

高温好氧消化污泥 对生物除磷的强化作用初探^{*}

张艳萍¹ 彭永臻²

(1. 北京工商大学化学与环境工程学院, 北京 100037; 2. 北京工业大学环境与能源学院, 北京 100022)

摘 要 由于高温好氧消化(TAD)后的污泥中常含有一定浓度的挥发性脂肪酸(VFA),为考察其对生物除磷系统的影响,通过将 TAD 污泥上清液与乙酸钠进行磷去除作用的对比试验。表明在厌氧条件下,加入 TAD 污泥的上清液,会使大量的 P 释放,磷释放规律及其释放速度均与乙酸钠造成的磷释放相当,因此,可以考虑将高温好氧消化污泥或上清液回流作为一种补充碳源,以强化生物除磷系统的除磷效果。但实际应用中,还要考虑到 VFA 降解以及回流污泥中的氮磷负荷,而且长期回流还需要进一步的试验验证。

关键词 污泥 高温好氧消化(TAD) 磷 挥发性脂肪酸(VFA)

THE PRIMARY RESEARCH ON STRENGTHENING BIOLOGICAL PHOSPHORUS REMOVAL USING SLUDGE OF THERMOPHILIC AEROBIC DIGESTION

Zhang Yanping¹ Peng Yongzhen²

(1. College of Chemical and Environmental Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100037;

2. College of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022)

Abstract VFA was often accumulated in a thermophilic aerobic digestion(TAD) reactor during digestion. In order to test the effect of returned TAD sludge on biological phosphorus removal system, contrasting test was carried out using supernatant of TAD and NaAc. Results showed that the rule and speed of phosphorus releasing in anaerobic phase were just the same no matter adding supernatant of TAD sludge or NaAc. So, it is considered that the returning TAD sludge or sludge supernatant can be used as a carbon source to strengthen the phosphate removal in BNR system. But the decomposition of VFA and the nutrient load of nitrogen or phosphate in returning sludge should be on second thoughts. Furthermore, the affection of long-term sludge returning should be further validated in the future.

Keywords Sludge thermophilic aerobic digestion(TAD) phosphorus volatile fatty acid(VFA)

0 引言

目前,污泥处理问题已经成为世界各国亟待解决的一个难题。随着污泥处置和回用对病原菌含量要求的日益严格,污泥的高温处理技术又重新引起了关注。高温好氧消化工艺(TAD)(thermophilic aerobic digestion)是在19世纪70年代末开发的一种具有较高的污泥稳定化效率和病原菌灭活率的稳定化处理工艺。典型的TAD系统温度为55℃,有时可达到60~65℃。由于采用较高的温度,消化时间可缩短(约6d),并且能达到杀灭病原菌的目的^[1-2]。

有研究表明,将TAD运行在微氧(microaerophilic)或氧限制(oxygen-limited)条件下(即系统中的氧的

需求总是超出氧的供应),VS的去除效率并没有因为采用较低的曝气量而受到影响,可以节约曝气能耗^[3]。研究中还发现,TAD运行过程中,反应器内有大量的挥发性脂肪酸(VFA)积累,且以乙酸为主^[4-5]。Ugwanyi的研究中发现,TAD反应器中积累的VFA中,乙酸占90%,温度60℃时有最大的乙酸积累量^[6]。

污水生物除磷工艺已经得到了广泛的应用,如何进一步提高除磷系统的效率是当前一个研究热点。不少学者研究了VFA对除磷系统的强化作用^[7],发现污水除磷系统,VFA尤其是乙酸,是一种易于被反硝化菌和聚磷菌所利用的碳源,污泥厌氧消化时也会产生VFA积累,有研究表明:厌氧消化的上清液回流至污水BNR(biological nutrient removal)处理系统的前端,能强化污水的除磷作用。根据厌氧发酵的理论,

^{*}“十一五”国家科技支撑计划(2007BAK361307)

污泥厌氧消化产生的 VFA 中除乙酸外还含有大量的丙酸,而丙酸一般不易被反硝化和聚磷菌用作碳源。这可能意味着以乙酸为主的 TAD 上清液对于 BNR 处理系统的强化应该更有效。

在进行污泥高温好氧消化实验中,反应器中也存在 VFA 积累,为考察其对生物除磷效果的影响,通过两组多次小试,考察将 TAD 的上清液作为补充碳源时,在厌氧段和好氧段磷的释放及吸收速率的变化情况。

1 试验材料与方法

1.1 污泥高温好氧消化实验装置及运行方式

利用 2 个有效容积为 8L 的有机玻璃反应器进行实验室试验,反应器如图 1 所示,反应器的主要参数见表 1。

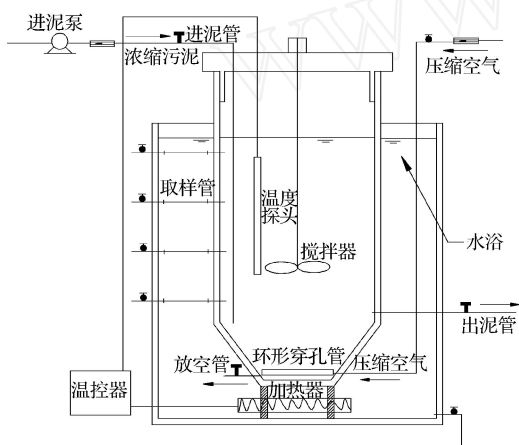


图 1 高温好氧反应器试验装置图

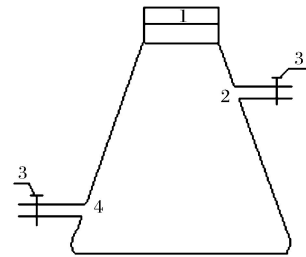
表 1 反应器的主要参数

反应器 体积/L	平均 SRT/d	pH	污泥来源	进泥的 TS/ %	溶解氧/ (mg · L ⁻¹)	温度/ ℃	进泥 方式
8	1.0~1.5	6.2~7.5	浓缩后的 剩余污泥	1~3	(1.0 ± 0.2)	55, 60, 65	间歇 进泥

污泥来源于北京市某污水处理厂的污泥回流管线,采用的是传统的二级处理工艺,污泥经过重力浓缩处理后,质量浓度为 10 000~20 000 mg/L,每 12 h 进、排泥 1 次(根据 SRT 排出一定量的泥,然后通过进泥泵进相同量的泥)。曝气采用穿孔曝气管,保持反应器内的 DO 约为 1.0 mg/L。为了更好地混合污泥,在反应器中设置了搅拌装置。反应器采用水浴加热,通过温度探头控制反应器的温度。在微曝气运行过程中出现了稳定的 VFA 积累,一般 VFA 浓度在 600 mg/L 左右,最高达到 1 576 mg/L。

1.2 除磷小试试验方案

除磷小试实验所用反应容器为自制有效容积为 1L 的双孔瓶,如图 2。将加入 TAD 上清液与加入乙酸钠进行对比试验。



1 - 橡胶塞;2 - 取样口;3 - 阀门;4 - 进气口。

图 2 自制双孔瓶示意图

活性污泥取自实验室厌氧/缺氧(A/O)法稳定运行的 SBR 反应器。每次实验之前从好氧曝气完成后的 SBR 反应器中取少量新鲜的污泥,放入锥形瓶中,加盖密封,通过磁力搅拌器搅拌 1~2 h,直到达到希望的厌氧状态(通过检测锥形瓶中的 ORP,在 nitrate knee 出现后,硝态氮已经消耗完,进入厌氧状态)。

此时,加入不同体积的 TAD 上清液和已知浓度的乙酸钠(NaAC),每 20 min 取一个样,检测 VFA, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, NO_x^- 和 PO_4^{3-} 在反应器中的变化情况。厌氧 1 h 后,开始通过底部的进气口通入空气,保持搅拌,使反应器内的 DO 约为 2~3 mg/L,测试的各项指标均按《水和废水监测分析方法》进行测定。

2 试验结果与讨论

2.1 TAD 上清液与 NaAC 除磷能力的比较

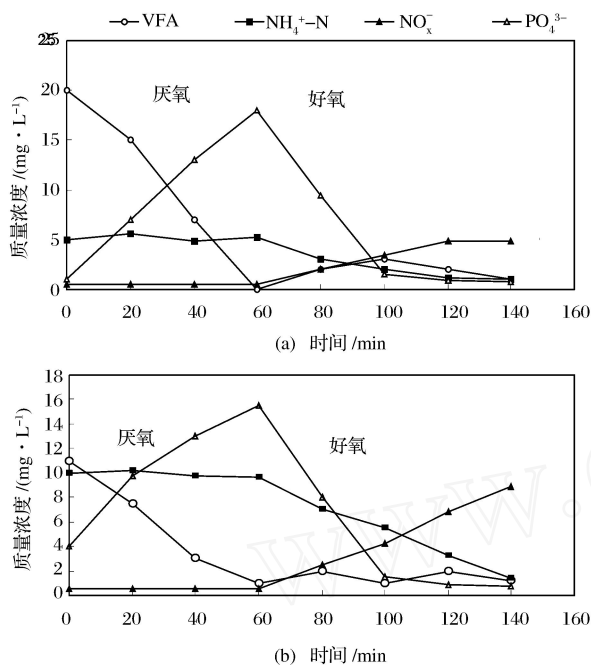
加入 TAD 上清液和已知浓度的乙酸钠后的各参数变化的典型曲线如图 3。从图 3 中可以看出,TAD 上清液与乙酸钠对磷的释放表现出相似的促进作用。在厌氧段,硝态氮的浓度相当低,可以确定在这一过程中没有硝态氮的影响以及反硝化作用来竞争碳源,VFA 的消耗专用于磷的释放。VFA 的消耗与磷的释放相关,以 VFA 快速消耗时,磷的释放速度也快,当 VFA 消耗完后,磷的释放速度变慢。

加入 TAD 上清液的反应器中,最初的磷和氨氮的量较高,这是由于在 TAD 反应器中有磷酸盐和氨氮的积累情况。从图 3 中看到,在后续的好氧段,可溶性的磷酸盐经 1 h 左右全部被吸收。两种情况下最终 P 含量都降到 1 mg/L 以下,这说明在充分曝气的条件下,附加的磷负荷也可以完全被去除。氨氮则通过好氧段的硝化作用被完全转化为硝态氮。

测定此时污泥的浓度 $\text{VS} = 2\ 625\ \text{mg/L}$,依此计算磷的释放速率列于表 2。

表 2 两种情况下磷的释放速率对比

项目	第一阶段磷释放速率/ (g · kg ⁻¹ · h ⁻¹)	第二阶段磷释放速率 (g · kg ⁻¹ · h ⁻¹)
NaAC	6.28	1.71
TAD 上清液	5.14	2.86



a - 加 NaAC; b - 加 TAD 上清液
图3 两种情况下各参数典型变化曲线

NaAC 与 TAD 上清液相比较,第一阶段前40 min 磷的释放速率相当,TAD 的值略低,第二阶段 40~60 min 加入 TAD 的反应器中的磷释放速率高于 NaAC。这可能是因为 TAD 上清液中还含有 VFA 以外的碳底物。

2.2 TAD 上清液用量对除磷的影响

比较加入不同体积 TAD 上清液时的磷释放情况,并与加入 NaAC 20 mL 结果对比,如图4所示。

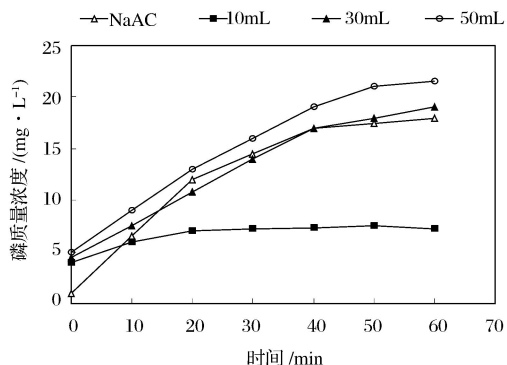


图4 加入不同体积 TAD 上清液时磷的释放

从图4中可以看出,不同体积的 TAD 投加量对磷的释放有一定的影响。当投加 TAD 上清液体积为 50 mL 时,P 的释放效果较好。磷释放的规律与 NaAC 基本相似,而磷的释放量高于 NaAC。

2.3 上清液存放时间的影响

试验中发现:新鲜的上清液中 VFA、COD 浓度较

高,但静置存放后,VFA、COD 浓度会迅速下降。例如,离心后测得新鲜的上清液中 VFA、COD 质量浓度分别为:876,1690 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,将其在 20 $^{\circ}\text{C}$ 静止存放 24 h 后,VFA、SCOD 却分别降为:158.6,327.8 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。由于离心不能去除所有的微生物,存放时会发生生化反应,将 VFA 和 COD 进一步降解。

3 结论

(1)在厌氧段加入 TAD 的上清液会使大量的 P 释放,速度与乙酸钠造成的磷释放相类似,在好氧段磷可以得到有效的去除。曝气 1 h 后,磷浓度低于 1 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。试验结果表明,TAD 的上清液可以用做除磷的碳源,除磷的效果良好。

(2)考虑到上清液中的 VFA 和 COD 在存放的过程中迅速减少,建议在进行固液分离后或在脱水后迅速地将上清液回流,从而使其发挥更大的作用。

(3)在将 TAD 的上清液回流用于强化除磷作用时,还应该考虑到因为回流所带来的氨氮和磷负荷。

建议在 TAD 的运行过程中,可通过适当的控制(曝气量和温度等),得到 VFA/ 营养物比较高的污泥混合液,污泥脱水后将其上清液及时回流到 BNR 系统前端的厌氧区,充分利用上清液中以乙酸为主的 VFA 成分,提高除磷效果。这对于改善整个污水、污泥处理系统的运行效果也会有一定的意义。但污泥上清液长期回流对污水处理系统的影响,还需要进一步的研究。

参考文献

- [1] Deeny K, Hahn H. Autoheated thermophilic aerobic digestion. Wat. Environ. Tech., 1991, 3(10): 65 - 72
- [2] Häner A, Mason C A, Hamer G. Death and lysis during aerobic thermophilic sludge treatment: characterization of recalcitrant products. Wat. Res., 1994, 28(4): 863 - 869
- [3] Mavinic D. Effects of microaerophilic conditions on autoheated thermophilic aerobic digestion process. Environ. Eng., 2001, 127(4): 311 - 316
- [4] Chu A, Mavinic D S, Kelly H G. et al. Volatile fatty acid production in thermophilic aerobic digestion of sludge. Water Research. 1994, 28(7): 1513 - 1522
- [5] Fothergill S, Mavinic D S. VFA production in thermophilic aerobic digestion of municipal sludges. Environ. Eng., 2000, 126(5): 389 - 396
- [6] Ugwuanyi J O, Harvey L M, McNeil B. Effect of digestion temperature and pH on treatment efficiency and evolution of volatile fatty acids during thermophilic aerobic digestion of model high strength agricultural waste. Bioresource Technology. 2005, 96(6): 707 - 719
- [7] 张华星,陈银广,杨海真. 增加污水中挥发性脂肪酸以提高生物除磷效果的研究进展. 四川环境, 2005, 24(4): 22 - 25

作者通信处 张艳萍 100037 北京市海淀区阜成路 11 号 北京工商大学化学与环境学院环境工程教研室
E-mail zhyp @th. btbu. edu. cn

2008 - 08 - 04 收稿