

气提式内环流生化反应器研究

I. 用于谷氨酸发酵的研究报告

姜信真 李宝璋 刘 科

(西北大学, 西安)

杨文选

(延安大学, 延安)

傅 涛 魏太燧

(万县市飞亚企业公司, 四川)

谷氨酸 (GA) 发酵器是味精生产的核心设备。目前, 国内普遍使用的 GA 发酵器是机械搅拌发酵罐。尽管用机械搅拌发酵罐进行 GA 发酵的工艺技术已近乎完善, 但这种发酵罐本身存在着一些弊端^[1-4]: (1) 结构复杂, 有传动部件, 噪音大, 轴封处易染菌; (2) 对有些发酵过程, 强烈的机械搅拌会损伤微生物而影响其生理特性; (3) 发酵液多为拟塑性非牛顿型流体, 机械搅拌导致桨叶周围的流体表观粘度减小, 使大部分空气沿搅拌轴周围通过液层而不能均匀地分布于整个发酵液中。鉴此, 近年来国内外都力图开发气流搅拌的大型塔式发酵器来取代机械搅拌发酵罐^[5, 6]。我们在对气提式内环流反应器的混合特性、流体力学特性和传质特性等长期研究工作的基础上^[7-9], 探索内环流反应器用于 GA 发酵的可能性, 旨在开发一种优于机械搅拌罐的新型发酵器, 并以此为开端, 探索新型生化反应器开发问题。

本实验用的气提式内环流发酵器如图 1 所示。

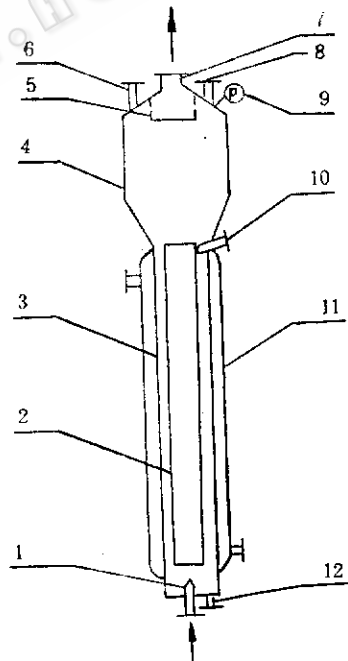


图 1 气提式内环流发酵器示意图

1. 喷嘴 2. 导流筒 3. 筒体 4. 扩大头
5. 挡板 6. 加料口 7. 出气口 8. 尿素流加口
9. 压力表 10. 测温口 11. 夹套 12. 出料口

实 验

(一) 实验装置

本文于1986年6月3日收到。

本文是中国科学院科学基金资助课题。实验工作承蒙飞亚公司领导 and 工人支持, 特此致谢。

该发酵器系不锈钢结构, 直径 300mm, 高 3900mm。它的基本结构是在筒体 (3) 内装一与筒体同心的导流筒 (2), 在塔底正对导流筒下面装一与之同心的气体喷嘴 (1)。导流筒与筒体的高径比以及喷嘴的直径是设计的关键技术。其设计思想依据如下^[8-11]。

1. 空气与导流筒内的发酵液混合形成气液混合物, 其重度小于导流筒外发酵液的重度。这种重度差造成发酵器内的轴向循环流有利于发酵液中基质和细胞团等固相粒子的均匀悬浮和发酵热的传递, 从而改善了发酵器内的流体流动和传热状况 (图 2)。图 2 表示气含率 (ε_G) 与导流筒直径 (D_E) 和塔径 (D) 之比 (D_E/D) 的关系。

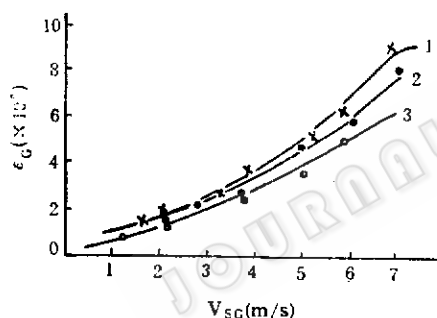


图 2 内环流发酵器 D_E/D 对气含率的影响

1. $D_E/D = 0.58$ 2. $D_E/D = 0.76$
3. $D_E/D = 0.28$

由图 2 可见, ε_G 与 D_E/D 之间并非线性关系, 而是存在一个最佳值 ($D_E/D = 0.58$)。

2. 空气借喷嘴的喷射作用, 形成高速射流。这不仅强化了气液混合, 强化了向菌体的供氧速率, 而且其喷射动能可强化轴向循环流动 (图 3)。在 GA 发酵中, 液膜阻力是供氧过程的速率控制步骤。优化设计的内环流发酵器的液相容积传质系数 ($k_L a$) 高于机械搅拌罐的液相容积传质系数。

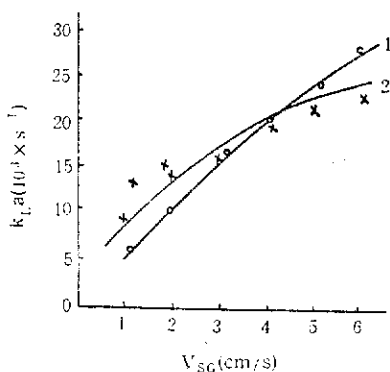


图 3 用 Na_2SO_3 -空气氧化法测定的不同反应器的 $k_L a$ 与 V_{SC} 的关系

1. 内环流反应器 2. 机械搅拌罐

此外, 发酵过程产生的泡沫可借液体轴向循环导向下流, 使装料系数可提高到 80—90%, 减少消泡剂的用量及其对菌体生理特性的不良影响。内环流发酵器高径比大, 因而比传热面积较大, 在夏季高温时期较长的南方可节约冷量消耗。

(二) 实验原料

淀粉水解糖液 (11—13%)。发酵培养基组成 (%): Na_2HPO_4 0.32, FeSO_4 0.0005, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.06, KCl 0.13, 玉米浆 0.15; MnSO_4 0.0002, 糖蜜 0.20, 尿素 (流加)。用 NaOH 调节 pH 至 7.0。

菌种: 谷氨酸棒杆菌 (*Corynebacterium glutamicum*), 接种量为 1.5%。

(三) 实验方法

常规灭菌。通风量由进气阀控制, 转子流量计计量。温度由夹套冷却水控制。pH 值由流加尿素调节。当残糖小于 1% 时停风放料。

本实验装置安装在工业生产车间。在机械搅拌发酵罐正常生产的同时, 进行对照实验。

实验结果与讨论

(一) 产酸率和糖酸转化率

稳定实验阶段,内环流发酵器各批初糖、产酸率、糖酸转化率和发酵周期示于

表 1。

稳定实验平均初糖 11.27%, 平均产

表 1 内环流发酵器稳定实验阶段的产酸率和转化率*

试 验 序 号	1	2	3	4	5	6	7	平均值
初 糖 (%)	12.2	12.4	8.7	10.5	12.2	10.7	12.2	11.27
产 酸 率 (%)	5.59	5.9	4.78	4.79	5.71	4.98	5.59	5.33
糖 酸 转 化 率 (%)	45.8	47.6	54.9	45.6	46.8	46.5	45.8	47.3
发 酵 周 期 (h)	34	36	26	24	38	36	34	32.6

* 残糖 0.9 以下

酸率 5.33%, 平均转化率 47.3%。国内各低糖工艺发酵厂家在同期的生产报表表明, 平均初糖为 12.6%, 平均产酸率为 5.18%, 平均转化率为 41.1%。内环流发酵器的糖酸转化率比国内同工艺生产水平平均提高 15.1%。内环流发酵器的平均罐产率为 $1.635 \text{ GA kg/m}^3 \cdot \text{h}$ 。国内一次初糖工艺的平均罐产率为 $1.528 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{h}^{[10]}$ 。内环流发酵器罐产率比机械搅拌罐提高 7.0%。

(二) 产等值酸的时差及糖耗差值

GA 产率在两种不同发酵器中随时间增长的产酸曲线如图 4 所示。

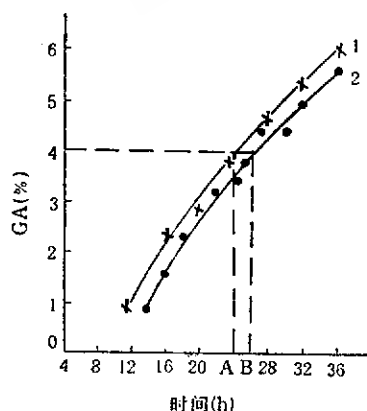


图 4 内环流发酵器与机械搅拌罐产酸曲线对比
1. 内环流发酵器实验值 2. 机械搅拌罐实验值

由图 4 可见, 在整个发酵过程中, 内环流发酵器的产酸率始终比机械搅拌罐

高。以某产酸率 (如 4.0%) 为起点, 作一条平行于横坐标的直线。该直线与两条曲线的交点对应的横坐标上的 A、B 两点, 即为两类发酵器等产酸值时的时差 (约为 2 h)。可见, 生产等量的酸, 内环流发酵器所需的时间比机械搅拌罐短。

若将不同时间的耗糖值对相应的产酸值作图, 便可求出产等值酸的耗糖差值 (ΔS), 如图 5 所示。以某一产酸值 (如

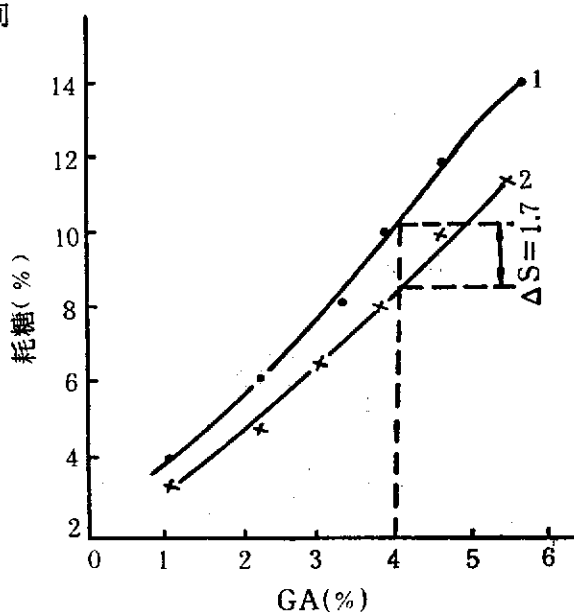


图 5 内环流发酵器与机械搅拌罐糖耗对比
1. 机械搅拌罐实验值 2. 内环流发酵器实验值

4.0%)为起点,作平行于纵坐标的直线。该直线与两条曲线的两个交点的差值即为内环流发酵器与机械搅拌罐生产等值酸时的糖耗差值。可见,生产相同量的酸,内环流发酵器消耗的糖较少(约少1.7%)。

由表1所列,七批稳定实验平均发酵周期为32.6h。同工艺机械搅拌罐正常生产时平均发酵周期为36h,缩短了3.4h。

(三) 供氧条件的调整

供氧对GA发酵影响较大。在探索实验阶段,参照22m³的机械搅拌发酵罐的风液比0.17m³/m³·min,确定在平均风液比为0.22m³/m³·min下做实验。虽然菌生长量上升正常,但发酵结果很不理想,即发酵初期发酵液变红,产酸极微。据研究,*Corynebacterium glutamicum*菌种发酵液变红的原因是供氧不足。后经多次试验和理论分析,才找到了各不同发酵阶段的适宜风液比。

实验表明,内环流发酵器发酵前期、中期和末期,控制相应最佳风液比至关重要*。

(四) 能耗

内环流发酵器单位体积发酵液能耗为3.055kW/m³(发酵液)。

体积为本文所用内环流发酵器二倍的标准机械搅拌罐的单位体积发酵液总能耗为3.309kW/m³(发酵液)。内环流发酵器比机械搅拌发酵罐的能耗降低了7.7%。发酵罐体积越大,装液越多,单位体积发酵液能耗越小。因此,内环流发酵器放大到工业规模后,其能耗肯定会大幅度降低^[11]。

结 论

直径300mm、高3900mm的气提式内环流发酵器的产酸率、糖酸转化率等主要技术指标,均优于国内同工艺机械搅拌罐的技术水平。其传质性能好,能耗低,设备投资小,密封可靠,不易染菌,装液系数大,结构简单,比传热面积大,操作维修方便,噪音小。实验探索出了内环流发酵器用于谷氨酸发酵的最佳工艺条件;证明了用内环流发酵器代替机械搅拌发酵罐进行谷氨酸发酵是可行的。对其进行放大研究有可能推广应用于同类发酵生产过程。目前我们正在进行10³的气提式内环流发酵器的工程放大研究。

* 鉴于本文工作已申请专利,有些数据在文中从略

参 考 文 献

- [1] 菊池正和,中尾义雄:发酵と工业,40(3):200—210,1982.
- [2] Bronnenmeien, R. et al.: *Biotech. Bioeng.*, 23:181, 1974.
- [3] Engler, C.R. et al.: *Biotech. Bioeng.*, 23:165, 1982.
- [4] Metz, B. et al.: *Adv. in Biochem. Eng.*, 11:103, 1979.
- [5] 福島,达小林晴巳:化学工学,46(4):28, 1982.
- [6] 姜信真等:化工机械, (4):9, 1985; C.A. 103:180010e.
- [7] 姜信真:化学通报, (10):1, 1980; C.A. 96:75193f.
- [8] 姜信真等:西北大学学报, (2):45, 1982.
- [9] 姜信真等:化工机械, (4):85, 1984; C.A. 102:47791g.
- [10] 冯星如:发酵科技通讯, (1):61, 1984.
- [11] 姜信真主编:化学反应工程学概要, 1985.