼光谱仪在食品检测中的应用[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(17): 319-323.
HU Y L, HUANG Y W, WANG R L, et al. Application of portable raman spectroscopy in food inspection[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(17): 319-323.
- [25] SONG L M, LIU L W, YANG Y G, et al. Online detection of distilled spirit quality based on laser Raman spectroscopy[J]. *Journal of the Institute of Brewing*, 2017, 123(1): 121-129.
- [26] 杨旭宁. 基于拉曼光谱技术的白酒酒精度检测平台的研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2019.
YANG X N. Research on liquor alcohol detection platform based on raman spectroscopy[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2019.
- [27] ANJOS O, SANTOS R, ESTEVINHO L, et al. FT-RAMAN methodology for the monitoring of honeys' spirit distillation process[J]. *Food Chemistry*, 2020, 305: 125 511-125 531.
- [28] 韩爱云, 张振冉, 解立斌, 等. 拉曼光谱技术在肉类掺假检测方面的应用研究进展[J]. *肉类研究*, 2021, 35(7): 50-54.
HAN A Y, ZHANG Z R, XIE L B, et al. Progress on the application of raman spectroscopy in meat adulteration detection [J]. *Meat Research*, 2021, 35(7): 50-54.
- [29] 黄红英, 尹齐和. 傅里叶变换衰减全反射红外光谱法(ATR-FTIR)的原理与应用进展[J]. *中山大学研究生学刊(自然科学、医学版)*, 2011(1): 20-31.
HUANG H Y, YIN Q H. Fundamentals and application advances in attenuated total internal reflectance fourier transform infrared spectroscopy (ATR-FTIR)[J]. *Journal of the Graduates Sun Yat-Sen University(Natural Sciences, Medicine)*, 2011(1): 20-31.
- [30] 孙宗保, 辛新, 邹小波, 等. 傅里叶变换红外光谱结合化学计量学方法对白酒基酒的快速定性和定量分析[J]. *光谱学与光谱分析*, 2017, 37(9): 2 756-2 762.
SUN Z B, XIN X, ZOU X B, et al. Rapid qualitative and quantitative analysis of base liquor using FTIR combined with chemometrics[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2017, 37(9): 2 756-2 762.
- [31] 辛新. 基于分子光谱技术的浓香型白酒基酒品质检测研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2017: 9.
XIN X. Study on detection of strong-flavor base liquor quality based on molecular spectroscopy [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2017: 9.
- [32] 陈林, 庾先国, 张贵宇, 等. 基于酒精度重建模型的摘酒技术研究[J]. *中国酿造*, 2019, 38(3): 23-27.
CHEN L, TUO X G, ZHANG G Y, et al. Research of liquor-receiving technology based on model reconstruction of alcohol content[J]. *China Brewing*, 2019, 38(3): 23-27.
- [33] 郑志华, 徐辉, 李志强, 等. 十里香酒智能摘酒机器人的研究与应用[J]. *酿酒*, 2020, 47(1): 112-114.
ZHENG Z H, XU H, LI Z Q, et al. Research and application of intelligent Liquor picking robot for Shilixiang[J]. *Liquor Making*, 2020, 47(1): 112-114.
- [34] 彭黎辉, 马浩程, 李群庆. 蒸馏酒摘酒过程的导流装置以及在线测量系统和方法: CN111141332A[P]. 2020-05-12.
PENG L H, MA H C, LI Q Q. Flow guide device for distilled liquor picking process and online measurement system and method: CN111141332A[P]. 2020-05-12.
- [35] 余航, 郭杰, 蔡海燕, 等. 自动化摘酒设备的研究与设计[J]. *酿酒科技*, 2019(6): 129-131, 141.
YU H, GUO J, CAI H Y, et al. Design of automated liquor-gathering equipment for Baijiu production[J]. *Liquor-Making Science & Technology*, 2019(6): 129-131, 141.
- [36] 瞿驰. 基于镧系纳米荧光传感器用于白酒中酒精度检测[D]. 天津: 天津科技大学, 2020: 9-10.
QU C. Alcohol content determination in spirit based on lanthanide nano-fluorescence sensor [D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2020: 9-10.
- [37] BOZKURT S S, MERDIVAN E, BENIBOL Y. A fluorescent chemical sensor for ethanol determination in alcoholic beverages[J]. *Microchimica Acta*, 2010, 168(1/2): 141-145.
- [38] 卢中明, 刘小刚, 涂飞勇, 等. 自动摘酒系统: CN202744526U[P]. 2013-02-20.
LU Z M, LIU X G, TU F Y, et al. Automatic wine picking system: CN202744526U[P]. 2013-02-20.
- [39] 余锴鑫. 基于图像分类算法的自动化摘酒方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2019: 7.
YU K X. Research on automatic wine picking method based on image classification algorithm[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2019: 7.
- [40] 田子宸. 基于计算机视觉的智能摘酒方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2020: 12-13.
TIAN Z C. Research on intelligent liquor selection method based on computer vision [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2020: 12-13.