

# 胞内聚合物在絮凝体与丝状菌污泥中的形成

马鲁铭, 高廷耀, 周增炎

(同济大学 城市污染控制国家工程研究中心, 上海 200092)

**摘要:** 研究了两种反应器(间歇式反应器和连续流反应器)在使用两种有机基质(葡萄糖和乙酸钠)的条件下, 污泥膨胀发生及与胞内聚合物形成的关系。得到结论: 丝状菌降解化学需氧量 COD 的速率和形成胞内有机聚合物的速率较慢, 且整个过程几乎速率不变; 胞内有机聚合物形成量比絮凝体污泥少; 而絮凝体污泥有极为明显的初期 COD 快速降解与胞内有机聚合物快速形成阶段。

**关键词:** 胞内聚合物; 污泥膨胀; 丝状菌

**中图分类号:** X 52

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0253 - 374X(2003)02 - 0229 - 04

## Formation of Intracellular Biopolymer by Aerobic Floc Sludge and Filamentous Microorganisms

MA Lu - ming, GAO Ting - yao, ZHOU Zeng - yan

(National Engineering Research Center for Urban Pollution Control, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** Two sequencing batch reactors(SBRs) and two continuous flow stirred - tank reactors(CFSTR) were operated to investigate the relation between the activate sludge filamentous bulking and the formation of intracellular polymers, which used two kinds of synthetic wastewater containing glucose or acetate respectively. Experimental results show that during the aeration the COD (chemical oxygen demand) level decreased and the intracellular polymers contents increased slowly, with an almost unchanged COD reduction rate. There were fewer intracellular polymers formed in the bulking sludge than in the floc sludge. Moreover, floc sludge had obvious initial both COD rapid decrease and intracellular polymers increase.

**Key words:** intracellular polymers; sludge bulking; filamentous microorganisms

相当数量的污水处理厂存在污泥膨胀问题, 丝状菌膨胀研究也已有几十年的历史, 随着对胞内聚合物在生化处理中作用的进一步认识<sup>[1]</sup>, 该研究又增添了新的内容。

胞内聚合物是细菌体内碳源或能量贮藏方式, 通常重要的有机聚合物有聚羟基链烷酸酯 (polyhydroxyalkanoic acids 或 polyhydroxyalkanoates, PHA) 和糖原, 其中 PHA 中存在最广、发现最早的是聚 - 羟基丁酸酯 (poly - hydroxybutyrate, PHB)。它们可作为微生物生长的碳源和能源, 当环境缺少碳源时, 可延长微生物的生命。

### 1 反应器形式对膨胀的影响

研究目的在于进一步认识胞内聚合物含量与丝状菌膨胀之间的关系。试验是在高碳氮比、好氧、不涉及磷的释放条件下进行的<sup>[1]</sup>。试验采用两种反应器——序批式反应器 (SBR) 和完全混合连续流反应器

收稿日期: 2002 - 03 - 27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(29877008); 教育部高等学校骨干教师资助计划项目

作者简介: 马鲁铭(1959 - ), 男, 江苏镇江人, 教授, 工学博士, 博士生导师。E - mail: lumingma @online. sh. cn

(CFSTR);两种有机基质——葡萄糖和乙酸钠. SBR 反应器在 4 个月运行中,经历了碳氮比、污泥负荷、温度、曝气量(DO)等因素的变化.碳氮比从 100:10 调节到 100:6,100:2,最后停留在 100:1;污泥负荷变化范围为  $0.23 \sim 1.30 \text{ d}^{-1}$ ;温度从 12 增至 23 ;均未发生膨胀. CFSTR 反应器极易发生膨胀.以葡萄糖为基质的污泥在碳氮比为 100:1 时运行 2 个星期后发生膨胀.膨胀时有机物负荷为  $1.2 \sim 6.0 \text{ d}^{-1}$ ,进水质量浓度(COD)为  $1000 \text{ mg L}^{-1}$ ,进完全混合式曝气池后有机物质量浓度降至  $100 \sim 200 \text{ mg L}^{-1}$ ,选择性理论证明,在低底物浓度条件下,丝状菌具有较高的增长速率而取得优势.

同样,以乙酸钠为基质的 CFSTR 中的污泥也极易膨胀.从以乙酸钠为基质的 SBR 中取出污泥放入 CFSTR 中,再加入少许以葡萄糖为基质 CFSTR 中的丝状菌接种,3 d 后丝状菌即可取得生长优势.

发生膨胀的初始阶段 COD 去除率可达 90%.膨胀到一定程度后,CFSTR 反应器中 COD 去除率降为 80%左右,这是因为膨胀形成带状污泥,恶化了传质条件. CFSTR 发生膨胀半个月后,形成大块的或条带状的污泥自由漂浮,或缠绕在曝气管上,长度可达 10 cm 左右.带状污泥的致密性使得氧传输比一般污泥絮体更困难,内部氧质量浓度大大低于表面氧质量浓度,活性污泥呈灰黑色而不是黄色.在显微镜下观察,丝状体的数量比任何时候都要多,呈束状,交互缠绕较少.当带状污泥生长到一定的阶段,可在几乎是一夜之间消失.原因尚不能肯定,可能生长到一定阶段后,传质(基质和溶解氧)大大恶化,细菌老化,从而使细丝状断裂.

## 2 污泥膨胀与胞内有机聚合物生成及 COD 降解的关系

### 2.1 以葡萄糖为基质在两种反应器中糖原的形成

为与 SBR 对照,CFSTR 的批式实验如下:从反应器中取出部分污泥,在空曝 0.5 h 后沉淀,排掉上层清液,留下下层污泥 400 ml,加进与 SBR 进水相同质量浓度的葡萄糖废水 800 ml,然后开始曝气,取样. CFSTR 曝气池中的 COD 与出水相同,在  $100 \sim 200 \text{ mg L}^{-1}$  之间,污泥被驯化成适应于较低质量浓度的废水环境.而批式实验中初始(COD)为  $800 \text{ mg L}^{-1}$  左右,因此这里存在一个瞬时冲击的问题.若把膨胀污泥用该质量浓度的冲击负荷进行驯化,发现细菌丝体被打断,膨胀现象趋于消失.

葡萄糖废水的(COD)随曝气时间的变化见图 1.葡萄糖在 SBR 中经过 2 h 降解到最低,后 2 h 质量浓度略有抬高,可认为是内源呼吸阶段胞内碳源消耗的同时,亦有少部分物质被释放出来.在最初 45 min,反应速度最快,有机物的降解速率达到  $9.15 \text{ mg L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ,比降解速率为  $6.41 \text{ mg g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ .

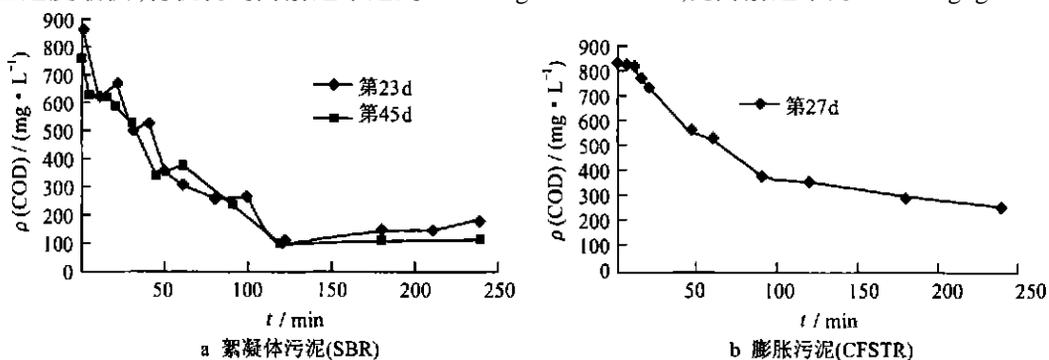


图 1 葡萄糖废水的(COD)随曝气时间的变化

Fig. 1 COD variety with aeration time in both SBR and CFSTR fed with glucose

丝状菌污泥降解 COD 速率不如絮凝体污泥快,降解率低.在连续流完全混合反应器中进水 COD 的质量浓度为  $1000 \text{ mg L}^{-1}$  时,COD 去除率为 73.5%.曲线清楚地表明不存在快速降解的初始阶段,4 h 中几乎以不变的速度降解 COD,有机物的降解速率仅为  $5.84 \text{ mg L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ;由于污泥的质量浓度低,活性尚好,比降解速率为  $5.26 \text{ mg g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ .

以葡萄糖为基质的糖原的质量分数与 COD 的质量浓度随时间变化过程如图 2 所示,比较 CFSTR 与 SBR 可以看出,糖原变化总的趋势呈一致,说明两种污泥对营养物的摄取要求一致,转化过程相同.在实验初始阶段都存在一个平衡前的基质吸附、凝聚、氧化乃至胞内糖原作为碳源降解同时发生的过程.而在

后期,胞内糖原降解并不等外碳源消耗尽才开始,平衡状态过后,胞内糖原降解速度大于生成糖原的速度,糖原出现减少的结果.这一点对于丝状菌尤为突出,其 COD 降解速度明显低于絮凝体细菌的降解速度.两者最大的不同,是胞内糖原的含量丝状菌明显低于絮凝体细菌.两者初始阶段都出现糖原快速增加后的凹谷,可作如下解释:进水开始阶段胞外吸附的物质在分析时被当作糖原一起测定出来,继续曝气,这部分碳源被氧化降解,使糖原分析结果趋真,然后糖原慢慢升高.

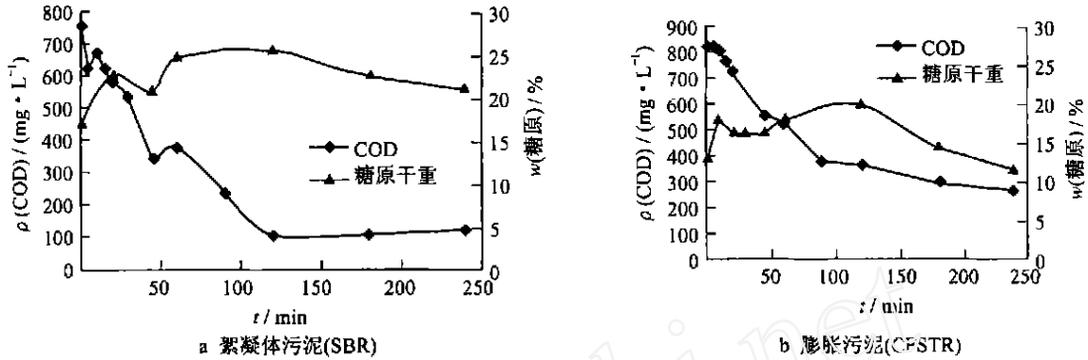


图 2 以葡萄糖为基质的  $w(\text{糖原})$  与  $\rho(\text{COD})$  随时间变化

Fig. 2 COD decrease and intracellular glycogen increase in both SBR and CFSTR fed with glucose

### 2.2 以乙酸钠为基质在两种反应器中 PHB 的形成

乙酸钠为基质的废水 COD 的质量浓度在一个周期内的降解如图 3. SBR 中第 22 d 的 COD 降解曲线中 50 min 时 COD 质量浓度降至最低;10~30 min 基本保持线性下降.在 50 min 以后,COD 的质量浓度基本上不随时间发生变化.

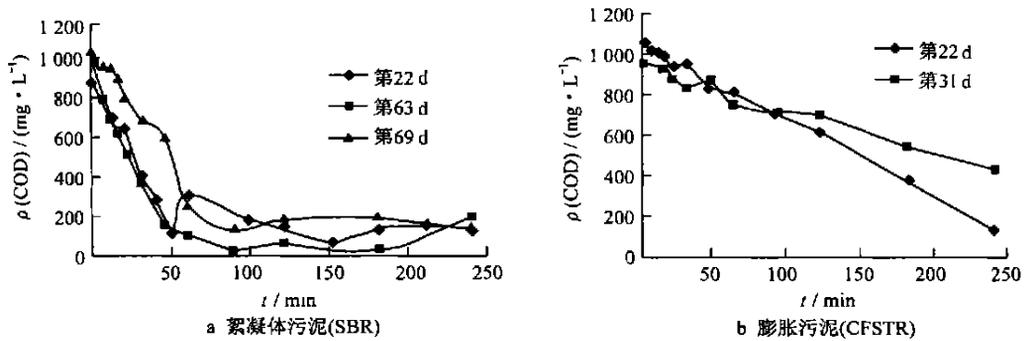


图 3 乙酸钠废水的  $\rho(\text{COD})$  随曝气时间的变化

Fig. 3 COD variety with aeration time in both SBR and CFSTR fed with acetate

比较 SBR 中的絮凝体细菌与 CFSTR 的丝状菌,前者存在 COD 的质量浓度快速降解阶段,30 min 内降解速率达  $18.5 \text{ mg L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ,比降解速率为  $6.01 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ,之后 COD 的质量浓度基本上保持不变;后者 COD 的质量浓度降解几乎是直线下降,其线性相关系数可达 0.99,而平均下降速度只有  $3.74 \text{ mg L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ,比降解速率仅为  $2.13 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ,降解是以 0 级反应进行的,反应速度与质量浓度无关.这说明絮凝体细菌更能适应瞬时高质量浓度变化.瞬间投料后,絮凝体细菌表现较高的降解能力.

比较两种基质,乙酸钠比葡萄糖有更高的 COD 的质量浓度去除率,更快的降解速度.

乙酸钠在 SBR 反应器一个曝气周期内 COD 的质量浓度和 PHB 的质量分数与时间的关系见图 4. PHB 的质量分数在 60 min 时达到最高,前 1 h COD 快速降解,PHB 同时快速生成;1 h 后 COD 质量浓度几乎维持在同一水平,即外源 COD 不再被利用时,PHB 开始降解.这一现象与有关文献一致<sup>[2]</sup>.

乙酸钠在 CFSTR 反应器中生成  $w(\text{PHB})$  曲线较为缓和.初始 10 min 时出现一些波动, $w(\text{PHB})$  从 16.1% 降到 10.1%,且初始时刻 PHB 的质量分数与 180 min 时的质量分数接近,这表明做批实验前的空曝进行得不彻底,批实验开始时胞内 PHB 的降解速率大于外界 COD 的降解形成 PHB 的速率,待二者平衡后开始新的生成,且由于生成速率慢,呈现出较长时间持续上升的状态.

比较乙酸钠为基质的两种污泥 PHB 的形成情况. 絮凝体细菌的 PHB 的生成速度比丝状菌 PHB 生成速度快, 且生成后易被利用降解. 絮凝体细菌 PHB 所占干重含量大于丝状菌.

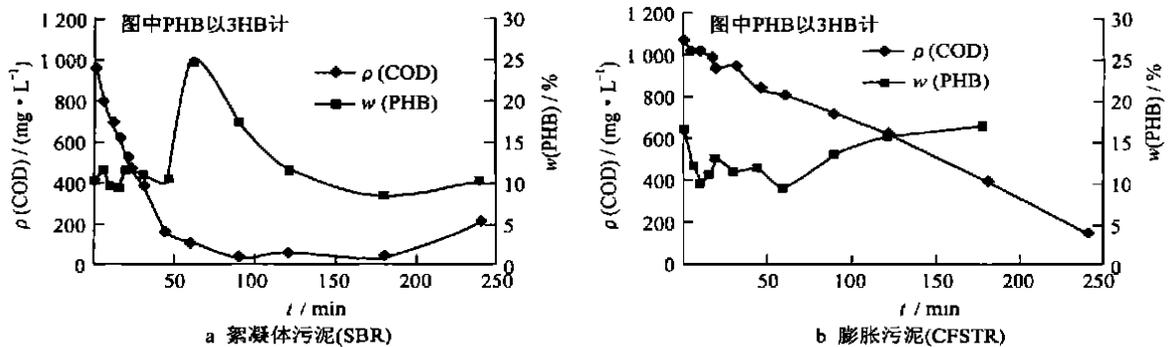


图4 以乙酸钠为基质的 PHB 和 COD 随时间的变化

Fig. 4 COD decrease and intracellular PHB increase in both SBR and CFSTR fed with acetate

### 3 结论

(1) CFSTR 比 SBR 更易发生膨胀. 膨胀加剧到一定程度转变为带状污泥; 而带状污泥生长到一定的阶段, 传质条件恶化, 基质降解速率下降, 直至带状污泥自行消失.

(2) 絮凝体细菌能快速降解 COD 和快速生成胞内有机聚合物 (PHB 或糖原) 的阶段; 而丝状菌则几乎以不变的速度降解 COD, 速率远小于絮凝体细菌, 生成胞内有机聚合物 (PHB 或糖原) 的速率和产率比絮凝体细菌的小.

(3) 可以利用上述特点来抑制丝状菌的过度繁殖, 淘汰贮存能力低的丝状菌.

### 参考文献:

- [1] 王红武, 马鲁铭, 刘燕. PHB 及糖原在废水生物处理好氧条件下的形成[J]. 精细化工, 2000, 17(9): 519 - 525.
- [2] Majone M, Massaniso P, Csrucci A, et al. Influence of storage on kinetic selection to control aerobic filamentous bulking[J]. Wat Sci Technol, 1996, 34(5 - 6): 223 - 232.

·下期文章摘要预报·

## 含奇数个强分支的 $S^2NS$ 极小禁用子图的构造

管良华

强符合非异有向图 (简称  $S^2NS$  有向图) 的极小禁用子图 (简称 MFC) 的判定和构造等问题是众多学者所关心的问题. 迄今为止的所有已知的 MFC 都恰好含有偶数个强连通分支. 在文献《对强符号非奇性矩阵的有向图和禁用图的研究》中提出一个问题, 是否 MFC 必定含有偶数个强分支. 为此通过对一个有特殊结构的图进行某种变化得到一个恰含奇数个强分支的 MFC, 再以这个新的 MFC 为基础构造了无穷多的含奇数个强分支的 MFC, 从而解决了所提出的这个问题.