

# 污水二级生化出水有机物(EfOM)性质表征 及去除研究现状

郭 瑾, 盛 丰, 马民涛, 秦 侠, 彭永臻  
(北京工业大学 环境与能源工程学院, 北京 100124)

摘 要: 污水二级生化出水有机物(EfOM)是污水中经初级和二级生化处理后剩余的难降解有机物, EfOM是影响二级出水排放的主要限制因素, 也是污水再生及回用处理中的主要目标去除物质. 本文对现有EfOM的表征方法—分子量分布、亲疏水性分离、荧光光谱等进行了分类归纳, 进一步总结了现有处理方法对EfOM性质特点的影响. 以臭氧为核心的氧化技术和膜滤技术发挥了深度处理效能, 降低了运行成本.

关键词: 污水二级生化出水有机物; 分子量分布; 亲水性; 疏水性; 污水深度处理

中图分类号: X 703.1

文献标志码: A

文章编号: 0254-0037(2011)01-0131-08

将城市污水作为一种持续而稳定的水资源加以利用, 是缓解中度和重度干旱地区水资源短缺的重要途径, 也是减轻接纳水体环境污染、改善生态环境的有益做法. 城市污水中大部分为天然有机体, 元素构成主要是C、H、O, 以及N、P、Fe等, 源于动植物本身及其代谢过程, 还包含一些人工合成有机物. 城市污水经二级生化处理后, 大多数污染物质均能得到有效去除, 出水具有水质稳定、水量丰富等特点, 而其中剩余的难降解有机物, 仍是影响污水再生回用的主要限制因素.

## 1 污水二级出水有机物—EfOM

污水中90%的溶解态有机质和96%的非溶解态有机质可以经生物处理去除<sup>[1]</sup>, 通常, 将污水中这些经初级和二级生化处理后剩余的难降解有机物统称为污水二级出水有机物(effluent organic matter, EfOM)<sup>[2]</sup>. EfOM分为非溶解态(particle organic carbon, POC)和溶解态有机碳(dissolved organic carbon, DOC). 前者主要包括浮游动物、藻类、细菌以及植物的有机残骸. 二级生化处理出水中的EfOM, 通常以溶解态有机碳为主, 其含量约占出水总化学需氧量(COD)的86%<sup>[2]</sup>. EfOM的存在除了对水环境中的化学生物过程产生重要的影响以外, 还会影响再生水的处理. 增加混凝剂和氧化剂的投量; 造成吸附剂和滤膜的堵塞; 造成配水管网微生物滋生及腐蚀, 在氯化过程中生成大量的消毒副产物.

### 1.1 微生物代谢产物

微生物在消耗污水中有机物的同时, 产生可溶性微生物代谢产物(soluble microbial products, SMPs)和胞外聚合物(extracellular polymeric substances, EPS). EPS分布于细胞表面或细胞壁之外, 主要来源于细胞表面物质的脱落、细胞溶解以及对周围环境物质的吸附, EPS的存在将促使微生物凝聚. SMPs是微生物增长过程中有机体的新陈代谢以及生物腐烂后细胞溶解除落产生的物质. 可分为UAP和BAP<sup>[3]</sup>, 前者与基质代谢和微生物生长有关, 产生速率与基质利用率成正相关; 后者则与微生物分解有关, 产生速率与微生物量成正相关. SMPs主要包括蛋白质、多聚糖、油脂、FOG、核酸、尿素等微生物代谢产物.

蛋白质(protein) 蛋白质是动物有机体的重要组成部分, 也是SMPs的主要成分之一. 蛋白质结构复杂而不稳定, 易发生腐烂, 并伴有恶臭, 主要由碳、氢、氧等元素构成, 同时具有高含量的氮(约为16%).

收稿日期: 2009-03-03.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50808003); 北京工业大学博士科研启动经费(X0005013200801).

作者简介: 郭瑾(1979—), 女, 甘肃天水人, 副教授.

蛋白质是污水二级生化处理出水中的主要氮源,也是异养菌的潜在碳源与氮源。

**多聚糖(carbohydrates)** 污水中高聚糖包括蔗糖、淀粉、纤维素、木质纤维等物质。蔗糖溶于水,可在细菌酶和酵母发酵过程中,被降解成醇类和 $\text{CO}_2$ ;淀粉不溶于水,可被细菌转化为蔗糖;纤维素能在污水处理过程中得到降解,而木质纤维很难被降解。糖类对污水生物处理的影响较小,是导致膜污染的主要物质<sup>[4-5]</sup>。

**油脂(FOG)** 固体脂肪(fat)、液体油脂(oil)和脂肪酸(grease)合称为油脂(FOG)。FOG普遍存在于生活污水中,由黄油、猪油、人造黄油和植物油转化生成。此外,进入到污水处理厂中的矿物油也是FOG的来源。生物处理过程对FOG的去除率达到98%~100%,其含量可以通过测定脂肪酸含量而获得。二级出水中存在的FOG会干扰地表水的生态系统,同时会因飘浮物和小油层的存在影响水体美观。

## 1.2 天然有机物

天然有机物(natural organic matter, NOM)普遍存在于天然水环境中,相对分子质量大约为 $10^3 \sim 10^6$  u,可为一些异养微生物提供基底物质。通常将其看成是多元酚和多元醌的芳香核以氢键相互连接而成的高聚物<sup>[6]</sup>。NOM因水源和季节的变化存在较大的差异,其有机碳来源主要包括:外源性有机碳和自生性有机碳。前者是由水体对土壤的冲刷引入,后者则来源于水体中动、植物的生物代谢。外源性有机碳的流入,藻类和水生植物的固碳作用,异养菌对外源性有机碳和自生性有机碳的转化和降解,有机碳的沉淀和溶解,光照降解等,都以不同的方式影响NOM的结构和性质。污水中的天然有机物为给水处理后剩余的腐殖质类有机物质。

## 1.3 难降解人工合成有机物

**内分泌干扰物质和药品及个人护理品** 内分泌干扰物质(endocrine-disrupting chemicals, EDCs)包括天然和合成的雌激素、烷基苯酚、有机氯和有机卤素(多氯联苯、二氧杂芑、呋喃)等物质,能模仿或阻碍内分泌系统的正常工作。即使是痕量的内分泌干扰物质(浓度低于 $1 \mu\text{g/L}$ )也可以对动物的内分泌系统造成潜在的干扰。药品及个人护理用品(pharmaceuticals and personal care products, PPCPs)包含处方和非处方类医药品、清洁剂、防晒剂等,是源于日常使用和排泄的化学用品的污染物总称。

**表面活性剂** 表面活性剂(surfactant)是广泛用于家庭和工厂中的清洁产品,可以降低液体表面张力,使液体更易于扩散,在有机溶剂和水溶剂中均为微溶,主要存在于有机相和水相的界面上。一般由亲水基团和疏水基团共同构成,一些家庭必需品,如牙膏、洗发剂、泡沫剂等,是污水中表面活性剂的主要来源。

**废水消毒副产物** 消毒副产物(disinfection by-product, DBPs)在氯化消毒过程中产生的以总三卤甲烷为代表的有机卤化物、溴酸盐和亚氯酸盐等,有致癌、致畸、致突变作用。以回用水排放为主的溪流进行消毒时,表现出更高的DBP生成势,同时也表现出溴代产物含量升高的趋势,健康风险较大<sup>[7-8]</sup>。

# 2 EfOM性质表征研究现状

## 2.1 相对分子质量分离

### 2.1.1 超滤膜分离法

超滤膜法测定水样中有机物的相对分子质量分布,通常采用一系列能截留不同相对分子质量的超滤膜进行水样过滤,通过测定滤过水样的总有机碳含量(TOC),得到水中有机物的相对分子质量区间分布。超滤膜数量和规格根据实际情况而定,过滤顺序按滤膜孔径自大而小排列。常用的分析流程如图1所示。

Duncan等<sup>[9]</sup>采用超滤膜法对污水二级生化出水有机物进行了研究,结果表明,污水二级生化出水中相对分子质量小于1000 Da的有机物占总有机物的89%,且反应器类型会影响二级出水的相对分子质量分布情况;Aquino等<sup>[10]</sup>的研究表明,二级出水中源于细胞溶解和胞外聚合物的蛋白质和糖类,具有相对较高的相对分子质量,而且是导致超滤膜污染的主要物质;张立卿等<sup>[11]</sup>采用小型错流平板膜纳滤装置,研究了污水厂二级出水中有机物的相对分子质量分布特征以及相对分子质量分布对纳滤膜透水性能的影响,

结果表明,二级出水有机物相对分子质量小于 30 ku 时,相对分子质量越小,比通量衰减越快;而有机物相对分子质量大于 30 ku 时,相对分子质量越大,比通量衰减越快。

2. 1. 2 凝胶排阻色谱分离法

凝胶排阻色谱法( GPC) 利用溶质分子在固定相和流动相之间的体积排阻作用,实现具有不同相对分子质量大小的溶质分离。样品随流动相进入色谱柱后,流经凝胶外部间隙及其内部孔洞,样品中大相对分子质量物质不能进入胶孔而受到排阻,沿凝胶之间的空隙通过色谱柱,在凝胶色谱柱上的保留时间较短;而小分子物质则可以进入凝胶孔洞内部从而受到滞留,在流动相的作用下较慢地被洗脱,在色谱柱上具有较长的保留时间。GPC - 紫外<sup>[12-13]</sup> /TOC<sup>[14]</sup> /荧光/UV-TOC<sup>[15]</sup> 等在线检测联用技术,在有机物相对分子质量分布表征方面的应用较广,可根据一系列标准物质的相对分子质量大小和相应的保留时间,确定有机物的相对分子质量分布情况。凝胶排阻色谱在 EfOM 相对分子质量分布表征的应用见表 1。

表 1 排阻色谱法在 EfOM 相对分子质量分布表征方面的应用

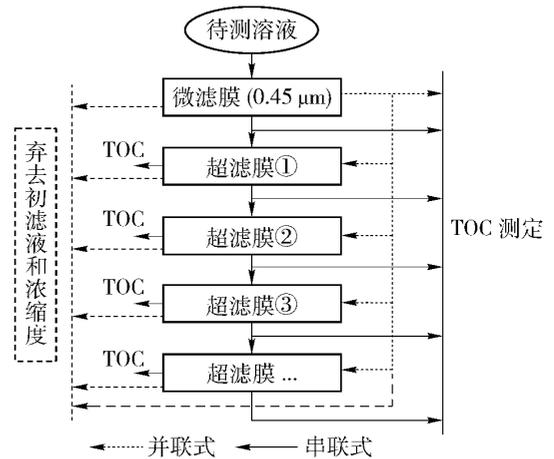
Table 1 Application of GPC on molecular weight distribution analysis of EfOM

样品	色谱仪	色谱柱	检测器	波长 /nm	标准样品	文献出处
EPS、SMP	Model10A	水凝胶 OH-30	紫外检测器	210	VFAs ( C1-C5) , PEG、PEO	[12]
污水处理厂出流	LC-OCD	HW-555	在线 TOC 分析仪	254	—	[14]
SMPs	HP-SEC	多孔凝胶	1) 在线 TOC 分析仪; 2) 紫外检测器	254	PSS	[15]
SMP、EPS	LC-OCD	HW-555	紫外/有机碳检测器联用	254	—	[16]
泥炭水、河水、二沉池出水	日立 655 型高压液相色谱仪	GL-W520	紫外分光光度计	260	多聚糖、PEG	[13]

注: VFAs( C1-C5) 为挥发性脂肪酸的混合物,PEG 为直链聚乙( 烯) 二醇,PEO 为聚环氧乙烷,PSS 为相对分子质量 1.8 4. 6 8 35 ku 的聚苯乙烯磺酸盐。

2. 2 亲疏水性分离

大孔树脂分离是富集和分离水中溶解性有机物( DOM) 的常用方法,对极性相似的组分特别是憎水性组分可以得到高效的富集和分离。常用的大孔树脂有 Amberlite XAD-2、XAD-4、XAD-7 以及 Amberlite XAD-8 树脂( 美国 Rohm & Haas 公司) 均为苯乙烯-二乙烯基苯的共聚物,为非极性的憎水性树脂,外观为白色颗粒状。EfOM 的亲、疏水性分离通常采用 XAD-8 和 XAD-4 树脂进行,根据不同的实验目标分离的流程略有不同<sup>[16-18]</sup>,图 2 为其代表性分离流程,最终可获得疏水碱性( hydrophobic basic)、疏水中性( hydrophobic neutral)、疏水酸性( hydrophobic acid)、亲水碱性( hydrophilic basic)、亲水中性( hydrophilic neutral)、亲水酸性( hydrophilic acid)、过渡亲水碱性( transphilic basic)、过渡亲水中性( transphilic neutral)、



( 图中①~③为超滤膜孔径由大到小依次排列)

图 1 超滤膜测定有机物相对分子质量分布试验流程  
Fig. 1 Analysis flow chart of molecular weight distribution with ultrafiltration membrane

过渡亲水酸性( transphilic acid) 等9个组分.

Imai 等<sup>[19]</sup>按照亲疏水性和酸碱性,将污水处理厂的二级出水分成疏水酸性、中性、碱性和亲水酸性、中性、碱性6个部分,分析表明,污水二级出水中疏水酸性和亲水酸性有机物含量较高,其中,亲水酸性占溶解性有机碳的32%~74%,疏水酸性约占3%~28%,疏水中性占0%~21%. 龚剑丽等<sup>[20]</sup>对上海市某污水厂二沉池出水中溶解性有机物进行了亲疏水性分离,研究结果显示,水中疏水性物质与亲水性物质各占50%,疏水酸中不饱和双键或芳香环有机物的含量最高; Shon 等<sup>[21]</sup>分别对污水二级出水中的亲、疏水性有机物开展了超滤研究,结果表明,二级出水中的亲水性有机物(多糖、尿素等胞外酶主要成分)是造成膜堵塞的主要物质; Jarustthirak 等<sup>[4]</sup>分别考察了二级出水中胶态、亲水性和疏水性有机物的膜滤性能,结果表明,亲水性有机物中的多糖和氨基糖类是堵塞NF膜和UF膜的主要物质; 张立卿等<sup>[11]</sup>采用XAD-8树脂,研究了

污水厂二级出水中亲疏水性有机物的相对含量,考察了亲疏水特性对纳滤膜透水性能的影响,结果表明,二级出水中具有较小相对分子质量的亲水性有机物含量最高,相同相对分子质量前提下,膜对亲水性物质的截留率较低,疏水性物质是引起膜通量衰减的主要原因.

### 2.3 荧光光谱

三维荧光光谱( three dimensional excitation/emission matrix 3DEEM)能有效区分溶解态有机质中荧光性质不同的组分,从而可用于表征溶解态有机质的结构,该方法具有很好的解释DOM荧光特性的潜力和很高的仪器精密密度<sup>[22]</sup>. 由于不同光谱区域的荧光性与官能团的类型密切相关<sup>[23]</sup>,EEM常被用于EfOM的性质表征. Namguk Her 等<sup>[24]</sup>在研究Irvine Ranch地表水、Barr Lake地表水和夏威夷某污水处理厂二级出水DOM特性的过程中,采用EEM作为HPSEC在线荧光检测系统的波长选择方法. 在对不同样本和参考材料的EEM光谱分析基础之上,得到蛋白质类物质的峰值激发、发射波长分别为278和353 nm,腐殖质类物质的峰值激发、发射波长分别为337和423 nm. 李卫华等<sup>[25]</sup>利用荧光光谱法对好氧生物反应器出水 and 高温厌氧产氢反应器的出水进行比较,结果表明,前者出水中以蛋白质、类富里酸物质及类胡酸物质为主,而后者出水中富含蛋白质、辅酶NADH和核黄素.

## 3 EfOM 去除研究现状

表2总结了不同处理工艺对EfOM的去除情况,絮凝对于二级生化出水中的大相对分子质量有机物和疏水性有机物的去除效果较好,对于包括EDCs、PPCPs、抗生素<sup>[26]</sup>、杀虫剂<sup>[27]</sup>等在内的小相对分子质量有机污染物,去除能力有限. 活性炭和离子交换树脂有助于小分子量有机物和疏水性有机物的去除,此外,活性炭对于EDCs、PPCPs<sup>[28]</sup>等人工合成小相对分子质量有机物的去除效果十分显著. 以臭氧氧化为代表的高级氧化技术(advanced oxidation process, AOP)在处理腐殖质、EDC、PPCP、织物染料等有机物方面有助于大相对分子质量有机物向小相对分子质量有机物,疏水性有机物向亲水性有机物的转化; 以微滤(MF)、超滤(UF)、纳滤(NF)和反渗透(RO)为代表的膜处理技术(Membrane Technology)对于整体EfOM的去除

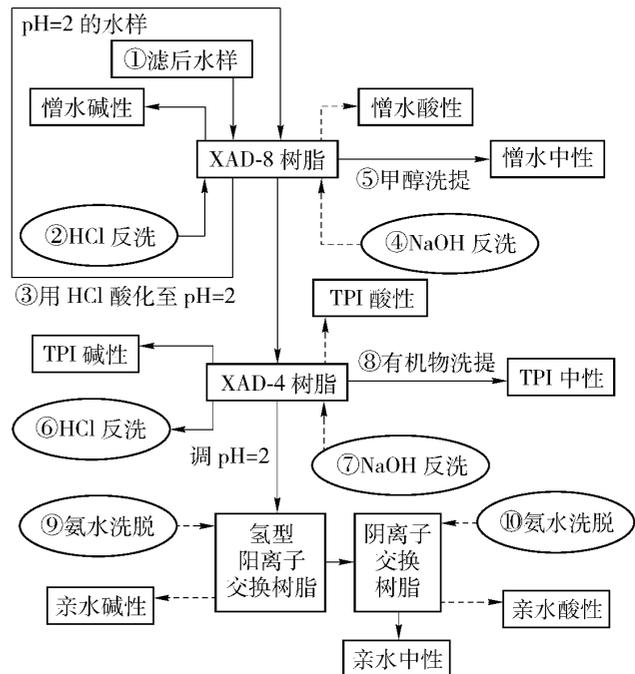


图2 EfOM大孔树脂分离方法(①~⑩表示分离步骤)

Fig. 2 Typical fractionation method of EfOM with XAD resin

效果均较佳,然而, EfOM 导致的“膜污染”受有机物相对分子质量大小和亲疏水性的影响较大,因此,常配合其他预处理方法使用.

表 2 污水深度处理工艺对 EfOM 各分离组分的去除情况  
Table 2 EfOM transformation with the advanced wastewater treatment process

处理方法	水样	EfOM 各分离组分去除效果		参考文献
		相对分子质量	亲疏水性	
混凝( FeCl <sub>3</sub> )	污水厂二级出水	>5 ku 以及 0.528 ~ 3.573 ku	胶体部分 65%; 亲水部分 61.8%; 疏水部分 68.5%; 过渡亲水部分 62.9%	[21][29]
混凝( FeCl <sub>3</sub> 、AlCl <sub>3</sub> )	柏林某污水处理厂二级出水	大相对分子质量有机物去除率随 FeCl <sub>3</sub> 投量增加而增加; AlCl <sub>3</sub> 的去除效果低于 FeCl <sub>3</sub>		[30]
微絮凝( FeCl <sub>3</sub> )	人工配水	可去除大相对分子质量有机物		[31]
混凝( AlCl <sub>3</sub> )	澳大利亚某西部污水处理厂	1 ~ 8 ku 及 40 ~ 70 ku	疏水、亲水部分均得到去除	[32]
粉末活性炭吸附	污水厂二级出水	0.373 ku 得到去除	胶体: < 30%; 亲水: 57.4%; 疏水: 71.4%; 过渡亲水: 66.9%	[29]
粉末活性炭吸附	柏林某污水处理厂二级出水	相对分子质量去除范围较宽,去除效率因活性炭性质存在差异		[30]
颗粒活性炭吸附	膜生物反应器出水		疏水: 66%; 提高了亲水分有机物去除率	[33]
GAC 生物过滤		小于 35 ku	疏水部分处理效果显著; 亲水部分的去除率约 50%	[5]
阴离子交换树脂 ( AER)	澳大利亚某污水处理厂	1 ~ 8 ku 去除效果显著	疏水和过渡亲水性部分被去除,对亲水部分去除效果不明显	[32]
磁性离子交换树脂( MIEX ®)	人工配水	0.345 ~ 0.688 ku		[34]
臭氧氧化	北石桥污水净化中心二级出水	30 ~ 50 ku, 小于 4 ku 的有机物增加		[35]
臭氧氧化	上海某污水处理厂二级出流	大于 10 ku 被降解为小于 1 ku 的有机物	生成亲水性有机酸: 脂肪酸、乙酸、蚁酸等	[36]
超滤膜( UF)	生物处理污水出流		疏水: 67.4%; 过渡亲水: 53.0%; 亲水: 19.7%	[37]
超滤膜( UF)	澳大利亚某污水处理厂	40 ~ 70 ku 去除效果显著		[32]
膜生物反应器	人工配水	> 10 ku		[38]
淹没式厌氧膜生物反应器 SAMBRs	SAMBR 反应器出流	去除 1 ~ 10 ku		[10]
反渗透膜	某再生水厂二级		疏水部分降低,亲水部分升高	[39]
微絮凝 + UF	出水人工配水	大于 1 ku		[31]
SAMBRs + PAC	SAMBR 反应器出流	去除 > 1 ku 及 1 ~ 10 ku		[10]
混凝 + PAC + UF	某水厂二级出水	5 ~ 400 ku		[21][29]

污水二级生化出水中存在的 EfOM 采用絮凝、过滤膜技术等处理方法去除的 EfOM 的粒径范围如图 3 所示.

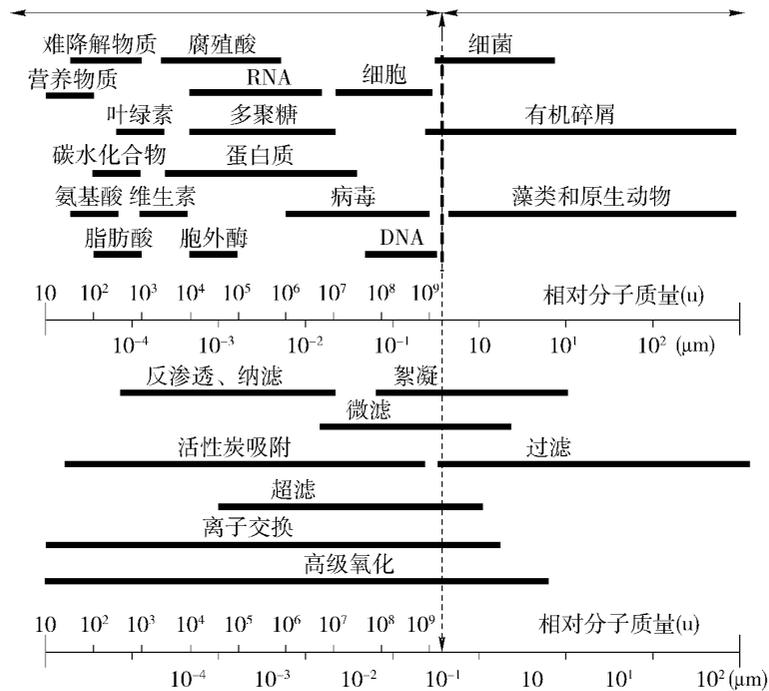


图 3 城市污水二级出水中典型 EfOM 的组成及去除情况<sup>[2]</sup>

Fig. 3 Typical constitutes of EfOM and its removal

## 4 展望

1) 以臭氧为核心的氧化技术, 在提高二级出水的可生化性、降解 EfOM 中的人工合成有机物以及回用水的消毒等方面均具有较大的优势, 若能通过联用技术降低其运行费用, 将具有更为广阔的应用前景;

2) 膜滤技术作为污水再生过程中常用的最终处理方法, 堵塞问题限制了该技术的应用, 如何联合预处理方法, 从最大限度上缓解膜堵塞现象的发生, 降低运行成本, 是亟待解决的热点问题.

### 参考文献:

- [1] DIGNAC M F, GINESTET P, RYBACK D, et al. Fate of wastewater organic pollution during activated carbon sludge treatment: nature of residual organic matter [J]. *Water Research*, 2000, 34(17): 4185-4194.
- [2] SHON H K, VIGNESWARAN S, SNYDER S A. Effluent organic matter (EfOM) in wastewater: constituents, effects, and treatment [J]. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2006, 36(4): 327-374.
- [3] NAMKUNG E, RITTMANN B E. Soluble microbial products (SMP) formation kinetics by biofilms [J]. *Water Research*, 1986, 20(6): 795-806.
- [4] JARUSTHIRAK C, AMY G, CROUÉ J P. Fouling characteristics of wastewater effluent organic matter (EfOM) isolates on NF and UF membranes [J]. *Desalination*, 2002, 145(1-3): 247-255.
- [5] SHON H K, VIGNESWARAN S, BEN A R, et al. Influence of flocculation and adsorption as pretreatment on the fouling of ultrafiltration and nanofiltration membranes: application with biologically treated sewage effluent [J]. *Environment Science & Technology*, 2005, 39(10): 3864-3871.
- [6] AIKEN G, COTSARIS E. Soil and hydrology: their effect on NOM [J]. *JAWWA*, 1995, 87(1): 36-45.
- [7] 郭瑾, 彭永臻. 城市污水处理过程中微量有机物的去除转化研究进展 [J]. *现代化工*, 2007, 27(6): 65-69. GUO Jing, PENG Yong-zhen. Research advances in removal and transformation of trace organic pollutants during wastewater treatment process [J]. *Modern Chemical Industry*, 2007, 27(6): 65-69. (in Chinese)

- [8] SIRIVEDHIN T, GRAY K A. Comparison of the disinfection by product formation potentials between a wastewater effluent and surface waters[J]. *Water Research*, 2005, 39( 6): 1025-1036.
- [9] DUNCAN J B, GIANNI A M, SANDRINE M L, et al. Characterization of soluble residual chemical oxygen demand ( COD) in anaerobic wastewater treatment effluents[J]. *Water Research*, 1999, 33( 11): 2499-2510.
- [10] AQUINO S F, HU A Y, AKRAM A, et al. Characterization of dissolved compounds in submerged anaerobic membrane bioreactors ( SAMBRs) [J]. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 2006, 81( 12): 1894-1904.
- [11] 张立卿, 王磊, 王旭东, 等. 城市污水二级出水有机物分子量分布和亲疏水特性对纳滤膜污染的影响[J]. *环境科学学报*, 2009, 29( 1): 75-80.  
ZHANG Li-qin, WANG Lei, WANG Xu-dong, et al. Effect of molecular weight distribution and hydrophobicity of wastewater effluent organic matter ( EfOM) on nanofiltration membrane fouling[J]. *Acta Scientiae Circum stantiae*, 2009, 29( 1): 75-80. ( in Chinese)
- [12] AQUINO S F, STUCKEY D C. Soluble microbial products formation in anaerobic chemostats in the presence of toxic compounds[J]. *Water Research*, 2004, 38( 2): 255-266.
- [13] 何其虎. 水中有机物分子量分布的研究[J]. *环境化学*, 1991, 10( 6): 68-72.  
HE Qi-hu. Study on size distribution of aquatic organics[J]. *Environmental Chemistry*, 1991, 10( 6): 68-72. ( in Chinese)
- [14] LAABS C N, AMY G L, JEKEL M. Understanding the size and character of fouling-causing substances from effluent organic matter ( EfOM) in low-pressure membrane filtration[J]. *Environment Science & Technology*, 2006, 40( 14): 4495-4499.
- [15] JARUSUTTHIRAK C, AMY G. Role of soluble microbial products ( SMP) in membrane fouling and flux decline [J]. *Environment Science & Technology*, 2006, 40( 3): 969-974.
- [16] ROSENBERGER S, LAABS C, LESJEAN B, et al. Impact of colloidal and soluble organic material on membrane performance in membrane bioreactors for municipal wastewater treatment[J]. *Water Research*, 2006, 40( 4): 710-720.
- [17] CHOW A T, GAO S, DAHLGREN R A. Physical and chemical fractionation of dissolved organic matter and trihalomethane precursors: a review[J]. *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*, 2005, 54( 8): 475-507.
- [18] WIETLIK J Ś, Dabrowska A, Raczyk-Stanislawiak U, et al. Reactivity of natural organic matter fractions with chlorine dioxide and ozone[J]. *Water Research*, 2004, 38( 3): 547-558.
- [19] IMAI A, FUKUSHIMA T, MATSUSHIGE K, et al. Characterization of dissolved organic matter in effluents from wastewater treatment plants [J]. *Water Research*, 2002, 36( 4): 859-870.
- [20] 龚剑丽, 刘勇弟, 孙贤波, 等. 生化出水中各类有机污染物的特性及在混凝处理过程中的行为[J]. *华东理工大学学报: 自然科学版*, 2008, 34( 1): 91-95.  
GONG Jian-li, LIU Yong-di, SUN Xian-bo, et al. Characterization of residual organic pollutants in secondary effluent and their behavior during coagulation process[J]. *Journal of East China University of Science and Technology: Natural Science Edition*, 2008, 34( 1): 91-95. ( in Chinese)
- [21] SHON H K, VIGNESWARAN S, KIM I S, et al. Effect of pretreatment on the fouling of membranes: application in biologically treated sewage effluent[J]. *Journal of Membrane Science*, 2004, 234( 1-2): 111-120.
- [22] BAKER A. Fluorescence excitation-emission matrix characterization of some sewage-impacted rivers [J]. *Environment Science & Technology*, 2001, 35( 5): 948-953.
- [23] SHARPLESS C M, MCYOWN L B. Effects of aluminum-induced aggregation on the fluorescence of humic substances [J]. *Environment Science & Technology*, 1999, 33( 18): 3264-7320.
- [24] HER N, AMY G, MCKNIGHT D, et al. Characterization of DOM as a function of MW by fluorescence EEM and HPLC-SEC using UVA, DOC, and fluorescence detection[J]. *Water Research*, 2003, 37( 17): 4295-4303.
- [25] 李卫华, 盛国平, 王志刚, 等. 废水生物处理反应器出水的三维荧光光谱解析[J]. *中国科学技术大学学报*, 2008, 38( 6): 601-608.  
LI Wei-hua, SHENG Guo-ping, WANG Zhi-gang, et al. Analysis of EEM fluorescence spectra of effluents from bioreactors [J]. *Journal of University of Science and Technology of China*, 2008, 38( 6): 601-608. ( in Chinese)
- [26] ADAMS C, WANG Y, LOFTIN K, et al. Removal of antibiotics from surface and distilled water in conventional water treatment processes [J]. *Environment Engineering*, 2002, 128( 3): 253-260.
- [27] REBHUN M, MEIR S, LAOR Y. Using dissolved humic acid to remove hydrophobic contaminants from water by complexation-flocculation process[J]. *Environment Science & Technology*, 1998, 32( 7): 981-986.
- [28] WESTERHOFF P, YOON Y. Fate of endocrine-disruptor, pharmaceutical, and personal care product chemicals during

- simulated drinking water treatment processes[J]. *Environment Science & Technology*, 2005, 39(17): 6649-6663.
- [29] SHON H K, VIGNESWARAN S, KIN I S, et al. The effect of pretreatment to ultrafiltration of biologically treated sewage effluent: A detailed effluent organic matter (EfOM) characterization[J]. *Water Research*, 2004, 38(7): 1933-1939.
- [30] HABERKAMP J, RUHL A S, ERNST M, et al. Impact of coagulation and adsorption on DOC fractions of secondary effluent and resulting fouling behaviour in ultrafiltration[J]. *Water Research*, 2007, 41(17): 3794-3802.
- [31] SHON H K, VIGNESWARAN S, NGO H H, et al. Is semi-flocculation effective as pretreatment to ultrafiltration in wastewater treatment? [J]. *Water Research*, 2005, 39(1): 147-153.
- [32] FAN L, NGUYEN T, RODDICK F A, et al. Low-pressure membrane filtration of secondary effluent in water reuse: pre-treatment for fouling reduction[J]. *Journal of Membrane Science*, 2008, 320(1-2): 135-142.
- [33] GUR-REZNIK S, KATZ I, DOSORETZ C G. Removal of dissolved organic matter by granular-activated carbon adsorption as a pretreatment to reverse osmosis of membrane bioreactor effluents[J]. *Water Research*, 2008, 42(6-7): 1595-1605.
- [34] ZHANG R, VIGNESWARAN S, NGO H, et al. A submerged membrane hybrid system coupled with magnetic ion exchange (MIEX®) and flocculation in wastewater treatment[J]. *Desalination*, 2007, 216(1-3): 325-333.
- [35] 王旭东. 臭氧氧化对城市二级出水分子量分布及膜阻力构成的影响研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 2004, 5.  
WANG Xu-dong. Study of the influence on ozone oxidation on molecular distribution of secondary effluent and membrane resistance[D]. Xi'an: School of Environmental and Municipal Engineering at Masters Dissertation of Xi'an University of Architecture and Technology, 2004, 5. (in Chinese)
- [36] GONG J L, Liu Y, Sun X. O<sub>3</sub> and UV/O<sub>3</sub> oxidation of organic constituents of biotreated municipal wastewater[J]. *Water Research*, 2008, 42(4-5): 1238-1244.
- [37] SHON H K, VIGNESWARAN S, KIM I S, et al. Fouling of ultrafiltration membrane by effluent organic matter: a detailed characterization using different organic fractions in wastewater[J]. *Journal of Membrane Science*, 2006, 278(1-2): 232-238.
- [38] SHIN H-S, KANG S-T. Characteristics and fates of soluble microbial products in ceramic membrane bioreactor at various sludge retention times[J]. *Water Research*, 2003, 37(1): 121-127.
- [39] HU J Y, ONG S L, SHAN J H, et al. Treatability of organic fractions derived from secondary effluent by reverse osmosis membrane[J]. *Water Research*, 2003, 37(19): 4801-4809.

## Effluent Organic Matter (EfOM) in Biological Treatment Sewage Effluent: The Status of Characterization and Removal

GUO Jin, SHENG Feng, MA Min-tao, QIN Xia, PENG Yong-zhen

(college of environmental and energy engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

**Abstract:** Effluent organic matter (EfOM) refers to the residual refractory organic materials in effluent after the primary and secondary biological treatment of sewage. The presence and characteristics of EfOM in wastewater are of great interest with respect to discharge quality and the efficiency of advanced treatment facilities. This paper summarized the characterization methods of EfOM including the molecular weight distribution, hydrophobic/hydrophilic fractionation, and excitation/emission matrix (EEM). The characteristic transformation of EfOM in the treatment processes has been summarized. At present, efficient and applicable advanced wastewater treatment processes including ozonation and membrane filtration. Nevertheless, there still needs urgent solution to reducing their operation costs.

**Key words:** effluent organic matter; molecular weight distribution; hydrophilic; hydrophobic; advanced wastewater treatment

(责任编辑 张士瑛)