

文章编号: 1674-9057(2010)04-0595-04

不同碳源对 SBR 系统生物强化除磷的影响

罗 阳¹, 张学洪¹, 张 华^{1,2}, 徐建宇¹, 郭周芳¹, 韦巧艳¹, 郑君健¹

(1. 桂林理工大学 a. 环境科学与工程学院; b. 广西环境工程与保护评价重点实验室, 广西 桂林 541004;
2. 广西大学 轻工与食品工程学院, 南宁 530004)

摘 要: 分别对比研究了以乙酸钠、葡萄糖和淀粉为 SBR 系统碳源时, 系统对废水中总磷的去除率及系统运行的稳定性。结果表明, 采用以上 3 种碳源时 SBR 系统出水总磷的去除率分别为 95.7%、77.7% 和 62.2%, 乙酸钠为生物强化除磷最佳碳源。

关键词: 生物强化除磷; 乙酸钠; 葡萄糖; 淀粉; 废水

中图分类号: X703.1

文献标志码: A

生物强化除磷 (enhanced biological phosphorus removal, EBPR) 工艺是传统活性污泥工艺的改进, 即在原有传统活性污泥工艺的基础上设置一个厌氧段, 其运行方式主要是通过活性污泥在交替厌氧/好氧条件下选择性地富集聚磷菌 (PAO) 以降低水中磷的含量^[1]。在厌氧条件下, PAO 细胞体内的聚合磷酸盐分解, 溶液中形成大量的溶解性磷, 并释放出能量; 同时, 糖原也进行分解提供部分能量, PAO 利用这部分能量吸收污水中的有机碳源尤其是短链挥发性脂肪酸 (如乙酸、丙酸), 同时合成聚羟基烷酸 (PHA), 作为碳源和能源储存在生物体内。好氧条件下, 微生物体内的 PHA 被氧化分解, 并释放出能量, PAO 利用这部分能量吸收远远超过其生理需要的磷, 在其体内合成聚合磷酸盐, 同时合成糖原, 最后通过排放剩余污泥达到除磷的目的。在生物强化除磷过程中, 不同基质对诱发聚磷菌磷的释放程度是不同的, 最近的研究发现, 聚磷菌在新陈代谢中有 3 种贮存能源的物质: 聚磷酸盐 (Poly-P)、糖原质 (Glycogen) 和聚- β -羟基丁酸 (PHB), 它们对生物除磷起着非常重要的作用^[2-3]。这些物质的产生主要取决于系统中聚磷菌对有机物的吸收

利用, 因此原水中有机物的种类直接影响着系统中聚磷菌对总磷的去除率^[3]。

Randall 等^[4]分别以葡萄糖、乙酸、丙酸、丁二酸等为碳源, 对好氧阶段磷的吸收量和厌氧阶段 PHA 的合成量以及合成成分之间的联系进行了研究。结果表明, 当乙酸作碳源时, 微生物在厌氧环境下主要合成 PHB, 且总磷的去除率最高。Chen 等^[5]研究了在短期内改变 EBPR 的碳源类型时, 乙酸有利于磷的去除。笔者分别以乙酸钠、葡萄糖和淀粉为有机碳源, 研究不同碳源在 SBR 系统中对生物强化除磷效果的影响以及厌氧释磷和好氧吸磷的相关关系, 为改善聚磷微生物在生物强化除磷过程中的生存环境提供依据。

1 试验部分

1.1 装置及仪器

装置: 采用有效容积为 20 L 的长方体形有机玻璃反应器, 尺寸为 185 cm × 180 cm × 600 cm, 如图 1 所示。

主要仪器: 精密 pH 计 (pHS-3C, 上海雷磁仪器厂); UV-2100 紫外分光光度计 (Lambda 25, 美国 PE 公司); 精密分析天平 (FA1004, 上海天平

收稿日期: 2010-08-17

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2008ZX07317-02-03); 广西研究生教育创新计划资助项目 (2010105960814M06)

作者简介: 罗 阳 (1986—), 男, 硕士研究生, 市政工程专业, wangyingxuan2046@126.com。

通讯作者: 张学洪, 博士, 教授, zhangxuehong@x263.net。

引文格式: 罗阳, 张学洪, 张华, 等. 不同碳源对 SBR 系统生物强化除磷的影响[J]. 桂林理工大学学报, 2010, 30(4): 595-598.

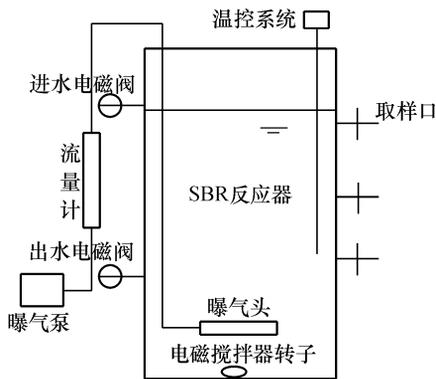


图1 SBR反应器

Fig. 1 Apparatus of sequencing batch reactor

仪器厂); 压力蒸汽灭菌器 (LS-B50L-1, 上海医用核子仪器厂); 超纯水器 (UPW-20N, 北京历元电子仪器技贸公司); 回旋式水浴恒温振荡器 (SHZ-82, 江苏省金坛市正基仪器有限公司); 台式离心机 (TGL-18G-C, 上海安亭科学仪器厂)。

1.2 试验材料

活性污泥: 取自桂林市七里店污水净化厂二沉池回流污泥, 该污泥具有良好的有机物去除效果, 除磷效率 < 40%。

试验水样: 1[#]、2[#]和3[#]反应器分别以乙酸钠、葡萄糖和淀粉作为主要碳源, 氯化铵为氮源, 磷酸二氢钾为磷源; 每个反应器加入 0.3 mL/L 的微量元素储备液, 试验模拟配水进水 COD 浓度为 300 mg/L, 总磷浓度为 6.8 mg/L, 总氮浓度为 32 mg/L。

1.3 试验方法

(1) SBR 反应器运行方式: 进水由进水箱通过磁力驱动循环泵送入反应器内, 采用微孔曝气器曝气, 反应器间歇式运行, 9 h 为 1 个周期, 其中进水 5 min, 厌氧搅拌 180 min, 好氧曝气 300 min, 沉降 30 min, 出水 5 min, 闲置 20 min。反应器温度控制在 (22 ± 3) °C, 好氧阶段 DO 浓度大于 2.0 mg/L。

(2) 水样分析方法: 采用《水和废水监测分析方法》(第 4 版) 检测 COD、总磷、正磷酸盐。

(3) 取样: 反应器运行 30 个周期, 待稳定以后, 在第 31 个周期中的厌氧阶段每隔 20 min 取样一次, 好氧阶段每隔 30 min 取样一次。取样后离心分离混合液, 上清液过滤后进行分析监测。

2 结果与讨论

2.1 不同碳源系统中磷的变化趋势

图 2 显示, 以乙酸钠为碳源的 1[#] 反应器除磷效果最好, 且厌氧阶段磷的释放量最高, 其次为以葡萄糖为碳源的 2[#] 反应器, 最后是以淀粉为碳源的 3[#] 反应器。其中 1[#] 反应器对总磷的去除率为 96.7%, 厌氧阶段的释磷量和释磷速率分别为 23.1 mg/L 和 7.71 mg/(L · h); 2[#] 反应器对总磷的去除率为 77.7%, 厌氧阶段的释磷量和释磷速率分别为 16.8 mg/L 和 5.61 mg/(L · h); 3[#] 反应器对总磷的去除率为 62.2%, 厌氧阶段的释磷量和释磷速率分别为 9.48 mg/L 和 3.16 mg/(L · h)。

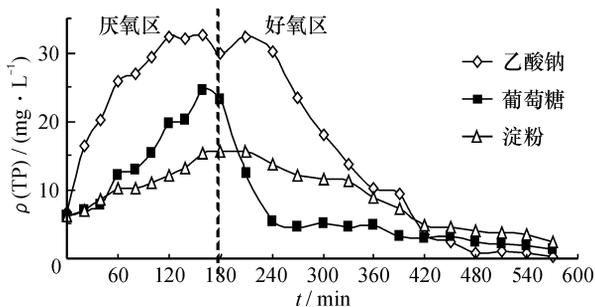


图2 不同碳源条件下 TP 变化情况

Fig. 2 Variation of TP with different substrate

试验结果表明: 淀粉作为大分子有机基质, 不利于聚磷菌吸收利用, 使得系统严重缺乏可溶性低分子有机物, 以淀粉为碳源的系统除磷现象不显著, 在厌氧阶段, 释磷现象很微弱, 因此聚磷菌细胞中合成的 PHB 颗粒含量较少, 同时也直接影响了随后系统的好氧吸磷过程; 在好氧阶段, 聚磷菌的超量摄磷现象也不理想。而以葡萄糖和乙酸钠为碳源的系统中, 葡萄糖作为一种单糖易被聚磷菌分解利用, 葡萄糖在厌氧情况下通过 3 种途径, 即 EMP、HMP、ED 发酵生成丙酮酸^[6], 丙酮酸作为一种低级脂肪酸有利于聚磷菌在释磷过程中产生 PHB 颗粒, 在好氧阶段聚磷菌能充分分解 PHB, 从而获得充足的能量用来过量地摄磷和吸收磷。乙酸钠作为一种低级脂肪酸, 在反应过程中较易被生物降解, 因此在整个阶段有明显的厌氧释磷和好氧吸磷现象, 所以出水总磷去除率比较理想。根据试验结果可知: 不同碳源对生物除磷的作用是不同的, 葡萄糖和乙酸钠是较为适合生物除磷碳源。

2.2 不同碳源系统中 COD 的变化趋势

有机物的去除能力是污水处理系统最根本的考察指标。不同碳源系统对 COD 的去除效果如图 3 所示。

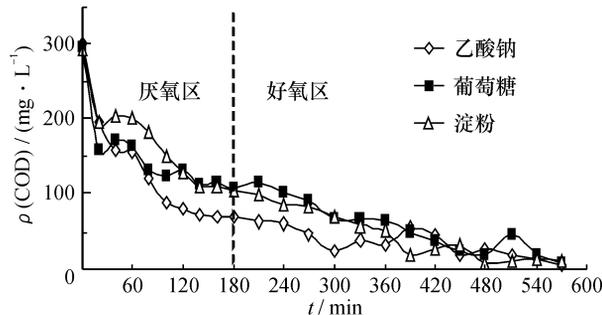


图 3 不同碳源条件下 COD 变化情况
Fig. 3 Variation of COD with different substrate

厌氧阶段结束时，3 个反应器对 COD 的去除率在 64.5% ~ 77.7%。有机物浓度在厌氧开始阶段快速下降，说明在厌氧阶段，聚磷菌把有机物吸收并转化为 PHA，在好氧阶段有机物被进一步去除。在好氧阶段结束时，3 个反应器的出水 COD 浓度分别为 6.7、9.3 和 12.1 mg/L，均达到国家《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918—2002）的一级 A 标准。厌氧结束时乙酸钠、葡萄糖和淀粉 3 种碳源系统中 COD 含量分别为 67.04、106.6 和 107.8 mg/L，通过试验结果可以判定乙酸钠系统中的聚磷菌所消耗的有机物含量最大，聚磷菌在乙酸钠系统中所占的比重最大，进一步证实在这 3 种碳源中乙酸钠为生物除磷的最佳碳源。

2.3 不同碳源系统中厌氧段磷的释放量与好氧段磷的吸收量之间的关系

通过以上试验发现聚磷菌在厌氧段释磷量越大，其在好氧段吸磷量就越多。为了进一步研究 3

种碳源系统中释磷量与吸磷量的关系，在不同有机碳源、有机负荷和磷负荷的条件下做生物除磷试验。选取不同磷处理效率下的厌氧段释磷量与好氧段吸磷量的数值进行分析，结果发现 3 种碳源系统中厌氧段的释磷量与好氧段的吸磷量具有良好的相关性（图 4）。试验表明，聚磷菌在厌氧条件下释磷越多，其生成的 PHB 也越多，在厌氧条件下聚磷菌通过 PHB 的氧化代谢产生能量吸收水中的磷并合成聚磷（聚合磷酸盐）。

2.4 不同碳源系统中厌氧段磷的释放量与 COD 消耗量的关系

在厌氧阶段初期 3 种系统中有机质浓度都快速下降。COD 在厌氧阶段开始前 2 h 内快速下降，分别从 300 mg/L 降至 77.8、130.1、128.7 mg/L。说明厌氧阶段有机物被快速转化为 PHA，有机物在好氧阶段进一步被去除。

分析乙酸钠、葡萄糖和淀粉这 3 种碳源厌氧段磷的释放量与 COD 消耗量的相关关系（图 5）。由于聚磷微生物的吸附作用，使得污水中的有机物快速消耗。聚磷微生物把吸附的有机物转化为 PHA 和糖原。从有机物厌氧段的吸磷情况可以看出，以乙酸钠为碳源的 1[#] 反应器中有机物降低的最多，这说明在以乙酸钠为碳源的生物除磷系统中，聚磷菌在系统微生物中的数量和比重相对较多，因为聚磷菌在厌氧条件下可以有效地吸收有机物并转化为 PHA，淀粉系统中的聚磷菌在系统微生物中比重较少，所以在系统中聚磷菌吸收有机物转化为 PHA 能量物质的数量也很少，从而影响了聚磷菌在厌氧条件下的释磷量。在以乙酸钠为碳源的 1[#] 反应器中，聚磷菌的代谢活动有朝最优方向代谢的趋势，2[#] 葡萄糖系统在厌氧阶段有明显的释磷现象，这说明聚磷菌体内的聚磷发

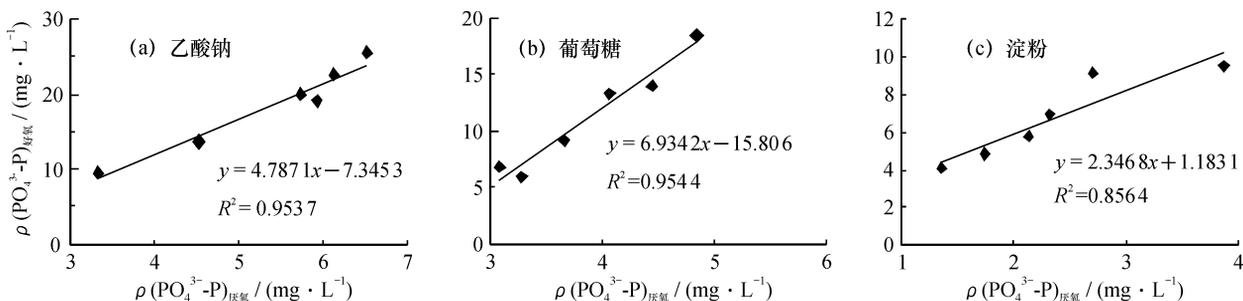


图 4 不同碳源条件下好氧吸磷量与厌氧释磷量关系

Fig. 4 Aerobic phosphate removal VS phosphate release with different carbon sources

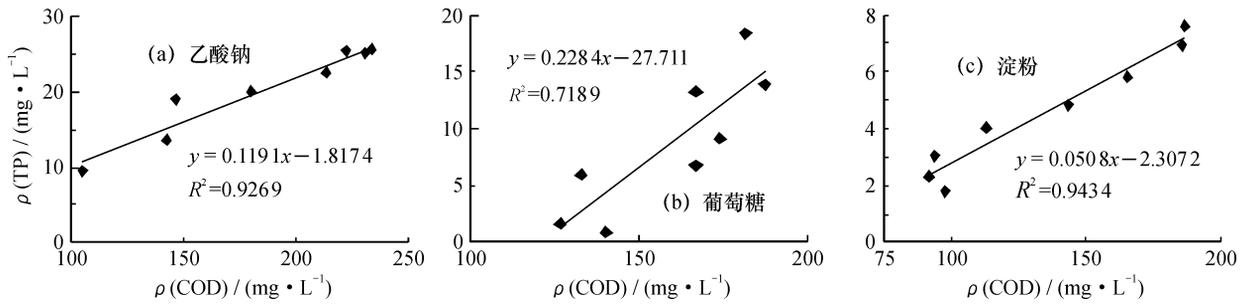


图5 不同碳源系统释磷量与 COD 消耗量的关系
Fig. 5 Phosphorus release VS COD consumption with different carbon sources

生了分解,聚磷分解后产生的能量被系统中的聚磷菌所吸收用作其他代谢活动,聚磷菌必须在好氧阶段过量的吸收磷来合成更多的聚磷以完成这个代谢循环。这也就是典型生物除磷的过程。

3 结论

(1) 分别以乙酸钠、葡萄糖和淀粉作为 SBR 系统碳源时,除磷效果最好的碳源是乙酸钠,其次是葡萄糖。3 台 SBR 反应器对进水总磷的去除率分别为 95.7%、77.7% 和 62.2%,以乙酸钠为碳源的 SBR 反应器和以葡萄糖为碳源的 SBR 反应器对进水总磷的去除率较高,两者的平均出水总磷在 0.9 mg/L 以下。

(2) 在乙酸钠、葡萄糖和淀粉 3 种碳源之中,乙酸钠是生物强化除磷系统的最佳碳源,聚磷菌在以乙酸钠为碳源的 SBR 反应器中所占的比重最大,而且以乙酸钠为碳源的 SBR 反应器中释磷量最高。

(3) 在生物强化除磷系统中,厌氧阶段的释磷量和好氧阶段的吸磷量与污水中底物的消耗量(以 COD 为指标)有一定的线性相关性。

参考文献:

- [1] 任南琪,王爱杰. 厌氧生物处理技术原理与应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [2] 胡纪萃. 废水厌氧生物处理理论与技术 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [3] 张自杰. 排水工程(下册) [M]. 4 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.
- [4] Randall A A, Liu Y H. Polyhydroxyalkanoates form potentially a key aspect of aerobic phosphorus uptake in enhanced biological phosphorus removal [J]. Water Research, 2002, 36 (14): 3473 - 3478.
- [5] Chen Y G, Randall A A, Cue T C. The efficiency of enhanced biological phosphorus removal from real wastewater affected by different ratios of acetic to propionic acid [J]. Water Research, 2004, 38 (1): 27 - 36.
- [6] 张立卿. 碳源对 SBR 内除磷效果的影响研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2005.

Influencing Factor of EBPR with Different Carbon Sources in SBR

LUO Yang¹, ZHANG Xue-hong¹, ZHANG Hua^{1,2}, XU Jian-yu¹, GUO Zhou-fang¹,
WEI Qiao-yan¹, ZHENG Jun-jian¹

(1. a. College of Environmental Science and Engineering; b. Guangxi Key Laboratory of Environmental Engineering, Protection and Assessment, Guilin 541004, China; 2. Institute of Light Industry and Food Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: Comparisons among the three kinds of carbon sources (sodium acetate, glucose, amyllum) are done in SBR system. The removal effect of total phosphorus and the stability of SBR system are analyzed. The results show that total phosphorus removal rates for sodium acetate, glucose and amyllum are 95.7%, 77.7% and 62.2% respectively. Sodium acetate is the best for enhanced biological phosphorus removal.

Key words: enhanced biological phosphorus removal (EBPR); sodium acetate; glucose; amyllum; waste water