有机物降解和硝化过程中污泥摄氧速率的变化

尹 军[1*],谭学军[2],王雪峰[1],王建辉[1] (1.吉林建筑工程学院环境工程系,吉林 长春 130021；2.同济大学环境科学与工程学院,上海 200092)

摘要：通过考察有机物生物降解和氨氮生物硝化过程中活性污泥摄氧速率(OUR)的变化规律,研究了 OUR 表征污泥生物活性的可行性.结果表明,随有机物和氨氮氧化反应的进行,OUR 逐渐降低,当有机物、氨氮和亚硝酸氧化完毕时,OUR 均出现下降幅度突然增大的现象,然后趋于稳定;OUR 对系统受到的有机物和氨氮冲击负荷及硝化过程中碱度的变化有着灵敏的反映,可以揭示出有机物生物降解和氨氮生物硝化反应的进程,用 OUR 表征污泥的生物活性是可行的.污泥生物活性的动力学分析结果验证,有机物氧化的异养菌生长速率高于自养型硝化菌,活性动力学常数(U_{om})分别为 128.21,7.22mg/(g·h).

关键词：有机物降解；硝化反应；氨氮；OUR

中图分类号：X703 文献标识码：A 文章编号：1000-6923-(2007)04-0524-05

Variation of oxygen uptake rate in organic matter biodegradation and nitrification. YIN Jun[1*], TAN Xue-jun[2], WANG Xue-feng[1], WANG Jian-hui[1] (1.Department of Environmental Engineering, Jilin Architectural and Civil Engineering Institute, Changchun 130021, China ;2.School of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China). *China Environmental Science*, 2007,27(4)：524~528

Abstract：Through inspect the variation rule of oxygen uptake rate (OUR) of active sludge in the process of organic matter biodegradation and ammonia nitrogen nitrification, the feasibility of OURassessed sludge biological activity was studied. With the conduct of organic matter and ammonia nitrogen reaction, OUR lowered gradually. When the oxidation of organic matter, ammonia nitrogen and nitric acid was completed, OUR all appreaced the phenomenon of lowering range increasing suddenly, then tended to be stable. OUR had sensitive reflect of alkalinity variation in the process of nitrification and organic matter and ammonia nitrogen lash loading. OUR could describe the course of organic matter biodegradation and ammonia nitrogen biological nitrification, OUR could be used to assess the biological activity. The kinetics analysis of sludge biological activity further proved that the growth rate of heterotrophic bacteria was higher than that of autotrophic bacteria. The constants of active kinetics (U_{om}) were 128.21, 7.22mg/(g·h) respectively.

Key words：organic matter degradation；nitrate reacfion；ammonia nitrogen；OUR

污泥生物活性是污水生物处理系统的重要运行指标.表征活性污泥生物量的传统指标为混合液悬浮固体浓度 MLSS 和混合液挥发性悬浮 MLVSS.这两项指标仅能粗略地反映细胞的干重,不能表达污泥的生物活性,亦无法准确指示系统的反应速率和区分活性污泥中活细胞、死细胞及非生物性挥发固体之间的差别[1-2].因此,寻找更为适用的污泥生物活性指标,对污水生物处理系统的运行和管理进行评价和监控,成外很多污水处理厂的迫切要求.

在污水生物处理系统中,有机物的脱氢(电子)是生物氧化分解的关键步骤,在微生物的好氧呼吸作用下,这些脱掉的电子会通过一些载体转移到天然的最终电子受体(O_2),从而实现有机污染物的无机化[3-4].在此过程中,有机底物的降解速率与 O_2 的消耗速率呈正比关系.活性污泥的摄氧速率(OUR)是通过直接测定好氧微生物呼吸链末端 O_2 的消耗速率,来指示电子的传递速率和有机物的降解(脱电子)速率,进而来判定污泥微生物的生理状态和生物活性状况,其实质是测

收稿日期：2006-11-17

基金项目：国家“863”项目(2004AA601020)；吉林省重大科技发展计划项目(20040405-1)

* 责任作者, 教授, hitjunyin@163.com

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

定微生物呼吸活性.OUR 测试过程简单、无需外加任何试剂,且可迅速指示污水生物处理系统中环境条件的变化[5-7].本实验通过考察有机物氧化和硝化过程中 OUR 的变化规律,研究以 OUR 表征污泥生物活性的可行性及有机物氧化和硝化反应过程生物活性的差异.

1　装置与方法

1.1　实验装置

实验装置呈圆柱形,由有机玻璃制成,总有效容积 5L(图 1).反应器内装有微孔曝气器,采用鼓风曝气方式,以转子流量计控制曝气量;底部设有排泥口,排空剩余污泥;磁力搅拌器用以保持非曝气状态下的泥水混合及控制系统的运行温度(25±1)℃;装置 pH 传感器用以在线检测反应过程中 pH 值的变化.

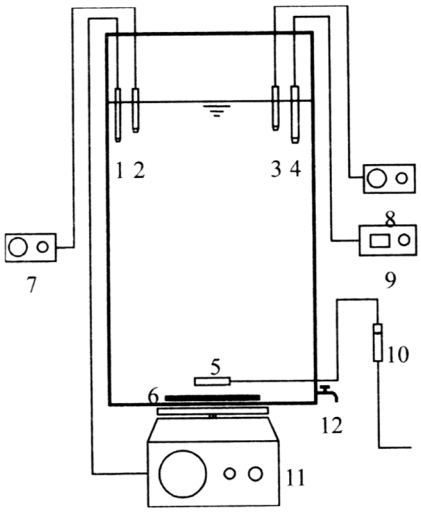


图 1　实验装置示意

Fig. 1　Schematic diagram of reactor

1.温度传感器　2.pH传感器　3.ORP传感器　4.DO传感器　5.微孔曝气器　6.转子　7.酸度计　8.ORP 测定仪　9.溶解氧测定仪　10.转子流量计　11.磁力搅拌器　12.排泥口

1.2　实验方法

1.2.1　有机物质降解实验　实验污泥接种于实验室运行的活性污泥系统,每次接种污泥量为 1L.将取出的活性污泥置于实验装置中曝气 1h,确保有机底物完全耗尽,氨氮完全硝化.加入 4L 人工配制的仅含碳源、不含氮磷营养物质的实验用水后,磁力搅拌器搅拌 30min,确保污泥中的 NO_3^--N 或 NO_2^--N 能够充分进行反硝化.搅拌结束后,启动曝气系统,取样测定污泥的初始 OUR.在此后的曝气过程中,每 10min 测定 1 次 OUR,同时读取系统的 pH 值.

1.2.2　硝化实验　硝化阶段实验污泥源、污泥量和实验装置均与前述实验相同.实验开始之前,剩余活性污泥在实验装置中曝气 1h,确保其中有机底物消耗完全.在该阶段实验中,实验装置中加入的底物只含有 NH_4^+-N 和维持硝化反应所必须的碱度,体积为 4L.曝气系统启动后,立即取样测定活性污泥的初始 OUR.以后,每隔 10min 读取 1 次 pH 值,而活性污泥 OUR 的取样时间间隔视实验过程长短而定.

1.3　分析方法

1.3.1　OUR 测定　采用膜电极技术测定活性污泥的 OUR.将 250mL 的活性污泥样品置于瓶口水封的 OUR 测试瓶中,待样品充分曝气充氧后,插入溶解氧(DO)电极,同时启动磁力搅拌器对污泥样品进行混合,记录 DO 随时间的变化,直至 DO 浓度降至约 0.1mg/L 为止.待 DO 测定完毕后,将 OUR 测试瓶内活性污泥样品全部取出,用于测定污泥浓度.活性污泥样品的 OUR 是通过 DO~t 曲线的直线部分和污泥浓度计算而得:

$$U_o = \frac{\Delta DO}{X \cdot t} \tag{1}$$

式中:U_o 为活性污泥的(OUR),mg/(g·h);ΔDO 为 DO 的减少量,mg/L;X 为混合液 MLSS,g/L;t 为测试时间,h.

1.3.2　其他常规指标测定　COD 采用 5B-1 型 COD 快速测定仪测定;NO_3^--N 采用麝香草酚分光光度法测定;NO_2^--N 采用 N-(1-萘基)-乙二胺光度法测定;NH_4^+-N 采用纳氏试剂分光光度法测定;MLSS 采用滤纸重量法测定;利用 HANNA pH 211 实验室台式酸度计在线检测 pH 值.

2　结果与讨论

2.1　有机物降解过程中活性污泥 OUR 的变化

2.1.1　一次性投加有机底物　向反应器中只投加一次有机底物和碳酸氢钠.反应器的初始 COD_{Cr} 浓度为 1044.47mg/L,污泥浓度为 4828mg/L.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

由图 2 可见,OUR 可以很好地指示系统内有机物质的降解情况.在降解过程结束之前(0~80min),OUR 随着 COD 的减小而缓慢降低;当 COD 去除完毕时(90min),OUR 迅速大幅度降低,该现象可用于判定系统内有机物降解过程完毕与否;当有机物进入难降解阶段后,COD 随时间的变化已经非常微弱,此时的 OUR 变化也非常小,基本保持平稳.结果表明,OUR 与有机物质的生物降解过程之间呈现良好的相关关系,可以通过检测系统内活性污泥 OUR 的变化来间接了解体系内 COD 的降解情况.

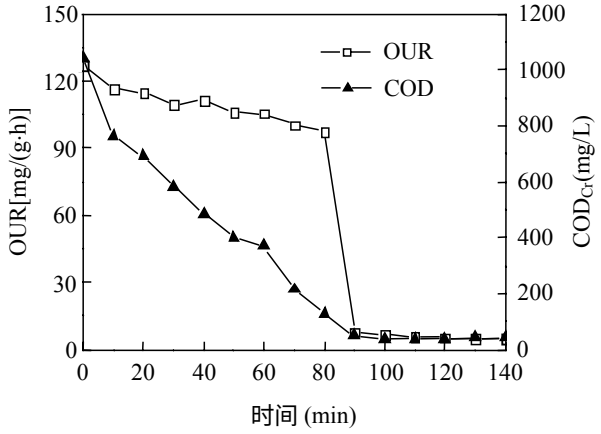


图 2 OUR 和 COD 随时间的变化

Fig.2 OUR and COD as a function of time

2.1.2 间歇性投加有机底物 在不同的曝气阶段共间歇投加了 4 次有机底物,第 1 次是先将其溶解在 4L 水溶液中,然后再投入反应器与活性污泥混合,其后的 3 次均是根据事先计算好的有机物浓度,直接向反应器内投加有机底物.系统初始运行条件为 COD_{Cr} 浓度为 326.59mg/L,污泥浓度为 4937mg/L.

由图 3 可见,OUR 对系统受到的有机负荷冲击有着非常灵敏的反映.在系统正常运行时,每次突然加入有机底物,OUR 会瞬时提高,因此,污泥的 OUR 能够及时地指示出反应器内有机物浓度的增加对系统污泥活性产生的促进作用.从每个有机物降解阶段来看,OUR 随着有机物质的去除而缓慢降低,但在污水中有机底物去除完毕的同时,OUR 突然转换到低活性阶段.这些特征点的出现均预示污水中有机底物已经被微生物利用完毕,即活性污泥微生物对有机物质的利用已经转换到另外一个阶段.

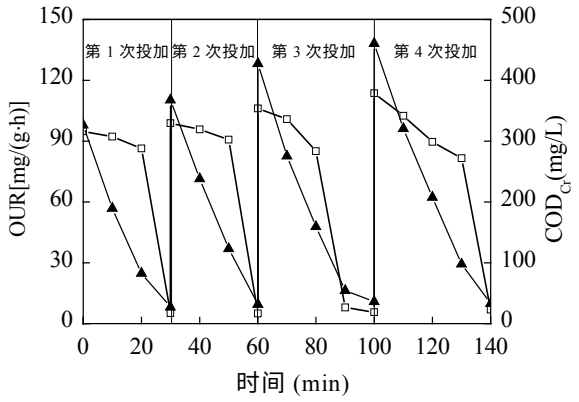
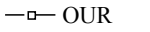


图 3 OUR 与 COD 在间歇投加有机底物实验中的关系

Fig.3 Correlation between OUR and COD



2.2 硝化反应过程中活性污泥 OUR 的变化

2.2.1 一次性投加 NH_4^+-N 向反应器投加一次含有氨氮的底物,反应器内初始 NH_4^+-N 浓度为 81.97mg/L,污泥浓度为 4309mg/L.

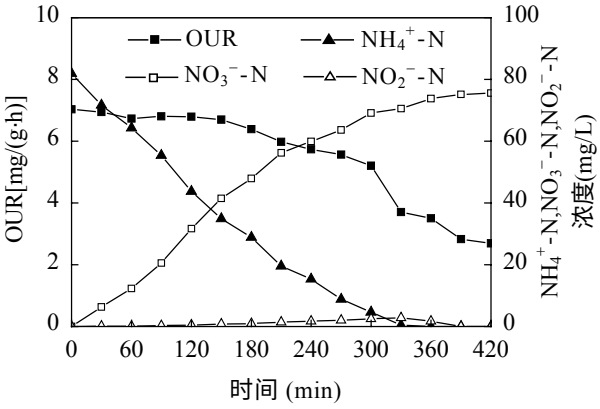


图 4 OUR、NH_4^+-N、NO_3^--N 和 NO_2^--N 随时间的变化

Fig.4 OUR,ammonia,nitrate and nitrite as a function of time

由图 4 可见,随着硝化反应的进行,体系内 NH_4^+-N 浓度不断减小,硝化菌的 OUR 随之缓慢降低,当反应至第 330min, NH_4^+-N 几乎完全转化为 NO_3^--N 和 NO_2^--N,OUR 迅速降低,该特征点的出现标志硝化反应结束.当反应至第 390min,OUR 再一次出现了较明显的降低现象,这是 NO_2^--N 向 NO_3^--N 转化完毕的标志.OUR

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

在整个硝化反应过程中出现的 2 个特征点,可以分别用于指示污水中的 NH_4^+-N 已经完全转化为硝态氮和 NO_2^--N 完全转化为 NO_3^--N.

2.2.2　间歇性投加 NH_4^+-N　实验中向反应器内投加 2 次硫酸氨,系统初始运行条件为 NH_4^+-N 浓度 17.46mg/L,污泥浓度 5419mg/L.

由图 5 可见,在第 1 个投加阶段里,随着硝化反应的不断进行,硝化菌的 OUR 缓慢降低.当反应至第 60min,硝化反应结束,OUR 突然下降.反应至第 120min, NO_2^--N 向 NO_3^--N 转化反应结束,OUR 又出现一次下降现象;当在第 150min 再次投加硫酸氨时,硝化反应重新进行,硝化菌的 OUR 突然开始恢复.在第 2 个 NH_4^+-N 投加阶段的其他反应时间里,OUR 重新出现第一阶段的变化规律.

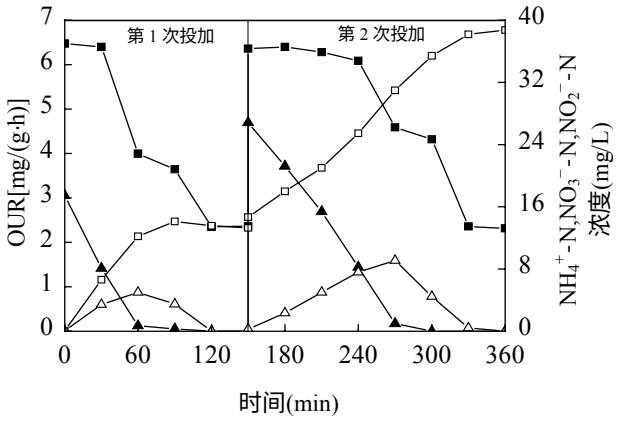


图 5　OUR 与 NH_4^+-N、NO_3^--N 和 NO_2^--N 在间歇性投加氨氮实验中的关系

Fig.5　Correlation between OUR and ammonia,nitrate and nitrite in experiment of batch feed of ammonia

—■— OUR　—▲— NH_4^+-N
—□— NO_3^--N　—△— NO_2^--N

2.2.3　间歇性投加碳酸氢钠　实验过程中共投加 2 次碳酸氢钠,其中第 1 次投加的重碳酸盐碱度不能满足全部 NH_4^+-N 硝化的需要,利用第 2 次投加的碳酸氢钠来完成硝化作用.反应器的初始 NH_4^+-N 浓度为 34.23mg/L,污泥浓度为 4361mg/L,pH 值为 7.74.在间歇性投加碳酸氢钠的硝化实验中,硝化菌的 OUR 与“三氮”和 pH 值之间关系的实验结果见图 6.

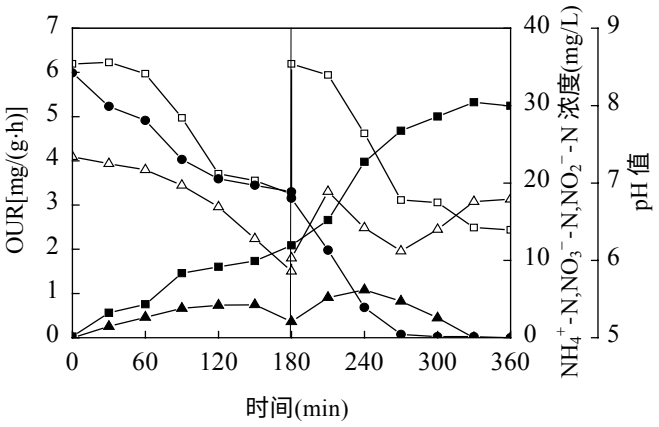


图 6　OUR 与 NH_4^+-N、NO_3^--N、NO_2^--N 和 pH 值在间歇性投加碳酸氢钠实验中的关系

Fig.6　Correlation between OUR and ammonia,nitrate, nitrite and pH value in experiment of batch feed of sodium bicarbonate

—□— OUR　—●— NH_4^+-N　—■— NO_3^--N
—▲— NO_2^--N　—△— pH 值

在第 1 次投加碳酸氢钠后,随着硝化反应的不断进行,系统内 pH 值不断减小.当反应至第 90min,pH 值开始抑制硝化反应的进行,OUR 迅速降低.pH 值对硝化过程的影响作用自反应至第 120min 更为明显,OUR 进入低活性阶段;当在反应的第 180min 第 2 次投加碳酸氢钠的时候,pH 值迅速上升,硝化菌的呼吸作用增强,OUR 突然恢复.随着硝化进程的不断继续,系统 pH 值不断减小,硝化菌的 OUR 逐渐降低.当反应至第 240min,pH 值对硝化反应的抑制作用又重新体现,硝化菌的 OUR 出现了迅速降低的现象,此时的 NH_4^+-N 已所剩无几.硝化在低反应速率阶段持续了 30min 左右的时间以后, NH_4^+-N 几乎转化完毕,硝化菌的 OUR 开始进入低活性的平台期阶段,pH 值曲线也在此处形成一个凹点后,开始上升.当反应至第 330min, NO_2^--N 向 NO_3^--N 的转化结束,体系内的 pH 值趋于稳定,OUR 再次出现了一次较明显的降低现象,然后开始稳定.硝化过程中 pH 值变化规律与文献报道一致[8].OUR 可以有效地表征出硝化过程中自养型硝化菌活性的变化,同时,用该参数还可以监控的硝化进程.

2.3　污泥生物活性的动力学分析

在有机物生物降解和氨氮硝化反应过程中,

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

活性污泥的 OUR 与底物浓度之间也存在一定的线性关系,这种线性关系可以用经典的 Michaelis-Menten 公式表示.OUR(U_o)和最大 OUR(U_{om})之间的关系与微生物比增殖速度(μ)和微生物最大比增殖速度(μ_m)之间的关系相似,这种关系可以用公式(2)表示:

$$U_o = \frac{U_{om}S}{K_{os}+S} \quad (2)$$

式中:K_{os} 为米氏常数,mg/L;S 为有机物质或氨氮(底物)浓度,mg/L.

将前述 OUR 实验结果代入公式(2),可以求得 U_{om} 和 K_{os},见图 7,图 8.COD 去除过程中的 U_{om} 大于硝化反应过程中的 U_{om},有机物氧化的异养菌生长速率高于进行硝化反应的自养型硝化菌.

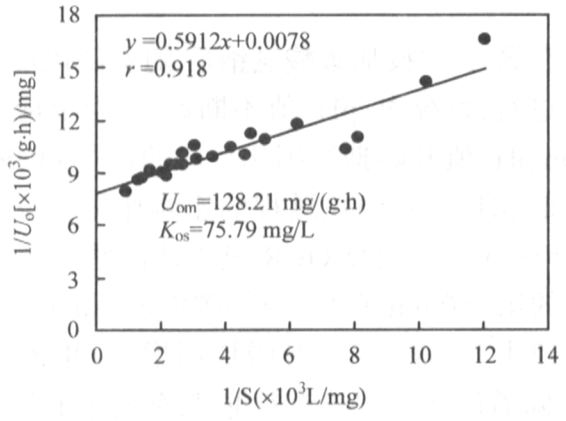


图 7 COD 去除过程中 $1/U_o$~$1/S$ 关系(25℃)

Fig.7 Correlation between $1/U_o$ and $1/S$ during COD removal (25℃)

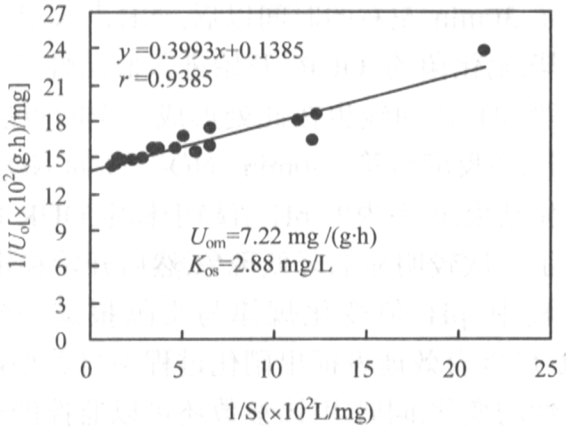


图 8 氨氮硝化过程中 $1/U_o$~$1/S$ 关系(25℃)

Fig.8 Correlation between $1/U_o$ and $1/S$ during nitrification (25℃)

3 结论

3.1 在以单一有机物为底物的实验中,OUR 能有效地显示出有机物质生物降解进程的变化以及感应出系统受到有机物质的冲击负荷.用 OUR 表征有机物质的生物降解过程是可行的.

3.2 硝化菌的 OUR 在硝化反应结束和 NO_2^--N 向 NO_3^--N 转化完毕时,均出现明显的特征点,这说明 OUR 可以用于表征氨氮的硝化过程.当系统中出现 NH_4^+-N 冲击负荷和碱度的突然变化时,OUR 可以及时地显示出硝化速率的改变.

3.3 动力学分析结果验证了进行有机物氧化的异养菌生长速率高于进行硝化反应的自养型硝化菌.

参考文献:

[1] Jørgensen K P. Determination of the enzyme activity of activated sludge by methylene blue reduction [J]. Journal WPCF, 1984,56(1):89-93.

[2] Chung Y C, Neethling J B. Microbial activity measurements for anaerobic sludge digestion [J]. Journal WPCF, 1989,61(3):343-349.

[3] 沈 同,王镜岩.生物化学(上册) [M]. 北京:高等教育出版社, 1990.256-262.

[4] 任南琪,马 放.污染控制微生物学 [M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 2002.170-171.

[5] Orhon D, Okutman D. Respirometric assessment of residual organic matter for domestic sewage [J]. Enzyme and Microbial Technology, 2003,32(7):560-566.

[6] Dutka B J, Nyholm N, Petersen J. Comparison of several microbiological toxicity screening tests [J]. Wat. Res., 1983, 17(10):1363-1368.

[7] Broecker B, Zahn R. The performance of activated sludge plants compared with the results of various bacterial toxicity tests-a study with 3,5-dichlorophenol [J]. Wat. Res., 1977,11(9): 165-172.

[8] Peng Y Z, Gao J F, Wang S Y, *et al*. Using pH and ORP as fuzzy control parameters of denitrification in SBR process [J]. Wat. Sci. Tec., 2002,46(4-5):131-137.

作者简介:尹军(1954-),男,吉林省吉林市人,教授,博士,主要从事水污染控制技术研究.发表论文 200 篇.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net