

双香豆素在 SBR 工艺中污泥减量化作用的研究

李 军¹, 唐政坤¹, 杨佳夫²

(1. 沈阳建筑大学市政与环境工程学院, 辽宁 沈阳 110168; 2. 北京顺捷兴宏工程咨询有限公司, 北京 100000)

摘 要 目的 试验探究解偶联剂双香豆素在 SBR 工艺系统中对活性污泥的减量化作用以及对工艺运行效能的影响。方法 利用动态 SBR 反应器模拟 SBR 工艺, 不同质量浓度(0.3 mg/L、1 mg/L、3 mg/L、6 mg/L、10 mg/L)双香豆素投加到工艺系统中进行试验。结果 双香豆素能有效降低污泥产率。当双香豆素质量浓度为 10 mg/L 时, 产率较空白组降低了 32.4%。双香豆素在低质量浓度范围对氨氮的去除影响不明显。在质量浓度为 10 mg/L 时, 对 COD 的去除率表现出一定程度下降, 去除率均值为 77.9%, 比空白阶段下降 9%。在研究双香豆素对污泥沉降性以及活性的影响时, 结果显示: 双香豆素对污泥沉降性有较小影响, 当双香豆素浓度为 10 mg/L 时, SVI 值由空白组的 70.8 升高至 77.8。结论 双香豆素对污泥的活性影响较显著, 能够明显提高污泥的脱氢酶活性及呼吸速率。双香豆素对污泥减量化效果显著。

关键词 双香豆素; 污泥减量化; 脱氢酶活性; 解偶联剂

中图分类号 X5

文献标志码 A

Study on Sludge Reduction in SBR Process by Dicoumarin

LI Jun¹, TANG Zhengkun¹, YANG Jiafu²

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168;

2. Beijing Shun Jie Xing Hong Engineering Consulting Co. Ltd., Beijing, China, 100000)

Abstract: The effect of double coumarin in SBR process on the reduction of activated sludge and the efficiency of process operation were investigated. The SBR process was simulated by a dynamic SBR reactor, and different concentrations (0.3 mg/L, 1 mg/L, 3 mg/L, 6 mg/L, 10 mg/L) of dicoumarin were added to the process system for testing. The results show that dicoumarin can effectively reduce sludge yield. When the dicoumarin concentration was 10 mg/L, the yield was reduced by 32.4% compared with the blank group. The dicoumarin has almost no effect on the removal of ammonia nitrogen in the low concentration range. When the concentration

收稿日期: 2019-08-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(51778374)

作者简介: 李军(1978—), 男, 教授, 博士, 主要从事水污染控制理论与技术等方面研究。

of dicoumarin was 10 mg/L, the removal rate of COD showed a certain degree of decline, and the average removal rate was 77.9%, which was 9% lower than the blank stage. When studying the effect of dicoumarin on the sedimentation and activity of sludge, the results showed that dicoumarin had a small effect on the sedimentation of sludge. When the concentration of dicoumarin was 10 mg/L, the SVI value was blank. The 70.8 of the group increased to 77.8; the effect of dicoumarin on the activity of the sludge was significant, which could significantly increase the dehydrogenase activity and respiration rate of the sludge. The dicoumarin has a significant effect on sludge reduction.

Key words: dicoumarin; sludge reduction; dehydrogenase activity; uncoupling agent

目前,许多城市污水处理厂都面临着一个迫在眉睫的问题,就是废水生物处理技术过程当中会产生大量的剩余污泥,并且在处理过程中污水里很多污染物会存留在污泥里,因此污泥需要得到科学的处理.然而处理这些剩余污泥会花费大量处置费用,导致污水处理厂在运行上面临沉重的经济压力和环境压力.

化学解偶联剂污泥减量技术是直接作用在源头的污泥减量技术^[1]. 该技术方法简单、污泥减量高效,并且经济投资大幅减少,是目前污泥减量技术领域的研究热点之一^[2-5]. 污水处理目的是将有机物彻底矿化为CO₂,并且最理想的处理工艺是在完成矿化的同时产生最少量的剩余污泥^[6]. 据相关研究发现^[7-9],在废水处理系统中投加化学解偶联剂,会使得有机物的氧化和细胞内的氧化磷酸化解偶联,限制细胞从基质氧化中获取能量的能力,从而抑制细胞的生长,减少污泥的产生. 国外有学者研究证明^[10-12],解偶联剂可以使活性污泥减量化. 目前解偶联剂主要有氯酚类化合物、3,3',4',5-四氯水杨酰苯胺、羰基-氰-对三氟甲氧基苯肼、氨基酸、甲苯等. 关于解偶联剂对污泥减量效果的研究存在很多,但大多数的解偶联剂都存在有毒,大量使用会抑制活性污泥的去污效能. 笔者以双香豆素为化学解偶联剂,考察双香豆素对活性污泥的减量效果、脱氮效能、沉降性能及污泥活性的影响情况. 试验发现双香豆素对活性污泥减量效果明显,且经济适用.

1 材料与方法

1.1 试验材料

活性污泥取自实验室 SBR 反应器中培养的活性污泥.

1.2 人工模拟污水配制

采用人工模拟污水,具体成分见表 1.

表 1 人工模拟城市生活污水组分

Table 1 Artificial simulation of urban domestic sewage

成分	质量浓度/(mg·L ⁻¹)
葡萄糖	300
氯化铵	200
磷酸二氢钾	10
氯化钙	60
硫酸镁	60
碳酸氢钠	800

1.3 试验方法

用驯化成功的污泥试验,向反应器分阶段依次加入不同质量浓度的双香豆素,由于双香豆素有效作用范围未知,因此将质量浓度梯度设置为 0.3 mg/L、1 mg/L、3 mg/L、6 mg/L、10 mg/L,以固体形式直接投至正在曝气中的反应器,每天投加一次,每个质量浓度阶段持续两周试验. 当污泥质量浓度达到 4 000 mg/L,则进行排泥.

2 结果分析

2.1 双香豆素对污泥产量及产率的影响

双香豆素对污泥质量浓度影响曲线如图

1 所示. 试验 0 ~ 70 d 为培养污泥和驯化污泥阶段, 70 d 后为投加双香豆素试验阶段. 投加双香豆素后, 在相同的排泥条件下 (即每到 4 000 mg/L 则进行排泥, 排至 2 000 mg/L 左右), 空白阶段平均每天增加 105.5 mg/L; 0.3 mg/L 双香豆素下, 固体悬浮物质量浓度 ρ (MLSS) 平均每天增加 103.3 mg/L; 1 mg/L 双香豆素下, ρ (MLSS) 平均每天增加 96.5 mg/L; 3 mg/L 双香豆素下, ρ (MLSS) 平均每天增加 86.0 mg/L; 6 mg/L 双香豆素下, ρ (MLSS) 平均每天增加 90.1 mg/L, 10 mg/L 双香豆素下, ρ (MLSS) 平均每天增加 67.6 mg/L. 与空白阶段相比, 污泥的平均日增量分别降低了 2.1%、6.4%、18.5%、14.6%、35.9%.

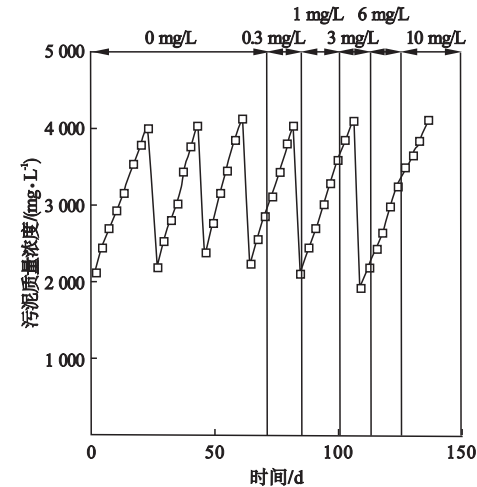


图1 双香豆素对污泥质量浓度影响
Fig.1 Effect of dicoumarol on MLSS

由此可见,在不考虑进水负荷的条件下,仅从反应器内污泥的增加量上看,随着双香豆素投加量的增加,污泥的平均日增量有明显的下降趋势.而在双香豆素投加量为 6 mg/L 时出现了轻微“反弹”,可能是因为在此质量浓度下细菌处于在适应过程中,一方面污泥自身新细胞的合成所需的能量受到限制,另一方面高浓度解偶联剂的添加造成部分细菌死亡,导致体系中的 MLSS 发生变化,出现反弹现象,该现象与文献[14]研究结果相似.

图 2 表示不同质量浓度双香豆素作用下污泥的表观产率.为进一步明确不同质量浓度双香豆素对活性污泥减量作用的效果,用污泥表观产率(Y_{obs})来表征.与空白阶段的产率均值 0.34 相比,双香豆素质量浓度为 0.3 mg/L 时,变化不明显;双香豆素质量浓度为 1 mg/L 时,产率平均值为 0.31,与空白阶段相比产率有较明显降低;双香豆素质量浓度为 3 mg/L 时,产率均值为 0.28;双香豆素质量浓度为 6 mg/L 时,产率均值为 0.25;双香豆素质量浓度为 10 mg/L 时,产率均值为 0.23.

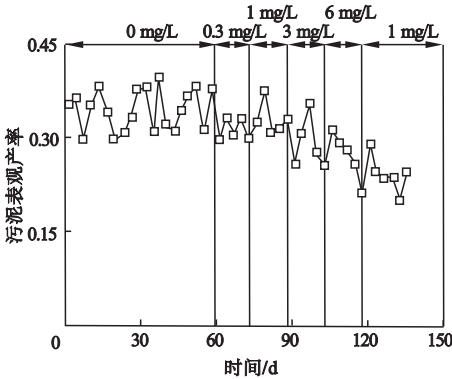


图2 双香豆素对 Y_{obs} 影响
Fig.2 Effect of dicoumarol on Y_{obs}

从以上分析可知,随着双香豆素质量浓度的升高,污泥表观产率有明显的下降趋势,双香豆素质量浓度越高,污泥表观产率越低.但是在不同的质量浓度条件下,产率降低的程度有所不同,双香豆素质量浓度在 3 ~ 6 mg/L 时产率下降得最为明显,当双香豆素质量浓度达到 6 mg/L 后,污泥产率降低幅度继而变下.分析原因是由于使用解偶联剂,解偶联剂会在污泥混合液中电离出游离的 H^+ ,游离的 H^+ [15-16] 在渗透的作用下,降低了细胞膜两侧的质子浓度梯度,从而使得氧化磷酸化和底物的氧化降解发生解偶联现象,导致细胞分解有机物所获得的能量通过自身合成而完成,因此污泥的产量将下降.

2.2 双香豆素对 COD、氨氮去除率的影响

图 3 为不同质量浓度的双香豆素对活性

污泥去除 COD 的影响. 可以看出,空白阶段的 COD 去除率平均值为 84.6%,当双香豆素质量浓度为 0.3 mg/L 时,去除率均值为 85.3%;质量浓度为 1 mg/L 时,去除率均值为 84.09%;质量浓度 3 mg/L 时,去除率均值为 84.18%;质量浓度 6 mg/L 时去除率均值为 83.1%,仅在双香豆素质量浓度为 10 mg/L 时,表现出一定程度下降,而此时去除率均值为 77.9%,仅比空白阶段下降 9%.

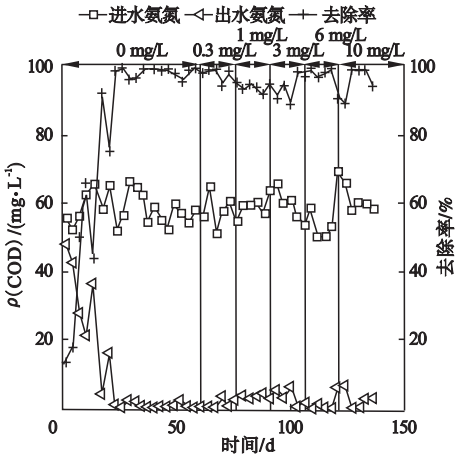


图3 双香豆素对 COD 影响

Fig. 3 Effect of dicoumarol on COD

图 4 为投入不同质量浓度的双香豆素对氨氮去除效果的影响. 可以看出,空白阶段 NH_4^+ 去除率平均值为 96.7%,双香豆素质量浓度为 0.3 mg/L 时,去除率均值为 95.2%;质量浓度为 1 mg/L 时,去除率均值为 92.3%;质量浓度 3 mg/L 时,去除率均值为 98.2%;质量浓度 6 mg/L 时,去除率均值为 94.5%;质量浓度 10 mg/L 时,去除率均值为 97.2%.

对于大多数解偶联剂来说,随着质量浓度升高,反应器处理效能均有明显下降. 而双香豆素质量浓度的升高,对 COD 去除率并没有明显影响,表明双香豆素只是降低了细胞的合成量而不是降低底物的氧化降解量. 整个试验过程中,双香豆素在低质量浓度范围($\leq 10 \text{ mg/L}$)作为解偶联剂使用,对污泥微生物没有明显的毒副作用,微生物对基质

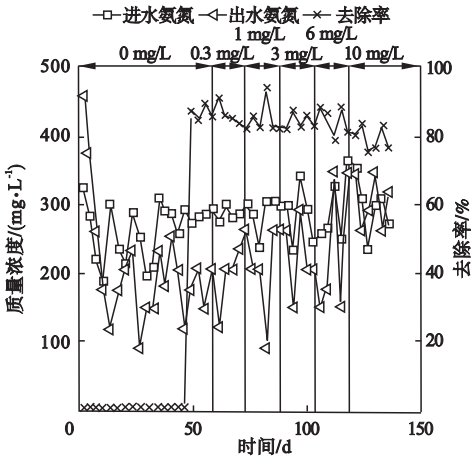


图4 双香豆素对氨氮影响

Fig. 4 Effect of dicoumarol on NH_4^+

的去除没有因为双香豆素的添加而受到明显抑制,理论上解偶联代谢抑制了活性污泥的合成代谢,会造成水中氮、磷去除率的下降,但由于 SBR 系统特有的好氧—缺氧(曝气—沉淀)循环过程,使实验中出水的氮、磷含量没有出现显著的增加^[1],依然能保证较高的出水水质.

2.3 双香豆素对活性污泥的沉降性影响

试验过程中污泥容积指数的变化规律见图 5. 从图中可以看出,空白阶段污泥容积指数 SVI 平均值为 70.8,双香豆素质量浓度为 0.3 mg/L 时, SVI 平均值为 71.5;质量浓度为 1 mg/L 时, SVI 平均值为 72.7;质量浓度 3 mg/L 时, SVI 平均值为 71.6;质量浓度

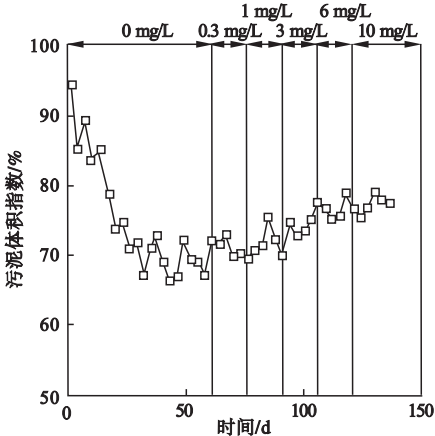


图5 双香豆素对污泥 SVI 值的影响

Fig. 5 Effect of dicoumarol on SVI

6 mg/L时, *SVI* 平均值为 76.6; 质量浓度 10 mg/L时, *SVI* 平均值为 77.8.

分析认为, 双香豆素浓度的升高会使污泥的 *SVI* 值表现出升高趋势, 可能是因为双香豆素的加入使 *SBR* 系统内微生物的群落结构发生了一定改变, 导致污泥的 *SVI* 值升高; 但升高幅度较小, 活性污泥依然具有良好的沉降性能, 说明双香豆素对系统内微生物群落结构的影响较小, 污泥的结构没有发生大的变化, 进而对污泥沉降性能的影响也较小.

2.4 双香豆素对活性污泥的活性影响

双香豆素对污泥的脱氢酶活性 (*DHA*) 影响如图 6 所示. 在加入不同质量浓度双香豆素后, 污泥的 *DHA* 变化利用脱氢酶活性 (*DHA*) 和比好氧呼吸速率 (*SOUR*) 这两个指标来表示. 从图 6 中可以看出, 空白阶段 *DHA* 平均值为 5.05, 双香豆素质量浓度为 0.3 mg/L 时, *DHA* 平均值为 5.35, 双香豆素质量浓度为 1 mg/L 时, *DHA* 平均值为 6.55, 双香豆素质量浓度为 3 mg/L 时, *DHA* 平均值为 7.53, 双香豆素质量浓度为 6 mg/L 时, *DHA* 平均值为 7.15, 双香豆素质量浓度为 10 mg/L 时, *DHA* 平均值为 8.41.

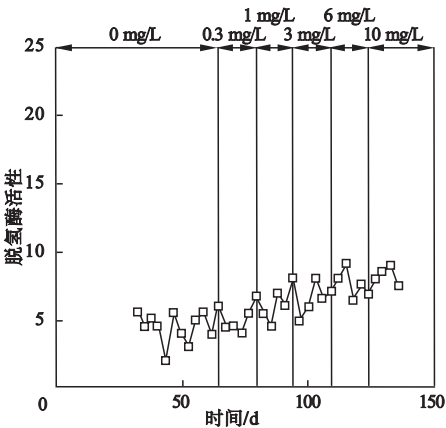


图 6 双香豆素对 *DHA* 影响

Fig. 6 Effect of dicoumarol on *DHA*

系统内加入双香豆素后, 污泥比好氧呼吸速率 (*SOUR*) 变化情况如图 7 所示. 空白阶段 *SOUR* 平均值为 6.82, 双香豆素质量浓度为 0.3 mg/L 时, *SOUR* 平均值为 7.33, 双香豆

素质量浓度为 1 mg/L 时, *SOUR* 平均值为 8.76, 双香豆素质量浓度为 3 mg/L 时, *SOUR* 平均值为 9.30, 双香豆素质量浓度为 6 mg/L 时, *SOUR* 平均值为 10.79, 双香豆素质量浓度为 10 mg/L 时, *SOUR* 平均值为 12.71.

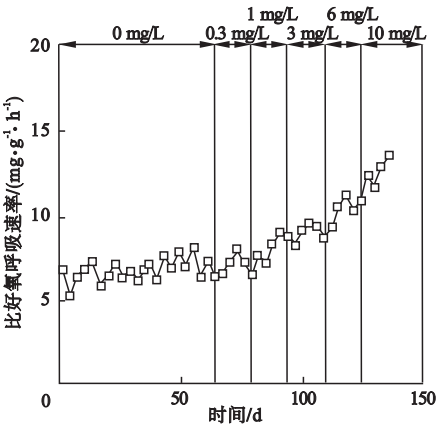


图 7 双香豆素对 *SOUR* 影响

Fig. 7 Effect of dicoumarol on *SOUR*

以上数据可以看出, 随着双香豆素质量浓度的升高, 污泥的脱氢酶活性有明显的升高趋势, 这说明双香豆素能够直接使污泥的活性增强. *SOUR* 与 *DHA* 变化趋势较为相似, 随着双香豆素质量浓度增加, *SOUR* 同样表现为升高趋势. 两者的变化趋势说明, 双香豆素能够提高污泥中微生物的活性. 分析认为, 这可能是由于双香豆素的加入造成了能量泄漏, 间接提高了微生物活性, 也增大了氧的消耗, 但在解偶联作用下, *SOUR* 的增加并不与污泥生长相关联, 而是发生能量解联, 且污泥活性越高, 用于代谢调节的能量解偶联就越大, 污泥产率下降就越多.

3 结 论

(1) 双香豆素能有效降低污泥产率. 当双香豆素质量浓度为 10 mg/L 时, 产率较空白组降低了 32.4%. 双香豆素在低质量浓度范围对氨氮的去除几乎无影响. 双香豆素质量浓度的升高, 对 *COD* 去除率并没有明显影响, 仅在双香豆素质量浓度为 10 mg/L 时, 表现出一定程度下降, 此时去除率均值为

77.9%,仅比空白阶段下降9%.

(2)双香豆素对污泥沉降性有较微弱的影响.当双香豆素质量浓度为10 mg/L时,SVI值由空白组的70.8升高至77.8,污泥依然有较好的沉降性能.

(3)双香豆素对污泥的活性影响较显著,能够明显提高污泥的脱氢酶活性及呼吸速率.

参考文献

- [1] 王涛,叶成全,李伟民,等.化学解偶联剂对A~2/O工艺污泥产率的影响[J].中国给水排水,2011,27(3):102-105.
(WANG Tao, YE Chengquan, LI Weimin, et al. Effect of chemical uncoupler on sludge yield of A~2/O process[J]. China water & wastewater, 2011, 27(3): 102-105.)
- [2] WEI Yuansong, HOUTEN R T V, BORGER A R, et al. Minimization of excess sludge production for biological wastewater treatment[J]. Water research, 2003, 37(18): 4453-4467.
- [3] LIU Yu, TAY J H. Strategy for minimization of excess sludge production from the activated sludge process[J]. Biotechnology advances, 2001, 19(2): 97-107.
- [4] 陈国伟,席鹏鸽,徐得潜,等.解偶联用于降低污泥产率的研究进展[J].工业用水与废水, 2004, 35(6): 14-16.
(CHEN Guowei, XI Pengge, XU Deqian, et al. Research progress of uncoupling for reducing sludge yield[J]. Industrial water and wastewater, 2004, 35(6): 14-16.)
- [5] DETCHANAMURTHY S, GOSTOMSKI P A. Metabolic uncouplers in environmental research: a critical review[J]. Reviews in chemical engineering, 2012, 28(4/5/6): 309-317.
- [6] 蒋小龙,叶芬霞.化学解偶联剂对污泥产率的比较研究[J].环境科学研究, 2006(4): 115-118.
(JIANG Xiaolong, YE Fenxia. Comparative study on sludge yield of chemical uncoupler[J]. Environmental science research, 2006(4): 115-118.)
- [7] STRAND S E, HAREM G N, STENSEL H D. Activated sludge yield reduction using chemical uncouplers[J]. Water environ. res., 1999, 71(4): 454-458.
- [8] LOW W W. Uncoupling of metabolism to reduce biomass production in activated sludge process[J]. Water res., 2000, 34(12): 3204-3212.
- [9] CHEN G H, MO H K, LIU Y. Utilization of a metabolic uncoupler, TCS to reduce sludge growth in activated sludge culture[J]. Water res., 2002, 36(8): 2077-2083.
- [10] 叶成全.多种解偶联剂对A~2/O工艺污泥减量效果的研究[D].重庆:重庆大学,2010.
(YE Chengquan. Study on the effect of various uncoupling agents on the sludge reduction of A~2/O process[D]. Chongqing: Chongqing University, 2010.)
- [11] 王阿林.解偶联剂(TCS)对污泥减量化及出水水质的影响研究[D].西安:西北大学, 2013.
(WANG Alin. Study on the effect of uncoupler (TCS) on sludge reduction and effluent quality [D]. Xi'an: Northwest University, 2013.)
- [12] 陈志英.解偶联代谢用于污泥减量化的研究[D].上海:同济大学,2006.
(CHEN Zhiying. Study on uncoupling metabolism for sludge reduction [D]. Shanghai: Tongji University, 2006.)
- [13] 金幼平,杨雪英,陈昱,等.活性污泥INT-脱氢酶活性检测方法的改进[J].中国给水排水, 2016, 32(22): 153-156.
(JIN Youping, YANG Xueying, CHEN Gang, et al. Improvement of INT-dehydrogenase activity detection method for activated sludge [J]. China water & wastewater, 2016, 32(22): 153-156.)
- [14] 唐琼,林海波,林松.解偶联代谢对活性污泥工艺中剩余污泥的减量化作用[J].四川理工学院学报(自然科学版), 2011, 24(5): 501-504.
(TANG Qiong, LIN Haibo, LIN Song. Reducing Effect of uncoupling metabolism on excess sludge in activated sludge process[J]. Journal of Sichuan university of science and technology (natural science), 2011, 24(5): 501-504.)
- [15] DENISOVAS S, KOTOVAE A, KHAILOVAL S, et al. Tuning the hydrophobicity overcomes unfavorable deprotonation making octylamino-substituted 7-nitrobenz-2-oxa-1, 3-diazole (noctylamino- NBD) a protonophore and uncoupler of oxidative phosphorylation in mitochondria[J]. Bioelectrochemistry, 2014, 98: 30-38.
- [16] MARTINEAU L C. Simple thermodynamic model of unassisted proton shuttle uncoupling and prediction of activity from calculated speciation, lipophilicity, and molecular geometry[J]. Journal of theoretical biology, 2012, 303(21): 33-61.

(责任编辑:杨永生 英文审校:刘永军)