负荷及盐度对好氧颗粒污泥 EPS的影响

王 春 李志华* 王晓昌

(西安建筑科技大学环境与市政工程学院,西北水资源与环境生态教育部重点实验室,西安 710055)

摘 要 研究了序批式反应器 (SBR)内好氧颗粒污泥在不同有机负荷 (1.6 kg COD /(m³ · d)和 8 kg COD /(m³ · d)) 和不同含盐 (2.5%和 5.0%)条件下胞外聚合物 (EPS)的变化情况,并对 EPS 比耗氧速率 (SOUR)和孔隙率之间的关系作 了进一步探讨。结果表明:在 SBR 反应器中,负荷较含盐量对好氧颗粒污泥 EPS 变化的影响要显著,且 EPS 糖成分和 SOUR 之间、EPS蛋白成分和孔隙率之间均呈负相关。另外,高负荷条件下的系统稳定性要优于低负荷。

关键词 好氧颗粒污泥 EPS SOUR 孔隙率 生物活性

中图分类号 X703 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2009)04-0591-04

Effects of organic loading rate and salinity on characteristics of extracellular polymeric substances (EPS) of aerobic granules

Wang Chun Li Zhihua Wang Xiaochang

(Key Laboratory of Northwest Water Resources, Environment and Ecobgy, Ministry of Education, School of Environmental and Municipal Engineering, Xi an University of Architecture and Technobgy, Xi an 710055)

Abstract Effects of organic loading rate (OLR) and salinity on the properties of extracellular polymeric substances (EPS) in aerobic granules, and the relationship between EPS and specific oxygen uptake rate (SOUR) and porosity were investigated in this work. It was found that OLR affected characteristics of EPS more significantly than the salinity did. The carbohydrate EPS negatively correlated with SOUR, and the protein EPS also negatively correlated with porosity. Additionally, with respect to the saline shock, granules under a high OLR were more stable than those under a low OLR.

Key words aerobic granule; extracellular polymeric substances (EPS); specific oxygen uptake rate (SOUR); porosity, bioactivity

近年来,好氧颗粒污泥由于其密实的结构、良好 的沉淀性能及较好的水处理效果已引起广泛的关 注^[1~3]。好氧颗粒污泥的形成是一种自我固定的生 物过程^[4],其胞外物质 EPS在该过程中起着非常重 要的作用。

EPS主要由微生物分泌、细胞破裂和水解等途 径形成^[5 6],且已被证明含有丰富的聚合晶体结构, 如:胞外多糖、蛋白质、核酸等物质^[7]。研究表明, EPS有助于胶状网络结构的形成,能够促进生物体 的聚集,并对有毒物质具有防御作用,从而促进好氧 污泥颗粒化^[8]。目前,对 EPS在颗粒形成过程中的 作用研究较多^[9],但建立 EPS与其他参数之间的内 在联系的研究尚少。在颗粒污泥的研究中,SOUR 主要用来表征微生物的种群结构变化及微生物活 性^[10];孔隙率主要用来描述颗粒的结构^[11],但对于 EPS与好氧颗粒污泥的 SOUR、孔隙率之间的关系 以及 EPS能否有效地表征生物处理活性等鲜见报 道。为此,本试验研究了在不同负荷及不同含盐量 条件下的好氧颗粒污泥 EPS变化情况,并结合 SOUR、孔隙率和生物活性对 EPS的特性做了进一 步的探索。

- 1 材料与方法
- 1.1 试验装置

本试验采用 4个完全相同的圆柱形有机玻璃容 器作为 SBR 反应器 (R1, R2, R3, R4), 有效容积均 为 2 L, 内径 5 m。进水经蠕动泵由上部进入 SBR 反应器, 中部排水, 进、排水每周期均为 1 L。微孔

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50708089);国家高技术研 究发展计划(863)项目(2006AA06Z328)

收稿日期: 2008-08-21; 修订日期: 2008-10-26

作者简介: 王春 (1985~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 水环境规 划与保护。

以及 EPS能否有效地表征生物处理活性等鲜见报 * 通讯联系人 E-mail lich huge gmail com 1994-2001 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net 曝气器置于反应器底部,由空气泵供气,曝气量为 2 L/m in,反应器控制水温在(25 ±1)℃。整个反应 器用微电脑时控开关控制进水、曝气、沉淀、排水等 过程,每个周期为 3 h,每个过程的具体时间如表 1 所示。

表 1 反应运行周期

Ta	ble 1 Seq	uencing bat	tch operatio	n (min)
絮状污泥	进水阶段	曝气阶段	沉淀阶段	排水阶段
驯化阶段	2	157~ 167	5~ 15	6
颗粒污泥	进水阶段	曝气阶段	沉淀阶段	排水阶段
成长阶段	2	167	5	6

1.2 进水水质及接种污泥

本试验采用人工配水,以乙酸钠和葡萄糖作为 碳源、氯化铵作为氮源、磷酸盐作为磷源。进水基质 浓度分 2个阶段, 第 1阶段 (第 10 d以前): 进水 COD浓度为 2 000 mg/L,成分为 CH₃ COONa• 3H₂O 1 291. 50 mg/L, G luose • H_2O 945 mg/L, MgSO₄ • 7H₂O 88.56 mg/L, NH₄Cl 198.39 mg/L, KH₂PO₄ 28.56 mg/L, K₂HPO₄• 3H₂O 73.08 mg/L; 第 2阶段 (第 11 d 到 实验 结 束): 颗 粒 形 成 后 R1, R3 进 水 COD 浓度降为 400 mg/L, 成分为 CH₃COON a• 3H₂O 258. 30 mg/L, G lucose• H₂O 189 mg/L, MgSO₄ • 7H₂O 88.56 mg/L, NH₄Cl 198.39 mg/L, KH₂PO₄ 28. 56 mg/L, K₂H PO₄ • 3H₂O 73. 08 mg/L; R2 R4 的进水不变。含盐量采用逐步调整的办法,使其达 到最终浓度(表 2)。4个反应器的接种污泥均取自 西安市邓家村污水处理厂 A² /O 工艺中二沉池的回 流污泥。

	COD	含盐量	NH ⁺ ₄ –N	лH
	(mg/L)	(%)	(mg/L)	pm
R1	400	2.5	50	7.0±05
R2	2 000	2.5	50	7.0±05
R3	400	5	50	7.0±0.5
R4	2 000	5	50	7.0±0.5

表 2 进水水质 Table 2 Raw water quality

1.3 分析项目及方法

1.3.1 EPS的提取与分析

本试验中颗粒污泥 EPS的提取采用阳离子交 换树脂法^[12], 多糖的测定采用蒽酮-硫酸分光光度 计法, 蛋白质的测定采用 Foln分光光度计法。 1.3.2 比耗氧速率的测定

在 20℃下, 取一定量曝气结束前混合液于锥形 瓶中, 立即将 YS 52溶解氧仪电极放入瓶中并密封, 实验在 20℃恒温水浴条件下测定 DO 浓度, 待 DO 降至 1 mg/L时即停止整个实验, 实验时间控制在 10~30 m in以内。

1.3.3 孔隙率的测定

本试验根据用自由沉淀法所得的沉速与用蔗糖 梯度溶液法所测得的颗粒密度以及采用图像分析法 得到的颗粒尺寸,按照下式计算孔隙率:

$$v = \sqrt{\frac{4 g l (1 - \varepsilon) (p_{\rm p} - p_{\rm w})}{3 \Omega C_{\rm D} p_{\rm w}}}$$

式中: ε —孔隙率; Ω —流体通过絮体的影响因子 (不可透过 $\Omega = 1$; 可透过 $\Omega < 1$); C_D —阻力系数。其他项目的分析方法均采用标准分析方法。

2 结 果

本试验采用逐步调整含盐量的办法,在 SBR反应器运行第 31 d时, R1, R2的含盐量达到 2.5%, R3, R4的含盐量达到 5%。本研究将着重分析此阶段以后各反应器中好氧颗粒污泥的 EPS特性。

2 1 EPS

本试验通过测定 EPS糖、EPS蛋白和 EPS-TOC 来反映不同负荷及盐度对好氧颗粒污泥 EPS的影 响,各反应器 EPS变化结果见图 1。



图 1 不同条件下 EPS含量

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

由图 1可知,在含盐量为 5% 的高含盐量条件 下,低负荷 R3的 EPS 糖少于高负荷 R4(图 1a), EPS蛋白的变化则呈相反趋势 (图 1b),图 1c则说 明了总 EPS含量低负荷 R3大于高负荷 R4 而在含 盐量为 2.5% 的低含盐量条件下,低负荷 R1和高负 荷 R2的 EPS 糖、EPS蛋白及 EPS-TOC 的变化趋势 与高含盐量下的趋势一致 (图 1)。此外,在高负荷 条件下,高含盐量的 EPS 糖、EPS蛋白、EPS-TOC均 略高于低含盐量 (即 R4> R2),而在低负荷条件下, 含盐量对 R1,R3中颗粒 EPS的影响未见明显规律。 2 2 好氧颗粒污泥的物化研究

研究结果表明,在 5%的高含盐量条件下,低负荷 R3较高负荷 R4的 SOUR 值高 (图 2a),孔隙率的

变化是低负荷 R3 较高负荷 R4小 (图 2b), NH⁴₄-N 的去除率 R4大于 R3(图 2c), NO³₃-N 含量 R3高于 R4(图 2d); 在 2 5% 低含盐量条件下, 低负荷 R1和 高负荷 R2的 SOUR, 孔隙率、NH⁴₄-N 的去除率及 NO³₃-N的含量的变化也与高含盐量的一致。此外, 在相同负荷不同含盐量条件下, 含盐量高, SOUR值 略高, 但其孔隙率未见明显变化。同时, 低负荷低含 盐条件下 NH⁴₄-N 的去除率优于低负荷高含盐 (即 R1> R3), NO³₃-N 含量低负荷低含盐要高于低负荷 高含盐 (即 R1> R3), 而含盐量的变化对 NH⁴₄-N 在 高负荷下去除率及 NO³₃-N 在高负荷下的含量未见 明显影响 (图 2)。



图 2 不同条件下好氧颗粒污泥属性的变化 Fig. 2 Variation of aerobic granules under different conditions

3 讨 论

通过对上述结果的对比分析,可以明显看出有 机负荷对好氧颗粒污泥的影响要远大于含盐量,即 无论是在高含盐量条件下还是在低含盐量条件下, EPS_SOUR及孔隙率等参数的变化趋势与有机负荷 有明显的相关性:(1)EPS糖均随负荷的上升而上 升,而EPS蛋白均随负荷的上升而下降;(2)SOUR 均随负荷上升而下降;(3)孔隙率均随负荷上升而 上升;(4)污染物的去除率均随负荷上升而上升。 相对于有机负荷,含盐量对颗粒影响的效果不明显 的原因可能是由于微生物在逐步调整含盐量过程中 已经被驯化,而被驯化的微生物种群的差异性主要 取决于有机负荷,合.

研究表明,在颗粒污泥形成初期,较高的有机负 荷对颗粒的快速成长(或启动)有利^[13],但在颗粒的 形成后期由于微生物生长过快会导致颗粒结构松散 甚至发生颗粒破碎。本研究在不同含盐条件下也得 到相同结论即在高负荷条件下颗粒表现为较大的孔 隙率。一般认为大孔隙率对于颗粒污泥的传质是有 利的,但在本研究中发现,高负荷条件下的颗粒污泥 SOUR 值反而偏低,这可能是由于颗粒污泥尤其是 大尺寸的颗粒污泥出现分层结构所致。有研究表 明,颗粒污泥是一种外层致密,内层疏松的结构^[14], 而内层的疏松结构对孔隙率有较大贡献,但这种疏 松结构由于内层微生物处于自我水解的状态对 SOUR 贡献率不大,因此出现了本研究中高负荷条 件下孔隙率较大而,SOUR偏小的现象。影响孔隙率 和颗粒结构的另一个因素就是 EPS的组分^[1114]。 在本研究中发现有机负荷对 EPS各组分的影响有 所不同,其原因主要在于多糖类 EPS是好氧颗粒污 泥基本 骨架,而蛋白类 EPS主要起表面修饰作 用^[5]。显然,为了维持高负荷条件下的大颗粒污泥 的结构,微生物的代谢特征则表现为在高负荷条件 下, EPS蛋白少而 EPS糖多。本研究还发现,高负 荷条件下异养菌作为优势菌群主要通过同化作用代 谢消耗 NH⁴₄-N,低负荷条件下自养菌占主导地位导 致了 NH⁴₄-N 通过硝化作用去除,这一点也可以通 过 NO³₃-N 含量的变化得到进一步的证实 (图 2d)。 此外,相同负荷不同含盐量的研究结果表明,从好氧 颗粒污泥抗盐度冲击方面来讲,高负荷要远优于低 负荷。

4 结 论

(1)在 SBR反应器中,相较于含盐量,负荷对好 氧颗粒污泥 EPS的变化影响更大,且 EPS 糖和 SOUR 之间、EPS蛋白和孔隙率之间均呈负相关。

(2)高负荷条件下,好氧颗粒污泥体系耐盐度 冲击的能力要优于低负荷。

参考文献

- [1] 李玉瑛, 李冰, 郑西来. 好氧颗粒污泥的研究现状. 工业 水处理, **2006**, 26(1): 13~16
- [2] 王芳, 于汉英, 张兴文, 等. 进水碳源对好氧颗粒污泥特性的影响. 环境科学研究, 2005, 18(2): 84~88
- [3] Liu Y. Q., Tay J H. State of the art of biogramulation technology for wastewater treatment Biotechnol, 2004 22 533~ 633
- [4] LiZ. H., Wang X. C. Thermogravin etric characteristics of aerobic granules developed at different salinities Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 2008, 83 359~ 364

- [5] Gao B.Y., Zhu X.B., Xu C.H., et al Influence of extracellular polymeric substances on microbial activity and cell hydrophobicity in biofilms Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 2008, 83: 227~232
- [6] Reid E., Liu X. R., Judd S. J. Effect of high salinity on a ctivated sludge characteristics and membrane permeability in an immersed membrane bioreactor. Journal of Membrane Science, 2008, 283–164~ 171
- [7] Wang Z.P., Liu L.L., Yao J., et al. Effects of extra-celh har polymeric substances on aerobic granulation in sequencing batch reactors. Chemosphere, 2006, 63: 1728~1735
- [8] Bo Jin, Britt-MarieWilén, Paul Lant A comprehensive insight into fbc characteristics and their in pact on compressibility and settleability of activated sludge Chemical Engineering Journal 2003 95 221~234
- [9] 刘建国,张栋华,王曙光,等.好氧颗粒污泥的性质及形成机理的探讨.山东大学学报,2006,36(3):116~119
- [10] 张蓉蓉, 任洪强, 魏翔. 好氧颗粒污泥处理高浓度氨氮 废水的研究. 环境污染与防治, 2006 28(10): 788~ 791
- [11] Zheng Y. M., Yu H. Q. Determ ination of the pore size distribution and porosity of aerobic granules using size-exclusion chromatography. Water Research, 2007, 41: 39~ 46
- [12] Frolund B., Pahngren R., Keiding K., et al. Extraction of extrace llular polymers from activated sludge using a cation exchange resin. Water Research, 1996, 30. 1749 ~ 1758
- [13] Tay J H., Pan S., He Y. X., et al. Effect of organic bading rate on aerobic granulation H Characteristics of aerobic granules Journal of Environmental Engineering 2004 130 1102~1109
- [14] Ivanov V., Tay S. T. L, Liu Q. Y., et al. Formation and structure of granu lated m icrobial aggregates used in aerobic wastewater treatment Water Science and Technology, 2005 52 13~19