

酿酒发酵罐温度控制不稳定对出酒率的影响分析

赵彦苛 邱敬鑫

河南牧业经济学院, 中国·河南 郑州 450018

摘要: 在酿酒发酵过程中由于发酵罐温度的不稳定会造成酵母代谢不正常、糖转化率低、酒产出少、杂菌滋生等问题, 最终影响到酒的出率, 分段冷却降低发酵罐高温偏差, 保温补偿控制发酵罐温度过低值偏差、多点检测和对温度曲线校准可以实现温控闭环控制。发酵过程中的优化控制能有效保持酵母活力的连续性、减少杂菌影响、批次差异小, 从而提高原料利用率及出酒率的稳定性, 提供了一条可控可查的生产工艺控制方式。

关键词: 发酵罐温控; 温度波动; 出酒率; 酵母活性; 发酵调控

Analysis of the impact of unstable temperature control in fermentation tanks on alcohol yield

Zhao Yanke, Qiu Jingxin

Henan Animal Husbandry Economics University, China Henan Zhengzhou 450018

Abstract: During the wine fermentation process, unstable temperature in the fermenter can lead to abnormal yeast metabolism, low sugar conversion rates, reduced alcohol yield, and proliferation of contaminating microorganisms, ultimately compromising overall production efficiency. Segmented cooling reduces high-temperature deviations in the fermenter; thermal compensation controls excessively low temperature deviations; while multi-point monitoring and temperature curve calibration enable closed-loop temperature control. Optimal process control during fermentation effectively maintains continuous yeast viability, minimizes contamination by foreign microorganisms, reduces batch-to-batch variability, thereby enhancing raw material utilization and stabilizing alcohol yield, providing a controllable and traceable production control approach.

Keywords: Fermentation tank temperature control; Temperature fluctuation; Alcohol yield; Yeast activity; Fermentation regulation

0 引言

酿酒过程中的发酵是各种因素(微生物、温度、水分和养分等)综合作用下的连续转化, 其中发酵罐作为酒精生产的容器, 其温度的稳定与否直接影响酵母菌代谢速度、糖消耗量及酒积累率。温度过高则发酵过快、酸味物质产生多, 温度过低, 则菌活性降低, 糖剩余大; 而温度频繁变化则使发酵节奏紊乱, 影响出酒率, 通过分析由于温度控制不稳定导致对出酒率的影响并提供相应的调节方法可以为酿酒业的生产和质量监控、提高产能提供清晰的思路。

1 发酵罐温度控制需求及出酒率关联机理

1.1 酵母代谢对温度区间的依赖

酵母代谢速率取决于发酵罐温度条件, 在适当温区内可以保证酶活性、糖摄取率和提高酒耐力。在温度过高的情况下, 短时间内酵母的呼吸与发酵反应加强, 但是细胞膜的稳定性下降了, 阻碍了乙醇累积, 酸类和高级醇等副产物增加。在温度较低的情况下, 酵母的增殖变慢, 糖摄取能力下降, 延长发酵时间, 残糖增多。温度的剧烈变化导致酵母不断经历应激状态, 代谢途径不稳定, 从而降低了产酒精效率。智能温度控制思想下, 分阶段确定温度范

围, 控制升降温速度并维持好罐中热场, 才能保障酵母持续产酒能力。

1.2 糖分转化效率对酒精生成的影响

糖化效率的高低直接影响原料中可发酵性糖全部转化为乙醇的程度。温度控制不稳定直接影响了糖化酶和酵母对糖的利用, 温度过高, 造成前期吃糖快后期酵母活力不足导致部分糖不能继续转化为酒精; 温度过低会减弱其酶解速度而致使淀粉、糊精转化为还原糖转化不足、使酵母底物减少^[1]。由于温度上下波动会造成糖化与发酵不同步, 导致供糖量过大或不足, 通过对糖度、温度和发酵率动态监控, 分段控温、缓冲调节有助于连续利用糖化、生成乙醇更加稳定、充分利用原料、减少了浪费。

1.3 温度变化对出酒率波动的传导路径

罐温变化逐项影响着微生物、物质代谢速度及酒精积累等环节, 从而影响着出酒率, 当温度不适于正常发酵时, 酵母活力率先受到影响, 并作用于其对糖的吸收转化和生产乙醇的能力以及副产物的生成; 在长期温控不稳定的状态下, 发酵罐内形成一定的温差, 致使局部过快或过慢, 出现同一发酵周期不同成熟度的糟醅。出现低酒份高残糖、

酸败现象,造成实际产酒率下降,采取多点温控采集、数字化温度曲线对比、异常波动预警可及时发现温控异常对发酵的影响,有效防止了各批次间较大的出酒率差异,增强生产的可控性。

2 温度控制不稳定引发的工艺偏差

2.1 高温发酵造成酒精损失

罐内温度高,加速了酵母的代谢活动,使得前期糖的消耗大、因高温破坏了细胞膜系统及酶活力的减弱,降低了后劲,温度升高抑制乙醇的产生,并使醛酸类副产物增加而降低纯度,同时热敏成分的分解挥发带走部分酒精。温差大的罐体冷热区形成不合理的微环境,致使各部位的活性不均衡,打乱发酵进程,影响整体出酒量和酒质稳定性,对罐体温度严格控制并采取局部均冷措施可缓解由高温带来的代谢紊乱,稳定乙醇生成速度。

2.2 低温发酵导致糖分残留

罐温低于酵母适应范围延缓了菌种增长、酶促反应过程,糖化能力下降,糊精糖化较差^[1]。低温使发酵周期延长,残留糖较多未能转化为酒分,出酒度偏低。低温影响了酵母代谢功能,不同点的发酵程度不一,导致罐中糖分分布梯度较大,总产率及风味均受到影响,温度补偿和保温护理改善了罐内发酵条件,提高了低温环境下酵母活性,充分利用糖分持续转化功能,提高产率,提升原料使用率。

2.3 温度波动干扰发酵节奏

频繁的温度变化使酵母处于胁迫状态,其代谢途径多次被改变,糖吸收和乙醇生产节奏紊乱,造成发酵不连续,温度的变化导致罐中热点区域,部分过快发酵或过慢发酵区段出现,造成原料转化率降低,并增加副产品及酸败的机会。因此各批次之间呈现不同的发酵速度与出酒率,采用多点温控、曲线变化及报警功能来调节瞬时变化的温度,以维持良好的发酵节奏和酵母代谢平衡,从而降低不同出酒率以及各批次间的变异系数。

3 分项偏差的精准调控措施

3.1 高温偏差的冷却分段调节

高温偏差控制宜采取“先缓慢降温,再大力冷却,后稳定控制”的三段式冷却方法,避免大范围、剧烈降温造成酵母代谢的猛然停滞。发酵初期由于升温 and 产热速率较高,可通过对升温极限和开始降温临界点进行设定,保持发酵罐温度在酵母所能适应的范围内,在发酵中期热量产量较大,可通过增加夹套内循环水流量,依据上、中、下温度差异对各分区进行调节,防止出现局部过热现象。发酵末期酵母活动能力减弱,冷却强度不可过大,以小幅连续降温实现乙醇的生成,数字化温度控制系统可根据发酵温度曲线自动调节冷却用水流量及冷却时间,将温差

控制在较小范围内,该控制方法可以减少因高温引起的酒精损耗,酵母衰退以及不良副产物增加等现象,使发酵过程较为平稳地进行,提高酒精生产率及出酒率的稳定性。

3.2 低温偏差的保温补偿控制

在保温、热量补充以及发酵过程的恢复等三个层面上采取措施对低温偏差进行控制,做好罐体外壁的保温层保养工作,避免罐内温度因外界温差而受到较大的影响,在夜间或冬季时造成连续降温现象,当其处于温度低于规定下限时可以使用弱热水循环或夹套恒温补充方式缓慢回升温度,避免升温过快影响到酵母适应性^[9]。并注意观察和测定糖度、酸度与发酵率以判断是否因低温已形成滞后转化糖分的情况,进而确定温度补偿幅度与保温时间,从智能化控制原理角度出发可以建立低温预警界限值及自动补热程序设定当温度逼近临界点时给予预先处理,这样便可以改善酵母低温迟滞状态促进糖分转化,减少残糖累积保证酒精形成连续作业,因此能够有效降低低温发酵不利出酒率的影响。

3.3 频繁波动的多点监测校准

通过多点检测、校准和联动来控制频繁波动,克服了单一温度检测点的局限,发酵罐的上层、中层、下层以及冷却夹套附近设置温度采集点,实现纵向与横向温差数据的比对分析,快速发现局部升温现象、局部降温问题及热传导不均匀的情况,对传感器实施定期的校准工作,以消除因温度测量偏差而带来的滞后控制问题。温度控制系统应当具备曲线记录功能并与发酵速率和糖度变化情况进行比对判断,出现异常情况启动分级预警和自动调节措施,采用数据化的管理将不同批次的温度控制进行比对分析,并改善下一个温度控制的参数,该方法可减少人为经验调控所产生的不确定因素,让发酵温度控制从被动处理转化为主动控制,使酵母代谢节奏不间断化,保证了每一批次的出酒率一致性。

4 温控优化后的出酒率改善路径

4.1 酵母活性稳定促进糖分利用

温控的优化,使罐内发酵温度控制在酵母最适代谢范围内,酵母细胞膜的渗透性、酶的活性和对乙醇的抗逆能力维持不变;糖源吸收连续,发酵前期温度平缓上升,有利于迅速形成优势种群,缩短由于起酵缓慢造成的糖分残留;发酵中期控制温度平稳,可防止产热过多导致酵母衰老提前,有利于将葡萄糖、麦芽糖等可发酵性糖源源不断地转变为酒精;发酵后期温度的缓缓下降可以延长酵母的有效生命,降低残糖率,数字化的温控曲线又可以通过糖度下降的梯度调整温度的设置,使之与降糖梯度相匹配,酵母活性的恒定,更充分利用原料中的有效糖分,实现酒

精生成不中断,单位原料的出酒量增大,由仅靠经验操作判断出酒率变为能够得到可控可循的出酒率的提升。

4.2 杂菌风险降低保障酒精积累

温控优化可缩减杂菌繁殖区间,确保罐内发酵微生物群以酵母发酵为主,在温度过高条件下,乳酸菌、醋酸菌等易大量增殖,利用糖和酒精生成酸类,使可变底物减少;温度过低时酵母优势不明显,竞争力弱于杂菌,发酵转向生成其他成分^[4]。通过控制合适的发酵温度,缩短在不合适温度下的时间,建立异常温度的预警措施,能降低杂菌增殖的概率,温度控制系统同酸度监测及酒精度、糖度监测相结合,可早发现酸度过高等现象以及发酵液中酒精生成速率下降等,从而采取降温或保温或查出原因并及时处理,由于较少发生杂菌问题,则有较多的糖变为乙醇而不是被氧化掉或其他物质生成,因而提高了实际出酒率和酒液质量。

4.3 批次差异缩小提升产量稳定

温控优化可以降低发酵罐之间各批间的温度差异,使得发酵起始点、升温速度、峰值温度及降温趋于统一,当批次间差别较大时,在同样配比原料下,由于发酵罐内温度不同,将造成糖分利用率、酒分、成熟期等的差异,出酒率产生变动,通过采取统一温控参数设定标准温度曲线并记录每个批次的温度变化曲线的方式,可实现将经验性操作转为数据化控制。多个测量点进行测温 and 自动调控可检测到局部温差从而缩小单罐内的发酵不均衡现象,同时批次间对比能够选出较佳的稳定产酒的温控区间,并作为后续调整的参考,温控标准化后,更加准确地预测酒精生成过程,并准确判断发酵终点,使低产率批次减少,产酒效率在时间上得到提升,从而增强了生产中的稳定性和连续出酒率。

5 发酵罐温控管理闭环构建

5.1 温度数据实时采集记录

温度的实时采集应在发酵罐上层、中层、下层和靠近冷却夹套部位实现对发酵罐内热场的记录,单点的温度测定极易掩盖局部温度的升高或下降,多个点采集可以比较在发酵产热、冷却传热和发酵罐体保温方面的变化情况,记录的显示不应停留在即时的数值上,还应对数据沿时间轴保存为温度曲线并同时关联糖度值、酸度值、酒度值和发酵的时间段等。数字化温度采集系统可以把温度的变化转化为可追溯的数据,并为评判出酒率的变动因素提供了帮助,实时记录可以寻找到温差发生的时间段及其持续的时间和影响范围,从而将温控管理转为数据识别,为后续的预警处理和参数校正奠定了基础。

5.2 异常区间自动预警处理

异常区间自动告警需依据发酵阶段设置不同的温区范

围,避免统一的温度标准出现误报,前期主要关注升温起酵速率监测;中期重点关注控制峰值产热;后期主要关注防止过快降温,当临近高温限值和低温限值时进行提前分级预警并联动调节冷却水流量、保温补偿及循环频率和人工核查措施^[5]。对趋势判断连续升温与快速降温以及局部温差扩大的隐形危险采取未严重偏离时即启动调节,异常信息中同时记录处理时间、调节动作、恢复情况,以追溯温度偏移对出酒率的影响,自动报警缩短了温区停留的时间,减少了酵母活性影响及糖分转化中断。

5.3 工艺参数持续修正固化

温度曲线、耗糖速度、出酒速度和出酒率作为工艺参数连续调整的依据,形成不断优化的工艺参数体系,不同的季节、原料水分、投料量和发酵罐大小均对产热强度产生影响,使用同一参数不能长期适用于生产,将批次稳定期与低产期数据比较可找出合理的升温速度、峰值温度、保温时间和降温时间等。经过验证的温度控制点固定为标准操作曲线并用于自动控制系统,减少人为经验造成的波动,温度参数的固化是根据发酵情况调整控温边界使控制方案适应发酵过程,工艺参数一旦构成闭环,则温度控制、发酵质量和出酒率就可得到很好的对应。

6 结语

发酵温度的稳定性影响到酵母活性、糖化速度、酒化作用及出酒率。其波动过大使发酵产生偏差,原料利用率低,准确冷却和保温补偿及多点检测与参数固化可形成一个温度控制回路,发酵过程平缓,降低批次之间的差异性,使出酒率的提高具有持续稳定性并进一步提高了酿酒生产的可控性。

参考文献:

- [1] 王丽妍. 三种稻飞虱对恒温 and 波动温度的适合度响应[D]. 河北大学, 2025.
- [2] 赵冉. 自动温控酿酒发酵罐. 安徽省, 宿州衡丞智能设备有限公司, 2022-08-26.
- [3] 仝奋飞. 一种防止发酵罐降温结冰的温控系统. 河南省, 南阳市京德啤酒技术开发有限公司, 2021-08-01.
- [4] 张浩强, 罗相巧, 黄鸿滨等. 基于智能算法的白酒发酵罐温度控制 PID 参数整定[J]. 机械研究与应用, 2021, 34(3): 41-43+47.
- [5] 周天宇. 好氧堆肥发酵罐温度 / 氧含量监控系统的开发[D]. 南京农业大学, 2021.

作者简介: 赵彦苛 (2003.09.19), 男, 汉族, 河南省郑州市, 本科, 牧业经济学院, 学生, 河南牧业经济学院, 研究方向: 酿酒工程。