

# Preliminary Knowledge of Soluble Microbial Products in Membrane Bioreactor System

Lihan Kong, Linguo Lu, Deqin Ran

Shandong Transportation Institute, Shandong Jinan  
Email: 119237041@qq.com

Received: Dec. 10<sup>th</sup>, 2019; accepted: Dec. 31<sup>st</sup>, 2019; published: Jan. 6<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

The membrane bioreactor (MBR) systems have been increasingly used in water treatment in recent years. However, fouling by soluble microbial products (SMP) remains one of the key performance limitations for more widespread applications. A brief review concerning the characterization, production, affecting factors, components of SMP in MBR systems is presented.

## Keywords

Membrane Bioreactor (MBR), Membrane Fouling, Soluble Microbial Products (SMP)

---

# 膜生物反应器系统中可溶性微生物产物初识

孔令菡, 卢林果, 冉德钦

山东省交通科学研究院, 山东 济南  
Email: 119237041@qq.com

收稿日期: 2019年12月10日; 录用日期: 2019年12月31日; 发布日期: 2020年1月6日

---

## 摘要

近年来, 膜生物反应器(MBR)系统在水处理中的应用日益广泛。然而, 可溶性微生物产物(SMP)的污染仍然是更广泛应用的关键性能限制之一。本文就膜生物反应器系统中SMP的性质、生产、影响因素、组成等作一个简要综述。

## 关键词

膜生物反应器, 膜污染, 可溶性微生物产物

---



## 1. 膜生物反应器系统中可溶性微生物产物

膜生物反应器(membrane bioreactor, MBR)系统具有出水水质好、满足日益严格的排放要求等优点,已被广泛应用于污水处理中[1]。MBR 系统具有出水水质好、满足日益严格的排放要求等优点,已被广泛应用于污水处理中。可溶性微生物产品(soluble microbial products, SMP)目前被认为是从基质代谢(通常伴随生物量增长)和生物量衰变释放到溶液中的有机化合物[2],已被确定为 MBR 系统中的主要污染物[3]。有研究人员[4] [5]认为 MBR 中的 SMP 可以被生物降解,但降解动力学比简单底物慢得多。在一定条件下, SMP 可以被视为可溶性胞外聚合物[6],大多数 SMP 是复杂的生化物质[7]。

## 2. BAP 和 UAP

SMP 可根据其产生的细菌阶段分为两类:生物量相关产品(biomass associated products, BAP)和利用相关产品(utilization associated products, UAP) [8]。BAP 的产生与生物质浓度成正比, UAP 的产生与基质利用率成正比。有研究者指出 BAP 随污泥停留时间的增加而增加, UAP 随污泥停留时间的增加而降低[9]。BAP 比 UAP 更加疏水。大多数研究者认为 SMP 源于生物量的衰变而不是基质的代谢[10],因此是 BAP 而不是 UAP 在决定着 SMP 的浓度[11]。因此,当污泥停留时间长时, SMP 的积累程度应该很大。可以推测在污泥停留时间短时, UAP 占 SMP 的大部分,更容易在 MBR 系统中的膜中积累。有研究认为 BAP 是含碳和氮的细胞大分子, UAP 主要是小碳化合物[12],结合的胞外聚合物水解形成 BAP, UAP 是可溶性胞外聚合物的生长相关部分。另外 BAP 比 UAP 生物降解性差[13]。

## 3. SMP 的组成

SMP 在生物过程中的组成相当复杂,包括蛋白质、碳水化合物、腐殖质等。有研究[14]认为碳水化合物组分比蛋白质组分更容易在膜中积累。此外,蛋白的比例在不同的污泥停留时间中保持大致相同,而碳水化合物的百分比从 33.2%下降到 24.2%,污泥停留时间从 10 天延长到 60 天。有趣的是,在污泥停留时间较长时, SMP 的产量下降,但 SMP 含有较高比例的腐殖质。有研究者认为蛋白质组分是 SMP 的最大组成部分[15]。也有研究者[16]认为碳水化合物成分很可能是 SMP 的主要成分,特别是在污泥停留时间比较短的情况下,上清液中碳水化合物浓度的变化趋势与膜污染速率一致。有研究者意识到腐殖质在滤膜污染中不起到主要作用,相当大的不可逆污染[17]。

## 4. SMP 的分子量分布

污水中 SMP 的分子量分布一般遵循双峰型分布原则[18]。许多生物废水中的高分子量化合物比进水中的多[19]。有研究发现 20%的 SMP 分子量小于 1 kDa [15]。MBR 中的 SMP 中低分子量物质浓度较大,而且分子量分布跨度较大, UAP 比 BAP 含有更少的高分子量组分[20]。

## 5. 温度对 SMP 的影响

温度对 SMP 的浓度和组成都有非常重要的影响[21]。有研究者认为 SMP 的多糖是膜污染的主要来源,低温下不可逆膜污染并不严重[22]。有研究者[23]对处理能力为 60,000 m<sup>3</sup>/d 的 MBR 工程进行一年以上的监测发现,低温条件下,含量明显增加的亲水性多糖和大分子蛋白质更容易选择性的在膜表面附着。可

见, 低温条件下, 微生物释放大量的胞外聚合物和 SMP, 使膜生物污染更加严重。未来对温度的研究应包括温度对脱脂奶粉中蛋白质、碳水化合物、腐殖质等组分的单独影响的研究。

## 6. 研究展望

在未来的研究中, SMP 仍然是 MBR 研究中的一个重要问题。根据文献资料, 未来对 SMP 的研究应包括:

- 1) 运行参数对 SMP 中蛋白质、多糖、腐殖质等组分分离影响的研究;
- 2) 研究全尺寸 MBR 装置的效果, 以反映实际的膜污染特性;
- 3) 通过分析方法(如激发-发射矩阵荧光光谱法)对 SMP 中的各种效应进行建模。

## 7. 结论

MBR 系统已广泛应用于城市污水和工业废水的处理。然而, 膜污染是制约 MBR 广泛应用的主要障碍之一, 而 SMP 是膜污染的主要污染源。本文从来源、组成、分子量分布、温度影响等方面对 SMP 进行了初步了解。以后研究需要继续深入, 希望有利于推动 MBR 的进一步应用。

## 基金项目

山东省交通科技创新计划项目(201304-04, 2017A04-03, 2018B25)。

## 参考文献

- [1] 刘焘, 党朝华. MBR 工艺在污水处理厂提标改造中的工程应用[J]. 中国给水排水, 2017(24): 92-94.
- [2] 李燕. 废水生物处理中溶解性微生物产物的产生及性质研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京大学, 2013.
- [3] 韩永萍, 肖燕, 宋蕾, 等. MBR 膜污染的形成及其影响因素研究进展[J]. 膜科学与技术, 2013, 33(1): 102-110.
- [4] 郗丽娟, 吕娜, 张海丰, 等. SMP 形成与降解机制分析及其对 MBR 膜过滤的影响[J]. 化工学报, 2013(8): 300-305.
- [5] 高元, 李绍峰, 陶虎春. MBR 污泥混合液特性变化及膜污染关系研究[J]. 环境工程学报, 2011(1): 30-34.
- [6] 张雪宁. 可溶性微生物产物的产生及其对反硝化的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.
- [7] 齐庚申, 陈谊, 孙宝盛, 等. 膜生物反应器中贫营养条件下 SMP 的产出研究[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(2): 52-56.
- [8] Wu, C.Y., Zhou, Y.X., Zhang, S.Y., et al. (2017) The Effect of Toxic Carbon Source on the Reaction of Activated Sludge in the Batch Reactor. *Chemosphere*, **194**, 784-792. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.075>
- [9] Tang, Y., Ontiveros-Valencia, A., Feng, L., et al. (2013) A Biofilm Model to Understand the Onset of Sulfate Reduction in Denitrifying Membrane Biofilm Reactors. *Biotechnology and Bioengineering*, **110**, 763-772. <https://doi.org/10.1002/bit.24755>
- [10] 周君薇, 陈一, 闻岳, 等. 污水生物处理系统中溶解性微生物产物的研究进展[J]. 水处理技术, 2011, 37(7): 6-11.
- [11] 左薇, 吴晴, 王浩宇, 等. 利用数学模拟方法分析硝化 MBR 系统中 SMP 转换过程[J]. 环境工程学报, 2014, 8(4): 1350-1354.
- [12] 叶挺进, 吴杰, 徐梁, 等. 污水内源性消毒副产物前体物的生成与识别[J]. 环境科学与技术, 2018, 41(S2): 60-65.
- [13] 张海丰, 孙宝盛, 赵新华, 等. 膜生物反应器中溶解性微生物代谢产物的产出[J]. 中国环境科学, 2007, 27(4): 539-542.
- [14] Dong, B., Duan, N. and He, Q. (2010) Membrane Fouling Behaviors of Soluble Microbial Products at Various Sludge Retention Times. *Journal of Tongji University*, **38**, 403-406 + 411.
- [15] Shin, H.S. and Kang, S.T. (2003) Characteristics and Fates of Soluble Microbial Products in Ceramic Membrane Bio-reactor at Various Sludge Retention Times. *Water Research*, **37**, 121-127. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00249-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00249-X)

- [16] 许颖. 膜生物反应器工艺中膜污染因素及控制的研究[D]: [博士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- [17] Li, Y., Zhang, W., Zhang, X., *et al.* (2010) Characterization of Fouling in Immersed Polyvinylidene Fluoride Hollow Fibre Membrane Ultrafiltration by Particles and Natural Organic Matter. *Desalination and Water Treatment*, **18**, 309-314. <https://doi.org/10.5004/dwt.2010.1814>
- [18] 董滨, 段妮娜, 何群彪. 不同泥龄下溶解性微生物产物对膜污染的影响[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2010, 38(3): 403-406.
- [19] 唐朝春, 刘名, 陈惠民, 等. 废水生物处理系统中胞外多聚物的研究进展[J]. 化工进展, 2014, 33(6): 1576-1581.
- [20] 张海丰. 膜生物反应器混合液特性对膜污染的影响[D]: [博士学位论文]. 天津: 天津大学, 2009.
- [21] 王贺. 运行温度对污染物去除及膜污染的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 无锡: 江南大学, 2018.
- [22] 胡波. 污泥停留时间对膜生物反应器中溶解性微生物产物和膜污染的影响[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2017.
- [23] Sun, J.Y., Xiao, K., Mo, Y.H., *et al.* (2014) Seasonal Characteristics of Supernatant Organics and Its Effect on Membrane Fouling in a Full-Scale Membrane Bioreactor. *Journal of Membrane Science*, **453**, 168-174. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2013.11.003>