

SBR 反应器排水高度与直径比对污泥好氧颗粒化的影响

高景峰*,郭建秋,陈冉妮,苏 凯,彭永臻 (北京工业大学环境与能源工程学院,北京 100124)

摘要: 采用实际生活污水,在排水高度与直径比(H/D)分别为 1:1 和 5:1 的 SBR 反应器(编号分别为 A 和 B)中培养好氧颗粒污泥(AGS),考察 H/D 对污泥好氧颗粒化的影响.结果表明, B 反应器仅用 16d 便实现了污泥好氧颗粒化,而 A 反应器用了 36d 才实现污泥好氧颗粒化.2 个反应器均稳定运行了 612 个周期(204d),硝化效果良好.粒径分布、污泥形态观察结果表明, B 反应器中所形成的 AGS 比 A 反应器的粒径更大,结构更密实,更稳定,形态更规则. B 反应器的 AGS 多由球菌和杆菌组成,无丝状菌;而 A 反应器的 AGS 含有大量的丝状菌.在此基础上,探究了 H/D 、最小沉速、设计沉淀时间等因素之间的相关关系.

关键词: 好氧颗粒污泥; 最小沉速; 沉淀时间; 间歇式活性污泥法; 排水高度; 直径

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2008)06-0512-05

Influence of SBR drainage height and diameter ratio on aerobic sludge granulation. GAO Jing-feng*, GUO Jian-qiu, CHEN Ran-ni, SU Kai, PENG Yong-zhen (College of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China). *China Environmental Science*, 2008,28(6): 512~516

Abstract: In the sequencing batch reactor (SBR) of treating real domestic wastewater of the ratio of drainage height and diameter (H/D) being respectively 1:1 and 5:1 (named as A and B) aerobic granular sludge (AGS) was cultured, the H/D influence on aerobic sludge granulation was investigated. B reactor only used 16 days could realize aerobic sludge granulation, and A reactor used 36 days could realize the granulation. Both reactors were stably running 612 cycles (204 days). Nitrification effect was good. Particle size distribution, sludge morphology results showed that the AGS formed in B reactor was greater than the particle size of A reactor and structure was denser, more stable. AGS of B reactor comprised lots of cocci and bacilli, without filamentous bacteria; and AGS of A reactor contained great amount of filamentous bacteria. On this basis the relations among H/D , minimum settling velocity and design settling time were probed into.

Key words: aerobic granular sludge; minimum settling velocity; settling time; sequencing batch reactor; drainage height; diameter

好氧颗粒污泥(AGS)因优良的沉淀性能、较高的容积负荷、可大幅缩小反应器体积等优点而成为国内外污水生物处理领域的研究热点^[1-8].研究者培养 AGS 所用的 SBR 反应器形状不尽相同,主要体现在反应器的排水高度与直径比(H/D)上^[1-2,9].虽然 DHV 公司已将 AGS 工艺工程化^[10],但对低 H/D 的 SBR 反应器好氧污泥颗粒化的研究还较少.作者以生活污水为研究对象,选用 2 个不同 H/D 的 SBR 反应器培养 AGS,考察 H/D 对污泥好氧颗粒化的影响,为快速培养 AGS 提供依据.

1 材料和方法

1.1 接种污泥和试验用水

试验所用接种污泥取自北京市高碑店污水

处理厂二沉池.试验用水为北京工业大学家属区排放的生活污水,COD 为 200~300mg/L, NH_4^+-N 浓度为 60~80mg/L, $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 浓度为 4~5mg/L, pH 值为 7.4~7.8.

1.2 试验装置

试验采用 2 个不同的 SBR 反应器,编号分别为 A 和 B,反应器排水高度 H 分别为 18cm 和 45cm,内径 D 分别为 18cm 和 9cm, H/D 分别为 1:1 和 5:1,有效体积分别为 9.2L 和 5.8L,容积交换率均为 50%.采用鼓风曝气,用转子流量计调节并

收稿日期: 2007-11-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50508001);北京市教育委员会科技发展计划面上项目(KM200510005020)

* 责任作者, 副教授, gao.jingfeng@bjut.edu.cn

维持反应器内 DO 为 2~4mg/L,用温控仪和加热器调控水温为(20±1)℃. A 和 B 反应器的运行方式:每个周期进水时间均为 2min,曝气时间均为 7.5h,沉淀时间分别为 1~5min 和 3~6min,排水时间均为 2min.采用时间程序控制器自动控制各反应阶段的开关,每天 3 个周期.

1.3 分析项目及方法

SV、SVI、MLSS、MLVSS、COD、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N、NH₄⁺-N 和 PO₄³⁻-P 均按标准方法测定;采用 WTW Multi 340i 及相应传感器在线检测 DO、pH 值和 ORP.

采用 Olympus BX51 型光学显微镜及 Olympus DP71 型数码相机进行微生物相观察;AGS 经戊二醛-钼酸双固定、乙醇梯度脱水、乙酸异戊酯置换、临界点干燥、离子溅射喷金处理后,使用 FEI Quanta 200 进行扫描电镜(SEM)观察.

当污泥絮体粒径小于 500μm 时,采用马尔文激光粒度分析仪(MAF5001)进行粒度分析;粒径大于 500μm 时,采用湿筛分法^[11]进行粒度分析,所用不锈钢标准筛孔径分别为 0.3,0.6,0.8,1.0,1.5,2.0,2.5mm.

2 结果与讨论

2.1 试验结果

反应器连续运行 7 个月,共 612 周期.采用缩短沉淀时间的方法促进 AGS 的生成.从 AGS 的成长看,整个运行过程可分为 3 个阶段:AGS 筛选培养阶段、成长阶段和稳定维持阶段.沉淀时间依据出水效果、MLSS 等的变化及时调整.由于 A 反应器的 H/D 相对 B 反应器而言比较小,所以采取了不同的培养方式. A 反应器的沉淀时间在筛选培养阶段初期(第 5~16 周期)为 5~1min 梯度递减,随后(第 17~108 周期)保持 1min 或 2min 交替变化;在成长阶段(第 109~351 周期)保持在 2min;在稳定维持阶段(第 352~612 周期)保持在 3min.在筛选培养阶段(第 1~49 周期) B 反应器的沉淀时间为 6min;在成长阶段(第 50~375 周期)为 5, 4, 3min 梯度递减;在稳定维持阶段(第 376~612 周期)为 4min.

2.1.1 反应器出水水质 如图 1(a)所示,对 A 反应

器而言,对应着 AGS 形成的 3 个阶段,出水 NH₄⁺-N 含量经历了升高、降低、稳定 3 个阶段. A 反应器 AGS 的驯化阶段持续了 108 个周期,此阶段由于缩减沉淀时间的作用,反应器污泥量较小,出水 NH₄⁺-N 较高,最高达 6.78mg/L.在 AGS 成长阶段和稳定维持阶段,出水 NH₄⁺-N 始终在 1mg/L 左右.由图 1(b)可见,反应器 B 的出水浓度变化与 A 不同,由于其 H/D 较大(5:1),并且所设定的沉淀时间比较合适,出水 NH₄⁺-N 始终保持在 1mg/L 左右.与 A 反应器相比,B 反应器内 AGS 的培养更快速、更稳定、硝化能力更强.

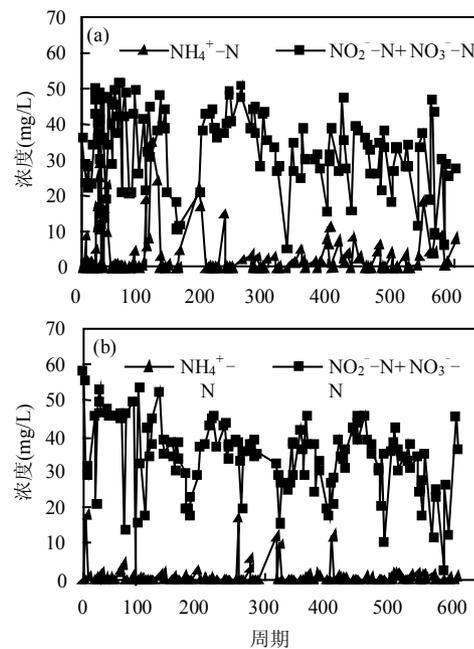


图 1 A 和 B 反应器出水水质

Fig.1 Changes of effluent ammonia, nitrite and nitrate concentrations with time in reactors A and B

(a)A 反应器 (b)B 反应器

2.1.2 AGS 粒度分布 污泥的粒径大小可以作为衡量污泥颗粒化进程的标准.图 2(a)中第 37, 85,108 周期和图 2(b)中的第 8, 49, 137 周期粒度分布采用激光粒度仪测得,为体积分数,其他周期采用湿筛分法测得,为质量分数.如图 2(a)所示, A 反应器连续运行 108 周期后,平均粒径大于 300μm, AGS 培养成功.随着反应器的稳定运行, AGS 逐渐成长.第 585 周期相对于第 442 周期而言,

AGS 的平均粒度变小,主要集中在 300~800 μm ,占 71.77%.其原因可能是 A 反应器 H/D 较小,颗粒在长期运行过程中发生部分破碎现象.

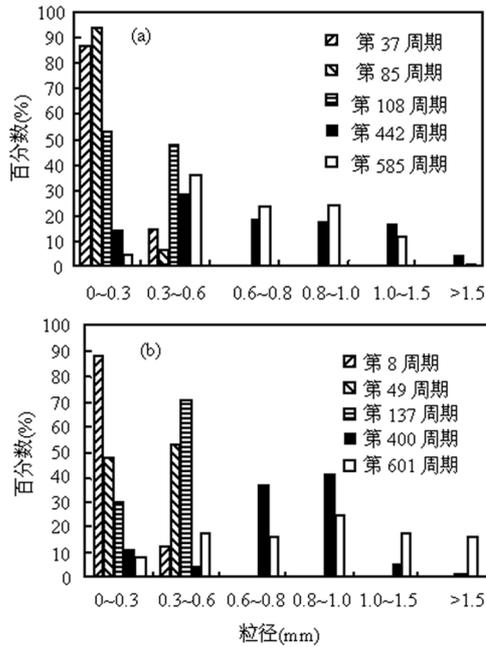


图2 A和B反应器AGS粒度分布
Fig.2 Particle size distribution of the activated sludge in reactors A and B
(a)A反应器 (b)B反应器

对B反应器而言,由图2(b)可见,经过49个周期的培养,大于300 μm 的污泥比例为52.81%,肉眼可见,AGS培养成功.到第137周期,大于300 μm 的污泥比例为70.20%.此后,AGS粒径整体不断增大,到第601周期,AGS粒径在持续增大的基础上,相对第400周期而言,各种规格大小的AGS均有,并且分布相对均匀.与A反应器的AGS培养过程不同,B反应器的AGS培养迅速,持续不断增长,并且没有出现颗粒破碎的现象.

2.1.3 污泥形态的变化 图3为第286周期AGS的SEM照片.由图3(a)可见,A反应器颗粒的形态多样化、不规则,不仅含有球状颗粒,还有条状、块状颗粒;污泥结构较为松散,大多有残缺.由图3(c)可见,B反应器中的AGS形状规则,结构密实(图中零散破碎的颗粒,是由于人工制作剖面时失

误造成的).A反应器中AGS的菌群是由大量的丝状菌夹杂着一些球菌、杆菌组成的[图3(b)].而B反应器AGS表面和内部丝状菌数量很少,绝大部分的菌种是球菌,也有一些杆菌[图3(d)].

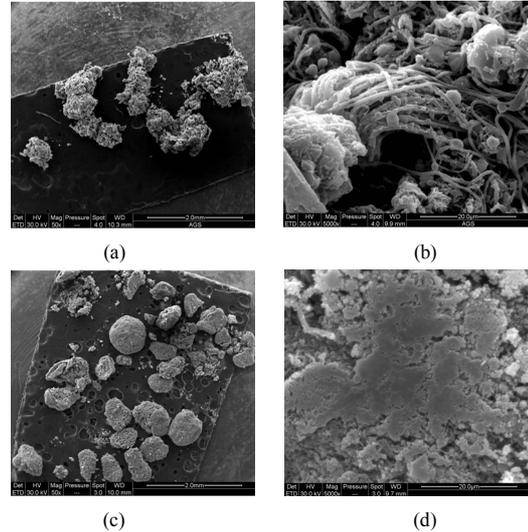


图3 AGS的SEM照片

Fig.3 SEM images of aerobic granules
(a)和(b)分别为A反应器中AGS的低倍($\times 50$)和高倍($\times 5000$)图像;(c)和(d)分别为B反应器中AGS的低倍($\times 50$)和高倍($\times 5000$)图像

2个反应器的接种污泥、底物基质完全相同,主要是反应器的 H/D 不同,这是造成所形成的AGS形态、内部菌种不同的主要原因.在圆柱形SBR反应器中,沿反应器的高为轴,气体或液体的螺旋形升流运动使菌胶团不断受到碰撞摩擦,最终促使菌胶团形成具有最小表面自由能的规则AGS.具有较大 H/D 的反应器,其螺旋流动轴较长,水力摩擦更有效,其AGS的形状更规则、结构更密实; H/D 较低的反应器则相反.

2.2 讨论

2.2.1 公式推导 在实际工程中设计水量是已知的,因此给定反应器交换体积(V),设定反应器排水高度为 H ,直径为 D .以沉淀时间培养AGS,实际上是通过沉速(v)来筛选沉速较大的微生物聚集体,设沉淀时间为 t_s ,排水时间为 t_d ,排水流量为 q ,按照式(1)定义培养AGS的最小沉速 v_{\min} .为快速有效培养AGS,推导了 t_s 和 v_{\min} , t_d, q 的表达式,探

讨论了 H/D 、 v_{\min} 、 t_s 、 t_d 和 q 之间的相关关系。

$$v_{\min} = \frac{H}{t_s + t_d} \quad (1)$$

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 H \quad (2)$$

$$t_d = \frac{V}{q} \quad (3)$$

由式(1)~式(3)得到:

$$t_s = \frac{H}{v_{\min}} - t_d = \frac{H}{v_{\min}} - \frac{\pi}{4q} D^2 H \quad (4)$$

2.2.2 H/D 、 t_s 和 v_{\min} 三者的关系 以 $V=21.195\text{m}^3$ 的圆柱形反应器为例,给定 $q=42.39\text{m}^3/\text{h}$, $t_d=0.5\text{h}$,由式(4)可见, t_s 取决于 H 、 D 、 q 和 v_{\min} .假定 t_d 不变,选择不同的 v_{\min} 和 H/D ,确定 t_s ,由图 4 可见,在选定某个 v_{\min} 的情况下, t_s 随 H/D 的增加而增加;对于某个 v_{\min} , H/D 有一个临界值,在这点, $t_s=0$,因此 H/D 要大于其临界值.在 H/D 已定的情况下,由式(4)可见, t_s 与 v_{\min} 呈反比, v_{\min} 有一个临界值,在这点, $t_s=0$.因此, v_{\min} 要小于其临界值. $t_s=0$ 这点说明,如若 H/D 小于其临界值或 v_{\min} 大于其临界值,则难以有效应用沉淀时间来筛选培养 AGS,在这种情况下,只能寻找其他方式培养 AGS^[12].

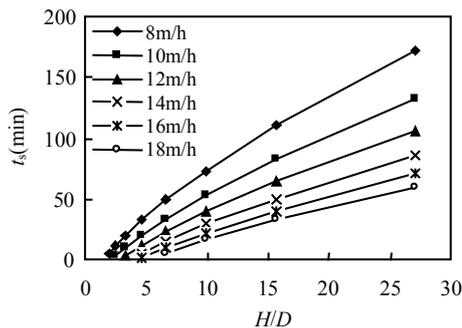


图 4 不同 v_{\min} 下 t_s 与 H/D 的相关关系
Fig.4 Relationship between t_s time and H/D for a desired v_{\min}

不同 H/D 条件下 v_{\min} 的临界值见图 5.由图 5 可见, H/D 越大, v_{\min} 的临界值也越大, v_{\min} 的选择范围也更大,更容易培养 AGS.

在现有 SBR(H/D 大于其临界值且 v_{\min} 小于其临界值)中培养 AGS,可以根据式(4)确定 t_s 、 t_d 和 q

的设计值.以 $D=3\text{m}$ 、 $H/D=1$ 、 $V=21.195\text{m}^3$ 的反应器为例,根据式(4), v_{\min} 为 $8\sim 18\text{m/h}$ (成功培养 AGS 的 v_{\min} 为 $10\sim 16\text{m/h}$ ^[2]), t_s 设定为 5min (一般小试成功培养 AGS 的 $t_s \leq 5\text{min}$ ^[4]), t_d 从 17.5min 降低至 5min , q 从 $1.21\text{m}^3/\text{min}$ 升至 $4.24\text{m}^3/\text{min}$.此例说明,只需增大排水泵的流量便可克服实际工程中 q 较小(t_d 较大)的问题.在 H/D 、 V 和 v_{\min} 一定的情况下, t_s 和 t_d 呈反比关系,为延长 t_d ,缩小排水能耗,可以在一定范围内($2\sim 5\text{min}$ ^[4])缩短 t_s .总之, H/D 大于其临界值且 v_{\min} 小于其临界值时,根据式(4)可以合理选择 v_{\min} 、 t_s 、 t_d 和 q ,达到在现有 SBR 中培养 AGS 的目的.

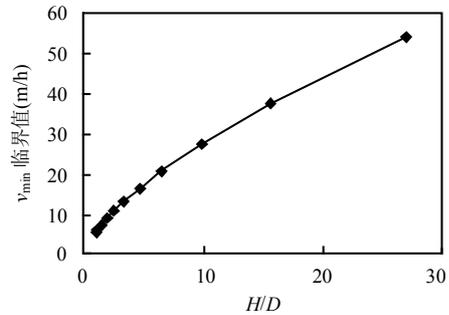


图 5 不同 H/D 条件下 v_{\min} 的临界值
Fig.5 Relationship between maximum value of v_{\min} and H/D

3 结论

3.1 在 2 个不同 H/D 的 SBR 反应器中接种普通絮状活性污泥,应用沉淀时间筛选培养 AGS. H/D 较大的 B 反应器仅用 49 周期(16d)便成功培养获得 AGS,而 H/D 较小的 A 反应器经历 108 个周期(36d)才培养获得 AGS. B 反应器中的 AGS 所占比例更多,并且形态相对更规则、结构更密实. A 反应器中的 AGS 是由大量的丝状菌夹杂着一些球菌、杆菌组成的.而 B 反应器中的 AGS 绝大部分是球菌,少量为杆菌,无丝状菌.

3.2 在 v_{\min} 确定的情况下, t_s 与 H/D 呈正相关关系, $t_s=0$ 时, H/D 有一个临界值, H/D 一定的情况下, $t_s=0$ 时, v_{\min} 有一个临界值;为快速培养 AGS, H/D 应该大于其临界值且 v_{\min} 小于其临界值. H/D 越大, v_{\min} 的选择范围也更大,更容易培养 AGS.

3.3 对 H/D 大于其临界值且 v_{\min} 小于其临界值的现有 SBR 反应器,在 H/D 、 V 和 v_{\min} 一定的情况下, t_s 和 t_d 呈反比关系,只需增大排水泵的流量便可以克服实际工程中 q 较小(t_d 较大)的问题,从而快速培养 AGS;对 H/D 小于其临界值或 v_{\min} 大于其临界值的 SBR 反应器,则难以有效应用沉淀时间来筛选培养 AGS,只能寻找其他方式培养 AGS.

参考文献:

- [1] Morgenroth E, Sherden T, Loosdrecht M C M, et al. Aerobic granular sludge in a sequencing batch reactor [J]. *Water Research*, 1997,31(12):3191-3194.
- [2] Beun J J, Loosdrecht M C M, Heijnen J J. Aerobic granulation in a sequencing batch airlift reactor [J]. *Water Research*, 2002, 36(3):702-712.
- [3] De Kreuk M K, Picioreanu C, Hosseini M, et al. Kinetic model of a granular sludge SBR: Influences on nutrient removal [J]. *Biotechnology and Bioengineering*, 2007,97(4):801-815.
- [4] McSwain B S, Irvine R L, Wilderer P A. The influence of settling time on the formation of aerobic granules [J]. *Water Science and Technology*, 2004,50(10):195-202.
- [5] Liu Y, Tay J H. State of the art of biogranulation technology for wastewater treatment [J]. *Biotechnology Advances*, 2004, 22(7): 533-563.
- [6] Zheng Y M, Yu H Q. Determination of the pore size distribution and porosity of aerobic granules using size-exclusion chromatography [J]. *Water Research*, 2007,41(1):39-46.
- [7] Xu H, Liu Y. Mechanisms of Cd^{2+} , Cu^{2+} and Ni^{2+} biosorption by aerobic granules [J]. *Separation and Purification Technology*, 2008,58(3):400-411.
- [8] Liu Y Q, Tay J H. Influence of starvation time on formation and stability of aerobic granules in sequencing batch reactors [J]. *Bioresource Technology*, 2008,99(5):980-985.
- [9] Qin L, Liu Y, Tay J H. Denitrification on poly- β -hydroxybutyrate in microbial granular sludge sequencing batch reactor [J]. *Water Research*, 2005,39(8):1503-1510.
- [10] De Bruin L M M, De Kreuk M K, Giesen A, et al. Biological wastewater treatment using aerobic granules-NeredaTM[A]. 2nd Workshop on aerobic granular sludge [C], TU Delft, the Netherlands, CD-ROM, 2006.
- [11] Laguna A, Ouattara A, Gonzalez R O, et al. A simple and low cost technique for determining the granulometry of upflow anaerobic sludge blanket reactor sludge [J]. *Water Science and Technology*, 1999,40(8):1-8.
- [12] 史晓慧,刘芳,刘虹,等.进料负荷调控培养好氧颗粒污泥的试验研究 [J]. *环境科学*, 2007,28(5):1026-1032.

作者简介: 高景峰(1974-),男,黑龙江大庆人,博士,副教授,主要从事水污染控制研究.发表论文 15 篇.

转基因玉米有可能损害河流生态

当前生物燃料正受到关注,有可能用它来代替部分化石燃料以减少温室气体排放.但是生产转基因玉米本身会产生是否影响生态的问题.

据美国科学院(NAS)新闻发布称,这一问题之所以重要,是因为生物燃料需求量大,将使转基因玉米大量增产,美国科学基金会(NSF)资助的一项研究报告(发表在 2007 年 10 月 8 日一期美国科学院院报上)称,一种最普通的转基因玉米(称作 Bt 玉米)会损害灌溉玉米地的河流生态,其损害的方式是管理人员以前没有考虑到的.这是第一个证据表明 Bt 玉米对昆虫的有毒物质会随河流输送较长距离,而这类昆虫是鱼类的食品.以前有些研究已表明 Bt 玉米的有些物质会伤害生活在土壤中的有益昆虫.

Bt 玉米在 1996 年被批准生产,转基因工程使其能生产一种抵抗害虫的毒物.现在 Bt 玉米约占全美国玉米种植面积的 35%,而且其产量还在增加.设在印第安纳州的圣母院大学副教授 Jenniler Tank 说:“总的来说,我们的研究集中在大量种植转基因作物可能产生的预料不到的影响上.还不知道水生生态系统会受到多大影响,可能取决于一些因素,如当前生态状况、农业实践和气候格局.”

NSF 的一名项目管理人员 James Raich 说:“用玉米大量生产乙醇增加了对玉米的需求.以前担心机械化农业会使河流富营养化,现在又增加了玉米有毒副产物进入河流和鱼类的问题.”

江 刚 摘自《Water Environment & Technology》January,8(2008)