

乙酸钠为碳源时进水 COD 和总磷对生物除磷的影响

阮文权, 邹华, 陈坚* (江南大学工业生物技术教育部重点实验室, 无锡 214036, E-mail: jchen@wxuli.edu.cn)

摘要: 研究了乙酸钠为碳源时, 乙酸盐和总磷浓度对循序间歇式生物除磷工艺运行效果的影响, 以及含高浓度乙酸盐废水不能有效除磷的原因. 结果表明: $COD < 600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 随着 COD/TP 值的增大, 总磷去除率提高, $COD/TP < 50$ 时, 磷的去除率提高显著, 但当 $COD/TP > 50$ 时, 磷的去除变化不大; 进水乙酸盐浓度过高 ($COD > 600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 使除磷效率逐渐下降, $COD > 1000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 会使生物除磷系统完全崩溃; 研究发现除磷效率的下降是由于过多的乙酸盐从厌氧段进入了好氧段, 引起丝状菌的增殖、污泥膨胀, 导致聚磷菌被洗出.

关键词: 生物除磷; 乙酸盐; 污泥膨胀; 洗出

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2002)03-04-0049

Effect of the COD and Total Phosphorus Concentration on Biological Phosphorus Removal Supplied with Acetate as a Sole Carbon Source

Ruan Wenquan, Zou Hua, Chen Jian (Key Laboratory of Industrial Biotechnology, Ministry of Education, Southen Yangtze University, Wuxi, 214036, China E-mail: jchen@wxuli.edu.cn)

Abstract: The effect of the concentration of acetate and total phosphorus on biological phosphorus removal process in sequencing batch reactor fed with sodium acetate (as sole carbon source) was studied in this paper. The reason of the inefficiency of phosphorus removal by sludge fed with high concentration acetate solution was analyzed. The results indicated that when $COD < 600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ the phosphorus removal increased with the increase of COD/TP ; and this removal increased obviously when $COD/TP < 50$ but not when $COD/TP > 50$. The phosphorus removal descended at high acetate concentration ($COD > 600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) and broke down when $COD > 1000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. It is the transmissions of high acetate concentration from the anaerobic stage to the aerobic stage that led to the proliferation of the filamentous microorganism and the expansion of sludge, then polyP bacteria was wash out, which resulted in the drop of phosphorus removal.

Keywords: biological phosphorus removal; acetate; sludge expansion; washout

废水生物除磷工艺是一项高效低能耗的废水处理技术, 它能在有效去除废水中有机污染物的同时起到除磷效果, 受到人们的普遍重视. 在生物除磷中, 进水性质不同必然会对活性污泥中生物种类、活性产生影响^[1], 从而造成除磷效果的差异. COD/P 比值上升, 磷的去除率提高^[2]. Siebritz 等的实验结果表明, 磷的去除和污水中快速降解 COD 的浓度密切相关. Chiesa 等学者报道了进水磷浓度和负荷对磷的去除有一定影响.

乙酸盐是刺激和达到过量生物除磷的最佳底物^[3,4]. 含高浓度的乙酸盐和磷的工业废水应

可用过量生物除磷系统进行处理. 但实际情况是, 这些废水无论在全规模的污水处理厂还是在实验室规模的生物除磷系统中都难以有效地进行生物除磷. 本文的目的是研究乙酸钠为碳源时, 乙酸盐浓度和总磷浓度对循序间歇式 (SBR) 生物除磷工艺运行效果的影响, 以及含高浓度乙酸盐废水不能有效进行生物除磷的原因, 为生物除磷的实际操作运行提供依据.

1 实验材料与方法

基金项目: 教育部骨干教师科研项目

作者简介: 阮文权 (1976~), 男, 江苏无锡人, 博士研究生.

收稿日期: 2001-06-03; 修订日期: 2001-07-06

* 联系人

1.1 实验装置

循序间歇式反应器(SBR)有效体积为 2 L;一个循环为 7.5 h,厌氧 2.5 h,好氧 4 h,沉降 0.5 h,排水、进水 0.5 h.接种污泥为取自无锡芦村污水处理厂,经驯化有过量除磷效果的活性污泥.厌氧时进行搅拌以使污泥悬浮,用空气泵鼓入空气达到好氧条件.实验温度 25℃,泥龄 10 d,MLSS 3.96 g·L⁻¹.进水采用人工合成模拟废水^[5](表 1 和表 2):COD 500 mg·L⁻¹;NH₃⁺-N 40 mg·L⁻¹;PO₄³⁻-P 15 mg·L⁻¹;pH 7.0.

表 1 模拟废水成分/ mg·L⁻¹

Table 1 Components of the synthetic wastewater			
基质名称	浓度	基质名称	浓度
Na Ac	500	CaCl ₂	10.6
NH ₄ Cl	153	酵母浸膏	1
KH ₂ PO ₄	66	微量元素液	0.6 mL
MgCl ₂	34.8		

表 2 微量元素液组成/ g·L⁻¹

Table 2 Components of the trace element mixture			
组成	含量	组成	含量
FeCl ₃	0.90044	KI	0.18
H ₃ BO ₃	0.15	MnCl ₂ ·4 H ₂ O	0.06
CoCl ₂ ·7 H ₂ O	0.15	Na ₂ MoO ₄ ·2 H ₂ O	0.06
CuSO ₄ ·5 H ₂ O	0.03	ZnSO ₄ ·7 H ₂ O	0.12

1.2 实验方法

(1) 取好氧段结束后的混合液,7000r/min 离心 20 min,沉淀污泥用纯水洗 2 次.加入不同进水 COD/TP 比例的模拟废水,测定进水、出水的 COD 和 TP 观察除磷效果.

(2) 同上洗涤污泥后,改变进水的碳源(乙酸钠)浓度,观察碳源浓度对除磷效果的影响.

1.3 测定方法

COD: 采用 5B1 型 COD 快速测定仪测定; TP: 采用钼锑抗分光光度法测定^[6]; MLSS: 采用重量法测定^[6]; SVI: 采用标准方法测定

$$\left| \frac{SV_{30}}{m} \right|$$

2 实验结果与讨论

2.1 不同 COD/TP 比例对除磷效果的影响

图 1 为进水 COD 440 mg·L⁻¹,NH₃⁺-N 40 mg·L⁻¹时碳磷比对除磷的影响.由图 1 可知:当 COD/TP 为 20~50,随着碳磷比的增加,总磷的去除率呈线性上升.磷的去除效率从 COD/TP 为 20 时的 32.3% 提高到 COD/TP 为 50 时的 85.2%,但当 COD/TP 超过 50 后磷的去除效率提高有限,至 COD/TP 达 60 后总磷的去除率稳定,维持在 95% 左右.说明当 COD/TP 值增大至一定程度时,与溶液中磷的含量相比,有机底物含量相对充足,而磷却处于相对缺乏的状态,几乎能够被完全除去(出水总磷 < 1 mg·L⁻¹),故磷的去除率不再因 COD/TP 的增大而增大.

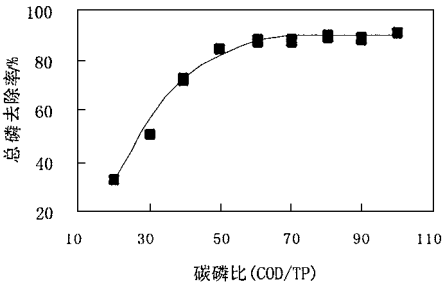


图 1 碳磷比对除磷效果的影响

Fig.1 Effect of influent COD/TP ratio on phosphorus removal

2.2 碳源浓度对除磷效果的影响

为了进一步了解碳源浓度对除磷效果的影响,固定实验中进水的总磷浓度 12.9 mg·L⁻¹,改变进水 COD 的浓度.不同 COD 进水条件下总磷的去除率及 COD 的去除量和总磷去除量的关系见图 2.

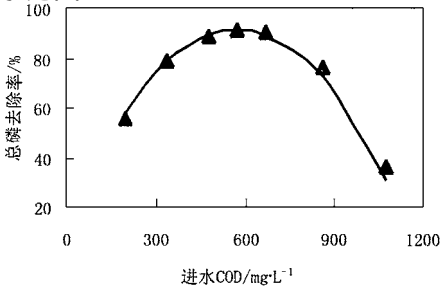


图 2 进水 COD 对除磷效果的影响

Fig.2 Effect of influent COD on phosphorus removal

图 2 为进水总磷恒定为 $12.9\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, COD 浓度变化对除磷效果的影响.从图 2 可见,进水 COD 在小于 $575\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,随着 COD 的增加,磷的去除率也迅速上升;当进水 COD 为 $575\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时达到顶峰,磷的去除率达 91 % 以上.但随着进水 COD 继续增加,除磷率则迅速下降,进水 COD $>1000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时磷的去除率跌至 30 % 左右,不存在过量生物除磷现象.这说明即使是其合适的底物,生物过量除磷的机制也会达到饱和,而被过量的底物所抑制.

进一步分析了 2 种不同进水 COD 浓度 ($500\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $800\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 时 COD 和总磷的变化情况.实验结果见图 3 和图 4,2 实验进水的总磷浓度 ($11\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 及其它条件相同.在进水 COD 为 $500\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时(图 3),厌氧段 COD 迅速从 $500\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 降至 $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,在随后的好氧段 COD 稍有下降,最终出水为 $35\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.进水 COD 为 $800\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时(图 4),厌氧段 COD 也迅速下降,但进入好氧段时 COD 仍高达 $216\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,在随后的好氧段,开始 COD 也有较大的下降,在 COD 降至 $55\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 后下降就不再明显,最终出水为 $52\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.另由图 3 可见,进水 COD 为 $500\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,溶液中的总磷含量在厌氧段从 $11\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 上升至 $35.3\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,在随后的好氧段总磷含量从 $35.3\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 迅速降至 $0.9\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,整个过程磷的去除率达 91.8 %.而进水 COD 为 $800\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时(图 4),厌氧段溶液中的总磷含量从 $11\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 上升至 $39\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,磷的释放量略大于前者;在随后的好氧段总磷含量降至最终的 $4\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,去除率仅为 64 %,且磷的吸收速度相对前者较慢.表 3 为不同进水 COD 浓度情况下,生物除磷系统中不同阶段的 COD 浓度(表中只列出了有代表性的进水 COD 分别为 300, 500,800,1000 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时的 4 种情况).发现进水 COD 浓度过高会导致进入好氧段的 COD 浓度偏高,但最终出水的 COD 浓度却没有多大差别.以上结果表明:①进水 COD 浓度过高时虽然系统的除磷效果下降,但整个系统的 COD 去除率却不受影响,污泥仍能有效地去除 COD.

②除磷效率的下降与进入好氧段的废水中 COD(乙酸盐) 的浓度有密切关系,进入好氧段的 COD(乙酸盐) 浓度过高,则除磷效率下降.对污泥进行镜检发现 COD(乙酸盐) 浓度过高、除磷效率低的污泥中有丝状菌生长. COD(乙酸盐) 浓度越高(COD $>600\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时),除磷效率越低,污泥中丝状菌的生长量也越多.

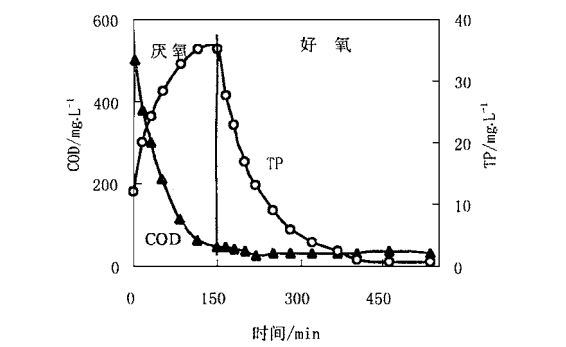


图 3 COD 和 TP 的变化
Fig.3 Variation of COD and TP

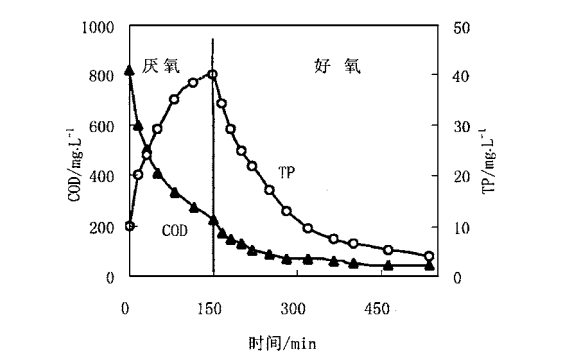


图 4 COD 和 TP 的变化
Fig.4 Variation of COD and TP

表 3 不同阶段的 COD 浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$				
Table 3 COD at different stage				
进水	300	500	800	1000
厌氧末	41	50	216	293
出水	33	35	52	50

2.3 高浓度乙酸盐废水对生物除磷系统的影响

为了更进一步了解进水 COD 浓度过高引起除磷效果下降的原因,进行了以下实验:控制

进水 COD 浓度为 $500\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,待有稳定的除磷效果后 ,增加进水 COD 浓度为 $800\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,测定期间总磷去除率的变化(见图 5) .结果表明 ,除磷效果逐渐下降 ,而不是突然崩溃 .也就是说 ,是由于除磷菌从污泥中被洗出导致了除磷效率的下降 .与其它好氧菌相比聚磷菌是一类生长缓慢的微生物^[7] ,它之所以能在厌氧和好氧系统中占优势 ,与其能够合成聚磷酸盐及储存与分解 PHA 有关 .在厌氧条件下 ,聚磷菌虽然不能从外界获得能量 ,但可以分解体内的聚磷酸盐来获得能量以维持正常的生理活动并吸收有机物合成 PHA 储存于体内 ;在好氧条件

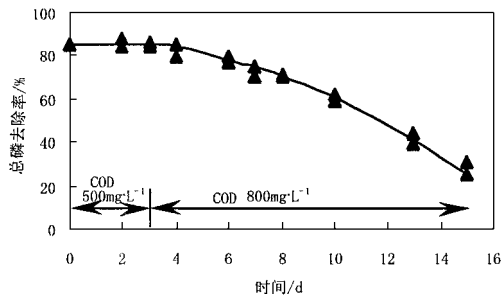


图 5 COD $800\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时磷去除率的变化

Fig. 5 Variation of phosphorus removal by adding $800\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ influent COD

下 ,聚磷菌能在外界可获得的营养物质很少的情况下 ,分解体内的 PHA 获得能量而生长繁殖 .因此 ,同不聚磷的微生物相比 ,聚磷菌更能适应厌氧和好氧交替的环境而成为优势菌群 .但在好氧条件下聚磷菌在与非聚磷菌对食料 (有机物) 的竞争中处于劣势 .因此 ,相对于聚磷菌而言 ,过高的乙酸盐含量 ,特别是好氧段有机物 (COD) 含量过高将更有利于非聚磷菌的生长 ,而聚磷菌则易洗出 .由于除磷菌逐渐洗出 ,随着除磷菌数量的下降 ,除磷效率逐渐下降 ,但只要除磷菌存在于系统中 ,就有除磷作用 .此实验中 S VI 从开始的 $65\text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$ 上升至第 15 天

的 $450\text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$,且污泥沉降性变差 .说明丝状菌增殖引起了污泥膨胀 .因此 ,是进水 COD (乙酸盐) 浓度过高 ,在厌氧段不能被充分利用 ,而进入好氧段使丝状菌增殖 ,除磷菌被洗出而导致了总磷去除效果的下降 .

3 结论

(1) 在以乙酸钠为碳源时 ,COD/ TP < 50 时 ,比例增大 ,磷的去除率显著提高 ,但当 COD/ TP > 50 时 ,继续增大比例 ,磷的去除变化很小 .

(2) 乙酸盐浓度增大 (COD > $600\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 使除磷效率下降 ,浓度过高 (COD > $1000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 会使生物除磷系统完全崩溃 ,但有机物 (COD) 的去除不受影响 .

(3) 除磷效率下降是由于过高的乙酸盐浓度 ,从厌氧段进入了好氧段 ,引起丝状菌的增殖 ,污泥膨胀 ,导致聚磷菌被洗出 .

参考文献 :

- 1 许晓英等 .活性污泥生物除磷机制及其影响因素 .农业环境与发展 ,1994 ,41(3) :25 ~ 28 .
- 2 Stall T R , Sheward J H . Effect of wastewater composition and cell residence time on phosphorus removal in activated sludge . J. Wat. Pollut. Control Fed. , 1976 ,48(2) :307 ~ 322 .
- 3 Lotter L H . The role of bacterial phosphate metabolism in enhanced phosphorus removal from the activated sludge process . Wat. Sci. Tech . , 1985 ,17(1) :127 ~ 139 .
- 4 Abur Ghararah Z H , Randall C W . The effect of organic compounds on biological phosphorus removal . Wat. Sci. Tech . , 1991 ,23(2) :585 ~ 596 .
- 5 Che Ok Jeon , Jong Moon Park . Enhanced biological phosphorus removal in a sequencing batch reactor supplied with glucose as a sole carbon source . Wat. Res. , 2000 ,34(7) :2160 ~ 2170 .
- 6 国家环保局等 .水和废水监测分析方法 .第三版 .北京 :中国环境科学出版社 ,1989 .103 ~ 104 ,280 ~ 285 .
- 7 T Mino , M C M Van Loosdrecht , J J Heijnen . Microbiology and biochemistry of the enhanced biological phosphate removal process . Wat. Res. , 1998 ,32(11) :3193 ~ 3207 .