

# 碳源对反硝化生物滤池系统运行 及微生物种群影响

刘秀红<sup>1,2</sup>, 甘一萍<sup>1</sup>, 杨 庆<sup>2</sup>, 李健伟<sup>1</sup>, 李鑫玮<sup>1</sup>, 邢 旭<sup>1</sup>

(1.北京城市排水集团有限责任公司科技研发中心;

2.北京工业大学环境与能源工程学院 北京 100124)

**摘 要:**采用大型中试反硝化生物滤池系统,针对乙酸钠、乙酸和甲醇 3 种实际工程中拟选用的碳源的处理效果与种群进行了系统的试验研究。试验发现乙酸钠、乙酸和甲醇为碳源,硝酸盐去除率均可达 90%以上,北方冬季更适宜采用甲醇为碳源。与乙酸和乙酸钠相比,甲醇为碳源所用投加量最低,费用最少,反冲洗周期最长,且对出水浊度的影响最小。以乙酸钠、乙酸和甲醇为碳源初期启动出现了大量的亚硝酸盐累积,经驯化后可逐渐消失,但以甲醇为碳源,当碳源投加量不足时,会再次出现亚硝酸盐累积问题。以乙酸钠和乙酸为碳源与以甲醇为碳源 DMBF 中的微生物种群存在显著差别,可明显观察到甲醇为碳源时滤料表面生物膜几乎全部为杆菌,并由粘性物质连接。

**关键词:**反硝化滤池;碳源;投加量;微生物种群

**中图分类号:**X703.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1000-3770(2013)11-0036-005

我国部分大中城市已面临严重的缺水形势,污水回用是解决水资源短缺的有效途径,然而,我国污水再生回用的规模和水平仍较低。目前,我国污水处理厂普遍采用的污水处理工艺,如 A/O、氧化沟和 SBR 等,由于受原污水 COD/N 较低的限制,加之长期以来我国污水处理厂污染物排放标准中仅规定了氨氮和总氮的最高允许排放浓度,且 TN 最高允许排放浓度比氨氮最高允许排放浓度至少高 10 mg/L,这些因素导致污水处理厂出水中 TN 至少有 60%为硝酸盐氮,部分污水处理厂出水硝酸盐最高可达 30 mg/L<sup>[1]</sup>,并已造成地表及地下水体不同程度的硝酸盐污染<sup>[2-3]</sup>。许多地区地下水的硝酸盐浓度远远超过美国环保局规定的是 10 mg/L,甚至超过世界卫生组织规定的 50 mg/L。水体中过高的硝酸盐浓度,直接影响供水水质安全,对婴幼儿具有毒害作用<sup>[3-4]</sup>,在人体内可转化为致癌物质<sup>[4]</sup>;另一方面,可导致温室性气体 N<sub>2</sub>O 的产生<sup>[5-6]</sup>。目前,我国大中城市正在对现有污水处理厂进行升级改造,提高污水处理厂对 TN,尤其是硝酸盐的去除能力,实现污水的再生回用。

反硝化生物滤池工艺因其具有脱氮效率高和占

地面积小等优势成为污水厂升级改造采用的关键性技术。然而,目前,在我国该工艺多用于污水处理<sup>[7]</sup>,几乎没有用于再生水生产的反硝化滤池实际工程,有关反硝化滤池的研究也较少,仅有的研究也局限于应用小试试验研究<sup>[8-11]</sup>。碳源投加为反硝化滤池运行的关键环节,是生产安全可靠再生水的保障。碳源投加过多可能导致再生水出水 COD 超标;投加量不足又可能导致出水硝酸盐浓度过高,出水 TN 难以达到再生水水质要求。目前,仅有有关碳源对反硝化生化反应过程影响的相关的小试试验研究,但有关反硝化滤池碳源投加控制的研究未见报道。此外,反硝化滤池可采用的碳源较多,如甲醇、乙醇、淀粉等<sup>[12-13]</sup>,何种碳源在实际工程中应用更为经济安全可靠仍缺乏科学的依据。如何确定反硝化滤池深度脱氮过程中碳源种类、投加量及运行控制等问题是污水处理厂升级改造工艺方案确定、设计及运行中需要迫切解决的问题。

本试验采用大型中试反硝化生物滤池系统,针对 3 种实际工程中拟选用的碳源,对反硝化生物滤池的脱氮效率、运行效果及微生物菌种变化进行了试验研究,旨在确定不同碳源的最佳投加量和运行

收稿日期 2013-04-17

基金项目 国家自然科学基金(51008005)北京市科技新星计划(Z111106054511017)

作者简介 刘秀红(1979—),女,博士研究生,高级工程师,研究方向为污水深度处理与回用及其过程中温室气体减排控制

联系电话 010-51352878;E-mail lxxhfei@163.com;yangqing@bjut.edu.cn

控制技术措施，为实际再生水厂设计与生产运行提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验装置与运行

基于上流式反硝化滤池有利于反硝化过程产气释放，运行管理较为方便的特点，本试验采用上流式反硝化生物滤池，反硝化滤池中试研究基地建于北京高碑店污水处理厂内。反应池池体由钢板焊制，有效容积为 8 m<sup>3</sup>，处理规模 500 m<sup>3</sup>/d，滤料层总高度 2.5 m。滤池所用滤料为膨胀粘土滤料，粒径 4~8 mm。该系统由反硝化生物滤池、碳源投加系统、反冲洗系统组成，试验装置如图 1 所示。

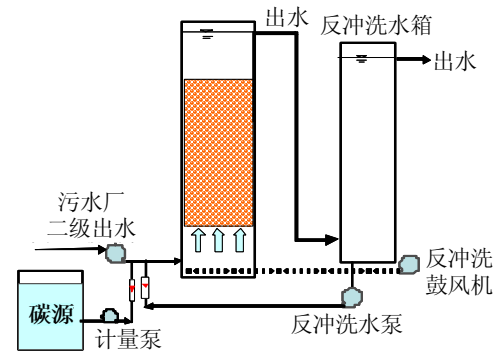


图 1 大型反硝化生物滤池中试试验装置示意图  
Fig.1 The schematic diagram of the large pilot-scale DNBf

反硝化生物滤池运行主要分为 2 个过程，过滤过程和反冲洗过程。过滤过程，污水厂实际二级出水与碳源分别通过流量计控制流量，由进水泵和碳源投加泵，经管道混合器混合后打入反硝化生物滤池，流经滤料，完成反硝化过程。反冲洗过程，滤池过滤 24 h 后，开始反冲洗过程：单独气冲，强度 8 L/(m<sup>2</sup>·s)，历时 2 min；气水联合冲，气冲强度 8 L/(m<sup>2</sup>·s)，水冲强度为 6 L/(m<sup>2</sup>·s)，历时 5 min；单独水冲，强度为 6 L/(m<sup>2</sup>·s)，历时 8 min。

1.2 试验水质

试验用水取自北京市某城市污水处理厂的二级出水。试验期间的水质特点见表 1。

1.3 分析方法

COD、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、TP 按照国家环保局发布的标准方法测定，TN 通过 TN/TOC 分析

仪 (MultiN/C3100，德国耶拿) 测定，DNBF 出水 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和浊度同时采用美国哈希 NITRATAX plus sc 和 SOLITEX sc 测定仪在线测定，采用扫描电镜观测滤料表面生物膜情况。

1.4 试验运行方案

本试验可分为 3 个阶段：第 1 阶段，采用乙酸钠为碳源，进行反硝化滤池的挂膜培养，待滤池运行稳定后，考察碳源投加量对滤池脱氮及运行效果影响；第 2 阶段，更换碳源为乙酸，待滤池运行稳定后，考察碳源投加量对滤池脱氮及运行效果影响；第 3 阶段：更换碳源为甲醇，由于甲醇对微生物具有一定的毒性作用，以甲醇为碳源采用逐渐增加投加量的方式运行，以使反硝化微生物逐渐适应以甲醇为碳源，待滤池稳定运行后，考察碳源投加量对滤池脱氮及运行效果影响。上述试验过程中，每个试验阶段均确定了最佳碳源投加量，同时观测滤料表面生物膜生长情况。

2 结果与讨论

2.1 碳源对 DNBf 深度脱氮的影响

以乙酸钠为碳源，稳定运行过程中 COD、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的变化分别如图 2、图 3 所示。在保证充足碳源、适

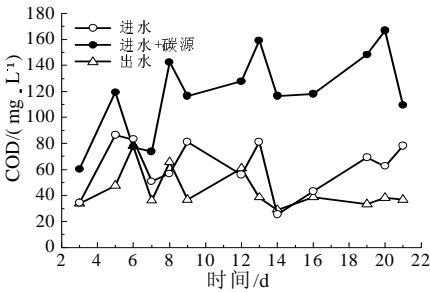


图 2 COD 的变化  
Fig.2 Variation of COD

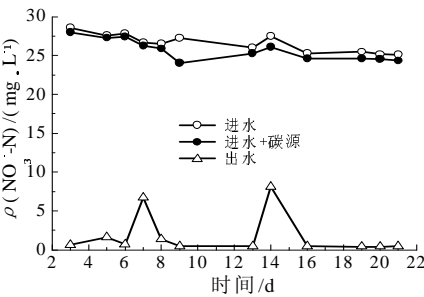


图 3 NO<sub>3</sub>-N 的变化  
Fig.3 Variation of NO<sub>3</sub>-N concentrations

表 1 实际污水处理厂二级出水水质  
Tab.1 The quality of the real secondary effluent from wastewater treatment plant

项目	COD/(mg·L <sup>-1</sup> )	ρ/(mg·L <sup>-1</sup> )				
		DO	TN	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	NH <sub>3</sub> -N	TP
范围	20.58~42.53	4~5(夏), 7~8(冬)	22.32~27.70	18.75~24.67	0.45~2.50	0.25~0.71
平均值	26.71	4.6(夏), 7.8(冬)	24.27	21.95	0.89	0.42

宜水力负荷等运行工况条件下,以乙酸钠为碳源,DNBF 经过 2 d 的培养,即具有脱氮效果,经 10 d 培养即可达到较好的脱氮效果,出水硝酸盐随碳源投加量的减少而有所升高;当碳源投加量适宜时,硝酸盐去除率平均可达 94%,冬季水温降至 15 ℃ 的情况下,滤池对硝态氮的最高去除率可达 90%。

以乙酸钠为碳源稳定运行后,将外加碳源换为乙酸,DNBF 稳定运行过程中进出水 COD 和  $\text{NO}_3^-$ -N 的变化分别如图 4、图 5 所示。

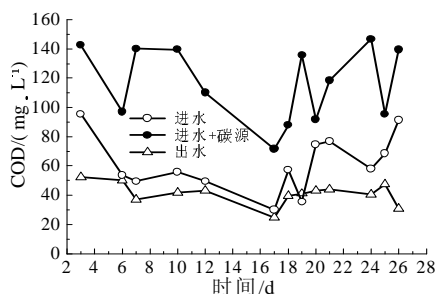


图 4 COD 的变化

Fig.4 Variation of COD

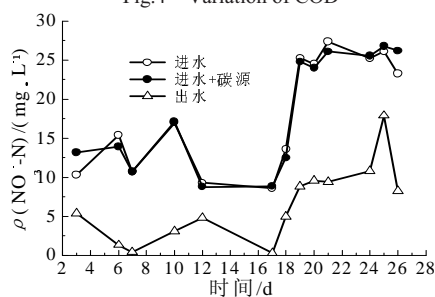


图 5  $\text{NO}_3^-$ -N 的变化

Fig.5 Variation of  $\text{NO}_3^-$ -N concentrations

试验表明,改变碳源后,由于乙酸和乙酸钠为结构较为相似的碳源,DNBF 的反硝化效果基本没有受到影响,硝酸盐去除率仍可达到 96%。但试验过程中发现:当进水硝酸盐质量浓度高于 20 mg/L 时,控制碳源投加量虽然可使硝酸盐去除率高于 90%,出水硝酸盐低于 2 mg/L,但由于乙酸投加量较高,滤池进水 pH 低于 6.5。通常反硝化菌最适宜的 pH 在 6.5~8.0,本试验条件下 pH 范围低于反硝化菌适宜生长的 pH 范围,使得反硝化速率略有降低,处理效率有所下降,且出水悬浮物浓度升高;同时,常压下乙酸的凝固点为 14.8 ℃,北方冬季进水水温接近其凝固点,在投加碳源的管道中容易出现结晶现象,凝固时体积膨胀可能导致容器破裂。不仅如此,乙酸使用过程中极易挥发,具有强烈的刺激性气味,对鼻、喉、呼吸道、皮肤和眼睛有刺激性,长期接触对人体有较大危害。因此,北方冬季使用乙酸为碳源,在一定程度上影响 DNBF 的反硝化效果,水温低于 15 ℃

时,不宜采用乙酸为碳源。

以乙酸为碳源稳定运行后,系统改用甲醇为碳源,经过近 1.5 个月的培养才使原本适应乙酸为碳源的反硝化菌转变为适应甲醇为碳源的反硝化菌。稳定运行过程中进出水 COD 和  $\text{NO}_3^-$ -N 的变化分别如图 6、图 7 所示。

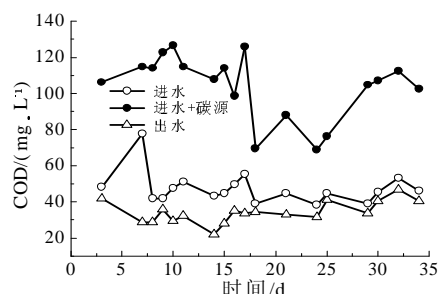


图 6 COD 的变化

Fig.6 Variation of COD

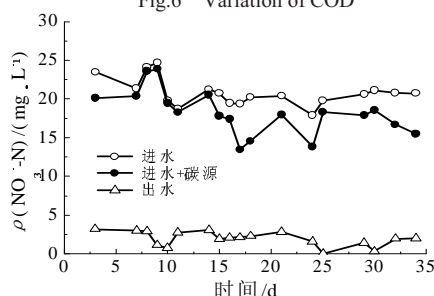


图 7  $\text{NO}_3^-$ -N 的变化

Fig.7 Variation of  $\text{NO}_3^-$ -N concentrations

试验表明,当碳源投加适量时,出水 COD 可低于 30 mg/L,且出水 COD 均低于进水 COD,出水硝酸盐质量浓度低于 5 mg/L,硝酸盐去除率平均可达 91%,出水 TN 质量浓度低于 7 mg/L。甲醇作为易降解小分子碳系物质,其反硝化速率比乙酸和乙酸钠都高,但甲醇易燃易爆,使用过程中对安全要求较高。

## 2.2 碳源对运行费用与反冲洗运行的影响

反硝化滤池是我国污水处理场升级改造采用的关键技术之一,碳源投加量控制是保证水质的关键,碳源投加过量直接导致出水 COD 变高,碳源投加过量出水 TN 难于达标,因此,如何控制碳源投加量是反硝化滤池运行过程中需要解决的关键性技术问题。本试验过程中通过在线检测出水硝酸盐,实时调控碳源投加量,保证出水硝酸盐浓度。表 2 给出了采用不同碳源所用的碳源投加量与反冲洗周期情况。甲醇为碳源所用投加量最低,且所需费用也最低。所考察的 3 种碳源中甲醇利用率最高,甲醇中的甲基作为碳源;而乙酸和乙酸钠中仅有甲基可利用为碳源,羧基被微生物生长利用。因此,以甲醇为碳源微生物的生长速率低于以乙酸和乙酸钠为碳源时微生



物的生长速率，较高的微生物生长速率导致以乙酸钠和乙酸为碳源的反冲洗周期低于以甲醇为碳源的反冲洗周期。

表 2 采用不同碳源 DNBf 的碳源投加量与反冲洗周期  
Tab.2 Carbon dosage and back-wash cycle of DNBf by using different carbon sources

项目	甲醇	乙酸	乙酸钠
价格/(元·kg <sup>-1</sup> )	4.5	7	10
碳源投加量/(kg·kg <sup>-1</sup> )	3.8	4.5	5.3
反冲洗周期/h	24	20	20
运行成本/(元·t <sup>-1</sup> )	0.25	0.47	0.80

碳源对 DNBf 出水浊度有一定影响。试验发现，以甲醇为外加碳源时，出水平均浊度最低，约为 1.5 NTU，且低于进水浓度；而使用乙酸和乙酸钠时，出水浊度分别为 3~4 NTU 和 4~5 NTU，均高于进水浓度，这主要是由于甲醇为碳源中 DNBf 的生物量低于以乙酸和乙酸钠为碳源中 DNBf 的生物量。

2.3 碳源种类及投加量对 DNBf 中亚硝酸盐累积的影响

采用上述 3 种不同碳源 DNBf 研究过程中发现，采用乙酸钠和甲醇为碳源初期启动过程中均出现了大量的亚硝酸盐累积，如图 8 所示。

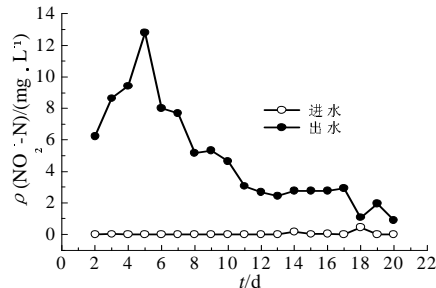


图 8(a) 以乙酸钠为碳源

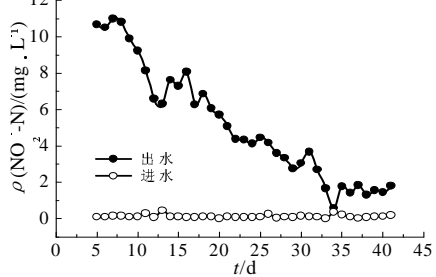


图 8(b) 以甲醇为碳源

图 8 DNBf 启动初期进出水 NO<sub>2</sub>-N 的变化

Fig.8 Variation of NO<sub>2</sub>-N concentrations during the initial operation stage of DNBf

以乙酸钠为碳源 DNBf 运行前 10 天内，碳源投加量略高于实际碳源需要量，进水中硝态氮和亚硝态氮平均质量浓度分别为 24.60 mg/L 和 0.01 mg/L 的情况下，出水的亚硝态氮质量浓度平均为 7.54 mg/L，最高可达 12.80 mg/L，而硝态氮质量浓度平均仅为 3.91 mg/L。DNBf 运行第 12 天，出水亚硝

酸盐质量浓度低于 3 mg/L，18 天后亚硝酸盐累积浓度稳定低于 2 mg/L。经过近半个月的培养和驯化，系统处理效果稳定，碳源投加量不足时，仅影响出水硝酸盐浓度，未出现明显的亚硝酸盐累积问题。

以甲醇为碳源 DNBf 运行前 10 天内，碳源投加量略高于实际碳源需要量，进水中硝态氮和亚硝态氮平均质量浓度分别为 26.21 mg/L 和 0.11 mg/L 的情况下，出水的亚硝态氮质量浓度平均为 10.35 mg/L，最高可达 13.10 mg/L，而硝态氮质量浓度平均仅为 1.49 mg/L。随着运行时间的延长，系统亚硝酸盐累积浓度逐渐降低，23 天后亚硝酸盐累积浓度低于 3 mg/L，经过近 1 个月的培养和驯化，以甲醇为碳源的 DNBf 系统处理效果近于稳定，其硝酸盐去除率达 91%，同时，亚硝酸盐累积质量浓度低于 2.5 mg/L。稳定运行后，当碳源投加量不足时，又会重新出现亚硝酸盐累积现象，当碳源投加量保证硝酸盐反硝化 90% 的情况下，亚硝酸盐累积量低于 1 mg/L。

3 种碳源启动初期均出现了亚硝酸盐累积，甲醇为碳源亚硝酸盐累积消失速度较慢，葛世建等人在活性污泥系统中也得到了类似的结论<sup>[14]</sup>。分析产生亚硝酸盐累积的原因主要有 3 个方面：(1) 水力流态，DNBf 中添加的滤料增强了水流在空间上的更为严格的推流，滤池停留时间仅为 17 min，反硝化过程一旦产生亚硝酸盐将非常迅速随水排出；采用下向流或粒径更小的滤料亚硝酸盐累积情况将有所缓解<sup>[14-16]</sup>；(2) 反硝化菌种类繁多<sup>[17]</sup>，其中，有一类反硝化细菌只能将 NO<sub>3</sub>-N 还原成 NO<sub>2</sub>-N，以甲醇为碳源的 DNBf 系统启动初期可能存在这类细菌；(3) 该 DNBf 中原有反硝化菌是以乙酸钠为碳源培养和驯化，更换甲醇为碳源，由于其毒性作用，可能对原有反硝化菌的亚硝酸盐还原作用产生抑制，使得亚硝酸盐还原酶活性降低。

2.4 碳源对 DNBf 微生物种群的影响

碳源不但影响滤料表面生物膜的厚度，且微生物种群也有显著不同。以乙酸钠、甲醇为碳源时滤料表面生物膜 SEM 照片分别如图 9、图 10 所示。

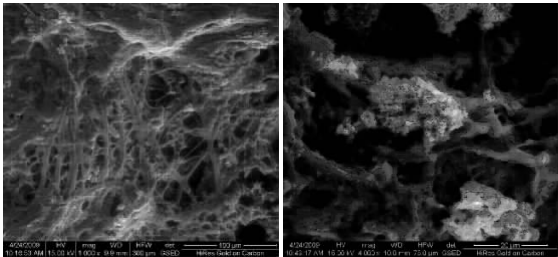


图 9(a) ×1 000 图 9(b) ×4 000

图 9 乙酸钠为碳源时滤料表面生物膜 SEM 照片

Fig.9 SEM micrographs of the biofilm in the large-scale pilot DNBf plant by using sodium acetate as carbon source

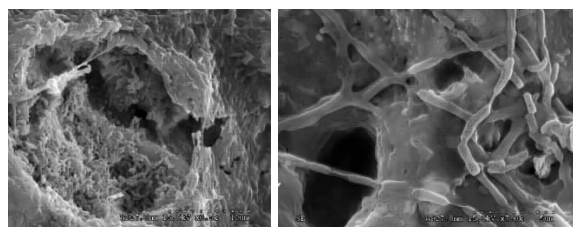
图 10(a)  $\times 3500$ 图 10(b)  $\times 7500$ 

图 10 甲醇为碳源时滤料表面生物膜情况

Fig.10 SEM micrographs of the biofilm in the large-scale pilot DNBF plant by using methanol as carbon source

以乙酸钠和乙酸为碳源与以甲醇为碳源 DNBF 中的微生物种群存在显著差别。甲醇为碳源时滤料表面生物膜几乎全部为杆菌,可明显观察到杆菌之间由粘性物质相互粘接在一起。以乙酸钠为碳源,从表观上看,生物膜表面有大量的粘性物质,形成了紧密的附着生物膜表层,但将放大倍数提高到 4000 倍时,由于粘性物质分泌过多,未明显观察到生物膜表面生长微生物。以甲醇为碳源和以乙酸钠为碳源在亚硝酸盐累积、反冲洗及出水浊度等方面的不同,在很大程度上取决于微生物种群的不同,进一步采用分子生物学的方式分析微生物种群的结构,对揭示生物膜处理机理是极为重要的。

### 3 结 论

乙酸钠、乙酸和甲醇均可作为反硝化滤池碳源,硝酸盐去除率均可达到 90%以上,北方冬季更适宜采用甲醇为碳源。

与乙酸和乙酸钠为 DNBF 碳源相比,甲醇为碳源所用投加量最低,费用最少,反冲洗周期最长,且对出水浊度的影响最小。

碳源种类及投加量均可能导致亚硝酸盐累积,以乙酸钠、乙酸和甲醇为碳源初期启动出现了大量的亚硝酸盐累积,经驯化后,积率现象逐渐消失,但以甲醇为碳源,当碳源投加量不足时,会再次出现亚硝酸盐累积问题,因此,以甲醇为碳源其投加控制方式与以乙酸钠和乙酸为碳源的控制方式不同。

以乙酸钠和乙酸为碳源与以甲醇为碳源 DNBF 中的微生物种群存在显著差别,可明显观察到甲醇为碳源时滤料表面生物膜几乎全部为杆菌,并由粘性物质连接。

### 参考文献:

[1] Li Kuixiao, Bai Xue, Li Xinwei, et al. Research on advanced treatment of second effluent by ozone and biological aerated filter process[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2012, 6(1):

63-67.

- [2] Liu Xiang-chao, Zhou Zheng-hui, Song Xian-fang, et al. Water chemistry and nitrate pollution of surface water and groundwater in Liangtan river [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University, 2009, 28(5): 942-947.
- [3] Rak-Hyeon, Kim J L, Ho-Wan C. Characteristics of organic matter as indicators of pollution from small-scale live stock and nitrate contamination of shallow groundwater in an agricultural area [J]. Hydrological Processes, 2003(17): 2485-2496.
- [4] Wu Yuhua. Progress of groundwater nitrate pollution and its alleviating methods in European and American countries [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(8): 284-290.
- [5] Hermann W Bange. New directions: the importance of oceanic nitrous oxide emissions [J]. Atmospheric Environment, 2006, 40: 198-199.
- [6] Stephen Punshon, Robert M Moore. Nitrous oxide production and consumption in a eutrophic coastal embayment [J]. Marine Chemistry, 2004, 91: 37-51.
- [7] Ding Xin, Xiu Jie, Wang Leqing. The control system of biological aerated filter process wastewater treatment [J]. China instrumentation, 2011, 6: 61-64.
- [8] Yuan Min, Zhou Qi, Yang Dian-hai, et al. Acetate sodium as external carbon source for nitrogen removal in anoxic biological filter [J]. Technology of Water Treatment, 2008, 34(6): 23-25.
- [9] Xia Qiongqiong, Yan Xiuqin, Zhang Wei, et al. Study on the effect of different external carbon source on nitrogen removal of biofilter [J]. Environmental Pollution and Control, 2011, 33(12): 56-58.
- [10] Xia Qiong-qiong, Yan Xiu-qin, Zhang Xiang-yang, et al. Advanced treatment characteristics of biofilter with different external carbon sources and its techno-economic analysis [J]. China Water & Wastewater, 2011, 27(15): 91-94.
- [11] Xu Wenfeng, Li Guirong, Tang Jie. Research on Carbon resource on denitrification rate for anoxic biological filter [J]. Journal of Jilin University, 2007, 37(1): 139-143.
- [12] H J Hamlin, J T Michaels. Comparing denitrification rates and carbon sources in commercial scale upflow denitrification biological filters in aquaculture [J]. Aquacultural Engineering, 2008, 38: 79-92.
- [13] Wang Lili. Influence of different carbon source and ratio of carbon and nitrogen for water denitrification [J]. Environmental Protection Science, 2004, 30(121): 15-18.
- [14] Shijian Ge, Yongzhen Peng, Shuying Wang, et al. Nitrite accumulation under constant temperature in anoxic denitrification process: the effects of carbon sources and COD/NO<sub>3</sub>-N [J]. Bioresource Technology, 2012, 114: 137-143.
- [15] Hu Heping. Study on nitrogen removal by trickling filter [J]. Environmental Engineering, 2005, 23(3): 7-9.
- [16] H J Hamlin, J T Michaels. Comparing denitrification rates and carbon sources in commercial scale upflow denitrification biological filters in aquaculture [J]. Aquacultural Engineering, 2008(38): 79-92.
- [17] Xu Yatong. Study on biological denitrification for N removal [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 1994, 14(04): 445-453.

(下转第 44 页)

pH 是影响生物吸附效果的关键因素,在初始 pH 为 5~6 的溶液中能使生物膜吸附  $\text{Cu}^{2+}$  达到最佳状态,20 °C 时,生物膜对  $\text{Cu}^{2+}$  的吸附量达到最高。

生物膜对  $\text{Cu}^{2+}$  吸附过程可分为快速吸附过程和慢速吸附过程,当  $\text{Cu}^{2+}$  初始质量浓度为 10 mg/L 时,生物膜能在 15 min 内快速吸收  $\text{Cu}^{2+}$ ,至 40 min 可达吸附平衡,以表面吸附为主。在低  $\text{Cu}^{2+}$  含量范围内,生物膜对其吸附效果高,过高的  $\text{Cu}^{2+}$  对生物膜具有急性毒害作用,不利于吸附地进行。

### 参考文献:

- [1] P Stoodley, K Sauer, D G Davies, et al. Biofilms as complex differentiated communities[J]. *Annu Rev Microbio.*, 2002, 56: 187-209.
- [2] Pierr-Yves Ancion, Gavin Lear, Andrew Dopheide, et al. Metal concentrations in stream biofilm and sediments and their potential to explain biofilm microbial community structure[J]. *Environmental Pollution*, 2013, 173: 117-124.
- [3] 姜斌,黄欣,李鑫钢,等.生物膜载体吸附剂对  $\text{Zn}^{2+}$  的吸附[J]. *水处理技术*, 2006, 32(7): 12-15.
- [4] Zhang R, Cheung M, Liao B, et al. Composition of extracellular polymers substances in the activated sludge floc matrix[J]. *Water Science and Technology*, 1998, 37(4/5): 325-333.
- [5] Michel DuBois, K A Gilles, J K Hamilton, et al. Colorimetric method for determination of sugars and related substances[J]. *Analytical Chemistry*, 1956, 28(3): 350-356.
- [6] 牛天新,陈月儿.牛黄浦江支流富营养化原水的生物膜修复技术试验研究[J]. *城市环境与城市生态*, 2012, 25(2): 11-14.
- [7] S Comte, G Guibaud, M Baudu. Biosorption properties of extracellular polymeric substances (EPS) towards Cd, Cu and Pb for different pH values[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2008, 151: 185-193.
- [8] 田超,张园园,邱治国,等.自然水体生物膜对铜(II)、镉(II)的吸附研究[J]. *环境科学学报*, 2007, 27(6): 1020-1023.
- [9] Yurong Yin, Yongyou Hu, Fen Xiong. Sorption of Cu(II) and Cd(II) by extracellular polymeric substances (EPS) from *Aspergillus fumigatus* [J]. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 2011, 65: 1012-1018.
- [10] Jang A, Kim S M, Kim S Y, et al. Effects of heavy metals (Cu, Pb, and Ni) on the compositions of EPS in biofilms[J]. *Water Science and Technology*, 2001, 43(6): 41-48.

## THE EFFECT OF $\text{Cu}^{2+}$ SORPTION BY BIOFILM

Li Shu<sup>1</sup>, Hu Xuewei<sup>1</sup>, Zhang Yan<sup>1</sup>, Jiang Meng<sup>1</sup>, Rong Ye<sup>2</sup>, Li Yuan<sup>1</sup>

(1. Faculty of Environmental Science and Engineering, Kunming University of Science and Technology;

2. Faculty of Modern Agricultural Engineering, Kunming University of Science and Technology; Kunming 650500, China)

**Abstract:** Using a self-designed, intermittent operation of the reactor to cultivate biofilm. The discharging the surplus sludge biofilm method was used for the reactor and the biofilm was successfully formed in the eighth day. The mature biofilm was used for the adsorption of heavy metal  $\text{Cu}^{2+}$ . The influence of pH, temperature, adsorption time and the initial ion concentration of  $\text{Cu}^{2+}$  on biofilm adsorbing  $\text{Cu}^{2+}$  was studied. The results show that the adsorption of  $\text{Cu}^{2+}$  could be high when the pH during 5~6 and temperature was at 20 °C. The time of sorption for  $\text{Cu}^{2+}$  by biofilm was fast, after 40 min reach adsorption equilibrium. The initial metal ion concentration of  $\text{Cu}^{2+}$  within 0~20 mg/L, the removal rate of  $\text{Cu}^{2+}$  through biofilm sorption was best, but the high concentration of  $\text{Cu}^{2+}$  would poison the biofilm and the process of adsorption would be affected.

**Keywords:** biofilm; copper; extracellular polymeric substances

(上接第 40 页)

## EFFECTS OF CARBON SOURCE TYPES ON THE OPERATION AND NITRIFYING MICROBIAL COMMUNITY OF DENITRIFYING BIOFILTER FOR ADVANCED NITROGEN REMOVAL

Liu Xiuhong<sup>1,2</sup>, Gan Yiping<sup>1</sup>, Yang Qing<sup>2</sup>, Li Jianwei<sup>1</sup>, Li Xinwei<sup>1</sup>, Xing Xu<sup>1</sup>

(1. Research and Development Center, Beijing Drainage Group Company Limited;

2. College of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology; Beijing 100124, China)

**Abstract:** The efficiency and microbial community using three typical carbon sources (sodium acetate, acetate and methanol) applied in real water recycling plant, were systematically studied in large scale pilot denitrifying biofilter (DNBF). The results indicated that nitrate removal efficiency were higher than 90% in DNBF by using these three carbon sources. Methanol was more suitable for applying in cold winter in south china than sodium acetate and acetate. Compared to acetate and sodium acetate, using methanol as carbon source, the dosage and cost were both very low, the back-wash cycle was long, and the effect of carbon source on the turbidity in the effluent was very small. During the start-up stage, large amount of nitrite were accumulated by using these three carbon sources. Though the phenomenon of nitrite accumulation was disappeared through cultivating for about 1 month, nitrite was re-accumulated using methanol as carbon source when the carbon dosage was insufficient. Microbial communities using methanol as carbon source in DNBF were more distinguish than that using sodium acetate and acetate as carbon sources. Biofilm attached on the surface of filter media was combined by bacillus, which were binding by slimy growth.

**Keywords:** denitrifying biofilter; carbon source; dosage; microbial community