

## 完全混合式 MBR 反应器处理猪场沼液试验研究

杨莉<sup>1</sup> 仲立文<sup>2</sup> 卫丹<sup>2\*</sup> 殷鸿洋<sup>3</sup> 孙昭<sup>3</sup>

1. 常州苏测环境检测有限公司, 江苏 常州 213164
2. 常州大学环境科学与工程学院, 江苏 常州 213164
3. 常州科清环保科技有限公司, 江苏 常州 213164

**[摘要]**近年来,我国规模化养猪场得到了迅速的发展,同时产生的养猪废水也给生态环境带来了极大的压力。文章以浙江某地区规模化养猪场沼液为研究对象,研究利用 MBR 处理猪场沼液对污染物的处理效果。主要结论如下:长期稳定运行特性研究:长期运行条件下,MBR 处理猪场沼液时受 COD 容积负荷限制不大,受氨氮容积负荷影响较大。COD 容积负荷在  $0.16\sim 3.07\text{kg}\cdot\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$  之间,去除率为 70%~95%,出水 COD 浓度在  $237\sim 651\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  之间,不能够稳定达到《畜禽养殖业污染物排放标准》中小于  $400\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  的标准,这部分主要是沼液中的难降解有机物,单纯依靠生物处理达标难度较大。氨氮容积负荷不高于  $0.60\pm 15\%\text{kg}\cdot\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$  时,出水氨氮浓度能够稳定达到《畜禽养殖业污染物排放标准》的排放标准 ( $\leq 80\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ),去除率可以稳定达到了 96% 以上。但是,长期运行条件下发生亚硝态氮积累的情况应该引起重视。MBR 出水 TOC 主要分布在 < 1 k 区间内,占总 TOC 的 94.3%,C30 以下直链烷烃占到了 50% 以上。

**[关键词]**猪场沼液; COD; MBR

DOI: 10.33142/nsr.v1i1.12916

中图分类号: X713

文献标识码: A

## Experimental Study on the Treatment of Pig Farm Biogas Slurry Using a Fully Mixed MBR Reactor

YANG Li<sup>1</sup>, ZHONG Liwen<sup>2</sup>, WEI Dan<sup>2\*</sup>, YIN Hongyang<sup>3</sup>, SUN Zhao<sup>3</sup>

1. Changzhou Suce Environmental Testing Co., Ltd., Changzhou, Jiangsu, 213164, China
2. School of Environmental Science and Engineering, Changzhou University, Changzhou, Jiangsu, 213164, China
3. Changzhou Keqing Environmental Protection Technology Co., Ltd., Changzhou, Jiangsu, 213164, China

**Abstract:** In recent years, large-scale pig farms in China have experienced rapid development, and the generated pig wastewater has also brought great pressure to the ecological environment. This article takes the biogas slurry from large-scale pig farms in a City of Zhejiang as the research object, and studies the treatment effect of using MBR to treat pollutants in pig manure. The main conclusions are as follows: research on long-term stable operation characteristics: under long-term operation conditions, MBR treatment of pig manure is not limited by COD volume load, but is greatly affected by ammonia nitrogen volume load. The COD volumetric load ranges from  $0.16\sim 3.07\text{kg}\cdot\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ , with a removal rate of 70%~95%. The effluent COD concentration ranges from 237 to 651  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , which cannot stably meet the standard of less than 400  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  in the Livestock and Poultry Pollutant Discharge Standard. This part is mainly composed of recalcitrant organic compounds in the biogas slurry, which is difficult to achieve solely through biological treatment. When the volumetric load of ammonia nitrogen is not higher than  $0.60\pm 15\%\text{kg}\cdot\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ , the ammonia nitrogen concentration in the effluent can stably reach the emission standard of the Livestock and Poultry Pollutant Emission Standard ( $\leq 80\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), and the removal rate can stably reach over 96%. However, the accumulation of nitrite nitrogen under long-term operating conditions should be taken seriously. The TOC of MBR effluent is mainly distributed within the range below 1 k, accounting for 94.3% of the total TOC, and straight chain alkanes below C30 account for more than 50%.

**Keywords:** PIG farm biogas slurry; COD; MBR

### 1 试验装置与方法

#### 1.1 试验装置及流程图

完全混合式 MBR 反应器处理猪场沼液试验装置流程图如图 1 所示,图 2 为装置的现场试验图。反应器长\*宽\*高为  $85\text{cm}\cdot 15\text{cm}\cdot 100\text{cm}$ ,有效容积 95L。内置 PVDF 平板膜(江苏大孚膜科技有限公司),有效膜面积为  $0.1\text{m}^2$ ,平均膜孔径  $0.1\mu\text{m}$ 。连续进出水,定时对膜进行清洗以保持

恒定膜通量。反应器内加热棒使水温保持在  $20\sim 25^\circ\text{C}$  之间。 $\text{DO}\geq 5\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,pH 保持在  $8\sim 9$  之间,接种污泥取自某联合污水处理厂,启动接种浓度  $\text{MLSS}=2624\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , $\text{MLVSS}=1868\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,试验过程中未进行剩余污泥排放,试验共运行 46 天。通过逐步缩短 HRT、增大负荷的方式完成试验启动,HRT 从 12.7d 缩短至 9.5d、6.3d、4.8d、3.8d,并最终缩短至 3.2d。

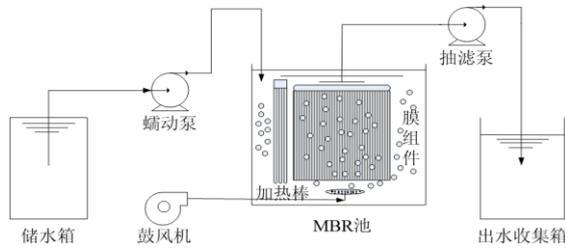


图1 MBR反应器处理猪场沼液装置流程图



图2 MBR反应器处理猪场沼液现场试验图

### 1.2 反应器主要设备

试验装置主要设备见表1。

表1 反应器设备表

设备	型号	规格	生产厂家
蠕动泵	BT300-1J	0.07~1140mL·min <sup>-1</sup>	保定兰格恒流泵有限公司
抽滤泵	BT300-2J	1.7~870mL·min <sup>-1</sup>	保定兰格恒流泵有限公司
鼓风机	ACO-012	150L·min <sup>-1</sup>	浙江森森实业有限公司
加热棒	H-935	17~35℃	中山超信电器有限公司

### 1.3 试验水质

2023.4—2023.10 期间不定期采集某规模化猪场沼液，每次采集 1t，静置沉淀后室温（10~15℃）储存作为 MBR 试验原水，原水水质见表2。

表2 试验用水水质

项目	TCOD	SCOD	TN	NH4 <sup>+</sup> -N	TP	pH
数值	1034~8740	905~8056	1206~1698	7653~1536	32.9~117	7.52~7.99

(注：除 pH 外，其余项目单位均为 mg·L<sup>-1</sup>。)

### 1.4 检测项目及方法

试验过程中主要检测项目及方法见表3所示。

表3 试验检测项目及方法

分析项目	方法	主要仪器
COD	重铬酸钾法	JHA-100 标准 COD 消解器
氨氮	纳氏试剂比色法	岛津 UV-2450 紫外可见分光光度计
TOC	仪器法	岛津 TOC-VCS 总有机碳分析仪
pH 值	仪器法	6173 型微电脑酸度/氧化还原/温度台式测定仪
溶解氧	仪器法	YSI D0200 型便携式溶解氧仪
MLSS、VSS	减重法	DGG-9053A 型电热恒温鼓风干燥箱
分子量	滤膜法	MSC300 杯式超滤器

## 2 长期运行条件下 MBR 对沼液污染物的去除效果

### 2.1 COD 负荷和 COD 去除效果

COD 去除效果及负荷如图 3~4 所示。1~31 天 COD 容积负荷主要集中在 0.16~0.59kg·m<sup>-3</sup>·d<sup>-1</sup> 之间，容积负荷较低，出水 COD 浓度在 237~648mg·L<sup>-1</sup> 之间。32~61 天进水 COD 浓度急剧升高，达到了 7000mg·L<sup>-1</sup> 以上，主要原因是这段时间采集沼液的猪场正在进行改造，采集沼液有一定困难，MBR 进水为之前的剩余沼液（2013 年 1 月 6 日采集）。此阶段 COD 容积负荷在 1.55~3.07kg·m<sup>-3</sup>·d<sup>-1</sup> 之间，容积负荷最高为普通活性污泥法（0.4~0.8kg·m<sup>-3</sup>·d<sup>-1</sup>）的 3.8 倍，试验装置开始稳定运行，COD 去除率稳定在 91% 以上，出水 COD 浓度在 368~651mg·L<sup>-1</sup> 之间。62~85 天 MBR 进水为剩余沼液中添加新采集的沼液，COD 容积负荷较前一阶段有所下降，在 0.74~1.40kg·m<sup>-3</sup>·d<sup>-1</sup> 之间，出水 COD 浓度在 284~588mg·L<sup>-1</sup> 之间。86~115 天进水 COD 浓度较前面有所降低，在 1393~1841mg·L<sup>-1</sup> 之间，因为这批沼液水样采集于 2013 年 7 月，此时正值夏季，此阶段 COD 容积负荷主要集中在 0.50~0.63kg·m<sup>-3</sup>·d<sup>-1</sup> 之间，污泥负荷维持在 0.03~0.05kg-COD·kg<sup>-1</sup>-MLSS·d<sup>-1</sup> 之间，远远低于普通活性污泥法。但是出水 COD 浓度并没有发生太大变化，在 376~588mg·L<sup>-1</sup> 之间，去除率有所下降，只有 70% 左右。

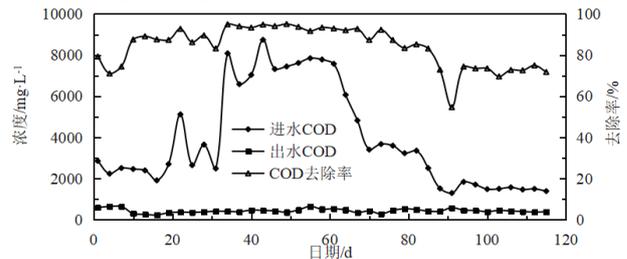


图3 MBR对COD的去除效果

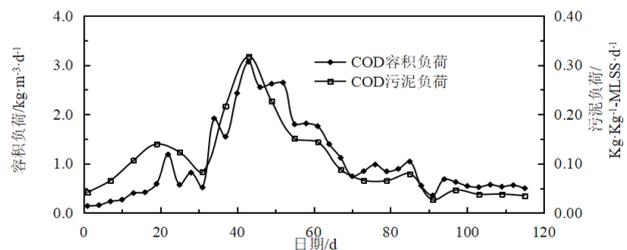


图4 COD容积负荷和污泥负荷

整体上 COD 去除率在 70~95% 之间，要高于传统好氧生物处理方法时 COD 去除率（75~80%），但是出水 COD 浓度依然很高，在 237~651mg·L<sup>-1</sup> 之间，不能稳定达到《畜禽养殖业水污染物排放标准》中要求出水 COD 浓度小于 400mg·L<sup>-1</sup> 的标准。特别是在 86 天以后，在进水 COD 浓度低、COD 容积负荷与普通活性污泥法接近、污泥负荷远远低于普通活性污泥法时，出水 COD 浓度依然在 350mg·L<sup>-1</sup> 以上。说明猪场沼液单纯依靠生物处理达标准

度较大,主要是因为沼液中存在难降解有机物,该部分有机物需通过投加高效降解菌或增加深度处理工艺方可有望达标。

115天以后 MBR 出水 COD 浓度一直大于进水 COD 浓度,且二者的差值越来越大,140~142 天有所降低是因为稀释作用,期间反应器进行了排泥,然后添加自来水保持体积不变。此阶段进水 COD 浓度在  $1034\sim 1427\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  之间,负荷也没有发生变化,但是出水浓度达到了  $4000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  以上。考虑 COD 的测试方法会受到亚硝态氮的影响,理论上  $1\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  亚硝态氮将产生  $1.141\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\text{COD}$ ,所以 127 天开始对出水亚硝态氮进行了跟踪检测,发现反应器中发生了亚硝态氮积累的情况(图 5),并且亚硝态氮的变化趋势与出水 COD 基本一致,正是由于测试中重铬酸钾溶液具有强氧化性,导致了出水 COD 浓度检测值变高。但是长期运行条件下 MBR 处理猪场沼液过程中会发生亚硝态氮积累的情况应该引起重视。

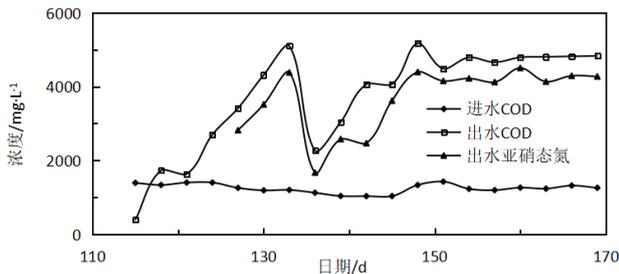


图 5 115~169 d 进出水 COD 浓度变化情况

## 2.2 氨氮负荷和氨氮去除效果

氨氮负荷是影响沼液处理效果的最重要因素。氨氮负荷过高时,不仅会影响系统的硝化效率,还会在反应器内积累高浓度的氨氮,对微生物产生毒性,从而抑制微生物对其他污染物的降解活性。长期运行条件下氨氮去除效果与氨氮负荷变化情况如图 6~7 所示。

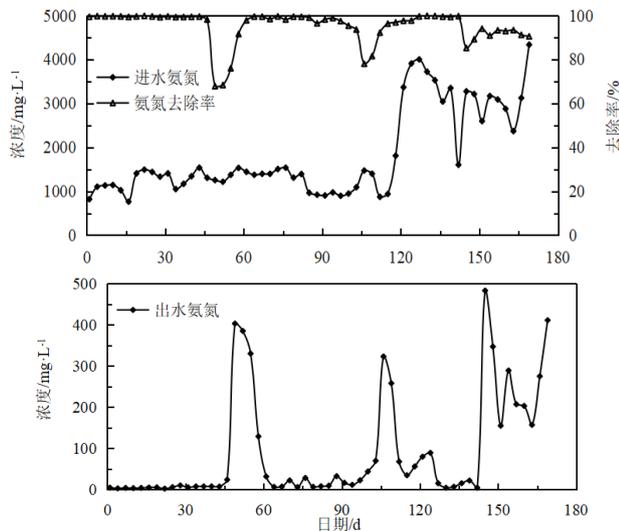


图 6 MBR 对氨氮的去除效果

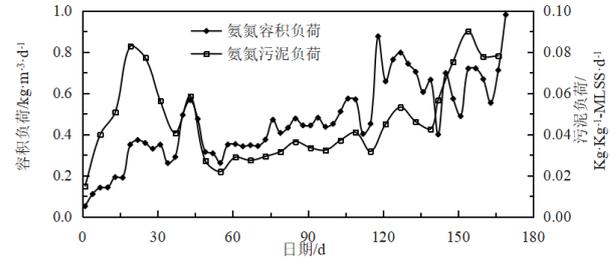


图 7 氨氮容积负荷和污泥负荷

1~16 天氨氮容积负荷集中在  $0.11\sim 0.19\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$  之间,此阶段为试验开始阶段,容积负荷较低,出水氨氮浓度在  $5.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  以下。17~73 天进水氨氮容积负荷集中在  $0.31\sim 0.37\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$  之间,进水氨氮浓度在  $1049\sim 1536\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  之间,出水浓度主要在  $2.28\sim 23.9\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  之间,去除率达到了 98% 以上。第 49 天出水氨氮浓度急剧升高,达到了  $403\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,原因可能是在这之前氨氮容积负荷提高过大 ( $0.47\sim 0.57\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ ),活性污泥还不能适应,整体处理能力有限。74~115 天氨氮容积负荷进一步提高,集中在  $0.43\sim 0.51\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$  之间,出水氨氮浓度集中在  $6.59\sim 69.8\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  之间,较前一阶段出水氨氮浓度有所升高。106 天时氨氮容积负荷提高到  $0.57\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ ,导致出水氨氮浓度升高,达到了  $323\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,随后将氨氮容积负荷重新调整到  $0.50\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$  以下,出水氨氮浓度降低。为进一步考察 MBR 对氨氮容积负荷的耐受性,随后的 MBR 进水中人工添加硫酸铵和碳酸氢钠,提高进水氨氮浓度。116~139 天氨氮容积负荷在  $0.61\sim 0.88\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$  之间,出水氨氮浓度在  $4.43\sim 89.2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  之间,去除率仍然达到了 96% 以上。表明活性污泥经过之前的高氨氮负荷驯化后,硝化能力有所提高,抗氨氮冲击负荷能力增强。140 天排泥 40L 后,出水氨氮浓度开始升高,在  $155\sim 483\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  之间。

由上述结果可知,在氨氮容积负荷不高于  $0.60\pm 15\%\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$  时,MBR 处理猪场沼液的出水氨氮浓度能够稳定达到《畜禽养殖业污染物排放标准》的排放标准 ( $\leq 80\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ),与普通活性污泥法的氨氮容积负荷相比 ( $0.1\sim 0.15\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ ),本研究得到的 MBR 可耐受氨氮容积负荷比普通活性污泥法提高了 2 倍以上。

## 3 进出水分子量分布及 GC-MS 分析

### 3.1 进出水分子量分布

#### 3.1.1 实验方法与仪器

本实验采用超滤膜法进行 TOC 分子量分布的测定。超滤膜采用的是上海摩速科学器材有限公司生产的 SARTORIUS 膜系列,膜材质为聚醚砜树脂 (PES)。实验膜用去离子水浸泡漂洗三次(光滑面向下),每次浸泡 1 h,用去离子水清洗后放入冰箱内  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  保存待用。使用前用 500mL 去离子水过滤清洗三次,直至出水的 UV254 和去离

子水相一致。

实验采用的 MSC300 杯式超滤器为杯式超滤器，由 MSC050 公司提供，有效容积 300mL，有效面积为  $3.32 \times 10^{-3} \text{m}^2$ 。内有聚四氟乙烯磁力搅拌装置，转速  $200 \sim 300 \text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 。用高纯氮气作为驱动压力，工作压力为  $0.2 \sim 0.4 \text{Mpa}$ 。实验采用平行法，水样先通过  $0.45 \mu\text{m}$  微滤膜过滤，再分别通过 100k、30k、5k、1k 的超滤膜，分别测定每次过滤液的 TOC。

### 3.1.2 实验结果

试验第 103 天采集 MBR 进出水水样，对其有机物分子量分布情况进行测定，如图 8 所示。进水沼液 TOC 主要分布在 30k~100k 和 <1k 两个区间，两个区间的有机物含量分别占总 TOC 的 8.11% 和 88.4%，MBR 出水 TOC 主要分布在 <1k 区间，其有机物含量占出水总 TOC 的 94.3%，可以看出进水和出水有机物基本上都集中在 <1k 区间内；其他三个区间内进出水 TOC 所占的比例变化不大。通过进出水分子量分布比较，30k~100k 区间的出水 TOC 明显减少，而 <1k 区间的出水 TOC 明显有增加，并且两者的数值相差不大，说明生物处理过程中活性污泥对 30k~100k 区间的有机物降解效果较好，降解产物基本都是属于 <1k 区间的有机物。

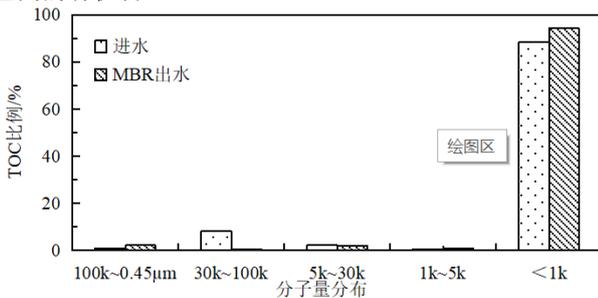


图 8 MBR 进出水分子量分布情况

## 4 进出水 GC-MS 扫描分析

### 4.1 实验方法与仪器

用机萃取液进行气-质联用分析，GC/MS 为安捷伦公司生产的 GC/MS (7890A/5975C) 型气相色谱-质谱联用仪。

GC 条件：HP-5 色谱柱，载气为氦气，柱流量为  $1 \text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ；程序升温条件：初始温度  $40^\circ\text{C}$ ，保持 2min，先以  $10^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$  的速率升温至  $150^\circ\text{C}$ ，保持 2min，然后以  $5^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$  升温至  $270^\circ\text{C}$ ，保持 2min，再以  $5^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$  升温到  $180^\circ\text{C}$ ，保持 2min，总共运行 41min。进样口温度设为  $250^\circ\text{C}$ ；分流进样，分流比为 5 : 1，分流流量  $5 \text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

MS 条件：电离方式为 EI，电子能量为 70eV，传输线温度为  $250^\circ\text{C}$ ，离子源温度为  $230^\circ\text{C}$ ，四级杆温度为  $150^\circ\text{C}$ ，采用全扫描，扫描范围 m/z 为 35~500。

### 4.2 样品预处理

实验使用二氯甲烷作为萃取剂萃取猪场沼液和 MBR

出水中的有机物组分，经浓缩后用 GC-MS 进行检测。

(1) 碱性萃取：取 500ml 经过玻璃纤维膜过滤后的水样置于分液漏斗中，使用 NaOH 溶液将水样的 pH 值调节到 11 以上，然后加入 30ml 二氯甲烷，振荡 5min，期间周期性地释放分液漏斗中压力，摇匀后静置 10min。然后分离出二氯甲烷相进行离心破乳，重复萃取三次，合并萃取物。

(2) 酸性萃取：用  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液将碱性萃取后水样的 pH 值调节到 2 以下，其余操作与碱性萃取相同，重复萃取三次，合并萃取物。

最后将上述二种萃取物合并后加入少量无水硫酸钠干燥，过滤液经旋转蒸发仪浓缩至 2ml，然后经高纯氮气吹干后用二氯甲烷定容至 1ml，冰箱中保存待测。

### 4.3 结果与讨论

试验第 103 天采集 MBR 进出水水样进行 GC-MS 检测，其有机物的总离子流图谱如图 9~10 所示。

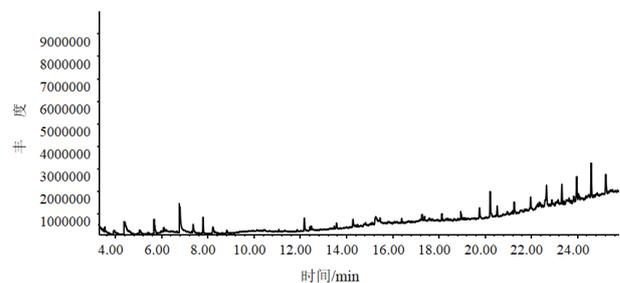


图 9 MBR 进水沼液中有有机物总离子流图

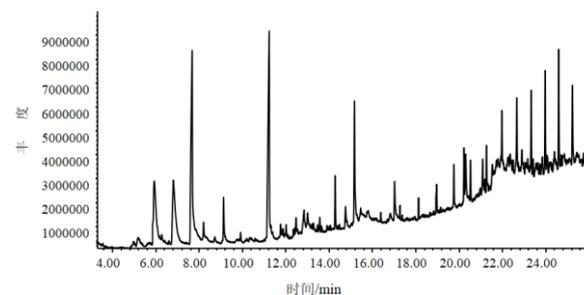


图 10 MBR 出水中有机物总离子流图

据图谱导出的 CAS 号和匹配度，参照图-按时间顺序列出 MBR 进水中峰面积在 100 万以上的有机物，见表 4。进水沼液中有有机物的种类较多，部分有机物的含量也较大（图 9）。6 分钟前后出现了二种苯酚类物质，苯酚可用作消毒剂，可能在清洗猪舍时会有少量的使用。7 分钟左右出现了大量的苯乙酸，苯乙酸是医药等有机合成的中间体，在医药工业中用于青霉素、地巴唑等药物的生产，具有很强的杀菌作用。9 分钟后出现了大量的吡啶类物质，主要是 3-甲基吡啶，3-甲基吡啶又名粪臭素，大都存在于粪便中。14 分钟和 20 分钟左右时出现的邻苯二甲酸二异丁酯和邻苯二甲酸二异辛酯两种物质属于我国环境优先污染物黑名单和美国 EPA 公布的 129 种优先污染物之一。18

分钟后出现了很多长链烷烃类物质,主要有十七烷、十八烷、二十烷等。

表 4 MBR 进水中峰面积在 100 万以上的有机物

时间/min	物质	匹配度	峰面积
5.938	对甲基苯酚	97	20096828
6.827	对乙基苯酚	93	25565886
7.690	苯乙酸	91	37334682
9.143	3-甲基咪唑	94	4202235
11.248	1-甲酸基咪唑啉	70	34489979
14.296	邻苯二甲酸二异丁酯	90	4301180
15.185	棕榈酸	99	12556537
17.035	硬脂酸	89	3905042
18.157	十七烷	96	1220775
18.980	十七烷	97	1812655
19.774	十七烷	97	2136611
20.240	邻苯二甲酸二异辛酯	86	3427162
20.542	十八烷	96	2925018
21.103	(-)-异长叶醇	46	2567951
21.278	二十一烷	97	2941480
21.988	十八烷	95	3172439
22.677	二十烷	97	2886371
23.343	二十烷	98	5462080
23.988	二十烷	98	6634717
24.614	二十烷	98	7844062
25.248	二十烷	96	6688460

由图 10 可以看出, MBR 出水中有机物的含量明显减少, 将 MBR 出水中峰面积在 30 万以上的有机物按时间顺序列出, 见表 5。出水中苯酚类、嘧啶类和喹啉类等复杂有机物都没有被检出, 在试验过程中基本上都被降解了。同样, 在 14 分钟左右检测出邻苯二甲酸二异丁酯, 含量较进水大大地减少了, 出水中没有检出邻苯二甲酸二异辛酯。16 分钟后出水中检测出的大量有机物基本上是 C30 以下的直链烷烃类物质, 主要为十八烷和二十烷, 但是烷烃类物质的含量明显降低。出水中也检测出了新的物质, 主要是脂类, 可能是进水中某些烃类物质的氧化中间产物。结果表明, MBR 对可降解有机物的去除效果良好。

表 5 MBR 出水中峰面积在 30 万以上的有机物

时间/min	物质	匹配度	峰面积
4.405	戊二醛	80	1525069
5.705	1-氯-2,2-二氟丙烷	32	1738027
6.809	1,5-Hexadiene, 3-methyl-	47	3744564
7.381	CAS 号 026688-50-6	78	1108615
7.810	3,4-二氢-2H-吡喃	58	1067025
8.236	2-甲基喹啉	96	871007

时间/min	物质	匹配度	峰面积
12.192	三烯丙基异氰脲酸酯	99	12556537
14.297	邻苯二甲酸二异丁酯	81	649121
16.405	十六烷	96	366589
17.298	二十一烷	96	426964
18.153	二十一烷	95	495014
18.980	二十四烷	95	584664
19.770	二十三烷	95	876383
20.237	邻苯二甲酸单(2-乙基己基)酯	83	1820494
20.535	二十一烷	95	847402
21.275	二十烷	96	756796
21.985	二十烷	96	737719
22.670	二十烷	96	1681762
23.336	十八烷	95	1745479
23.977	二十烷	96	2346429
24.607	二十烷	94	2596329
25.237	十八烷	93	2013975

## 5 结果与分析

本文研究了长期运行时, 不同容积负荷条件下 MBR 对猪场沼液的去 除效果, 以及进出水微量有机物的变化情况, 具体结论如下:

(1) MBR 处理猪场沼液时受 COD 容积负荷限制不大, COD 容积负荷在  $0.16 \sim 3.07 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$  之间, 去除率在 70%~95% 之间。但是出水 COD 浓度很高, 在  $237 \sim 651 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  之间, 不能稳定达到《畜禽养殖业污染物排放标准》中小于  $400 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  的标准, 这部分主要是沼液中的难降解有机物, 单纯依靠生物处理达标难度较大, 该部分有机物需通过投加高效降解菌或增加深度处理工艺方可有望达标。

(2) MBR 处理猪场沼液受氨氮容积负荷影响较大, 在氨氮容积负荷不高于  $0.60 \pm 15\% \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$  时, MBR 处理猪场沼液的出水氨氮浓度能够稳定达到《畜禽养殖业污染物排放标准》的排放标准 ( $\leq 80 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ), 去除率可以稳定达到了 96% 以上。但是, 长期运行条件下会发生亚硝态氮积累的情况应该引起重视。

(3) MBR 进出水 TOC 主要分布在  $< 1 \text{ k}$  区间内, 分别占总 TOC 的 88.4% 和 94.3%, MBR 出水中有机物的含量较进水明显减少, 出水中苯酚类、嘧啶类和喹啉类等复杂有机物都没有被检出, 进出水检出的有机物中 C30 以下直链烷烃占到了 50% 以上。

## 6 结论

长期运行条件下, MBR 处理猪场沼液时受 COD 容积负荷限制不大, COD 容积负荷在  $0.16 \sim 3.07 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$  之间, 去除率在 70%~95% 之间。但是出水 COD 浓度很高, 在  $237 \sim 651 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  之间, 不能稳定达到《畜禽养殖业污染物排放标准》中小于  $400 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  的标准, 这部分主要是

沼液中的难降解有机物,单纯依靠生物处理达标难度较大,该部分有机物需通过投加高效降解菌或增加深度处理工艺方可有望达标。

MBR 处理猪场沼液受氨氮容积负荷影响较大,在氨氮容积负荷不高于  $0.60 \pm 15\% \text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$  时,MBR 处理猪场沼液的出水氨氮浓度能够稳定达到《畜禽养殖业污染物排放标准》的排放标准 ( $\leq 80 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ),去除率可以稳定达到了 96% 以上。但是,长期运行条件下会发生亚硝态氮积累的情况应该引起重视。

MBR 进出水 TOC 主要分布在  $<1\text{k}$  区间内,分别占总 TOC 的 88.4% 和 94.3%,MBR 出水中有机物的含量较进水明显减少,出水中苯酚类、嘧啶类和喹啉类等复杂有机物都没有被检出,进出水检出的有机物中 C30 以下直链烷烃占到了 50% 以上。

#### [参考文献]

- [1]张青,栗方亮,孔庆波.沼液配施化肥对蜜柚产量、品质及土壤重金属的影响[J].中国南方果树,2024,53(2):21-27.
- [2]林东文.南方中小规模养猪场楼层式改造及粪污资源化利用实践[J].中国畜禽种业,2024,20(3):96-101.
- [3]黄燕.猪场沼液中悬浮固体对自养同步脱氮工艺的影响[D].四川:四川农业大学,2023.
- [4]刘佳鑫,邓良伟,张静妮,等.新型微氧反应器对沼液的处理性能[J].环境工程学报,2023,17(3):1011-1022.
- [5]刘思强,信欣,朱羽蒙,等.脱氮除磷功能菌泥强化低溶解氧 ACF-BAF 工艺处理猪场沼液效能及微生物种群分析[J].环境工程学报,2022,16(7):2397-2407.
- [6]施艳红,规模化猪场粪污资源化利用种养结合新模式创建与示范应用[Z].
- [7]郭佳豪,胡宝娥,肖雅,等.猪场沼液本土微生物富集的氮磷回收特性[J].华中农业大学学报,2022,41(4):79-86.
- [8]吴永明,邓利智,余郭龙,等.多级 A/O-SBBR 生化工艺耦合生态净化系统处理猪场沼液的工程应用[J].水处理技术,2022,48(7):153-156.
- [9]张海莹,刘梦亭,花俊国.粮食主产区畜禽粪便对耕地的污染风险与预测[J].农业科学研究,2023,44(4):7-14.
- [10]宁秀美,李雨娟,洪坤钰.中卫市沙坡头区畜禽养殖污染防治研究[J].中国资源综合利用,2023,41(12):177-179.
- [11]扬州市人大常委会.扬州市畜禽养殖污染防治条例

[N].扬州日报,2023-12-11(04).

[12]常保良.农村畜禽养殖环境污染监测与净化的综述和展望[J].畜牧业环境,2023(22):17-19.

[13]杜金辉.畜禽粪污资源化利用及养殖污染防治策略[J].低碳世界,2024,14(4):27-29.

[14]林荣科.畜禽养殖污染防治策略探究[J].广东蚕业,2024,58(4):32-34.

[15]Yuxuan Xu,Ting Ma,et al.Spatial patterns in pollution discharges from livestock and poultry farm and the linkage between manure nutrients load and the carrying capacity of croplands in China[J].ScienceoftheTotalEnvironment,2023(901):166006.

[16]Boyang Shi,Changbin Yin,et al.Opportunities for centralized regional mode of manure and sewage management in pig farming: The evidence from environmental and economic performance[J].Waste Management,2023(170):240-251.

[17]Bincheng Lin,Jinxing Ma.Recent advances in biofilm technologies for breeding wastewater treatment: Fundamentals performance and impacts of antibiotics[J].Journal of Water Process Engineering,2024(62):29.

[18]Shuang Peng,Hongyan Zhang,et al.Distribution of antibiotic heavy metals and antibiotic resistance genes in livestock and poultry feces from different scale of farms in Ningxia China[J].Journal of Hazardous Materials,2022(440):129719.

[19]Mengyuan Zou,WeiJun Tian,et al.Quinolone antibiotics in sewage treatment plants with activated sludge treatment processes: A review on source concentration and removal[J].Process Safety and Environmental Protection,2022(160):116-129.

[20]Boyang Shi,Shu Wang,et al.Recognition on characteristics and applicability of typical modes for manure & sewage management in pig farming: A case study in Hebei China[J].Waste Management,2022(148):83-97.

作者简介:杨莉(1987.7—),女,本科,环保中级工程师,研究方向:环境工程;\*通讯作者:卫丹:(1990.2—),男,研究生,研究方向:环境工程。