

Cr⁶⁺对活性污泥活性及有机物去除速率的影响

程丽, 李晓晨*, 宋学东, 邢友华

山东农业大学水利土木工程学院, 山东 泰安 271018

摘要: 通过检测活性污泥系统的电子传递活性以及 COD 的去除速率, 研究了 Cr⁶⁺对污泥活性以及有机物降解速率的影响, 并探讨了两者之间的关系。研究表明: 5 mg·L⁻¹ 的 Cr⁶⁺即会对系统产生明显影响, Cr⁶⁺对污泥活性和 COD 去除率的抑制作用随其质量浓度的增大而增强; 当 Cr⁶⁺质量浓度达到 25 mg·L⁻¹ 时, 污泥的 INT 和 TTC-电子传递 (TTC-ETS) 活性以及有机物降解速率都表现为大幅的下降, 下降比例分别为 46.98%、54.18%以及 64.47%。Cr⁶⁺抑制污泥 TTC-ETS 活性的 IC₅₀ 小于抑制 INT-ETS 活性的 IC₅₀, 表明 TTC-ETS 活性反映 Cr⁶⁺毒性作用的灵敏性大于 INT-ETS 活性。此外, INT 和 TTC-ETS 活性与有机物降解速率之间也均存在显著的正相关性, 说明两者都是表征 Cr⁶⁺对有机物去除速率影响的灵敏参数。

关键词: 六价铬 (Cr⁶⁺); INT-电子传递活性; TTC-电子传递活性; 有机物降解速率; 影响

中图分类号: X132

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2009) 06-2113-05

活性污泥法被广泛应用于城市污水和工业废水的集中生化处理中, 其本质是污泥微生物通过氧化水中的有机物质, 产生维持自身生存和增长的能量, 同时达到降解有机物而净化水质的目的^[1]。在活性污泥生物处理过程中, 微量重金属是微生物生命活动所需的营养物质, 是酶的活化剂或活性基^[2], 但是微生物对各种重金属的需要量极少, 过量反而会引起毒害作用。

Cr⁶⁺是污水中经常存在的毒性较强的金属离子, 主要来源于工业废水 (铝业加工冶炼、化学催化剂和其它铬盐)、生活污水以及地表径流^[3]。Cr⁶⁺可被转运到污泥微生物细胞内, 在细胞内被还原成 Cr³⁺, 并与细胞内物质发生反应, 毒害细胞^[4-5], 抑制污泥微生物的活性, 进而造成污水处理效率的下降。目前已有的研究多数仅从宏观上探讨 Cr⁶⁺对污水处理效果的影响, 或是仅从微观上研究 Cr⁶⁺对污泥活性的影响, 很少有研究将 Cr⁶⁺的宏观和微观影响联系起来进行探讨。因此本文研究了 Cr⁶⁺对污泥微生物活性以及有机物去除效果的影响, 并探讨了污泥活性和有机物降解速率之间的关系, 以期能够从污泥活性的变化预测出污水有机物去除效果的变化。

1 材料与方法

1.1 试验污泥

试验所用活性污泥取自泰安市污水处理厂 (一厂), 活性污泥采集回实验室后, 过 20 目筛, 以去除泥沙等大颗粒杂质, 待其自然沉降, 弃去上层清液, 沉淀污泥用自制废水洗涤 3 遍后进入实验室

KL-1 型 SBR 实验装置进行驯化培养。培养过程中, 对处理后的出水进行监测, 当 COD_{Cr} 和 NH₄⁺-N 的去除率均大于 80% 后, 培养驯化完成。

自制废水配方见表 1。Cr⁶⁺以 K₂Cr₂O₇ 的形式加入, 然后换算成 Cr⁶⁺质量浓度。

表 1 实验用水配方

Table 1 Recipe for synthetic wastewater

| 成分 | 质量浓度/(mg·L ⁻¹) | 成分 | 质量浓度/(mg·L ⁻¹) |
|--------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| 蔗糖 | 81.8 | MnSO ₄ | 0.057 |
| NH ₄ HCO ₃ | 189.73 | H ₂ MoO ₄ | 0.031 |
| KH ₂ PO ₄ | 22.04 | ZnSO ₄ | 0.046 |
| MgCL ₂ ·6H ₂ O | 3.7 | CoSO ₄ | 0.049 |
| FeCL ₂ ·2H ₂ O | 3.7 | CuSO ₄ | 0.076 |
| CaCL ₂ ·2H ₂ O | 3.7 | | |

1.2 试验方法

1.2.1 活性污泥系统有机物降解速率的测定

将质量浓度为 0 mg·L⁻¹, 5 mg·L⁻¹, 10 mg·L⁻¹, 25 mg·L⁻¹, 50 mg·L⁻¹ 的 Cr⁶⁺分别加入到 1[#]~5[#]曝气反应器内, 反应器其它条件均相同, 反应器污泥混合液均为 800 mL, 污泥质量浓度控制在 5~6 g·L⁻¹。打开曝气开关, 分别于 0、5、15、30、60、120、180、240、300、360 min 取样测定 COD_{Cr} 值。同步测试 1[#]~5[#]反应器内污泥的 MLSS。

COD_{Cr} 采用 HACH COD_{Cr} 快速分析仪测定, 污泥的 MLSS 采用质量法。

1.2.2 活性电子传递体系活性 (ETS) 的测定

待反应器曝气 1 h 后, 分别从 1[#]~5[#]曝气反应器取出污泥混合液用于测定 TTC-ETS 以及 INT-ETS,

基金项目: 中国博士后科学基金项目 (20080431214); 山东农业大学青年创新基金项目

作者简介: 程丽 (1985 年生), 女, 硕士研究生, 主要从事污水生物处理理论研究。

*通讯作者: 李晓晨 (1970 年生), 男, 副教授, 博士, 主要从事污水处理以及水体富营养化等方面的研究。E-mail: lixiaochen02@163.com

收稿日期: 2009-09-28

具体测定见参考文献[6-8]。

以上试验重复3次以上,取其稳定值作为试验结果。

1.3 实验结果分析方法

利用 Johnson 等人所介绍的 I 参数^[9],将重金属质量浓度与污泥 ETS 活性的抑制百分比之间的关系线性化:

$$I = \text{抑制百分比} / (100 - \text{抑制百分比}) \quad (1)$$

公式(1)仅适用污泥活性的抑制百分比在5%~95%之间,这个范围之外的数据会影响实验结果的线性化。利用最小二乘法可以确定重金属质量浓度与 I 参数之间的线性回归方程,这条直线上对应 I 等于1的重金属质量浓度即为可抑制50%污泥 ETS 活性的重金属质量浓度,也称50%抑制质量浓度 IC_{50} (Median Inhibitory Concentration)。

2 结果与讨论

2.1 Cr^{6+} 对 COD_{Cr} 去除率以及有机物降解速率的影响

活性污泥是污水活性污泥处理系统的反应工作主体,是由细菌、微型动物为主的微生物与悬浮物质、胶体物质混杂在一起所形成的絮状体颗粒。良好的活性污泥具有很强的吸附分解有机物的能力和良好的沉降性能^[10]。重金属离子的加入会影响污泥系统中原生动物的生长,此外,重金属离子的存在会扰乱原生动物的捕食作用,从而使基质的碳、氮、磷的比例失衡,导致细菌群落分化,细菌生长方式改变^[11],进而导致污泥系统恶化,对 COD 的去除造成影响。与此同时,重金属离子对细胞透膜酶和水解酶也存在一定的影响^[12],引起细菌的代谢异常,导致系统 COD 去除率发生较大变化。 Cr^{6+} 对 COD 去除率的影响情况如图1所示。

从图1中可以看出,无 Cr^{6+} 投加的1#对照反应器运行稳定,在0-4 h期间, COD_{Cr} 的去除率呈直线增加趋势,4 h时,对 COD_{Cr} 的去除率为86.0%,达到系统出水要求。说明实验期间系统对有机物的降解

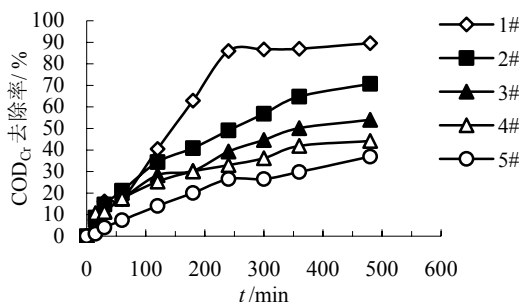


图1 不同 Cr^{6+} 浓度下 COD 值随时间的变化

Fig.1 The changes of COD over the time at different concentrations of chromium (VI)

能力良好且稳定,所用污泥具有良好的活性。与对照反应器相比, Cr^{6+} 投加量分别为5、10、25、50 $mg \cdot L^{-1}$ 的2#~5#反应器内污泥的活性受到不同程度的影响,对 COD_{Cr} 的去除率随着 Cr^{6+} 质量浓度的增加而降低。

由2#反应器内 COD_{Cr} 去除率的变化情况可知,5 $mg \cdot L^{-1}$ 的 Cr^{6+} 即会对 COD 去除率产生抑制作用, COD_{Cr} 的去除率随时间的延长逐渐增大,4 h时 COD_{Cr} 的去除率仅为49.1%,较对照系统降低了42.9%,8 h时的 COD_{Cr} 去除率增大为70.7%。说明在5 $mg \cdot L^{-1}$ Cr^{6+} 质量浓度条件下,随着时间的延长,污泥微生物能通过体内的拮抗解毒机制做出一定的适应调整能力,从而降低 Cr^{6+} 的毒性效应。当 Cr^{6+} 质量浓度增大到10 $mg \cdot L^{-1}$,反应器内 COD_{Cr} 的降解速率受到明显抑制,最大去除率仅为54.0%,最高抑制率达到54.29%,并且随着时间的延长 COD_{Cr} 的去除率变化不明显,8 h时的 COD_{Cr} 的去除率增仅为54.0%。

当 Cr^{6+} 质量浓度为25 $mg \cdot L^{-1}$ 时,与对照反应器相比,4#反应器内 COD_{Cr} 的去除率在前15 min内受 Cr^{6+} 的影响不明显,这可能是由于短时间内 Cr^{6+} 仅被吸附在污泥微生物的体外,对微生物的毒性较小,随着越来越多的 Cr^{6+} 被转运到细胞内,造成对微生物的毒害作用增大,此反应器内, COD_{Cr} 的最高去除率仅为44.2%,平均抑制率为42.60%,最高达到了61.62%。由此可知,25 $mg \cdot L^{-1}$ 的 Cr^{6+} 会严重影响反应器内的微生物活性,并且随着接触时间的延长,微生物将会部分或全部丧失活性进而使 COD 保持较高水平而基本不再降低。随着 Cr^{6+} 质量浓度继续增大到50 $mg \cdot L^{-1}$ 时, COD_{Cr} 的平均抑制率为62.28%,最高达到了75.18%,系统失去意义。

图2和表2则分别给出了不同质量浓度的 Cr^{6+} 对活性污泥有机物比降解速率(V_{COD})的影响以及相应的 IC_{50} 值。在 Cr^{6+} 投加量为0 $mg \cdot L^{-1}$ 的1#反应器内,有机物比降解速率为0.3242 $mg \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$ (即单位质量的污泥在单位时间内消耗的氧气的量),而2#反应器的有机物比降解速率则降低为0.2008 $mg \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$,减少率达到61.94%。随着 Cr^{6+} 质量浓度的增大,反应器内的有机物比降解速率逐渐减少,当 Cr^{6+} 质量浓度增大到14.14 $mg \cdot L^{-1}$,对有机物比降解速率的抑制达到50%,25 $mg \cdot L^{-1}$ 的 Cr^{6+} 对有机物比降解速率的抑制比例达到了64.47%;另外, Cr^{6+} 投加量在0~10 $mg \cdot L^{-1}$ 范围内时,有机物比降解速率减少得很快,在10~25 $mg \cdot L^{-1}$ Cr^{6+} 范围内时减少得相对缓慢,此后有机物降解速率基本呈直线状态。由此说明25 $mg \cdot L^{-1}$ 的 Cr^{6+} 即可导致污水处理效果的大幅降低,足以使活性污泥反应系统陷入瘫痪

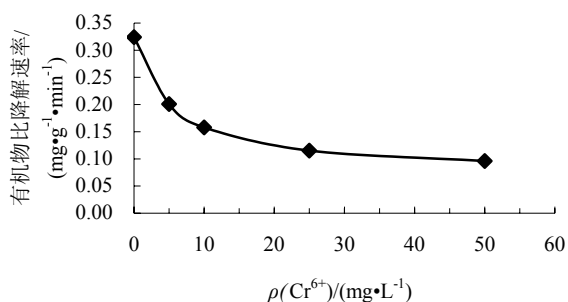
图2 Cr⁶⁺对有机物比降解速率的影响Fig.2 Effects of Cr⁶⁺ on the organic matter specific degradation rate

表2 IC₅₀及 Γ 参数与重金属剂量之间的线性关系
Table 2 IC₅₀ of Cr⁶⁺ and statistics of linear relationship s between Γ and Cr⁶⁺ dosage

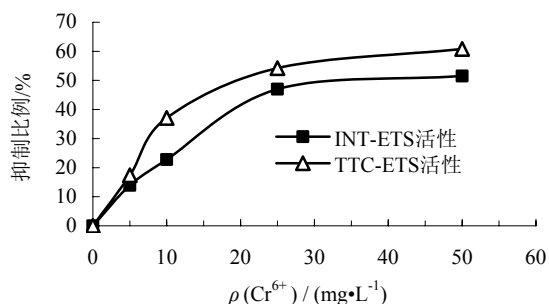
| 项目 | IC ₅₀ /(mg·L ⁻¹) | r ² | 回归方程 |
|------------------|---|----------------|---|
| TTC-ETS | 27.48 | 0.9101 | $\Gamma=0.0308\times\text{TTC-ETS}+0.1537$ |
| INT-ETS | 41.69 | 0.886 | $\Gamma=0.0215\times\text{INT-ETS}+0.1036$ |
| V _{COD} | 14.14 | 0.9005 | $\Gamma=0.0443\times V_{\text{COD}}+0.3737$ |

状态,这也进一步验证了由图1得出的结论。

2.2 Cr⁶⁺对污泥 ETS 的影响

污泥电子传递体系(ETS, Electron Transport System)活性是近年来备受关注的指标^[13-14]。该指标既可从生物学的角度反映处理系统微生物降解有机物的能力,又可用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,进而来定量活性污泥的生物活性^[15,16]。当污水中出现重金属等毒性物质时,污泥 ETS 活性可较早地预告污泥生物活性的改变,甚至可反映出毒性物质影响污泥活性的等级^[17]。图3和表2显示了不同质量浓度的 Cr⁶⁺对 INT 和 TTC-ETS 活性的抑制情况。

由图3和表2可知,不同质量浓度的 Cr⁶⁺会对污泥 INT 和 TTC-ETS 活性产生不同程度的抑制作用,在无 Cr⁶⁺投加的对照反应器内,污泥的 INT 和

图3 Cr⁶⁺对 INT 和 TTC-ETS 活性的抑制Fig.3 Inhibitory effect of Cr⁶⁺ on INT and TTC-electron transport system activity test

TTC-ETS 活性分别为 96.82 和 131.66 $\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$,说明试验用污泥具有较好的生物活性。随着 Cr⁶⁺质量浓度的增加,污泥的电子传递活性逐渐降低,至 25 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,污泥的 INT 和 TTC-ETS 活性分别降低为 51.34 和 60.33 $\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$,抑制率分别达到 46.98%和 54.18%;同时,在低质量浓度投加段,ETS 值随 Cr⁶⁺质量浓度的增加降低明显,当质量浓度增加到 25 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以上时,ETS 受抑制程度趋缓;另外,利用 Γ 参数求出的 Cr⁶⁺抑制污泥 TTC-电子传递体系活性的 IC₅₀小于抑制 INT-电子传递体系活性 IC₅₀,分别为 10.41 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 41.69 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。该实验结果说明,在用 TTC-电子传递体系活性表征污泥活性受 Cr⁶⁺毒性的抑制时,其灵敏性大于 INT-电子传递体系活性,并且 TTC-电子传递体系活性的 Γ 参数与 Cr⁶⁺质量浓度之间的回归方程的线性关系非常好,回归系数为 0.9101,而用 INT-电子传递体系活性表征的回归系数仅为 0.886,这也进一步说明了 TTC-ETS 的灵敏性大于 INT-ETS。

2.3 活性污泥活性 (ETS) 与 COD 去除率之间的关系

污水生物处理系统受重金属污染后,其去除有机物的能力势必降低。因此,在用INT-ETS或是TTC-ETS活性来表征重金属对污泥活性的影响时,如果该参数能够反映出活性污泥降解有机物能力的变化,则说明该参数可以表征污泥活性所受到的重金属影响程度^[7]。

由表3可知,污泥的INT和TTC-电子传递活性与有机物降解速率均存在显著相关性,这表明污泥内在活性的变化能够很好地反映并指示有机物的降解速率的变化,因而污泥电子传递活性可用于表征重金属对活性污泥的影响。图4显示了污泥的电子传递活性与有机物比降解速率之间的线性规律。

表3 INT-ETS、TTC-ETS、有机物比降解速率 (V_{COD}) 以及Cr⁶⁺剂量之间的相关性

Table 3 The relationships of INT-ETS, TTC-ETS, organic matter specific degradation rate and Cr⁶⁺ dosage

| | Cr ⁶⁺ | INT-ETS | TTC-ETS | V _{COD} |
|------------------|------------------|-----------|----------|------------------|
| Cr ⁶⁺ | 1 | | | |
| INT-ETS | 0.913(*) | 1 | | |
| TTC-ETS | 0.892(*) | 0.994(**) | 1 | |
| V _{COD} | 0.795 | 0.934(*) | 0.952(*) | 1 |

* 表示显著性相关水平为0.05; ** 表示极显著性相关水平为0.01。

由图4可以看出,随着污泥电子传递活性的增大,系统有机物的比降解速率也逐渐增大,并且增大趋势相似;TTC和INT-ETS活性与有机物降解速率之间的线性回归方程的相关性分别达到了0.9312和0.8909,这也说明两个活性指标的变化都能反映污水有机物比降解速率的变化。同时,

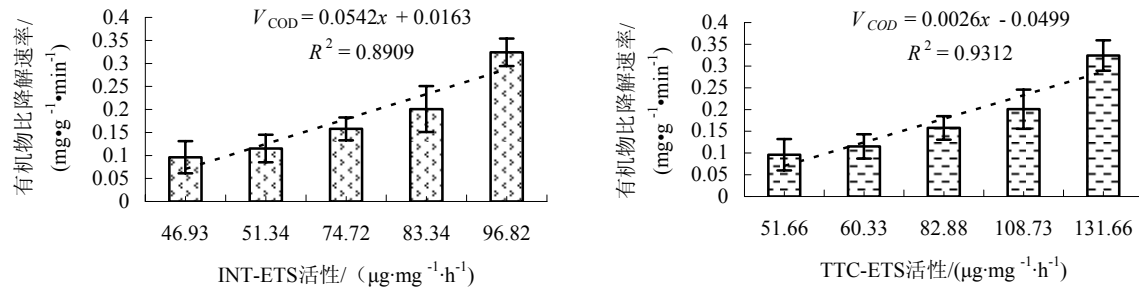


图4 ETS活性与有机物比降解速率的线性关系

Fig.4 The linear relationship between the ETS activity and the organic matter specific degradation rate

TTC-ETS活性对于表征有机物比降解速率变化的灵敏性相比于INT-ETS活性更强一些,可更有效地指示重金属对有机物比降解速率的影响。

3 结论

(1) Cr^{6+} 在 $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时即会对COD的去除率产生抑制作用,并且质量浓度越大抑制作用越明显,与对照相比,4 h时 $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 Cr^{6+} 对COD去除率的抑制作用已达到42.9%。当 Cr^{6+} 质量浓度增大到 $14.14 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,对有机物比降解速率的抑制达到50%, $25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 Cr^{6+} 对有机物比降解速率的抑制达到64.47%。

(2) 不同质量浓度的 Cr^{6+} 会对电子传递活性产生不同的抑制作用,与对照相比, Cr^{6+} 投加量为 $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,对污泥的INT和TTC-ETS活性的抑制比例分别达到51.52%和60.76%。另外,在 $1\sim 25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的低质量浓度投加段时,ETS活性的抑制比例降低非常明显,随着 Cr^{6+} 质量浓度的增大,ETS活性受抑制的趋势变缓; Cr^{6+} 抑制TTC-电子传递体系活性的 IC_{50} 小于抑制INT-电子传递体系活性的 IC_{50} ,说明在用TTC-电子传递体系活性来表征 Cr^{6+} 对污泥活性的影响时,其灵敏性高于INT-电子传递体系。

(3) 污泥电子传递活性的变化和有机物比降解速率的变化存在显著相关性,通过线性回归方程分析,TTC和INT-ETS活性与有机物比降解速率之间的相关性分别达到了0.9312和0.8909,说明系统宏观方面的变化可由微观的污泥活性指标来表征。

参考文献:

- [1] 李亚新. 活性污泥法理论与技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007: 8-10.
LI Yaxin. The theory and technology of Activated Sludge Process[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2007: 8-10.
- [2] 李洪亮, 陈玉成. 污水生物处理中重金属的毒理学研究进展[J]. 微量元素与健康研究, 2006, 23(1): 49-52.
LI Hongliang, CHEN Yucheng. Research Progress on toxicology of heavy metals in biotreatment process of wastewater[J]. Studies of Trace Elements and Health, 2006, 23(1): 49-52.
- [3] 李晓晨. 城市污水处理过程中重金属形态分布及潜在迁移性研究[D]. 南京: 河海大学, 2006: 12-13.
LI Xiaochen. Distribution of chemical Fractions and Potential Mobility of Heavy metals during Bio-treatment Process of Municipal Wastewater[D]. Nanjing: Hohai University, 2006: 12-13.
- [4] STASINAKIS A S, THOMAIDIS N S, MAMAI S D, et al. Effect of chromium(VI) addition on activated sludge process[J]. Water Research, 2003, 37: 65-73.
- [5] ALKAN U, ANDERSON G K., INCE O. Toxicity of trivalent chromium in the anaerobic digestion process [J]. Water Research, 1996, 30(3): 731-741.
- [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): 56-61.
YIN Jun, TAN Xuejun, REN Nanqi. Evaluation of TTC and INT-Electron Transport System Activity Tests for Heavy Metal Inhibition of Activated Sludge[J]. ENVIRONMENTAL SCIENCE, 2005, 26(1): 56-61.
- [7] 谭学军, 尹军, 王建辉, 等. OUR和INT-ETS表征污泥活性的比较[J]. 中国给水排水, 2005, 21(7): 43-46.
TAN Xuejun, YIN Jun, WANG Jianhui, et al. Comparison on OUR and INT2 Electron Transport System for Characterization of Sludge Activity[J]. CHINA WATER & WASTEWATER, 2005, 21(7): 43-46.
- [8] CARAVELLI A, GIANNUZZI L, ZARITZKY N. Effect of chlorine on filamentous microorganisms present in activated sludge as evaluated by respirometry and INT-dehydrogenase activity[J]. Water Research, 2004, 38: 2395-2405.
- [9] ANDERSON K, KOOPMAN B, BITTON G. Evaluation of INT-dehydrogenase assay for heavy metal inhibition of activated sludge[J]. Water Research, 1988, 22(3): 349-353.
- [10] 李探微, 彭永臻, 朱晓. 活性污泥中原生动物的特征和作用[J]. 给水排水, 2001, 27(4): 24-27.
LI Tanwei, PENG Yongzhen, ZHU Xiao. Characteristics and Functions of Protozoa in Activated Sludge Process[J]. WATER & WASTEWATER, 2001, 27(4): 24-27.
- [11] 陈声贵, 许木启, 杨向平, 等. 原生动物在活性污泥中的作用[J]. 生态学杂志, 2002, 21(3): 47-51.
CHEN Shenggui, XU Muqi, YANG Xiangping, et al. Functions of Protozoa in Activated Sludge Process[J]. Chinese Journal of Ecology, 2002, 21(3): 47-51.
- [12] BLENKINSOPP S A, LOCK M A. The measurement of electron transport system activity in river biofilms[J]. Water Research, 1990,

- 24(4): 441-445.
- [13] 陈皓, 陈玲, 赵建夫, 等. 重金属对厌氧污泥电子传递体系活性影响研究[J]. 环境科学, 2007, 28(4): 786-790.
CHEN Hao, CHEN Ling, ZHAO Jianfu, et al. Effects of Heavy Metallic Ions on Electron Transport System Activity of Anaerobic Sludge[J]. ENVIRONMENTAL SCIENCE, 2007, 28(4): 786-790.
- [14] CHRISTINE M C, PEMELLE J J, MORIN L, et al. Relevance of the INT response as an indicator of ETS activity in monitoring heterotrophic Aerobic bacterial populations in activated sludges[J]. Water Research, 1998, 32(4): 1213-1221.
- [15] LOPEZ J M, KOOPMAN B, BITTON G. INT-dehydrogenase test for activated sludge process control[J]. Biotechnology and Bioengineering, 1986, 28: 1080-1085.
- [16] MARTINEZ R. Effects of ultraviolet radiation on protein content, respiratory electron transport system (ETS) activity and superoxide dismutase (SOD) activity of Antarctic plankton[J]. Polar Biology, 2007, 30: 1159-1172.
- [17] KLAPWIJK A, DRENT J, STEENVOORDEN JHAM. A modified procedure for the TTC-dehydrogenase test in activated sludge[J]. Water Research, 1974, 8: 121-125.

Impacts of Cr⁶⁺ on the activity of activated sludge and the organic matter degradation rate

CHENG Li, LI Xiaochen*, SONG Xuedong, XING Youhua

Water Conservancy and Civil Engineering College; Shandong Agriculture University, Shandong, Taian 271018, China

Abstract: The impacts of Cr⁶⁺ on the activity and organic matter degradation rate of activated sludge, as well as relationship between them were studied by the determination of electron transport system(ETS) activity and COD removal rate. The results indicated that significant effects would occur when the dosage of Cr⁶⁺ is 5 mg/L. And the negative effects of Cr⁶⁺ on the activity and COD removal rate increased with the increase of Cr⁶⁺ concentration. In case of the Cr⁶⁺ concentration of 25 mg/L, the decreasing ratio of INT and TTC-ETS activity and the COD removal rate were 46.98%, 54.18%, and 64.47% respectively. The median inhibitory concentration (IC₅₀) of Cr⁶⁺ measured via TTC-electron transport system(TTC-ETS) activity was less than that of INT-electron transport system (INT-ETS) activity, indicating that the activity of INT-ETS to Cr⁶⁺ was less sensitive than that of TTC-ETS activity. Additionally, significant positive correlations could be found between the organic matter degradation rate and the INT-ETS activity, as well as the TTC-ETS activity, in activated sludge system. Thus, the INT and the TTC-ETS activity were both effective parameters for characterizing the activity of activated sludge affected by Cr⁶⁺.

Key words: Cr⁶⁺; INT-electron transport system; TTC-electron transport system; organic matter degradation rate; impact