

化学解耦联剂对活性污泥工艺中污泥产率的影响

叶芬霞^{1,2}, 陈英旭¹, 冯孝善¹ (1. 浙江大学环境与资源学院环境工程系, 杭州 310029, E-mail: yefenxia@hotmail.com; 2. 宁波高等专科学校化工系, 宁波 315016)

摘要: 采用 3,3',4',5-四氯水杨酰苯胺(TCS)作为代谢解耦联剂添加到活性污泥工艺中,连续曝气分批培养实验结果表明,TCS在浓度高于1.0 mg/L时是一种有效的化学解耦联剂,能显著地降低污泥产率.当TCS浓度为6.0 mg/L时,污泥产率可降低约50%.在40d的运行期间,隔天分别在3个反应器中添加TCS 2.0、2.8和3.6 mg/L,基质的去除能力和出水氨氮及总氮浓度均未受影响,污泥的SOUR值和脱氢酶活性相应增加,污泥的沉降性能也未见有明显影响.镜检发现,对照反应器中的污泥经40d运行后仍有丝状菌存在,而添加解耦联剂反应器中的污泥几乎无丝状菌的存在.以上结果表明,可以应用TCS来降低活性污泥工艺中的剩余污泥产量.

关键词: 活性污泥工艺;剩余污泥减量化;质子载体;污泥产率;3,3',4',5-四氯水杨酰苯胺(TCS);解耦联剂

中图分类号:X703.1 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2003)06-04-0112

The Use of Chemical Uncoupler to Reduce Sludge Yield in Activated Sludge Process

Ye Fenxia^{1,2}, Chen Yingxu¹, Feng Xiaoshan¹ (1. Department of Environmental Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China E-mail: yefenxia@hotmail.com; 2. Department of Chemical Engineering, Ningbo College, Ningbo 315016, China)

Abstract: To determine whether chemical additions can be used to reduce sludge production in biological wastewater treatment, 3,3',4',5-tetrachlorosalicylanilide (TCS), served as a metabolic uncoupler was added to activated sludge cultures. The batch tests have confirmed that TCS is an effective chemical uncoupler in reducing the sludge yield when its concentration is higher than 1.0 mg/L. It was showed that TCS was able to reduce sludge yield by approximately 50% when the TCS concentration was 6.0 mg/L. It was also revealed that substrate removal capability and effluent nitrogen concentration were not affected adversely by the presence of TCS when TCS was dosed every other day in a range of 2.0 ~ 3.6 mg/L during the 40d operation of activated sludge batch cultures. Such a sludge growth reduction is associated with the enhancement of microbial activities in terms of the SOUR and dehydrogenase activity. Sludge settleability from the treated and control samplers was comparable and not significantly different. Meanwhile, there was a finding that the filamentous bacteria still grow in sludge floc in the control reactor after 40d operation. These results suggested that it might be possible to apply TCS in activated sludge systems to reduce the excess sludge yield.

Keywords: activated sludge process; excess sludge reduction; protonophore; sludge yield; 3,3',4',5-tetrachlorosalicylanilide(TCS); uncoupler

活性污泥法是目前世界上应用最广泛的污水生物处理技术,但它一直存在一个最大的弊端,就是会产生大量的剩余污泥.污泥的处理处置费用较高,成为污水处理厂的沉重负担,致使大量污泥不经处理直接任意排放,造成了严重的二次污染.多年来一直认为细菌能量产生途径是和生长紧密耦联的,自从 Teijssel 和 Tempest 发现能源足够培养基能连续代谢,而不生长之后,出现了能量泄漏(energy spilling)和解耦联(uncoupling)等术语用以描述这个现象,但

过程的机理目前还没有彻底研究清楚^[1~3].有机质子载体有很强的解耦联能力,研究其解耦联氧化磷酸化较多,这些质子载体被称为解耦联剂.国外学者的研究结果表明,添加化学解耦联剂于废水生物处理系统,能大大降低剩余污泥产量^[4~12].

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50201080)

作者简介:叶芬霞(1968~),女,在职博士研究生,副教授,主要从事污泥的减量化研究.

收稿日期:2002-12-04;修订日期:2003-01-17

以污泥减量为目的对整个污水处理系统的研究国外较少,国内还未见报道.鉴于此,本研究选择 3,3',4',5-四氯水杨酰苯胺(TCS)作为解耦联剂,研究了其对污泥减量化的效果以及对基质去除效能和污泥性能的影响,以期为工程实际应用提供理论指导.

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验所用接种污泥取自杭州市四堡城市污水处理厂二沉池回流活性污泥.TCS(含量 99%)为加拿大 Acros 公司生产.

1.2 试验方法

本试验采用实验室规模的完全混合活性污泥分批工艺.在 4 个 15 L 的玻璃圆柱型反应器(R1、R2、R3 和 R4)中接种活性污泥,使初始污泥浓度(MLSS)约 1000 mg/L.注入人工模拟合成城市污水(其组成见表 1),连续曝气 23 h 后,静止沉淀 1 h,弃去上清液(出水),重新注入新污水,如此 24 h 一个循环,连续运行 40 d.其中 R1、R2、R3 反应器的进水中每隔 1 天加 1 次 TCS,初始浓度分别是 2.0 mg/L、2.8 mg/L 和 3.6 mg/L. R4 反应器为对照,不加 TCS.4 个反应器中的溶解氧含量都在 6 mg/L 左右.当反应器中的 MLSS 超过 2500 mg/L 时,开始排出剩余污泥,以后在整个实验过程中 MLSS 均维持在 2500 mg/L 左右.为了精确测定每天的剩余污泥量,在污泥排出前后分别测定 MLSS 和 COD_{Cr}.整套试验在 20℃恒温室内进行.

1.3 测定项目和方法

常规分析项目:COD_{Cr}采用重铬酸钾法测定;MLSS 和 MLVSS 采用重量法测定;NH₄⁺-N 和 TN 分别采用纳氏试剂光度法和过硫酸钾氧化-紫外分光光度法.

比氧气吸收速率(SOUR):在烧杯中插入 DO 电极,加入一定量的葡萄糖溶液和约 300 mL 污泥混合液至满烧杯,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.

脱氢酶活性测定:按照日本水质协会的标准法进行,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(重量体积比为 0.5%),置于 20℃的暗处 1 h;于离心机在 3000 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,将生成的三苯基甲臜(TF)提取出来,再在 3000 r/min 下离心 5 min,然后用分光光度计在 480 nm 处测定 TF 的生成量^[13].

表 1 人工模拟城市污水的组成与浓度¹⁾/mg·L⁻¹

Table 1 Components and concentrations of synthetic municipal wastewater / mg·L⁻¹

成分	浓度	成分	浓度
淀粉	268	MgSO ₄	66
葡萄糖	200	CaCl ₂	6
蛋白胨	132	KH ₂ PO ₄	48.8
牛肉膏	68	(NH ₄) ₂ SO ₄	112
尿素	8	FeSO ₄	0.3
NaHCO ₃	80	MnSO ₄	6

1) 进水平均水质:COD_{Cr} = 550 mg/L, BOD₅ = 260 mg/L, TN = 110 mg/L, NH₄⁺-N = 60 mg/L

2 结果与讨论

2.1 TCS 对污泥产率的影响

图 1 所示为 40 d 运行期间 4 个反应器中的剩余污泥量.从图 1 可见,4 个反应器中的污泥产生速率都相当稳定,在对照反应器中,剩余污泥产率(SS)为 2.56 g/d,而在其它 3 个添加 TCS 的反应器中,SS 分别为 2.22、1.55 和 1.17 g/d,分别比对照下降 13.3%、39.4%和 54.3%.上述结果表明 TCS 能有效降低剩余污泥产量,同时表明活性污泥中的微生物在 40 d 的试验中不能对 TCS 产生抗性,也就是说,只要在反应器中保持 TCS 一定的浓度,就能降低剩余污泥的产率.这在活性污泥工艺中开发剩余污泥的减量化技术提供了一条有效途径.

2.2 TCS 对工艺运行效能的影响

4 个反应器中活性污泥的 COD 去除效率见图 2.可以看出,即使在 3.6 mg/L 的浓度下,TCS 的存在也不会影响基质的去除能力,这是因为本实验采用的分批培养模式使反应时间较长,足以让生物物质完全利用基质,同时污泥本身也适应了 TCS 存在的环境.上述结果表明,可

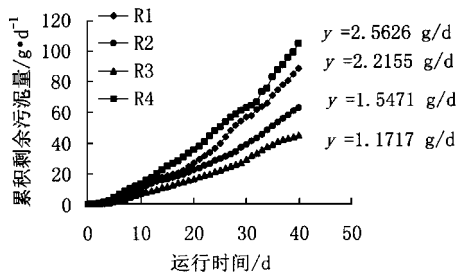


图 1 运行 40d 活性污泥的剩余污泥量
(y 为平均剩余污泥产率)

Fig.1 Cumulative excess sludge production in the 40 d batch operation (y is the mean excess sludge production rate)

以应用 TCS 来减量剩余污泥而不至于严重影响基质的去除能力.这些结果和国外其他研究者采用 2,4,6-三氯苯酚^[5]、2,4-二硝基苯酚^[7]、对硝基苯酚^[8,9]和 TCS^[10,11]所得出的结论相同.

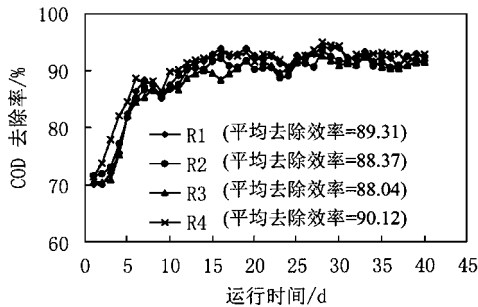


图 2 运行 40d 期间的污泥 COD 去除率

Fig.2 COD removal efficiencies of the four reactors during 40 d batch operation

运行期间出水 N 浓度的变化情况见图 3 和图 4.可以看出,出水 NH_4^+-N 和 TN 浓度均没有受 TCS 加入的影响.结果和 Low 等的观点不一致,他们从理论推断,质子载体的加入会使减少的这部分剩余污泥中的 N 释放到出水中,从而使出水 N 浓度升高,但他们在用对硝基苯酚为解耦联剂的实验中,并没有测定出水 N 浓度这个指标.直至目前为止,国内外还没有关于解耦联剂对出水 N 浓度影响的报道.本试验中出水 N 浓度未受影响的原因可能是由于所采用的连续曝气继而沉淀分批运行方式,造成了好氧-厌氧循环条件,发生了硝化和反硝化作用.同时发现在 40d 的运行中,污泥的沉降性能也未见有明显影响,这和 Chen 等的研究结果相

同^[9,10].

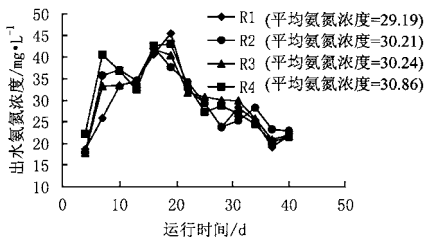


图 3 运行 40d 期间的出水 NH_4^+-N 浓度

Fig.3 Effluent NH_4^+-N concentrations of the four reactors during 40 d batch operation

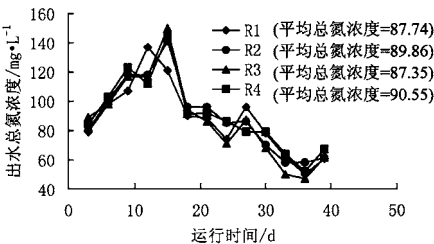


图 4 运行 40d 期间的出水 TN 浓度

Fig.4 Effluent TN concentrations of the four reactors during 40 d batch operation

2.3 TCS 对污泥活性与微生物特性的影响

运行期间的 SOUR 值 $[\text{O}_2 \cdot (\text{MLVSS} \cdot \text{d})^{-1}]$ 见表 2.从表 2 可知,TCS 加入能使生物活性增加,TCS 浓度越高,氧气吸收速率越快,表明代谢解耦联水平越高.TCS 的加入可使氧气吸收速率提高 30%~50%. Mayhew 和 Stephenson^[6]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.因 SOUR 的增加不与生长相关联,这些化合物可使混合活性污泥培养物发生能量解耦联,而且在 TCS 存在的整个运行期间,一直保持较高的污泥活性.这表明存在着较高程度的能量耗散以用于代谢调节,这是污泥产率下降的原因所在.

为进一步验证 TCS 的加入对微生物活性的影响,测定了 40d 运行期间的污泥脱氢酶活性(DHA),见表 3.当 TCS 加入到进水中使浓度达 3.6 mg/L 时,DHA $[\text{TF} \cdot (\text{MLSS} \cdot \text{h})^{-1}]$ 从 10.04 增加到 11.03 $\mu\text{g} \cdot (\text{mg} \cdot \text{h})^{-1}$.DHA 的测定结果再次肯定了 TCS 对微生物的活化作用.

表 2 40d 运行期间 4 个反应器中的污泥 SOUR 值/ $\text{mg}\cdot(\text{g}\cdot\text{d})^{-1}$

Table 2 The SOUR values of sludge from four reactors during the 40 d operation/ $\text{mg}\cdot(\text{g}\cdot\text{d})^{-1}$				
时间	TCS/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$			
	0	2.0	2.8	3.6
第 10 天	2.01	2.49	2.89	3.28
第 20 天	2.04	2.65	2.91	3.36
第 30 天	2.26	2.76	2.94	3.42
第 40 天	2.13	2.68	2.98	3.54
平均	2.11	2.64	2.93	3.40

在光学显微镜下观察 4 个反应器中污泥的生物相组成,发现都存在大量种类繁多的原生动物和后生动物,如草履虫、钟虫、轮虫和线虫等。

表 3 40d 运行期间 4 个反应器中的污泥 DHA/ $\mu\text{g}\cdot(\text{mg}\cdot\text{h})^{-1}$

Table 3 The dehydrogenase activities of sludge from four reactors during the 40 d operation/ $\mu\text{g}\cdot(\text{mg}\cdot\text{h})^{-1}$				
时间	TCS/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$			
	0	2.0	2.8	3.6
第 10 天	9.50	9.64	10.14	10.67
第 20 天	9.87	10.12	10.28	10.89
第 30 天	10.23	10.54	10.35	11.15
第 40 天	10.58	10.60	10.68	11.41
平均	10.04	10.22	10.36	11.03

经过 40 d 的运行后,在 4 个反应器中都形成了浓厚的污泥絮体,电镜下观察主要以球菌和短杆菌为主(图略)。添加 TCS 的污泥中丝状菌很少,菌胶团呈长条形,菌胶团的轮廓清晰,微生物产物较少,污泥较松散。与之相比,对照反应器中的污泥丝状菌占较大比例,菌胶团呈球形,菌胶团表面比较模糊,在絮体表面有些黏糊状物质,污泥较紧密。可见 TCS 的加入使污泥的微生物种群结构发生了改变,污泥的絮体较疏松,但不至于影响其沉降性能。Low 等研究发现,添加对硝基苯酚后丝状菌大量繁殖,且没有发现原生动物^[7,8]。说明很有必要对 TCS 引起的污泥种群结构的变化和活性污泥的非生长相关的活性提高进行深入的研究。

3 结论

TCS 能有效地降低活性污泥分批培养物中的污泥产率,随进水中 TCS 浓度的提高,污泥产率迅速下降。但污泥的 COD 去除能力并未受

影响,出水中的 NH_4^+-N 和 TN 含量也和对照相当。同时发现污泥的 SOUR 值和 DHA 提高,说明化学解耦联剂对微生物有激活作用。微生物的种群结构也发生了改变,经过 40d 的运行后,在对照反应器中,仍有丝状菌存在,而添加 TCS 的反应器污泥中丝状菌则很少,和对照相比污泥较疏松,但污泥的沉降性能未见有影响。上述结果表明,采用化学解耦联剂来降低活性污泥工艺中的剩余污泥产量,以降低污泥的处理与处置费用这种方法有发展前景,值得进一步地深入研究。

参考文献:

- 1 Cook M et al. Energy spilling reactions of *Streptococcus bovis* and resistance of its membrane to proton conductance. *Appl. Environ. Microbiol.*, 1994, **60**(6):1942~1948.
- 2 Tempest W, Nijssels M. Physiological and energetic aspects of bacterial metabolite overproduction. *FEMS Microbiol. Lett.*, 1992, **100**(1):169~176.
- 3 Russell JB, Cook GM. Energetics of bacterial growth: balance of anabolic and catabolic reactions. *Microbiol. Reviews*, 1995, **59**(1):48~62.
- 4 Strand SE, Hare M GN, Stensel HD. Activated sludge yield reduction using chemical uncouplers. *Wat. Environ. Res.*, 1999, **71**(4):454~458.
- 5 Riveranevares JA, Wyman JF, Vonminder DL et al. 2,6-ditert-butyl-4-nitrophenol (DBNP) a potentially powerful uncoupler of oxidative phosphorylation. *Environ. Toxicol. Chem.*, 1995, **14**(1):251~256.
- 6 Mayhew M, Stephenson T. Biomass yield reduction: is biochemical manipulation possible without affecting activity sludge process efficiency? *Wat. Sci. Technol.*, 1998, **38**(8~9):137~144.
- 7 Low EW, Chase HA, Milner MG, Curtis TP. Uncoupling of metabolism to reduce biomass production in the activated sludge process. *Wat. Res.*, 2000, **34**(12):3204~3212.
- 8 Low EW, Chase HA. The use of chemical uncouplers for reducing biomass production during biodegradation. *Wat. Sci. Technol.*, 1998, **37**(4-5):399~402.
- 9 Chen GH, Mo HK, Liu Y. Utilization of a metabolic uncoupler, 3,3',4',5'-tetrachlorosalicylanilide (TCS) to reduce sludge growth in activated sludge culture. *Wat. Res.*, 2002, **36**(8):2077~2083.
- 10 Chen GH, Mo HK, Saby S et al. Minimization of activated sludge production by chemically stimulated energy spilling. *Wat. Sci. Technol.*, 2002, **42**(12):189~200.
- 11 Okey RW, Stensel HD. Uncouplers and activated sludge: the impact on synthesis and respiration. *Toxicol. Environ. Chem.*, 1993, **40**(1):235~254.
- 12 Low EW, Chase HA. Reducing production of excess biomass during wastewater treatment. *Wat. Res.*, 1999, **33**(5):1119~1132.