

膜生物反应器-复合垂直流人工湿地(SMBR-IVCW)系统处理混合废水的应用研究

袁莉英^{1,2}, 梁 威¹, 肖恩荣^{1,2}, 常军军^{1,2}, 吴振斌¹

(1.中国科学院水生生物所淡水生态与生物技术国家重点实验室, 湖北 武汉 430072; 2.中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要:本文采用一体式膜生物反应器(SMBR)-复合垂直流人工湿地(IVCW)组合工艺(SMBR-IVCW)系统,研究了该系统对复合废水的净化效果。结果表明,当系统进水为 COD_Cr 397~890 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、氨氮 9.40~27.1 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、TP 4.30~10.7 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、TN 45.9~75.8 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的条件下,在 SMBR 和 IVCW 的水力负荷分别为 1 000 $\text{L}\cdot\text{d}^{-1}$ 和 375 $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 的最优工况下运行,系统 COD_Cr 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 和 TP 的去除率分别为 97.5%、99.0%、59.6%和 65.2%; 系统进出水中氮的形态组成发生了显著变化;SMBR-IVCW 系统在高浓度综合污水处理方面具有良好的潜力。

关键词:SMBR-IVCW;膜生物反应器;复合垂直流人工湿地;组合工艺;混合污水

中图分类号:X703.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)02-0361-05

Applications of Membrane Bioreactor-Integrated Vertical Flow Constructed Wetland (SMBR-IVCW) System in Comprehensive Wastewater Treatment

YUAN Li-ying^{1,2}, LIANG Wei¹, XIAO En-rong^{1,2}, CHANG Jun-jun^{1,2}, WU Zhen-bin¹

(1.State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China; 2.Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: With the improvement of wastewater discharged standards, it is becoming a big problem for high-strength comprehensive wastewater treatment. It is a very difficult task for the present single treatment technology to meet the requirements. Membrane bioreactor and constructed wetland are two main technologies in the wastewater treatment, and they have significant advantages and shortcomings. In the paper, the purification effects of the combined system with submerged membrane bioreactor(SMBR) and integrated vertical flow constructed wetland (IVCW)(SMBR-IVCW) on the comprehensive wastewater were studied, and the component of nitrogen in the influent and effluent was also analyzed. The concentrations of chemical oxygen demand(COD_Cr), ammonia(NH_3), total phosphorus(TP) and total nitrogen(TN) of the influent during the experimental period were 397~890, 9.40~27.1, 4.30~10.7, 45.9~75.8 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, respectively. The results showed: when the hydraulic loading rates of SMBR and IVCW were 1 000 $\text{L}\cdot\text{d}^{-1}$ and 375 $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$, the removal rates of COD_Cr , NH_3 , TN and TP in the system were 97.5%, 99.06%, 59.6% and 65.21%, respectively. The component of nitrogen in the influent and effluent of SMBR-IVCW changed significantly, ammonia and organic nitrogen/nitrate and organic nitrogen occupied a dominant position, respectively. SMBR-IVCW system probably could be served as a potential treatment technology for high concentrations of comprehensive wastewater.

Keywords: SMBR-IVCW; MBR; integrated vertical-flow constructed wetland; combined technology; comprehensive wastewater

膜生物反应器和人工湿地是近年来水处理领域的两个研究热点方向,它们分别具有各自的优点和不足^[1-4]。膜生物反应器技术以占地面积小、处理高效、操

作简单而广泛应用于高浓度及难降解污水的处理中。它对 COD_Cr 、SS、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 及微生物的去除效果甚佳,但处理后的出水氮(N)、磷(P)浓度偏高^[5-6]。人工湿地技术以其生态、廉价、较高的 N、P 去除率、易于管理、具有良好的环境效益的优势得到广泛的应用,但人工湿地存在着占地面积偏大并且易受季节和温度影响等问题^[6-8]。

本试验选用一体式膜生物反应器(SMBR)^[9]-复合垂直流人工湿地(IVCW)^[10]组合工艺(SMBR-

收稿日期:2008-04-06

基金项目:国家杰出青年科学基金(39925007);国家重大科技专项“受污染城市水体修复技术与示范工程”(2002AA60121);湖北省重大科技攻关项目(2006AA305A03)

作者简介:袁莉英(1984—),女,湖北仙桃人,在读硕士研究生,研究方向为环境生物学。

通讯联系人:梁 威,吴振斌 E-mail:wliang@ihb.ac.cn

IVCW)进行高浓度生活污水的处理研究,力求为高浓度综合污水的处理提供一种新的可能途径。

1 材料和方法

1.1 SMBR-IVCW 组合系统

SMBR-IVCW 组合系统试验装置及工艺流程如图1所示。SMBR有效体积为320 L,膜组件为天津膜天膜公司的帘式聚偏氟乙烯(PVDF)中空纤维膜,膜面积4 m²,膜孔径0.2 μm,内径/外径:0.6 mm/1.0 mm;膜截留分子量500 ku。IVCW由下行池、上行池构成,两池均填入直径为0.5~2 mm的细砂,分别栽种美人蕉(*Canna generalis*)和石菖蒲(*Acorus calamus*)。原污水由高位水槽进入SMBR中,经过活性污泥降解,在泵抽吸下渗透过膜,流经二级出水管进入IVCW进水管,并继续依次经过IVCW的下行池、上行池,通过植物、基质、微生物的共同作用去除部分营养物质,最终从上行池集水管排出。

污水采用化粪池出水配制试验用水,添加的主要营养盐有:葡萄糖、尿素、磷酸二氢钾、硫酸亚铁、硫酸镁、碳酸氢钠等。

1.2 试验设计

根据前期试验结果,SMBR在相对稳定的操作条件下运行:活性污泥浓度(7.0±0.5)g·L⁻¹,曝气量(6±0.5)m³·h⁻¹,泵抽吸/暂停时间比为4:1,污泥停留时间25~30 d。整个SMBR-IVCW系统的环境温度维持在25~35℃。水力组合方式:SMBR水力负荷1000 L·d⁻¹,IVCW水力负荷375 mm·d⁻¹,水力停留时间19.2 h^[1]。

系统进水的水质参数如表1所示。

1.3 分析方法

主要水质指标COD_{Cr}、TN、NH₄-N、NO₃⁻-N、TP等按照文献[12]进行分析测定。

表1 试验用混合废水水质

Figure 1 Mean indexes of experimental comprehensive wastewater

指标	COD _{Cr}	NH ₄ -N	TP	TN
水质参数范围/mg·L ⁻¹	397~890	9.40~27.1	4.30~10.7	45.9~75.8
水质平均值/mg·L ⁻¹	609	19.1	8.4	56.7

2 结果与讨论

2.1 COD 去除效果

SMBR-IVCW 组合系统对进水COD的去除情况如图2所示。

在试验过程中,SMBR-IVCW 复合系统出水

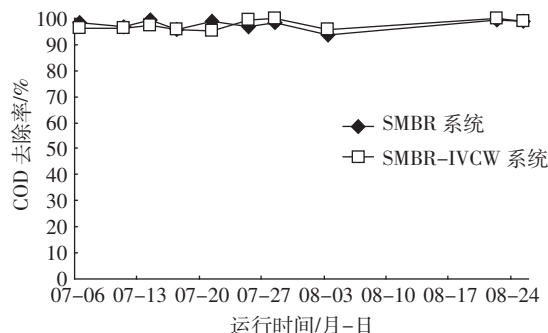
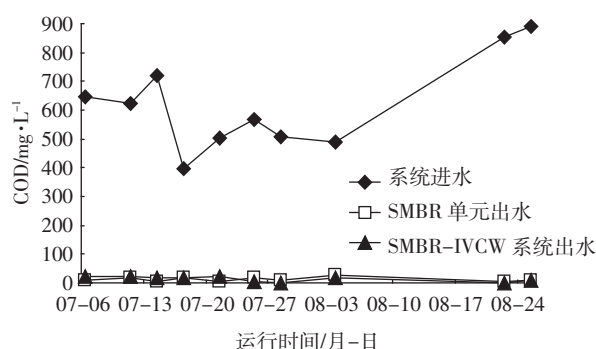


图2 SMBR-IVCW 系统对COD_{Cr}去除效果

Figure 2 Removal efficiency of COD_{Cr} in the SMBR-IVCW

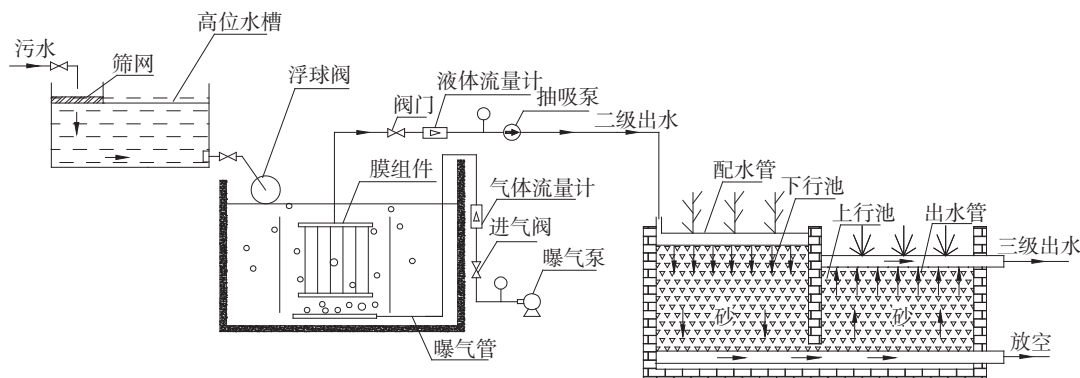


图1 SMBR-IVCW 组合系统流程图

Figure 1 Schematic diagram of the combined system of SMBR-IVCW

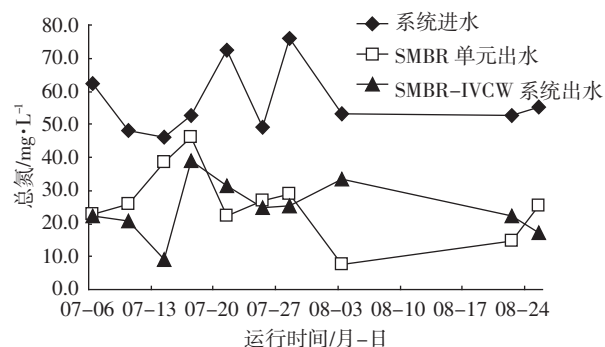
COD_{Cr} 比较稳定,基本在 0~24 mg·L⁻¹ 间波动,均达到国家地表水Ⅲ类水质标准要求;其中 SMBR 单元表现出良好的去除效率,COD_{Cr} 397~800 mg·L⁻¹ 的原污水出水均稳定在 30 mg·L⁻¹ 以下,其对 COD 去除率稳定在 97%以上。IVCW 单元能够对 COD 进一步降解,其平均去除率达到 34.3%。

2.2 N 去除效果

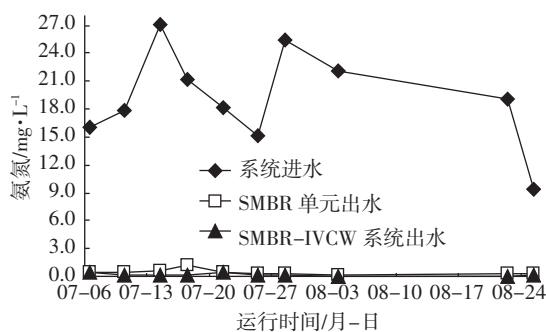
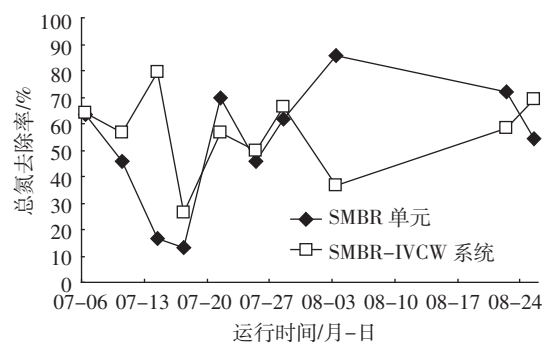
SMBR-IVCW 复合系统对 N 的去除效果见图 3 所示。

由图 3 (a) 可见,SMBR 单元出水和 SMBR-IVCW 复合系统出水 TN 去除率差别不明显,都达到 57%以上,但后者的去除率更加稳定,受负荷的波动影响小些。

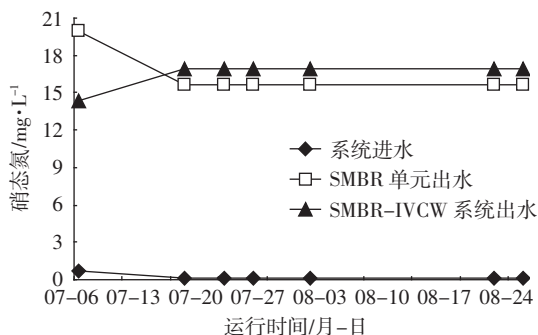
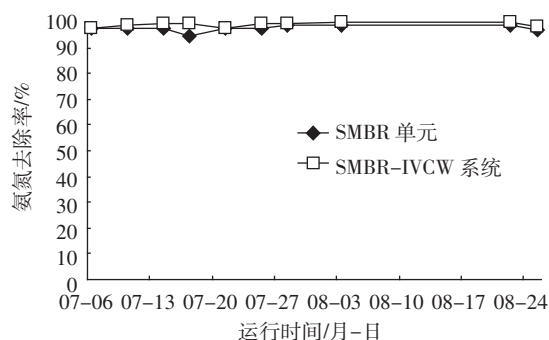
由于 SMBR 结合了活性污泥法及膜分离方法的优点,对氨氮的去除效果达到 94.5%以上,对 TN 的去除效果可以达到 59.6%;IVCW 系统对 SMBR 出水的氨氮去除率达到 68.6%,对 TN 的去除率相对较差,只有不到 10%[图 3(b)],可能是因为 SMBR 系统出水



(a)TN



(b)NH₄-N



(c)NO₃-N

图 3 SMBR-IVCW 系统对 N 的去除效果

Figure 3 Removal efficiencies of nitrogen in the SMBR-IVCW

的 COD 过低,不利于湿地的生物脱氮。污水经复合系统处理后,出水中的氨氮达到国家地表水Ⅱ类水质标准要求(GB 3838—2002)。

SMBR-IVCW 复合系统处理前后污水中 N 的形态和组成变化如图 4 所示。

从图 4 可见:与处理前相比,氮的形态和组成发生了很大的变化。处理前氨氮和有机氮含量很大,处理后硝态氮和有机氮比例最大,说明系统的硝化能力很强,大量还原态的氮转化为氧化态的氮。SMBR 单元试验期间的 DO 浓度维持在 $3\sim 4\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右,不利于微生物反硝化作用的进行,可能是导致系统对 TN 去除率不理想的主要原因。具体的原因尚待进一步深入研究。

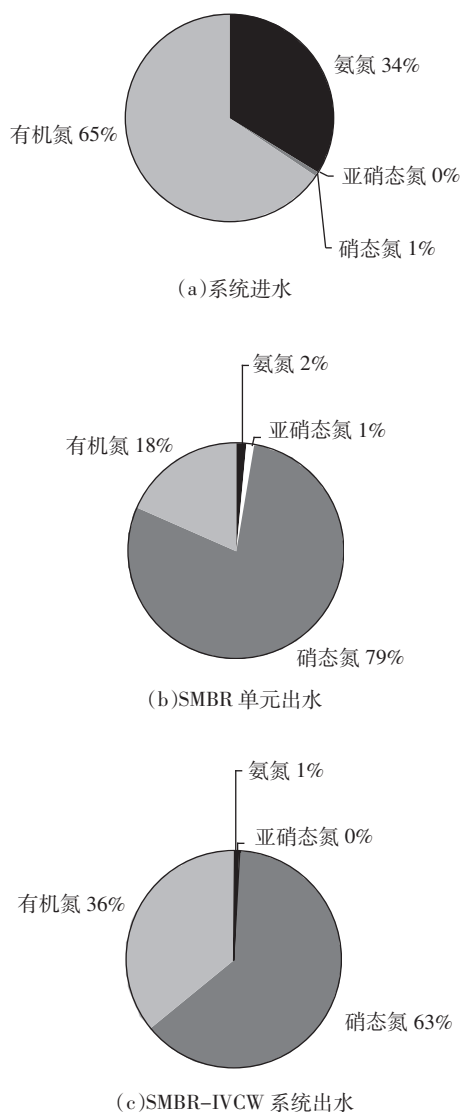


图 4 SMBR-IVCW 中 N 的组成

Figure 4 The component of nitrogen in the SMBR-IVCW

2.3 TP 去除效果

SMBR-IVCW 组合系统对 TP 的去除情况如图 5 所示。

由图 5 可见,SMBR-IVCW 复合系统进水 TP 平均为 $8.4\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,出水 TP 浓度平均为 $2.89\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$;SMBR 系统对 P 的平均去除率达到 55.6%,而 IVCW 对 SMBR 出水中磷的平均去除率为 22.5%。

本试验中 IVCW 对 TN 去除率偏低,这可能与内部碳源不足有关^[13]。提高 IVCW 对 TN 的净化效率可通过优化 IVCW 结构、更换基质填料、增加外部碳源等方法进行深入研究;当进水 TP 浓度在 $8\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,SMBR-IVCW 系统的出水磷含量仍不能达到地表水标准,需要进一步深入研究。

总之,SMBR-IVCW 系统在处理高浓度综合污水具有良好的稳定性及净化效果,SMBR 和 IVCW 单元都发挥了很好的作用。IVCW 在一定程度上弥补 SMBR 对 N、P 的去除效果上的不足。

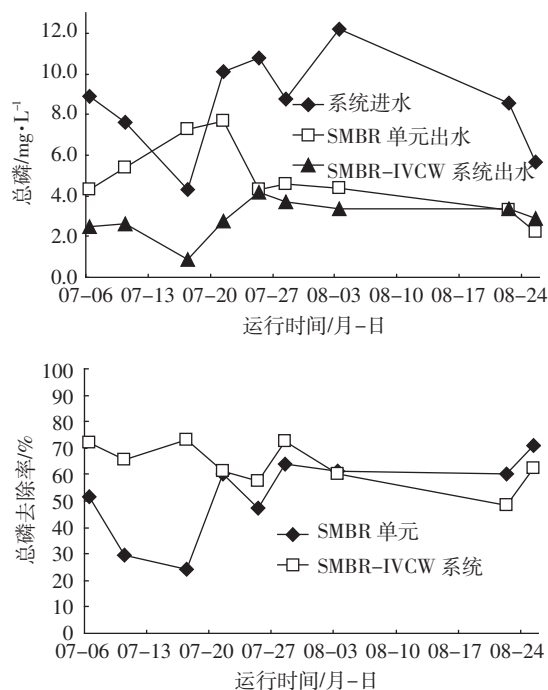


图 5 SMBR-IVCW 系统对 TP 去除效果

Figure 5 Removal efficiencies of TP in the SMBR-IVCW

3 结论

(1) 当 SMBR 和 IVCW 的水力负荷分别为 $1\ 000\text{ L}\cdot\text{d}^{-1}$ 和 $375\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 时,混合污水经 SMBR 单元处理后主要指标可达到一级排放标准(GB18918—2002);经 SMBR-IVCW 复合系统处理后除 TN、TP 外,其他主要指标均可达到甚至优于地表水Ⅲ类标准

(GB 3838—2002)。

(2)膜生物反应器-人工湿地组合工艺具有处理效果稳定、出水水质较好的优点,在工业废水、高浓度综合污水处理等方面具有广泛的应用前景。

参考文献:

- [1] 张树国,李咏梅译.膜生物反应器污水处理技术[M].北京:化学工业出版社,2003.
ZHANG Shu-guo, LI Yong-mei. Membrane bioreactor wastewater treatment technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003.
- [2] Won-Young Ahn, Moon-Sun Kang, Seong-Keun Yim, et al. Advanced landfill leachate treatment using an integrated membrane process[J]. *Desalination*, 2002, 149(1-3): 109-114.
- [3] Hammer D A. Constructed wetlands for wastewater treatment[M]. Michigan: Lewis Publishers Inc. 1989: 5-20.
- [4] 诸惠昌,胡纪萃.新型废水处理工艺-人工湿地的设计方法[J].环境科学,1993,14(2): 39-43.
ZHU Hui-chang, HU Ji-cui. New wastewater treatment technology-design method of constructed wetland[J]. *Environmental Sciences*, 1993, 14(2): 39-43.
- [5] Rosenberger S, Kruger U, Witzig R, et al. Performance of a bioreactor with submerged membranes for aerobic treatment of municipal wastewater[J]. *Water Research*, 2002, 36: 413-420.
- [6] Shin J H, Lee S M, Jung J Y, et al. Enhanced COD and nitrogen removals for the treatment of swine wastewater by combining submerged membrane bioreactor (MBR) and anaerobic up-flow bed filter (AUBF) reactor[J]. *Process Biochemistry*, 2005, 40(12): 3769-3776.
- [7] 贺 锋,吴振斌,成水平,等.复合垂直流人工湿地对氮的净化效果[J].中国给水排水,2004,20(10): 18-21.
HE Feng, WU Zhen-bin, CHENG Shui-ping, et al. Effect of integrated vertical-flow constructed wetland on nitrogen removal[J]. *China Water & Wastewater*, 2004, 20(10): 18-21.
- [8] 吴振斌,陈辉蓉,贺 锋,等.人工湿地系统对污水磷的净化效果[J].水生生物学报,2001,25(1): 28-35.
WU Zhen-bin, CHEN Hui-rong, HE Feng, et al. Primary studies on the purification efficiency of phosphorus by means of constructed wetland system[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2001, 25(1): 28-35.
- [9] Gander M, Jefferson B, Judd S. Aerobic MBRs for domestic wastewater treatment: a review with cost considerations[J]. *Separation and Purification Technology*, 2000, 18: 119-130.
- [10] 吴振斌,詹德昊,张 晟,等.复合垂直流构建湿地的设计方法及净化效果[J].武汉大学学报(工学版),2003,36(1): 12-16.
WU Zhen-bin, ZHAN De-hao, ZHANG Sheng, et al. Design method and purification efficiency of integrated vertical flow constructed wetland[J]. *Engineering Journal of Wuhan University*, 2003, 36(1): 12-16.
- [11] 肖恩荣,梁 威,贺 锋,等.膜生物反应器稳定运行的操作条件优化研究[J].中国给水排水,2007,23(5): 26-29.
XIAO En-rong, LIANG Wei, HE Feng, et al. Study on optimization of operational condition of membrane bioreactor[J]. *China Water & Wastewater*, 2007, 23(5): 26-29.
- [12] 国家环保总局.水和废水监测分析方法[M].第四版.北京:中国环境科学出版社,2002.
Chinese EPA. Water and wastewater monitoring methods[M]. 4th. Beijing: Chinese Environmental Science Press, 2002.
- [13] Jun B-H, Miyanaga K, Tanji Y, et al. Removal of nitrogenous and carbonaceous substances by a porous carrier-membrane hybrid process for wastewater treatment[J]. *Biochemical Engineering Journal*, 2003, 14: 37-44.