

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.05.015

# 鸡粪厌氧发酵沼液达标处理工艺研究\*

王峰 严潇南 杨海真

(同济大学污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092)

**【摘要】** 为解决鸡场沼气工程沼液后续处理问题,以某养鸡场沼气工程全混式发酵池出水沼液处理为例,研究鸡粪厌氧发酵沼液的达标处理工艺。从鸡粪厌氧发酵沼液的特点出发,采用生化法与物化法相结合工艺处理沼液,并考查了3种不同组合的工艺处理效果。先以小试试验确定工艺最佳运行参数,再中试运行考查工艺的处理效果。结果表明:采用鸟粪石-SBR-混凝工艺处理鸡粪厌氧发酵沼液,沼液 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 由9 200 mg/L降至280 mg/L, $\text{NH}_4^+$ -N由3 200 mg/L降至36 mg/L,TP由270 mg/L降至3.3 mg/L,达到畜禽养殖业污染物排放标准(GB 18596—2001);对于鸡粪厌氧发酵沼液中 $\text{NH}_4^+$ -N的去除,直接采用SBR处理,微生物会受到游离氨抑制, $\text{NH}_4^+$ -N去除率不足30%,生化处理前必须采用预处理降低 $\text{NH}_4^+$ -N负荷;鸡粪厌氧发酵沼液生化性良好,但仍含有一定量难降解 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ ,采用生化处理结合物化工艺进行深度处理可以以较低成本实现达标排放。

**关键词:** 鸡粪 沼液 厌氧发酵 达标处理

**中图分类号:** X703; S216.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)05-0084-07

## Treatment Process of Anaerobically Digested Effluent of Chicken Manure for Meeting the Discharging Standard

Wang Feng Yan Xiaonan Yang Haizhen

(State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, Tongji University, Shanghai 200092, China)

### Abstract

To solve subsequent treating problems of chicken farm biogas project slurry, a research was carried out on treatment processes of anaerobically digested effluent of chicken manure for meeting the discharging standard—a case study of treatment of CSTR fermentation tank effluent of a biogas project. Based on the characteristics of anaerobically digested effluent of chicken manure, bio-chemical treatment combined with physical-chemical process was used to treat the biogas slurry. In addition, effects of three different processes combination method were investigated. First, bench scale experiment was carried out to determine the optimal operation parameters, and then pilot scale devices were introduced to examine the effect of the process. Results showed when using struvite-SBR-coagulation process treating anaerobically digested effluent of chicken manure,  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  decreased from 9 200 mg/L to 280 mg/L,  $\text{NH}_4^+$ -N decreased from 3 200 mg/L to 36 mg/L, TP decreased from 270 mg/L to 3.3 mg/L, finally the effluent met the standard GB 18596—2001. To remove  $\text{NH}_4^+$ -N in chicken manure slurry, pretreatment is essential. Because of inhibition of free ammonia to microorganism,  $\text{NH}_4^+$ -N removal rate is less than 30% while using SBR directly treating chicken manure slurry. Biodegradability of anaerobically digested effluent of chicken manure is good, but the amount of refractory  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  is considerable. Using bio-chemical treatment combined with physical-chemical advanced process can meet the discharging standard with lower cost.

**Key words** Chicken manure, Biogas slurry, Anaerobic fermentation, Up-to-standard treatment

收稿日期: 2011-07-24 修回日期: 2011-08-19

\*“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2009BAC57B01, 2008BAD4B05)

作者简介: 王峰, 讲师, 主要从事环境工程、环境管理研究, E-mail: hjwangfeng@tongji.edu.cn

## 引言

利用沼气技术处理畜禽粪污,既可治理环境,又能实现废物资源化,因而我国大中型沼气工程出现了前所未有的增长势头,但沼气产生后的厌氧发酵液(沼液)处理成为需要解决的问题<sup>[1]</sup>。对于畜类养殖场的发酵工程,沼液的处理已有不少成功案例,沼液达标处理技术基本成熟<sup>[2-4]</sup>。而禽类动物与畜类不同,以鸡为例,鸡的消化道仅为体长的 7 倍,饲料在消化道内停留时间比较短(4 h),因此,鸡对饲料的消化吸收率很低,鸡粪中含有丰富的养分,尤其粗蛋白质较多<sup>[5]</sup>。鸡粪的特性导致了鸡粪厌氧发酵沼液与畜类养殖场沼液的差别<sup>[6-9]</sup>。

鸡粪厌氧发酵沼液的  $COD_{Cr}$ 、 $NH_4^+-N$  负荷是猪粪沼液的数倍,污染物负荷的增大导致了处理难度的大幅提升。目前国内还没有鸡粪厌氧发酵沼液达标处理研究的报道。本文以上海市浦东新区某养鸡场沼气工程全混式发酵池出水沼液处理为例,研究鸡粪厌氧发酵沼液的达标处理工艺。

## 1 试验

### 1.1 试验装置

图 1 为鸟粪石反应器,直径 0.8 m,高 1 m,反应区有效容积 500 L,泥斗容积 50 L。反应器包括进出水口、排泥口以及搅拌装置。

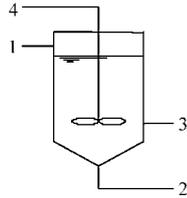


图 1 鸟粪石反应器示意图

Fig.1 Sketch map of struvite reactor

图 2 为序列间隙式活性污泥法(SBR)试验装置,反应器主体为直径 30 cm、高 80 cm 的有机玻璃圆柱筒,有效容积 50 L。

1. 进水口 2. 排泥口 3. 出水口 4. 搅拌器

容器壁上缠绕电阻丝组成温控装置,保持反应器恒温 25℃。装置主要由进水水泵、曝气装置、搅拌装置和出水电磁阀构成,其中曝气装置由曝气盘连接空气压缩机组成。进水水泵、曝气装置、搅拌装置分别连接一个时控开关,电磁阀串联时间继电器与时控开关,从而实现 SBR 的自动控制。反应器内部设溶氧、pH 值、温度传感器探头,与计算机连接实现各指标的在线监控。

图 3 为混凝斜板式沉淀池。废水从快速搅拌池顶部进入,从底部进入连通的慢速搅拌池,之后溢流进入斜板沉淀池,最终绕过挡渣板经出水堰出水。快速搅拌池顶部设混凝剂投药口,慢速搅拌池底部设助凝剂投药口。

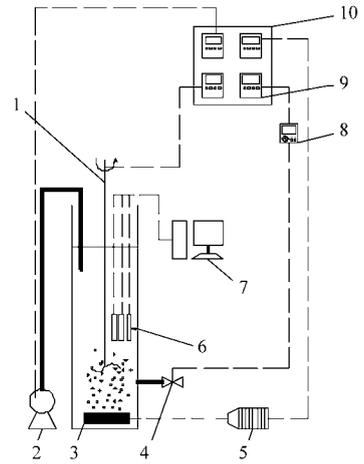


图 2 SBR 反应器示意图

Fig.2 Sketch map of SBR reactor

1. 搅拌器 2. 进水泵 3. 曝气盘 4. 出水电磁阀 5. 空气压缩机 6. 溶氧、pH 值、温度传感器探头 7. 计算机 8. 时间继电器 9. 时控开关 10. 控制面板

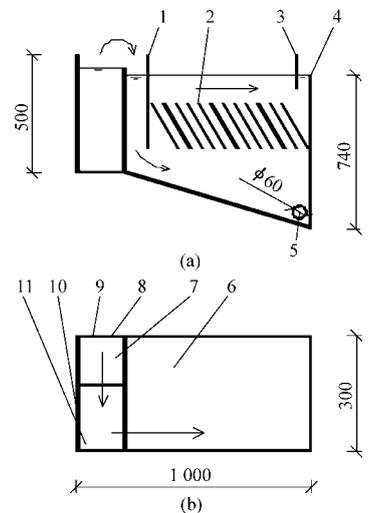


图 3 混凝装置示意图

Fig.3 Sketch map of coagulation pilot experimental device

1. 导流板 2. 斜板 3. 挡渣板 4. 出水堰 5. 排泥阀 6. 斜板沉淀池 7. 快速搅拌池 8. 进水口 9. 混凝剂进药口 10. 助凝剂进药口 11. 慢速搅拌池

### 1.2 沼液水质及排放标准

试验用水取自上海市浦东新区某养鸡场沼气工程全混式发酵池出水沼液,水质受到发酵池运行工况的影响而有一定波动,试验 3 种工艺水质指标如表 1 所示。

### 1.3 检测分析项目及方法

$COD_{Cr}$ :重铬酸钾消解法; $NH_4^+-N$ :纳氏试剂分光光度法;TP:钼锑抗分光光度法;pH 值:PHS-25 型 pH 计测定;SS:干燥称量法。

### 1.4 试验方法

根据鸡粪厌氧发酵沼液污染物负荷高的特点,采用以生化工艺为主、物理化学处理方法为辅的工

表1 3种工艺的沼液水质

Tab.1 Biogas slurry quality at the different experimental stages

指标	COD <sub>Cr</sub> 质量浓度/mg·L <sup>-1</sup>	SS质量浓度/mg·L <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N质量浓度/mg·L <sup>-1</sup>	TP质量浓度/mg·L <sup>-1</sup>	pH值
总体情况	4 000 ~ 10 000	3 500 ~ 10 000	1 600 ~ 3 200	50 ~ 300	8.0 ~ 8.5
工艺1	4 000	3 500	1 600	70	8.16
工艺2、3	9 200	9 000	3 200	270	8.48

艺。生化处理选用较常用的 SBR 法,操作灵活,可根据需求通过改变 SBR 的周期实现厌氧、缺氧和好氧条件,完成脱氮除磷等各种功能。通过预试验,物理化学方法选用鸟粪石和混凝工艺。鸟粪石工艺主要针对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的处理,其反应 pH 值条件与沼液水质相符,因而节省了反应前后调节 pH 值的药剂费用,并且避免了 pH 值变动对水质的影响,与吹脱、氧化等其他工艺相比,具有一定的优势。混凝用于 TP 的处理和 COD<sub>Cr</sub> 的强化处理,在 COD<sub>Cr</sub> 的物化处理工艺中混凝成本较低、操作方便,且适用于如沼液类悬浮物浓度高的废水。在研究处理工艺时,先进行小试试验确定工艺的最优运行工况,然后进行中试试验考查整套工艺的处理效果。本文考查 3 种工艺不同处理组合对沼液处理的效果,具体如下。

#### 1.4.1 工艺1:混凝-SBR工艺

该工艺试验沼液水质见表1“工艺1”栏,考虑到沼液 COD<sub>Cr</sub> 浓度高于常规生化工艺的处理范围,采用混凝法预处理去除沼液中大部分颗粒及胶体有机物,减轻后续生化处理 COD<sub>Cr</sub> 负荷,之后沼液进入 SBR 池进一步处理。

先以小试试验确定混凝处理沼液的最优工况,试验方法为:于 2 L 烧杯中加入 1 L 沼液,加入一定质量浓度的混凝剂 Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·18H<sub>2</sub>O,置于 JJ-4A 型六联搅拌器上,以一定转速快速搅拌一定时间,加入一定质量浓度的助凝剂 PAM 慢速搅拌 30 s,沉淀 1 h 后取上清液测定水质指标,以出水 COD<sub>Cr</sub> 衡量处理效果。采用单因素试验法研究了混凝剂的质量浓度、助凝剂的质量浓度、搅拌强度、搅拌时间对混凝的影响。获得混凝的最优运行工况后用混凝斜板式沉淀池进行中试试验,中试装置连续运行流量为 10 L/h,排泥周期为 3 d。出水储存于调节池中作为 SBR 的进水。

SBR 反应器采用污泥接种启动,接种污泥取自上海市曲阳污水处理厂二沉池。以稀释一倍的混凝出水进行驯化,一星期后以正常负荷进水,水力停留时间 1.5 d,污泥龄 10 d,MLSS 为 4 000 mg/L。SBR 周期为 8 h:4 min 进水,2 h 搅拌,5 h 曝气,35 min 沉淀,1 min 排水,20 min 闲置。每天定时取水进行指

标测试。

#### 1.4.2 工艺2:单独 SBR 处理工艺

在对沼液进行物理化学预处理降低沼液污染物负荷的同时,也增大了处理成本。该工艺尝试直接采用 SBR 处理沼液,考查其处理效果。沼液水质见表1“工艺2、3”栏。SBR 反应器启动采用污泥接种法,接种污泥取自上海市曲阳污水处理厂二沉池。每天逐步提高负荷直至处理效果基本稳定完成驯化。SBR 周期 8 h:1 min 进水,2 h 搅拌,5 h 曝气,44 min 沉淀,7 s 排水,15 min 闲置。每个周期排水约 2.5 L,排水比为 1/20,反应器水力停留时间 7 d,污泥龄 10 d,MLSS 为 5 000 mg/L。每天定时取水进行指标测试。

#### 1.4.3 工艺3:鸟粪石-SBR-混凝工艺

该工艺沼液水质与工艺2相同,如表1“工艺2、3”栏所示。在前两个工艺研究基础上最终确定了鸟粪石-SBR-混凝处理沼液的工艺。先进行小试试验确定鸟粪石法及混凝法的最优运行工况,再进行中试试验考查整套工艺的处理效果。

鸟粪石试验方法:于 500 mL 烧杯中加入 250 mL 沼液,加入一定量的 Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 和镁盐,其中镁盐由一定质量比例的 MgO 和 MgCl<sub>2</sub> 组成,置于 JJ-4 型六联搅拌器上以 300 r/min 的转速搅拌 45 min,沉淀 1 h 取上清液测定 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 与 TP,以 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 去除率和剩余 TP 含量衡量处理效果。研究 Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 和镁盐的投加量及镁盐中 MgO 和 MgCl<sub>2</sub> 的比例对处理效果的影响。得出鸟粪石最优运行工况后采用中试装置进行中试试验,出水储存于调节池中作为 SBR 的进水。

SBR 采用接种污泥法启动,接种污泥取自上海市安亭污水处理厂二沉池,逐步提高负荷直至基本稳定运行完成驯化。SBR 运行参数与前工艺试验相同。

SBR 出水进入混凝斜板式沉淀池进行深度处理,完成 TP 及剩余 COD<sub>Cr</sub> 的去除。混凝小试试验方法与之前相同,采用单因素试验考查混凝剂的最优投加量,在得出的最优运行工况下进行混凝斜板式沉淀池中试,最终取水进行各指标的测试。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 混凝-SBR 工艺研究

#### 2.1.1 混凝处理效果

图4为不同混凝剂浓度混凝的 $COD_{Cr}$ 去除率。随着混凝剂质量浓度增加去除率上升,在质量浓度为6 g/L时去除率达到76.0%,之后上升不明显,这是由于过高混凝剂质量浓度会造成凝聚胶体脱稳,因此选择投加量6 g/L为混凝剂的最优投加质量浓度。图5为不同助凝剂质量浓度下混凝效果,在投加量达到24 mg/L后去除率基本稳定,并且该处形成的絮体密质均匀,在10 min内沉淀完全。因此选择24 mg/L为助凝剂PAM最优投加量。

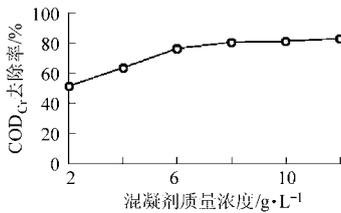


图4 不同混凝剂质量浓度的混凝效果曲线

Fig. 4 Coagulation effect in different coagulant concentrations

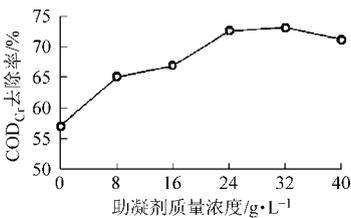


图5 不同助凝剂质量浓度的混凝效果曲线

Fig. 5 Coagulation effect in different coagulant aid concentrations

图6为不同搅拌强度下的混凝效果。搅拌强度过小混凝剂无法充分反应,搅拌强度过大会造成已形成絮体的破碎。结果表明转速在250~325 r/min之间获得较高的去除率,为节约成本选择250 r/min为混凝最优搅拌强度。图7为不同搅拌时间下的混凝效果。与已有的混凝理论相符<sup>[10]</sup>,在20 s与80 s处各出现了一个去除率的峰值。这是由于在较短搅拌时间下,形成的絮体不容易被打碎;较长的搅拌时间能增强溶液的均质性,使混凝剂与沼液混合更完全。而试验中搅拌时间20 s所形成的絮体形状不规则、沉降性能较差,搅拌时间80 s形成的絮体沉降性能好,因此取80 s为混凝最优搅拌时间。

在所得最优工况下运行混凝斜板式沉淀池,TP去除率达93.7%,出水TP值4.4 mg/L;  $COD_{Cr}$  负荷得到大量削减,出水 $COD_{Cr}$ 为900 mg/L,去除率77.5%;出水 $NH_4^+-N$ 为1 050 mg/L。

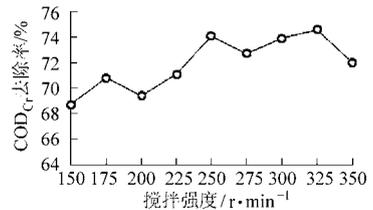


图6 不同搅拌强度的混凝效果曲线

Fig. 6 Coagulation effect in different stirring intensities

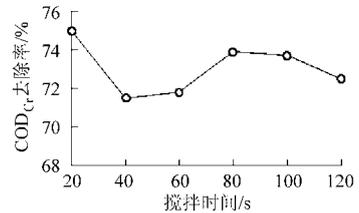


图7 不同搅拌时间的混凝效果曲线

Fig. 7 Coagulation effect at different stirring time

#### 2.1.2 SBR 处理效果

SBR对 $COD_{Cr}$ 去除效果如图8所示, $COD_{Cr}$ 去除率为30%~50%,运行稳定后出水 $COD_{Cr}$ 值大约500 mg·L<sup>-1</sup>,去除率不高,可能是进水中含有较多的难降解有机物所致。图9为SBR对 $NH_4^+-N$ 的去除效果,在提升负荷后去除率逐步降低,最终稳定在20%~30%,原因可能是进水碳氮比过低,理论上通过硝化反硝化脱氮的最低 $COD_{Cr}$ 与 $NH_4^+-N$ 质量浓度比值为2.86,而试验进水该比值不足1。碳源不足使得反硝化受到限制,从而硝酸、亚硝酸盐的累积导致了 $NH_4^+-N$ 去除率逐步降低。出水 $NH_4^+-N$ 约800 mg/L。

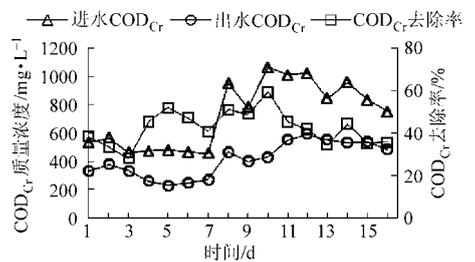


图8 工艺1 SBR对 $COD_{Cr}$ 去除效果曲线

Fig. 8  $COD_{Cr}$  removal efficiency of SBR at stage one

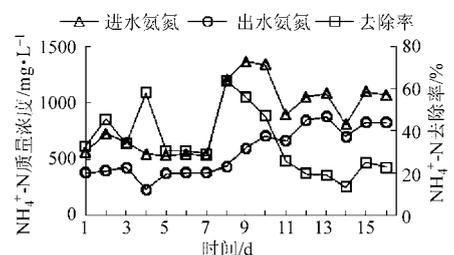


图9 工艺1 SBR对 $NH_4^+-N$ 去除效果曲线

Fig. 9  $NH_4^+-N$  removal efficiency of SBR at stage one

总体来说,混凝-SBR工艺去除沼液的TP效果好,达到畜禽养殖业污染物排放标准(GB 18596—

2001); COD<sub>Cr</sub>去除效果一般,出水在 500 mg/L 左右,接近排放标准的 400 mg/L; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 去除效果差,出水仍有 800 mg/L,与处理目标 80 mg/L 相差甚远。

## 2.2 单独 SBR 处理工艺研究

图 10 为直接采用 SBR 处理沼液的效果。COD<sub>Cr</sub>去除率稳定在 75% ~ 80%,去除率较高说明鸡粪厌氧发酵沼液生化性较好,经 SBR 处理后 COD<sub>Cr</sub>由 9 200 mg/L 降至 2 500 mg/L 以下。而 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 去除率从反应启动第 1 天开始逐步降低,到第 9 天去除率不足 30%。分析其原因可能是由于高浓度 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 对硝化反硝化的抑制。反应器每天逐步提高负荷,初期 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 质量浓度较低,去除率可达 60%,随着 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 积累,反应器内的游离氨对硝化、反硝化菌产生了抑制作用<sup>[11-12]</sup>,影响了 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的去除效果, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 去除率降低致使反应器 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 质量浓度升高,又进一步加剧了游离氨的抑制作用,恶性循环最终导致了 SBR 对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的去除率较低。

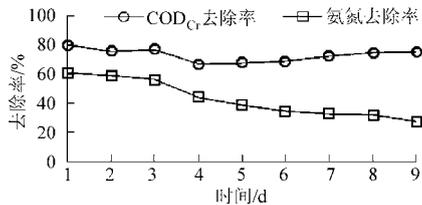


图 10 工艺 2 SBR 运行效果曲线

Fig. 10 Effect of SBR at stage two

## 2.3 鸟粪石-SBR-混凝工艺研究

### 2.3.1 鸟粪石处理效果

图 11 为镁盐 MgCl<sub>2</sub> 与 MgO 在不同比例下鸟粪石处理的效果。单独使用 MgO 成本低,但去除率不高且出水 pH 值过高,不适合进一步生化处理。单独使用 MgCl<sub>2</sub> 成本较高且出水 pH 值低不适合进一步生化处理。综合考虑 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 去除率和出水 pH 值,选用 MgCl<sub>2</sub> 与 MgO 质量比为 4:1 为实际运行的工况,此时出水 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 为 213 mg/L, pH 值为 7.48。图 12 为不同 Mg、N 质量比下鸟粪石处理效果,在质量比达到 1.1 后出水 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 降低不明显,选用 1.1 为最优的 Mg、N 质量比。磷酸盐的量也是鸟粪石处理效果的重要因素,投加量少去除率低,投加量过大会提高原水 TP 的负荷(图 13)。综合考虑 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的去除率和剩余 TP 的质量浓度,选用 P、N 质量比 0.85 为最优运行参数,此时出水 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 质量浓度为 337 mg/L、TP 质量浓度为 106 mg/L。

在所得最佳工况(MgCl<sub>2</sub>与 MgO 质量比 4, Mg、N 和 P 质量比 1.1:1:0.85)下进行鸟粪石中试。该工况下,出水 COD<sub>Cr</sub> 值为 6 440 mg/L, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 质量浓

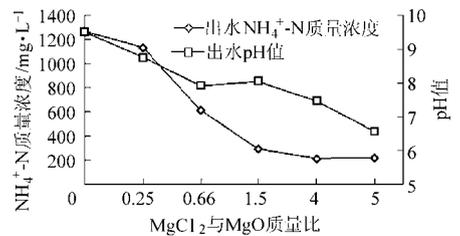


图 11 不同 MgCl<sub>2</sub> 与 MgO 比值时鸟粪石处理效果曲线

Fig. 11 Effect of struvite at different MgCl<sub>2</sub> and MgO ratios

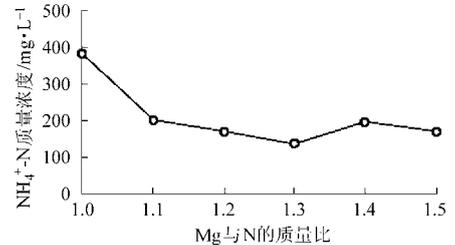


图 12 不同 Mg 与 N 比值下鸟粪石处理效果曲线

Fig. 12 Effect of struvite at different Mg and N ratio

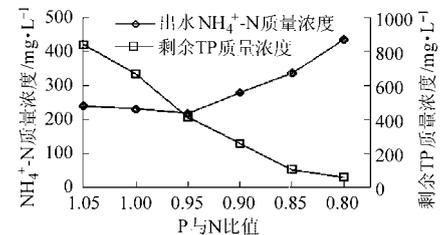


图 13 不同 P 与 N 比值下鸟粪石处理效果曲线

Fig. 13 Effect of struvite at different P and N ratios

度为 189 mg/L, TP 质量浓度为 239 mg/L, 去除率分别为 30.0%、94.1%、11.5%。NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 去除效果很好, COD<sub>Cr</sub> 因为 Mg<sup>2+</sup> 微弱混凝效应及沼液自身沉淀作用得到部分去除, 剩余 TP 量不高, 相比原水还有所降低。鸟粪石工艺降低了沼液污染物负荷, 优化了沼液碳氮比, 为后续生化处理创造了良好条件。

### 2.3.2 SBR 处理效果

SBR 处理效果如图 14 所示, 在运行初始阶段沼液负荷逐步提高, 出水 COD<sub>Cr</sub> 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 也随之提高。第 5 天出水水质开始稳定, 最终出水 COD<sub>Cr</sub> 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 稳定在 1 400 mg/L 和 40 mg/L 左右, 去除率分别为 78.2%、78.8%。经 SBR 处理后易降解性 COD 基本得到去除, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 降为 40 mg/L, 达到排放标准, TP 质量浓度为 160 mg/L。

### 2.3.3 SBR 出水混凝处理效果

在助凝剂 PAM 投加量为 10 mg/L 情况下, 不同混凝剂质量浓度的混凝效果如图 15 所示。在混凝剂质量浓度为 4 g/L 时出水 COD<sub>Cr</sub> 为 347 mg/L, 达到排放标准, 因此选择该质量浓度为混凝剂的投加质量浓度参数。SBR 出水经混凝斜板式沉淀池后出水 COD<sub>Cr</sub> 为 280 mg/L, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 为 36 mg/L, TP 为 3.3 mg/L, COD<sub>Cr</sub> 与 TP 去除率分别为 80.0%、97.9%。

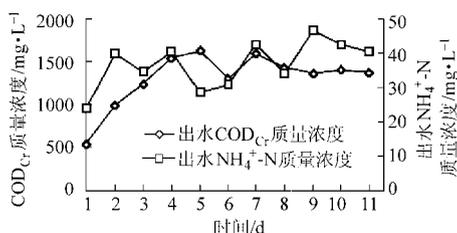


图 14 工艺 3 的 SBR 处理效果曲线

Fig. 14 Effect of SBR at stage three

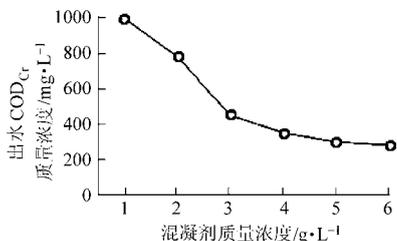


图 15 SBR 出水不同混凝剂质量浓度处理效果曲线

Fig. 15 Effect of SBR effluent coagulation in different coagulant concentrations

鸟粪石-SBR-混凝工艺鸡粪厌氧发酵沼液各处理后的效果如表 2 所示。经过该工艺处理后最终沼液水质达到畜禽养殖业污染物排放标准 (GB 18596—2001)。

表 2 鸟粪石-SBR-混凝工艺处理效果

Tab. 2 Effect of struvite-SBR-coagulation process

项目	mg/L		
	COD <sub>Cr</sub> 质量浓度	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N 质量浓度	TP 质量浓度
原水	9 200	3 200	270
鸟粪石出水	6 440	189	239
SBR 出水	1 400	40	160
混凝出水	280	36	3.3

### 3 讨论

#### 3.1 鸡粪厌氧发酵沼液特点及污染负荷处理方法

鸡粪厌氧发酵沼液的主要特点是污染物负荷高,主要体现在 COD<sub>Cr</sub>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 和 TP 质量浓度高。在这 3 种高浓度污染指标中,相对容易去除的是 TP,如试验中去除 TP 只需要经一道混凝处理即可达到排放标准。其次是去除 COD<sub>Cr</sub>,鸡粪沼液中的有机物可生化性较好,采用生化处理能达到 80% 以上的去除率,但由于其负荷过高,剩余难降解有机物的 COD<sub>Cr</sub> 仍超过排放标准的规定值,因此一般采用生化处理结合物化处理可以完成 COD<sub>Cr</sub> 的达标处理。鸡粪沼液处理的最大难点是高质量浓度的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N,对于 3 000 mg/L 左右的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N,由于受到游离氨对微生物的抑制作用,直接生化处理去除率不到 30%,必须先进行预处理降低负荷。而对于如

此高质量浓度的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N,目前常用的脱氮处理(包括本文所选用的鸟粪石处理)都需要投加大量的药剂,因而处理成本较大。寻找 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 低成本处理方法是研究鸡粪厌氧发酵沼液的关键。

#### 3.2 处理的选择与组合方法

首先工艺的选择要符合鸡粪沼液特性,如混凝对于 TP 去除效果良好可选作处理单元之一;SBR 处理沼液由于受游离氨的抑制作用必须在前段加入预处理。此外处理的组合方法对处理效果有影响,本文两个工艺中都出现了混凝和 SBR 处理,其中工艺 1 中混凝作为预处理,工艺 3 中混凝作为 SBR 后续的深度处理。因为工艺 1 的沼液污染物负荷比工艺 3 低,不适合对比,又对工艺 3 的沼液进行了混凝预处理小试试验考查最优混凝剂投加量。混凝预处理及深度处理的最优投加量分别为 15 g/L 及 4 g/L。生化处理费用比物化处理低得多,因此混凝剂投加量决定了处理成本的大小,可见混凝-SBR 工艺的成本远远高于 SBR-混凝工艺,并且后者能达标处理沼液而前者不能。因为 SBR 处理只能去除易降解有机物而混凝处理没有该特性,混凝作为预处理既去除了难降解有机物也去除了易降解有机物,之后 SBR 只能去除仅存的易降解有机物,去除率较低且 SBR 处理出水中剩余的有机物 COD<sub>Cr</sub> 有可能过大而不达标。而 SBR-混凝工艺中,SBR 处理尽可能多的去除了沼液中易降解有机物,出水中难降解有机物由混凝进一步去除,从而最大限度地降低了出水 COD<sub>Cr</sub>。在有生化处理和物化处理组合时,水质条件允许的情况下,先进行生化处理后以物化处理为深度处理能以较低的成本取得较好的处理效果。

### 4 结论

(1)鸡粪厌氧发酵沼液经鸟粪石-SBR-混凝工艺处理,COD<sub>Cr</sub> 由 9 200 mg/L 降至 280 mg/L, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 由 3 200 mg/L 降至 36 mg/L,TP 由 270 mg/L 降至 3.3 mg/L,达到畜禽养殖业污染物排放标准 (GB 18596—2001)。

(2)鸡粪厌氧发酵沼液处理的难点在于去除高浓度 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N,由于受到游离氨对微生物的抑制作用<sup>[11-12]</sup>,SBR 法直接处理鸡粪沼液去除率不足 30%。对于鸡粪沼液的高质量浓度 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N,必须进行预处理降低负荷,常规预处理方法药剂成本高,鸡粪沼液低成本脱氮工艺还需进一步研究。

(3)鸡粪厌氧发酵沼液生化性良好,但由于负荷过高,沼液内难降解 COD<sub>Cr</sub> 量大于排放标准的规定值,采用生化处理结合物化工艺进行深度处理可以以较低的成本实现水质达标。

## 参 考 文 献

- 1 陈玉成,杨志敏,陈庆华,等.大中型沼气工程厌氧发酵液的后处置技术[J].中国沼气,2010,28(1):14~20.  
Chen Yucheng, Yang Zhimin, Chen Qinghua, et al. An overview on disposal of anaerobic digest for large scale biogas engineering [J]. China Biogas, 2010, 28(1):14~20. (in Chinese)
- 2 李卓坪,牛明芬,刘知远,等.A/O工艺处理猪场厌氧发酵液研究[J].安徽农业科学,2010,38(3):1356~1358.  
Li Zhuoping, Niu Mingfen, Liu Zhiyuan, et al. Study on piggery anaerobic fermentation slurry treated by anoxic/oxic process [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(3):1356~1358. (in Chinese)
- 3 Camarero L, Diaz J M, Romero F. Final treatments for anaerobically digested piggery slurry effluents [J]. Biomass and Bioenergy, 1996, 11(6):483~489.
- 4 Gong W J, Li W Z, Liang H. Application of A/O-MBR for treatment of digest from anaerobic digestion of cow manure [J]. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 2010, 85(10):1334~1339.
- 5 李跻,郭旭宏.鸡粪的发酵处理方法与利用[J].农业科学研究,2007,28(3):97~98.
- 6 邓良伟,蔡昌达,陈铭铭,等.猪场废水厌氧消化液后处理技术研究及工程应用[J].农业工程学报,2002,18(3):92~94.  
Deng Liangwei, Cai Changda, Chen Geming, et al. Study and application of technology for post-treatment of anaerobically digested effluent of piggery wastewater [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2002, 18(3):92~94. (in Chinese)
- 7 曹玉成,张妙仙,单胜道,等.MBBR处理猪场废水厌氧消化液的研究[J].环境工程学报,2008,2(5):591~594.  
Cao Yucheng, Zhang Miaoxian, Shan Shengdao, et al. Study on treatment of digested piggery wastewater by moving bed biofilm reactor [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2008, 2(5):591~594. (in Chinese)
- 8 张敏,邓宇,张辉,等.鸡粪水厌氧处理实验研究[J].中国沼气,2005,23(1):21~24.  
Zhang Min, Deng Yu, Zhang Hui, et al. Study on anaerobic wastewater treatment of chicken farm [J]. China Biogas, 2005, 23(1):21~24. (in Chinese)
- 9 姚爱莉,顾蕴璇,方国渊,等.鸡粪厌氧消化废液的生物处理研究[J].中国沼气,1997,15(3):16~21.  
Yao Aili, Gu Yunxuan, Fang Guoyuan, et al. A study on bio treatment of anaerobically digested slurry of poultry wastes [J]. China Biogas, 1997, 15(3):16~21. (in Chinese)
- 10 Partrick T, Spicer, Storis E, et al. Shear-induced flocculation: the evolution of floc structure and the shape of the size distribution at steady state [J]. Water Research,1996,30(5):1049~1056.
- 11 Calli B, Mertoglu B, Inanc B, et al. Effects of high free ammonia concentrations on the performances of anaerobic bioreactors [J]. Process Biochemistry, 2005,40(3~4):1285~1292.
- 12 Yang S F, Tay J W, Liu Y. Inhibition of free ammonia to the formation of aerobic granules [J]. Biochemical Engineering Journal, 2004,17(1):41~48.
- 13 杨海真,严潇南,王峰,等.鸡粪厌氧发酵沼液混凝处理投药量预测[J].农业机械学报,2011,42(12):133~137,115.  
Yang Haizhen, Yan Xiaonan, Wang Feng, et al. Prediction of optimal dosage in coagulation treating anaerobically digested effluent of chicken manure[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(12):133~137,115. (in Chinese)