

革新 MUCT 工艺处理含盐污水

叶 柳, 彭永臻, 崔有为, 王晓伟

(北京工业大学 北京市水质科学与水环境恢复工程重点实验室, 北京 100022)

摘 要: 为了考察高盐污水生物处理过程中营养污染物的去除效果及盐度对去除率的影响, 试验选用革新 MUCT 工艺在稳定盐度下对淡水污泥进行驯化后, 对盐度约为 10 g/L 的实际含盐污水进行处理. 结果表明, 系统对总无机氮和 P 的平均去除率分别为 87 % 和 72 %; 在不同盐度冲击下, 系统对有机物和 N、P 的去除特性也不同, 盐度冲击对有机物和 N 的去除影响较小而对 P 的去除影响较大, 高盐度的冲击影响远大于低盐度的冲击影响.

关键词: 含盐; 脱 N; 除 P; 革新 MUCT

中图分类号: X 703

文献标识码: A

文章编号: 0254 - 0037(2006)12 - 1087 - 06

随着淡水资源的紧缺, 沿海城市普遍把积极利用海水资源、开展海水代用作为节约淡水资源、缓解沿海城市水资源供求矛盾的有效途径^[1]. 关于海水代用产生的含盐污水的生物处理以及无机盐对生物处理系统的影响, 研究发现, 盐度是造成处理系统处理效率恶化和干扰正常的生物新陈代谢功能的主要原因. 以往的研究多集中在对含盐污水有机物的去除上^[2-4], 很少有研究 N、P 等营养污染物的去除^[5-7]的. 本试验选用可持续发展工艺之一的革新 MUCT(modified University of Cape Town)工艺, 重点研究了在 10 g/L 盐度下长期驯化淡水微生物种群后系统对有机物和 N、P 的去除能力和系统抗盐度冲击的能力.

1 试验材料与方法

1.1 试验设置与运行条件

针对海水公厕废水进行试验设计, 使用质量浓度为 35 g/L 的海水公厕时, 用水约占生活用水的 30 %^[8], 即产生含盐质量浓度约为 10 g/L 的污水. 试验装置(见图 1)选用革新 MUCT 工艺, 用有机玻璃制作, 在第 1 个好氧池后设置脱氧池, 脱氧池体积虽然很小, 但是可以将好氧 1 池出水中的高溶解氧耗尽, 保证硝化混合液回流不会因为溶解氧对反硝化产生影响, 为缺氧吸磷创造条件^[9].

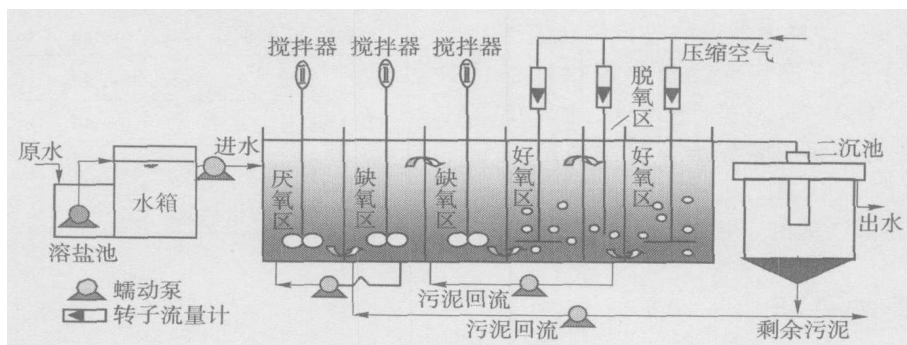


图 1 MUCT 工艺流程图

Fig. 1 Schematic diagram of modified MUCT process

收稿日期: 2006-05-18.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50521140075); 北京市属市管高等学校人才强教“创新团队”资助项目(05005013200504).

作者简介: 叶 柳(1982 -), 女, 河南信阳人, 博士生.

试验进水和回流污泥的流量采用蠕动泵控制,进水时通过溶解葡萄糖调节进水 C、N 质量浓度比 β ,在厌氧区、缺氧区内安装搅拌器. 试验正常运行条件见表 1.

表 1 革新 MUCT 工艺正常运行条件
Tab. 1 Normal conditions in modified MUCT process

项目	范围	项目	范围
厌氧区体积/L	23.1	缺氧区体积/L	29.1
脱氧区体积/L	10.4	好氧区体积/L	42.4
温度/	22 $\pm$ 2	β	5 ~ 9
厌氧 HRT/h	4 ~ 6	缺氧 HRT/h	8 ~ 10
好氧 HRT/h	4 ~ 6	硝化液回流比	1.9 ~ 2.1
污泥回流比	1.0 ~ 1.2	缺氧至厌氧回流比	1.1 ~ 1.3
非好氧区体积占的比例/%	50	好氧 1 区溶解氧质量浓度/(mg L ⁻¹)	1.5 ~ 2.5
脱氧区溶解氧质量浓度/(mg L ⁻¹)	0 ~ 0.5	好氧 2 区溶解氧质量浓度/(mg L ⁻¹)	2.5 ~ 3.5
平均 MLSS/(g L ⁻¹)	3.4	SRT/d	15 ~ 18

1.2 试验用水与测定方法

试验采用北京工业大学教工生活小区化粪池的生活污水作为原水. 试验水质见表 2. 为了模拟生活中使用海水产生的含盐生活污水水质,向生活污水中投加一定质量的市售粗盐. 这种模拟方法具有代表性,既有真实的生活污水水质特点,同时,市售粗盐只经过简单的晒盐过程,未添加任何物质,又有海水的全部水质成分. 试验计划与安排见表 3.

表 2 生活污水水质
Tab. 2 Influent characterization

指标	pH	$\rho_{\text{COD}}/$ (mg L ⁻¹)	$\rho(\text{PO}_4^{3-} - \text{P})/$ (mg L ⁻¹)	$\rho_{\text{TN}}/$ (mg L ⁻¹)	$\rho(\text{NH}_4^+ - \text{N})/$ (mg L ⁻¹)	$\rho(\text{NO}_2^- - \text{N})/$ (mg L ⁻¹)	$\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})/$ (mg L ⁻¹)
范围	7.2 ~ 7.7	190 ~ 325	3.6 ~ 8.2	51 ~ 95	53.3 ~ 78.2	0.05 ~ 0.25	0.34 ~ 1.60
平均值	7.45	257.5	5.9	73	65.8	0.15	0.97

试验种泥取自北京高碑店污水处理厂的二沉池回流污泥,采用统一的梯度盐度法进行驯化直至在 10 g/L 的盐度下达到稳定. 检验分析指标包括 COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 、 Cl^- 、MLSS、MLVSS,均采用国家标准分析方法^[10]进行分析. 电化学参数 DO、pH、ORP 和电导采用 WTW-OXi340i 便携式在线测定仪进行测量.

表 3 试验计划与安排
Tab. 3 Design and planning of experiments

阶段	试验方案	t/d	盐度/(g L ⁻¹)
	驯化与培养	0 ~ 40	10
	脱 N、除 P	41 ~ 110	10
	盐度冲击试验	111 ~ 160	4 ~ 16

2 试验结果与分析

2.1 N 的去除

图 2 为革新 MUCT 工艺进入稳定状态后进水、出水 TIN(总无机氮)的质量浓度以及 TIN 的去除率. 从图中可以看出,系统对 TIN 的去除大致经历了 3 个阶段:运行初期,由于微生物不能马上适应在高盐环境下生长,导致出水 TIN 较高;从第 15 d 开始,系统对 N 的去除率逐渐提高,这是微生物经过一段时间的驯化适应了高盐环境,TIN 去除率大约稳定在 83 % 左右;从第 40 d 开始,TIN 去除率略微升高并逐渐稳

定,在此期间进水 TIN 质量浓度平均为 67.1 mg/L,出水 TIN 质量浓度平均为 8.9 mg/L,平均去除率达到了 87%。这可能是由于在长时间的选择与淘汰中,能适应环境的硝化菌群和反硝化菌群通过不断调节已经从被迫改变到积极适应,对高盐环境的完全适应也使处理效果有了进一步提高,因此,长期对淡水微生物进行盐度下的驯化是改善高含盐污水处理效果的一种重要方法。试验中发现系统在好氧 1 段和脱氧段的亚硝化率($\text{NO}_2^- - \text{N} / \text{NO}_x^- - \text{N}$)基本稳定在 80%以上,这也说明大部分的 N 的去除是通过短程脱 N 来实现的。在试验过程中每天监测污泥沉降性能,发现盐度驯化有益于增强污泥的沉降性,提高污泥的沉降速率。

图 3 为革新 MUCT 系统一个典型周期内 N 在各个池内的降解与转化。在此典型周期内,氨氮在好氧 1 段即被完全去除,后继的曝气阶段主要是完成亚硝酸盐向硝酸盐氧化的过程。文献[11]的研究表明,无机盐对亚硝化菌有较强的抑制能力,可以通过向普通废水中投加无机盐实现短程硝化。在试验中发现,当溶解氧控制在 2.0~2.5 mg/L 时,好氧 1 段的亚硝酸盐的质量浓度达到了 11.5 mg/L,亚硝化率达到 90%,在脱氧段亚硝酸盐质量浓度仍在 10 mg/L 以上,硝酸盐质量浓度仅为 0.8 mg/L,这样,脱氧段含有高质量浓度亚硝酸盐的硝化液被回流到缺氧 2 段,为实现以亚硝酸盐为电子受体的反硝化除 P 提供了保证^[12],好氧 2 段的继续曝气将残余的亚硝酸盐进一步氧化成硝酸盐,出水的亚硝酸盐质量浓度为 0.4 mg/L,硝酸盐质量浓度为 7.5 mg/L, TIN 质量浓度为 7.8 mg/L,去除率达到 87%。

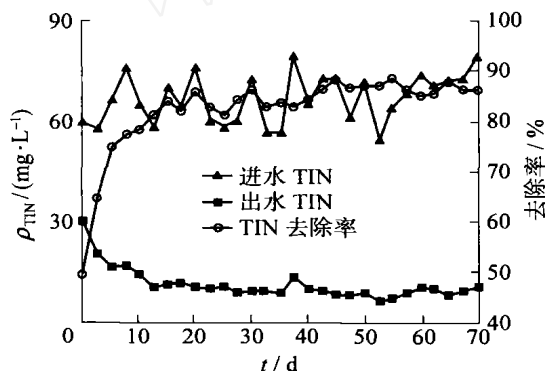


图 2 革新 MUCT 系统对高盐污水总 N 的去除

Fig. 2 The removal of nitrogen in modified MUCT purifying 10 g/L saline sewage

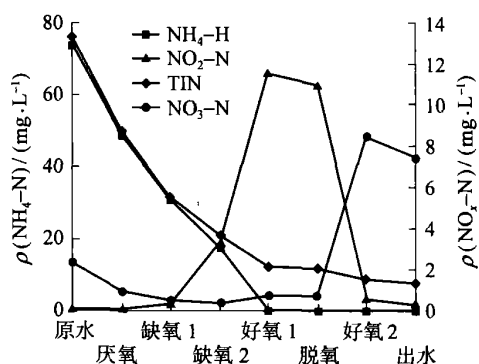


图 3 革新 MUCT 系统内 N 在各段的转化和降解

Fig. 3 Nitrogen evolution and degradation in every tank in modified MUCT purifying 10 g/L saline sewage

2.2 P 的去除

图 4 为革新 MUCT 工艺进入稳定状态后进水、出水中 P 的质量浓度和 P 的去除率。从图中可以看出,系统完成对 P 的稳定去除和脱 N 相比用了较长的时间(大约 50 d 左右),这说明在高盐环境下完成对聚磷菌的驯化比硝化菌和反硝化菌的时间要长。试验对聚磷菌进行长期驯化后使系统对 P 的去除率稳定在 72%以上,平均出水 P 的质量浓度在 1.8 mg/L 以下,但是更高的除 P 效率一直没有实现。这主要是因为聚磷菌对盐度的耐受能力要比硝化菌和反硝化菌差,Intrasungkha 等在试验中确定盐度 5 g/L 为系统除 P 的耐盐极限^[5],而氨氮和 COD 受到很小的盐度抑制,甚至在高于 10 g/L 的盐度环境内仍然保持极好的去除效率,结果和 Chen 等^[13]的研究基本一致,说明硝化菌群和有机物氧化菌群对高盐度的耐受能力强。因此,高盐污水中的生物除 P 将成为高盐污水生物处理中的限制因素,如何培养和驯化出耐盐的聚磷菌或是接种嗜盐聚磷菌进行除 P 还有待进一步研究。

革新 MUCT 系统一个典型周期内 P 在各个池内的降解与转化见图 5。在此典型周期内,厌氧区放 P 的质量浓度达到 20.1 mg/L,为进水 P 质量浓度的 2.7 倍;缺氧吸 P 的质量浓度为 13.4 mg/L;好氧吸 P 的质量浓度为 5.1 mg/L,在好氧 2 段 P 的质量浓度低于 1.5 mg/L,但是,二沉池中又有部分 P 释放,导致出水 P 浓度为 2.0 mg/L。回流到缺氧 1 段的主要是硝酸盐,回流到缺氧 2 段的主要是亚硝酸盐,试验中发现缺氧 2 段的亚硝酸盐质量浓度基本为 3~5 mg/L,这样,一方面可以提高系统总 N 的去除率,另一方面

可以充分实现以亚硝酸盐为电子受体的反硝化除 P;但是,缺氧 1 段的硝酸盐质量浓度通常都小于 1 mg/L,使得在缺氧 1 段发生的以硝酸盐为电子受体的反硝化吸 P 相对缺乏电子受体,影响了缺氧 1 段的吸 P 能力.

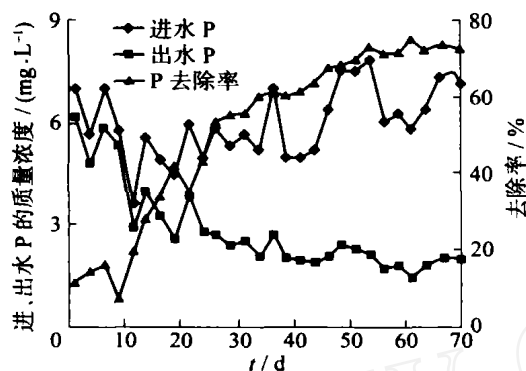


图 4 革新 MUCT 系统对高盐污水中 P 的去除

Fig. 4 The removal of phosphorus in modified MUCT purifying 10 g/L saline sewage

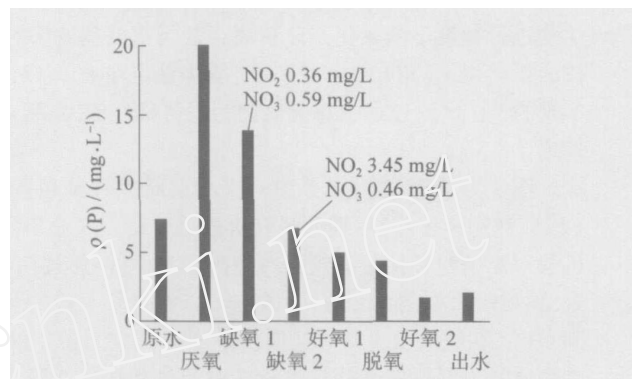


图 5 革新 MUCT 系统内 P 在各段的转化

Fig. 5 Phosphorus evolution in every tank in modified MUCT purifying 10 g/L saline sewage

2.3 盐度冲击对系统的影响

图 6 给出了系统在第 3 阶段进行盐度冲击试验过程中出水 TIN、P 的质量浓度和对 TIN、P 及 COD 的去除率的变化. 由图 6 可以看出,盐度冲击的影响主要体现在 P 的去除上. 当系统受到高的盐度冲击时, P 的去除率大幅度下降,在 12 g/L 的盐度冲击下还能维持 P 的去除率在 56% 以上,然而在 14 g/L 的冲击下 P 去除率就只有 11%,16 g/L 的盐度直接导致出水 P 质量浓度高于进水. 相反,当系统受到低的盐度(8 g/L、6 g/L)冲击时,除 P 效果分别为 74%、76%,平均出水 P 的浓度低于 1.8 mg/L,但是盐度继续降低到 4 g/L 时,系统的除 P 率则低于 50%. 该结果主要是由于系统内降解 COD 的异养菌、硝化菌和反硝化菌较聚磷菌有更强的耐盐能力. 当 NaCl 质量浓度高于 1.17 g/L 时,限制了过量吸 P 的发生,导致系统出水 P 质量浓度的提高. 聚磷菌本身对盐度较为敏感,大部分聚磷菌是通过盐度刺激下的生理反应对盐度产生适应^[14],这使得 P 的去除往往有很大的波动性. 当盐度突然高于 10 g/L 时,聚磷菌需要更多的能量增加活性抵抗高渗透压的毒害作用^[15],宏观上即高盐度抑制了吸 P 使得出水 P 质量浓度高于进水;当盐度适度降低时,由于外界的渗透压降低,聚磷菌需要抵抗渗透压的能量也相对减少,就有更多的能量进行自身的新陈代谢,但若盐度突然大幅度降低,也会对原本在高盐度条件驯化出的菌种造成环境的突变,导致处理能力的下降.

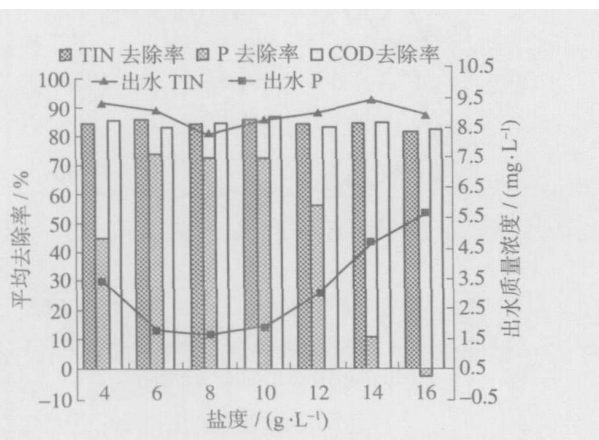


图 6 盐度冲击对某新 MUCT 处理效果的影响

Fig. 6 The influence of salinity shock on modified MUCT removal efficiency

3 结论

1) 在第 1 个好氧池后设置脱氧池,将脱氧池内的混合液回流到缺氧 2 段进行缺氧吸 P 和反硝化,一方面防止了硝化液回流时带入溶解氧破坏缺氧环境;另一方面实现了最大程度的反硝化除 P 对亚硝酸盐的利用^[9].

2) 在 10 g/L 的盐度下对污泥进行长期驯化后,利用革新 MUCT 工艺获得了较高的脱 N、除 P 效率,平均去除率分别达到 87 %和 72 %,平均出水质量浓度分别为 4.2 mg/L 和 1.8 mg/L,除 P 较脱 N 效率低是因为聚磷菌对盐度的耐受能力要比硝化菌和反硝化菌差,但是,可以看出长期对淡水微生物进行盐度下的驯化是改善高含盐污水处理效果的一种重要方法。

3) 盐度冲击对革新 MUCT 系统的影响主要体现在 P 的去除,当系统受到高盐度冲击时,对 P 的去除率的影响远大于低盐度冲击时。16 g/L 的盐度冲击已不能去除 P,而 8 g/L 的盐度冲击下 P 的去除仍可达 45 %。这是因为,高盐度冲击时吸 P 受到抑制,聚磷菌需更多能量增加活性以抵抗高渗透压的毒害;低盐度下外界渗透压降低,聚磷菌相对有更多的能量进行自身新陈代谢,但盐度突然大幅度降低也会造成环境的突变,导致处理能力的下降。

参考文献:

- [1] 武周虎, 张国辉, 武桂芝. 香港利用海水冲厕的实践[J]. 中国给水排水, 2000, 16(11): 49-50.
WU Zhou-hu, ZHANG Guo-hui, WU Gui-zhi. Practice of using seawater to flushing toilets in Hong Kong[J]. China Water & Wastewater, 2000, 16(11): 49-50. (in Chinese)
- [2] KARGI F, DINCER A R. Saline wastewater treatment by halophile-supplemented activated sludge culture in an aerated rotating biodisc contactor[J]. Enzyme and Microbial Technology, 1998, 22(6): 427-433.
- [3] DINCER A R, KARGI F. Performance of rotating biological disc system treating saline wastewater[J]. Process Biochemistry, 2001, 36(8~9): 901-906.
- [4] KARGI F, DINCER A R. Effect of salt concentration on biological treatment of saline wastewater by fed-batch operation[J]. Enzyme and Microbial Technology, 1996, 19(7): 529-537.
- [5] INTRASUNGKHA N, KELLER J, BLACKALL L L. Biological nutrient removal efficiency in treatment of saline wastewater[J]. Wat Sci Tech, 1999, 13(6): 183-190.
- [6] ABU-GHARARAH Z H, SHERRARD J H. Biological nutrient removal in high salinity wastewater[J]. Environ Sci Health A, 1993, 28(2): 599-613.
- [7] UYGUR A, KARGI F. Salt inhibition on biological nutrient removal from saline wastewater in a sequencing batch reactor[J]. Enzyme and Microbial Technology, 2004, 34(3/4): 313-318.
- [8] 祝贵兵, 彭永臻, 王淑莹, 等. 低温下混有冲厕海水的污水生物处理[J]. 中国给水排水, 2003, 19(13): 5-9.
ZHU Gui-bing, PENG Yong-zhen, WANG Shu-ying, et al. Biological treatment of wastewater mixed with seawater for lavatory flushing at low temperature[J]. China Water & Wastewater, 2003, 19(13): 5-9. (in Chinese)
- [9] 崔有为. 含盐生活污水生物处理特性及其强化[D]. 北京: 北京工业大学环境与能源工程学院, 2005.
CUI You-wei. Behavior of pollutant degradation and methods on enhanced removal potentials during biologically purifying saline sewage[D]. Beijing: College of Energy and Environmental Engineering, Beijing University of Technology, 2005. (in Chinese)
- [10] 国家环保局. 水和废水监测分析方法[M]. 第 3 版. 北京: 中国环境科学出版社, 1998.
- [11] CUI You-wei, PENG Yong-zhen, GAN Xiang-qing, et al. Achieving and maintaining biological nitrogen removal via nitrite under normal conditions[J]. Journal of Environmental Sciences, 2005, 17(5): 794-797.
- [12] HU J Y, ONG S L, NG W J, et al. A new method for characterizing denitrifying phosphorus removal bacteria by using three different types of electron acceptors[J]. Wat Res, 2003, 37(14): 3463-3467.
- [13] CHEN Guang-hao, WONG Man-tak, OKABE Satoshi, et al. Dynamic response of nitrifying activated sludge batch culture to increased chloride concentration[J]. Wat Res, 2003, 37(13): 3125-3135.
- [14] GAUTHIER M J, FLATAU G N, BREITMAYER U A. Protective effect of glycine betaine on survival of *Escherichia Coli* cells in marine environment[J]. Wat Sci Tech, 1991, 24(2): 129-132.
- [15] PANWARD T, ANAN C. Impact of high chloride wastewater on an anaerobic/anoxic/aerobic process with and without inoculation of chloride acclimated seeds[J]. Wat Res, 1999, 33(50): 1165-1172.

Treatment of Saline Sewage With Modified MUCT Process

YE Liu , PENG Yong-zhen , CUI Your-wei , WANG Xiao-wei

(Key Laboratory of Beijing for Water Quality Science and Water Environment Recovery
Engineering , Beijing University of Technology , Beijing 100022 , China)

Abstract: In order to find out the removal efficiency of nutrient pollution of real saline sewage and the influence of salinity shock , a lab-scale nutrient removal activated sludge system , based on the MUCT configuration , is modified to treat 10 g/L saline sewage. The results indicate that after domestication of microorganism at 10 g/L salinity , the total organic nitrogen and phosphorus average removal efficiency can achieve 87 % and 72 % respectively. The nutrient removal efficiency was also changed under different salinity shock. The salinity shock , especially increased salinity shock , influences phosphorus removal efficiency much more than the removal efficiency of nitrogen and organic matter.

Key words: saline ; nitrogen removal ; phosphorus removal ; modify MUCT

(上接第 1070 页)

Pilot-Scale Experimental Study of Micropolluted Raw Water with Zeolite-Sand Biofilter

YANG Yan-ling¹ , LI Xing¹ , ZHANG Ye¹ , LI Gui-bai²

(1. Key Laboratory of Beijing for water Quality Science and Water Environment Recovery Engineering ,
Beijing University of Technology , Beijing 100022 ; 2. School of Municipal and Environment Engineering
Harbin Institute of Technology , Harbin 150090 , China)

Abstract: The operational performance of zeolite-sand double-layer biofilter is studied to treat micropolluted raw water on an experimental scale. The feasibility of the micropolluted raw water treated by the biofilter is examined. The results show that the treated water quality can be obviously improved and the removal rate of turbidity , COD_{Mn} , UV₂₅₄ , NH₃-N and NO₂⁻-N has reached to 93.5 % , 38 % , 40 % , 95 % and 100 % respectively. The removal is handled mostly on the top layer of 30 cm in the biofilter. Backwashing process of the biofilter has little influence on the biofilm , which can be recovered within one to two hours after the backwashing. It is feasible to replace an ordinary filter with zeolite-sand double-layer biofilter in the process of micropolluted raw water treatment.

Key words: biofilter ; micropolluted water ; pilot-scale ; drinking water treatment