

利用葡聚糖和蛋白质进行超滤膜切割分子量测试对比研究

鄢忠森¹, 瞿芳术¹, 梁恒^{1,2}, 余华荣¹, 李凯¹, 阳康¹, 李圭白^{1*}

(1. 哈尔滨工业大学 城市水资源与水环境国家重点实验室, 哈尔滨 150090;
2. 城市水资源开发利用(北方)国家工程研究中心, 哈尔滨 150090)

摘要: 采用切割分子量不同的葡聚糖和蛋白质标准物质, 测试了几种进口商品平板膜和国产商品中空纤维超滤膜的切割分子量. 结果表明: 采用葡聚糖进行切割分子量测试时, 测得的切割分子量明显大于商品超滤膜厂家提供的切割分子量数据, 可能原因在于葡聚糖呈链状结构, 易穿过膜孔; 而采用蛋白质来评价超滤膜的切割分子量时, 测试的切割分子量结果较为接近商品超滤膜厂家提供的数据. 在对比不同膜对相邻分子量的测试物质截留率的变化趋势后发现, 不同膜的孔径分布情况存在较大差异, 传统上采用的单一膜的切割分子量指标未能全面反映膜的截留效能.

关键词: 超滤膜; 切割分子量; 葡聚糖; 蛋白质

中图分类号: TU991 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-8924(2015)03-0044-07

doi: 10.16159/j.cnki.issn1007-8924.2015.03.007

超滤膜在饮用水处理工程化应用日渐普遍. 据中国水网研究院 2013 年的《中国城市供水领域 UF (MF) 膜应用市场调研报告》^[1], 2007 年到 2012 年间, 超滤膜应用规模年均增长速度高达 54.33%. 国内目前已经有十几家城市水厂采用了超滤膜技术, 但是关于超滤膜法处理工艺的国家级技术规范尚未形成, 使得膜技术的应用缺乏规范化的设计和施工. 目前, 国内仅有一些行业标准^[2-3], 尚不具备约束力. 而城镇供水领域超滤膜技术应用规范的制定必须建立在对超滤膜有系统的评价和认识的基础上.

目前, 对超滤膜的评价的主要指标有纯水透过率、切割分子量、膜面积、孔径分布、Zeta 电位等^[4], 而能直接的反映超滤膜截留效能的指标为切割分子量和孔径分布. 在超滤膜孔径测试上, 主要有液体流速法、泡点压力法、压汞法、电镜法等. 然而, 由于膜

孔长度通常不等效于膜厚度, 膜孔形状也不是圆柱形的, 使得液体流速法存在较大误差; 泡点压力法仅仅用于测试较大孔径, 对于孔径低于 0.1 μm 且分布不均的超滤膜没有实质意义; 压汞法可以测试膜表面上所有的空隙孔, 包括有效的膜孔以及对超滤无意义的无效孔; 电镜法同样难以区分超滤膜的有效膜孔和无效膜孔^[5]. 由于测定超滤膜的孔径存在较大困难, 通常采用膜的切割分子量来衡量膜的截留效能.

根据国际上普遍采用的超滤膜切割分子量的定义^[6]: 膜的截留率大于 90% 的最小标准物分子量. 测试切割分子量的标准物质主要为水溶性高分子基准物质和蛋白质类基准物质两大类. 常见的水溶性高分子标准物质有聚乙二醇 (PEG)、葡聚糖 (DT), 蛋白质类基准物包括牛血清白蛋白 (BSA)、卵清蛋白 (LA)、细胞色素 C 等. 董声华等^[7]对比了蛋白、聚

收稿日期: 2014-08-20; 修改稿收到日期: 2014-10-11

基金项目: 国家“十二五”重大水专项(2012ZX07404-003); 中央高校基本科研业务费专项基金资助(NSRIF. 2014096)

第一作者简介: 鄢忠森(1990-), 男, 福建永泰人, 博士研究生, 主要研究方向为超滤膜技术在饮用水安全保障中的应用.

* 通讯作者, 联系电话: 0451-86282252.

乙二醇、葡聚糖三种标准物表征超滤膜截留性能,发现对同一种膜,具有相同分子量的不同溶质来说,它们的截留率是不同的,膜对蛋白的截留率高于它对聚乙二醇和葡聚糖的截留率.祝振鑫等^[8]提出使用鸡蛋清代替生化试剂作为标准分子量蛋白,以卵清蛋白的截留率而不是截留率—分子量曲线作为判据来确定膜的切割分子量.戴海平等^[9]研究了以葡聚糖为标准物,测定超滤膜的切割分子量,以乙醇为沉淀剂,测定水溶液中葡聚糖溶液浊度的方法测定葡聚糖的浓度.由此可以看出,尽管超滤膜切割分子量的定义较为明确,但是由于测试物质选择的差异,测试结果可能出现显著的不同,这将给超滤工艺设计过程中膜的选型带来很大的困难.

本文测试几种进口商品平板膜和国产商品中空纤维超滤膜的切割分子量,并与厂家提供的数据进行比对.考察了饮用水处理领域应用最为广泛的切割分子量在 10 000 到 100 000 之间的超滤膜,而常见的最大分子量的聚乙二醇分子量仅为 20 000,故本试验中未采用.葡聚糖由于具有广泛的分子量分布范围及多种标准分子量规格,其分子一般显中性,超滤膜对其吸附量较小.因此,葡聚糖经常被用于测定超滤膜截留性能,美国 ASTM 标准将其列为测定超滤膜切割分子量的标准物质^[10].对于蛋白质,其中各种标准分子量蛋白质由于其分子量的分布范围窄、分子形状基本呈圆球形而为人们所普遍采用.本文通过超滤实验,以常用的两种测试物质葡聚糖和蛋白质为过滤物质,分析不同标准物质对超滤膜切割分子量测定结果影响,为城镇供水领域超滤膜技术应用技术规程的制定提供参考.

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

实验过程中采用的超滤膜包括:Millipore 生产的醋酸纤维素平板超滤膜(CA)与 Pall 生产的聚醚砜树脂平板超滤膜(PES),包括 3 个切割分子量,即 10 000、30 000、100 000.中空纤维膜为国内某自主品牌超滤膜公司生产的 PVC 外压膜、内压膜,厂家提供的切割分子量均为 100 000.

测试切割分子量的标准物质采用中国计量科学研究院生产的葡聚糖标准试剂,其重均分子量为 1.26×10^4 、 6.06×10^4 、 1.10×10^5 和 2.89×10^5 ,其标准试剂编号分别为 GBW(E) 050005、

GBW(E)050006、GBW(E) 050007、GBW(E) 050008.蛋白质为 sigma 的细胞色素 C、刀豆球蛋白 A、卵清蛋白和 Roche 的牛血清白蛋白.蛋白质相关参数见表 1.

表 1 蛋白质参数

Table 1 Protein parameters

名称	CAS#	分子量	来源
细胞色素 C	9007-43-6	13 000	Sigma C2037
卵清蛋白	9006-59-1	45 000	Sigma A5253
牛血清蛋白 A	9007-43-6	68 000	Roche
刀豆蛋白 A	11028-71-0	100 000	Sigma C2010

1.2 试验装置

超滤试验根据两种不同膜组件采用两套超滤系统,平板膜超滤系统如图 1 所示,浸没式中空纤维膜超滤系统如图 2 所示.

平板超滤膜系统由超滤杯(Amicon8400, Millipore, 美国)、电子天平(BSA2202, Satoris, 德国)、氮气瓶、减压阀、气体分流装置等组成.超滤实验按恒压力死端过滤的模式进行,超滤膜放置于超滤杯底部,杯中的溶液在恒定氮气压力(0.1MPa)的驱动下,透过超滤膜.

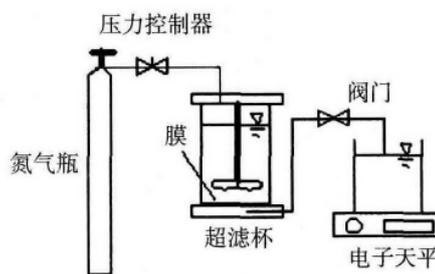


图 1 平板超滤膜系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of flat sheet UF system

中空纤维膜超滤系统由中空纤维膜组件、膜池、高位水箱、浮球阀液位控制装置、清水水箱、蠕动泵、鼓风机、真空表、压力传感器、可编程控制器、计算机等部件组成.在水泵的抽吸作用下,纤维膜管内形成真空,膜池内的溶液在大气压的作用下透过超滤膜进入中空纤维膜管.

1.3 试验方法

1.3.1 绘制标准曲线

董声华^[7]在测量超滤膜切割分子量中使用凝胶色谱法,用于测量葡聚糖.该方法便捷,但需得配置专用的分离柱,并使用示差折光检测器检测,价格高昂,难以推广采用.因此,本试验中采用经典的苯酚-硫酸法测量葡聚糖的浓度.配置浓度为 0.2 g/L 的

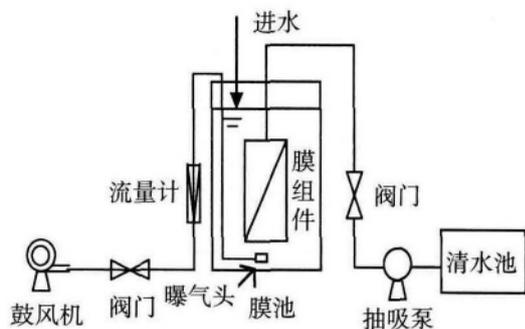


图 2 中空纤维膜超滤系统示意图

Fig. 2 Schematic diagram of hollow fiber UF system

不同分子量的葡聚糖母液,按比例稀释为 1.0 mg/L、2.0 mg/L、4.0 mg/L、6.0 mg/L、8.0 mg/L 和 10.0 mg/L 的葡聚糖溶液. 新配 5% 的苯酚溶液. 依次加入 2 mL 待测液、1 mL 苯酚溶液和 5 mL 浓硫酸,快速混合,静置半小时测量吸光度值. 分别采用此法,绘制不同分子量的葡聚糖标准曲线.

本试验中蛋白质浓度的测定采用 BAC 微量蛋白质试剂盒,其分光光度的测量范围能达到 0.5~20 $\mu\text{g/mL}$,故配置浓度为 20 $\mu\text{g/mL}$. 由于蛋白质存在一个确定的等电点,在等电点附近,蛋白质的溶解度最小. 此时,膜对蛋白质的吸附也最强. 据澳大利亚的 Fane 教授^[11-12]通过试验研究了 3 h 超滤后 Amicon XM100A 号膜吸附的牛血清白蛋白的量与溶液 pH 的关系,发现偏离等电点后吸附量显著下降. 由于本试验中,采用了四种蛋白质,其等电点各异,故采用配置 pH 偏离等电点大于 3 的溶液配制蛋白质溶液,并采用相应缓冲溶液稳定 pH,以减少膜对蛋白质的吸附. 如刀豆球蛋白 A 的等电点 $\text{PI}=7.0\pm 0.1$ ^[13],考虑配置溶液 pH 约为 10. 试验中,对平板膜超滤中保持搅拌桨快速搅拌(200 r/min),中空纤维膜超滤中持续曝气.

1.3.2 截留率测试

根据膜厂家提供的超滤膜产品的切割分子量,选择相近分子量的标准物质进行切割分子量标定. 通过超滤膜系统进行超滤试验,分别取进水溶液、出水溶液,根据所做的标准曲线,计算进、出水标准物质的浓度 C_0 、 C_1 ,从而得出测试膜对于该物质的截留率:

$$R = (1 - \frac{C_1}{C_0}) \times 100\% \quad (1)$$

根据试验得出的截留率,若高于 90%,则采用小一级分子量的物质重复试验,计算截留率,取截留

率大于 90% 的最小分子量为该膜的切割分子量. 若分子量低于 90%,则采用高一级的物质重复试验,得出截留率高于 90% 的标准物质,该物质分子量即为该膜的切割分子量.

2 结果与讨论

2.1 葡聚糖标准曲线

由于本次实验采用由于四种葡聚糖分子大小差异明显,在测定过程中如果采用统一葡萄糖的标准曲线,可能使葡聚糖的测定结果出现偏差,因此试验过程中采用分子量不同的葡聚糖分别制作标准曲线. 图 3 列出了 4 种葡聚糖的标准曲线. 由图 3 可知,4 条葡聚糖标准曲线的相关系数 R^2 值都在 0.998 以上,说明实验中采用的苯酚硫酸法可以很好地测定葡聚糖的浓度. 此外,从图 3 还可以看出,随着葡聚糖的分子量的增加,标准曲线的斜率会有所降低,因此对分子量不同的葡聚糖分别进行标准曲线制作有利于葡聚糖的准确定量.

2.2 蛋白质标准曲线

实验过程中采用改进型 Lorry 法测定蛋白质的浓度,具体操作过程中利用上海生工提供的 BCA 微量蛋白质试剂盒进行测定. 由于改进型 Lorry 法能够适应不同分子量蛋白质的测定,所以实验过程中使用了统一的标准曲线. 图 4 列出了蛋白质的标准曲线. 由图 4 可知,蛋白质标准曲线的线性范围为 0~40 mg/L, R^2 值为 0.998,说明蛋白质浓度曲线的相关性较好,可以用于蛋白质的定量分析.

2.3 利用葡聚糖测试超滤膜的切割分子量

表 2 列出了采用葡聚糖测定进口的平板超滤膜切割分子量的实验数据. 由表 2 可知,CA-10k 膜对于 13 000 的葡聚糖和 60 000 的葡聚糖截留率分别为 58.89% 和 94.46%. 按照切割分子量的定义,CA-10k 膜的切割分子量应远大于 10 000 而小于 60 000,明显大于厂家提供的数据,即 10 000. 对于 PES-10k,分子量为 13 000 和 60 000 的葡聚糖的截留率分别为 69.12% 和 91.31%,说明 PES-10k 平板超滤膜的切割分子量也是略小于 60 000,也大于厂家提供的数值(10 000). 本实验对孔径更大一些的平板超滤膜也进行了测试. 由表 2 还可以看出,采用分子量为 110 000 和 290 000 的葡聚糖测定 CA-100k 膜的切割分子量时,这种葡聚糖的截留率分别为 14.29% 和 19.57%,远远低于 90%. 对于 PES-100k 平板超滤膜,这两种葡聚糖的截留率有

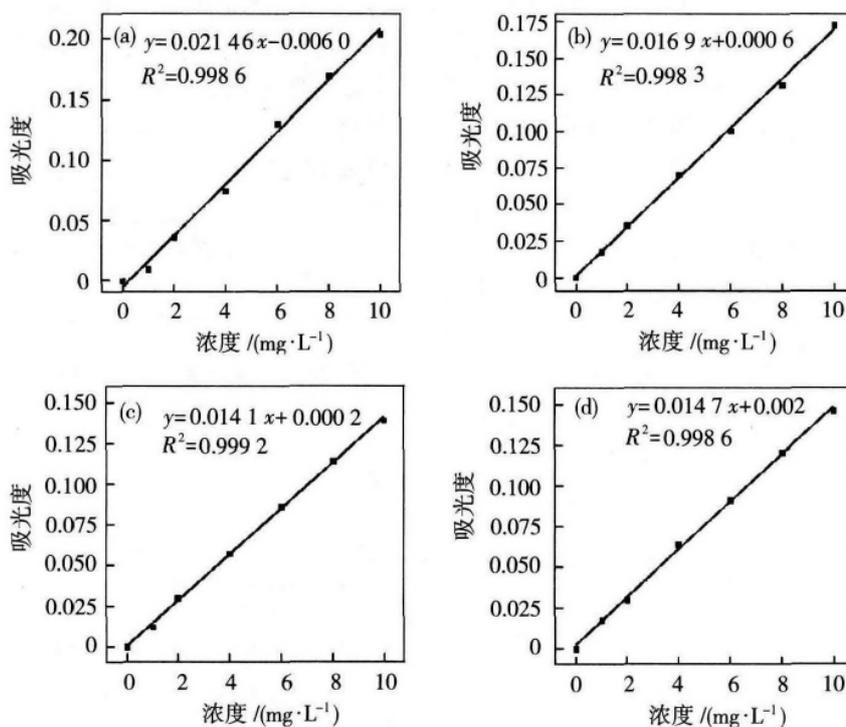


图 3 葡聚糖标准曲线图

Fig. 3 Standard curves of dextran

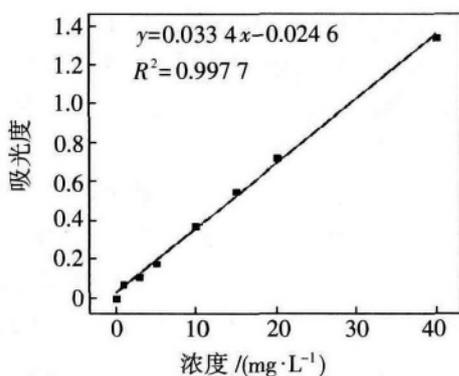


图 4 蛋白质标准曲线图

Fig. 4 Standard curve of protein

表 2 不同平板超滤膜对葡聚糖的截留率 (实验次数 $n=3$)

Table 2 Different flat ultrafiltration membrane rejection on the dextran %

膜名称	葡聚糖重均相对分子量			
	1.26×10^4	6.06×10^4	1.10×10^5	2.89×10^5
CA-10k	58.89	94.46	—	—
PES-10k	69.12	91.31	—	—
CA-100k	—	—	14.29	19.57
PES-100k	—	—	17.11	22.85

注： $n=3$ 表示取三次实验平均值

所提高,但仅为 17.11%和 22.85%,仍然明显低于 90%。这些实验数据表明:采用葡聚糖测得平板超滤膜的切割分子量会明显高于厂家提供的切割分子量数值,而且膜的孔径越大,这种偏离可能越显著。

实验过程中还利用葡聚糖测定了国产自主品牌的 PVC 合金超滤膜的切割分子量,实验数据如表 3 所示。由表 3 可知,利用内压式 PVC 中空纤维超滤膜切割分子量为 60 000、110 000 和 290 000 的葡聚糖时,截留率分别为 32.13%、43.01%和 67.82%,低于切割分子量定义的 90%。采用外压式 PVC 中空纤维超滤膜进行测试时,3 种葡聚糖的截留率分别为 36.47%、74.64%和 89.15%,仍低于 90%。实验数据表明,不论是内压式还是外压式的 PVC 中空纤维超滤膜的切割分子量都大于 300 000,而厂家提供的切割分子量均为 100 000,采用葡聚糖测得的数据明显偏高。

综合平板超滤膜和中空纤维超滤膜对葡聚糖的截留率可以看出,采用葡聚糖作为测试物质测得的切割分子量都大于厂家提供的数值。同时,对比两种切割分子量的平板膜测试结果,可以发现,对于大切割分子量的平板膜其测试的结果偏离更远,小切割分子量的膜较为接近。由于葡聚糖的分子是呈链状

结构,其纵向尺寸可能明显低于横向尺寸,进而导致葡聚糖存在穿过膜孔的可能,特别是分子量达到较大后,随分子量的增长,其横向尺寸的增长越加不明显,故对于大切割分子量的膜使用葡聚糖测试膜的切割分子量不适宜.然而,葡聚糖是大分子糖类物质,亲水且易溶于水,超滤膜难以通过吸附截留葡聚糖,所以一些学者认为,葡聚糖适于超滤膜的切割分子量测试.同时,葡聚糖的分子量分布较广,而其他小分子量标准物质较少,因此,可以考虑在小切割分子量的超滤膜测试上使用葡聚糖作为标准物质.

表 3 不同 PVC 中空纤维膜对葡聚糖的截留率 $\%(n=3)$

Table 3 Different hollow fiber ultrafiltration membrane rejection on the dextran $\%$

膜名称	葡聚糖重均相对分子质量			
	1.26×10^4	6.06×10^4	1.10×10^5	2.89×10^5
PVC-内压膜	—	32.13	43.01	67.82
PVC-外压膜	—	36.47	74.64	89.15

2.4 利用蛋白质测试超滤膜的切割分子量

表 4 列出了采用蛋白质测定进口的平板超滤膜切割分子量的实验数据.由表 4 可知,CA-30k 膜对相近分子量的卵清蛋白(45 000)截留率为 55.51%,对于更大一级分子量的牛血清蛋白(68 000)的截留率达到 91.48%.按照切割分子量的定义,CA-30k 膜的切割分子量应略小于 68 000,高于厂家提供的数据.对于 PES-30k 膜,卵清蛋白与牛血清蛋白的截留率分别为 85.26%和 97.17%.由此可得该膜产品测试的切割分子量结果应小于 68 000.在对更大一级切割分子量(100 000)的膜产品测试中,两种膜产品出现了较大差异.由表 4 可知,CA-100 k 膜对 68 000 的牛血清蛋白的截留率为 11.21%,使用更大分子量的刀豆蛋白的截留率达到了 97.45%.根据切割分子量的定义可知,CA-100k 膜的测试切割分子量应大于 68 000 比较接近 100 000,与其标称分子量基本吻合.在对 PES-100k 膜的测试中,牛血清蛋白的超滤截留率为 43.97%,刀豆蛋白的截留率达到 95.84%.因此,可得 PES-100k 膜的切割分子量为 100 000,与标称切割分子量基本吻合.由于两种标称切割分子量为 100 000,膜对牛血清蛋白的截留率有较大差异,继续探究了 CA-100k 膜对卵清蛋白的截留率为 12.53%,可知,该膜对小分子量的蛋白质保持低截留率.对比分析 CA-100k 膜与 PES

-100k 膜的测试结果可知,不同膜在膜孔径分布上存在较大差异,仅以一个切割分子量指标不能全面反映膜的截留效能.总体上,采用蛋白质测得平板超滤膜的切割分子量与厂家提供的切割分子量数值基本吻合.

表 4 不同平板超滤膜对蛋白质的截留率 $\%(n=3)$

Table 4 Different flat ultrafiltration membrane rejection on the protein

膜名称	蛋白质(分子量)			
	细胞色素 C (13k)	卵清蛋白 (45k)	牛血清白蛋白 (68k)	刀豆球蛋白 A(100k)
CA-30k	—	55.51	91.48	—
PES-30k	—	85.26	97.17	—
CA-100k	—	12.53	11.21	97.45
PES-100k	—	—	43.97	95.84

实验过程中利用蛋白质测定了国产自主品牌的 PVC 合金超滤膜的切割分子量,实验数据如表 5 所示.实验过程中,首先测试了 PVC-内压膜和 PVC-外压膜对于牛血清蛋白(68 000)的截留情况,分别为 95%和 94.03%,均明显大于 90%,展现了很强的截留能力.膜厂家提供的 PVC-内压和 PVC-外压超滤膜的切割分子量均为 100 000,而实测值还不到 68 000,因此还需更低的标准物质进行测试.然后,测试了 PVC-内压膜和 PVC-外压膜对于对分子量较小的卵清蛋白(45 000)和细胞色素 C(13 000)的截留率,PVC-内压膜和 PVC-外压膜对卵清蛋白的截留率分别为 92.33%和 91.78%,依旧维持在 90%以上;对细胞色素 C 的截留率分别为 72.39%和 67.54%,明显低于 90%.根据切割分子量的定义,可以得出标称切割分子量为 100 000 的 PVC 膜的切割分子量应该略小于 45 000.这些实验数据表明,中空纤维膜的测试切割分子量明显低于厂家提供的数据.

表 5 不同中空纤维膜对蛋白质的截留率 $(n=3)$

Table 5 Different hollow fiber ultrafiltration membrane rejection on the protein $\%$

膜名称	蛋白质(分子量)			
	细胞色素 C (13k)	卵清蛋白 (45k)	牛血清白蛋白 (68k)	刀豆球蛋白 A(100k)
PVC-内压膜	72.39	92.33	95	—
PVC-外压膜	67.54	91.78	94.03	—

综合平板超滤膜和中空纤维超滤膜对蛋白质的截留率可以看出,采用蛋白质作为测试物质测得的

切割分子量与厂家提供的数值较为接近. 在图5中, 对比不同膜在相邻分子量的蛋白质截留率的变化趋势发现, 不同的膜对相邻分子量蛋白质的截留率变化各异. 由图5可知, PVC-内压膜、PVC-外压膜和PES-100k变化趋势较缓, 而CA-100k和PES-100k的变化趋势较陡. 就CA-100k膜分析, 该膜在分子量为68 000的蛋白质截留中, 截留率仅为11.21%, 而对100 000的刀豆蛋白截留率达到了97.45%, 推测该膜的孔径集中于大孔径处. 传统上使用膜的单一指标——切割分子量不能全面地反映膜的截留效能, 而采用该膜切割分子量附近的的不同分子量物质的截留率能够更好地表征膜的性质.

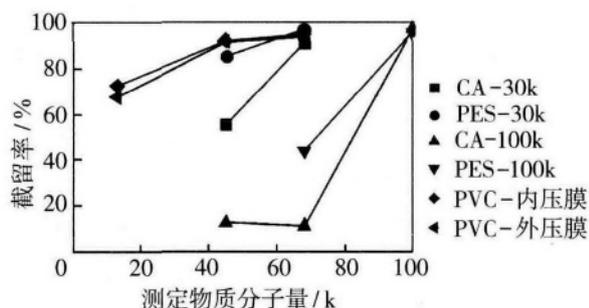


图5 超滤膜对不同蛋白质截留率变化趋势

Fig. 5 Ultrafiltration membranes rejection rate trends of different protein

3 结论与建议

综合两类测试物质对于国内外商品膜的测试结果, 采用葡聚糖作为测试物质测得的切割分子量都大于厂家提供的数值, 而采用蛋白质作为测试物质测得的切割分子量与厂家提供的数值只有部分偏离. 总体而言, 采用蛋白质作为标准物质更为合适, 但由于蛋白质的分布范围较窄, 可以考虑采用葡聚糖作为蛋白质测试范围外的替代物质. 研究不同膜在相邻分子量的蛋白质截留率的变化趋势发现, 相同切割分子量的膜对其分子量低于切割分子量的同一物质的截留率有较大差异. 由于目前超滤膜法处理工艺的国家级技术规范的缺乏, 膜的切割分子量测试未有统一的测试物质, 导致厂家在标称切割分子量上无约束, 不利于膜技术发展. 只有通过规范化膜的切割分子量测试, 才能促进膜组件的生产和应用. 通过本试验, 提出以下几点建议.

1) 不同膜的膜孔大小分布不同, 对于相邻分子量的物质截留率有较大差异, 评价膜的截留效能建

议采用多种不同物质的截留率替代单一的切割分子量指标.

2) 葡聚糖在小分子量处的分布较广且不易为膜所吸附, 可作为小孔径超滤膜的截留测试物质.

3) 蛋白质在空间构型上接近球形, 能够较好地反映超滤膜的膜孔大小, 对于膜孔径较大的超滤膜建议采用蛋白质评价其截留效能.

参考文献:

- [1] 傅涛, 肖琼. 中国城市供水领域 UF(MF)膜应用市场调研报告[R]. 中国: 中国水网研究院, 2013.
- [2] HY/T 050—1999 中空纤维超滤膜测试方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [3] HY/T 062—2002 中空纤维超滤膜组件[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [4] 张晓慧, 罗嫣, 隋军, 庞永超. 超滤膜性能指标检测技术现状[J]. 价值工程, 2010, 22: 111—112.
- [5] 吕晓龙. 超滤膜孔径及其分布的测定方法[J]. 水处理技术, 1995, 21(3): 137—141.
- [6] Mulder M. Basic principles of membrane technology [M]//Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1991: 131—133.
- [7] 董声华, 田燕, 杨兰娜, 等. 凝胶色谱法测量切割分子量分布表征超滤膜[J]. 水处理技术, 1990, 16(4): 323—327.
- [8] 祝振鑫, 吴立明, 胡晓裙. 用鸡蛋清中的卵清蛋白测定常用超滤膜的切割分子量[J]. 膜科学与技术, 1999, 19(5): 44—50.
- [9] 戴海平, 张惠新, 梁福海, 等. 用葡聚糖测定超滤膜切割分子量的简易方法[J]. 膜科学与技术, 2005, 25(4): 63—65.
- [10] ASTM designation E1343—90 (Reapproved 2001) Standard test method for molecular weight cutoff evaluation of flat sheet ultrafiltration membranes[S].
- [11] Fane A G, Fell C J D, Suki A. The effect of pH and ionic environment on the ultrafiltration of protein solutions with retentive membranes[J]. J Membr Sci, 1983, 16: 195—210.
- [12] Fane A G, Fell C J D, Waters A G. Ultrafiltration of protein solutions through partially permeable membranes — the effect of adsorption and solution environment[J]. J Membr Sci, 1983, 16: 211—224.
- [13] 曾仲奎, 邓俊林. Con A 的园二色性谱与生物活性的研究[J]. 四川大学学报(自然科学版), 1995, 32(6): 720—724.

Study on the molecular weight cutoff of ultrafiltration membrane: comparison of two testing substances, dextran and protein

YAN Zhongsen¹, QU Fangshu¹, LIANG Heng^{1, 2}, YU Huarong¹,
LI Kai¹, YANG Kang¹, LI Guibai¹

- (1. State Key Laboratory of Urban Water Resource and Environment (SKLUWRE), Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China;
- 2. National Engineering Research Center of Urban Water Resources, Harbin 150090, China)

Abstract: Dextran and proteins as standard substances were used to investigate flat membranes and hollow fiber membranes retention performance for different solute. The results showed that the measured MWCO of the ultrafiltration membrane was markedly higher than that ones provided by the membrane manufacturers when dextran was used as the standard substance. The estimated reason was that dextran might have a chain structure which would help it penetrate the membrane pores. While the measured MWCO was nearly approaching to that ones provided by the manufacturers when protein was used. After comparing the trends of the retention which was obtained for different membrane with adjacent molecular weight substances, it was found that the pore size distribution of various membranes had apparent differences. The single MWCO adopted traditionally failed to response retention performance of ultrafiltration membranes comprehensively.

Key words: ultrafiltration membrane; molecular weight cutoff; dextran; protein

广告目次

彩色广告		科氏化科(上海)贸易有限公司	(前插 12)
上海科朗膜科技有限公司	(封面)	朗盛化学中国有限公司	(前插 13)
贵阳时代沃顿科技有限公司	(封二)	韩国 TCK 公司	(前插 14)
哈尔滨乐普实业发展中心	(封三)	山东招金膜天有限责任公司	(前插 15)
江苏久吾高科技股份有限公司	(封四)	蓝星环境工程有限公司	(前插 16)
北京碧水源膜科技有限公司	(前插 1)	蓝星环境工程有限公司	(前插 17)
江苏凯米膜科技股份有限公司	(前插 2)	萍乡博鑫精细陶瓷有限公司	(前插 18)
河南大河水处理有限公司	(前插 3)	海南立昇净水科技实业有限公司	(前插 19)
绵阳市聚合新材料有限公司	(前插 4)	第十八届中国国际膜与水处理技术 及装备展览会	(前插 20)
合肥世杰膜工程有限公司	(前插 5)	《膜科学与技术》杂志	(前插 21)
合肥科佳高分子材料科技有限公司	(前插 6)	上海斯纳普膜分离科技有限公司	(前插 22)
大连科纳科学技术开发有限责任公司	(前插 7)		
宁波斯宾拿建嵘精密机械有限公司	(前插 8)	黑白广告	
浙江东大环境工程有限公司	(前插 9)	上海信世展览服务有限公司	(第 134 页)
天津森诺过滤技术有限公司	(前插 10)	北京佰昂化工新材料有限公司	(第 75 页)
星达(泰州)膜科技有限公司	(前插 11)		