

## 磺胺嘧啶对 SBR 生物除磷的影响

汤婧瑶, 王 姝, 胡 方, 余思泽, 崔萌萌, 梁越敢\* (安徽农业大学资源与环境学院, 安徽合肥 230036)


**摘要** 该研究利用 SBR 反应器探讨磺胺嘧啶对生物除磷系统的影响。结果表明, 磺胺嘧啶减少厌氧释磷量和好氧吸磷量, 降低系统除磷效率; 高浓度磺胺嘧啶 (20 mg/L) 降低微生物增殖和活性污泥沉降性能; 另外, 磺胺嘧啶提高活性污泥的胞外聚合物 (EPS) 总量和脱氢酶活性, 改变 PPX 和 PPK 酶的活性。该研究结果可为含抗生素废水的生物处理系统的操作运行提供理论依据。

**关键词** 磺胺嘧啶; 除磷效率; 胞外聚合物; 酶活性

中图分类号 X 703 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)13-0078-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.13.021

开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

## Effect of Sulfadiazine on Biological Phosphorus Removal in a Sequencing Batch Reactor

TANG Jing-yao, WANG Shu, HU Fang et al (School of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036)

**Abstract** In this study, effect of sulfadiazine on biological phosphorus removal was investigated in a sequencing batch reactor. The results showed that sulfadiazine reduced the amount of anaerobic phosphorus release and aerobic phosphorus uptake, and phosphorus removal efficiency. A decrease in microbial reproduction and settling property of activated sludge was observed at a high content of sulfadiazine (over 20 mg/L). Besides, sulfadiazine increased the amount of extracellular polymeric substances and dehydrogenase activity, and changed the activities of PPX and PPK. These findings obtained might provide a promising method for treatment of containing antibiotics wastewater.

**Key words** Sulfadiazine; Phosphorus removal efficiency; Extracellular polymeric substances; Enzyme activity

磺胺类药物被广泛应用到临床、畜牧业和水样养殖业中, 磺胺类药物使用后大部分以原型或代谢物的形式进入水体环境<sup>[1]</sup>, 未利用的抗生素排放到污水中最终进入城市污水处理厂。目前污水除磷广泛采用生物除磷方法, 利用聚磷菌的厌氧释磷-好氧过量吸收磷的能力去除污水中溶解性磷<sup>[2]</sup>。在厌氧释磷阶段, 聚磷菌 (PAO) 释放磷; 而在好氧吸磷阶段, PAO 过量吸收水体中的磷酸盐, 通过排放富含磷酸盐的污泥, 实现水体生物除磷目的<sup>[3-4]</sup>。抗生素进入城市污水处理系统中会对活性污泥系统产生影响。李娟英等<sup>[5]</sup>研究了磺胺和四环素类抗生素对活性污泥的影响, 发现抗生素对活性污泥沉降性能、胞外聚合物 (EPS)、脱氢酶活性产生一系列负面影响。胡哲太等<sup>[6]</sup>发现高浓度红霉素、土霉素均能对生物除磷系统产生抑制作用。目前系统研究磺胺嘧啶抗生素对生物除磷影响的报道较少。笔者拟通过添加不同浓度的磺胺嘧啶, 研究磺胺嘧啶对生物除磷系统的影响, 期为磺胺嘧啶废水的治理提供理论指导。

## 1 材料与方 法

**1.1 试验用水及活性污泥** 活性污泥取自安徽合肥望塘污水处理厂氧化沟的混合液, 浓缩沉淀后作为接种污泥。人工模拟生活污水水质的营养物质含量如下: 葡萄糖 169 mg/L, 蛋白胨 169 mg/L, 氯化钠 63 mg/L, 硫酸铵 63 mg/L,  $K_2HPO_4$  44 mg/L,  $KH_2PO_4$  94 mg/L,  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  94 mg/L,  $CaCl_2 \cdot 2H_2O$  31 mg/L,  $FeSO_4 \cdot 2H_2O$  2.2 mg/L, 烯丙基硫脲 7.2 mg/L, 微量元素 0.6 mg/L。微量元素储备液成分分配比参考文献<sup>[7]</sup>。

**基金项目** 重点研发计划 (2017ZX07603-0040, 2019YFC1805203); 安徽省省级大学生创新创业计划 (201810364205)。

**作者简介** 汤婧瑶 (1997—), 女, 江苏南通人, 硕士研究生, 研究方向: 水污染控制。王姝 (1998—), 女, 安徽滁州人, 从事水污染控制研究。汤婧瑶与王姝为共同第一作者。\* 通信作者, 副教授, 博士, 从事水污染控制研究。

**收稿日期** 2019-10-17; **修回日期** 2019-11-05

**1.2 试验操作** 试验所用反应器为 SBR 反应器, 气源采用 KL-1 型曝气机, 以黏土砂块为微孔曝气头, 并配有 DO、pH 和搅拌装置, 通过计时控制器控制搅拌、曝气和泵的开关。反应器有效容积 1 L, 排水比 1:1, 于培养箱中保持温度 20 °C, 每天运行 3 个周期, 每周期 8 h (进水厌氧搅拌 2 h、好氧曝气 4 h 和静置 2 h), 污泥龄维持 10 d 左右。通过设置 4 个试验组研究磺胺嘧啶对 SBR 系统的影响, 4 组磺胺嘧啶的浓度分别为 0、5、10 和 20 mg/L, 记为 R0~R3。

**1.3 分析方法** COD、总磷、活性污泥 MLSS 和  $SV_{30}$  的测定采用标准方法<sup>[8]</sup>; 活性污泥的 EPS 通过热提取法提取, 提取液中蛋白质和多糖分别采用 Folin-酚试剂法和硫酸-苯酚法测定<sup>[9]</sup>; 活性污泥的脱氢酶活性采用氯化三苯基氮唑 (TTC) 法<sup>[10]</sup>, PPX、PPK 活性的测定参考文献<sup>[11]</sup>。

## 2 结果与分析

**2.1 磺胺嘧啶对生物除磷的影响** 图 1 为磺胺嘧啶对 SBR 系统除磷过程的影响。在试验前 5 d, 不同浓度磺胺嘧啶对出水磷浓度均无显著影响, 除磷效率均达 95%, 表明磺胺嘧啶对 SBR 系统除磷效率的冲击较小; 试验后期 (5~18 d), R2、R3 组出水磷浓度均显著高于 R0、R1 组, R2、R3 组除磷效率比空白组 (R0) 降低了 9% 和 18%, 表明高浓度磺胺嘧啶 (10、20 mg/L) 在试验后期显著抑制除磷作用。

表 1 为典型周期 (3、6、16 d) 内磺胺嘧啶对系统释磷量和吸磷量的影响。磺胺嘧啶增加系统内厌氧释磷量和好氧吸磷量, 其中 R2 组 (10 mg/L) 释磷量、吸磷量高于其他试验组, 表明磺胺嘧啶增加系统厌氧释磷、好氧吸磷的速率。

**2.2 磺胺嘧啶对除磷污泥性状的影响** 图 2 为不同浓度磺胺嘧啶对活性污泥特性的影响。在试验过程中, 4 个试验组反应器活性污泥浓度整体呈下降的趋势。在试验前期, R3 组反应器污泥浓度显著低于其他试验组, 污泥浓度最低为

2 100 mg/L;在试验中后期,4 组反应器内污泥浓度无显著差异。磺胺嘧啶能显著降低 R1、R2、R3 组的沉降性能,其中

R2、R3 组显著低于其他试验组。

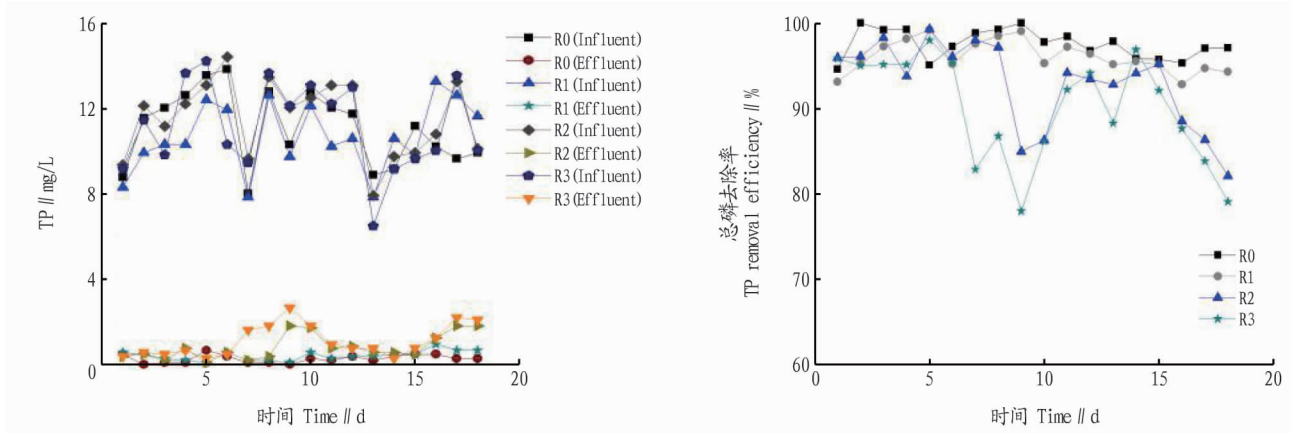


图 1 磺胺嘧啶对 SBR 系统除磷的影响

Fig. 1 Effect of sulfadiazine on biological phosphorus removal in a sequencing batch reactor

表 1 磺胺嘧啶对 SBR 系统厌氧释磷、好氧吸磷的影响

Table 1 Effect of sulfadiazine on anaerobic phosphorus release and aerobic phosphorus uptake in a sequencing batch reactor

时间 Time	试验组 Test group	厌氧释磷量 Anaerobic phosphorus release//mg/L	好氧吸磷量 Aerobic phosphorus uptake//mg/L
第 3 天 3 <sup>rd</sup> day	R0	5.93	17.87
	R1	7.65	17.68
	R2	9.94	20.93
	R3	10.51	19.88
第 6 天 6 <sup>th</sup> day	R0	7.55	15.48
	R1	8.98	16.63
	R2	20.55	30.01
	R3	12.62	20.45
第 16 天 16 <sup>th</sup> day	R0	2.29	11.95
	R1	7.36	18.35
	R2	9.46	17.78
	R3	9.18	17.11

2.3 磺胺嘧啶对除磷污泥 EPS 的影响 胞外聚合物(EPS)能形成保护层和营养吸收层抵抗有害的外界环境,蛋白质和多糖为 EPS 主要组成部分,占总量的 70%~80%<sup>[12]</sup>。图 3 为典型周期内磺胺嘧啶对生物除磷污泥 EPS 的影响。磺胺嘧啶试验组多糖含量均高于空白组,但无显著差异。高浓度磺胺嘧啶(20 mg/L)比空白组多糖含量增加 5.6%;磺胺嘧啶能显著增加 EPS 中蛋白质含量,高浓度抗生素组(R2、R3)比空白组增加 33.2%和 47.2%。可能是磺胺嘧啶作为有毒物质,进入系统后刺激活性污泥微生物分泌 EPS 来抵御有毒物质的侵害<sup>[13]</sup>。李娟英等<sup>[5]</sup>研究也发现抗生素类污染物增加活性污泥 EPS 中的蛋白质和多糖含量,这与该研究结果一致。

2.4 磺胺嘧啶对生物除磷酶活性的影响 生物除磷过程需要关键酶调控,其中与生物厌氧释磷密切相关的为外切聚磷酸盐水解酶(PPX),而与 PAO 好氧吸磷密切相关的为聚磷酸盐激酶(PPK);活性污泥脱氢酶活性直接影响生物除磷系统中有机污染物的转化<sup>[14]</sup>。

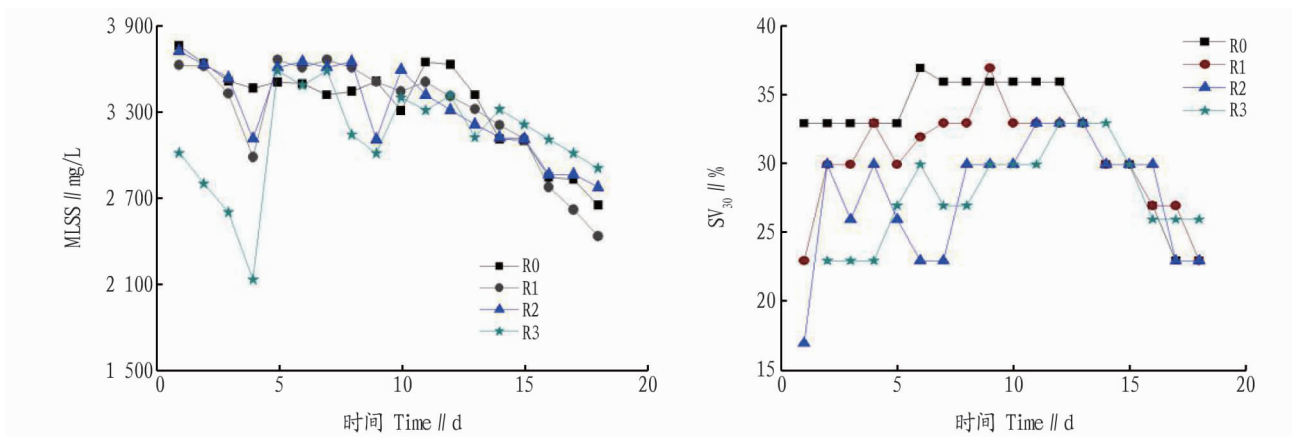


图 2 磺胺嘧啶对生物除磷污泥浓度和污泥沉降性能的影响

Fig. 2 Effect of sulfadiazine on sludge concentration and sludge settling performance in biological phosphorus removal

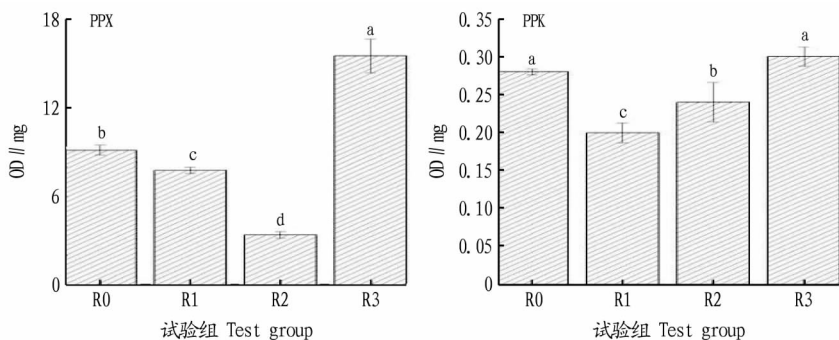
图 4 为磺胺嘧啶对生物除磷酶活性的影响,随着抗生素浓度增加,PPX 酶活性呈先下降后上升的趋势,R3 组的 PPX

酶活性显著高于其他试验组;磺胺嘧啶对 PPK 酶活性有一定影响,R3 组的 PPK 酶活性高于其他试验组。磺胺嘧啶对

系统内 PPX 酶活性影响较小,可能是磺胺类抗生素难溶于水,其生物有效浓度低,导致对微生物抑制效应弱<sup>[15]</sup>。另外,脱氢酶活性随着抗生素浓度增加呈逐渐上升的趋势,R2、R3 组脱氢酶活性显著高于空白组,该研究结果与前人研究结果相反<sup>[16]</sup>。磺胺类抗生素的作用机制是干扰细菌的叶酸代谢,有些微生物可以不用自身合成叶酸,磺胺类抗生素对其影响效果减弱<sup>[16]</sup>,这可能是磺胺嘧啶对脱氢酶活性无抑制的原因之一。

### 3 结论

低浓度磺胺嘧啶对污水 SBR 系统影响不明显,高浓度磺胺嘧啶影响试验中后期的厌氧释磷和好氧吸磷量,降低生物除磷效率。高浓度磺胺嘧啶能降低污泥浓度和污泥沉降性能。磺胺嘧啶提高系统污泥中 EPS 中蛋白质含量,增加 EPS 总量。另外,磺胺嘧啶增加活性污泥中脱氢酶活性,改变 PPX、PPK 酶的活性。



注:小写字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )

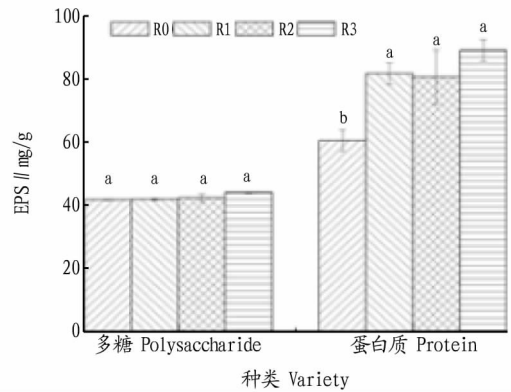
Note: Different small letters meant significant differences ( $P < 0.05$ )

图4 磺胺嘧啶对生物除磷关键酶活性的影响

Fig. 4 Effect of sulfadiazine on the activity of key enzymes in biological phosphorus removal

### 参考文献

- [1] TAMTAM F, MERCIER F, LE BOT B, et al. Occurrence and fate of antibiotics in the Seine River in various hydrological conditions [J]. Science of the total environment, 2008, 393(1): 84-95.
- [2] 林进南. 利用硫酸亚铁去除污水中的磷酸盐 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.
- [3] 王雪峰. 新型污染物洛克沙肺对厌氧/好氧(A/O)生物除磷的影响及其作用机理研究 [J]. 环境工程, 2017, 35(4): 11-14.
- [4] 王健, 包先明. 洛克沙肺对污水生物除磷的影响研究 [J]. 环境污染与防治, 2017, 39(6): 649-652.
- [5] 李娟英, 王肖颖, 解满俊, 等. 磺胺和四环素类抗生素对活性污泥性能的影响 [J]. 环境工程学报, 2014, 8(2): 573-580.
- [6] 胡哲太, 孙培德, 王如意, 等. 两类抗生素对EBPR系统的短期生物抑制作用实验研究 [J]. 环境科学学报, 2017, 37(5): 1722-1731.
- [7] SMOLDERS G J F, VAN DER MEIJ J, VAN LOOSDRECHT M C M, et al. Model of the anaerobic metabolism of the biological phosphorus removal process: Stoichiometry and pH influence [J]. Biotechnology and bioengineering, 1994, 43(6): 461-470.
- [8] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法 [M]. 4版. 北京: 中国环境



注:小写字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )

Note: Different small letters meant significant differences ( $P < 0.05$ )

图3 磺胺嘧啶对生物除磷污泥EPS的影响

Fig. 3 Effect of sulfadiazine on EPS of biological phosphorus removal sludge

科学出版社, 2002.

- [9] 王未青. 纳米氧化锌对污水生物除磷作用及微生物群落的影响 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.
- [10] 朱南文, 闵航, 陈美慈, 等. TTC-脱氢酶测定方法的探讨 [J]. 中国沼气, 1996, 14(2): 3-5.
- [11] 南亚萍, 袁林江, 何志仙, 等. 生物除磷过程中活性污泥聚磷酶活性的变化 [J]. 中国给水排水, 2012, 28(9): 26-29.
- [12] 王雪礁, 王森, 李姗姗, 等. 二氧化钛纳米颗粒对序批式反应器中活性污泥胞外聚合物产量及其组分的影响 [J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2018, 48(4): 111-119.
- [13] 韩月, 李凯, 王志康, 等. SBR中纳米氧化锌和四环素复合投加系统对污泥胞外聚合物的影响 [J]. 环境工程学报, 2019, 13(7): 1623-1633.
- [14] 于洁. 四环素对好氧活性污泥的抑制及对活性污泥四环素抗性的影响研究 [D]. 天津: 南开大学, 2014.
- [15] THIELE-BRUHN S, BECK I C. Effects of sulfonamide and tetracycline antibiotics on soil microbial activity and microbial biomass [J]. Chemosphere, 2005, 59(4): 457-465.
- [16] 王静, 黄申斌, 江敏, 等. 抗生素类污染物对活性污泥酶活的影响研究 [J]. 环境污染与防治, 2011, 33(12): 27-32.