

铜离子与解偶联剂协同下的污泥减量作用

马宗凯¹, 田禹², 程寒飞¹

(1. 中冶华天工程技术有限公司, 马鞍山 243005; 2. 哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 哈尔滨 150090)

摘要:采用间歇式活性污泥培养装置, 以 2,6-二氯苯酚(DCP)作为解偶联剂, 浓度为 20 mg/L, Cu^{2+} 浓度为 1 mg/L, 加入到间歇式活性污泥反应器中. 通过 30 d 的连续运行发现, COD 去除效率相比对照实验下降 7%, 污泥减量达 75%, 且出水中 DCP 的平均浓度为 0.28 mg/L, Cu^{2+} 的去除率达到 90% 以上, 但污泥沉降性和污泥对 N、P 的去除率下降, 污泥活性也降低. 镜检发现, 污泥中丝状菌增多, 原生动物和后生动物数量和种类减少. 结果表明, Cu^{2+} 和 DCP 对污泥减量有明显的协同作用, 在活性污泥工艺中运用铜离子和解偶联剂联合来限制污泥产率是可行的.

关键词:活性污泥; 污泥减量; 铜离子; 解偶联剂

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2007)08-1697-06

Reduction of Excess Sludge Production by Cooperation Action of Cu^{2+} and Uncoupler

MA Zong-kai¹, TIAN Yu², CHENG Han-fei¹

(1. Huatian Engineering & Technology Corporation, MCC, Maanshan 243005, China; 2. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: This research was on sequencing batch reactor activated sludge system, using 2,6-dichlorophenol as uncoupler with the concentration of 20 mg/L, using Cu^{2+} with the concentration of 1 mg/L, adding into the SBR activated sludge system. Through 30 days continuously operation, we discovered that the removal efficiencies of COD was 7% lower than the control experiment, and sludge reduction would reach 75%, while the average concentration of 2,6-dichlorophenol was 0.28 mg/L in the effluent, and the removal efficiency of Cu^{2+} was over 90%. But the sludge settleability and the removal efficiencies of nitrogen and phosphorus dropped, as well as sludge activity. According to the microscope examine, we discovered filamentous bacteria in the sludge increased, while quantity and type of protozoon and metazoa reduced. The result indicated that Cu^{2+} and 2,6-dichlorophenol had the obvious cooperation to the sludge reduction, so using Cu^{2+} and uncoupler to limit the sludge yield in the activated sludge system was feasible.

Key words: activated sludge; sludge reduction; Cu^{2+} ; uncoupler

活性污泥工艺是目前城市污水处理厂应用最广泛的污水生物处理技术, 但该工艺在运行过程中会产生大量的剩余污泥, 其处理成本占到了污水厂运行总费用的 25% ~ 65%^[1]. 为降低污水处理厂的运行成本, 亟待解决的问题是经济高效地处理与处置剩余污泥或最大程度地降低剩余污泥产率. 活性污泥工艺中添加解偶联剂能够不同程度地减少剩余污泥产率^[2~6], 而铜离子对活性污泥生长也具有一定的抑制作用^[7~12]. 关于铜离子与解偶联剂同时对活性污泥作用研究在国内外还鲜见报道. 2,6-二氯苯酚是一种化学解偶联剂, 与其他化学解偶联剂相比, 具有污泥减量效果好、毒性较低、价格便宜等优点, 但目前对 DCP 的污泥减量效果研究还较少. 大量研究也证实, 低浓度 Cu^{2+} 就会对活性污泥产生抑制作用^[8, 10~12]. 鉴于此, 本实验将 Cu^{2+} 与 DCP 分别或同时添加到间歇式活性污泥系统中, 研究其对污泥产率、工艺运行效能、活性污泥性能和活性污泥中微生物种群的影响, 考察在活性污泥工艺中铜离子和解

偶联剂对污泥减量的协同作用, 以期工程应用提供理论支持.

1 材料与方法

1.1 实验材料

本实验接种污泥取自哈尔滨文昌污水处理厂曝气池的沉降污泥.

2,6-二氯苯酚(DCP), 为天津市光复精细化工研究所生产, 纯度为 A.R. 级.

1.2 实验装置与方法

实验装置为实验室规模的间歇式活性污泥反应器, 其有效容积为 13.2 L. 实验用水为人工模拟废水, 为得到较高的污泥产率, 将废水中 COD 确定为 700 mg/L, 且 C:N:P = 100:5:1, 具体水质如表 1 所示

收稿日期: 2006-10-10; 修订日期: 2007-01-15

基金项目: 哈尔滨市青年科学研究基金项目(2003AFXXJ025)

作者简介: 马宗凯(1980 ~), 男, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向为污泥减量化, E-mail: mabo1209@126.com

(TN = 35 mg/L, NH₄⁺ -N = 25 mg/L, TP = 7 mg/L).

30 d 的连续运行参数:曝气 10 h,静置 2 h,排水比 60%,pH 在 7 左右,DO 在 6 mg/L 左右,MLSS 维持在 2 500 mg/L 左右, *t* 为 25℃.

表 1 人工模拟废水的组成与浓度/mg•L⁻¹

Table 1 Components and concentrations of synthetic wastewater/mg•L ⁻¹					
成分	浓度	成分	浓度	成分	浓度
葡萄糖	656	CoCl ₂	0.5	MnSO ₄	3
尿素	21.4	磷酸二氢钾	35	FeSO ₄	0.5
硫酸铵	117	MgSO ₄	20	CaCl ₂	6

在 4 个相同的反应器(R1、R2、R3、R4)中,接种已驯化好的活性污泥.在进水时以固体形式向 R2 和 R4 反应器中投加 DCP,每天 2 次,每次 0.264 g,相当于 DCP 浓度 20 mg/L(有研究表明,在该污泥浓度下,DCP 的最佳作用浓度为 20 mg/L);向 R3 和 R4 反应器中添加适量的 CuSO₄•5H₂O 固体,使最终 Cu²⁺ 浓度为 1 mg/L(有研究表明^[8,12],Cu²⁺ 浓度大于 5 mg/L 时,将严重抑制污泥生长,为了保证系统正常运行,故将 Cu²⁺ 浓度确定为 1 mg/L);R1 不加任何药剂作为空白对照.

1.3 测定项目与方法

COD 采用重铬酸钾法测定;MLSS 和 MLVSS 采用重量法测定;污泥体积指数(SVI)采用烘干沉重法测定;氨氮和总氮分别采用钠试剂光度法和过硫酸钾氧化-紫外分光光度法;总磷采用钼锑抗分光光度法测定;水中铜离子浓度采用二乙氨基二硫代甲酸钠萃取光度法测定;水中 DCP 浓度采用 4-氨基安替比林直接光度法测定^[13].

比气吸收速率(SOUR)表示单位重量的微生物在单位时间内所利用的溶解氧量,其测定方法^[1,4]:在 250 mL 的溶氧瓶中加入一定量的葡萄糖溶液和约 300 mL 污泥,插入 DO 电极,加入溶解氧饱和的蒸馏水至满瓶,不留顶部空间,连续测定溶解氧 20 min,溶解氧消耗速率除以 MLVSS 即为 SOUR 值.

污泥的脱氢酶活性(DHA)表示生物细胞对其基质降解能力的强弱,其测定方法按照文献[16]进行,在盛有 10 mL 污泥混合液的 10 mL 离心管中先后加入 1 mL 氯化三苯基四氮唑(TTC, 0.5%)和 5 滴 Na₂SO₃ 溶液(质量分数为 0.5%),置于 20℃ 的暗处 1 h;于离心机在 3 000 r/min 条件下离心 5 min,弃去上清液后在离心管内加入 10 mL 乙醇,将生成的 TF 提取出来,再在 3 000 r/min 下离心 5 min,然后用分光光度计在 480 nm 处测定三苯基甲(TF)的生成量.

2 结果与讨论

2.1 DCP 对污泥产率的影响

30 d 连续间歇式运行期间,4 个反应器中累计剩余污泥增长情况如图 1 所示.从图 1 可见,DCP 单独作用下污泥产率相对于对照降低约 44%;从 R3 和 R4 比较可以看出,当 Cu²⁺ 存在时 DCP 能够使污泥产率相对下降 68%,远大于未添加 Cu²⁺ 时的污泥产率,可见 Cu²⁺ 的存在能增强 DCP 对污泥生长的抑制作用;在二者共同作用下,运行前 4 d,污泥基本不生长,说明活性污泥受到了严重的抑制,但到运行 5 d 以后,剩余污泥量慢慢的开始增长,说明活性污泥已经开始适应了加入的 Cu²⁺ 和 DCP,相对于对照实验污泥产率下降达 75%,减量值大于二者单独作用下剩余污泥减量的总和,说明 Cu²⁺ 和 DCP 共同作用效果不单纯是二者单独作用之和,二者浓度与污泥减量之间存在着某种未知的关系.由 R2、R3 和 R4 反应器中累计剩余污泥量与时间的曲线趋势可以看出,在 30 d 的连续运行期间,活性污泥微生物不会对 Cu²⁺ 和 DCP 产生抗性;也表明 Cu²⁺ 与 DCP 在活性污泥减量上有很好的协同作用.

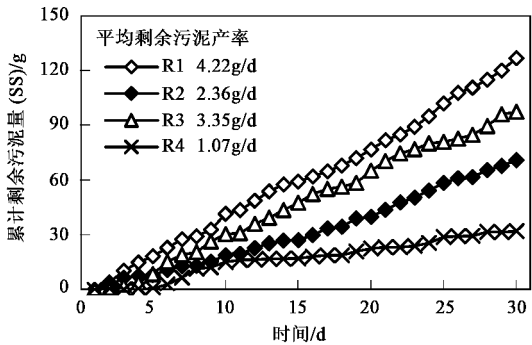


图 1 在 30 d 运行期间 4 个反应器中累计剩余污泥量
Fig.1 Cumulative excess sludge production in the 30-day operation of the four reactors

2.2 DCP 对系统运行效能的影响

30 d 连续运行期间 4 个反应器中活性污泥的 COD 去除率情况如图 2 所示.由图 2 可见,在单独 Cu²⁺ 或单独 DCP 作用下污泥的 COD 去除率相对于对照降低较小,分别为 1.98% 和 2.78%,这表明 Cu²⁺ 和 DCP 对污泥的基质去除效果影响较小,该结果与国内外其他研究者采用 2,4,6-三氯苯酚^[14]、2,4-二氯苯酚^[15] 和 TCS^[1,2,4] 等所得结论相同,也与陈国玮等^[8] 和谢冰^[7] 研究铜离子对污泥的 COD 去除率影响的结果相同;在 Cu²⁺ 存在下,DCP 的引入

可使污泥的 COD 去除率下降约 3%;在二者共同作用下污泥的 COD 去除率相对于对照也仅下降了 5.12% .这说明了在二者单独作用或共同作用对污泥的 COD 去除效果影响都较小,且都有较高的 COD 去除率.可见, Cu^{2+} 和 DCP 协同污泥减量的同时并不会严重影响污泥对基质的去除效果.

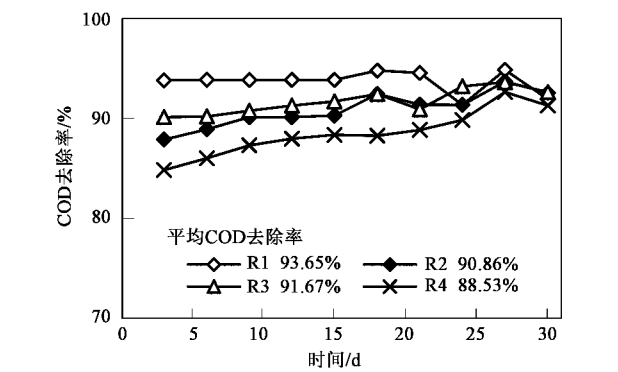


图2 运行30d期间4个反应器中污泥COD去除率
Fig.2 COD removal efficiencies in the 30-day operation of the four reactors

30 d连续运行期间4个反应器中对N、P的去除效果如图3和图4所示.由于本实验采用的连续曝气后沉淀的间歇式运行方式,造成了好氧-厌氧循环的条件,发生了硝化与反硝化作用,故4个反应器中污泥的脱氮除磷效果都较好.由图3和图4可知,在单独 Cu^{2+} 或单独 DCP 作用或二者共同作用对活性污泥的脱氮除磷效果都有不同程度的下降;单独 Cu^{2+} 作用比单独 DCP 作用对氮的去除效果要好,二者的去除率下降分别为 11.35% 和 13.69%;但单独 DCP 作用对磷的去除效果明显好于单独 Cu^{2+} 作用,前者去除率只下降 5.25%,后者却下降了 29.98%; Cu^{2+} 和 DCP 共同作用下,活性污泥对 N、P 的去除率都下降了约 34%.这说明系统对氮磷的去除存在一定的同步性;DCP 和 Cu^{2+} 都将会影响污泥的脱氮除磷效果, Cu^{2+} 和 DCP 对污泥的氮磷去除效果的影响也存在协同作用,且作用效果大于二者单独作用之和.

图5表示4个反应器出水中氨氮浓度.从图5中可以看出,在单独 DCP 作用下氨氮去除率相比对照下降了 13.69%;在单独 Cu^{2+} 作用水中氨氮去除率相比对照下降 11.15%;在二者共同作用下氨氮去除率相比对照下降 37.78%.可见污泥对氨氮去除效果的影响基本与对氮去除效果的影响一致.

为了研究污泥对 Cu^{2+} 和 DCP 的去除效果,分别测定了反应器出水中 Cu^{2+} 和 DCP 的浓度,结果见表

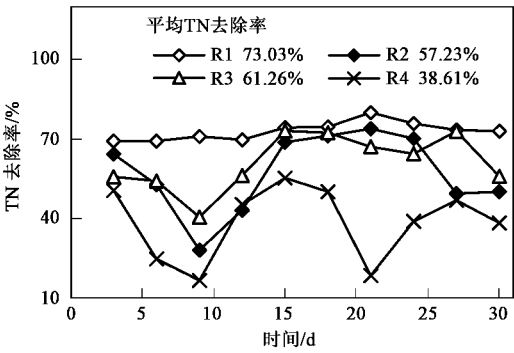


图3 运行30d期间4个反应器中的总氮去除率
Fig.3 TN removal rates in the 30-day operation of the four reactors

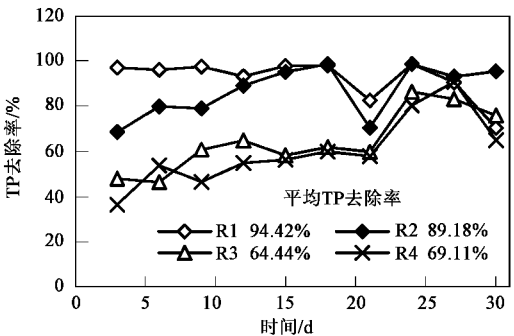


图4 运行30d期间4个反应器中的出水总磷去除率
Fig.4 TP removal rates in the 30-day operation of the four reactors

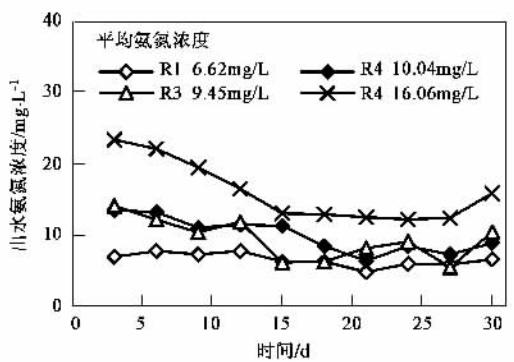


图5 运行30d期间4个反应器中的出水氨氮浓度
Fig.5 Effluent NH_4^+ -N concentrations in the 30-day operation of the four reactors

2和表3.由表2中可以看出,未加DCP的反应器中 Cu^{2+} 的平均去除率为 79%,加入 DCP 的反应器中 Cu^{2+} 的平均去除率上升到 93%,DCP 的加入使 Cu^{2+} 的平均去除率提高约 14%;但 DCP 的存在能提高活性污泥对铜离子去除效果的作用机理还不清楚.从

表 3 中还可知, Cu^{2+} 作用使出水中 DCP 浓度由 0.343 mg/L 下降到 0.073 mg/L, Cu^{2+} 的存在将会降低污泥对 DCP 的去除效果; 但污泥吸附 DCP 的机理尚不清楚, 这对更深入研究解偶联剂的污泥减量作用机理很重要, 因此对于污泥吸附解偶联剂的机理很有必要进一步研究.

表 2 运行 30 d 期间反应器出水中 Cu^{2+} 的浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

Table 2 Effluent Cu^{2+} concentrations in the 30-day operation of the reactors/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

时间	反应器	
	R3	R4
第 8 d	0.233	0.104
第 15 d	0.109	0.023
第 23 d	0.174	0.039
第 30 d	0.324	0.131
平均	0.210	0.074

表 3 运行 30 d 期间反应器出水中 DCP 的浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

Table 3 Effluent DCP concentrations in the 30-day operation of the reactors/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

时间	反应器	
	R2	R4
第 8 d	0.047	0.682
第 15 d	0.047	0.004
第 23 d	0.025	0.089
第 30 d	0.174	0.343
平均	0.073	0.280

2.3 DCP 对污泥性能的影响

30 d 连续运行期间 4 个反应器中污泥沉降性能如图 6. 从图 6 中可以看出, 单独 Cu^{2+} 作用和单独 DCP 作用或二者共同作用都会降低污泥的沉降性能. Cheng 等^[4] 在研究浓度为 1.5 mg/L 的铜离子对活性污泥系统的影响实验中也发现, 铜离子的存在能降低污泥的沉降性能. 二者共同作用比单独作用对污泥沉降性能的影响更大, 但 4 个反应器中的污泥 SVI 值都在 100 以内, 说明 4 个反应器都一直保持良好的状态, 没有出现污泥膨胀问题. 这表明在活性污泥中添加低浓度的 Cu^{2+} 或 DCP 是不会严重影响污泥的沉降性能的. 国内外许多学者关于解偶联剂的研究也都有类似的结论, 叶芬霞等^[1,2] 和 Cheng 等^[4] 在研究 TCS 对活性污泥的作用时发现, 污泥的 SVI 值只是略微受到 TCS 加入的影响, 但污泥沉降性能一直保持良好的状态. 此外, 可以推测, 污泥沉降性能下降程度与 Cu^{2+} 和 DCP 浓度成正相关, 控制二者的投加量是保证系统正常运行的关键.

运行期间 4 个反应器中污泥的比耗氧速率 (SOUR) [$\text{O}_2/(\text{MLVSS}\cdot\text{d})$] 和脱氢酶活性 (DHA)

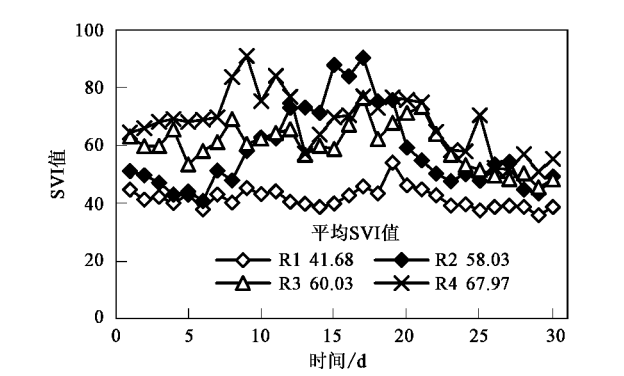


图 6 运行 30 d 期间 4 个反应器中的 SVI 值
Fig. 6 SVI values in the 30-day operation of the four reactors

[$\text{TF}/(\text{MLSS}\cdot\text{h})$], 结果如图 7 和图 8 所示. 从图中可以看出, 单独 DCP 作用下, 污泥的 SOUR 值和 DHA 值相比对照分别提高了 16.71% 和 7.16%; 单独 Cu^{2+} 作用下与对照相比污泥的 SOUR 值和 DHA 值分别下降 9.81% 和 31.98%; 可见 DCP 能增加污泥的活性, Cu^{2+} 的加入会抑制污泥的生物活性. Mayhew 等^[15] 在用 2,4-二硝基苯酚和鱼藤酮作实验时也发现了类似的现象, Cheng 等^[4] 和叶芬霞等^[1,2] 采用 TCS 作为解偶联剂研究污泥减量作用时也发现低浓度的 TCS 就能使污泥的 SOUR 值提高 30% 左右, 而对 DHA 的增加幅度很小. 可见由于解偶联剂种类和运行参数不同, 测定方法的差异, 所以目前尚无法定量说明解偶联剂对污泥活性的影响. 从图 7、8 中还可以看出, 在二者共同作用下, 污泥的 SOUR 值相比对照增加了 0.77%, 污泥的 DHA 值相比对照下降了 28.21%. 因此二者共同作用下污泥活性的变化情况还不能确定, 但可以推测的是, Cu^{2+} 和 DCP 对活性污泥的作用在污泥活性方面存在互补性.

在光学显微镜下观察 4 个反应器中污泥的生物相组成时发现, 4 个反应器的污泥中都存在大量种

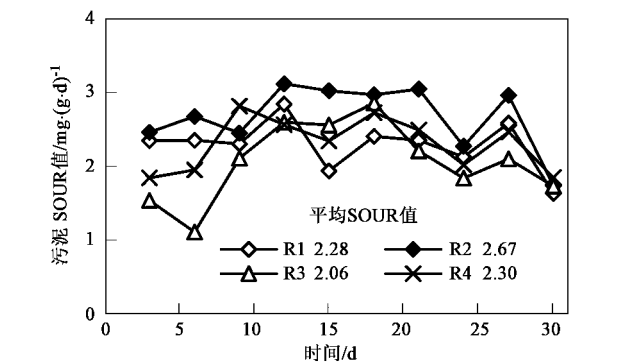


图 7 运行 30 d 期间 4 个反应器中的污泥 SOUR 值
Fig. 7 SOUR values of sludge in the 30-day operation of the four reactors

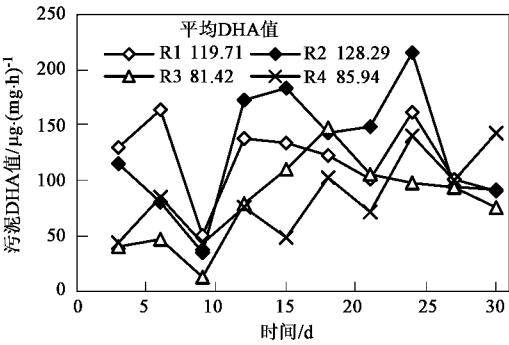


图 8 运行 30 d 期间 4 个反应器中的污泥脱氢酶活性
Fig.8 Dehydrogenase activities of sludge in the 30-day operation of the four reactors

类繁多的原生动物和后生动物,如草履虫、钟虫和轮虫等;且有 Cu^{2+} 存在的反应器污泥中的原生动物和后生动物的种类和数量要明显多于未加 Cu^{2+} 的反应器中的污泥;添加 DCP 的反应器污泥中的原生动物和后生动物的种类少于未添加 DCP 的反应器的污泥.

4 个反应器中的污泥扫描电镜照片见图 9 所示.可以看出,没有添加 Cu^{2+} 和 DCP 的反应器中的污泥比较密实,污泥絮体主要以球菌为主,带有少量的短杆菌,菌种较为单一;只添加 DCP 的反应器中的污泥絮体较未添加 DCP 的疏松,菌胶团呈长条形,优势菌种也发生了改变,球菌数量减少,出现了长杆菌、螺旋菌和丝状菌等;在单独 Cu^{2+} 的污泥絮体中出现了大量的空隙,且出现丝状菌和长杆菌,球菌的数量减少,菌胶团的形状比较凌乱; Cu^{2+} 和 DCP 同时作用的污泥絮体中也发现了较多的丝状菌、长杆菌和螺旋菌,球菌数量也下降,同时污泥絮体相比单独 Cu^{2+} 作用的污泥絮体疏松,说明污泥的沉降性

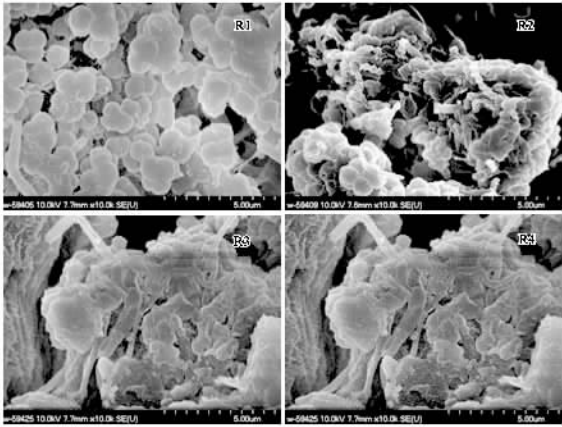


图 9 运行 30 d 后 4 个反应器中的污泥的扫描电镜照片
Fig.9 Scanning electron microscope of sludge after the 30-day operation of the four reactors

能进一步下降.这充分说明 DCP 和 Cu^{2+} 的加入使微生物的优势菌种和种群结构发生改变.这些改变也正是系统运行效能和污泥性能改变的微观体现.

3 结论

DCP 和 Cu^{2+} 单独或同时作用都能够不同程度地限制污泥生长, Cu^{2+} 的存在能增强 DCP 对污泥产率的抑制作用;污泥对 C、N、P 类营养物质的去除率都有不同程度地下降,且对 N、P 类营养物质去除率的影响程度远大于 C 类营养物质;污泥的沉降性能也不同程度下降,但都不会严重影响活性污泥工艺的运行效能和污泥沉降性能;DCP 能增强污泥的活性,而 Cu^{2+} 则会降低污泥活性,二者的存在都将改变污泥的微生物种群结构.可见,在活性污泥法反应器中添加 Cu^{2+} 和 DCP 能较好地协同限制污泥产率,具有较强的工程运用前景.采用该方法进行污泥减量化时,关键是药剂投加量的控制,一方面要尽可能地提高污泥减量效果,另一方面也要尽量降低铜离子和化学解偶联剂引起的负面效应.

参考文献:

[1] 叶芬霞. 解偶联代谢对活性污泥工艺中剩余污泥的减量化作用[D]. 杭州: 浙江大学, 2004. 36 ~ 43.

[2] 叶芬霞, 陈英旭, 冯孝善. 化学解偶联剂对活性污泥工艺中剩余污泥的减量化作用[J]. 环境科学学报, 2004, 24(3): 395 ~ 399.

[3] Liu Y. Effect of chemical uncoupler on the observed growth yield in batch culture of activated sludge[J]. Wat Res, 2000, 34(7): 2025 ~ 2030.

[4] Cheng G H, Mo H K, Liu Y. Utilization of a metabolic uncoupler 3,3',4',5-tetrachlorosalicylanilide (TCS) to reduce sludge growth in activated sludge culture [J]. Wat Res, 2002, 36(8): 2077 ~ 2083.

[5] Yang X F, Xie M L, Liu Y. Metabolic uncouplers reduce excess sludge production in an activated sludge process [J]. Process Biochemistry, 2002, 38: 1373 ~ 1377.

[6] Low E W, Chase H A. The use of chemical uncouplers for reducing biomass production during biodegradation[J]. Wat Sci Technol, 1998, 37(425): 399 ~ 402.

[7] 谢冰. 重金属对活性污泥微生物的影响[J]. 环境保护, 2004, 2(4): 13 ~ 15.

[8] 陈国玮, 席彭鸽, 陈慧. Cu^{2+} 和 Zn^{2+} 对活性污泥生长动力学的影响[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2005, 28(2): 150 ~ 154.

[9] Neufeld R D, Hermann E R. Heavy metal removal by acclimated activated sludge[J]. Wat Pollute Control Fed, 1975, 47: 310 ~ 319.

[10] Alberto C, Sara F, Fernando M. Effect of copper and zinc on the activated sludge bacteria growth kinetics[J]. Wat Res, 1998, 32: 1355 ~ 1362.

[11]

Madoni P, Davoli D, Gorbi G, *et al.* Toxic effect of heavy metals on the activated sludge protozoan community[J]. *Wat Res*, 1995, **30**: 135 ~ 141.

[12]

Ong S A, Lim P E, Seng C E. Effects of Cu(II) and Cd(II) on the performance of sequencing batch reactor treatment system[J]. *Process Biochemistry*, 2005, **40**: 453 ~ 460.

[13]

国家环保总局. 水与废水监测分析方法[M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002. 105 ~ 538.

[14]

Strand S E, Harem G N, Stensel H D. Activated sludge yield reduction using chemical uncouplers [J]. *Wat Environ Res*, 1999, **71** (4): 454 ~ 458.

[15]

Mayhew M, Stephenson T. Biomass yield reduction: is biochemical manipulation possible without affecting activated sludge process efficiency[J]. *Wat Sci Technol*, 1998, **38**(8 ~ 9): 137 ~ 144.

[16]

Japan Association for Sewage. Standard Examination Method for Wastewater[S]. Japan: 1984. 299 ~ 300.

《环境科学》征稿简则

1. 来稿报道成果要有创新性,论点明确,文字精炼,数据可靠.全文不超过 8000 字(含图、表、中英文摘要及参考文献).国家自然科学基金项目、国家科技攻关项目、国际合作项目或其它项目请在来稿中注明(在首页以脚注表示).作者投稿时请先登陆我刊网站(www.hjkn.ac.cn)进行注册,注册完毕后以作者身份登录,按照页面给出的提示信息投稿即可.
2. 稿件请按 GB 7713-87《科学技术报告、学位论文和学术论文的编写格式》中学术论文的规范撰写.论文各部分的排列顺序为:题目;作者姓名;作者工作单位、地址、邮政编码;中文摘要;关键词;中图分类号;英文题目;作者姓名及单位的英译名;英文摘要;关键词;正文;致谢;参考文献.
3. 论文题目应简练并准确反映论文内容,一般不超过 20 字,少用副标题.
4. 中文摘要不少于 300 字,以第三人称写.摘要内容包括研究工作的目的、方法、结果(包括主要数据)和结论,重点是结果和结论.英文摘要与中文对应,注意人称、时态和语言习惯,以便准确表达内容.
5. 前言包括国内外前人相关工作(引文即可)和本工作的目的、特点和意义等.科普知识不必赘述.
6. 文中图表应力求精简,同一内容不得用图表重复表达,要有中英文对照题目.图应大小一致,曲线粗于图框,图中所有字母、文字字号大小要统一.表用三线表.图表中术语、符号、单位等应与正文一致.
7. 计量单位使用《中华人民共和国法定计量单位》(SI).论文中物理计量单位用字母符号表示,如 mg(毫克),m(米),h(小时)等.科技名词术语用国内通用写法,作者译的新名词术语,文中第一次出现时需注明原文.
8. 文中各级标题采用 1,1.1,1.1.1 的形式,左起顶格书写,3 级以下标题可用(1),(2)……表示,后缩 2 格书写.
9. 文中外文字母、符号应标明其大小写,正斜体.生物的拉丁学名为斜体.缩略语首次出现时应给出中文全称,括号内给出英文全称和缩略语.
10. 未公开发表资料不列入参考文献,可在出现页以脚注表示.文献按文中出现的先后次序编排.常见文献书写格式为:
期刊:作者(外文也要姓列名前).论文名[J].期刊名,年,卷(期):起页 ~ 止页.
图书:作者.书名[M].出版地:出版社,年.起页 ~ 止页.
会议文集:作者.论文名[A].见(In):编者.文集名[C].出版地:出版社(单位),年.起页 ~ 止页.
学位论文:作者.论文名[D].保存地:保存单位,年份.
报告:作者.论文名[R].出版地.出版单位,出版年.
专利:专利所有者.专利题名[P].专利国别:专利号,出版日期.
11. 来稿文责自负,切勿一稿多投.编辑对来稿可作文字上和编辑技术上的修改和删节.在 3 个月内未收到本刊选用通知,可来电询问.对未刊稿件一般不退,请作者自留底稿.
12. 投稿请附作者单位详细地址,邮编,电话号码,电子邮箱等.编辑部邮政地址:北京市 2871 信箱;邮编:100085;电话:010-62941102,010-62849343;传真:010-62849343;E-mail: hjkn@rcees.ac.cn;网址:www.hjkn.ac.cn