

垃圾焚烧厂渗沥液中富里酸对厌氧生物处理的影响及其降解和转化研究

研究生：党岩；导师：孙德智 教授



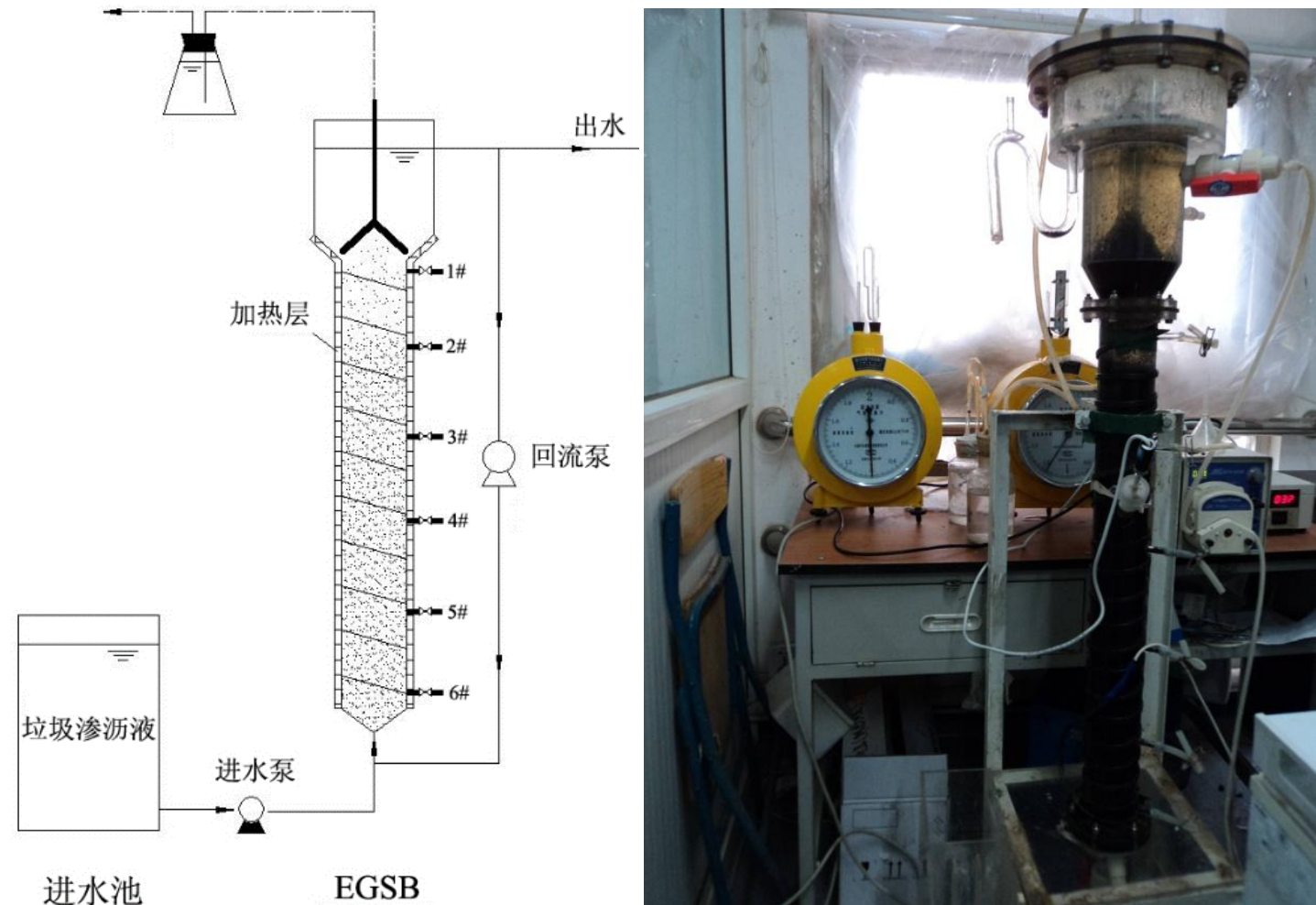
研究背景

垃圾焚烧厂渗沥液中含有较高浓度的富里酸（FA），它对厌氧产甲烷过程的影响以及其在该过程中的降解和转化规律需要进一步表征和总结，这对垃圾焚烧厂渗沥液的处理具有重要的理论研究和实际指导意义。

研究内容

- EGSB反应器处理垃圾焚烧渗沥液的效能及溶解性有机质的降解研究
- 富里酸对EGSB处理垃圾焚烧渗沥液的影响机理及降解规律研究
- 富里酸在EGSB反应器处理过程中的转化特征研究

研究方法



实验装置

采用实验室小试的EGSB反应器，由有机玻璃制成，有效容积为4L，主反应区有效容积为2L。反应器主反应区内径为60 mm，高径比为12: 1。垃圾焚烧厂渗沥液进水由蠕动泵从EGSB反应器底部进入主反应区。设置液体的内循环系统，使EGSB反应器主反应区的液体上升流速为1.2 m/h。控制反应器内温度维持在 33 ± 1 ℃。

研究结果

富里酸对EGSB反应器处理垃圾焚烧厂渗沥液的影响

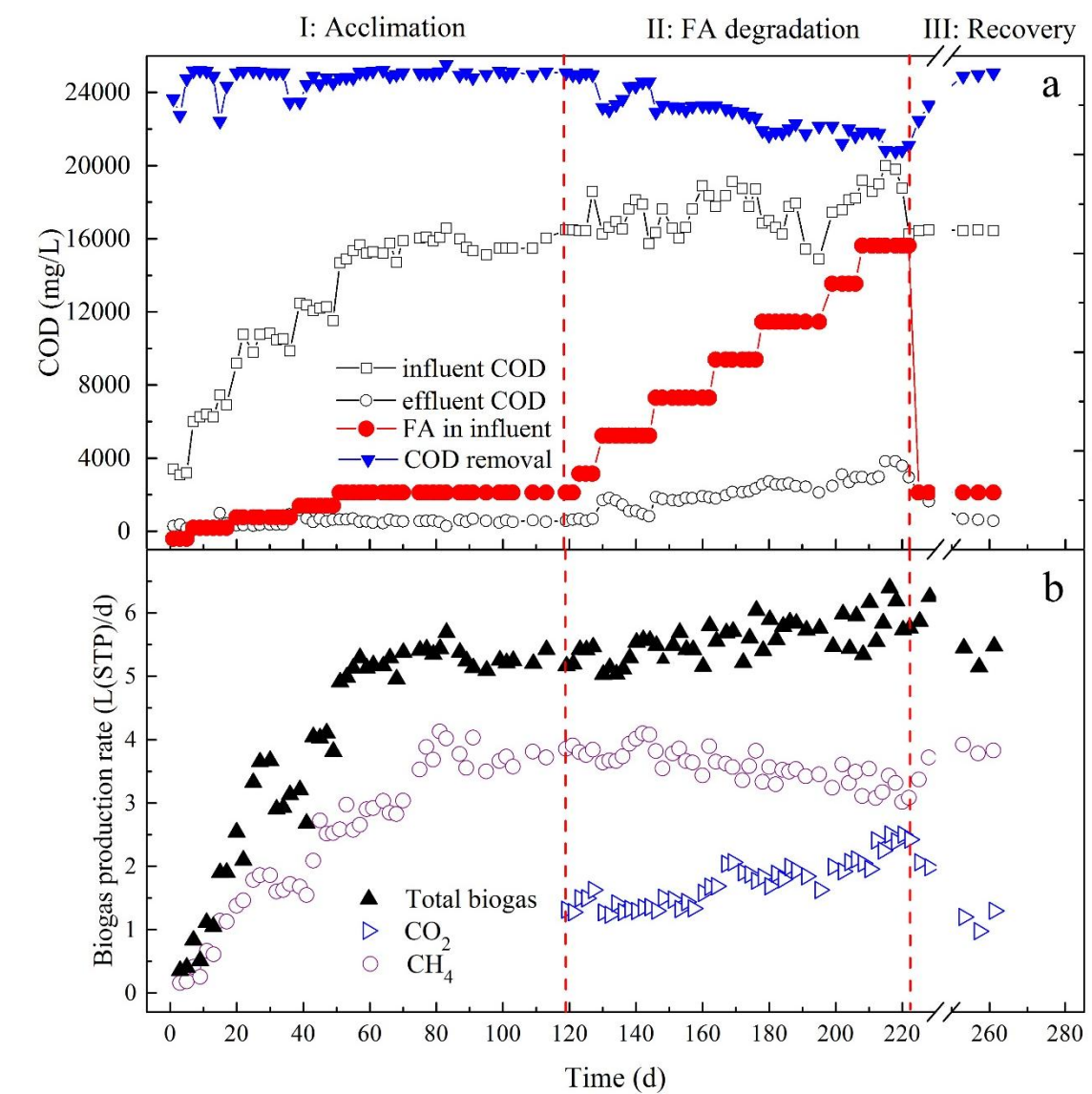


Fig.1 EGSB反应器的运行

进水FA浓度从1,500 mg/L提升至8,000 mg/L

- COD去除率从96%降低至81%；
- CH₄含量从72%降低至60%；
- 对反应器的影响可在较短时间内完全恢复。

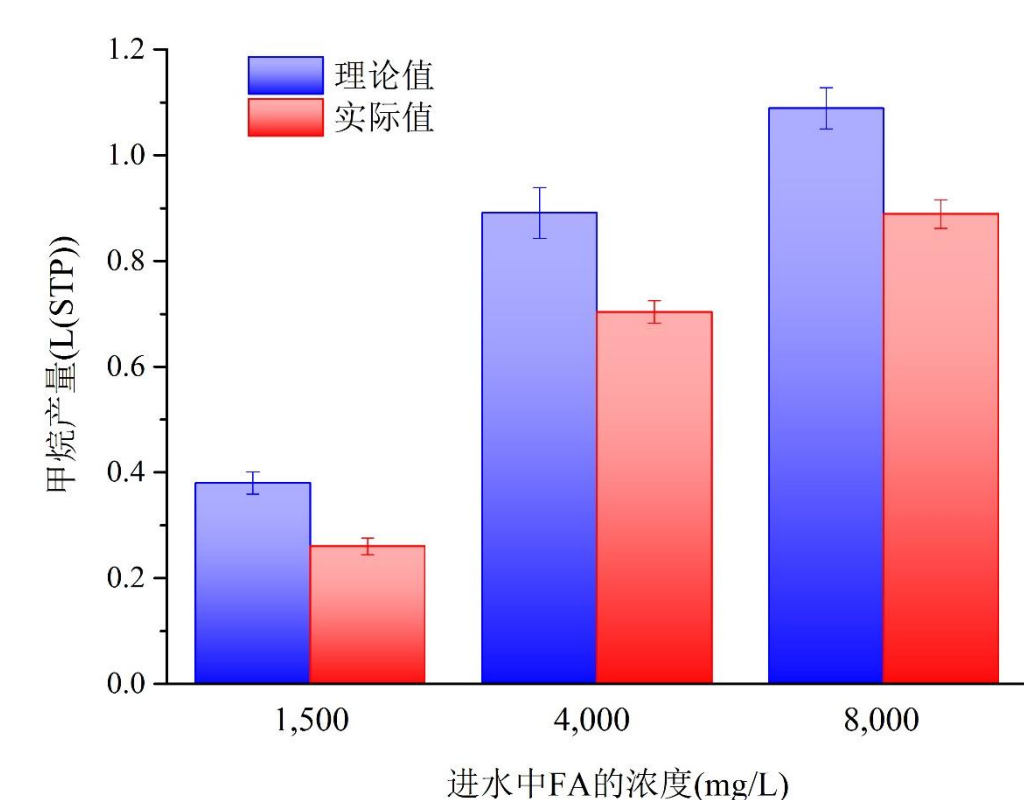


Fig.3 富里酸影响机理计算

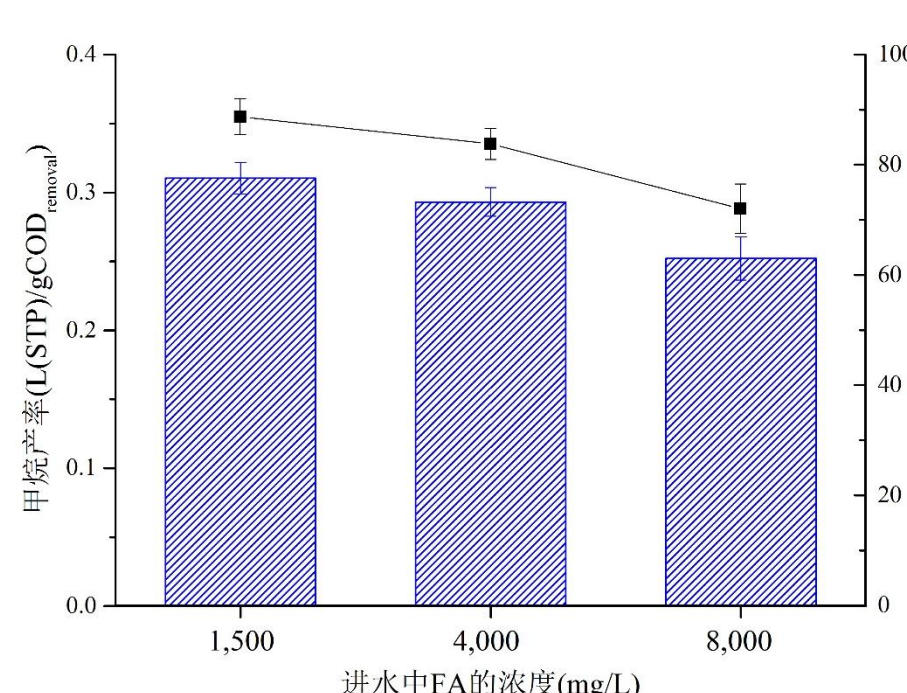


Fig.2 富里酸浓度对甲烷转化率的影响

- 甲烷产率逐渐从0.31L(STP)/COD_{removal}降低至0.25L(STP)/COD_{removal}；
- 甲烷转化率从88.7%降低至72.0%；
- 转化为生物量的部分逐渐从11.3%升高至28.0%；
- 一些微生物加速生长，这些微生物很有可能与FA的降解和转化有关。

降解的FA产甲烷量理论值为：
$$(\text{COD}_{\text{进水FA}} - \text{COD}_{\text{出水FA理论值}}) / 1000 \times 0.35 \text{ L CH}_4 / \text{g COD}_{\text{removal}} \times \eta$$

降解的FA产甲烷量实际值为：
$$(\text{COD}_{\text{进水FA}} - \text{COD}_{\text{出水FA实际值}}) / 1000 \times 0.35 \text{ L CH}_4 / \text{g COD}_{\text{removal}} \times \eta$$

 η 是甲烷转化率。

- FA参与了微生物活动；
- 主要作为电子受体通过微生物获得了电子使自身得到还原；
- 争夺了本来传递给产甲烷菌用来产甲烷的电子；
- 减少了甲烷产量和甲烷转化率；
- 影响了EGSB反应器的处理效果。

富里酸经厌氧生物处理的降解规律研究

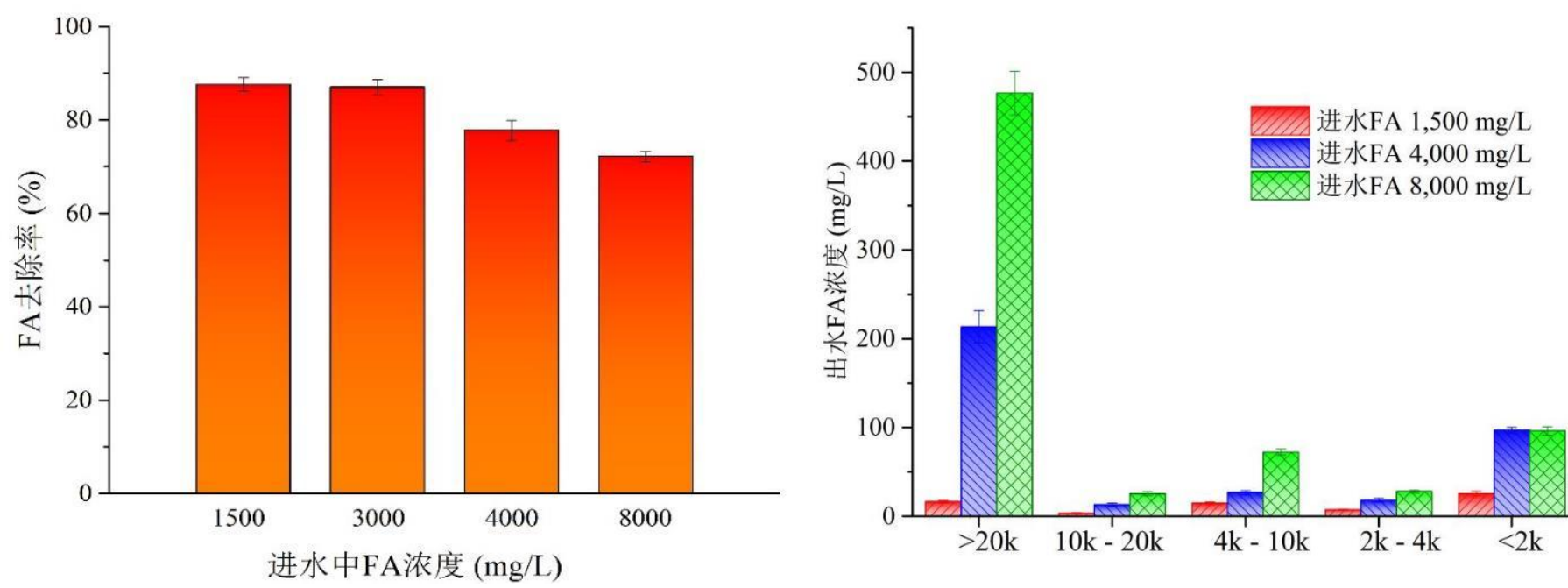


Fig.4 FA的降解规律和出水残余FA的分子量分布

FA经EGSB的去除率随进水FA浓度的提升而降低，未被降解的FA主要分布在分子量>20 kDa的范围。

Table 1 不同进水FA浓度条件下FA各分子量范围的去除效果

进水FA浓度 (mg/L)	1,500	4,000	8,000
>20 kDa	93.39%	51.31%	45.66%
10 k - 20 kDa	96.46%	92.69%	92.94%
4 k-10 kDa	83.85%	83.44%	77.64%
2 k-4 kDa	44.04%	42.10%	39.54%
<2 kDa	72.13%	69.64%	69.99%

富里酸对厌氧颗粒污泥的微生物群落影响

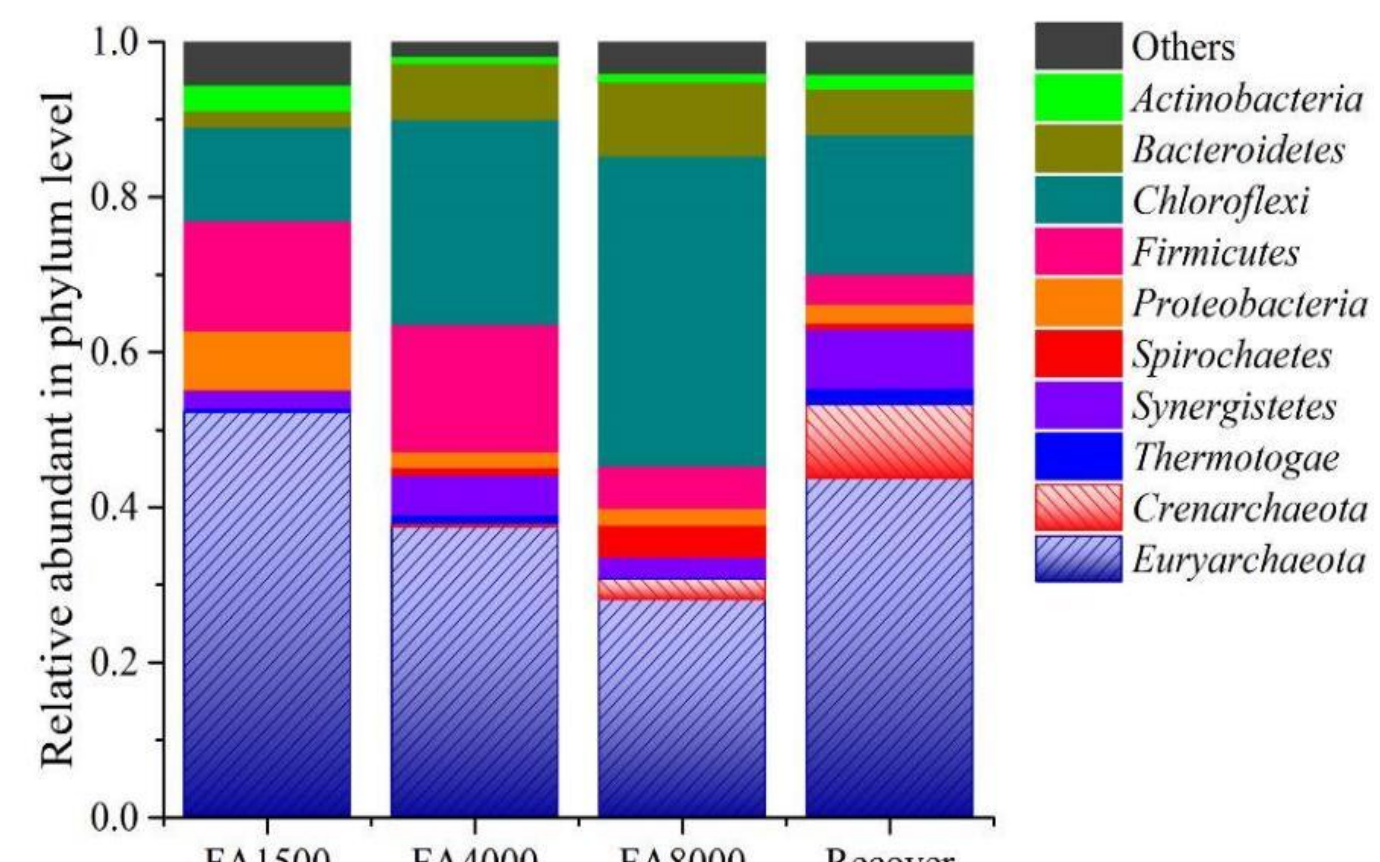


Fig.5 不同FA进水条件下的微生物群落分析

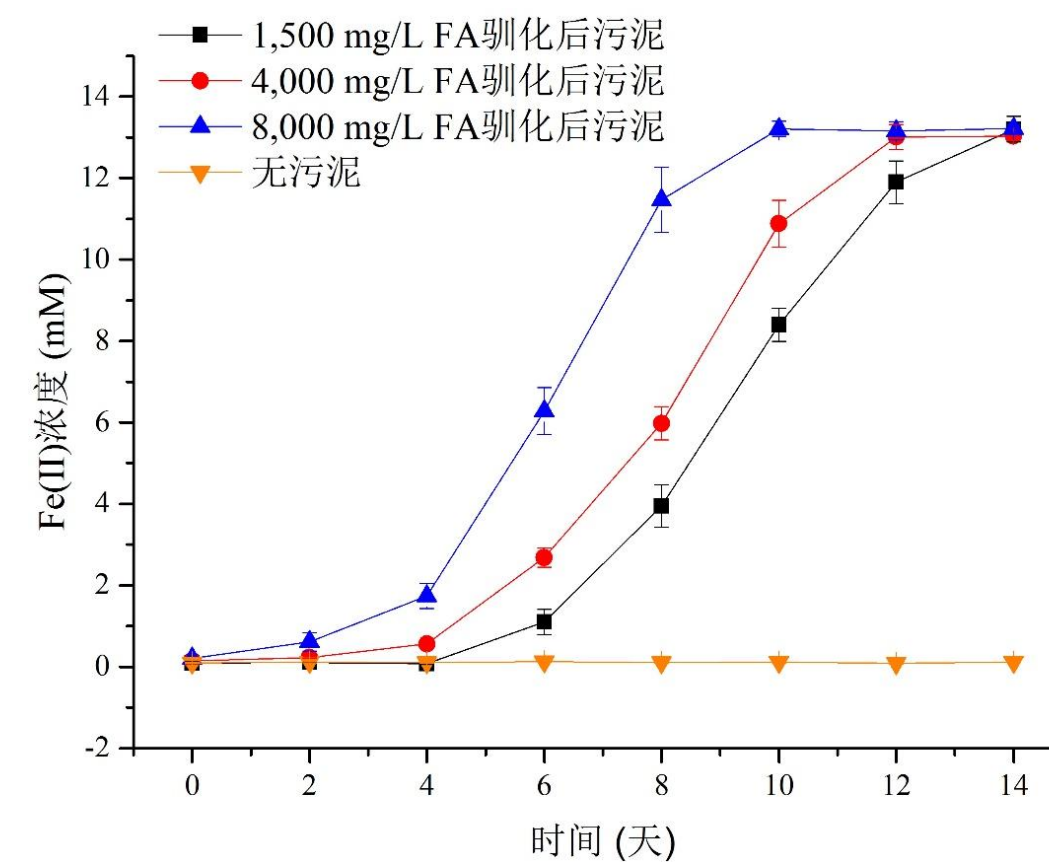


Fig.6 不同FA进水条件下的污泥的胞外电子传递能力分析

- 优势产甲烷菌*Methanobacterium*的丰度受进水FA浓度的影响较大，是由于高浓度FA与*Methanobacterium*竞争H₂(电子)，导致*Methanobacterium*的生存空间受到了限制。
- 细菌中优势菌*Anaerolinaceae*则因为高浓度FA的存在而富集生长，使污泥的胞外电子传递能力逐渐增强。

富里酸在厌氧产甲烷过程中的转化特征研究

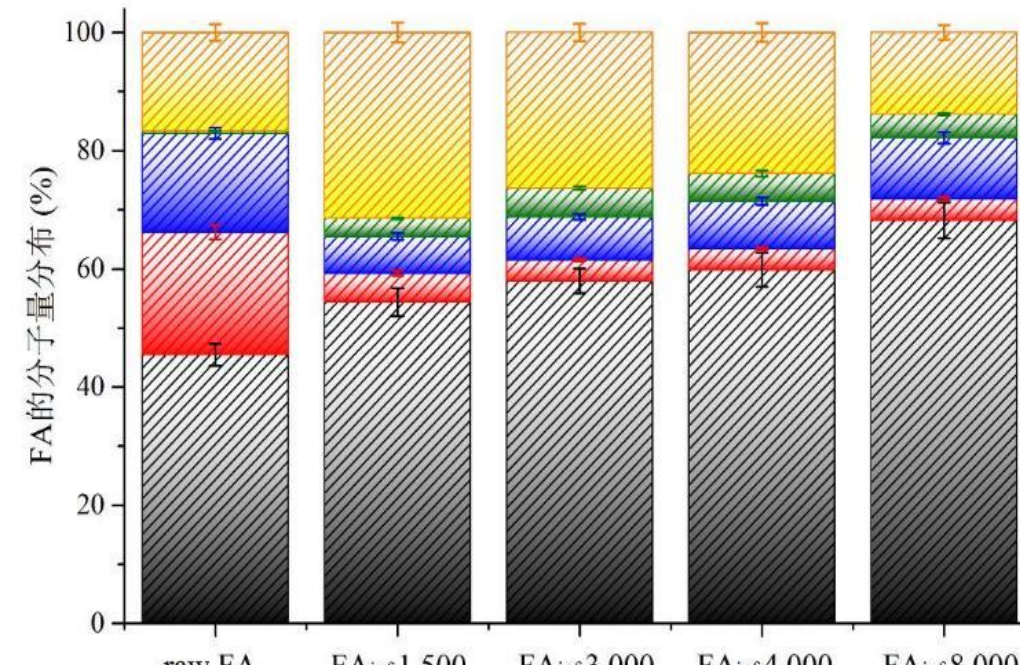


Fig.7 进出水FA的分子量分布变化特征

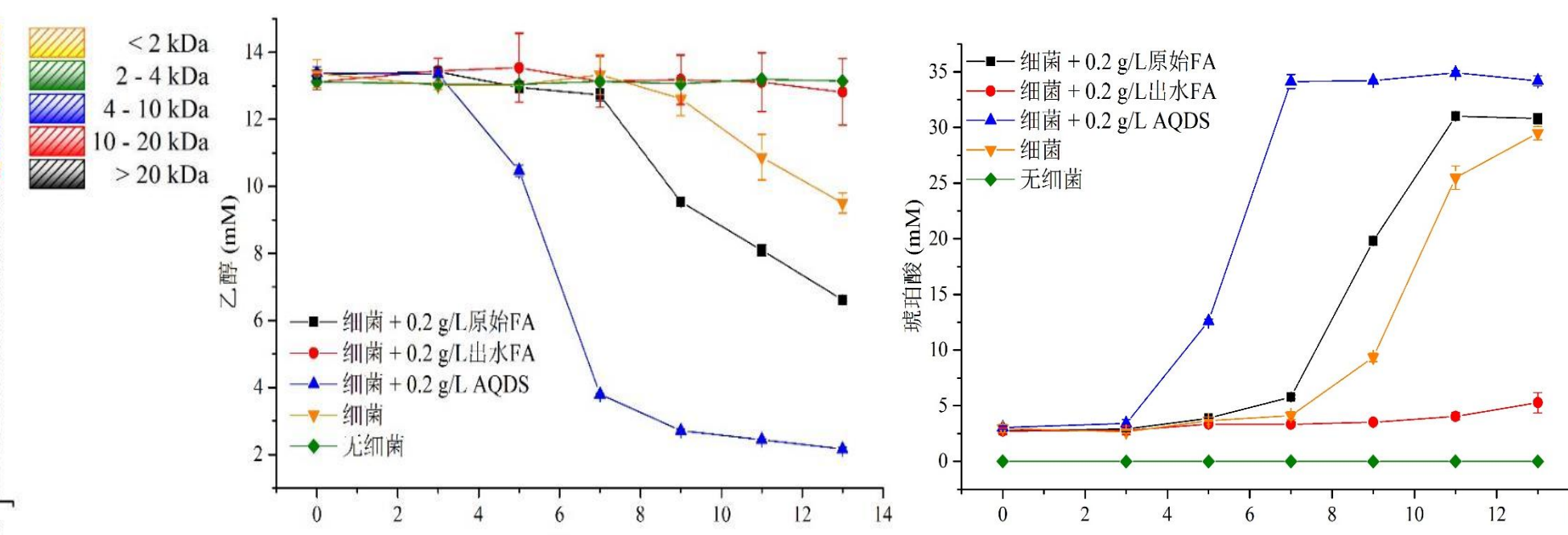


Fig.8 厌氧处理前后富里酸的电子穿梭体能力分析

- 出水未降解FA的分子量明显进一步增大；
- 渗沥液中的原始FA可以作为电子穿梭体促进*G. metallireducens*和*G. sulfurreducens*之间(微生物和微生物之间)的电子传递；
- 厌氧处理后的出水中残余的FA则失去了这种促进电子传递的能力，反而产生了抑制效果。

研究结论

- 垃圾焚烧渗沥液中的FA会影响EGSB反应器的COD去除率和甲烷产率。FA通过与反应器内的产甲烷菌竞争电子影响EGSB反应器的处理效果。进水FA浓度在4,000 mg/L以上时，反应器处理效果明显变差且无法适应，在实际的垃圾焚烧厂渗沥液处理工程中，应尽可能的控制进水FA浓度小于4,000 mg/L，以保证厌氧产甲烷工艺的高效运行。
- FA在处理过程中部分被降解，随着进水FA浓度的提升，FA的去除率逐渐从86%降低至72%，且出水中未被降解的FA主要分布在分子量>20 kDa的范围。优势菌群*Anaerolinaceae*在高浓度FA的环境下富集生长，通过胞外电子传递的方式将其他有机物降解过程中产生的电子传递给FA，使FA作为电子受体得到降解和转化，FA的降解和转化消耗了大量电子，影响了反应器中产甲烷菌尤其是氢营养型的*Methanobacterium*的生长，进而使反应器的甲烷产率降低。
- 出水未降解FA的分子量明显进一步增大。渗沥液中的原始FA可以作为电子穿梭体加速*Geobacter metallireducens*和*G. sulfurreducens*之间(微生物和微生物之间)的电子传递；而EGSB反应器出水中残余的FA则失去了这种促进电子传递的能力，反而产生了抑制效果。

课题来源

- 国家自然科学基金：垃圾渗沥液生物处理中抑制因子的解析与系统调控策略（51278052）

主要研究成果：

- Yan Dang, Jiexu Ye, Yongjie Mu, Bin Qiu, Dezhi Sun. (2013) Effective anaerobic treatment of fresh leachate from MSW incineration plant and dynamic characteristics of microbial community in granular sludge. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 97(24):10563-10574.
- Yan Dang, Rui Zhang, Sijun Wu, Zhao Liu, Bin Qiu, Yilong Fang, Dezhi Sun. (2014) Calcium effect in anaerobic biological treatment of leachate from MSW incineration plant. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 95: 76-83.
- 党岩, 张瑞, 叶杰旭, 艾晗, 孙德智. (2013) EGSB处理垃圾焚烧渗沥液及其微生物群落变化. *中国环境科学*, 33(6): 999-1004.