

超声激励技术对白酒风味的影响探析

摘要:超声激励技术通过空化效应、机械振动与热效应的协同作用,可从微生物代谢、酶活性调控、风味前体物转化及风味物质稳定四个维度优化白酒风味,其在提升关键风味物质含量、协调风味比例、提高生产效率等方面的优势,为白酒行业的绿色化、智能化升级提供了新路径。

关键词:超声激励技术;优化白酒风味;提升口感协调

西安先进应力检测控制技术有限公司超声激励研究中心 王中利

白酒风味品质是由数百种挥发性与非挥发性风味物质的复杂协同作用决定的。传统白酒生产工艺中,风味物质的生成依赖微生物代谢与酶促反应,存在周期长、可控性差等问题。近年来,超声激励技术作为一种绿色高效的物理加工手段,逐渐应用于白酒生产的各个关键环节(如制曲、发酵、陈酿)。

研究表明,超声可通过改变微生物生理状态、激活/抑制酶活性、加速物质传质等方式,定向优化白酒风味物质的生成。本文围绕“超声激励技术如何影响白酒风味形成”这一核心问题,从机理层面展开分享。

1、超声激励技术助力白酒高质量发展

某先进应力控制技术公司是超声应用系统研究、技术开发及工程化应用推广的专业机构,形成了宽幅高功率超声电源、超声激励系统、超声换能器、超声耦合系统等一系列专有技术和专用工程化应用系统,在超声应用技术开发与推广上,取得了显著成效,并于近期在食品的饮品行业有了新突破,尤其在白酒方面,成果显著。其可根据白酒企业品质需求开发输出超声激励系统(核心工艺参数控制系统),以确保白酒产品符合消费者需求(核心工艺参数包括激励时间、频率、功率、温度四个维度)。

超声激励技术通过空化效应、机械振动与热效应的协同作用,可从微生物代谢、酶活性调控、风味前体物转化及风味物质稳定四个维度优化白酒风味,其在提升关键风味物质含量、协调风味比例、提高生产效率等方面的优势,为白酒行业的绿色化、智能化升级提供了新路径。随着机理研究的深入与设备的优化,超声激励技术有望成为白酒风味优化的核心技术之一。

2、白酒风味物质的形成机制

白酒的风味物质主要来源于微生物代谢产物与酶促反应产物,其形成过程贯穿制曲、发酵、蒸馏与陈酿全周期。

2.1 微生物代谢:风味物质的“初级生产者”

制曲阶段,小麦、大麦等原料经粉碎、加水、成型后,经自然接种或人工强化(如添加霉菌、酵母菌、细菌),在曲房培养过程中形成复杂的微生物群落(如米曲霉、根霉、酵母菌、乳酸菌等)。

发酵阶段,酵母菌通过糖酵解发酵生成乙醇,同时,乳酸菌、芽孢杆菌等细菌代谢产生有机酸(如乳酸、乙酸)、高级醇(如异戊醇、苯乙醇)及含氮化合物(如吡嗪、呋喃)。

2.2 酶促反应:风味物质的“次级合成器”

发酵体系中,微生物分泌的酶与原料分解产生的前体物(如氨基酸、糖类、脂肪酸)发生酶促反应,生成关键风味物质:

酯类:由醇类与有机酸在酯酶催化下脱水缩合而成(如乙酸乙酯、乳酸乙酯);

美拉德反应产物:还原糖与氨基酸在高温(如蒸馏、陈酿)下发生非酶褐变,生成吡嗪类、呋喃类等风味物质;

氧化还原反应:乙醇、高级醇等在醇脱氢酶作用下氧化生成醛类(如乙醛、乙缩醛)。

2.3 风味物质的协同与平衡

白酒的风味并非单一物质的叠加,而是各组分通过“协同效应”与“抑制效应”共同作用的结果。例如,乙酸乙酯是浓香型白酒的主体香,但其含量过高会导致酒体香气尖锐;乳酸乙酯则可柔化口感,二者需保持合理比例(通常1:1.2-1.5)。因此,风味优化的核心是调控关键风味物质的生成量与比例。

3、超声激励技术的物理特性及作用方式

超声激励技术的作用本质是通过高频机械波在介质中传播,引发空化效应、机械振动与热效应三大物理现象,从而改变体系的物理化学性质。

3.1 空化效应:微观环境的“剧烈扰动”

当超声波强度超过介质的空化阈值时,液体中会产生大量微小气泡(直径 $1\mu\text{m}$ - $100\mu\text{m}$),这些气泡随声波的压缩(正压)与膨胀(负压)周期经历“生长-崩溃”过程。空化效应可直接破坏微生物细胞壁、加速底物与酶的碰撞,是超声激励技术发挥作用的核心机制。

3.2 机械振动:物质传质的“动力



引擎”

超声波的机械振动可引起介质的宏观流动(如液体湍流)与微观振荡(如细胞内物质的震动),显著降低传质阻力。例如,在发酵液中,机械振动可加速乙醇、有机酸等小分子的扩散,促进酵母菌对葡萄糖的吸收,或推动酶与底物在固液界面的接触。

3.3 热效应:温和升温的“辅助调节”

超声波的能量部分转化为热能,可使体系温度小幅升高(通常 $<10^{\circ}\text{C}$)。这种“内源性加热”避免了外部高温对微生物的伤害,同时可激活某些酶(如脂肪酶)的活性,或促进美拉德反应的进行。

4、超声激励技术对白酒风味优化的具体机理

基于上述物理特性,超声激励技术可从以下四个维度优化白酒风味。

4.1 调控微生物代谢:激活“优质菌株”的代谢潜能

4.1.1 选择性抑制杂菌,富集功能菌群。

超声的空化效应可破坏细菌(如产生过多的乳酸菌)的细胞膜完整性,导致胞内物质泄漏,抑制其过度繁殖,而对酵母菌、产酯霉菌等功能菌株的影响较小(因其细胞壁更厚或具有荚膜保护)。

4.1.2 促进功能菌代谢产物合成。

超声的机械振动可增强微生物细胞膜的通透性,促进胞内酶(如酯合成酶)的释放,同时加速外界营养物质(如氨基酸、还原糖)的摄入。

4.2 激活酶活性:定向调控风味物质的合成路径

白酒发酵涉及多种酶促反应(如酯化、糖酵解、美拉德反应),超声可通过以下方式调控酶活性。

4.2.1 空间构象改变,激活潜在酶活性。

超声的机械振动可诱导酶分子发生构象变化,暴露其活性中心。

4.2.2 底物-酶碰撞效率提升,加速反应进程。

超声的空化微射流与机械湍流可打破酶与底物的扩散限制,使二者碰撞

频率提高10倍-100倍。

4.3 促进风味前体物转化:增加关键风味物质生成

4.3.1 酯化反应加速,提升主体香含量。

酯类是白酒的主体香味物质(如浓香型的乙酸乙酯、清香型的乙酸异戊酯),生成乙酰醇类与有机酸的酯化反应。

4.3.2 美拉德反应强化,丰富风味层次。

美拉德反应是白酒陈酿与蒸馏过程中风味物质的重要来源(如吡嗪类、呋喃类),使酒体呈现更浓郁的烘焙香与坚果香。

4.4 稳定风味物质:减少挥发损失,提升口感协调性

4.4.1 促进风味物质溶出,提高得率。

在蒸馏阶段,超声的空化效应可破坏酒醅颗粒的表面张力,促进风味物质(如酯类、酸类)从固相基质向气相转移。

4.4.2 抑制风味物质降解,延长货架期。

白酒储存过程中,部分风味物质(如高级醇、醛类)易被氧化降解,导致口感变淡。超声处理可在酒瓶内壁形成微小空化泡,吸附并分解氧气,降低氧化反应速率,使白酒口感保持更稳定。

5、应用案例:

不同香型白酒的超声优化实践

5.1 浓香型白酒:提升己酸乙酯含量

某浓香型白酒厂在发酵后期(第20天-30天)对酒醅进行超声处理(28kHz,功率300W,每次10min,间隔24h)。结果显示,发酵结束后,酒醅中己酸菌数量增加25%,己酸含量从1.8g/L升至2.4g/L,最终,基酒中己酸乙酯含量从180mg/100mL提升至260mg/100mL,达到优级酒标准($\geq 220\text{mg}/100\text{mL}$)。

5.2 清香型白酒:协调乙酸乙酯与乳酸乙酯比例

清香型白酒的主体香为乙酸乙酯(占比约40%),但传统工艺中,乳酸乙酯含量易超标(导致“闷香”)。某酒厂

在制曲阶段对大曲进行超声预处理(20kHz,功率200W,时间15min),发酵过程中对酒醅施加间歇超声(28kHz,10min/次,每12h一次)。结果表明,成品酒中,乙酸乙酯/乳酸乙酯比例从1:1.8优化至1:1.3,口感更清雅爽净。

5.3 酱香型白酒:增强风味层次

酱香型白酒的风味依赖于复杂的吡嗪类、呋喃类物质。某企业采用“超声+高温制曲”工艺,在曲块干燥阶段(45 $^{\circ}\text{C}$)进行超声处理(40kHz,功率150W,时间20min/天,持续3天)。结果显示,成品酒中四甲基吡嗪含量从1.2mg/L增至3.5mg/L,呋喃甲醚从0.8mg/L增至2.1mg/L,风味更显醇厚与陈香。

6、挑战与展望

尽管超声激励技术在白酒风味优化中展现出显著潜力,但其工业化应用仍面临以下挑战。

机理研究的深度不足

目前对超声与微生物、酶的互作机制多停留在宏观层面,缺乏分子水平的解析(如特定基因表达的变化、酶活性位点的调控)。

工艺参数的标准化缺失

不同香型、不同原料的白酒,对超声功率、时间、频率的需求差异显著,亟须建立标准化的工艺数据库。

设备适应性改进

传统超声设备多为实验室级别,难以满足大规模生产中“均匀处理”“连续作业”的需求,需开发专用集成化装置。

未来研究方向

多场耦合技术:结合超声与磁场、电场等,进一步增强微生物代谢调控效果;

智能控制:基于在线监测(如代谢产物浓度、微生物群落结构)的超声参数动态调节;

绿色化发展:探索低能耗、无损伤的超声激励技术,降低工业化应用成本。

欲了解更多美酒资讯,请关注华夏酒报微信公众号。

