文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4678 /（中图刊号）：650GL004

# 酒糟资源化利用背景下残糖快速检测技术的应用研究

兰小艳　向慧平　郭云霞　唐园
宜宾职业技术学院
DOI:10.32629/as.v9i9.4316

[摘　要] 我国白酒产业正步入存量竞争与数字化转型的深度调整期,酒糟资源化高值利用成为产业绿色发展的重要抓手,而酒糟中以葡萄糖为代表的残糖是发酵过程管控、基酒品质分级与酒糟后续深加工的核心量化指标,其检测效率与精度直接制约产业提质升级进程。针对传统检测方法操作繁琐、耗时较长、易受基质干扰且难以适配生产现场的行业痛点,本文结合双酶联用、纳米金信号放大与人工智能视觉识别技术,系统探讨残糖快速检测技术在酒糟资源化利用背景下的应用价值、现实困境与落地路径。研究表明,集成化快速检测系统可以将检测时间缩短至2分钟以内,使检测误差保持在一个合理的范围之内,并实现检测数据的自动化存储与多端同步。该系统既能为白酒生产工艺的动态优化提供实时数据支撑,又可以为酒糟分级高值化利用提供精确的量化依据,对于推进中小酒企数字化转型、助力酿酒产业由经验驱动转向数据驱动有着十分重要的实践意义。
[关键词] 酒糟资源化；残糖快速检测；双酶联用；纳米金信号放大；AI视觉识别
**中图分类号：**TS261.9　**文献标识码：**A

## Research on the Application of Rapid Sugar Detection Technology in the Resource Utilization of Distillery Residue

Xiaoyan Lan　Huiping Xiang　Yunxia Guo　Yuan Tang
Yibin Vocational and Technical College

[Abstract] China's liquor industry is currently in a period of profound adjustment characterized by competition based on existing stocks and digital transformation. The high-value utilization of wine residue resources has become an important means for the green development of the industry. The residual sugar in wine residue, represented by glucose, is a core quantitative indicator for controlling the fermentation process, grading the base liquor quality, and subsequent deep processing of wine residue. The efficiency and accuracy of its detection directly affect the process of upgrading and improving the industry. In response to the industry's pain points such as the cumbersome operation, long time consumption, susceptibility to matrix interference, and difficulty in adapting to production sites, this paper combines dual enzyme linkage, nano-gold signal amplification, and artificial intelligence visual recognition technologies to systematically explore the application value, practical challenges, and implementation paths of rapid residual sugar detection technology in the context of wine residue resource utilization. The research shows that the integrated rapid detection system can shorten the detection time to within 2 minutes, keep the detection error within a reasonable range, and achieve automatic storage and multi-end synchronization of detection data. This system can provide real-time data support for the dynamic optimization of liquor production processes and provide precise quantitative basis for the high-value utilization of wine residue classification, which has very important practical significance for promoting the digital transformation of small and medium-sized liquor enterprises and helping the brewing industry shift from experience-driven to data-driven.
[Key words] Wine residue resource utilization; Rapid residual sugar detection; Dual enzyme linkage; Nano-gold signal amplification; AI visual recognition

## 引言

白酒产业是我国食品工业的重要组成部分,当前正处于结构优化、提质升级的关键阶段,数字化、智能化转型已成为破解行业发展瓶颈、实现高质量发展的核心路径。与此同时,酒糟作

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4678 /（中图刊号）：650GL004

为白酒酿造产量最大的副产物,其资源化、高值化利用不仅是产业践行绿色发展理念的内在要求,也是延伸产业链条、提升综合效益的重要方向。酒糟中残留的还原糖以葡萄糖为核心组分,是反映糟醅发酵程度、判定基酒等级、指导酒糟深加工的关键指标,其检测的时效性、精准性与便捷性,直接关系到白酒生产工艺优化、品质管控与酒糟资源化利用的整体效率。

## 1 酒糟资源化利用背景下残糖快速检测的核心价值

1.1产业提质升级的技术支撑价值

白酒产业提质升级离不开生产全过程的智能化管控,检测技术升级则是其中的基础环节。《酿酒产业提质升级指导意见(2026—2030年)》明确提出,推进酿酒产业智能化转型升级,支持企业加强人工智能应用,改善生产经营全过程智能化水平,推动产业由“经验酿造”向“智能酿造”转变。残糖检测作为白酒生产管控与酒糟资源化利用的核心检测环节,其技术升级属于产业智能化转型的重要组成。快速检测技术的应用突破了传统检测的时间限制,实现了发酵过程与酒糟出料环节的实时数据反馈,实现了生产管控由“事后追查”到“实时调节”的转变,为工艺参数改良、发酵精确把控提供了数据支撑,直接助推白酒生产品质和效能的双提升,契合国家产业政策导向和行业发展趋势[1]。

1.2酒糟高值化利用的量化依据价值

酒糟的资源化利用效率,很大程度上取决于对其组分的精准认知与分级利用。残糖含量是酒糟最重要的品质参数之一,直接决定酒糟的利用方向与经济价值：残糖含量较高的酒糟可用于发酵饲料、生物制糖等高值化途径,残糖较低的酒糟则更适用于有机肥制备、食用菌基质培养等方向。传统检测方法下,结果滞后于酒糟出料节奏,企业难以对批次酒糟进行快速品质分级,通常采取混合处理方式,导致酒糟资源难以实现定向、高效利用,转化率与附加值偏低。残糖快速检测技术可实现酒糟出料即取样、即检测、即分级,快速出具精准的残糖数据,为酒糟分级储存、定向深加工提供量化依据,有助于最大化挖掘酒糟资源价值,推动酿酒副产物向全量、高值利用方向发展[2]。

1.3中小酒企数字化转型的普惠价值

中小白酒企业是我国白酒产业的重要组成部分,但其普遍存在着数字化投入少、技术基础差的问题,难以承担大型精密检测设备的购置和维护费用,制约了检测环节的数字化升级与转型。残糖快速检测技术成本低、操作简单,为中小酒企业提供了轻量化的检测智能化升级方式。企业无需投入较高的设备成本,仅需配套基础实验耗材与移动终端,即可实现高精度快速检测,大幅降低了技术应用的门槛。同时,检测数据的数字化自动留存与云端同步功能,能够帮助中小酒企逐步建立生产检测数据库,为工艺优化、品质追溯、生产管理提供数据基础,推动企业从传统经验管理向数据驱动的精细化管理转变,助力产业整体数字化水平的均衡提升。

## 2 当前酒糟残糖检测领域的现实困境

2.1传统检测方法的效能瓶颈

目前行业主流的传统检测方法在实际生产中存在着诸多的短板,不能满足新时代产业发展的需要。从检测效率来看,传统的滴定法、DNS法需经过样品前处理、试剂配制、加热反应、人工判读等诸多环节,从取样到出具结果一般需要2-3个小时,检测周期长,结果反馈严重滞后于生产节奏,无法及时对发酵过程进行实时动态调节,也未能实现酒糟出料时的快速分级和分流利用。从检测精度来看,酒糟浸提液中含有许多种粮食发酵所产生的色素、蛋白质、有机酸等杂质,基质颜色较深,容易造成滴定终点人工判断出现误差,导致结果偏差较大；同时斐林试剂、DNS试剂自身存在灵敏度低、需要低温保存、有效期短等缺点,也会影响检测的稳定性与准确性。此外,传统的检测方法操作过程繁杂,对检测人员的专业水平要求较高,难以直接在生产一线进行现场检测[3]。

2.2现有快检技术的集成度短板

近些年来,各种快速检测技术开始被应用到食品检测当中,但在酒糟残糖检测的具体场景中,依然存在明显技术集成度不足的情况。一方面,大多数现有的研究只针对单一的检测环节进行优化,或者只改善酶反应条件,或者只优化样品提取的方法,未形成样品前处理、特异性显色、信号放大到结果判读的完整技术链条,不能同时兼顾检测效率和精度。另一方面,现有的快检技术大多未与智能化识别技术深度融合,仍然依靠人工比对色阶来判断结果,容易造成人为误差,而且不能自动记录、保存和统计分析检测数据,无法与企业的数字化管理系统对接,数据价值未能得到充分挖掘。此外,纳米金等信号放大技术在酒糟检测中的应用比较少,针对复杂基质干扰下信号放大机理的研究还不充分,显色信号的稳定性以及灵敏度均有较大的提高空间。

2.3产业适配层面的落地障碍

从产业应用落地角度审视,现有检测技术与白酒行业实际生产需求之间仍存在较为明显的脱节。一是成本适配性不足,光谱法、色谱法等精密检测技术虽精度较高,但设备购置与维护成本高昂,操作流程复杂、运行环境要求苛刻,仅能在大型企业的中心实验室使用,难以下沉至生产车间,更难以在资金有限的中小酒企推广。二是操作适配性不足,多数检测技术仍需具备专业背景的人员操作,步骤繁杂,而白酒企业一线操作人员专业水平参差不齐,难以快速掌握应用方法,增加了技术落地的难度。三是数据适配性不足,现有技术大多停留在“单次检测、单次出结果”的层面,未能实现检测数据与企业生产管理系统、酒糟资源化利用管理体系的无缝衔接,数据价值仅停留在单次结果判定上,无法支撑生产全流程的数据化管控与产业链协同优化,难以满足产业数字化转型的深层需求。

## 3 残糖快速检测技术的具体应用路径

3.1双酶-纳米金集成检测体系的构建

根据酒糟复杂基质的检测特点,构建双酶联用结合纳米金信号放大的检测反应体系,是实现残糖快速准确检测的基础。该体系以葡萄糖氧化酶和过氧化物酶的协同作用为核心原理,通过葡萄糖氧化酶特异性氧化酒糟中的葡萄糖组分,产生相应的


Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

反应产物,再借助过氧化物酶催化显色底物发生显色反应,从而达到还原糖特异性检测的目的,有效地避免了酒糟中其他还原性物质的干扰,提高了检测的特异性。在此基础上引入纳米金颗粒,利用其类过氧化物酶活性进一步催化TMB显色反应,同时通过氧化型TMB与纳米金的相互作用实现显色信号显著放大,有效提升检测灵敏度,抵消酒糟基质色素带来的背景干扰[4]。

在体系优化过程中,需重点调控酶用量、纳米金浓度、反应温度、反应时间等关键参数,通过对照实验确定最优反应条件。针对酒糟基质中的色素、蛋白质等干扰成分,可通过调整试剂配比、添加适量干扰抑制剂等方式消除,在不影响显色反应与信号放大效果的前提下,最大程度降低基质干扰,保障检测结果的稳定性与准确性,将检测相对误差控制在0.5%以内。通过体系集成优化,可将核心显色反应时间控制在10分钟以内,结合简化的样品前处理步骤,实现整体检测周期大幅压缩,为现场快速检测奠定基础。

3.2 AI视觉识别模型的适配与开发

在稳定的显色反应体系之上引入人工智能视觉识别技术,可实现检测结果的智能判读与数字化输出,是快速检测技术适配产业数字化发展的关键环节。基于YOLOv8目标检测模型,配制系列浓度梯度的葡萄糖标准溶液,同步开展显色反应并采集对应显色图像,构建涵盖不同显色梯度、不同基质背景的标准化数据集,完成数据标注与模型训练。通过对模型特征提取算法以及识别逻辑的改进,提高模型对于显色液细微颜色梯度的识别精度,使显色信号能够准确地转化为残糖浓度,使模型的识别准确率大于98%。

同步开发一款针对移动终端的酒糟残糖检测程序,集图像采集、智能识别、数据记录、结果展示、统计分析以及云端同步功能于一体。根据一线操作人员的使用需求来优化应用程序的操作界面和交互逻辑,将整个操作步骤缩减到2到3步,操作人员无需具备专业的检测知识,按照指引就可以完成全部操作,实现拍照即检测的简易化模式。同时,检测数据可自动上传至云端管理后台,支持历史数据查询、批次趋势统计、多维度对比分析等功能,为企业生产工艺优化、品质追溯与酒糟分级利用提供全面数据支撑。

3.3面向生产现场的标准化应用落地

技术的价值最终体现于产业应用,需紧密贴合白酒生产及酒糟资源化利用的实际场景,创建起标准的操作程序和可以复制的应用方案。在生产场景嵌入方面,可以将残糖快速检测环节嵌入到发酵过程管控、酒糟出料分级等重要节点中去,例如发酵过程中定时取样检测糟醅残糖含量,实时了解发酵进度,及时调节工艺参数,发酵结束出糟时同步取样检测,快速获取残糖数据,在判定发酵终点的同时,直接指导酒糟分级储存与定向利用,匹配不同的资源化利用路径。

选取不同规模、不同工艺的中小白酒企业开展试点应用,结合企业实际操作场景与人员特点,持续优化检测流程与应用功能,总结形成标准化检测操作规范。通过定期技术指导与操作培训,保障一线操作人员能够熟练掌握检测技术。同时推动检测数据系统与企业现有数字化管理系统对接,将残糖数据纳入生产全流程数据体系,实现检测数据可追溯、可分析、可应用,充分释放数据的生产指导价值。通过试点验证与持续迭代优化,形成可复制、可推广的应用模式,逐步向更多区域、更多中小酒企覆盖,助力产业整体检测水平与数字化水平提升[5]。

## 4 结语

酒糟资源化高值利用属于白酒产业走向绿色高质量发展的关键方向,残糖快速检测技术则是支撑酒糟高效利用与产业数字化转型的核心基础技术。针对传统检测方法存在的诸多行业痛点,创建起“双酶联用-纳米金信号放大-AI视觉识别”这一种集成化的快速检测体系,能够有效克服酒糟复杂基质带来的干扰,大幅度提升检测速度,将检测时间从传统的2到3小时缩短到2分钟之内,同时保障检测精度,实现检测操作简易化与检测数据数字化。

**[基金项目]**

第三批国家级职业教育教师创新团队(教师函 [2023]9号)酿酒技术教师创新团队；宜宾职业技术学院院级项目(26ZR17)；宜宾职业技术学院院级教学成果奖培育工程项目(CGJ2026KX-03)。

**[参考文献]**

[1]郝锦瑜,彭鑫,王纯,等.酒糟资源化制备生物炭与有机肥的碳排放核算与技术经济性研究[J].环境工程,2026,44(7):167-178.

[2]杨满,姜钦松,秦辉,等.功能微生物在酒糟资源化中的应用研究进展[J/OL].酿酒科技,2026-05-29.

[3]蔡楷楠,陈丰,王琦,等.黄酒糟资源化利用及其在食品工业中的应用研究进展[J].福建轻纺,2026,(4):14-18.

[4]付娜娜,王亚美,王方正,等.白酒酒糟资源化利用现状分析[J].中国酿造,2025,44(8):9-14.

[5]赖昊民.白酒酒糟生物炭资源化处理用于土壤改良及碳封存的可行性研究[J].酿酒科技,2025,(5):73-78.

**作者简介：**

兰小艳(1982--),女,汉族,四川泸县人,硕士研究生,副教授,研究方向：食品加工与检测。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.