

SBBR 反应器处理粪便污水厌氧出水脱氮效能研究

周 健 钟于涛 龙腾锐 何 强 罗 勇

(重庆大学三峡库区生态环境教育部重点实验室,重庆 400045)

摘要 针对粪便污水厌氧出水高氨低碳($BOD_5/TN = 1$)的特点,采用序批式生物膜反应器(SBBR)处理该废水,考察了负荷、 $NH_3 - N$ 等对其处理效能的影响;并探讨了低碳源及低温条件下提高反应器脱氮效能的措施。试验结果表明:当水温 $\geq 20^\circ C$,挂膜密度为30%,有机负荷为 $0.8\text{ kg COD}_{Cr}/(m^3 \cdot d)$, $NH_3 - N$ 负荷为 $0.17\text{ kg } NH_3 - N/(m^3 \cdot d)$ 时,在SBBR反应器中实现了高效的同步硝化反硝化脱氮,使进水 COD_{Cr} 为 $2\ 600\text{ mg/L}$, BOD_5 为 $500 \sim 600\text{ mg/L}$, $NH_3 - N$ 为 $500 \sim 600\text{ mg/L}$ 的污水,出水 $NH_3 - N$ 为 7.2 mg/L , TN 为 99 mg/L , $NH_3 - N$ 去除率 $> 98\%$, TN 去除率 $> 80\%$ 。当反应器中 $NH_3 - N \geq 200\text{ mg/L}$ 时,将对自养微生物产生明显的抑制作用。在SBBR反应器进水中接入8%的粪便污水,解决了脱氮过程碳源不足的问题。在低温条件下,通过将反应器的挂膜密度提高至45%,可使 TN 去除率由84.3%提高至93.4%。

关键词 粪便污水 高氨污水 SBBR 反应器 同步硝化反硝化

0 概述

粪便处理站在对粪便进行无害化处理过程中所产生的粪便污水具有高有机物浓度高氨(COD_{Cr} 为 $20\ 000 \sim 30\ 000\text{ mg/L}$, TN 为 $500 \sim 700\text{ mg/L}$)的特征;而此类污水经过厌氧生化处理后,其出水具有高氨低碳($NH_3 - N$ 为 $500 \sim 600\text{ mg/L}$, BOD_5 为 $500 \sim 600\text{ mg/L}$)的特点。

目前,对于高氨污水处理除了空气吹脱法、折点加氯法、离子交换法等物化处理外^[1],近年来,用于高氨污水生物脱氮的工艺主要有短程硝化反硝化、厌氧氨氧化、同步硝化反硝化等^[2]。在高氨污水

生物脱氮过程中,为了防止氨氮对微生物生长的抑制,常通过增加回流比对原污水高氨氮浓度进行稀释。对于该类污水的生物脱氮研究报道较少。

本研究针对粪便污水厌氧出水高氨低碳的特点,采用SBBR反应器(Sequencing Batch Biofilm Reactor)处理该污水。着重考察了有机负荷和 $NH_3 - N$ 对SBBR反应器脱氮效能的影响;并探讨了低碳源及低温条件下,提高反应器脱氮效能的途径。

1 材料与方法

1.1 试验装置

试验装置见图1,主要由SBBR反应器、定时器、空气泵、转子流量计和微孔曝气砂头组成。反应器有效容积 4.5 L ,内设半软性填料,挂膜密度

重庆市科技计划项目(CSTC2004AA7008-3)。

以降低运行成本,并使其在市政及多种工业废水的深度处理中得到应用。

参考文献

- 1 沈耀良. 曝气生物滤池工艺及运行控制. 水处理技术, 2005, 31(7): 7~9
- 2 Lazarora V, Perera J, Bowenand M, et al. Application of aerated biofilters for production of high quality water for industrial reuse in West Basin. Water Sci & Tech, 1996, 41(45): 417~424

- 3 张杰,曹相生,孟雪征. 曝气生物滤池的研究进展. 中国给水排水, 2002, 18(8): 26~29

& 通讯处: 215011 苏州滨河路1701号 苏州科技学院环境科学与工程系

电话: (0512) 68180075

E-mail: yuanxu1977@sina.com

收稿日期: 2006-05-18

修回日期: 2007-03-15

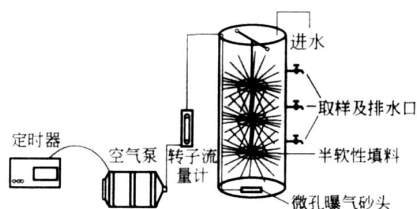


图1 SBBR 试验装置

为 30 %。

1.2 试验水质

试验用水取自某粪便污水处理站厌氧处理出水,其具体水质情况见表 1。

表 1 试验用水水质

指标	测定值	指标	测定值
COD _{Cr} /mg/L	2 000~3 500	PO ₄ ³⁻ /mg/L	20~50
BOD ₅ /mg/L	500~600	SS/mg/L	850~950
TN/mg/L	500~600	pH	8~8.5
NH ₃ -N/mg/L	500~600		

1.3 试验方法

试验中 SBBR 反应器的运行工况为:瞬时进水→曝气 12 h—沉淀 0.5 h—瞬时排水。反应器接种污泥取自城市污水处理厂,各按试验工况进行反应器启动运行,在各试验反应器运行稳定后,检测 COD_{Cr}、NH₃-N、TN 等指标。

1.3.1 有机负荷对反应器处理效能的影响研究

采用 4 个反应器进行平行对比试验。各反应器水温为 25 °C,DO 为 4~4.5 mg/L,有机负荷分别控制为 0.4 kg COD_{Cr}/(m³·d)、0.8 kg COD_{Cr}/(m³·d)、1.2 kg COD_{Cr}/(m³·d)和 1.6 kg COD_{Cr}/(m³·d),对应的 NH₃-N 负荷分别为 0.09 kg NH₃-N/(m³·d)、0.17 kg NH₃-N/(m³·d)、0.25 kg NH₃-N/(m³·d)和 0.34 kg NH₃-N/(m³·d)。

1.3.2 氨氮浓度对反应器处理效能的影响研究

采用 4 个反应器进行平行对比试验。试验用水采用自来水对粪便污水厌氧出水进行稀释,使 NH₃-N 降至 100 mg/L;再用 50 g/L 的 NH₄Cl 溶液调节试验用水的 NH₃-N 浓度,使反应器中 NH₃-N 起始浓度分别控制为 100 mg/L、200 mg/L、300 mg/L、400 mg/L。控制各反应器水温为 20 °C,DO 为 4~4.5 mg/L,有机负荷为 1.2 kg COD_{Cr}/(m³·d),对应的 NH₃-N 负荷分别为 0.17 kg NH₃-N/(m³·d)、

0.34 kg NH₃-N/(m³·d)、0.51 kg NH₃-N/(m³·d)和 0.69 kg NH₃-N/(m³·d)。

1.3.3 提高反应器脱氮效能途径研究

(1) 外加碳源对反应器脱氮效能的影响。采用两个反应器进行平行对比试验,反应器水温为 25 °C,DO 为 4~4.5 mg/L,有机负荷为 1 kg COD_{Cr}/(m³·d),一个反应器投加占总进水量 8 %的粪便污水原水作为脱氮补充碳源,另一个不投加,考察其脱氮效能。

(2) 增加挂膜密度对反应器低温脱氮效能的影响。反应器水温为 13 °C,挂膜密度由 30 %增加至 45 %,有机负荷为 0.5 kg COD_{Cr}/(m³·d),加入占总进水量 8 %的粪便污水原水作为脱氮补充碳源,使 BOD₅/TN 由 0.8 增加至 3.2,考察其脱氮效能。

2 结果与讨论

2.1 有机负荷对反应器处理效能的影响研究

试验结果见图 2~图 4。由图 2 可知,有机负荷为 0.4 kg COD_{Cr}/(m³·d)、0.8 kg COD_{Cr}/(m³·d)、1.2 kg COD_{Cr}/(m³·d)和 1.6 kg COD_{Cr}/(m³·d)时,出水 COD_{Cr} 分别为 340 mg/L、372 mg/L、384 mg/L、409 mg/L,COD_{Cr} 去除率分别为 86.9 %、85.7 %、85.2 %、84.3 %。同时,经测试,反应结束时反应器内 BOD₅ 为 30~45 mg/L,表明残留的 COD_{Cr} 主要

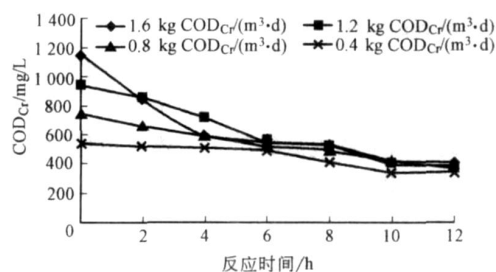


图2 有机负荷对反应器中 COD_{Cr} 去除的影响

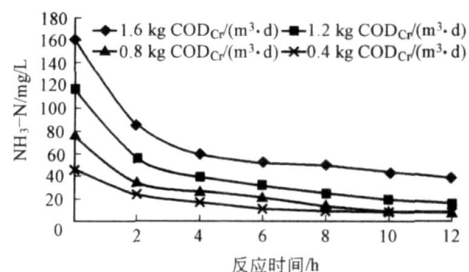


图3 有机负荷对反应器中 NH₃-N 去除的影响

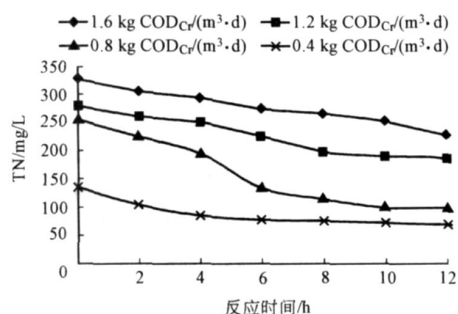


图4 有机负荷对反应器中TN去除的影响
为难生物降解的有机物。

由图3及图4可知,有机负荷为 $0.4 \text{ kg COD}_{\text{Cr}}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 、 $0.8 \text{ kg COD}_{\text{Cr}}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 、 $1.2 \text{ kg COD}_{\text{Cr}}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 和 $1.6 \text{ kg COD}_{\text{Cr}}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 的反应器,出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 分别为 6.7 mg/L 、 7.2 mg/L 、 15 mg/L 和 57 mg/L ,硝化速率分别为 $3.2 \text{ mg NH}_3 - \text{N}/(\text{L} \cdot \text{h})$ 、 $5.8 \text{ mg NH}_3 - \text{N}/(\text{L} \cdot \text{h})$ 、 $8.5 \text{ mg NH}_3 - \text{N}/(\text{L} \cdot \text{h})$ 、 $8.7 \text{ mg NH}_3 - \text{N}/(\text{L} \cdot \text{h})$ 。 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 去除率分别为 98.6% 、 98.5% 、 96.9% 、 88.5% ;出水TN分别为 69 mg/L 、 99 mg/L 、 187 mg/L 、 229 mg/L ,TN去除率分别为 86.7% 、 80.9% 、 63.9% 、 55.8% 。当有机负荷 $\leq 1.2 \text{ kg COD}_{\text{Cr}}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,以及 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 负荷 $\leq 0.25 \text{ kg NH}_3 - \text{N}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时,反应器出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 浓度可达到《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)一级标准。分析认为:SBRR反应器对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 有较好的硝化效果,主要是由于反应器中生物膜上微生物量大、污泥龄较长,为硝化菌生长创造了良好的环境。同时,由图4可知,在反应器中发生了显著的同步硝化反硝化(SND)。分析认为:反应器中良好的微环境是形成反应器SND能力的主要原因:一方面,在较高的溶解氧水平下,在生物膜表面形成良好的好氧硝化环境;另一方面,由于氧传质的限制,在生物膜内部形成了良好的缺氧、厌氧环境。但在反应结束时,反应器出水TN为 $69 \sim 229 \text{ mg/L}$ 。此时反应器中的 BOD/TN 为 $0.2 \sim 0.44$,可利用的反硝化碳源不足是TN浓度不能进一步降低的主要原因。

2.2 氨氮浓度对反应器处理效能的影响

试验结果见图5~图7。由图5、图6可知,当反应器中 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 起始浓度由 100 mg/L 增至 400 mg/L , $\text{NH}_3 - \text{N}$ 负荷由 $0.17 \text{ kg NH}_3 - \text{N}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 增加至 $0.69 \text{ kg NH}_3 - \text{N}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时,反应

器的硝化速率由 $7.1 \text{ mg NH}_3 - \text{N}/(\text{L} \cdot \text{h})$ 降低至 $2.5 \text{ mg NH}_3 - \text{N}/(\text{L} \cdot \text{h})$,硝化速率分别为 $7.1 \text{ mg NH}_3 - \text{N}/(\text{L} \cdot \text{h})$ 、 $6.8 \text{ mg NH}_3 - \text{N}/(\text{L} \cdot \text{h})$ 、 $3.8 \text{ mg NH}_3 - \text{N}/(\text{L} \cdot \text{h})$ 、 $2.5 \text{ mg NH}_3 - \text{N}/(\text{L} \cdot \text{h})$ 。出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 分别为 15.2 mg/L 、 118 mg/L 、 255 mg/L 、 370 mg/L , $\text{NH}_3 - \text{N}$ 去除率分别为 82.2% 、 41% 、 15% 、 7.5% 。

由图7可知,反应器中 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 越低, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 越高。而当 $\text{NH}_3 - \text{N} \geq 200 \text{ mg/L}$ 时, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 显著降低。同时由表2可知,随着反应器中 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 起始浓度由 100 mg/L 增加至 400 mg/L ,微生物的脱氢酶活性由 $9.29 \mu\text{g TF}/(\text{g MLSS} \cdot \text{h})$ 下降到 $4.57 \mu\text{g TF}/(\text{g MLSS} \cdot \text{h})$,较高的 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 对微生物的活性有明显的抑制作用。分析认为,对于经过厌氧生物处理后的粪便污水,有机氮均已转化为 $\text{NH}_3 - \text{N}$,

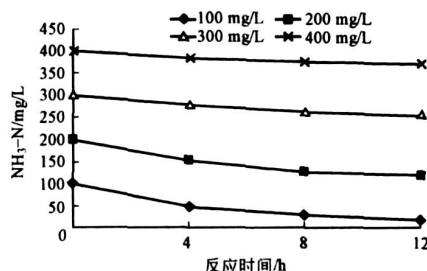


图5 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 对反应器中 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 去除的影响

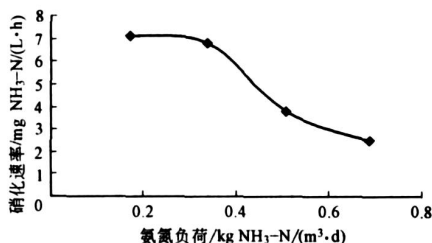


图6 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 负荷对硝化速率的影响

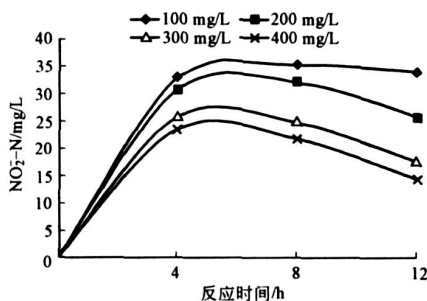


图7 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 对反应器中 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 浓度的影响

并且由于出水 pH 为 8.5 左右,此时,粪便污水厌氧出水中存在大量的游离氨,而游离氨对亚硝化菌和硝化菌均有抑制作用^[3],而且对硝化菌的影响更大,当游离氨浓度为 1~5 mg/L 时就会抑制硝化菌的活动^[4]。因此,反应器中的 $\text{NH}_3 - \text{N} \geq 200 \text{ mg/L}$ 时,对自养微生物产生了抑制作用,需对其 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 进行控制。此外,在本试验氮负荷为 $0.17 \text{ kg NH}_3 - \text{N}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 和 $0.34 \text{ kg NH}_3 - \text{N}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 的反应器中的硝化速率分别为 $7.1 \text{ mg NH}_3 - \text{N}/(\text{L} \cdot \text{h})$ 及 $6.8 \text{ mg NH}_3 - \text{N}/(\text{L} \cdot \text{h})$,低于前有机负荷影响试验中相同负荷的反应器的硝化速率 $8.5 \text{ mg NH}_3 - \text{N}/(\text{L} \cdot \text{h})$ 和 $8.7 \text{ mg NH}_3 - \text{N}/(\text{L} \cdot \text{h})$,分析认为其主要影响因素是温度的降低。

表 2 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 浓度及负荷对反应器中微生物活性的影响试验结果

$\text{NH}_3 - \text{N}/\text{mg/L}$	$\text{NH}_3 - \text{N}$ 负荷 / $\text{kg NH}_3 - \text{N}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$	脱氢酶 / $\mu\text{g TF}/(\text{g MLSS} \cdot \text{h})$
100	0.17	9.29
200	0.34	7.25
300	0.51	5.21
400	0.69	4.57

2.3 提高反应器脱氮途径研究

试验结果见图 8 和图 9。由图 8 可知,在水温 25°C 时,向 SBBR 反应器中投加占进水量 8% 的粪便污水作为碳源,可以使处理水的 BOD/TN 由 0.8 增加至 3.2,其最终出水的 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 为 7.2 mg/L , TN 为 17 mg/L 。与未加碳源时相比, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 去除率由 97.3% 提高至 98.5%, TN 去除率由 85.7% 提高至 96.7%。由图 9 可知,在水温为 13°C 条件下,通过将反应器的挂膜密度由 30% 增加至 45%,并向反应器中投加粪便污水作为碳源,可以使处理水的 BOD/TN 由 0.8 增加至 3.2,其最终出水的

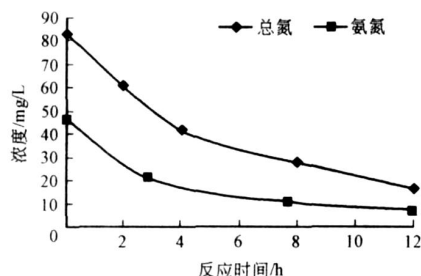


图 8 水温 25°C 时原水外加碳源对反应器脱氮的影响

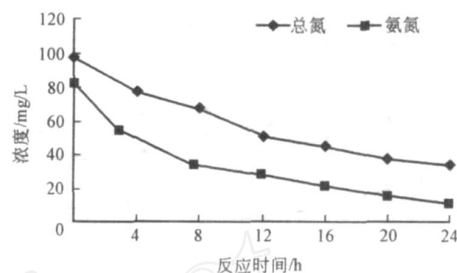


图 9 水温 13°C 时提高挂膜密度及原水外加碳源对反应器脱氮的影响

$\text{NH}_3 - \text{N}$ 为 11.4 mg/L , $\text{NH}_3 - \text{N}$ 去除率由 96.8% 提高至 97.7%; TN 为 34.2 mg/L , TN 的去除率由 84.3% 提高至 93.4%。

3 结论

(1) 当水温 $\geq 20^\circ\text{C}$, 挂膜密度为 30%, 有机负荷为 $0.8 \text{ kg COD}_\text{Cr}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 负荷为 $0.17 \text{ kg NH}_3 - \text{N}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时,在 SBBR 反应器中实现了高效同步硝化反硝化脱氮,使进水 COD_Cr 为 2600 mg/L , BOD_5 为 $500\sim 600 \text{ mg/L}$, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 为 $500\sim 600 \text{ mg/L}$ 的污水,出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 为 7.2 mg/L , TN 为 99 mg/L , $\text{NH}_3 - \text{N}$ 去除率 $> 98\%$, TN 去除率 $> 80\%$ 。

(2) 当反应器中 $\text{NH}_3 - \text{N} \geq 200 \text{ mg/L}$ 时,将对自养微生物产生明显的抑制作用。

(3) 在 SBBR 反应器进水中接入 8% 的粪便污水原水,解决了脱氮过程碳源不足的问题。在低温条件下,通过将反应器的挂膜密度提高至 45%,可使 TN 去除率由 84.3% 提高至 93.4%。

参考文献

- 孙锦宜. 含氮废水处理技术与应用, 北京: 化学工业出版社, 2003
- 刘大鹏, 王继徽, 全武刚. 高浓度氨氮废水的处理现状与发展. 工业水处理, 2002, 22(9): 9~12
- Anthonison A C, Loehr R C, Prakasam T B, et al. Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid. J WPCF, 1976, 48(5): 835~852
- Abeling U, Seyfried C F. Anaerobic-aerobic treatment of high-strength ammonia wastewater-nitrogen removal via nitrite. Water science technology, 1992, 26(5~6): 1007~1015

& 电话: (023) 66357572

E-mail: zhoujiantt@126.com

收稿日期: 2006-08-07

修回日期: 2006-11-07