

水解—SBR 工艺处理规模化猪场粪污研究

邓良伟

(农业部沼气科学研究所, 四川 成都 610041)

摘要: 采用水解—SBR 工艺进行了规模化猪场粪污处理试验。水解过程水力停留时间 (*HRT*) 为 2.0~6.0 h, 对 *COD*、*BOD*₅、*SS*、*TN* 和 *TP* 的去除率分别为 30.1%~47.3%、45.8%~49.4%、56.0%~61.1%、22.3% 和 55.3%, *NH*₃-*N* 几乎没有去除。水解对 *COD* 的去除效率比沉淀处理高 17%。SBR 的 *HRT* 为 1.0~1.4 d, 对 *COD*、*BOD*₅、*SS* 的去除率分别为 52.1%~82.1%、89.0%~95.7%、93.9%~97.3%, 但出水中仍残留相当数量的难降解 *COD*。SBR 对氮有较好的去除效果 (*TN* 去除率为 74.1%) 特别是对高浓度 *NH*₃-*N* 的去除取得了相当好的结果 (去除率达 97% 以上)。曝气量对 SBR 去除 *NH*₃-*N* 有显著影响, 增加曝气量可以缩短 *HRT*。对比试验证明, *NH*₃-*N* 的去除不是依靠吹脱作用, 而是依靠微生物的降解作用。

关键词: 水解; SBR; 猪场粪污; 污水处理

中图分类号: X713 文献标识码: A 文章编号: 1000-460X(2001)03-0008-04

Treatment of Piggery Wastes with Hydrolysis - SBR Process

DENG Liang-wei

(Biogas scientific Res. Institute of the Ministry of Agriculture, Chengdu 610041, China)

Abstract: Hydrolysis - SBR process was studied on treatment of piggery wastes. When the hydraulic retention time (*HRT*) of the hydrolysis process is 2.0 ~ 6.0 h, the removal rates for *COD*, *BOD*₅, *SS*, *TN* and *TP* are 30.1% ~ 47.3%, 45.8% ~ 49.4%, 56.0% ~ 61.1%, 22.3% and 55.3% respectively, whereas *NH*₃-*N* is hardly removed. The removal rate for *COD* by hydrolysis is 17% higher than that by sedimentation at the same *HRT*. When the *HRT* of SBR process is 1.0 ~ 1.4 d, the removal rates for *COD*, *BOD*₅ and *SS* are 52.1% ~ 82.1%, 89.0% ~ 95.7% and 93.9% ~ 97.3% respectively, but there is a certain concentration of inert *COD* in the effluent. SBR process is fairly efficient for *TN* removal with removal rate of 74.1%, especially for higher concentrations of *NH*₃-*N* with removal rate in excess of 97%. Increase of aeration rate can decrease *HRT*. Control test shows that removal of *NH*₃-*N* relies on biodegradation rather than on air stripping.

Keywords: hydrolysis; SBR; piggery wastes; wastewater treatment

规模化猪场粪污的处理以往大多采用厌氧或厌氧+好氧工艺,既可回收能源——甲烷,又能减少污染物。由于大多数规模化猪场尽量收集干粪直接向外出售,导致猪场冲洗水量大而排放废水所含污染

物浓度较低,厌氧发酵获取沼气的潜力不大。因此,对于污染物浓度较低的猪场废水,很有必要探寻一种投资省、效果好的处理方法,以满足要求更加严格的废水排放标准。

水解处理相对厌氧处理工艺,能显著缩短处理时间,提高处理负荷。水解不仅能将废水中的固态大分子和不易生物降解的有机物降解为易于生物降解的小分子,而且还具有对SS去除率高、能使部分SS在水解反应器中得到消化的特点,并得到了成功的应用^[1]。SBR工艺的主要特点是在一个构筑物中完成生物降解和污泥沉淀两种作用,减少了全套二沉池和污泥回流设施,同时脱氮除磷。结合这两种工艺的优势处理猪场粪污,国内外尚未见研究报道。

1 试验装置与方法

水解反应器由塑料制作,内径为70 mm,高为600 mm,总容积为2.3 L,工作容积为2.0 L,其进水由高位水槽供给,从反应器底部进入,高位溢流水。SBR反应器由玻璃缸制成,内径为220 mm,高为240 mm,总容积为9.1 L,工作容积为5.0 L。采用空压机曝气,穿孔管布气。SBR进水、排水均采用潜水泵,排泥为人工虹吸抽排,并用时间控制器对曝气、进水、排水进行自动控制。其流程图见图1。

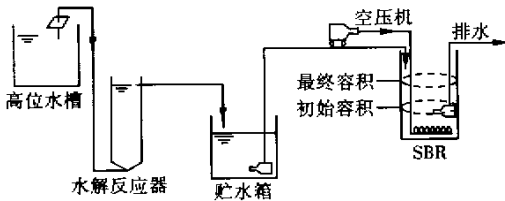


图1 试验装置示意图

试验所用废水取自某规模化猪场。试验时水解反应器接种厌氧污泥1.0 L(污泥浓度为28 g/L),其运行参数按参考文献^[1]确定,并考虑以下因素:HRT太短,会引起冲刷现象,导致污泥流失;HRT太长,有机物降解过多,出水可生化性差,影响后续处理。通过试验摸索,最后确定水解段HRT为2.0~6.0 h。SBR反应器污泥由实验室驯化培养而得,试验运行参数如表1。

表1 SBR运行参数

反应器有效容积(L)	5.0
进水量(L/d)	3.5~5.0
污泥负荷[kgBOD ₅ /(kgMLSS·d)]	0.07~0.14
容积负荷[kgBOD ₅ /(m ³ ·d)]	0.57~0.83
HRT(d)	1.0~1.4
MLSS(mg/L)	3 960~7 920

SBR运行方式见表2。

表2 SBR运行方式

顺序	作用	时间(h)
进水	充水至反应最终容积,反硝化	1.0
曝气	降解有机物,硝化	3.0
闲置	反硝化	3.0
曝气	降解有机物,硝化	3.0
沉淀	活性污泥及SS沉淀	1.0
排水	排出处理后的污水,等待下一周期	1.0

水质分析项目及方法:COD采用重铬酸钾法;SS采用烘干称重法;BOD采用稀释接种法;TN采用过硫酸钾氧化—紫外分光光度法;TP采用钼锑抗分光光度法;NH₃-N采用纳氏试剂比色法。

2 结果与讨论

2.1 水解对污染物的去除效果

水解对污染物的去除效果见表3。

表3 水解对污染物的去除效果

项目	原水(mg/L)	出水(mg/L)	去除率(%)
COD	1 563~3 359	1 092~2 207	30.1~47.3
BOD ₅	1 047~2 277	567~1 153	45.8~49.4
SS	744~1 928	327~750	56.0~61.1
TN	631	490	22.3
TP	98.5	44.0	55.3
NH ₃ -N	299~396	283~409	0~3.0

由表3可见,水解对BOD₅、SS的去除率比较接近,并优于对COD的去除效果,说明BOD₅主要是随SS被去除。水解对氮的去除效果较差,NH₃-N几乎未被去除,TN仅去除22.3%(可能是存在于SS中的氮)。水解对TP的去除效果较好,去除率达55.3%(去除的也可能是存在于SS中的磷)。由表4可知,作用时间均为2.0 h,水解对COD的去除率比沉淀处理高17%,说明水解对COD的去除不仅仅是通过沉淀作用,还有降解和吸附作用的存在。

表4 沉淀、水解对COD的去除效果对比

作用方式	原水COD(mg/L)	出水COD(mg/L)	COD去除率(%)
沉淀2.0 h	2 655	1 982	25.3
水解2.0 h	2 655	1 533	42.3

与水解相比,尽管厌氧处理能去除70%~85%的COD^[3],但其HRT>3 d,装置容积比水解池大10倍,加上沼气贮存、脱水、脱硫,厌氧工艺比水解工艺的基建投资至少高5倍,而且厌氧处理出水的可生化性差,影响进一步的好氧后处理。

2.2 SBR对污染物的去除效果

SBR对水解出水的处理效果见表5。

表5 SBR对水解出水的处理效果

项目	SBR进水 (mg/L)	SBR出水 (mg/L)	去除率 (%)
COD	1 092 ~ 2 207	396 ~ 516	52.7 ~ 82.1
BOD ₅	567 ~ 1 153	50.5 ~ 62.3	89.0 ~ 95.7
SS	327 ~ 750	20 ~ 26	93.9 ~ 97.3
NH ₃ -N	283 ~ 409	0.68 ~ 11.5	97.2 ~ 99.8
TN	490	127	74.1
TP	44.0	25.4	42.2

表5的结果表明,SBR对COD、BOD₅、SS均有比较好的去除效果,但COD、BOD₅仍然达不到《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)的一、二级标准。处理出水的BOD₅/COD < 0.2,说明出水的可生化性很差,这与采用其他好氧法处理的结果比较一致。检索国内外有关猪场粪污水处理资料,发现国外好氧生物处理出水的COD、BOD₅也在此范围^[5,6]。Borton^[2]认为,猪场粪污好氧生化处理出水中含有大约300 mg/L的难降解COD。由此看来,单纯采用生化处理无法实现猪场粪污的达标处理,还必须采用物化方法作进一步处理。

SBR对NH₃-N具有相当好的去除效果,在进水NH₃-N浓度很高(283~409 mg/L)的情况下,出水能达到较低的浓度(0.68~11.5 mg/L),去除率达97.2%~99.8%,优于国外同类研究结果(国外SBR^[5,6]处理猪场粪污的HRT一般在3~10 d,最少的也是1.4 d,但其NH₃-N只能从350 mg/L降解到50 mg/L,去除率只有85.7%)。SBR反应器对TN也有比较好的去除效果,从490 mg/L降解到127 mg/L,去除率为74.1%,与国外的研究结果相近,对TP的去除效果比较差,去除率只有42.2%,低于国外^[5]的研究结果,这可能与排泥较少有关。

2.3 曝气量对NH₃-N去除效果的影响

改变SBR中的曝气量,观察NH₃-N的含量变化,结果见图2。

曝气量对去除NH₃-N的影响明显。开始曝气时,混合液NH₃-N浓度在230 mg/L左右。曝气量为20 L/min时,约4 h后NH₃-N即降到15 mg/L以下,而曝气量为10 L/min和3.3 L/min时,分别需6 h和12 h方能将NH₃-N降解到此值;曝气量为1.6 L/min时,NH₃-N降解很慢,12 h后才降到150 mg/L左右。因此,要达到同样的去除效果,只能增大曝气量或延长曝气时间。

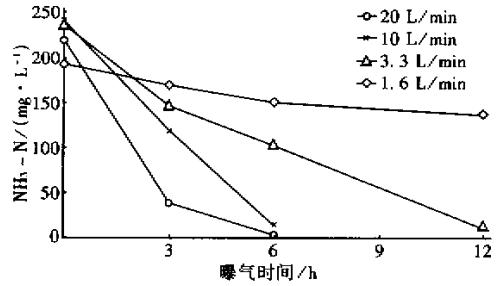
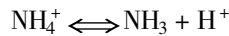


图2 曝气量对NH₃-N去除效果的影响

2.4 吹脱对NH₃-N去除效果的影响

根据NH₄⁺的电离方程:



水中游离氨的比率为:

$$\alpha = \frac{10^{pH}}{K_b/K_w + 10^{pH}} \quad (1)$$

式中 α——水中游离氨的比率, %

K_w——水的电离常数,其值为1 × 10⁻¹⁴

K_b——NH₄⁺的电离常数,其值为1.75 × 10⁻⁵

猪粪原水pH = 7.3,混合液pH = 7.5,代入式(1)求得混合液游离氨的比率为1.7%,说明在混合液pH = 7.5的情况下,理论上NH₃被吹脱去除的效率极低。

为进一步证实吹脱对SBR反应器中NH₃-N的去除作用,同时做了有污泥和无污泥的对照试验,结果见图3。

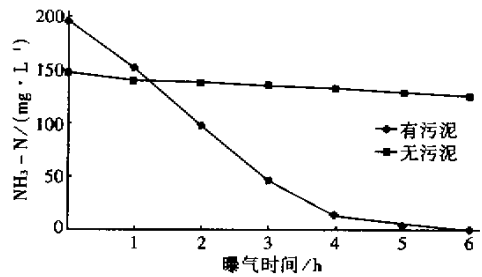


图3 吹脱对NH₃-N去除效果的影响

有污泥组是用2.5 L SBR混合液加2.5 L水解出水进行试验,无污泥组是用2.5 L SBR上清液加2.5 L水解出水进行试验(里面含有很少微生物),两组试验曝气量一样。图3的结果显示,有污泥试验组NH₃-N降解迅速,6 h内即从193 mg/L降解到1.3 mg/L,去除率为99.3%,平均1 h降解32 mg/L;在前3 h,也就是NH₃-N浓度 > 50 mg/L时,平均1

h 降解 49 mg/L。而无污泥试验组 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 降解缓慢 6 h 内从 145 mg/L 降解到 125 mg/L, 去除率为 13%, 平均 1 h 降解 3.3 mg/L, 仅为前者的 1/10。无污泥试验组的 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 去除率比理论计算值高, 是因为混合液中还残存有微生物。

理论计算和试验均说明, 吹脱对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 去除作用很小, SBR 对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 去除主要依靠微生物的作用。

3 结论

① 短时间的水解 ($HRT = 2.0 \sim 6.0 \text{ h}$) 对猪场粪污中 SS 、 COD 、 BOD_5 及 TP 均有较好的去除效果, 对 COD 的去除效率比沉淀处理高 17%, 对氮的去除效果较差。

② SBR 对水解出水中有机污染物有较好的去除效果, 但出水中仍残留相当数量的难降解 COD , 是生化处理力所不能及的, 还必须进行物化处理。

③ SBR 对水解出水中的氮有良好的去除效果, 特别是对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除效率相当高。在 HRT 为 1.0~1.4 d 时, 实际曝气 6 h, 对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除率达 97.2% 以上。在进水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 浓度很高 (283~409 mg/L) 时, 出水能达到较低的浓度 (0.68~11.5 mg/L)。

④ 曝气量对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 去除有明显的影 响, 曝气量越大, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的降解越快。

⑤ 理论计算和对比试验证实, 吹脱在 SBR 中对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除作用很小, SBR 对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除主要依靠微生物的作用。

参考文献:

- [1] 王凯军. 厌氧(水解)—好氧处理工艺的理论与实践 [J]. 中国环境科学, 1998, 18(4): 337-340.
- [2] Arora M L, Barth E F, Umphres M B. Technology evaluation of sequencing batch reactors [J]. Journal WPCF, 1985, 57(8): 867-875.
- [3] Bortone G, Gemelli S, Rambaldi A, et al. Nitrification, denitrification and biological phosphate removal in sequencing batch reactors treatment piggery wastewater [J]. Wat Sci Tech, 1992, 26(5-6): 977-985.
- [4] 张忠祥. 我国城市畜禽养殖业的污水防治 [J]. 城市环境与城市生态, 1996, 9(1): 48-54.
- [5] Takashi Osada, Kiyonori Haga, Yasuo Harada. Removal of nitrogen and phosphorus from swine wastewater by the activated sludge units with intermittent aeration process [J]. Wat Res, 1991, 25(11): 1377-1388.
- [6] Su Jung-Jeng, Kung Cheng-Ming, Lin Jing, et al. Utilization of sequencing batch reactor for In situ piggery wastewater treatment [J]. J Environ Sci Health, 1997, A33(2): 391-405.

作者简介: 邓良伟 (1966—), 男, 四川安岳人, 农业部沼气科学研究所助理研究员, 硕士, 主要从事废水处理研究、工程设计与调试。

电话 (028) 6230680

传真 (028) 6230677

收稿日期 2000-06-28

修回日期 2000-10-10