

好氧-沉淀-厌氧工艺剩余污泥减量性能和机理研究

金文标¹, 王建芳², 赵庆良^{2*}, 林佳侃³

(1. 哈尔滨工业大学深圳研究生院, 深圳 518055; 2. 哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 哈尔滨 150090; 3. 金迪生物科技集团, 东莞 523581)

摘要:探讨了污泥衰减、能量解偶联、低污泥产率厌氧反应对 OSA 工艺污泥减量作用的影响. 结果表明, 污泥衰减是由微生物死亡及吸附于污泥表面的颗粒有机物水解酸化和微生物内源代谢 2 部分组成. 间歇试验污泥厌氧过程中, 上清液 SCOD、 NH_4^+ -N、TP 浓度均随厌氧时间逐渐升高, OSA 污泥厌氧 16 h 后溶解性蛋白质高达 33.09 mg/L, 上升幅度高于多糖浓度的变化, 证实了污泥水解现象. OSA 污泥内源 SOUR 可达 8 mg/(g·h), 是 CAS 污泥内源 SOUR 的 1.7 倍以上, 说明 OSA 系统中较高的内源代谢促使污泥减量. 污泥衰减是 OSA 工艺污泥减量的决定性原因, 可占 OSA 污泥减量效果的 66.7% 左右. 间歇实验证实了 OSA 系统由于厌氧-好氧耦合环境, 存在能量解偶联现象, 但由于这种作用引发的污泥减量仅占 7.5% 左右. OSA 工艺污泥厌氧池释放的 SCOD 作为缺氧反硝化、厌氧释磷、硫酸盐还原及产甲烷的二次基质, 由于这些厌氧反应污泥产率低于好氧代谢, 使得系统污泥产率下降, 约有 23.5% 的污泥减量是源于这种因素. OSA 污泥减量是由多方面因素综合作用的结果.

关键词:污泥减量; 污泥衰减; 能量解偶联; 低污泥产率厌氧反应

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2008)03-0726-07

Performance and Mechanism of Excess Sludge Reduction in an OSA (Oxic-Settling-Anaerobic) Process

JIN Wen-biao¹, WANG Jian-fang², ZHAO Qing-liang², LIN Ji-kan³

(1. Graduate School of Shenzhen, Harbin Institute of Technology, Shenzhen 518055, China; 2. School of Municipal & Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 3. Golden Idea Bio-treat Group, Dongguan 523581, China)

Abstract: The possible factors of sludge reduction such as sludge decay, energy uncoupled metabolism, anaerobic oxidation with low sludge production were discussed in an OSA (oxic-settling-anaerobic) process. It has been confirmed that sludge decay included hydrolysis and acidogenesis of dead microorganism and particle organic carbon adsorbed in sludge flocs and endogenous metabolism. The concentrations of SCOD, NH_4^+ -N, TP in supernatant were increased gradually during sludge anaerobic treatment in the batch experiments. Soluble protein were increased up to 33.09 mg/L, exceeding carbohydrate change after 16 h anaerobic sludge treatment in the OSA batch experiment. It proved sludge lysis and hydrolysis in the OSA process. Endogenous SOUR in the OSA batch test was achieved 8 mg/(g·h), more than 1.7 multiples as that in the CAS batch test. Higher endogenous metabolism promoted sludge reduction in the OSA process. Sludge decay is the decisive cause in OSA process, accounting for 66.7% of sludge production reduction. By batch experiments, it has been validated energetic uncoupling in OSA system since microorganisms were exposed in alternative anaerobic and aerobic environment. It accounts for about 7.5% of sludge production reduction. SCOD released from anaerobic sludge tank in the OSA process is used as the substrate for cryptic growth. The substrate is used for anoxic denitrifying, anaerobic phosphorus release, sulfate reduction and methane production. These anaerobic reactors have lower sludge production than aerobic oxidation when consumed SCOD is equivalent, which may lead to approximately 23.5% reduction of sludge production in the OSA system. It has been concluded that multiple causes result in minimization of excess sludge in OSA system.

Key words: sludge minimization; sludge decay; uncoupled metabolism; anaerobic oxidation with low sludge production

剩余污泥处理和处置所需的投资和运行费用可占整个污水处理厂投资和运行费用的 25% ~ 65%^[1], 已成为废水生物处理技术面临的一大难题. 开发不降低污水处理效果、实现污泥产量最小化的废水生物处理工艺, 是解决污泥问题较理想的途径^[2]. 好氧-沉淀-厌氧(OSA)工艺实质是在传统活性污泥工艺的污泥回流过程中增加一个厌氧反应器, 不需要通过物理或化学手段进行预处理, 也不需要添加任何化学药剂, 已被证实能在不影响出水水质的前提下, 实现污泥减量, 同时改善了污泥沉降性

能^[3]. OSA 工艺被认为是很有前景的方法, 只要在曝气池和沉淀池间插入一个污泥厌氧池, 即可对传统的活性污泥工艺进行改造, 使得基建和运行成本较低.

揭示 OSA 工艺污泥减量机理, 对于探索不降低污水处理效果的污泥减量化工艺的运行控制参数和

收稿日期: 2007-03-26; 修订日期: 2007-05-08

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAC19B04)

作者简介: 金文标(1965 ~), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为环境生物技术与资源化, E-mail: jiiwwbbbbb2002@sina.com

* 通讯联系人, E-mail: Zhql1962@yahoo.com.cn

最优化运行条件,以及工业化应用都有极为重要的作用.由于 OSA 工艺污泥厌氧好氧耦合,好氧池中原动物和后生动物非常少见,因此生物捕食对污泥减量的影响非常少.目前主要存在 2 种 OSA 污泥减量理论:一种理论认为^[4,5] OSA 工艺通过能量解偶联理论实现污泥减量.OSA 工艺中交替厌氧、好氧环境,使微生物在好氧阶段通过氧化外源有机底物合成的 ATP,不能用于合成新细胞,而是在厌氧段作为维持细胞生命活动的能量被消耗.当微生物回到食物充足的好氧反应器时,重新进行能量储备,用于维持厌氧段细胞的基本代谢.这种交替好氧-厌氧循环,刺激微生物分解代谢与合成代谢相分离,从而达到污泥减量的效果.另一种污泥衰减理论认为^[6,7],厌氧污泥浓缩池中发生污泥衰减、污泥水解或消散是 OSA 工艺污泥减量的主要原因.OSA 工艺中厌氧污泥浓缩池污泥浓度高,停留时间长,基本没有外源基质,引起一些微生物死亡或内源呼吸分解,使得污泥产率降低.关于 OSA 污泥减量原因和机理探讨方面的文献报道很少,本研究通过连续和间歇试验,深入探讨 OSA 工艺污泥减量的原因,对各种可能的机理进行分析和比较,旨在为 OSA 污泥减量工艺的推广应用奠定理论基础.

1 材料与方法

1.1 试验装置及运行操作

试验装置如图 1 所示,分别对传统的活性污泥工艺(conventional activated sludge, CAS)和厌氧-好氧耦合工艺(oxic-settling-anaerobic, OSA)进行对比研究.2 套装置曝气池有效容积均为 12 L,沉淀池有效容积为 4.0 L,污泥在沉淀池中的停留时间为 2.35 h.OSA 工艺回流段插入的污泥厌氧池容积为 4.5 L,厌氧池内 ORP 维持在 -250 mV 左右.实验采用人工配水,连续流运行模式.进水流速为 40.8 L/d,进水平均 COD 浓度为 365 mg/L,容积负荷 N_v 为 1.24 kg/(m³·d),有机负荷 N_s 为 0.413 kg/(kg·d).进水和回流污泥流量采用蠕动泵控制.当反应器经过 2 个月稳定运行且效果良好后,定期监测 COD、MLSS、SV、NH₄⁺-N、TN、TP 等相关指标.

1.2 间歇试验设计

间歇实验 1:在 2 个 1 L 的反应器中,分别接种来自 CAS 和 OSA 连续流反应器中的好氧污泥.在相同条件下,进水后好氧曝气 7.5 h,静沉 30 min 后排出上清液,向浓缩污泥通入氮气使 ORP 下降到 -250 mV,厌氧 16 h,每周期运行 24 h.实验初始好

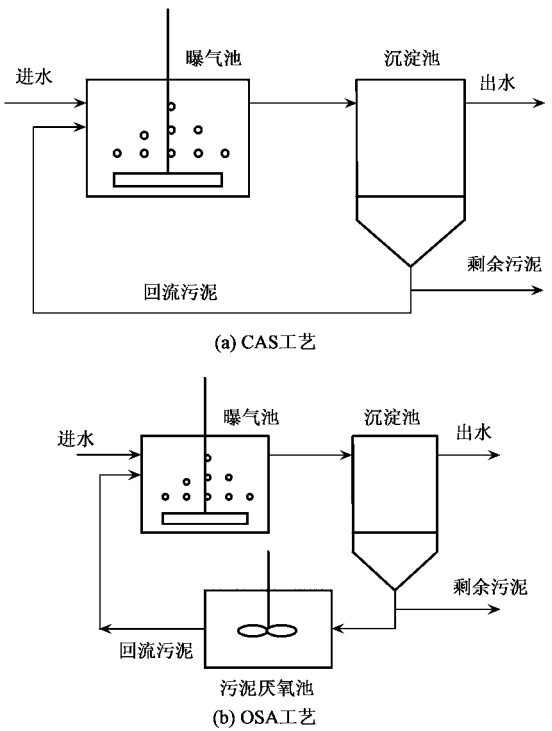


图 1 CAS 和 OSA 工艺流程

Fig.1 Schematic diagram of CAS and OSA experimental setup

氧污泥浓度约为 3.5 g/L,浓缩污泥浓度达到 11 g/L.在同一周期不同阶段,测定 MLSS、COD、NH₄⁺-N、TP 等指标.取泥水混合物 6 000 r/min 离心 5 min 后,测定上清液中 COD、NH₄⁺-N、TP 等指标.

间歇实验 2:在 2 个 1 L 的反应器中,接种 CAS 反应器好氧池污泥,有效容积 0.8 L,排水量为 1/2.对照组直接加入污水,好氧曝气 8 h,测定好氧前后 MLSS 及 COD;厌氧好氧耦合组,先向浓缩污泥样中通入 N₂ 约 15 min,使 ORP 保持在 -250 mV 左右,厌氧 8 h 后,加入污水,好氧曝气 8 h,测定进水、进水混合液、出水中的 COD 以及好氧前后 MLSS.由于污泥厌氧过程中会释放出 SCOD,因此进水混合液用 0.45 μm 滤膜过滤后,测 SCOD 值.所有间歇实验的数据取 3 次实验的平均值.

考虑隐性生长,好氧段:

$$Y_{\text{obs}} = \frac{(\text{MLSS}_{\text{出水前}} - \text{MLSS}_{\text{进水后}}) \times 0.8 \text{ L}}{(\text{COD}_{\text{进水混合液}} - \text{COD}_{\text{出水}}) \times 0.4 \text{ L}}$$

不考虑隐性生长,好氧段:

$$Y_{\text{obs}} = \frac{(\text{MLSS}_{\text{出水前}} - \text{MLSS}_{\text{进水后}}) \times 0.8 \text{ L}}{(\text{COD}_{\text{进水}} - \text{COD}_{\text{出水}}) \times 0.4 \text{ L}}$$

1.3 检测方法

试验中 COD 采用 HACH 仪器法测定.TN、TP、NH₄⁺、NO₃⁻、SO₄²⁻、MLSS 均采用国家规定的标准方

法^[8].多糖浓度采用苯酚-硫酸法测定^[9].蛋白质采用改进的 Lowry 法^[10].脱氢酶活性测定采用 TTC 法^[11].为了减少有机物对内源 OUR 测定的影响,取样后沉淀 30 min,弃上清液,再加去离子水.将泥样充分曝气 2h 以上,然后测定 OUR 为内源 OUR^[12].VFA 用带有 FID 检测器的气相色谱仪(Shimadzu GC-9A,日本)测定.

2 结果与分析

2.1 污泥衰减

本研究用间歇实验 1 模拟低基质条件下高浓度污泥厌氧过程的变化.污泥浓度为 11 g/L,厌氧前上清液 SCOD 浓度约为 50 mg/L.厌氧过程中 SCOD、NH₄⁺-N、TP 的变化关系见图 2,随污泥厌氧时间延长液相中 SCOD、NH₄⁺-N、TP 浓度逐渐升高. OSA 污泥厌氧上清液中溶解性蛋白质和多糖含量随厌氧时间逐渐上升,溶解性蛋白质浓度高达 33.09 mg/L,上升幅度高于多糖浓度的变化(见图 3).由于污泥干重的 50%是蛋白质,且蛋白质测定方便,蛋白质浓度是很常用的污泥生长参数^[13].因此,污泥厌氧上清液中,胞外溶解性蛋白质可能来源于废水组分或细胞水解,或微生物分泌的胞外酶^[14].在本实验中,污泥上清液中含氮化合物浓度极低,而厌氧过程中营养物含量的变化,进一步证实了溶解性蛋白质和多糖浓度升高是由于厌氧过程中存在微生物死亡,释放出胞内物,或者是由于微生物改变代谢途径分泌的胞外酶,说明在没有外源性基质的污泥厌氧过程中确实存在着污泥水解或消散现象,一些微生物死亡、水解,释放出胞内的蛋白质等,导致 SCOD、

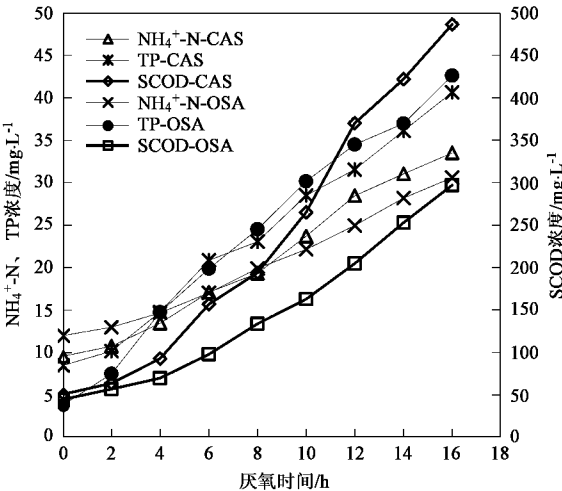


图 2 间歇实验 1 中溶解性 COD、NH₄⁺-N、TP 的变化

Fig.2 Concentration of soluble COD, NH₄⁺-N, TP during sludge anaerobic treatment in the 1st batch experiment

NH₄⁺-N、TP 升高.

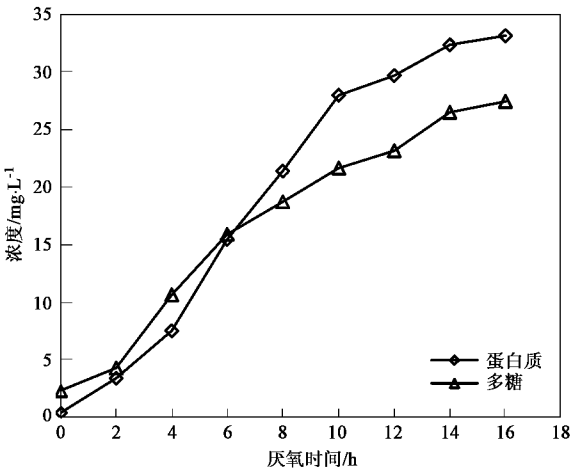


图 3 污泥厌氧过程释放的溶解性蛋白质和多糖的变化关系

Fig.3 Concentration of soluble protein and polysaccharide during sludge anaerobic treatment

对 CAS 污泥厌氧上清液有机物组分中 VFA 含量分析见图 4,说明污泥厌氧过程存在水解酸化现象.主要是吸附于细胞周围一些难降解物质、不溶性有机物、细胞死亡释放的胞内物等水解成易于被发酵微生物利用的简单有机物,在酸化条件下,进一步降解为乙酸、乙醇等挥发性有机物,作二次基质,可用于反硝化、厌氧释磷等生化反应的碳源,导致污泥减量.

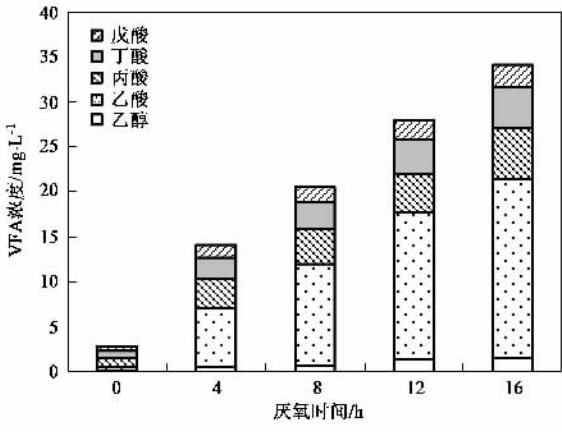


图 4 厌氧浓缩污泥厌氧过程中 VFA 的变化

Fig.4 Change of VFA during concentrated sludge anaerobic exposure

由图 2 可以看出,污泥厌氧 16 h, CAS 污泥释放 SCOD 和 NH₄⁺-N 均高于 OSA 污泥,SCOD 和 NH₄⁺-N 浓度分别增加了 435 mg/L 和 23.94 mg/L,是相同条件下 OSA 污泥厌氧释放出 SCOD 和 NH₄⁺-N 的 1.7 倍和 1.3 倍.这主要是由于 CAS 污泥在好氧-厌氧间歇实

验中,微生物不能适应厌氧-好氧环境的交替变化,而 OSA 工艺经过长期厌氧-好氧环境的交替,能够适应这种环境的微生物种群较丰富,导致 CAS 污泥衰减现象比 OSA 污泥更显著.

如果微生物死亡引发的污泥衰减是导致污泥减量的决定性原因,那么 CAS 间歇实验污泥产率应低于 OSA 的产率.表 1 中的数据表明,OSA 污泥间歇实验测得的 Y_{obs} (MLSS/COD)反而低于 CAS 污泥运行的 Y_{obs} ,相对于对照组分别下降 28.30% 和 18.87%.假定微生物死亡、水解等引发的污泥衰减是导致 CAS 污泥厌氧好氧耦合污泥减量的唯一原因,这种因素在 OSA 污泥间歇实验减量效果中只占到 66.68%,在 OSA 减量工艺中仍有 33.32%的污泥减量可能来自于厌氧好氧耦合以外的因素.厌氧好氧耦合引起污泥减量,除了污泥衰减,也可能存在能量解偶联现象.

表 1 OSA 和 CAS 反应器连续和间歇运行的污泥产率
Table 1 Y_{obs} of OSA and CAS reactor in continued and batch experiments

测定次数	$Y_{obs}/\text{mg}\cdot\text{mg}^{-1}$		
	对照	CAS 污泥	OSA 污泥
1	0.52	0.41	0.35
2	0.53	0.45	0.40
3	0.55	0.42	0.38
平均	0.53	0.43	0.38

2.2 维持代谢和内源呼吸

系统在长污泥停留时间和高污泥浓度条件下运行,能够有效地降低污泥产率^[15],这与微生物维持代谢和内源代谢也有关.维持代谢提供维持细菌生命活动的能量,主要用于细胞更新、运动等,内源呼吸通过微生物自身完全氧化为 CO_2 和 H_2O ,释放出能量用于细菌维持代谢活动.这 2 种代谢始终存在于微生物系统.污泥产率与维持代谢活性成反比^[16].内源 SOUR (O_2/MLVSS)的大小可反应内源代谢和维持基本代谢活动所需能量的大小.

测定间歇实验 1 中 OSA 污泥和 CAS 污泥厌氧前和厌氧后内源 SOUR 结果见图 5,表明 OSA 污泥厌氧前 SOUR 是 CAS 的 1.7 倍,经过 16 h 厌氧后,OSA 污泥内源 SOUR 比厌氧前略有下降,而 CAS 污泥 SOUR 约下降 1/2.这一结果表明 OSA 系统内源代谢较大,维持代谢所消耗的物质和能量较高,导致污泥产率下降.由于内源代谢和维持代谢引起的污泥减量,在表征污泥产率时归属于污泥衰减,因此,OSA 系统中由于内源代谢消耗引起的污泥衰减程度要大于 CAS.表 1 中污泥产率是由厌氧-好氧耦合引

发的污泥水解和内源代谢引发的污泥衰减综合作用的结果,说明由于内源代谢和维持代谢引起的污泥衰减是 OSA 污泥减量的重要原因之一.

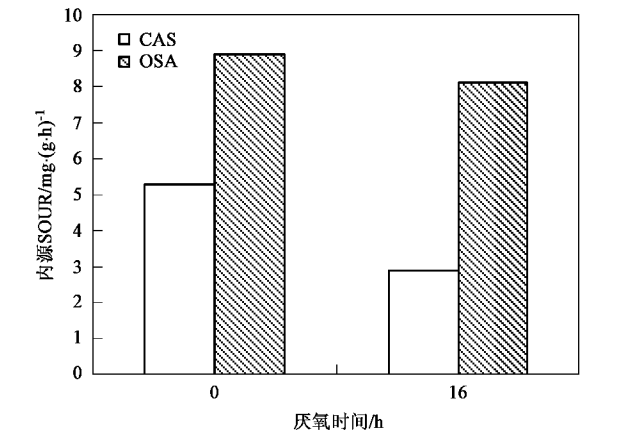


图 5 间歇实验 1 中 CAS 和 OSA 污泥厌氧过程中内源 SOUR
Fig.5 Change of endogenous SOUR in the 1st batch experiment with the sludge from both OSA and CSA systems

2.3 能量解偶联

从环境工程的角度,能量解偶联的概念可以理解为基础底物消耗能量的速率大于生长和维持正常生命活动需求的能量.在废水生物处理工艺中,解偶联代谢可以通过去除单位基质降低的生物量来表征^[17].根据能量解偶联理论,如果在交替食物充足的好氧环境和食物缺乏的厌氧环境中发生能量解偶联, Y_{obs} 将会下降^[6].

由于厌氧段释放出 SCOD,它可作为二次基质被好氧微生物利用.表 2 的结果表明,在间歇厌氧好氧耦合实验中,好氧段污泥产率计算时,若忽略这部分基质的隐性生长作用,会导致污泥产量偏高,考虑到隐性生长时,耦合组好氧段污泥产率比对照组低 7.5%,这部分污泥减量很可能是污泥交替厌氧好氧,且厌氧段污泥处于高浓度、低基质状态,引发能量解偶联.

表 2 间歇实验 2 测得的 Y_{obs}
Table 2 Summary of the Y_{obs} of the 2nd batch experiment

组次	$Y_{obs}/\text{mg}\cdot\text{mg}^{-1}$		
	对照组	厌氧好氧耦合 (忽略隐性生长)	厌氧好氧耦合 (考虑隐性生长)
1	0.52	0.57	0.48
2	0.53	0.56	0.49
3	0.55	0.55	0.50
平均	0.53	0.56	0.49

对间歇实验 2 厌氧-好氧耦合整个周期不同时间段 SOUR 和脱氢酶活测定的结果见图 6.

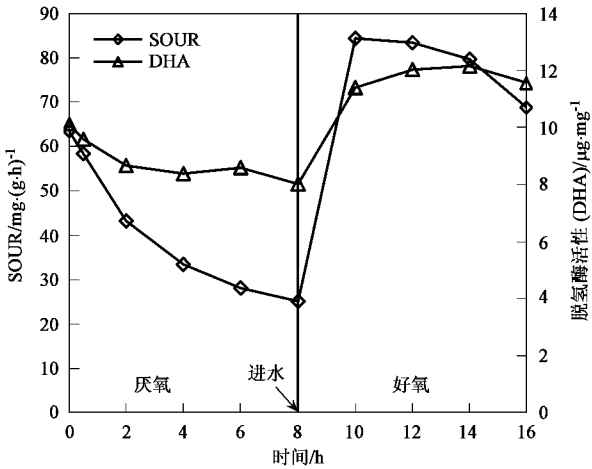


图 6 间歇实验 2 中 SOUR 和脱氢酶活性的变化
Fig.6 Variations of SOUR and dehydrogenase activity in the 2nd batch experiment

高浓度污泥饥饿厌氧 8 h 后立即进入食物充足的好氧状态, SOUR 和脱氢酶活性都急剧上升, 微生物进入好氧状态, 活性增强, 吸收有机物, 贮存能量. 随着体内贮存能量增加, SOUR 逐渐减弱. 进入无外源基质的厌氧环境, 微生物逐渐消耗体内积累的能量, 维持代谢, 活性逐渐降低. SOUR 主要反映微生物的好氧活性, 脱氢酶活性则描述微生物的酶活性以及微生物对有机物氧化分解能力^[11]. 在厌氧好氧耦合周期内, 脱氢酶活和 SOUR 的变化趋势基本相似, 反映了能量解偶联现象的存在, 与表 2 中污泥产率测定结果基本吻合. 但图 6 中 SOUR 的变化比脱氢酶活性波动更大, 厌氧过程中 SOUR 随厌氧时间延长而下降, 从厌氧到好氧转化过程中, SOUR 增加了 3 倍多, 这主要是由于长时间厌氧饥饿对好氧微生物产生抑制作用, 使得微生物活性在这种低基质厌氧环境中受抑制.

2.4 低污泥产率厌氧反应

图 7 为连续流实验不同时间测得的比 COD 去除率和比污泥增殖率. OSA 污泥比 COD 平均利用率为 0.044 h^{-1} , 要比 CAS 污泥高出 0.004 ; 比污泥增殖率为 0.012 h^{-1} , 比 CAS 小 0.002 h^{-1} . 能量解偶联作用、提高维持代谢和内源代谢所需的能量都可以使比污泥增殖率下降, 但图 7 结果表明, OSA 工艺的比污泥增殖率下降的同时, 比 COD 去除率上升, 说明在 OSA 工艺中可能存在低污泥产率的慢速生长微生物, 且 2.1 节中已证实污泥衰减的同时, 还存在其

它因素导致 OSA 污泥产率下降.

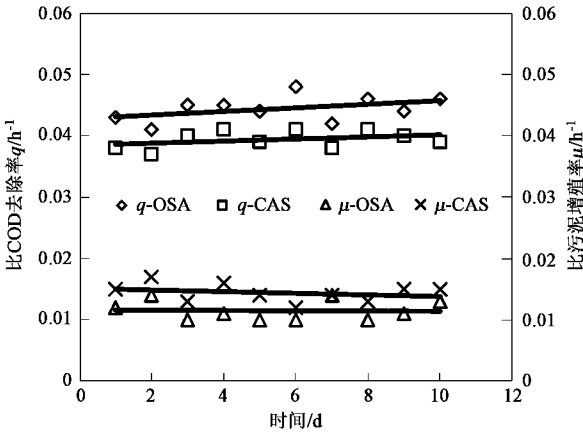


图 7 比 COD 去除率和污泥比增殖率随时间的变化关系
Fig.7 Chronological plot of special COD removal rate and special sludge growth rate

由于 OSA 工艺厌氧好氧耦合, 存在内源反硝化和生物除磷现象, TN 和 TP 的去除率分别达到 58.86% 和 63.43%^[18]. OSA 污泥在厌氧水解酸化过程中释放出 SCOD, 作为反硝化、硫酸盐还原、厌氧释磷和产甲烷等生化反应的碳源, 这些厌氧生化反应的污泥产率低于好氧代谢的污泥产率(见表 3). 由表 3 可知, 在本研究连续流 OSA 系统中, 厌氧段污泥增殖 2.52 g/d , 与好氧代谢相比, 消耗相同 COD, 污泥产量可下降 3.06 g/d . 根据整个系统物料平衡计算, OSA 厌氧池污泥总产量减少 7.45 g/d , 说明厌氧污泥衰减引起的污泥减量程度超过厌氧代谢增殖的污泥量. 厌氧池中被消耗等量 COD 对应于好氧污泥增殖, 污泥产量达到 5.58 g/d , 因此整个过程中实际污泥衰减的总量为 13.03 g/d , 由于低污泥产率的生化反应引起的污泥减量为 3.06 g/d , 占整个厌氧污泥池污泥减量的 23.48%. 此外, 由于污泥厌氧过程二次基质的释放和利用, 消耗能量也会引起污泥减量.

3 讨论

厌氧池是 OSA 工艺污泥减量的关键环节. 与生物脱氮除磷功能的厌氧区相比, OSA 工艺厌氧段主要特点是污泥浓度高达 $8\sim 12\text{ g/L}$, 有机物浓度低, 停留时间长达 $8\sim 16\text{ h}$ ^[6]. 经过沉淀池浓缩后的污泥进入厌氧池, 污泥浓度是传统厌氧区污泥浓度的 2 倍以上; 有机物经过曝气池和沉淀池已基本被降解, 使得随污泥进入厌氧段的有机物浓度相当低, 因此存在显著的污泥衰减现象. OSA 污泥衰减主要有 2

表 3 OSA 污泥厌氧和好氧条件对应的 COD 消耗量和污泥产率

Table 3 Summary of consumed COD and sludge production in anaerobic and aerobic condition

反应	OSA 系统厌氧污泥池的生化反应消耗的 COD 及污泥产率					等量 COD 消耗对应于好氧条件下的污泥产率	
	去除或产生的物质/ $\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$	单位物质消耗的 COD 量/ $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	消耗的 COD 量/ $\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$	污泥产率 $Y/\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	污泥产量 $/\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$	污泥产率 $Y/\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	污泥产量 $/\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$
反硝化($\text{NO}_3^- - \text{N}$)	1.67	4 ^[19]	6.68	0.33 ^[20]	2.2		
脱硫($\text{SO}_4^{2-} - \text{S}$)	0.53	2 ^[19]	1.06	0.2 ^[20]	0.212	0.53	
除磷(TP)	0.259	10 ^[13]	2.59	0.18 ^[21]	0.094		
产甲烷(CH_4)	0.049	4 ^[13]	0.194	0.05 ^[21]	0.009 7		
总量			10.52		2.52		5.58

部分组成,一部分是由于微生物死亡、水解及吸附于污泥絮体表面的一些颗粒有机物或难降解物质水解酸化;另一部分是由于污泥浓度高,停留时间长,系统微生物要比 CAS 系统消耗更多的有机物用于维持代谢和内源代谢,不用于微生物增殖,OSA 工艺中约 2/3 左右的污泥减量是由这 2 方面污泥衰减共同作用引发,成为污泥减量的主要原因.这一结论与 Chen 等^[7]的研究结果基本一致,但不同的是他们认为污泥衰减是 OSA 污泥减量最主导的因素,能量解偶联和慢速微生物对 OSA 污泥减量的影响可以忽略.而本研究通过对厌氧好氧耦合间歇实验证实了 Chudoba 等^[4]提出的 OSA 工艺中存在能量解偶联现象,但对整个污泥减量效果的影响不到 10%.Chen 等^[7]通过间歇实验表明,厌氧饥饿后的污泥进入食物充足的环境下,SOUR 急剧增加,基质的利用和污泥产率都增加,但没有发现 ATP 浓度的变化和表观污泥产率下降,认为不存在能量解偶联现象.因此,能量解偶联在 OSA 污泥减量中的贡献有待于进一步深入研究.在厌氧过程中释放的 SCOD 成为厌氧释磷、反硝化、硫酸盐还原及产甲烷的碳源,由于这些厌氧代谢污泥产率比好氧代谢低得多,对整个系统污泥减量有不可忽略的作用.因此,OSA 工艺污泥减量是由多方面因素共同作用的结果,仍需要从微观分子生物学角度进一步分析微生物种群结构,揭示微生物代谢途径和机理.

4 结论

(1)通过对污泥厌氧释放出 SCOD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TP、蛋白质和多糖、VFA 浓度的变化,证实厌氧过程中存在污泥水解酸化.污泥产率的测定结果表明,OSA 工艺中 2/3 的污泥减量是由于污泥衰减引起的.

(2)OSA 工艺中污泥的内源 SOUR 高于 CAS 污泥,表明 OSA 系统内源呼吸消耗大,维持代谢能量高,污泥产率相应降低,是污泥衰减的重要组成

部分.

(3)厌氧好氧耦合过程中 SOUR、脱氢酶活性及污泥产率的变化表明能量解偶联现象存在,但在整个工艺中对污泥减量的贡献不大.

(4)污泥厌氧池中存在反硝化、厌氧释磷、硫酸盐还原等微生物增殖速率较慢的厌氧生化反应,使 OSA 工艺污泥产率下降,系统污泥减量有 23% 左右是由于这方面的原因.

参考文献:

[1] Zhao Q L, Kugel G. Thermophilic/mesophilic digestion of sewage sludge and organic waste [J]. Journal of Environmental Science and Health, 1997, **31**: 2211-2231.

[2] Liu Y, Tay J H. Strategy for minimization of excess sludge production from the activated sludge process [J]. Biotechnology Advances, 2001, **19**: 97-107.

[3] Sabya S, Djafera M, Chen G H. Effect of low ORP in anoxic sludge zone on excess sludge production in oxic-settling-anoxic activated sludge process [J]. Water Research, 2003, **37**: 11-20.

[4] Chudoba P, Chdoba J, Capdeville B. The aspect of energetic uncoupling of microbial growth in the activated sludge process: OSA system [J]. Water Science and Technology, 1992, **26**: 2477-2480.

[5] Chudoba P, Morel A, Capdeville B. The case of both energetic uncoupling and metabolic selection of microorganisms in the OSA activated sludge system [J]. Environmental Technology, 1992, **13**: 761-770.

[6] Chen G H, An K J, Saby S, *et al.* Possible cause of excess sludge reduction in an oxic-settling-anaerobic activated sludge process (OSA process) [J]. Water Research, 2003, **37**: 3855-3866.

[7] Chen G H, Yip W K, Mo H K, *et al.* Effect of sludge fasting / feasting on growth of activated sludge cultures [J]. Water Research, 2001, **35**(4): 1029-1037.

[8] 国家环境保护总局.水和废水检测分析方法[M].(第四版).北京:中国环境科学出版社,2002. 105-106, 243-280.

[9] Dubois M, Gilles K A, Hamilton J K, *et al.* Colorimetric method for determination of sugars and related substances [J]. Analytical Chemistry, 1956, **28**: 350-356.

[10] Frølund B, Griebe T, Nielsen P H. Enzymatic activity in the activated sludge floc matrix [J]. Applied Microbiological Biotechnology, 1995, **43**: 755-761.

- [11] Li X Z, Zhao Q L. Efficiency of biological treatment affected by high strength of ammonium-nitrogen in leachate and chemical precipitation of ammonium-nitrogen as pretreatment [J]. *Chemosphere*, 2001, **41**: 37-43.
- [12] McSwain B S, Irvine R L, Hausner M, *et al.* Composition and distribution of extracellular polymeric substances in aerobic flocs and granular sludge [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2005, **71**(2): 1051-1057.
- [13] Metcalf, Eddy Inc. 废水工程:处理与回用[M]. (第四版). 北京:清华大学出版社,2003. 567-627.
- [14] Neyens E, Baeyens J, Dewil R, *et al.* Advanced sludge treatment affects extracellular polymeric substances to improve activated sludge dewatering [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2004, **106B**: 83-92.
- [15] Wang W H, Jung Y J, Kiso Y, *et al.* Excess sludge reduction performance of an aerobic SBR process equipped with a submerged mesh filter unit [J]. *Process Biochemistry*, 2006, **41**: 745-751.
- [16] Chang J, Chudoba P, Capdeville B. Determination of the maintenance requirement of activated sludge [J]. *Water Science and Technology*, 1993, **28**: 139-142.
- [17] Low E W, Chase H A, Milner M G, *et al.* Uncoupling of metabolism to reduce biomass production in the activated sludge process [J]. *Water Research*, 2000, **34**(12): 3204-3212.
- [18] 王建芳, 金文标, 赵庆良, 等. 好氧-沉淀-厌氧工艺处理效能及抗冲击负荷研究[J]. *环境科学*, 2007, **28**(11): 2488-2493.
- [19] Rittmann B E, McCarty P L 著. 文湘华, 王建龙等译. 环境生物技术:原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004. 165-493.
- [20] Zehnder A J B, Wuhmann K. Titatium(Ⅲ) citrate as a non-toxic oxidation reduction buffering system for the culture of anaerobes [J]. *Science*, 1976, **194**: 1165-1166.
- [21] Higgins M J, Novak J T. The effect of cations on the settling and dewatering of activated sludge [J]. *Water Environment Research*, 1997, **69**(2): 215-224.