

SBAR 中好氧污泥颗粒化及其特性

王芳,杨凤林*,刘毅慧,张兴文,周军 (大连理工大学环境与生命学院,辽宁 大连 116023)

摘要: 采用气升式内循环间歇反应器对好氧污泥颗粒化的过程进行了研究,考察了不同水力循环时间下好氧污泥颗粒化过程及其特性,并且对反应器中形成的好氧颗粒污泥内部菌群形态进行了描述.结果表明,不同水力循环时间对好氧颗粒污泥生长特性产生了很大的影响,在较短水力循环时间下,颗粒污泥粒径增长速度快,形成的颗粒粒径多数在 1.0~2.0mm 之间,并且 VSS 含量达 92.08%,强度也较高,而在较长水力循环时间中形成的颗粒粒径在 0.5~1.0mm 之间、VSS 含量在 83.92%,污泥强度下降.

关键词: 好氧颗粒污泥; 颗粒化过程; 水力循环时间; 微生物比生长速率; 生物降解期; 好氧饥饿期

中图分类号: X703 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2004)06-0725-05

The granulation of aerobic sludge and its properties in SBAR. WANG Fang, YANG Feng-lin, LIU Yi-hui, ZHANG Xing-wen, ZHOU Jun (School of Environmental and Biological Science and Technology, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China). *China Environmental Science*, 2004,24(6): 725~729

Abstract: The granulation process of aerobic granular sludge was studied adopting internal-circulate sequencing batch airlift reactors conducted in the reactors. The granulation process and its properties at different hydraulic cycle time were inspected, and the form of the sludge internal bacteria flock formed in the reactor was described. The growth properties of each sludge were affected greatly by the different hydraulic cycle times. At the shorter cycle time the sludge diameter grew quickly, many in 1.0~2.0mm, and VSS content reached 92.08%, with higher strength; while at longer cycle time, the diameter formed was 0.5~1.0mm, VSS content was 83.92%, with strength lowered.

Key words: aerobic granular sludge; granulation process; hydraulic cycle time; microbe specific growth rate; biodegradation phase; aeration starvation phase

污泥颗粒化是微生物细胞之间自身固定化的一种形式,与传统的活性污泥法相比较,好氧颗粒污泥具生物结构规则致密、沉降速度快等优点.另外,好氧颗粒污泥具有微生物群种的多样性,在降解有机碳的同时,具有硝化反硝化的功能^[1,2].

好氧颗粒污泥的形成过程及其物理、生物特性受很多因素的影响^[3],本研究主要考察了不同水力循环时间下好氧污泥颗粒化的过程及其对颗粒污泥性状的影响,为进一步认识好氧污泥颗粒化的机理和好氧颗粒污泥在污水处理工程中的应用提供依据.

1 材料与方法

1.1 反应器安装与运行

试验同时采用 2 个气升式内循环间歇反应器(IC-SBAR)进行,它们具有相同的结构,均为

有机玻璃圆柱体,高 100cm,直径 8cm,总体积 3.8L,有效容积为 3.4L.内循环部分上升管内径 4.0cm,高 70cm,外套沉降管,其内径 7.0cm,高 90cm,空气从反应器上升管底部由空气压缩机充入,气流量由气体流量计控制,污泥被气流带动在升流管中向上运动,在升流管管顶进入沉降管,然后向下沉降运动,至反应器底部再次进入升流管,从而在反应器内部形成循环流动.在反应器底部高 10, 20, 40cm 处各设有一个可换排水口.试验装置流程如图 1 所示.

1.2 实验方法

反应器中接种传统的絮状活性污泥,污泥接种体积为 300mL,控制水温在 22±2℃.

收稿日期: 2004-03-22

基金项目: 高等学校博士学科点专项基金资助项目(20030141022)

* 责任作者, 教授, schchem@chem.dlut.edu.cn

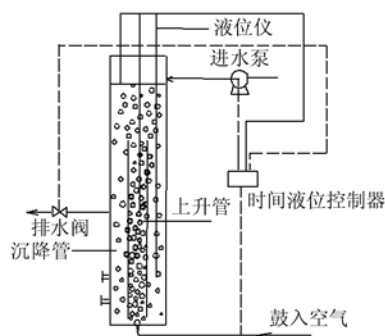


图 1 IC-SBAR实验装置

Fig.1 Schematic diagram of IC SBAR installation

反应器进水为人工模拟废水, COD 1400mg/L, TN 70mg/L, NH_4Cl 380mg/L, KH_2PO_4 40mg/L, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 31mg/L, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 94mg/L, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 22mg/L, NaHCO_3 94mg/L, 微量元素 1mL/L. 其中微量元素组成为(g/L): EDTA 15.000, H_3BO_4 0.014, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.430, $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 0.990, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.250, $\text{NH}_4\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.220, NiCl_2 0.199, $\text{Na}_2\text{SeO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.210.

反应器曝气量控制在 $0.12\text{m}^3/\text{h}$, pH 值用 NaHCO_3 调控在 7.0 左右.

2 个反应器中水力循环时间不同, R1 反应器水力循环时间为 3h: 进水 10min, 曝气 163min, 沉降 5min, 排水 2min, 排水口在反应器底部高 40cm 处. R2 反应器水力循环时间为 12h, 进水 2min, 曝气 11.85h, 沉降 5min, 排水 2min, 排水口在反应器底部高 20cm 处.

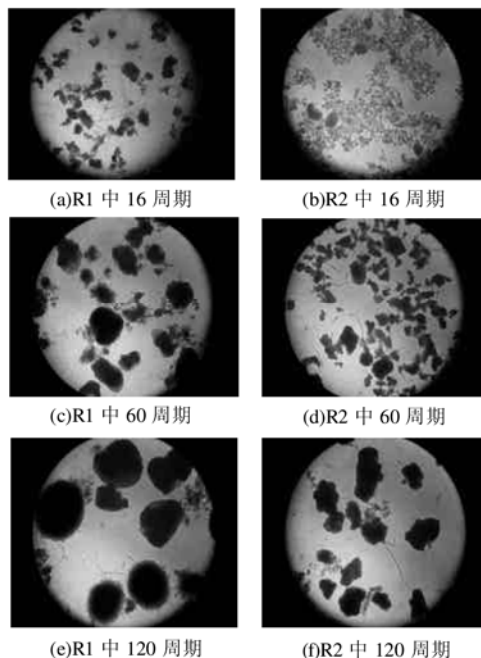
在实验过程中, 对反应器进出水的 COD 和 TN 等营养成分指标进行了考察, 并且对反应器中污泥各项特性参数 SV、MLSS、SVI、MLVSS 等进行了定时监测. 各参数均按照国家标准方法^[4]进行测定, 成熟颗粒污泥的粒径分布利用标准筛筛分法测定, 颗粒强度测定参照文献[5]的方法进行.

同时使用光学显微镜对污泥形态及微生物相进行观测, 成熟好氧颗粒污泥的菌落形态和内部微观结构利用扫描电镜(SEM)进行分析.

2 结果与讨论

2.1 好氧颗粒污泥形成过程

在污泥颗粒化过程中, 利用光学显微镜对反应器中污泥形态的变化进行了观测. R1 和 R2 运行第 16 周期、第 60 周期和第 120 周期时污泥形态如图 2 所示.

图 2 光学显微镜下反应器中污泥形态的变化($\times 150$)Fig.2 Image analysis photographs of granules in R1 by microscopy ($\times 150$)

R1 启动后运行到第 16 周期(每周期 3h, 即运行到第 2d), 已经出现细小黑色颗粒, SVI 在 45mL/g 左右, 镜检发现有少量丝状菌. 在反应器运行第 60 周期(第 7d)后, R1 中丝状菌减少, 污泥成团很好, 黑色颗粒长大, 并且新出现了许多黄白色细小颗粒, 污泥絮体减少很多. 运行 120 周期(15d)后, R1 中污泥整体颜色为黑色, 形成了大量表面光滑、轮廓清晰的黑色颗粒, 粒径在 1.5mm 左右, 并且反应器中同时存在有细小黄白色颗粒, 污泥颗粒化完全, 没有污泥絮体存在.

R2 启动后运行的前 16 个周期中(每周期 12h,

第8d),污泥成絮团状.反应器运行到第60周期(第30d)后,开始出现细小黑色颗粒,颗粒粒径在0.5mm左右,反应器中有少量黄黑色絮状污泥;在以后的运行中,絮状污泥逐渐消失,只有细小黑色颗粒污泥存在于反应器中,颗粒粒径保持在0.5~1.0mm之间.

污泥颗粒化过程可以分为接种污泥适应期、颗粒污泥形成期和成熟期 3 个阶段.反应器水力循环时间对污泥颗粒化这 3 个阶段的长短有很大影响,即与污泥颗粒化速度有很大的关系.反应器在较短水力循环时间下运行,污泥适应期较短,污泥颗粒化速度加快;而在较长水力循环时间下运行,污泥适应期期长,污泥颗粒化进度慢.

2.2 反应器中微生物比生长速率的变化

反应器中微生物的生长繁殖需要吸收利用营养物质来合成细胞组分,并且其比生长速率与微生物所处的营养基质浓度密切相关,一般用 Monod 经验公式表示比生长速率(μ)与生长基质浓度(S)之间的关系^[6]:

$$\mu = \mu_m \frac{S}{K_s + S}$$

式中: μ_m 代表最大比生长速率; K_s 代表比生长速率为最大比生长速率一半时的基质浓度.通常在同种基质中 K_s 是一个很小的常数,当基质浓度较高时, K_s 可以忽略不计,即 $K_s+S=S$,此时 $\mu=\mu_m$,细菌以最大比生长速率生长;当基质浓度很低时, $K_s+S=K_s$,则 $\mu=\mu_m \cdot S/K_s$,此时比生长速率与基质浓度成正比.

由以上分析可知,基质浓度的变化可引起比生长速率的迅速变化.图 3 为在一个水力循环周期内 R1 中营养基质浓度和溶解氧浓度的变化情况.由图 3 可见,一个水力循环周期可以分成生物降解期和好氧饥饿期 2 个连续的阶段.在生物降解期,微生物处于较高的基质浓度中,细菌比生长速率较大;而在好氧饥饿期,微生物处在较低的基质浓度中,细菌比生长速率较小.R2 中营养物质浓度和 DO 变化情况与 R1 相似.

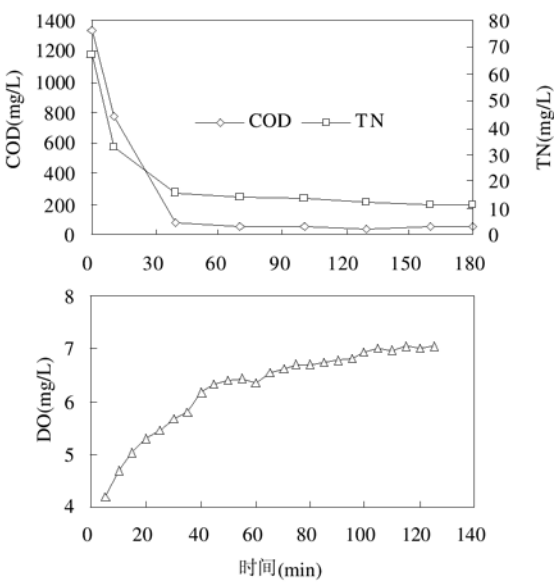


图 3 反应器混合液营养成分和溶解氧浓度的变化
Fig.3 Change of nutrient concentration and dissolve oxygen concentration in mix liquids

2.3 好氧颗粒污泥粒径分布

2 个反应器在不同水力循环时间下运行,反应器中均出现颗粒化污泥,但 2 个反应器中颗粒污泥粒径大小及其分布有所不同(图 4).

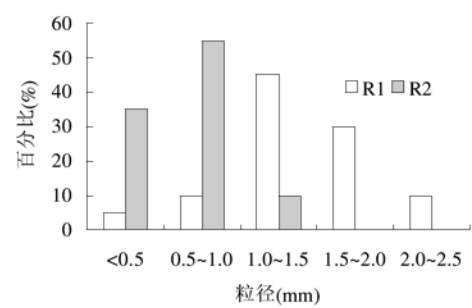


图 4 好氧颗粒污泥粒径分布
Fig.4 diameter distribution of granules

由图4可见,R1中形成的颗粒污泥粒径主要分布在1.0~1.5mm之间,R2中颗粒污泥的粒径主要分布在0.5~1.0mm之间,说明在较短水力循环时间下形成的颗粒污泥要比在较长水力循环时间下形成的颗粒污泥粒径大.分析认为,在较短的水力循环时间下,微生物处于生物降解期的几率

高,此时微生物获得充足的营养底物,并且又有充足的氧气,微生物细胞生长繁殖速率快,产生大量的新生细胞,相应的颗粒污泥粒径增长速度较大,因此形成的颗粒粒径也较大.相反,在较长水力循环时间下,微生物处于好氧饥饿期的时间长,细胞比生长速率较低,因此生长繁殖速度缓慢,形成的颗粒污泥粒径较小.

2.4 成熟颗粒污泥的颗粒强度

当 R1、R2 中形成的颗粒污泥达成熟生长期后,取出部分颗粒污泥对其颗粒强度进行了测定^[5].污泥的完整性系数在一定程度上可表示颗粒污泥的强度,在摇床上容易破碎进入上清液的污泥量越大,污泥完整性系数越高,说明污泥颗粒强度越小.水力循环时间为 3,24h 时,形成的颗粒污泥完整性系数分别为 0.0953 ± 0.0002 、 0.1581 ± 0.0015 ,VSS 分别为 92.08%、83.92%.

在较短的水力循环时间里形成的颗粒污泥完整性系数小,因此强度较大,并且 VSS 所占污泥重量比率大,而在较长的水力循环时间里形成的颗粒污泥完整性系数大、强度小,VSS 所占微生物重量比率小.根据反应器中基质浓度变化分析,水力循环时间越短,微生物处于生物降解期的几率越高,则细菌处于高生长速率期的几率也越高.新生成的细胞数量越多,VSS 含量也就越高,并且细胞之间堆积越紧密,颗粒强度也就越大.而在好氧饥饿期,有机底物浓度较低,细菌比生长速率小,水力循环周期越长,微生物处于好氧饥饿期的时间越长,细菌处于低生长速率状态下的时间也越长.并且由于外部提供的能源物质少,微生物大量利用和分解细胞内部能量和自身细胞物质进行内源呼吸,细胞紧密度降低,因此形成的好氧颗粒污泥所含生物量较低,强度下降.

2.5 水力循环时间对颗粒污泥菌群形态的影响

对 R1 和 R2 中形成的成熟颗粒污泥进行 SEM 分析,结果如图 5 所示.

从图 5 可见,R1 中颗粒污泥内部主要以杆菌为主,而 R2 中颗粒污泥内部则主要为球菌,进一步说明由于水力循环时间不同,形成的菌群形态

有很大的差别,即微生物菌群生长受环境因素的影响很大.

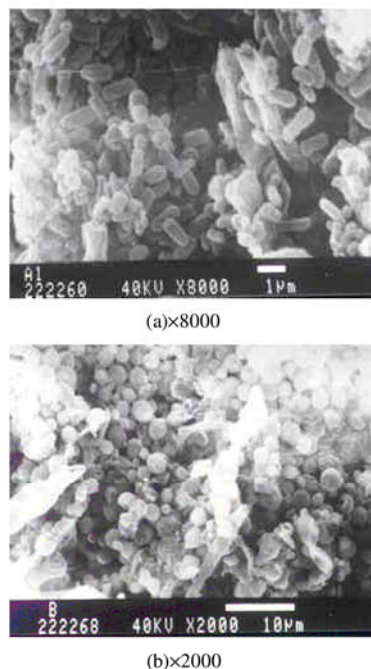


图 5 好氧颗粒污泥内部菌群形态
Fig.5 Bacteria configuration of granules
(a)R1 (b)R2

3 结论

3.1 在一定的水力循环时间范围内,IC-SBAR 中可以形成轮廓清晰、沉降性能良好的好氧颗粒污泥,其形成过程可以分为接种污泥适应期、颗粒污泥形成期和颗粒污泥成熟期.

3.2 反应器的一个水力循环周期可以分成生物降解期和好氧饥饿期2个连续的阶段.在生物降解期,微生物处于较高的基质浓度中,因此细菌比生长速率较大;而在好氧饥饿期,微生物处在较低的基质浓度中,细菌比生长速率较低.

3.3 水力循环时间对反应器中微生物生长繁殖有很大的影响.水力循环时间短,微生物处于生物降解期的几率高,细胞生长繁殖速度快,因此颗粒污泥中新生细胞数量多,有利于颗粒污泥粒径的增大,并且颗粒污泥内部可挥发性有机物含量和

颗粒强度较高;水力循环时间长,微生物处于较长时间的好氧饥饿期,细胞比生长速率小,因此形成的好氧颗粒污泥粒径小,颗粒污泥内含可挥发性有机物量低,强度差.

3.4 不同水力循环时间下形成的颗粒污泥内部菌群形态不同.短水力循环周期运行,颗粒污泥内部主要以杆菌占优势,长水力循环周期运行,颗粒污泥内部优势菌群为球菌.

参考文献:

- [1] 杨 麒,李小明,曾光明,等.SBR系统中同时硝化反硝化好氧颗粒污泥的培养 [J]. 环境科学,2003,24(4):94-99.
- [2] 阮文权,陈 坚.同步脱氮好氧颗粒污泥的特性及其反应过程

[J]. 中国环境科学,2003,23(4):380-384.

- [3] Moy B Y P, Tay J H, Toh S K, *et al.* High organic loading influence influences the physical characteristics of aerobic sludge granules [J]. Lett. Appl. Micro., 2002,34(6):407-412.
- [4] 国家环境保护局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法 [M]. 第3版. 北京:中国环境科学出版社, 1989.
- [5] Ghangrekar M M, Asolekar S R, Ranganathan K R, *et al.* Experience with UASB reactor start up under different operating condition [J]. Wat. Sci. Tech., 1996,34(5-6):421-428.
- [6] 李 军,杨秀山,彭永臻.微生物与水处理工程 [M]. 北京:化学工业出版社,2002.

作者简介:王 芳(1975-),女,新疆昌吉州人,大连理工大学在读博士生,主要研究方向为废水生物处理技术.发表论文 2 篇.