

酚类分子结构和纳滤膜特性对截留率的影响规律*

李鑫玮 祝万鹏 朱安娜

(清华大学环境科学与工程系, 北京, 100084)

摘 要 选择 21 种酚类化合物作为模型污染物, 分别测定了三种不同纳滤膜对酚类化合物的截留率. 结果表明, 酚类化合物截留率受到取代基位置、种类和膜特性的影响. 对 NF270 膜和 NF 膜而言, 截留率从大到小的次序为邻位 > 间位 > 对位, 而 NF90 膜的截留率为邻位 > 对位; 供电子取代基有增大截留率的趋势, 吸电子取代基有减小截留率的趋势; 孔径小、荷电量大的纳滤膜截留率更大. 通过基于遗传算法的偏最小二乘回归法 (GA-PLS), 建立了纳滤膜对酚类化合物截留率的定量构效关系模型, 通过分析回归方程, 可以看出酚类化合物的 pK_a 值对截留率影响最大, 影响较大的还有偶极矩等参数.

关键词 纳滤膜, 酚类物质, 定量构效关系.

纳滤 (NF) 是一种相对较新的压力推动的膜分离过程, 它通过膜的渗透作用, 对两组分或多组分的液体进行分离、分级、提纯和富集. 由于纳滤膜特殊的孔径范围和制备时的特殊处理 (如复合化, 荷电化), 使得纳滤膜具有较特殊的分离性能, 其在降低废水 COD、水源水的色度、硬度和去除饮用水中的有机物 (TOC)、三卤代烷 (THMs) 前驱物等方面的应用近年来受到广泛重视^[1-4]. 研究表明, 纳滤对水中酚类化合物也有较好的去除效果^[5-7].

本文测定了三种不同纳滤膜对 21 种酚类化合物的截留率, 并利用遗传算法结合偏最小二乘回归法对试验数据进行分析, 建立了酚类化合物的截留率与其定量结构关系的模型. 根据建立的定量构效关系模型, 通过分析选入模型的分子结构参数的性质, 可以初步分析纳滤膜对酚类物质的截留机理.

1 试验部分

1.1 膜材料与酚类化合物

分别选用美国陶氏化学公司的 NF90 纳滤膜、NF270 纳滤膜和 NF-纳滤膜, 其有效膜面积均为 $3.35 \times 10^{-3} \text{ m}^2$. 三种纳滤膜的性能参数如表 1 所示.

表 1 NF90, NF270 和 NF-纳滤膜的性能参数
Table 1 The properties of NF90, NF270 and NF-nanofiltration membranes

| 纳滤膜型号 | 膜的材质 | 截留分子量 ^{a)} | 孔径 ^{a)} (nm) | 孔隙率/膜厚 ^{a)} | 固定电荷密度 ^{b)} ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$) |
|-------|----------|---------------------|--------------------------|----------------------|--|
| NF90 | 聚酰胺复合膜 | 约为 90 | 0.29 | 2.18×10^5 | 1596 |
| NF270 | 聚酰胺复合膜 | 约为 150 | 0.36 | 0.512×10^5 | 489 |
| NF | 聚哌嗪酰胺复合膜 | 约为 150 | 0.37 | 0.471×10^5 | 398 |

a) 通过中性有机物试验结果计算求得; b) 测定条件为 $10 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ 的氯化钠溶液.

纳滤膜组件为日本日东电工公司的 C70-F 型圆形平板膜组件. 高压泵将温度恒定的水样输送到纳滤膜组件, 透过液和浓缩液均返回料液桶以维持水样浓度的恒定, 试验压力和流量通过阀门调节.

酚类化合物分别为: 苯酚、邻甲酚、间甲酚、对甲酚、邻苯二酚、间苯二酚、对苯二酚、邻氨基酚、对氨基酚、邻甲氧基酚、对甲氧基酚、邻硝基酚、对硝基酚、邻羟基苯甲酸、间羟基苯甲酸、对羟基苯甲酸、1-萘酚、2-萘酚、对氯酚、对叔丁基酚和 2,3-二甲基酚.

2004 年 11 月 9 日收稿.

* 国家自然科学基金资助项目 (50238020).

1.2 纳滤试验

水样均为去离子水配水（配水中只含一种酚类化合物），酚类化合物的水样浓度均为 $10\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ，水样体积为 5L。水样的温度恒定在 25°C ，进水流量 $6\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ 。分别在 0.5MPa, 1.0MPa, 1.5MPa 的操作压力下对苯酚溶液进行纳滤试验，比较三种压力下的试验结果，从而确定其它酚类物质纳滤试验的操作压力及取样周期。

试验前先以去离子水为水样，测定膜的纯水通量 (J_w)。应保证每次试验的纯水通量相近，以减少膜污染对截留率 (R) 的影响。若纯水通量与最初值相差 10% 以上，则需更换新膜。每次试验结束后用 0.1% 氢氧化钠溶液和去离子水对膜和管路进行交替清洗，以减轻前一次试验所用酚类物质对膜和管路的污染。

截留率 R 由下式计算：

$$R (\%) = (1 - C_p/C_r) \times 100$$

式中， C_p 和 C_r 分别为透过液和浓缩液中酚的浓度 ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)。

1.3 分析方法

酚类化合物透过液和浓缩液的浓度均由紫外分光光度计 (DR/4000U, HACH, 美国) 在该化合物的最大吸收波长处测得。

本文选用偏最小二乘法 (PLS) 作为建模方法，并结合遗传算法 (GA) 进行变量选择。建模过程通过在 MATLAB6.5 软件平台上编程实现。

2 结果与讨论

2.1 操作条件的确定

由预试验得知，3h 左右渗透通量及截留率可以达到稳定。故从系统开始运行的第 3 小时起，每隔 1h 取样一次，试验共进行 6h。试验结果如图 1 所示。

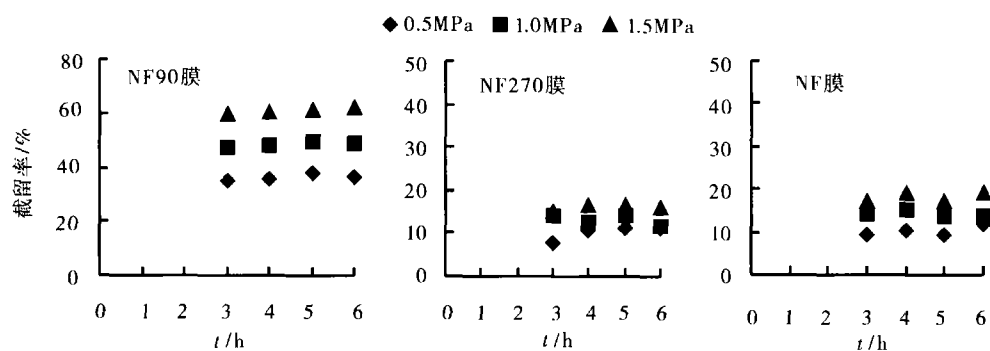


图 1 苯酚的截留率与操作压力的关系

Fig. 1 The relationship between the rejection of phenol and operating pressure

从图 1 可以看出，三种纳滤膜对苯酚的截留率均随操作压力的增大而增大。每次试验结束后，在不加压的条件下用去离子水清洗膜及管路 30min，然后换水再清洗 10min，清洗流量均为 $5\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ 。然后再测量纯水通量，恢复率结果如下：0.5MPa 时，NF90 膜为 99.7%，NF270 膜为 100%，NF 膜为 100%；1.0MPa 时，NF90 膜为 95.3%，NF270 膜为 100%，NF 膜为 100%；1.5MPa 时，NF90 膜为 91.2%，NF270 膜为 94.1%，NF 膜为 95.1%。可见操作压力愈大，通量恢复率愈低，膜污染愈严重。

综合考虑截留率和通量的恢复率，以后的试验均采用 1.0MPa 的操作压力。由于在 3h 后截留率趋于稳定，故采用第 3, 4, 5, 6 小时截留率的平均值作为该物质的截留率。

2.2 取代基位置和种类的影响

三种纳滤膜对几组同分异构体的截留率列于表 2 中，从表 2 可以看出，三种纳滤膜对几组同分异

构体的截留率均受到取代基位置的影响. 对于 NF270 膜和 NF 膜而言, 截留率从大到小的次序为邻位 > 间位 > 对位. 而对于 NF90 膜来说, 几组同分异构体的截留率为邻位 > 对位, 间位取代的酚类则不显著. 如间甲酚的截留率略大于邻甲酚, 间苯二酚的截留率小于对苯二酚, 而间羟基苯甲酸与对羟基苯甲酸的截留率相差不多. 另外, 其它酚类化合物的截留率也证明了这一点 (表 2).

这种规律可以用空间位阻的影响来解释. 分子的空间位阻愈大, 愈不容易通过膜孔, 故截留率愈高. 所以三种膜截留率的共同规律均为邻位 > 对位. 而 NF90 膜对间位取代的酚类其截留率规律不显著的现象可以通过纳滤膜种类的影响来解释.

表 2 几组同分异构体的截留率试验值 (%)

Table 2 Experimental data for the isomeric compounds (%)

| 纳滤膜 | 取代基位置 | 甲基酚 | 苯二酚 | 氨基酚 | 甲氧基酚 | 硝基酚 | 羟基苯甲酸 |
|---------|-------|----------|-------|------|------|------|-------|
| NF90 膜 | 邻 | 70.3 | 91.0 | 88.6 | 75.0 | 52.2 | 97.9 |
| | 间 | 71.5 | 66.8 | — | — | — | 96.9 |
| | 对 | 59.7 | 76.9 | 86.6 | 55.2 | 51.9 | 96.8 |
| NF270 膜 | 邻 | 27.1 | 54.6 | 42.8 | 29.3 | 14.9 | 92.2 |
| | 间 | 26.7 | 15.5 | — | — | — | 89.6 |
| | 对 | 19.0 | 14.4 | 39.7 | 18.5 | 13.8 | 88.7 |
| NF 膜 | 邻 | 27.4 | 54.6 | 43.3 | 28.6 | 17.1 | 92.3 |
| | 间 | 22.9 | 17.2 | — | — | — | 90.1 |
| | 对 | 21.6 | 13.2 | 39.8 | 16.7 | 11.7 | 87.8 |
| 纳滤膜 | 苯酚 | 2,3-二甲基酚 | 对叔丁基酚 | 对氯酚 | 1-萘酚 | 2-萘酚 | |
| NF90 膜 | 48.5 | 87.4 | 98.4 | 51.9 | 72.4 | 75.4 | |
| NF270 膜 | 13.0 | 38.4 | 76.1 | 13.1 | 17.9 | 15.7 | |
| NF 膜 | 14.2 | 36.2 | 75.9 | 12.3 | 15.7 | 14.8 | |

由表 2 可以看到, 纳滤膜对酚类化合物的截留率并不是简单地随着分子量的增大而增大. 甲基酚、氨基酚、苯二酚、甲氧基酚的截留率均大于硝基酚和对氯酚的截留率. 其中, $-\text{CH}_3$, $-\text{NH}_2$, $-\text{OH}$, $-\text{OCH}_3$ 均为供电子基团, 这几种取代基均使苯环上的电子云密度增加. 而 $-\text{NO}_2$ 为强吸电子基团, $-\text{NO}_2$ 同苯环相连后, 对苯环呈现出强的吸电子诱导效应和吸电子共轭效应, 使苯环上的电子云密度大为降低. 同样, $-\text{Cl}$ 与苯环直接相连时, 由于氯原子强的吸电子诱导效应, 也使苯环上电子云密度降低. 对于表面带有负电荷的纳滤膜来说, 静电排斥作用是其分离有机物的重要机理之一^[8]. 苯环上电子云密度的增加使得纳滤膜对酚类物质的静电排斥作用更大, 从而增大了截留率. 虽然 $-\text{COOH}$ 也是吸电子基团, 但由于羟基苯甲酸的酸性比其它酚类物质的酸性强, 羧酸根负离子较稳定, 与膜表面负电荷之间的静电排斥作用很强, 故羟基苯甲酸的截留率也很高.

2.3 纳滤膜种类的影响

由表 1 可知, NF90 膜的孔径最小, NF270 膜和 NF 膜的孔径基本相同, 在处理同样浓度的氯化钠溶液时, NF90 膜的荷电量最高, 其次为 NF270 膜, NF 膜的荷电量最低. 通过 CHEM3D8.0 软件计算, 试验中选用的酚类化合物的分子半径均为 0.3 nm, 和 NF90 膜的孔径接近, 小于 NF270 膜和 NF 膜的孔径.

对于 NF270 膜和 NF 膜而言, 其孔径比试验所用的酚类化合物分子半径大, 且两种膜较低的荷电量使静电排斥作用较弱, 故分子较易进入膜孔, 分子的空间位阻效应对截留率的影响更为明显, 截留率表现出邻位 > 间位 > 对位的规律; 而 NF90 膜的孔径与试验所用酚类化合物的分子半径基本相等, 且较大的荷电量使静电排斥作用较强, 故分子不易进入膜孔, 同分异构体的截留率均较高, 与其他两种膜相比, 分子的空间位阻效应对截留率的影响较小, 因此, 导致间位取代的酚类化合物截留率规律不显著. 从试验结果来看, NF90 膜对每种酚类化合物的截留率均明显高于 NF270 膜和 NF 膜, 这充分说明, 孔径小、荷电量高的纳滤膜对酚类物质截留率更大.

从纳滤膜所用材质上看, NF270 膜为聚酰胺复合膜, NF 膜为聚哌嗪酰胺复合膜, 虽然二者材质

不同,但试验结果相差并不大,说明这两种材质对酚类物质截留率的影响不大,主要和纳滤膜的孔径以及荷电量有关。

2.4 定量构效关系

以 21 种酚类化合物的截留率为样本,通过 ChemOffice2004 软件计算和查阅资料得到了包括辛醇/水分配系数、分子折射系数、酸解离常数、偶极矩、极化率、氧原子所带最大净电荷、分子量、分子长度以及分子连接性指数等在内的 19 种分子结构参数,通过遗传算法结合偏最小二乘法 (GA-PLS) 建模,分别得到三种纳滤膜对水中酚类化合物的截留率与分子结构参数之间的关系方程。回归模型如表 3 所示,其中各分子结构参数均已经过标准化处理,因此,回归系数的绝对值愈大,基本可以反映所对应的分子结构参数对酚类有机物截留率的影响愈大。从相关系数上看,通过 GA-PLS 法建立的定量构效关系模型是比较令人满意的。

表 3 GA-PLS 模型

Table 3 The models of GA-PLS

| 纳滤膜 | 回归模型 | 相关系数 |
|---------|--|--------|
| NF90 膜 | $R = 74.8238 - 1.7206(\lg P) - 7.4818(\mu) - 9.4507(pK_a) + 9.1923({}^4\chi_{pc}^v)$ | 0.7599 |
| NF270 膜 | $R = 36.2381 - 4.9764(\mu) - 24.4537(pK_a) - 3.2251({}^5\chi_p^v) + 11.8428({}^3\chi_c^v)$ | 0.8892 |
| NF-膜 | $R = 35.8762 - 4.7245(\mu) - 24.6242(pK_a) - 3.7931({}^5\chi_p^v) + 11.6956({}^3\chi_c^v)$ | 0.8904 |

对 NF90 膜,有四个参数被选入模型,分别为辛醇/水分配系数 $\lg P$ 、偶极矩 μ 、酸解离常数 pK_a 和四阶路径/簇分子连接性指数 ${}^4\chi_{pc}^v$ 。对 NF270 膜和 NF 膜,有同样的四个参数被选入模型,分别为偶极矩 μ 、酸解离常数 pK_a 、五阶路径分子连接性指数 ${}^5\chi_p^v$ 和三阶簇分子连接性指数 ${}^3\chi_c^v$ 。选入模型的各种酚类化合物的分子结构参数见表 4。

表 4 选入模型的分子结构参数

Table 4 The molecular structure parameters selected in models

| 序号 | 化合物 | $\lg P$ | μ | pK_a | ${}^4\chi_{pc}^v$ | ${}^3\chi_c^v$ | ${}^5\chi_p^v$ |
|----|----------|---------|-------|--------|-------------------|----------------|----------------|
| 1 | 苯酚 | 1.475 | 1.142 | 9.99 | 0.0861 | 0.0745 | 0.2421 |
| 2 | 邻甲酚 | 1.924 | 1.398 | 10.26 | 0.3703 | 0.2089 | 0.3167 |
| 3 | 间甲酚 | 1.974 | 1.410 | 10 | 0.2599 | 0.2412 | 0.3059 |
| 4 | 对甲酚 | 1.974 | 1.227 | 10.26 | 0.2785 | 0.2412 | 0.3805 |
| 5 | 邻氨基酚 | 0.144 | 2.261 | 9.28 | 0.2453 | 0.1479 | 0.2729 |
| 6 | 对氨基酚 | 0.248 | 1.739 | 8.5 | 0.1972 | 0.1708 | 0.3083 |
| 7 | 邻苯二酚 | 0.878 | 1.939 | 9.356 | 0.2068 | 0.1291 | 0.2594 |
| 8 | 间苯二酚 | 0.808 | 1.778 | 9.44 | 0.1606 | 0.1491 | 0.2527 |
| 9 | 对苯二酚 | 0.808 | 2.219 | 9.91 | 0.1721 | 0.1491 | 0.2861 |
| 10 | 2,3-二甲基酚 | 2.373 | 1.660 | 10.5 | 0.7592 | 0.3339 | 0.3705 |
| 11 | 邻甲氧基酚 | 1.324 | 1.626 | 9.99 | 0.2542 | 0.1235 | 0.3287 |
| 12 | 对甲氧基酚 | 1.574 | 1.968 | 10.2 | 0.2327 | 0.1426 | 0.3475 |
| 13 | 对氯酚 | 2.485 | 1.394 | 9.43 | 0.3040 | 0.2632 | 0.4030 |
| 14 | 邻羟基苯甲酸 | 2.187 | 2.088 | 2.980 | 0.3333 | 0.1824 | 0.3417 |
| 15 | 间羟基苯甲酸 | 1.557 | 1.764 | 4.076 | 0.2941 | 0.2035 | 0.3622 |
| 16 | 对羟基苯甲酸 | 1.557 | 1.956 | 4.582 | 0.3063 | 0.2035 | 0.3664 |
| 17 | 邻硝基酚 | 1.854 | 5.971 | 7.222 | 0.2800 | 0.1575 | 0.3152 |
| 18 | 对硝基酚 | 1.854 | 5.566 | 7.15 | 0.2595 | 0.1766 | 0.3350 |
| 19 | 1-萘酚 | 2.649 | 0.903 | 9.3 | 0.4918 | 0.2201 | 0.7819 |
| 20 | 2-萘酚 | 2.649 | 0.872 | 9.57 | 0.4588 | 0.2412 | 0.8006 |
| 21 | 对叔丁基苯酚 | 3.301 | 1.226 | 10.23 | 0.7619 | 1.4078 | 0.4692 |

三个模型中对酚类化合物截留率影响最大的参数均为 pK_a 。而且对于三种膜都有相同的规律, 即 pK_a 值愈小, 愈有利于截留率增大。相同温度下 pK_a 值愈小, 表明物质的酸性愈强, 即在水溶液中负离子的浓度愈大。由于纳滤膜表面荷负电, 静电排斥作用使负离子较难通过膜, 故截留率相应增大。从表 4 可以看出, 羟基苯甲酸类化合物的截留率均很高, 较小的 pK_a 值是导致其高截留率的重要原因。

三个模型中均选入了偶极矩 μ , 且偶极矩愈小, 愈有利于截留率增大。偶极矩是极性分子电性质的重要参数, 偶极矩愈大, 分子的极性愈强。偶极矩对截留率的影响可以归结为静电吸引作用^[9]: 由于静电吸引, 带有与膜表面电荷相反电荷的偶极会靠近膜。这种移动方向不是静态的, 但是从统计学的趋势上看, 对于快速移动的分子, 这种移动方向是优先的。因此偶极向膜孔移动并更容易地进入膜的结构中, 一旦分子进入了非死端孔, 就会渗透过膜。因此, 偶极矩愈大, 极性愈强, 截留率就越容易减小。在 21 种酚类物质中, 三种膜对硝基酚的截留率均很小, 而硝基酚的偶极矩与其它分子相比很大, 其很强的极性对截留率的减小有重要影响。

对截留率影响较大的参数还有分子连接性指数。对 NF90 膜, 选入模型的是 ${}^4\chi_{pc}^v$ 指数, 且该指数的增大对截留率的提高有促进作用。该指数包含了苯环取代基的数目、取代类型、取代基长度、取代杂原子的种类等方面的信息。一般来说, 取代基愈靠近, ${}^4\chi_{pc}^v$ 指数就愈大^[10]。对 NF270 膜和 NF 膜, ${}^3\chi_c^v$ 指数和 ${}^5\chi_p^v$ 指数均被选入模型, 且 ${}^3\chi_c^v$ 对截留率的影响大于 ${}^5\chi_p^v$ 的影响, ${}^3\chi_c^v$ 指数与分子中分支数目有关。在 21 种酚类物质中, 2,3-二甲基酚分子的取代基数目最多, 对叔丁基酚分子的分支数目最多, 因此两种分子的 ${}^4\chi_{pc}^v$ 和 ${}^3\chi_c^v$ 指数均较大, 三种纳滤膜对这两种酚类物质的截留率都较高。

从选入模型的参数可以看出, 在纳滤膜分离酚类有机物的过程中, 影响截留率的因素主要包括膜表面和有机物之间的电性作用以及有机物的分子结构。

3 结论

(1) 三种纳滤膜对酚类化合物的截留率均受取代基位置的影响。对 NF270 膜和 NF 膜而言, 截留率从大到小的次序为邻位 > 间位 > 对位; 对 NF90 膜而言, 截留率为邻位 > 对位。

(2) 供电子取代基使苯环上电子云密度增加, 有增大酚类化合物截留率的趋势; 吸电子取代基使苯环上电子云密度减小, 有减小酚类化合物截留率的趋势。

(3) 孔径小、荷电量大的纳滤膜对酚类化合物的截留率更大。

(4) 通过基于遗传算法的偏最小二乘回归法 (GA-PLS) 对酚类化合物在纳滤膜上的截留率进行定量构效关系的研究。可以看出 pK_a 值对酚类化合物的截留率影响最大。对截留率影响较大的还有偶极矩、 ${}^4\chi_{pc}^v$ 指数以及 ${}^3\chi_c^v$ 指数等。

参 考 文 献

- [1] 张伟, 万慧民, 田福聚等, NP 型复合纳滤膜对豆腐废水处理的应用. 环境化学, 1998, 17 (4): 399—403
- [2] Alborzfar M, Jonsson G, Gron C, Removal of Natural Organic Matter from Two Types of Humic Ground Waters by Nanofiltration. *Water Research*, 1998, 32 (10): 2983—2994
- [3] Visvanathan C, Bowo Djoko Marsono, Bsiwadeep Basu, Removal of THMP by Nanofiltration; Effects of Interference Parameters. *Water Research*, 1998, 32 (12): 3527—3538
- [4] Orecki A, Tormaszewska M, Karakulski K et al., Surface Water Treatment by the Nanofiltration Method. *Desalination*, 2004, 162: 47—54
- [5] Ozaki H, Li H F, Rejection of Organic Compounds by Ultra - low Pressure Reverse Osmosis Membrane. *Water Research*, 2002, 36: 123—130
- [6] Schutte F C, The Rejection of Specific Organic Compounds by Reverse Osmosis Membranes. *Desalination*, 2003, 158: 285—294
- [7] Agenson K O, Oh J, Uruse T, Retention of a Wide Variety of Organic Pollutants by Different Nanofiltration/Reverse Osmosis Membranes: Controlling Parameters of Process. *Journal of Membrane Science*, 2003, 225: 91—103
- [8] Amy G, Cho J, Interactions between Natural Organic Matter (NOM) and Membranes; Rejection and Fouling. *Water Science and Technology*, 1999, 40 (9): 131—139
- [9] Van der Bruggen B, Schaep J, Wilms D et al., Influence of Molecular Size, Polarity and Charge on the Retention of Organic Molecules by Nanofiltration. *Journal of Membrane Science*, 1999, 156: 29—41
- [10] 王连生, 支正良, 分子连接性与分子结构-活性. 北京: 中国环境科学出版社, 1992, 141—159

EFFECTS OF MOLECULAR STRUCTURES OF PHENOLS AND PROPERTIES OF NANOFILTRATION MEMBRANES ON REJECTION

LI Xin-wei ZHU Wan-peng ZHU An-na

(Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing, 100084)

ABSTRACT

The rejections of 21 phenols by three nanofiltration membranes were tested by experiments, and the results showed that the rejections were affected by the positions and kinds of substituents and properties of nanofiltration membranes; the order for NF270 and NF membranes was ortho- > meta- > para-, and for NF90 membrane it was ortho- > para-; electron-donating substituents had the trend that increased the rejection, while electron-withdrawing substituents had the trend that decreased the rejection; the membrane which had smaller pore radius and more charges had a higher rejection. Quantitative structure-property relationships were developed by PLS combined with genetic algorithm. Based on the regression equations, pK_a was the premier factor impacting on rejection, and other factors such as dipole moment were also important.

Keywords: nanofiltration membranes, phenols, quantitative structure-property relationships.

《环境化学》 征稿简则

《环境化学》(双月刊)是中国科学院生态环境研究中心主办的学术性刊物,国内核心期刊。自1982年创刊以来,为推动我国环境化学学科的发展,促进国际学术交流,发挥了重要作用。迄今为止,《环境化学》是我国环境化学学科的惟一科技期刊。

《环境化学》主要刊登我国环境化学领域具有创新性的研究和技术成果以及国外环境化学研究趋势。范围涉及大气、水体、土壤、生态、工程等各个层面,包括大气、水和土壤环境化学、环境分析化学、环境与健康、污染生态学、污染控制和绿色化学等方面。

来稿要求及注意事项:

1. 论文的成果要有创新,数据可靠,文字精炼(一般不超过8000字)。A4纸打印,一式两份。
2. 稿件要附有中英文摘要,图表要有中英文题目,表格排三线表。
3. 来稿请使用法定计量单位,文中计量单位用符号表示,如h(小时); $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ (毫克/升)等,具体格式可参考本刊。
4. 文献采用顺序编码制,未公开发表的资料请勿引用。
期刊文献:作者(列出前三人,后加“等”或“et al.”中外文都要姓前名后),论文名(外文文献题目中除介词、副词等首字母都大写)。期刊名(外文要斜体),年,卷(期):页码(起一止)。
书籍文献:作者,书名。出版地:出版单位,年,页码(起一止)。
专利文献:专利人,题名。国家,专利号。时间
文集文献:作者,论文名。见(in):编者,文集名。出版地:出版单位,年,页码(起一止)。
5. 投稿文责自负,切勿一稿两投。编辑部可对投稿做文字和编辑技术上的修改和删节。
6. 作者在投稿到本刊三个月后,如未收到本刊答复,可将稿件改投它刊。投稿无论是否发表恕不退原稿,请作者自留底稿。
7. 论文发表前1-2个月寄送作者校样并收取版面费。
8. 刊出论文将提供给有关的文献检索刊物和光盘出版机构。作者著作权使用费与本刊稿酬一次付给。如作者不同意,请在来稿时声明,本刊作适当处理。
9. 投稿请写明单位及详细地址,邮编,电话和电子邮件地址。
10. 来稿请寄:北京2871信箱《环境化学》编辑部(北京市海淀区双清路18号,中国科学院生态环境研究中心);邮编:100085;电话:010-62923569;E-mail: hjhx@mail.rcees.ac.cn(纸质和电子投稿均可)。