

文章编号: 1672-9250(2006) 01-0090-07

# 应用 XAD 系列树脂分离和富集天然水体中 溶解有机质的研究进展

王立英<sup>1,2</sup>, 吴丰昌<sup>1</sup>, 张润宇<sup>1,2</sup>

(1.中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002;

2.中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 溶解有机质 (dissolved organic matter, DOM) 是一类由腐殖质和非腐殖质构成的非均质混合物, 广泛存在于土壤、煤炭和水体中, 产生重要的生态环境效应。溶解有机质中相似组分的分离一直是有机质研究的难点。近年来, 随着 XAD 树脂分离技术在 DOM 分离中的广泛应用, 腐殖质和非腐殖质的分离取得了很大进展, 文章对这些方法进行了详细的综述, 并做了进一步的展望。

**关键词:** 溶解有机质; 腐殖质; 非腐殖质; XAD 树脂; 分离

**中图分类号:** P599; P593

**文献标识码:** A

溶解有机质 (dissolved organic matter, DOM) 是动植物残体在自然循环过程中经腐烂分解所产生的一类大分子有机物。它是一类复杂的非均质混合物, 一般含有酚基、羟基、羧基和羰基等多种官能团, 在水体中能与许多金属元素和有机污染物相结合, 从而影响他们的化学形态、迁移转化规律和生物有效性, 产生重要的生态环境效应。一般情况下, 溶解有机质由两部分组成<sup>[1]</sup>: (1)非均质较憎水性的腐殖质: 它是 DOM 的主要组成部分, 约占 40%~60%<sup>[2]</sup>。根据其在水中溶解度的不同, 腐殖质又可划分为三个组分: ①不溶于水的组分为胡敏素 (Humins), ②在碱性条件下能溶解, 而在酸性条件下 (pH≈1-2)不溶于水的组分为胡敏酸 (Humic Acid, HA), ③任何 pH 条件下都溶于水的组分为富里酸 (Fulvic Acid, FA)<sup>[3]</sup>; (2) 较亲水性的非腐殖质: 该部分结构较简单, 分子量较小, 主要包括烃类、氨基酸、脂肪酸、糖类、酚酮类化合物和小分

子酸等。无论从物理性质还是化学性质上看, 这两部分很难完全地区别开来<sup>[4]</sup>。

传统的分离方法对 DOM 的富集起到了一定的作用, 但由于都有一定的使用局限而受到限制。如溶剂萃取、活性炭吸附和合成树脂分离, 回收率太低; 蒸发浓缩仅能应用于非挥发性样品, 且缺乏从无机盐中提取有机物的分离技术<sup>[1]</sup>。虽然近年来反渗透、超滤以及纤维素等分离技术的出现, 可以高效的富集 DOM, 但缺乏对相似组分的分离流程。

XAD (Amberlite) 树脂分离方法是 20 世纪发展起来的富集和分离水体中 DOM 的高效方法。该方法的优点在于富集和分离水样同时进行, 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。但是由于 DOM 的复杂性, 目前仅用一种吸附树脂还不能完全分离出 DOM 中的组分; 所以一般选用树脂连用技术<sup>[1]</sup>。XAD 是一种立体网状结构的非离子大孔径吸附剂。目前对树脂吸附机理尚未明确, 主要是 1979 年 Aiken 首先提出了体积排阻的机理, 认为溶质分子的吸附与树脂的排阻性能有关, 即在给定的酸性条件下, 溶质分子和树脂之间存在的一种亲水、憎水的相互作用<sup>[5]</sup>。

收稿日期: 2004-11-26; 修回日期: 2005-03-20

基金项目: 国家 973 项目 (2002CB412300); 中国科学院“百人计划”项目

第一作者简介: 王立英 (1976—), 女, 博士研究生, 从事水环境地球化学研究。E-mail: lywanggyig@126.com

## 1 腐殖质的分离

腐殖质是溶解有机质的主要组成部分，其中的憎水性酸（胡敏酸和富里酸）一直是国际研究的热点。目前对溶解有机质的化学结构认识主要是在腐殖质的研究基础上取得的。腐殖质在土壤、沉积物、煤和泥炭中含量很高，传统的分离方法是根据腐殖质在酸碱中的溶解度不同用碱液抽提。天然水体中的腐殖质是极性、淡黄色的有机酸，主要来源于土壤腐殖质和水陆生植物，其含量一般很低（1~10 mg/L）。对其进行高效的富集和分离是进一步深入研究腐殖质的前提。

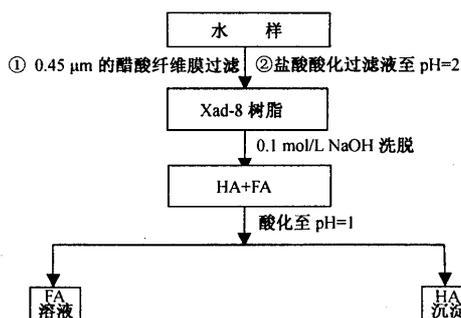


图 1 水体中腐殖质分离流程图<sup>[8]</sup>

Fig.1. Isolation curve of humic solutes in water.

水体中腐殖质的富集分离中最早常用的树脂有 XAD-1, 2, 4, 7, 8, 前三种是苯乙烯-二乙烯基苯聚合物, 后两者是聚甲基丙烯酸甲酯类。1979 年首先由 Aiken<sup>[5]</sup>对比了富里酸在这些树脂上吸附、解析等各项性能的高低, 指出丙烯酸型的 XAD-7 和 XAD-8 比其他三种苯乙烯-二乙烯基苯具有较快的平衡能力、较高的吸附效率和高效的洗脱率。因此也是分离富里酸的首选树脂。同时确立了最佳操作条件: pH=2 的条件下吸附率最高; 0.1 mol/L 的 NaOH 洗脱。

随之, XAD-8 在腐殖质的分离和纯化中得到了广泛应用<sup>[6-7]</sup>。20 世纪 80 年代在国际腐殖酸协会 (IHSS) 的帮助下, 水体中标准腐殖质已经分离出来, 分离流程如图 1 所示<sup>[8]</sup>。水样先酸化至 pH=2, 经 XAD-8 吸附完全后, 用 0.1 mol/L 的 NaOH 溶液洗脱, 洗脱液再酸化到 pH=1, 静置 24 小时后, 溶液部分为富里酸, 沉淀部分为胡敏酸。该方法是分离水体中腐殖质的标准方法。虽然只分离了 DOM 中的腐殖质但对水体中溶解有机质的认识迈出了可

贵的一步。

对于腐殖质含量较低的地下水, 上述分离方法回收率较低且浓缩度不高, 得到的产品灰份含量较高。为进一步优化操作条件, Thurman 等采用规格不同的 XAD-8 树脂 (1 200 mL, 60 mL, 20 mL) 和氢型阳离子交换柱连用, 浓缩度高达 25 000 倍, 分离出富里酸和胡敏酸灰分含量小于 1%, 回收率高达 80% 以上。此方法应用范围较广, 可从各种水体中富集和纯化腐殖质, 包括河水和地下水; 也可从含无机盐较高的水体中浓缩、纯化腐殖质<sup>[9]</sup>。

不同来源的腐殖质结构和组成有所不同, 总体来讲, 从元素组成上看: 腐殖酸比富里酸含碳量高但含氧量低, H/C 和 O/C 比也要低, 因为腐殖酸的芳香性高<sup>[10-11]</sup>; 体积排阻色谱可以看出腐殖酸的分子量分布要比富里酸的大<sup>[9]</sup>; <sup>1</sup>H-NMR 也显示出腐殖酸比富里酸的芳香氢高, 脂肪氢低<sup>[7]</sup>。

## 2 非腐殖质的分离

由于非腐殖质组分大部分为亲水性物质, 把它们从所溶解的无机盐中分离出来需要极性较强, 对小分子吸附性能强的树脂。分离的难点在于树脂的选择, 根据所选树脂的不同, 非腐殖质的分离有以下三种路线。

### 2.1 XAD-8→阳离子交换树脂→阴离子交换树脂

Sirotkma<sup>[12]</sup>最早提出了通用的分离河水中溶解有机物的方法, 水样先后经过冷冻干燥、离子交换、纤维素吸附解析以及凝胶过滤等步骤。该流程总有机物的流失不会超过 10%, 比较适用于含有大分子高聚物的天然水体。在此基础上, 1981 年 leenheer<sup>[1]</sup>采用 XAD-8 树脂和阴阳离子交换树脂连用技术, 提出了一种广泛使用的分离天然水和废水中溶解有机碳的制备型方法。分离流程如图 2 所示: 未酸化的水样经 XAD-8 吸附后, 用 0.1 mol/L HCl 反洗得憎水性碱; 流出液酸化至 pH=2 经 XAD-8 吸附, 用 0.1 mol/L 的 NaOH 反洗得憎水性酸; XAD-8 树脂在空气中干燥后用甲醇浸取得憎水性中性物质。XAD-8 的流出液经氢型阳离子交换树脂吸附, 用 1 mol/L 的氨水洗脱得亲水性碱; 流出液再经阴离子交换树脂用 3 mol/L 的氨水洗脱得亲水性酸; 最后流出液为亲水性中性物质。

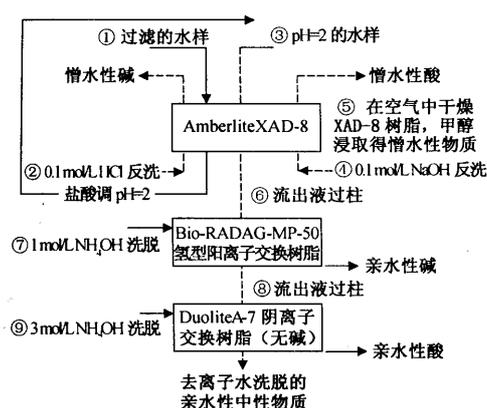
图 2 溶解有机物分离流程图<sup>[1]</sup>

Fig. 2. Isolation of DOM.

结构测定: 红外分析结果显示憎水性组分在 2 930, 2 860 和 1 455  $\text{cm}^{-1}$  具有较强的吸收带, 说明该组分脂肪烃含量高; 亲水性组分具有较强的 O-H 吸收带 (2 800—3 600  $\text{cm}^{-1}$ ) 和 C-O 伸缩振动吸收带 (1 050—1 250  $\text{cm}^{-1}$ )。分离出来的酸性组分具有强的羧基吸收带 (1 600  $\text{cm}^{-1}$ , 1 400  $\text{cm}^{-1}$ ); 憎水性碱中的氨基由于 -OH 的存在被掩盖了, 但氨基一、二带具有较宽的吸收 (1 600—1 700  $\text{cm}^{-1}$ )。虽然每种组分的红外光谱显示出许多不同的特征峰, 但都暗含了一种相对独特的 DOC 组分, 红外谱图的复杂性和众多的宽峰表明分离出来的每种组分都是多种官能团的混合物。其中憎水性酸 (HPOA) 结构类似土壤中的富里酸结构 (FA), 含有较多的芳香羧基; 憎水性中性物质 (HPON) 含有较多的烃类和羰基类物质; 亲水性碱 (HPIB) 主要是含有两性的蛋白质类; 亲水性酸 (HPIA) 含有羧酸类物质; 亲水性中性物质 (HPIN) 为多聚糖。

本方法实用性强, 应用范围较广, 不但可以分离天然水体中的 DOM, 也可分离废水中的 DOM。可以用来处理大批水样, 除杂以后的回收率高达 81%。方法存在的不足之处是亲水性酸的含盐量高, 要有一定的去盐程序, leenheer 做了一定的处理, 让亲水性酸 (pH=1) 通过 XAD-8, 小分子有机酸在树脂上吸附, 大部分盐在流出液中进行检测。为不引入更多的盐分, leenheer 改进了分离流程, 使水样通过 AG-MP-50 阳离子交换树脂进行酸化而非盐酸酸化, 得出了三种改进的分离流程。

## 2.2 XAD-8 → XAD-4

XAD-4 与 XAD-8 相比具有较强的极性, 较大的表面积。但是 XAD-4 是否吸附亲水性组分目前在两种观点: 有的学者认为 XAD-4 吸附亲水性组分, 有的认为 XAD-4 树脂不吸附亲水性组分。

XAD-4 吸附亲水性组分的观点:

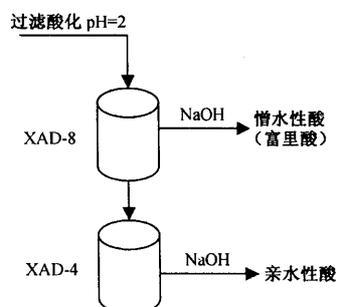
图 3 亲水性酸分离流程图<sup>[13]</sup>

Fig. 3. Isolation of hydrophilic acid.

1992年 Aiken<sup>[13]</sup>依据小分子有机物的溶解度与其容量因子之间的线性关系, 得出 XAD-4 比更有利于小分子溶质的吸附。在 XAD-4 上分离出了亲水性酸, 占溶解有机碳 (DOC) 的 7%~25%。并对 XAD-8 分离出来的富里酸 (FA) 和 XAD-4 分离出来的亲水性酸 (hydrophilic acid, HPIA) 进行了结构对比。FA 主要含有 C<sub>5</sub>-C<sub>9</sub> 的脂肪族羧酸, 1-2 个环的芳香酸和酚类; HPIA 主要含有多种官能团的有机酸和小于 C<sub>5</sub> 脂肪酸。元素分析表明 HPIA 比 FA 含有较多的杂原子如: O、N、S; 分子量较小; 灰分含量高如: 钠盐和硅酸。<sup>13</sup>C-NMR 表明: HPIA 含有高的羧基碳 (160~190 ppm), 杂原子碳 (60~90 ppm) 和羰基碳 (190~220 ppm), 但芳香碳 (90~160 ppm) 含量比 FA 低。

本方法的优点在于: (1)应用范围广, 从 TOC 含量低的天然水到浓度高的废水都可适用; (2)该树脂对无机阴离子不吸附, 且高浓度的 NaCl (0.5 mol/L) 不影响树脂的分配系数, 因此不需要额外的除盐程序。作者还研究了水样预浓缩对树脂吸附效果的影响, 认为浓缩水样改变了 DOM 的聚合度。由兰缪尔吸附等温线测得高浓度的 DOM 在树脂上的吸附曲线为 L-型, 表明随着有机物浓度的增加, 溶质分子和树脂之间的亲和力下降, 适当的 DOC 浓度为 0~25 mg/L。

XAD-4 不吸附亲水性组分的观点:

2003年Croue和Leenheer<sup>[14]</sup>在文中指出亲水性组分在 pH=2 的条件下在任何 XAD 树脂上不会吸附,定义了 pH=2 的条件下在 XAD-4 上吸附的非腐殖类物质为 transphilic 物质(极性介于憎水和亲水之间的新名词)。作者使用 XAD-8 和 XAD-4 把 DOM 分成了 4 个主要部分,憎水性酸(HPOA)、憎水性中性物质(HPON)、transphilic 酸(TPHA)和 transphilic 中性物质(TPHN)。并对其中三个组分进行了元素分析、紫外、红外和 <sup>13</sup>C-NMR 系列表征。这三个组分的组成如下:

(1)憎水性酸(hydrophobic acid,该部分是从 XAD-8 上分离下来的腐殖物质,芳香碳、脂肪碳含量最高,C/H,C/N,C/O 比最高(<sup>13</sup>C-NMR: 110~165 ppm; 芳香碳吸收, 0~55 ppm; 脂肪碳吸收; GC-MS: 苯酚聚合物)。

(2)transphilic acid (TPHA): 从 XAD-4 上分离下来的非腐殖类物质,酸性最强且主要成分为多聚糖(FTR: 1 100 cm<sup>-1</sup> 碳氧键伸缩振动的宽峰;<sup>13</sup>C-NMR: 160~190 ppm: 高尖的羧酸碳的吸收峰; GC-MS: 苯酚为主,还有乙腈、吡咯、环戊烯酮、乙酰胺等)。

(3)transphilic neutrals: 从 XAD-4 上分离下来的非腐殖类物质,几乎全是蛋白类物(FTR: 1 660 cm<sup>-1</sup> 和 1 540 酰胺一带和二带的吸收;<sup>13</sup>C-NMR: 40~55 ppm 处有三个 C-N 吸收峰,160~190 ppm 高尖的羧酸碳的吸收峰; GC-MS: 给出了连续的蛋白裂解光谱图)。

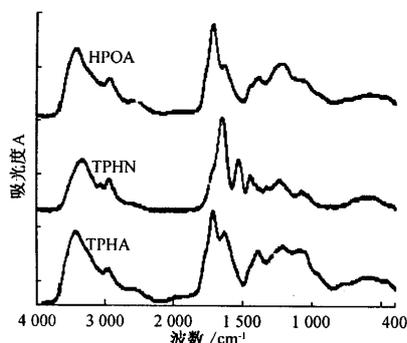


图4 South Platte 河憎水亲水 DOM 组分的红外光谱图<sup>[14]</sup>  
Fig. 4. FTIR spectra of hydrophobic and transphilic DOM fractions from the South Platte River.

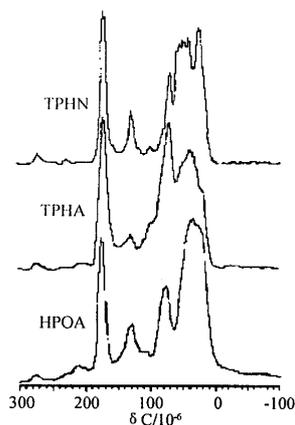


图5 South Platte 河憎水亲水 DOM 组分的 <sup>13</sup>C-NMR 谱图<sup>[14]</sup>  
Fig. 5. Solid-state <sup>13</sup>C NMR spectra of hydrophobic and transphilic DOM fractions from the South Platte River.

这些特征表明 Croue 从 XAD-4 分离出来的中性组分与 1981 年 Leenheer 测得组分从结构上有一定的差别,前者主要是蛋白质后者主要成分为多聚糖。三种方法分离出来的亲水性酸的结构对比如表 1 所示。从表 1 可以看出,分离出来的酸性组分结构基本相同,都含有羧基和羟基的分子量较小的 DOM 组分,且酸性比憎水性酸酸性强。由于溶解有机物形成的外界环境各不相同,导致结构上存在一定的差异,所以至今没有统一的标准来进行表征。随着各种分析测定技术的不断进步,不同环境背景条件下的溶解有机物的组成和结构有了进一步认识。

XAD-8 和 XAD-4 吸附效率的定量测定也有相关报道,前者的吸附率和回收率都比后者高<sup>[15]</sup>,有些科学家把从 XAD-4 分离出的亲水性酸定义为 XAD-4 酸<sup>[15-16]</sup>。

### 2.3 XAD-8→XAD-4→阳离子交换树脂→阴离子交换树脂

2004 年波兰科学家 Swietlik<sup>[17]</sup>结合了 Leenheer 和 Aiken 观点并稍加改进,既用 XAD-4 又用阴阳离子交换树脂来进行分离亲水性组分,分离流程如图 6 所示。本方法先把 3 000 L 水样预浓缩 30 倍,依次流经树脂,用 DOC 来检测 XAD-4 流出液,当 DOC 含量和原水样基本相当时,水样停止循环。天然有机物分离成 6 个组分,憎水性酸、碱和中性组分,

表 1 三种不同流程得到的亲水性酸或 transphilic 酸结构的比较

Table 1. Comparison of the structures of hydrophilic acid or transphilic acid isolated by three different procedures

	元素分析	FTIR	<sup>13</sup> C NMR	Py-GC-MS
Leenheer (Duolite A-7)		OH, COOH 含量高		
Aiken (XAD-4)	O、N、S 含量高; C、H 含量低		COOH, 杂原子碳和羰基中的碳	
Croue (XAD-4)	高 C/O 说明含有 COOH, 酸性较强	糖类物质	COOH 和糖类物质中的 C 含量高	苯酚为主, 还有乙腈、吡咯、 环戊烯酮、乙酰胺等。

表 2 某些特定的 DOM 各组分的组成<sup>[17]</sup>

Table 2. composition of particular DOM fractions

组分	有机组成
腐殖酸 humic acid	HA: pH=1 的 HSs 的沉淀部分
憎水性酸 hydrophobic acid	HOA: (FA) C <sub>5</sub> -C <sub>9</sub> 的脂肪酸; 1-2 环的芳香酸; 1-2 环的苯酚
憎水性碱 hydrophobic base	HOB: 1-2 环的芳香胺; (吡啶, 蛋白除外)
憎水性中性物质 hydrophobic neutral	HON: 碳氢组合; >C5 脂肪醇, 氨基化合物, 酯, 酮, 醛, >C9 脂肪酸和胺; >C3 环芳香酸和胺
亲水性酸 hydrophilic acid	HIA: <C <sub>5</sub> 脂肪酸; 多种官能团羧酸; 各种羧基酸的混合物。
亲水性碱 hydrophilic base	HIB: 两性蛋白类物质 (脂肪氨基酸, 氨基糖, 缩氨酸, 和蛋白质); <C <sub>5</sub> 脂肪胺, 吡啶
亲水性中性物质 hydrophilic neutral	HIN: 短链脂肪胺, 醇, 醛, 酯, 酮; <C <sub>5</sub> 脂肪胺; 多官能团的醇; 碳水化合物; 螺旋氨基酸; 蔗糖。

亲水性酸、碱和中性组分。由于 DOC 在线检测技术在此流程中的应用, 使分离效果和速度的得到了提高, 但分离出来的各个组分没有进行结构测定, 只是根据以前的文献进行总体概括。

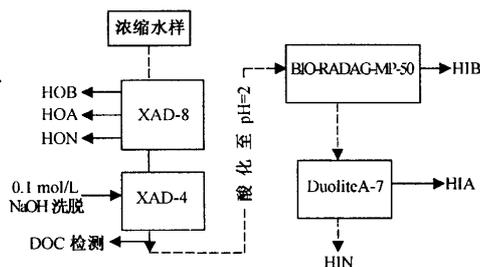
图 6 NOM 分离过程<sup>[17]</sup>

Fig. 6. Isolation of natural organic matter.

综上所述, 目前对非腐殖质还没有统一的分离流程, 但总体来讲对 DOM 进行分离的路线目前使用较多的是: XAD-8→阳离子交换树脂→阴离子交换树脂<sup>[18][20]</sup>。随着树脂性能的不断改进, 其中 XAD-8 也逐步被性能更好的 DAX-8 代替, 二者之间分离出来的组分除了脂肪碳含量稍有不同外, 树脂的分离效果基本相当<sup>[19-20]</sup>。

当然 XAD 树脂分离法也有一定的缺点: (1) pH 值变化剧烈, 难免会改变 DOM 各部分的结构和活性。

(2) 在低含量 DOC 和高 pH 值的水体中要考虑金属离子的影响 (Fe、Al、Ca), 因为它们的存在会导致亲水/憎水比率的变化<sup>[21]</sup>。为减少这些离子的影响可在水样中加适当络合剂 (如 EDTA 等), 这方面的工作研究较少。(3) 得到的碱性组分较少, 一般不足以用来进行性质测定。

### 3 结语

(1) 对 DOM 憎水性组分的分离主要通过 XAD-8 树脂, 通过不同的洗脱剂得到憎水性酸、碱和中性物质。其中憎水性酸含量最多, 该部分又可分离为富里酸和胡敏酸。

(2) 对非腐殖类组分的分离存在着三种不同的路线: XAD-8→阳离子交换树脂→阴离子交换树脂; XAD-8→XAD-4; XAD-8→XAD-4→阳离子交换树脂→阴离子交换树脂; 其中 XAD-4 是否吸附亲水性组分存在着两种不同的观点, 为进一步确证每条路线, 需要对同一种水样开展纵向的研究以测定准确的组成, 找出其中的差别, 这方面还需深入研究。

(3) 与其它分离方法相比, 虽然分离过程中存在着酸碱变化对 DOM 的化学性质难免发生一定的改变, 但从化学结构上分析, 仍然能反映 DOM 各部分的真实组成<sup>[18]</sup>。

(4)为提高分离效率,近年来可用膜分离技术(如反渗透、超滤)对水样进行适当的浓缩再与 XAD 连用。

(5)某些特定的 DOM 各组分的组成大体如表 2 所述。

综上所述,在对相似组分的分离上,XAD 树脂分离技术仍是目前应用最为广泛的分离方法,相信随着对复杂物分离技术的不断提高,天然水体中溶解有机物的结构组成一定会得到更好的诠释。

## 参 考 文 献

- [1] Thurman E M. Organic Geochemistry of Natural Waters[M].Dordrecht:Martinus Nijhoff/W.Junk Publisher, 1985
- [2] Leenheer J A. Comprehensive approach to preparative isolation and fraction of dissolved organic carbon from natural water and wastewater[J]. Environ Sci Technol, 1981, 15(5): 578 – 587
- [3] Aiken G R. in: Aiken G R, Mcknight D M, Wershaw R L. Humic substances in Soils, sediment and Water[M]. Geochemistry, Isolation and Characterization[M]. Wiley, New York: P.MacCarthy(Eds.), 985: 363 – 385
- [4] Wershaw R L, Malcolm R L, Pinckney D J. Molecular size of aquatic humic substances[J]. Org Geochem, 1982, 4: 27 – 35
- [5] Aiken G R, Thurman E M, Malcolm R L ,et al. Comparison of XAD macroporous resins for the concentration of fulvic from aqueous solution[J]. Analytical Chemistry, 1979, 51(11): 1 799 – 1 803
- [6] Artinger R, Buckau G, Geyer S, et al. Characterization of ground-water humic substances:influence of sedimentary organic carbon[J]. Applied Geochemistry , 2000,15: 97 – 116
- [7] Ma HuiZhong, Herbert E, Allen, Yin YuJun. Characterization of isolated fractions of dissolved organic matter from natural waters and wastewater effluent[J].Water research, 2001, 35(4): 985 – 996
- [8] Peuravuori J, Pihaja K. Multimethod lake aquatic humic matter isolated with sorbing solid and tangential membrane filtration[J]. Anal Chim Acta, 1998, 364: 203 – 221
- [9] Earl M, Thurman, Ronald L, Malcolm. Preparative isolation of aquatic humic substances[J]. American Chemical Society,1981,4(15): 463 – 466
- [10] Pettersson C, Ephraim J, Allard B. On the composition and properties of humic substances isolated from deep groundwater and surface waters[J]. Org. Geochem. 1994, 21:443 – 451
- [11] Steelink C. Implications of elemental characteristics of humic substances[A]. Aiken G R, MacCarthy P, McKnight D S, et al. Humic substances in Soil, Sediment and Water[M]. New York: Wiley, 1985: 457 – 476
- [12] Sirotkina I S, Varshall G M, Lure Y Y, et al. Zh.Anal.Khim [J].1974, 29: 1 626 – 1 632
- [13] Aiken G R, Mcknight D M, Thron K A, et al. Isolation of hydrophilic organic acids from water using non-ionic macroporous resins[J]. Org Geochem ,1992, 18(4): 567 – 573
- [14] Croue J P, Benfdetti M F, Violleauand D, et al. Characterization and copper binding of humic and nonhumic organic matter isolated from the south platte river: evidence for the presence of nitrogenous binding site[J]. Environ Sci Technol, 2003, 37: 328 – 336
- [15] Malcolm R L, MacCarthy P. Quantitation evaluation of XAD-8and XAD-4 resins used in tandem for removing organic solutes from water[J]. Environ Int, 1992, 18: 597 – 607
- [16] Kortelainen P. Contribution of Organic Acids to the Acidity of Finnish Lakes[A]. Academic Dissertation, University of Helsinki, Finland: Publication of the Water and Environment Research Institute. 1993, 13: 48

- [17] Swietlik J, Dabrowska A, Raczek-Stanislawiak U, et al. Reactivity of natural organic matter fractions with chlorine dioxide and ozone[J]. *Water Research*, 2004, 38: 547 – 558
- [18] Juhani Peuravuori, Kalevi Pihlaja. Multi-method characterization of lake aquatic humic matter isolated with two different sorbing solids[J]. *Analytica Chimica Acta*, 1998, 363: 235 – 247
- [19] Juhani Peuravuori, Riitta Koivikko, Kalevi Pihlaja. Characterization, differentiation and classification of aquatic humic matter separated with different sorbents: synchronous scanning fluorescence spectroscopy[J]. *Water Research*, 2002, 36: 4552 – 4562
- [20] Juhani Peuravuori, Petri Ingman, Kalevi Pihlaja, et al. Comparisons of sorption of aquatic humic matter by DAX-8 and XAD-8 resins from solid-state  $^{13}\text{C}$  NMR spectroscopy's point of view[J]. *Talanta*, 2001, 55: 733 – 742
- [21] Klaus Kaiser. Fractionation of dissolved organic matter affected by polyvalent metal cations[J]. *Org Geochem*, 1998, 28(12): 849 – 854

## A METHOD OF SEPARATE AND CONCENTRATE DISSOLVED ORGANIC MATTER BY XAD RESIN IN NATURAL AQUATIC SYSTEMS

WANG Li-ying<sup>1,2</sup>, WU Feng-chang<sup>1</sup>, ZHANG Run-yu<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

### Abstract

Dissolved organic matter (DOM) is a heterogeneous mixture consisting of humic solutes and non-humic solutes. It occurs ubiquitously in soils, coals and waters and has important eco-environment effects. The isolation of similar groups of DOM is a difficult procedure. In recent years, with the development of separation technique by XAD resin in DOM, there have been made some achievements in the isolation of humic solutes and non-humic solutes. In this paper the author describes this method in detail and gives a farther prospect.

**Key words:** dissolved organic matter; humic solutes; non-humic solutes; XAD resin; isolation