

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.07.004

# DMBR 短程硝化反硝化处理餐厨垃圾厌氧沼液

夏一帆<sup>1</sup>, 王冰洁<sup>1</sup>, 涂凌波<sup>1</sup>, 黄安娜<sup>2</sup>, 朱建林<sup>1</sup>

(1. 宁波大学 土木与环境工程学院, 浙江 宁波 315211; 2. 宁波开诚生态技术有限公司, 浙江 宁波 315176)

**摘 要:** 以中空玻璃纤维编织管作为膜组件材料, 自行设计制作了一套动态膜生物反应器 (DMBR), 研究了该装置在短程硝化反硝化条件下对餐厨垃圾厌氧沼液的处理效果。结果表明, 通过逐渐提高沼液比例并控制 DO 浓度为 0.8 ~ 1.2 mg/L、温度为 35 ℃, 可在 16 d 左右基本实现 DMBR 短程硝化反应的启动。系统稳定运行阶段, 当进水 COD 和  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度均值分别为 6 944 和 650 mg/L、水力停留时间 (HRT) 为 30 h 时, COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和 TN 去除率分别可达 92%、92% 和 68%, COD 和  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  容积负荷分别达到 5.13 kg/( $\text{m}^3 \cdot \text{d}$ ) 和 0.48 kg/( $\text{m}^3 \cdot \text{d}$ ),  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  积累率稳定在 84% 以上、最高值达到 90.38%。经处理后, 餐厨垃圾厌氧沼液可稳定达到纳管标准, 其溶解性微生物代谢产物荧光峰几乎完全被去除, 说明该工艺可显著降解甚至完全去除类蛋白质物质。

**关键词:** 动态膜生物反应器; 餐厨垃圾; 厌氧沼液; 短程硝化反硝化

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)07-0027-07

## Treatment of Food Waste Digestate by DMBR with Partial Nitrification and Denitrification

XIA Yi-fan<sup>1</sup>, WANG Bing-jie<sup>1</sup>, TU Ling-bo<sup>1</sup>, HUANG An-na<sup>2</sup>, ZHU Jian-lin<sup>1</sup>

(1. School of Civil and Environmental Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China;  
2. Ningbo Kaseen Ecology Technology Co. Ltd., Ningbo 315176, China)

**Abstract:** A set of dynamic membrane bioreactor (DMBR) was designed and manufactured with hollow glass fiber braided tube as membrane module, and the treatment effect of the device on food waste digestate under the condition of partial nitrification and denitrification was investigated. Start-up of the partial nitrification of the DMBR could be achieved within about 16 days by gradually increasing the proportion of digestate and controlling the DO concentration between 0.8 – 1.2 mg/L and the temperature at 35 ℃. When the average COD and  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  were 6 944 mg/L and 650 mg/L, and HRT was 30 h, the removal rates of COD,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  and TN were 92%, 92% and 68%, respectively, and the volumetric loads of COD and  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  were 5.13 kg/( $\text{m}^3 \cdot \text{d}$ ) and 0.48 kg/( $\text{m}^3 \cdot \text{d}$ ), respectively. The accumulation rate of  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  was more than 84%, and the highest value was 90.38%. The concentration of the pollutants in the treated food waste digestate could meet the discharge standard for sewage entering into sewer network, and the fluorescence peak of the dissolved microbial metabolites was almost removed completely, which showed that the process could significantly degrade or even completely

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2014ZX07305001-007)

通信作者: 朱建林 E-mail: zhujianlin@nbu.edu.cn

remove the protein-like substances.

**Key words:** dynamic membrane bioreactor; food waste; digestate; partial nitrification and denitrification

对餐厨垃圾进行规模化处理包括预处理和厌氧消化两个阶段。预处理阶段主要包括沥水、分拣、破碎、沉砂、制浆、高温提油和油-水-固三相分离等过程,餐厨垃圾处理企业普遍将三相分离过程产生的废水(总固体物  $TS < 8\%$ )和固相物料( $TS > 25\%$ )重新混合后进入连续搅拌反应器(CSTR),在中温条件下进行厌氧消化,其进料 COD 浓度高达  $10 \times 10^4 \text{ mg/L}$  以上<sup>[1-2]</sup>。经 25 ~ 30 d 的厌氧消化后,所产生的沼液 COD 浓度仍高达  $10\,000 \sim 15\,000 \text{ mg/L}$ ,氨氮浓度高达  $2\,000 \sim 3\,000 \text{ mg/L}$ ,因为此类沼液盐分浓度高,将其用于农林业利用时尚存在较大风险,所以通常需要将其处理到符合纳管标准后排至城市污水厂进一步处理。

关于厌氧沼液处理的研究与应用,国内外多侧重于养猪场废水厌氧沼液的处理方面,并发展了多种有效的工艺与方法,如 SBR、间歇曝气 SBR(IASBR)、 $A^2/O$ 、MBR 及 MBBR 等<sup>[3]</sup>。但因国内近年来才开始进行餐厨垃圾规模化处理,其厌氧沼液的处理目前尚缺乏成熟有效、经济可行的工艺。目前应用较多的主要是混凝沉淀 +  $A^2/O$  工艺或混凝沉淀 + MBR 工艺,并基于全程硝化反硝化过程实现生物脱氮。因餐厨垃圾厌氧沼液具有高氨氮、低碳氮比特性,采用此类工艺进行处理时,好氧段需补充大量碱度,缺氧段需补充大量碳源,且大多存在处理效果不稳定、氨氮难以达标、处理成本高等问题<sup>[4]</sup>。

与全程硝化反硝化相比,短程硝化反硝化把硝化反应控制在亚硝酸盐阶段,以亚硝态氮作为电子受体、以有机物作为电子供体进行反硝化脱氮,其碳源、氧和碱度的需求较低,污泥产量少,反应速度快,处理高氨氮、低碳氮比的污水时具有较大的经济优势,因而逐步成为近年来的研究热点。研究认为,短程硝化反硝化的主要影响因素是 DO 浓度、温度和 pH 值等,实现途径多为 SBR 或 IASBR 等。成功启动短程硝化反硝化的关键在于使氨氧化菌(AOB)富集,同时抑制亚硝态氮氧化菌(NO<sub>B</sub>)的增殖或活性,使 AOB 在整个系统中成为优势菌种<sup>[5]</sup>。

膜生物反应器(MBR)是一种将生物反应器与膜分离相结合的工艺技术,并已运用于沼液处理。

MBR 通过膜组件的高效分离作用使泥水彻底分离,并使污泥龄(SRT)和水力停留时间(HRT)相互独立,反应器内的混合液悬浮固体浓度(MLSS)得到提高。SRT 的延长有利于污泥中增殖缓慢的硝化菌生长<sup>[6-7]</sup>,因而具有较好的处理效果。近年来,采用动态膜生物反应器(DMBR)处理污水受到广泛关注,该技术采用廉价的大孔径材料制作膜组件,降低了膜组件造价,且渗透性能和抗污染能力更佳<sup>[8]</sup>。

餐厨垃圾废水经中温厌氧消化产生的沼液,其温度在  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  左右,并呈碱性,具有进行短程硝化反硝化所需要的温度和 pH 值条件;其氨氮浓度较高而碳源相对不足,具有进行短程硝化反硝化的现实需要。如果采用 DMBR 进行短程硝化反硝化来处理餐厨垃圾厌氧沼液,可望减少硝化过程中的耗氧量以及反硝化过程中所需要的碳源,并缩短反应时间,从而提高处理效率、降低处理成本。鉴于此,笔者采用直径为 4 mm 的中空玻璃纤维编织管制作膜组件,设计制作了一套 DMBR 沼液处理试验装置,研究了其在短程硝化反硝化条件下的运行效果,以期餐厨垃圾厌氧消化沼液处理提供一种高效低耗的可能途径。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验装置

试验装置为自行设计制作的 DMBR 反应器,如图 1 所示。

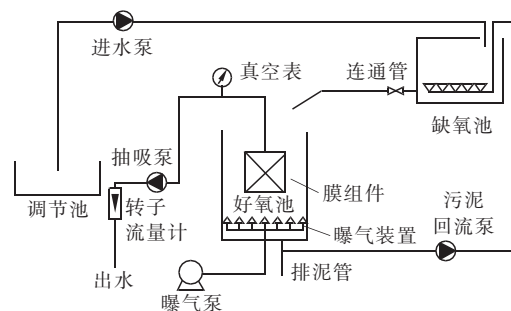


图1 沼液处理试验装置示意

Fig.1 Schematics of experimental device for biogas slurry treatment

试验装置分为好氧池(90 L)和缺氧池(40 L)两部分,其前段设置调节池,调节池出水经进水泵进

入缺氧池,并经浮球阀控制通过连通管流入好氧池。好氧池中央设置膜组件,膜组件由直径为 4 mm 的中空玻璃纤维编织管制成,有效膜面积为 1 m<sup>2</sup>,由抽吸泵抽吸出水。以转子流量计控制流量,用真空表监测跨膜压差(TMP)。好氧池底部设置曝气装置,并设置污泥回流泵将污泥混合液回流至缺氧池,利用文丘里混流器使缺氧池中的污泥保持悬浮状态。好氧池、缺氧池、调节池均由液位控制仪控制液面高度,系统由可编程控制器 PLC 控制运行。

1.2 试验材料

试验用沼液取自宁波开诚生态技术有限公司 250 t/d 的餐厨垃圾厌氧处理生产线,其基本性质如下:pH 值为 7.38,COD 为 13 281.3 mg/L,氨氮为 1 205 mg/L,TS 为 1.48%,VS/TS 为 63.72%。

试验用接种污泥取自宁波市江东北区生活污水

处理厂的二沉池污泥回流液,其 pH 值为 8.01,MLSS 为 4 000 mg/L,SV 为 21%。

1.3 启动策略与运行方法

在反应器启动阶段,接种污泥后,首先处理低浓度沼液(沼液比例为 10%,用校内生活污水稀释)对微生物菌群进行驯化;处理效果基本稳定之后,逐渐提高沼液比例(沼液比例分别为 25%、35%、50%)。当沼液比例达到 50%时,稀释液 COD 浓度与沼液经絮凝沉淀后的上清液浓度相当,以此作为处理阶段的进水。各阶段好氧池内持续曝气,DO 控制在 0.8~1.2 mg/L,温度维持在 30~35℃之间,MLSS 基本稳定在 6 000 mg/L。控制 TMP<20 kPa,膜通量>15 L/(m<sup>2</sup>·h)。试验持续 70 d,每隔 24 h 取进出水进行水质检测,并记录负压表读数。试验各阶段进水水质指标平均值及运行参数如表 1 所示。

表 1 试验各阶段反应器进水水质及运行参数

Tab. 1 Influent quality and operational parameters during each phase

运行阶段	时间/d	沼液比例/%	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/(mg·L <sup>-1</sup> )	COD/(mg·L <sup>-1</sup> )	HRT/h	抽停时间比
I	1~10	10	117	1 377	8	5:1
II	10~20	25	278	3 307	12	3:1
III	20~40	35	379	4 700	20	1:1
IV	40~70	50	650	6 944	30	1:1

1.4 分析项目与方法

水质分析指标包括 COD、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、DO、pH 值、浊度等,并进行三维荧光光谱分析,同时测定污泥的 MLSS 浓度。各指标均采用国家标准方法进行分析测定。

2 结果与讨论

2.1 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 积累及系统稳定性

试验期间出水 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 浓度的变化如图 2 所示。

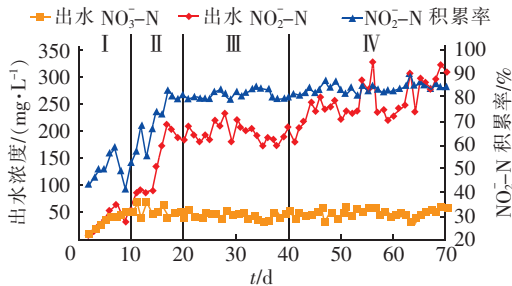


图 2 出水 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 与 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 随时间的变化

Fig. 2 Variation of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N and NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N concentration in effluent

由图 2 可见,随着反应的进行,出水 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N

浓度逐渐增大,而出水 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 浓度一直维持在较低水平。第 I 阶段,出水 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 浓度由 10 mg/L 逐渐增长至 64 mg/L,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 浓度由 13 mg/L 增长至 47 mg/L,两者的增长速度基本一致,说明系统中 AOB 与 NOB 含量大致相当。第 II 阶段,出水 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 浓度快速增长,且在 16~20 d 稳定在 190 mg/L 左右,而出水 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 平均浓度依然只有 47 mg/L,NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 积累率达到 80% 以上,因此可以认为运行 16 d 左右基本实现了短程硝化的启动。第 III 阶段,出水 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 浓度虽有波动,但基本维持在 180~221 mg/L,NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 积累率较为稳定,最高达到 84.2%。由于本试验温度一直维持在 30~35℃,DO 浓度控制在 0.8~1.2 mg/L,较低的 DO 浓度和较高的温度有利于抑制 NOB 的生长和代谢活性<sup>[9]</sup>,使 AOB 得到富集,从而导致反应器内 AOB 的数量与活性远大于 NOB,AOB 成为优势菌群,以致 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 快速积累。第 IV 阶段,出水 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 浓度继续升高,均值为 276 mg/L,第 55 天达到最高值 332 mg/L,NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 积累率稳定在 84.4% 左右,并在第 62 天达到最高值 90.38%,短程硝化的实现与

维持效果较好。运行过程中,动态膜对氨氧化菌具有较强的持留能力,反应器内污泥浓度较稳定(6 000 mg/L左右),这也是保持 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 积累率升高的有利因素<sup>[10]</sup>。

## 2.2 COD 去除效果

试验期间对 COD 的去除效果如图 3 所示。第 I 阶段,进水 COD 浓度由 1 000 mg/L 升至 1 500 mg/L,但出水 COD 浓度却呈下降趋势;到第 10 天出水 COD 浓度降至 256 mg/L,去除率达到 81.52%,容积负荷为 3.3 kg/(m<sup>3</sup>·d)。

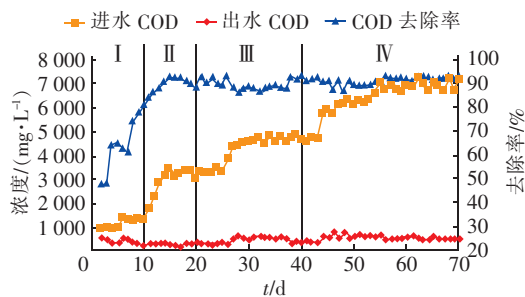


图 3 进出水 COD 浓度及去除率的变化

Fig. 3 Variation of COD concentration in influent and effluent and COD removal efficiency

第 II 阶段,进水 COD 浓度上升至 3 300 mg/L,出水 COD 浓度进一步下降,并在第 20 天降至 248 mg/L,去除率达到 92.55%,容积负荷为 6.06 kg/(m<sup>3</sup>·d)。第 III 阶段,进水 COD 浓度升至 4 700 mg/L 左右,出水 COD 浓度有所增加;在第 26~36 天,出水 COD 一直高于 500 mg/L;但运行至第 37 天,出水 COD 降至 348 mg/L,并在此后稳定在 350 mg/L 左右。这可能是因为进入第 III 阶段后,进水 COD 浓度突升,导致好氧池内微生物难以适应,但运行 10 d 后,微生物逐渐适应了此水质条件。第 IV 阶段,进水 COD 浓度高达 7 000 mg/L 左右,出水 COD 浓度先上升后波动下降,在第 43~48 天,出水 COD 浓度较高且波动较大,在第 47 天甚至达到了 772 mg/L;在第 48~70 天,出水 COD 浓度先处于平稳状态后波动下降,第 55 天降至最低值 480 mg/L,之后基本维持在 480~500 mg/L,去除率稳定在 92% 左右,容积负荷达到 5.13 kg/(m<sup>3</sup>·d)。张德强等<sup>[11]</sup>采用 MAP/MBR/Fenton 组合工艺对发酵沼液进行处理,MAP/MBR 两阶段的 COD 容积负荷分别为 0.53、0.225 kg/(m<sup>3</sup>·d);万金保等<sup>[12]</sup>利用改良 UASB—两级 A/O—混凝工艺处理猪场沼液,各

阶段的 COD 容积负荷分别为 1.31、0.24、0.185 kg/(m<sup>3</sup>·d),均远低于本试验的 COD 容积负荷。

## 2.3 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除效果

试验装置对  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的去除效果如图 4 所示。随着进水  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度不断升高,因为 HRT 由 8 h 延长至 30 h,使得  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  容积负荷相差不大,因此出水  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度并没有呈现整体升高的趋势;但在提高进水沼液比例的第 1~5 天内(即第 10、25、43 天)仍观察到出水  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度明显升高。在第 I 阶段,由于亚硝化菌正处于驯化阶段,进水  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  虽然仅 100 mg/L 左右,但出水  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度在 50 mg/L 左右波动,去除率只有 50% 左右,容积负荷仅为 0.2 kg/(m<sup>3</sup>·d)。在第 10 天,出水  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度随进水沼液比例的增大而突增,随后逐渐下降;到第 24 天下降至 48 mg/L,去除率达到 82.9%,容积负荷升至 0.47 kg/(m<sup>3</sup>·d),这说明随着反应的进行,AOB 逐渐积累,NOB 不断被淘汰,亚硝化能力逐渐增强。在第 25~70 天,虽然进水  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度两次增加,但出水  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度却无明显增长;在第 66~70 天,出水  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  基本稳定在 48~52 mg/L,去除率达到 92%,容积负荷达到 0.48 kg/(m<sup>3</sup>·d),高于现有文献报道<sup>[4,11]</sup>。

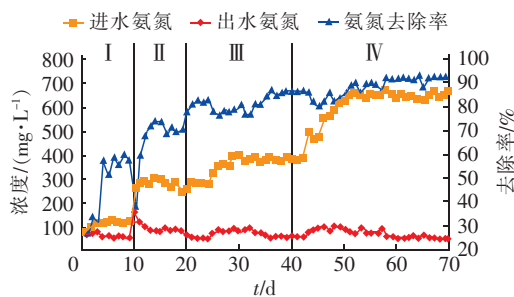


图 4 进出水  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度及去除率的变化

Fig. 4 Variation of  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  concentration in influent and effluent and  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  removal efficiency

$\text{NH}_4^+ - \text{N}$  被高效去除的主要原因可能是:①运行期间排泥极少,较长的 SRT 促进了硝化细菌的生长<sup>[13]</sup>;②AOB 逐渐积累,成为系统中的优势菌种,将  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  转换成  $\text{NO}_2^- - \text{N}$ ;③膜的高效截留作用阻止了 AOB 的大量流失。

## 2.4 TN 去除效果

试验装置对 TN 的去除效果如图 5 所示。随着进水 TN 浓度的增加,出水 TN 浓度也呈上升趋势。第 I 阶段,进水 TN 约为 500 mg/L,出水 TN 约为



200 mg/L,去除率仅为 60% 左右,容积负荷为 0.81 kg/(m<sup>3</sup>·d)。第Ⅱ阶段,进水和出水 TN 分别陡增至 1 000、400 mg/L 左右,去除率维持在 60% 左右,与阶段Ⅰ相当,但容积负荷升至 1.22 kg/(m<sup>3</sup>·d)。第Ⅲ阶段,进水 TN 增至 1 470 mg/L 左右,出水 TN 为 420 mg/L 左右,去除率最高达 72.84%,容积负荷升至 1.26 kg/(m<sup>3</sup>·d);TN 去除率升高,说明反硝化作用逐渐增强。到第Ⅳ阶段,进水 TN 达到 2 000 mg/L,出水 TN 的平均值为 547 mg/L,去除率约为 68%,容积负荷为 1.10 kg/(m<sup>3</sup>·d)。

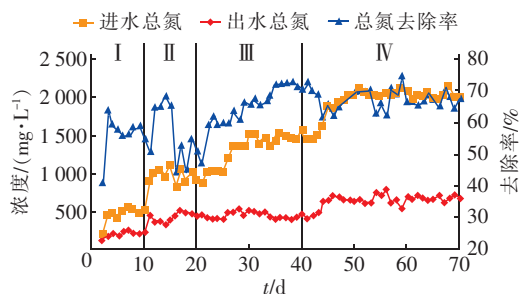


图 5 进出水 TN 浓度及去除率的变化

Fig.5 Variation of TN concentration in influent and effluent and TN removal efficiency

## 2.5 三维荧光分析

在沼液处理过程中,其溶解性有机物(DOM)由于组成的复杂性、多变性以及良好的溶解性而较难被完全去除,成为影响出水水质的主要原因。因此分析 DOM 组分的降解特性非常重要,由于三维荧光光谱技术可获得荧光有机物完整的光谱信息,故被广泛用于水环境中有机物的识别和解析<sup>[14-16]</sup>。本试验取各阶段进出水水样,稀释 10 倍后经 0.45 μm 滤膜抽滤得到测试样品,采用 Hitachi F-4600 荧光光谱仪进行三维荧光光谱测定,并用 Origin 9.1 软件处理数据得到三维荧光光谱如图 6 所示。

各阶段进水的荧光光谱均有 6 个明显的荧光峰,其位置 Ex/Em 从上至下分别在 420 nm/475 nm、300 ~ 350 nm/380 ~ 450 nm、250 ~ 300 nm/320 ~ 380 nm、260 ~ 280 nm/275 ~ 320 nm、230 ~ 275 nm/375 ~ 500 nm、220 ~ 240 nm/275 ~ 425 nm,依次属于辅酶 F420、腐殖酸、溶解性微生物代谢产物、类色氨酸、富里酸和类酪氨酸。各阶段出水的荧光光谱中有 3 个明显的荧光峰,其位置 Ex/Em 从上至下分别在 420 nm/475 nm、300 ~ 350 nm/400 ~ 425 nm、230 ~ 275 nm/375 ~ 500 nm,依次属于辅酶 F420、腐殖酸、富里酸;在 Ex/Em = 275 ~ 300 nm/450 ~ 475

nm 处还存在一个微弱的荧光峰,也是腐殖酸荧光峰。

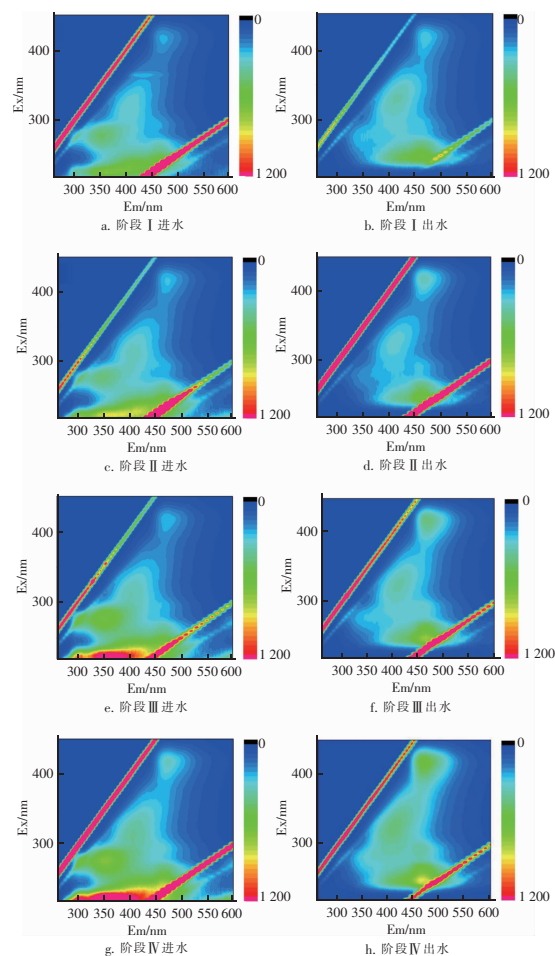


图 6 各阶段进出水中溶解性有机物的三维荧光光谱

Fig.6 Three dimensional fluorescence spectra of dissolved organic matters in influent and effluent of each operating phase

从图 6 可以看出,经过 DMBR 处理后,溶解性微生物代谢产物荧光峰几乎完全被去除。处理前,沼液中的微生物为厌氧微生物,其代谢产物为极易降解的溶解性有机物;而 DMBR 中的微生物为好氧微生物,进行反应时先利用易降解有机物即溶解性微生物代谢产物进行繁衍;类酪氨酸和类色氨酸也完全被去除,说明该工艺可显著降解甚至完全去除类蛋白质。此外,各类荧光峰的荧光强度整体变弱且有腐殖化倾向,而辅酶 F420 荧光峰的强度增大且随着反应的进行逐渐增强,说明好氧微生物可产生多种类型的分泌物,包括辅酶、腐殖质等<sup>[17-18]</sup>。出水的腐殖化以及 F420 荧光峰的增强可能与微生物的代谢活动相关,这些物质可生化性较差,造成了其在水处理系统中的积累。

### 3 结论

① 利用 DMBR 处理餐厨垃圾厌氧沼液,通过逐步提高沼液比例,并控制 DO 浓度在 0.8 ~ 1.2 mg/L、温度为 35 ℃,在 16 d 左右基本可以实现短程硝化的启动并稳定运行,其  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  积累率稳定在 84% 以上,最高值达到 90.38%。

② 系统稳定运行时,在进水 COD 和  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度均值分别为 6 944 和 650 mg/L、HRT = 30 h 的条件下,COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和 TN 去除率分别可达 92%、92% 和 68%,COD 和  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  容积负荷分别达到 5.13 kg/( $\text{m}^3 \cdot \text{d}$ ) 和 0.48 kg/( $\text{m}^3 \cdot \text{d}$ )。

③ 经 DMBR 处理后,餐厨垃圾厌氧沼液中的污染物浓度可稳定达到纳管标准,其溶解性微生物代谢产物的荧光峰几乎完全被去除,说明该工艺可显著降解甚至完全去除类蛋白质物质。

### 参考文献:

- [1] 王冰洁,王金辉,黄怡然,等. 餐厨垃圾固相物料的中温厌氧消化中试研究[J]. 中国给水排水,2018,34(1):94-98.  
WANG Bingjie, WANG Jinhui, HUANG Yiran, *et al.* Pilot-scale research on mesophilic anaerobic digestion of solid kitchen waste[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(1):94-98 (in Chinese).
- [2] 王金辉,饶坤,黄安娜,等. 中温 UASB 反应器处理餐厨垃圾废水中试研究[J]. 中国给水排水,2016,32(17):1-5.  
WANG Jinhui, RAO Kun, HUANG Anna, *et al.* Pilot-scale study on treatment of food wastewater by mesophilic UASB reactor[J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(17):1-5 (in Chinese).
- [3] 高春娣,王惟肖,李浩,等. SBR 法交替缺氧好氧模式下短程硝化效率的优化[J]. 中国环境科学,2015,35(2):403-409.  
GAO Chundi, WANG Weixiao, LI Hao, *et al.* Optimization of efficiency on partial nitrification under the mode of alternating anoxic/oxic in sequencing batch reactor[J]. China Environmental Science, 2015, 35(2):403-409 (in Chinese).
- [4] 刘超翔,胡洪营,彭党聪,等. 短程硝化反硝化工艺处理焦化高氨废水[J]. 中国给水排水,2003,19(8):11-14.  
LIU Chaoxiang, HU Hongying, PENG Dangcong, *et al.* Short-cut nitrification and denitrification for treatment of high ammonia content wastewater from coking plant[J]. China Water & Wastewater, 2003, 19(8):11-14 (in Chinese).
- [5] 张婷,吴鹏,沈耀良,等. CSTR 和 MBR 反应器的短程硝化快速启动[J]. 环境科学,2017,38(8):3399-3405.  
ZHANG Ting, WU Peng, SHEN Yaoliang, *et al.* Fast start-up of shortcut nitrification in a CSTR and an MBR[J]. Environmental Science, 2017, 38(8):3399-3405 (in Chinese).
- [6] 张新龙,魏卡佳,张永昊,等. 一体化膜生物反应器中短程硝化反硝化对氨氮的脱除[J]. 环境污染与防治,2014,36(12):59-63.  
ZHANG Xinlong, WEI Kajia, ZHANG Yonghao, *et al.* Removal of ammonia nitrogen by shortcut nitrification and denitrification process in an integrated bioreactor[J]. Environmental Pollution and Control, 2014, 36(12):59-63 (in Chinese).
- [7] HUANG X, XIAO K, SHEN Y. Recent advances in membrane bioreactor technology for wastewater treatment in China[J]. Frontiers of Environmental Science & Engineering in China, 2010, 4(3):245-271.
- [8] 范彬,黄霞,文湘华,等. 动态膜-生物反应器对城市污水的处理[J]. 环境科学,2002,23(6):51-56.  
FAN Bin, HUANG Xia, WEN Xianghua, *et al.* A submerged dynamic membrane bioreactor for domestic wastewater treatment[J]. Chinese Journal of Environmental Science, 2002, 23(6):51-56 (in Chinese).
- [9] Blackburne R, Yuan Z, Keller J. Partial nitrification to nitrite using low dissolved oxygen concentration as the main selection factor[J]. Biodegradation, 2008, 19:303-312.
- [10] 杨延栋,黄京,韩晓宇,等. 一体式厌氧氨氧化工艺处理高氨氮污泥消化液的启动[J]. 中国环境科学,2015,35(4):1082-1087.  
YANG Yandong, HUANG Jing, HAN Xiaoyu, *et al.* Start-up of one-stage partial nitrification/anammox process treating ammonium-rich reject water[J]. China Environmental Science, 2015, 35(4):1082-1087 (in Chinese).
- [11] 张德强,段鲁娟,吴志国,等. MAP/MBR/Fenton 组合工艺处理发酵沼液的研究[J]. 中国给水排水,2015,31(19):80-83.  
ZHANG Deqiang, DUAN Lujuan, WU Zhiguo, *et al.*

- Treatment of fermented biogas slurry by combined process of MAP, MBR and Fenton[J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(19): 80-83 (in Chinese).
- [12] 万金保, 付煜, 余郭龙, 等. 改良 UASB—两级 A/O—混凝工艺处理猪场沼液[J]. 工业水处理, 2017, 37(12): 94-97.
- WAN Jinbao, FU Yu, YU Guolong, *et al.* Improved UASB - two stage A/O - coagulation process for the treatment of hogpen biogas slurry[J]. Industrial Water Treatment, 2017, 37(12): 94-97 (in Chinese).
- [13] MENG F, CHAE S R, DREWS A, *et al.* Recent advances in membrane bioreactors (MBRs): membrane fouling and membrane material[J]. Water Research, 2009, 43(6): 1489-1512.
- [14] YANG L, SHIN H S, HUR J. Estimating the concentration and biodegradability of organic matter in 22 wastewater treatment plants using fluorescence excitation emission matrices and parallel factor analysis[J]. Sensors, 2014, 14: 1771-1786.
- [15] 安莹, 王志伟, 李彬, 等. 盐度冲击下 MBR 污泥 SMP 和 EPS 的三维荧光光谱解析[J]. 中国环境科学, 2014, 34(7): 1754-1762.
- AN Ying, WANG Zhiwei, LI Bin, *et al.* Analysis of the EEM fluorescence spectra of the SMP and EPS in MBR sludge under salinity shock[J]. China Environmental Science, 2014, 34(7): 1754-1762 (in Chinese).
- [16] YU H, SONG Y, TU X, *et al.* Assessing removal efficiency of dissolved organic matter in wastewater treatment using fluorescence excitation emission matrices with parallel factor analysis and second derivative synchronous fluorescence[J]. Bioresource Technology, 2013, 144: 595-601.
- [17] BARKER D J, STUCKEY D C. A review of soluble microbial products (SMP) in wastewater treatment systems[J]. Water Research, 1999, 33(14): 3063-3082.
- [18] LI W H, SHENG G P, LIU X W, *et al.* Characterizing the extracellular and intracellular fluorescent products of activated sludge in a sequencing batch reactor[J]. Water Research, 2008, 42(12): 3173-3181.
- 作者简介: 夏一帆(1996-), 男, 浙江宁波人, 硕士研究生, 研究方向为水污染控制。  
E-mail: 892369602@qq.com  
收稿日期: 2019-12-20  
修回日期: 2020-04-08

(编辑: 刘贵春)

## · 信息 ·

### 《中国给水排水》继续入编北大《中文核心期刊要目总览》

2021 年 3 月,《中文核心期刊要目总览》2020 年版(即第 9 版)正式发布。《中文核心期刊要目总览》按《中国图书馆分类法》的学科体系,列出了 74 个学科的核心期刊表,并逐一对核心期刊进行了著录。

《中国给水排水》继续入编 2020 版建筑科学类核心期刊。

此次核心期刊评选工作,依据文献计量学的原理和方法,经北京地区十几所高校图书馆、中国科学院文献情报中心、重庆维普资讯有限公司、中国人民大学书报资料中心、中国学术期刊(光盘版)电子杂志社、中国科学技术信息研究所、北京万方数据股份有限公司、国家图书馆和北京世纪超星信息技术发展有限责任公司等相关单位的百余名专家和期刊工作者对相关文献的检索、统计和分析,以及学科专家评审,从我国正在出版的中文期刊中评选出 1 990 种核心期刊。

(本刊编辑部)