

渗滤液中 DOM 的表征及特性研究

方芳, 刘国强, 郭劲松*, 刘智萍

(重庆大学三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045)

摘要: 提取和分离了填埋场和焚烧厂渗滤液中的溶解性有机质, 采用官能团滴定、紫外-可见吸收光谱、红外光谱和元素分析对其进行了表征。官能团滴定实验表明, 渗滤液中总酸度和羧基官能团含量分别为: $\text{HyI} > \text{FA} > \text{HA}$ 和 $\text{FA} > \text{HA} > \text{HyI}$, 填埋场中各组分含量均小于焚烧厂中的相应组分; 紫外-可见吸收光谱研究表明, 填埋场渗滤液中各组分的芳香化程度均远大于焚烧厂中的相应组分, 腐殖质的腐殖化程度依次为: $\text{G-HA} > \text{L-HA} > \text{F-HA}$ 和 $\text{L-FA} > \text{F-FA}$; 红外光谱分析表明, 相同来源垃圾渗滤液的腐殖质在官能团和分子结构组成方面较为相似, L-HA 比 L-FA 含有更多芳环结构, L-FA 中含有更多酸性基团; 元素分析表明, 渗滤液腐殖质中 N 元素含量远高于其它环境腐殖质, 并发现填埋场渗滤液中腐殖质的芳香化程度大于焚烧厂。

关键词: 垃圾渗滤液; 紫外-可见吸收光谱; 红外光谱; 元素分析; 溶解性有机质

中图分类号: X703 文献标识码: A 文章编号: 0253-3301(2009)03-0834-06

Characteristics of Dissolved Organic Matter (DOM) from Leachate

FANG Fang, LIU Guo-qiang, GUO Jir song, LIU Zhi ping

(Key Laboratory of Three Gorges Reservoir's Eco Environment, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: The dissolved organic matter (DOM) was isolated and purified from landfill and incineration leachate, and all the isolated fractions were characterized using acid-base titration, UV-VIS (ultraviolet visible), FTIR spectroscopic methods and element measurement. As shown by acid-base titration, the total acidity and carboxylic groups followed $\text{HyI} > \text{FA} > \text{HA}$ and $\text{FA} > \text{HA} > \text{HyI}$ respectively, and all the samples from incineration leachate had more acidity and carboxylic groups than those from landfill leachate. UV-VIS analysis showed that the humification of humics in leachate followed $\text{G-HA} > \text{L-HA} > \text{F-HA}$ and $\text{L-FA} > \text{F-FA}$. FTIR spectroscopic indicated that the humics from the same leachate had similar molecular structure, and L-HA had more aromatic groups than L-FA , while L-FA had more acid groups. Element measurement indicated that the content of N in leachate humic substance was higher than that from other surroundings, and the aromatic content in humic substance from landfill leachate was higher than that from incineration leachate, which was also obtained by UV-VIS analysis.

Key words: leachate; UV-VIS spectrum; FTIR spectrum; element analysis; dissolved organic matter

渗滤液中溶解性有机质(dissolved organic matter, DOM)可占总有机质的 85% 左右^[1-3], 是有机质的最主要构成部分, 了解渗滤液中溶解性有机质的理化特性, 对于掌握渗滤液水质特征具有重要意义。国内外已有部分学者^[2-4]研究了填埋场渗滤液中溶解性有机质在分子量、化学结构等方面的特征, 取得了一定的成果。国外的垃圾组分与国内有较大差别, 在填埋场渗滤液的性质方面也具有一定的差异性。发达国家的生活垃圾含水率低, 再经过分类收集, 只对热值高的生活垃圾进行焚烧处理, 焚烧厂很少有渗滤液产生, 故国外文献中鲜有焚烧厂渗滤液的相关报道。而我国城市生活垃圾的含水率和易腐有机物含量高, 且未分类收集, 即使在焚烧厂储坑中短暂停留, 也会产生数量可观的渗滤液。由于垃圾焚烧处理尚不够普及, 对焚烧厂渗滤液中溶解性有机质的研究也很少。

本研究提取和分离了填埋场和焚烧厂渗滤液中的溶解性有机质, 采用官能团滴定、元素分析、紫外-可见吸收光谱和红外光谱对其进行了表征, 以更深

入地了解不同来源垃圾渗滤液中 DOM 的理化特性, 对于开发垃圾渗滤液处理工艺、研究渗滤液对环境的危害, 以及了解填埋场的稳定化程度均具有积极的指导意义。

1 材料与方法

1.1 样品制备

填埋场渗滤液取自重庆长生桥垃圾填埋场, 取样时间为 2006 年 12 月, 长生桥垃圾填埋场于 2003 年开始运行, 主要填埋城市生活垃圾。焚烧厂渗滤液取自重庆同兴垃圾焚烧厂, 取样时间为 2007 年 1 月, 同兴垃圾焚烧厂建成于 2005 年。2 种渗滤液的相关水质特征参见文献[5]。

按照 Thurman 等^[6]和 Christensen 等^[7]的分离和

收稿日期: 2008-04-28; 修订日期: 2008-06-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(50608071); 教育部重大项目(308020)

作者简介: 方芳(1973~), 女, 副教授, 主要研究方向为废水处理理论与技术, E-mail: xiduo@tom.com

* 通讯联系人, E-mail: guo0768@vip.sohu.com

净化方法将渗滤液中 DOM 分离为腐殖酸 (humic acids, HA)、富里酸 (fulvic acids, FA) 和亲水性有机质 (hydrophilic organic matter, HyI)。

1.2 官能团滴定

用蒸馏水将冷冻干燥后的 HA、FA 和 HyI 及商业腐殖酸 (commercial humic acid, G-HA) (化学纯, 天津市津科精细化工研究所) 配成 100 mg/L 的水溶液 100 mL, 用 0.1 mol/L 的稀 HCl 和 NaCl 分别将各组分水溶液的 pH 值和离子强度调节到 3.00 和 0.1 mol/L。在滴定之前, 通入高纯氮气 10 min 以上, 以去除水溶液中的 CO₂。采用 0.1 mol/L 的无 CO₂ 的 NaOH 溶液进行滴定, 滴定起点 pH 为 3.00, 终点为 pH 10.00。在整个滴定过程中保持通入氮气, 并进行磁力搅拌, 以消除 CO₂ 的干扰, 使 NaOH 与溶液充分混合, 温度控制在 25℃ 左右。每滴入 0.05 mL NaOH, 记录 pH 计稳定后相应的数值 (HACH 便携式 pH 计, 美国)。同时用 100 mL 蒸馏水作空白, 按以上要求与操作进行滴定, 以扣除背景值。

1.3 紫外-可见光谱分析

将商品腐殖酸和冷冻干燥后的 HA、FA 和 HyI 配成 100 mg/L 的水溶液, 调节 pH 为 7 左右, 以蒸馏水作为参比, 进行紫外-可见光谱扫描。扫描所用仪器为 HACH DR4000 紫外可见分光光度计。光谱条件: 光度模式 Abs, 扫描速度中速, 扫描范围 200~500 nm, 光谱带宽 2 nm, 采样间隔 0.2 nm, 样品池 1 cm 石英。

同时以蒸馏水作参比, 分别读取在特定波长为 254、285、300、400、465 和 665 nm 下的吸光度值, 测试各溶液的 DOC 值, 并计算 SUVA₂₅₄ (SUVA₂₅₄ = UV₂₅₄ × 100/DOC 值)^[2]、E₃₀₀/E₄₀₀ 与 E₄₆₅/E₆₆₅ 的比值。

1.4 FTIR 红外光谱

采用傅里叶变换红外光谱技术进行红外光谱分析, 称取 1~2 mg 冷冻干燥后的填埋场和焚烧厂渗滤液中的 HA、FA、HyI 和商业腐殖酸, 分别与 300 mg 左右的 KBr (光谱纯) 混合, 在红外光照射下磨细混匀, 研磨到粒度 < 2 μm, 在 5 × 10⁷ ~ 10 × 10⁷ Pa 压力下压成薄片并维持 1 min, 用 FTIR 光谱仪 (Nicolet 5DX, 美国) 在 4000 ~ 400 cm⁻¹ 进行扫描, 测

定并记录其光谱。

1.5 元素组成测试

采用 Vario 元素分析仪 (Elementar 公司, 德国) 分析商业腐殖酸和冷冻干燥后 HA、FA 和 HyI 的碳、氢、氮、硫的元素组成。电子微量天平由 Mettler 公司提供 (瑞士), 标准试剂为氨基苯磺酸 (Elementar 公司, 德国)。

2 结果与分析

2.1 官能团滴定结果与分析

了解渗滤液中各分离组分酸性官能团的电解特征, 有助于评价 HA、FA 和 HyI 的配位作用^[7]。总酸度主要由羧基官能团和酚羟基官能团构成, 酚羟基官能团的电离常数 pK₁ 为 8.0, 而羧基官能团的电离常数 pK₂ 为 6.0, 所有官能团在滴定起点 pH = 3 处均不发生电离^[8]。通常将羧基官能团含量定义为滴定过程中 pH 由 3 升至 8 时消耗的等当量 NaOH; 酚羟基官能团含量定义为 pH 由 8 升至 10 消耗 NaOH 的 2 倍^[8]。商业腐殖酸及渗滤液中各分离组分的官能团滴定曲线和滴定结果分别见图 1 和表 1。

分析图 1 和表 1, 可发现总酸度的大小关系依次为: HyI > FA > HA, 这与被渗滤液污染后的地下水中各组分的研究结果一致^[7], 填埋场渗滤液中各组分小于焚烧厂中的相应组分, 渗滤液中 HA 小于 G-HA。羧基官能团的多少依次为: FA > HA > HyI, 同样是填埋场渗滤液中的相应组分小于焚烧厂。而酚羟基官能团的多少为: HyI > HA > FA, 但填埋场渗滤液中各分离组分大于焚烧厂中的相应组分。

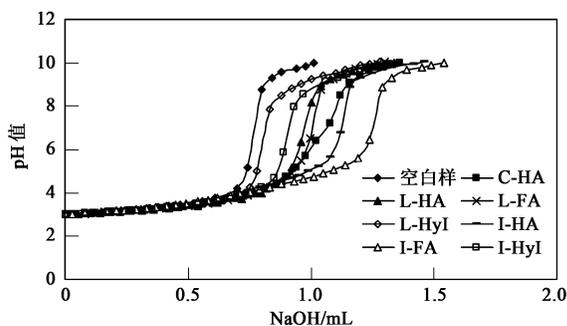


图 1 渗滤液中各组分和商业腐殖酸的官能团滴定曲线

Fig. 1 Acid base titration curve of isolated leachate and G-HA

表 1 渗滤液中各组分和商业腐殖酸的总酸度、羧基和酚基官能团含量⁽¹⁾/mmol·g⁻¹

Table 1 Total organic acidity, carboxylic and phenolic acidity of isolated leachate and G-HA/mmole·g⁻¹

指标	商业 HA		长生桥填埋场			同兴焚烧厂		
	G-HA	I-HA	I-FA	I-HyI	F-HA	F-FA	F-HyI	
总酸度	5.5	3.7	3.9	5.8	4.4	5.3	7	
羧基官能团	3.3	2.1	2.5	0.8	3.6	4.7	1.6	
酚基官能团	2.2	1.6	1.4	5	0.8	0.6	5.4	

1) 填埋场和焚烧厂渗滤液中 HA、FA 和 HyI 分别记为 I-HA、I-FA、I-HyI 和 F-HA、F-FA、F-HyI

2.2 紫外-可见光谱特征分析

商业腐殖酸和渗滤液中各组分的紫外-可见吸收光谱图见图2。

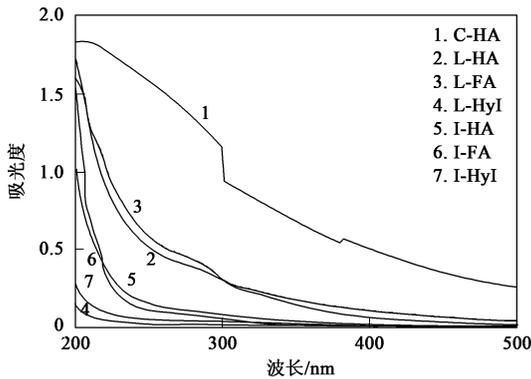


图2 渗滤液中组分和商业腐殖酸的紫外-可见光谱图

Fig. 2 UV-visible spectra of humic acids, fulvic acids and hydrophilic fractions

由图2可见,所有测试样品均产生形状相似的光谱图,无明显的波峰与波谷,且随着波长的减少,

吸收强度逐渐增加。相关研究表明,这是由于腐殖质结构复杂,含有大量重叠的发色基团所引起的^[9,10]。填埋场渗滤液中的HA与FA的吸收强度明显高于焚烧厂中的相应组分,且均大于HyI,小于商业腐殖酸,表明商业腐殖酸中含有更多的发色基团,而填埋场渗滤液中腐殖质的发色基团多于焚烧厂。

紫外-可见吸收光谱图难以表征渗滤液中各组分的详细结构信息,而研究HA、FA和HyI在某些特定波长下的吸光度值或比值,可以更深入的了解各组分的化学结构信息。本试验中,测定了商业腐殖酸及渗滤液各组分的 E_{280} 、 $SUVA_{254}$ 、 E_{203}/E_{253} 、 E_{300}/E_{400} 和 E_{465}/E_{665} 值。 E_{280} ^[3]和 $SUVA_{254}$ ^[2]($SUVA_{254}$ 定义为:在254 nm下的吸光度乘上100与该溶液的TOC值之比)均被用于表征有机质的芳香性构化程度,其值越大,芳香性构化程度也越高。 E_{300}/E_{400} ^[11]和 E_{465}/E_{665} ^[3,7]比值均可用于表征腐殖质的腐化程度,腐殖质的 E_{300}/E_{400} 比值越大,腐殖化程度越低。填埋场和焚烧厂渗滤液中HA、FA、HyI和商业腐殖酸的特殊吸光度值见表2。

表2 渗滤液中各组分和商业腐殖酸的特殊吸光度值(100 mg/L, pH=6.0)

Table 2 Absorbance of the HA, FA and HyI (100 mg/L, pH=6.0)

指标	G-HA	L-HA	L-FA	L-HyI	F-HA	F-FA	F-HyI
$SUVA_{254}$	8.28	2.68	2.17	1.67	0.4	0.13	0.15
E_{280}	3.233	0.388	0.422	0.02	0.108	0.089	0.044
E_{300}/E_{400}	2.38	3.03	5.54	13.69	4.03	6.80	12.07
E_{465}/E_{665}	3.65	4.36	14.53	20.00	4.20	16.81	7.54

由表2可知,商业腐殖酸的 $SUVA_{254}$ 值远高于其它组分,而渗滤液中 $SUVA_{254}$ 值大小依次为HA>FA>HyI,且填埋场渗滤液中的远大于焚烧厂中的相应组分,表明填埋场渗滤液中腐殖质的芳香化程度远比焚烧厂中的高。 E_{280} 分析也得到类似的结论,只是填埋场中FA的值略高于HA。

根据表2中 E_{300}/E_{400} 的结果,可发现腐殖质的腐殖化程度依次为:G-HA>L-HA>F-HA和L-FA>F-FA。Artinger等^[11]指出FA的 E_{300}/E_{400} 值一般为3.5左右,天然水体中的比值为3.41~4.55,可见即使腐殖化程度相对较高的填埋场FA的腐殖化程度也不是很高。结合腐殖质的 E_{300}/E_{400} 值和 $SUVA_{254}$ 分析,可发现腐殖质的腐殖化程度越高,其芳香性构化程度也越高。

相关研究表明^[12-14],HA和FA的 E_{465}/E_{665} 值一般在2.4~8.3和1.9~18.3范围内,本研究中腐殖

质的 E_{465}/E_{665} 值均介于该范围内,且HA的比值小于FA,但是G-HA、L-HA与F-HA间缺乏明显规律性,表明 E_{465}/E_{665} 值比较难以反映腐殖质的腐殖化程度,郭瑾等^[8]用 E_{465}/E_{665} 表征天然水体中腐殖质时也得到类似的结论。

2.3 FTIR 红外光谱特征分析

渗滤液中各组分和商业腐殖酸的FTIR红外光谱图见图3。

处理相关腐殖质等^[3,15-18]有机质的红外吸收峰归属,表明1735~1690 cm^{-1} 处的吸收峰为有机物中羧基(-COOH)及酮类化合物中的C=O伸缩振动;1550~1515 cm^{-1} 处的吸收峰为含氮化合物中的N-H变形振动,即酰胺化合物的特征谱带II;1460~1450 cm^{-1} 处的吸收峰为碳水化合物和脂肪族化合物中的-CH₂基团的剪式变形振动及脂肪族化合物-CH₃基团C-H不对称变形振动;1430~

1 420 cm^{-1} 处的吸收峰脂肪族化合物中的双键或羰基相连的 $-\text{CH}_2$ 的变形振动。

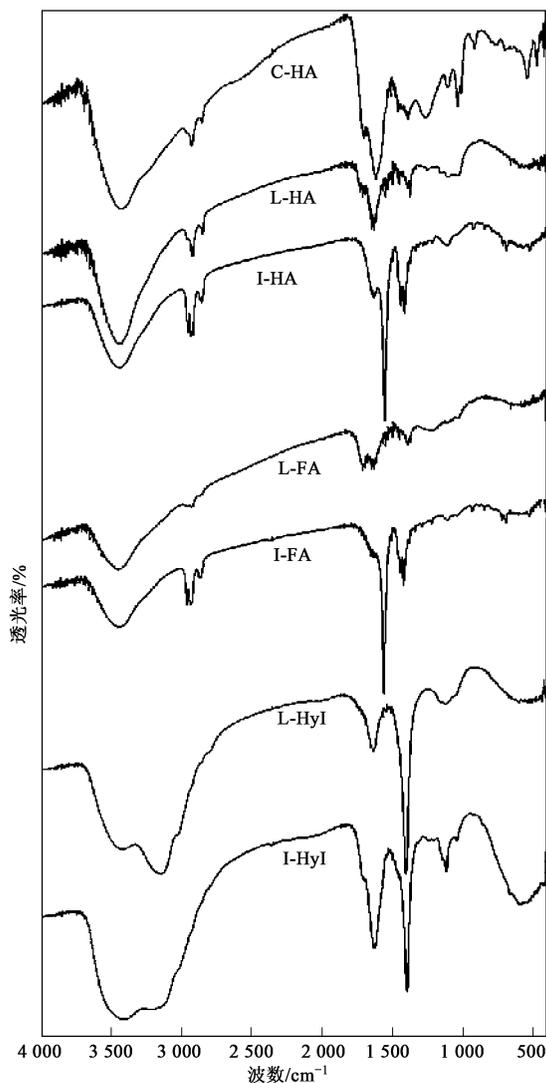


图 3 渗滤液中各组分和商业腐殖酸的 FTIR 红外光谱图

Fig. 3 FTIR infrared spectra of humic acids, fulvic acids and hydrophilic fractions

分析图 3 可发现, L-HA 与 L-FA、FHA 与 FFA 分别具有相似的图谱特征, 表明相同来源的腐殖质在官能团和分子结构组成方面较为相似。而 L-HA、L-FA 分别与 FHA、L-FA、FFA 的图谱特征差别较大, 表明填埋场渗滤液中的腐殖质与焚烧厂渗滤液中的腐殖质在官能团和分子结构组成方面有较大差别, 同时 L-HyI 与 FHyl 图谱特征差别不大。

G-HA、L-HA、L-FA 在 1637~1644 cm^{-1} 区域有较强的芳环骨架 $\text{C}=\text{C}$ 伸展振动, 其中 G-HA、L-HA 在此区域的吸收强度大于 L-FA, 表明 L-HA 含有更多的芳环结构, 这与 SUVA_{254} 分析结果一致。但 L-FA 在 1700~1720 cm^{-1} 区域有较强吸收, 且强于 L-HA,

表明 L-FA 中含有更多酸性基团。FHA 和 FFA 图谱相似, 均在 1562~1572 cm^{-1} 区域有很强烈且又明显的吸收峰, 这应该是仲酰胺的 $\text{N}-\text{H}$ 变形振动所引起的; 此外, 在 1450 和 1420 cm^{-1} 处也有强烈的吸收峰, 这可能是 FHA 和 FFA 中碳水化合物和脂肪族化合物中的 $-\text{CH}_2$ 基团的剪式变形振动及伯酰胺化合物中 $\text{N}-\text{H}$ 收缩振动吸收引起的。L-HyI 和 FHyl 在 1640~1600 cm^{-1} 区域有强烈吸收, FHyl 的吸收强度大于 L-HyI, 同时两者有机质中 N 元素含量很高, 这应该是伯酰胺的 $-\text{NH}_2$ 剪式振动吸收峰, 为酰胺特征峰 II。L-HyI 和 FHyl 在 1400~1420 cm^{-1} 区域内均有很强烈的吸收峰, 这是由于 $\text{C}=\text{O}$ 伸缩振动吸收。

2.4 元素组成特征分析

测试了长生桥垃圾填埋场和同兴垃圾焚烧厂渗滤液中 HA、FA、HyI 和商业腐殖酸的 C、H、N、S 元素含量, 并计算了 H/C、N/C 原子个数比, 同时总结了渗滤液文献中腐殖质^[3]的 C、H、O、N、S 元素组成, 结果见表 3。本试验中由于 O 元素未测, 则未将 C、H、O、N、S 元素含量折算至 5 种元素总和的相对百分含量, 而文献值的 C、H、O、N、S 元素均为折算后的相对值。

一般来讲, 腐殖质的主体是由羧基 ($-\text{COOH}$)、羟基 ($-\text{OH}$) 取代的芳香族结构, 烷烃、脂肪酸、碳水化合物和含氮化合物结合于芳香结构块上^[19]。分析腐殖质中的 H/C、O/C、N/C 原子个数比, 有利于了解该有机物在结构和官能团方面的特征。有机质中 H/C 原子个数比值越小, 意味着有机质的化学结构以芳香结构为主, 否则含有更多脂肪族的化合物^[20]; 而 O/C 原子个数比越大, 表示有机物中含有更多羧基、酚基官能团或者碳水化合物^[20, 21]。

分析表 3 长生桥填埋场和同兴焚烧场渗滤液中 H/C 原子个数比, 可发现填埋场渗滤液 HA、FA 的 H/C 原子个数比值均小于焚烧厂, 表明填埋场中腐殖质的芳香化程度大于焚烧厂。但渗滤液中腐殖质的 H/C 均比标准腐殖质要高很多, 表明即使填埋场渗滤液中的腐殖质, 其芳香化程度相对也不高。本研究渗滤液中 HA 的 H/C 反而比 FA 比值高, 这与文献数据不一致。渗滤液腐殖质中 N 元素含量远大于标准腐殖质, 则说明其苯环上结合了更多的含氮化合物。

本研究中 HyI 的 H/C 均比各种环境中腐殖质高很多, 说明其中含有更多的脂肪族化合物。同时, 长生桥填埋场渗滤液中腐殖质和 HyI 的 N/C 均大于焚烧厂, 表明随着腐殖化的进程, 腐殖质中 N 元素含

表 3 渗滤液中各组分的元素质量分数和原子个数比

Table 3 Elemental composition and the atom ratios of all leachates isolations

样品	来源	元素质量分数 %				原子个数比			
		C	H	O	N	S	H/C	O/C	N/C
HA	商业 HA ¹⁾	53.95	3.55	—	2.27	0.39	0.79	—	0.11
	长生桥填埋场 ¹⁾	22.37	3.27	—	3.76	1.21	1.75	—	0.14
	同兴焚烧厂 ¹⁾	37.61	6.36	—	2.51	0.33	2.03	—	0.06
	文献数据 ²⁾	56.46	7.67	28.73	7.13	ND	1.63	0.38	0.11
FA	长生桥填埋场 ¹⁾	26.35	3.25	—	2.49	1.08	1.48	—	0.23
	同兴焚烧厂 ¹⁾	47.59	7.94	—	1.38	0.26	2.00	—	0.13
	文献数据 ²⁾	50.03	7.56	33.93	5.63	2.83	1.81	0.51	0.12
HyI	长生桥填埋场 ¹⁾	1.64	3.70	—	10.01	0.29	26.98	—	5.21
	同兴焚烧厂 ¹⁾	8.10	4.36	—	4.88	0.30	6.46	—	0.52

1) 所示元素质量分数为实测值, 即该元素质量与总质量的百分比; 2) 所示元素质量分数为该元素质量分数与 C、H、O、N、S 5 种元素质量分数总和的百分比

量会增加. Chai 等^[22] 研究填埋场内部的有机质时也得到相同的结论.

3 结论

(1) 官能团滴定实验表明, 渗滤液中总酸度和羧基官能团含量多少分别为 HyI > FA > HA 和 FA > HA > HyI, 填埋场渗滤液中的各组分均小于焚烧厂中的相应组分; 而酚基官能团的含量为 HyI > HA > FA, 但填埋场渗滤液中各分离组分大于焚烧厂中的相应组分.

(2) 紫外-可见吸收光谱研究表明, 渗滤液中 HA > FA > HyI, 且填埋场远大于焚烧厂中的相应组分; 腐殖质的腐殖化程度依次为: C-HA > L-HA > F-HA 和 L-FA > F-FA.

(3) 红外光谱分析表明, 表明相同来源的腐殖质在官能团和分子结构组成方面较为相似, L-HA 比 L-FA 含有更多芳环结构, L-FA 中含有更多酸性基团.

(4) 元素分析表明, 渗滤液腐殖质中 N 元素含量远高于标准腐殖质含量; 通过不同元素间的对比分析, 表明填埋场渗滤液中腐殖质的芳香化程度大于焚烧厂, 小于商业腐殖酸, 且渗滤液腐殖质的苯环上结合了更多的含氮化合物.

参考文献:

- [1] 楼紫阳, 欧远洋, 赵由才, 等. 老港填埋场新鲜渗滤液性质研究 [J]. 环境污染与防治, 2004, 1(26): 8-11.
- [2] Pin J H, Jun F X, Li M S, *et al.* Dissolved organic matter (DOM) in recycled leachate of bioreactor landfill [J]. Water Research, 2006, 40(7): 1465-1473.
- [3] Ki H K, Hyun S S, Heekyung P. Characterization of humic substances present in landfill leachates with different landfill ages and its implications [J]. Water Research, 2002, 36(16): 4023-4032.
- [4] Huan J F, Hung Y S, Hsin S Y, *et al.* Characteristics of landfill leachates in central Taiwan [J]. Science of the Total Environment, 2006, 361: 25-37.
- [5] 方芳, 刘国强, 郭劲松, 等. 三峡库区垃圾填埋场和焚烧厂渗滤液水质特征 [J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2008, 31(1): 77-82.
- [6] Thuman E M, Malcolm R L. Preparative isolation of aquatic humic substances [J]. Environ Sci Technol, 1981, 15(4): 463-466.
- [7] Christensen J B, Jensen D L, Grøn C, *et al.* Characterization of the dissolved organic carbon in landfill leachate polluted groundwater [J]. Water Research, 1998, 32(1): 125-135.
- [8] 郭瑾, 马军. 松花江水中天然有机物的提取分离与特性表征 [J]. 环境科学, 2005, 26(5): 77-84.
- [9] Stevenson P T. Humus chemistry: genesis, composition, reactions [M]. New York: Wiley, 1982.
- [10] Mac C P, Rice J A. Spectroscopic methods (other than NMR) for determining functionality in humic substances [M]. New York: Wiley, 1985. 527-559.
- [11] Artinger R, Buckau G, Geyer S, *et al.* Characterization of groundwater humic substances: influence of sedimentary organic carbon [J]. Applied Geochemistry, 2000, 15(1): 97-116.
- [12] Thuman E M. Humic substances in groundwater [M]. New York: John Wiley, 1985.
- [13] Grøn C, Wassenaar L, Krogh M. Origin and structures of groundwater humic substances from three Danish aquifers [J]. Environ Int, 1996, 22(5): 519-534.
- [14] Aiken G, Thuman M D. Isolation of hydrophilic organic acids from water using nonionic microporous resins [J]. Org Geochem, 1992, 18(6): 567-573.
- [15] Kuwatsuka S, Watanabe A, Itoh K. Comparison of two methods of preparation of humic and fulvic acids, IHSS method and NAGOYA method [J]. Soil Sci Plant Nutr, 1992, 38(1): 23-30.
- [16] Inbar Y, Chen Y, Hadar Y. Carbor 13C PMAS NMR and FTIR spectroscopic analysis of organic matter transformations during decomposition of solid wastes from wineries [J]. Soil Sci, 1991, 152(4): 272-282.
- [17] 张宏忠, 方少明, 松全元, 等. 吸收光谱法在垃圾渗滤液膜处理技术中的应用研究 [J]. 光谱学与光谱分析, 2006, 26(8):

- 1449-1453.
- [18] Koji N S, Solomon P H. 红外光谱分析 100 例[M]. 北京: 科学出版社, 1984. 8-45.
- [19] 曾清如. 化学改性腐殖酸和沉积物对有机农药吸附特性研究[D]. 北京: 中国科学院生态环境研究中心, 2005.
- [20] Steelink C. Implications of elemental characteristics of humic substances[A]. In: Aiken G R, McKnight D M, Warsaw R L, (Eds). Humic substances in soil, sediment, and water [M]. New York: Wiley, 1985. 457-476.
- [21] Kim J L, Buckau G, Klenz R, *et al.* Characterization and complexation of humic acids [M]. Luxembourg: Nuclear Science and Technology, 1991.
- [22] Chai X L, Takayuki S, Guo Q, *et al.* Characterization of humic and fulvic acids extracted from landfill by elemental composition, ^{13}C CP/MAS NMR and TMAH-Py-GC/MS [J]. Waste Management, 2008, 28: 896-903.

《环境科学》征稿简则

1. 来稿报道成果要有创新性, 论点明确, 文字精炼, 数据可靠. 全文不超过 8000 字(含图、表、中英文摘要及参考文献). 国家自然科学基金项目、国家科技攻关项目、国际合作项目或其它项目请在来稿中注明(在首页以脚注表示). 作者投稿时请先登陆我刊网站(www.hjxx.ac.cn)进行注册, 注册完毕后以作者身份登录, 按照页面给出的提示信息投稿即可.

2. 稿件请按 GB 7713-87《科学技术报告、学位论文和学术论文的编写格式》中学术论文的规范撰写. 论文各部分的排列顺序为: 题目; 作者姓名; 作者工作单位、地址、邮政编码; 中文摘要; 关键词; 中图分类号; 英文题目; 作者姓名及单位的英译名; 英文摘要; 关键词; 正文; 致谢; 参考文献.

3. 论文题目应简练并准确反映论文内容, 一般不超过 20 字, 少用副标题.

4. 中文摘要不少于 300 字, 以第三人称写. 摘要内容包括研究工作的目的、方法、结果(包括主要数据)和结论, 重点是结果和结论. 英文摘要与中文对应, 注意人称、时态和语言习惯, 以便准确表达内容.

5. 前言包括国内外前人相关工作(引文即可)和本工作的目的、特点和意义等. 科普知识不必赘述.

6. 文中图表应力求精简, 同一内容不得用图表重复表达, 要有中英文对照题目. 图应大小一致, 曲线粗于图框, 图中所有字母、文字字号大小要统一. 表用三线表. 图表中术语、符号、单位等应与正文一致.

7. 计量单位使用《中华人民共和国法定计量单位》(SI). 论文中物理计量单位用字母符号表示, 如 mg(毫克), m(米), h(小时)等. 科技名词术语用国内通用写法, 作者译的新名词术语, 文中第一次出现时需注明原文.

8. 文中各级标题采用 1, 1.1, 1.1.1 的形式, 左起顶格书写, 3 级以下标题可用(1), (2)……表示, 后缩 2 格书写.

9. 文中外文字母、符号应标明其大小写, 正斜体. 生物的拉丁学名为斜体. 缩略语首次出现时应给出中文全称, 括号内给出英文全称和缩略语.

10. 未公开发表资料不列入参考文献, 可在出现页以脚注表示. 文献按文中出现的先后次序编排. 常见文献书写格式为:

期刊: 作者(外文也要姓列名前). 论文名[J]. 期刊名, 年, 卷(期): 起页-止页.

图书: 作者. 书名[M]. 出版地: 出版社, 年. 起页-止页.

会议文集: 作者. 论文名[A]. 见(In): 编者. 文集名[C]. 出版地: 出版社(单位), 年. 起页-止页.

学位论文: 作者. 论文名[D]. 保存地: 保存单位, 年份.

报告: 作者. 论文名[R]. 出版地: 出版单位, 出版年.

专利: 专利所有者. 专利题名[P]. 专利国别: 专利号, 出版日期.

11. 来稿文责自负, 切勿一稿多投. 编辑对来稿可作文字上和编辑技术上的修改和删节. 在 3 个月内未收到本刊选用通知, 可来电询问. 对未刊稿件一般不退, 请作者自留底稿.

12. 投稿请附作者单位详细地址, 邮编, 电话号码, 电子邮箱等. 编辑部邮政地址: 北京市 2871 信箱; 邮编: 100085; 电话: 010-62941102, 010-62849343; 传真: 010-62849343; E-mail: hjxx@cees.ac.cn; 网址: www.hjxx.ac.cn