

# 甲醇和乙醇对 SBR 单级好氧生物除磷的影响研究

邓莹<sup>1</sup>,王冬波<sup>1</sup>,李小明<sup>1,2\*</sup>,杨帆<sup>1</sup>,杨麒<sup>1</sup>,莫创荣<sup>2</sup>,曾光明<sup>1</sup>(1.湖南大学环境科学与工程学院,国家环境生物技术重点实验室,湖南长沙 410082; 2.广西大学环境学院,广西 南宁 530004)

**摘要:** 分别以甲醇(SBR1<sup>#</sup>)和乙醇(SBR2<sup>#</sup>)作为碳源,研究了其对单级好氧生物除磷的影响.结果表明,稳定运行条件下,SBR1<sup>#</sup>磷的平均去除量为 6.56mg/L,平均去除率为 52.63%.SBR2<sup>#</sup>中磷的平均去除量为 11.22mg/L,去除率为 90.34%. SBR1<sup>#</sup>和 SBR2<sup>#</sup>一个周期运行中好氧吸磷速率分别为 1.62mg/(g·h)(以  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  计)和 5.31mg/(g·h)(以  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  计),其中 SBR2<sup>#</sup>出水磷的浓度低于检出限,SBR2<sup>#</sup>的储能物质总累积量比 SBR1<sup>#</sup>多.相比之下,乙醇是作为除磷碳源效果较好.静置期,由于 SBR2<sup>#</sup>中聚磷菌生物活性较 SBR1<sup>#</sup>高,代谢旺盛,其释磷量高于 SBR1<sup>#</sup>.

**关键词:** SBR; 单级好氧工艺; 生物除磷; 乙醇; 甲醇

中图分类号: X703 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2011)08-1268-06

**Effects of methanol and ethanol on biological phosphorus removal in sequencing batch reactor with single-stage oxidic process.** DENG Ying<sup>1</sup>, WANG Dong-bo<sup>1</sup>, LI Xiao-ming<sup>1, 2\*</sup>, YANG Fan<sup>1</sup>, YANG Qi<sup>1</sup>, MO Chuang-rong, ZENG Guang-ming (1.Key Laboratory of Environmental Biology and Pollution Control, College of Environmental Science and Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China; 2.College of Environmental, Guangxi University, Nanning 530004, China). *China Environmental Science*, 2011,31(8): 1268~1273

**Abstract:** The research carried out methanol(for SBR1<sup>#</sup>) and ethanol (for SBR2<sup>#</sup>) as the sole carbon source, and investigated the effects of them on the efficiencies of biological phosphorus removal in the single-stage oxidic process, respectively. The results showed that the average phosphorus removal contents and its efficiencies respectively reached at 6.56 mg/L, 52.63% in SBR1<sup>#</sup> and 11.22mg/L, 90.34% in SBR2<sup>#</sup> during the steady-state operation. For a typical SBR cycle, within aerobic period, the phosphate uptake rates could reach 1.62 and 5.31mg $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}/(\text{gVSS}\cdot\text{h})$  in SBR1<sup>#</sup> and SBR2<sup>#</sup>, respectively. In addition, the effluent phosphate concentration in SBR2<sup>#</sup> was below the detection limit. And the internal storage compounds were higher in SBR2<sup>#</sup> than that in SBR1<sup>#</sup> during a cycle. The results suggested ethanol as a carbon source seemed to be better for biological phosphorus removal in biological phosphorus removal system. During the idle period, more phosphorus was found to be released in SBR2<sup>#</sup> than that in SBR1<sup>#</sup> as more poly-P was degraded, due to the higher activity of PAOs in SBR2<sup>#</sup>.

**Key words:** SBR; single-stage oxidic process; biological phosphorus removal; ethanol; methanol

在污水处理工艺研究中,厌氧条件一直以来被认为是实现生物除磷的首要前提条件<sup>[1-2]</sup>,在厌氧条件下,聚磷菌(PAO)分解体内聚磷和糖原,为合成聚- $\beta$ -羟基链烷酯酸(PHA)提供还原力,此时 PHA 大量增多;好氧条件下,PHA 迅速氧化分解,过量吸收污水中的磷酸盐储存为胞内聚磷,同时进行糖原合成.由于其好氧吸磷的量远大于厌氧释磷的量,因此可以通过将富磷生物体作为剩余污泥排放,从而达到去除污水中磷元素的目的<sup>[3]</sup>.

已报道的可以被 EBPR(强化生物除磷工艺)污泥摄取的碳源种类并不多,不同碳源对 PAO 和

GAO(聚糖菌)的竞争均有影响,而研究主要集中在挥发性脂肪酸(VFAs),大多数研究 EBPR 代谢的以乙酸作为主要碳源<sup>[4]</sup>.

当废水中有机碳源(特别是 VFAs)充足时,系统基本能实现较好的除磷效率.然而,若废水中所获得的碳源不足以用来去除 N、P 时,就需外加碳源,乙酸、丙酸等 VFAs 类已被成功地应用于生

收稿日期: 2010-11-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51078128);湖南省研究生科研创新项目(CX2009B079)

\* 责任作者, 教授, xmli@hnu.cn

物除磷<sup>[5,9]</sup>,从经济的角度讲,VFAs 并不是一种经济的碳源,而醇类作为一种廉价易得的碳源近年来也得到了研究<sup>[10-11]</sup>,Puig 等<sup>[11]</sup>研究发现在 A/O 工艺中,以乙醇作为碳源,P 有较高的去除率,甚至与乙酸、丙酸的去除率相当.而甲醇是常用的众多的脱氮的碳源之一,但其在除磷系统中,效果并不佳.

本课题组及陈光秀等<sup>[12-14]</sup>的前期研究发现,SBR 单级好氧能达到良好的生物除磷效果.同时,本课题组后期的研究中,以葡萄糖作为唯一碳源的反应器中其 TP 的去除率高达 95%以上,以乙酸钠为碳源时 SBR 单级好氧工艺对磷也有一定去除<sup>[15]</sup>,说明 SBR 单级好氧对碳源的依赖性并不十分明显,进而开发的生物除磷工艺可能具有更好的稳定性与适应性.然而,当废水中有机碳源缺乏时,此工艺是否也能通过投加廉价的碳源来恢复除磷效果尚不清楚.为此,本实验旨在研究甲醇和乙醇作为 VFAs 与糖类的可替代碳源对 SBR 单级好氧生物除磷的效果,以丰富 SBR 单级好氧生物除磷的碳源类型,为其日后的应用提供依据.

1 材料与方法

1.1 活性污泥和合成废水

接种活性污泥取自长沙市第二污水处理厂,最初反应器中接种活性污泥浓度约为 4000mg/L 左右.进水采用合成废水,用 NaHCO<sub>3</sub> 和 0.5mol/L HCl 调节 pH 在 7.0~8.0,2 个反应器中保持碳元素的投加量相等(约 15mmol/L),其他进水成分及浓度均相同:磷酸盐(11.5~12.8mg/L);氯化铵(30mg/L);硫酸镁(10mg/L);氯化钙(5mg/L);微量元素(0.1mL),微量元素主要成分及浓度见文献[16]所述.实验运行时添加少量金属螯合剂和硝化抑制剂用以排除金属磷以及硝化作用对试验的影响.

1.2 SBR 反应器的稳定运行参数

实验在两个相同的 SBR(分别称为 SBR1<sup>#</sup>、SBR2<sup>#</sup>)中进行,SBR1<sup>#</sup>以甲醇为碳源,SBR2<sup>#</sup>以乙醇为碳源,其他的进水成分相同.SBR 采用有机玻璃制作,直径为 12cm,高约 25cm,总体积 2L,有效体积约为 1.8L.实验运行方式如下:进水→曝气

(4h)→沉淀出水(15min)→闲置(225min),每天运行 3 个周期.好氧采用鼓风曝气,曝气开始时 DO 浓度为 6~7.5mg/L 左右,在沉淀结束时两反应器均排水约 1L,污泥停留时间(SRT)均控制在 20d 左右.

1.3 分析方法

总磷(TP):钼锑抗分光光度法<sup>[17]</sup>;混合液悬浮固体(MLSS)与混合液挥发性悬浮固体(MLVSS):重量法<sup>[17]</sup>;COD:微波消解滴定法<sup>[17]</sup>;糖原质:苯酚-硫酸法<sup>[18]</sup>;PHA:气相色谱法<sup>[19-20]</sup>(色谱仪型号为安捷伦 6890N 色谱分析仪);污泥中磷含量:能谱分析法(FEI QUANT A200 型 SEM).

2 结果与分析

2.1 运行期间的除磷效果

SBR1<sup>#</sup>、SBR2<sup>#</sup>在运行过程中(69d)的除磷性能分别如图 1、图 2 所示.由图 1、图 2 可见,从第 49 天开始,SBR1<sup>#</sup>中磷的去除率基本稳定,出水磷的浓度为 4~5mg/L,去除率在 60%上下波动,而第 25d 开始 SBR2<sup>#</sup>中出水磷的浓度就基本低于检测下限.由此可见,乙醇的去除效果很好,相比之下,甲醇的除磷效果不如乙醇好.

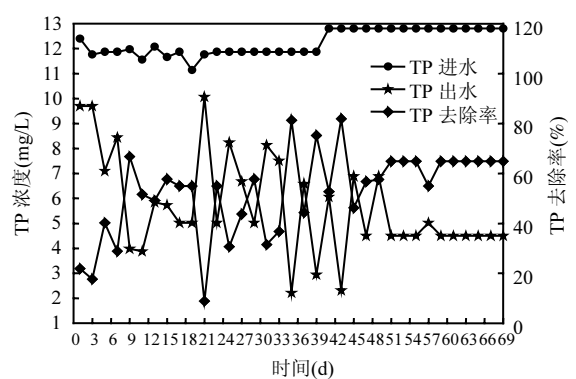


图 1 SBR1<sup>#</sup>稳定运行中 TP 去除情况  
Fig.1 Removal of TP in SBR1<sup>#</sup> during steady-state operation

表 1 列出了稳定运行中,SBR1<sup>#</sup>和 SBR2<sup>#</sup>的一些参数的结果比较.由表 1 可知,原始污泥中磷的质量分数为 1.12%,经 69d 驯化后,甲醇污泥含磷的质量分数为 2.13%;乙醇驯化后的污泥的含

磷质量分数为 5.63%.可见驯化后,磷都有一定富集,而 SBR2<sup>#</sup>中磷的聚积量较大,磷的含量约为驯化前普通污泥的 5.2 倍.SBR1<sup>#</sup>中 MLVSS/MLSS 从驯化前的 0.87 变到驯化后的 0.84,SBR2<sup>#</sup>中 MLVSS/MLSS 驯化前为 0.86,驯化后为 0.75.乙醇驯化后的 MLVSS/MLSS 的低比值说明 SBR2<sup>#</sup>中微生物体内形成的聚磷较 SBR1<sup>#</sup>中微生物多.69d 的运行中,SBR1<sup>#</sup>磷的平均去除量为 6.56mg/L,平均去除率为 52.63%.SBR2<sup>#</sup>磷的平均去除量 11.22mg/L,去除率为 90.34%.可见的 SBR2<sup>#</sup>的去磷效果好于 SBR1<sup>#</sup>.

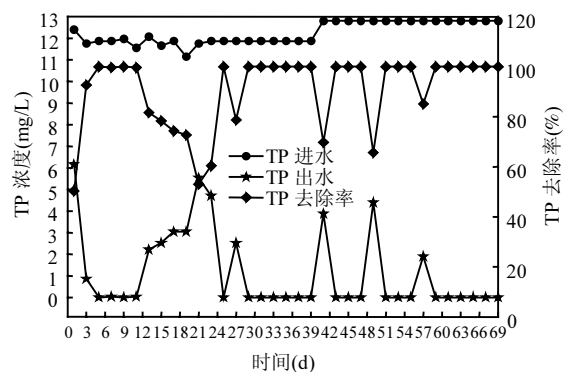


图 2 SBR2<sup>#</sup>稳定运行中 TP 去除情况

Fig.2 Removal of TP in SBR2<sup>#</sup> during steady-state operation

表 1 2 个反应器稳定运行中各参数的比较

Table 1 The comparison of parameters in two reactors during steady-state operation

| 指标          | SBR1 <sup>#</sup> (甲醇) |       |       | SBR2 <sup>#</sup> (乙醇) |       |      |
|-------------|------------------------|-------|-------|------------------------|-------|------|
|             | 原始污泥                   | 驯化后污泥 | 平均值   | 原始污泥                   | 驯化后污泥 | 平均值  |
| 含磷量(W%)     | 1.12                   | 2.13  | /     | 1.12                   | 5.63  | /    |
| MLVSS(mg/L) | 4136                   | 3620  | 3708  | 4008                   | 3864  | 3706 |
| MLVSS/MLSS  | 0.87                   | 0.84  | 0.848 | 0.86                   | 0.75  | 0.82 |

此外,甲醇的波动较大,驯化期较长,去除效果也不佳,而乙醇驯化期相对较短,且去除效果很好,驯化稳定后去除率高达 100%.在第 21d 时,SBR1<sup>#</sup>和 SBR2<sup>#</sup>的去除效果都突然变差,具体成因尚不清楚,推测可能是由于气温陡然降低十几度所致.

2.2 典型周期内 TP、COD、糖原质及 PHA 的

变化

聚磷菌的新陈代谢与可用 COD、聚磷酸盐 (poly-P)、糖原和 PHA 有密切的关系.图 3、图 4 反映了典型周期内 COD、PHA、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P/VSS 及糖原.

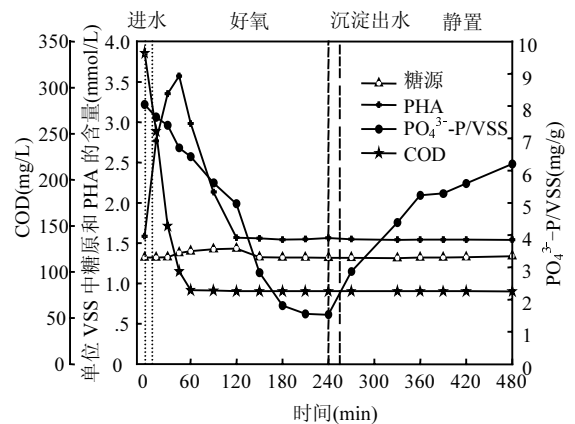


图 3 SBR1<sup>#</sup>典型周期内 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P/VSS、COD、糖原质与 PHA 的变化

Fig.3 Variations of PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P/VSS, COD and sludge glycogen as well as sludge PHA during one cycle in SBR1<sup>#</sup>

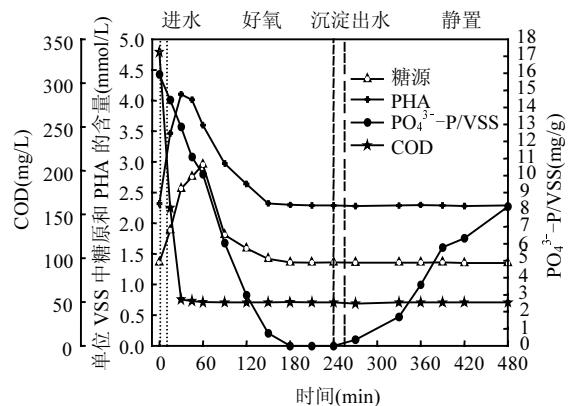


图 4 SBR2<sup>#</sup>典型周期内 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P/VSS、COD、糖原质与 PHA 的变化

Fig.4 Variations of PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P/VSS, COD and sludge glycogen as well as sludge PHA during one cycle in SBR2<sup>#</sup>

由图 3、图 4 可知,SBR1<sup>#</sup>内 COD 在曝气开始的 60min 后基本维持不变,降解速度约为 172.6mg/L.h(以 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P 计),SBR2<sup>#</sup>内可用 COD

在曝气开始 30min 后基本消耗掉,降解速度为  $570\text{mg}/(\text{L}\cdot\text{h})$ (以  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  计).对比可得,在 SBR 单级好氧除磷系统中,乙醇的代谢比甲醇快且充分. COD 降解的同时伴随微生物体内的 PHA 和糖原积累.

SBR1<sup>#</sup>在好氧的 4h 内磷的平均吸收速率为  $1.62\text{mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$ (以  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  计);SBR2<sup>#</sup>中磷在好氧前 3h 内被吸收完,其平均吸收速率  $5.31\text{mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$ (以  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  计),而 Puig 等<sup>[11]</sup>在 A/O 工艺中以乙醇作为外加碳源时的研究时,用乙醇为碳源驯化了 30d 的污泥对磷的吸收仅为  $1.5\text{mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$ (以  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  计),驯化了 140d 污泥对磷的吸收为  $7.0\text{mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$ (以  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  计),可见本研究单级好氧工艺中以乙醇作为碳源磷的去除效果与 AO 工艺中去除效果相当,甚至与一向被认为除磷效果很好的乙酸和丙酸的除磷率(81%~97%)相当<sup>[5-6]</sup>.

静置期内两系统 DO 均较低,有明显的释磷现象,可见此静置阶段相当于 AO 工艺的厌氧段,SBR1<sup>#</sup>和 SBR2<sup>#</sup>均有明显的释磷现象,其释磷速率分别为  $1.18\text{mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$ (以  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  计)和  $2.04\text{mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$ (以  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  计).

比较可得,SBR2<sup>#</sup>内 P 的吸收和释放均比 SBR1<sup>#</sup>显著,SBR2<sup>#</sup>的能源物质储存量也远大于 SBR1<sup>#</sup>(SBR1<sup>#</sup>和 SBR2<sup>#</sup>储能物质累积量分别为  $1.896\text{mmol}/\text{g}$ , $3.419\text{mmol}/\text{g}$ ).

### 3 讨论

磷在活性污泥中以 3 种形式存在:生物磷、物理化学沉淀的磷和聚磷<sup>[21]</sup>.由于 2 个反应器的 pH 值控制在 7.0~8.0 之间,因此不存在化学沉淀除去磷的情况.根据生化原理,假设全部进入生化降解过程,以 COD 与微生物摄磷量比为 200:1 计,仅需消耗磷  $1.5\text{mg}/\text{L}$  左右,本研究中磷的进水浓度约为  $13\text{mg}/\text{L}$ ,根据物料平衡原理,剩下约  $11.5\text{mg}/\text{L}$  的磷以聚磷的形式存在,所以表明磷是以聚磷的形式在聚磷菌体内贮存.

本实验中,运行条件相同,甲醇和乙醇进水碳元素的量也相等(约为  $15\text{mmol}/\text{L}$ ),但除磷效果差别却很大.

以醇类作为碳源,在好氧条件下,两者分别是

在醇脱氢酶(MDH/ADH)的作用下脱去两个氢原子,甲醇转化为甲醛,乙醇转化为乙醛<sup>[22]</sup>.随后在下一级的氧化反应,即分别在醛脱氢酶的作用下(MLDH/ALDH)转化为甲酸和乙酸,之后两者乙酰化转化成乙酰辅酶 A,其具体的代谢转化途径见图 5.

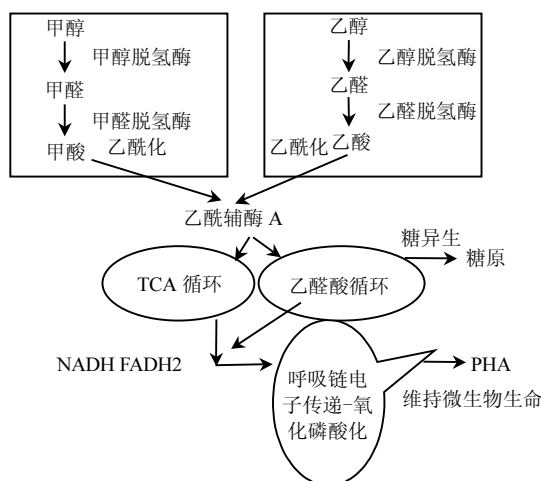


图 5 甲醇/乙醇代谢示意

Fig.5 The sketch of methanol and ethanol metabolic pathway

Abu-ghararah 等<sup>[23]</sup>研究表明,不同碳原子数的 VFA 加入有着不同的除磷效果,其效果取决于碳原子数量以及支链有机酸的结构.甲酸作为碳源加入到除磷系统引起了厌氧释磷和好氧吸磷的减少,除磷效果不理想.而乙酸一直以来都被认为是比较理想的除磷碳源<sup>[2,8,23]</sup>.而甲醇会转化为甲酸,乙醇转化为乙酸,这可以从一方面解释甲醇除磷效果不如乙醇的原因.而至于为何甲酸会引起释磷和吸磷的减少还有待进一步的研究.

另一方面由 2.2 所述可知,SBR2<sup>#</sup>中磷的高吸收和释放量均反映 SBR2<sup>#</sup>中 PAO 的含量较高,代谢旺盛,对磷的吸收较多,而静止期,需要更多的聚磷分解来满足 PAO 生长的需要.相比之下 SBR1<sup>#</sup>的吸收和释放量都较小,COD 吸收率较低,PAO 对甲醇的吸收不理想,从而 PAO 代谢缓慢净增长少,不能通过剩余污泥的排除达到好的除磷效果.同时本研究中外源呼吸期磷的下降并不明显,而 PHA 和糖原含量明显上升,说明外源

呼吸期产生的能量主要用于内源物质的贮存,而内源呼吸期磷的去除较快,说明聚磷合成所需的能量主要由 PHA 和糖原等内源物质提供,这也与文献[15]研究一致.SBR1<sup>#</sup>没有较多的外源物质转化为内源物质,从而 SBR1<sup>#</sup>的糖原和 PHA 贮存量均小于 SBR2<sup>#</sup>,到内源呼吸期,SBR1<sup>#</sup>聚磷合成所需的能量也不如 SBR2<sup>#</sup>多.而 Maurer 等<sup>[24]</sup>研究表明,聚磷的合成受到可利用的 ATP 的限制,每合成 1mol 聚磷需要 1.2molATP,而 SBR2<sup>#</sup>可供降解产生 ATP 的贮能物质的量远大于 SBR1<sup>#</sup>,从而使得其有在内源呼吸期有更多的能量用于合成聚磷,而实现了磷的高去除率.本研究小组目前正在致力于甲醇和乙醇驯化出的 PAO 的鉴定,以其更完善单级好氧生物除磷工艺.

国家《污水综合排放标准》<sup>[25]</sup>的一级标准规定磷的浓度不能超过 0.5mg/L,对磷的要求相当严格,而本实验中磷的进水浓度(约 12.8mg/L)比一般城市污水中磷的浓度还大<sup>[21]</sup>(5~7.5mg/L),以乙醇为碳源的反应器磷的出水浓度基本低于检出限.

而在过去的生物除磷研究中<sup>[2,9]</sup>,以乙酸、丙酸等 VFAs 类作为碳源的较多,而以醇类作为研究对象的很少.本研究中,以甲醇、乙醇作为碳源旨在扩展 SBR 单级好氧生物除磷系统中碳源的种类,如前 2.2 所述其去除效果与 VFAs 相当,同时在考虑作外加碳源时,醇类比 VFAs 价廉且易获得.在需要投加外加碳源或是处理乙醇含量高的废水时,可以考虑乙醇作为生物除磷的一种廉价易得补充碳源,也可以为含乙醇较多的废水提供合适的处理途径.

## 4 结 论

4.1 SBR 单级好氧工艺在以甲醇和乙醇为碳源时对磷均有一定去除,在 69d 的运行中,SBR1<sup>#</sup>磷的平均去除量为 6.56mg/L,平均去除率为 52.63%.SBR2<sup>#</sup>磷的平均去除量 11.22mg/L,去除率为 90.34%.

4.2 SBR1<sup>#</sup>和 SBR2<sup>#</sup> P 平均去除速率分别为 1.62mg/(g·h)和 5.31mg/(g·h)(以  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  计).实验结果表明,SBR 单级好氧生物除磷系统中以乙醇

作为碳源,聚磷菌对磷的吸收利用较好,其可作为 SBR 单级好氧除磷工艺中合适的碳源.

## 参考文献:

- [1] Canizares P, de Lucas A, Rodriguez L, et al. Anaerobic uptake of different organic substrates by enhanced biological phosphorus removal sludge [J]. *Environmental Technology*, 2000,21:397-405.
- [2] Oehmen A, Lemos P C, Carvalho G, et al. Advances in enhanced biological phosphorus removal: From micro to macro scale [J]. *Water Res.*, 2007,41(11):2271-2300.
- [3] Ranchli A A, Liu Y. Polyhydroxyalkanoates form potentially a key aspect of aerobic phosphorus uptake in enhanced biological phosphorus removal [J]. *Water Res.*, 2002,36:3473-3478.
- [4] Hollender J, van der Krol D, Kornberger L, et al. Effect of different carbon sources on the enhanced biological phosphorus removal in a sequencing batch reactor [J]. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2002,18:355-360.
- [5] Chen Y, Randall A A, McCue T. The efficiency of enhanced biological phosphorus removal from real wastewater affected by different ratios of acetic to propionic acid [J]. *Water Res.*, 2004, 38:27-36.
- [6] Yagci N, Cokgor E U, Artan N, et al. The effect of substrate on the composition of polyhydroxyalkanoates in enhanced biological phosphorus removal [J]. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 2007,82: 295-303.
- [7] Lemos P C, Viana C, Salgueiro E N, et al. Effect of carbon source on the formation of polyhydroxyalkanoates (PHA) by a phosphate-accumulating mixed culture [J]. *Enzyme Microbiol. Technol.*, 1998, 22:622-671.
- [8] 刘 燕,行智强,陈银广,等.聚羟基脂肪酸转化对强化生物除磷的影响研究 [J]. *环境科学*, 2006, 27(6):1103-1106.
- [9] Hrenovic J, Orhan Y, Buyukgungor H. Characterization of enhanced biological phosphorus release and removal by activated sludge [J]. *Acta Chimica Slovenica*, 2003, 50(4): 697-714.
- [10] Puig S, Corominas LI, Balaguer M D, et al. Biological nutrient removal by applying SBR technology in small wastewater treatment plants: carbon source and C/N/P ratio effects [J]. *Water Sci. Technol.*, 2007,55(7):135-141.
- [11] Puig S, Coma M, Monclus H, et al. Selection between alcohol and volatile fatty as external carbon source for EBPR [J]. *Water Res.*, 2008,42:557-566.
- [12] Wang D, Li X, Yang Q, et al. Biological phosphorus removal in sequencing batch reactor with single-stage oxic process[J]. *Bioresour. Technol.*, 2008,99:5466-5473.
- [13] 丁 艳,王冬波,李小明,等.PH 值 SBR(序批式反应器)单级好氧生物除磷的影响 [J]. *中国环境科学*, 2010,30(3):333-38.
- [14] 陈光秀,袁林江,韩 玮.生物脱氮系统中无厌气释磷的生物除

- 磷工艺 [J]. 环境科学学报, 2008,28(9):1800-1805.
- [15] 王冬波,李小明,杨麒,等.碳源对 SBR 单级好氧工艺中微生物摄磷能力的影响及其机理研究 [J]. 中国科学 B 辑, 2009,39(6): 560-568.
- [16] Smolders, G.J.F., van der Meij, J., van Loosdrecht, M. C. M., Heijnen, J. J. Stoichiometric model of the aerobic metabolism of the biological phosphorus removal process [J]. Biotech. Bioeng., 1994b, 44:837-848.
- [17] 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]. 4 版.北京:中国环境科学出版社, 1989.
- [18] Herbert D, Philipps P J, Strange R E. Methods enzymol [J]. 1971,5B:265-277.
- [19] Takabatake H, Satoh H, Mino T, et al. PHA (polyhydroxyalkanoate) production potential of activated sludge treating wastewater [J]. Wat. Sci. Tech., 2002,45:119-126.
- [20] Oehmen A, Keller-Lehmann B, Zeng R J, et al. Optimisation of poly- $\beta$ -hydroxyalkanoate analysis using gas chromatography for enhanced biological phosphorus removal systems [J]. J Chromatography A, 2005,1070:131-136.
- [21] 祝贵兵,彭永臻,译.生物除磷设计与运行手册 [M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2005.
- [22] 王敬岩,朱圣庚,徐长发.生物化学 [M]. 北京:高等教育出版社, 2002.
- [23] Abu-ghararah Z H, Randall C W. The effect of organic compounds on biological removal [J]. Water Sci. and Technol., 1991,23:585-594.
- [24] Maurer M, Gujer W, Hany R, Bachmann S. Intracellular carbon flow in phosphorus accumulating organisms from activated sludge systems [J]. Water Res., 1997,31(4):907-917.
- [25] GB8978-1996 污水综合排放标准 [S].
- 作者简介:** 邓莹(1986-),女,湖南衡阳人,湖南大学环境科学与工程学院硕士研究生,主要研究方向为水污染处理技术与控制.

## 是时候告别化石燃料了吗？

为了减少气候变化的风险,政策制定者的 1 个具体目标是:将全球平均温度控制在不超过比工业化前高 2℃的水平上.气候模型表明,要实现这一目标需要将大气中 CO<sub>2</sub> 的浓度控制在 450ppm 以下,这意味着要从本质上削减化石燃料燃烧的排放.此外,现在通过法规和国际间协议约束排放的努力尚未奏效,目前排放的增加尤胜于前,按比例增加“碳中性”能源的计划推进缓慢.Davis 等人的论文提供了 1 个新视角,要和化石燃料说再见是多么的困难.

在未来 50 年内,如果现有 CO<sub>2</sub> 排放设备按寿命正常使用或淘汰,且没有新的 CO<sub>2</sub> 排放设备增加的话,那么未来 CO<sub>2</sub> 的浓度水平和全球平均温度将会怎样? 答案是:这种情况下,全球平均温度会比工业化前的水平高 1.3℃(1.1~1.4℃),而大气 CO<sub>2</sub> 浓度将会在<430ppm 的水平.当然,他们不得不承认,这个极端的、“过时的”情景并不可靠,主要的行动应该是找到实现“碳中性”的方法,保证不超过 2℃的限值.

1 个困扰 Davis 等人和更早研究排放削减的人员的问题是:我们并非处在 1 个合适的能源转变的位置,要实现这一目标还需要数十年的刻苦努力.举例来说,Pacala 和 Socolow 分析了预想未来 50 年内大气 CO<sub>2</sub> 浓度稳定在 500ppm 的情景.他们发现要实现这一目标需要 7 种现有技术的组合,比如燃烧效率更高的车辆,以便去除未来 7 级的“楔形”排放量(楔形排放量的含义是指,特定情形下,未来排放增加量的图形形状).7 级的楔形,每个代表了到 2054 年的 25Gt CO<sub>2</sub> 的减排量,它们被引证用来说明未来 50 年内要“解决”的气候变化挑战.

景盛翱 译自《Science》,September 10:1292-1293(2010)