

解偶联代谢对活性污泥工艺中剩余污泥的减量化作用

唐琼¹, 林海波², 林松³

(1. 乐山师范学院化学与生命科学学院, 四川 乐山 614004; 2. 四川理工学院机电工程学院, 四川 自贡 643000;
3. 南洋理工大学环境科学与工程研究院, 新加坡 637723)

摘要:为了有效减少活性污泥法中剩余污泥的产生,采用解偶联剂对活性污泥工艺中的剩余污泥进行减量化研究。研究比较了5种化学解偶联剂对活性污泥系统的污泥减量化短期效应以及对基质去除率的影响,并对影响其作用的因素和解偶联剂在水和污泥中的分布进行了研究。结果表明:不同的解偶联剂,减量化效果差异明显,硝基类化合物比含氯类化合物的污泥减量化效果好。所有解偶联剂在对微生物进行解偶联的过程中并不影响微生物对基质的降解去除效果。污泥产率随着解偶联剂浓度的增加而减少,随着污泥浓度的增加而增加;在实验所选择的温度范围内(20℃~30℃),温度对解偶联作用的影响甚小;酸性条件能提高解偶联剂对污泥的减量化效果。

关键词:活性污泥;剩余污泥减量;解偶联剂

中图分类号:X703

文献标识码:A

活性污泥法是目前世界上城市污水和工业废水处理厂应用最广泛的生物处理技术,但在运行过程中会产生大量的剩余污泥。传统的污泥处理工艺中剩余污泥的处理费用比较昂贵,约占污水处理厂总运行费用的20%~40%,甚至高达60%^[1-2]。所以,开发污泥减量技术,从源头减少剩余污泥的产生十分必要。

文献表明^[3-6],在活性污泥工艺中加入解偶联剂,可以达到污泥减量的效果。解偶联剂主要有硝基酚类化合物、氯酚类化合物、3,3',4',5-四氯水杨酰苯胺、羰基一氧一对三氟甲氧基苯肼、氨基酸、甲苯、双香豆素等。本研究比较了5种化学解偶联剂对活性污泥系统的污泥减量化短期效应以及对基质去除率的影响,筛选出较为经济、有效、环保的解偶联剂,并对影响其作用的因素进行了研究,探讨了偶联剂在水和污泥中的分布,为代谢解偶联污泥减量技术提供理论依据。

1 实验部分

1.1 实验污泥及模拟废水组成

实验所用的污泥来源于新加坡 Ulu Pandan Wastewater Reclamation Plant 的二沉池回流污泥。以葡

萄糖为碳源,氯化铵为氮源,磷酸二氢钾为磷源,按照 C:N:P=100:5:1 的比例配制成模拟生活污水,作为反应器进水,其具体组成及浓度见表1。

表1 模拟污水的进水组成和浓度

成分	浓度(mg/L)
葡萄糖	562.5
NH ₄ CL	114.5
KH ₂ PO ₄	26.5
* NaHCO ₃	150
蛋白胨	50
酵母抽提物	20
MgSO ₄ ·7H ₂ O	33
FeSO ₄ ·7H ₂ O	0.2

* NaHCO₃用于调整废水 pH 在 6.0~7.0 mg/L

1.2 主要实验试剂及仪器

2,4-二氯苯酚(Sigma-USA);4-硝基苯酚(Sigma-USA);2,4-二硝基苯酚(Sigma-USA);3,3',4',5-四氯水杨酰苯胺(Sigma-USA);2,4,5-三氯苯酚(Sigma-USA)。

DR2400 光度计(Hach 公司)、DR100 加热器(Hach 公司)、pHS-3C 酸度计(YSI 公司)、DO 溶解氧仪(YSI

收稿日期:2011-07-01

基金项目:乐山师范学院科研项目(Z1061);过程装备与控制工程四川省高校重点实验室基金项目(GK200807)

作者简介:唐琼(1975-),女,四川仁寿人,副教授,博士,主要从事废水处理方面的研究,(E-mail) tangqiong75@163.com

公司)。

1.3 实验方法

新取回实验室的回流活性污泥按照 SBR 方式进行污泥培养驯化,稳定其生物活性。在 300 mL 的锥形瓶中分别加入经过驯化的活性污泥和一定量的模拟污水,用蒸馏水稀释至混合液中污泥浓度为 1 000 mg/L, COD 浓度为 500 mg/L。加入一定量的化学解偶联剂后将锥形瓶置于摇床中,在 25 °C, 100 r/min 的条件下振荡培养 60 小时。取出污泥样品,测定 MLSS, 上清液离心测 COD。污泥产率以培养前后的 MLSS 差值除以培养前后的 COD 差值,即 $\Delta\text{MLSS} / \Delta\text{COD}$ 表示。共做 3 组平行试验,每组平行试验中有 3 个未添加解偶联剂的对照组,取平均值作为最终实验结果。

1.4 分析测试方法

COD 采用 Hach 公司的标准试剂包,在 DR2400 (Hach) 光度计中测量。MLSS 采用重量法测定^[7]。解偶联剂浓度采用 HPLC 法检测 (WATERS 2695, Separations module, XTerraC18 柱, 和 photodiode array detector (WATERS 2996))^[8-10]。

2 结果与讨论

2.1 解偶联剂种类对污泥产率和基质去除率的影响

在各个三角瓶中加入相同量的污泥和 5 种化学解偶联剂,使最终的 MLSS 约 1 000 mg/L,解偶联剂的浓度均为 15 mg/L。解偶联剂对平均污泥产率和基质去除率的影响见表 2。

表 2 五种解偶联剂对污泥量、COD 和污泥产率的影响

解偶联剂 (15mg/L)	COD 去除 率(%)	污泥产率 mgMLSS/mgCOD	污泥减量 效果(%)
4-硝基苯酚	88.35	0.265	54.7
2,4-二硝基苯酚	86.92	0.288	50.8
2,4-二氯苯酚	84.17	0.305	47.9
2,4,5-三氯苯酚	85.63	0.387	33.8
3,3',4',5-四 氯水杨酰苯胺	85.44	0.455	22.2
空白	86.02	0.585	

从表 2 看出,所有反应器中对 COD 的去除率维持在 80% ~ 90% 之间,已添加解偶联剂的反应器中 COD 的去除效果与未添加解偶联剂的反应器中 COD 的去除效果并无明显差别,说明解偶联剂不会对底物的去除率产生较大的影响;不同种解偶联剂对污泥的减量效果差异明显。减量效果最好的是 4-硝基苯酚,其污泥产率仅为 26.5%,与未添加解偶联剂的样相比较,污泥减少了 54.7%,其次是 2,4-二硝基酚和 2,4-二氯酚,效果最差的解偶联剂为 3,3',4',5-四氯水杨酰苯胺,其污泥产率为 45.5%。在后期的实验研究中,选择 4-硝基苯

酚、2,4-二氯苯酚、2,4-二硝基苯酚三种解偶联剂做进一步的研究。

2.2 影响解偶联剂作用的主要因素

2.2.1 解偶联剂浓度

配制活性污泥浓度为 1 000 mg/L、COD 为 500 mg/L、pH 6.5 的污泥悬液,分别抽取 250 mL 于不同锥形瓶中,加入不同浓度的解偶联剂,以不添加解偶联剂组作为空白对照,考察解偶联剂浓度对污泥产率的影响,结果如图 1 所示。

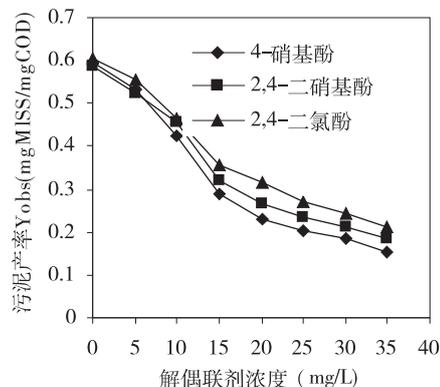


图 1 相同污泥浓度情况下不同解偶联剂浓度对污泥产率的影响

从图 1 可知,实验所选择的三种解偶联剂在很低的浓度下就能使污泥产率大幅度的下降。随着解偶联剂浓度的增加,污泥的产率随之减少。当解偶联剂的浓度低于 15 mg/L 时,随着解偶联剂的浓度增加,污泥产率下降幅度明显,当解偶联剂浓度高于 15 mg/L 后,对污泥产率的影响趋于缓慢,这与 Low^[5]、Chen^[4] 等的试验结果基本一致。这是由于随着解偶联剂的浓度增加,对微生物产生了一定的毒性,使微生物的活性大大降低,甚至导致了部分微生物直接死亡。

2.2.2 污泥浓度

在不同三角瓶中加入相同量(15 mg/L)的化学解偶联剂和不同浓度的污泥悬液,相同解偶联剂浓度下不同污泥浓度对污泥产率的影响如图 2 所示。

从图 2 可知,污泥产率随着污泥浓度的增加而增加。当污泥浓度低于 1 500 mg/L 时,污泥的产率增加量并不明显,当污泥浓度超过 1 500 mg/L,污泥产率呈现出线性增长的规律。对于 4-二硝基苯酚来说,当污泥的浓度低于 1 500 mg/L 时,污泥产率 Y_{obs} 在 0.25 ~ 0.3 之间,当污泥浓度为 3 000 mg/L 时, Y_{obs} 的值达到 0.67,约为 1 500 mg/L 时的 3 倍。在解偶联剂浓度不变的情况下,增加污泥浓度,单位污泥的解偶联剂浓度下降,解偶联剂的作用减少。

2.2.3 温度

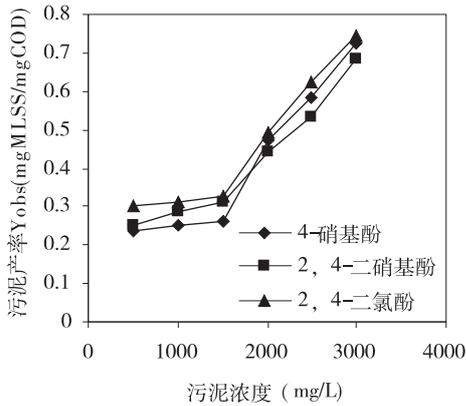


图 2 相同解偶联剂浓度下不同污泥浓度对污泥产率的影响

在活性污泥体系中,温度对微生物的代谢活动有一定的影响。分别在 20 ℃、25 ℃ 和 30 ℃ 三种温度下进行污泥减量实验,考察不同温度下,解偶联剂对污泥产率的影响,其结果如图 3 所示。

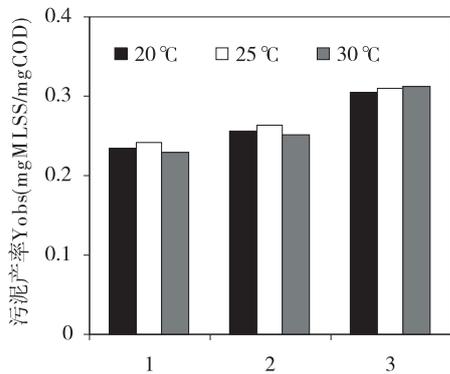


图 3 不同温度条件对污泥产率的影响
1:4-硝基酚;2:2, 4-二硝基酚;3:2,4-二氯酚

从图 3 中发现,在实验的温度范围内,温度对解偶联剂的解偶联作用影响并不明显,同一种解偶联剂在不同的温度下,污泥的产率变化不大。活性污泥法中,温度主要影响微生物的活性,温度过低或过高时,都会抑制微生物的活性,导致基质去除效果下降,解偶联作用减弱。但由于实验所选择的温度在适宜微生物生长的温度范围内,所以对微生物的活性并没有明显的影响,从而对污泥的减量效果的影响也就不明显。

2.2.4 pH 值

采用活性污泥法处理污水时,反应器中的 pH 值对微生物的活性有较大的影响,从而影响其处理效果。实验选用 4-硝基苯酚,2,4-二氯苯酚,2,4-二硝基苯酚三种解偶联剂,调节锥形瓶中的 pH,考察在不同 pH 条件下,解偶联剂对污泥产率的影响,其结果如图 4 所示。

从图 4 可见,当 pH 值从 6.5 增加到 8.5 时,三种解偶联剂作用下的污泥产率明显升高,在 pH 为 6.5 时,4-硝基苯酚、2,4-二硝基苯酚和 2,4-二氯苯酚三

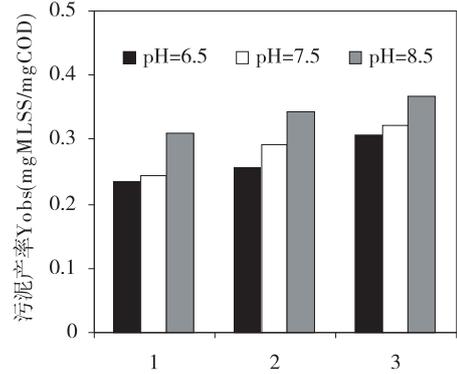


图 4 不同 pH 对污泥产率的影响
1:4-硝基酚;2:2, 4-二硝基酚;3:2,4-二氯酚

解偶联剂作用下的污泥产率分别为 0.234、0.257、0.306。当 pH 为 8.5 时,其污泥产率分别达到 0.311、0.343、0.367,分别提高了 26%、18%、24%。这是因为在酸性条件下,有利于提高有机质子载体的解偶联活性,在低 pH 时质子和载体化合物结合增强,污泥的产率下降。

2.3 解偶联剂在水和污泥中的分布

研究了在初始解偶联剂浓度分别为 5 mg/L、10 mg/L 和 15 mg/L 的活性污泥系统中,经过曝气 24 h 后,水中、污泥表面的浓度和污泥中的总浓度。其中,污泥中的总浓度是将污泥用超声波打碎后,测出的污泥中解偶联剂的含量。系统中残留解偶联剂的平均浓度是将反应后测得的水中和污泥中的解偶联剂量相加再除以总体积所得的浓度,用来衡量解偶联剂在反应过程中的降解情况。实验结果见表 3。

由表 3 可知,系统运行 24 h 后,解偶联剂在水中的浓度约为系统初始浓度的 5% ~ 10%;系统中约有 65% 的解偶联剂分布在占总体积为 5% ~ 10% 的湿污泥中;污泥中解偶联剂总浓度显然高于污泥表面的浓度。这说明,有相当部分的解偶联剂存在于微生物细胞内部,可能是由于解偶联剂脂溶性的特点,在微生物的新陈代谢过程中,被微生物吸收到细胞内,并在细胞内累积。

此外,反应后的系统中解偶联剂的平均浓度均低于理论浓度,说明除了由于实验误差造成比如:细胞被超声波打碎程度、衍生化反应程度和测量误差外,系统中的解偶联剂有轻微的被降解。

3 结论

本文研究了五种不同解偶联剂对污泥减量的影响,筛选出较好的三种解偶联剂,研究了影响解偶联剂作用的主要因素以及解偶联剂在水和污泥中的分布,主要结论如下:

(1) 不同的解偶联剂,对污泥的减量化效果差异明显。硝基类化合物比含氯化合物的污泥减量化效果要好。

表3 解偶联剂在水中和污泥中的分布

系统初始浓度 mg/L	水中浓度 mg/L	污泥表面浓度 mg/L	污泥中		系统中平均 浓度 mg/L	
			总浓度 mg/L	占系统总量 的比例%		
4-硝基酚	5	0.51	7.32	18.32	64.6	3.81
	10	0.75	13.43	34.43	63.7	8.83
	15	1.02	18.65	46.65	65.3	12.92
2,4-二硝基酚	5	0.64	7.78	16.92	62.2	3.91
	10	0.80	14.13	32.56	63.4	8.76
	15	1.12	19.65	48.87	66.5	13.92
2,4-二氯酚	5	0.56	6.92	18.57	63.8	3.79
	10	0.78	14.04	36.68	62.7	8.90
	15	0.90	19.45	50.33	66.3	13.13

所有解偶联剂在对微生物进行解偶联的过程中并不影响微生物对基质的降解去除效果。

(2) 污泥产率随着解偶联剂浓度的增加而减少。在相同的解偶联剂浓度下,随着污泥浓度的增加,污泥产率逐渐增加,高污泥浓度将弱化解偶联剂的效果。

(3) 在实验温度 20 °C ~ 30 °C 范围内,温度对微生物的代谢活性无明显影响,基本上不会对解偶联作用造成影响。酸性条件下,污泥减量化效果好。

(4) 系统运行 24 h 后,水中残留有少部分解偶联剂,有少部分被微生物降解,其余大部分存在于微生物细胞内部。

参考文献:

- [1] Davis R D, Hall J E. Production, treatment and disposal of wastewater sludge in Europe from a UK perspective [J]. *European Water Pollution Control*, 1997, 7(2): 9-17.
- [2] Spidman F R. Wastewater biosolids to compost [M]. Lancaster, Pennsylvania, USA: Economic Publishing Company, Inc. 1997: 223-235.
- [3] 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.
- [4] Chen G H, Mo H K. Utilization of a metabolic uncoupler, 3,3',4',5-tetrachloro-salicylanilide (TCS) to reduce

sludge growth in activated sludge culture [J]. *Water Research*, 2002, 36(8): 2007-2083.

- [5] Low E W, Chasel H A. The use of chemical uncouplers for reduction biomass production during biodegradation [J]. *Water Science and Technology*, 1998, 37(425): 399-402.
- [6] 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.
- [7] Liu Yongqiang, Tay J H. Strategy for minimization of excess sludge production from the activated sludge process [J]. *Biotechnology Advance*, 2001, 19: 97-107.
- [8] Zhou Tao, Li Yao zhong, Wong F S, et al. Enhanced degradation of 2,4-dichlorophenol by ultrasound in a new Fenton like system (Fe/EDTA) at ambient circumstance [J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2008, 15(5): 782-790.
- [9] Chen G H, Mo H K, Saby S, et al. Minimization of activated sludge production by chemically stimulated energy pilling [J]. *Water Science Technology*, 2002, 42(12): 1289-200.
- [10] Ye F X, Shen D S, Li Y. Reduction in excess sludge production by addition of chemical uncouplers in activated sludge batch cultures [J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2003, 95(4): 781-786.

Reduction of Excess Sludge Production by Uncoupled Metabolism in Activated Sludge Process

TANG Qiong¹, LIN Hai-bo², LIN Song³

- (1. Department of Chemistry and Life Science, Leshan Teachers' College, Leshan 614004, China;
2. School of Mechanical Engineering, Sichuan University of Science & Technology, Zigong 643000, China;
3. Institute of Environmental Science and Engineering, Nanyang Technology University, Singapore 637723, Singapore)

Abstract: Reduction of excess sludge production in activated sludge process was examined by utilizing different uncouplers. Effects of various parameters such as uncouplers concentration, sludge concentration, temperature and pH were investigated. The experimental data show that sludge yield was different with different uncoupler, and the performance of nitrophenols were better than that of chlorophenols. The organics removal rate was not affected after the uncouplers being added into the system. The Yobs were decreased with the increasing of the concentration of uncouplers, and increased with the increasing of the concentration of sludge. The temperature has little effect on reducing sludge yield at the experimental temperature range (20 °C ~ 30 °C). And acidic conditions can improve performance of uncoupler on reducing sludge yield.

Key words: activated sludge; excess sludge reduction; uncoupler