

水蚯蚓微生物共生系统处理城镇污水工程规模试验研究

楼菊青, 郭茂新, 孙培德*, 吴革, 宋英琦

(浙江工商大学环境科学与工程学院, 杭州 310012)

摘要: 在生物接触氧化池中接种霍雨水丝蚓形成水蚯蚓与微生物的共生系统, 水蚯蚓附着在填料的外层. 当水蚯蚓湿重质量浓度为 31.3 g/L 左右时, 系统中形成“污染物-微生物-水蚯蚓”循环食物链并基本达到平衡. 长时间处理水量为 $20\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 的现场大规模对比工程试验研究表明, 水蚯蚓可全面提高出水水质. 当进水 COD 为 $130 \sim 459 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, NH_4^+-N 为 $14.21 \sim 27.46 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, TP 为 $1.60 \sim 6.93 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, SS 为 $60 \sim 466 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 可使 COD 去除率提高 8.7% , SS 去除率提高 13.6% . 水蚯蚓会使系统的氨氮有所增加, 适当的运行方式可使氨氮出水稳定在 $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下. 水蚯蚓-微生物共生系统具有很好的除磷效果, 有很强的抗冲击负荷能力及较大的处理潜能.

关键词: 水蚯蚓-微生物共生系统; 城镇污水; 工程规模

中图分类号: X703 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2009)12-3602-07

Full-Scale Experiments of Municipal Sewage Treated by Symbiotic System Consisting of Tubifex and Microbes

LOU Ju-qing, GUO Mao-xin, SUN Pei-de, WU Ge, SONG Ying-qi

(College of Environmental Science and Engineering, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310012, China)

Abstract: A symbiotic system consisting of tubifex and microbe was formed when tubifex was incubated in the biological contact oxidation process, the tubifex attached to the outer layer of the carriers. When the density of tubifex was about 31.3 g/L , a recycling food chain between corpse of tubifex and excrement and wastewater and microbe and sludge was formed and it could reach balance. The large scale control experimental system for treating $20\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ municipal sewage was carried out for a long time. The result showed that tubifex could improve water quality in the effluent. When the concentration in the influent of COD , NH_4^+-N , TP and SS were $130 \sim 459$, $14.21 \sim 27.46$, $1.60 \sim 6.93$, $60 \sim 466 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively, the removal rates of COD and SS can be improved by 8.7% and 13.6% . However, tubifex can also increase the concentration of NH_4^+-N in the system, but a proper operation can make the effluent concentration of NH_4^+-N below $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ stably. The symbiotic system consisting of tubifex and microbe has very good phosphorus removal efficiency. The reactor has a high toleration to loading shock and it could keep the effluent quality stable.

Key words: symbiotic system consisting of tubifex and microbe; municipal sewage; full-scale

在污水生物处理系统中应用人工设计组合的微生物生态系统提高处理效率和改善运行条件, 是近年来国际上环保领域的研究热点问题^[1]. 作为一种新型的环保技术, 水蚯蚓共生系统成功应用在城镇污水处理工艺中并稳定运行 2a, 在该系统中, 污水中各种形态的污染物, 通过水蚯蚓和微生物的协同作用, 高效、低耗地得以净化, 且由于水蚯蚓的捕食和消化作用可实现污泥的减量化和稳定化^[2,3], 从而赋予生物处理系统以新的特点和功能, 为在中小城镇污水处理厂中推广应用创造了条件.

目前, 国内外研究利用各种微型动物进行污水处理及污泥减量的研究也有部分报道^[4~10]. 但这些研究均以研究微型动物进行污泥减量的效果为主, 且均基于实验室研究或中型试验. 利用水蚯蚓-微生物共生系统处理城镇污水的大规模工程试验研究还鲜见报道. 本研究在水蚯蚓-微生物共生系统稳定运行 1.5a 的基础上, 进行了污水日处理量为 $20\,000$

$\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 的现场试验, 考察了该系统污泥减量效果及对污水中 COD 、 NH_4^+-N 、 P 等污染物的去除情况, 并与对照组进行了对比分析, 同时针对原有运行系统 NH_4^+-N 去除率低的问题调整了运行方式, 在污泥减量的同时使出水达到国家污水综合排放标准 (GB 8978-1996) 一级标准. 在生化池中添加水蚯蚓以提高污水处理效率的研究具有一定的理论意义, 本实验对工程规模的运行系统开展研究具有较强的实践价值, 以为大规模应用提供了宝贵的资料.

1 材料与方法

1.1 运行工艺流程与装置

收稿日期: 2008-12-24; 修订日期: 2009-06-15

基金项目: 浙江省自然科学基金重点项目 (Z507721); 杭州市科技发展计划项目 (20061133B23)

作者简介: 楼菊青 (1973~), 女, 硕士, 副教授, 主要研究方向为水污染控制技术, E-mail: ljq7393@163.com

* 通讯联系人, E-mail: pdsun@126.com

该工艺的示范工程建于浙江诸暨菲达环保工程有限公司污水处理厂内, 工艺流程见图 1, 运行装置共有 2 套: 一套为试验组, 在 A 池的填料上挂有水蚯蚓, 本试验采用的是霍甫水丝蚓 (*Limnodrilus hoffmeisteri*) (见图 2); 另一套为对照组. 工艺流程由 A、B 池组成, A 池中设有立体弹性填料, 填充率约 70%, 其中试验组在填料上挂有生物膜和水蚯蚓, 该

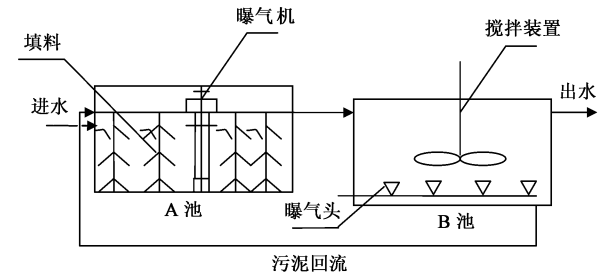


图 1 工艺流程示意
Fig. 1 Schematic diagram of the process

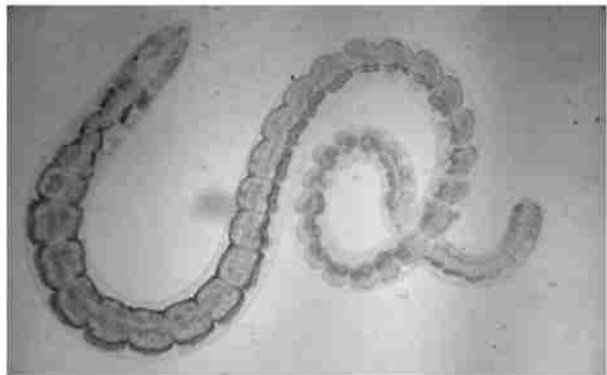


图 2 霍甫水丝蚓显微镜图
Fig. 2 *Limnodrilus hoffmeisteri* observed under microscope

池中水蚯蚓为无意繁殖, 至开始试验时, 水蚯蚓湿重质量浓度为 $31.3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右, 在该系统中, 水蚯蚓消化脱落的生物膜和污泥、水蚯蚓死亡后残体及粪便重新被微生物分解, 从而形成“污染物-微生物-水蚯蚓”合理的生物链^[11], 其可进行自身繁殖, 达到平衡点. A 池出水流入 B 池, B 池中污泥浓度约 $1\,900 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 在该池进一步氧化有机物或硝化, B 池的污泥回流至 A 池供水蚯蚓摄食. A、B 池的尺寸为长 $\times$ 宽 $\times$ 高 = $26 \text{ m} \times 16 \text{ m} \times 5.7 \text{ m}$, 有效水深 5.2 m .

1.2 试验条件与试验污水水质

该工艺自 2007 年 4 月开始运行, 已稳定运行 1.5 a, 这期间出水水质稳定. 工艺总进水为城市生活污水与工业废水的混和废水, 工业废水占 70% 左右, 水质很不稳定, 废水先经过格栅、沉砂池初步处理后分成两路分别进入试验组和对照组. 本试验在 2008 年 7~8 月间进行, 平均水温 25°C 左右, 进水水质水量见表 1. 运行参数: A 池, $\text{HRT} = 5.5 \text{ h}$; B 池, $\text{HRT} = 11.5 \text{ h}$, 对照组 $\text{SRT} = 8 \text{ d}$, 而试验组的污泥回流至 A 池由水蚯蚓摄食进行污泥减量, 视池中污泥浓度不定期排泥, 污泥负荷 $N_s = (0.1 \pm 0.08) \text{ kg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$.

表 1 进水水质水量表(均值标准偏差)
Table 1 Characteristics of influent

水量 $/\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	COD $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	NH_4^+-N $/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	TP $/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	SS $/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$
$18\,000 \pm 2\,000$	327 ± 132	19.79 ± 7.67	4.64 ± 2.29	213 ± 253

1.3 测试仪器及方法

试验中所测水质指标与测试方法见表 2^[12].

表 2 水质指标及测试方法
Table 2 Wastewater quality indicators and testing methods

序号	指标	方法	仪器
1	COD	密闭快速消解法	HACH DR/2010 COD 快速测定仪
2	NH_4^+-N	纳氏试剂比色法	UV-7504 紫外可见分光光度计
3	NO_3^--N	紫外分光光度法	UV-7504 紫外可见分光光度计
4	NO_2^--N	N-(1-萘基)-乙二胺光度法	UV-7504 紫外可见分光光度计
5	TP	钼锑抗分光光度法	UV-7504 紫外可见分光光度计
6	$\text{PO}_4^{3--}\text{P}$	钼锑抗分光光度法	UV-7504 紫外可见分光光度计
7	碱度	酸碱指示剂滴定法	—
8	SS/VSS	重量法	JC101 型电热鼓风干燥箱
9	DO	溶解氧仪法	YSI-550A 溶解氧仪
10	pH	pH 计法	pH 计
11	水温	温度计法	YSI-550A 溶解氧仪

2 结果与讨论

2.1 水蚯蚓的生长繁殖情况

在试验期间 A、B 两池均按好氧池运行, 因有报道^[13], 在有水蚯蚓的情况下, 曝气强度不宜太高, 本试验溶解氧控制在 $1.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右.

霍甫水丝蚓为附着型生物, 有抱成团的习性^[14, 15], 本试验中水蚯蚓基本附着在 A 池填料的外层(见图 3), B 池中水蚯蚓量极少($1\sim 2\text{ 条}\cdot\text{L}^{-1}$), 在试验期间, 对 A 池中的填料取出部分进行抽样统计, 全池水蚯蚓总量达 65 t 之多, 水蚯蚓湿重质量浓度为 $31.3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右. 池子中同时存在成蚓、幼蚓和蚓茧, 成蚓的体长约为 3 cm 左右, 且水蚯蚓活性很好, 说明水蚯蚓在系统中的生长和繁殖情况良好. 研究表明^[16, 17], 水蚯蚓以生物膜和活性污泥为食料, 能量部分用于自身生长合成, 其余小部分用于繁殖.



图 3 水蚯蚓生化池

Fig.3 Biological oxidation pool with tubifex

2.2 水蚯蚓对污泥影响研究

实验测定了 2 个系统 B 池中的污泥浓度及 SV_{30} , 实验结果见图 4 和图 5.

由图 4 可见, 试验组生化池内的污泥浓度比对照组低得多, 试验组水蚯蚓通过摄食从 B 池回流的污泥, 使生化池内的污泥浓度明显降低, 并使其长期维持 $1800\sim 2000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, MLVSS/MLSS 为 $0.36\sim 0.38$. 污泥中有机成分减少. 本试验系统水蚯蚓摄食的污泥量接近于剩余污泥的产生量, 系统只需半年排泥一次, 产生极干污泥为 166.4 t, 也即剩余污泥产率为 $0.051\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 而常规处理系统剩余污泥产率为 $0.21\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 本试验系统污泥排出量仅为常规系统的 25% 左右, 污泥减量显著. 由图 5 可见, 污泥沉降性能得到明显改善, 且实验过程中实验组的污

泥沉降速率明显比对照组快, 这是由于水蚯蚓在污泥中蠕动时建立和打通了污泥颗粒间空隙水向上传播的通道, 从而导致高效的固液分离^[18~ 20].

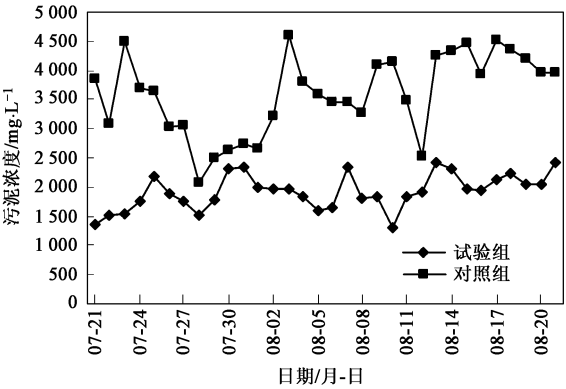


图 4 污泥浓度 (MLSS) 对比

Fig.4 Comparison of MLSS

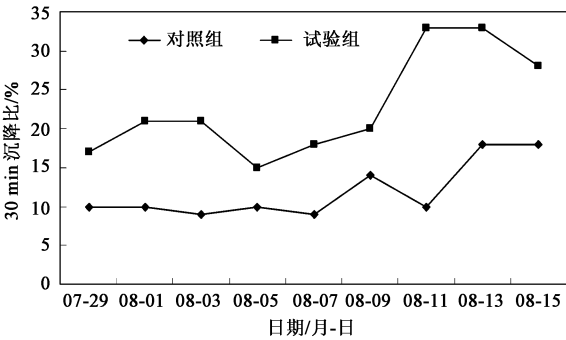


图 5 污泥沉降性能对比

Fig.5 Comparison of sludge sedimentation performance

2.3 水蚯蚓降解 SS 效果研究

与 2.1 相同运行条件下 TSS 进出水的变化见图 6. 由图 6 可见, 试验组的出水 TSS 普遍低于对照组

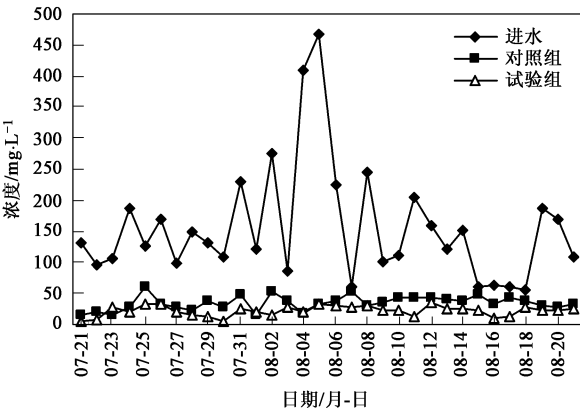


图 6 TSS 进出水变化

Fig.6 Variation of TSS

的, 对照组的 TSS 平均去除率为 69.8%, 而试验组的 TSS 平均去除率可达 82.4%, 比对照组的高 13.6%。本研究对其中 10 d 出水分别测定了挥发性悬浮固体 (VSS) 和非挥发性悬浮固体 (SS), 结果见表 3。

表 3 出水中 VSS 和 SS 浓度表

项目	VSS/mg·L ⁻¹		SS/mg·L ⁻¹	
	对照组	试验组	对照组	试验组
1	9.9	1.1	5.1	3.9
2	14.2	1.9	5.8	5.1
3	32.9	7.9	14.1	17.1
4	28.6	7.1	13.4	14.9
5	39.0	11.9	21.0	20.1
6	34.3	6.6	14.7	15.4
7	19.8	8.7	8.2	11.3
8	15.5	4.8	6.5	11.2
9	27.1	3.9	11.9	9.1
10	24.3	2.7	8.7	6.3

尽管对照组的 TSS 高于试验组的 TSS, 但由表 3 可见, 其中的 SS 浓度基本接近, 而两者的 VSS 浓度却存在较大差异, 试验组的 VSS 明显低于对照组的 VSS, 可见降低的主要是 VSS, 也说明了水蚯蚓以摄食有机物为主^[21]。

2.4 水蚯蚓降解 COD 效果研究

该试验期运行方式同 2.1, 试验主要研究了试验组和对照组降解 COD 的效果(见图 7), 同时测定了填料上生物膜的量。

填料上的生物量的测定结果为: 对照组的生物量为 6 889 mg·L⁻¹, 而试验组的生物量为 4 356 mg·L⁻¹, 试验组的生物量明显少于对照组的生物量, 这主要是由于水蚯蚓的摄食引起生物量的下降, 但由图 7 可见, 在进水相同的情况下, 试验组的

出水优于对照组, 对照组的 COD 平均去除率为 61.1%, 而试验组的平均去除率为 69.8%, 比对照组高 8.7%。在生物膜反应器中, 生物膜的厚度决定了反应器中的微生物浓度, 微生物浓度与处理效率密切相关^[22]。载体表面所生长的生物膜一般由两部分组成: 靠近载体表面的部分称为惰性生物层, 这部分微生物由于难以获得食料, 活性差, 基本不参与生化反应; 包裹于惰性层外面的叫活性生物层, 有机污染物的去除主要依靠这一层中的微生物。对照组中的活性生物层主要由细菌和部分原生动物组成, 而试验组中水蚯蚓代替了这活性生物层, 水蚯蚓也可捕食水中的有机物使之降低, 且水蚯蚓为后生动物, 活性大, 捕食能力强, 并由于水蚯蚓具有疏松污泥的作用, 使与它们相邻的生物膜也增大了活性, 所以, 尽管有报道^[23], 水蚯蚓会向水中释放有机物造成有机负荷升高, 但当系统的“有机物-水蚯蚓-细菌”达到平衡后, 尽管有上述原因, 对系统 COD 的去除还是有所提高。试验期间, 进水 COD 浓度很不稳定(130 ~ 459 mg·L⁻¹), 但出水 COD 浓度始终低于 100 mg·L⁻¹, 达到国家污水综合排放标准(GB 8978-1996)的一级排放标准。表明系统具有很强的抗冲击负荷的能力。

2.5 容积负荷对污染物去除效果的影响

COD 去除负荷与容积负荷关系见图 8。不同停留时间下容积负荷与 COD 去除率的关系见图 9。

由图 8 可以看出, COD 去除负荷与容积负荷呈直线关系, 说明系统具有较大的处理潜能, 系统的实际效能受基质数量的限制; 在此情况下, 反应器具有较高的抗负荷冲击能力。在相同容积负荷的情况下, 试验组的 COD 去除负荷略高于对照组。

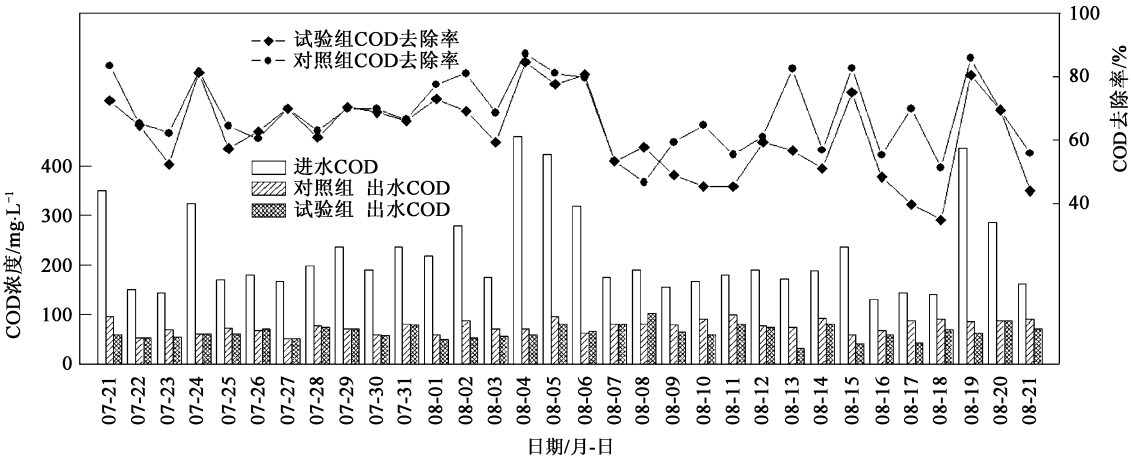


图 7 进出水 COD 浓度及去除率

Fig. 7 COD concentration removal efficiency

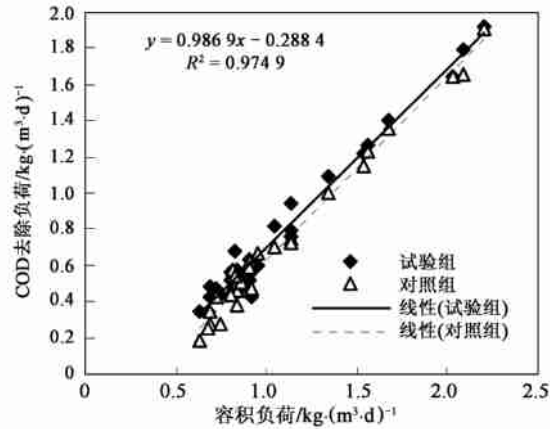


图 8 容积负荷与 COD 去除负荷的关系

Fig. 8 Relation between load capacity and COD removal load

由图 9 可见, COD 的去除率不但没有随着容积负荷的增加而降低, 反而有较大的提高. 表明该系统具有很大的缓冲能力和很强的抗冲击负荷能力. 在该系统中 COD 的去除率随容积负荷的增加而提高这与系统的特点有关, 负荷直接反映了食物与微生物之间的平衡关系, 处理效率不仅和生物量有关, 主要还取决于表层的活性微生物^[24], 该系统的 A 池中的填料和 B 池的污泥回流都可以在负荷冲击时防止污泥流失. 由图 9 还可见, 在相同的容积负荷下, 有水蚯蚓的试验组的 COD 去除率略高于对照组.

2.6 运行方式对脱氮除磷的影响

据报道^[25], 水蚯蚓的代谢产物和尸体会使水中的氨氮增加, 在运行过程中也发现了这个问题, 在有水蚯蚓的试验组, 出水氨氮一直高于对照组 (见图 10), 基本不能达标, 很多时候甚至高于进水, 为了使

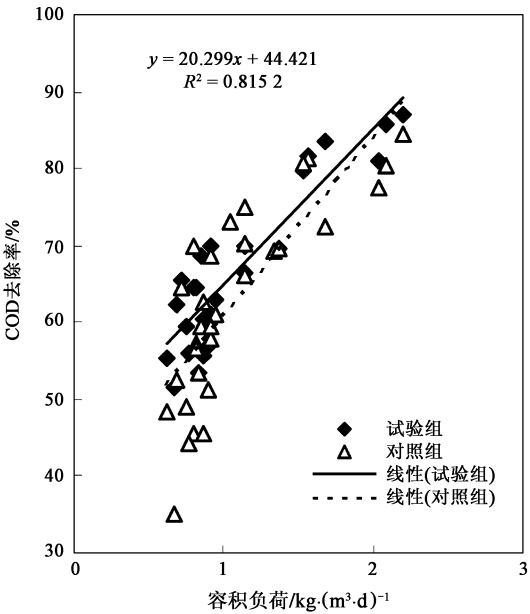


图 9 容积负荷与 COD 去除率的关系

Fig. 9 Relation between load capacity of and COD removal efficiency

出水氨氮能够达标, 本研究改变了 B 池的运行方式, B 池按 SBR 运行, 并适当加大了曝气强度, 使池中的溶解氧浓度达到 $2.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 改进工艺前后的氨氮浓度变化见图 10, 氨氮和 TP 的去除率变化见图 11.

由图 11 可见, 改进工艺后, 氨氮的出水浓度得到了很大的改善, 大概缓冲了 5 d 左右, 在缓冲期间, 出水的氨氮浓度也已降到 $11.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下, 缓冲期后, 出水一直稳定在 $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下, 氨氮的去除率高达 90% 以上. 而 TP 在工艺改进前后基本无变

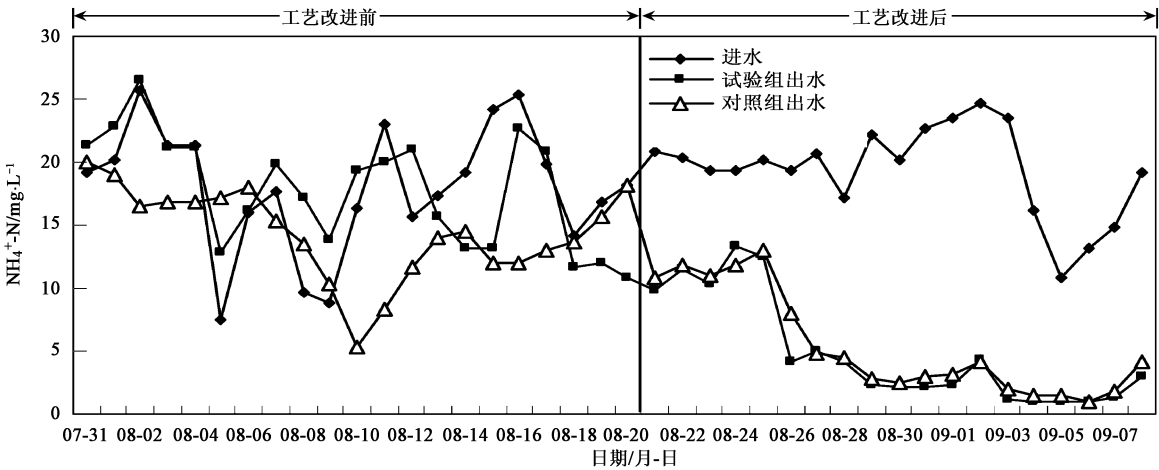


图 10 工艺改进前后进出水氨氮浓度变化

Fig. 10 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ concentrations of influent and effluent in different operation modes

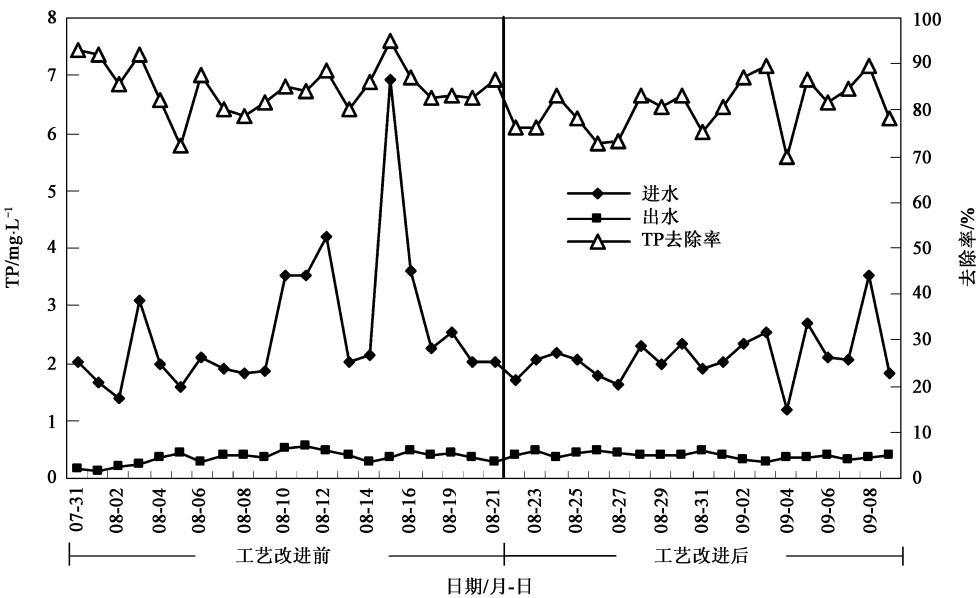


图 11 工艺改进前后进出水 TP 浓度变化

Fig. 11 TP concentrations of influent and effluent in different operation modes

化, 尽管进水TP 的浓度波动较大, 但出水均保持在 $0.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 去除率基本在 85% 以上, 最高可达 95% .

3 结论

(1) 水蚯蚓有明显的污泥减量作用, 剩余污泥产率为 $0.051\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 仅为常规系统的 25% 左右. 水蚯蚓的存在能改善污泥沉降性能, 通过摄食水中的挥发性悬浮固体使出水的 SS 浓度得到一定程度的降低.

(2) 水蚯蚓可提高 COD 的去除率, 在同等条件下, 水蚯蚓可使 COD 的去除率提高 8.7%. 系统的 COD 去除率和去除负荷均随容积负荷的增加而增大, 该系统具有较大的处理潜能和很强的抗冲击负荷的能力.

(3) 水蚯蚓会使系统的氨氮有所增加, 但适当的运行方式可提高系统氨氮的去除率, 在试验研究的工艺中, B 池按 SBR 运行, 可使出水达到 $5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下, 氨氮的去除率高达 90% 以上. 系统具有很好的除磷效果, 出水 TP 稳定在 $0.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 去除率可高达 95% .

致谢: 在此感谢浙江诸暨菲达环保工程有限公司的大力支持及浙江工商大学环境科学与工程学院部分研究生和 05 级本科生在实验中做出的贡献.

参考文献:

[1] Jansen P M J, Rulkens W H, Rensink J H, *et al.* The potential for

metazoa in biological wastewater treatment [J]. *Water Quality International* 1998, **9** (2): 25-27.

[2] Elissen H J H, Hendrickx T L G, Temmink H, *et al.* A new reactor concept for sludge reduction using aquatic worms[J]. *Wat Res*, 2006, **40** (3): 3713-3718.

[3] 魏源送, 刘俊新. 利用寡毛类蠕虫反应器处理剩余污泥的研究 [J]. *环境科学学报*, 2005, **25** (6): 803-808.

[4] Ratsak C H, Koi B W, van Verseveld H W. Biomass reduction and mineralization increase due to the ciliate *Tetrahylena pyriformis* grazing on the bacterium *Pseudomonas fluorescens* [J]. *Wat Sci Tech*, 1994, **29** (7): 119-128.

[5] Ghyoot W, Verstraete W. Reduced sludge production in a two-stage membrane-assisted bioreactor[J]. *Wat Res*, 2000, **34** (1): 205-215.

[6] 魏源送, 樊耀波. 蠕虫污泥减量效果及影响因素分析 [J]. *环境科学*, 2005, **26** (1): 76-83.

[7] 魏源送, Van Houten R T, Borger A R, 等. 蠕虫在膜生物反应器和活性污泥法中的污泥减量研究 [J]. *环境科学学报*, 2004, **24** (3): 405-412.

[8] Rensink J H, Constanje R, van der Pal J H. A new approach to sludge reduction by metazoa [A]. In: 10th European Sewage and Reuse Symposium [C]. IFAT, Munich: 1996. 339-364.

[9] 梁鹏, 黄霞, 钱易. 利用红斑体虫减少剩余污泥产量的研究 [J]. *中国给水排水*, 2004, **20** (1): 13-17.

[10] 杨健, 杨居川. 水力负荷对蚯蚓生物滤池污水处理效果的影响 [J]. *环境科学*, 2008, **29** (7): 1890-1896.

[11] 张宝贵. 蚯蚓与微生物的相互作用 [J]. *生态学报*, 1997, **17** (5): 556-560.

[12] 国家环境保护总局. 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. 10.

[13] Rensink J H, Rulkens W H. Using metazoa to reduce sludge production [J]. *Wat Sci Tech*, 1997, **36** (11): 171-179.

[14] 李仁熙. 正颤蚓的生长发育及繁殖生物学的研究[J]. 水生生物学报, 2001, **25**(1): 14-20.

[15] 诸晖,魏源送,刘俊新. 颤蚓在活性污泥中的生长研究[J]. 环境科学, 2008, **29**(5): 1342-1347.

[16] Ratsak C H. Effects of *Nais elinguis* on the performance of an activated sludge plant[J]. Hydrobiologia, 2001, **46**(3): 217-222.

[17] Ratsak. Grazer induced sludge reduction in wastewater treatment[D]. Free University Amsterdam, 1994.

[18] 诸晖,魏源送,王亚炜. 颤蚓对活性污泥沉降性能的影响[J]. 环境科学学报, 2008, **28**(5): 910-915.

[19] Liang P, Huang X, Qian Y. Excess sludge reduction in activated sludge process through predation of *Aelosoma hemprichi* [J]. Biochem Engin, 2006, **28**(4): 117-122.

[20] Ghyoot W, Verstraete W. Reduced sludge production in a two-stage membrane-assisted bioreactor[J]. Wat Res, 1999, **34**(1): 205-215.

[21] Lapinski J, Tunnacliffe A. Reduction of suspended biomass in municipal wastewater using bdelloid rotifers[J]. Wat Res, 2003, **37**(2): 2027-2034.

[22] 潘涛, 邬扬善. 三相生物流化床中生物膜厚度研究[J]. 中国给水排水, 1999, **15**(6): 5-8.

[23] Low E U, Chase H A. Reducing production of excess biomass during wastewater treatment[J]. Wat Res, 1999, **33**(5): 1119-1132.

[24] Rensink J H, Rulkens W H. Using metazoa to reduce sludge production[J]. Water Sci Tech, 1997, **36**(11): 171-179.

[25] Memilb Blondin F, Creuz des Chatelliers M, G rino M. Effects of the interaction between tubificid worms on the functioning of hyporheic sediments: an experimental study in sediment columns[J]. Archiv f r Hydrobiology, 2003, **156**: 203-223.