

# 尼泊金甲酯对污泥减量及污水处理效果的影响

郭婉茜<sup>1,2</sup>, 雒海潮<sup>1,2</sup>, 陈田慧<sup>1,2</sup>, 吴清莲<sup>1,2</sup>, 季小益<sup>1,2</sup>

(1. 哈尔滨工业大学 环境学院, 黑龙江 哈尔滨 150090; 2. 城市水资源与水环境国家重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150090)

**摘要:** 活性污泥法是目前应用最为广泛的污水处理技术,但在处理污水的同时不可避免地会产生大量剩余污泥,其处理与处置费用占污水处理厂运行成本的50%左右。为此,研究了解耦剂尼泊金甲酯对污泥减量及污水处理效果的影响。当尼泊金甲酯浓度为1 mg/L时污泥减量效果最佳,达到了38.0%。在此条件下,COD和 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 的平均去除率由空白组的88.10%和48.14%分别提高到90.41%和53.91%; $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 和TN的平均去除率则略有下降,由空白组的82.95%和55.20%分别下降到82.48%和53.12%;同时,在试验过程中污泥的沉降性能良好。因此,采用尼泊金甲酯实现污泥减量具有良好的经济性和应用前景。

**关键词:** 活性污泥法; 污泥减量; 尼泊金甲酯; 污泥沉降性能

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)03-0026-05

## Effect of Uncoupler Methyl Paraben on Sludge Reduction and Pollutants Removal

GUO Wan-qian<sup>1,2</sup>, LUO Hai-chao<sup>1,2</sup>, CHEN Tian-hui<sup>1,2</sup>, WU Qing-lian<sup>1,2</sup>, JI Xiao-yi<sup>1,2</sup>

(1. School of Environment, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2. State Key Laboratory of Urban Water Resource and Environment, Harbin 150090, China)

**Abstract:** Activated sludge process is the most widely used sewage treatment technology. However, it will generate a large amount of sludge during the sewage treatment process. The cost of the sludge treatment accounts for about 50% of the operating cost of sewage treatment plant. The effects of uncoupler methyl paraben on sludge reduction and sewage treatment were investigated. The results showed that the optimized concentration of methyl paraben for sludge reduction was 1 mg/L, which achieved 38.0% sludge reduction efficiency. Under the optimized methyl paraben concentration, the average removal rates of COD and  $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$  increased from 88.10% and 48.14% in the blank group to 90.41% and 53.91%, respectively; while the average removal rate of  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  and TN decreased slightly from 82.95% and 55.20% to 82.48% and 53.12%; meanwhile the sludge kept good settleability during the sewage treatment process. Consequently, achieving sludge reduction via dosing of methyl paraben was an economical approach with promising application potentials.

**Key words:** activated sludge process; sludge reduction; methyl paraben; sludge settleability

目前,活性污泥法是应用最广泛的污水处理工艺<sup>[1]</sup>。活性污泥法的本质是微生物利用污水中可

生物降解的有机物作为营养物质进行代谢从而将其去除。该方法在处理污水的同时不可避免地会产生大量的剩余污泥。有文献表明,污泥处理费用占到污水处理厂总运行费用的40%~60%<sup>[2]</sup>。因此污泥减量是十分必要的。

目前主要的污泥减量方法有3类,即污泥溶胞和隐性增长<sup>[3]</sup>、解偶联作用及微生物捕食。在生化处理中,微生物的新陈代谢过程使污水中的有机碳一部分被转化为无机物质,另一部分转化为新的有机生物体。在污泥溶胞过程中,微生物细胞中的有机物质溶解释放于水中,形成可被细胞重新利用的自底基质,当微生物以该基质作为生长底物进行新陈代谢时,总的污泥产量减少。为了与微生物对污水中原有基质的利用相区分,微生物利用自底基质的生长被称为隐性生长,其中污泥溶胞是其中的限制步骤<sup>[4]</sup>。

形成污泥溶胞的方法主要有:①机械方法,如超声波或微波辐射,其特点为溶解性COD显著增加、能量密度高、分解速度快、简便灵活且高效<sup>[5]</sup>。②化学方法,以O<sub>3</sub>、ClO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>等强氧化剂氧化的方法<sup>[6-7]</sup>,该方法破解效率高,不产生有害副产物,但是处理成本高,出水水质差,特别是出水中N、P含量高,因此需要进一步优化。

微生物的合成代谢和分解代谢是通过呼吸速率紧密耦合在一起,通过某些方法,例如重金属、过剩能量基团、特殊温度、营养物质受到限制等条件,能量就会发生逸散,从而达到污泥减量的效果。解偶联剂实际操作简单,但使用过程中会改变污泥的沉降性能,甚至还会导致污泥膨胀。而且大部分解偶联剂难以生物降解并具有生物毒性,可能对人体产生危害。

在活性污泥体系中利用生态系统食物链中高营养级的生物体(例如原生动物和后生动物)捕捉低营养级的生物体,根据能量传递的10%理论,可以有效降低剩余污泥产量并且不影响污水处理效果。因此在活性污泥工艺中,可以利用一些原生动物和后生动物对细菌和菌胶团的捕食有效降低污泥产量,达到污泥减量的目的。

综上所述,污泥溶胞过程需要消耗较多的能源,成本相对较高;采用解偶联剂能够实现较好的污泥减量效果,但是解偶联剂大部分都具有一定的毒性,可能最终对人体产生危害;微生物捕食能够实现微

减量,但其实质是污染物的转移,并且这些动物的大量生长以及后续的处理处置也是一个较大问题。因此,笔者采用尼泊金甲酯这种常用且对人体相对无危害的解偶联剂(抑菌剂)来实现污泥减量。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验装置及原水水质

采用6组SBR反应器,其有效容积为4 L。每天运行2个周期:缺氧搅拌3 h,好氧曝气6 h,静置沉淀3 h。每次换水2 L,每天排泥300 mL,使溶解氧浓度在2~5 mg/L,系统的MLSS维持在1 000~2 500 mg/L。试验采用的是模拟生活污水的人工配水,COD、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P浓度分别为300、30、3~5 mg/L,分别由葡萄糖(281 mg/L)、NH<sub>4</sub>Cl(115 mg/L)、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>(13~22 mg/L)提供,并投加CaCl<sub>2</sub>(10 mg/L)、MgCl<sub>2</sub>(60 mg/L)和小苏打(300 mg/L)。

微生物的生长需要适量的微量元素,在每升配水中加入1 mL的微量元素溶液。微量元素溶液的组成见表1。

表1 微量元素溶液组成

Tab.1 Trace elements solution for microorganism

g · L<sup>-1</sup>

项 目	浓度	项 目	浓度
ZnSO <sub>4</sub>	0.15	CoCl <sub>2</sub>	0.15
CuSO <sub>4</sub>	0.06	碘化钾	0.18
FeCl <sub>3</sub>	1.50	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.06
NaMoO <sub>4</sub>	0.15	EDTA	5.00

### 1.2 尼泊金甲酯及其投量

采用尼泊金甲酯抑菌剂考察其对SBR系统处理污水和污泥减量效果的影响。尼泊金甲酯又叫对羟基苯甲酸甲酯,白色结晶粉末或无色结晶,主要用作有机合成、食品、化妆品、医药的防腐剂或抑菌剂。试验中选择6个不同的尼泊金甲酯浓度梯度,分别为0、1、5、10、30、50 mg/L,对应的反应器依次记作R0、R1、R2、R3、R4、R5。

### 1.3 检测项目及方法

COD:重铬酸盐法;氨氮:纳氏试剂分光光度法;总氮:TC-VCPN分析仪;磷酸盐:钼锑抗分光光度法;SV<sub>30</sub>:30 min静沉法;MLSS:重量法。

## 2 结果与讨论

### 2.1 尼泊金甲酯对污泥减量的影响

6组反应器的污泥累计增长量见图1。在最初的一段时间内,各反应器的污泥累计增长量相差不

大,随着时间的不断增加,才呈现出相对比较明显的差异。运行结束后各反应器的污泥累计增长量分别为22.419、13.899、15.909、17.301、15.660、18.208 g。经计算,R1~R5的污泥减量率分别为38.0%、29.0%、22.8%、30.1%、18.7%。在较低的抑菌剂浓度(1 mg/L)下就可以达到较好的污泥减量效果,具备较好的经济性和可应用性。

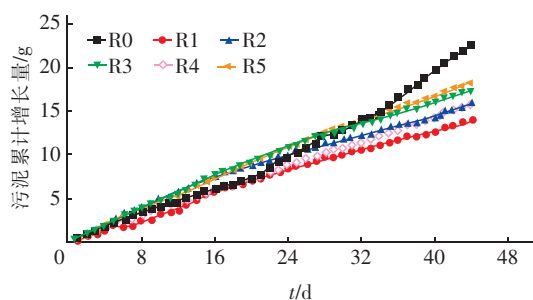


图1 尼泊金甲酯对污泥累计增长量的影响

Fig. 1 Effect of methyl paraben on cumulative growth of sludge

污泥表观产率系数( $Y_{obs}$ )是实际测定的污泥产量与有机基质降解量的比值,即降解单位有机基质所增长的污泥量,是表征污泥产量的重要指标之一。由于R0~R5反应器对基质的去除效率各不相同,为了消除有机基质降解量差异对污泥减量效果的影响,分析了各系统内污泥的表观产率系数。

经统计,R0~R5的COD累计消耗量分别为48.03、49.23、48.89、49.15、48.79、49.10 g,结合污泥累计增长量可得各反应器的表观污泥产率分别为0.46、0.28、0.32、0.35、0.32、0.37 gMLSS/gCOD。

有文献表明,活性污泥法正常运行时的 $Y_{obs}$ 一般介于0.45~0.75 gMLSS/gCOD之间。可见,空白组运行正常。当抑菌剂的浓度为1 mg/L时污泥的表观产率最低,说明污泥减量效果最好;当尼泊金甲酯的浓度超过1 mg/L时,污泥的表观产率会有所上升,但是都低于空白组的污泥表观产率。说明尼泊金甲酯的浓度超过1 mg/L后,依然具有污泥减量的效果,但是减量效果会减弱;同时也说明在实际工程应用中需要严格控制抑菌剂浓度。

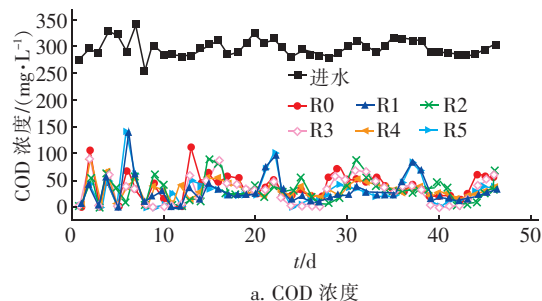
## 2.2 尼泊金甲酯对污水处理效果的影响

在污水处理过程中,COD可以反映系统异养菌的活性,而 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 则可以反映自养菌的活性,因此以COD和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 作为主要的监测指标。R0和R1在运行过程中出水COD和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度达标天

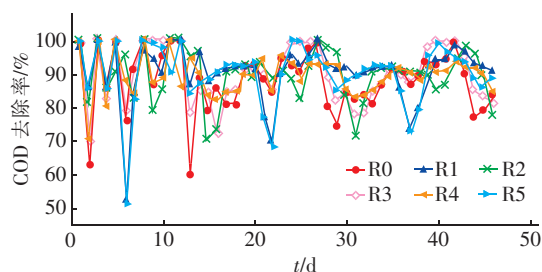
数最多,故以R0和R1作为对比来描述尼泊金甲酯处理效果的影响。

### 2.2.1 对COD去除效果的影响

在试验过程中,空白组及试验组的出水COD浓度基本都在60 mg/L以下,基本达到国家一级B排放标准,但R5出水超标的天数较多(见图2)。



a. COD浓度



b. COD去除率

图2 尼泊金甲酯对系统去除COD的影响

Fig. 2 Impact of methyl paraben on COD removal

从图2(b)可以看出,在初期每个反应器的COD去除率都波动较大,说明抑菌剂尼泊金甲酯影响了水处理系统的稳定,但在之后去除率均逐渐趋于稳定,说明微生物对于外界环境的变化具有一定的适应性。各反应器对COD的平均去除率分别为 $(88.10 \pm 9.21)\%$ 、 $(90.41 \pm 8.70)\%$ 、 $(89.85 \pm 7.69)\%$ 、 $(90.25 \pm 8.54)\%$ 、 $(89.58 \pm 5.71)\%$ 、 $(90.18 \pm 9.25)\%$ 。尼泊金甲酯对系统去除COD没有显著影响,COD主要通过系统中异养型微生物进行降解,而异养型微生物增长速度较快,对环境变化具有更强的适应性,造成尼泊金甲酯对异养型微生物的抑制作用较弱,因此尼泊金甲酯的投加对系统去除COD的影响甚微。

### 2.2.2 对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除效果的影响

在试验过程中,随着尼泊金甲酯浓度的升高,R3、R4、R5出水水质超标的天数增多,系统对氨氮的去除能力受到明显抑制。而R0、R1出水水质基本都能达到国家一级B标准(见图3)。从图3(b)

可以看出,在前18 d,R0对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率一直高于R1,可能的原因是加入了抑菌剂尼泊金甲酯后,R1内与 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除相关的微生物(主要是亚硝化细菌)的活性受到抑制。在第18~24天,R0与R1对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率差别并不明显,可能是随着运行时间的延长亚硝化细菌的活性慢慢得以恢复,对氨氮的去除效果也逐步回升并达到稳定,R0和R1对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的平均去除率分别为 $(82.95 \pm 13.90)\%$ 和 $(82.48 \pm 12.70)\%$ 。说明加入少量的尼泊金甲酯对系统的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除率影响甚微。

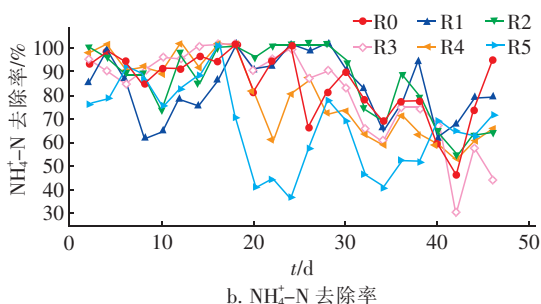
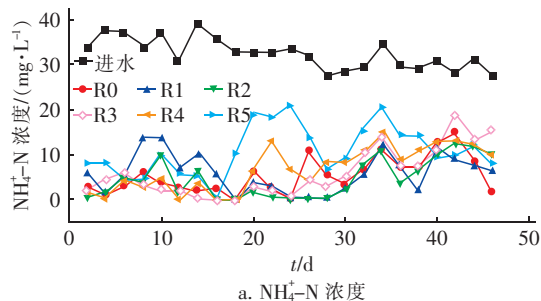


图3 尼泊金甲酯对系统去除 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的影响

Fig.3 Impact of methyl paraben on  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  removal

经过对6组反应器去除COD和氨氮的比较,基本可以反映每个反应器微生物的相关活性,余下的污水指标和污泥沉降指标,主要对R0(空白组)和R1(污泥减量效果最好)进行对比,分析在污泥减量效果最好的条件下,尼泊金甲酯对相关指标的影响。

### 2.2.3 对 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 去除效果的影响

R0、R1出水的 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 浓度大部分在2 mg/L左右波动(这与SBR工艺本身的除磷效率有关),因此在实际工程中还需要加入磷酸盐的深度处理装置,以保证达标。R0和R1对 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 的去除率基本都在40%~60%之间,平均去除率分别为 $(48.14 \pm 12.98)\%$ 和 $(53.91 \pm 7.64)\%$ ,其差异不大,说明加入少量的抑菌剂尼泊金甲酯对系统去除磷酸盐没有影响(见图4)。

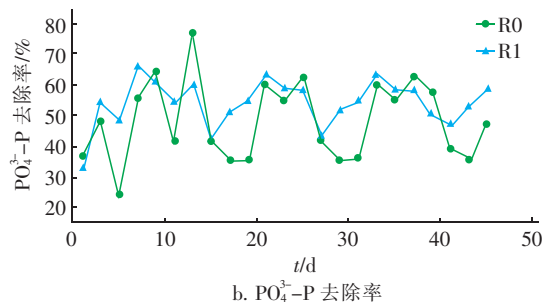
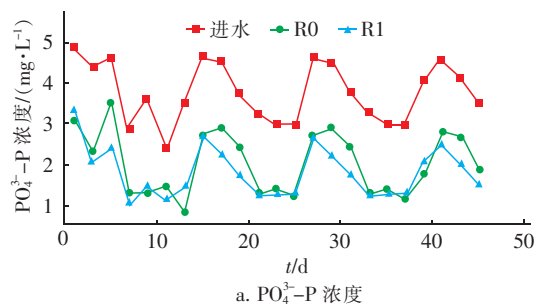


图4 尼泊金甲酯对系统去除 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 的影响

Fig.4 Impact of methyl paraben on  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  removal

### 2.2.4 对TN去除效果的影响

投加尼泊金甲酯对系统去除TN的影响见图5。

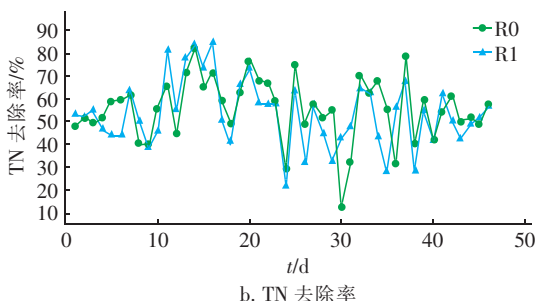
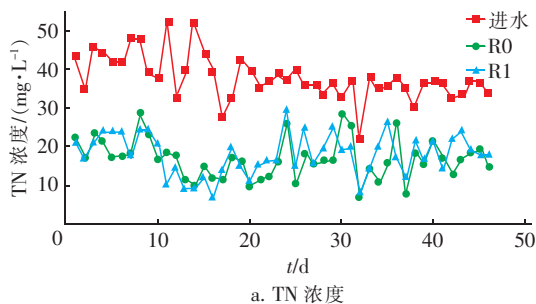


图5 尼泊金甲酯对系统去除TN的影响

Fig.5 Impact of methyl paraben on TN removal

运行稳定即第20天之后,R0、R1出水的TN浓度基本都在15 mg/L左右,即投加尼泊金甲酯后R1与R0对TN的去除率差别并不是很明显,平均去除率分别为 $(55.20 \pm 13.85)\%$ 和 $(53.12 \pm 14.42)\%$ 。



尼泊金甲酯的加入使得系统对 TN 的去除率仅下降了约 2%,说明 1 mg/L 的尼泊金甲酯对系统去除 TN 的效果无明显影响。

### 2.3 尼泊金甲酯对污泥沉降性能的影响

污泥容积指数 (SVI) 能够反映活性污泥的凝聚、沉降性能,当处理生活污水时其值在 50 ~ 150 mL/g 之间。SVI 值过低,说明活性污泥颗粒细小,无机质含量高,这样的污泥活性较低。SVI 值过高,说明污泥的沉降性能变差,有可能出现污泥膨胀。在前 20 d, R0 与 R1 的 SVI 值变化相对不是特别明显。从第 20 天之后, R1 的 SVI 值都高于 R0,说明 R1 的沉降性能比 R0 要差。但在试验过程中, R1 的 SVI 值基本都在 50 ~ 150 mL/g 之间,能够保持良好的沉降性能,有利于二沉池的泥水分离 (见图 6)。

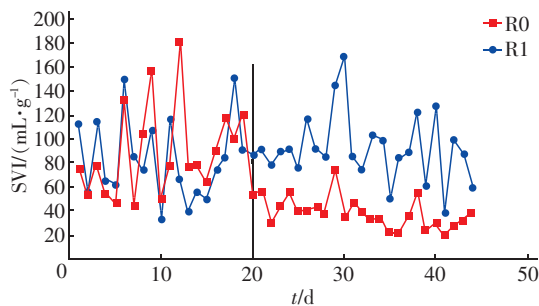


图6 尼泊金甲酯对系统 SVI 的影响

Fig. 6 Impact of methyl paraben on SVI value

## 3 结论

采用 SBR 工艺处理模拟生活污水,当尼泊金甲酯投加浓度为 1 mg/L 时,系统的污泥减量效果最佳,达到 38.0%,且出水 COD 及  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度基本能够达到国家一级 B 标准。在运行过程中,系统除磷效率较低,但在 1 mg/L 尼泊金甲酯投加量下,试验组与空白组的除磷效率无明显差异。考虑实际需求,需辅以强化除磷措施。在运行过程中,两个系统均能够保持良好的污泥沉降性能。

### 参考文献:

- [1] Coma M, Rovira S, Canals J, *et al.* Minimization of sludge production by a side-stream reactor under anoxic conditions in a pilot plant [J]. *Bioresour Technol*, 2013, 129: 229 – 235.
- [2] Niu T, Zhou Z, Shen X, *et al.* Effects of dissolved oxygen on performance and microbial community structure in a microaerobic hydrolysis sludge in situ reduction process [J]. *Water Res*, 2016, 90: 369 – 377.

- [3] Lan W C, Li Y Y, Bi Q, *et al.* Reduction of excess sludge production in sequencing batch reactor (SBR) by lysis-cryptic growth using homogenization disruption [J]. *Bioresour Technol*, 2013, 134: 43 – 50.
- [4] 马华继, 张书廷, 刘勇, 等. 超声波/碱协同溶胞—隐性生长系统的污泥减量效果 [J]. *中国给水排水*, 2012, 28(13): 15 – 19.  
Ma Huaji, Zhang Shuting, Liu Yong, *et al.* Study on excess sludge reduction using ultrasonic/alkaline lysis – cryptic growth system [J]. *China Water & Wastewater*, 2012, 28(13): 15 – 19 (in Chinese).
- [5] 何楚茵, 金辉, 黄宋彬, 等. 臭氧与酸碱耦合对剩余污泥的溶胞减量研究 [J]. *中国给水排水*, 2013, 29(21): 122 – 127.  
He Chuyin, Jin Hui, Huang Songbin, *et al.* Reduction of excess sludge by combining ozone with acid or alkaline hydrolysis [J]. *China Water & Wastewater*, 2013, 29(21): 122 – 127 (in Chinese).
- [6] Zuriaga-Agustí E, Garrido-Mauri G, Mendoza-Roca J, *et al.* Reduction of the sludge production in a sequencing batch reactor by addition of chlorine dioxide: Influence on the process performance [J]. *Chem Eng J*, 2012, 209: 318 – 324.
- [7] 冯骁驰. 污泥过程减量的复合解耦剂特性及对处理效能影响研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.  
Feng Xiaochi. The Characteristics and Effects of a Reducing Sludge Compositd Uncoupleron Treatment Efficiency [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2013 (in Chinese).



作者简介: 郭婉茜 (1980 – ), 女, 黑龙江哈尔滨人, 博士, 教授, 博士生导师, 从事污水资源化和能源化、污泥减量、海绵城市等研究。

E-mail: guowanqian@hit.edu.cn

收稿日期: 2018 – 05 – 30