

絮凝剂 PAC 对污水处理系统出水中细菌和噬菌体的沉降作用

胡虎, 杨清香

(河南师范大学 生命科学学院, 河南 新乡 453007)

摘要:为进一步提高反应器的处理效率,减少功能微生物的流失,采用向 SBR 反应器出水中外加絮凝剂 PAC,并将絮凝沉淀的微生物返回反应器的方法,来探究该工艺对污水处理反应器处理效果的影响.通过试验得出絮凝剂的添加量为质量浓度 50 mg/L 时,反应器处理效果最佳.在进水 COD, N, P 分别为质量浓度 400 mg/L 和 35 mg/L 以及 10 mg/L 时, COD, N, P 的去除效率分别为 95.2%、94.2%、94.7%,与单纯的 SBR 工艺相比,处理效果分别提升了 48.1%、43.6%、54.7%.对出水中微生物的显微计数结果显示细菌及噬菌体能被很好地被絮凝剂沉降下来,平均沉降率分别为 50.18% 和 21.40%.因此,将絮凝剂沉降下来的微生物再次返回反应器中确实更好地保留功能微生物,改善污泥性状,进而提高污水处理效果.

关键词:序批式反应器;活性污泥;噬菌体;絮凝剂

中图分类号:Q939.9

文献标志码:A

由于环境水体的污染,中国水资源短缺问题越来越严重^[1-2].因此,废水再利用已经成为环境污染中研究重点之一.目前各类运行的污水处理系统出水中往往含有大量微生物,这些微生物的排出不仅影响水质,而且会使一些沉降性能差的功能性微生物丧失,影响系统处理效果^[3];另一方面,污水处理出水中还含有大量噬菌体和病毒类的微生物,这类微生物由于个体非常微小而往往沉降性能很差,有些病毒还可能是一些对人类健康有害的病原体^[4-5],它们排出进入水体可能产生更严重的威胁,因此如何回收和消除常规废水处理系统出水的微生物是亟待解决的关键.此外,现阶段各种污水处理技术飞速发展,城市污水处理厂一般情况下均能达标排放.但是随着季节的改变,温度的变化,污染物的去除效率均会受到不同程度的影响,出水水质情况也会上下波动^[6].春夏交际时,污泥会出现不同程度的膨胀,污泥沉降性能降低进而导致功能微生物的流失,降低出水水质.冬季气温较低,微生物活动能力减弱,因此污水处理厂出水水质尤其是氮磷含量往往不能达到国家标准^[7].若能提高功能微生物的丰度,便能弥补微生物活动能力减弱的不足.活性污泥颗粒是一种絮凝体,由菌胶团构成骨架,含有微生物占据了污水处理系统中微生物的 95% 以上^[8].污水处理系统中功能微生物的丰度很大程度上决定了污水处理系统的处理效果,因此提高功能微生物在污水处理系统中的丰度即增加污水处理系统中絮凝体的含量成了改进污水处理技术的关键.无机聚合物聚合氯化铝(PAC)具有优异的絮凝性能,能够通过离子状态的铝来吸附和沉淀去除磷酸盐和颗粒物质,已被广泛应用于各种污水处理技术中^[9].但絮凝剂 PAC 对微生物的絮凝效果尚未得到研究.因此,本研究以 SBR 反应器为例来研究絮凝剂 PAC 对系统处理出水的进一步微生物沉降效果,以及絮凝污泥回流对污水处理效率的影响.

1 材料与方法

1.1 反应器的构建和运行

本实验采用自制的 SBR 反应器,反应器为圆柱形,采用聚合有机玻璃做成,有效体积是 4 L,高度内径比

收稿日期:2017-09-20;修回日期:2018-04-10.

基金项目:国家自然科学基金资助(NSFC 21477035)

作者简介:胡虎(1992-),男,河南驻马店人,河南师范大学硕士研究生,研究方向:环境微生物,E-mail:1592878685@qq.com.

通信作者:杨清香(1966-),女,河南洛阳人,河南师范大学教授,博士,研究方向:环境微生物,E-mail:yangqx@htu.edu.cn.

为5:1.结构如图1所示.

种污泥取自新乡市小尚庄污水处理厂曝气池,进水采用模拟生活污水.每升配水含各组分如下: NH_4Cl 26 mg、 KH_2PO_4 70 mg、 CH_3COONa 233 mg、 Na_2CO_3 60 mg、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 28 mg、葡萄糖 170 mg、酵母浸粉 40 mg、蛋白胨 158 mg、可溶性淀粉 160 mg.使得进水质量浓度 COD 为 300~400 mg/L,N 质量浓度为 30~35 mg/L,P 质量浓度为 10~12 mg/L.

反应器启动阶段先以低 COD 浓度进水驯化,逐渐提高进水 COD 浓度,稳定后的运行周期为 480 min,其中包含曝气时间 360 min(含进水时间),沉淀时间 10~30 min,排水时间 5 min,静置时间 85~115 min.置换比为 50%, $\text{DO} > 2$ mg/L,温度为室温^[10].添加二沉池,污泥回流比为 10%,污泥龄为 20 d.

1.2 水质监测

反应器运行期间采用国标法对反应器进出水 COD,N,P 含量进行测定^[11].快速消解分光光度法(HJ/T 399-2007)测定 COD,钼酸铵分光光度法(GB 11893-89)测定 P 含量,碱性过硫酸钾紫外分光光度法(HJ 636-2012)测定 N 含量.

1.3 细菌噬菌体的荧光显微镜观察与计数

取 2 L 反应器出水加入质量浓度 50 mg/L 的絮凝剂,沉降一段时间后,取 200 mL 沉降物以涡旋仪打散.将反应器出水及沉降物样品梯度稀释 105 倍,以 $0.45 \mu\text{m}$ 滤膜过滤除去大颗粒杂质.细菌染色:以 DAPI 染液避光染色 15 min,经 $0.22 \mu\text{m}$ 滤膜过滤,将细菌截留至膜上,荧光显微镜观察计数,取 60 倍物镜下 15 个视野内细菌数目平均数,计算泥水混合物中细菌浓度.噬菌体染色:样品经 $0.22 \mu\text{m}$ 滤膜过滤除菌,以 Sybr Gold 染液染色 20 min,经 $0.02 \mu\text{m}$ 滤膜过滤,将噬菌体截留至膜上^[12].荧光显微镜观察计数,取 100 倍物镜下 15 个视野内噬菌体数目平均数,计算泥水混合物中噬菌体浓度^[13].

1.4 絮凝剂添加量的确定及絮凝效果检测

待反应器工作稳定后,收集反应器出水分装至 3 个锥形瓶中各 200 mL.称取絮凝剂 PAC 5 mg、10 mg、15 mg,分别加入锥形瓶中,充分混匀,自然沉降后取上清测定 COD,比较 3 种絮凝剂添加剂量对反应器出水进一步处理的效果,选择最优添加剂量.反应器运行期间检测添加最优剂量絮凝剂后,出水水质(N,P,COD)以及出水中微生物絮凝效果变化情况.

2 结果与分析

2.1 絮凝剂 PAC 对 SBR 反应器出水的絮凝效果

在确定絮凝剂 PAC 最优添加量的试验中,每 200 mL 水样中絮凝剂的添加剂量分别为 5 mg、10 mg、15 mg,此时絮凝剂质量浓度分别为 25 mg/L、50 mg/L、75 mg/L.测量反应器进水、出水、絮凝剂处理后出水 COD 数据如图 2.当反应器出水 COD 质量浓度为 45~60 mg/L 的时候,絮凝剂的添加能够降低 50%左右的 COD.当反应器出水 COD 质量浓度为 10~20 mg/L 时,絮凝剂的添加对 COD 的进一步降低作用甚微.且当反应器出水的絮凝剂添加剂量为质量浓度 50 mg/L 时,反应器出水效果最佳.絮凝剂的添加能够絮凝沉降下大颗粒有机物质,从而降低 COD,另一方面,絮凝剂的添加沉降水样中的微生物,也有助于降低水体中有机质含量.然而,值得注意的是絮凝剂的添加量在质量浓度 25 mg/L 与 75 mg/L 时,水样 COD 均比添加量为 50 mg/L 时高,其原因很可能是低添加量絮凝剂不能完全沉降水样中有机质,而高添加量絮凝剂本身又造成 COD 的提升.因此在实际应用过程中,针对不同出水水质,需要摸索最佳 PAC 添加剂量.

2.2 絮凝污泥回流对污水处理效果的影响

在 SBR 反应器稳定运行 15 d 时,开始连续在出水中添加质量浓度 50 mg/L 絮凝剂,并将沉降后的微生物

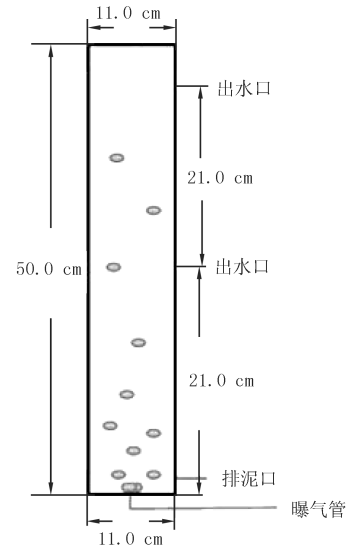


图1 SBR 污水处理反应器设计图

物回流到反应器中,研究回收后的微生物对反应器运行效果的影响,结果如图 3.

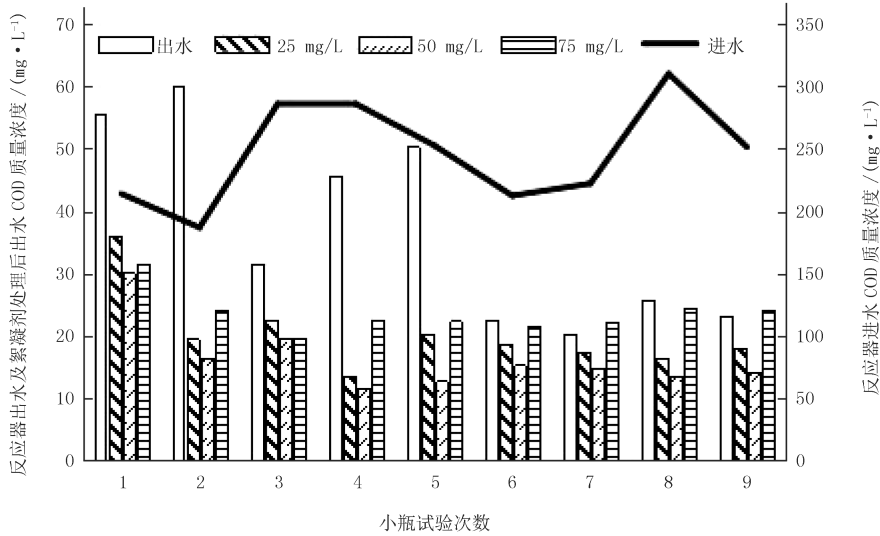
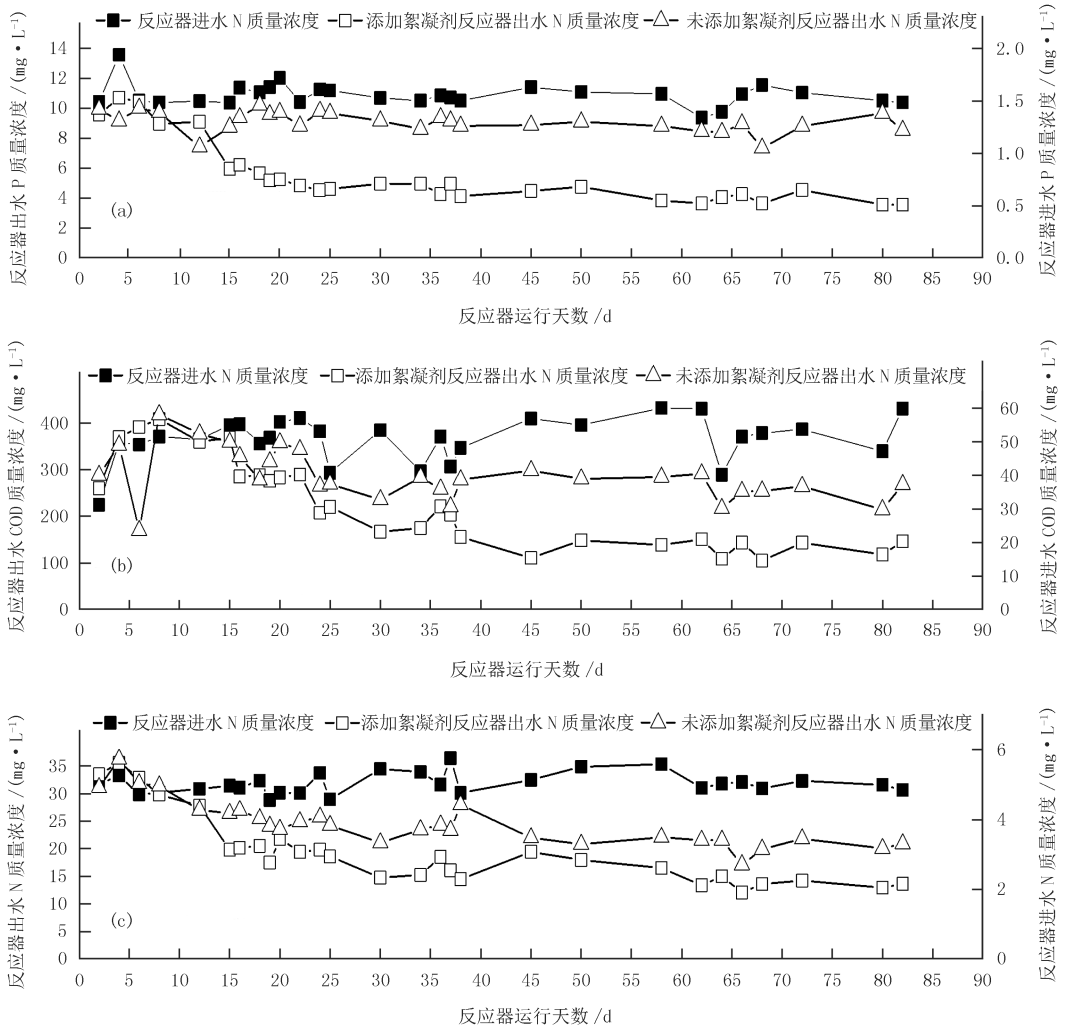


图 2 不同剂量絮凝剂对出水 COD 处理效果



(a) 磷; (b) COD; (c) 氮.

图 3 添加絮凝剂对反应器出水各指标的影响

加入絮凝剂后, SBR 反应器出水 COD, N 及 P 的去除效果明显得到改善, 与对照相比, COD、总 N, 总 P

的出水质量浓度分别降低了 48.1%、33.6% 和 54.7%。添加絮凝剂后,反应器 COD,N,P 平均去除效率分别为 95.2%、94.2% 和 94.7%,均达到 94% 以上,反应器运行末期(62~82 d),反应器出水各项指标均达到国家一级 A 标准(GB18918-2002),完全达到回用水的基本要求。特别值得注意的是,与对照相比,添加絮凝剂后,总 N 和总 P 的去除得到大幅度提升,去除率分别由 89.7%、88.3% 提高到 93.2%、94.7%。该结果说明,SBR 反应器经过常规的沉降后与 N、P 去除相关的功能微生物流失严重,而经过沉降回收之后,这类微生物得到最大限度的保留。此外,絮凝剂的添加,有助于污水处理系统内致密颗粒的形成,而致密的污泥颗粒能够为功能微生物提供附着位点,减少功能微生物的流失,提高处理效率^[14]。目前大多数城市污水处理系统在运行过程中 COD 达标排放普遍不存在问题,但是随着季节的变化,N,P 的达标排放经常出现波动,特别是在冬季很难实现达标,这些现象是否与氮磷去除相关微生物如聚磷菌、硝化细菌、反硝化细菌等生长周期较长,不能得到很好沉降相关还需要进一步研究^[15-17]。但是本研究方法通过絮凝沉降回流,大大保留了反应器中功能微生物的浓度,显著提高处理效率,可以为污水处理系统的运行提供重要参考。

2.3 絮凝剂对 SBR 反应器出水中噬菌体和细菌的絮凝沉降效果

利用荧光显微镜对噬菌体及细菌的计数结果如图 4 所示。由图可明显看出絮凝剂的添加能够明显地将细菌及噬菌体沉降下来,且对细菌的絮凝效果大于对噬菌体的絮凝效果。絮凝剂处理后的水样中细菌沉降率为 50.182%,而噬菌体沉降率为 21.403%。PAC 丰富的孔状结构为细菌和噬菌体的附着提供了位点,所以细菌和噬菌体均得到有效沉降。有研究表明,大颗粒比小颗粒更容易被 PAC 沉降^[18]。噬菌体大小远小于细菌大小,而絮凝剂对较大个体有较好沉降作用,因此噬菌体沉降效果要小于细菌的沉降效果。此外,污水处理系统的出水中含有大量的病原微生物如病毒颗粒,如果不能有效处理,会进入环境水体导致水体污染及水媒疾病的发生^[19-21]。有研究表明污水处理系统出水中噬菌体的去除效率能为病毒削减程度起到指示作用^[22]。因此,此实验结果表明絮凝剂能大量沉降污水处理系统出水中的微生物,进一步提高污水水质,可应用于各类污水处理系统的优化进程。

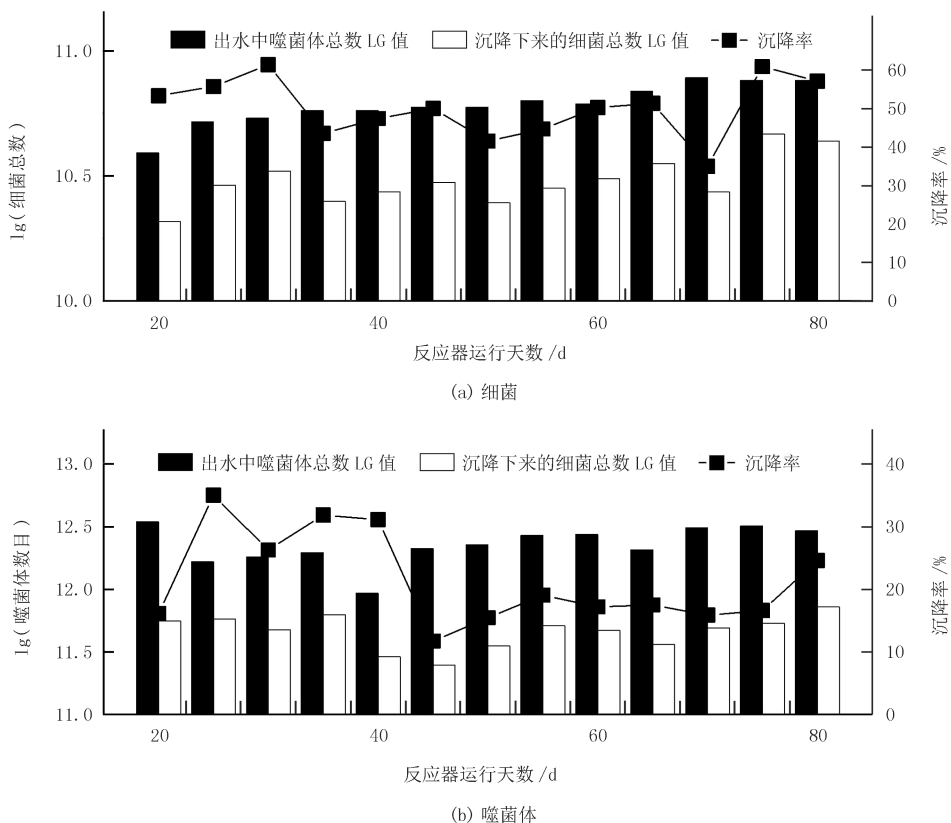


图 4 添加絮凝剂对反应器出水微生物的沉降效果

3 结 论

a)对絮凝剂的最优添加量的选择实验结果表明出水 COD 质量浓度不同要求添加的絮凝剂质量浓度也不同,当出水 COD 质量浓度为 45~60 mg/L 时,絮凝剂添加量质量浓度为 50 mg/L 时污水处理效果最好。

b)当絮凝剂添加量为 50 mg/L 时,SBR 反应器内细菌和噬菌体的沉降率分别为 50.182%和 21.403%,COD、总 N、总 P 的浓度进一步降低了 48.1%、33.6%和 54.7%。

c)在进水 COD、总 N、总 P 质量浓度分别为 300~400 mg/L、30~35 mg/L、10~12 mg/L 的条件下,处理后的出水 COD、总 N、总 P 质量浓度分别达到 15~20 mg/L、2.0~2.5 mg/L、0.4~0.5 mg/L,水质达到国家一级 A 标准,完全达到回用要求。

参 考 文 献

- [1] Kang Shaozhong, Hao Xinmei, Du Taisheng, et al. Improving agricultural water productivity to ensure food security in china under changing environment: From research to practice[J]. *Agricultural Water Management*, 2017, 179: 5-17.
- [2] Jiang Yong. China's water scarcity[J]. *Journal of environmental management*, 2009, 90(11): 3185-3196.
- [3] Rajala RL, Pulkkanen M, Pessi M, et al. Removal of microbes from municipal wastewater effluent by rapid sand filtration and subsequent uv irradiation[J]. *Water science and technology*, 2003, 47(3): 157-162.
- [4] Yang Qingxiang, Zhao Hongli, Du Bingbing. Bacteria and bacteriophage communities in bulking and non-bulking activated sludge in full-scale municipal wastewater treatment systems[J]. *Biochemical Engineering Journal*, 2017, 119: 101-111.
- [5] Gerba C P, Betancourt W Q, Kitajima M. How much reduction of virus is needed for recycled water: A continuous changing need for assessment? [J]. *Water Res*, 2017, 108: 25-31.
- [6] 赵宇. 季节性气温变化对污水处理厂运行效果的影响[J]. *山西建筑*, 2014, 40(16): 149-150.
- [7] 胡述龙, 秦毓茜. 剩余污泥厌氧发酵过程中氮、磷的释放及其回收研究[J]. *河南师范大学学报(自然科学版)*, 2011, 39(3): 105-107.
- [8] 李培睿, 杨天佑, 李宗义, 等. 活性污泥絮体的形成过程研究[J]. *河南师范大学学报(自然科学版)*, 2007, 35(1): 150-152.
- [9] Ghafari S, Aziz H A, Isa M H, et al. Application of response surface methodology (rsm) to optimize coagulation - flocculation treatment of leachate using poly-aluminum chloride (pac) and alum[J]. *Journal of hazardous materials*, 2009, 163(2): 650-656.
- [10] Lu Yong-Ze, Wang Hou-Feng, Kotsopoulos Thomas A, et al. Advanced phosphorus recovery using a novel sbr system with granular sludge in simultaneous nitrification, denitrification and phosphorus removal process[J]. *Applied microbiology and biotechnology*, 2016, 100(10): 4367-4374.
- [11] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 第4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [12] Shibata A. Comparison of sybr green i and sybr gold stains for enumerating bacteria and viruses by epifluorescence microscopy[J]. *Aquatic Microbial Ecology*, 2006, 43(3): 223-231.
- [13] 赵红丽, 祁诗月, 张斐, 等. 污水处理系统中噬菌体的浓缩分离和宏合格基因组 DNA 的提取[J]. *河南师范大学学报(自然科学版)*, 2016(4): 131-136.
- [14] 海本斋, 王海磊. 基于二维细胞自动机的好氧颗粒污泥形成仿真模拟[J]. *河南师范大学学报(自然科学版)*, 2015(1): 110-115.
- [15] Zheng Xiongliu, Sun Peide, Han Jingyi, et al. Inhibitory factors affecting the process of enhanced biological phosphorus removal (ebpr) - a mini-review[J]. *Process Biochemistry*, 2014, 49(12): 2207-2213.
- [16] Gnida A, Wiszniewski J, Felis E, et al. The effect of temperature on the efficiency of industrial wastewater nitrification and its (geno) toxicity[J]. *Archives of Environmental Protection*, 2016, 42(1): 27-34.
- [17] Kanda R, Kishimoto N, Hinobayashi J, et al. Effects of recirculation rate of nitrified liquor and temperature on biological nitrification - denitrification process using a trickling filter[J]. *Water and Environment Journal*, 2016, 30(3-4): 190-196.
- [18] Zondervan E, Blankert B, Betlem B H, et al. Development of a multi-objective coagulation system for long-term fouling control in dead-end ultrafiltration[J]. *Journal of Membrane Science*, 2008, 325(2): 823-830.
- [19] Schlindwein A D, Rigotto C, Simoes C M, et al. Detection of enteric viruses in sewage sludge and treated wastewater effluent[J]. *Water Sci Technol*, 2010, 61(2): 537-544.
- [20] Zhang C M, Xu L M, Xu P C, et al. Elimination of viruses from domestic wastewater: Requirements and technologies[J]. *World J Microbiol Biotechnol*, 2016, 32(4): 69.
- [21] Courault D, Albert I, Perelle S, et al. Assessment and risk modeling of airborne enteric viruses emitted from wastewater reused for irrigation[J]. *Sci Total Environ*, 2017, 592: 512-526.
- [22] Amarasiri M, Kitajima M, Nguyen T H, et al. Bacteriophage removal efficiency as a validation and operational monitoring tool for virus reduction in wastewater reclamation: Review[J]. *Water Res*, 2017, 121: 258-269.

Sedimentation effect of flocculant PAC on bacteria and phage in the effluent of sewage treatment system

Hu hu, Yang Qingxiang

(College Of Life Science Henan Normal University, Xinxing 453007, China)

Abstract: To improve the efficiency of waste water treatment and reduce the loss of functional microorganisms, PAC was added to the effluents of an SBR reactor, and the microbes which were flocculated were refluxed into the reactor. The results indicated that the optimal concentration of PAC was 50 mg/L for the system. When the COD, N, P were 400 mg/L, 35 mg/L and 10 mg/L, the removal of COD, N and P was 95.2%, 94.2% and 94.7% respectively, which were 48.1%, 43.6% and 54.7% higher than the controls. The counts of phage and bacteria in the effluents were enumerated by using fluorescent staining methods under a laser confocal microscopy. The results demonstrated that the phage and bacteria could be settled very well by flocculant. The average settling rate of bacteria and bacteriophages is 50.2% and 21.4%, respectively. Therefore, the addition of flocculant can settle microorganisms very well in effluents, and the backflow of the microbes can retain functional microorganisms and improve sludge properties, thereby improving the sewage treatment effect.

Keywords: SBR reactor; activated sludge; phage; PAC

[责任编辑 王凤产]

(上接第 71 页)

- [15] Parvar R, Ghoorchi T, Shargh M S. Influence of dietary oils on performance, blood metabolites, purine derivatives, cellulase activity and muscle fatty acid composition in fattening lambs[J]. *Small Ruminant Research*, 2017, 150: 22-29.
- [16] 刘清玲, 吴珊, 崔梦冰. 一种合成 6-异硫氰酸酯嘌呤的新方法[J]. *河南科技学院学报*, 2017, 45(5): 70-72.
- [17] Khanna S, Jana B, Saha A, et al. Targeting cytotoxicity and tubulin polymerization by metal-carbene complexes on a purine tautomer platform[J]. *Dalton Transactions*, 2014, 43(26): 9838-9842.

Green synthesis of 6-isothiocyanato-9-benzyl purine

Liu Qingling, Wang Kaikai, Wu Shan

(Department of Chemistry and Chemical Engineering, Xinxing University, Xinxing 453000, China)

Abstract: The 6-isothiocyanato-9-benzyl-purine was obtained from 6-chloro-9-benzyl purine and silver thiocyanate. The synthetic conditions of 6-isothiocyanato-9-benzyl purine were optimized. 6-isothiocyanato-9-benzyl purine had a high yield (92%) when the reaction was carried out in the presence of toluene and H₂O component solvent which the volume ratio was 2:1 at 110 °C for 24 h catalyzed by 1 mol phase transfer catalyst of sodium dodecyl benzene sulfonate (SDBS). The structure of the resulting compounds was characterized by ¹H NMR, ¹³C NMR and HRMS. The results showed that the structure of the target products were consistent with that of the designed compounds.

Keywords: purine; isothiocyanate; phase transfer catalyst

[责任编辑 赵晓华]