

膜生物反应器中好氧颗粒污泥特性的变化

高方述¹, 彭松¹, 李秀芬², 堵国成²

(1.江苏宿迁市环境科学研究所,宿迁 223800; 2.江南大学生物工程学院环境生物技术研究室,无锡 214036)

摘要:探讨了好氧颗粒污泥膜生物反应器(Membrane Granular Sludge Bioreactor, MGSBR)处理模拟生活污水的可行性。结果表明:MGSBR 中好氧颗粒污泥的颜色有明显变化,外部形状变化不大;颗粒污泥平均粒径随反应器的运行趋于小粒径化,污泥的微观结构也发生了显著的变化。由于好氧颗粒污泥中菌体结合紧密,其 VSS/SS 和 OUR 变化幅度并不显著,但由于一定程度上受到了微生物代谢产物的积累的影响而落有所降低。

关键词:好氧颗粒污泥; 培养; MGSBR; 污泥特性

中图分类号:X132 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-6504(2006)09-0013-03

颗粒污泥与絮状污泥相比,最大的优点是具有形状规则、密度大、菌体结合紧密、良好的沉降性能、能忍受高的有机负荷、颗粒的直径较大、在废水生物处理中能迅速实现固液分离等,由此引发了研究者对好氧条件下获得颗粒污泥的兴趣^[1-2]。但到目前为止,相关的研究偏重于在SBR中好氧颗粒污泥的培养条件和理化性质等方面^[3-4]。有关MBR中好氧颗粒污泥运行特性的研究则鲜见报导。本研究以厌氧颗粒污泥作为接种污泥,在好氧条件下转化成好氧颗粒污泥,其在MGSBR中的特性的维持,直接关系到MGSBR处理污水的效果、运行的可行性和稳定性,最终影响到好氧颗粒污泥在膜生物反应器的实际应用。因此本文从好氧颗粒污泥的平均粒径、微观结构、好氧颗粒污泥活性等多项指标,研究好氧颗粒污泥在膜生物反应器中特性的变化,以确证MGSBR运行的效果及稳定性。

1 材料与方法

1.1 试验装置与运行方式

实验装置如图 1, MBR 曝气池的有效容积为 22L, 内置中空纤维膜组件 4 个, 膜组件为杭州浙大凯华膜技术有限公司生产的中空纤维微滤膜, 膜材质为聚丙烯, 孔径为 0.1 μ m, 每个膜组件有效膜面积为 0.5m², 生物反应器的池体为有机玻璃制成, 整个反应器为全自动控制, 操作方式为通过改变出水抽吸压力, 使膜通量维持在恒定值, 间歇出水(出水 10min, 停 5min)。

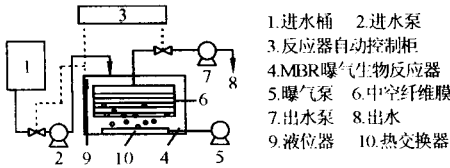


图1 MBR实验装置

1.2 实验用水

进水采用人工合成模拟生活废水,模拟生活废水组成见表 1 和表 2。

表 1 人工配水组成

组成	含量 (mg/L)	组成	含量 (mg/L)
葡萄糖	360±10	CaCl ₂	18
酵母膏	80±2.5	NaHCO ₃	24
KH ₂ PO ₄	14	MnSO ₄ ·7H ₂ O	6
MgSO ₄ ·7H ₂ O	24	FeSO ₄	0.3
NH ₄ Cl	60±2		

表 2 微量元素

组成	浓度 (μg/L)	组成	浓度 (μg/L)
H ₃ BO ₃	0.15	KI	0.03
CoCl ₂ ·6H ₂ O	0.15	MnCl ₂ ·2H ₂ O	0.12
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.03	Na ₂ Mo ₂ O ₇ ·2H ₂ O	0.06
FeCl ₃ ·6H ₂ O	1.5	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.12

1.3 MGSBR 的运行条件

在试验过程中采用恒定膜通量, 间歇抽吸(抽吸时间/停抽时间=10min/5min)的操作模式。随着运行时间的增加, 污染物在膜面的积累, 膜过滤压差会逐渐升高。当出水泵的转速达到最大时, 将膜取出, 先用清水将膜面上附着的污泥冲洗干净。在 2% HCl 溶液中浸泡 2h 去除膜表面及孔道内的无机污染, 然后用清水冲洗膜表面; 将膜浸泡在 5% NaClO 溶液中 4h 以上, 去除膜表面的有机污染物和附着的微生物; 再用清水洗去膜表面的残余碱液; 待膜的过滤性能恢复后, 再将其置入生物反应器内, 继续进行试验^[5], 反应器具体操作条件见表 3。

表 3 MGSBR 的操作条件

操作参数	操作条件	操作参数	操作条件
进水 COD(mg/L)	500~550	初始 DO (mg/L)	4.5
进水 NH ₄ ⁺ -N(mg/L)	50±10	膜通量[m ³ /(h·m ²)]	2.5
HRT(h)	4	pH	6.5~7.5
接种污泥浓度(g/L)	8±0.5	稳定污泥浓度(g/L)	15

1.4 试验分析项目和方法

SVI、DO、pH、MLVSS、MLSS 和 OUR 测定均参照标



准方法^[9],好氧颗粒污泥平均粒径的测定参照文献[7],胞外多聚物测定参照文献[8],好氧颗粒污泥的微观结构观察,扫描电子显微镜(江南大学分析测试中心)。

2 结果与讨论

2.1 MGSBR 中好氧颗粒污泥的颜色及形状

接种污泥为金黄色或黄色,呈椭球状或球状。MGSBR 运行过程中,定期取出反应器中的好氧颗粒污泥进行肉眼观察,结果发现,随着运行时间的延长,好氧颗粒污泥的颜色有明显变化,26天时,部分好氧颗粒污泥颜色变暗,至运行结束时,好氧颗粒污泥的颜色变得多种多样,主要有暗黄、灰白和米黄等,较小颗粒以黄色为主,较大颗粒则基本上为暗黄色,好氧颗粒污泥的外部形状没有明显变化,较大好氧颗粒污泥一般以椭球状为主,而较小好氧颗粒污泥则以球状居多。

2.2 好氧颗粒污泥平均粒径的变化

在反应器运行初期,好氧颗粒污泥粒度均匀,平均粒径为2.98mm,随着反应器的运行,MGSBR中颗粒污泥的平均粒径变小,由初始的2.98mm降至1.96mm,33天后污泥的平均粒径变化幅度很小,这说明好氧颗粒污泥在MGSBR中存在粒度保持问题,见图2。

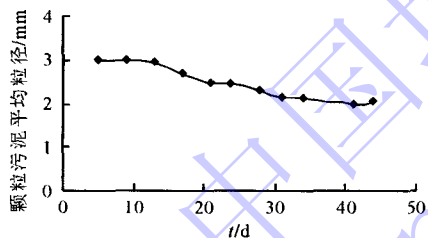


图2 MGSBR中好氧颗粒污泥平均粒径的变化

Liu 等^[2]认为,反应器中流体剪切力与颗粒污泥内细菌的生长和颗粒污泥表面细菌的脱落之间存在一定的关系,从而影响颗粒污泥的粒径;另外反应器中溶解氧的浓度、进水有机负荷等也都会影响颗粒的大小,张颖等^[9]研究也得到相同的结果,因此认为在 MGSBR 中好氧颗粒污泥粒径的减少可能与反应器中流体的剪切力有关,Nagaoka^[10]等研究也表明MBR 中膜面流速对絮状污泥颗粒分布有影响,因此认为,MGSBR 中流体剪切力是好氧颗粒污泥趋于小粒径化的主要原因。

2.3 MGSBR 中好氧颗粒污泥微生物相观察

图 3、4 分别为接种好氧颗粒污泥和 MGSBR 中好氧颗粒污泥的表面和内部的电镜照片。由图 3 可以看出,好氧颗粒污泥的表面结构较为疏松,大量的丝状菌分散生长,同时,在好氧颗粒污泥的表面有大量的原生动物存在,丝状菌在好氧颗粒污泥的表面相互缠绕,丝状菌的菌丝上可能存在大量的粘性物质,使大量的杆菌紧密地粘附在它的菌丝上,接种好氧颗粒污

泥内部以球菌为主,也有少量的短杆菌,菌体分布不均匀,空隙率较高,颗粒污泥的中心形成空洞。在其内部有大量的粘性固形物存在,并与菌体相连,这些物质可能为微生物的代谢产物。

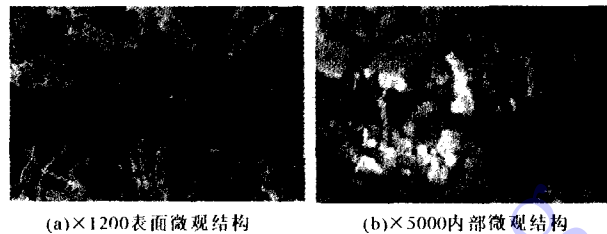


图3 好氧颗粒污泥微观结构的变化

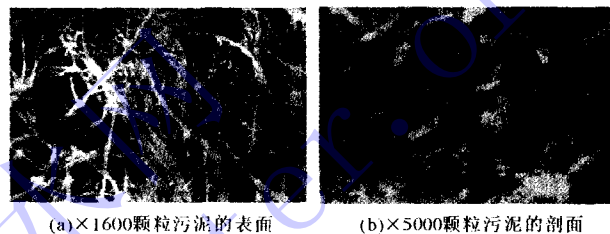


图4 MGSBR中好氧颗粒污泥的电镜照片

引入膜生物反应器后,好氧颗粒污泥中微生物结构发生了变化。从图 4 可以看出,膜颗粒污泥生物反应器中好氧颗粒污泥的表面微生物以丝状菌为主,其数量明显多于接种好氧颗粒污泥,这些丝状菌相互缠绕在一起,形成好氧颗粒污泥的骨架,并在颗粒污泥外围大量生长。好氧颗粒污泥表面的原生动物消失,部分菌丝上可清晰地看到有粘附大量的固体和粘液状物质,估计是胞外多聚物,其含量明显多于接种好氧颗粒污泥,一部分丝状菌的菌丝表面光滑,无杆菌粘附在菌丝上,这是由于反应器中胞外多聚物和溶解性有机物浓度增加,粘度上升,溶氧降低,导致部分丝状菌菌丝上粘附的杆菌死亡,在流体剪切力的作用而脱落。膜生物反应器中的好氧颗粒污泥内部以长杆菌为主,这些杆菌无规则分布在好氧颗粒污泥内部,好氧颗粒污泥内部除杆菌外,还存在大量的非微生物的物质存在,其数量明显多余接种污泥,这些可能是微生物的代谢产物和一些无机物质,在颗粒污泥的内部仍有“空洞”存在,无原生动物。

2.4 MGSBR 中颗粒污泥 VSS/SS 的变化

图5给出了MGSBR中颗粒污泥VSS/SS的变化趋势。由图5可以看出,好氧颗粒污泥的VSS/SS总体上呈缓慢降低的趋势,第5天好氧颗粒污泥的VSS/SS为0.91,表明此时好氧颗粒污泥中活性物质成分相对较高,至反应器运行终了时,VSS/SS降至0.83,但总体变化幅度很小。此试验结果表明,在MGSBR运行过程中,好氧颗粒污泥的活性物质成分随反应器的运行时间的延长而稍有所降低,惰性成分的含量略有增加,这是由



于MGSBR中好氧颗粒污泥泥龄的延长,污泥浓度高,从而造成反应器中营养匮乏,加剧了非活性有机成分的产生;另外,反应器中微生物代谢产物的积累影响了污泥的活性,从而导致VSS/SS降低,但由于好氧颗粒污泥中菌体结合紧密,使其受外界环境的影响较小。

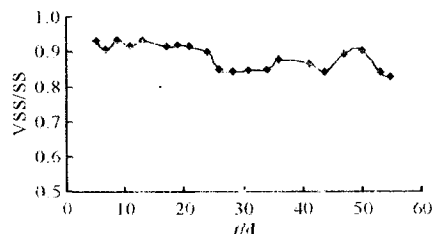


图5 MGSBR中好氧颗粒污泥VSS/SS的变化

2.5 MGSBR 中好氧颗粒污泥活性的变化

在废水好氧生物处理系统中,污泥的活性高低与其对污染物的去除效果密切相关。通常比耗氧速率(OUR)^[10]是评价污泥代谢活性的一个重要指标,在日常的污水处理中,生物污泥OUR值的大小及其变化趋势可指示处理系统负荷的变化情况,图6为MGSBR中污泥OUR的变化趋势。

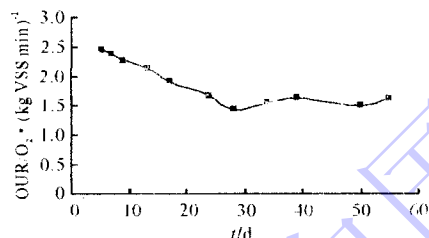


图6 MGSBR中好氧颗粒污泥OUR的变化

由图6可以看出,在膜生物反应器中好氧颗粒污泥的OUR总体上呈降低趋势,28天前好氧颗粒污泥的OUR降低相对较快,好氧颗粒污泥的OUR从第5天时的 $2.46 \text{ O}_2 / (\text{gVSS} \cdot \text{min})$ 降至 $1.62 \text{ O}_2 / (\text{gVSS} \cdot \text{min})$,这说明MGSBR中好氧颗粒污泥的活性随反应器运行时间的延长呈降低的变化趋势,但降低的趋势并不显著。

好氧颗粒污泥 OUR 的降低可能是 MGSBR 中大分子的微生物代谢产物因膜的截留作用而积累,在一定程度上引起反应器内污泥混合液的粘度升高,从而造成反应器中氧的浓度降低,传质阻力增加,影响了好氧颗粒污泥中微生物的呼吸速率,导致 OUR 下降;另一方面可能是由于在长的 SRT 条件下污泥浓度高,阻止了氧气和有机物基质在污泥内外的传递。但由于好氧颗粒污泥中菌体之间结合紧密,其协同作用较强,对环境的变化有较强的抵抗能力,从而导致 OUR 的降低趋势并不十分显著。

3 结论

(1)接种污泥为金黄色或黄色,呈椭球状和球状,随

MGSBR的运行,颗粒污泥的外部形状没有明显变化,较大颗粒一般以椭球状为主,而较小颗粒则以球状居多。至运行结束时,较小颗粒以黄色为主,较大颗粒则基本上为暗黄色,随运行时间的延长,MGSBR中好氧颗粒污泥浓度趋于小粒径化,颗粒污泥平均粒径变小。

(2)MGSBR 中好氧颗粒污泥微观结构发生了显著的变化,表面微生物仍以杆菌和丝状菌为主,但丝状菌的数量明显多于接种污泥,并在颗粒污泥外围大量生长,部分丝状菌菌丝表面光滑;另一部分菌丝上粘附大量的固体和粘液状物质,内部以长杆菌为主,也存在一定数量地丝状菌和一些非微生物的物质,原生动物消失。

(3)MGSBR中好氧颗粒污泥的VSS/SS从第5天的0.91降至反应器运行终了时的0.83。好氧颗粒污泥的OUR降低,从第5天时的 $2.46 \text{ mgO}_2 / (\text{gVSS} \cdot \text{min})$ 降至反应器运行结束时的 $1.62 \text{ mgO}_2 / (\text{gVSS} \cdot \text{min})$ 。好氧颗粒污泥由于自身结构紧密,对环境表现出良好的承受能力,从而其生物活性变化幅度较小。

【参考文献】

- [1] Belén Arrojo, Anuska Mosquera-Corral. Aerobic granulation with industrial wastewater in sequencing batch reactors[J]. Water Research, 2004, 38: 3389-3399.
- [2] Liu Y, Tay J H. The essential role of hydrodynamic shear force in the formation of biofilm and granular sludge[J]. Water Research, 2002,36:1653-1665.
- [3] Y Liu, K H Woon, S-F Yang, et al. Influence of phenol on cultures of acetate-fed aerobic granular sludge[J]. Letters in Applied Microbiology, 2002, 35: 162-165.
- [4] 陈坚,王强,堵国成. 好氧颗粒污泥的形成及其性质[J]. 无锡轻工大学学报, 2002, 21(3): 317-321.
- [5] C Wisniewski, A Grasmick. Floc size distribution in a membrane bioreactor and consequences for membrane fouling[J]. Colloids and Surfaces A: Physical Chemical and Engineering Aspects, 1998, 138: 403-411.
- [6] 宋仁元译. 美国公共卫生协会 美国自来水厂协会 水污染控制联合会编著. 水和废水标准分析方法(第15版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1985.
- [7] 王妍春,左剑恶,肖品华. EGSB 反应器内厌氧颗粒污泥性质的研究[J]. 中国沼气, 2002, 20(4):3-7.
- [8] Brown M J, Laser J N. Composition of bacterial extracellular polymers extraction methods[J]. Appl Environ Microbiol, 1980, 40 (2):179-185.
- [9] 张颖,任南琪,吴忆宁,等. 一体式 MBR 膜自身对有机污染物去除的强化作用[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2004, 36(2):147-153.
- [10] H Nagaoka, Yamanishi S, Miya A. Modeling of biofouling by extracellular polymers in a membrane separation active sludge system[J]. Wat.Sci. Tech, 1998, 38(4-5): 902-908.
- [11] 上海市环境保护局. 废水生化处理[M]. 同济大学出版社,1999.

(收稿 2005-10-08;修回 2005-12-04)