

王亚宜,王淑莹,彭永臻,等. 2006 污水有机碳源特征及温度对反硝化聚磷的影响 [J]. 环境科学学报, 26 (2): 186 - 192

Wang Y Y, Wang S Y, Peng Y Z, *et al* 2006. The influence of carbon source and temperature on the denitrifying dephosphorus removal in wastewater treatment process [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 26 (2): 186 - 192

污水有机碳源特征及温度对反硝化聚磷的影响

王亚宜^{1,2,*}, 王淑莹¹, 彭永臻¹, 祝贵兵³, 令云芳¹

1. 北京工业大学,北京市水质科学与水环境恢复工程重点实验室,北京 100022

2. 浙江工业大学建筑工程学院,杭州 310014

3. 哈尔滨工业大学市政环境工程学院,哈尔滨 150090

收稿日期:2005-08-01 修回日期:2005-12-15 录用日期:2005-12-15

摘要:为考察 A_2N 连续流系统的主导生化反应过程及聚磷污泥的诸多特性,从而为反硝化除磷脱氮新工艺的应用推广提供可供参考的运行控制参数,首次采用 A_2N 系统中的反硝化聚磷污泥 (DPB 污泥),以生活污水、乙酸以及细胞内碳源作为有机底物,利用批量静态试验展开对比研究.结果表明,污水中的挥发性有机物含量越高,厌氧段初始的放磷速率越快,放磷越充分,后续反硝化脱氮和缺氧吸磷效果也将明显提高;而内源反硝化脱氮速率决定于细胞内 PHB 贮存量,当反硝化聚磷微生物细胞体内的 PHB 被耗尽,微生物处于极度饥饿状态,内源反硝化速率很低,同时也不发生吸磷反应.试验同时考察分析了 2 种温度条件——正常温度 (25 ~ 26 °C) 和低温 (8 ~ 10 °C) 下 DPB 的反硝化吸磷情况,发现反应系统在低温条件下将减小厌氧放磷和缺氧吸磷的生化反应速率,但并不对反硝化聚磷菌产生完全抑制作用,即低温对系统整体吸磷效果的负面影响不大.

关键词:反硝化聚磷;反硝化聚磷菌 (DPB);碳源;温度

文章编号:0253-2468 (2006) 02-0186-07

中图分类号:X703

文献标识码:A

The influence of carbon source and temperature on the denitrifying dephosphorus removal in wastewater treatment process

WANG Yayi^{1,2,*}, WANG Shuying¹, PENG Yongzhen¹, ZHU Guibing³, LING Yunfang¹

1. Key Laboratory of Beijing for Water Quality Science and Water Environment Recovery Engineering, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022

2. School of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014

3. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090

Received 1 August 2005;

received in revised form 15 December 2005;

accepted 15 December 2005

Abstract: To supply the valuable running parameters for the popular usage of the new denitrifying phosphorus removal technique, it is necessary to study the dominant biological reaction and the characteristics of denitrifying phosphorus removal bacteria (DPB) in the denitrifying phosphorus removal process. The parallel batch experiments using DPB sludge were carried out to study the effect of substrates (sewage, HAc and internal carbon source) on denitrifying dephosphorus removal efficiency. The results showed that initial specific phosphorus release rate increased with the high concentration of the low-chain volatile fatty acids ration in influent, and sufficient phosphorus was released by DPB. That improved subsequent denitrification and phosphorus uptake efficiency. The specific endogenous denitrification mainly relies on the internal carbon source (PHB) contents stored by Poly-P bacteria. DPB was very hungry when the internal PHB consumed. Consequently, the specific endogenous denitrification rate was low and the phosphorus uptake did not happen. On the other hand, in the experiment, it was also investigated and analyzed the denitrification dephosphorus removal status under two kind temperature condition (8 ~ 10 °C and 25 ~ 26 °C). It was found that the lower temperature decreased the specific phosphorus release and uptake velocities, but did not do the negative effects on the overall phosphorus removal.

Keywords: denitrifying dephosphorus removal; denitrifying phosphorus removal bacteria (DPB); carbon source; temperature

反硝化除磷 (Denitrifying phosphorus removal) 代表了当前污水脱氮除磷领域的最新理论和技术之

一, 它的提出是对传统生物脱氮除磷理论的新突破, 不仅可解决传统工艺中存在的矛盾问题而且还

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (No. 20377003); 中国博士后科学基金资助项目 (No. 2005037296); 浙江省自然科学基金 (No. Y505031)

Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 20377003); National Postdoctoral Science Foundation of China (No. 2005037296); Natural Science Foundation of Zhejiang Province (No. Y505031)

作者简介: 王亚宜 (1977—), 女, 讲师 (博士), E-mail: wywater@zjut.edu.cn; *通讯作者 (责任作者)

Biography: WANG Yayi (1977—), female, Ph.D., lecture, E-mail: wywater@zjut.edu.cn; *Corresponding author

利于实现污水的可持续处理.反硝化除磷是指在厌氧、缺氧(anaerobic/anoxic)交替运行条件下,驯化出一类以 $\text{NO}_3^- \cdot \text{N}$ 作为最终电子受体的反硝化聚磷菌(Denitrifying Phosphate Removal Bacteria,缩写DPB)优势菌属,它们以 NO_3^- 作为电子受体,利用内碳源(PHB),通过“一碳两用”方式同时实现反硝化脱氮和吸磷作用.与传统的脱氮除磷工艺相比不仅COD耗量可节省50%,氧气耗量降低30%,污泥产量也可望减少50%,因此,反硝化除磷脱氮工艺被视为一种可持续工艺,目前开发得到的主要工艺有 A_2NSBR 、 A_2N 连续流工艺(也称DEPHANOX工艺)、MUCT和BCFs工艺等(Kuba *et al*, 1996, 1997; Bortone *et al*, 1999; 郝晓地, 2002).

生物除磷包括聚磷菌对磷的释放和吸收2个过程,在这2个过程中,碳源类型、温度、 $\text{NO}_3^- \cdot \text{N}$ 、MLSS、pH、停留时间等多种因素都会对吸、放磷效果产生较大影响.笔者先前研究(王亚宜, 2004)的 A_2N 连续流工艺是个动态变化系统,其水流条件复杂,许多生化反应交互影响,因此,系统内很多生化反应过程以及微生物特性不能直观地体现出来,这使得连续流工艺在运行过程中出现的许多问题无法得到合理的解释,继而也无法得到妥善地解决.因而,有必要利用间歇试验,对连续流系统中的主导生化反应过程及聚磷污泥诸多的特性进行单独的研究与考察.

有机物特征和温度是影响生物反应器反硝化和吸磷效果的重要因素.许多研究结果均已证明,废水中所含的有机基质对磷的释放有很大影响.大部分聚磷菌只能以低级脂肪酸类小分子有机基质作为利用的对象,并将其合成的PHB以能量形式贮

存在细胞内部.一般认为,在生物除磷过程中,聚磷菌只有在厌氧段进行充分地放磷,才能保证在后续的吸磷段实现良好的效果(Malnou D *et al*, 1984; Gerber A, 1986).为此,考察厌氧段进水碳源特性不同时(生活污水、醋酸钠及内碳源),反硝化聚磷污泥所表现出的放磷和缺氧吸磷特性是很必要的.另一方面,研究发现污水生物处理实质是利用微生物体内的酶促生化反应来实现对有机物污染物的代谢过程.由于生物蛋白活性受温度影响很大,因而酶本身所具有的蛋白质特性就决定了污水生物处理反应器必须在一定的温度范围内运行才能取得良好的处理效果.探讨反硝化除磷系统在不同温度条件下的处理效能和规律是生物脱氮除磷技术研究的关键课题之一.据文献报道, A_2N 双污泥反硝化除磷系统在低温下的硝化反硝化效果好于单污泥反硝化除磷系统,但低温(5℃)对聚磷菌的生长有抑制作用,且低温对 A_2N 双污泥系统的影响更显著(Hao X D *et al*, 2000).

本文即利用了 A_2N 连续流系统中的沉淀池污泥,以SBR间歇运行方式,在静态条件下对碳源类型、温度对反硝化聚磷菌的影响作用规律展开了对比试验研究,旨在通过反硝化聚磷的机理试验,为反硝化除磷脱氮新工艺和新技术的应用推广提供科学的运行控制参数.

1 试验材料与方法 (Materials and methods)

1.1 反硝化聚磷污泥

试验用污泥取自实验室连续运行的 A_2N 反硝化除磷脱氮工艺,该工艺是采用生物膜法和活性污泥法相结合的双污泥系统(见图1). A_2N 工艺以生

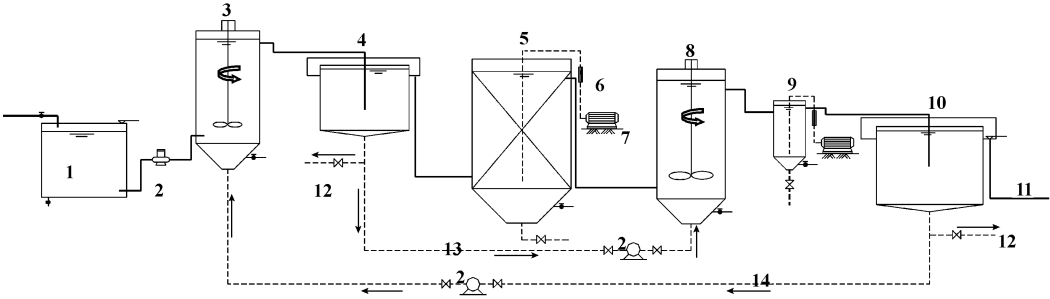


图1 A_2N 反硝化除磷脱氮工艺流程图(1.水箱;2.蠕动泵;3.厌氧池;4.中沉池;5.膜法硝化池;6.气体流量计;7.气泵;8.缺氧池;9.后快速曝气池;10.终沉池;11.出水;12.剩余污泥;13.超越污泥;14.污泥回流)

Fig 1 Configuration of A_2N system (1. storage tank; 2. peristaltic pump; 3. anaerobic tank; 4. internal settler; 5. the biofilm-fixed nitrification; 6. gas flowmeter; 7. air pump; 8. anoxic tank; 9. post-aeration tank; 10. final settler; 11. effluent; 12. excess sludge; 13. sludge bypass; 14. sludge recycle)

生活污水为处理对象连续运行 14 个月以上,反硝化除磷效果稳定.中沉池 DPB 污泥经过前序的厌氧放磷反应,体内已经贮存了大量的 PHB;而出水端的终沉池 DPB 污泥则是完成了缺氧吸磷作用并于后序快速曝气池中好氧曝气 1h,体内残留的 PHB 基本已被完全消耗(王亚宜,2004).

1.2 试验方法

根据不同的研究目的,从连续流系统中的中沉池或终沉池取 100~240 mL 污泥与配水混合至 4 L 后置入 SBR 中(试验系统及控制装置见图 2, SBR 有效容积为 4 L),用搅拌器缓慢搅拌以防止污泥沉淀,定时取样分析.配水分别投加 NaAc、 K_2HPO_4 和 KNO_3 来达到不同的 COD 、 $PO_4^{3-}-P$ 和 $NO_3^{-}-N$ 浓度,同时加入 1.2 mL 微量元素液(见表 1)(阮文权,2002).为了防止吸磷过程 pH 的升高,引起磷酸盐的沉淀(pH 大于 8 时会引起磷酸盐的沉淀)(Kuba *et al*, 1996; 1997),反应过程以 pH 仪进行在线监测,通过加入 HCl 和 NaOH 溶液(浓度均为 $0.5\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$),将反应过程系统的 pH 值维持在 7 左右.同时在线监测 DO 和 pH 值.水样由图 2 中所标注的取水口取水,后由离心机经 $3000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心 1 min 后测定.

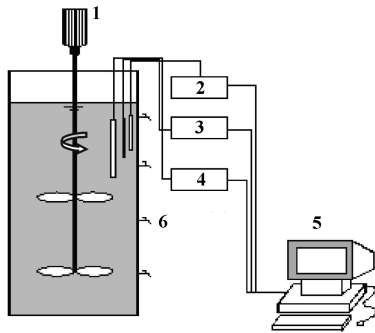


图 2 SBR 试验系统与控制装置(1. 搅拌器; 2. ORP 仪; 3. pH 计; 4. DO 仪; 5. 计算机; 6. 取水口)

Fig. 2 The schematic diagram of experimental system with control equipment in SBR process (1. mixer; 2. ORP meter; 3. pH meter; 4. DO meter; 5. computer; 6. outlet)

表 1 微量元素液成分组成

Table 1 Components of the trace element mixture

g·L ⁻¹			
成分	浓度	成分	浓度
H ₃ BO ₃	0.15	MnCl ₂ ·4H ₂ O	0.06
FeCl ₃	0.90044	KI	0.18
CoCl ₂ ·7H ₂ O	0.15	Na ₂ MoO ₄ ·4H ₂ O	0.06
CuCl ₂ ·5H ₂ O	0.03	Zn ₂ MoO ₄ ·4H ₂ O	0.12

1.2.1 不同碳源特征对反硝化吸磷的影响作用
生活污水和乙酸为碳源时的释磷和反硝化吸磷:取 A_2N 系统终沉池回流污泥 240 mL,用清水将污泥清洗 2 遍,充分沉淀后,撇去上清液,将沉淀污泥均分为 2 份投入到 2 个 SBR 中.其中 1[#] SBR 直接以生活污水为处理对象;2[#] SBR 则采用先将生活污水加入 1/2 的清水,然后根据生活污水的 COD 和 TP 值,投加 HAc 和 KH_2PO_4 进行补偿,以便使该污水能与生活污水具有近似的 COD 和 $PO_4^{3-}-P$ 浓度值.厌氧搅拌反应 300 min 后,一次性投加 KNO_3 使 2 个系统的初始 $NO_3^{-}-N$ 浓度均达到 $30\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右,缺氧反应时间 4 h 反应器运行温度维持在 $(22\pm1)^\circ\text{C}$,pH 值维持在 7.2 左右.测定系统 COD 、 $PO_4^{3-}-P$ 和 $NO_3^{-}-N$ 浓度变化,以对比聚磷菌在生活污水和乙酸为碳源时的释磷和反硝化吸磷特征.

内碳源反硝化脱氮和除磷:试验考察聚磷菌吸磷反应时,通常所利用的污泥均首先经过厌氧反应,待体内贮存了大量的 PHB 后,才被用于反硝化和吸磷的研究.如果聚磷污泥未经前序的厌氧放磷反应,而是在充分吸磷以后,直接处于缺氧环境中,是否能够进行反硝化和吸磷反应,换句话说,聚磷菌是否可在极度饥饿状态下利用自身体内的原生质物质(称为内源呼吸碳源,简称内碳源; Endogenous Carbon Sources)进行内源反硝化.为解答这个问题,开展了贫营养条件(外部环境中无可利用碳源,细胞内也无可利用的 PHB 颗粒)下的缺氧吸磷试验研究.

从终沉池中取 100 mL 污泥,清洗后,投加到 SBR 反应器中.同时加入配水,使系统初期的 $PO_4^{3-}-P$ 浓度接近 $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (测量值为 $9.75\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$),然后一次性投加 $NO_3^{-}-N$ 浓度达到 $30\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右,考察 $PO_4^{3-}-P$ 和 $NO_3^{-}-N$ 浓度的变化规律.

1.2.2 温度对 DPB 厌氧放磷和缺氧吸磷的影响
试验在容积为 1 L 的烧杯中进行,采用磁力搅拌器搅拌,其中 1[#] 烧杯放置在恒温箱中,温度控制为 $8\sim10^\circ\text{C}$,2[#] 烧杯则放置在常温 $25\sim26^\circ\text{C}$ 下,考察 2 个系统厌氧放磷和反硝化吸磷状况.

温度对 DPB 厌氧放磷的影响:试验污泥取自终沉池沉淀污泥(120 mL),清洗后均分为 2 份投加到烧杯中.试验过程维持 2 个系统的 pH 值为 7.0 ± 0.1 左右;在反应初期投加 HAc 至 $30\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.监测 COD 和 $PO_4^{3-}-P$ 浓度,考察 1[#] 和 2[#] 系统 DPB 污泥的放磷特征.

温度对DPB反硝化脱氮吸磷的影响:取中沉池沉淀污泥70 mL,清洗后平均分为2份投加到烧杯中.试验过程维持2个系统pH值为 7.0 ± 0.1 左右;投加配水,使系统初始 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 浓度控制在 $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右.在反应初期一次性投加 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度至 $42\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右,考察1[#]和2[#]系统聚磷污泥的缺氧吸磷状况.

1.3 检测方法

COD_C采用5B-1型COD快速测定仪测定;硝态氮采用麝香草酚分光光度法测定;溶解性磷酸盐采用氯化亚锡还原光度法测定;MLSS采用滤纸称重法测定(国家环保局,1997);pH和DO值采用WTW

inolab level 2在线监测.

2 试验结果 (Results)

2.1 生活污水和乙酸为碳源时DPB的释磷和反硝化吸磷试验

图3为聚磷污泥在以纯生活污水和投加了乙酸的生活污水2种进水条件下磷的释放和吸收情况,图中曲线可反应出DPB污泥良好的厌氧放磷和缺氧吸磷规律.在厌氧段2种碳源下,系统的释、吸磷以及对COD和硝酸盐的去除曲线规律具有一定的相似性,但在数值上表现出较大的差异.

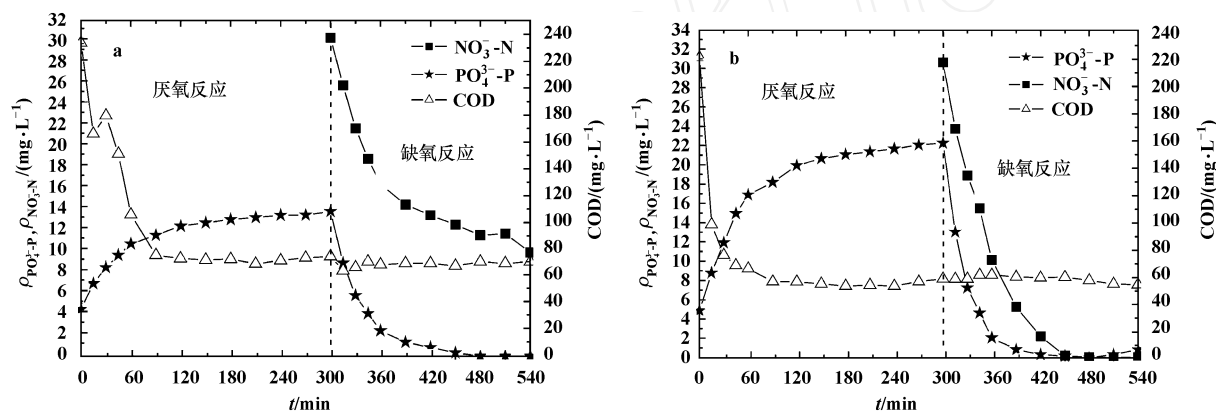


图3 不同碳源类型对污泥吸放磷的影响(a以纯污水作为碳源聚磷污泥的吸磷放磷情况(MLSS=1610 mg·L⁻¹);b以投加HAc作为碳源聚磷污泥的吸磷放磷情况(MLSS=1580 mg·L⁻¹))

Fig. 3 The effect of different carbon source added in anaerobic phase on phosphorus release and uptake (a phosphorus release and uptake using the pure sewage as the carbon source (MLSS = 1610 mg · L⁻¹); b phosphorus release and uptake using HAc as the carbon source (MLSS = 1580 mg · L⁻¹))

同时列出2种试验条件下各时间段内放磷和吸磷的平均速率(见表2),表中数据更加直观地反应出污水中的挥发性有机物含量越高,厌氧段初始的放磷速率越大,后续反硝化脱氮和缺氧吸磷速率也越高.

表2 厌氧段投加的碳源特征对反硝化除磷脱氮的影响

Table 2 Effect of carbon source added in anaerobic phase on denitrifying phosphorus removal

反应时间 /min	1 [#]			2 [#]		
	厌氧放磷速率 /(mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	缺氧吸磷速率 /(mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	缺氧反硝化速率 /(mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	厌氧放磷速率 /(mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	缺氧吸磷速率 /(mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	缺氧反硝化速率 /(mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)
0~15	6.07	12.20	11.19	9.86	23.36	17.42
0~30	4.94	9.94	10.69	8.92	18.99	14.83
0~60	3.87	7.05	8.65	7.59	12.79	12.96
60~120	1.06	0.99	8.65	1.93	1.10	5.03
120~180	0.37	0.51	1.19	0.72	—	1.38
180~240	0.26	0.001	1.02	0.38	—	—
240~300	0.21	-	11.19	0.37	—	17.42

2.2 内碳源反硝化脱氮和除磷试验

DPB内碳源反硝化脱氮和除磷试验结果如图4所示.图中曲线显示,反硝化聚磷微生物在贫营养内源呼吸状况下,硝态氮浓度略有轻微下降,而磷的曲线基本无变化,这一现象暗示着反硝化聚磷菌在体内缺乏PHB的情况下,无法进行正常的反硝化和吸磷反应.

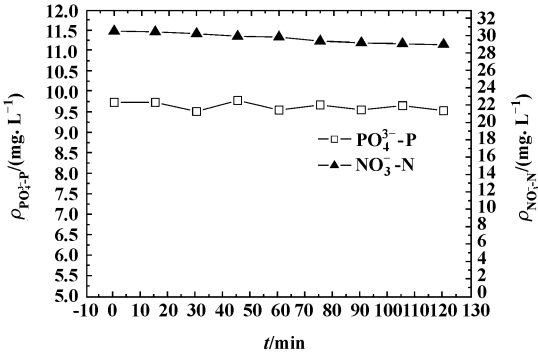


图4 内源反硝化和吸磷 (MLSS = 1022 mg·L⁻¹)
Fig 4 Dynamics of nitrate and phosphorus during denitrification by using endogenous carbon (MLSS = 1022 mg·L⁻¹)

2.3 温度对厌氧放磷和反硝化脱氮吸磷的影响

在低温(8~10)和常温(25~26)条件下,2个系统的厌氧放磷状况如图5所示.可以看出,在反应初期,在温度较低的1[#]系统中,其释磷曲线斜率要明显低于室温条件下的2[#]系统,但是2h以后2个系统的放磷量基本持平.

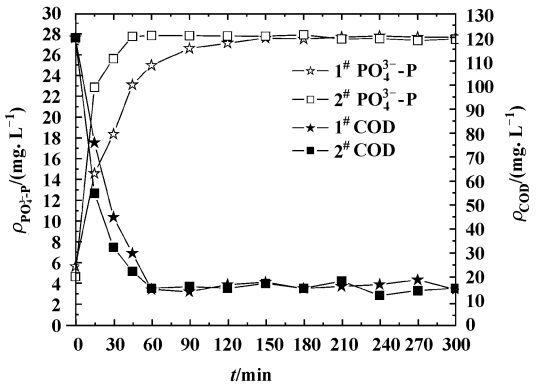


图5 温度对厌氧放磷的影响和关系 (1[#]MLSS = 5428 mg·L, 2[#]MLSS = 5350mg·L⁻¹)
Fig 5 Effect of temperature on anaerobic phosphorus release (1[#]MLSS = 5428mg·L, 2[#]MLSS = 5350mg·L⁻¹)

图6为在8~10和25~26 2种温度条件下聚磷污泥缺氧吸磷的对比试验结果,图中PO₄³⁻-P曲线前60min内的斜率变化显示,低温下的吸磷速

率低于室温条件下的吸磷速率,但是最终磷还是能被吸收完全;而硝酸盐氮量在反应终点时1[#]系统较2[#]系统高.

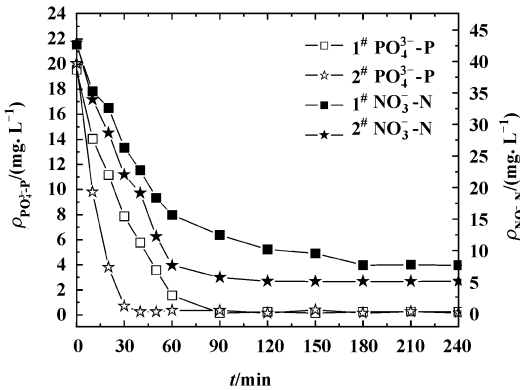


图6 温度对缺氧吸磷的影响和关系 (1[#]MLSS = 2681 mg·L, 2[#]MLSS = 2692mg·L⁻¹)
Fig 6 Effect of temperature on anoxic phosphorus uptake (1[#]MLSS = 2681mg·L, 2[#]MLSS = 2692mg·L⁻¹)

3 讨论 (Discussion)

3.1 有机碳源种类对DPB释磷、反硝化吸磷特征的影响

从图3可以看出,在投加污水后最初的15min内,由于活性污泥对有机物的初期吸附作用,2个系统混合液的COD浓度都迅速下降.但由于HAc为易降解可溶性的低分子有机物,故投加HAc的2[#]系统最初15min内COD的下降速率较1[#]大.如图3a所示,1[#]系统在30min处出现了COD小幅上升现象,这主要是由于活性污泥中微生物的胞外水解酶将吸附的非溶解状态的有机物水解成溶解状态的小分子,部分有机物分子又重新进入混合液而引起的,但因有机物不断被吸收降解是整个系统的主导反应,因而COD上升的现象并不十分明显.伴随着系统中有机物的继续减少,溶液中的PO₄³⁻-P浓度逐渐升高,这意味着DPB微生物已处于进入放磷阶段.

而从表2数据可以看出,在反应最初的15min,厌氧放磷速率均较大,1[#]和2[#]系统已分别达到6.11 mg·g⁻¹·h⁻¹和9.86 mg·g⁻¹·h⁻¹.随着反应时间的延续,系统中磷浓度继续升高(见图3),但从反应速率来看,在前60min内的磷平均释放速率较大,随后速率逐渐变小.当反应至60min时,2个系统中COD浓度都降至60~70mg·L⁻¹,放磷速率虽然大幅度减小,但是PO₄³⁻-P浓度曲线仍然在缓缓上升,这主要

是由内源呼吸导致地磷释放,故表观上反映出 PO_4^{3-} -P浓度在变大。经过近 300 min 的放磷反应后,1[#]和 2[#]系统中 PO_4^{3-} -P浓度已经分别达到 13.34 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 22.28 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$;而 COD 浓度分别降至 74.23 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 57.89 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,剩余的 COD 浓度是由污水中含有不易降解的有机物引起的。

投加 KNO_3 后,系统进入缺氧状态,DPB 微生物以 NO_3^- -N 作为电子受体,以体内贮存的 PHB 为电子供体,进行反硝化和同步吸磷反应。由图 3 和表 2 都可发现,在缺氧反应初期 15 min 内,2 个系统的吸磷速率都很大,分别为 11.18 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 和 23.38 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$,相对应的反硝化速率也分别达到了 10.41 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 和 17.42 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 。随着缺氧反应的进一步进行,系统中的 PO_4^{3-} -P 和 NO_3^- -N 浓度都持续下降:1[#]系统反应至 450 min 时, PO_4^{3-} -P 浓度接近 0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, NO_3^- -N 浓度为 12.52 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,至反应终点时, NO_3^- -N 浓度降为 9.88 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$;2[#]系统反应至 480 min 时,系统的 PO_4^{3-} -P 浓度接近 0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,此时相应的 NO_3^- -N 浓度也已降低至 0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。根据图 3b 中的磷浓度变化曲线,可观察到磷的二次释放现象。

上述对比试验结果表明,乙酸引发的磷释放速率比较大,而纯污水引发磷的释放速率则略微偏低。同时,从另一个角度也说明,如果厌氧段提供的有机物充足且易降解,聚磷菌可实现厌氧环境中的充分放磷,这利于提高后续缺氧段脱氮(反硝化)和除磷效果。

3.2 温度对释磷、反硝化吸磷的影响

3.2.1 温度对厌氧放磷的影响 从试验结果图 5 可以看出,在温度较低的 1[#]系统中,磷的释放速率明显低于室温条件下的 2[#]系统。在前 30 min 内,1[#]系统的比吸磷速率为 4.69 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$,2[#]系统为 7.89 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 。在 25 $^{\circ}\text{C}$ 条件下,经过 45 min 的厌氧放磷反应,微生物吸附的磷基本被全部释放出来;而在 8~10 $^{\circ}\text{C}$ 的温度条件下,达到相同的释磷量则需要 150 min,时间延长了近 3 倍多。由此可见,温度确实影响磷的释放速率,特别是在温度 ≤ 10 的条件下,厌氧条件下聚磷微生物的生化反应计量学参数较常温条件都相应发生了变化。我国朱怀兰等人(许保玖,1999),在 SBR 反应器中对污泥厌氧放磷速率进行研究时发现,在一定的温度范围内,温度每增加 10 $^{\circ}\text{C}$,放磷速率就增加一倍,这表明在低温条件下,系统的厌氧区停留时间适当延长将更有利磷的

充分释放。

3.2.2 温度对反硝化脱氮吸磷的影响 图 6 中 PO_4^{3-} -P 曲线前 60 min 内的斜率变化可以看出,低温下的吸磷速率低于室温条件下的吸磷速率,2[#]系统反应至 30 min 时,基本已将混合液中的磷吸收完全,而 1[#]则用了 90 min 才将系统内的磷吸收完全。可见,如果反硝化除磷工艺在低温条件下运行,需要适当地延长缺氧吸磷的时间。观察 NO_3^- -N 的变化曲线也可发现,随着反应温度的降低,反硝化率也随之降低,即低温条件降低了系统的反硝化脱氮效果,但是从整体来看,低温对吸磷效果的负面影响不大。

4 结论 (Conclusions)

1)对于反硝化聚磷微生物来说,污水中含有的低分子有机物质含量越多,厌氧段初始的磷的释放速率越快,磷的释放也越充分,后续反硝化脱氮和吸磷效果越好。在处理生活污水(如 COD 为 200~500 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 NH_4^+ -N 为 20~60 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,TP 为 3~8 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时),厌氧放磷 HRT 控制在 2 h 左右即可保证污泥放磷的充分性。

2)内源反硝化脱氮速率决定于细胞内的 PHB 贮存量。当反硝化聚磷微生物细胞体内的 PHB 被耗尽,微生物处于极度饥饿状态时,内源反硝化速率很低,同时也不发生吸磷反应;当细胞体内含有丰富的 PHB 时,则反硝化聚磷微生物进行正常的快速内源反硝化脱氮和吸磷反应。

3)反应系统低温条件将减小生物除磷过程厌氧放磷和缺氧吸磷的生化反应速率,但是低温对系统整体吸磷效果的负面影响不大。

References:

- Bortone G, Marsili Libelli S, Tilche A, et al. 1999. Anoxic phosphate uptake in the dephosphorylation process [J]. Wat Sci Tech, 40 (4-5): 177-183
- Filipe C D M, Daigger G T, Grady C P L. 2001. Stoichiometry and kinetics of acetate uptake under anaerobic conditions by an enriched culture of phosphorus-accumulation organisms at different pHs [J]. Biotechnol Bioeng, 76 (1): 32-43
- Gerber A, Mostert E S, Winter C T, et al. 1986. The effect of acetate and other short-chain carbon compounds on the kinetics of biological nutrient removal [J]. Wat SA, 12: 7-12
- Hao X D, Van Loosdrecht M C M, Meijer S C F, et al. 2000. Model based evaluation of two BNR process UCT and A₂N [J]. Wat Res, 35 (12): 2851-1860
- Hao X D. 2002. Sustainable biological nutrient removal process—BCF_s [J]. Water & Wastewater Engineering, 28 (9): 7-9 (in

- Chinese)
- Kuba T, Van Loosdrecht M C M, Heijnen J J. 1997. Biological dephosphatation by activated sludge under denitrifying conditions: pH influence and occurrence of denitrifying dephosphatation in a full-scale wastewater treatment Plant [J]. *Wat Sci Tech*, 36 (12): 75—82
- Kuba T, Van Loosdrecht M C M, Heijnen J J. 1996. Phosphorus and nitrogen removal with minimal COD requirement by integration of nitrification in a two-sludge system [J]. *Wat Res*, 42 (1—2): 1702—1710
- Kuba T, Van Loosdrecht M C M, Brandse F A, *et al*. 1997. Occurrence of denitrifying phosphorus removal bacteria in modified UCT-type wastewater treatment plants [J]. *Wat Res*, 31 (41): 777—786
- Malnou D, Meganck M, Faup G M, *et al*. 1984. Biological phosphorus removal: study of the main parameters [J]. *Wat Sci Tech*, 16 (10/11): 173—185
- National Environmental Protection Agency. 1997. The methods of monitoring and analyzing water and wastewater (3rd edition) [M]. Beijing: China Environmental Science Press (in Chinese)
- Ruan W Q, Zou H, Chen J. 2002. Effect of the COD and Total Phosphorus concentration on biological phosphorus removal supplied with acetate as a sole carbon source [J]. *Environmental Science*, 3 (23): 49—52 (in Chinese)
- Wang Y Y, Peng Y Z, Li T W, *et al*. 2004. Denitrifying dephosphorus removal in A_2N two sludge process [J]. *Journal of Harbin Institute of Technology*, 36 (8): 1046—1049 (in Chinese)
- Wang Y Y, Peng Y Z, Gan Y P, *et al*. 2004. Domestic sewage treatment using the A_2N denitrifying dephosphorus removal process [J]. *High Technology Letters*, 14 (1): 83—88 (in Chinese)
- Xu B J, Long T Y. 1999. Contemporary principles of water and wastewater treatment [M]. Beijing: High Educational Press (in Chinese)
- 中文参考文献:
- 郝晓地. 2002. 可持续除磷脱氮 BCF_5 工艺 [J]. *给水排水*, 28 (9): 7—9
- 国家环保局. 1997. 水和废水监测分析方法 (第 3 版) [M]. 北京: 中国环境科学出版社
- 阮文权, 邹 华, 陈 坚. 2002. 乙酸钠为碳源时进水 COD 和总磷对生物除磷的影响 [J]. *环境科学*, 23 (3): 49—52
- 王亚宜, 彭永臻, 李探微, 等. 2004. A_2N 连续流双泥系统反硝化除磷脱氮试验研究 [J]. *哈尔滨工业大学学报*, 36 (8): 1046—1049
- 王亚宜, 彭永臻, 甘一萍, 等. 2004. A_2N 反硝化除磷脱氮系统处理生活污水研究 [J]. *高技术通讯*, 14 (1): 83—88
- 许保玖, 龙腾锐. 1999. 当代给水与废水处理原理 [M]. 北京: 高等教育出版社

《环境科学学报》加入台湾华艺 CEPS 中文电子期刊服务的声明

《环境科学学报》自 2005 年 8 月起加入台湾中文电子期刊服务—思博网 (CEPS). 中文电子期刊服务—思博网是目前台湾地区最大的期刊全文数据库, 其访问地址为: www.ecps.com.tw. 自此, 读者可以通过这一网址检索《环境科学学报》于 2005 年起各期的全文; 在一段时期后, 还可以回溯检索 2005 年前历年的全文.

此外, 由于《环境科学学报》被 CEPS 收录, 故凡向本刊投稿者, 均视为其文稿刊登后可供思博网 (CEPS) 收录、转载并上网发行; 其作者文章著作权使用费与稿酬一次付清, 本刊不再另付其它报酬.