

MBR 处理城市垃圾渗滤液中溶解性微生物产物(SMP)的影响分析

崔喜勤¹, 申欢², 金奇庭^{2*}

(1. 福建农林大学 资源与环境学院, 福建 福州 350002; 2. 西安建筑科技大学 环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 研究以好氧膜生物反应器(MBR)处理城市垃圾渗滤液,以膜截留的有机物量的变化间接反映SMP在反应器中的积累情况,以及其对污泥活性和污泥混合液过滤性能的影响。结果表明,随着进水垃圾渗滤液可生化性由0.60降至0.28,MBR中被膜截留的有机物浓度由226.4 mg/L增加至504.0 mg/L,积累程度加剧,并会抑制污泥脱氢酶活性,对反应器中混合液过滤性能有负面影响。

关键词: 膜生物反应器(MBR); 溶解性微生物产物(SMP); 污泥活性; 混合液过滤性能

中图分类号: X502; X832 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2012)06-1281-05

An Analysis of on the Effect Soluble Microbial Products in Treatment of Municipal Landfill Leachate by Means of MBR

CUI Xi-qin¹, SHEN Huan², JIN Qi-ting^{2*}

(1. College of Resoures and Environment, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. College of Environment and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: The aim of the study on a landfill leachate treatment is to determine the accumulation of SMP in membrane bioreactor(MBR) and its influence on the sludge activity and the membrane filterability of the mixed sludge liquor. The results indicated that the concentration of the organic matter held in MBR increased from 226.4 mg/L to 504.0 mg/L with the biodegradability of inlet landfill leachate reducing from 0.60 to 0.28, and the extent of its accumulation in MBR intensified; and the SMP inhibited the sludge dehydrogenase activity and had a negative effect on the membrane filterability of the mixed sludge liquor.

Key words: membrane bioreactor(MBR); soluble microbial products; sludge activity; membrane filterability of the mixed liquor

溶解性微生物产物(SMP)是指菌体细胞在代谢过程中排出的或分泌的物质,其能够在不破坏菌体细胞的情况下与微生物相分离,且离开该物质菌体细胞仍能存活^[1]。SMP主要产生于微生物的基质分解过程和内源呼吸过程,在生化处理过程中,其作为系统出水中溶解性总有机碳(TOC)或化学需氧量(COD)的主要组成部分(操作良好的系统中,SMP占出水COD的85%左右),正日益受到关注^[2]。SMP组成非常复杂,是腐殖质、多糖、蛋白质、核酸、有机酸、抗生素和硫醇等多种物质的混合体^[3],其中前3

收稿日期: 2012-11-12 修回日期: 2012-10-23

基金项目: 陕西省教育厅专项科研项目(02JK136)和西安市工业科技攻关计划项目(GG200275)

作者简介: 崔喜勤(1977—),女,讲师,硕士,主要从事废水治理技术研究,E-mail: cxqfjnd@163.com; * 通讯作者: 金奇庭。

种成份是在各种情况下均普遍存在的主要成份。一般来讲,来源于基质分解过程中的 SMP 大部分可以被微生物降解,但是降解速度较慢;来源于内源呼吸过程中的 SMP 一般很难被微生物降解^[3]。前人研究对于 SMP 的性质归纳起来主要有:组成复杂、相对分子质量分布范围广、可生化性较差、可能对微生物活性产生抑制等^[2-4]。

膜生物反应器(MBR)是由污水生物处理技术和膜分离技术结合而成的一种新型污水处理与回用工艺。与传统生物处理工艺相比,MBR 由于利用膜的高效截留作用,不但可以实现活性污泥与处理水的彻底分离,还可以将大部分 SMP 截留在反应器中,进而大大强化出水水质,此外还由于其占地面积小、剩余污泥量少、易实现自动控制等优势以及膜成本的大幅降低,使该工艺在近 10 年来受到广泛应用^[5]。

如前所述,由于 SMP 可生化性较差,需要较长时间才可能部分被降解,MBR 中膜组件的高效截留作用使整个处理系统处于相对封闭的状态,在长期运行过程中,SMP 被膜所截留并可能会在 MBR 中大量积累,对系统运行特性和微生物特性将产生影响。而前人大量文献对 SMP 的研究主要集中在传统生物处理工艺中,针对 MBR 工艺的研究始于 20 世纪 90 年代,且相对较少^[3,6-7]。本试验在以好氧 MBR 处理城市垃圾渗滤液的长期运行过程中,就 MBR 中 SMP 积累情况的变化以及 SMP 对污泥活性和污泥混合液过滤性能的影响 3 方面进行了初步研究。

1 材料与方 法

1.1 试验装置

试验装置具体见图 1,采用一体式恒压膜生物反应器,膜组件类型为中空纤维膜,膜组件材质为聚乙烯,膜孔径为 0.18 μm、膜面积为 0.6 m²;反应器分为水解区(缺氧区)、主曝气区和膜区 3 部分,相应的容积分别为 3、3 和 8 L。膜区设有内循环导流板,以增强水流对膜面的冲刷作用;进水由电磁阀和液位控制计控制,系统出水方式采用恒压间歇出水,出停时间根据水力停留时间(HRT)的要求通过时间继电器控制,工作压力为 16.2 kPa。

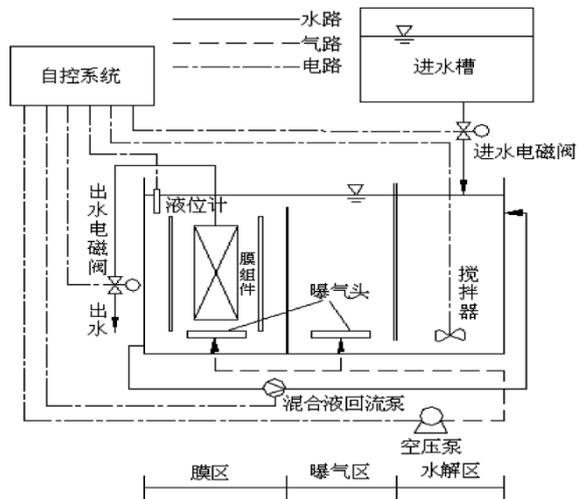


图 1 MBR 试验装置

Fig. 1 Experimental set-up of MBR

1.2 取水水质状况

本试验用水取自西安市江村沟垃圾卫生填埋场产生的渗滤液,在试验历时的 208 d,先后取水 2 次,其水质情况见表 1。2 次取水水质变化较大与当地气候以及当年降雨特点有很大关系,是试验手段无法控制的。

表 1 西安市江村沟垃圾卫生填埋场渗滤液水质情况

Tab. 1 Water quality of the leachate from JiangCungou municipal solid waste landfill site in Xi'an

日期 Date	化学需氧量/ (mg · L ⁻¹) COD	生化需氧量 /(mg · L ⁻¹) BOD ₅	BOD ₅ /COD	pH 值	氨氮/(mg · L ⁻¹) NH ₄ ⁺ - N	碱度/(mg · L ⁻¹) Alkalinity	悬浮性固体 /(mg · L ⁻¹) SS
03 - 19 March 19	11 088 ~ 1 4593	8 750	0.60	8.0	2 826	15 000	1 235
08 - 29 August 29	3 108	877.7	0.28	8.2	2 357	24 000	1 151

1.3 试验用水

为避免所取垃圾渗滤液水质变化对试验系统的影响,确保进水水质稳定,试验期间通过对所取原水进行不同程度的稀释,以维持系统进水 COD 浓度在 2 000 ~ 2 500 mg/L。

1.4 试验方法

(1) 由于在以实际废水为处理对象的运行过程中,难以直接针对 MBR 中积累的 SMP 进行测定,因此采用 MBR 中被膜截留的有机物量的变化来间接反映 SMP 在系统中的积累情况^[2-4],其中被膜截留

的有机物 = 膜区上清液 COD - 系统出水 COD(上清液为混合液经滤纸过滤所得)。

(2) 以脱氢酶活性作为衡量污泥活性的指标,在研究膜区上清液对污泥脱氢酶活性的影响时,上清液取自试验运行第 196 天,并经蒸发浓缩后稀释为不同浓度^[8],污泥脱氢酶活性测定方法见参考文献[9]。

(3) 膜区混合液过滤性能的变化是通过试验运行第 117 天(代表基质代谢阶段)和第 196 天(代表内源呼吸阶段)膜区混合液进行死端过滤试验(图 2),对比膜通量的衰减情况。

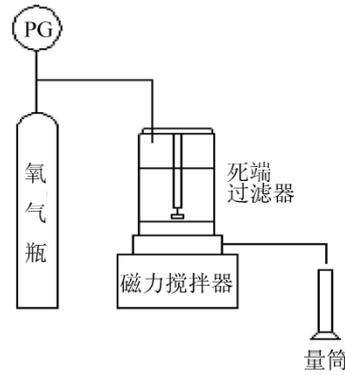


图 2 死端过滤试验装置示意图

Fig.2 Experimental set-up of the terminal filtration

2 试验结果及分析

2.1 MBR 中 SMP 的积累

通过对原水进行不同程度的稀释保持系统进水 COD 为 2 000 ~ 2 500 mg/L, HRT 为 67 ~ 70 h 不变,在不排泥条件下考察反应器中被膜截留的有机物随运行时间的变化情况如图 3 所示。

由图 3 可知,在试验运行的前 150 d 里,膜截留的有机物浓度较低,在 133.3 ~ 226.4 mg/L 变化,且随运行时间增加缓慢;此后 58 d 里膜截留的有机物浓度急剧增加,由 226.4 mg/L 增加到 504.0 mg/L。结合垃圾渗滤液水质可知,膜截留的有机物浓度出现这种变化的原因与进水垃圾渗滤液的可生化性有着密切的关系,在试验前 150 d 里进水可生化性较好, BOD_5 / COD 为 0.60,其中的有机物降解较为彻底,微生物量稳定增长,污泥浓度

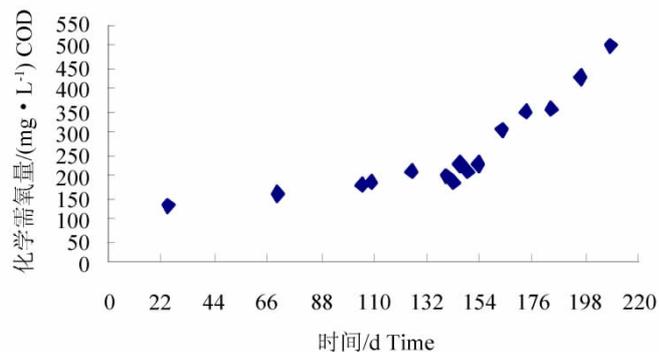


图 3 MBR 中被截流的有机物的变化

Fig.3 Variation of organic matter being held in MBR

(以混合液挥发性悬浮固体(MLVSS)计)由接种时的 3.2 g/L 增至 7.7 g/L^[12],可见反应器中 SMP 的积累主要来源于微生物的代谢产物,有文献和研究表明^[3-4,10-11],来源于基质代谢过程中的 SMP 是在长期的驯化过程中得到降解的,因此前 150 d 里 SMP 不会在 MBR 中大量积累,其浓度表现为在较低水平缓慢增加。试验运行后期的 58 d 里,由于垃圾渗滤液可生化性发生很大变化, BOD_5 / COD 由 0.60 降至 0.28,造成污泥 BOD_5 负荷由 0.15 kg/(kg·d) 迅速降至 0.019 kg/(kg·d),在此贫营养条件下微生物进入内源呼吸阶段,不断死亡并发生细胞溶解,反应器内污泥浓度(以 MLVSS 计)由前期的 7.7 g/L 逐渐减少至末期的 2.9 g/L^[12],该过程产生的 SMP 因含有大量大分子有机物而很难被微生物降解^[3,13-14],因此在试验后期出现了膜截留的有机物在 MBR 中迅速积累的现象。

2.2 SMP 对污泥活性的影响

由于脱氢酶活性被认为是衡量污泥活性的一个有效指标,本试验考察了试验运行后期膜区上清液 COD 浓度(间接反映 SMP 的量)对污泥脱氢酶活性的影响。上清液取自试验运行第 196 天,并经蒸发浓缩后稀释为不同浓度^[8]。图 4 给出了上清液 COD 浓度在 0 ~ 6 000 mg/L 内污泥脱氢酶活性的变化,可以看出,污泥脱氢酶活性随上清液 COD 浓度的升高而不断降低,由初始的 10.3 $\mu\text{gTCC}/(\text{mgVSS}\cdot\text{h})$ 不断下降至 6 000 mg/L 时的 2.6 $\mu\text{gTCC}/(\text{mgVSS}\cdot\text{h})$ 。说明若反应器中被截留的有机物过度积累会对污泥活性产生明显的抑制作用。这与黄霞等^[8,15]研究的以 MBR 处理生活污水中有机物积累对污泥活性的影响结论是一致的;但齐庚申等^[14]研究却得出了相反的结论,即 SMP 可以刺激微生物提高自身活

性;张海丰等^[4]研究则认为应更多关注 SMP 复杂的组成,与其浓度影响相比,相对分子质量大于 10 000 的 SMP 对污泥活性的抑制更为显著。

2.3 SMP 积累对混合液过滤性能的影响

前期研究表明^[16-20]混合液中的溶解性物质和胶体是造成膜污染的主要原因,且主要来源于微生物代谢过程的产物。本试验通过第 117 天(代表基质代谢阶段)和第 196 天(代表内源呼吸阶段)膜区混合液进行死端过滤试验,研究 SMP 积累对混合液过滤性能的影响,其膜通量衰减情况见图 5。可以看出,两个时期混合液的膜通量衰减趋势是相同的,即过滤初期通量衰减速度很快,随着时间的延长通量趋于稳定。

对比 2 条膜通量衰减曲线可知,虽然第 196 天混合液污泥浓度(以混合液悬浮固体(MLSS)计)较第 117 天低,只有第 117 天

的 53.5%,但由于其上清液 COD 浓度是第 117 天的 2.1 倍,因此导致第 196 天污泥混合液过滤的膜通量明显小于第 117 天膜通量,说明相比于混合液中污泥固体,其上清液中积累的大量溶解性有机物对混合液过滤性能的影响更大。上清液中有有机物浓度大幅度增加主要是由于试验后期微生物因进水有机物负荷大大降低而进入内源呼吸,产生大量难降解 SMP 在反应器中积累造成的,进而使其成为膜污染的重要来源。赵军^[21]、陈宏宇等^[22]研究也表明 SMP 对膜污染有明显的负面影响。同时,考察了试验运行第 208 天膜区上清液和系统出水可生化性的区别,其中上清液 BOD₅/COD 为 0.05,系统出水 BOD₅/COD 为 0.11,说明微生物内源呼吸产生的 SMP 为难降解有机物,膜的截留作用使其在反应器中积累,导致上清液的 BOD₅/COD 比系统出水低,可生化性更差。

3 讨 论

在 MBR 处理垃圾渗滤液时,当进水 COD 为 2 000 ~ 2 500 mg/L, HRT 为 67 ~ 70 h 以及不排泥条件下:

(1) 被膜截留的有机物积累程度与进水垃圾渗滤液的可生化性有着密切的关系,可生化性好时 SMP 浓度表现为在较低水平缓慢增加,可生化性较差时 SMP 浓度表现为短期内迅速增加。MBR 中 SMP 的过度积累对污泥活性具有抑制作用。

(2) 通过对比不同运行时期的混合液过滤性能表明,反应器中被截留的有机物的积累对混合液的过滤性能有负面影响。以实际废水为处理对象,采用膜截留的有机物量的变化间接反映 SMP 的积累存在一定的偏差,如何利用化学分离和分析方法,对 SMP 进行准确的定量分析并鉴别其物质组成,这对认识和调控微生物代谢过程,提高膜生物反应器的工作性能具有重要的意义。关于 SMP 对污泥活性的影响及机理还存在分歧,有待深入认识和研究。

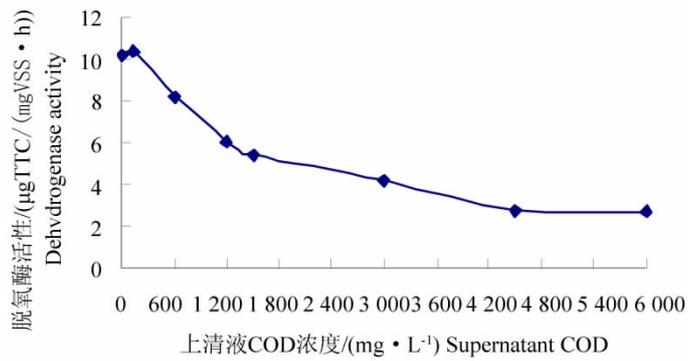


图 4 上清液 COD 对污泥脱氢酶活性的影响

Fig. 4 The impact of supernatant COD in dehydrogenase activity

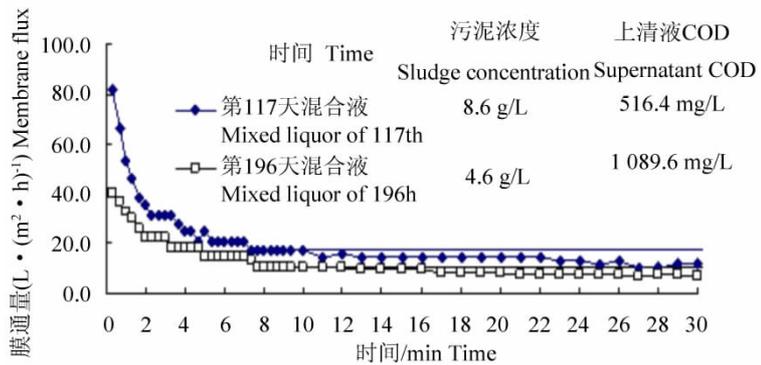


图 5 SMP 的积累对混合液过滤性能的影响

Fig. 5 The impact of the accumulation of SMP in membrane permeability of the mixed liquor

参考文献:

- [1] Gehr R, Henry J G. Removal of extracellular material. Techniques and pitfalls [J]. Water Research, 1983, 12: 1743 - 1748.
- [2] Barker D C. A review of soluble microbial products(SMP) in wastewater treatment systems [J]. Water Research, 1999, 33: 3063 - 3082.
- [3] 刘锐, 黄霞, 范彬, 等. 膜生物反应器中溶解性微生物产物的研究进展 [J]. 环境污染防治与设备, 2002, 3(1): 1 - 7.
- [4] 张海丰, 孙宝盛, 赵新华, 等. 溶解性微生物产物对浸没式膜生物反应器运行的影响 [J]. 环境科学, 2008, 29(1): 82 - 86.
- [5] Go M, Yang M, Li H. Comparison between a submerged membrane bioreactor and a conventional activated sludge system on treating ammonia - bearing inorganic wastewater [J]. Biotechnol, 2004, 108(3): 265 - 269.
- [6] Liang S, Liu C, Song L. Soluble microbial products in membrane bioreactor operation: Behaviors, characteristics, and fouling potential [J]. Water Research, 2007, 41: 95 - 101.
- [7] 刘强, 王晓昌, 刘永军. 膜生物反应器的研究进展 [J]. 环境科学与技术, 2009, 32(7): 78 - 81.
- [8] Xia Huang, Rui liu. Behaviour of soluble microbial products in a membrane bioreactor [J]. Process Biochemistry, 2000, 36: 401 - 406.
- [9] 马放. 污染控制微生物学实验 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2002.
- [10] 张维, 黄绢, 王世和. 膜生物反应器中溶解性微生物产物特性的研究进展 [J]. 电力环境保护, 2009, 25(3): 32 - 36.
- [11] 余萍, 宇鑫, 戡启宏, 等. 废水生物处理出水中溶解性微生物产物的形成机制与特征 [J]. 环境污染与防治, 2006, 28(5): 352 - 355.
- [12] 崔喜勤, 林君锋, 申欢, 等. MBR 处理城市垃圾渗滤液中污泥特性 [J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2010, 39(5): 542 - 547.
- [13] Rittmann B E, Bae W, Namkung E, et al. A critical evaluation of microbial product formation in biological processes [J]. Water Science Technology, 1987, 19(3/4): 517 - 528.
- [14] 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.
- [15] Zhang B, Yamamoto K. Seasonal change of microbial population and activities in a building wastewater reuse system using a membrane separation activated sludge process [J]. Water Science Technology, 1996, 34(5): 606 - 609.
- [16] Pollice A, Brookes A, Jefferson B, et al. Sub - critical flux fouling in membrane bioreactor - a review of recent literature [J]. Desalination, 2005, 174(3): 211 - 230.
- [17] Zhang H, Sun B, Zhao X, et al. Effect of ferric chloride on fouling in membrane bioreactor [J]. Separation and Purification Technology, 2008, 63(2): 341 - 347.
- [18] Chang I S, Le - Clech P, Jefferson B, et al. Membrane fouling in membrane bioreactors for wastewater treatment [J]. Environmental Engineering, 2002, 128: 1018 - 1029.
- [19] Chen M Y, Lee D J, Yang Z, et al. Fluorescent staining for study of extracellular polymeric substances in membrane bio-fouling layers [J]. Environmental Science Technology, 2006, 40: 6642 - 6646.
- [20] Reid E, Liu X, Judd S J. Effect of high salinity on activated sludge characteristics and membrane permeability in an immersed membrane bioreactor [J]. Journal of Membrane Science, 2006, 283(1-2): 164 - 171.
- [21] 赵军, 张海丰, 王亮. 微生物代谢产物对膜生物反应器膜污染的影响 [J]. 化工进展, 2009, 28(8): 1473 - 1477.
- [22] 陈宏宇, 孙宝盛, 张海丰. 膜生物反应器中溶解性微生物产物对膜污染的影响 [J]. 水处理技术, 2008, 34(7): 16 - 18.