

IMBR 中污泥增殖动力学特征与温度的相关性研究

徐 微¹, 吕锡武¹, 詹 旭¹, 傅金祥²

(1. 东南大学环境工程系, 南京 210096; 2. 沈阳建筑大学市政与环境工程学院, 辽宁 沈阳 110168)

摘 要: 为研究混合液温度对 IMBR 污泥增殖动力学特征的影响规律, 进行了动态试验, 考察了 10、15、20、25、30、35 6 个温度条件下的动力学特征。研究结果表明: 本实验条件下, 温度对理论产率系数与衰减系数都有显著影响, 理论产率系数随温度的升高而降低, 理论产率系数与温度符合乘幂关系; 得到的衰减系数要高于普通的活性污泥法, 衰减系数与温度仍符合关系式 $K_t = K_{20} (t)^{(t-20)}$, 求得温度系数在传统活性污泥法的取值范围之内。

关键词: 膜生物反应器 (MBR); 温度; 理论产率系数; 衰减系数

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 1671-1556(2007)03-0061-04 *

Relativity of the Temperature of Mixed Liquid and Sludge Multiplication Dynamic Characteristics of IMBR

XU Wei¹, LU Xi-wu¹, ZHAN Xu¹, FU Jin-xiang²

(1. School of Environmental Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China; 2. School of Municipal and Environment Engineering, Shenyang University of Architecture, Shenyang 110168, China)

Abstract: For the aim of finding out how the temperature of mixed liquid affects the sludge multiplication dynamic characteristics of IMBR, a dynamic experiment was adopted to investigate the dynamic characteristics at the temperatures of 10, 15, 20, 25, 30, and 35 respectively. The result showed that the temperature has sufficient effect on theoretical product rate factor and subtractive factor. The theoretical product rate factor declines when the temperature rises, and the relation between them accords with the power in this experiment. The subtractive factors of all temperatures in this experiment are higher than those by traditional active sludge techniques, and the relationship between subtractive factor and temperature can be described with the following formula: $K_t = K_{20} (t)^{(t-20)}$, with the temperature t factor in the range of tradition active sludge techniques.

Key words: MBR; temperature; theoretical product rate factor; subtractive factor

0 引 言

膜生物反应器 (MBR) 是用膜组件代替传统活性污泥法中的二沉池, 进行高效的固液分离, 克服了传统工艺中出水水质不够稳定、容易发生污泥膨胀的不足, 具有很大的优越性。在 MBR 中由于膜的截留作用, 使系统具有污泥停留时间长、污泥负荷低、容积负荷高等特点, 并能实现水力停留时间与污

泥龄的完全分离, 因此膜生物反应器中的污泥增殖动力学特征有别于传统生物处理的动力学特征, 据此许多研究者开展了 MBR 动力学研究。温度是影响微生物生命活动的一个重要的环境因子, 国内外有关温度对一体式膜生物反应器 (IMBR) 增殖动力学特征影响的研究尚不多见^[1,2]。笔者以动态模拟试验为基础, 探讨了混合液温度 IMBR 中污泥增殖动力学特征的影响规律, 为 IMBR 工艺的应用及深入研究提供参考。

* 收稿日期: 2006-11-08 修回日期: 2006-12-11

作者简介: 徐 微 (1977—), 女, 博士研究生, 主要从事水处理理论与技术研究。E-mail: xuwei981@sina.com

1 试验方法及材料

1.1 试验方法

采用动态模拟试验,考察了 10、15、20、25、30、35 6 个温度条件下的污泥增殖动力学特征。为了加快试验进程,采用两套装置同时进行。试验过程中根据原水温度的季节性变化,采用加热的方式来保持温度的恒定,例如当原水温度小于 15,便可通过加热方式将温度控制在 15,具体方式为采用加热装置与温控仪联合工作,由温控仪控制加热棒的启闭,控制误差为 ± 0.5 。试验为恒流量出水,采用不排泥的运行方式,每个温度条件下的起始污泥浓度都控制在 6.0~6.1 g/L 范围,水力停留时间都为 2.8 h,气水比为 40:1,因此不同试验阶段的污泥增殖动力学特征主要受料液温度的影响。

1.2 试验装置

试验原理及流程如图 1 所示,试验操作压力控制在 94 080~94 472 Pa。生物反应器部分由圆形有机玻璃制造,直径 16 cm,柱高 100 cm,有效容积 13 L。膜组件为聚偏氟乙烯(PVDF)中空纤维膜。膜孔径 0.2 μm ,膜过滤面积为 1.0 m^2 。

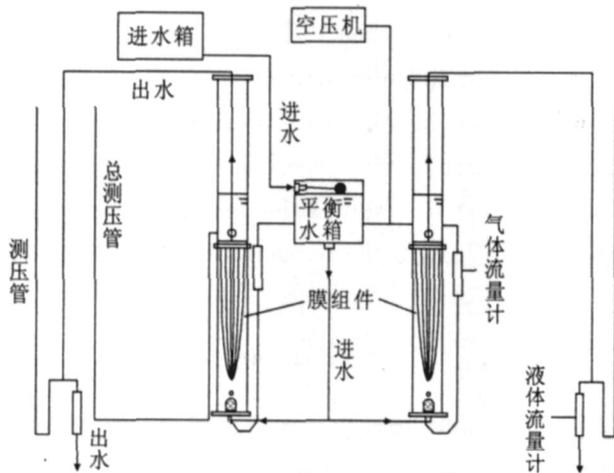


图 1 实验装置

Fig. 1 The experiment device

1.3 试验原水及污泥

为保持原水水质稳定,便于定量分析,研究采用人工配水来模拟生活污水,具体配水方案如表 1 所示。

配制的原水 COD 为 350~380 mg/L,污泥取自沈阳北部水处理厂二沉池,由于该厂进水水质与本实验模拟水质相似,所以仅经过 2~3 d 驯化,便可

表 1 实验原水的配制

Table 1 The raw water

药品	浓度/(mg·L ⁻¹)	药品	浓度/(mg·L ⁻¹)
工业葡萄糖	400	硫酸镁	1
氯化钙	0.8	硫酸铁	微量
磷酸二氢钾	7.32	氯化铜	微量
尿素	25	氯化钴	微量
氯化铂	微量		

正常启动。实验过程中污泥浓度的变化范围为 6.0~8.0 g/L;污泥负荷在 0.42~0.56 kgCOD/kgVSS,普遍低于传统活性污泥法,实验过程的最高污泥负荷值 0.56 kgCOD/kgVSS,也仅是略高于传统活性污泥法中污泥负荷范围的下限(0.50 kgCOD/VSS),因此本实验条件充分体现了 MBR 污泥负荷低这一重要特点,使实验结论具有一定代表性。

2 污泥增殖动力学模型及参数的求解

2.1 污泥增殖动力学模型

污泥增殖的基本动力学模型为

$$\frac{dX}{dt} = Y_G \left(\frac{dS}{dt} \right)_u - KX \quad (1)$$

式中: Y_G 为理论产率系数; X 为反应器内的污泥浓度(mg/L); $\frac{dX}{dt}$ 为反应器中活性污泥浓度(MLVSS)

的时间变化(mg/L·d); $\left(\frac{dS}{dt} \right)_u$ 为活性污泥微生物对有机底质的降解速率(mg/L·d); K 为污泥衰减系数(d^{-1})

由式(1)可以看出,理论产率系数 Y_G 和污泥衰减系数 K 是污泥增殖动力学模型的两个关键参数,因此笔者将通过这两个参数来反映 IMBR 中的污泥增殖动力学特征。

2.2 污泥增殖动力学参数的求解方法

膜生物反应器工艺物料衡算见图 2 所示。

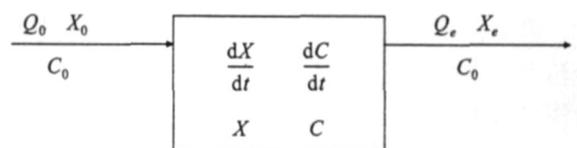


图 2 膜生物反应器工艺物料衡算简图

Fig. 2 The materiel equation in MBR

如图 2 所示,对反应器中有机底质进行物料平衡:

$$Q_0 C_0 - V R_0 = V \frac{dC}{dt} + Q_e C_e \quad (2)$$

对反应器中活性污泥进行物料平衡:

$$Q_0 X_0 + V R_g = V \frac{dX}{dt} + Q_e X_e \quad (3)$$

式中: Q_0 为进水流量(L/d); X_0 为进水中微生物浓度(mg/L); C_0 为进水中有机基质浓度(mg/L); V 为反应器容积(L); X 为反应器中微生物浓度(mg/L); C 为反应器中有机基质浓度(mg/L); $\frac{dX}{dt}$ 为反应器中活性污泥微生物浓度的时间变化(mg/L·d); $\frac{dC}{dt}$ 为反应器中有机基质浓度的时间变化(mg/L·d); Q_e 为出水流量(L/d); X_e 为出水中微生物浓度(mg/L); C_e 为出水中有机基质浓度(mg/L); R_0 为有机底物降解速率(mg/L·d); R_g 为污泥增殖速率(mg/L·d)。

由于运行过程中没有排泥,即

$$Q_0 = Q_e$$

假定 $X_0 = X_e = 0$

由(1)(2)(3)式得

$$R_0 = \frac{C_0 - C_e}{HRT} - \frac{dC}{dt}$$

$$R_g = \frac{dX}{dt}$$

所以污泥表观产率系数 $Y = \frac{R_g}{R_0}$, 污泥比增长速度

$\mu = \frac{R_g}{X}$, 可由实验数据计算得出(HRT 为水力停留时间)。

又有模型^[3]: $\frac{1}{Y} = \frac{1}{Y_G} + \frac{K}{Y_G \mu} \quad (4)$

对 $\frac{1}{Y}$ 与 $\frac{1}{\mu}$ 作线性回归, 根据直线的斜率与截距便可求出理论产率系数 Y_G 和污泥衰减系数 K 。

3 实验结果与讨论

利用上述求解方法, 结合试验数据, 对 6 个温度条件下的污泥增殖动力学参数进行了求解, 求解结果如表 2 所示。

表 2 活性污泥动力学参数求解结果

Table 2 The dynamic parameters in temperatures

温度/ °C	理论产率系数	衰减系数
10	0.73	0.061
15	0.56	0.075
20	0.41	0.09
25	0.35	0.111
30	0.32	0.137
35	0.300	0.150

3.1 理论产率系数与温度的关系

本实验条件下, 求得各温度下的理论产率系数与衰减系数见表 2。实验发现, 在其他条件相同或相似的情况下, 理论产率系数随温度的升高而降低, 如图 3 所示。目前还没有理论产率系数与温度关系的理论模型或成熟的经验公式, 笔者仅用统计学方法给出理论产率系数与温度的统计关系, 为进一步的研究提供参考。对理论产率系数与温度的关系分别做线性、对数、乘幂、指数回归分析, 发现乘幂关系的相关系数最大, 其平方值为 $R^2 = 0.9844$, 因此认为本实验条件下, 产率系数与温度符合乘幂关系。

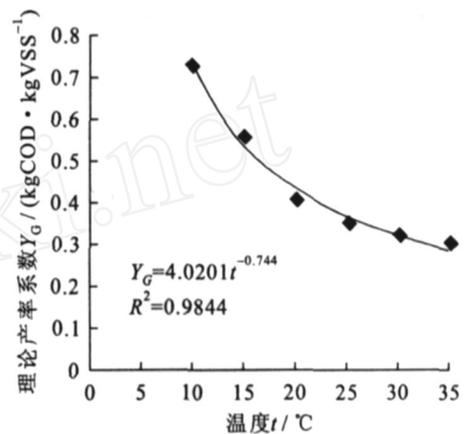


图 3 理论产率系数与温度关系

Fig. 3 The relationship between theoretical product rate and temperature

有关理论产率系数与温度的关系的报道及论述很少, 对于上述实验结果, 也只是尝试性的探讨。理论产率系数 Y_G 是降解单位量有机物微生物增殖总量, 没有去除由于微生物内源呼吸作用而使其自身质量消亡的那一部分。微生物消耗掉的有机物一部分用于产生微生物生命活动所需的能量, 另一部分用于合成新的细胞, 参考文献[4]中给出前一部分所占的比例约为 1/3, 而实际上用于能量代谢与用于合成代谢的两部分有机物的比例会随环境因素不同而有所差异。理论产率系数 Y_G 与这一比例有关, 如果用于能量代谢的有机物比例较大, 则 Y_G 较小, 反之 Y_G 较大。由于温度升高会加速新陈代谢, 微生物生命活动消耗的能量会因温度升高有所增加, 从而用于产能代谢的有机物比例增大, 使得用于合成代谢的有机物减少, Y_G 随之减小。

传统活性污泥法在 30 °C 条件下理论产率系数的变化范围为 0.4 ~ 0.6 kgCOD/kgVSS^[1], 笔者研究得到的 30 °C 条件下的理论产率系数为 0.32 kgCOD/kgVSS, 要低于传统活性污泥法的产率系

数范围,这主要是因为实验中控制的污泥负荷低于传统活性污泥法,这与以往许多研究中得到的结论是一致的。随着温度的降低,尽管污泥负荷仍然较低,但理论产率系数却有明显增加,到10℃时已达到0.73 kgCOD/kgVSS,由此说明,温度对理论产率系数的影响是较为显著的。

3.2 衰减系数与温度的关系

普通活性污泥法的衰减系数在0.070~0.075之间,本实验条件下得到的衰减系数要高于普通的活性污泥法,桂萍等在其研究中也得到过相同的结论^[5]。衰减系数与膜生物反应器的氧转移效率有关,氧转移效率越高衰减系数越大。由于微生物对有机物的代谢及膜面形成的错流使得MBR中的供氧量高于传统活性污泥法,因此衰减系数要高于普通活性污泥法^[6]。

参考文献[4]中给出传统活性污泥法衰减系数与温度的关系为

$$K_t = K_{20} (\theta)^{(t-20)} \quad (5)$$

式中: t 为温度变量; K_t 、 K_{20} 分别为 t 、20℃的衰减系数; θ 为温度系数,传统活性污泥法中取值1.02~1.06。

对(5)式两边取自然对数可得

$$\ln(K_t) = \ln(\theta)t + \ln(K_{20}) - 20 \ln(\theta) \quad (6)$$

即 $\ln(K_t)$ 与 t 呈线性关系。为验证IMBR中衰减系数与温度是否符合关系式(5),笔者对 $\ln(K_t)$ - t 做线性回归,结果如图4所示。图4表明 $\ln(K_t)$

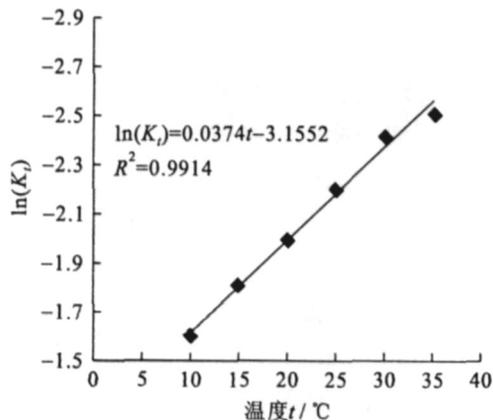


图4 $\ln(K_t)$ 与温度的关系

Fig. 4 The relationship between subtractive rate and temperature

与 t 具有较显著的线性关系,对回归结果做进一步整理得: $K_t = K_{20} (1.041)^{(t-20)}$,即本实验条件下衰减系数与温度仍符合关系式(5),温度系数 θ 取值为1.041,也在传统活性污泥法的取值范围之内。

4 结 论

(1) 温度对理论产率系数与衰减系数都有显著影响。

(2) 从微生物生理学角度分析了温度对理论产率系数的影响机理,实验结果表明理论产率系数随温度的升高而降低,本实验条件下,产率系数与温度符合乘幂关系。

(3) 本实验条件下得到的衰减系数要高于普通的活性污泥法,其衰减系数与温度仍符合关系式 $K_t = K_{20} (\theta)^{(t-20)}$,求得温度系数 θ 取值为1.041,在传统活性污泥法的取值范围之内。

参考文献:

- [1] Chiemchaisri, C., K. Yamamoto. Performance of membrane separation bioreactor at various temperature for domestic wastewater treatment[J]. *J Mem. Sci.*, 1994, 87: 119 - 129.
- [2] 傅金祥,徐微,苏锦明,等. 温度对IMBR污水处理效果的影响研究[J]. 沈阳建筑工程学院学报(自然科学版), 2004, 20(3): 211 - 214.
- [3] 顾夏声. 废水生物处理的数学模式[M]. 北京:清华大学出版社, 1993.
- [4] 张自杰. 排水工程[M]. 北京:中国建筑出版社, 1999.
- [5] 桂萍,黄霞,汪成文,等. 膜-复合式生物反应器组合系统操作条件及稳定条件[J]. 环境科学, 1998, 19(2): 35 - 38.
- [6] 顾国维,何义亮. 膜生物反应器在污水处理中的研究和应用[M]. 北京:化学工业出版社, 2002.

通讯作者:吕锡武(1954—),男,教授,主要从事水处理理论与技术研究。E-mail:lxwseu@yahoo.com.cn