

外循环气升式反应器性能 及其应用于大米酒糟废液处理的研究

夏林聪 高孔荣

(华南理工大学生物工程研究所, 广州)

本文研究了所选反应器的气含率、混合时间和容积氧传递系数等特性。实验是在外循环气升式反应器和鼓泡式反应器的空气-水系统中进行, 由所得的实验数据进行回归分析得到反应器的回归方程, 并且利用性能较好的外循环气升式反应器, 在酒糟废液中培养 BN99 真菌。结果为: 废液中 COD 值减少了 60—70%, pH 值从 5.2 上升到 6.5, 菌体蛋白的含量高达 38.88%, 固体、液体易于分离。因此, 在真菌培养和酒糟废液处理方面, 外循环气升式反应器是一种性能良好的反应器。

关键词 外循环气升式反应器; 化学耗氧量; 容积氧传递系数; 混合时间

气升式反应器是利用喷射动能和流体在反应器内的重度差造成循环流动, 来实现发酵液的搅拌、混合与溶氧。其特点为: 结构简单, 加工安装方便, 密封性好, 杂菌污染少, 电耗较低, 是一种气搅拌反应器, 它应用于单细胞蛋白或丝状真菌的生产, 具有机械搅拌式反应器所不可比拟的优点。

国外已有 4000m³ 规模的气升式反应器应用于单细胞蛋白的生产。在我国, 气升式反应器除了个别工厂小规模应用外, 尚处于研究、开发应用阶段, 这方面已有报道^[1,2]。国内无锡轻院等几家单位虽然对用气升式反应器处理酒精废水生产饲料蛋白已进行过研究, 但直接利用未经过滤处理的酒糟废液, 用气升式反应器生产饲料蛋白目前尚不多。

本文着重探索外循环气升式反应器在处理大米酒糟废液中, 生产饲料蛋白的方法和可行性, 以便为气升式反应器在大规模污水处理中应用获得理论上的依据。

材料与 方法

(一) 反应器的结构与材料

参照文献[3—6], 选择了较优化的循环管截面积与塔(反应器主体)截面积之比为 0.34 的外循环反应器, 反应器的结构尺寸见图 1, 并将该反应器与鼓泡式反应器进行特性对比实验, 后者结构尺寸如图 2 所示。两个反应器的径高比都为 1:12。

(二) 其他材料

1. 菌种: 用北京营养源研究所筛选出来的优良丝状真菌 BN99*, 它耐酸(pH 值在 5—8 的范围), 能直接利用未经处理的淀粉质原料的酒糟废液中的各种营养成分, 如残糖、氮源和其他的生长素。

BN99 在酒糟废液平板上生长良好, 24h 和 48h 生长直径分别达到 57mm 和 86mm, 菌落呈灰白色有黑色小颗粒, 菌落

本文于 1990 年 7 月 14 日收到。

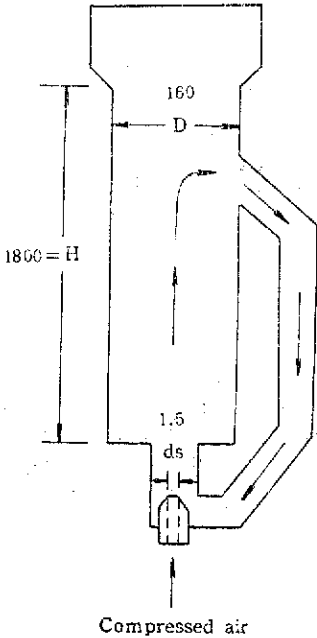


图 1 外循环气升式反应器

Fig. 1 External air-lift reactor (ALR)

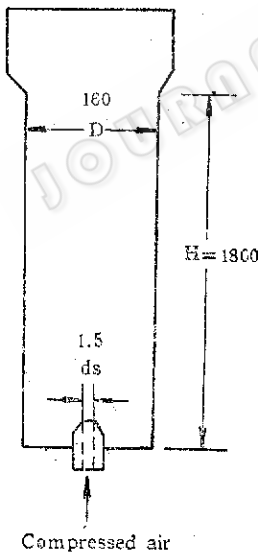


图 2 鼓泡式反应器

Fig.2 Bubble column reactor

平、绒毛状。

2. 原料：广州酒厂和佛山市石湾酒厂的大米酒糟废液，废液中 COD 值分别为 $7 \times 10^4 \text{mg/L}$ 和 $4 \times 10^4 \text{mg/L}$ 。

3. 反应器材料：厚 2mm 的透明有机玻璃板。

(三) 测量方法

1. COD 值：采用快速高锰酸钾法。
2. 发酵干物质：采用重量法。
3. 容积氧传递系数：采用亚硫酸盐法。
4. 气含率：采用高度法。
5. 混合时间：采用电导仪法。
6. 粗蛋白质含量：采用凯氏定氮法。
7. 还原糖：采用菲林试剂法。

结果与讨论

(一) 气含率的影响因素

对所设计、制造的外循环气升式反应器和鼓泡式反应器进行气含率 (ϵ_g) 的实验，将所得气含率与通气量的关系的实验数据进行计算机回归，根据 Bello 的气含率与通气量的经验式：

$$(\epsilon_g)_r = c(1+a)^a \cdot (Qgs)^b \quad (1)$$

式中 Qgs ：空气的表观通气量 (m^3/h)

a ：与反应器结构有关的常数

a, b, c ：分别为常数 (与实验有关)

在本实验中，

$$a = \begin{cases} Ad/A = 0.34 & (\text{外循环气升式反应器}) \\ 0 & (\text{鼓泡式反应器}) \end{cases}$$

式中 Ad ：外循环管截面积

A ：反应器主塔截面积

用计算机回归的结果是：

$$(\epsilon_g)_r = 5.488Qgs^{1.237} \quad (\text{鼓泡式反应器}) \quad (2)$$

及 $(\epsilon_g)_r = 4.547Qgs^{1.237}$ (外循环气升式反应器) (3)

鼓泡式与外循环气升式反应器的气含率和通气量的关系如图 3 所示。由图 3

可见，鼓泡式反应器的气含率受通气量的影响较外循环气升式反应器要大。但从实验中观察发现，后者对气泡的分散与利用比前者要好。

用式(2)、(3)关联的理论值与实验范围内的实验值的最大误差为 22.71%，最小方差之和为 0.138，理论值与实验数据有较好的吻合。

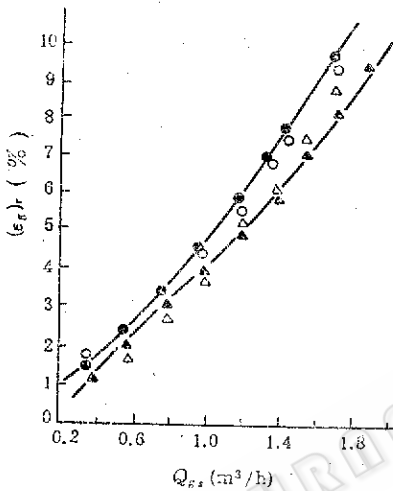


图3 鼓泡式与外循环气升式反应器的气含率和通气量关系

Fig. 3 Relation of $(\epsilon_g)_r$ and Q_{gs} in bubble column and external air-lift reactor

- $(\epsilon_g)_r$: 气含率 Gas hold-up (%)
- Q_{gs} : 通气量 Air volume flow rate (m^3/h)
- , ○: 鼓泡式反应器 Bubble column reactor
- ▲, △: 外循环气升式反应器 External air-lift reactor
- , ▲: 理论值 Theoretical values
- , △: 实验值 Experimental values

(二) 混合时间

生化反应器的混合时间是一个重要的指标。本实验混合时间是指在反应器中加入一种导电性介质(即一个阶跃信号)，用电导记录显示仪记录从加入样品到这个阶跃信号的响应信号达平衡时(即样品在反应器的液体里分散均匀)所需要的时间，这个时间就是混合时间。

混合时间的长短代表了反应器混合效果的好坏，它将直接影响微生物的生长与代谢，尤其是要流加酸、碱或其他营养源物质的反应，影响更为突出。

反应器的混合时间愈短，其混合效果愈好，反之则愈差。因此在实际生物培养中，总是选择混合效果较好的反应器。

图4表示了不同的通气量下鼓泡式反应器与外循环气升式反应器的混合时间曲线。由图4表明：外循环气升式反应器的混合时间在各种通气量下都较鼓泡式反应器的要短，因此前者混合效果较后者好。并且在液气比为1:0.3至1:1.0的范围的通气量下，外循环气升式与鼓泡式反应器的平均混合时间分别为31.9s和61.5s。

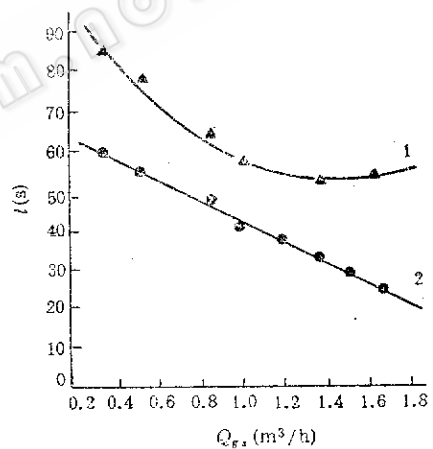


图4 鼓泡式与外循环气升式反应器的混合时间与通气量关系

Fig.4 Relations of mixed time and air volume flow rate in bubble column and external air-lift reactor

- t : 混合时间 Mixed time (h)
- Q_{gs} : 通气量 Air volume flow rate (m^3/h)
- 1. 鼓泡式反应器 Bubble column reactor
- 2. 外循环气升式反应器 External air-lift reactor

(三) 容积氧传递系数($K_L a$)的关系式

用亚硫酸盐法测定 $K_L a$ 值，并对所测得的实验数据进行计算机回归。若不考虑

结构参数的影响, 则 K_{La} 与通气量 $Q_{g,i}$ 的关系式可表达为:

$$K_{La} = k \cdot (Q_{g,i})^d \quad (4)$$

式中: k 、 d 分别为实验决定的常数
回归出的结果为:

$$(K_{La})_{BC} = 133.354 Q_{g,i}^{1.31} \quad (1/h) \quad (5)$$

$$(K_{La})_{EA} = 1.535 Q_{g,i}^{1.69} \quad (1/h) \quad (6)$$

式中: BC : 表示鼓泡式反应器

EA : 外循环气升式反应器

K_{La} 与通气量 $Q_{g,i}$ 的关系如图5所示, 在较低的通气量下, 两种反应器的容积氧传递系数(R_{La})相近, 即溶氧效果相近。这是因为, 在低通气量下, 外循环气升式反应器循环效果不理想, 此时, 它接近于一个鼓泡式反应器。

在实验范围内, 较高的通气量下, 外循环气升式反应器的容积氧传递系数 K_{La} 比鼓泡式反应器的要大, 原因是通气量增大, 外循环气升式反应器中液体循环速度加快, 气液混合的较好, 而且气泡分散得也较好, 故增大了反应器中液体的溶

氧, 提高了容积氧传递系数。

由以上冷模实验特性可见, 外循环气升式反应器与鼓泡式反应器相比有较好的特性。因此, 在发酵的热模实验中采用前者处理大米酒糟废液, 生产丝状蛋白。

(四) BN99菌株发酵试验与结果

1. 发酵干物质与还原糖的关系:

BN99是一种耐酸的丝状真菌, 它可以直接在未经处理的淀粉质酒糟废液中发酵, 利用废液中的残糖以及其他的营养源。

在pH值约5.2的酒糟废液中培养BN99, 培养温度是30—35℃。经过16—20h的培养完成一生产周期。在发酵过程中, 发酵干物质(含菌体)重量与废液中还原糖的关系如图6所示。发酵过程不添加任何营养物质。

发酵结束时, 发酵液的pH值由起始值5.2上升到约6.6, 接近中性。节约了将废液从酸性中和至中性要消耗的碱液, 同时有利于废液的进一步处理与排放。废液中的还原糖被消耗至0.3%以下, 这说明BN99很好地利用了废液中的还原糖。这里用发酵干物质来衡量菌体的增重。

2. 过滤速度的变化: 在发酵过程中, 发酵液的过滤速度不断变化。如图7所示, 广州酒厂大米酒糟废液与石湾酒厂大米酒糟废液作为BN99的培养液的原料, 他们的发酵液变化规律不同, 原因是两个厂有不同的蒸酒技术(广州酒厂用高压蒸酒, 石湾酒厂用常压蒸酒), 这影响酒糟废液中所含成分的差异, 以及废液中固形物大小的差异。这些差异影响了发酵液的过滤速度, 过滤速度是提供废液中固液分离的一个指标。

通常, 过滤速度快, 固液体易于分离, 反之就难分离。假如用过滤的方法, 由图7表明, 发酵结束后, 石湾酒厂废液的发酵液较易过滤。

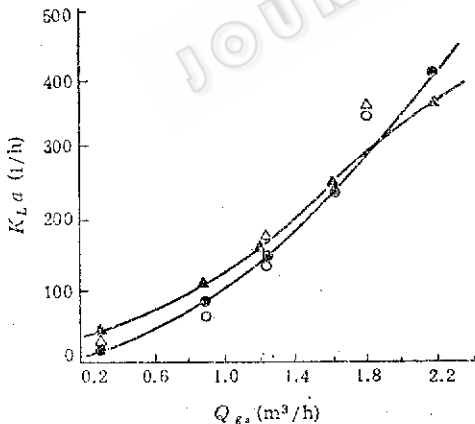


图5 容积氧传递系数与通气量的关系

Fig.5 Relation of k_{La} and $Q_{g,i}$

k_{La} : 容积氧传递系数 Volumetric oxygen transfer coefficient

▲, △: 鼓泡式反应器 Bubble column reactor
●, ○: 外循环气升式反应器 External air-lift reactor

●, ▲: 理论值 Theoretical values

○, △: 实验值 Experimental values

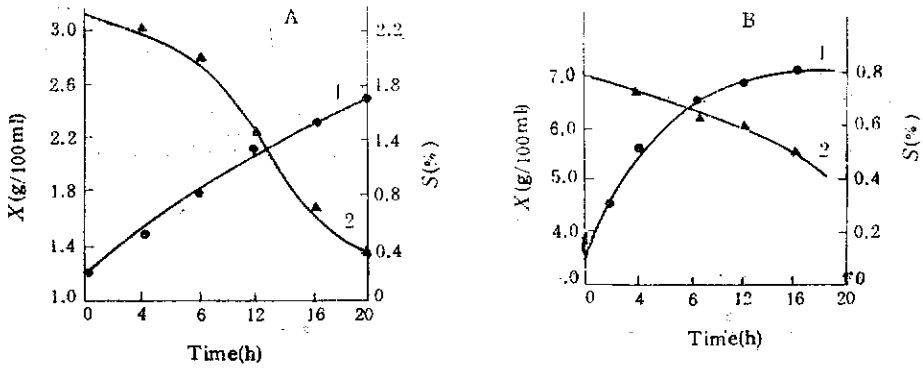


图 6 发酵干物质与还原糖的关系

Fig.6 Relation of weight of dry fermented material and reducing sugar

A. 广州酒厂原料 Raw material from Guangzhou Wine Factory

B. 石湾酒厂原料 Raw material from Shiwen Wine Factory

1. 发酵干物质的重量(X) Weight of dry fermented material(g/100ml)

2. 还原糖 (S) Reducing sugar (%)

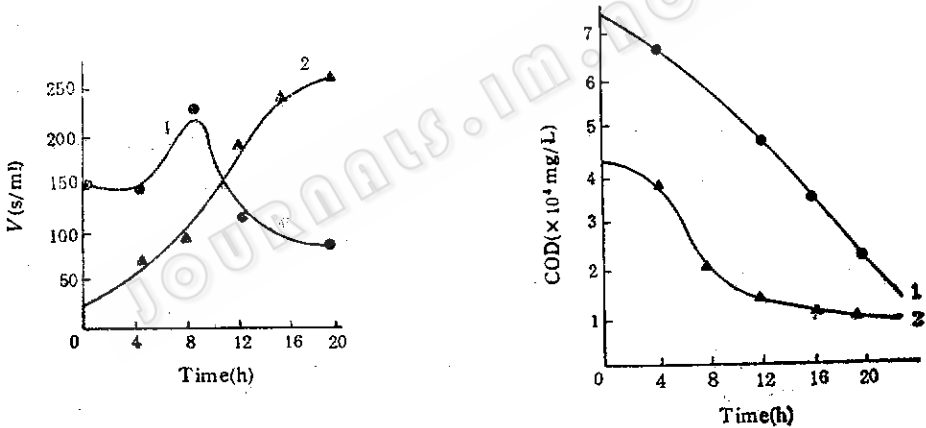


图 7 过滤速度与发酵时间的关系

Fig.7 Relation of filtration rate and fermentation time

过滤速度 Filtration rate (V, s/ml) :

1. 广州酒厂原料 Raw material from Guangzhou Wine Factory

2. 石湾酒厂原料 Raw material from Shiwen Wine Factory

图 8 COD值与发酵时间的关系

Fig.8 Relation of COD values and fermentation time COD值COD values (mg/L × 10⁴);

1. 广州酒厂原料 Raw material from Guangzhou Wine Factory

2. 石湾酒厂原料 Raw material from Shiwen Wine Factory

3. COD值：废液的COD值是环保监测的重要指标之一。在BN99菌发酵过程中，废液的COD值变化如图8所示。

酒精厂和酒厂的酒糟废液的COD值通常很高，在3 × 10⁴—9 × 10⁴mg/L范围。广州酒厂的废液COD值达7 × 10⁴

mg/L,石湾酒厂的COD值为4 × 10⁴mg/L经过16—20h发酵，广州酒厂的废液和石湾酒厂的废液的COD值的去除率分别为70—72%和47.1—64.4%。虽然要完全达到排放标准，还应进行二级处理，但值得推广的是：在降低了废液COD值的同

时,生产了饲料蛋白,有较高的经济效益。

4. 菌体的粗蛋白含量: BN99 菌利用酒糟废液发酵16h和 20h 后,用广州酒厂的废液发酵和用石湾酒厂的废液的发液发酵所得的 BN99 菌的粗蛋白含量分别为 30.7%和36.1%,以及32.18%和38.88%。

市场上的饲料,以大豆和鱼粉为例,它们的粗蛋白含量分别约为 40.3% 和 43.6%。由此可见, BN99 的粗蛋白含量可达 38.88%, 与市场饲料相近。因而 BN99 作为用废液生产真菌饲料蛋白的菌株,具有较好的经济效益。

参 考 文 献

- [1] 姜信真, 杨文选等, 化工机械, 11(4):25—31, 1984.
- [2] 罗庆怀, 赵峰等, 化学工程, 89(1):33—37, 1987.
- [3] Weiland, P. et al., *Chem. Ing. Tech.*, 56(3), 244—245, 1984.
- [4] Weiland, P. et al., *Chem. Ing. Tech.*, 52(12):986—987, 1980.
- [5] Ade Bell R. and Campbell, W. R., *Biotech. and Bioeng.*, 27(2):369—381, 1985.
- [6] Raymahasay, S. et al., *Process Biochem.*, 18(6):36—37, 1983.

The studies About Characteristics of External Air-lift Reactor and Treatment of Rice Fermented Waste Liquid by External Air-lift Reactor

Xia Lincong Gao Kongrong

(*Institute of Biological Engineering, South China University of Technology, Guangzhou*)

This paper studies the characteristics of selected reactors, that is gas hold-up, mixed time, volumetric oxygen transfer coefficient, etc. These experiments were carried out in bubble column reactor or external air-lift reactor with water-air system. The experimental characteristics equations of bubble column reactor and external air-lift reactor were gained through the experiments and regression of the experimental data. Consequently, the external air-lift reactor that had better characteristics was chosen to be used for treatment of rice fermented waste liquid and produced BN99 fungi. After 16h to 20h fermentation, the results are: 1. COD value of waste liquid reduced 60—70%, pH value increased from 5.2 to 6.5, coarse protein content of BN99 reached 38.88%. The solid and liquid were easy to be separated. So the external air-lift reactor is a good characteristics reactor, especially is used for the waste liquid treatment and the fungi fermentation.

Key words

External air-lift reactor; chemical oxygen demand; volumetric oxygen transfer coefficient; mixed time