

SBR 反应器中有机物去除与硝化反硝化过程 INT-ETS 活性变化

尹军, 王建辉, 解艳萃, 霍玉丰, 王雪峰

(吉林建筑工程学院市政与环境工程学院, 长春 130021)

摘要: 通过检测不同进水氨氮浓度和有机物浓度下的 SBR 工艺系统的 INT-ETS 活性, 研究了 SBR 工艺去除有机物与硝化反硝化过程中污泥生物活性的变化规律. 结果表明, INT-ETS 活性可以有效地表征 SBR 工艺系统的生化反应进程; SBR 工艺一个反应周期内, 有机物降解、硝化和反硝化阶段生物活性依次降低; 当进水 COD 为 300 mg/L, 氨氮为 40 mg/L 时, 系统的 INT-ETS 活性从 232.59 mg/(g·h) 下降到 190.65 mg/(g·h), 最终降至 113.88 mg/(g·h); 伴随有机物的去除和硝化反硝化的进程, INT-ETS 活性一般会出现特征点, 预示着不同反应阶段的开始与结束; 通过不同进水氨氮浓度 (14.5 mg/L 和 42.0 mg/L) 和有机物浓度 (COD 为 293 mg/L 和 685 mg/L) 的试验, 发现运行条件的变化并未明显改变 SBR 系统的 INT-ETS 活性变化规律, 但会影响 INT-ETS 活性曲线上标志不同反应阶段的特征点出现时间.

关键词: 电子传递体系活性; 活性污泥; SBR; 碘硝基四氮唑

中图分类号: X703 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2007)10-2255-04

INT-ETS Activity Change of Activated Sludge During Nitrification, Denitrification and Organism Removal in SBR Process

YIN Jun, WANG Jian-hui, XIE Yan-cui, HUO Yu-feng, WANG Xue-feng

(School of Municipal and Environmental Engineering, Jilin Architectural and Civil Engineering Institute, Changchun 130021, China)

Abstract: Through nitrogen shock loading and organic shock loading experiments, we studied the changing rule and activity status of biological activity of activated sludge in organic matter biodegradation, nitrification and denitrification course in SBR process by the determination of INT-ETS activity. The experimental results show that INT-ETS activity could provide a good indication of the ongoing biological reactions of SBR process. Biological activity of organic matter biodegradation, nitrification and denitrification course in SBR process reduced orderly. INT-ETS activity reduced from 232.59 mg/(g·h) to 190.65 mg/(g·h) and resultly to 113.88 mg/(g·h) when the effluent concentration of COD and $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ were 300 mg/L and 40 mg/L. Nitrogen shock loading (14.5 mg/L and 42.0 mg/L) and organic shock loading (COD are 293 mg/L and 685 mg/L) experiments cure verify that the operational conditions could not influence the changing rule of INT-ETS activity, but the time of the appearance of break points marking different reaction course in profile was influenced.

Key words: ETS activity; activated sludge; SBR; INT

目前, 有关 SBR 工艺运行过程中的控制参数及控制方法的研究已比较成熟, 但是对采用电子传递体系 (ETS) 活性表征 SBR 工艺运行过程中, 生物活性变化规律的认识仍十分有限. 通过 ETS 活性分析, 既可从生物学角度反映处理系统微生物降解有机物的能力, 又可从生物活性的高低衡量有机物的降解速率及生物处理设施的运行效果. 污泥 ETS 活性的分析主要是通过检测微生物呼吸链上电子的传递速率来间接指示微生物的呼吸活性, 进而定量活性污泥的生物活性^[1-3]. INT (碘硝基四氮唑) 是污泥 ETS 活性检测的最常用人工电子受体, 它在微生物电子传递体系的作用下能够接受电子而还原成 INTF (iodonitrotetrazolium formazan), 并发生明显的颜色变化. 利用 INT 来表征活性污泥或自然水体中微生物的活性近来在受到广泛的注意^[4-9]. 与其他电

子受体相比, INT 的最大优势是它的氧化还原电位 (+90 mV) 较低, 从而消除了氧气对分析测定的干扰. 本研究通过检测 SBR 工艺系统在不同进水氨氮浓度和不同进水有机物浓度下的 INT-ETS 活性, 系统分析了 SBR 工艺过程中污泥生物活性变化规律, 进一步证明 INT-ETS 活性可以有效地表征 SBR 工艺系统的生化反应进程.

1 材料与方法

1.1 试验水质和试验装置

试验原水以啤酒作为碳源加适量的自来水稀释

收稿日期: 2006-10-22; 修订日期: 2007-02-09

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863) 项目 (2004AA601020); 吉林省重大科技发展计划项目 (20040405-1)

作者简介: 尹军 (1954 ~), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为水污染控制技术, E-mail: wangjianhui_xyc@163.com

配制成,投加 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 和 KH_2PO_4 作为氮源和磷源,投加 NaHCO_3 调节pH值,进水COD浓度和氨氮浓度根据实验需要加以调整.维持系统内MLSS在 $5\,000\text{ mg/L}$ 左右,水温控制在 $25^\circ\text{C}\pm 1^\circ\text{C}$,恒定曝气量在 $1.0\text{ m}^3/\text{h}$.每天运行1个周期(共 10 h),具体运行周期如下:向反应器中投入一定体积的试验原水,开始曝气(6 h),然后停止曝气向反应器中投加一定量的啤酒作为反硝化碳源,使COD维持在 150 mg/L 左右,搅拌(2 h),进行静沉(2 h),最终排水.

试验装置如图1所示.反应器由有机玻璃制成,高 70 cm ,直径 30 cm ,总有效容积为 40 L ,采用多孔石曝气,用转子流量计调节曝气量,温控仪调控水温,通过搅拌器保持非曝气状态下的泥水混合.

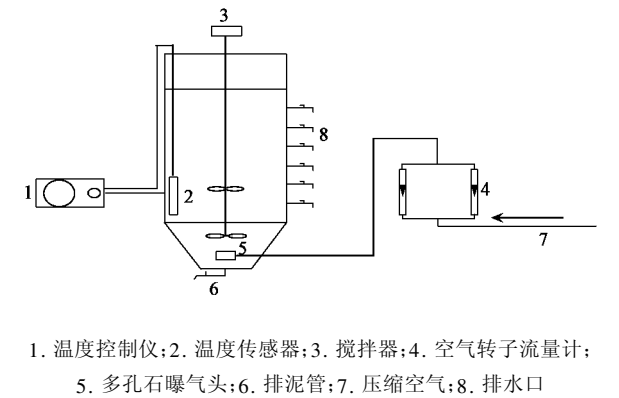


图1 SBR反应器示意
Fig.1 Schematic diagram of SBR

1.2 分析方法

1.2.1 INT-ETS 活性

向 10 mL 离心管中加入 0.5 mL 的污泥混合液和 0.1 mL 的 0.2% INT溶液,迅速将制备好的样品放在 $(37\pm 1)^\circ\text{C}$ 的水浴振荡器内振荡培养 30 min ,然后加 1 mL 的 37% 甲醛终止酶反应.将该样品在 $4\,000\text{ r/min}$ 下离心 5 min ,轻轻弃去上清液,加入 5 mL 的甲醇,充分搅拌萃取完全后,继续在 $(37\pm 1)^\circ\text{C}$ 下振荡萃取 10 min .待样品萃取完毕,在 $4\,000\text{ r/min}$ 下再离心 5 min ,将上清液和沉淀污泥分离,用分光光度计在 485 nm 处读取萃取液的吸光度.将离心的沉淀污泥在 $(105\pm 1)^\circ\text{C}$ 下烘干 1 h ,然后测测其干重. INT-ETS活性的计算公式如下式^[10,11]:

$$U^T = \frac{A_{485} V}{K_T W t} \tag{1}$$

式中, U^T 为INT-ETS活性 $[\text{TF}/(\text{g}\cdot\text{h})]$; A_{485} 为波长 485 nm 处的上清液吸光度; V 为萃取剂体积 (mL) ; K_T 为标准曲线斜率; W 为污泥干重 (g) ; t 为培养时

间 (h) .
1.2.2 其它常规分析指标
COD采用5B-1型COD快速测定仪进行测定, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 采用麝香草酚分光光度法, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 采用 N -(1-萘基)-乙二胺光度法, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 采用纳氏试剂分光光度法进行测定.

2 结果与分析

2.1 SBR 工艺 1 个反应周期的 INT-ETS 活性变化规律

在进水COD为 300 mg/L 、氨氮浓度为 40 mg/L 条件下,研究了SBR工艺系统INT-ETS活性变化规律,其INT-ETS活性、COD和“三氮”在1个反应周期内的变化,如图2所示.

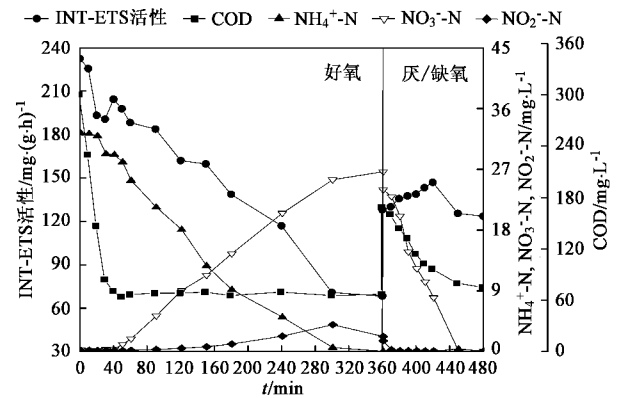


图2 SBR系统1个反应周期内INT-ETS、
COD、氨氮、硝酸氮和亚硝酸氮的变化规律
Fig.2 Profiles of INT-ETS activity of activated sludge
and COD, ammonia, nitrate and nitrite in SBR process

由图2可见,在曝气的前 30 min ,INT-ETS活性随反应时间的延长而逐渐降低,活性从 $232.59\text{ mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 下降到 $190.65\text{ mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$.并在反应的第 30 min 处出现凹点,尔后上升. INT-ETS活性曲线上的这个凹点,正是COD去除结束和氨氮硝化反应即将开始的转折点.在此点及之前测定出的是好氧异养菌的INT-ETS活性,此点之后测定出的则是硝化自养菌的INT-ETS活性.该试验结果说明,污泥INT-ETS活性可以及时地反映出SBR法反应系统中有机物质降解进程的变化.

当硝化反应开始时,图2中的INT-ETS活性在反应第 40 min 处出现了1次跃升的现象,同时观测到此时系统内硝态氮增加的数量远小于氨氮降低的数量,判断可能是发生了同步硝化反硝化作用,所以引起的此次跃升. INT-ETS活性在硝化反应的初期

出现跃升之后,随着硝化反应的进行开始继续降低,并在硝化反应结束时(曝气的第 300 min)趋于平稳.

在进行 360 min 以后,结束曝气投加充足碳源,进行搅拌,系统进入反硝化阶段. INT-ETS 活性在反硝化过程中开始是缓慢上升,上升趋势持续到第 420 min,然后突然下降,并趋于稳定. 结合整个反应进程来看,INT-ETS 活性在反硝化阶段上升的过程正是硝酸氮和亚硝酸氮不断进行反硝化的过程,而 INT-ETS 活性出现下降的时刻则标志反硝化结束,这说明 INT-ETS 活性可及时地指示出反硝化的进程变化.

2.2 不同进水氨氮浓度下的 INT-ETS 活性变化

在进水 COD 为 300 mg/L 左右的条件下,分别研究了进水氨氮浓度为 14.5 mg/L 和 42.0 mg/L 时 SBR 工艺系统的 INT-ETS 活性、COD 和“三氮”在 1 个反应周期内的变化规律,如图 3 和图 4 所示.

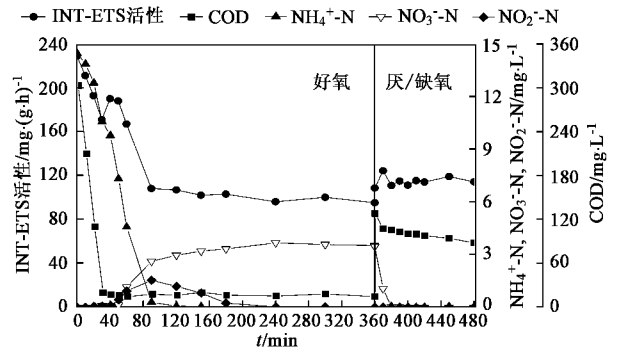


图 3 进水氨氮为 14.5 mg/L 时 SBR 系统 INT-ETS 活性、COD、氨氮、硝酸氮和亚硝酸氮的变化规律

Fig.3 Profiles of INT-ETS activity of activated sludge and COD, ammonia, nitrate and nitrite in SBR process (Influent ammonia = 14.5 mg/L)

由图 3 和图 4 可见,2 种试验条件下 COD 去除阶段的 INT-ETS 活性变化规律与前述试验基本相同,但由于 2 种试验条件下的进水氨氮浓度不同,氨氮硝化反应的持续时间不同,INT-ETS 活性的平台期出现时间受到影响:进水氨氮浓度为 14.5 mg/L 和 42.0 mg/L 的硝化反应分别在第 90 min 和第 240 min 结束,INT-ETS 活性也分别在此时刻出现平台期;在反硝化阶段,由于硝化反应结束时生成的硝态氮数量不同,反硝化反应持续时间不同,INT-ETS 活性的转折点出现时间亦不同.对于 14.5 mg/L 的进水氨氮浓度情况,由于微生物同化作用消耗掉较高数量的氨氮,致使硝化反应结束时仅生成了 3.5 mg/L 的硝态氮,并很快在反硝化过程中就转化为氮气,所需时

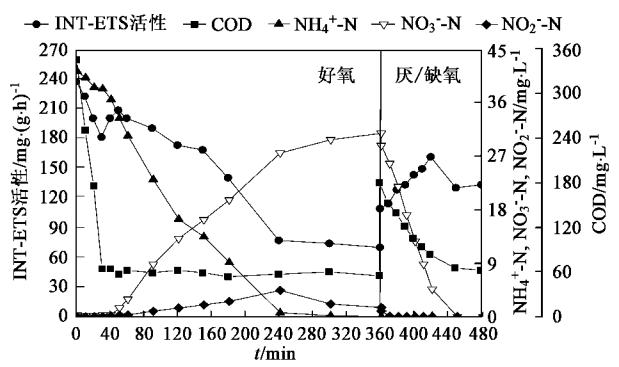


图 4 进水氨氮为 42.0 mg/L 时 SBR 系统 INT-ETS 活性、COD、氨氮、硝酸氮和亚硝酸氮的变化规律

Fig.4 Profiles of INT-ETS activity of activated sludge and COD, ammonia, nitrate and nitrite in SBR process (Influent ammonia = 42.0 mg/L)

间不到 20 min,INT-ETS 活性也仅仅稍有上升,就开始下降并趋于稳定;而对于 42.0 mg/L 的进水氨氮浓度情况,由于硝化反应结束时所生成的硝态氮多达 33.0 mg/L 的硝态氮,从而大幅度地延长了反硝化进程在第 450 min 时才完成全部反硝化过程,导致 INT-ETS 活性也在此时才开始下降并趋于稳定.

2.3 不同进水有机物浓度下的 INT-ETS 活性变化

在进水氨氮浓度为 14.0 mg/L 左右的条件下,分别研究了进水有机物浓度为 293 mg/L 和 685 mg/L 时 SBR 工艺系统的 INT-ETS 活性、COD 和“三氮”在 1 个反应周期内的变化规律,如图 5 和图 6 所示.

从 2 种试验条件下的 INT-ETS 活性检测结果可以看出,COD 去除阶段的 INT-ETS 活性变化规律与前述试验基本相同,但由于进水有机物浓度不同,COD 去除完毕所需的时间不同,从而导致相应的 INT-ETS 活性变化曲线上标志 COD 去除完毕的特征点出现时间亦不同.当进水 COD 为 293 mg/L 时,有机物在第 30 min 即大部分被去除,此时 INT-ETS 活性曲线出现凹点;当进水 COD 为 685 mg/L 时,系统的 COD 在第 60 min 完成基本去除过程,并在此时出现 INT-ETS 活性的转折点.

图 5 和图 6 中硝化阶段的 INT-ETS 活性变化规律与前述试验现象均相同,但由于氨氮硝化反应开始时间和氨氮硝化量不同,INT-ETS 活性曲线上表征硝化反应开始的特征点出现时间和硝化阶段变化规律的持续时间不同.这是由于在污水生物处理系统中,进水有机物浓度越高(COD 的去除量大),氨氮的同化量越多,相应的硝化反应持续时间亦越短.当进水 COD 为 293 mg/L 时,INT-ETS 活性曲线分别

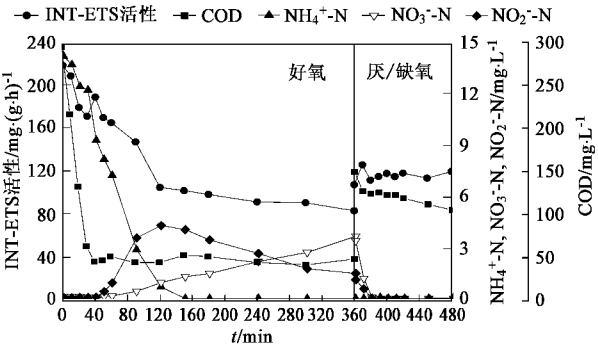


图 5 进水 COD 为 293 mg/L 时 SBR 系统 INT-ETS 活性、COD、氨氮、硝酸氮和亚硝酸氮的变化规律

Fig. 5 Profiles of INT-ETS activity of activated sludge and COD, ammonia, nitrate and nitrite in SBR process (Influent COD = 293 mg/L)

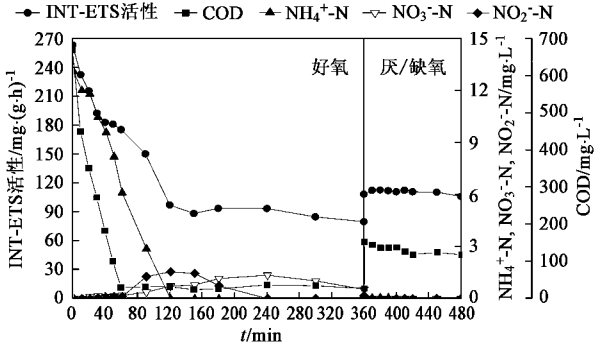


图 6 进水 COD 为 685 mg/L 时 SBR 系统 INT-ETS 活性、COD、氨氮、硝酸氮和亚硝酸氮的变化规律

Fig. 6 Profiles of INT-ETS activity of activated sludge and COD, ammonia, nitrate and nitrite in SBR process (Influent COD = 685 mg/L)

在第 30 min 和第 120 min 出现了表征硝化反应开始和结束的特征点,持续时间为 90 min;当进水 COD 为 685 mg/L 时,硝化阶段持续时间为 60 min,INT-ETS 活性曲线上标志硝化反应结束的特征点出现时间为第 120 min.

在反硝化阶段,2 种试验条件下的 INT-ETS 活性表现出不同的变化规律,与“三氮”的转化相比较,可以发现,这种不同变化规律是缘于曝气结束时生成的硝态氮数量不同.当好氧阶段结束时,对于进水 COD 为 293 mg/L 的情况生成了总量近 5.0 mg/L 的硝态氮,这些硝态氮在反硝化开始的 20 min 内全部转化成氮气,INT-ETS 活性也在反硝化的第 10 min 先上升,然后降低并趋于稳定;而对于进水 COD 为 685 mg/L 的情况所生成的硝态氮数量微乎其微,仅为 0.5 mg/L 左右,此时的硝态氮在反硝化开始即迅速

完全转化为氮气,INT-ETS 活性也未出现明显上升现象,而是基本维持恒定.

3 结论

(1)INT-ETS 活性可以及时、有效地反映出 SBR 工艺系统的生化反应进程.在有机物降解阶段,INT-ETS 活性随 COD 的去除而不断降低,当 COD 去除完毕时,INT-ETS 活性曲线出现凹点.

(2)在硝化反应阶段,INT-ETS 活性先随有机物的去除缓慢下降,而后出现 1 次上升,然后逐渐降低,并在硝化反应结束时出现平台期.在反硝化阶段,INT-ETS 活性先随反硝化的进行而上升,当反硝化结束时,INT-ETS 活性转而下降,并趋于稳定.

(3)运行条件的改变对 SBR 系统 INT-ETS 活性变化规律未带来明显影响,但 INT-ETS 活性曲线上标志不同反应阶段的特征点出现时间会发生变化.

参考文献:

[1] Blenkinsopp S A, Lock M A. The measurement of electron transport system activity in river biofilms [J]. Wat Res, 1990, 24(4): 441 ~ 445.

[2] Lopez J M, Koopman B, Bitton G. INT-dehydrogenase test for activated sludge process control [J]. Biotechnol Bioeng, 1986, 28: 1080 ~ 1085.

[3] Awong J, Bitton G, Koopman B. ATP, oxygen uptake rate and INT-dehydrogenase activity of acitinomycete foams [J]. Wat Res, 1985, 19(7): 917 ~ 921.

[4] Weddle C L, Jenkins D. The Viability and Activity of Activated Sludge[J]. Wat Res, 1971, 5: 621 ~ 640.

[5] Blenkinsopp S A, Lock M A. The Measurement of Electron Transport System Activity in River Biofilms[J]. Wat Res, 1990, 24 (4): 441 ~ 445.

[6] 尹军,谭学军,任南琪.用 TTC 与 INT-电子传递体系活性表征重金属对污泥活性的影响[J].环境科学,2005, 26(1): 56 ~ 62.

[7] 尹军.消化污泥脱氢酶活性检测的若干问题[J].中国给水排水,2000, 16(10): 47 ~ 49.

[8] 沈同,王镜岩.生物化学(上册)[M].北京:高等教育出版社, 1990.256 ~ 262.

[9] 施汉昌,柯细勇,张伟,等.用快速生物活性测定仪测定活性污泥生物活性的研究[J].环境科学,2004, 25(1): 67 ~ 71.

[10] Christine M C, Pemelle J J, Morin L, et al. Relevance of the INT Test Response as an Indicator of ETS Activity in Monitoring Heterotrophic Aerobic Bacterial Populations in Activated Sludges [J]. Wat Res, 1998, 32(4): 1213 ~ 1221.

[11] Kim C W, Koopman B, Bitton G. INT-dehydrogenase Activity Test for Assessing Chlorine and Hydrogen Peroxide Inhibition of Filamentous Pure Cultures and Activated Sludge[J]. Wat Res, 1994, 28(5): 1117 ~ 1121.